

Samu Rajala

KARUSELLIN LAAKEROINNIN SUUNNITTELU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

2014

KARUSELLIN LAAKEROINNIN SUUNNITTELU

Rajala, Samu
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
huhtikuu 2014
Ohjaaja: Teinilä, Teuvo
Sivumäärä: 32
Liitteitä: 1

Asiasanat: Laakerointi, laakerivalinta, laakeriyksikkö

Insinööriyön aiheena oli suunnitella laakerointi Puuha Group Oy:n karuselleille. Ta-voitteena oli suunnitella Puuha Group Oy:lle laakerimekanismi, jota voidaan käyttää useissa eri karusellityypeissä. Puuha Group Oy:llä oli ennestään nylon-laakerointi, mutta tilalle haluttiin toimivampi ratkaisu, sillä nylon laakerin pyörintänopeus on al-hainen tällaisessa kohteessa.

Lähtökohtana oli perehtyä SFS-EN 1176 leikkivälinestandardiin. Standardi asetti rajat konseptien suunnittelulle turvallisuuden ja vaikuttavien voimien puitteissa. Standar-dista laskettujen arvojen perusteella päädyttiin kolmeen erityyppiseen ja erikokoiseen laakerivaihtoehtoon, joita karusellin laakeroinnissa voidaan käyttää.

Työssä käsitellään paljon perustietoa laakereista ja käydään läpi niiden eroja, sekä käyttökohteita. Ensisijaisesti tarkasteluun on otettu yleisimmät laakerityypit eli ura-kuula- ja pallorullalaakerit. Työssä kerrotaan laakereiden voitelusta, asentamisesta, va-linnasta ja laakeroinnissa käytettävistä akseleista, sekä akseleiden materiaaleista. Työssä esitellään myös Puuha Group Oy:n toimintaa, palveluita, sekä heidän valmis-tamia tuotteita ja käytettäviä materiaaleja.

THE DESIGN OF THE MERRY-GO-ROUNDS BEARING

Rajala, Samu

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

April 2014

Supervisor: Teinilä, Teuvo

Number of pages: 32

Appendices: 1

Keywords: bearing, choosing bearings, bearing units

The purpose of this thesis was to design a bearing for a merry-go-round to company called Puuha Group Oy. The target was to design a mechanism, which can be used in different kind of merry-go-rounds. Puuha Group Oy already had a nylon bearing but they wanted to have a solution which works better because the nylon bearing wasn't rolling properly.

It was supposed to orientate oneself to standard SFS-EN 1176 which tells about playground equipment and surfacing. This standard sets the limits in forces and general safety. Here is also introduced the activity, services, products and materials of Puuha Group Oy.

The values calculated from the standard it was found 3 different kind of bearings which can be used in merry-go-rounds. Anyway one of these bearings was better than the others because it has the cheapest price.

There are also a lot of information about bearings and where they can be used for in this thesis. However the primary bearings which are told about are ball bearings and roller bearings. Here is also told about bearings lubrication, installation and choosing. It also tells something about bearing axels and axels materials.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	YRITYS.....	5
2.1	Käytettävät materiaalit	6
2.2	Ympäristöpolitiikka	6
2.3	Palvelut	7
3	LAAKERIT	8
3.1	Yleistä	8
3.2	Viertintälaakerointi	9
3.2.1	Kuulalaakerit	9
3.2.2	Rullalaakerit	10
3.3	Liukulaakerit	13
3.3.1	Liukulaakerimateriaalit.....	14
3.4	Laakeriyksiköt.....	15
3.5	Akselit.....	16
3.5.1	Akselin laakerointi.....	17
3.5.2	Akselin materiaalit.....	19
3.6	Laakerivalinta	20
4	VOITELU.....	22
4.1	Kitka.....	23
4.2	Voiteluaineiden jako	23
4.2.1	Rasvavoitelu	24
4.2.2	Öllyvoitelu	24
4.2.3	Kiinteät voiteluaineet.....	25
4.3	Laakerin tiivistäminen	25
5	KARUSELLIN LAAKEROINTI.....	26
5.1	Alkutiedot	26
5.2	Leikkivälineet ja turva-alustat standardi	27
5.3	Laakerivaihtoehdot	29
5.3.1	FYJ 40 TF	29
5.3.2	FYJ 50 TF	30
5.3.3	FYJ 20 TF	30
5.4	Päätelmä.....	31
	LÄHTEET.....	32
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella laakerointi Turussa toimivalle Puuha Group Oy:lle, joka valmistaa erilaisia leikkikenttävälineitä. Laakerointi testataan yrityksessä ja jos lopputulos on haluttu, se otetaan käyttöön tulevissa leikkikenttäkaruselleissa. Laakeroinnin on tärkeää olla edullinen ja helppo asentaa, sekä huoltaa.

Työssä kerrotaan yleisesti paljon erilaisista laakereista ja laakerointiratkaisuista, sekä niiden sovelluksista. Laakeroinnin valinta ja voitelu on myös olennainen osa laakerointia, joten nämäkin asiat on otettu esille. Opinnäytetyön lopussa on laskettu SFS-EN 1176 standardin antamien rajojen pohjalta erilaiset laakeriratkaisut yrityksen välttaviksi.

2 YRITYS

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Puuha Group Oy. Yritys toimii Turussa ja on perustettu 1989. Puuha Group Oy valmistaa lasten leikkipaikkavälineitä ja ulkoalusteita. Tuotevalikoimaan kuuluu perinteisiä ulkoalusteita ja leikkipaikkavälineitä, mutta myös suosittuja muumi aiheisia leikkipuistokokonaisuuksia sekä yksittäisiä ulkoliikuntavälineitä. Yrityksessä painotetaan ja arvostetaan kotimaisuutta, laatua, kestävyyttä ja käytettävyyttä, niin suunnittelussa kuin tuotannossakin. Puuha Group Oy:n tuotteet valmistetaan kustannustehokkaasti ja laadukkaasti. Valikoimiin sopivat Euroopasta maahantuodut tuotteet valitaan huolellisesti ja erittäin tarkasti. Yritys painottaa teknologian yhdistämistä liikuntaan ja leikkimiseen ja täten luo elämyksellisiä liikuntavälineitä, jotka liikuttavat kaikenikäisiä ihmisiä ympäri maailman. Puuha Group on saavuttanut Suomen Asiakastiedon myöntämän Rating Alfa- luokituksen. (Puuha Group Oy:n www-sivut 2014)

Puuha Group Oy:n leikkivälineet noudattavat voimassa olevia turvallisuusnormeja SFS EN 1176-1 – 1176-6 ja turva-alustojen normia SFS-EN 1177. Saksalainen Hamburgissa toimiva TÜV Product Service suorittaa jokavuotisen tehtaan tarkastuksen

sekä tuotteiden tarkastukset ja myöntää sertifikaatit yrityksen tuotteille. (Puuha Group Oy:n www-sivut 2014)

2.1 Käytettävät materiaalit

Puuha Group Oy käyttää vain laadukkaita ja tarkasti valittuja materiaaleja. Tuotteiden puiset osat ovat aina liimapuuta tai painekyllästettyä puuta. Mitkään käytössä olevat puunsuoja-aineet eivät sisällä arseenia eivätkä myöskään kromia. Puusta yleisesti valmistettuja osia ovat tolpat, vaakapuut, kattoelementit sekä pöydät ja penkit. (Puuha Group Oy:n www-sivut 2014)

Polyeteeniä käytetään esimerkiksi liukumäkien kaarissa, seinäelementeissä, leikkikatoissa, hiekkalaatikoissa ja kiipeilykaarissa. Edellä mainittu materiaali on kestävä, lahoamatonta, läpivärjättyä ja UV-suojattua. Näiden ominaisuuksiensa ansiosta se soveltuu erittäin hyvin Suomen koviin ja vaihteleviin sääolosuhteisiin. Koska polyeteeni on öljypohjainen materiaali, se hylkii likaa ja mahdolliset piirroksot ja sotkut on helppo siivota pois. Polyeteeni on myös huoltovapaa eikä sitä tarvitse maalata. Hyvien ominaisuuksiensa takia polyeteeni on syrjäyttänyt esimerkiksi vanerin täysin. (Puuha Group Oy:n www-sivut 2014)

Käytettävät metalli- ja teräsosat ovat kuumasinkittyjä, sinipassivoituja tai jauhemaalattuja, käyttökohteesta riippuen. Metalliosien erikoisvärit voidaan valmistaa haluttavissa RAL-värikartan mukaisesti. Erilaisissa kiipeilytelineissä käytetään teräsvahvisteisiä köysiä, sekä keinujen ketjut ovat muovisuojattuja. (Puuha Group Oy:n www-sivut 2014)

