



Satakunnan ammattikorkeakoulu

Joonas Lehtilä

LAAKERITYYPIT JA NIIDEN RAKENTEELLISET EROT

Merenkulun koulutusohjelma

2017

LAAKERITYYPIT JA NIIDEN RAKENTEELLISET EROT

Lehtilä, Joonas
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Merenkulun koulutusohjelma
Helmikuu 2017
Ohjaaja: Haapanen Toni
Sivumäärä:

Asiasanat: kone-elimet, laakeri, rakenne, laakerimateriaali, koneenrakennus

Opinnäytetyön aiheena on selvittää eri laakerityyppien rakenteellisiä eroja ja niiden vaikutuksia laakerin käyttökohteisiin. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, millaisia laakerityyppejä on käytettävissä ja millaisia eroja eri laakerityypeillä on rakenteen osalta. Vaikka laakerien toimintaperiaate on käytännössä kaikilla tyypeillä sama, tarkoituksena on selvittää, miten eri rakennemallit vaikuttavat laakerin käytettävyyteen ja kestävyYTEEN.

Aluksi määritellään laakerin toiminta, pääosat ja käyttökohteet yleisesti. Rakente-erojen vaikutuksesta laakerin käyttöön käsitellään raportin lopussa. Tutkimus on tyy- piltään vertailevaa, selittävää ja kuvailevaa, joten sitä voidaan pitää kvalitatiivisena tutkimuksena.

Opinnäytetyön merkittävimpänä lähteenä voidaan pitää Skf:n laakerikirjaa ja työnpa- rissa kertynyttä jo olemassa olevaa tietoa.

Tutkimuksen tulokset selventävää, miksi juuri kyseinen laakerityyppi on käypä juuri kyseessä olevaan kohteeseen. Tuloksia tarkastelemalla voidaan varmistua juuri ky- seisen laakerityypin olevan kyseiselle kohteelle oikea. Yksityiskohtien osalta tehty päätös vaikuttaa koko laakeroinnin toimintaan, luotettavuuteen ja taloudellisuuteen.

BEARING MODELS AND THEIR STRUCTURAL DIFFERENCES

Lehtilä, Joonas

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Maritime Studies

February 2017

Supervisor: Haapanen, Toni

Number of Pages: 40

Appendices: 0

Keywords: machinery unit, bearing, structure, bearing materials, mechanical engineering

The purpose of this thesis was to clarify differences of the different kind of bearings and bearing housings and their effect to use. The target of this thesis was to clarify what kind of bearing models are in use and what kind of structural differences different bearing models has. Even the operation of the different bearings is a basicly similar with each other but the main target was to clarify how the different structural types effect to usability and durability.

The thesis begins by operation, main parts and working enviroment of the bearing. The effect of the structural differences I will discuss at the enf of the thesis. As the thesis is comparative, explanatory and descriptive the research may be regarded as a qualitative research.

The main source if this thesis is bearing book by SKF and existing knowledge which I have got from work community.

Final result of the thesis clarifies why just bearing model in question is suitable in that solution. By an analysing the results can be assured that bearing model is correct to the mechanical system. Decision of the details will effect to the functioning, reliability and economic efficiency of the bearing.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	LAAKERITYYPIT	6
2.1	Urakuulalaakerit.....	6
2.2	Pallomainen kuulalaakeri.....	8
2.3	Viistokuulalaakeri.....	10
2.4	Lieriörullalaakeri	12
2.5	Neulalaakerit.....	16
2.6	Pallomainen rullalaakeri	18
2.7	Kartiorullalaakeri	20
2.8	Painekuulalaakeri.....	21
2.9	Lieriömäinen painerullalaakeri	22
2.10	Paineneulalaakeri	24
2.11	Pallomaiset painerullalaakerit.....	25
2.12	Liukulaakeri	26
3	LAAKERINPESÄT	28
3.1	Pystylaakeripesät	28
3.2	Kaksoislaakerinpesät	29
3.3	Laippalaakeripesät	30
4	KÄYTETTÄVÄT MATERIAALIT	32
4.1	Vierintälaakerit	32
4.2	Pitimet.....	32
4.3	Liukulaakeri	34
5	TULOSTEN ARVIOINTI.....	37
6	YHTEENVETO	39
	LÄHTEET.....	40
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Laakerin tehtävänä on ohjata kahden erillisen kappaleen liikettä suhteessa toisiinsa. Laakerimallit voidaan jakaa toimintaperiaatteen mukaan liuku- ja vierintälaakereihin. Jokaisella laakerimallilla on omat erityisominaisuutensa, jonka ansiosta ne soveltuvat kuhunkin käyttökohteeseen. Eri laakerityypeillä saadaan laakerin ominaisuudet käytökelpoiseksi raskaalle, kevyelle, tarkkuutta vaativalle tai hiljaiselle kohteelle. Kuitenkaan laakerityypin monet ominaisuudet eivät olet suoraan verrattavissa laakerin rakenteelliseen ratkaisuun. Laakeroinnin jäykkyyteen vaikuttaa myös käytetty esijännitys ja laakerin sallittuun pyörimisnopeuteen vaikuttaa laakerin ja siihen liittyvien osien valmistamistarkkuus, kuten myös laakerin pitimen rakenne. Usein on otettava huomioon useamman tekijän yhteisvaikutus, joten yksiselitteistä vastausta laakerimallia valittaessa ei ole mahdollista antaa. Luonnollisesti pitää myös ottaa huomioon, että tehdessä käytettävän laakerityypin lopullista valintaa, vaikuttavana tekijänä erityisesti aluksilla on myös varastointitilat ja laakerin hinta.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selventää eri laakerityyppien valintaperusteita rakenteen osalta, sekä kehittää omaa laakeritietämystä, jotta erilaisten vaihtoehtojen pohtiminen ja esiintuominen olisi mahdollista. Tutkimuksen lähtökohtana ei ole laakerityyppien tai teorian testaaminen kokeellisesti, vaan selventää ja helpottaa laakerityypin valintaa tarvittavaan kohteeseen. Rajaaminen ainoastaan aluksilla pääasiassa käytettäviin laakerityyppien rakenne-eroihin ei ole tarpeellista, vaan käyn laakerityypit mahdollisimman laajasti läpi suuremman tietopohjan ja siten hyödyn saamiseksi.

2 LAAKERITYYPIT

2.1 Urakuulalaakerit



Kuva 1. Urakuulalaakeri (Schaefflerin www-sivut 2017.)

Urakuulalaakereita käytetään erittäin laajasti useassa eri kokoonpanossa. Urakuulalaakerin rakenne on yksinkertainen, eikä sen purkaminen ole mahdollista. Urakuulalaakeri soveltuu suurille nopeuksille, eikä se vaadi paljon huoltotoimenpiteitä. Edellä olevat ominaisuudet tekevät urakuulalaakerista käytetyimmän vierintälaakerin teknologiassa ja teollisuudessa.

Yleisimmät urakuulalaakerimallit ovat joko yksi- tai kaksirivisiä. Yksirivisessä laakerissa laakeria kiertää yksi rullarivi ja kaksirivisessä kaksi rullariviä, jotka ovat molemmilta puolilta avoimia. Yksirivisissä urakuulalaakereissa on syvät vierintäradat ja kosketus kuulien ja rullien välissä hyvä. Näiden tekijöiden ansiosta laakeri kannattelee säteiskuormituksen lisäksi aksiaalikuormitusta suurillakin nopeuksilla hyvin. Urakuulalaakerit valmistetaan tavallisesti yhdellä tai kahdella suojalevyllä tai tiivistyslevyllä. Suojalevy toimii laakerin hankaamattomana tiivisteenä ja tiivistyslevy pienellä kitkalla toimivana hankaavana tiivisteenä.

Suojalevyillä varustettu laakeri muodostaa pitkän tiivistysraon sisärenkaan vaippapinnan kanssa. Tällaisia laakereita käytetään laakerointeihin, joissa pyörivä osa on

sisärenkas. Suojalevyllisen laakerin käyttöä laakeroinneissa, joissa ulkorengas pyörii, saattaa aiheuttaa rasvan valumisen ulos laakerista ja sitä kautta laakerin rikkoutumisen. Tiivistyslevyn reuna taas painautuu sisärenkaan uraa vasten tiivistäen näin laakerin. Tiivistyslevyt valmistetaan öljyä ja kulumista kestäväksi teräsvahvisteisesta synteettisestä kumista, jonka käyttöalue on $-40-120^{\circ}\text{C}$ astetta. Tiivistyslevy on kiinnitetty ulkorengkaan uraan ja levyn tiivistysreuna painautuu sisärenkasta vasten. Mikäli käyttää normaalia tiivistyslevyä, laakeria ei voi käyttää olosuhteissa, joissa pyörimisnopeus on suuri tai laakeri on korkeassa lämpötilassa. Laakeri saattaa alkaa vuotamaan rasvaa ja mikäli se aiheuttaa lisää ongelmia, on käytettävä muuta laakerityyppejä. Tiivistyslevyjä on mahdollista saada myös pienikiteisenä mallina. Pienikiteiset tiivistyslevyt muodostavat todella kapean raon sisärenkaan vaippapinnan kanssa, jolloin levy toimii kuten hankaamaton tiivistin. Tämä aiheuttaa kitkan laskun, minkä ansiosta pienikiteisillä tiivistyslevyillä varustetuilla urakuulalaakerit voi käyttää suurilla nopeuksilla. Mikäli laakeri on varustettu levyillä molemmilta puolilta, laakerin voiteluun on käytetty tyypillisesti litiumrasvaa. Litiumrasva ei ainoastaan voitele laakeria, vaan samalla myös antaa ruostesuojaa. Urakuulalaakerit ovat kertavoideltuja, eikä niille tarvitse tehdä huoltotoimenpiteitä. Urakuulalaakeri on mahdollista saada varustettuna myös täyttöurilla. Näissä tyypeissä kuulat ovat isompia ja suurempia kuin vastaavalla laakerilla ilman täyttöuria. Laakerilla on suurempi säteiskantokyky, mutta aksiaalinen kantokyky on vastaavasti huonompi.

(SKF-yhtymä 1999, 176-179, 240.)

