

Opinnäytetyö AMK

Tuotantotalouden insinööri

2021

Milly Ilmanen

OPAS LAAKERIN VALINTAAN

– Laakeriteam Oy



Opinnäytetyö AMK | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Tuotantotalouden insinööri

2021 | 52 sivua, 43 liitesivua

Milly Ilmanen

OPAS LAAKERIN VALINTAAN

- Laakeriteam Oy

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on toimia ohjeena laakereiden valinnassa ja soveltaa teknisen alan ja myyjän koulutusta erikoisosaamisalaan. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Laakeriteam Oy, joka on mm. laakereiden ja voimansiirron tuotteiden tukkukauppa.

Laakerit erikoisosaamisalana on laaja ja kirjallisuus vähäistä. Iso osa tiedosta liikkuu asiantuntijaliikkeiden välityksellä. Laakereita on kuitenkin kaikkialla ja niitä on todella paljon erilaisia.

Teoreettisessa osassa käydään läpi yleisimpiä laakereita, niiden ominaisuuksia, rakenteita sekä potentiaalisia käyttökohteita. Opinnäytetyön lopussa syvennyttään enemmän laakereiden valintaan ja pohditaan erikoisosaamisalan vaikutusta asiakaspalveluun ja työn vaativuuteen.

Opinnäytetyö tarjoaa yleisen katsauksen laakereihin ja niiden valitsemiseen. Lisäkouluttautuminen edesauttaa laakereiden tuntemusta ja tukee opittua.

Asiasanat:

laakeri, suojaus, rakenne, toleranssi, välys

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Industrial Management and Engineering

2021 | 52 sivua, 43 liitesivua

Milly Ilmanen

GUIDE TO BEARING SELECTION

- Laakeriteam Oy

The purpose of this Bachelor's thesis is to serve as a guide in the selection of bearings and to apply the training of the technical field and the salesperson to the field of special expertise. The thesis is commissioned by Laakeriteam Oy, which is e.g. wholesaler of bearings and transmission products.

Bearings as a special expertise is wide and there is only slight amount of literature. Big part of the information moves through special enterprises. However, bearings are everywhere and they have a lot of differences as compared to others.

The theoretical part reviews the most common bearings, their properties, structures and potential applications. At the end of the thesis we deepen into how to select right bearings. Then we focus on how this field of expertise affects to customer service and how demanding nature of the work will be considered.

The thesis provides a general overview of bearings and how to select right one. Further training contributes to the knowledge of the bearings and supports what has been learned before.

Keywords:

bearings, seals, structure, tolerance, clearance

Sisältö

1 JOHDANTO	6
2 YLEISTÄ	8
2.1 Vierintälaakerit	8
2.2 Liukulaakerit	9
2.3 Säteis- ja aksiaalilaakerit	9
2.4 Laakereiden rakenne	10
2.5 Sisäinen välys ja toleranssit	12
3 LAAKERITYYPIT	14
3.1 Urakuulalaakerit	15
3.2 Pallomaiset kuulalaakerit	16
3.3 Pallomaiset rullalaakerit	17
3.4 Lieriörullalaakerit	18
3.5 Neulalaakerit	21
3.6 Kartiorullalaakerit	22
3.7 Viistokuulalaakerit	23
3.8 Y-laakerit	26
3.9 Paineakuulalaakerit	30
3.10 Painelieriörullalaakeri	31
3.11 Paineneulalaakerit	32
3.12 Liukulaakerit	33
4 LAAKERIPESÄT	38
4.1 Y-laakeripesät	38
4.2 Halkaistavat pesät	42
5 LAAKERIN VALITSEMINEN	46
5.1 Kaava	46
5.2 Laakerit erikoisosaamisalana	47
6 YHTEENVETO JA POHDINTA	51

Liitteet

Liite 1. Opas laakerin valintaan, Laakeriteam Oy.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoitus on toimia ohjeena laakereiden valinnassa. Laakereiden myynti on oma erikoisosaamisalansa, joka vaatii myyjältä laakereiden hyvää tuntemusta. Opinnäytetyössä sovelletaan tekniikan alan myyjän koulutusta erikoisosaamisalaan, eli laakereihin ja niiden myymiseen. Opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Laakeriteam Oy:lle.

Laakerit ovat maailman liikuttavin osa, sillä niitä on lähes kaikkialla, aina polkupyörästä suuriin teollisuuspumppuihin asti. Laakereiden tärkeimpiin tehtäviin kuuluu liikkuvan tai pyörivän kappaleen tukeminen ja ohjaaminen. Mitä vähemmän kitkaa liikkeestä aiheutuu, sen sujuvammin laakeri hoitaa tehtävänsä. Laakerit myös siirtävät eri kokoisia kuormia eri laitekomponenttien välillä, esimerkiksi akselin avulla. Suurimpina haasteina on laakereiden erilaisuus ja paljous sekä vähäinen kirjallisuuden määrä. Suomenkielistä kirjallisuutta laakereista on saatavilla todella vähän, eikä sitä välttämättä ole kaikkien saatavilla. Englanniksi tietoa löytyy jo enemmän.

Opinnäytetyön tavoitteena on avustaa työntekijää oikean laakerin valinnassa tiettyyn kohteeseen. Työssä tutustutaan yleisimpiin laakerityyppeihin ja käsitellään esimerkiksi niiden rakennetta, ominaisuuksia ja erilaisia käyttökohteita. Nämä on pyritty tuomaan esille niin, ettei lukijalla tarvitse olla aikaisempaa tietoa laakereista ymmärtääkseen lukemaansa. Lopussa syvennytään enemmän laakerin valitsemisen perusteisiin, kuinka valitaan oikeanlainen laakeri asiakkaalle, mitä siinä täytyy ottaa huomioon ja mitä erikoisosaamisala vaatii työntekijältä. Opinnäytetyön tuloksena syntynyt opas laakerin valintaan löytyy liitteenä.

Toimeksiantajani Laakeriteam Oy on 2003 perustettu tekninen tukkukauppa, jossa myydään laadukkaita laakereita ja -pesiä sekä lisäksi myös voimansiirron tuotteita, tiivisteitä, rasvoja, sähkö- ja käsityökaluja, hiomatarvikkeita sekä liimoja. Asiakkaina ovat mm. erilaiset konepajat, kunnossapitoyritykset, valmistava teollisuus ja maatalousyrittäjät ympäri Suomen. Laakeriteamilla

panostetaan laadukkaisiin tuotteisiin, kilpailukykyisiin hintoihin, varmoihin toimituksiin sekä hyvään varastovalikoimaan. (Laakeriteam Oy, 2021.)

2 YLEISTÄ

Laakereita on räätälöity erilaisiin käyttötarkoituksiin, sillä käyttökohteiden tarvitsema liike ja tuki voivat olla hyvin erilaisia toisiinsa nähden. Voidaan verrata esimerkiksi urakuulalaakeria ja liukulaakeria keskenään. Urakuulalaakeria voidaan käyttää esimerkiksi puhaltimissa, jossa se saa paljon kierroksia ja on täten suurella rasituksella. Liukulaakereita taas voidaan käyttää esimerkiksi staattisessa ja dynaamisessa kuormituksessa, jolloin ne eivät edes välttämättä liiku kokonaista kierrosta samalla tavalla kuin perus urakuulalaakerit.

Ensimmäinen perussääntö on, että laakerit ovat kuluvia koneen osia ja ne on suunniteltu vaihdettaviksi. Ne suojaavat konetta suuremmalta rikkoutumiselta, samaan tapaan kuin sulake sähkölaitteita. Voidaan myös ajatella, että yleisimmät laakerit voidaan jakaa vierintä- ja liukulaakereihin. Vierintälaakerit voidaan jakaa vielä kuula- ja rullalaakereihin tai sitten säteis- ja aksiaalilaakereihin. Laakereista on useita erilaisia variaatioita, jotka koostuvat erilaisista komponenteista.

2.1 Vierintälaakerit

Vierintälaakereiksi kutsutaan kaikkia laakereita, joissa on vierintäelementti. Vierintäelementteinä voi olla esimerkiksi kuulia tai rullia, joista syntyy vierimiskitkaa. Ne tarjoavat suuren tarkkuuden, alhaisen kitkan ja suuret kierrosnopeudet.

Kuulalaakerit käyttävät pistekontaktia laakerin vierintäpintoihin, jolloin kitka on hyvin pientä ja laakeri liikkuu vaivattomammin. Kaikki kuorma kohdistuu vain yhteen pisteeseen. Nämä laakerit sopivat hyvin suuriin kierrosnopeuksiin, mutta eivät kestä suurta kuormaa. Tällaisia ovat esimerkiksi urakuulalaakerit, viistokuulalaakerit, pallomaiset kuulalaakerit, painekuulalaakerit sekä Y-laakerit.

Rullalaakerit hyödyntävät linjakontaktia laakerin vierintäpintoja vasten. Kun kontaktipinta on näin suuri, syntyy enemmän kitkaa kuin kuulalaakereilla, mutta samalla kuorman kesto paranee. Suuremman kitkan syntymisen johdosta nämä laakerit eivät kestä suuria kierrosnopeuksia. Tällaisia ovat esimerkiksi lieriörullalaakerit, kartiorullalaakerit sekä pallomaiset rullalaakerit.

2.2 Liukulaakerit

Liukulaakereiksi kutsutaan laakereita, joissa ei ole erillistä vierintäelementtiä. Niiden ulkomuoto muistuttaa holkkia ja niiden liike perustuu liukukitkaan. Kuten vierintälaakereita, näitä voidaan myös tehdä erilaisista materiaaleista ja niitä voi pinnoittaa erilaisilla aineilla. Liukulaakereihin kuuluvat myös nivellaakerit. Liukulaakereihin tutustutaan tarkemmin myöhemmin.

2.3 Säteis- ja aksiaalilaakerit

Säteislaakereiden kuormitus kohdistuu akselia vasten 90 asteen kulmassa, eli kohtisuorassa akseliin nähden. Suurin osa laakereista pystyy ottamaan vastaan säteis- tai yhdistelmäkuormituksia. Tästä hyvänä esimerkkinä urakuulalaakerit, jotka kestävät säteiskuorman lisäksi myös vähän aksiaalista kuormitusta. Aksiaalilaakereiden kuormitus tulee samassa linjassa akselin kanssa. Aksiaalista kuormaa kestäviä laakereita ovat esimerkiksi painekuula- ja lieriörullalaakerit.

2.4 Laakereiden rakenne



Kuva 1. Suojatun urakuulalaakerin rakenne. (SKF-yhtymä 2021)

Pääosin laakerit koostuvat sisä- ja ulkokehistä, vierintäelimistä, pitimestä, rasvasta ja tiivisteistä. Sisä- ja ulkokehä on yleisimmin valmistettu karkaistusta teräksestä, jotta se kestäisi kontaktialueen paineen. Joskus erilaiset olosuhteet vaativat muiden materiaalien käyttöä, esimerkiksi ruostumatonta terästä tai kuumiin olosuhteisiin tarvittavaa erikoisvalmisteista terästä. Näihin on myös mahdollista saada erilaisia pinnoitteita esimerkiksi estämään sähkövirran läpivirtaamista. Vierintäelimenä toimivat usein kuulat tai rullat, joiden tehtävänä on välittää ja jakaa kuormaa sisä- ja ulkokehien välillä. Niiden on tarkoitus vieriä laakerin kehien välillä, jolloin laakerin kitka on mahdollisimman pieni ja kulkeminen sujuvaa. Vierintäelimien valmistuksessa käytetään usein samaa materiaalia, kuin laakerin sisä- ja ulkokehissä. Näistä poikkeuksena esimerkiksi keraamiset kuulat, jotka estävät sähkön läpipääsemistä. Pidin erottelee vierintäelimet toisistaan tasaisesti, jotta kuorma välittyisi tasaisesti. Se edesauttaa kitkan vähentämisessä, jolloin laakeri ei lämpeä liikaa. Myös pitimien materiaali on usein terästä. Muita pitimessä käytettäviä materiaaleja ovat esimerkiksi messinki tai erilaiset polymeerit. (JTEKT-yhtymä 2021.)



Kuva 2. Kumi- ja peltitiivistetyt urakuulalaakerit. (SKF-yhtymä 2021)

Tiivisteiden tarkoitus on pitää rasva sisällä ja lika ulkona. Useimmiten laakerien käyttökohteet altistuvat kaikenlaiselle lialle, jolloin tiivisteet ovat tarvittava ratkaisu pidentämään laakerin käyttöikää. Tiivisteitä on monenlaisiin käyttötarkoituksiin, mutta useimmiten ne valmistetaan joko nitrilikumista tai teräksestä. Tiivistetyt eli suojatut laakerit ovat kestovoideltuja, sillä laakerit tarvitsevat rasvaa pysyäkseen hyvänä. Rasva hillitsee liikkeestä muodostuvaa kitkaa sekä kulumista ja pienentää laakerin opeointilämpötilaa. Nitrilikumitiivisteet ovat hankaavia tiivisteitä, eli tiivisteiden ulkoreunat ovat kontaktissa laakerin sisä- ja ulkokehiin. Tästä syntyy hieman kitkaa ja lämpöä, jolloin näillä laakereilla on pienemmät kierrosnopeudet kuin terässuojatuilla. Kumitiivisteet ovat usein merkitty jälkimerkinnällä RS. Teräslevyllä suojattuja laakereita käytetään paikoissa, joissa lika ei ole niin suuri ongelma ja suuria kierrosnopeuksia tarvitaan. Terässuojat ovat kiinni laakerin ulkokehässä, mutta muodostavat sisäkehään pienen raon. Tällöin tiiviste ei ole kontaktissa sisäkehään, eikä kitkaa tai lämpöä synny samalla tavalla kuin kumitiivisteissä. Tulee kuitenkin huomioida, että tällöin myös mahdollinen lika voi päästä laakeriin helpommin kuin kumisuojatuissa. Terässuojat ovat yleensä merkitty jälkimerkinnällä Z. (Laakeriteam, 2021.)

2.5 Sisäinen välys ja toleranssit

Laakereilla on sisäinen välys, jota pystytään mittaamaan esimerkiksi valmistuksen jälkeen siihen tarkoitettulla työkalulla. Sisäinen välys määritellään kokonaisvälimatalla siten, kuinka paljon toista kehää voi liikuttaa säteissuunnassa suhteessa toiseen. Eli puhutaan ns. laakerin sisällä olevasta tilasta kuulien ja kehien välillä. Yleisimmin välilyokkina käytetään kuutta eri luokkaa. Tavallisen laakerin välys on luokkien kaksi ja kolme välissä. SKF merkitsee näitä luokkia kirjaimella C ja numerolla, riippuen siitä onko kyse normaalia pienemmästä vai suuremmasta välyksestä. SKF merkitsee taulukossa tavallista välystä merkinnällä CN. Kyseistä merkintää ei kuitenkaan yleensä itse laakereissa tai niiden paketeissa lue. (SKF-yhtymä 2021.)

Alla olevasta taulukosta nähdään, että esimerkiksi C2 tarkoittaa normaalia pienempää välystä (eli säteissuuntainen tila on pienempi) kun taas C3 normaalia suurempaa välystä (säteissuuntainen tila suurempi). C3-välyksellä tehtyjä laakereita käytetään yleensä erilaisissa sähkömoottoreissa ja puhaltimissa, jotka saavat paljon kierroksia. Tästä johtuen laakerin kuulat lämpeävät enemmän ja tarvitsevat lisää tilaa laajentuakseen. C3-välyksen laakereissa kuulilla on hieman normaalia enemmän tilaa lämpölaajenemiseen. C4-välyksellä varustettuja laakereita taas käytetään erilaisissa murskissa ja täryissä. (SKF-yhtymä 2021.)

ISO clearance class	SKF designation suffix	Internal clearance
-	C1	Smaller than C2
Group 2	C2	Smaller than Normal
Group N	-	Normal
Group 3	C3	Greater than Normal
Group 4	C4	Greater than C3
Group 5	C5	Greater than C4

Kuva 3. Taulukko välilyluokista. (SKF-yhtymä 2021)

Laakerit valmistetaan tiettyjen toleranssien puitteissa. Tämä tarkoittaa sitä, että normaalin välilyksen laakerit valmistetaan tietyllä toleranssilla, joka voi ristetä C3-välilyksellisten laakereiden toleranssin kanssa. Eli voidaan ajatella, että tavallisella välilyksellä valmistetun laakerin välilyks saattaa hyvällä tuurilla olla yhtä suuri kuin C3-välilyksellä valmistetulla laakerilla. Yleensä kuitenkin vanhan C3-välilyksisen laakerin tilalle otetaan uusi C3-välilyksinen laakeri, jotta voidaan olla varmoja laakerin toiminnasta juuri kyseisessä kohteessa. Mikäli vanhassa laakerissa ei ole ollut normaalia isompaa välilyksä, voidaan sen tilalle ottaa laakeri isommalla välilyksellä. Toisin päin ei kuitenkaan kannata tehdä. (SKF-yhtymä 2021.)

Yllä olevasta kuvasta voidaan päätellä, että laakerit on nimetty numerokoodien mukaisesti. Jokaisella laakerityypillä on oma vastaava numeronsa, jotka pätevät yleisesti merkkien välillä, esimerkiksi 6-sarjan laakerit ovat yleensä urakuulalaakereita. Ensimmäinen numero koodista kertoo siis usein laakerin tyypin. Koodin seuraavat numerot kertovat mittasarjan ja viimeiset numerot akselin koon, kun numeron kertoo viidellä. Jotkut numerosarjat ovat vain nelinumeroisia ja toiset pidempiä, nämä vaikuttavat hieman mittatietojen käsittelyyn. (SKF-yhtymä 2016, 23.)

3.1 Urakuulalaakerit



Kuva 5. Yksirivinen peltisuojaattu urakuulalaakeri. (SKF-yhtymä 2021)

Urakuulalaakerit sopivat kohteisiin, joissa tarvitaan suuria kierrosnopeuksia, vähäistä kitkaa sekä hiljaista käyntiääntä. Urakuulalaakerit ovat hyviä tuotteisiin, joille halutaan pienet kokonaiskustannukset. Yleisimpiä käyttökohteita ovatkin sähkömoottorit, maatalouskoneet, kuljettimet, pumput sekä tuulettimet. Urakuulalaakereita on saatavilla joko yksi- tai kaksirivisenä. Yksiriviset ovat vankkoja, monipuolisia ja ekonomisia. Näiden ominaisuuksien ansiosta ne onkin kaikkein käytetyin laakerityyppi. Kaksiriviset urakuulalaakerit kestävät edellä

mainittujen ominaisuuksien lisäksi myös enemmän kuormaa, suuremman kuulamäärän vuoksi.

Urakuulalaakerit ovat itsekseen koossa pysyviä ja ne vastaanottavat pääasiassa säteis- mutta myös aksiaalikuormia. Sisä- ja ulkokehissä on vierintäurat, joita pitkin kuulat vierivät. Rakenteensa vuoksi ne eivät kestä linjausvirheitä lainkaan. Urakuulalaakereita saa avoimena sekä suojattuina joko kumi- tai terässuojalla. Avoimet vaativat säännöllistä rasvaamista ja suojatut ovat kestopoideltuja. Urakuulalaakereiden pitimet ovat usein valmistettu teräksestä, messingistä tai polyamidista. Teräs kestää suurta kuormaa ja on edullinen valmistaa. Messinkinen vähentää kontaktipainetta, kestää tärähdyksiä ja iskuja sekä on itsestään voiteleva, mutta kalliimpi vaihtoehto. Polyamidipidin on kaikkein kevyin ja täten mahdollistaa suuremmat kierrosnopeudet, mutta ei kestä yhtä suuria kuormia kuin teräksinen tai messinkinen. Urakuulalaakereita saa myös poikkeavilla rakenteilla, kuten lukkorengaalla tai laipalla varustettuina. Lukkorengaalla saa laakerin kätevästi sijoitettua tai lukittua tiettyyn kohtaan. Nämä laakerit on varustettu jälkimerkinnällä NR, jossa N tarkoittaa lukkorengasuraa ja R lukkorengasta. (SKF-yhtymä 2018, 241.)

