

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma / merenkulkualan insinööri

Hans Karttunen

TIIVISTEET LAIVAKÄYTÖSSÄ

Opinnäytetyö 2014

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma

KARTTUNEN, HANS

Tiivisteet laivakäytössä

Insinööriyö

60 sivua + 3 liitesivua

Työn ohjaaja

Lehtori Ari Helle

Toimeksiantaja

Merenkulun ja logistiikan painoala, KYAMK

Toukokuu 2014

Avainsanat

tiivisteet, tiivistäminen, laippatiivisteet, O-renkaat, liukurengastiivisteet, labyrinttitiivisteet, vikaantuminen, varastointi

Opinnäytetyön aiheena on tiivisteet laivakäytössä ja pääpaino on laivakoneosaston tiivisteratkaisuissa. Tavoite on selvittää, minkälaisia tiivisteratkaisuja eri kohteissa on ja mitkä ovat eri tiivisteiden toimintaperiaatteet, materiaalit ja käyttöön liittyvät rajoitukset. Työssä käsitellään myös yleisimpiä vikaantumisen syitä ja seurauksia sekä varastointia.

Lähdemateriaalina on käytetty alan kirjallisuutta ja verkkojulkaisuja, minkä lisäksi on perehdytty valmistajien rakennepiirustuksiin ja tuote-esitteisiin. Suurin osa materiaalista on ollut englanninkielistä, ja osa siitä on jouduttu vapaasti kääntämään, koska virallisia vastineita ei ole löytynyt. Myös omaa työssä hankittua käytännön kokemusta on hyödynnetty.

Tiivisteet on jaettu neljään pääryhmään tiivistyskohdan liikehdinnän mukaan.

Jokaisessa pääryhmässä on esitelty erilaisia tiivisteratkaisuja, niiden toimintaperiaatteita, valmistusmateriaaleja sekä käyttörajoituksia. Erilaisia tiivisteratkaisuja on valtavasti ja tuotekehitys on ollut erittäin nopeaa viimeisten kahdenkymmenen vuoden aikana. Näin ollen tässä työssä esitetyt tiivisteet ovat vain osa markkinoilla olevista. Vikaantumista on käsitelty yleisellä tasolla tiivisteryhmittäin.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Degree Program in Marine Technology

KARTTUNEN, HANS

Vessel Sealing Solutions

Bachelor's Thesis

60 pages + 3 pages of appendices

Supervisor

Ari Helle, Lecturer

Commissioned by

Kymi Technology

May 2014

Keywords

sealing, gasket, static seal, O-ring, rotary seal, labyrinth seal, seal failure, storage

The subject of this thesis is sealing solutions in vessel environment. The main focus is on different sealing applications that are in use in the marine engine department. The aim of this thesis was to gather key information and explain the functions of different types of seals, materials that are used and restrictions for these sealing solutions. Additionally, a general failure guide of most common malfunctions in sealing technologies is included. At the end, there is a section that addresses how to store and handle seals.

The seals are divided into four main categories, depending on the movement at the sealing joint. In each category, there are explanations about different types of sealing solutions, their working principles, material specifications and restrictions for use.

Information was gathered from literature, handbooks and publications. Manufacturers' technical drawings, design guides and maintenance manuals were studied. Additionally, experience obtained from working onboard was also applied in this thesis.

The design and types of sealing methods cover a vast range. The development of sealing technology has been extremely rapid during the past twenty years. Therefore, the sealing solutions in this thesis only cover a restricted part of seals that are available at the global market. In general, it can be said that leakage has been reduced from drops per minute to being measured in ppm today.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄYTETYT LYHENTEET	5
1 JOHDANTO	7
2 STANDARDIT	8
3 TIIVISTEET	10
3.1 Staattiset tiivistet	10
3.1.1 Laipatiivisteet	12
3.1.2 O-renkaat	17
3.1.3 Muut tiivistet	19
3.2 Puolistaattiset tiivistet	22
3.3 Pyörimisliikkeen tiivistet	23
3.4 Suoraviivaisen liikkeen tiivistet	35
4 TIIVISTEIDEN VIKAANTUMINEN	40
4.1 Staattiset tiivistet	40
4.2 Pyörimisliikkeen tiivistet	46
4.3 Suoraviivaisen liikkeen tiivistet	53
5 VARASTOINTI	56
6 LOPUKSI	57
LÄHTEET	59
LIITTEET	
Liite 1. SFS-standardeja	
Liite 2. Tiivistevaurioita	

KÄYTETYT LYHENTEET

Antimoni	alkuaine (Sb), puolimetalli
ATF	automatic transmission fluid, automaattivaihteistoöljy
CEN	European Committee for Standardization
CR	kloropreenikumi
CrMo-teräs	kromimolybdeeni, lämmönkestävä teräs
DIN	Deutsches Institut für Normung
Elastomeeri	amorfinen polymeeri, venyy vähintään kaksinkertaiseksi ja palautuu nopeasti alkuperäiseen muotoonsa, kun venymän aiheuttanut voima poistetaan. Kumi pehmittimenä
EPDM	etyleeni-propeeni-dieenikumi
FEPM	fluorielastomeeri, kumiseos
FKM	fluorikumi, Viton®
FVMQ	fluorisilikonikumi
HNBR	hydrogenoitu nitrili, kumiseos
HTG	grafiitti (high temperature graphite)
IRHD	International Rubber Hardness Degree, kumimateriaalin kovuutta ilmaiseva standardi
ISO	International Organization for Standardization
MPa	megapascal
mPa s	millipascal sekunti, dynaaminen viskositeetti yksikkö, 1 mPa s = 0,01 g/cm/s
NBR	nitriilikumi
Piikarbidi	piin ja hiilen (SiC) muodostama keraaminen yhdiste
Polymeeri	kestomuovi, petrokemian synteettinen tuote
ppm	parts per million, 10 000 ppm = 1%
PTFE	polytetrafluorieteeni, teflonpinta
PU	polyuretaani
(P)VMQ	silikonikumi

R _a	karheusluku (roughness average)
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
SH	shore, materiaalin kovuutta ilmaiseva standardi

1 JOHDANTO

Erilaisia tiivisteratkaisuja on paljon ja käytettävien tiivistemateriaalien valikoima on laaja. Tiivistettävän kohteen liikkeen luonne määrittää tiivisteiden rakenteen. Tiivisteet jaetaan yleensä neljään pääryhmään: staattisiin tiivisteisiin eli ns. lepotiivisteisiin, joissa tapahtuu hyvin pientä tai ei laisinkaan liikehdintää, puolistaattisiin tiivisteisiin, pyörivän liikkeen tiivisteisiin sekä suoraviivaisen liikkeen tiivisteisiin. Tiivistemateriaalin valintoihin vaikuttavia tekijöitä ovat ensisijaisesti väliaineen laatu, kohteen käyttöpaine, lämpötila ja mahdollinen liikenopeus. On myös olemassa useita erilaisia yhdistelmätiivisteitä, jotka voivat olla rakenteeltaan hyvin teknisiä.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään laivan yleisimpiä tiivisteratkaisuja, niiden valintoihin vaikuttavia tekijöitä sekä eri materiaalien perusominaisuuksia ja kerrotaan myös yleisellä tasolla eri tiivisteiden vikaantumisista sekä niihin mahdollisesti vaikuttavista syistä. Liitteen 2 kuvilla on pyritty havainnollistamaan erilaisia vikaantumisia, ja mukana on myös lyhyt suositus varastoinnista.

Opinnäytetyössä ei käsitellä öljy-, kemikaali- tai kaasusäiliöalusten lastipuolen tiivistysratkaisuja, eikä huoltoa ja kunnossapitoa käsitellä kuin vikaantumisen osalta. Lisäksi erilaisten venttiilien mekaanisista tiivistepintaratkaisuista kerrotaan vain venttiilikaran osalta. On suositeltavaa, että lukijalla on perustietämystä materiaali-, lämmönsiirto- ja termotekniikasta.

Viimeisten kahdenkymmenen vuoden aikana tiivisteratkaisujen ja -materiaalien kehitys on ollut nopeaa: aikaisemmin esimerkiksi puhuttiin joissakin kohdissa vuodoista tipoissa per minuutti, mutta nykyään vuodon määrä voidaan mitata ppm:inä.

2 STANDARDIT

Standardisointi on yhteisten toimintatapojen laatimista. Standardit on tarkoitettu helpottamaan viranomaisten, elinkeinoelämän ja kuluttajien toimintaa. Standardisoinnilla pyritään lisäämään tuotteiden yhteensopivuutta ja turvallisuutta, suojelemaan kuluttajaa, tuottajaa, työntekijää ja ympäristöä sekä helpottamaan kaupankäyntiä maailmanlaajuisesti. Standardit ovat luonteeltaan vapaaehtoisia suosituksia, mutta niitä on myös alettu käyttää lainsäädännön apuvälineinä. Standardit julkaistaan asiakirjoina ja ne ovat kaikkien käytettävissä. (1, s. 6-7)

Laajimmin käytössä ovat perusstandardit, joilla määritetään mittayksiköt, tunnukset, merkit sekä erilaiset muut käsitteet. Tuotestandardit määrittävät vaatimukset tuotteille tai tuoteryhmille, jotka niiden on täytettävä, jotta ne sopivat tiettyyn tarkoitukseen. Vaatimukset koskevat mm. mitoitusta, kestävyyttä, turvallisuutta, koostumusta ja rakennetta. Menetelmästandardit sisältävät yksityiskohtaisia ohjeita tuotantoprosesseista, raaka-aineista ja komponenttien ominaisuuksista. Turvallisuusstandardit pyrkivät takaamaan tuotteen turvallisuuden, millä vältetään ihmisille, eläimille tai ympäristölle aiheutuvaa kohtuutonta riskiä. Testausstandardit sisältävät määritelmiä tuotteiden testausmenetelmistä. Standardeissa on eroja siinä, onko pääpaino tuotantomenetelmissä vai itse lopputuotteen ominaisuuksissa. (1, s. 8-10)

Standardisointia kehitetään kansainvälisellä, eurooppalaisella ja kansallisella tasolla. Varsinaisesta standardisointityöstä vastaavat standardisointielimet, jotka ovat yleensä hallinnon ulkopuolisia yhteisöjä. Kansainvälisellä tasolla laajin standardisointijärjestö on ISO, International Organization for Standardization, jolla oli 111 kansallista jäsentä vuonna 2013. Euroopan laajin standardisointijärjestö on puolestaan CEN, European Committee for Standardization. Kansainvälisellä tasolla Suomea CENissä edustaa kansallinen Suomen Standardisoimisliitto SFS. Myös esimerkiksi DIN-standardia, Deutsches Institut für Normung, näkee käytettävän usein, ja se edustaa puolestaan Saksaa kansainvälisessä standardisointiorganisaatiossa. Kansainväliset ja eurooppalaiset standardisointijärjestöt ovat sopineet yhteistyöstä niin, että eurooppalaisten standardien laadinnassa käytetään aina hyväksi maailmanlaajuisia standardisointia, kun se vain on mahdollista. Suomessa kaikki eurooppalaiset standardit vahvistetaan SFS-standardeiksi, mikäli ne eivät ole ristiriidassa keskenään.