Urakuulalaakereita on mahdollista asentaa myös pareittain. Mikäli laakeroinnissa yhden laakerin kantokyky ei riitä tai akselin on oltava aksiaalisesti lukittu molempiin suuntiin pienellä liikkumavaralla, on käytettävä pareittain asennettavaa urakuulalaakeria. Pareittain toimitettavat laakerit sovitetaan jo valmistuksen yhteydessä toisiinsa niin, että kuormitus ilman välilevyjä tulee jakautumaan tasaisesti laakerien ollessa täydellisesti vierekkäin. Peräkkäisjärjestelmän laakereilla kuormitus on samaan suuntaan. Laakereilla on mahdollisuus kantaa aksiaalikuormitusta yhdessä suunnassa ja kuormitus jakautuu laakerien kesken tasaisesti. Mikäli laakerointia kuormitettaisiin samanaikaisesti vastakkaiseen suuntaan, olisi laakeripariin lisättävä kolmas laakeri. On myös mahdollista, että laakereita kuormitetaan pois päin toisistaan laakerin geometrisesta akselista. Laakerien on mahdollista ottaa vastaan aksiaalikuormitusta molempiin suuntiin, mutta ainoastaan yhteen laakeriin kerrallaan. Tämän tyylinen laake-

rointi on jäykkä ja kestää myös kippimomenteja. Laakeripariin on oikein asennusta varten tehty merkintä, jolloin laakerit on mahdollista asentaa oikeaan järjestykseen. Parittain asennettavien laakerien pyörimisnopeudet ovat noin 20% hitaammat, kun vastaavassa yksilaakerisessa laakeroinnissa. (SKF-yhtymä 1999, 178.)

Laakereilla on myös oltava aina pieni vähimmäiskuormitus, jotta niiden toiminta varmistuisi. Etenkin suurilla nopeuksilla, joissa kuulien oma hitausvoima sekä voiteluaineen kitka voivat alentaa vierintäolosuhteita merkittävästi. Tämä saattaa aiheuttaa kuulien ja vierintäratojen välisiä haitallisia liikkumisia. Tyypillisesti laakeroitujen osien yhteispaino ulkoisten voimien kanssa aikaan saa tarpeen olevan vähimmäiskuormituksen. Urakuulalaakereissa on mahdollista esijännitystä kasvattamalla saada vähimmäiskuormitusta suuremmaksi, esimerkiksi puristamalla sisärenkaita tai ulkorenkaita toisiaan kohti tai mahdollisesti myös käyttämällä jousia. (SKF-yhtymä 1999,183.)

2.2 Pallomainen kuulalaakeri



Kuva 2. Pallomainen kuulalaakeri (Elfa Distrelec:n www- sivut 2017.)

Pallomaisessa kuulalaakerissa on kaksi kuulariviä, joilla on ulkorenkaalla yhteinen pallomainen vierintärata. Pallomaiset kuulalaakerit ovat itseasettuvia, eli ne sallivat vähäiset yhdensuuntaisuuserot akselin ja laakerinpesän välillä. Laakerit soveltuvatkin

erityisen hyvin kohteisiin, joissa kulmaeroja on mahdollista tulla erilaisista syistä, kuten asennusvirheistä, käynnin aikana tai akselin taipumisen takia. Pallomainen kuulalaakeri soveltuukin hyvin suuriin kierrosnopeuksiin, mutta laakerin kuormankantokyky rajoittaa sen käyttöä raskaasti kuormitetuissa kohteissa. Samat itseasettuvuusominaisuudet ovat myös pallomaisella rullalaakerilla, joita käytetäänkin asennuksissa, joissa pallomaisen kuulalaakerin kantokyky ei ole tarpeeksi hyvä.

(SKF-yhtymä 1999, 255.)

Pallomaisella kuulalaakerilla on useita eri rakennemuotoja. Normaalirakenteisena tiivistimillä tai ilman varustettujen laakerien lisäksi, on siitä mahdollisuus myös käyttää leveällä sisärenkaalla tehtyä mallia. Normaalirakenteinen laakeri voidaan myös varustaa kartiomaisella reiällä, jolloin sen asennus onnistuu myös lieriömäiselle tai olakkeiselle akselille. Myös kyseinen laakerityyppi on mahdollista varustaa tiivistelevyillä. Laakerit ovat kertavoideltuja, eikä niiden huoltaminen ole tarpeellista. Pallomaisia kuulalaakereita leveällä sisärenkaalla käytetään yksinkertaisiin laakerointeihin, joissa on kylmävedetyt akselit. Kylmävedolla tarkoitetaan muokkausprosessia, missä pitkä metallikappale vedetään kartiomaisen reikätyökalun läpi. Prosessissa tangon poikkipinta-ala pienenee, mikä tekee akselista lujemman. Laakerin sisäreiällä on erikoistoleranssi ja se kiinnittyy akseliin sokilla tai pidätinruuveilla. Ne vuorostaan kiinnittyvät sisärenkaan sivulla olevaan syvennykseen, joka estää sisärenkaan liikkumisen akselilla. Laakereita asennettaessa pareittain, on ne sijoitettava joko syvennyssivut vastakkain tai pois päin toisistaan. Muutoin akseli kiinnitetään vain yhteen suuntaan. (SKF-yhtymä 1999, 256.)

Myös näillä laakereilla on oltava pieni vähimmäiskuormitus, jotta laakeri toiminta on oikeanlaista. Etenkin suurilla nopeuksilla käytettävissä laakereissa vähimmäiskuormitus on tärkeää. Kuulien hitausvoima sekä voiteluaineen kitka vaikuttavat haitallisesti laakerin vierintäolosuhteisiin ja ajan mittaan kuulien ja vierintä ratojen välinen liike aiheuttaa laakerin hajoamisen. Tyypillisesti järjestelmän omien osien paino yhdessä ulkoisten voimien kanssa ovat riittäviä tarvittavaan kuormitukseen. Laakerin kuormitusta voidaan myös lisätä esimerkiksi kiristämällä hihnavettoa tai vastaavilla toimenpiteillä. (SKF-yhtymä 1999, 257.)

2.3 Viistokuulalaakeri



Kuva 3. Viistokuulalaakeri (SKF:n www-sivut 2017.)

Viistokuulalaakereiden sisä- ja ulkorenaan vierintäradat ovat aksiaalisesti siirtyneitä toisiinsa nähden. Tästä johtuen laakerit ovat erittäin sopivia kantamaan yhdistettyjä kuormituksia. Yhdistetyt kuormitukset ovat akseliin samaan aikaan vaikuttavia säteis- ja aksiaalikuormituksia. Laakeria ei tule asentaa kyseisestä syystä yksin. Viistokuulalaakerin aksiaalinen kantokyky kasvaa samassa suhteessa kosketuskulman kanssa. Kosketuskulmalla tarkoitetaan laakerin kuulan ja vierintärajojen kosketuspisteitä säteissuunnassa yhdistävää linjaa. Näiden pisteiden kautta kuormitus siirtyy vierintäradalta toiselle. Kosketuskulman suuruus ilmoitetaan laakerimerkinnän yhteydessä olevalla jälkimerkinnällä.

(SKF-yhtymä 1999, 285.)

Yleisesti konetekniikassa on käytössä kolmenlaisia viistokuulalaakereita. Yksi- ja kaksirivisten laakerien lisäksi on käytettävissä myös nelipiste-viistokuulalaakeri. Yksirivinen viistokuulalaakeri pystyy kannattelemaan aksiaalikuormituksia ainoastaan yhteen suuntaan. Käytön yhteydessä laakeri on tuettava toista laakeria vasten, joka toimii vastavoimana säteiskuormituksen aiheuttamalle aksiaalivoimalle. Yksirivisen laakerin molemmissa renkaissa on yksi korkea ja yksi matala olake. Matala olake antaa laakerissa mahdollisuuden käyttää useampaa kuulaa, joka mahdollistaa laakerille suhteellisen korkean kantokyvyn. Laakeri soveltuu kantamaan suuria aksiaalikuormituksia suurillakin nopeuksilla. Laakerit ovat itsessään koossa pysyviä, eikä

niitä ole tarpeen huoltaa. Laakerien parittain asennus on tarpeellista, kun viistokuula-laakerin kantokyky ei riitä tai laakeroinnin on pystyttävä kantamaan aksiaalikuormitusta kumpaakin suuntaan. Parittain asennettavat laakerit ovat erikoisvalmistettuja. Ne on mahdollista asentaa valinnaisessa järjestyksessä välittömästi kiinni toisiinsa, jolloin saavutetaan etukäteen määrätty kuormitusjakauma ilman, että välilevyjä tai muita ratkaisuja olisi käytettävä. Yksiriviset viistokuulalaakerit sallivat vain pienet erot yhdensuuntaisuudessa. Yhdensuuntaisuuseron määräytyminen on yhtä monimutkaista kuin urakuulalaakereilla, joten tarkkaa määritelmää ei voida antaa. (SKF-yhtymä 1999, 286-287.)

Kun laakeroinnissa suunnittelee käytettävän yksiriviä viistokuulalaakereita, tulee ottaa huomioon laakerien erikoisominaisuudet. Laakerin sisäisen rakenteen vuoksi, sitä ei voida käyttää yksin, vaan se on tuettava toisella laakerilla tai käytettävä laakerisarjoja. Laakeroinnissa on otettava huomioon oikean käyttövälyksen tai esijännityksen valinta, jotta laakerit toimivat asianmukaisesti. Mikäli laakerin käyttövälyys on liian suuri, laakerin kantokykyä ei hyödynnetä kokonaan. Liian suuri esijännitys taas aiheuttaa ylimääräistä kitkaa laakeroinnissa, mikä tuottaa ylimääräistä lämmöntuottavuutta, joka alentaa laakerin kestoikää. (SKF-yhtymä 1999, 289.)

Kaksiriviset viistokuulalaakerit muistuttavat ulkoisesti kahta yksirivistä viistokuula-laakeria, jotka olisivat vierekkäin. Niiden on mahdollista kantaa suuria säteiskuormituksia sekä aksiaalikuormituksia molempiin suuntiin. Ne muodostavat verrattain jäykkiä laakerointeja, jotka pystyy myös kantamaan kippimomenteja. Myös nämä laakerityypit voi varustaa täyttöurilla ja suoja- tai tiivistyslevyillä, joilla laakerin kanto-ominaisuuksia voidaan kasvattaa halutunlaiseksi.

Nelipiste-viistokuulalaakereissa vierintäradat ovat suunniteltu siten, että niiden on mahdollista kantaa aksiaalikuormitusta kumpaakin suuntaan. Laakereiden tilanvienti verrattuna kaksirivisiin laakereihin on pienempi. Laakereissa käytetään kaksiosaista sisärengasta, jonka vuoksi laakeriin saadaan mahdollisimman suuri kuulamäärä, joka mahdollistaa mahdollisemman suuren kantokyvyn. Nelipiste-viistokuulalaakeri ei ole itsestään koossa pysyvä, vaan sen molemmat sisärenkaat ja ulkorengas kuulasarjoineen ja pitiminen voidaan tarvittaessa asentaa erillisenä. Laakeri on

suunniteltu ensisijaisesti kantamaan kuormituksia aksiaalisuunnassa ja usein ne asennetaan painelaakereiksi. Näin laakeripesään saadaan haluttua säteisvälystä. Ulkorenaan pyörimisen ehkäisemiseksi, laakereihin asennetaan kaksi lukkouraa. Laakeri sallii vain rajoitetun yhdensuuntaiseron sisä- ja ulkorenaan välillä, joka ollessa liian suuri aiheuttaa kovemman laakeriäänen. (SKF-yhtymä 1999, 320.)