2.2 Ympäristöpolitiikka

Yrityksen periaate on toimia mahdollisimman ympäristöystävällisesti, kuitenkin taloudelliset edellytykset huomioon ottaen. Yritys noudattaa kaikessa toiminnassaan lakeja, asetuksia sekä viranomaismääräyksiä. Raaka-aineet hyödynnetään tuotannossa mahdollisimman tehokkaasti ja tuotantotekniikka on kaikin tavoin mahdollisimman ympä-

ristöystävällistä. Jätteen määrän vähentämiseen kiinnitetään huomiota jokaisessa työvaiheessa ja syntyvät jätteet lajitellaan tarkasti, jätteiden jälkikäsittelyn ja hyväksikäytön mahdollistamiseksi ja tehostamiseksi. Alihankkijoita kilpailutettaessa kotimaisuus, läheisyys ja ympäristöystävällisyys ovat tärkeitä asioita. Myös yrityksen ympäristö ja toimistotilat pidetään siisteinä ja puhtaina ja henkilökuntaa kannustetaan ympäristöystävällisyyteen ja siisteyteen. (Puuha Group Oy:n www-sivut 2014)

Tuotteiden kuluvat osat suunnitellaan aina korjattaviksi tai vaihdettaviksi, jotta koko tuotetta ei jouduta uusimaan. Kaikkiin Puuha Group Oy:n valmistamiin tuotteisiin on saatavilla varaosia. Tuotteet ovat myös mahdollisimman kotimaisia ja materiaalit valittu ympäristöä ajatellen. (Puuha Group Oy:n www-sivut 2014)

2.3 Palvelut

Yrityksen kautta on saatavilla huoltopalvelu, joka kattaa kaikki valmistettavat tuotteet. Huoltosopimus varmistaa laitteiden turvallisuuden ja toimintavarmuuden. Säännöllisellä huollolla saadaan ehkäistyä mahdollisia vaaratilanteita ja pidennettyä laitteiden elinkaarta. (Puuha Group Oy:n www-sivut 2014)

Suunnittelu- ja asennuspalvelulla saadaan asiakkaalle oikeanlaiset ja halutut tuotteet oikein ja turvallisesti asennettuina. Kaikki Puuha-tuotteet suunnitellaan ja valmistetaan Turussa, tämän ansiosta asiakkaalle on mahdollista suunnitella pienillä muutoksilla juuri haluttu tuote tai puistokokonaisuus. Asennuspalvelu taas takaa turvastandardien mukaisen asennustakuun, sillä tällöin on taattua että tuotteet on asennettu oikein. Tuotteet asennetaan valmiille pohjalle, tai asennus hoidetaan kokonaan asiakkaan puolesta. (Puuha Group Oy:n www-sivut 2014)

3 LAAKERIT

3.1 Yleistä

Laakerien tehtävänä on ohjata ja tukea pyöriä tai kiertyviä osia, kuten akselit ja luisit. Laakerit jaotellaan kuormitustapauksen mukaan säteis- ja aksiaalilaakereihin. Kuntuvoima vaikuttaa akseliin nähden kohtisuoraan on kyse säteislaakerista. Tapauksissa, joissa laakeriin taas kohdistetaan aksiaalisia voimia, tulee tarve erilliselle aksiaalilaakerille. (Airila ym. 1995, 417.)

Laakerointi koostuu muustakin kuin pelkistä laakereista. Akselit ja laakeripesät ovat olennainen osa koko laakerointia. Myöskään voitelun ja tiivistyslementtien tärkeyttä ei voida unohtaa. Oikeanlainen voitelu muodostaa suojan korroosiota vastaan ja estää vieraiden aineiden pääsyn laakeriin. Puhtaudella on tärkeä rooli laakerin eliniässä. Laakeriasennuksessa on tärkeää valita sopiva laakerityyppi ja määrittää oikeankokoinen laakeri, mutta sekään ei yksin riitä. Tärkeää on myös valita oikea muotoilu, joka sopii kohteen muiden komponenttien kanssa, sopiva istuvuus, tukilaitteet, asianmukaiset tiivisteet, sopiva voitelu sekä oikea asennusmetodi. Jokainen päätös vaikuttaa laakeroinnin suorituskykyyn, luotettavuuteen ja taloudellisuuteen. (SKF General Catalogue 2003, 18.)

Laakerit ovat yleisesti jaettavissa vierintä- ja liukulaakereihin rakenteensa mukaan. Vierintälaakereita löytyy säteittäiselle kuormitukselle sekä radiaali- ja aksiaalikuorman yhdistelmälle. Liukulaakeroinneissa kuormankantavina elimenä on voitelukalvo akselin ja laakerin välissä. Sekä vierintälaakerit että liukulaakerit tarvitsevat sopivaa voitelua. (Airila ym. 1995, 417.)

Jokaiselle laakerityypille on usein annettu maksimikäyttölämpötila. Jotta laakeri toimii oikein ja kuluminen saadaan minimoitua mahdollisimman pieneksi, on laakerin lämpötila saatava hallintaan. Lämpö saadaan poistettua laakerista yleisesti voitelun avulla. Voitelemattomissa liukulaakeroinneissa tarvitaan oikeanlainen laakerimateriaalin valinta, jotta laakerille saadaan siedettävä lämmönkesto. Voitelusta on kerrottu omassa kappaleessaan. (Airila ym. 1995, 417.)

3.2 Viertintälaakerointi

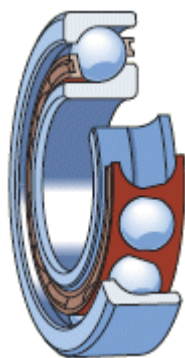
Vierintälaakerin periaatteena on käyttää hyväksi vähäistä vierintäkitkaa, liukukitkaan verrattuna. Pyörölaakereilla toteutetaan pyörimisliikkeen laakerointi, tällöin akseli laakeroidaan napaan nähden. Johdelaakereilla taas toteutetaan erilaiset johdantaliikkeet, tällöin kelkka laakeroidaan rataa nähden. (Blom ym. 2006, 121.)

Vierintälaakerien ulko- ja sisärenkaan välissä sijaitsevat vierintäelimet, jotka yleensä ovat rullia, kuulia neuloja yms. Näiden jako pidetään tasaisena erillisillä pidikkeillä. Kuulalaakereissa kuulien ja vierintäratojen kosketuspinta on elliptinen, kun taas rullalaakereissa tämä on viivamainen. Seuraavassa laakerit on jaettu kahteen suurimpaan pääluokitukseen eli kuula- ja rullalaakereihin. (Airila ym. 1995, 447.)

3.2.1 Kuulalaakerit

Urakuulalaakerit ovat yleisesti käytettyjä erilaisissa kohteissa sillä niillä on todella laaja käyttöalue. Urakuulalaakeri on rakenteeltaan yksinkertainen, se pysyy koossa itsestään eli se ei ole purettavissa. Se soveltuu suurillekin pyörimisnopeuksille ja toimii erittäin vähällä tai jopa ilman huoltoa. Edellä mainitut ominaisuudet sekä urakuulalaakerien alhainen hinta ovat syy sille, että ne ovat kaikkein käytetyimpiä vierintälaakereita. Urakuulalaakeria on saatavilla muun muassa yksi- ja kaksirivisenä, sekä koko ja rakenne eroja on lähes loputon valikoima. (Etola yhtiöiden www-sivut 2012)

Yksirivisten urakuulalaakerien kehällä olevat syvät vierintäurat sekä hyvä kosketusurien ja kuulien välillä sallivat suuren pyörimisnopeuden. Tämän ansiosta pyörimisvastus on alhainen ja ääni todella hiljainen. Käyttöalueena ovat sekä ohjaavat, että vapaat säteislaakeroinnit. Ohjaavalla laakerilla aksiaalikuormitus on hyvä, mutta jos laakerille valitaan tavallista suurempi sisäinen välys, aksiaalikuormitus paranee entisestään. Ohjaavalla laakerilla toinen kehä asennetaan usein tiukasti. Toinen kehä taas asennetaan löysästi helpottamaan irrotusta, mutta lukitaan huolellisesti olaketta muistuttavilla asennusosilla. Laakerin löysä sovite sallii laakerin asettumisen, mutta sen tehtävä on kuitenkin estää ryömivä kiertyminen. Alla olevassa kuvassa nähdään tyyppillinen yksirivisen urakuulalaakerin rakenne läpileikkauksena. (Blom ym. 2006, 132.)