Nykyään yritysten standardisointityö on hyvin pitkälti kansallisella ja kansainvälisellä tasolla tapahtuvan standardisointityön seuraamista ja soveltamista omaan toimintaan. (1, s. 11-14)

Kirjainyhdistelmät, kuten SFS, EN ja ISO, ilmoittavat organisaation, jossa standardin teksti on vahvistettu. Suomessa vahvistetun standardin tunnus on SFS, eurooppalaisessa standardisointijärjestössä CENissä vahvistetun tunnus on EN ja kansainvälisessä standardisointijärjestössä ISOssa vahvistettu tunnus on puolestaan ISO. Jos sama standardi on hyväksytty kansallisesti ja kansainvälisesti, käytetään esimerkiksi tunnusyhdistelmää SFS-EN, joka tarkoittaa sitä, että sama standardi on voimassa sekä Suomessa että Euroopassa. SFS-ISO puolestaan tarkoittaa, että standardi on voimassa Suomessa ja kansainvälisesti, mutta sitä ei ole vahvistettu Euroopassa. SFS-EN ISO tarkoittaa, että standardi on vahvistettu kaikissa näissä kolmessa organisaatiossa. (1, s. 14-15)

Jokaisella maalla on oma standardisointitunnuksensa. Standardien SFS-EN ISO 1234 ja DIN-EN ISO 1234 taustalla on sama, identtinen ISO-standardi, joka on vahvistettu Euroopassa ja kaikissa CENin jäsenmaissa. Tämä numeroiden yhteneväisyys koskee vain eurooppalaisten ja kansainvälisten standardien vahvistamista eri maissa, eli samalla numerolla voi olla eri maissa eri kansallisia standardeja. Standardeihin perehdyttäessä on siis olennaista myös huomioida otsikko. (1, s. 14-15)

Liitteenä 1 on muutama esimerkki Suomen Standardisoimisliiton (SFS ry) voimassa olevista tiivistestandardeista ja -raporteista. SFS ry:n jäsenenä on elinkeinoelämän järjestöjä ja Suomen valtio, ja sen päätehtäviä ovat SFS-standardien laadinta, vahvistaminen, julkaiseminen, myynti ja tiedottaminen. SFS ry on jäsenenä kansainvälisessä standardisointijärjestö ISOssa ja eurooppalaisessa standardisointijärjestö CENissä. Pääosa SFS-standardeista perustuu kansainvälisiin tai eurooppalaisiin säännöksiin. SFS ry laatii standardeja yhteistyössä kahdentoista toimialayhteisön kanssa. (2)

3 TIIVISTEET

Tiivisteillä estetään tai vähennetään vuotoja erilaisissa liitoskohdissa sekä kahden tai useamman väliaineen sekoittumista toisiinsa, mikä voisi olla haitallista koneen tai laitteen toimivuuden kannalta. Tavoitteena on estää suoranaisia laiterikkoja, pidentää laitteiden elinkaaria ja vähentää huollon tarvetta. Tiivisteillä pyritään myös estämään painehäviöt, -tasaantumiset ja -purkautumiset väärin kohtiin. Väliaineet voivat olla kiinteitä, nesteitä, kaasuja tai näiden seoksia. Suurimmat ongelmat tiivistämisessä syntyvät, kun paine-erot ovat suuret, mikä on tavallista, kun väliaine tai aineet ovat kaasumaisessa muodossa. (3, s. 636)

Tiivistyskohdan liike vaikuttaa olennaisesti tiivistetyypin valintaan. Tiivisteet voidaan jakaa neljään pääryhmään niiden käyttökohteen liikkeen mukaan:

- staattiset eli lepotiivisteet (laippaliitos)
- puolistaattiset (kalvorasiat)
- pyörimisliikkeen tiivisteet (laakerin suojaus)
- suoraviivaisen liikkeen tiivisteet (paineilma- tai hydraulikkasylinterit)

3.1 Staattiset tiivisteet

Tasotiivisteitä käytetään kahden tasomaisen pinnan välissä, missä liikehdintä on erittäin pientä tai lähes olematonta. Tiivisteiden on oltava elastista, jotta se täyttää eri pintojen epätasaisuudet, mutta samalla riittävän jäykkää, jotta se ei pursua pois paikaltaan. Sen on pysyttävä tiiviinä käyttökohteessa, vaikka paine ja lämpötila voivat muuttua hyvinkin paljon. Jos tasojen viimeistely olisi ensiluokkaista ja niiden välinen tiiveys olisi mahdollista säilyttää äärimmäisen vaihtelevissa käyttöolosuhteissa, tiivisteitä ei tarvittaisi. (3, s. 638)

Tämän tekevät kuitenkin mahdottomaksi seuraavat asiat:

- liitosten kokoluokat laivoissa voivat olla suuret
- tasojen pinnat eivät säily vaurioitumattomina varastoinnin, käsittelyn, huollon ja kokoonpanon aikana
- käytön aikana pinnoilla tapahtuu korroosiota, ruostumista, syöpymistä ja eroosiota

- liitoskohtia on moninainen määrä pitkissä putkistoissa
- sisäiset ja ulkoiset värähtelyt, turbulenssi ja paineiskut käytön aikana (3, s. 636-639)

Tästä syystä käytetään erilaisia, suhteellisen edullisia tiivisteitä liitoskohdissa, joiden tasoja ei ole koneistettu tarpeesi hienoiksi, jotta ne pysyisivät tiiviinä. Suhteellisen edullisen tiivisteiden käyttäminen on usein kustannustehokkaampaa kuin liitoskohtien hienokoneistus. Luotettavan ja pitkäkestoisen tiiveyden saavuttamiseksi on huomioitava seuraavat asiat:

- tiivisteiden on istuttava ja sovittava oikein liitoskohtaan
- liitoskohta on yleensä kiristettävä oikeaan momenttiin, jotta tiiveys säilyy äärimmäisen vaihtelevissa käyttöolosuhteissa
- tiivistemateriaali on valittava siten, että se säilyy eheänä lämpötilan ja paineen vaihdellessa. Se ei myöskään saa reagoida tiivistettävien pintojen tai väliaineiden kanssa. (4, s.3-5)

Tiivisteet voivat olla pyöreitä, ovaaleja, ellipsejä, suorakaiteita, neliöitä tai itse leikeltynä käyttökohteen mukaan. Pienimmät tiivisteet voivat olla vain muutaman millimetrin mittaisia, kun taas suurimpien tiivisteiden äärimittat voivat olla useita metrejä. Yleisimmin käytetyt tasotiivisteiden materiaalit ovat metallit, grafiitit, PTFE-pohjaiset materiaalit, kuitumateriaalit, kumit, muovit, solukumit ja solumuovit. (4, s. 15)



Kuva 1. Erimuotoisia tiivisteitä. Lamons®

3.1.1 Laippatiivisteet

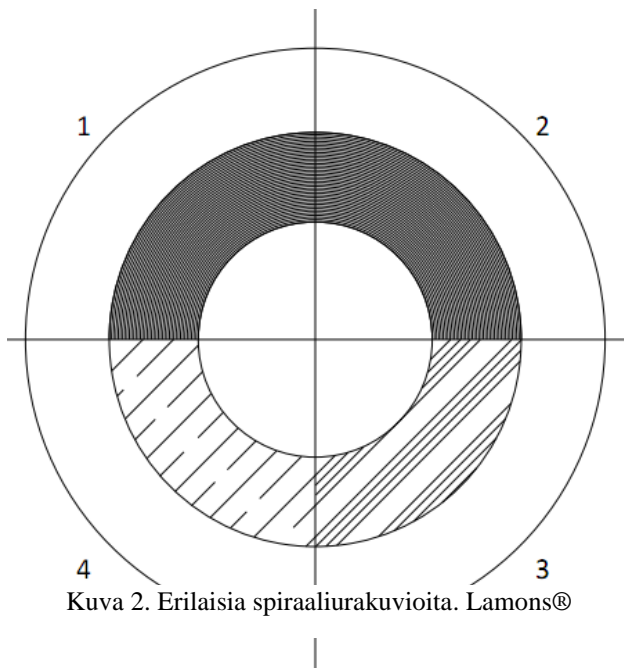
Laippatiivisteiden päätehtävä on putkilaippojen tiivistyspintojen epätasaisuuksien poistaminen, eli kun liitos kiristetään, tiiviste mukautuu pintojen välillä ja pitää liitoskohdan tiiviinä. Mitä vähemmän voimaa tarvitaan kiristämässä, sitä vähemmän syntyy rasitusta, kuten vetojännitettä, putkistoihin. Ohuempi tiiviste mukautuu yleensä huonommin ja se myös vaatii putkilaipoilta hienompaa pinnan sileyttä, jotta liitoskohta pysyy tiiviinä. Lisäksi tiivisteiltä vaaditaan hyvää kokoonpuristuvuutta, kimmoisuutta, lujuutta, paineenkestoa, lämpötilankestoa ja kemiallista kestävyttä. (3, s. 638-639)

Laivoissa laippaliitoksilla yhdistetään mm. putkilinjoja, venttiileitä, pumppuja ja tankkeja toisiinsa. Kun monenlaisia tiivisteitä käytetään näissä liitoskohdissa, on huomioitava erilaisia rajoituksia, jotka liittyvät kokoon, liitoskohdan rasituskestävyyteen, pintojen karkeuteen ja materiaalien kestävyteen. Laippaliitokset on luokiteltu aina 0,05-100 MPa:iin asti.

Putkilaippojen tiivistepinnat voivat olla putkilaippaan nähden samalla tasolla, korotettuja, porrastettuja tai uritettuja. Tiivistyspinnasta voidaan esimerkiksi sähköisellä piirturilla piirtää profiili, jonka avulla voidaan määrittää pinnan karkeus. Karkeuden määrittelee ns. R_a -luku, joka on pinnan karkeuden keskipoikkeamaluku, joka ilmoitetaan mikrometreinä (μm). Jos $R_a = 3,2$, pinnan karkeus on 3,2 mikrometriä (μm). Alla on esimerkki eri pintakarkeuksista.

1. Jatkuva spiraaliurakuvio:

Jos pinnan karkeudelle ei aseteta erityisiä vaatimuksia, niin tämä on eniten käytetty ns. yleiskarkeusluokka. Laippa soveltuu pehmeille tiivisteille, joilla on hyvä muokkautumiskyky, jonka ansiosta liitoskohdassa on myös runsaasti kitkaa. $R_a = 1,59 \text{ mm} \geq 305 \text{ mm}$ putkissa ja $3,17 \text{ mm} \leq 305 \text{ mm}$ putkissa.



2. **45° jatkuva spiraaliurakuvio** poikkeaa edellisestä, koska siihen on koneistettu 45° sahalaitakuvio uriin, millä kitkaominaisuuksia on edelleen parannettu.
3. **Jatkuva sahalaitakuvio** on yleensä tilattava erikseen ja tarkoitettu isommille putkille. Tällä pyritään aikaansaamaan viivamainen hammastettu kosketuspinta ja täten suurempi pintapaine. Pinnankarkeus $R_a = 10,16$ mm.
4. **Sileäpintainen viimeistely:** Koneistuksen viimeistelyjälkiä ei silmällä havaitse. Laipan kanssa käytetään tavallisesti metallipinnoitteisia kaksoisvaippatiivisteitä. Pinnankarkeus on luokkaa $3,2 \geq R_a \geq 6,3$ μm
5. **Vesihiotu:** Pinnan sileys aikaansaadaan erilaisilla kylmävesihiontatekniikoilla. Pinnat ovat peilikuviollisia toisiinsa nähden eli tiivisteitä ei yleensä tarvitse käyttää. (4, s. 10-11; 5)

Metallittomat tiivisteet putkille: Näitä kutsutaan yleisesti pehmeiksi tiivisteiksi, koska ne muokkautuvat helposti pientä kiristysvoimaa käyttäen. Nimityksellä erotellaan nämä tiivisteet metallisista. Metallittomien tiivisteiden rakennemateriaali on hyvin laaja ja kirjava. Siinä käytetään esimerkiksi erilaisia elastomeerejä, synteettisiä kuituja, kuten aramidia ja Kevlar®ia, PTFE:tä, grafiittia, keraamisia ja lasisia yhdistelmiä, neopreeniä, Viton®ia, luonnonkumia, silikonია. Tiivisteiden käyttökohteita ovat esimerkiksi putkilaippaliitokset, lämmönvaihtimet, kompressorit ja erilaiset venttiilit. Alla on esitelty muutamia metallittoman tiivisteiden erilaisia rakenteita. (4, s. 28)



Kuva 3. Erilaisia rakenteita. Lamons®

Viiltomuoto

Hiottu neliöprofiili

Nauhamuoto

Seuraavassa taulukossa on esitelty erään valmistajan tiivistemerkinä ja niiden ominaisuuksia. Väri kertoo tiivisteiden käyttökohteen, jolla yleensä viitataan tiivistettävään väliaineeseen sekä tiivisteiden perusominaisuuksiin. Jokaisessa tiivisteessä tulisi myös olla tuotenumero merkitty selkeästi molemmiin puolin. (4, s. 17-22)

Taulukko 1. Erään valmistajan tiivistemerkitöjä ja tiivisteiden ominaisuuksia

Tuote-numero	Väri	Käyttökohde	Vetolujuus, syysuuntaan, MPa	Lämpö-alue °C
L-441		Yleistiiviste	14	- 40...+204
L-430		Laimeat hapot, laimeat alkalit, kemikaalit, synteettiset voiteluöljyt, polttoaineet ja johdannaiset	10	- 40...+204
L-450		Tarttumaton pinta, höyry, vesi, vahvat hapot ja alkalit, inerttikaasu, kemikaalit, voiteluöljyt, polttoaineet ja johdannaiset	10	- 40...+343
L-443		Höyry, kemikaalit, polttoaineet ja johdannaiset	10	- 40...+260
L-540		Vesi, kylläinen kylmäainehöyry, voiteluöljyt, polttoaineet	11	- 40...+204

Metalliseostiivisteet putkille: Rakenteeltaan pehmeitä, taipuisia ja notkeita, ja pintapainevaatimukset ovat pienemmät kuin metallitiivisteillä. Koko- ja lajikirjo on laaja. Näissä tiivisteissä käytetään monia eri metalleja; vaatimuksena on, että metallit voidaan valmistaa ohuina

liuskoina, suikaleina tai arkkeina, ja että ne ovat hitsattavissa. Seosainetta käytetään ytimessä, pinnoitteena, sidosaineena tai pääaineena.