2.4 Lieriörullalaakeri



Kuva 4. Yksi- ja kaksirivinen lieriörullalaakeri (Luoyang LBR Bearing Co:n www-sivut 2017)

Lieriörullalaakereita on monia eri rakennemalleja. Tyypillisimmät rakenneratkaisut ovat pitimillä varustetut yksiriviset laakerit, yksi- tai kaksiriviset täysrullalaakerit ja lieriömäiset ristirullalaakerit. Työstökoneiden laakeroinneissa käytetään myös yksi- tai kaksirivisiä tarkkuusrakenteisia lieriörullalaakereita ja valssauksen tai muunlaisessa raskaassa laakeroinneissa käytetään myös lieriörullalaakereita, joissa on laakerirullia useampi rivi. (SKF-yhtymä 1999, 329.)

Pitimillä varustetuissa yksirivisissä lieriörullalaakereissa rullaa ohjataan laakerirenkaan kiinteiden laippojen välissä. Pitimet ja rullasto on mahdollista irroittaa erikseen laakerirenkaasta, mikäli siinä on kiinteät laipat. Tämä helpottaa laakerin asennusta ja irroitusta, etenkin kun kummallakin laakerirenkaalla on tiukka sovite

laakeroitavaan kohteeseen. Tämän tyyppiset laakerit kestävät suuria pyörimisnopeuksia ja niiden säteiskantokyky on suuri. Yksiriviset lieriörullalaakerit eroavat toisistaan laippojen osalta. Mikäli laakerin ulkorenkaassa on kaksi kiinteää laippaa ja sisärenkas on laipaton tai laakerilla on kaksi kiinteää laippaa sisärenkaassa, mutta ulkorenkas on laipaton, mahdollistaa se akselin siirtymän laakeripesään nähden molempiin suuntiin. Tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää lämpötilamuutoksen aiheuttamissa pituudenmuutoksissa. Laakereita voidaan tämän takia käyttää myös vapaina laakereina. Mikäli laakerin rakenteessa on ulkorenkaassa kaksi kiinteää laippaa ja sisärenkaassa yksi kiinteä laippa, laakeria voidaan ohjata aksiaalisesti yhteen suuntaan. Jos laakerissa on kiinteiden laippojen lisäksi yksi irrallinen laipparengas, voidaan laakeria ohjata aksiaalisesti molempiin suuntiin. Yksiriviset lieriörullalaakerit sallivat vain pienet kulmaminuutin yhdensuuntaisvirheen ulkorenkaan ja sisärenkaan välillä, joten ne eivät pysty korjaamaan suuntausvirhettä rajoittamattomasti. Mahdollisen suuntausvirheen huomioiminen riippuu myös vaaditusta akselin kestoikästä ja laakeriin kohdistuvan kuorman määrästä. Yksirivisillä lieriörullalaakereilla on oltava jatkuvasti pieni vähimmäiskuorma, joka usein ylitetään laakeroitujen osien painon ja ulkoisten voimien vaikutuksesta.

Lieriömäisessä täysrullalaakeria on mahdollista saada sekä yksi-, kaksi- tai useampi-rivisenä mallina. Tästä laakerityypistä puuttuu pidin kokonaan, joten siihen on asennettu rullia niin paljon kuin mahdollista. Korkeuteen verrattuna laakerin poikkileikkauskorkeus on yleensä pieni. Tästä johtuen laakerilla on erityisen suuri kantokyky säteissuunnassa, mikä johtaa laakerin käyttöön ahtaissa laakerointirakenteissa. Laakerin normaalista poikkeavien kinemaattisten ominaisuuksien takia, laakerin pyörimisnopeus jää matalammaksi kuin tavallisilla lieriörullalaakereilla. Lieriömäisten täysrullalaakereiden kinemaattiset ominaisuudet ovat huonommat verrattuna pidikkeellisiin malleihin. Tämä johtuu siitä, koska vierekkäisten rullien vierintäradat ovat kosketuksissa toisiinsa suoraan ja liikkuvat toisiinsa nähden vastakkaisiin suuntiin. Tällaisessa olosuhteessa laakerin rullien keskinäiselle kosketusalueelle ei voi muodostua voiteluainekalvoa, mikä nostaa rullien kitkaa pidikkeelliseen laakerityyppiin verrattuna. Tämän takia tietynlaisissa käyttöolosuhteissa esiintyy laakerissa väsymisen lisäksi myös esimerkiksi kulumista ja tahmautumista, mikä on lieriömäisissä täysrullalaakereissa rajoittava tekijä. Jotta ennenaikaisia vaurioita voidaan välttää, käyttövarmuutta lisätä ja laakerin käyttömahdollisuuksia laajentaa,

voidaan laakerien rullat pintakäsitellä. Pintakäsitellyt renkaat ja rullat mahdollistavat laakerin käytön haastavissa olosuhteissa, kuten suurissa pyörimisnopeuksissa, epätaisessa kuormituksessa, huonossa voitelussa tai suurien säteis- tai kehäkihiytyvyksien alaisuudessa. (SKF-yhtymä 1999, 374.)

Yksirivinen lieriömäinen täysrullalaakeri, joissa on kaksi kiinteää laippaa sisärenkaassa ja ulkorenkaassa yksi kiinteä laippa, on kaikkein yleisin malli. Laakerin rakenne mahdollistaa akselin ohjauksen yhteen suuntaan. Ulkorenaan laipattomalla sivulla on lukkorengas, joten laakerin osat ovat itsestään koossa pysyviä. Laakerin on sisäisen siirtymän ansiosta akseli ja pesä voivat liikkua toisiinsa nähden aksiaalisesti, esimerkiksi lämpölaajenemisen vuoksi. Erityisen raskaita laakerointeja varten, joilla on alhainen pyörimisnopeus, voi laakerin ulkorenkaassa olla kaksi kiinteää laippaa. Näissä laakereissa on itsestään koossa pysyvä rullasto ja rengas voidaan yhdessä rullaston kanssa vetää pois sisärenkaalta. Tämä helpottaa laakerin asennusta ja irroitusta. Tämän tyyppiset laakerit voivat kantaa aksiaalikuormituksia yhteen suuntaan ja niitä voidaan käyttää myös akselin ohjaamiseen yhdessä suunnassa. (SKF-yhtymä 1999, 375.)

Kaksirivisiä lieriömäisiä täysrullalaakereita valmistetaan useana eri rakenteena, joissa kaikissa on voitelu-ura ja voitelureikä ulkorenkaassa. Rullien ohjaamiseen käytetään kolmea kiinteää laippaa sisärenkaassa. Ulkorenaan laippojen välisiä eroja kuitenkin löytyy. Laipattomassa laakerissa akselin aksiaalsiirtymä laakerinpesään nähden sallitaan vain vähän. Yhden kiinteän laipan ja yhden laippa-renkaan laakerissa on mahdollisuus kantaa aksiaalikuormituksia ja ohjata akselia yhteen suuntaan. Laakeri voi kantaa aksiaalikuormituksia molempiin suuntiin, mikäli sen ulkorenkaassa on yksi kiinteä laippa yhdellä sivulla ja erillinen laipparengas ulkorenaan toisella sivulla. Näitä laakereita voidaan käyttää myös akselin ohjauslaakereina. Laakerien ulkorengas on yhden millimetrin kapeampi sisärenkaaseen verrattuna ja ulkorenaan vaippapinnassa on kaksi laipparengasuraa. Tästä johtuen laakerin sisärenkaan ja läheisten koneenosien välissä ei ole tarpeen käyttää välirenkaita. Ulkorenaan pyöriminen ei kuitenkaan esty esimerkiksi hihnapyörissä. Aksiaalitilaa on myös mahdollista säästää kaventamalla laakerin pesää tai napaa itse laakeria kapeammaksi. Laakeri vaatii jälkivoitelua, mikäli se joutuu kosteudelle ja lialle tai jos se pyörii suurella nopeudella.

Lieriömäinen ristirullalaakeri sisä- ja ulkorenkaiden vierintäradat ovat 45° kulmassa laakerin omaan geometriseen akseliin nähden. Poikkeavasti rullien halkaisija on suurempi kuin rullien pituus. Laakeri pystyy kantamaan säteis- ja aksiaalikuormituksia molempiin suuntiin, kuten myös kippimomentin. Tällä laakerityypillä on monta etua laakeroinnin suunnittelua ja toimintaa ajatellen. Laakeri koostuu niin kutsusta ohutrengaslaakerista, joka vähentää tilantarvetta, sisärenkaasta ja kaksiosaisesta ulkorenkaasta, suhteellisen suurista rullista, joita ohjaa messinkinen pidin. Lieriömäisellä ristirullalaakerilla voidaan toteuttaa jäykät laakeroinnit, jotka pystyvät kantamaan suuria kuormituksia, vaativat vähän tilaa ja joiden reiän halkaisija on iso. Laakerointiin ei myöskään tarvitse muita laakereita kuormankantokyvyn takia. Laakeri ei ole itsestään koossa pysyvä ja asennuksen aikana laakerirenkaat rullastoineen on pidettävä koossa. Suuren rullamäärän sekä rullien ja vierintä ratojen lineaarisen kosketuksen ansiosta laakerin muodonmuutokset ovat merkityksettömiä. Tämä kasvattaa laakerin jäykkyyttä, erityisesti aksiaalisessa suunnassa. Esijännittämällä laakerin jäykkyyttä voidaan edelleen kasvattaa. Laakerin ominaisuuksien vuoksi, sen ympäröivät osat on valittava laakerin mukaan. Jotta laakerin suuri kantokyky voidaan hyödyntää kokonaan, on liittyvien osien oltava riittävän jäykkiä ja mitoitukseltaan oikeita. Mikäli tämä ei toteudu, voi laakerirenkaiden muoto muuttua kuormituksen aikana ja tämä heikentää laakerin suorituskykyä. Lieriömäisiä ristirullalaakereita käytetään tyypillisesti robottien tai muiden käsittelylaitteiden laakeroinneissa hyvän kestävyuden vuoksi. (SKF-yhtymä 1999, 402, 406.)