3.2 Pallomaiset kuulalaakerit



Kuva 6. Avoin pallomainen kuulalaakeri. (SKF-yhtymä 2021)

Pallomaisilla kuulalaakereilla on kaksi riviä kuulia ja laakerin ulkokehän sisäpuolinen vierintärata on pallomainen ja yhtenäinen. Sisäkehällä vierintäradalla on kaksi erillistä vierintäuraa. Erilliset vierintäurat sisä- ja ulkokehillä mahdollistavat laakerin mukailun erilaisiin linjausvirheisiin. Kyseiset laakerit kestävät enemmän säteis- kuin aksiaalikuormaa. Pallomaiset kuulalaakerit soveltuvat hyvin kohteisiin, joissa on suuria kuormia ja kierrosnopeuksia. Näitä käytetään yleensä teollisuustuulettimissa, maatalous- ja paperikoneissa. Laakereita voidaan asentaa myös halkaistaviin pesiin, joita käsitellään myöhemmin opinnäytetyössä. (SKF-yhtymä 2018, 242-244.)

Pallomaiset kuulalaakerit muodostavat kaikkein vähiten kitkaa verrattuna muihin vierintälaakereihin. Tämä mahdollistaa alhaiset operointilämpötilat myös korkeilla kierroksilla, jonka ansiosta laakerit kestävät käyttökohteissa pidempään. Laakereita saa avoimena tai tiivistettyinä kumi- tai terässuojilla. Pallomaisia kuulalaakereita on mahdollista saada myös lieriömäisellä tai kartiomaisella sisäkehällä käyttökohteesta riippuen. (SKF-yhtymä 2018, 242-244.)

3.3 Pallomaiset rullalaakerit



Kuva 7. Avoin pallomainen rullalaakeri. (SKF-yhtymä 2021)

Pallomaiset rullalaakerit on suunniteltu erityisesti kohteisiin, joissa laakeroinnin täytyy kantaa suuria kuormia säteis- ja aksiaalisuunnassa. Ne on tehty kestämään myös sykäyksittäin tulevia shokkikuormia. Laakerin sisäinen muotoilu mahdollistaa laakerin mukailun erilaisiin linjausvirheisiin. Yleisimpiä käyttökohteita ovat kuljettimet, jalostustekniikan laitteistot sekä paperikoneet. Pallomaisia rullalaakereita voidaan pallomaisten kuulalaakereiden tavoin asentaa myös halkaistaviin laakeripesiin. (SKF-yhtymä 1991, 459-461.)

Pallomaisilla rullalaakereilla on kaksi symmetristä riviä rullia. Rullien pitkät sivut on tehty hieman kaareviksi, jotta ne kulkevat hyvin laakerin ulkokehän pallomaista sisäpuolista vierintärataa pitkin. Sisäkehän vierintärata on kaksiosainen ja vastaa rullien muotoa. Pallomaisia rullalaakereita saa avoimena sekä tiivistettyinä, joista kuitenkin avoimet ovat yleisempiä. Niiden sisäkehä voi käyttökohteesta riippuen olla joko lieriömäinen tai kartiomainen. Laakereita voidaan räätälöidä vastaamaan käyttökohteen vaatimuksia esimerkiksi pitimen materiaalia muuttamalla, erilaisilla voiteluratkaisuilla tai lisäosilla. (SKF-yhtymä 1991, 459-461.)

3.4 Lieriörullalaakerit



Kuva 8. Yksirivinen lieriörullalaakeri ja täysrullalaakeri. (Schaeffler 2021)

Lieriörullalaakereita on saatavilla yksi tai kaksirivisinä ja niiden rakenteet voivat erota toisistaan. Tyypillisimmät mallit ovat pitimillä varustettuja yksi- tai kaksirivisiä täysrullalaakereita tai ristirullalaakereita. Lieriörullalaakerit kestävät suuria kuormia, pyörimisnopeuksia sekä säteiskuorman kantamista. Laakereita käytetäänkin yleensä erilaisissa työstö- ja valssauskoneissa. Raskaammissa laakeroinneissa käytetään usein useampirivisiä lieriörullalaakereita, niiden suuremman kuorman kantavuuden vuoksi. (SKF-yhtymä 1991, 329-330)

Lieriörullalaakerit koostuvat muiden laakerien tapaan sisä- ja ulkokehistä, vierintäelementeistä, pitimestä ja tiivisteistä. Vierintäelementit ja niiden pidin on irrotettavissa laakerista, mikäli se on laipallinen malli. Kiinteälaippaisen laakerin laakerirengas on irrotettavissa toisesta laakerirenkaasta pitimen ja rullien kanssa, joka helpottaa esimerkiksi laakerin asennusta paikoilleen. Kiinteälaippaisten lieriörullalaakerien rakenteet voivat erota toisistaan esimerkiksi seuraavasti: ulkokehässä on kaksi kiinteää laippaa ja sisäkehä on laipaton, kun taas toisella mallilla on sisäkehällä kaksi kiinteää laippaa ja ulkokehä on laipaton. Tämä mahdollistaa aksiaalsiirtymän laakeripesästä katsottuna molempiin suuntiin, eli lämpötilanmuutoksista aiheutuvan pituuden muutoksesta johtuvan liikkeen. Toisessa mallissa ulkokehällä on kaksi kiinteää laippaa ja sisäkehässä yksi kiinteä laippa, jolloin sitä voidaan ohjata aksiaalisesti vain toiseen suuntaan. Yksirivisiä lieriörullalaakereita on myös useita muita malleja, jotka eroavat toisistaan kiinteillä ja irrallisilla laipoilla sekä akselin laajenemissuunnalla. (SKF-yhtymä 1991, 330-331.)



Kuva 9. Täysrullainen lieriörullalaakeri. (SKF-yhtymä 2021)

Lieriömäisiin rullalaakereihin kuuluva alalaji, täysrullalaakeri toimii ilman pidintä ja siihen on asennettu niin paljon rullia, kuin vain on mahdollista. Laakerilla on erittäin suuri säteiskantokyky, joka mahdollistaa laakerin käytön ahtaissaakin laakeroinneissa. Sen pyörimisnopeus jää suuremman rullamäärän takia matalammaksi kuin tavallisilla lieriörullalaakereilla ja vierekkäiset rullat liikkuvat toisiinsa nähden vastakkaisiin suuntiin, sillä niiden vierintäradat ovat suoraan kosketuksessa toisiinsa. Rullien kitka on suurempi verrattuna tavallisiin lieriörullalaakereihin, kun voiteluainekalvo ei pääse muodostumaan. Näitä laakereita on myös eri mallisina, mutta yleensä ne mahdollistavat akselin liikkumisen vain yhteen suuntaan. Laakereita saa myös kaksirivisenä, jolloin laakerit kestävät suurempaa kuormitusta. (SKF-yhtymä 1991, 374-375.)

Lieriömäiset ristirullalaakerit ovat lieriörullalaakereiden alalaji, joiden sisä- ja ulkorenkaiden vierintäradat ovat omaan geometriseen akseliinsa nähden 45° kulmassa. Rullat on asennettu 90° kulmaan vuorotellen toisiinsa nähden ja niiden halkaisija on suurempi kuin niiden pituus. Tämä mahdollistaa laakerin säteis- ja aksiaalikuormituksen keston molempiin suuntiin sekä kippimomentin. Laakerit mahdollistavat suurien kuormien kantamisen ahtaissa käyttökohteissa, joissa akselin halkaisija on suhteellisen suuri. Yksirivisiä ristirullalaakereita

valmistetaan vakiorakenteisten lisäksi myös eri rakenteilla. (SKF-yhtymä 1991, 402.)

3.5 Neulalaakerit



Kuva 10. Neulalaakeri. (SKF-yhtymä 2021)

Neulalaakerit ovat rullalaakereita, jotka koostuvat vähintään pitimestä ja kapeista rullista. Lieriömäisiä pieniä rullia kutsutaan neuloiksi, joiden vaippapinta on hieman kaareva mahdollistaen neularullien ja vierintä ratojen välisen joustavan kosketuksen. Neularullat ottavat viivakosketuksen vierintä ratoihin, jolloin estetään mahdolliset reunakuormitukset ja niillä on suuri kuormankantokyky, matalasta poikkileikkauskorkeudestaan huolimatta. Tämän ansiosta ne soveltuvat hyvin laakerointeihin, joissa on rajoitettu säteittäistä tilaa. (SKF-yhtymä 1991, 415-416.)

Neulalaakereita on useita erilaisia yhdistelmiä, esimerkiksi neularullaholkit, joiden päät voivat olla avoimia tai suljettuja. Niitä on saatavilla myös tiivistettyinä tai ilman tiivistystä ja sisärenkaan kanssa tai ilman sitä. Neularullaholkeissa on ohut teräslevystä puristettu ulkorengas, jolloin ne ovat matalia poikkileikkauskorkeudeltaan ja niitä käytetään pääsääntöisesti kompakteissa ja

taloudellisissa laakeroinneissa. Neularullaholkkeja käytetään yleensä ilman sisärengasta, pois lukien, kun kyseessä on työstämätön tai karkaisematon akseli. Neularullaholkkeja voidaan asentaa pareittain, mikäli tarvitaan parempaa kuormankestävyyttä, jolloin kaksi neularullaholkkia kiinnitetään toisiinsa ja niiden rullastoilla pitää olla sama poikkeama kyseisestä sisähalkaisijasta. (SKF-yhtymä 1991, 415-416.)

3.6 Kartiorullalaakerit

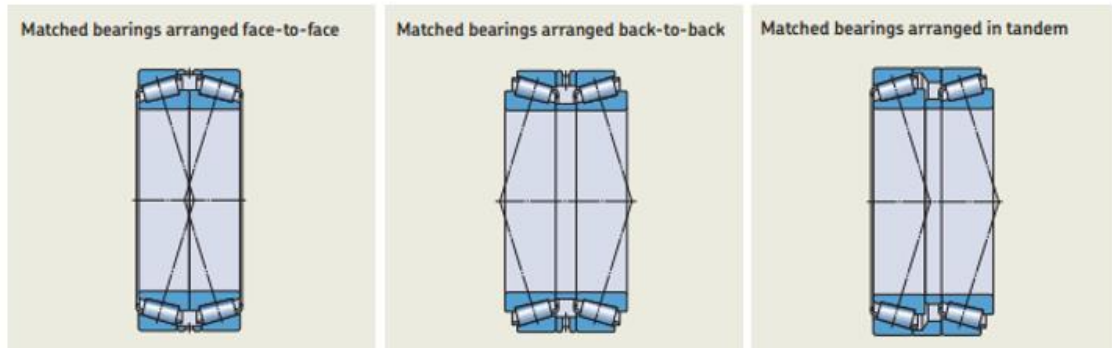


Kuva 11. Kartiorullalaakerin rakenne. (SKF-yhtymä 2021)

Kartiorullalaakereita saa joko yksi- tai kaksirivisenä, joista yksiriviset ovat käytetympi malli. Rullat mahdollistavat suuremman jäykkyyden ja paremman kuorman keston kuin kuulalaakereiden kuulat. Kartiorullalaakerit kestävät siis suuria kuormia, mutta eivät suuria kierrosnopeuksia. Yksin asennettuna kartiorullalaakerit kestävät aksiaalista kuormaa vain yhdestä suunnasta, kun taas pareittain asennettuina ne voivat kestää yhdistelmäkuormitusta useammasta suunnasta. Kartiorullalaakereiden yleisimpiä käyttökohteita ovat esimerkiksi erilaiset trailerit ja vaihdelaatikot. (SKF-yhtymä 1991, 515-516.)

Kartiorullalaakerit koostuvat muiden laakerien tapaan sisä- ja ulkokehistä, pitimestä ja rullista. Ne ovat yleensä avoimia, sillä niiden sisäkehä on kartion mallinen, jolloin laakeri ei pysy itsestään kasassa. Tämä mahdollistaa laakerin

asentamisen esijännitykseen, eli kuinka kireälle laakeri asennetaan. (SKF-yhtymä 1991, 515-516.)



Kuva 12. Kartiorullalaakereiden pareittain asentaminen eri asetelmiin. (SKF-yhtymä 2016)

Kartiorullalaakerit asennetaan yleensä peilikuvaksi toisilleen, eli X- tai O-asetelmaan, mutta tandemasetelma (jossa laakerit ovat samoin päin) on myös mahdollinen. Pareittain asennettavia kartiorullalaakereita ei ole merkitty erikseen, ja ne ovat yleensä eri kokoisia keskenään. (SKF-yhtymä 1991, 586-587.)

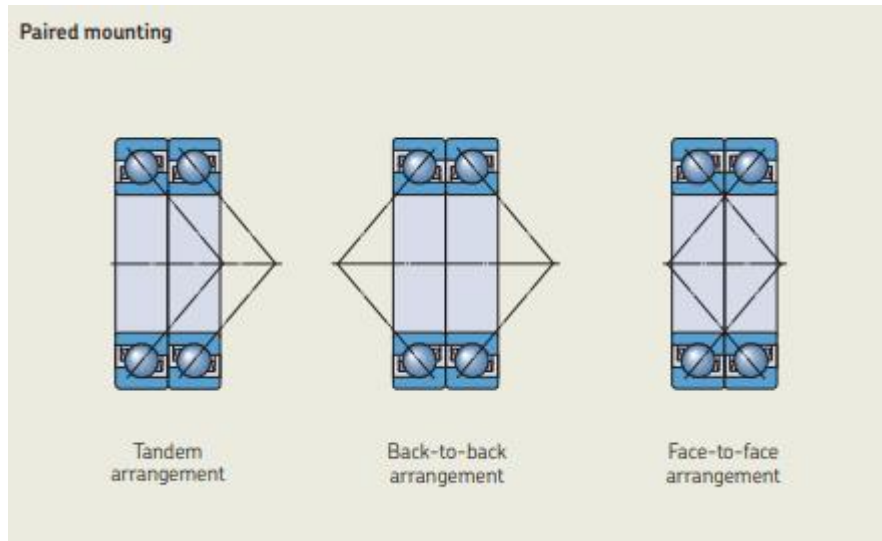
3.7 Viistokuulalaakerit



Kuva 13. Yksi- ja kaksirivinen viistokuulalaakeri. (SKF-yhtymä 2021)

Viistokuulalaakerit ovat samankaltaisia kuin kartiorullalaakerit. Niitä käytetään esimerkiksi kompressoreissa, erilaisissa pumpuissa ja teollisuustuulettimissa. Niitä saa yksittäin ja pareittain asennettavina. Yksittäin asennettavat kestävät säteiskuorman lisäksi aksiaalista kuormitusta vain yhdestä suunnasta, kun taas pareittain asennettavat yhteen asennettuina enemmän kuormaa yhdestä suunnasta tai tasaisesti molemmista suunnista. Rakenteeltaan viistokuulalaakerit ovat itsestään koossa pysyviä ja niillä on tavalliseen tapaan sisä- ja ulkokehät, vierintäelimet ja pidin. Molemmissa kehissä on omanlaisensa viistomainen rakenne ja ne ovat asetettuina poikittain toisiinsa nähden, jolloin niille muodostuu tietty kontaktikulma. Kontaktikulma määrittää laakerin aksiaalisen kuorman keston, eli mitä suurempi kulma sen suurempi kuorman kesto. Näin kuormitus jakautuu tasaisesti säteis- ja aksiaalisuunnassa. Kontaktikulmista yleisin on 40 astetta, mutta muutkin kontaktikulmat ovat mahdollisia. Kaikki viistokuulalaakerit eivät ole suojattuja, mutta useita niistä saa kumitiivistettyinä. Näidenkin laakerien pitimiä on mahdollista valmistaa eri materiaaleista käyttökohteisiin sopiviksi. (SKF-yhtymä 1991, 286-287.)

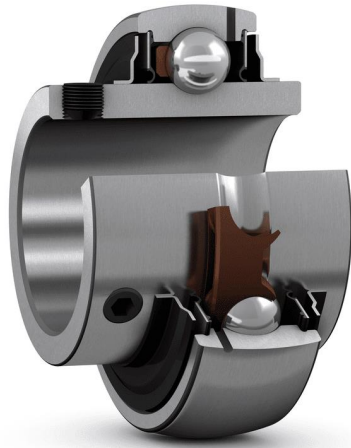
Viistokuulalaakerit kestävät paremmin suuria kierroksia, mutta ovat heikompia kantamaan kuormaa kuin kartiorullalaakerit. Ne sopivat esimerkiksi kohteisiin, joissa tarvitaan yhdistelmäkuormituksia, aksiaalkuormitusta vain yhteen suuntaan (mikäli kyseessä on vain yksi laakeri), tai kun tarvitaan suuria kierroksia tai hiljaista käyntiääntä. Viistokuulalaakereita on myös pareittain asennettavina, jolloin ne kestävät säteiskuorman lisäksi aksiaalista kuormaa molemmista suunnista tai suurempaa kuormaa vain yhdestä suunnasta. Yksittäin ja pareittain asennettavat ovat merkitty erikseen. Esimerkiksi SKF:llä yksittäin asennettavan jälkimerkintä voi olla BEP, kun taas pareittain asennettavalla BECBP. Pareittain asennettavia viistokuulalaakereita käytetään, kun halutaan varmistaa suurempi aksiaalisen kuorman kesto tai aksiaalisen kuorman kesto molemmista suunnista. Laakerit voidaan asentaa eri asetelmiin, kuten tandem-, O- (back-to-back) sekä X-asetelma (face-to-face). (SKF-yhtymä 1991, 287.)



Kuva 14. Yksirivisen viistokuulalaakerin pareittain asentaminen X-, O- ja tandemasetelmiin. (SKF-yhtymä 2018, 386)

Tandem-asetelmassa kontaktilinjat menee akselinsuunnaisesti vain toiseen suuntaan, eli aksiaalikuormitus jakautuu tasaisesti molemmille laakereille vain yhdestä suunnasta. O-asetelmassa kontaktilinjat ovat poispäin toisistaan, joka mahdollistaa yhdistelmäkuormituksen kantamisen joka suuntaan. Kontaktilinjojen mennessä poispäin toisistaan, muodostuu laakereiden väliin tukiväli (H), joka mahdollistaa jämäkkyuden ja normaalia suuremmat kallistusmomentit. X-asetelmassa kontaktilinjat ovat toisiaan kohden, jolloin ne kohtaavat toisensa laakerin sisällä. Tämä muodostelma tarjoaa myös yhdistelmäkuormituksen kantamisen joka suuntaan, mutta ei ole yhtä jämäkkä tai mahdollista yhtä suuria kallistusmomenteja kuin O-asetelma. (SKF-yhtymä 2018, 386.)

3.8 Y-laakerit



Kuva 15. Y-laakeri pidätinruuvikiinnityksellä. (SKF-yhtymä 2021)

Y-laakerit ovat Y-laakeripesiin asennettavia kuulalaakereita. Y-laakereita on erilaisilla kiinnityksillä varustettuina ja niillä voi olla erilaisia suojauksia. Ne ovat urakuulalaakereita, jotka kestävät paremmin aksiaalista kuormitusta erilaisten akseliin kiinnittämistapojen ja leveämmän sisäkehän ansiosta. (SKF-yhtymä 2018, 340-341.)

Y-laakereilla on pääsääntöisesti pallomainen ulkokehä, joka helpottaa laakerin asennusta sen pesään. Sen ulkokehällä on yleensä rasvareiät tai rasvaura, jonka avulla laakeri saa voitelua pesään kiinnitetystä rasvanipasta. Y-laakerit voivat olla molemmin puolin pidennettyjä, vain toiselta puolelta pidennettyjä tai urakuulalaakerin kaltaisia. Y-laakerin kiinnittäminen akseliin tapahtuu kiinnitysmuodosta riippuen sisäkehällä olevilla pidätinruuveilla, epäkeskokauluksella, tiukalla sovitteella tai kiristysholkilla. Tavallisten urakuulalaakereiden tavoin näissäkin on sisä- ja ulkokehät, pidin, kuulat, tiivisteet sekä rasva. (SKF-yhtymä 1991, 657.)

Pidätinruuvikiinnityksellä asennettavat Y-laakerit ovat helppo asentaa sekä irrottaa ja akseli voi pyöriä molempiin suuntiin. SKF:n tuotteista yleisimmät pidätinruuvikiinnityksellä varustetut Y-laakerit ovat YAR, jossa sisäkehä on

pidennetty molemmin puolin sekä YAT, jossa sisäkehä pidennetty vain toiselta puolen. (SKF-yhtymä 1991, 660.)