Kuva 1. Yksirivinen urakuulalaakeri.(SKF:n www-sivut)

Pallomaisissa kuulalaakereissa on kaksi riviä kuulia, kuten alla olevassa kuvassa nähdään. Molemmilla riveillä on yhteinen pallomainen vierintärata ulkorenkaalla. Pallomaiset kuulalaakerit ovat itsestään asettuvia, eli ne sallivat akselin ja laakeripesän välillä pienet erot yhdensuuntaisuudessa. Nämä laakerit sopivat hyvin paikkoihin, joissa yhdensuuntaisuuserot ovat mahdollisia asennusvirheen tai akselin taipumisen aiheuttamana. Pallomaisilla rullalaakereilla on samat itseasettuvuusominaisuudet kuin pallomaisilla kuulalaakereilla, mutta niillä on selvästi suurempi kantokyky. (Etola yhtiöiden www-sivut 2012)



Kuva 2. Kaksirivinen urakuulalaakeri.(SKF:n www-sivut)

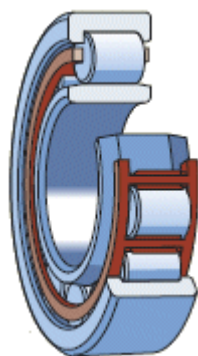
3.2.2 Rullalaakerit

Yksirivinen lieriörullalaakeri sopii erityisen hyvin laakerointeihin, jotka tarvitsevat keskikuormaisen tai suurikuormaisen laakeroinnin. Lähiaikoina tapahtunut kehitys rullien ja laippojen suunnittelussa on parantanut yksirivisen lieriörullalaakerin kuormitettavuutta sekä suuntavirheiden sietoa. (Blom ym. 2006, 137.)

Hyviä vapaita laakereita ovat mallit NU ja N. Asennus on helppoa sisäkehän tai ulkokehän purkautuvuuden ansiosta ja asettuminen käytössä tapahtuu esteettä. Molemmat keuhät ovat tämän takia asennettavissa tiukasti. Asennuskysymykset ratkaisevat yleensä valinnan mallien NU ja N välillä. N malli on voitelun kannalta edullisempi käytettäessä suuria pyörimisnopeuksia. NJ, NU ja HJ mallit ohjaavat yhteen, kun taas NUP, NJ ja HJ mallit ohjaavat kumpaankin suuntaan. (Blom ym. 2006, 137.)

Aksiaalivoimien suhteen ohjaava laakeri on liukulaakeri. Aksiaalivoimien suuruutta on rajoitettava siten, että nestevoitelu pystytään säilyttämään rullien ja laippojen välillä. (Blom ym. 2006, 137.)

Ysirivisten lieriörullalaakereiden voimaluvut ovat lähes kaksinkertaiset verrattaessa samankokoisiin yksirivisiin urakuulalaakereihin. Normaali laakerin säteisvälys on uutena noin 0,02-0,05mm. Kehät on lajiteltu halkaisijaltaan omiin ryhmiin ja yhdistetty sopivimmat sisäkehät ja ulkokehät laakerivalmistajien toimesta. Jos laakereita yhdistellään eritavalla, välysvaihtelu lisääntyy. Ohjaavilla laakereilla aksiaalivällys on uutena noin 0,05-0,2mm. (Blom ym. 2006, 137.)



Kuva 3. Yksirivinen rullalaakeri.(SKF:n www-sivut)

Pallomaisilla rullalaakereilla on kaksi riviä, kuten huomataan alla olevan pallorullalaakerin poikkileikkauksista ja riveillä taas on yhteinen pallomainen vierintärata laakerin ulkorenkaalla. Sisärenkaalla taas sijaitsee kummankin rullarivin oma vierintärata, joka on vinossa laakerin akseliin nähden. Laakeri on itseasettuva eli laakeri antaa anteeksi akselin ja laakeripesän välisen vähäisen yhdensuuntaiseron, joka voi syntyä asennustilanteessa tai akselin taipumisen vuoksi. Laakerit kykenevät kantamaan

säteiskuormitusten lisäksi myös aksiaalikuormitusta molempiin suuntiin. (Etola yhtiöiden www-sivut 2012)

Kulma-asettuvuus on tärkein peruste kaksirivisen pallorullalaakerin käytölle, useimmiten kokoon nähden suurikuormitteisissa laakeroinneissa. Pallomaisia rullalaakereita on olemassa lieriöreikäisiä, kartioreikäisiä sekä kiristys- tai vetoholkilla varustettuja laakereita. Holkit antavat mahdollisuuden tiukalle kiinnitykselle ja helpolle irrotukselle. Pallorullalaakerien pyörimisnopeusrajat ovat suhteellisen alhaiset. Normaalin laakerin säteisvälys on uutena 0,02-0,04mm luokkaa. (Blom ym. 2006, 142.)

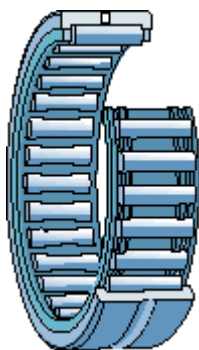
Kartiorullalaakereissa ulkorenkaan ja sisärenkaan vierintäradat sekä rullat ovat kartion muotoiset. Alla olevasta kuvasta nähtävien kartion muotoisten pintojen jatkeet supenevat kohti laakerin geometrisellä akselilla sijaitsevaa pistettä kohden. Kartiomuodolla mahdollistetaan halutut vierintäolosuhteet. Kartiorullalaakerit ovat ominaisuuksiensa ansiosta erinomaisia kantamaan yhdistettyjä kuormituksia eli säteiskuormituksia ja aksiaalikuormituksia. Useimmiten kartiorullalaakerit eivät ole itsestään koossa pysyviä vaan sisärenkas ja rullasto muodostavat yhdistelmän, joka on asennettavissa ilman erillistä ulkorengasta. (Etola yhtiöiden www-sivut 2012)



Kuva 5. SKF:n kartiorullalaakeri (Etola yhtiöiden www-sivut 2012)

Rullalaakereiksi luetellaan myös neulalaakerit, jotka omaavat ohuet ja pitkät lieriömäiset rullat, joita kutsutaan neularulliksi. Vaikka neulalaakereilla on alhainen poikileikkauskorkeus, niillä on korkea kantokyky ja tämän ansiosta sopivat erittäin hyvin paikkoihin, joissa laakeroinnin säteittäinen tila on rajoitettu. Laakerin sisällä sijaitsevien neularullien vaippapinta on kaarella rullien päitä kohti. Kaarevuuden ansiosta

neularullien ja vierintäratojen välinen joustava viivakosketus on mahdollista, mikä taas estää haitalliset reunakuormitukset. (Etola yhtiöiden www-sivut 2012)



Kuva 6. Yksirivinen neulalaakeri.(SKF:n www-sivut)

3.3 Liukulaakerit

Liukulaakerit jaotellaan yleensä voiteluperiaatteensa mukaan neljään ryhmään. *Voitelemattomat laakerit* ovat pääasiassa muoveista valmistetut laakerit, kuten polyamidi eli nailon, polytetrafluoroeteeni eli teflon ja grafiitti. Näiden laakerien ehdottomina etuina ovat huoltovapaus, edullinen hinta sekä soveltuvuus tiettyihin laakerikonstruktioihin yksinkertaisen rakenteensa ja keveytensä ansiosta. Etuina voidaan pitää myös soveltuvuutta matalan tai korkean lämpötilan omaaviin tapauksiin, sekä tuotteen ja ympäristön saastuttamattomuutta voitelun puuttuessa. Haittapuolena ja käytön rajoituksena voitelemattomilla laakereilla pidetään alhaista kuormankantokykyä sekä huono soveltuvuus korkeille liukunopeuksille. (Airila ym. 1995, 460.)

Toinen ryhmä ovat *Hydrodynaamiset laakerit*, jotka ovat voideltuja. Tässä laakerityypissä voitelukalvo syntyy vain liikkeen vaikutuksesta, joten hitaammilla nopeuksilla kuten käynnistysvaiheessa laakerit ovat vain osittain voideltuja ja pintojen karheudet ovat kosketuksissa toistensa kanssa. (Airila ym. 1995, 460.)

Hydrostaattiset laakerit vaativat ulkoisen pumpun, jonka paineen muodostaman voiteluainekalvon avulla liukupinnat pidetään erillään toisistaan. Nämä laakerit toimivat siis myöskin matalissa pyörimisnopeuksissa. (Airila ym. 1995, 460.)

Itsevoitelevien laakereiden huokoinen materiaali on kyllästetty voiteluaineella. Useimmiten nämä ovat sintrattuja pronssi-, rauta- ja alumiinilaakereita. Laakerit sisältävät yleensä 15 – 30 % huokosia laakerin koko tilavuudesta. Huokokset ovat täytetty öljyllä, grafiitilla, molybdeenisulfidilla tai erilaisilla muoveilla. Laakerin pyöriessä voitelukalvo erottaa laakerin pinnat toisistaan. Haittapuolena itsevoitelevilla laakereilla pidetään huonoa työstettävyyttä, sillä lastuaminen tukkii huokokset. Etuina voidaan mainita vähäinen huollontarve, erinomaisen hyvät kitkaominaisuudet sekä laaja käyttölämpötila etenkin synteettisiä öljyjä käytettäessä. (Airila ym. 1995, 460.)