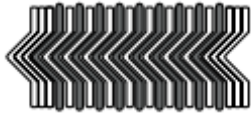
Seosmahdollisuudet tekevät tiivisteistä monikäyttöisiä etenkin korroosion torjunnassa eri väliaineilla.

Metalliseostiivisteiden lämmönkestävyys

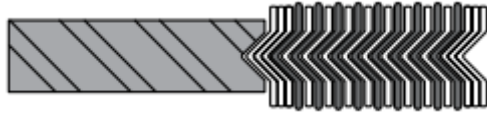
vaihtelee alle -150... +1000 °C, ja niitä käytetään sekä alipaineistetuissa että paineistetuissa järjestelmissä aina 17 MPa:iin asti. Tiivisteet ovat hyvin kimmoisia, joten ne sallivat putkiliitoksissa liikehdintää, joka johtuu lämpötila- ja paineenvaihteluista sekä värinästä. Seuraavana on erilaisia metalliseostiivisterakenteita.



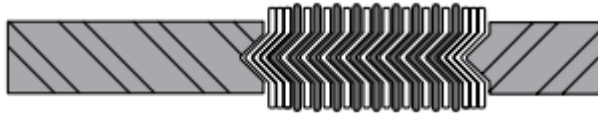
Kuva 4. Erilaisia metalliseostiivisteitä



Pelkkä käämitys, ei sisä- tai ulkoreunan vahvikkeita.
Lamons style W®.



Metallinen ulkorengas ja käämitys,
Lamons style WR®.



Metallinen ulkorengas, käämi-
sydän ja metallinen sisärengas.
Lamons style WRI-LC®.



Metallinen ulkorengas, käämisydän, Kampro™-metalliseos sisärengas PTFE-
päällysteellä. Lamons style WRI-LP®.



Metallinen ulkorengas, HTG käämisydän, Kampro™-sisärengas PTFE-päällysteellä.
Tulenkestävä. Lamons Inhibitor®.

Esimerkkejä Lamons gasket® metalliseostiivisteiden lämmönkestoalueista. (4, s. 42-
46)

Taulukko 2. Tiivisteiden eri lämpötila-alueita

Lämpötila-alue	
PTFE	-196... +232 °C
Flexible Graphite (joustava grafiitti)	-196... +454 °C
Oxidation Resistant Grade Flexible Graphite (joustava grafiitti, hapettumista kestävä)	-196... +524 °C
HTG, (korkean lämpötilan grafiittitiiviste)	-196... +816 °C
Mica (kiillelevy)	-196... +1000 °C
Ceramic (keraaminen)	-196... +1093 °C

Metalliset tiivisteet putkille: Metallirengastiivisteitä valmistetaan kahta standardimallia, soikeita ja kahdeksankulmaisia. Nämä mallit vaativat erikseen standardisoituja putkiliitoksia, joissa on niitä varten työstetyt urat. Soikeita käytetään 64 MPa:n paineeseen asti ja kahdeksankulmaisia 103 MPa:iin asti lähinnä öljynporaus- ja tuotantoyksiköissä sekä merellä että maalla. Kahdeksankulmainen tiiviste on uudempi malli, jolla on huomattavasti paremmat tiivistysominaisuudet juuri muotoilunsa vuoksi. Poikkileikkaukseltaan soikeita tiivisteitä valmistetaan yhä, koska vanhanmallisia putkia, joissa on pyöreäpohjainen putkiliitoksen tiivistyspinta, on vielä käytössä etenkin vanhemmissa öljynporausyksiköissä. Metallirengastiivisteiden tiivistyspinta on koneistettava 1,6 µm tarkkuuteen. Tiivisteiden kovuuden on aina oltava heikompi kuin putkien liitospintojen, jotta tiiveys taataan ja putkien liitospinnat eivät vaurioidu. Tiivisteiden standardit ovat 12,7 mm – 1016 mm ja erikoiskokoja saa mittatilaustyönä. (4, s. 99)



Kuva 5. Metallirengastiiviste rakenteita. Lamons®

Alla on esitelty erilaisia metallirengastiivisteitä, niiden materiaaleja sekä kovuuksia. (4, s. 100)

Taulukko 3. Eri materiaalikovuuksia

MATERIAALI	NIMITYS	BRINELL KOVUUS
Meltorauta	D	90
Vähähiilinen teräs	S	120
4- 6 Kromi	CR	130
316 Ruostumaton teräs	S 316	160
347 Ruostumaton teräs	S 347	160
410 Ruostumaton teräs	S 410	170
Alloy 625 (nikkeli-kromiseosteräs)	INC 625	180
Alloy 825 (nikkeli-kromiseosteräs)	INC 825	195

Kovuus on materiaalin mekaaninen ominaisuus, kyky vastustaa muodonmuutosta. Kovuutta mitataan useilla eri tavoilla, joista yksi on Brinell-kovuus. Brinell-

kovuustestissä materiaaliin painetaan 10 mm halkaisijaltaan olevalla karbiditeräksestä valmistetulla pallolla. Käytetyt massat ovat 3000, 1500 tai 500 kg. (6)

3.1.2 O-renkaat

O-renkaat ovat edullisia, helppoja asentaa, pitkäikäisiä, yksinkertaisia, ja niillä on hyvät tiivistysominaisuudet. O-renkaita käytetään lepo- ja liiketiivistyskohteissa. Alkutiiveys saadaan aikaan mitoittamalla ura 10–20 % renkaan paksuutta matalammaksi. Lopullinen tiiveys saavutetaan, kun putkessa olevan väliaineen paine vaikuttaa tiivisteeseen ja painaa sen tasaisesti uraa vasten samalla, kun tiiviste hieman venyy. Pienillä paineilla O-rengas ei pursua. Jos halutaan estää kahden metalliosan ruostuminen kiinni toisiinsa, suurennetaan rakoa tuomalla uran reuna hyvin lähelle renkaan poikkileikkauksen keskilinjaa. Uran kulmat tulee viistää tai pyöristää, jotta rengas ei vaurioidu, kun paine vaihtelee liikuttaen sitä. Tämä vähentää myös renkaan vaurioitumista asennus- ja huoltotöiden aikana. Pinnankarkeusvaatimus lepotiivistyksessä on $R_a \leq 3,5 \mu\text{m}$. (3, s. 639-641)

Staattisessa sovelluksessa O-rengas on lähes kulumaton tiiviste. Kuluminen minimoidaan käyttämällä sileitä pintoja ja riittävästi voitelua. Kuluminen kannalta on hyvä pitää vällys mahdollisimman pienenä, ja tästä syystä O-renkaita suositellaan vain sellaisiin kohteisiin, joissa annetut välykset voidaan säilyttää. O-rengastiivisteille käytetään myös tukirenkaita, jos käyttöpainne on yli 10 MPa, kovia O-renkaita ei voida käyttää tai välykset eivät ole riittävän pienet. Tukirenkaat estävät tiivisteiden pursumisen rakoon ja estävät siten tiivistevaurioiden synnyn. Tukirenkaan materiaalivalinta perustuu ensisijaisesti paineeseen ja riittävän pursuamisen kestoon eli kovuuteen, lisäksi vällys, yhteensopivuus väliaineeseen ja lämpötila-alue vaikuttavat. Tukirenkaiden materiaaleina käytetään yleensä erilaisia muoveja ja elastomeerejä. O-renkaiden materiaalistandardikovuus ilmoitetaan shorena (SH) tai IRHD:na. Vakiokovuudet ovat 70 tai 90 shorea ja lisäksi on yleensä saatavilla kovuusluokkaa 60 ja 80 SH. Kovuusluokissa sallitut poikkeamat ovat ± 5 shorea. Standardit määrittävät testimenetelmät kovuudelle, esimerkiksi saksalaisten kovuustestit O-renkaille määrittävät DIN 53505 ja DIN 53519 -testausstandardit. (7)

FLUORIKUMIT

Fluorikumi (FPM) kestää hyvin mineraaliöljyjä, alifaattisia ja aromaattisia hiilivetyjä, laimennettuja happoja, otsonia, polttoaineita ja muita liuottimia. Niillä on erinomainen lämmönkestävyys, jopa 200 °C, ja kylmänkesto -25 °C / -40 °C asti. Fluorikumilla on hyvät mekaaniset ominaisuudet ja se vastustaa hyvin ikääntymistä. (8)

Aflas® (FEPM) on erikoiskumi, joka kuuluu fluori-elastomeeriin. Sillä on hyvä kestävyys, kun kyseessä on kuuma vesi, höyry, happo, emäs, ammoniakki, valkaisuaine, hapan (H₂S) kaasu ja öljy sekä amiini ja amiinisisältöiset lisäaineet ja korroosionestoaine, moottoriöljy sekä vaihdelaatikon öljy, jarruneste ja hapattetut aineet. Lämmönkestävyys vaihtelee samoissa lukemissa muiden fluorikumien kanssa välillä -10...+200 °C. (8)

Viton®Extreme (ETP, FEPM) ylittää fluorikumin kestävyuden, kun on kyse kemiallisista aineista. Sillä on muokattu polymeerinen rakenne, jonka ansiosta laajeneminen erilaisissa liuottimissa ja emäksisissä nesteissä on alentunut huomattavasti. Se on lämmönkestävä ja joustava lämpötiloissa -15...+200 °C. Tätä materiaalia käytetään, kun on kyse erittäin aggressiivisista kemikaaleista, jotka vaativat erinomaisia kestävyysominaisuuksia. (8)

NITRIILIKUMIT

Hydrogenoidusta nitrilistä (HNBR) valmistetut tiivisteet ovat kestäviä teknisissä öljyissä, joissa on erilaisia lisäaineita. Lisäksi niissä on matala höyryn ja kaasun läpäisevyys, kylmänjoustavuus -30 °C:seen saakka, ja ne kestävät hyvin otsonia. HNBR-tiiviste kestää lämpöä 150 °C:seen saakka. (8)

Akryyli-nitriili butadieeni (NBR) eli nitriilikumi soveltuu ennen kaikkea käytettäväksi moottoriöljyissä sekä erilaisten hydraulikkaöljyjen kanssa. Se sopii hyvin käytettäväksi myös erilaisten voiteluaineiden, bensiinin ja muiden alifaattisten hiilivetyjen, happojen ja emäksisten aineiden kanssa. Nitriilikumilla on hyvät mekaaniset ominaisuudet ja se kestää hyvin kulutusta. Soveltuu lämpöalueelle -25...+120 °C. (8)

SILIKONIKUMIT (VMQ/PVMQ)

Silikonikumin lämmönkestävyys on $-55\dots+200\text{ °C}$ VMQ:lla ja $-100\dots+200\text{ °C}$ PVMQ:lle. Ei sovellu käytettäväksi, jos väliaine on kuuma vesi tai höyry. (8)

Fluorisilikonikumi (FVMQ). Tavallisen silikonikumin ominaisuuksien lisäksi fluorisilikonikumi on hyvin kestävä öljyssä, polttoaineissa sekä liuottimissa. Tämä pätee ennen kaikkea aromaattisiin ja kloorattuihin hiilivetyihin ja alkoholiin. Hyvä kestävyys lämpötilan vaihteluissa välillä $-60\dots+200\text{ °C}$. FVMQ kestää hyvin myös aggressiivisia aineita kuten bensiiniä, erilaisia alkoholin ainesosia, aromaattisia öljyjä sekä laajalti kloorattuja liuottimia. (8)