Kuva 16. Y-laakeri epäkeskokaulus-kiinnityksellä. (SKF-yhtymä 2021)

Epäkeskokauluksella asennettavat Y-laakerit on myös helppo asentaa, mutta tällöin akseli voi pyöriä vain yhteen suuntaan. Kiinnityksessä kaulus kiristetään vastoin akselin pyörimissuuntaa, joka mahdollistaa tiukan asennuksen ja avatessa kaulusta pyöritetään akselin pyörimissuunnan mukaisesti. SKF:n epäkeskokauluksella kiinnitettävät Y-laakerit ovat YEL, jossa sisäkehä pidennetty molemmin puolin sekä YET, jossa sisäkehä pidennetty vain toiselta puolelta. (SKF-yhtymä 1991, 660.)



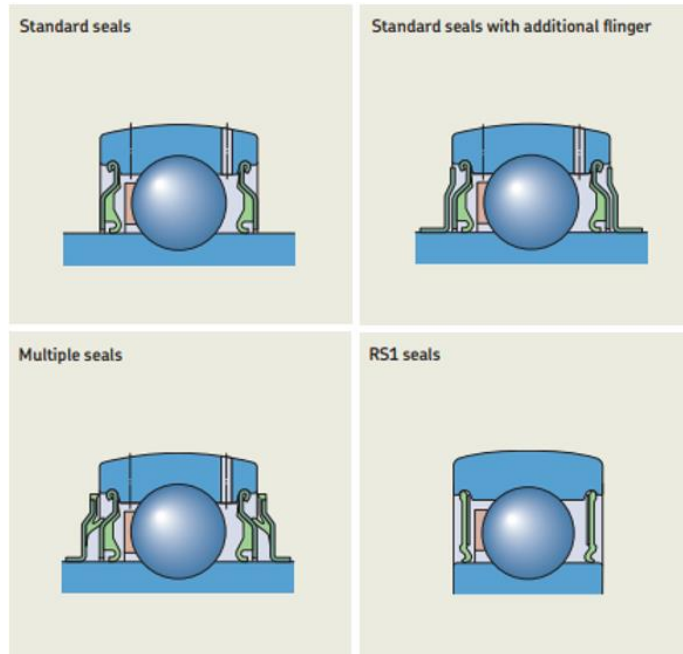
Kuva 17. Y-laakeri kiritysholkkikiinnityksellä. (SKF-yhtymä 2021)

Kiritysholkkikiinnitys mahdollistaa tiukan ja keskisen lukituksen, jossa akseli voi pyöriä molempiin suuntiin. SKF:llä kyseinen laakeri kuuluu YSA-sarjaan, jonka asentamiseen on hankittava holkki erikseen. YSA-laakeria valitessa tulee ottaa huomioon, että holkki pienentää laakerin akselin halkaisijaa noin viiden millimetrin verran. (SKF-yhtymä 1991, 661.)



Kuva 18. Y-laakeri tiukalla soviteella. (SKF-yhtymä 2021)

Tiukka sovite mahdollistaa urakuulamaisen kiinnityksen, mikäli tilaa ei ole tarpeeksi muulle kiinnitysvaihtoehdolle. Akseli voi pyöriä molempiin suuntiin, eikä laakerin sisäkehää ole jatkettu kumpaankaan suuntaan. (SKF-yhtymä 1991, 661.)



Kuva 19. Y-laakerien erilaisia tiivisteitä. (SKF-yhtymä 2018, 346)

Y-laakerien tiivisteet eroavat hieman edellä mainituista kumi- ja terässuojista. Y-laakereilla tavallisen tiivisteen ulommainen osa on teräslaatta, joka ottaa kontaktin ulkokehään mutta jättää välin sisäkehään ja laatan sisäpuolella on vulkanoitua NBR-kumia kontaktoituna sisäkehään. Toinen vaihtoehto on tiiviste, johon on lisätty edellä mainittujen lisäksi ylimääräinen peltilevy, joka mukailee sisäkehää. Kyseisen tiivistemallin merkintä on 2F. Seuraavaksi tiiviimpi vaihtoehto on moninkertainen tiiviste 2RF, jossa on kaksi erillistä kumi- ja peltitiivistettä kummallakin puolella laakeria. Näitä käytetään lähinnä hankalissa ympäristöissä. Urakuulalaakerimaisissa Y-laakereissa käytetään yleensä RS1-tyyppistä tiivistettä, joka on saman tyylinen kuin urakuulalaakereissa. (SKF-yhtymä 2018, 346)

3.9 Paineakuulalaakerit



Kuva 20. Yksi- ja kaksisuuntainen painekuulalaakeri. (SKF-yhtymä 2021)

Paineakuulalaakereita on joko yksi tai kaksisuuntaisia. Ne eivät pysy kasassa itsekseen, vaan ilman painetta irtoavat erillisiksi osiksi. Yksisuuntaiset painekuulalaakerit on tarkoitettu kestämään yhdensuuntaista aksiaalikuormitusta ja ohjaamaan akselia yhdessä suunnassa. Kaksisuuntaiset taas molemmin suuntaista kuormitusta. Paineakuulalaakereita ei saa kuormittaa säteissuunnassa lainkaan. Käyttökohteina ovat usein esimerkiksi teollisuustuulettimet ja -pumput. (SKF-yhtymä 1991, 595.)



Kuva 21. Paineakuulalaakerien rakenne. (SKF-yhtymä 2016)

Paineakuulalaakerit koostuvat hieman erilaisista osista kuin esimerkiksi urakuulalaakerit. Niillä on akselilaatta, jossa on vierintärata, jota pitkin kuulasto

pitimiseen liikkuu. Näiden lisäksi kyseisessä laakerissa on niin kutsuttu pesälaatta, joka voi olla tasa- tai pallopintainen. Pallopintainen pesälaatta kykenee korjaamaan pieniä asennuksesta tai suuntauksesta aiheutuvia yhdensuuntaiseroja. Kaksisuuntaisessa painekuulalaakerissa on edellä mainituista poiketen erilainen akselilaatta, jonka molemmissa pinnoissa yksi vierintäura. Tätä pitkin kulkee kaksi kuulakehää, joiden ulkopuolella on vielä pesälaatat. Painekuulalaakerit ovat lähes aina suojaamattomia ja ne tarvitsevat voitelua muiden laakerien tavoin. Niiden pitimiä on myös mahdollista saada eri materiaaleista. (SKF-yhtymä 1991, 595-596.)

3.10 Painelieriörullalaakeri



Kuva 22. Painelieriörullalaakeri. (SKF-yhtymä 2021)

Painelieriörullalaakerit ovat hyvin samankaltaisia kuin paineneulalaakerit. Painerullakehiä voidaan samalla lailla käyttää pinnoilla, jotka soveltuvat olemaan vierintäratoina. Näissäkin laakereissa rullien pitkät reunat on tehty kaareviksi, jotta laakeri saa tasaisen kuormituksen. Näitä laakereita on mahdollista käyttää myös suurilla kierroksilla. (SKF-yhtymä 1991, 619.)

Lieriömäisten painerullalaakerien rakenne koostuu akseli- ja pesälaatoista sekä painerullakehästä, painekuulalaakerien tapaan. Erona on kuulien sijasta rullat, jotka kantavat kuormaa paremmin kuin kuulat. Lieriömäisiä painerullalaakereita käytetäänkin yleensä tilanteissa, joissa normaalirakenteisen painekuulalaakerin

kantokyky ei ole tarpeeksi suuri. Lieriömäisillä painerullalaakereilla saadaan aikaiseksi jäykkiä laakerointeja, joilla pystytään suuriin aksiaalkuormituksiin yhdestä suunnasta. Laakeri tarvitsee laakeripesän tukea koko kehän matkalta ja vierintäradan leveydeltä. (SKF-yhtymä 1991, 619-620.)

3.11 Paineneulalaakerit



Kuva 23. Paineneulalaakeri. (SKF-yhtymä 2021)

Paineneulalaakereita käytetään, kun tarvitaan suurta jäykkyyttä ja minimaalista aksiaalisen kuorman kestoja. Laakerin pitimessä on runsaasti neularullia, joita pidin ohjaa vierintäratoja pitkin. Vierintäradat voidaan muotoilla esimerkiksi laakeriin liittyviin osiin. Kuten painerullalaakereissakin, myös näissä pienet rullat eli neulat ovat hieman kaarevia jakaakseen kuorman tasaisesti ilman reunajännitystä. Laakerin etuja ovat hyvä raskaiden aksiaalkuormien kesto yhteen suuntaan sekä epäherkkyys sysäyskuormituksille. Yleensä paineneulalaakerien kanssa käytetään juoksu- tai painelaattaa, joka on usein valmistettu karkaistusta teräksestä. Juoksulaattaa voidaan käyttää akseli- tai pesälaattana erilaisissa laakeroinneissa silloin, kun laakeroinnilta ei vaadita tarkkaa keskitystä tai kun pyörimisnopeus pysyy alhaisena. (SKF-yhtymä 1991, 633-634.)

3.12 Liukulaakerit

Liukulaakereita on yleisimmin saatavilla nivellaakereina sekä liukulaakeriholkkeina. Liukulaakerit yleisesti kestävät hyvin raskasta, staattista ja dynaamista kuormitusta. Ne sietävät monisuuntaisia liikkeitä ja korjaavat linjausvirheitä. Ne poistavat reunajännitykset ja vierekkäisten komponenttien välisen liiallisen jännityksen lähes kokonaan. Liukulaakerit mahdollistavat suurien valmistustoleranssien käyttämisen sekä kustannustehokkaiden ja hitsattujen kokoonpanojen käyttöä.



Kuva 24. Nivellaakereita. (SKF-yhtymä 2021)

Nivellaakereista yleisimmät ovat teräs-teräs-liukulaakerit, jotka ovat käytännössä huoltovapaita ja todella kestäviä. Niissä on rasvaura ja rasvareiät, joiden avulla laakeri pysyy voideltuna verrattain pitkään. Ne ovat optimaalinen valinta kustannusten alentamiseksi. Ne kestävät hyvin erilaisia kuormia ja niillä on vain hyvin pieni riski korroosioon. Myös näitä teräs-teräs nivellaakereita saa suojattuina kumisuojuilla, kuten yllä olevassa kuvassa näkyvät punaiset ja siniset tiivisteet. Nämä laakerit ovat pinnat vastakkain, eikä niissä ole vierintäelementtejä, vaan ne toimivat liukumalla pintojaan vasten. Tämän vuoksi

ne ovatkin todella varmatoimisia ja ne ovat pitkäikäisiä. (SKF-yhtymä 2019, 4-8.)



Kuva 25. Erilaisia liukulaakeriholkkeja. (SKF-yhtymä 2021)

Liukulaakeriholkkeja on saatavilla useita erilaisia malleja. Näissä on hyödynnetty eri materiaaleja ja rakenteita. Liukulaakeriholkit sopivat hyvin pyöriviin ja värähteleviin kohteisiin. Ne sopivat jossain määrin myös lineaariliikkeisiin. Kohteissa voi olla suuria kuormituksia, mutta vähäisiä kierrosnopeuksia. Rakenteeltaan suorat laakeriholkit kestävät säteiskuormitusta ja laipalliset laakeriholkit säteiskuormituksen lisäksi aksiaalkuormitusta toisesta suunnasta. Osa liukulaakeriholkeista on itsestään voitelevia ja toiset taas vaativat jatkuvaa voitelua. Seuraavaksi muutamia esimerkkejä erilaisista liukulaakeriholkeista ja niiden materiaaleista. (SKF-yhtymä 2021.)



Kuva 26. Liukulaakeriholkki puhtaasta pronssista. (SKF-yhtymä 2021)

Puhdasta pronssia olevat liukulaakeriholkit eivät kestä suuria liukunopeuksia ja niitä on voideltava säännöllisesti. Ne sopivat monenlaisiin kohteisiin, sillä ne eivät ole herkkiä lialle, kantavat hyvin shokkikuormia ja kestävät hyvin värinää matalilla kierroksilla. Ne voivat olla uritettuja sisäpinnasta, jolloin rasva jää hyvin kohteeseen. Tämä materiaali kestää myös hyvin lämpöä. (SKF-yhtymä 2021.)



Kuva 27. Liukulaakeriholkki rasvataskuilla. (SKF-yhtymä 2021)

Rasvataskullisen pronssiliukulaakerin pinnoilla on yleensä läpimeneviä rasvataskuja, joihin rasva jää voiteluaineeksi. Rasvataskullinen pronssiliukulaakeri on hyvä kohteisiin, joissa uudelleenrasvaamisen mahdollisuus on vaikea tai heikko. Pronssiliukulaakeriholkkien tapaan, se kestää hyvin likaa ja shokkikuormia. Alkuvoitelun jälkeen rasvataskullinen pronssiholkki on käytännössä huoltovapaa. (SKF-yhtymä 2021.)



Kuva 28. Liukulaakeriholkki POM-pinnoitteella. (SKF-yhtymä 2021.)

POM-pinnoitteisen liukulaakeriholkin liukupintana toimii POM-pinnoite, jossa on umpinaiset rasvataskut. POM-pinnoitteen etuja ovat hyvät liukuominaisuudet, hyvä kuormankesto sekä toimintavarmuus useissa kohteissa. POM-pinnoitetut liukulaakeriholkit ovat lähes huoltovapaita, sillä ne vaativat vain alkurasvauksen. Uudelleenrasvauksen tarpeen väli voi olla verrattain suurikin. (SKF-yhtymä 2021.)



Kuva 29. Liukulaakeriholkki sintratusta öljypronssista. (SKF-yhtymä 2021)

Sintratut öljypronssiliukulaakerit on valmistettu öljypronssista, johon on seostettu mukaan voitelevaa ainetta. Näillä on hyvät liukuominaisuudet, mutta heikentynyt kuorman ja lämpötilan kesto verrattuina edellä mainittuihin vaihtoehtoihin. Toisin kuin aikaisemmat liukulaakerit, sintratut öljypronssilaakerit eivät vaadi voitelua ja täten ovat huoltovapaita itsestään voitelevien ominaisuuksiensa ansiosta. (SKF-yhtymä 2021.)



Kuva 30. Liukulaakeriholkki PTFE-liukupinnalla. (SKF-yhtymä 2021)

PTFE-liukupinnalla varustetun liukulaakeriholkin liukupintana toimii Teflon-pinnoite. PTFE-pinnoitetut liukulaakerit eivät toimi hyvin likaisissa olosuhteissa, eivätkä ne siedä linjausvirheitä lainkaan. Eli ne vaativat akselilta hyvän toleranssin ja kestävät hyvin suuria kuormia sekä lämpötiloja. Teflon-pinnoite on itsestään voiteleva, joten tämäkin liukulaakeriholkki on käytännössä huoltovapaa. (SKF-yhtymä 2021.)

4 LAAKERIPESÄT

Laakeripesiä on useita eri malleja, jotka on voitu valmistaa eri materiaaleista. Yleisesti laakeripesiä käytetään sisätiloissa oleviin laakerointeihin, tukemaan pyörivää akselia. Pesät voidaan pultata runkoon tai muuhun rakenteeseen. Ratkaisut ovat kustannustehokkaita ja helppokäyttöisiä. Laakeripesät yhdessä vierintälaakereiden kanssa muodostavat laakeriyksikön.

4.1 Y-laakeripesät



Kuva 31. Erilaisia y-laakeriyksiköitä. (SKF-yhtymä 2021)

Y-laakeripesiä käytetään yhdessä y-laakereiden kanssa, jotka käytiin läpi opinnäytetyössä aiemmin. Erilaiset y-laakerit voidaan sijoittaa erilaisiin y-laakeripesiin, jolloin niistä tulee y-laakeriyksikkö. Y-laakeripesien valikoima on erittäin laaja, sillä niitä tehdään useista erilaisista materiaaleista ja ne voivat olla käyttökohteesta riippuen eri mallisia. Opinnäytetyössä käydään läpi yleisimmät pesämuodot. Y-laakeripesää valittaessa on tärkeää muistaa, että saman mallin pesissä voi olla valmistajakohtaisia eroja esimerkiksi pulttijakojen ja -reikien sopivuudessa tai korkeuksissa. (SKF-yhtymä 2021.)

Y-laakeripesät ovat usein valmistettu valuraudasta, peltiteräksestä, komposiitista tai ruostumattomasta teräksestä. Pesän valinnassa kannattaa

ottaa huomioon kuormat, tiivisteet, lämpötilat, nopeudet, laakerin asettuminen akselille sekä akselin pyörimissuunta. Esimerkiksi peltipesäinen y-laakeriyksikkö ei kestä kovin suuria kuormia tai kierrosnopeuksia, eikä se ole rasvattavissa. Se on kuitenkin pesävaihtoehdoista kaikkein edullisin. Toinen ääripää on valurautainen pesä, joka kestävä suuria kuormia ja sen laakeria voidaan rasvata, mutta se on huomattavasti kalliimpi kuin muut vaihtoehdot. Mikäli pesämateriaalin täytyy olla ruostumatonta, voidaan materiaaliksi valita esimerkiksi komposiitti tai ruostumaton teräs. (SKF-yhtymä 2021.)

Y-laakeriyksiköihin on saatavilla ”lisävarusteena” päätykansia, joiden tarkoitus on suojata akselin päähän sijoitettua laakeriyksikköä liialta ja pölyltä. Y-laakeripesissä on yleensä syvennys, jonka päähän päätykuppi napsautetaan paikalleen. (SKF-yhtymä 2021.)

Pukkilaakeripesät



Kuva 32. Pukkilaakeriyksiköitä. (SKF-yhtymä 2021)

Pukkimalliset y-laakeripesät koostuvat pesästä, y-laakerista ja rasvanipasta. Perinteisessä mallissa pesän sivuilla ”jaloissa” on pulttireiät ja jommankumman niiden sivussa kolo lieriösokkaa varten. Muissa malleissa pulttireiät voivat olla esimerkiksi pesän alapuolella. Niissä on myös syvennys päätykantta varten sekä asennushahlo laakerin asennusta varten. Pukkilaakerit ovat todella yleisiä ja niitä voidaan käyttää monenlaisiin sovelluksiin. Pukkilaakeripesiä on

saatavilla myös kevyempinä versioina valmistettuna pellistä tai komposiitista. (SKF-yhtymä 2021.)

Laipalliset y-laakeripesät



Kuva 33. Laipallisia y-laakeriyksiköitä. (SKF-yhtymä 2021)

Laipallisista y-laakeripesistä yleisimmät ovat neli- ja kaksipulttiset mallit. Nelipulttinen on neliön tai ympyrän mallinen ja se on mahdollista kiinnittää kohteeseen neljällä pultilla ja kaksipulttinen taas salmiakin mallinen, joka voidaan kiinnittää kohteeseen kahdella pultilla. Molempien rakenne on lähellä toisiaan, sillä erona on lähinnä pulttireikien määrä ja pesän malli. Laipalliset y-laakeripesät koostuvat esimerkiksi neliön, salmiakin tai pyöreän mallisista pesistä, y-laakereista ja rasvanipasta. Myös näissä pesissä on kolo lieriösokkaa varten, syvennys päätykantta varten sekä asennushahlo laakerin asennukseen. Laipallisia y-laakeriyksiköitä on paljon muitakin malleja, sillä niitä voidaan myös pukkilaakeriyksiköiden tavoin käyttää monissa erilaisissa kohteissa. (SKF-yhtymä 2021.)

Laipallisiin y-laakeripesiin luetaan myös peltipesät, jotka koostuvat kahdesta peltiteräksen palasesta. Nämä voivat olla esimerkiksi kolmion, neliön, salmiakin tai pyöreän mallisia. Peltipesät ovat kustannustehokas, mutta ei niin kestävä

vaihtoehto verrattuna valurautaisiin pesiin. Y-laakereihin on saatavana lisäksi myös kumivaippoja, joiden tarkoitus on toimia pehmusteena peltipesissä. Kumivaippa jää y-laakerin ulkokehän ja peltipesien väliin vaimentamaan ääntä ja värinää. Se mahdollistaa pienet linjausvirheet tai pienen aksiaalisen siirtymän. (SKF-yhtymä 2021.)