2.5 Neulalaakerit



Kuva 5. Neulalaakeri (Laakerinetti:n www-sivut 2017)

Neulalaakerit ovat rullalaakereita, joissa on pitkät lieriömäiset ja ohuet rullat, eli niin kutsutut neularullat. Neulalaakerit sopivat laakerointeihin, joissa säteittäinen tila on rajoitettu, koska niillä on hyvä kantokyky matalasta poikkileikkauskorkeudesta huolimatta. Rullien päissä neularullien vaippapinta on hieman kaareva. Tämä tekee mahdolliseksi neularullien ja vierintärajojen välisen joustavan kosketuksen. Näin vahingollisia reunakuormituksia ei synny lainkaan. Neulalaakereita on markkinoilla useita eri malleja, mutta perehdyn koneenrakennuksessa käytettäviin malleihin.

(SKF-yhtymä 1999, 415.)

Neularullaholkit ovat tyypillisesti yksirivisiä neulalaakereita, joiden ulkorengas on puristettu ohuesta levystä. Tunnusomaisia piirteitä neularullaholkeille ovat matala poikkileikkauskorkeus ja suuri kantokyky. Niitä käytetään tyypillisesti silloin, kun laakeroinnin on oltava erittäin kompakti ja taloudellinen. Neularullaholkin pesän laakerisija ei kuitenkaan voi toimia neularullakehän vierintäratana, joten laakerit on asennettava pesään ahdistussovitteella. Neularullaholkkeja käytetään tavallisesti ilman sisärengasta, mutta mikäli akselinsijaa ei voida työstää hiomalla, on mahdollisuus myös sisärenkaan käyttöön. Neularullaholkit ovat itsestään koossa pysyviä ja laakeri muodostuu karkaistusta teräslevystä valmistetun ulkorengaan ja neularullakehän kanssa. (SKF-yhtymä 1999, 415.) Ennen asennusta neularullaholkin mittatarkkuutta ei voida tarkistaa, koska ohut ulkorengas voi hieman valmistustavas-

ta johtuen olla soikea. Kun ulkorengas on painettu toleranssien mukaiseen laakerinpesän reikään, saavuttaa holkki oikean muotonsa, joka myös määrää laakerin toimivuuden. Näin sisärenkaan halkaisijan tarkistus ei onnistu ilman painamista. Neularullaholkin valmistamisessa onkin tärkeää, että pesän laakerinsijat valmistetaan mitta- ja muototarkasti. Jotta neularullaholkin kantokyky voidaan täysin hyödyntää, tulee akselien vierintäradat valmistaa samalla tarkkuudella kuin sisärenkaan vierintärata. Neularullaholkeissa tulee olla pieni vähimmäiskuormitus, etenkin suurilla nopeuksilla käytettäessä. (SKF-yhtymä 1999, 416, 419.)

Neulalaakerit, joissa käytetään kuulalaakeriteräksestä valmistettuja renkaita, on matala poikkileikkauskorkeus ja todella suuri kantokyky. Niitä voidaan käyttää sisärenkaan kanssa tai ilman, riippuen laakerointikohteesta. Mikäli akselin vierintäradan hionta ja karkaisu on mahdollista, sisärenkaattomat neulalaakerit ovat parhaita vaihtoehtoja. Koska sisärenkasta ei tarvita, akselin on mahdollisuus olla halkaisijaltaan suurempi ja tätä kautta myös jäykempi. Akselin aksiaalista siirtymistä laakeripesän nähden rajoittaa ainoastaan vierintäradan leveys. Neulalaakereita, joissa on sisärenkas, käytetään laakeroinneissa, joissa akselin vierintäradan hionta ja karkaisu on teknisesti mahdotonta tai niin kallista, ettei se ole taloudellisesti ole järkevää. Pienemmissä neulalaakereissa on ulkorenkaassa joko kiinteät tai irtolaipat ja suuremmissa kiinteät laipat ja voitelu-ura. Tyypillisesti yksirivisissä neulalaakereissa käytetään laipallisia ulkorenkaita. Suuremmissa neularullalaakereissa neularullakehää ohjaa ulkorenkaassa kiinteät laipat. Jokainen näistä laakereista muodostaa itsestään koossa pysyvän kokonaisuuden. Tiivistetyissä neularullalaakereissa on millin leveämpi sisärenkas ulkorenkaaseen verrattuna. Tämä takaa tiivistimen riittävän hyvän suojan epäpuhtauksialta myös pienissä aksiaalinsuuntaisissa liikkeissä. Laakerin käyttöikä pidentää myös tasainen ja joustava viivakosketus vierintäratojen ja neularullien välillä. Tämä estää reunakuormitukset ja myös mahdollistaa yksirivisen neulalaakerin erittäin pienen akselin ja laakerinpesän välisen yhdensuuntaiseron. (SKF-yhtymä 1999, 420.)

2.6 Pallomainen rullalaakeri



Kuva 6. Pallomainen rullalaakeri (Ekomobiili:n www-sivut)

Pallomaiset rullalaakerit koostuvat kahdesta rullarivistä ja niiden yhteisestä pallomaisesta vierintäradasta ulkorenkaalla. Molemmilla rullariveillä on oma vierintäransansa sisärenkaalla, joka on viistossa laakeriin nähden. Itseasettuvana laakerina se sallii akselin ja laakerinpesän välisen pienen yhdensuuntaiseron, joka mahdollisesti syntyy kun laakeria asennetaan tai kun akseli taipuu. Laakeri pystyy myös kantamaan aksiaalikuormituksia kumpaakin suuntaan. Laakeri sallii ulko- ja sisärenkaan välistä yhdensuuntaiseroa $0,5^\circ$ asti, mikäli sisärengas pyörii laakeroinnissa.

Pallomaisen rullalaakerin kantokyky on hyvin suuri, koska se rakentuu suurista määristä pitkiä symmetrisiä rullia, joiden halkaisiat ovat verrattaen suuret.

Pallomaisen rullalaakeri on matalakitkainen laakeri. Pienen kitkan suorituskykyä hyödynnetään matalampana käyttölämpötilana, kasvaneena aksiaalikuormituksena tai suurempana pyörimisnopeutena. Laakerin keskireikä on pyöreä tai kartiomainen. Kartioreikäisen laakerin asentamisen yhteydessä käytetään kiristys- ja vetoholkkeja, joiden avulla asennus on mahdollista lieriömäiselle tai olakkeiselle akselille.

Laakerin vierintärullat ovat tyypillisesti symmetriset, sisärengas ilman laippaa ja jokaista rullariviä kohden on teräksinen pidin. Suurimmissa kooissa käytetään sisärenkaassa kiinteitä ohjaulaippoja erotuksena tyypilliselle pallomaiselle rullalaakerille. Tämä niin kutsuttu kampapidin on keskitetty sisärenkaaseen kahden rullarivin väliin. Laakeri saa voitelunsa voitelu-uran ja ulkorenkaassa olevien voitelurei-

kien avulla. Tiivistimillä varustetu pallomaiset rullalaakerit eivät tyypillisesti tarvitse jälkivoitelua. Laakeria käytettäessä suurilla pyörimisnopeuksilla, yli +70 °C lämpötilassa tai laakerin kantaessa suuria kuormituksia, on laakeria voideltava ulkorenkaassa olevan voitelu-uran tai voitelureiän kautta. (SKF-yhtymä 1999, 459-460.)

Laakereihin voidaan lisätä hankaavat tiivistimet molemmille puolille, mikäli laakeria käytetään vaikeissa olosuhteissa ja tiivistykselle on asetettu erikoisvaatimuksia. Kahdesta levystä koostuvista tiivistimistä toinen on asennettu ulko- ja toinen sisärenkaaseen. Sisäänpääsevistä epäpuhtauksista suojaa sisärenkaassa oleva vulkanoitu tiivistysreuna. Sisärenkaan pyöriessä tiivistinlevy toimii myös roiskerenkaana. Levyt tulevat sivuista hieman ulos, joten suunniteltaessa laakerointia on huomioitava aksiaalisuunnassa syntynyt suurempi tilantarve. Tiivistelevy valmistetaan fluorikumiasta, mikä aiheuttaa rajoituksia käyttölämpötilaan. Tiivistimillä varusteltu laakerin toimintalämpötila onkin -30°C:en ja +150°C:n välillä. Itseasettuvana laakerina se sallii pieniä yhdensuuntaiseroja akselin ja laakerinpesän välillä. Mikäli kuormitus on normaalilla tasolla, eivätkä käyttöolosuhteet ole poikkeavia ja sisärenkaan pyöriessä voidaan mallista riippuen sallia 1° ja 2,5° yhdensuuntaisero. Pallomainen rullalaakeri vaatii pienen vähimmäiskuormituksen, joka syntyy tyypillisesti laakeroitavien komponenttien yhteispainosta. (SKF-yhtymä 1999, 461, 466.)

2.7 Kartiorullalaakeri



Kuva 7. Kartiorullalaakeri (IKH:n www-sivut 2017.)

Kartiorullalaakerissa ulko- ja sisärenkaiden vierintäradat ja rullat ovat kartiomaisia, jolla saadaan aikaan optimaalinen vierintäolosuhde. Kartiomaisuuden vuoksi, laakeri on hyvä kannattelemaan erityisesti säteis- ja aksiaalikuormituksia. Kartiorullalaakerin aksiaalissuuntainen kantokyky määräytyy kosketuskulmasta, joka vastaa ulkorenkaan vierintäradan kulmaa. Tämän kulman kasvaessa, sitä suuremmaksi aksiaalinen kantokyky muodostuu. Kartiorullalaakeri muodostuu sisärenkaasta ja rullastosta, jotka muodostovat kokonaisuuden. Laakeri ei siis ole itsestään koossa pysyvä ja ne ovatkin mahdollista asentaa ilman ulkorengasta. Kartiorullalaakereita valmistetaan pääasiassa yksi-, kaksi- ja nelirivisinä kartiorullamalleina. Normaaleissa laakeroinneissa käytetään pääasiallisesti yksirivisiä laakereita, kun taas raskaampia laakerointeja varten käytetään kaksi- tai nelirivisiä kartiorullalaakereita.

(SKF-yhtymä 1999, 514-515.)

Yksiriviset kartiorullalaakerit kannattavat aksiaalikuormituksia vain yhteen suuntaan. Laakerit tuetaakin tyypillisesti toista laakeria vasten, jolloin säteiskuormituksesta johtuva aksiaalivoima voidaan tasapainottaa. Yksirivinen laakeri ei kestä yhdensuuntaiseroa kuin muutaman kulmaminuutin ulko- ja sisärenkaan välillä ja tästä syystä suuntausvirheen korjaaminen on rajallista. Asennuksen jälkeen laakerin vällys on määritettävissä, joka määräytyy toista aksiaalisuunnassa ohjaavaa laakeria vastaan olevasta tuennasta. Laakerointi onkin rakennuttava aina parittaisesta määrästä

laakereita. Kun laakerointi rakentuu kahdesta yksirivisestä rullalaakerista, pitää ne olla toisiaan vasten tuettu, kunnes haluttu käytön aikainen välys tai esijännitys on saavutettu. Mikäli käytön aikana oleva välys on liian suuri, laakerin kantokykyä ei voida täysin hyödyntää. Jos taas esijännitys on liian korkea, kasvattaa se kitkahäviötä, käyttölämpötila on normaalia korkeampi ja laakerin kestoikä lyhenee. (SKF-yhtymä 1999, 522.) Kuten muillakin laakerityypeillä, tulee yksirivisellä kartiorullalaakerilla olla pieni vähittäiskuormitus, erityisesti suurilla nopeuksilla käytettäessä. Vähimmäiskuormitus ylittyy normaalisti laakeroitavien komponenttien painon avulla. Lisäjännitettä voidaan saada säteissuuntaisella kuormituksella tai tukemalla sisä- tai ulkorenkaat toisiaan vasten. (SKF-yhtymä 1999, 518.)