ETEENIPROPEENIKUMIT

Eteeni-propeeni-dieenikumi (EPDM) kestää hyvin sekä kuumaa vettä että höyryä, ikääntymistä, otsonia, kemikaaleja ja hapettavia aineita. Verrattuna tavallisiin synteettisiin kumeihin EPDM:llä on myös hyvä kylmänkestävyys. Se käyttäytyy öljyissä, voiteluaineissa ja liuottimissa hyvin samalla tavalla kuin butadieeni-styreenikumi (SBR). Lämmönkestävyys on $-50\dots+150\text{ °C}$ riippuen käytetystä EPDM-tyypistä. (8)

KLOROPREENIKUMI

Kloropreenikumin (CR) ominaisuudet ovat hyvin samanlaiset kuin NBR:llä. Mineraaliöljyn kestävyys on hieman huonompi, mutta kloropreenikumi kestää sen sijaan hyvin ikääntymistä, otsonia, happoja ja emäksisiä liuottimia. Lämmönkestävyys vaihtelee $-40\dots+120\text{ °C}$. (8)

3.1.3 Muut tiivisteet

Tiivisteliimoja ja -tahnoja käytetään moneen eri tarkoitukseen, kuten:

- kierteisten osien löystymisen estämiseen (kierrelukitteet)
- kierteiden ja putkien tiivistämiseen (kierretiivisteet)
- pienten osien nopeaan kiinnittämiseen (pikaliimat)
- suurten osien vahvoihin liitoksiin (rakenneliimaus)
- pultattujen laippojen tiivistämiseen (tasotiivisteet)
- sylinterimäisten osien kiinnittämiseen (laakerilukitteet)

- iskun- ja värinänkestäviin liitoksiin (joustava tiivistys ja liimaus)
- metalliosien korjaamiseen ja uusimiseen (metallitäyteaineet)
- vuotojen ja muiden vaurioiden korjaamiseen (tilapäiskorjaustuotteet) (9, s. 4-6)

Kierrelukitteet ovat yleensä yksikomponenttisiä nesteitä tai tahnamaisia liimoja, jotka kovettuvat huoneenlämmössä kovaksi ja kiinteäksi kestumuoviksi. Näitä voi käyttää teräs-, alumiini-, messinki- ja muista metalliseoksista valmistettujen pintojen välissä. Kierrelukitteet kovettuvat hapettomassa tilassa täyttäen välykset ja lukiten kierrelilitokset. Lämpöalue vaihtelee tuotekohtaisesti, mutta ratkaisuja löytyy -55...+200 °C välillä kierrekokoon M36 asti. (9, s. 12-15)



Kuva 6. Kierrelukitteita. Loctite®

Kierretiivisteitä on saatavana muun muassa nesteenä, geelinä tai nauhana, ja niitä käytetään kaasun- ja nestevuotoissa sekä matala- ja korkeapainesovelluksissa. Tiivistäine täyttää kierreosien väliin jäävän tilan ja kestää välittömästi matalia paineita. Kierretiivisteitä voidaan käyttää kaikenkokoisiin putkiin ja kiinnikkeisiin, eivätkä ne viru, kutistu tai tuki putkistoja. Uudet yksikomponenttiset tiivistäineet kestävät hyvin värinää ja iskukuormitusta, ja niiden tarkoitus olisi korvata teippi, hamppu ja tahna tiivisteet. Suojaavat myös kierreosia korroosiolta. Lämpöalue -55...+150 °C. (9, s. 16-19)

Tasotiivisteitä käytetään estämään neste- ja kaasuvuotoja. Tiivisteiden on kestävä lämpötilaerot sekä siihen kohdistuvat paineen muutokset. Onnistunut tasotiivistys voi säilyä ehjänä ja hyväkuntoisena melko pitkään. Tasotiivisteet ovat usein itse muovautuvia, ja niiden kuuluu sulkea kappaleiden väliin jäävä rako niin, että pintakontaktista tulee mahdollisemman laaja. Tiivistäine täyttää naarmut ja pintojen epätasaisuudet. Noin vuorokaudessa tiiviste muodostaa sauman, joka ei kutistu, halkeile tai löysty. Silikonipohjaisia tasotiivisteitä käytetään kohteissa, joissa välykset

ovat suurehkot ja osien välistä liikehdintää tapahtuu. Tiivisteaine on yleensä pasta- tai geelimuodossa lämpöalueella $-60\dots+200\text{ }^{\circ}\text{C}$. (9, s. 20-23)

Laakerilukitteilla kiinnitetään laakerit, holkit ja sylinteriosat akseleihin tai pesiin. Oikein annosteltuna laakerilukite täyttää osien välykset melko hyvin ja luo kovettuessaan tasaisen ja vahvan rakenteen. Mahdollistaa tiettyyn rajaan asti kuluneiden osien, laakeri- ja pumppupesien korjaamisen ilman koneistusta. Laakerilukitetta voidaan myös käyttää tiettyihin kohteisiin, joita ei esimerkiksi saa lämmittää, hitsata tai juottaa, kun vaarana voi olla vääntyminen, jäännösjännitys tai muu rakenteen heikkeneminen. Tavallisesti alle 0,15 mm välyksissä käytetään matalaviskoosisia 125–2000 mPa s laakerilukitteita ja yli 0,15 mm välyksissä korkeaviskoosisia laakerilukitteita $< 2000\text{ mPa s}$. Lämpöalue $-55\dots+230\text{ }^{\circ}\text{C}$. (9, s. 24-27)

Pikaliimat eli syanoakrylaatit kovettuvat nopeasti kahden pinnan välissä, ja kovettumisreaktion aiheuttaa pinnan kosteus. Soveltuvat pienten osien kiinnittämiseen nopean käsittelylujuuden saavuttamiseksi. Niillä voi liimata vain tiiviisti yhteen tulevia pintoja, koska ne pystyvät täyttämään välyksiä vai rajallisesti. Pikaliimoja ei tule käyttää lasin tai lasitetun keramiikan kiinnittämiseen, mutta ne sopivat lasikuitujen kiinnitykseen. Pikaliima on erinomainen muovien ja kumien kiinnittämiseen. Erikoisliimoja on esimerkiksi huokoisille ja happamille pinnoille. On olemassa myös isku- ja rasiskestäviä sekä korkeiden lämpötilojen liimoja. Lämpöalue on $-40\dots+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja kiinnittymisaika vaihtelee 3...150 sekunnin välillä. Tämän lisäksi on olemassa akryyli- tai silikonipohjaisia, valokovetteisia läpinäkyviä liimoja sekä erilaisia sulateliimoja, jotka on tarkoitettu lähinnä muoveille. (9, s. 28-31)

Kontaktiliimoja on laaja valikoima eri aineille kuten kumeille, puulle, metalleille, muoveille, pahveille ja kankaille, minkä lisäksi on erikoiskontaktiliimoja näyttöjen ja taulujen pinnoitukseen sähköteollisuudessa. (9, s. 32-39)

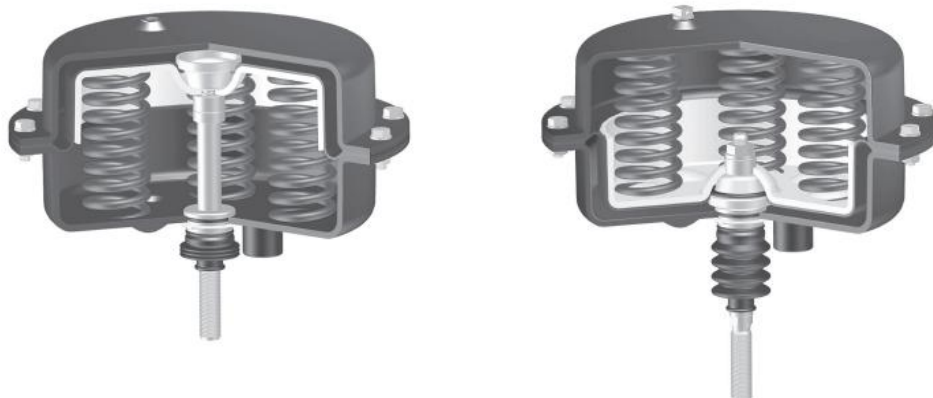
Metallitäyteaineilla voidaan korjata pienempiä koteloiden halkeamia, akseleiden kulumia, laippojen kiilauria sekä tietyissä tapauksissa sylinterien varsia. Niillä voi myös tietyin rajoituksin korjata kavitaation tai korroosion aiheuttamia pistesyöpymiä, laakereiden istukoita, venttiilien halkeamia, erilaisia kierteitä sekä pienempiä reikiä säiliöissä ja putkistoissa. Metallitäyteaineilla pyritään korvaamaan hitsaamista, mikäli se on mahdollista, mutta niiden käyttöä on kuitenkin harkittava tapauskohtaisesti.

Valmiita pintoja voidaan yleensä porata, hioa ja työstää kovettumisen jälkeen sekä niihin voidaan tehdä kierteitä. Täyteaineina käytetään pehmeää terästä, alumiinia tai epämetalleja. Tuotteet ovat yleensä kaksikomponenttiepokseja, joiden lämmönkestävyys on $-30\dots+190\text{ }^{\circ}\text{C}$. (9, s. 44-47)

Suojapinnoitteet ja -aineet tarjoavat ratkaisuja kulumisen, hankauksen, eroosion, kemikaalien ja korroosion aiheuttamiin ongelmiin. Tuotteita käytetään tavallisesti ilmakehässä, säiliöissä, putkissa, sykloneissa, tuulettimien siivissä, sentrifugeissa, lämmönsiirtimissä, siipipyörissä, läppäventtiileissä ja pumppupesissä. Suoja-aineilla on hyvä tarttumiskyky ja ne muodostavat kulutusta kestävä ja uudistettavan työpinnan, joka suojaa alkuperäisen materiaalin rakenteellista eheyttä. Suojapinnoitteita ja -aineita on saatavana tasoitettavana, siveltävänä sekä ruiskutettavana koostumuksena. Ne ovat yleensä keraamitäytteisiä epoksiyhdisteitä, joiden työstöaika vaihtelee puolesta tunnista tuntiin, ja kovettumiseen kuluu noin 4-7 tuntia. Käyttölämpötilat ovat tavallisesti $-30\dots+120\text{ }^{\circ}\text{C}$, mutta on myös olemassa erikoistuotteita, jotka kestävät aina $+230\text{ }^{\circ}\text{C}$ saakka. (9, s. 48-51)

3.2 Puolistaattiset tiivisteet

Puolistaattisia kalvo- ja paljettitiivisteitä käytetään useimmiten kohteissa, joissa tiivistettävät osat liikkuvat toisiinsa nähden lineaarisesti tai lähes lineaarisesti. Liike on tiivisteiden halkaisijasta riippuen muutamasta millimetristä pariinsataan millimetriin. Kalvotiivisteillä aikaansaadaan joustava seinämä kahden tilan välille, mikä mahdollistaa tilavuudenmuutokset ja pienet liikkeet. Kalvotiivisteitä käytetään lähinnä hydraulikan ja pneumatiikan säätölaitteissa, kuten kalvorasioissa, joita kutsutaan myös aktuaattoreiksi.