Säädettävät y-laakeripesät



Kuva 34. Säädettävät y-laakeriyksiköt. (SKF-yhtymä 2021)

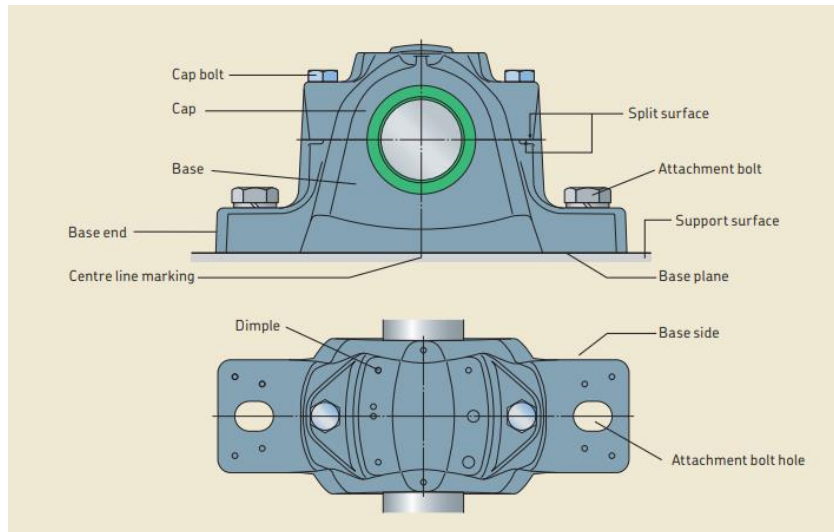
Säädettävät pesät ovat y-laakeripesiä, mutta ne ovat yleensä kiinnitettyinä runkoon niin, että laakeripesää pystyy liikuttamaan edestakaisin. Pesän liikuttaminen tapahtuu esimerkiksi säätöruuvilla, joka kiinnitetään pesässä olevaan reikään. Nämäkin y-laakeriyksiköt koostuvat itse pesästä, y-laakerista ja rasvanipasta. Pesässä on syvennys päätykantta varten sekä asennushahlo laakeria varten. Lisäksi näissä on yleensä ohjaava ura runkoon kiinnittämiseen, avoin tila säätöruuvia varten sekä keskireikä säätöruuvia varten. (SKF-yhtymä 2021.)

4.2 Halkaistavat pesät



Kuva 35. Halkaistava SNL-pesä. (SKF-yhtymä 2021)

Halkaistavia pesiä on mahdollista käyttää pallomaisten kuula- tai rullalakereiden kanssa. Tällaisia yhdistelmiä käytetään usein raskaamman käytön laitteistoissa. Halkaistavia pesiä on laakereiden tapaan useita erilaisia, joista yleisin on kuitenkin SNL-/SE-pesät. Rakenteeltaan halkaistavat laakeripesät koostuvat kahdesta erillisestä osasta, pohjasta ja kannesta. Muiden pesien tapaan, näissäkin on paikat kiinnityspulteille, joilla se kiinnitetään rakenteeseen tukevasti. Näiden lisäksi pesässä on pultit, joilla sen kansi saadaan kiinni. Laakeripesän sisältä löytyy paikat laakerille, pidätinrenkaalle, kiristysholkille, tiivisteelle, päätykannelle sekä rasvanipalle. Käytettävät akselikoot ovat aina pienimmän 20 mm luokasta suurimpiin 160 mm luokkaan asti. (SKF-yhtymä 1991, 808.)



Kuva 36. Halkaistavan SNL-laakeripesän rakenne. (SKF-yhtymä 2015)

Halkaistaviin pesiin meneviä pallomaisia kuula- tai rullalaakereita valitessa kannattaa ottaa huomioon kuormitus ja muut olosuhteet. Halkaistavissa pesissä käytetään usein vapaata ja ohjaavaa laakerointia, jonka tarkoituksena on mahdollistaa akselin piteneminen liikkeestä johtuvan lämpölaajenemisen takia. Eli toisin sanoen akselin toisessa päässä olevan laakerin kuuluu olla vapaa ja toisessa päässä olevan lukittu. Kun toinen päistä on vapaa, se antaa periksi ja mukautuu mahdollisen pitenemiseen. Lukitun pään lukitseminen tapahtuu FRB-renkaalla, jolloin laakeri ei pääse liikkumaan aksiaalisesti lainkaan. Vapaassa päässä ei ole FRB-rengasta, jolloin pesään jää tilaa ja laakeri pääsee liikkumaan aksiaalisesti siihen tarkoitetulla paikallaan. Mikäli laakerointi sijoittuu akselin pätyyn, siihen voidaan laittaa päätykansi, joka estää likaa kulkeutumasta pesään. (SKF-yhtymä 1991, 809-810.)



Kuva 37. Halkaistava laakeriyksikkö. (SKF-yhtymä 2015)

Laakeripesille tarkoitetut tiivisteet voivat olla valmistettu useista erilaisista materiaaleista. Nelihuulitiivisteet ovat kaikkein yleisin tiivistetyyppi, sillä ne ovat luotettavia, edullisia ja helppoja asentaa paikoilleen. Asennusta helpottaa, että tiivisteet ovat kaksiosaisia, eli kahtia halkaistuja. Ne mahdollistavat suuret akselin kierrosnopeudet, eivätkä aiheuta paljoa kitkaa. Alle 100 mm akselikoissa nelihuulitiivisteet mahdollistavat jopa 1° linjausvirheen. V-rengastiivisteet taas koostuvat V-renkaasta ja peltilevystä, johon on vulkanoitu kumihiuuli, joka istuu laakeripesän tiivistekoloon. V-rengastiiviste mahdollistaa linjauspoikkeamia hieman enemmän kuin nelihuulitiivisteet, sillä ne kestävät linjausvirhettä jopa $1,5^\circ$ alle 50mm akselikoissa ja suuremmissa 1° . Huopatiiviste on kitkaton vaihtoehto, jota kylvetetään kuumassa öljyssä ennen asennusta. Ne ovat yksinkertaisia, mutta melko tehokkaita. Haastavimpiin olosuhteisiin suunnitellut labyrinttitiivisteet taas kestävät suuria kierrosnopeuksia ja lämpötiloja. Tiiviste koostuu monikerroksisesta labyrintista, johon on lisäksi laitettu ontto silikonikumirengas. Labyrinttitiivisteet ovat huomattavasti kalliimpia kuin edellä mainitut vaihtoehdot. Vielä huonommissa olosuhteissa käytetään yleensä takoniittitiivistettä, joka on yhdistelmä labyrintti- ja v-rengastiivisteistä. Nämä ovat yleisiä esimerkiksi kaivosteollisuudessa, sillä tiivisteen sisälle pystyy pumppaamaan rasvaa ja se pitää lian pesän ulkopuolella. (SKF-yhtymä 1991, 811-812.)

Avoimet laakerit vaativat jatkuvaa voitelua, joka voi olla hankalaa, kun laakeri on pesän sisällä. Tätä varten pesiin on tehty kaksi paikkaa rasvanipoille, joihin rasvanipat kiinnitetään. Sivummalla oleva ohjaa rasvan laakeripesään ja suoraan yläpuolella oleva ohjaa rasvan suoraan laakerille. Sivusta rasvattaessa tulisi rasvaa täyttää 40 % pesän vapaasta tilasta ja päältä rasvatessa 20 % pesän vapaasta tilasta. Hankalimmissa kohteissa suositus on, että rasvalla täytetään 70-80 % pesän vapaasta tilasta. Laakeripesän sivupohjaan on mahdollisuus porata reikä, jolloin pesä pääsee ajoittain tyhjentymään vanhasta rasvasta. Ilman tätä reikää vanha rasva ei pääse pois uuden rasvan tieltä. (SKF-yhtymä 1991, 811-812.)

5 LAAKERIN VALITSEMINEN

5.1 Kaava

Sopivan laakerin valinta asiakkaan tiettyyn käyttötarkoitukseen perustuu asiakkaan kertomaan tai mallikappaleeseen, jonka asiakas tuo mukanaan. Myyjän tulee osata kysyä oikeat kysymykset, jotta asiakkaalle osataan valita oikea laakeri. Yleisesti ajateltuna myyjän tulee ottaa huomioon olosuhteet, joihin laakeri tulee ja kaikki siihen merkittävät vaikuttajat. Näitä voivat olla esimerkiksi laakerin mitat ja materiaali, lämpötila, kosteus, voitelumahdollisuudet sekä rasitus/kuormitus.

Eli tie oikean laakerin valitsemiseen etenisi seuraavalla kaavalla: ensin selvitetään laakerin mitat, jonka jälkeen voidaan tarkastella olosuhteita lähempää. Otetaan selvää kohteen rasituksesta/kuormituksesta, eli tarvittavasta kierrosnopeudesta tai kuorman kestosta ja valitaan laakeri siihen sopivilla vierintäelementeillä, pitimellä ja välyksellä. Suojaustyypin valitseminen taas perustuu kohteen likaisuuteen ja voitelumahdollisuuksiin. Viimeisimmäksi selvitettäväksi jää yleensä lämpötilan ja kosteuden varmistaminen.

Valintaan vaikuttavat tekijät

Valintaan vaikuttaviin merkittäviin tekijöihin kuului ensimmäisenä laakerin mitat ja materiaalit. Niihin lukeutuu kohteen akselin malli ja mitta, ulkokehän mitta (mikäli laakeri tulee ympäröityyn paikkaan) sekä laakerin paksuus. Akseli voi olla esimerkiksi lieriön tai kartion mallinen ja laakerit on voitu valmistaa eri materiaaleista. Esimerkiksi laakeriteräksestä tehtyjen laakerien pitimet kestävät jopa 300°C lämpötilaa, kunnes ne hajoavat. Lämpötilan kestoon vaikuttaa myös laakerin sisäinen välys, josta puhuttiin opinnäytetyössä aiemmin. Mitä suurempi välys, sitä enemmän tilaa laakerin kuulilla on lämpölaajenemiseen.

Tavallisten laakeriteräksestä valmistettujen laakereiden kosteuden kesto on teräksestä johtuen heikkoa. Ruostumattomasta teräksestä valmistetut laakerit

taas kestävät hieman enemmän kosteutta, kuin tavallisesta valmistetut. Kuitenkin yleisesti voidaan ajatella, että laakerit eivät kestä paljoa kosteutta tai kosketusta veden kanssa. Hyvä esimerkki tilanne veden kanssa kosketuksissa olevista laakereista on venetrailerit. Niitä uitetaan veden alla muutaman kerran vuodessa, kun vene lasketaan vesille ja nostetaan sieltä. Venetrailerissa käytettävät kartiorullalaakerit tulisi jokaisen käyttökerran jälkeen rasvata huolellisesti, jotta vedestä johtuvaa ruostumista voitaisiin hidastaa.

Laakerien voitelu on tärkeää olosuhteita pohdittaessa. Laakerit ovat useimmiten suojattuja kumi- tai peltisuojuilla, jolloin ne ovat kestovoideltuja, eikä niitä tarvitse erikseen rasvata. Suojattu laakeri suojaa laakeria ja pitää lian ulkopuolella. Jos laakeri sijoitetaan pesään, sitä olisi hyvä rasvata pesän rasvanipan avulla. Mikäli laakeri tulee öljykylpyyn esimerkiksi vaihteistoon tai moottoriin, siinä ei tarvitse olla suoja.

Rasituksen huomioon ottaminen on myös tärkeää, sillä se vaikuttaa merkittävästi laakerin valintaan. Korkeisiin kierrosnopeuksiin ja mataliin kuormiin sopivampi vaihtoehto on kuulalaakeri, joka ottaa minimaalisen pistekontaktin laakerin sisä- ja ulkokehiin aiheuttaen vain pienen kitkan niiden välissä. Kuulalaakerit eivät kuitenkaan kestä kovin suuria tai aksiaalisesta suunnasta tulevia kuormia. Rullalaakerit taas kestävät suurempia kuormia, mutta rullien linjakontaktin takia aiheuttavat enemmän kitkaa kuin kuulalaakerit ja siksi eivät kestä niin suuria kierroksia. Kun tarvitaan enemmän kuormankestoa ja tukevampaa laakerointia, käytetään yleensä kaksirivisiä laakereita. Myös muunlaisiin vaatimuksiin on saatavilla sopivia vaihtoehtoja.

5.2 Laakerit erikoisosaamisalana

Oikeanlaisen laakerin valitsemisessa tulee myös ottaa huomioon itse asiakkaan palveleminen. Laakereista tietämättömälle asiakkaalle voi olla vaikeaa selittää selkokielellä eri merkintöjen ja olosuhdevaatimusten määrittävyydestä. Jokainen asiakas täytyy kuitenkin kohdata yksilönä ja ottaa oma aikansa juuri kyseisen henkilön palvelemiseen.

Asiakkaan palveleminen

Kohdeyrityksessäni Laakeriteamissa halutaan keskittyä asiakaslähtöiseen toimintaan ja luoda toimivia ratkaisuja sekä yritysasiakkaille että kuluttajille. Siellä pyritään laadukkaaseen asiakaspalveluun ja siihen, että asiakas poistuu tilanteesta hyvillä mielin ratkaisun kanssa. Moni voisi ihmetellä, miksi aukioloaikojen jälkeenkin jäädään tutkimaan ja etsimään asiakkaalle sopivaa ratkaisua, esimerkiksi muutaman euron laakeria. Tämä kertoo, kuinka paljon halutaan panostaa asiakkaaseen, syventää jo olemassa olevia suhteita ja luoda uusia pysyviä asiakassuhteita. Ajatellaan, että hyvä pohjatyö kantaa hedelmää ja kova uurastus palkitaan.

Hyvän asiakaspalvelun lisäksi tavoitettavuus on suuressa roolissa ja Laakeriteamilla on myymälän lisäksi oma verkkokauppa, sekä 24/7 päivystys. Päivystäminen mahdollistaa varaosien saannin hätätapauksissa myös myymälän aukioloaikojen ulkopuolella. Monesti yöllisten konerikkojen takia työt voivat pysähtyä pitkäksi aikaa, jolloin yrittäjä kärsii tappiota jokaisesta tunnista. Päivystys on luotu asiakkaita varten, jotta osat ovat saatavilla, kun niitä tarvitaan. Laakeriteamilla panostetaan suureen varastovalikoimaan, jotta mahdollisimman moni asiakas saisi tarvittavat osat mukaansa heti hädän hetkellä. Poikkeuksena erikoiset tuotteet, jotka saadaan tilaamalla eri toimittajilta asiakkaan kiireen mukaan.

Laakerit yleisesti teknisen myyjän erikoisosaamisalana on haastava, mutta palkitseva. Niiden kanssa toimiminen on suuren työn takana, sillä jo pelkästään niiden opettelemiseen menee paljon aikaa niiden määrän ja kirjallisuuden vähäisyyden takia. Siinä tarvitaan kärsivällisyyttä, intoa ja ennen kaikkea halua oppia joka päivä hieman enemmän. Alkuperehdytys laakereihin on laaja ja se voi viedä paljon aikaa ja vaivaa. Kaikkia erilaisia laakereita ei kuitenkaan voi opetella ulkoa, sillä niitä on niin paljon ja sen lisäksi niillä jokaisella on omat ominaisuutensa. Vain yleisimpien laakerien ominaisuudet kannattaa pistää muistiin ja erikoisempien laakereiden kohdalla opetella löytämään tietoa eri lähteistä, esimerkiksi alan toimittajien sivuilta.

Erikoisosaamisalan vaativuus

Asiakkaiden ongelmat ovat usein hyvin erilaisia keskenään, jolloin ongelmanratkaisukyky, tiedon löytämisen ja sen hyödyntämisen taidot ovat suuressa roolissa. Ratkaisun löytäminen voi olla haastavaa ja välillä joutuu soveltamaan. Yleisesti nämä kaikki edellä mainitut taidot kuuluvat hyvän myyjän työhön, mutta tässä erikoisalassa niiden tärkeys korostuu entisestään. Myyjän ja asiakkaan luottamuksen täytyy olla molemminpuolista, sillä myyjä luottaa asiakkaan kertomiin spekseihin ja asiakas myyjän ammattitaitoon. Myyjän on siis tunnettava yleisimmät laakerit, millaisia niiden rakenteet ovat, mihin olosuhteisiin ne sopivat, millaista voitelua vaaditaan ja millaisiin käyttökohteisiin ne sopivat parhaiten.

Erikoisosaamisalan myyjän haasteina ovat myös muiden alojen tapaan ongelmatilanteet. Laakerien kanssa näitä on monenlaisia, sillä joskus myyty laakeri ei vastaa asiakkaan odotuksia tai asiakas on tilannut vääränlaisen laakerin. Jo pelkästään tuoteryhmänä laakerit ovat todella laaja, sillä niitä on paljon erilaisia pienin eroin toisiinsa nähden. Esimerkiksi mitat voivat vaihdella millisistä tuumaisiin, materiaalit ruostumattomista teräksisiin ja sisäkehät kartioreiällisistä lieriöreikäisiin. Myyjän tulee olla valppaana, jotta virheen mahdollisuus pysyisi mahdollisimman pienenä.

Joskus asiakas tulee ehjän näköisen laakerin kanssa kysymään, onko siinä vikaa, mutta ilman tarkempaa tietoa tai erikoismittaustyökaluja, laakerin käytöstä on vaikea tietää, onko laakerin sisältä hajonnut jotain. Laakerit ovat usein niin herkkiä, että pieni nirhauma riittää tuhoamaan koko laakerin sisältä käsin. Nirhauma voi kasvaa kasvamistaan jokaisella kierroksella, kun likaa tai laakerin partikkeleita jää vierintäelinten ja kehän väliin. Joskus virhe voi olla väärä asennustapa, ilman asianmukaisia työkaluja. On myös mahdollista, että laakeri on voinut pudota kuljetuksessa tai olla valmistusvirheinen jo tehtaalta asti.

Todella harva asiakkaista on oikeasti ottanut selvää ja tietää, kuinka laakeri asennetaan paikalleen oikein. Asennus on laakerin yksi kriittisimmistä vaiheista

sen elinkaaren aikana. Asentaminen ilman asiaankuuluvia menetelmiä tai työkaluja voi aiheuttaa laakerin käyttöajan lyhenemistä. Laakerin irrottaminen on myös tärkeä hoitaa asianmukaisin menetelmin ja työkaluin, vaikka kyseinen laakeri menisikin kierrätykseen irrotuksen jälkeen. Oikeat työkalut ja menetelmät ehkäisevät koneen muiden uudelleen käytettävien osien vaurioitumista. Itse keksityt irrotustekniikat voivat olla suureksi vaaraksi kunnossapitohenkilöstölle. (SKF-yhtymä 2021.)

6 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoitus oli tuoda laakerit tutuiksi ja toimia oppaana työntekijöille oikean laakerin valitsemisessa. Työssä tuotiin esille yleisimmät laakerit lyhyesti ja ytimekkäästi, käsitellen niiden rakenteita, perus ominaisuuksia sekä käyttötarkoituksia. Lopussa käsiteltiin enemmän laakerien valitsemiseen ja myyntiin liittyviä seikkoja sekä mitä ne vaativat työntekijältä. Opinnäytetyössä pohdittiin myös erikoisosaamisalan vaikutusta asiakaspalveluun.

Tämän työn suurimpana innoittajana oli jokapäiväinen työni laakereiden parissa, teknisenä myyjänä. Työni alkaessa minulla ei ollut mitään tietoa laakereista tai niiden toiminnasta. Tavoitteeni opinnäytetyötä tehdessä oli lähestyä lukijaa siitä samasta näkökulmasta, ettei tarvitsisi olla aikaisempaa tietoa laakereista tai niihin liittyvistä asioista.

Opinnäytetyön teoria rakentui pääosin omien muistiinpanojeni pohjalta oman työhön perehdytykseni ajalta, sekä SKF-yhtymän laakerikirjoista ja kaikesta työssä oppimastani. Tätä työtä tehdessä syvennyin laakereihin entistä enemmän ja oma näkökulmani laakereista laajentui entisestään. Opinnäytetyötä oli hauskaa tehdä ja samalla oppia lisää.