2.8 Paineakuulalaakeri



Kuva 8. Paineakuulalaakeri (Laakerinetti:n www-sivut 2017)

Yksisuuntainen paineakuulalaakeri on suunniteltu kantamaan aksiaalikuormituksia ja ohjaamaan akselia yhdessä suunnassa. Laakeri ei kestä säteissuuntaista kuormitusta. Laakerissa on akselilaatta, joka koostuu vierintäurasta, kuulasarjasta ja sen pitimestä sekä yhdestä vierintäuralla olevasta pesälaatasta. Pesälaatta voi olla joko pallo- tai tasapintainen. Pallopintainen pesälaatta mahdollistaa paineakuulalaakerin asennuksen aikana syntyvää tai suuntausvirhettä johtuvaa yhdensuuntaiseroa. Yksisuuntainen paineakuulalaakeri ei ole itsestään koossa pysyvä, joten asennus on helpompaa erikseen asennettavien osien ansiosta.

Kaksisuuntainen painekuulalaakeri kantaa aksiaalikuormituksia kumpaankin suuntaan. Jos ne asennettaisiin akselin ohjauslaakeriksi, niiden olisi mahdollista ohjata akselia kumpaankin suuntaan. Laakerissa on akselilaatta, jossa on molemmissa tasopinnoissa yksi vierintäura, kaksi kuulakehää ja kaksi pesäläätä, joihin sisältyy myös on vierintäurat. Kuten yksisuuntaisessa painelaakerissa, pesäläätä voi olla pallo- tai tasopintainen ja pallopintainen pesäläätä mahdollistaa yhdensuuntaiserojen korjauksen. Tasapintainen pesäläätä ei salli yhdensuuntaiseroja, eikä myöskään akselin ja laakeripesän välistä kulmavirhettä. Laakeri ei ole itsestään koossa pysyvä, vaan asennus tapahtuu osissa. Laakerin vaatima vähimmäiskuormitus normaalisti muodostuu laakeroitavien komponenttien omasta painosta.

(SKF-yhtymä 1999, 526.)

2.9 Lieriömäinen painerullalaakeri



Kuva 9. Lieriömäinen painerullalaakeri (Laakerinetti:n [www-sivut](#) 2017.)

Lieriömäisessä painerullalaakerissa on jäykkä rakenne, niiden sysäysvoiman kesto-kyky on erityisen hyvä, eikä se vaadi aksiaalisuunnassa paljoa tilaa. Niiden avulla saadaan aikaan jäykät laakeroinnit, jotka pystyvät kannattelemaan suuria aksiaalikuormituksia. Laakeri on suunniteltu kestäämään kuormituksia vain yhteen suuntaan, joten ne ovat niin sanottuja yksisuuntaisia laakereita. Laakerin rakenne on melko yksinkertainen. Normaalisti lieriömäisen painekuulalaakerin rakenne koostuu akselilaatasta, pesäläatasta ja painerullakehästä. Kun normaalirakenteisen painekuul-

lalaakerin kantokyky ei riitä, käytetään erityisesti silloin lieriömäistä painekuula-laakeria.

Ainoastaan painerullakehiä on mahdollista käyttää laakeroinnissa, kun koneenosien pinnat ovat soveltuvia olemaan vierintäratoina, karkaistavia ja hiottavia. Tämä vähentää laakerin tarvitsemaa tilaa huomattavasti ja samalla laakerin vierintätarkkuus voidaan säilyttää. Tähän vaikuttavat luonnollisesti tehdyn työstön laatu. Laakerin painerullakehässä on muotonsa säilyttävä pidin sekä suuri määrä lieriörullia. Rullien rakenne on päitä kohti mentäessä hieman kaareva, mutta samassa kehässä käytettävien rullien rakenne poikkeaa toisistaan vain nimellisesti. Kaarevuus takaa tasaisen kuormituksen laakeriin ja käyttöikää alentavasta reunajännitykseltä vältytään. Laakeri ei kestä akselin ja laakeripesän välistä yhdensuuntaiseroa. Myös pesän ja akselin on oltava kohtisuorassa toisiaan vasten sekä laakeripesän on tuettava laakerilaattoja koko kehän matkalta ja vierintäradan leveydeltä. Huolimatta rullien vierintä- ja liukuliikkeestä samanaikaisesti, on lieriömäistä painerullalaakeria mahdollista käyttää suurillakin nopeuksilla. Koosta riippumatta laakerille annetun suurimman sallitun käyttönopeuden voi ylittää tietyissä olosuhteissa, jos kierto-voiteluöljyn jäähdytys on tarpeeksi tehokasta. (SKF-yhtymä 1999, 542-543.)

2.10 Paineneulalaakeri



Kuva 10. Paineneulalaakeri (BallRoller-Bearings:n www-sivut 2017.)

Paineneulalaakeri koostuu suuresta määrästä neularullia, joita ohjaa ja pitää koossa jäykkä pidin. Halkaisijaerot neularullien välillä ovat pieniä ja muoto päähän kohti mentäessä hieman kaareva. Tämän ansiosta kuorma jakautuu tasaisesti ilman reuna- ja jännitystä, mikä pidentää laakerin kestoikää. Paineneulalaakerin etuna on kanto-kyky suuria aksiaalikuormituksia kohtaan, eikä se ole erityisen herkkä sysäyskuormituksille. Paineneulalaakerin avulla laakeroinnista saadaan jäykkä, joka ei tarvitse aksiaalisuunnassa paljon tilaa, mikäli neularullakehän avulla vierintäradat voidaan muotoilla laakeriin liittyviin osiin. Yksisuuntaisena laakerina se kannattelee aksiaalikuormituksia vain yhteen suuntaan. Jos laakerointiin liittyvät osat eivät sovi vierintäradoiksi, neularullakehä voidaan yhdistää laakerilaattojen avulla. Tämä järjestelmä luo taloudellisen ja vähän tilaa vievän laakeroinnin useaan eri käyttökohteeseen. (SKF-yhtymä 1999, 566.)

Juoksulaatta on valmistettu karkaistusta kuulalaakeriteräksestä. Vierintärata on hiottu ja reiän sekä vaippapinnan ollessa sorvattu. Juoksulaattaa on mahdollista käyttää akselilaattana, sekä pesälaattana laakeroinneissa. Tämä onnistuu ainoastaan silloin, kun laakerointi ei vaadi laattojen tarkkaa keskitystä tai pyörimisnopeus ei kasva suureksi. Painelaatta on noin millin paksuusluokkaa ja se on valmistettu jousiteräksestä. Painelaattaa käytetään tyypillisesti silloin, kun koneenosat eivät ole sopivia vie-

rintäradoiksi, mutta kuitenkin niiden jäykkyys on riittävä, eikä vierintätarkkuus ole merkittävä osatekijä.

Yhdistetystä vierintä- ja liukuliikkeestä huolimatta neularullissa, paineneulalaakeria on mahdollista käyttää myös suurilla nopeuksilla. Kiertovoiteluöljyn riittävästä jäähtymisestä huolehtiessa, on mahdollista myös ylittää kyseisessä paineneulalaakerityypissä annettu ohjeistusarvo. Akselin ja pesän olakkeiden on oltava kohtisuorassa pyörintäakselia vasten, sekä tuentaa on oltava laakerilaattojen koko kehän matkalta ja vierintäradan koko leveydeltä. Paineneulalaakeri vaatii toimiakseen aina pienen vähimmäiskuormituksen, joka saadaan tyypillisesti aikaan laakeroitavien osien yhteispainosta. (SKF-yhtymä 1999, 567.)

2.11 Pallomaiset painerullalaakerit



Kuva 11. Pallomainen painerullalaakeri (Jokilaakerin [www-sivut](#) 2017.)

Pallomainen painerullalaakeri soveltuu erityisen hyvin muihin painelaakereihin verrattuna kantamaan säteissuuntaisia kuormituksia aksiaalisuuntaisten kuormien lisäksi. Tämä johtuu siitä, että laakerin rullat eivät ole kohtisuorassa akselin kanssa. Toinen tärkeä ominaisuus pallomaisessa paineneulalaakerissa on sen itseasettuvuus, joten se ei ole kovinkaan herkkä akselin mahdolliselle taipumiselle, eikä akselin sekä laakerin pesän väliselle yhdensuuntaiselle. Laakeri ei kuitenkaan ole itsestään koossa pysyvä, joten laakeri on mahdollista asentaa osissa paikalleen. Rullasto koostuu suurista määristä epäsymmetrisiä rullia sekä täsmällisesti muotoillusta vierintäradasta. Tästä syystä laakeri pystyy kannattelemaan suuria kuormia sekä pystyy

toimimaan suurillakin pyörintänopeuksilla. Laakerin kestävä 200°C:en käyttölämpötilan ilman haitallisia mittamuutoksia. (SKF-yhtymä 1999, 643.)

Pallomaista paineulalaakeria valmistetaan kahtena erillaisena rakenteena. Pienimmät koot ovat varustettu metallisella pitimellä, joka yhdistää rullat ja akselilaatan. Muissa laakereissa pidin on messinkinen tai teräksinen, jota akselilaatan reikään kiinnitetty holkki ohjaa. Kokonaisuus muodostuu tässäkin tapauksessa akselilaatasta, pitimestä sekä rullastosta. Rakenteen vuoksi laakeri on voideltava öljyllä. Tietyissä erityistapauksissa voitelu on mahdollista suorittaa myös rasvalla, kuten esimerkiksi silloin, jos laakeria käytetään matalilla kuormituksilla ja pyörimisnopeuksilla. Tällöinkin laakeri on oltava varustettu teräslevystä valmistetuilla pitimillä. Rasvavoitelua käytettäessä, on varmistettava rasvan riittävyys rullien päiden ja laipan välissä. Tyypillisesti tästä saadaan varmuus täyttämällä laakeri rasvalla kokonaan tai riittävällä jälkivoitelulla. Laakerilla on myös aina oltava pieni vähimmäiskuormitus, etenkin suurilla nopeuksilla käytettäessä. (SKF-yhtymä 1999, 645.)