3.3.1 Liukulaakerimateriaalit

Nestevoitelussa liukupintojen materiaalilla on huomattavasti pienempi merkitys, kuin liukulaakereissa, jolloin pintojen tribologiset ominaisuudet tulevat tärkeiksi. Tribologiin ominaisuuksiin kuuluu mikrolitosten muodostumisherkkyys ja kulumisnopeus. Käyttötilanne eli lämpötila, kuormitus, nopeus, ympäristö vaikuttavat liukulaakeroinnin molempiin pintoihin. (Airila ym. 1995, 461.)

Pieni kuluminen ei vaikuta laakerin kantokykyyn, jos kuorman suunta säilyy samana. Jos taas kuorman suunta muuttuu jatkuvasti, eli laakerointi pyörii välillä myötäpäivään ja välillä vastapäivään, kuluminen tulee suureen rooliin laakerin kantokykyä tarkasteltaessa. Näiden tietojen valossa tarkastellaan liukulaakeroinnin materiaalin valintaa, sillä kulumisnopeuksissa voi olla suuria eroja. (Airila ym. 1995, 461.)

Seuraavat vaatimukset ovat yleisiä liukulaakerimateriaaleilta vaadittuja ominaisuuksia:

- mahdollisuus valmistaa sileä liukupinta
- pinnankarheuden huiput tasoittuvat nopeasti
- hetkellisen voiteluaineen puuttumisen vuoksi ei leikkaudu akselin pintaan
- pitkä kestoikä
- pieni lämpölaajenemiskerroin
- reunapaineen sieto eli on muovautumiskykyinen
- korkea lämmönjohtokyky
- lämpötilan kohotessa, riittävä staattinen ja dynaaminen lujuus
- korroosionkesto
- vahva tartunta alusmateriaaliin

(Airila ym. 1995, 461.)

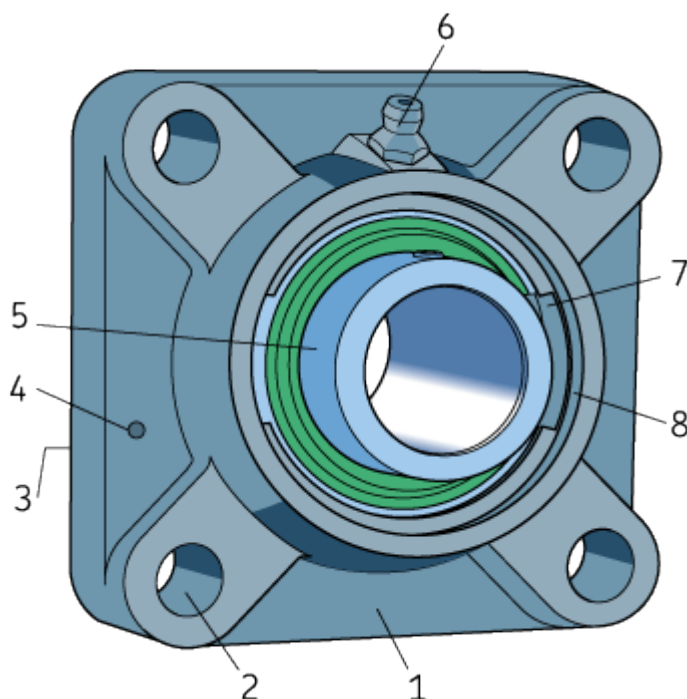
3.4 Laakeriyksiköt



Kuva 7. Laakeriyksikköjä. (Etola yhtiöiden www-sivut 2012)

Laakeriyksiköt mahdollistavat yksinkertaisen ja taloudellisen vaihtoehdon laakerointiin, tämän takia ne ovat yleisesti käytettyjä maatalouskoneissa, kuljetinlaitteissa, puhallinlaitteissa, tekstiilikoneissa, rakennuskoneissa ja elintarvikekoneissa. Yllä olevassa kuvassa on erimallisia ja erilaisilla kiinnitettäviä laakeriyksiköitä. Y-laakeriyksikköön kuuluu Y-laakeri, joka on molemmin puolin tiivistetty yksirivinen urakuula-laakeri sekä Y-laakeripesä, joka on valuraudasta valmistettu tai teräslevystä puristettu

laakeripesä, jossa on pallomainen laakerinsija. Kuvassa kahdeksan nähdään laakeriyksikön osat eriteltynä. (Etola yhtiöiden www-sivut 2012)



Kuva 8. Laakeriyksikön osat. (SKF:n www-sivut)

Luettelo kuvan 8. osista:

1. Valurautainen neliölaippa
2. Kiinnityspultin reikä
3. Neliölaipan tausta, keskitys-uralla tai ilman
4. Valukolo vaarnasta
5. Laakeri
6. Rasvanippa
7. Laakerin asennusaukko
8. Ura suojakotelolle

(SKF:n www-sivut)

3.5 Akselit

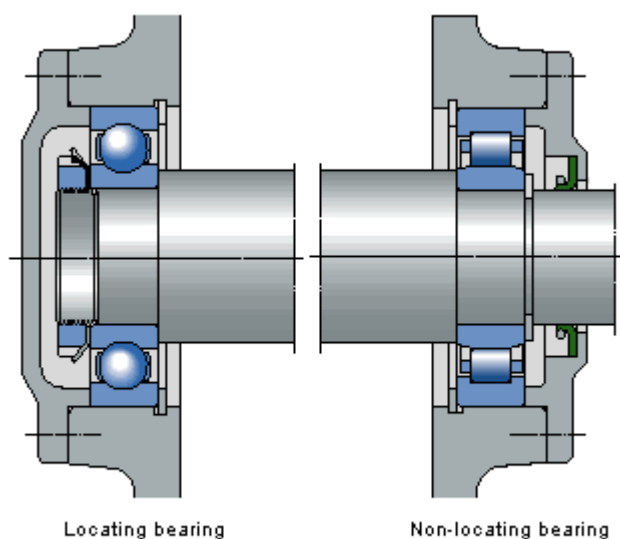
Laitteiden ja koneiden päätoiminnot on toteutettu osilla, jotka ovat suoraan tai välillisesti liitetty pyörivään akseliin. Moottorin mäntä, auton vetävä pyörä, porakoneen terä

ovat esimerkkejä osista, joiden toiminta on riippuvaista jonkinlaisesta akselistä. (Airila ym. 1995, 319.)

Jäykät akselit pystyvät ohjaamaan liittyvien osien liikettä suhteessa laakereihin, sillä jäykkien akselien muodonmuutokset ovat huomattavasti pienempiä kuin liittyvien osien. Kannatinakseli ottaa tehoa vastaan siirtämisen sijasta ja siirtää akselin taivutusta aiheuttavan ulkoisen kuormituksen laakereille. Tehonsiirtoakseli on rakenteeltaan suora akseli tai vastaavasti kampiakseli. Tehonsiirtoakseli ei pelkästään ohjaa liikettä vaan siirtää lisäksi tehoa pyörimisliikkeen ja kiinnitysosien kehävoiman aiheuttaman vääntömomentin ansiosta. Liikkeen salliva akseli voi olla nivelakseli, joka on koottu jäykistä osista tai taipuisa akseli, joka on punottu teräslangasta ja asennettu suojaputkeen. (Airila ym. 1995, 319.)

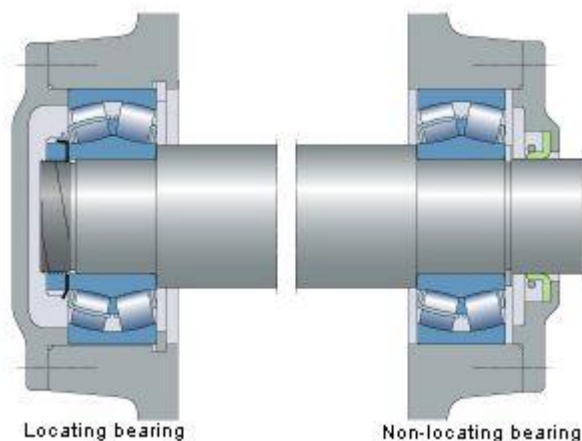
3.5.1 Akselin laakerointi

Laakeroinnin tehtävä on ohjata akselin liikettä ja vastaanottaa akselin ja rungon väliset vaikuttavat voimat. Jos mahdollista laakerointi tulisi suunnitella siten, että akselistä ja laakereista syntyy staattisesti määrätty rakenne eli akseli on tuettu kahdella laakerilla säteissuunnassa ja aksiaaliset voimat on vastaanotettu toisella laakerilla. (Airila ym. 1995, 321.)