Pidän opinnäytetyötä onnistuneena katsauksena laakereiden maailmaan, jossa niihin tutustutaan pikkuhiljaa ja samalla kehitetään omaa näkökulmaa niiden ominaisuuksista. Opinnäytetyöhön tutustunut lukija pystyy nyt jo erottelemaan laakerityyppejä toisistaan ja ymmärtää niiden erilaisuuden. Kokonaisuudessaan opinnäytetyö on kattava opas oikeanlaisen laakerin valintaan tukemaan työntekijää tehtävässään.

Näin lopuksi haluan vielä kiittää koko Laakeriteamiä perehdytyksestä ja neuvoista sekä kaikesta materiaalista, joiden avulla pystyin tekemään opinnäytetyön. Olen iloinen, että saan jakaa laakeritietoutta myös muille ihmisille ja kehittää omaa ammattitaitoani erikoisalan myyjänä ja laakereiden ammattilaisena.

Lähteet

JTEKT-yhtymän www-sivut 2021. Viitattu 20.9.

<https://koyo.jtekt.co.jp/en/2019/08/column01-03.html>

Laakeriteamin www-sivut 2021. Viitattu 5.10.2021 <https://www.laakeriteam.fi/>

Schaeffler yhtymä, 2019, Rolling Bearings. Viitattu 15.11.2021.

Schaeffler Suomen www-sivut 2021. Viitattu 18.9.2021 <https://www.schaeffler.fi/>

SKF-yhtymä, 1991, SKF Laakerikirja.

SKF-yhtymä, 2015, SKF Bearing housings and roller bearing units

https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d196803969af-13186_1-EN-SKF-bearing-housings-and-roller-bearing-units_tcm_12-315185.pdf

SKF-yhtymä, 2016, SKF Laakerien kunnossapitokirja

https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/SKF-laakerien%20kunnossapito%20-%20SKF%20bearing%20maintenance%20handbook%20-%2010001_1%20FI_tcm_12-290853.pdf

SKF-yhtymä, 2018, Rolling bearings

https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d196802809de-Rolling-bearings---17000_1-EN_tcm_12-121486.pdf

SKF-yhtymä, 2019, Explorer steel/steel plain bearings

https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d19680947297-SKF-Explorer-steel_steel-plain-bearings---15521_1-EN_tcm_12-483821.pdf

SKF:n www-sivut 2021. Viitattu 18.9.2021 <https://www.skf.com/fi>

OPAS LAAKERIN VALINTAAN

Laakeriteam Oy

Milly Ilmanen, 2021



Sisältö

1 JOHDANTO	3
2 YLEISTÄ	4
2.1 Vierintälaakerit	4
2.2 Liukulaakerit	5
2.3 Säteis- ja aksiaalilaakerit	5
2.4 Laakereiden rakenne	5
2.5 Sisäinen välys ja toleranssit	7
3 LAAKERITYYPIT	9
3.1 Urakuulalaakerit	10
3.2 Pallomaiset kuulalaakerit	11
3.3 Pallomaiset rullalaakerit	12
3.4 Lieriörullalaakerit	13
3.5 Neulalaakerit	15
3.6 Kartiorullalaakerit	16
3.7 Viistokuulalaakerit	17
3.8 Y-laakerit	20
3.9 Paineakuulalaakerit	23
3.10 Painelieriörullalaakeri	24
3.11 Paineneulalaakerit	25
3.12 Liukulaakerit	26
4 LAAKERIPESÄT	31
4.1 Y-laakeripesät	31
4.2 Halkaistavat pesät	35
5 LAAKERIN VALITSEMINEN	39
5.1 Kaava	39
5.2 Laakerit erikoisosaamisalana	40
Oppaassa käytetyt lähteet	43

1 JOHDANTO

Oppaan tarkoitus on toimia ohjeena laakereiden valinnassa. Laakereiden myynti on oma erikoisosaamisalansa, joka vaatii myyjältä laakereiden hyvää tuntemusta. Työssä sovelletaan tekniikan alan myyjän koulutusta erikoisosaamisalaan, eli laakereihin ja niiden myymiseen.

Laakerit ovat maailman liikuttavin osa, sillä niitä on lähes kaikkialla, aina polkupyörästä suuriin teollisuuspumppuihin asti. Laakereiden tärkeimpiin tehtäviin kuuluu liikkuvan tai pyörivän kappaleen tukeminen ja ohjaaminen. Mitä vähemmän kitkaa liikkeestä aiheutuu, sen sujuvammin laakeri hoitaa tehtävänsä. Laakerit myös siirtävät eri kokoisia kuormia eri laitekomenttien välillä, esimerkiksi akselin avulla. Suurimpina haasteina on laakereiden erilaisuus ja paljous sekä vähäinen kirjallisuuden määrä. Suomenkielistä kirjallisuutta laakereista on saatavilla todella vähän, eikä sitä välttämättä ole kaikkien saatavilla. Englanniksi tietoa löytyy jo enemmän.

Oppaan tavoitteena on avustaa työntekijää oikean laakerin valinnassa tiettyyn kohteeseen. Työssä tutustutaan yleisimpiin laakerityyppeihin ja käsitellään esimerkiksi niiden rakennetta, ominaisuuksia ja erilaisia käyttökohteita. Nämä on pyritty tuomaan esille niin, ettei lukijalla tarvitse olla aikaisempaa tietoa laakereista ymmärtääkseen lukemaansa. Lopussa syvennytään enemmän laakerin valitsemisen perusteisiin, kuinka valitaan oikeanlainen laakeri asiakkaalle, mitä siinä täytyy ottaa huomioon ja mitä erikoisosaamisala vaatii työntekijältä.

2 YLEISTÄ

Laakereita on räätälöity erilaisiin käyttötarkoituksiin, sillä käyttökohteiden tarvitsema liike ja tuki voivat olla hyvin erilaisia toisiinsa nähden. Voidaan verrata esimerkiksi urakuulalaakeria ja liukulaakeria keskenään. Urakuulalaakeria voidaan käyttää esimerkiksi puhaltimissa, jossa se saa paljon kierroksia ja on täten suurella rasituksella. Liukulaakereita taas voidaan käyttää esimerkiksi staattisessa ja dynaamisessa kuormituksessa, jolloin ne eivät edes välttämättä liiku kokonaista kierrosta samalla tavalla kuin perus urakuulalaakerit.

Ensimmäinen perussääntö on, että laakerit ovat kuluvia koneen osia ja ne on suunniteltu vaihdettaviksi. Ne suojaavat konetta suuremmalta rikkoutumiselta, samaan tapaan kuin sulake sähkölaitteita. Voidaan myös ajatella, että yleisimmät laakerit voidaan jakaa vierintä- ja liukulaakereihin. Vierintälaakerit voidaan jakaa vielä kuula- ja rullalaakereihin tai sitten säteis- ja aksiaalilaakereihin. Laakereista on useita erilaisia variaatioita, jotka koostuvat erilaisista komponenteista.

2.1 Vierintälaakerit

Vierintälaakereiksi kutsutaan kaikkia laakereita, joissa on vierintäelementti. Vierintäelementteinä voi olla esimerkiksi kuulia tai rullia, joista syntyy vierimiskitkaa. Ne tarjoavat suuren tarkkuuden, alhaisen kitkan ja suuret kierrosnopeudet.

Kuulalaakerit käyttävät pistekontaktia laakerin vierintäpintoihin, jolloin kitka on hyvin pientä ja laakeri liikkuu vaivattomammin. Kaikki kuorma kohdistuu vain yhteen pisteeseen. Nämä laakerit sopivat hyvin suuriin kierrosnopeuksiin, mutta eivät kestä suurta kuormaa. Tällaisia ovat esimerkiksi urakuulalaakerit, viistokuulalaakerit, pallomaiset kuulalaakerit, painekuulalaakerit sekä Y-laakerit.

Rullalaakerit hyödyntävät linjakontaktia laakerin vierintäpintoja vasten. Kun kontaktipinta on näin suuri, syntyy enemmän kitkaa kuin kuulalaakereilla, mutta samalla kuorman kesto paranee. Suuremman kitkan syntymisen johdosta nämä laakerit eivät kestä suuria kierrosnopeuksia. Tällaisia ovat esimerkiksi lieriörullalaakerit, kartiorullalaakerit sekä pallomaiset rullalaakerit.

2.2 Liukulaakerit

Liukulaakereiksi kutsutaan laakereita, joissa ei ole erillistä vierintäelementtiä. Niiden ulkomuoto muistuttaa holkkia ja niiden liike perustuu liukukitkaan. Kuten vierintälaakereita, näitä voidaan myös tehdä erilaisista materiaaleista ja niitä voi pinnoittaa erilaisilla aineilla. Liukulaakereihin kuuluvat myös nivellaakerit. Liukulaakereihin tutustutaan tarkemmin myöhemmin.

2.3 Säteis- ja aksiaalilaakerit

Säteislaakereiden kuormitus kohdistuu akselia vasten 90 asteen kulmassa, eli kohtisuorassa akseliin nähden. Suurin osa laakereista pystyy ottamaan vastaan säteis- tai yhdistelmäkuormituksia. Tästä hyvänä esimerkkinä urakuulalaakerit, jotka kestävät säteiskuorman lisäksi myös vähän aksiaalista kuormitusta. Aksiaalilaakereiden kuormitus tulee samassa linjassa akselin kanssa. Aksiaalista kuormaa kestäviä laakereita ovat esimerkiksi painekuula- ja lieriörullalaakerit.

2.4 Laakereiden rakenne



Kuva 1. Suojatun urakuulalaakerin rakenne. (SKF-yhtymä 2021)

Pääosin laakerit koostuvat sisä- ja ulkokehistä, vierintäelimistä, pitimestä, rasvasta ja tiivisteistä. Sisä- ja ulkokehä on yleisimmin valmistettu karkaistusta teräksestä, jotta se

kestäisi kontaktialueen paineen. Joskus erilaiset olosuhteet vaativat muiden materiaalien käyttöä, esimerkiksi ruostumatonta terästä tai kuumiin olosuhteisiin tarvittavaa erikoisvalmisteista terästä. Näihin on myös mahdollista saada erilaisia pinnoitteita esimerkiksi estämään sähkövirran läpivirtaamista. Vierintäelimenä toimivat usein kuulat tai rullat, joiden tehtävänä on välittää ja jakaa kuormaa sisä- ja ulkokehien välillä. Niiden on tarkoitus vieriä laakerin kehien välillä, jolloin laakerin kitka on mahdollisimman pieni ja kulkeminen sujuvaa. Vierintäelimien valmistuksessa käytetään usein samaa materiaalia, kuin laakerin sisä- ja ulkokehissä. Näistä poikkeuksena esimerkiksi keraamiset kuulat, jotka estävät sähkönsäätymistä. Pidin erottelee vierintäelimet toisistaan tasaisesti, jotta kuorma välittyisi tasaisesti. Se edesauttaa kitkan vähentämisessä, jolloin laakeri ei lämpeä liikaa. Myös pitimien materiaali on usein terästä. Muita pitimessä käytettäviä materiaaleja ovat esimerkiksi messinki tai erilaiset polymeerit. (JTEKT-yhtymä 2021)



Kuva 2. Kumi- ja peltitiivistetyt urakuulalaakerit. (SKF-yhtymä 2021)

Tiivisteiden tarkoitus on pitää rasva sisällä ja lika ulkona. Useimmiten laakerien käyttökohteet altistuvat kaikenlaiselle lialle, jolloin tiivisteet ovat tarvittava ratkaisu pidentämään laakerin käyttöikä. Tiivisteitä on monenlaisiin käyttötarkoituksiin, mutta useimmiten ne valmistetaan joko nitrilikumista tai teräksestä. Tiivistetyt eli suojatut laakerit ovat kestovoideltuja, sillä laakerit tarvitsevat rasvaa pysyäkseen hyvänä. Rasva hillitsee liikkeestä muodostuvaa kitkaa sekä kulumista ja pienentää laakerin operointilämpötilaa. Nitrilikumitiivisteet ovat hankaavia tiivisteitä, eli tiivisteiden ulkoreunat ovat kontaktissa laakerin sisä- ja ulkokehiin. Tästä syntyy hieman kitkaa ja lämpöä, jolloin näillä laakereilla on pienemmät kierrosnopeudet kuin terässuojatuilla. Kumi- ja peltitiivisteet ovat usein merkitty jälkimerkinnällä RS. Teräslevyllä suojattuja laakereita käytetään paikoissa, joissa lika ei ole

niin suuri ongelma ja suuria kierrosnopeuksia tarvitaan. Terässuojat ovat kiinni laakerin ulkokehässä, mutta muodostavat sisäkehään pienen raon. Tällöin tiiviste ei ole kontaktissa sisäkehään, eikä kitkaa tai lämpöä synny samalla tavalla kuin kumitiivisteissä. Tulee kuitenkin huomioida, että tällöin myös mahdollinen lika voi päästä laakeriin helpommin kuin kumisuojatuissa. Terässuojat ovat yleensä merkitty jälkimerkinnällä Z. (Laakeriteam, 2021)

2.5 Sisäinen välys ja toleranssit

Laakereilla on sisäinen välys, jota pystytään mittaamaan esimerkiksi valmistuksen jälkeen siihen tarkoitettulla työkalulla. Sisäinen välys määritellään kokonaisvälimatkalla siten, kuinka paljon toista kehää voi liikuttaa säteissuunnassa suhteessa toiseen. Eli puhutaan ns. laakerin sisällä olevasta tilasta kuulien ja kehien välillä. Yleisimmin välilyokkuna käytetään kuutta eri luokkaa. Tavallisen laakerin välys on luokkien kaksi ja kolme välissä. SKF merkitsee näitä luokkia kirjaimella C ja numerolla, riippuen siitä onko kyse normaalia pienemmästä vai suuremmasta välyksestä. SKF merkitsee taulukossa tavallista välystä merkinnällä CN. Kyseistä merkintää ei kuitenkaan yleensä itse laakereissa tai niiden paketeissa lue. (SKF-yhtymä 2021)

Alla olevasta taulukosta nähdään, että esimerkiksi C2 tarkoittaa normaalia pienempää välystä (eli säteissuuntainen tila on pienempi) kun taas C3 normaalia suurempaa välystä (säteissuuntainen tila suurempi). C3-välyksellä tehtyjä laakereita käytetään yleensä erilaisissa sähkömoottoreissa ja puhaltimissa, jotka saavat paljon kierroksia. Tästä johtuen laakerin kuulat lämpeävät enemmän ja tarvitsevat lisää tilaa laajentuakseen. C3-välyksen laakereissa kuulilla on hieman normaalia enemmän tilaa lämpölaajenemiseen. C4-välyksellä varustettuja laakereita taas käytetään erilaisissa murskissa ja täryissä. (SKF-yhtymä 2021)

ISO clearance class	SKF designation suffix	Internal clearance
-	C1	Smaller than C2
Group 2	C2	Smaller than Normal
Group N	-	Normal
Group 3	C3	Greater than Normal
Group 4	C4	Greater than C3
Group 5	C5	Greater than C4

Kuva 3. Taulukko välysluokista. (SKF-yhtymä 2021)

Laakerit valmistetaan tiettyjen toleranssien puitteissa. Tämä tarkoittaa sitä, että normaalin välyksen laakerit valmistetaan tietyllä toleranssilla, joka voi ristetä C3-välyksellisten laakereiden toleranssin kanssa. Eli voidaan ajatella, että tavallisella välyksellä valmistetun laakerin välys saattaa hyvällä tuurilla olla yhtä suuri kuin C3-välyksellä valmistetulla laakerilla. Yleensä kuitenkin vanhan C3-välyksisen laakerin tilalle otetaan uusi C3-välyksinen laakeri, jotta voidaan olla varmoja laakerin toiminnasta juuri kyseisessä kohteessa. Mikäli vanhassa laakerissa ei ole ollut normaalia isompaa välystä, voidaan sen tilalle ottaa laakeri isommalla välyksellä. Toisin päin ei kuitenkaan kannata tehdä. (SKF-yhtymä 2021.)

Yllä olevasta kuvasta voidaan päätellä, että laakerit on nimetty numerokoodien mukaisesti. Jokaisella laakerityypillä on oma vastaava numeronsa, jotka pätevät yleisesti merkkien välillä, esimerkiksi 6-sarjan laakerit ovat yleensä urakuulalaakereita. Ensimmäinen numero koodista kertoo siis usein laakerin tyypin. Koodin seuraavat numerot kertovat mittasarjan ja viimeiset numerot akselin koon, kun numeron kertoo viidellä. Jotkut numerosarjat ovat vain nelinumeroisia ja toiset pidempiä, nämä vaikuttavat hieman mittatietojen käsittelyyn. (SKF-yhtymä 2016, 23.)

3.1 Urakuulalaakerit



Kuva 5. Yksirivinen peltisuojaattu urakuulalaakeri. (SKF-yhtymä 2021)

Urakuulalaakerit sopivat kohteisiin, joissa tarvitaan suuria kierrosnopeuksia, vähäistä kitkaa sekä hiljaista käyntiääntä. Urakuulalaakerit ovat hyviä tuotteisiin, joille halutaan pienet kokonaiskustannukset. Yleisimpiä käyttökohteita ovatkin sähkömoottorit, maatalouskoneet, kuljettimet, pumput sekä tuulettimet. Urakuulalaakereita on saatavilla joko yksi- tai kaksirivisenä. Yksiriviset ovat vankkoja, monipuolisia ja ekonomisia. Näiden ominaisuuksien ansiosta ne onkin kaikkein käytetyin laakerityyppi. Kaksiriviset urakuulalaakerit kestävät edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi myös enemmän kuormaa, suuremman kuulamäärän vuoksi.

Urakuulalaakerit ovat itsekseen koossa pysyviä ja ne vastaanottavat pääasiassa säteismutta myös aksiaalikuormia. Sisä- ja ulkokehissä on vierintäurat, joita pitkin kuulat vierivät.

Rakenteensa vuoksi ne eivät kestä linjausvirheitä lainkaan. Urakuulalaakereita saa avoimena sekä suojattuina joko kumi- tai terässuojalla. Avoimet vaativat säännöllistä rasvaamista ja suojatut ovat kestovoideltuja. Urakuulalaakereiden pitimet ovat usein valmistettu teräksestä, messingistä tai polyamidista. Teräs kestävä suurta kuormaa ja on edullinen valmistaa. Messinkinen vähentää kontaktipainetta, kestävä tärähdyksiä ja iskuja sekä on itsestään voiteleva, mutta kalliimpi vaihtoehto. Polyamidipidin on kaikkein kevyin ja täten mahdollistaa suuremmat kierrosnopeudet, mutta ei kestä yhtä suuria kuormia kuin teräksinen tai messinkinen. Urakuulalaakereita saa myös poikkeavilla rakenteilla, kuten lukkorenkaalla tai laipalla varustettuina. Lukkorenkaalla saa laakerin kätevästi sijoitettua tai lukittua tiettyyn kohtaan. Nämä laakerit on varustettu jälkimerkinnällä, jossa N tarkoittaa lukkorengasuraa ja R lukkorengasta. (SKF-yhtymä 2018, 241.)

3.2 Pallomaiset kuulalaakerit



Kuva 6. Avoin pallomainen kuulalaakeri. (SKF-yhtymä 2021)

Pallomaisilla kuulalaakereilla on kaksi riviä kuulia ja laakerin ulkokehän sisäpuolinen vierintärata on pallomainen ja yhtenäinen. Sisäkehällä vierintäradalla on kaksi erillistä vierintäuraa. Erilliset vierintäurat sisä- ja ulkokehillä mahdollistavat laakerin mukailun erilaisiin linjausvirheisiin. Kyseiset laakerit kestävä enemmän säteis- kuin aksiaalikuormaa. Pallomaiset kuulalaakerit soveltuvat hyvin kohteisiin, joissa on suuria kuormia ja kierrosnopeuksia. Näitä käytetään yleensä teollisuustuulettimissa, maatalous- ja

paperikoneissa. Laakereita voidaan asentaa myös halkaistaviin pesiin, joita käsitellään myöhemmin opinnäytetyössä. (SKF-yhtymä 2018, 242-244.)