2.12 Liukulaakeri



Kuva 12. Liukulaakeri (Laakerinetti:n www-sivut 2017.)

Tyypillisesti vierintälaakereissa on pintojen välinen kosketuspinta on ainoastaan piste tai viiva, mutta liukulaakereissa kosketuspinta on suuremmalla alueella. Liuku-

laakerin ja akselin välillä pinnat liukuvat toisiaan vasten, minkä vuoksi oikea voitelu on tärkeä liukulaakerin suhteen. Vierintälaakereihin verrattuna liukulaakereilla on useita etuja. Liukulaakerit soveltuvat hyvin suurille nopeuksille, tilantarve on pienempi, soveltuvuus iskumaisiin kuormiin parempi, niillä on hiljaisempi käyntiäni, parempi ulkopuolisen tärinä kesto, laakeri on jäykempi ja etenkin asennus on helpompaa. Heikkoina puolina vierintälaakeriin verrattuna ovat huono käynnistyksen ja pysähdysten kesto, suuri välys, se ei sovellu kahden suunnan kuormitukselle, ei kestä suuria akselivoimia ja liukulaakeri tarvitsee aksiaalisuunnassa tilantarvetta enemmän. Yksinkertaisimmillaan liukulaakerin voi muodostaa holkki, mutta usein laakeri kuitenkin koostuu kahdesta laakerikuoresta, jotka ovat kiinni laakeripesän rungossa ja kannessa.

Kiinnileikkautumisen estämiseksi laakerin ja akselin välinen rajavoitelukalvo on erityisen tärkeä. Alkujaan pinnat eivät ole täydellisen sileät, vaan ajan mittaan kosketuskohtien suuret leikkausjännitykset muokkauttavat pintoja ja näin kiinnitarttumisen mahdollisuus kasvaa. Jotta voitelukalvo muodostuisi, on voiteluaineen ja kappaleen kemiallisilla ominaisuuksilla suuri merkitys. Kalvo voi muodostua joko fysikaalisen absorption, kemiallisen absorption tai kemiallisen reaktion kautta. Fysikaalisessa absorptiossa voitelukalvo on melko heikko, herkkä lämpötiloille ja voitelu pysyy vain pienillä nopeuksilla ja kuormilla. Kemiallisessa absorptiossa voiteluaineen molekyylit on kemiallisesti yhdessä metallipintaan. Voitelupinta voi olla paksuudeltaan 0,005 μm . Tavallisia rajavoitelussa käytettäviä polaarisia molekyylejä ovat rasvahapot, esterit ja saippuat. Kemiallisessa reaktiossa voiteluaine reagoi metallin kanssa muodostaen uuden kappaleen pinnalle uuden yhdisteen. Tyypillisesti voiteluaineeseen on lisätty rikki- ja fosforiyhdisteitä, jotka reagoi metallin kanssa muodostaen siihen suojaavan kalvon. Mikäli toinen materiaaleista on pehmeä, esim. muovia tai alumiinia, on voiteluvaikutus huono. Tästä syystä laakerin tai laakeroitavan on oltava tehty kovasta materiaalista. (Roitto 1983, 1-2.)

3 LAAKERINPESÄT

Laakerinpesät ja vierintälaakerit muodostavat toisiinsa yhdistettyinä laakeriyksikön. Kuten myös laakerien osalta, laakerinpesiä valmistetaan useina eri kokoina sekä rakennemalleina. Tyypillisimpiä laakerinpesiä kuitenkin ovat pysty-, kaksois- sekä laippalaakerinpesät. Laakerinpesiä on tarkoitus käyttää sisätiloissa oleviin laakerointeihin, mutta ulkotiloissa niiden käyttö on myös mahdollista, mikäli suojaus kosteudelta on toteutettu. Laakerinpesien valmistusmateriaalina käytetään valurautaa, pallografiittirautaa ja valuterästä. Laakerinpesiä käytetään muun muassa hihnakuljettimissa, rullateloissa, avovaihteistojen vetoakseleissa, suurissa sähkökoneissa, peräsimen laakeroinneissa sekä potkuriakselin tukilaakeroinneissa. (SKF-yhtymä 1999, 761.)

3.1 Pystylaakeripesät

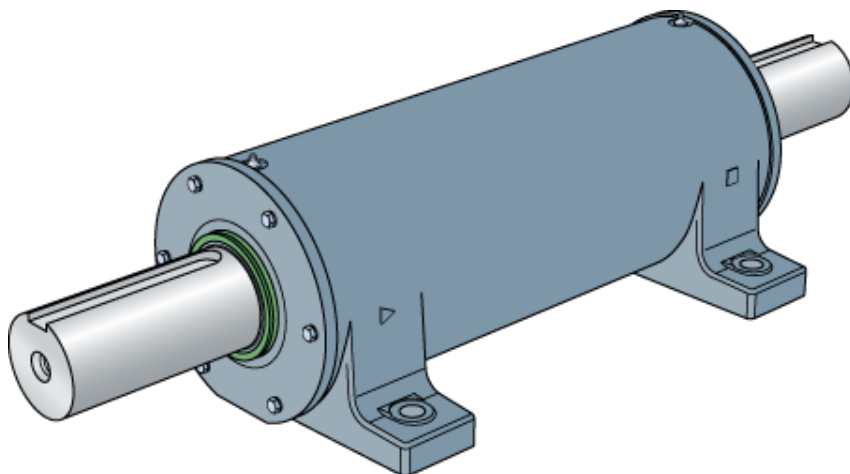


Kuva 13. Pystylaakeripesä (Schaeffler:n www-sivut 2017.)

Pystylaakerinpesän kokoaminen perustuu erityyppisten irrallisten osien yhdistelmille. Näin on siis mahdollista valita kyseiseen käyttötarkoitukseen sopiva laakeri, asennustapa, kuten myös tiivistin- sekä voitelutavat. Kuitenkin perusrungon muoto on kaikilla tyypeillä sama, mutta koko on tarkoituksesta riippuen itse valittavissa. Rungon kiinnitysruuvien avulla laakerinpesä voidaan sovittaa paikoilleen asennuksen aikana. Pesän ylä- ja alapuoliskot yhdistetään toisiinsa ohjaustappien avulla, eikä

toisen samankokoisen laakerin puoliskon asentaminen toiseen on mahdollista. Jokainen laakerinpesä onkin siis omanlainen yksikkönsä. Pystylaakerinpesän kanssa voidaan käyttää pallomaista kuulalaakeria tai pallomaista rullalaakeria. Laakerin ei tarvitse kestää mahdollista aksiaalinsuuntaista liikettä akselissa, sillä liike kohdistuu suoraan laakerinpesään. Laakerille riittää tyypillisesti esiasennuksen aikana lisätty rasvamäärä, mutta erityisen kovissa nopeuksissa, suurilla kuormilla tai korkeissa lämpötiloissa käytettäessä on mahdollista lisätä rasvausnipa tai oma voitelujärjestelmä laakerille. Vapaan laakerin kohdalla on huomioitava mahdollinen aksiaalisuuntainen liike. Tämä on ratkaistu tarpeeksi suurella voitelu-uralla, jotta rasva tai voiteluöljy välittyisi laakerille liikkeestä huolimatta. (SKF-yhtymä 1999, 770-771.)

3.2 Kaksoislaakerinpesät



Kuva 14. Kaksoislaakerinpesä (SKF:n www-sivut 2017.)

Kaksoislaakerinpesää käytettiin alunperin puhaltimien laakeroinnin yhteydessä, joissa akselin toisessa päässä oli asennettuna vauhtipyörä, mutta se soveltuu myös vastaavanlaisiin laakerointeihin. Laakerinpesä on yksiosainen, mutta siinä on kaksi samanaikaisesti koneistettua laakerinsijaa. Laakerinsijat ovatkin keskenään samankeskeisiä. Tästä syystä laakereilla ei voi olla yhdensuuntaiseroa ja jäykkien laakereiden käyttö on mahdollista. Tämän nostaa laakeroinnin vierintätarkkuutta ja antaa tasaisemman käynnin. Pääasiallisesti kaksoislaakerinpesässä käytetään kahta urakuulalaakeria, mutta niiden kanssa voidaan käyttää myös erilaisia yhdistelmiä

viistokuulalaakerien ja lieriörullalaakerien välillä, kuten myös pallomaista kuulalaakeria. Kaksoislaakerinpesän laakerinsijat ovat keskenään eri kokoisia, joten leveämmässä laakerinsijassa on mahdollista käyttää tarvittaessa kahta laakeria.

Laakerinpesä on suunniteltu rasvavoitelua varten. Laakerinpesien molemmissa päissä on paikat voitelunipalle, eikä ylivoitelun vaaraa ole, koska ylimääräinen rasva siirtyy roiskerenkaiden siirtämänä laakerin keskellä olevaan tyhjään tilaan. Mikäli pyörimisnopeudet ovat niin suuret, ettei rasvaa voida käyttää ylikuumentumisen takia, on mahdollisuus käyttää öljyvoideltua kaksoislaakerinpesää. Voitelu suoritetaan kylpyvoiteluna tai kiertoöljyvoiteluna. Kylpyvoitelulla tarkoitetaan öljyn pinnan korkeuden olemista samalla tasolla voideltavien komponenttien kanssa. Erikoisrakennetta on myös mahdollista käyttää, mikäli laakerointi olisi pystysuunnassa. (SKF-yhtymä 1999, 834-835.)

3.3 Laippalaakeripesät



Kuva 15. Laippalaakeripesä (IKH:n www-sivut 2017.)

Laippalaakerinpesät on tarkoitettu kartioreikäisille pallomaisille kuulalaakereille. Akselin halkaisija saa olla 20-100mm ja laippalaakerinpesiä valmistetaan kahtena erilaisina rakenteina, riippuen laakeroitavan akselin paksuudesta. Laakerinsijat on suunniteltu vapaita laakereita varten, joten laakerilla on mahdollisuus liikkua aksi-

aalisuunnassa. Pesässä itsessään tapahtuu mahdollisesta mittavirheestä tai lämpölaajenemisesta johtuva akselin liike. Mikäli laakeria käytetään ohjauslaakerina, pitää laakeriin asentaa ulkorenkaan ja pesän olakkeiden väliin välilaatat tai ohjausrenkaat. Kahta ohjusrengasta käytettäessä, on ne sijoitettava molemmille puolille laakeria.