Kuva 9. Akselin laakerointi. (SKF:n www-sivut)

Kuten yllä olevassa kuvassa on esitetty, oikealla oleva ohjauslaakeri vastaanottaa säteis- ja aksiaalivoimia ja vasemman puoleinen vapaa laakeri pelkäästään säteisvoimia. Sopiva laakerityyppi, eli kuvassa urakuulalaakeri mahdollistaa vapaan laakerin aksiaalisiirtymän. Vastaavasti alla olevassa kuvassa vapaan laakerin aksiaalisiirtymä on mahdollistettu laakerin ja pesän välisellä sovitteella. (Airila ym. 1995, 321.)



Kuva 10. Akselin laakerointi sovitteen avulla. (SKF:n www-sivut)

Käytännön toteutuksissa joudutaan usein sallimaan staattisesti määräämättömiä akselirakenteita. Pitkä akseli on tuettava useasta kohdasta, jotta taipumista saadaan rajoitettua. Joissain tilanteissa akseleita saatetaan myös liittää toisiinsa erilaisilla kytkimillä, joilla estetään aksiaali- tai säteisliike. Jos rakenne on staattisesti määräämätön, rakenteeseen syntyy lähes poikkeuksetta lisävoimia, joiden vaikutuksesta laakerien kestoikä lyhenee ja akselin kuormitus lisääntyy. (Airila ym. 1995, 321.)

Erityyppiset laakerit reagoivat akselin kaltevuuden aiheuttamaan kulmavirheeseen erilailla. Liukulaakerit kestävät kulmavirhettä vain 0,1-0,2 mrad (mm/m) ja pääosa vierintälaakereista 0,5-1 mrad (mm/m). (Airila ym. 1995, 321.)

3.5.2 Akselin materiaalit

Ilman erityisiä erillisvaatimuksia, paras ja yleisin valinta akselimateriaaliksi on rakeneteräs S355, joka sopii ominaisuuksiltaan erinomaisesti akseleihin. S355 on edullinen, kestävä, hienorakenteinen, tasalaatuinen sekä tasaluja, helposti hitsattava, koneistettava ja yllätyksetön materiaali. Yksinkertaisiin ja pienillä vaatimuksilla varustettuihin akseleihin voidaan käyttää kylmävedettyä koneterästä, sillä se omaa lujan ja mitatarkan pinnan. Kiilauria koneistettaessa koneteräksessä saattaa esiintyä akselin kiertumista ja raskaassa käytössä pinnan kuoriutumista. Edellä mainitut ongelmat aiheutuvat akselimateriaalin valmistustavasta. (Airila ym. 1995, 323.)

Nuorrutusterästen hiilipitoisuus on 0,25-0,6%. Nämä teräkset ovat lujia ja sitkeitä, seostamattomia tai niukkaseosteisia teräksiä. Akselin aihioiksi on hyvä valita nuorrutusteräs tai vastaavasti haluttuun lujuuteen nuorrutettu pyörötanko. Nuorrutusteräket ovat erityisen hyvä valinta ura-akseleihin, kampiakseleihin, hammaspyöräakseleihin sekä kaikkiin laippa- tai uraliitoksilla varustettuihin akseleihin. Napaliitoksien hankauskuormitus aiheuttaa akselin pintaan säröjä, jolloin lujasta materiaalista saatu hyöty menetetään. (Airila ym. 1995, 323.)

Seostamattomissa tai niukasti seostetuissa hiiliteräksissä on 0,1-0,25 % hiiltä. Todella kova kolhuja ja hankausta kestävä pinta saadaan hiilettämällä teräs. Hiiletyksellä tarkoitetaan työstön jälkeistä lämpökäsittelyä, jolla pintaan tehdään 2mm:n syvyyteen imeytyvä paksuhiilinen kerros. Kun akseli on hiiletetty, se karkaistaan. Karkaistus käsittelyllä aikaan saadaan kova ja puristusesijännitysten ansiosta kovaakin väsymiskuormitusta kestävä pinta. Laakerin paikat, sekä akseliin koneistetut hampaat on hiottava lämpökäsittelyn jälkeen, sillä akselin mitat voivat muuttua ja laakeri ei enää istukaan paikalleen. (Airila ym. 1995, 323.)

Haluttaessa ja asennuspaikan niin vaatiessa, voidaan akselimateriaaleina käyttää myös ruostumatonta ja haponkestävää terästä sekä pallografiittirautaa. (Airila ym. 1995, 323.)

3.6 Laakerivalinta

Kun suunnitellaan pyörivien koneenosien tuentaa, oikean laakerointitavan ja laakerityypin valinta on todella tärkeää. Laakeroinnin valintaan vaikuttavat monet eri tekijät, tilantarve, kuormitustilanne, lämpötila, voitelu, värähtelyt, ympäristö ja sen olosuhteet, säteily, tarkkuusvaatimus, huolto, melu ja kustannukset. (Airila ym. 1995, 417.) Käytettävä laakerikoko voidaan valita laakerin kuormituskyky huomioon ottaen ja suhteutettuna toteutuviin kuormituksiin. Vaikuttavina tekijöinä ovat myös laakerin kestoikä ja luotettavuus. Laakerin dynaaminen kantokyky ilmoitetaan aina tunnuksella C ja staattinen kantokyky C_0 . (SKF General Catalogue 2003, 50.)

Laakeria mitoittaessa lasketaan valitulta laakerilta vaadittava väsymisvoimaluku tai vaihtoehtoisesti valitun laakerin nimellinen kestoikä. Tunnettaessa nimellinen kestoikä ja kuormitus saadaan laskettua väsymisvoimaluku kaavalla:

$$C \geq L_{10}^{1/p} * P.$$

Kun taas tunnetaan väsymisvoimaluku C ja kuormitus P, voidaan nimellinen kestoikä laskea kaavalla:

$$L_{10} = (C/P)^p.$$

Kaavoissa:

C (N)	väsymisvoimaluku
P (N)	kuormitus (tehollisvoima)
L_{10} (10^6 kierrosta)	nimellinen kestoikä miljoonina kierroksina
p =	3 (kuulalaakereilla) tai 10/3 (rullalaakereilla)

Väsymisvoimaluvulla eli dynaamisella kantavuusluvulla C ilmaistaan kuormitusvoima, jolla laakerin kestoikä on 10^6 kierrosta. Tässä tapauksessa kuormitusvoima säteislaakerille on säteittäinen ja aksiaalilaakerille aksiaalinen. (Blom ym. 2006, 125.)

Kuoppautumisen alkaessa laakerin kestoikä lyhenee. Nimellisyydellä tarkoitetaan kyseisen vaurion 10 prosentin todennäköisyyttä kun samanlaisia laakereita on paljon. 10 prosentin vaurio soveltuu tavanomaisiin tarkoituksiin. Vaikka laakeri on nimellisesti

vaurioitunut eli pientä kuoppautumista on havaittavissa, voi laakeria vielä käyttää normaalioloissa. (Blom ym. 2006, 125.)

Kestoiän hajonta on suuri, johtuen väsymiseen vaikuttavista osin satunnaisistakin tekijöistä. Keskimääräisenä kestoikänä voidaan pitää noin $5 \cdot L_{10}$. Väsymisvoimaluvut C ilmoitetaan aina laakerikohtaisesti laakerivalmistajien luetteloissa. (Blom ym. 2006, 125.)

Kestoiävaatimus asetetaan yleensä asiakkaan tarpeiden, mahdollisten viranomaismääräysten ja tehtyjen laskelmien tai mittausten pohjalta. Tehtäessä alustavia mittauksia käytetään usein kokemuksen perusteella saatuja arvoja. Liian lyhyeksi laskettu käyttöikä saattaa pahimmassa tapauksessa aiheuttaa suuriakin vaaratilanteita, mutta usein vain liian suuria keskeytys- ja korjauskustannuksia. Liian pitkäksi laskettu käyttöikä tarkoittaa ylisuurta laakeria, joka taas nostaa laakeroinnin kustannuksia yllättäen paljonkin. (Blom ym. 2006, 129.)

Tyypillistä kuormituskollektiivia sovellettaessa on kestoikävaatimusten täytyttävä. Tilanteessa, jossa vaatimus on alun perin yksinkertaisinta asettaa käyttötunteina L_{10h} tai ajokilometreinä L_{10km} lasketaan vastaava nimelliskestoikä kaavalla:

$$L_{10} = 60 \cdot n \cdot L_{10h} / 10^6$$

tai

$$L_{10} = (i \cdot L_{10km}) / (10^3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot R)$$

Kaavoissa:

L_{10h}	tuntia(h)
n	keskimääräinen pyörimisnopeus (kierr/min)
L_{10km}	välityssuhde laakerin ja pyörän akselin välillä
R	pyörän säde (m)

(Blom ym. 2006, 130.)