Pallomaiset kuulalaakerit muodostavat kaikkein vähiten kitkaa verrattuna muihin vierintälaakereihin. Tämä mahdollistaa alhaiset operointilämpötilat myös korkeilla kierroksilla, jonka ansiosta laakerit kestävät käyttökohteissa pidempään. Laakereita saa avoimena tai tiivistettyinä kumi- tai terässuojilla. Pallomaisia kuulalaakereita on mahdollista saada myös lieriömäisellä tai kartiomaisella sisäkehällä käyttökohteesta riippuen. (SKF-yhtymä 2018, 242-244.)

3.3 Pallomaiset rullalaakerit



Kuva 7. Avoin pallomainen rullalaakeri. (SKF-yhtymä 2021)

Pallomaiset rullalaakerit on suunniteltu erityisesti kohteisiin, joissa laakeroinnin täytyy kantaa suuria kuormia säteis- ja aksiaalisuunnassa. Ne on tehty kestäväksi myös sykäyksittäin tulevia shokkikuormia. Laakerin sisäinen muotoilu mahdollistaa laakerin mukailun erilaisiin linjausvirheisiin. Yleisimpiä käyttökohteita ovat kuljettimet, jalostustekniikan laitteistot sekä paperikoneet. Pallomaisia rullalaakereita voidaan pallomaisten kuulalaakereiden tavoin asentaa myös halkaistaviin laakeripesiin. (SKF-yhtymä 1991, 459-461.)

Pallomaisilla rullalaakereilla on kaksi symmetristä riviä rullia. Rullien pitkät sivut on tehty hieman kaareviksi, jotta ne kulkevat hyvin laakerin ulkokehän pallomaista sisäpuolista

vierintärataa pitkin. Sisäkehän vierintärata on kaksiosainen ja vastaa rullien muotoa. Pallomaisia rullalaakereita saa avoimena sekä tiivistettyinä, joista kuitenkin avoimet ovat yleisempiä. Niiden sisäkehä voi käyttökohteesta riippuen olla joko lieriömäinen tai kartiomainen. Laakereita voidaan räätälöidä vastaamaan käyttökohteen vaatimuksia esimerkiksi pitimen materiaalia muuttamalla, erilaisilla voiteluratkaisuilla tai lisäosilla. (SKF-yhtymä 1991, 459-461.)

3.4 Lieriörullalaakerit



Kuva 8. Yksirivinen lieriörullalaakeri ja täysrullalaakeri. (Schaeffler 2021)

Lieriörullalaakereita on saatavilla yksi tai kaksirivisinä ja niiden rakenteet voivat erota toisistaan. Tyypillisimmät mallit ovat pitimillä varustettuja yksi- tai kaksirivisiä täysrullalaakereita tai ristirullalaakereita. Lieriörullalaakerit kestävät suuria kuormia, pyörimisnopeuksia sekä säteiskuorman kantamista. Laakereita käytetäänkin yleensä erilaisissa työstö- ja valssauskoneissa. Raskaammissa laakeroinneissa käytetään usein useampirivisiä lieriörullalaakereita, niiden suuremman kuorman kantavuuden vuoksi. (SKF-yhtymä 1991, 329-330)

Lieriörullalaakerit koostuvat muiden laakerien tapaan sisä- ja ulkokehistä, vierintäelementeistä, pitimestä ja tiivisteistä. Vierintäelementit ja niiden pidin on irrotettavissa laakerista, mikäli se on laipallinen malli. Kiinteälaippaisen laakerin laakerirengas on irrotettavissa toisesta laakerirenkaasta pitimen ja rullien kanssa, joka helpottaa esimerkiksi laakerin asennusta paikoilleen. Kiinteälaippaisten lieriörullalaakerien

rakenteet voivat erota toisistaan esimerkiksi seuraavasti: ulkokehässä on kaksi kiinteää laippaa ja sisäkehä on laipaton, kun taas toisella mallilla on sisäkehällä kaksi kiinteää laippaa ja ulkokehä on laipaton. Tämä mahdollistaa aksiaalsiirtymän laakeripesästä katsottuna molempiin suuntiin, eli lämpötilanmuutoksista aiheutuvan pituuden muutoksesta johtuvan liikkeen. Toisessa mallissa ulkokehällä on kaksi kiinteää laippaa ja sisäkehässä yksi kiinteä laippa, jolloin sitä voidaan ohjata aksiaalisesti vain toiseen suuntaan. Yksirivisiä lieriörullalaakereita on myös useita muita malleja, jotka eroavat toisistaan kiinteillä ja irrallisilla laipoilla sekä akselin laajenemissuunnalla. (SKF-yhtymä 1991, 330-331.)



Kuva 9. Täysrullainen lieriörullalaakeri. (SKF-yhtymä 2021)

Lieriömäisiin rullalaakereihin kuuluva alalaji, täysrullalaakeri toimii ilman pidintä ja siihen on asennettu niin paljon rullia, kuin vain on mahdollista. Laakerilla on erittäin suuri säteiskantokyky, joka mahdollistaa laakerin käytön ahtaissakin laakeroinneissa. Sen pyörimisnopeus jää suuremman rullamäärän takia matalammaksi kuin tavallisilla lieriörullalaakereilla ja vierekkäiset rullat liikkuvat toisiinsa nähden vastakkaisiin suuntiin, sillä niiden vierintäradat ovat suoraan kosketuksessa toisiinsa. Rullien kitka on suurempi verrattuna tavallisiin lieriörullalaakereihin, kun voiteluainekalvo ei pääse muodostumaan. Näitä laakereita on myös eri mallisina, mutta yleensä ne mahdollistavat akselin liikkumisen vain yhteen suuntaan. Laakereita saa myös kaksirivisenä, jolloin laakerit kestävät suurempaa kuormitusta. (SKF-yhtymä 1991, 374-375.)

Lieriömäiset ristirullalaakerit ovat lieriörullalaakereiden alalaji, joiden sisä- ja ulkorenkaiden vierintäradat ovat omaan geometriseen akseliinsa nähden 45° kulmassa. Rullat on

asennettu 90° kulmaan vuorotellen toisiinsa nähden ja niiden halkaisija on suurempi kuin niiden pituus. Tämä mahdollistaa laakerin säteis- ja aksiaalikuormituksen keston molempiin suuntiin sekä kippimomentin. Laakerit mahdollistavat suurien kuormien kantamisen ahtaissa käyttökohteissa, joissa akselin halkaisija on suhteellisen suuri. Yksirivisiä ristirullalaakereita valmistetaan vakiorakenteisten lisäksi myös eri rakenteilla. (SKF-yhtymä 1991, 402.)

3.5 Neulalaakerit



Kuva 10. Neulalaakeri. (SKF-yhtymä 2021)

Neulalaakerit ovat rullalaakereita, jotka koostuvat vähintään pitimestä ja kapeista rullista. Lieriömäisiä pieniä rullia kutsutaan neuloiksi, joiden vaippapinta on hieman kaareva mahdollistaen neularullien ja vierintä ratojen välisen joustavan kosketuksen. Neularullat ottavat viivakosketuksen vierintä ratoihin, jolloin estetään mahdolliset reunakuormitukset ja niillä on suuri kuormankantokyky, matalasta poikkileikkauskorkeudestaan huolimatta. Tämän ansiosta ne soveltuvat hyvin laakerointeihin, joissa on rajoitettu säteittäistä tilaa. (SKF-yhtymä 1991, 415-416.)

Neulalaakereita on useita erilaisia yhdistelmiä, esimerkiksi neularullaholkit, joiden päät voivat olla avoimia tai suljettuja. Niitä on saatavilla myös tiivistettyinä tai ilman tiivistystä ja sisärenkaan kanssa tai ilman sitä. Neularullaholkeissa on ohut teräslevystä puristettu ulkorengas, jolloin ne ovat matalia poikkileikkauskorkeudeltaan ja niitä käytetään pääsääntöisesti kompakteissa ja taloudellisissa laakeroinneissa. Neularullaholkkeja

käytetään yleensä ilman sisärengasta, pois lukien, kun kyseessä on työstämätön tai karkaisematon akseli. Neularullaholkkeja voidaan asentaa pareittain, mikäli tarvitaan parempaa kuormankestävyyttä, jolloin kaksi neularullaholkkia kiinnitetään toisiinsa ja niiden rullastoilla pitää olla sama poikkeama kyseisestä sisähalkaisijasta. (SKF-yhtymä 1991, 415-416.)

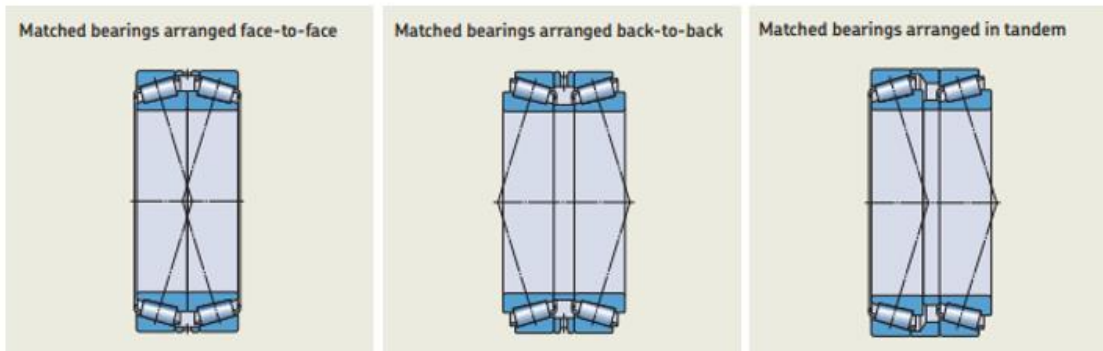
3.6 Kartiorullalaakerit



Kuva 11. Kartiorullalaakerin rakenne. (SKF-yhtymä 2021)

Kartiorullalaakereita saa joko yksi- tai kaksirivisenä, joista yksiriviset ovat käytetympi malli. Rullat mahdollistavat suuremman jäykkyyden ja paremman kuorman keston kuin kuulalaakereiden kuulat. Kartiorullalaakerit kestävät siis suuria kuormia, mutta eivät suuria kierrosnopeuksia. Yksin asennettuna kartiorullalaakerit kestävät aksiaalista kuormaa vain yhdestä suunnasta, kun taas pareittain asennettuina ne voivat kestää yhdistelmäkuormitusta useammasta suunnasta. Kartiorullalaakereiden yleisimpiä käyttökohteita ovat esimerkiksi erilaiset trailerit ja vaihdelaatikot. (SKF-yhtymä 1991, 515-516.)

Kartiorullalaakerit koostuvat muiden laakerien tapaan sisä- ja ulkokehistä, pitimestä ja rullista. Ne ovat yleensä avoimia, sillä niiden sisäkehä on kartion mallinen, jolloin laakeri ei pysy itsestään kasassa. Tämä mahdollistaa laakerin asentamisen esijännitykseen, eli kuinka kireälle laakeri asennetaan. (SKF-yhtymä 1991, 515-516.)



Kuva 12. Kartiorullalaakereiden pareittain asentaminen eri asetelmiin. (SKF-yhtymä 2016)

Kartiorullalaakerit asennetaan yleensä peilikuvaksi toisilleen, eli X- tai O-asetelmaan, mutta tandemasetelma (jossa laakerit ovat samoin päin) on myös mahdollinen. Pareittain asennettavia kartiorullalaakereita ei ole merkitty erikseen, ja ne ovat yleensä eri kokoisia keskenään. (SKF-yhtymä 1991, 586-587.)

3.7 Viistokuulalaakerit

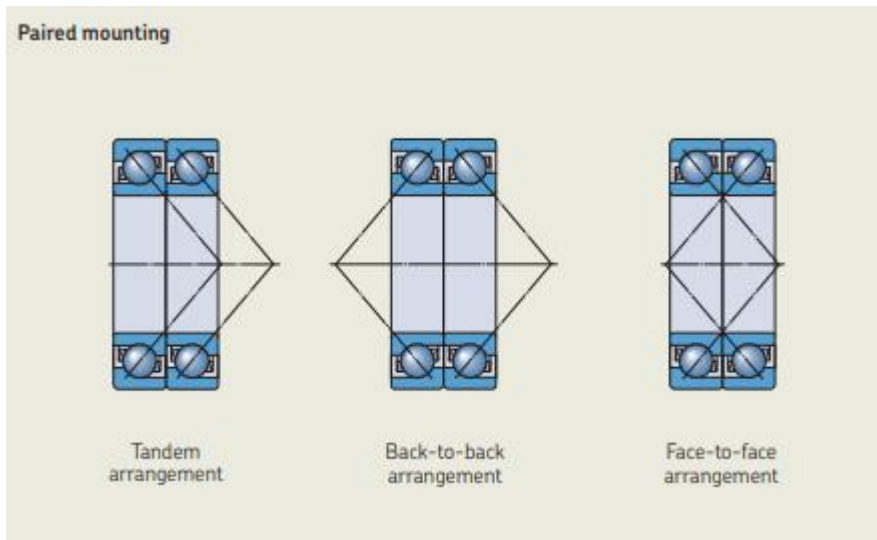


Kuva 13. Yksi- ja kaksirivinen viistokuulalaakeri. (SKF-yhtymä 2021)

Viistokuulalaakerit ovat samankaltaisia kuin kartiorullalaakerit. Niitä käytetään esimerkiksi kompressoreissa, erilaisissa pumpuissa ja teollisuustuulettimissa. Niitä saa yksittäin ja pareittain asennettavina. Yksittäin asennettavat kestävät säteiskuorman lisäksi aksiaalista kuormitusta vain yhdestä suunnasta, kun taas pareittain asennettavat yhteen asennettuina enemmän kuormaa yhdestä suunnasta tai tasaisesti molemmista suunnista. Rakenteeltaan

viistokuulalaakerit ovat itsestään koossa pysyviä ja niillä on tavalliseen tapaan sisä- ja ulkokehät, vierintäelimet ja pidin. Molemmissa kehissä on omanlaisensa viistomainen rakenne ja ne ovat asetettuina poikittain toisiinsa nähden, jolloin niille muodostuu tietty kontaktikulma. Kontaktikulma määrittää laakerin aksiaalisen kuorman keston, eli mitä suurempi kulma sen suurempi kuorman kesto. Näin kuormitus jakautuu tasaisesti säteis- ja aksiaalisuunnassa. Kontaktikulmista yleisin on 40 astetta, mutta muutkin kontaktikulmat ovat mahdollisia. Kaikki viistokuulalaakerit eivät ole suojattuja, mutta useita niistä saa kumitiivistettyinä. Näidenkin laakerien pitimiä on mahdollista valmistaa eri materiaaleista käyttökohteisiin sopiviksi. (SKF-yhtymä 1991, 286-287.)

Viistokuulalaakerit kestävät paremmin suuria kierroksia, mutta ovat heikompia kantamaan kuormaa kuin kartiorullalaakerit. Ne sopivat esimerkiksi kohteisiin, joissa tarvitaan yhdistelmäkuormituksia, aksiaalikuormitusta vain yhteen suuntaan (mikäli kyseessä on vain yksi laakeri), tai kun tarvitaan suuria kierroksia tai hiljaista käyntiääntä. Viistokuulalaakereita on myös pareittain asennettavina, jolloin ne kestävät säteiskuorman lisäksi aksiaalista kuormaa molemmista suunnista tai suurempaa kuormaa vain yhdestä suunnasta. Yksittäin ja pareittain asennettavat ovat merkitty erikseen. Esimerkiksi SKF:llä yksittäin asennettavan jälkimerkintä voi olla BEP, kun taas pareittain asennettavalla BECBP. Pareittain asennettavia viistokuulalaakereita käytetään, kun halutaan varmistaa suurempi aksiaalisen kuorman kesto tai aksiaalisen kuorman kesto molemmista suunnista. Laakerit voidaan asentaa eri asetelmiin, kuten tandem-, O- (back-to-back) sekä X-asetelma (face-to-face). (SKF-yhtymä 1991, 287.)



Kuva 14. Yksirivisen viistokuulalaakerin pareittain asentaminen X-, O- ja tandemasetelmiin. (SKF-yhtymä 2018, 386)

Tandem-asetelmassa kontaktilinjat menee akselinsuunnaisesti vain toiseen suuntaan, eli aksiaalikuormitus jakautuu tasaisesti molemmille laakereille vain yhdestä suunnasta. O-asetelmassa kontaktilinjat ovat poispäin toisistaan, joka mahdollistaa yhdistelmäkuormituksen kantamisen joka suuntaan. Kontaktilinjojen mennessä poispäin toisistaan, muodostuu laakereiden väliin tukiväli (H), joka mahdollistaa jämäkkyuden ja normaalia suuremmat kallistusmomentit. X-asetelmassa kontaktilinjat ovat toisiaan kohden, jolloin ne kohtaavat toisensa laakerin sisällä. Tämä muodostelma tarjoaa myös yhdistelmäkuormituksen kantamisen joka suuntaan, mutta ei ole yhtä jämäkkä tai mahdollista yhtä suurilla kallistusmomentteja kuin O-asetelma. (SKF-yhtymä 2018, 386.)

3.8 Y-laakerit

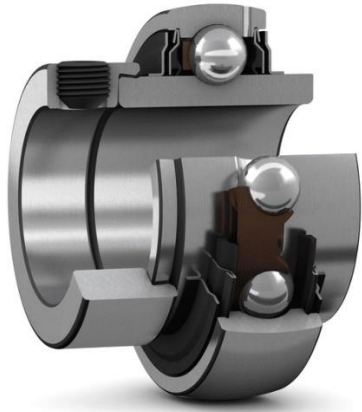


Kuva 15. Y-laakeri pidätinruuvikiinnityksellä. (SKF-yhtymä 2021)

Y-laakerit ovat Y-laakeripesiin asennettavia kuulalaakereita. Y-laakereita on erilaisilla kiinnityksillä varustettuina ja niillä voi olla erilaisia suojauksia. Ne ovat urakuulalaakereita, jotka kestävät paremmin aksiaalista kuormitusta erilaisten akseliin kiinnittämistapojen ja leveämmän sisäkehän ansiosta. (SKF-yhtymä 2018, 340-341.)

Y-laakereilla on pääsääntöisesti pallomainen ulkokehä, joka helpottaa laakerin asennusta sen pesään. Sen ulkokehällä on yleensä rasvareiät tai rasvaura, jonka avulla laakeri saa voitelua pesään kiinnitetystä rasvanipasta. Y-laakerit voivat olla molemmin puolin pidennettyjä, vain toiselta puolelta pidennettyjä tai urakuulalaakerin kaltaisia. Y-laakerin kiinnittäminen akseliin tapahtuu kiinnitysmuodosta riippuen sisäkehällä olevilla pidätinruuveilla, epäkeskokauluksella, tiukalla sovitteella tai kiristysholkilla. Tavallisten urakuulalaakereiden tavoin näissäkin on sisä- ja ulkokehät, pidin, kuulat, tiivisteet sekä rasva. (SKF-yhtymä 1991, 657.)

Pidätinruuvikiinnityksellä asennettavat Y-laakerit ovat helppo asentaa sekä irrottaa ja akseli voi pyöriä molempiin suuntiin. SKF:n tuotteista yleisimmät pidätinruuvikiinnityksellä varustetut Y-laakerit ovat YAR, jossa sisäkehä on pidennetty molemmin puolin sekä YAT, jossa sisäkehä pidennetty vain toiselta puolen. (SKF-yhtymä 1991, 660.)



Kuva 16. Y-laakeri epäkeskokaulus-kiinnityksellä. (SKF-yhtymä 2021)

Epäkeskokauluksella asennettavat Y-laakerit on myös helppo asentaa, mutta tällöin akseli voi pyöriä vain yhteen suuntaan. Kiinnityksessä kaulus kiristetään vastoin akselin pyörimissuuntaa, joka mahdollistaa tiukan asennuksen ja avatessa kaulusta pyöritetään akselin pyörimissuunnan mukaisesti. SKF:n epäkeskokauluksella kiinnitettävät Y-laakerit ovat YEL, jossa sisäkehä pidennetty molemmin puolin sekä YET, jossa sisäkehä pidennetty vain toiselta puolelta. (SKF-yhtymä 1991, 660.)