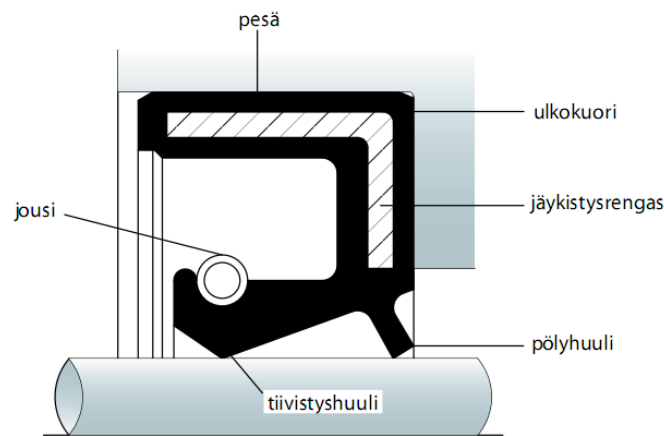
Muuttamalla paineilman määrää eli painetta kalvorasiassa liikutellaan kalvotiivistettä pystysuunnassa. Kuppikalvotiiviste (valkoinen) vuorostaan liikuttaa toimilaitteen venttiilikaraa, joka säätää venttiilin (ei näy kuvassa) asentoa toimilaitteen alapäässä. Venttiilit voivat olla 2- tai 3-tieventtiilejä. Palautusliikkeen aikaansaavat kierrejouset, jotka näkyvät kalvorasiassa. Vasemmassa kalvorasiassa paineilmatila on kalvon yläpuolella ja oikeassa kalvon alapuolella. Jos paineilmaa ei tule vasempaan kalvorasiaan, painuu venttiilikara yläasentoon ja venttiili jää auki-asentoon. Oikeanpuoleisessa kuvassa vastaavassa tilanteessa venttiili jää kiinni-asentoon, kun venttiilikara painuu ala-asentoon. Paineilmaliihtä näkyy kalvorasian alareunassa venttiilikaran oikealla puolella. Kalvotiivistesteiden etuja ovat hyvä tiivistyskyky ja pieni kitka. Kun kyseessä on suhteellisen lyhyt työliike, käytetään taso-, kuppi- tai paljekalvoja. Iskunpituus on noin 10 % kalvon halkaisijasta sekä + että – suuntaan. Jos työliike on pidempi, kuten esimerkiksi nivelakseleissa, käytetään rullakalvoja.

Kalvomateriaalit ovat useimmiten kumitettuja kudoksia (puuvillaa, Rayon 1 tai 2), joissa on nitriliä (synteettinen kumiseos) tai Viton®ia. Kalvot kestävät paine-eroja 0,3–2,3 MPa:iin asti, vaikka ovat paksuudeltaan vain 0,275-0,5 mm:ä. (3, s. 642)

3.3 Pyörimisliikkeen tiivisteet


Pyörivien akseleiden tiivisteitä käytetään tiivistämään pyöriviä koneenosia joko käyttöainetta tai sisä- ja/tai ulkopuolista epäpuhtautta vastaan. Pyörimisliikkeen laatu vaikuttaa yleensä tiivisteiden valintaan: onko se jatkuvasti samaan suuntaan (mäntämoottorin kampiakseli), mahdollisesti molempiin suuntiin (oikosulkumoottori) vai heilahdusliikkeenä (männäntapin liike kiertokangen suhteen polttomoottorissa). Pyörivän akselin tiiviste koostuu elastomeerikomponentista, metallisisennyksestä ja jousesta. Tiivisteeseen kuuluu muotoiltu huuli, joka tavallisesti jousen kuormittamana puristuu akselia tai pesää vasten. Pyörivän akselin tiivisteet vastaavat DIN 3760 ja SMS 2290 -standardeja, joiden lisäksi valmistajilla on useita omia erikoismuotoja. (3, s. 643; 7)

Säteishuulitiiviste (stefa) päätarkoituksena on varmistaa luotettava ja toimiva vuodontaiveus. Sen pitäisi myös vähentää toissijaisia mekaanisia vaikutuksia, kuten akselikitkaa, jolla minimoidaan kuumuuden kehittyminen tiivisteiden välittömässä läheisyydessä. Pienemmissä koneissa on tärkeää, että tiiviste ei aiheuta tehohäviöitä. Säteishuulitiivisteiden käyttöikä on tyypillisesti noin 2000 tuntia, mutta vaihtelee suuresti olosuhteiden mukaan. Tiivisteiden vuoto on suuruudeltaan 1-10 pisaraa vuorokaudessa, kun 25 pisaraa vastaa 1 cm³. Tämä on niin pieni määrä, että se yleensä höyrystyy kitkalämmön vaikutuksesta. Tavallisesti säteishuulitiivisteelle sallitaan enintään 0,05 MPa:n paine-ero. Jos paine on suurempi, huuli puristuu laajalta alueelta akselia vasten ja sen käyttöikä jää erittäin lyhyeksi. Erikoistiivisteitä voidaan käyttää 1,0 MPa:iin asti, riippuen pyörimisnopeudesta. (3, s. 643-645; 7)



Kuva 7. Säteishuulitiivisteiden rakenne

Taulukko 4. Säteishuulitiiviste rakenteita

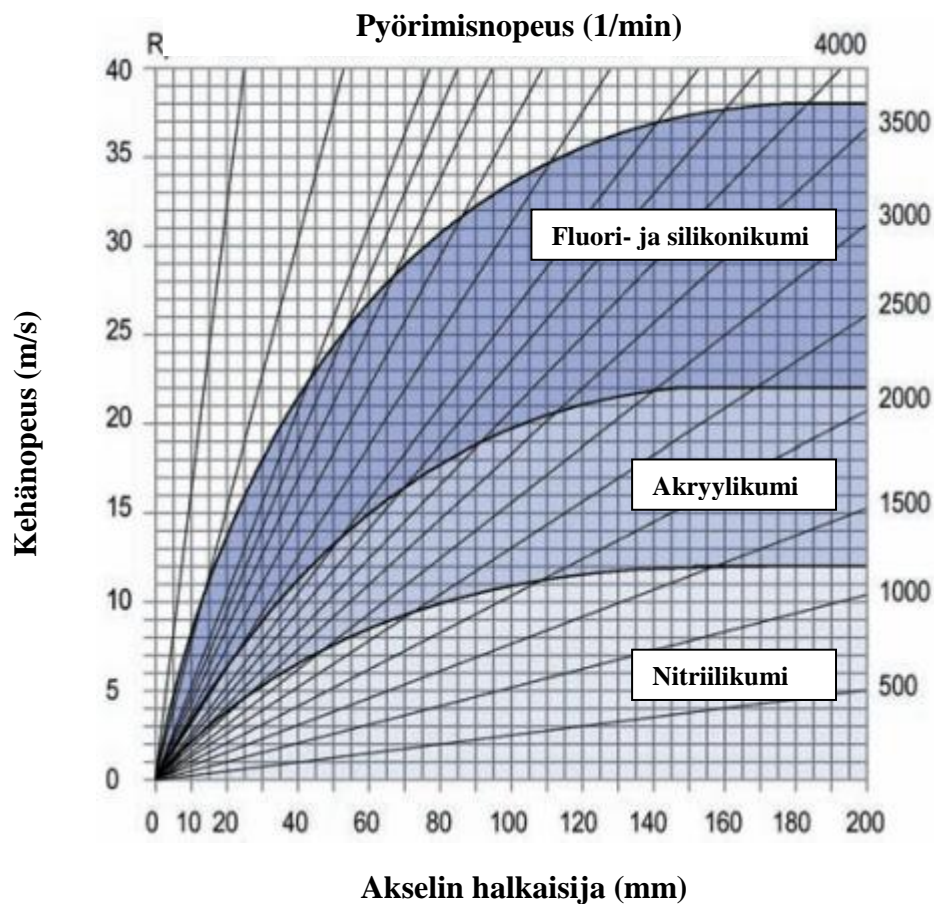
	A	Tavallisin profiili, joka sopii useimpiin kohteisiin. Kuminen ulkokuori säästää pesän pintaa naarmuuntumiselta asennusvaiheessa.
	B	Metallikuorinen, helppo asentaa, vaatii joskus ulkokehällä käytettävän tiivistysmassaa tai O-rengasta vuotojen estämiseksi.
	C	Jäykempi metallikuorinen profiili
	AS	Kuten A, mutta toisella huulella, ns. pölyhuuli joka estää lian pääsyn varsinaiselle tiivistyshuulelle. Asennettaessa huulien väli on täytettävä voiteluaineella.
	ASP	Kuten AS, mutta varsinainen tiivistehuuli on lyhyempi ja tuettu. Paineenkesto 0,1 – 1 MPa. Käyttökohteet ovat hydrauliiikkapumput - ja moottorit.
	BS	Kuten B, mutta toisella huulella, ns. pölyhuuli joka estää lian pääsyn varsinaiselle tiivistyshuulelle. Asennettaessa huulien väli on täytettävä voiteluaineella.
	CS	Kuten C, mutta toisella huulella, ns. pölyhuuli joka estää lian pääsyn varsinaiselle tiivistyshuulelle. Asennettaessa huulien väli on täytettävä voiteluaineella.
	AO	Ilman jouta oleva malli joka sopii ahtaaseen pesään. Tiivisteellä ei ole korkeita vaatimuksia. Käytetään esimerkiksi neulalaakerin yhteydessä. (7)

Akselitiivisteiden yleisin materiaali on **nitriilikumi** (NBR, NB), jolla on hyvä mineraali- ja kasviperäisten öljyjen kesto, kulutuskestävyys ja joustavuus. Se sopii myös käytettäväksi epäorgaanisten ja emäksisten aineiden sekä happojen kanssa, kun seokset ovat laimeita. Lämmönkestävyys on – 20...+120 °C ja maksimi kehänopeus 12 m/s. **Fluorikumi** (FPM) sopii käytettäväksi korkeissa lämpötiloissa ja kestää hyvin öljyjä, polttoaineita ja liuottimia. Sitä ei suositella käytettäväksi orgaanisten yhdisteiden (esterit, eetterit, ketonit tai aminit) kanssa. FPM sopii hyvin kohteisiin,

joissa muut elastomeerit kuluvat tai haurastuvat nopeasti. Lämmönkestävyys on –18...+220 °C ja maksimi kehänopeus 40 m/s. (7)

PTFE (muovi) sopii erityisesti syövyttävien ja sellaisten aineiden kanssa, joita elastomeerit eivät kestä. Kylmän ja kuumen kesto on hyvä, –20...+205 °C. **ACM** (akryylikumi) käytetään pääasiassa autoteollisuudessa, koska se kestänee moottori-, vaihde- ja ATF-öljyjä. Lämmönkestävyys on –20...+150 °C. (7)

Akselin aine ja kovuus määräytyy käyttöolosuhteiden ja suunnitellun käyttöiän mukaan. Toimiakseen tiiviste vaatii esijännityksen akselia vasten. Tiivisteen kanssa yhteydessä olevan tiivisteen kovuuden tulisi olla vähintään Rockwell C45 luokkaa. Jos kehänopeudet ovat yli 3 m/s, tulisi kovuuden olla vähintään Rockwell C 55. Karkaistun osan syvyyden tulisi olla vähintään 0,3 mm. (3, s. 644; 7)

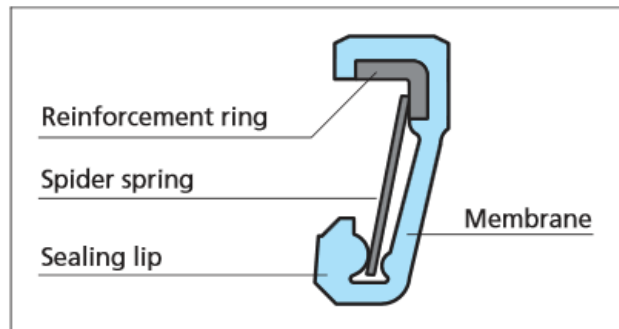


Kuva 8. Sallittuja kehänopeuksia

Kuva esittää sallitut kehänopeudet eri huulitiivistemateriaaleille ja akselin halkaisijoille. Arvot pätevät, kun lämmönsiirto- ja voiteluolosuhteet ovat hyvät. Oikean tiivisteen valintaan vaikuttavat tekijät ovat kitkasta aiheutuva lämpötila,

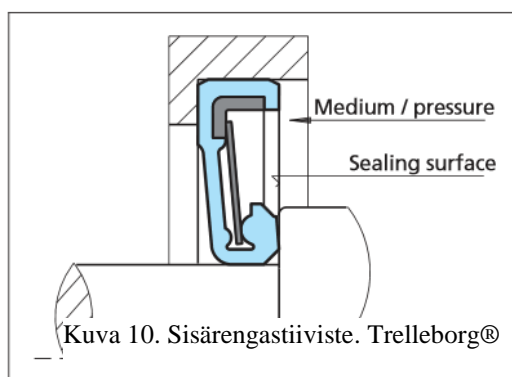
kehänopeus, väliaineen lämpötila, väliaineen kemiallinen koostumus ja rasite sekä tiivisteseen kohdistuva paine. Pyörivän akselitiivisteen suhteen on muistettava, että keskipakoisvoima aiheuttaa huulessa muodonmuutosta, joka siten vähentää aksiaalista pintapainetta. (3, s. 644-645; 7)