Nykyaikaisilla korkealaatuisilla laakereilla normaali käyttöikä saattaa poiketa huomattavasti oikeasta sovelluksen oikeasta käyttöiästä. Käyttöikä kyseisessä kohteessa riippuu monesta eri tekijästä, kuten voitelusta, likaantumisen määrästä, sovitteen epäsoivuudesta, oikeasta asennuksesta ja ympäristö olosuhteista. (SKF General Catalogue 2003, 53.)

Edellä mainittujen seikkojen takia ISO 281:1990/Amd 2:2000 sisältää muokattuja matemaattisia yhtälöitä täydentämään keskimääräisen eliniän laskentaa. (SKF General Catalogue 2003, 53.)

4 VOITELU

Tribologialla tarkoitetaan oppia kitkasta, kulumisesta ja voitelusta. Voitelun tarkoituksena on vähentää kitkaa ja kulumista sekä ehkäistä korroosiota. Laakereissa voitelu näyttelee tärkeätä roolia myös lämmön säätelyssä. Voitelukalvo on tarkoitus muodostaa kahden liikkuvan kappaleen välille. Kalvolla yritetään ehkäistä kappaleen pintojen mikrometrien kokoisten epätasaisuuksien kosketus toisiinsa sekä kiinnihitsaumat. Jopa pienikin häiriö voitelussa saattaa aiheuttaa mittavia taloudellisia menetyksiä. (Blom ym. 2006, 161.)

Voiteluaineille asetetaan erilaisia vaatimuksia voitelukohteen ja ympäristön olosuhteiden mukaan. Monessa tapauksessa voiteluaineen on pystyttävä suoriutumaan samanaikaisesti useista eri tehtävistä. Voiteluaine vähentää kitkaa ja kulumista, jäähdyttää, ehkäisee korroosiota, tiivistää ja poistaa ei-toivottuja partikkeleita. (Airila ym. 1995, 437.)

Voiteluaineen reologiset ominaisuudet säätelevät voiteluainekalvon muodostumista liikkuvien pintojen välillä. Voiteluaineena voidaan käyttää lähes mitä tahansa juoksevaa materiaalia, olipa se sitten nestemäisessä, kiinteässä tai kaasumaisessa muodossa. Nesteistä selkeästi eniten käytössä oleva voiteluaine on öljy, sillä öljyllä on erinomaiset viskoosiset ominaisuudet. Vesi on myös toisinaan käytetty voiteluaine, mutta sen

käyttöä rajoittaa sen korroosiota pahentava vaikutus sekä huono lämmönkesto. Ilma on eniten käytetty kaasumainen voiteluaine ja kiinteistä aineista laajimmin käytössä ovat erilaiset rasvat. (Airila ym. 1995, 437.)

4.1 Kitka

Yksi laakerien pyörimisen suurimmista haasteista on kitka. Kitka on luonnonilmiö, joka hidastaa liikettä kuten pyörimistä ja liukumista. Kitkan aiheutumiseen vaikuttaa monet eri syyt kuten painovoima, pintojen kosketus ja pintamateriaali, ympäristön olosuhteet ja erilaiset väliaineet, kuten voitelu. Laakereissa kitkaa pyritään vähentämään oikeanlaisella voitelulla tai pintojen materiaalin sopivalla valinnalla. Kitkan aiheuttamaa lämpöä pyritään myös ehkäisemään oikealla voitelulla ja materiaaleilla.

Kitka on määrittävä tekijä laakereissa, joissa lämmöntuotto on huolenaiheena ja näin ollen tarvitaan oikeanlainen lämpötila. Kitkan määrä riippuu kuormasta ja monista muista tekijöistä. Tärkeimpinä mainittakoon laakerin tyyppi ja koko, pyörimisnopeus, voitelun ominaisuudet sekä voitelun laatu. Laakerin todellinen pyörimisen sietokyky koostuu pyörimis- ja liukukitkasta liukupinnoilla, kontakteista pyörimiselementtien ja pesän välillä, tiivisteiden voitelu- ja liukukitkasta. (SKF General Catalogue 2003, 88.)

4.2 Voiteluaineiden jako

Voiteluaineet jaotellaan lähtökohtaisesti *voiteluöljyihin*, *voitelurasvoihin* ja *kiinteisiin voiteluaineisiin*. Voiteluöljyjä ovat mineraaliöljyt sekä synteettiset nesteet lisäaineistettuina tai ilman lisäaineistusta. Voitelurasvoja taas ovat joko saippuapohjaiset rasvat tai geelirasvat mineraalisina tai synteettisinä. Kiinteinä voiteluaineina toimivat molybdeenisulfidi, grafiitti ja erilaiset keinoaineet. (Airila ym. 1995, 438.)

4.2.1 Rasvavoitelu

Rasvavoitelu on käytössä noin 90 prosentissa vierintälaakereista. Rasvavoitelun etuina ovat pieni tilantarve, tiivistys, pitkä käyttöikä ja samassa huollon helppous, matala kitkamomentti. Rasvavoitelussa etuna on myös sopivuus korkeille kierrosluvuille $n \cdot d_m = 1,8 \cdot 10^8 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$ kierrosluvuille saakka (kaavassa n : pyörintänopeus ja d_m : laakerin keskiläpimitta). Rasvavoitelulla saavutetaan myös pidempi alustulojakso voitelun loputtua, kun rasvan käyttöikä ylittyy keskimääräisillä kierrostunnusluvuilla. Normaaleissa käynti- sekä ympäristöoloissa on mahdollista saada aikaiseksi elinikäinen kestovoitelu. Jos laakerissa esiintyy suuria rasituksia kuten pyörintänopeutta, lämpötilaa tai kuormitusta on käytettävä lasketuin väliajoin tapahtuvaa jälkivoitelua. Tällöin valmistusvaiheessa rasvalle on suunniteltava tulo- ja poistokanavat sekä vanhan rasvan keräyspaikka. Jälkivoitelun ollessa lyhyttä on harkittava myös rasvapumppua ja rasvamäärän säätäjää. (Vierintälaakereiden voitelu, 19)

4.2.2 Öljyvoitelu

Öljyvoitelua käytetään, jos muissakin koneenosissa on öljyvoitelu tai jos voiteluaineella on johdettava lämpöä. Korkeilla pyörintänopeuksilla sekä suurilla kuormituksilla toimivan tai lämpimässä paikassa sijaitsevan laakerin kohdalla lämmön johtaminen tulee usein ajankohtaiseksi. Tippavoitelu, sumutevoitelu tai öljy-ilma-voitelu ovat erinomaiset vaihtoehdot pienien määrien voitelussa. Tällöin öljymäärä voidaan säännöstellä tarkasti ja vältetään kahlauskitka sekä saadaan pidettyä laakerikitka matalana. Ruiskutusvoitelulla saadaan voideltua korkeilla pyörimisnopeuksilla pyörivien laakereiden kaikki pinnat huolellisesti ja saadaan jäähtytyksestä tehokasta. (Vierintälaakereiden voitelu, 19)

Useimmiten öljyvoitelua käytetään, kun rasvavoitelu ei tule kysymykseen liian suuren pyörimisnopeuden tai liian korkean käyttölämpötilan takia. Monesti öljyvoitelu tulee kyseeseen myös silloin, kun rasvavoitelu ei toimi koneen konstruktion kannalta. Öljykylpy on loistava valinta pienille pyörimisnopeuksille. Kun laakeri on asennettu paikalleen, öljypinnan on ulotuttava alimman vierintäelimen keskikohdan alapuolelle, täl-

löin öljy saadaan kiertoon vierintäelimen avulla. Kiertovoitelusta puhuttaessa, tarkoitetaan öljyn johtamista laakeriin suoraan erillisen putken avulla. Jo edellisessä kappaleessakin mainittu sumutevoitelu tarkoittaa nimensä mukaisesti öljyn sumuttamista eli öljyn tuomista laakeriin hienona sumuna ilmavirran avulla. (Airila ym. 1995, 450.)

4.2.3 Kiinteät voiteluaineet

Kovissa käyttöoloissa, joissa nestemäisellä voitelulla ei enää saavuteta tyydyttäviä tuloksia, ovat kiinteät voiteluaineet paikallaan. Kiinteitä voiteluaineita käytetään erittäin korkeissa ja matalissa lämpötiloissa, suurissa ominaiskuormituksissa, erittäin pienissä liukunopeuksissa tai muuten vaikeissa ympäristöoloissa. Kiinteät voiteluaineet ovat erinomaisia myös korkean hygieniatason omaavissa paikoissa. (Blom ym. 2006, 166.)

4.3 Laakerin tiivistäminen

Laakereiden tiivistämisellä pyritään estämään pölyn ja kosteuden tunkeutuminen laakeriin, sekä voiteluaineen ulos pääsy. Alla olevassa kuvassa on esitetty selkeästi edellä mainitut tiivistyksen tarkoitukset. Laakereissa on yleisesti käytössä hankaamattomia ja hankaavia tiivisteitä. (Airila ym. 1995, 449.)