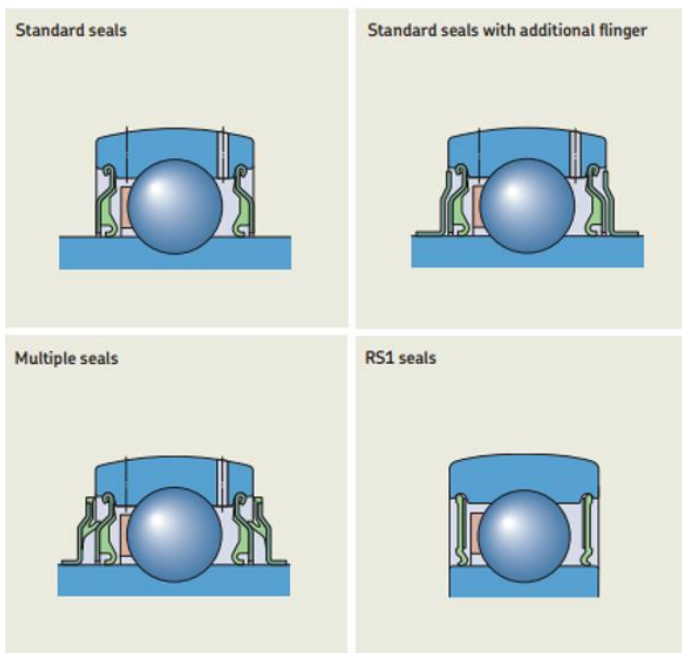
Kuva 17. Y-laakeri kiritysholkkikiinnityksellä. (SKF-yhtymä 2021)

Kiritysholkkikiinnitys mahdollistaa tiukan ja keskisen lukituksen, jossa akseli voi pyöriä molempiin suuntiin. SKF:llä kyseinen laakeri kuuluu YSA-sarjaan, jonka asentamiseen on hankittava holkki erikseen. YSA-laakeria valitessa tulee ottaa huomioon, että holkki pienentää laakerin akselin halkaisijaa noin viiden millimetrin verran. (SKF-yhtymä 1991, 661.)



Kuva 18. Y-laakeri tiukalla sovitteella. (SKF-yhtymä 2021)

Tiukka sovite mahdollistaa urakuulamaisen kiinnityksen, mikäli tilaa ei ole tarpeeksi muulle kiinnitysvaihtoehdolle. Akseli voi pyöriä molempiin suuntiin, eikä laakerin sisäkehää ole jatkettu kumpaankaan suuntaan. (SKF-yhtymä 1991, 661.)



Kuva 19. Y-laakerien erilaisia tiivisteitä. (SKF-yhtymä 2018, 346)

Y-laakerien tiivisteet eroavat hieman edellä mainituista kumi- ja terässuojista. Y-laakereilla tavallisen tiivisteiden ulommainen osa on teräslaatta, joka ottaa kontaktin ulkokehään mutta jättää välin sisäkehään ja laatan sisäpuolella on vulkanoitua NBR-kumia kontaktoituna

sisäkehään. Toinen vaihtoehto on tiiviste, johon on lisätty edellä mainittujen lisäksi ylimääräinen peltilevy, joka mukaillee sisäkehää. Kyseisen tiivistemallin merkintä on 2F. Seuraavaksi tiiviimpi vaihtoehto on moninkertainen tiiviste 2RF, jossa on kaksi erillistä kumi- ja peltitiivistettä kummallakin puolella laakera. Näitä käytetään lähinnä hankalissa ympäristöissä. Urakuulalaakerimaisissa Y-laakereissa käytetään yleensä RS1-tyyppistä tiivistettä, joka on saman tyylinen kuin urakuulalaakereissa. (SKF-yhtymä 2018, 346)

3.9 Paineakuulalaakerit



Kuva 20. Yksi- ja kaksisuuntainen paineakuulalaakeri. (SKF-yhtymä 2021)

Paineakuulalaakereita on joko yksi tai kaksisuuntaisia. Ne eivät pysy kasassa itsekseen, vaan ilman painetta irtoavat erillisiksi osiksi. Yksisuuntaiset paineakuulalaakerit on tarkoitettu kestämään yhdensuuntaista aksiaalikuormitusta ja ohjaamaan akselia yhdessä suunnassa. Kaksisuuntaiset taas molemmin suuntaista kuormitusta. Paineakuulalaakereita ei saa kuormittaa säteissuunnassa lainkaan. Käyttökohteina ovat usein esimerkiksi teollisuustuulettimet ja -pumput. (SKF-yhtymä 1991, 595.)



Kuva 21. Paineakuulalaakerien rakenne. (SKF-yhtymä 2016)

Paineakuulalaakerit koostuvat hieman erilaisista osista kuin esimerkiksi urakuulalaakerit. Niillä on akselilaatta, jossa on vierintärata, jota pitkin kuulasto pitimineen liikkuu. Näiden lisäksi kyseisessä laakerissa on niin kutsuttu pesälaatta, joka voi olla tasa- tai pallopintainen. Pallopintainen pesälaatta kykenee korjaamaan pieniä asennuksesta tai suuntauksesta aiheutuvia yhdensuuntaiseroja. Kaksisuuntaisessa paineakuulalaakerissa on edellä mainituista poiketen erilainen akselilaatta, jonka molemmissa pinnoissa yksi vierintäura. Tätä pitkin kulkee kaksi kuulakehää, joiden ulkopuolella on vielä pesälaatat. Paineakuulalaakerit ovat lähes aina suojaamattomia ja ne tarvitsevat voitelua muiden laakerien tavoin. Niiden pitimiä on myös mahdollista saada eri materiaaleista. (SKF-yhtymä 1991, 595-596.)

3.10 Painelieriörullalaakeri



Kuva 22. Painelieriörullalaakeri. (SKF-yhtymä 2021)

Painelieriörullalaakerit ovat hyvin samankaltaisia kuin paineneulalaakerit. Painerullakehiä voidaan samalla lailla käyttää pinnoilla, jotka soveltuvat olemaan vierintäratoina. Näissäkin laakereissa rullien pitkät reunat on tehty kaareviksi, jotta laakeri saa tasaisen kuormituksen. Näitä laakereita on mahdollista käyttää myös suurilla kierroksilla. (SKF-yhtymä 1991, 619.)

Lieriömäisten painerullalaakerien rakenne koostuu akseli- ja pesäläatoista sekä painerullakehästä, painekuulalaakerien tapaan. Erona on kuulien sijasta rullat, jotka kantavat kuormaa paremmin kuin kuulat. Lieriömäisiä painerullalaakereita käytetäänkin yleensä tilanteissa, joissa normaalirakenteisen painekuulalaakerin kantokyky ei ole tarpeeksi suuri. Lieriömäisillä painerullalaakereilla saadaan aikaiseksi jäykkiä laakerointeja, joilla pystytään suuriin aksiaalikuormitukseen yhdestä suunnasta. Laakeri tarvitsee laakeripesän tukea koko kehän matkalta ja vierintäradan leveydeltä. (SKF-yhtymä 1991, 619-620.)

3.11 Paineneulalaakerit



Kuva 23. Paineneulalaakeri. (SKF-yhtymä 2021)

Paineneulalaakereita käytetään, kun tarvitaan suurta jäykkyyttä ja minimaalista aksiaalisen kuorman kestoa. Laakerin pitimessä on runsaasti neularullia, joita pidin ohjaa vierintäratoja pitkin. Vierintäradat voidaan muotoilla esimerkiksi laakeriin liittyviin osiin. Kuten painerullalaakereissakin, myös näissä pienet rullat eli neulat ovat hieman kaarevia jakaakseen kuorman tasaisesti ilman reunajännitystä. Laakerin etuja ovat hyvä raskaiden

aksiaalikuormien kesto yhteen suuntaan sekä epäherkkyys sysäyskuormituksille. Yleensä paineneulalaakerien kanssa käytetään juoksu- tai painelaattaa, joka on usein valmistettu karkaistusta teräksestä. Juoksulaattaa voidaan käyttää akseli- tai pesälaattana erilaisissa laakeroinneissa silloin, kun laakeroinnilta ei vaadita tarkkaa keskitystä tai kun pyörimisnopeus pysyy alhaisena. (SKF-yhtymä 1991, 633-634.)

3.12 Liukulaakerit

Liukulaakereita on yleisimmin saatavilla nivellaakereina sekä liukulaakeriholkkeina. Liukulaakerit yleisesti kestävät hyvin raskasta, staattista ja dynaamista kuormitusta. Ne sietävät monisuuntaisia liikkeitä ja korjaavat linjausvirheitä. Ne poistavat reunajännitykset ja vierekkäisten komponenttien välisen liiallisen jännityksen lähes kokonaan. Liukulaakerit mahdollistavat suurien valmistustoleranssien käyttämisen sekä kustannustehokkaiden ja hitsattujen kokoonpanojen käyttöä.



Kuva 24. Nivellaakereita. (SKF-yhtymä 2021)

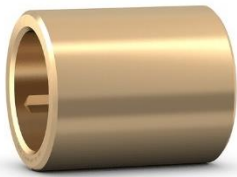
Nivellaakereista yleisimmät ovat teräs-teräs-liukulaakerit, jotka ovat käytännössä huoltovapaita ja todella kestäviä. Niissä on rasvaura ja rasvareiät, joiden avulla laakeri pysyy voideltuna verrattain pitkään. Ne ovat optimaalinen valinta kustannusten alentamiseksi. Ne kestävät hyvin erilaisia kuormia ja niillä on vain hyvin pieni riski korroosioon. Myös näitä

teräs-teräs nivellaakereita saa suojattuina kumisuojiilla, kuten yllä olevassa kuvassa näkyvät punaiset ja siniset tiivisteet. Nämä laakerit ovat pinnat vastakkain, eikä niissä ole vierintäelementtejä, vaan ne toimivat liukumalla pintojaan vasten. Tämän vuoksi ne ovatkin todella varmatoimisia ja ne ovat pitkäikäisiä. (SKF-yhtymä 2019, 4-8.)



Kuva 25. Erilaisia liukulaakeriholkkeja. (SKF-yhtymä 2021)

Liukulaakeriholkkeja on saatavilla useita erilaisia malleja. Näissä on hyödynnetty eri materiaaleja ja rakenteita. Liukulaakeriholkit sopivat hyvin pyöriviin ja värähteleviin kohteisiin. Ne sopivat jossain määrin myös lineaariliikkeisiin. Kohteissa voi olla suuria kuormituksia, mutta vähäisiä kierrosnopeuksia. Rakenteeltaan suorat laakeriholkit kestävät säteiskuormitusta ja laipalliset laakeriholkit säteiskuormituksen lisäksi aksiaalkuormitusta toisesta suunnasta. Osa liukulaakeriholkeista on itsestään voitelevia ja toiset taas vaativat jatkuvaa voitelua. Seuraavaksi muutamia esimerkkejä erilaisista liukulaakeriholkeista ja niiden materiaaleista. (SKF-yhtymä 2021.)



Kuva 26. Liukulaakeriholkki puhtaasta pronssista. (SKF-yhtymä 2021)

Puhdasta pronssia olevat liukulaakeriholkit eivät kestä suuria liukunopeuksia ja niitä on voideltava säännöllisesti. Ne sopivat monenlaisiin kohteisiin, sillä ne eivät ole herkkiä lialle, kantavat hyvin shokkikuormia ja kestävät hyvin värinää matalilla kierroksilla. Ne voivat olla uritettuja sisäpinnasta, jolloin rasva jää hyvin kohteeseen. Tämä materiaali kestää myös hyvin lämpöä. (SKF-yhtymä 2021.)



Kuva 27. Liukulaakeriholkki rasvataskuilla. (SKF-yhtymä 2021)

Rasvataskullisen pronssiliukulaakerin pinnoilla on yleensä läpimeneviä rasvataskuja, joihin rasva jää voiteluaineeksi. Rasvataskullinen pronssiliukulaakeri on hyvä kohteisiin, joissa uudelleenrasvaamisen mahdollisuus on vaikea tai heikko. Pronssiliukulaakeriholkkien tapaan, se kestää hyvin likaa ja shokkikuormia. Alkuvoitelun jälkeen rasvataskullinen pronssiholkki on käytännössä huoltovapaa. (SKF-yhtymä 2021.)



Kuva 28. Liukulaakeriholkki POM-pinnoitteella. (SKF-yhtymä 2021.)

POM-pinnoitteisen liukulaakeriholkin liukupintana toimii POM-pinnoite, jossa on umpinaiset rasvataskut. POM-pinnoitteen etuja ovat hyvät liukuominaisuudet, hyvä kuormankesto sekä toimintavarmuus useissa kohteissa. POM-pinnoitetut liukulaakeriholkit ovat lähes huoltovapaita, sillä ne vaativat vain alkurasvauksen. Uudelleenrasvauksen tarpeen väli voi olla verrattain suurikin. (SKF-yhtymä 2021.)



Kuva 29. Liukulaakeriholkki sintratusta öljypronssista. (SKF-yhtymä 2021)

Sintratut öljypronssiliukulaakerit on valmistettu öljypronssista, johon on seostettu mukaan voitelevaa ainetta. Näillä on hyvät liukuominaisuudet, mutta heikentynyt kuorman ja lämpötilan kesto verrattuina edellä mainittuihin vaihtoehtoihin. Toisin kuin aikaisemmat liukulaakerit, sintratut öljypronssilaakerit eivät vaadi voitelua ja täten ovat huoltovapaita itsestään voitelevien ominaisuuksiensa ansiosta. (SKF-yhtymä 2021.)



Kuva 30. Liukulaakeriholkki PTFE-liukupinnalla. (SKF-yhtymä 2021)

PTFE-liukupinnalla varustetun liukulaakeriholkin liukupintana toimii Teflon-pinnoite. PTFE-pinnoitetut liukulaakerit eivät toimi hyvin likaisissa olosuhteissa, eivätkä ne siedä linjausvirheitä lainkaan. Eli ne vaativat akselilta hyvän toleranssin ja kestävät hyvin suuria kuormia sekä lämpötiloja. Teflon-pinnoite on itsestään voiteleva, joten tämäkin liukulaakeriholkki on käytännössä huoltovapaa. (SKF-yhtymä 2021.)

4 LAAKERIPESÄT

Laakeripesiä on useita eri malleja, jotka on voitu valmistaa eri materiaaleista. Yleisesti laakeripesiä käytetään sisätiloissa oleviin laakerointeihin, tukemaan pyörivää akselia. Pesät voidaan pultata runkoon tai muuhun rakenteeseen. Ratkaisut ovat kustannustehokkaita ja helppokäyttöisiä. Laakeripesät yhdessä vierintälaakereiden kanssa muodostavat laakeriyksikön.

4.1 Y-laakeripesät



Kuva 31. Erilaisia y-laakeriyksiköitä. (SKF-yhtymä 2021)

Y-laakeripesiä käytetään yhdessä y-laakereiden kanssa, jotka käytiin läpi opinnäytetyössä aiemmin. Erilaiset y-laakerit voidaan sijoittaa erilaisiin y-laakeripesiin, jolloin niistä tulee y-laakeriyksikkö. Y-laakeripesien valikoima on erittäin laaja, sillä niitä tehdään useista erilaisista materiaalista ja ne voivat olla käyttökohteesta riippuen eri mallisia. Opinnäytetyössä käydään läpi yleisimmät pesämuodot. Y-laakeripesää valittaessa on tärkeää muistaa, että saman mallin pesissä voi olla valmistajakohtaisia eroja esimerkiksi pulttijakojen ja -reikien sopivuudessa tai korkeuksissa. (SKF-yhtymä 2021.)

Y-laakeripesät ovat usein valmistettu valuraudasta, peltiteräksestä, komposiitista tai ruostumattomasta teräksestä. Pesän valinnassa kannattaa ottaa huomioon kuormat, tiivisteet, lämpötilat, nopeudet, laakerin asettuminen akselille sekä akselin pyörimissuunta.

Esimerkiksi peltipesäinen y-laakeriyksikkö ei kestä kovin suuria kuormia tai kierrosnopeuksia, eikä se ole rasvattavissa. Se on kuitenkin pesävaihtoehdoista kaikkein edullisin. Toinen ääripää on valurautainen pesä, joka kestävä suuria kuormia ja sen laakeria voidaan rasvata, mutta se on huomattavasti kalliimpi kuin muut vaihtoehdot. Mikäli pesämateriaalin täytyy olla ruostumatonta, voidaan materiaaliksi valita esimerkiksi komposiitti tai ruostumaton teräs. (SKF-yhtymä 2021.)

Y-laakeriyksiköihin on saatavilla ”lisävarusteena” päätykansia, joiden tarkoitus on suojata akselin päähän sijoitettua laakeriyksikköä lialta ja pölyltä. Y-laakeripesissä on yleensä syvennys, jonka päähän päätykuppi napsautetaan paikalleen. (SKF-yhtymä 2021.)

Pukkilaakeripesät



Kuva 32. Pukkilaakeriyksiköitä. (SKF-yhtymä 2021)

Pukkimalliset y-laakeripesät koostuvat pesästä, y-laakerista ja rasvanipasta. Perinteisessä mallissa pesän sivuilla ”jaloissa” on pulttireiät ja jommankumman niiden sivussa kolo lieriösokkaa varten. Muissa malleissa pulttireiät voivat olla esimerkiksi pesän alapuolella. Niissä on myös syvennys päätykantta varten sekä asennushahlo laakerin asennusta varten. Pukkilaakerit ovat todella yleisiä ja niitä voidaan käyttää monenlaisiin sovelluksiin. Pukkilaakeripesiä on saatavilla myös kevyempinä versioina valmistettuna pellistä tai komposiitista. (SKF-yhtymä 2021.)

Laipalliset y-laakeripesät



Kuva 33. Laipallisia y-laakeriryksiköitä. (SKF-yhtymä 2021)

Laipallisista y-laakeripesistä yleisimmät ovat neli- ja kaksipulttiset mallit. Nelipulttinen on neliön tai ympyrän mallinen ja se on mahdollista kiinnittää kohteeseen neljällä pultilla ja kaksipulttinen taas salmiakin mallinen, joka voidaan kiinnittää kohteeseen kahdella pultilla. Molempien rakenne on lähellä toisiaan, sillä erona on lähinnä pulttireikien määrä ja pesän malli. Laipalliset y-laakeripesät koostuvat esimerkiksi neliön, salmiakin tai pyöreän mallisista pesistä, y-laakereista ja rasvanipasta. Myös näissä pesissä on kolo lieriösokkaa varten, syvennys päätykantta varten sekä asennushahlo laakerin asennukseen. Laipallisia y-laakeriryksiköitä on paljon muitakin malleja, sillä niitä voidaan myös pukkilaakeriryksiköiden tavoin käyttää monissa erilaisissa kohteissa. (SKF-yhtymä 2021.)

Laipallisiin y-laakeripesiin luetaan myös peltipesät, jotka koostuvat kahdesta peltiteräksen palasesta. Nämä voivat olla esimerkiksi kolmion, neliön, salmiakin tai pyöreän mallisia. Peltipesät ovat kustannustehokas, mutta ei niin kestävä vaihtoehto verrattuna valurautaisiin pesiin. Y-laakereihin on saatavana lisäksi myös kumivaippoja, joiden tarkoitus on toimia pehmusteena peltipesissä. Kumivaippa jää y-laakerin ulkokehän ja peltipesien väliin vaimentamaan ääntä ja värinää. Se mahdollistaa pienet linjausvirheet tai pienen aksiaalisen siirtymän. (SKF-yhtymä 2021.)