Aksiaalihuulitiiviste soveltuu otsapintojen tiivistämiseen ja rullalaakereiden suojaamiseen. Tiivisteen tehtävä on estää pölyn, lian ja nesteiden pääsy kohteeseen tai voiteluaineen poispääseminen kohteesta, ja sen koko määräytyy suojattavan kohteen koon mukaan. Tiiviste voi olla rakenteeltaan niin sanottu sisärengastiiviste, jossa on pyörivä akseli ja kiinteä ulkokehä, tai ulkorengastiiviste, jossa on kiinteä akseli ja pyörivä ulkokehä. Molemmissa rakenteissa on elastomeerinen tiivistyshuuli (sealing lip), joka on jousikuormitettu (spider spring) vastakkaiseen liitäntäpintaan. Tämän lisäksi aksiaalihuulitiiviste on yleensä vahvistettu vulkanoidulla metallirenkaalla (reinforcement ring). Tiivisteen huuliosa on kartiomainen, näin kosketuspinta on saatu mahdollisemman pieneksi, mikä estää kitkan syntymistä, lämpenemistä ja turhaa kulumista. (11, s. 199)



Kuva 9. Aksiaalihuulitiiviste. Trelleborg®

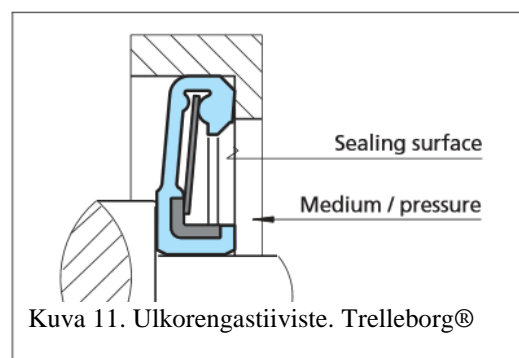
Nestevuotojen ehkäisemiseen käytetään yleensä **sisärengastiivistettä**. Tiiviste on



Kuva 10. Sisärengastiiviste. Trelleborg®

useimmiten puristussovitettu pesään niin, että tiivisteen huuli on pyörivää akselia vasten. Asennusvaiheessa on pidettävä huolta, että nestepinta jää sille tasolle, että tiivisteen huuli on koko ajan nestekylvyssä, millä estetään kuiva-ajo, jota on ehdottomasti vältettävä. (11, s. 200)

Ulkorengastiivistettä käytetään, kun halutaan varmistua, että voitelurasva pysyy kohteessa eli laakerissa. Yleisin laakerityyppi on rullalaakeri. Tämän tiivisteen oleellinen tarkoitus on myös estää ulkopuolisen lian pääsy



Kuva 11. Ulkorengastiiviste. Trelleborg®

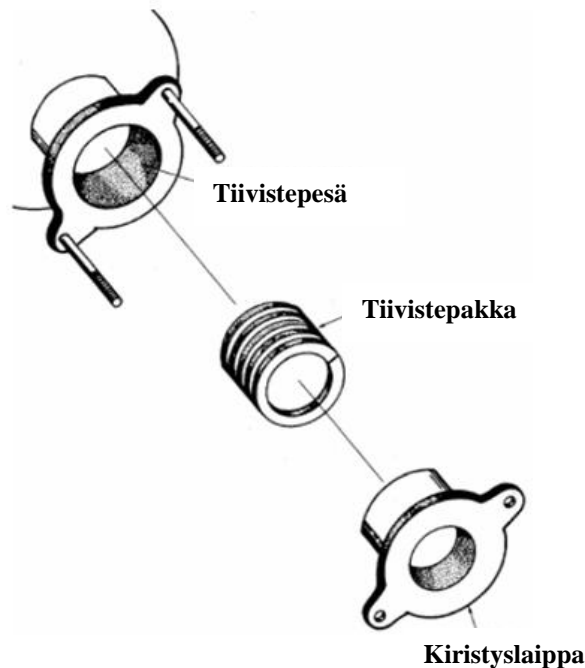
voideltavaan kohteeseen. Valmistusmateriaalista riippuen tiivisteet on suunniteltu kestämaan mineraali- ja synteettisiä öljyjä, vettä, hiilivetyjä, happoja sekä lipeää. (11, s. 200)

Aksiaalihuulitiivisteisiin kohdistuvat aksiaalivoimat ovat pienet, noin kolmasosa säteishuulitiivisteisiin verrattuna, joten kitkatehot jäävät pieniksi. Paine-eroja ei yleensä sallita. Sallitut kehänopeudet aksiaalihuulitiivisteille ovat tiivisteen koosta ja materiaalista riippuen enintään 30 m/s. Käyttölämpötila dynaamisessa käytössä on -25...+160 °C ja staattisessa käytössä -45...+230 °C. Aksiaalihuulitiivistettä voi myös käyttää säteishuulitiivisteiden suojana pölyisissä olosuhteissa. (11, s.199-204)

Rengastiivisteet ovat yksinkertaisia huopa-, korkki-, kumi- tai nahkatiivisteitä, joita käytetään vaatimattomissa pöly- ja nestetiivistyksissä. Niitä käytetään myös, kun halutaan voitelurasvojen pysyvän laakereissa. Rengastiivisteet sopivat pyörimisliikkeeseen, jossa kehänopeudet ovat korkeintaan 10 m/s, eivätkä ne yleensä sovellu yli 100 °C lämpötiloihin. Paine-eroja ei yleensä sallita, ja voitelu suoritetaan kertavoiteluna säännöllisin määräajoin. Huopatiiviste on osoittautunut käytännölliseksi erittäinkin pölyisissä olosuhteissa. Kun voiteluaine kyllästää huovan, varsin kovienkin hiukkasten on todettu pystyvän uppoamaan siihen. (3, s. 646)

Punostiiviste on vanha tiivisteratkaisu, jota käytetään vielä tänä päivänä paljon pumpun akseleiden ja venttiilinkarojen tiivistämiseen. Erilaiset uudet mekaaniset tiivisteratkaisut ja yhdistelmätiivisteet ovat kasvattaneet suosiotaan ja vähentäneet punostiivisteiden käyttöä varsinkin uudemmissa laitteissa. Punostiivisteitä käytetään pääasiassa pyörivän liikkeen tiivistyskohteissa, mutta ne soveltuvat myös lineaari- ja ruuviliikkeelle sekä staattisiin kohteisiin. Muita käyttökohteita voivat olla myös pienemmät potkurien akseliholkit, ruorien varret, suodattimet, mäntäpumput, nuohoimet, erilaiset laipat ja sekoittimet. (3, s. 646-648)

Asennusvaiheessa tiivistepakka kiristetään kiristyslaipalla niin, että sopiva tiiveys saavutetaan tiivistepesän ja akselin välillä. Punostiivisteeseen kuuluu vuotaa hieman käytössä, koska sillä varmistetaan, että tiivisteeseen ja akselin välissä on ohut (~ 3–10 µm) nestekalvo, joka voitelee ja jäähdyttää kitkapintoja. Liikakiristys aiheuttaa nestekalvon höyrystymisen, jonka seurauksena punostiiviste kuumenee nopeasti liikakitkan ansiosta ja tiivisteeseen käyttöikä jää olemattomaksi. Vuodon välttämiseksi tiivistepakan renkaat sijoitetaan peräkkäin tiivistepesään 90° porrastuksella.








Kuva 12. Punostiivisteasennus

Tiivisterenkaiden lukumääräksi alle 5 MPa:n paineella suositellaan hitaasti ja jaksottaisesti pyöriville akseleille 3–5 rengasta, nopeasti pyöriville akseleille 4–8 rengasta ja jaksoittain työntyville akseleille 4–5 rengasta. On myös olemassa tiivistepesä, joissa käytetään välirengasta, jonka tiivisteeseen sulkuneste johdetaan. Tiivisteeseen asennus on helppoa ja sen hankintahinta on edullinen. Tiiviste vaatii usein jälkikiristystä, ja käyttöikä karttuessa sitä voi edelleen jälkikiristää tiettyyn pisteeseen asti, kunnes se on vaihdettava kokonaan uuteen. (3, s. 646-648; 10, s. 152-153)

Punostiivisteiden perusmateriaaleja ovat kasvikuidut (puuvilla, pellava, hamppu), mineraalikuidut (grafiitti) ja synteettiset kuidut (tefloni). Kitkan pienentämiseksi tiivisteet on usein esikyllästetty erilaisilla voitelurasvoilla. Rakenteeltaan punostiivisteet voivat olla puristusmenetelmällä valmistettuja, punomalla valmistettuja, jolloin punomistapa on 2-, 3- tai 4-kertainen diagonaalipunonta, tai näiden yhdistelmiä, joissa on erilainen sydän- ja ulkopintarakenne. (3, s. 646-648)

Alla Tisan Oy:n myymiä punostiivisterakenteita. (8)

Taulukko 5. Punostiiviste rakenteita

Kaksinkertainen viisto punonta	Suuri pinta-ala, hyvä elastisuus	
Kolminkertainen viisto punonta	Hyvä ristikkäistuenta, paksu punontarakenne	
Nelinkertainen viisto punonta	Hyvin tiheä punonta, tasainen pinta, vahva ristikkäistuenta	
Pyöreä punostiiviste, yksin- tai moninkertainen sydän	Tiheä ulkopinta	
Grafiittikalvosta puristettu punostiiviste	Vahva ristikkäistuenta, hyvä paine-, lämpö- ja kemikaalikestävyys	

Taulukko 6. Chesterton®in erilaisia punostiivisteitä ja niiden ominaisuuksia (12)