Ohuempien akselien yhteydessä käytettävää laippalaakerinpesärakennetta käytetään lähtökohtaisesti kohteissa, missä asentaminen ei ole vaikeaa. Pesän sisärenkas pyörii akselin mukana, mutta lukituksen takia sisärenkas on aksiaalisuunnassa lukittu. Vapaat laakerit tyypillisesti kompensoivat mahdollisia liikkeitä akselissa, mitta- tai muotovirheitä tai muita häiritseviä tekijöitä, mitkä voisivat saada sisärenkaan siirtymään akselilta. Laakerinpesät on suunniteltu rasvavoitelua varten ja tyypillisesti ensiasennuksen yhteydessä lisätty voitelurasva on riittävä määrä aina seuraavaan tarkastukseen asti. Mikäli rasvaa lisätään, on huomiotava poistaa vanha rasva ylikuumenemisvaaran vuoksi. Laippalaakeripesän suurin sallittu kuorma määräytyy itse laakerityypin mukaan, mutta myös kansiruuvien lujuudella on merkitystä. Mikäli laakeripesään kohdistuu suuria kuormituksia, voidaan laakerinpesään lisätä ylimääräisiä kannakkeita keventämään kiinnitysruuvien kuormitusta.

(SKF-yhtymä 1999, 844-855.)

4 KÄYTETTÄVÄT MATERIAALIT

4.1 Vierintälaakerit

Materiaalin valinta vaikuttaa suuresti laakerin suorituskykyyn ja luotettavuuteen. Laakerirenkaissa, laatoissa ja vierintäelimissä käytetään teräslaatua, jota on mahdollista karkaista mahdollisemman suuren väsymislujouden ja kulumiskestävyyden saavuttamiseksi. Teräs ei myöskään saa reagoida käyttölämpötilassaan, vaan laakerin kiderakenteen ja mittojen tulee pysyä vakiona. Hyväksytyjen materiaalien välillä ei olla havaittu suuria eroja, vaan määrääviä tekijöitä laakerin kestoa ajatellen ovatkin teräksen puhtaus, oikea valmistusmenetelmä ja laakerin rakenne.

Vierintälaakereissa käytetään usein niin sanottua kuulalaakeriterästä, joka on hiilikromiterästä sisältäen noin yhden prosentin hiiltä ja 1,5% kromia. Poikkileikkauspinta-alaltaan suuret laakerinosat valmistetaan seostetuista teräksistä, joissa on molybdeenia ja mangaania, koska tämä nostaa teräksen karkaisuominaisuuksia. Erilaiset pienet kuona-aineet huonontavat teräksen laatua ja laakerin väsymismurtumia onkin ehkäisty keskittymällä erityisesti teräksen puhtauteen. Vierintälaakereissa on käytetty eniten hiiletysterästä, joka koostuu krominikkeli- tai mangaanikromiteräksestä, jossa on hiiltä noin 0,15%.

Mikäli laakeria käytetään tilassa, jossa on mahdollisesti rakennetta syövyttäviä aineita, valmistetaan laakeri ruostumattomasta kromi- tai kromi-molybdeeniteräksestä. Nämä teräkset eivät ole yhtä kovia verrattaen normaaliin laakeriteräkseen, joten niiden kantokyky on huonompi. Korroosionkestävyys vaatii myös pintojen virheetöntä kiillottamista, eikä myöskään asennuksen yhteydessä ole laakerin pintaan saanut tulla naarmuja tai muita vaurioita. (SKF-yhtymä 1999, 89.)

4.2 Pitimet

Pidin pitää laakerin vierintäelimet oikealla etäisyydellä toisistaan sekä estää vierekkäisten vierintäelmiä koskemasta toisiinsa. Tämä vähentää kitkaa laakerissa ja

näin myös alentaa sen käyttölämpötilaa. Mikäli laakeri ei ole itsestään koossa pysyvä, pitimen tehtävä on pitää vierintäelimet asennuksen tai irroituksen aikana yhdessä. Mekaanisia kuormituksia pitimiä kohtaan vierintälaakereissa muodostaa kitka, sekä jännitys- että hitausvoimat. Lisäkuormituksia tulee myös kemiallisista kuormituksista, kuten voiteluaineesta ja sen lisäaineesta tai vanhenemisen yhteydessä syntyvistä aineista, orgaanisista liottimista ja jäähdytysnesteestä. Pitimen rakenne ja materiaali onkin tärkeä koko laakerin toimintavarmuutta ajatellen. Laakerien vakio-pitimet ovat tyypillisesti messinkiä, mikä on todettu parhaaksi useimmissa käyttöolosuhteissa.

Tietyissä laakerimalleissa, kuten kaksirivisissä urakuulalaakereissa, pallomaisissa kuulalaakereissa, viistokuulalaakereissa ja lieriörullalaakereissa on pitimien valmistusmateriaalina käytetty muotopuristettuja muovipitimiä. Muovina on käytetty lämpöstabiloitua lasikuituvahvisteista polyamidia. Muovin eduksi muodostuu sen lujuus sekä kimmoisuus. Pitimen aiheuttama kitka on hyvin pieni, koska muovilla on hyvät liukuominaisuudet voideltua terästä vasten. Tämä on eduksi etenkin silloin, kun laakeri joutuisi jonkin ajan työskentelemään ilman voitelua, mikä aiheuttaa kiinnileikkautumisen riskin. Muovin alhainen tiheys pitää myös hitausvoimat pieninä. Muovipitimen kanssa on otettava huomioon laakerin käyttölämpötila ja käytettävä voiteluöljy tai -rasva. Pitkäaikainen käyttölämpötilan ylitys aiheuttaa pitimessä vanhenemista ja pitimen toiminnan häiriintymistä. Muovipitimillä käyttölämpötila voi olla enintään 120°C astetta.

Monissa urakuulalaakereissa ja pallomaisissa rullalaakereissa on käytössä teräspitimet. Teräspitimet ovat suhteellisen kevyitä sekä vahvoja ja kitkan, että kulumisen vähentämiseksi teräs karkaistaan ja pintakäsitellään. Suuria teräspitimiä käytetään massiivisissa laakeroinneissa, joissa käyttöolosuhteet aiheuttavat messinkiselle pitimelle ajan mittaan väsymismurtumia. Suurien teräspitimien liukuominaisuuksia voidaan parantaa ja kulumista edelleen vähentää nitrauskarkaisemalla. Teräspitimiä voidaan käyttää aina 300°C asti. Tavalliset voiteluaineet eivät vahingoita teräspitimen rakennetta, mutta mikäli kosteus pääsee vaikuttamaan laakeriin, voi se aiheuttaa korroosiota. (SKF-yhtymä 1999, 90-91.)

4.3 Liukulaakeri

Liukulaakereissa käytetyin materiaali on valkometalli, koska sen pehmeys mahdollistaa laakerin reunapuristuksen ja näin akselin kulumisen vähenee. Valkometallinen laakeri pystyy myös ns. upottamaan itseensä kovempia kulumispartikkeleita, eikä näin vaurioidu välittömästi, mikäli voiteluainekalvo pettäisikin. Pehmeän laakerimateriaalin paineenkesto on huono, eivätkä ne kestä väsymistä yhtä hyvin, kuin kupariseoslaakerit. Kovat lämpötilat aiheuttavat myös lujuuden heikkenemistä. Valkometallin huonoja puolia voidaan ehkäistä käyttämällä sitä ohuina pintoina lujempien ja väsymistä paremmin kestävien materiaalien ympärillä. Laakerin puristumislujuus, väsymislujuus ja käyttöikä näin kasvaa, mutta korkeissa lämpötiloissa ei valkometallia siitäkään huolimatta voi käyttää. Kolmikerroksiset liukulaakerit on todettu kestävimiksi, joissa runkomateriaalina on teräs, välikerros kupari-, alumiini- tai hopeaseosta ja pinta valkometallia. Valkometallikerroksen paksuus on noin 0,020-0,50mm. Yli millin paksuiset kerrokset valmistetaan valaamalla ja ohuemmat sähköpinnoittamalla. Kolmikerroksisen liukulaakerin valmistus on monimutkaista ja täten myös kallista, mikä rajoittaa laakerin käyttöä käytännössä. (Roitto 1983, 8-9.)

Kupariseokset ovat myös tyypillisiä liukulaakerin käyttömateriaaleja, koska sen ominaisuudet vastaa hyvin liukulaakerilta vaadittavia ominaisuuksia. Kupariseosta käytetään itse laakereissa, laakerirungoissa, laakerin kuorissa ja laakerin välikerroksissa. Kupariseokset ovat halvempia ja lujempia kuin valkometallit, joten ne kestävät myös korkeimpia lämpötiloja ja kovempaa kulutusta. Mikäli laakerilta vaaditaan käyttökohteessa hyvää kuivakitkaominaisuutta ja kykyä mukautua reunapuristukseen, on kupariseos valkometallia huonompi. Pienetkin määrät tiettyjä epäpuhtauksia saattavat huonontaa kupariseosten kulumiskestävyyttä, vaikka epäpuhtauksien pitoisuudet olisivatkin sallittujen mittojen sisällä. Yleisimpiä kupariseoksia laakereissa ovat tina-, lyijytina- ja alumiinipronssit. Muista kupariseoksista tyypillisimpiä ovat kupari-lyijy-seokset ja messingit. Kupariseoksista tinapronssilaakerit kestävät kuormituksia hyvin ja niiden väsymiskestävyys on hyvä myös kuluttavissa ja syövyttävissä olosuhteissa. Laakerit tarvitsevat hyvän voitelun, eikä niiden partikkelinhautauskyky ole hyvä. Lyijytinapronssien kuormankestävyys pienenee lyijyn takia, mutta ne ovat silti 30% lyijyä sisältävät seokset ovat kestävämpiä kuin valkometallit. Ne myös kestävät hetken, vaikka voitelukalvo pettäisi laakeroinnista.

Pehmeiden vuoksi ne myös kykenevät mukautumaan reunapuristukseen ja hautaamaan kovia partikkeleita, mutta ei niin hyvin kuin valkometallit. Alumiinipronssiseoksessa on noin 10% alumiinia ja kestävät parhaiten kovaa kulutusta ja korkeita lämpötiloja. Alumiinipronssi vaatii hyvän voitelun, koska sen kitkaominaisuudet ovat huonot ja kovuutensa takia se ei pysty mukautumaan reunapuristukseen eikä myös hautaamaan kuluttavia partikkeleita. Messinki liukulaakereissa sisältää tyypillisesti 60-65% kuparia ja 25-35% sinkkiä. Messinkiset liukulaakerit ovat halpoja, kovia ja lujia, mutta ominaisuuksiltaan melko huonoja. Kovuutensa ja lujuutensa ansiosta ne soveltuvatkin hyvin raskaampaan kuormitukseen. (Roitto 1983, 10-12.)