Säädettävät y-laakeripesät



Kuva 34. Säädettävät y-laakeriyksiköt. (SKF-yhtymä 2021)

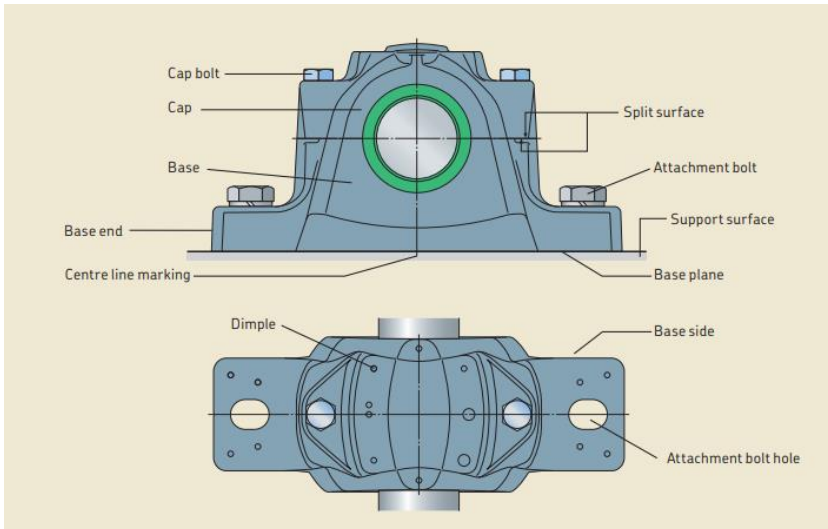
Säädettävät pesät ovat y-laakeripesiä, mutta ne ovat yleensä kiinnitettyinä runkoon niin, että laakeripesää pystyy liikuttamaan edestakaisin. Pesän liikuttaminen tapahtuu esimerkiksi säätöruuvilla, joka kiinnitetään pesässä olevaan reikään. Nämäkin y-laakeriyksiköt koostuvat itse pesästä, y-laakerista ja rasvanipasta. Pesässä on syvennys päätykantta varten sekä asennushahlo laakeria varten. Lisäksi näissä on yleensä ohjaava ura runkoon kiinnittämiseen, avoin tila säätöruuvia varten sekä keskireikä säätöruuvia varten. (SKF-yhtymä 2021.)

4.2 Halkaistavat pesät



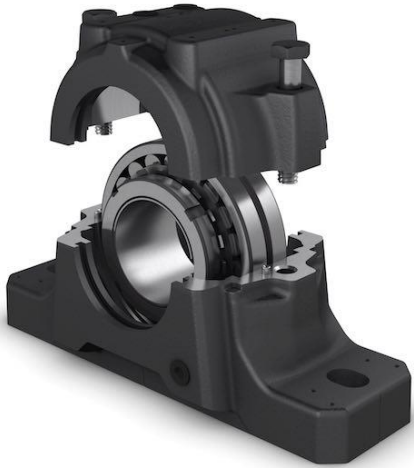
Kuva 35. Halkaistava SNL-pesä. (SKF-yhtymä 2021)

Halkaistavia pesiä on mahdollista käyttää pallomaisten kuula- tai rullalakereiden kanssa. Tällaisia yhdistelmiä käytetään usein raskaamman käytön laitteistoissa. Halkaistavia pesiä on laakereiden tapaan useita erilaisia, joista yleisin on kuitenkin SNL-/SE-pesät. Rakenteeltaan halkaistavat laakeripesät koostuvat kahdesta erillisestä osasta, pohjasta ja kannesta. Muiden pesien tapaan, näissäkin on paikat kiinnityspulteille, joilla se kiinnitetään rakenteeseen tukevasti. Näiden lisäksi pesässä on pultit, joilla sen kansi saadaan kiinni. Laakeripesän sisältä löytyy paikat laakerille, pidätinrenkaalle, kiristysholkille, tiivisteelle, päätykannelle sekä rasvanipalle. Käytettävät akselikoot ovat aina pienimmän 20 mm luokasta suurimpiin 160 mm luokkaan asti. (SKF-yhtymä 1991, 808.)



Kuva 36. Halkaistavan SNL-laakeripesän rakenne. (SKF-yhtymä 2015)

Halkaistaviin pesiin meneviä pallomaisia kuula- tai rullalaakereita valitessa kannattaa ottaa huomioon kuormitus ja muut olosuhteet. Halkaistavissa pesissä käytetään usein vapaata ja ohjaavaa laakerointia, jonka tarkoituksena on mahdollistaa akselin piteneminen liikkeestä johtuvan lämpölaajenemisen takia. Eli toisin sanoen akselin toisessa päässä olevan laakerin kuuluu olla vapaa ja toisessa päässä olevan lukittu. Kun toinen päistä on vapaa, se antaa periksi ja mukautuu mahdollisen pitenemiseen. Lukitun pään lukitseminen tapahtuu FRB-renkaalla, jolloin laakeri ei pääse liikkumaan aksiaalisesti lainkaan. Vapaassa päässä ei ole FRB-rengasta, jolloin pesään jää tilaa ja laakeri pääsee liikkumaan aksiaalisesti siihen tarkoitettulla paikallaan. Mikäli laakerointi sijoittuu akselin pätyyn, siihen voidaan laittaa päätykansi, joka estää likaa kulkeutumasta pesään. (SKF-yhtymä 1991, 809-810.)



Kuva 37. Halkaistaava laakeriyksikkö. (SKF-yhtymä 2015)

Laakeripesille tarkoitetut tiivisteet voivat olla valmistettu useista erilaisista materiaaleista. Nelihuulitiivisteet ovat kaikkein yleisin tiivistetyyppi, sillä ne ovat luotettavia, edullisia ja helppoja asentaa paikoilleen. Asennusta helpottaa, että tiivisteet ovat kaksiosaisia, eli kahtia halkaistuja. Ne mahdollistavat suuret akselin kierrosnopeudet, eivätkä aiheuta paljoa kitkaa. Alle 100 mm akselikoissa nelihuulitiivisteet mahdollistavat jopa 1° linjausvirheen. V-rengastiivisteet taas koostuvat V-renkaasta ja peltilevystä, johon on vulkanoitu kumihiuli, joka istuu laakeripesän tiivistekoloon. V-rengastiiviste mahdollistaa linjauspoikkeamia hieman enemmän kuin nelihuulitiivisteet, sillä ne kestävät linjausvirhettä jopa $1,5^\circ$ alle 50 mm akselikoissa ja suuremmissa 1° . Huopatiiviste on kitkaton vaihtoehto, jota kylvetetään kuumassa öljyssä ennen asennusta. Ne ovat yksinkertaisia, mutta melko tehokkaita. Haastavimpiin olosuhteisiin suunnitellut labyrinttitiivisteet taas kestävät suuria kierrosnopeuksia ja lämpötiloja. Tiiviste koostuu monikerroksisesta labyrintista, johon on lisäksi laitettu ontto silikonikumirengas. Labyrinttitiivisteet ovat huomattavasti kalliimpia kuin edellä mainitut vaihtoehdot. Vielä huonommissa olosuhteissa käytetään yleensä takoniittitiivistettä, joka on yhdistelmä labyrintti- ja v-rengastiivisteistä. Nämä ovat yleisiä esimerkiksi kaivosteollisuudessa, sillä tiivisteen sisälle pystyy pumppaamaan rasvaa ja se pitää lian pesän ulkopuolella. (SKF-yhtymä 1991, 811-812.)

Avoimet laakerit vaativat jatkuvaa voitelua, joka voi olla hankalaa, kun laakeri on pesän sisällä. Tätä varten pesiin on tehty kaksi paikkaa rasvanipoille, joihin rasvanipat kiinnitetään. Sivummalla oleva ohjaa rasvan laakeripesään ja suoraan yläpuolella oleva ohjaa rasvan suoraan laakerille. Sivusta rasvattaessa tulisi rasvaa täyttää 40 % pesän vapaasta tilasta ja

päältä rasvatessa 20 % pesän vapaasta tilasta. Hankalimmissa kohteissa suositus on, että rasvalla täytetään 70-80 % pesän vapaasta tilasta. Laakeripesän sivupohjaan on mahdollisuus porata reikä, jolloin pesä pääsee ajoittain tyhjentymään vanhasta rasvasta. Ilman tätä reikää vanha rasva ei pääse pois uuden rasvan tieltä. (SKF-yhtymä 1991, 811-812.)

5 LAAKERIN VALITSEMINEN

5.1 Kaava

Sopivan laakerin valinta asiakkaan tiettyyn käyttötarkoitukseen perustuu asiakkaan kertomaan tai mallikappaleeseen, jonka asiakas tuo mukanaan. Myyjän tulee osata kysyä oikeat kysymykset, jotta asiakkaalle osataan valita oikea laakeri. Yleisesti ajateltuna myyjän tulee ottaa huomioon olosuhteet, joihin laakeri tulee ja kaikki siihen merkittävät vaikuttajat. Näitä voivat olla esimerkiksi laakerin mitat ja materiaali, lämpötila, kosteus, voitelumahdollisuudet sekä rasitus/kuormitus.

Eli tie oikean laakerin valitsemiseen etenisi seuraavalla kaavalla: ensin selvitetään laakerin mitat, jonka jälkeen voidaan tarkastella olosuhteita lähempää. Otetaan selvää kohteen rasituksesta/kuormituksesta, eli tarvittavasta kierrosnopeudesta tai kuorman kestosta ja valitaan laakeri siihen sopivilla vierintäelementeillä, pitimellä ja välyksellä. Suojaustyypin valitseminen taas perustuu kohteen likaisuuteen ja voitelumahdollisuuksiin. Viimeisimmäksi selvitettäväksi jää yleensä lämpötilan ja kosteuden varmistaminen.

Valintaan vaikuttavat tekijät

Valintaan vaikuttaviin merkittäviin tekijöihin kuului ensimmäisenä laakerin mitat ja materiaalit. Niihin lukeutuu kohteen akselin malli ja mitta, ulkokehän mitta (mikäli laakeri tulee ympäröityyn paikkaan) sekä laakerin paksuus. Akseli voi olla esimerkiksi lieriön tai kartion mallinen ja laakerit on voitu valmistaa eri materiaaleista. Esimerkiksi laakeriteräksestä tehtyjen laakerien pitimet kestävät jopa 300°C lämpötilaa, kunnes ne hajoavat. Lämpötilan kestoon vaikuttaa myös laakerin sisäinen välys, josta puhuttiin opinnäytetyössä aiemmin. Mitä suurempi välys, sitä enemmän tilaa laakerin kuulilla on lämpölaajenemiseen.

Tavallisten laakeriteräksestä valmistettujen laakereiden kosteuden kesto on teräksestä johtuen heikkoa. Ruostumattomasta teräksestä valmistetut laakerit taas kestävät hieman enemmän kosteutta, kuin tavallisesta valmistetut. Kuitenkin yleisesti voidaan ajatella, että laakerit eivät kestä paljoa kosteutta tai kosketusta veden kanssa. Hyvä esimerkki tilanne veden kanssa kosketuksissa olevista laakereista on venetrailerit. Niitä uitetaan veden alla

muutaman kerran vuodessa, kun vene lasketaan vesille ja nostetaan sieltä. Venetrailerissa käytettävät kartiorullalaakerit tulisi jokaisen käyttökerran jälkeen rasvata huolellisesti, jotta vedestä johtuvaa ruostumista voitaisiin hidastaa.

Laakerien voitelu on tärkeää olosuhteita pohdittaessa. Laakerit ovat useimmiten suojattuja kumi- tai peltisuojalla, jolloin ne ovat kestovoideltuja, eikä niitä tarvitse erikseen rasvata. Suojattu laakeri suojaa laakeria ja pitää lian ulkopuolella. Jos laakeri sijoitetaan pesään, sitä olisi hyvä rasvata pesän rasvanipan avulla. Mikäli laakeri tulee öljykyppyyn esimerkiksi vaihteistoon tai moottoriin, siinä ei tarvitse olla suoja.

Rasituksen huomioon ottaminen on myös tärkeää, sillä se vaikuttaa merkittävästi laakerin valintaan. Korkeisiin kierrosnopeuksiin ja mataliin kuormiin sopivampi vaihtoehto on kuulalaakeri, joka ottaa minimaalisen pistekontaktin laakerin sisä- ja ulkokehiin aiheuttaen vain pienen kitkan niiden välissä. Kuulalaakerit eivät kuitenkaan kestä kovin suuria tai aksiaalisesta suunnasta tulevia kuormia. Rullalaakerit taas kestävätkin suurempia kuormia, mutta rullien linjakontaktin takia aiheuttavat enemmän kitkaa kuin kuulalaakerit ja siksi eivät kestä niin suuria kierroksia. Kun tarvitaan enemmän kuormankestoa ja tukevampaa laakerointia, käytetään yleensä kaksirivisiä laakereita. Myös muunlaisiin vaatimuksiin on saatavilla sopivia vaihtoehtoja.

5.2 Laakerit erikoisosaamisalana

Oikeanlaisen laakerin valitsemisessa tulee myös ottaa huomioon itse asiakkaan palveleminen. Laakereista tietämättömälle asiakkaalle voi olla vaikeaa selittää selkokielellä eri merkintöjen ja olosuhdevaatimusten määrittävyydestä. Jokainen asiakas täytyy kuitenkin kohdata yksilönä ja ottaa oma aikansa juuri kyseisen henkilön palvelemiseen.

Asiakkaan palveleminen

Kohdeyrityksessäni Laakeriteamissa halutaan keskittyä asiakaslähtöiseen toimintaan ja luoda toimivia ratkaisuja sekä yritysasiakkaille että kuluttajille. Siellä pyritään laadukkaaseen asiakaspalveluun ja siihen, että asiakas poistuu tilanteesta hyvillä mielin ratkaisun kanssa. Moni voisi ihmetellä, miksi aukioloaikojen jälkeenkin jäädään tutkimaan ja etsimään asiakkaalle sopivaa ratkaisua, esimerkiksi muutaman euron laakeria. Tämä kertoo, kuinka

paljon halutaan panostaa asiakkaaseen, syventää jo olemassa olevia suhteita ja luoda uusia pysyviä asiakassuhteita. Ajatellaan, että hyvä pohjatyö kantaa hedelmää ja kova uurastus palkitaan.

Hyvän asiakaspalvelun lisäksi tavoitettavuus on suuressa roolissa ja Laakeriteamilla on myymälän lisäksi oma verkkokauppa, sekä 24/7 päivystys. Päivystäminen mahdollistaa varaosien saannin hätätapauksissa myös myymälän aukioloaikojen ulkopuolella. Monesti yöllisten konerikkojen takia työt voivat pysähtyä pitkäksikin aikaa, jolloin yrittäjä kärsii tappiota jokaisesta tunnista. Päivystys on luotu asiakkaita varten, jotta osat ovat saatavilla, kun niitä tarvitaan. Laakeriteamilla panostetaan suureen varastovalikoimaan, jotta mahdollisimman moni asiakas saisi tarvittavat osat mukaansa heti hädän hetkellä. Poikkeuksena erikoiset tuotteet, jotka saadaan tilaamalla eri toimittajilta asiakkaan kiireen mukaan.

Laakerit yleisesti teknisen myyjän erikoisosaamisalana on haastava, mutta palkitseva. Niiden kanssa toimiminen on suuren työn takana, sillä jo pelkästään niiden opettelemiseen menee paljon aikaa niiden määrän ja kirjallisuuden vähäisyyden takia. Siinä tarvitaan kärsivällisyyttä, intoa ja ennen kaikkea halua oppia joka päivä hieman enemmän. Alkuperehdytys laakereihin on laaja ja se voi viedä paljon aikaa ja vaivaa. Kaikkia erilaisia laakereita ei kuitenkaan voi opetella ulkoa, sillä niitä on niin paljon ja sen lisäksi niillä jokaisella on omat ominaisuutensa. Vain yleisimpien laakerien ominaisuudet kannattaa pistää muistiin ja erikoisempien laakereiden kohdalla opetella löytämään tietoa eri lähteistä, esimerkiksi alan toimittajien sivuilta.

Erikoisosaamisalan vaatavuus

Asiakkaiden ongelmat ovat usein hyvin erilaisia keskenään, jolloin ongelmanratkaisukyky, tiedon löytämisen ja sen hyödyntämisen taidot ovat suuressa roolissa. Ratkaisun löytäminen voi olla haastavaa ja välillä joutuu soveltamaan. Yleisesti nämä kaikki edellä mainitut taidot kuuluvat hyvän myyjän työhön, mutta tässä erikoisalassa niiden tärkeys korostuu entisestään. Myyjän ja asiakkaan luottamuksen täytyy olla molemminpuolista, sillä myyjä luottaa asiakkaan kertomiin spekseihin ja asiakas myyjän ammattitaitoon. Myyjän on siis tunnettava yleisimmät laakerit, millaisia niiden rakenteet ovat, mihin olosuhteisiin ne sopivat, millaista voittoa vaaditaan ja millaisiin käyttökohteisiin ne sopivat parhaiten.

Erikoisosaamisalan myyjän haasteina ovat myös muiden alojen tapaan ongelmatilanteet. Laakerien kanssa näitä on monenlaisia, sillä joskus myyty laakeri ei vastaa asiakkaan odotuksia tai asiakas on tilannut vääränlaisen laakerin. Jo pelkästään tuoteryhmänä laakerit ovat todella laaja, sillä niitä on paljon erilaisia pienin eroin toisiinsa nähden. Esimerkiksi mitat voivat vaihdella millisistä tuumaisiin, materiaalit ruostumattomista teräksisiin ja sisäkehät kartioreiällisistä lieriöreikäisiin. Myyjän tulee olla valppaana, jotta virheen mahdollisuus pysyisi mahdollisimman pienenä.

Joskus asiakas tulee ehjän näköisen laakerin kanssa kysymään, onko siinä vikaa, mutta ilman tarkempaa tietoa tai erikoismittaustyökaluja, laakerin käytöstä on vaikea tietää, onko laakerin sisältä hajonnut jotain. Laakerit ovat usein niin herkkiä, että pieni nirhauma riittää tuhoamaan koko laakerin sisältä käsin. Nirhauma voi kasvaa kasvamistaan jokaisella kierroksella, kun likaa tai laakerin partikkeleita jää vierintäelinten ja kehän väliin. Joskus virhe voi olla väärä asennustapa, ilman asianmukaisia työkaluja. On myös mahdollista, että laakeri on voinut pudota kuljetuksessa tai olla valmistusvirheinen jo tehtaalta asti.

Todella harva asiakkaista on oikeasti ottanut selvää ja tietää, kuinka laakeri asennetaan paikalleen oikein. Asennus on laakerin yksi kriittisimmistä vaiheista sen elinkaaren aikana. Asentaminen ilman asiaankuuluvia menetelmiä tai työkaluja voi aiheuttaa laakerin käyttöajan lyhenemistä. Laakerin irrottaminen on myös tärkeä hoitaa asianmukaisin menetelmin ja työkaluin, vaikka kyseinen laakeri menisikin kierrätykseen irrotuksen jälkeen. Oikeat työkalut ja menetelmät ehkäisevät koneen muiden uudelleen käytettävien osien vaurioitumista. Itse keksityt irrotustekniikat voivat olla suureksi vaaraksi kunnossapitohenkilöstölle. (SKF-yhtymä 2021.)

Vielä lopuksi..

Näin lopuksi haluan vielä kiittää koko Laakeriteamiä perehdytyksestä, neuvoista ja kaikesta materiaalista, joiden avulla mahdollistettiin tämän oppaan tekeminen. Olen iloinen, että saan jakaa laakeritietoutta myös muille ihmisille ja kehittää omaa ammattitaitoani sen saralla erikoisalan myyjänä ja laakereiden ammattilaisena.

Oppaassa käytetyt lähteet

JTEKT-yhtymän www-sivut 2021. Viitattu 20.9.

<https://koyo.jtekt.co.jp/en/2019/08/column01-03.html>

Laakeriteamin www-sivut 2021. Viitattu 5.10.2021 <https://www.laakeriteam.fi/>

Schaeffler Suomen www-sivut 2021. Viitattu 18.9.2021 <https://www.schaeffler.fi/>

SKF-yhtymä, 1991, SKF Laakerikirja.

SKF-yhtymä, 2015, SKF Bearing housings and roller bearing units.

https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d196803969af-13186_1-EN-SKF-bearing-housings-and-roller-bearing-units_tcm_12-315185.pdf

SKF-yhtymä, 2016, SKF Laakerien kunnossapitokirja.

https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/SKF-laakerien%20kunnossapito%20-%20SKF%20bearing%20maintenance%20handbook%20-%2010001_1%20FI_tcm_12-290853.pdf

SKF-yhtymä, 2018, Rolling bearings.

https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d196802809de-Rolling-bearings---17000_1-EN_tcm_12-121486.pdf

SKF-yhtymä, 2019, Explorer steel/steel plain bearings.

https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d19680947297-SKF-Explorer-steel-steel-plain-bearings---15521_1-EN_tcm_12-483821.pdf

SKF:n www-sivut 2021. Viitattu 18.9.2021 <https://www.skf.com/fi>