Kuva 11. Tiivisteiden tehtävät. (SKF:n www-sivut)

Hankaamattomina tiivistiminä voidaan luetella ahdas rako, sokkelotiivistin, tiivistyslamelli sekä roiskerengas yhdistettynä öljyuraan. Ensimmäisenä mainittu ahdas rako

on yksinkertaisin edellä mainituista. Kuten nimikin kertoo, sokkelotiivistin tarkoittaa sokkeloa, jota pitkin öljyn on vaikea päästä pois laakerista. Tiivistyslammelleilla saadaan aikaan tehokas ja rakenteeltaan edullinen tiivistys. Roiskerengas asennetaan akselille ja tämän ansiosta voiteluöljy ohjautuu uraan, joka taas ohjaa öljyn takaisin laakeripesään. Roiskerenkailla tehostetaan usein rakotiivistimien tehoa. (Airila ym. 1995, 449.)

Hankaavat tiivistimet puristuvat tiivistyspintaa vasten ja näin estävät öljyn ulospääsyn laakerista, sekä ylimääräisten partikkeleiden tunkeutumisen laakeriin. Huopatiivistin on yksinkertainen ja halpa ja sen takia yleisesti käytetty rasvavoitelun kanssa. Säteis- huulitiivistin on erinomainen valinta, kun tiivisteeltä vaaditaan paljon, etenkin öljyvoitelun yhteydessä. V-rengastiivistin on yleisesti käytetty niin rasva- kuin öljyvoitelussakin. V-rengastiivistin omaa tiivistyshuulen, joka aksiaalisuunnassa painautuu tiivistyspintaa vasten. Rasvavoidelluissa urakuulalaakereissa helppo ja yksinkertainen tiivistin on tiivistyslevy. Tiivistyslevy on mahdollista kiinnittää ulko- tai sisärengasta vasten. (Airila ym. 1995, 449.)

5 KARUSELLIN LAAKEROINTI

5.1 Alkutiedot

Karusellin laakerointiin olisi monta hyvää laakerityyppiä, joita voisi käyttää. Laakerointi päätettiin kuitenkin toteuttaa kahdella SKF:n Y-laakeriyksiköllä yksinkertaisuutensa vuoksi. Kahta Y-laakeriyksikköä käyttämällä päästään varmimpaan ja edullisimpaan ratkaisuun. Laakeriyksiköistä toinen kannattelee aksiaalikuormaa ja toinen vastaanottaa säteisvoimat. Yksikkö on helppo asentaa, huoltaa ja tarvittaessa jopa vaihtaa. Laakeriyksiköjä voidaan myös käyttää monissa erityyppisissä karuselleissa, eikä niistä lopu kestävyys näin pienissä sovelluksissa. Aksiaalikuormasta vastaava laakeriyksikkö on asennettava olakkeita vasten, jottei se pääse irtoamaan aksiaalikuorman voimasta. Seuraavissa kappaleissa on laskettu ja esitelty muutama erilainen ja erikoinen vaihtoehto mahdolliseksi karusellin laakeroinniksi, sekä esitellään SFS-EN 1176 Leikkivälineet ja turva-alustat standardin asettamat vaatimukset.

5.2 Leikkivälineet ja turva-alustat standardi

Standardia SFS-EN 1176 sovelletaan karuselleihin, joita lapset käyttävät leikkikenttävälineinä. Standardi antaa lisäturvallisuusvaatimukset karuselleille, joissa halkaisija on yli 500mm ja jotka ovat tarkoitettu kiinteä asenteiseksi ja lasten käyttöön. Standardi ei koske moottorikäyttöisiä, huvipuisto tai tivolikaruselleja. (SFS-EN 1176 2008)

Karusellin halkaisijaksi määritettiin 1500mm ja karuselli tulee olemaan pyöreä. Tämän tiedon pohjalta karusellin pinta-alaksi saadaan $1,767\text{m}^2$ kaavasta:

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * (0,75\text{m})^2$$

$$A = 1,767\text{m}^2$$

Karusellin käyttäjien aiheuttaman kuorma perustuu seuraavaan kuormituslaskelmaan.

Kokonaismassa:

$$G_n = n * m + 1,64 * \sigma \sqrt{n}$$

$$G_n = 5 * 53,8\text{kg} + 1,64 * 9,6\text{kg} \sqrt{5}$$

$$G_n = 304,2\text{kg}$$

Kaavassa:

G_n	lapsimäärän (n) massa kilogrammoina (LIITE1)
n	välineen tai sen osan päällä olevien lasten lukumäärä
m	tiettyyn ikäryhmään kuuluvan lapsen keskiarvoinen massa
σ	keskihajonta kyseessä olevasta ikäryhmästä

Julkisia ja yksityisiä leikkikenttiä koskevassa laskennassa voidaan käyttää seuraavia arvoja:

$$m = 53,8\text{kg} \text{ ja } \sigma = 9,6\text{kg}$$

Edellä mainitut arvot perustuvat 14-vuotiaista kerättyihin tietoihin. Laskentakuormiin on sisällytetty turvakerroin, joka varmistaa että rakenteet kestävät myös aikuisten käytön. (SFS-EN 1176 2008)

Yksittäisen alueen käyttäjämäärä lasketaan kaavalla:

$$n = A_{pr} / 0,36$$

$$n = 1,767\text{m}^2 / 0,36$$

$$n = 4,909 \approx 5 \text{ lasta}$$

Kaavassa:

A_{pr} on vaakasuoraan tasoon projisoitu alue neliömetreinä
(SFS-EN 1176 2008)

Karusellin dynaaminen kerroin (C_{dyn}) eli käyttäjien liikkeen aiheuttama kuormakerroin lasketaan kaavalla:

$$C_{dyn} = 1 + 1 / n$$

$$C_{dyn} = 1 + 1 / 5$$

$$C_{dyn} = 1,2$$

(SFS-EN 1176 2008)

Käyttäjien aiheuttama pystysuora kokonaiskuorma, jonka n lasta välineen päällä aiheuttaa:

$$F_{tot;v} = g * G_n * C_{dyn}$$

$$F_{tot;v} = 10\text{m/s}^2 * 304,2\text{kg} * 1,2$$

$$F_{tot;v} = 3648\text{N}$$

Kaavassa:

$F_{tot;v}$ käyttäjien aiheuttama pystysuora kokonaiskuorma

g maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyyys (10m/s^2)

(SFS-EN 1176 2008)

Käyttäjistä aiheutuva vaakasuora kokonaiskuorma on 10% käyttäjien aiheuttamasta pystysuorasta kokonaiskuormasta, ja se vaikuttaa samassa tasossa kuin pystysuora kokonaiskuorma. Vaakasuora kokonaiskuorma lasketaan kaavalla:

$$F_{tot;h} = 0,1 * F_{tot;v}$$

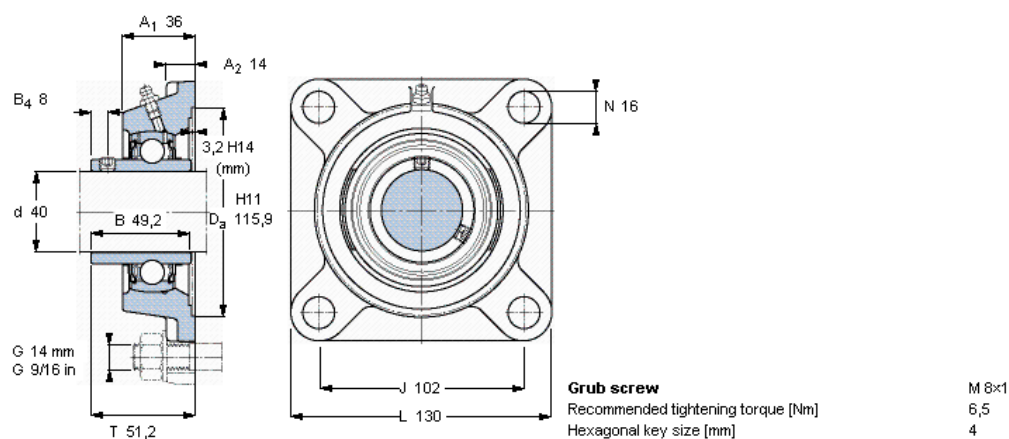
$$F_{tot;h} = 0,1 * 3648\text{N}$$

$$F_{tot;h} = 364,8\text{N}$$

5.3 Laakerivaihtoehdot

Laakerin koon määräävät siis edellä lasketut voimat $F_{\text{tot};v} = 3648\text{N}$, $F_{\text{tot};h} = 364,8\text{N}$. Aksiaalivoimaan voidaan vielä lisätä arvioitu karusellin paino 150kg, eli tällöin $F_{\text{tot};v} = 3648\text{N} + 1500\text{N} = 5148\text{N}$. Näiden tietojen pohjalta lähdetään valitsemaan oikeankokoista laakeriyksikköä. Seuraavassa on laskettu kolme erilaista ja erikokoista Y-laakeriyksikköä karuselliin.