Alumiiniseoksista valmistetut liukulaakerit soveltuvat käytettäväksi moottoreissa. Pääasiassa niiden käyttö on kuitenkin laakerinkuorissa ja kolmikerroslaakereiden välikerroksissa, mutta kuitenkin myös laakerirungoissa ja laakereissa. Alumiiniseos kestää hyvin syövyttäviä olosuhteita, mutta ne vaativat jatkuvan voitelun. Alumiiniseos on myös kova materiaali, joten se ei pysty mukautumaan reunapuristukseen tai hautaamaan kuluttavia partikkeleita. Teräsrunkoon tuettuna se kuormitettavuudenkesto paranee. Alumiiniseos on myös herkkä lämpölaajenemiselle, mikä saattaa aiheuttaa väärän laakerivälyksen tai laakerikuoren irtoamisen. (Roitto 1983, 12-13.)

Sintrattujen, eli metallijauheesta puristettujen metalliseosten käyttö liukulaakereissa perustuu pieneen huollon tarpeeseen. Laakeriin muodostuu huokosia, jotka täyttyvät voiteluaineella. Huokosia vähentämällä laakerista saadaan lujempi ja sen kuormankestävyys kasvaa. Samalla voiteluainemäärä jää vähäisemmäksi ja oletettu käyttöikä lyhenee. Sintrattua metalliseosta käytetään laakeroinneissa, joissa kuormat ovat pieniä, mutta liukunopeudet kasvavat suuriksi. (Roitto 1983, 13-15.)

Muoviset liukulaakerit voivat toimia voitelemattomina tai voiteluaineena voi olla öljy, rasva tai vesi. Muoviseoksella on myös erityisominaisuuksia, kuten sähköneristyskyky, syöpymiskestävyyttä, iskun-, värähtelyn- ja äänenvaimennuskykyä ja se on materiaalina erittäin kevyt. Muovi on myös erittäin pehmeää, joten se mukautuu reunapuristukseen ja hautaa kuluttavia partikkeleita, mutta myös pystyy mukautumaan akselin liikkeisiin. Muovin työstäminen on halpaa, joten muovisen liukulaakerin hinta ei ole korkea. Muoviseokseos kuitenkin lämpölaajenee paljon,

mikä pitää ottaa huomioon laakeroinnissa, eikä ne sovellu suurille nopeuksille ja paineille. Muoviseoksen lujuutta ja kulumiskestävyyttä on parannettu käyttämällä täyteaineita, kuten lasia ja grafiittia, sisältäviä muoveja tai laakeri on voitu tukea teräsrunkoon. (Roitto 1983, 17-18.)

5 TULOSTEN ARVIOINTI

Laakerointi pitää sisällään laakerin lisäksi myös laakeriin välittyvät osat, kuten akselin, laakeripesän ja voitelujärjestelmän. Laakerinpesän tarkoitus on mahdollistaa sisätilojen laakeroinnit, kuten aluksilla esimerkiksi potkuriakselin kannatinlaakerit. Kuten laakereita, laakerinpesiäkin on saatavilla eri rakenteina ja materiaaleina, riippuen tarvittavista ominaisuuksista. Laakerimalleillakin on jokaisella omat erityisominaisuutensa, eikä voida sanoa, että vain yksi laakeri sopisi vain yhteen kohteeseen. Toisaalta erityisominaisuutensa ansiosta laakeri saattaa sopia tietynlaiseen laakerointiin parhaiten tai juuri sen takia. Esimerkiksi yksirivinen urakuulalaakeri kestää aksiaalista sekä säteistä kuormitusta. Urakuulalaakereissa kitka on vähäistä, joten niitä voi käyttää suurta tarkkuutta ja alhaista äänenvoimakkuutta vaadittavissa laakeroinneissa, kuten pienissä ja keskisuurissa sähkömoottoreissa. Kovien nopeuksien laakeroinnissa, joissa tilaa on vähän, käytetään taas liukulaakeria. Itseasettuva pallomainen rullalaakeri kestää taas kuormitusta hyvin ja sitä käytetäänkin raskaan teollisuuden laakeroinneissa, missä kuormitukset ovat erittäin suuria ja saattavat aiheuttaa suuntausvirheitä tai muodonmuutoksia laakerille.

Kuitenkaan usein on laakerointia suunniteltaessa otettava huomioon monien tekijöiden yhteisvaikutus laakerimallia valittaessa, joten tiettyä ohjetta laakerimallin valinnalle ei voida suoraan tehdä. Listaamalla välttämättömimmät ehdot toimivalle laakeroinnille ja vertailemalla eri laakerityyppejä, voidaan valintaa kuitenkin helpottaa. Merkittävä tekijä laakerointia toteuttaessa on kuitenkin raha ja varastointi, joka antaa reunaehdot valittaville laakereille. Laakerin valintaa helpottamiseksi on tehty alla oleva taulukko, jonka avulla laakeroinnin valitseminen on helpompaa (Taulukko 1.). Taulukosta ei ole mahdollista saada vedenpitävää, koska esimerkiksi viistokuulalaakereista tai kartiorullalaakereista koostuvan laakeroinnin jäykkyyttä säätelee myös käytettävä esijännitys, kuten myös pyörimisnopeuden valintaan vaikuttaa laakerin ja siihen liittyvien osien valmistustarkkuus ja laakerin pitimien rakenne. Liukulaakerin ominaisuuksia taulukoin ainoastaan siltä osin, mihin laakerin materiaalin ominaisuuksilla ei ole vaikutusta.

	Hiljainen käyntiääni	Suuri pyörimisnopeus	Kuormitus	Suuri vierintätarkkuus	Jäyk- kyys	Pieni kitka	Suuntausvirheen korjaus	Ohjaava laakeri	Vapaa laakeri	Aksiaali- siirtmä
Urakuulalaakeri	5	5	3	5	3	5	2	3	2	1
Pallomainen kuula- laakeri	4	4	2	3	2	4	4	2	2	1
Viistokuulalaakeri	4	4	4	5	3	4	2	4	1	1
Lieriörullalaakeri	4	5	1	4	4	4	2	1	5	5
Neulalaakeri	4	5	1	5	5	4	1	1	5	5
Pallomainen rulla- laakeri	3	3	5	3	4	3	4,5	4	3	1
Kartiorullalaakeri	3	3	5	4	4	3	2	3	1	1
Painekuulalaakeri	2	3	1	4	3	3	1	3	1	1
Lieriömäinen pai- nerullalaakeri	2	2	1	4	4	2	1	3	1	1
Paineneulalaakeri	2	2	1	3	4	2	1	3	1	1
Pallomainen paine- rullalaakeri	2	3	3	3	4	3	5	4	1	1
Liukulaakeri	5	5							4	

Taulukko 1. Laakerityyppien vertailukaavio (SKF:n laakerikirja 1999.)

Taulukkoon on kirjattu työssä tarkkailtuja laakerimalleja. Laakerin ominaisuudet kussakin kategoriassa on merkattu arvolla yhdestä viiteen laakerin ominaisuuden mukaan. Yksi tarkoittaa sopimatonta tai haitallista ominaisuutta ja viisi erinomaista. Taulukosta voi huomata, miten eri laakerityypit eroavat perusominaisuuksiltaan toisistaan. Esimerkiksi lieriömäisen painerullalaakerin ja pallomaisen painerullalaakerin suurin ero on ainoastaan suuntausvirheen korjauksessa. Liukulaakerin ominaisuudet perustuvat materiaaliin, joka päätetään kuhunkin laakerointikohteeseen erikseen.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön suunnittelu aloitettiin helmikuussa 2017, jolloin aloin etsimään aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Koska toimeksiantajaa ei työllä ollut, sain vapaat kädet työn suunnitteluun ja analysoitaviin laakereihin. Tutkimussuunnitelmasta poiketen, en keskittynyt ainoastaan aluksilla käytettäviin laakereihin, vaan otin eri laakerityyppejä yleisesti tekniikan parissa käytettävistä laakereista. Opinnäytetyön tarkoituksena oli etenkin lisätä omaa tietämystä laakereista ja tämä ratkaisu toi työhön enemmän syvyyttä ja vertailtavia laakereita, jonka näin olevan hyödyksi itselleni.

Opinnäytetyön tutkimusosa rakentui pääasiassa SKF:n laakerikirjasta, joka toimi pääasiallisena lähteenä. Kirjassa olevaan tietoon lisättiin sekä omaa tietopohjaa sekä työympäristöstä saamaani tietoa. Laakereiden huoltoon en keskittynyt tarkemmin, koska alusten resurssit eivät tyypillisesti salli huoltaa laakereita suurimmalta osin, vaan rikkoutunut laakeri vaihdetaan uuteen. Laakerit ovat kuitenkin yksi suurimmista syistä komponentin, kuten pumpun, rikkoutumiselle ja pidin täten opinnäytetyöaihetta hyvänä lähtökohtana itselleni tulevaisuutta ajatellen.

Opinnäytetyö kehitti itseäni paljon. Aiemmin en laakereihin ollut syvällisemmin tutustunut, enkä ollut edes tietoinen niin monen laakerimallin olemassaolosta. Nyt tunnen tietäväni melko hyvin eri laakerimallien eroavaisuuksia ja miksi kyseistä laakerimallia käytetään juuri kyseisessä laakeroinnissa. Toivon myös, että työni pystyy auttamaan jotain muutakin laakerimallin valinnassa, mutta itseäni työ eritoten kehitti, mikä oli työn pääomainen tarkoituksin. Työ antaa myös jatkokehittämisen aihetta keskittymällä esimerkiksi pelkkään laakerityyppien huoltoon ja kenties sitä kautta kehittämään jo olemassa olevaa järjestelmää.

LÄHTEET

SKF-yhtymä, 1999, SKF laakerikirja

Roitto, K., 1983., Materiaalinvalinta : Liukulaakerit. Meriteollisuuden kustannus : Suomen meriteollisuuden keskusliitto, Helsinki

Schaefflerin www-sivut 2017. Viitattu 6.5.2017. <http://www.schaeffler.fi>

Elfa Distrelec:n www-sivut 2017. Viitattu 6.5.2017. <https://www.elfadistrelec.fi/>

SKF:n www-sivut 2017. Viitattu 6.5.2017. <http://www.skf.com/fi/index.html>

Luoyang LBR Bearing:n www-sivut 2017. Viitattu 8.5.2017.

<http://m.fi.cojinetelbr.com/>

Laakerinetti:n www-sivut 2017. Viitattu 8.5.2017. <http://www.laakerinetti.com/>

Ekomobiili:n www-sivut. Viitattu 8.5.2017. <http://www.ekomobiili.fi/>

IKH:n www-sivut 2017. Viitattu 8.5.2017. <http://www.ikh.fi/fi/>

BallRoller-Bearings:n www-sivut 2017. Viitattu 8.5.2017.

<http://www.ballroller-bearings.com/>

Jokilaakerin www-sivut 2017. Viitattu 8.5.2017. <http://www.jokilaakeri.pulmaton.fi>