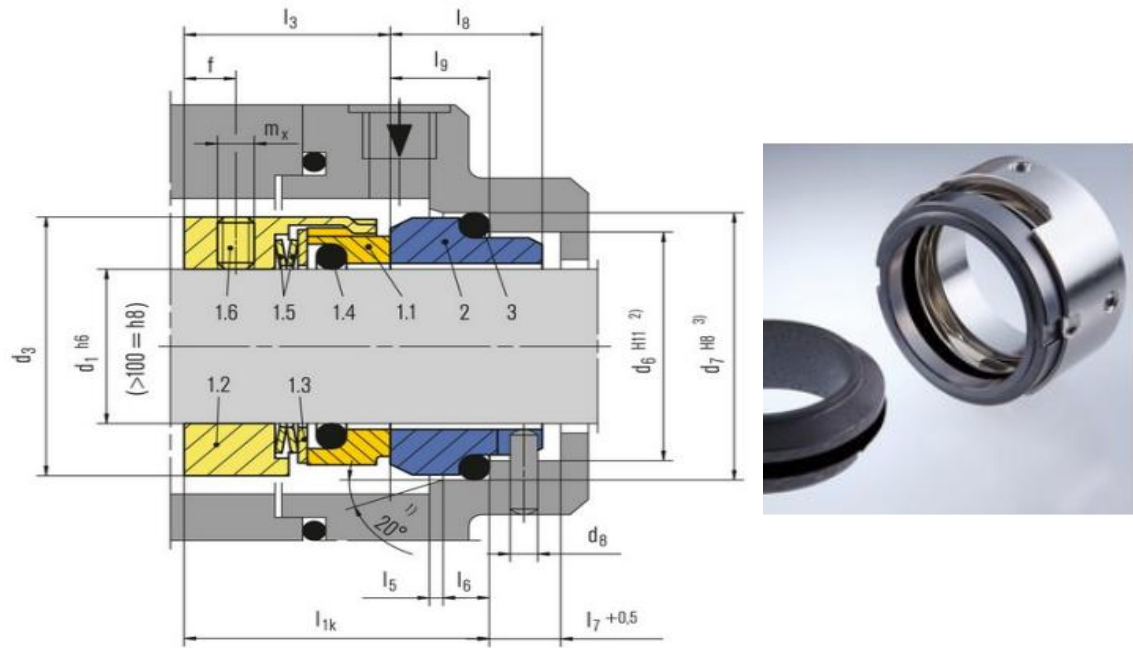


1400 R	Punosgrafiittinauhatiiviste
Materiaali	Hiili, grafiitti, hiilikuituvahviste
Lämpötila	650 °C höyry, 455 °C hapettava ympäristö
Paine	275 bar venttiileissä
Akselinopeus	20 m/s
Kemikaalikesto	pH 0-14, ei sovellu rikki- eikä typpihapoille
Käyttökohteet	Pumput: kattilan syöttövesi, lauhteen poisto, kuumavesikierto ja lämmittimet, jäteveden käsittely. Venttiilit: voiteluöljy, matalapaineturbiinit, kaikki käsikäyttöiset venttiilit, jäteveden käsittely
1727	Multi-Lon®
Materiaali	Synteettinen lämpökovetettu kuitu
Lämpötila	255 °C
Paine	15 bar
Akselinopeus	10 m/s
Kemikaalikesto	pH 1-13. Ei väkevissä tai kuumissa (> 60 %) rikkihapoissa, typpihapoissa (>10 %) tai väkevissä emäksissä.
Käyttökohteet	Erityisesti pumppukohteet, vesi, höyry ja kemikaalit
1730	Mill Pack™
Materiaali	Lämpökovetustiiviste, kertamuovikuitutiiviste
Lämpötila	290 °C
Paine	-
Akselinopeus	10 m/s
Kemikaalikesto	pH 1-13
Käyttökohteet	Sekoittajat, yleissekoittimet, massapumput, käyttövesi
1716	Punostiiviste
Materiaali	Grafiittihiutaleilla voideltu PTFE-lanka
Lämpötila	260 °C
Paine	-
Akselinopeus	18 m/s
Kemikaalikesto	pH 0-14
Käyttökohteet	Keskipakopumput, kiertokanget ja sekoittajat
412-W	Punostiiviste
Materiaali	Synteettinen sekakuitu, ARG™-lanka
Lämpötila	230 °C
Paine	-
Akselinopeus	10 m/s
Kemikaalikesto	pH 4-10
Käyttökohteet	Jäte- ja viemäri-vesipumput ja -venttiilit, merivesipumput, porauslietepumput, teräsluistiventtiilit, öljyt

Liukurengastiivisteiden kirjo on erittäin laaja, koska niitä käytetään mm. paperi-, prosessi-, kemian-, kaasu-, jalostamo-, kaivos-, öljynporaus-, elintarvike- ja lääketieteellisyydessä sekä voimalaitoksissa. Käyttökohteita ovat muun muassa erilaiset pumput, kompressorit ja sekoittimet, joissa tarvitaan tiiveyttä pyörivälle akselille. Halkaisijaltaan tiivisteet voivat olla 5 mm - 500 mm, lämpöalueille – 200...+450 °C ja kehänopeuksille 150 m/s asti. Käyttöpainealueet vaihtelevat alipaineisista tiivistyskohteista 45 MPa:iin asti. (10, s. 152-153; 13)

Liukurengastiiviste koostuu kahdesta toisiaan vasten liukuvasta yhdensuuntaisesta liukupinnasta. Tiivistepesän runkoon kiinnitetty pinta on yleensä kiinteä ja akselilla oleva pinta pyörivä. Voitelun takaamiseksi tiivistepintojen välillä on aina oltava nestekalvo, joka on yleensä prosessinestettä, jota pumpataan kyseisessä kohteessa. Akselin pyöriessä nestekalvo erottaa tiivistepinnat toisistaan, jolloin tiivistepinnat toimivat periaatteessa koskematta toisiinsa ja kuluminen on erittäin pientä. On tärkeää, että pintojen välinen etäisyys pysyy oikeanlaisena, jotta nestekalvon avulla aikaansaadaan haluttu liiketiiveys. Tiivisteet voivat olla käyttökohteesta riippuen tasapainotettuja tai tasapainottomia. Tasapainottoman rakenne on yleisempi, koska sitä voi käyttää suoralla akselilla, joka on ilman olaketta. (3, s. 649-651; 10, s.152-153)

Tiivistykseen tarvittava voima aikaansaadaan jousien sekä tiivistettävän aineen tai tiivisteiden jäähtymiseen käytettävän sulkunesteen (yleensä vesi) paineiden avulla. Liukupareja on yleensä yksi tai kaksi, minkä vuoksi tiivisteistä yleensä käytetään nimitystä yksi- tai kaksitoiminen liukurengastiiviste. Kaksitoimisessa liukurengastiivisteessä toinen liukupintapari on ilmakehän puolella ja toinen pari prosessinesteen puolella. Liukurengastiivistepesät ovat punostiivistepesiä pienikokoisempia, ja ne eivät yleensä vaadi huoltoa eivätkä jälkikiristystä. Tiivistepinnoilta vaaditaan erittäin hienoa viimeistelyä ja hyvin pientä pinnankarkeutta. Tiivisterengas tiivistetään akselia vasten toisiotiivisteellä, esimerkiksi O-renkaalla, jonka materiaali määrittää usein suurimman sallitun käyttölämpötilan. Tavallisia materiaaleja ovat etyleenipropyyleeni-, fluori-, nitrili-, silikonikumi tai PTFE. (3, s. 649-651; 10, s.152-153)



Kuva 13. Eagle Burmann® M7N-liukurengastiiviste laivakäyttöön (13)

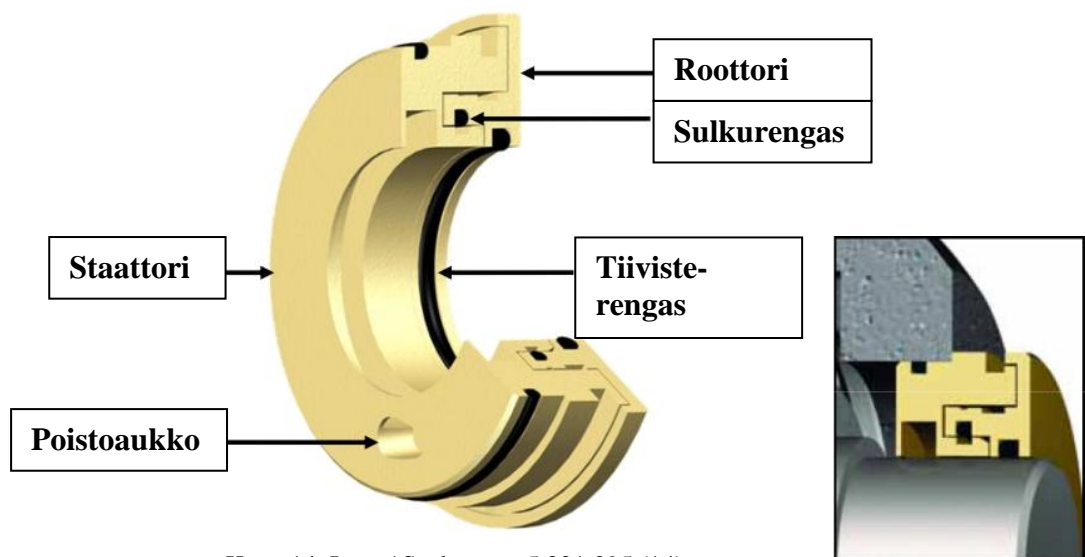
1.1 Liukurengas, **1.2** Vetolaite pumppupyörälle **1.3** Tukirengas **1.4** O-renkas **1.5** Kartiojousi **1.6** Säättöruuvi **2.** Vastarengas **3.** O-renkas

Ominaisuudet	Käyttökohteet
<ul style="list-style-type: none"> • suorille akseleille • yksitoiminen • yksinkertainen tiivistys • tasapainottamaton • riippumaton pyörimissuunta • kaksinkertainen tiivistysmahdollisuus kemikaalikäyttöön, PTFE 	<ul style="list-style-type: none"> • laiva • vesi- ja jätevesipumput • horisontaaliruuvipumput • hammasratassyöttöpumput • taajuusmuuttajapumput • voiteluöljypumput • EN 12756 mukainen
Käyttöalueet	Materiaali
<ul style="list-style-type: none"> • akselihalkaisija 14-100 mm • 2,5 MPa asti • - 50...220 °C • kehänopeus 20 m/s asti • aksiaaliliiketoleranssi: d 1= > 25 mm: ± 1,0 mm d 1= 28 mm > 63 mm: ±1,5 mm d 1= < 65 mm: ± 2,0 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • liukurengas: CrMo-teräs • vastarengas: grafiittihiiliantimoni tai piikarbidi • kaksinkertaisella tiivistyksellä useita eri materiaalivaihtoehtoja

Labyrinttitiivisteet (rako- ja sokkelotiivistimet) ovat kosketuksettomia pyörivän liikkeen tiivisteitä, joissa tiivistepinnat eivät ole suorassa kosketuksessa toisiinsa. Tämän vuoksi perinteinen labyrinttitiiviste vuotaa aina hieman käytössä, mikä korostuu lepotilassa. Uudemmissa tiivisteissä kyseinen lepotilan ongelma on ratkaistu asentamalla tiivisteeseen sulkurengas, joka lähes poistaa vuoto-ongelman.

Kosketuksettoman tiivisteen etu on pieni kitka ja melkein olematon kuluminen. Ajatus on, että tiivisteen rakenne aiheuttaa tiivistettävälle aineelle mahdollisemman vaikeakulkuisen reitin. Ensin kuristuskohta rajoittaa tiivistettävän aineen virtausmäärää, mikä vähentää sen liike-energiaa. Kuristuskohdan jälkeen avautuu kammio, joka tilavuudeltaan huomattavasti suurempi kuin kuristuskohta, mikä alentaa aineen painetta. Kuristuskohtia ja kammioita voi olla useampia peräkkäin ja ne voivat olla käyttökohteesta riippuen rakenteeltaan erittäin monimutkaisia. Teknisimmät labyrinttitiivisteet ovat turbiineille ja kaasuille ja yksinkertaisimmat rullalaakereille. (3, s. 652; 14)

Labyrinttitiivisteiden tehtävä on kaksijakoinen: se suojaa laitetta tai sen laakeria ulkopuolisilta haitta-aineilta ja likahiukkasilta sekä tiivistää ja pitää toimilaitteen prosessinesteen sisällään. Labyrinttitiivisteitä käytetään laivoissa muun muassa pumppujen akseleissa, vaihteissa, sähkömoottoreissa, rullalaakeripesissä, tuulettimissa sekä ankkurointi- ja kiinnityslaitteissa. (14)



Kuva 14. Inpro/ Seal patent 5,221,095 (14)

Staattori on kiinteästi asennettu laakeripesää kohden. Laakeri voi olla rasva-, öljy- tai öljysumuvoideltu, kuten tässä esimerkissä. Paine, pyörimisnopeus ja laakerin voiteluperiaate määrittävät tiivisteiden rakenteen sekä labyrinttien ja kammioiden määrän. **Poistoaukon** kautta labyrintin läpi päässyt voiteluöljy palaa takaisin laakerille eikä pääse vuotamaan roottorin puolelle. Voiteluöljy sekä jäähdyttää että voitelee staattoria.

Roottori pyörii akselin mukana, ja tällä puolella on yleensä monimutkaisempi labyrinttirakenne, joka suojaa laakeria ulkopuoliselta liialta. **Sulkurengas** painautuu urassaan akselin pyöriessä keskipakoisvoiman ansiosta roottoriosan ulkokehälle, jolloin roottoripuolella labyrintin läpi päässyt lika ja kosteus ajautuvat keskipakois- ja painovoiman ansiosta poistoaukon kautta ulos tiivisteestä. Roottoripuolella on oma poistoaukkonsa, joka toimii samalla periaatteella kun staattoripuolella. Lepotilassa sulkurengas sulkee tämän reitin, koska keskipakoisvoima ei enää vaikuta siihen. Valmistajan mukaan tiivisteiden ulkopuolta ja ympäristöä voi tarvittaessa pestä painepesurilla ilman, että tiiviste päästää likaa sisäänsä.