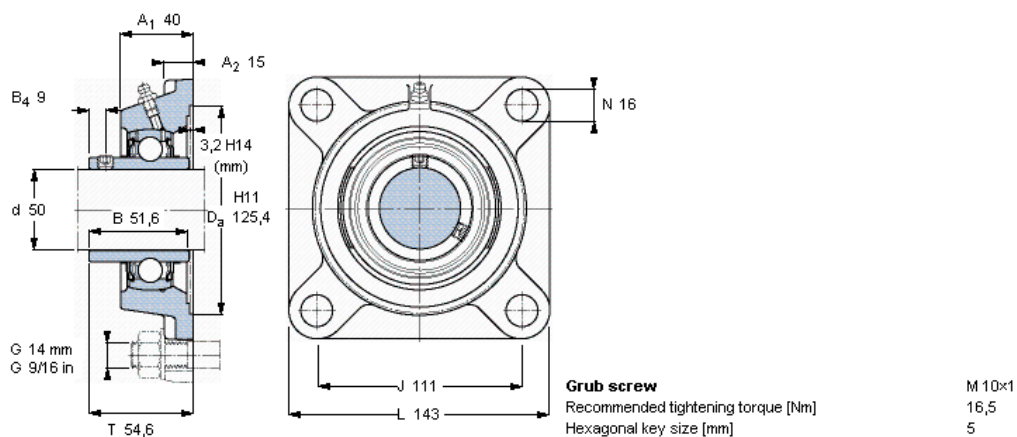
5.3.1 FYJ 40 TF



Kuva12. Y-laakeriyksikkö FYJ 40 TF. (SKF:n www-sivut)

Ylläolevasta kuvasta nähdään kyseisen laakeriyksikön mitat. Laakeriyksikkö sisältää yksirivisen urakuulalaakerin YAR 208-2F. Laakeriyksikön maksimikuormat selviävät SKF:n luetteloista: $C_{\text{dyn}} = 30,7\text{kN}$ ja $C_0 = 19\text{kN}$ näinollen laakerin maksimi aksiaali-kuormaksi saadaan $4,75\text{kN}$ kaavasta $0,25 * C_0$, joka koskee kaikkia olakkeille asennettavia laakeriyksikköjä (SKF:n www-sivut). Kuvasta 11. nähdään, että laakeriyksikkö tarvitsee 40mm akselin.

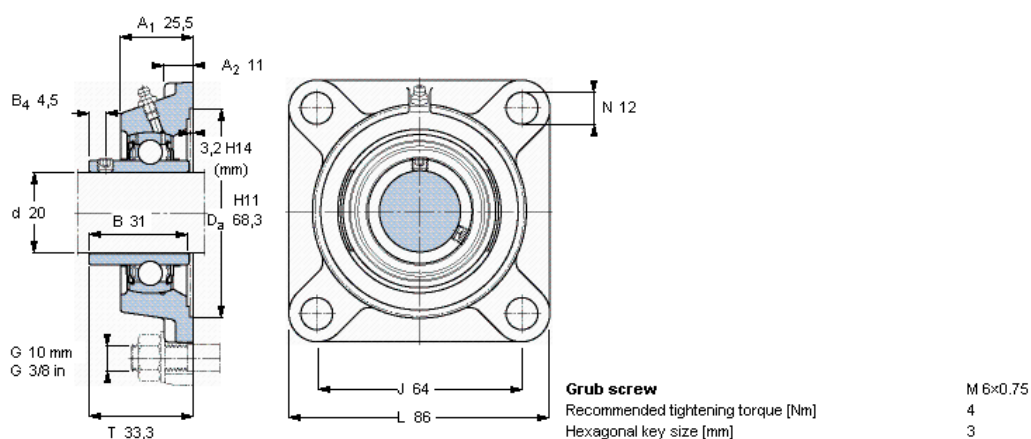
5.3.2 FYJ 50 TF



Kuva13. Y-laakeriyksikkö FYJ 50 TF. (SKF:n www-sivut)

Kuvassa 12. oleva laakeri FYJ 50 TF on edellistä hieman suurempi versio. Laakeriyksikkö sisältää laakerin YAR 210-2F (SKF:n www-sivut). Tällä laakeriyksiköllä maksimivoimat ovat $C_{dyn} = 35,1\text{kN}$ ja $C_0 = 23,2\text{kN}$ (SKF:n www-sivut). Näillä tiedoilla maksimi aksiaalikuormaksi saadaan $5,8\text{kN}$, joka täyttää myös karusellille lasketun $5,148\text{kN}$ maksimikuorman.

5.3.3 FYJ 20 TF



Kuva14. Y-laakeriyksikkö FYJ 20 TF. (SKF:n www-sivut)

Viimeiseksi esimerkki vaihtoehdoksi otin huomattavasti pienemmän Y-laakeriyksikön, joka voidaan asentaa toiseksi laakeriksi vastaanottamaan ainoastaan säteiskuormia. Laakeriyksikkö sisältää laakerin YAR 204-2F, jonka $C_{dyn} = 12,7\text{kN}$ ja $C_0 = 6,55\text{kN}$. (SKF:n [www-sivut](http://www.skf.com)).

5.4 Päätelmä

Karusellin laakerointi on toteutettava kahdella laakerilla, joista toinen vastaanottaa aksiaalikuorman ja toinen säteiskuorman. Mielestäni laakerointi voidaan toteuttaa kahdella järkevällä tavalla käyttäen laskettuja laakeriyksiköjä. Ensimmäinen vaihtoehto on käyttää laakeriyksikköä FYJ 50 TF kannattelemaan aksiaalikuormaa ja laakeriyksikköä FYJ 20 TF vastaanottamaan säteiskuormaa. Toinen hieman arvokkaampi, mutta ehkä yksinkertaisempi vaihtoehto etenkin akselin valmistuksen kannalta on käyttää kahta FYJ 40 TF laakeriyksikköä. Standardin SFS 1176-1 mukaan lasketut arvot sisältävät jo niin suuren varmuuskertoimen että laakerit eivät enää itsessään tarvitse varmuuskertoimia ja suurempaan laakeriin siirryttäessä hinta kasvaa huomattavasti.

LÄHTEET

Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miittinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M. & Välimaa, V. 1995. Koneenosien suunnittelu. Juva: WSOY.

Blom, S., Lahtinen, P., Nuutio, E., Pekkola, K., Pyy, S., Rautiainen, H., Sampo, A., Seppänen, P & Suosara, E V. 2006 Koneenelimet ja mekanismit. 5.-6. uud. p. Helsinki: Edita Prima Oy

Etola yhtiöt Oy:n www-sivut 2012. Viitattu 20.3.2014 <http://tuotteet.etra.fi/>

Puuha Group Oy:n www-sivut. 2014. Viitattu 9.4.2014. <http://www.puuha.com/>

SFS-EN 1176:fi. Leikkikenttävälineet ja turva-alustat. Yleiset turvallisuusvaatimukset ja testimenetelmät. 2008. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS

SKF General Catalogue. 2003. Germany: SKF Group.

SKF:n www-sivut. 2014. Viitattu 21.3.2014. <http://ww.skf.fi>

Vierintälaakereiden voitelu. Espoo: FAG Sales Europe – Finland. Viitattu 9.3.2014 http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/publication/downloads_18/wl_81115_4_fi_fi.pdf

Taulukko A.1 Käyttäjien aiheuttama pystysuora kokonaiskuorma kaikenikäisille lapsille tarkoitetuille leikkikentille

Käyttäjämäärä n	Käyttäjien (n) massa G_n kg	Dynaaminen kerroin C_{dyn}	Käyttäjien aiheuttama pystysuora kokonaiskuorma $F_{tot, v}$ N	Pystysuora kuorma käyttäjää kohden $F_{1, v}$ N
1	69,5	2,00	1 391	1 391
2	130	1,50	1 948	974
3	189	1,33	2 516	839
5	304	1,20	3 648	730
10	588	1,10	6 468	647
15	868	1,07	9 259	617
20	1 146	1,05	12 033	602
25	1 424	1,04	14 810	592
30	1 700	1,03	17 567	586
40	2 252	1,025	23 083	577
50	2 801	1,02	28 570	571
60	3 350	1,017	34 058	568
∞		1,00		538

HUOM. Äärettömän kohdalla pystysuora kuorma käyttäjää kohden on sama kuin keskimääräinen massa.