Labyrinttitiivisteitä on saatavilla ainakin halkaisijaltaan 16 mm – 1220 mm akseleille ja lämpöalueille – 40...+200 °C. Valmistusmateriaaleja ovat käyttökohteesta riippuen muun muassa laakeripronssi, ruostumaton teräs ja alumiini. Sulku- ja tiivisterenkaat ovat yleensä nitriliä tai FKM-materiaalia. (14)

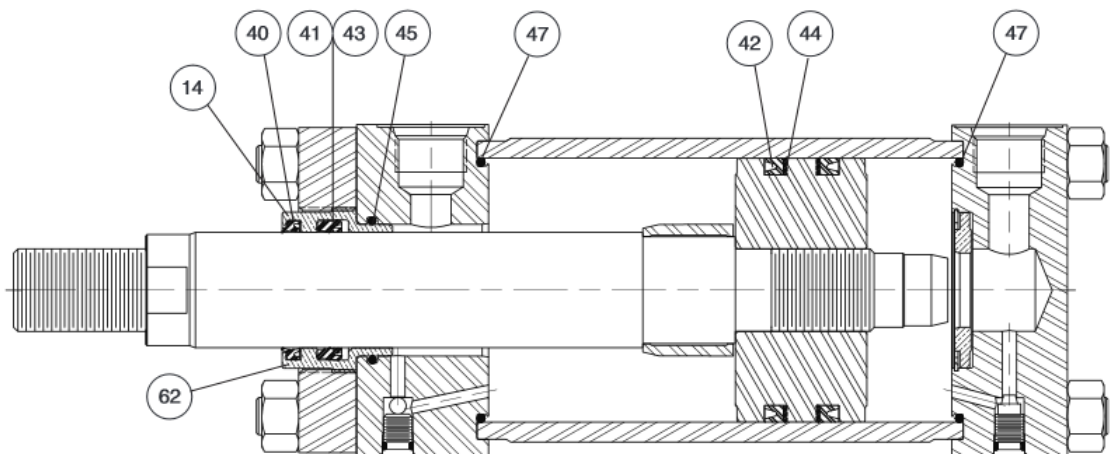
3.4 Suoraviivaisen liikkeen tiivisteet

Kun puhutaan suoraviivaisen liikkeen tiivistämisestä, tarkoitetaan yleensä kahden toisiinsa nähden suoraviivaisesti liikkuvan osan tiivistämistä. Tämä toteutuu yleisimmin hydraulikka- ja pneumatiikkasyylintereiden yhteydessä. Tiivistyskohteet ovat männän ja sylinterin sekä männänvarren ja päädyn välisissä kosketuksissa. Erilaisia yhdistelmätiivisteitä valmistetaan sekä yksi- että kaksitoimisille sylintereille. Yhdistelmätiiviste koostuu yleensä itse tiivistävästä osasta sekä kudonvahvikkeisista osista, joiden tehtävä on estää tiivisteiden pursuaminen välykseen. Tämän lisäksi sylinterissä voi olla yksi tai useampi muovinen tukirengas sekä erilaisia urarengastiivisteitä. (3, s. 652-655)

Hydrauliikkasovellukset ovat tiivisteille haastavia kohteita: sen lisäksi, että tiivisteiden tehtävä on estää nesteen vuotaminen sylinteristä, niiden täytyy myös kestää korkeita paineita, lämpötiloja ja sivuttaisvoimia. Hydrauliikkasyylintereissä käytetään yleensä erikoistiivisteiden yhdistelmiä. Varren tiiviste estää nesteen vuotamista sylinteristä ulos, ja sylinterimännän tiiviste estää puolestaan nesteen ohivirtauksen männästä. Kun neste pysyy sylinterimännän oikealla puolella, se mahdollistaa paineen muodostumisen männän toiselle puolelle aikaansaaden isku- tai paluuliikkeen. Koska neste ei ole kokoonpuristuvaa, se toimii vaimentimena sylinterissä paluuliikkeen aikana.

Kaksitoimisissa sylintereissä nestettä on sylinterimännän molemmilla puolilla. Ohjainrenkaat ohjaavat mäntää ja männänvartta, minkä lisäksi ne vaimentavat sivuttaisvoimia ja estävät metallipintoja koskemasta toisiinsa. Päätytiivisteitä tarvitaan, koska sylinteri on purettava huollon yhteydessä. Uloimpana olevat pyyhkijät pyyhkivät lian, ylimääräiset partikkelit ja kosteuden männän varresta paluuliikkeen aikana. (15, s. 239-244; 16)

Parker®-hydrauliikkasynterinin haalauspaketti, johon kuuluvat seuraavat tiivisteet.



Kuva 15. Parker® hydrauliikkasynterini (16)

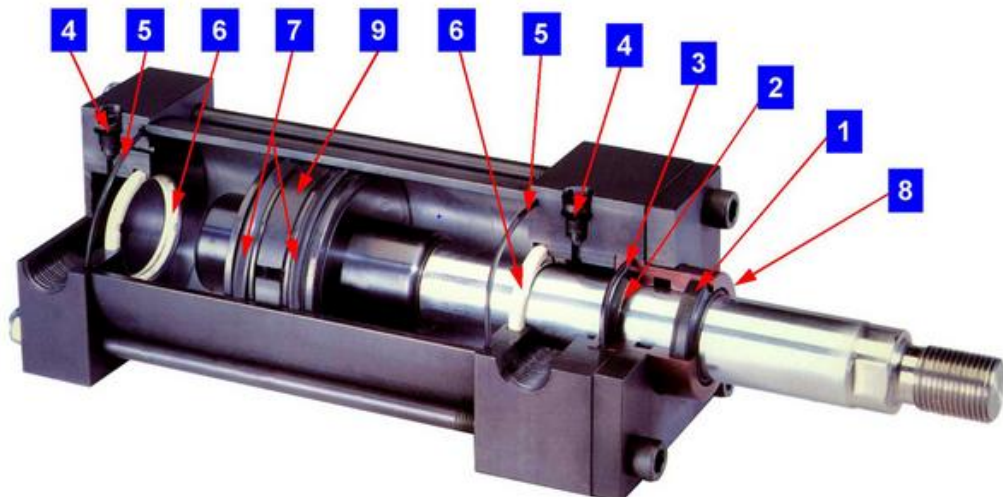
14. Varren ohjainrenkaan ylätiiviste, **40.** Pyyhkijä, **41.** Varren tiiviste, **42.** Männän urarengastiiviste, **43.** Tukirengas varren tiivisteelle, **44.** Tukirengas männän urarengastiivisteelle, **45.** Varren ohjainrenkaan alatiiviste, **47.** Päätytiivisteet, O-renkaat, **62.** Varren ohjainrenkas

Pneumatiikkasovelluksia pidetään yleisesti epätarkkoina ilman kokoonpuristuvuuden takia. Paineilmasynterinin rakenteeksi on vakiintunut ruiskupuristetusta alumiinista valmistettu anodisoitu sylinteriputki. Markkinoilla on vielä sidepulteilla koottavia sylintereitä, kuten alla olevassa kuvassa. Koska ilma on kokoonpuristuvaa, tarvitaan päätyvaimentimia, jotka mahdollistavat tehokkaan männän jarrituksen. Päätyvaimennus on yleensä toteutettu säädettävällä neulaventtiilillä. Synteettisistä kumeista valmistetut männän urarengastiivisteet ehkäisevät paineilman ohivirtausta männästä sekä mekaanista rasitusta ja vähentävät lisäksi konemelua. Mäntä on usein painevalettua alumiiniseosta, ja sen ohjain-/kulutusrenkas voi olla asetaalimuovia. Muut tiivisteet on yleensä valmistettu kulutusta kestävästä nitrilikumista, jota voidaan

käyttää voitelulla tai ilman. Sylinterin putken tiivistys aikaansaadaan esimerkiksi joustavalla tiivistenauhalla, joka voi olla vahvistettu Kevlar®-kuidulla. (15, s. 271-274)

Männänvarren ohjainrenkaassa voi olla esimerkiksi termoplastinen liukuohjainlaakeri, ja mäntä on usein varustettu kahdella urarengastiivisteellä, jotka kompensoivat kulumista. Markkinoilla on nykyään pneumatiikkasylintereitä, joita voidaan ohjata sadasosamillimetrin paikoituksilla. Näihin saa myös lukkolaitteita, mikäli halutaan aikaansaada pitävä lukitus sylinterin väliasennossa. (17)

Peninsular Cylinder CO® -pneumatiikkasylinterin haalauspaketti, johon kuuluvat seuraavat tiivisteet. (17)



Kuva 16. Peninsular CylinderCO® pneumatiikkasylinteri (17)

1. Pyyhkijä, **2.** Varren tiiviste, O-renkas, **3.** Tukirengas varren tiivisteelle, **4.** Neulaventtiilin tiiviste päätyvaimennukselle, kaksi O-rengasta, **5.** Päätyjen tiiviste, kaksi O-rengasta, **6.** Kaksi päätyvaimentimien tiivistettä, **7.** Kaksi männän urarengastiivistettä, vaimentavat myös sylinterin ääntä, **8.** Varren ohjainrenkas ja liukulaakeri, **9.** Männän ohjain-/kulutusrenkas.

Sylinterien tiivisteet ovat vain murto-osa hydraulikassa ja pneumatiikassa käytetyistä tiivisteistä: pumpeille, kompressoreille, putkistoille, suodatinyksiköille, paineakuille, vedenerottimille, jäähdyttimille, lämmittimille sekä paine- ja pinnankorkeusantureille on olemassa omat tiivisteensä. Tämän lisäksi on laaja kirjo erilaisia tiivisteitä erilaisille käyttöalueille ja kohteille, kuten aktuaattoreille,

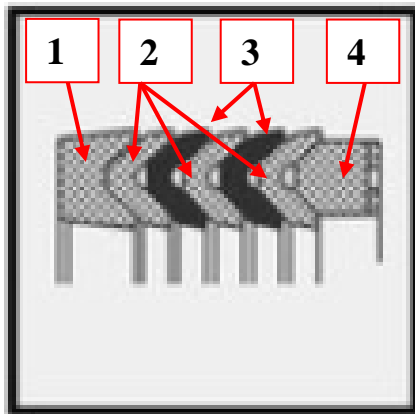
anturitekniikalle, erilaisille suunta-, sulku-, säätö-, ylipaine-, takaisku- ja alipaineventtiileille sekä kenttäväyläliittimille.

Yhdistelmätiivisteitä käytetään yleisesti hydraulikkasyntereissä sekä yksi- että kaksitoimisissa laitteissa. Tiiviste koostuu yleensä useammasta osasta: tiivistävästä osasta, kudosisvohvisteisista osista, jotka estävät tiivistävän osan pursuamasta välykseen sekä yhdestä tai useammasta muovisesta tukirenkaasta. Yhdistelmätiivisteeseen voi kuulua myös urarengastiiviste, joka on V- tai U-profiilinen. Tiivisteiden materiaalit vaihtelevat sylinterin hydraulikkaneesten ja käyttöolosuhteiden mukaan. Yksinkertaisia yhdistelmätiivisteitä voidaan käyttää 16 MPa:iin asti, ja jos rakenne on hyvin tuettu, jopa 40 MPa:iin asti. Jos käyttöpaine on 50-80 MPa:ia, tarvitaan erikoisyhdistelmätiivisteitä. Lämpötila-alue vaihtelee $-50 \dots +200$ °C välillä, mutta lyhyellä käyttöajalla voidaan joissain tapauksissa sallia 230 °C lämpötiloja. Mikäli käyntilämpötila on lähellä ylärajaa, voidaan käyttöpainetta hetkellisesti alentaa, jolloin myös lämpötila yleensä laskee. Liukunopeus hydraulikkasynterissä on yleensä alle 0,5 m/s, mutta jos voitelu ja lämmönsiirto on hyvin suunniteltu, voidaan sallia 1 m/s nopeus. Kun käytetään yhdistelmätiivisteitä, liukupintojen pinnankarkeudeksi suositellaan $R_a < 0,4 \mu\text{m}$ ja muille pinnoille $R_a < 1,6 \mu\text{m}$. (3, s. 652-656)

Urarenkaita käytetään hydraulikan ja pneumatiikan syntereissä sekä yksi- että kaksitoimisissa laitteissa. Urarenkaita voi olla sekä männässä että sen varressa, ja niiden muoto sekä valmistusmateriaali vaihtelevat eri valmistajilla. Uusia tuoteratkaisuja kehitetään markkinoille jatkuvasti. Yksitoimiset tiivisteet ovat yleensä V-muotoisia ja kaksitoimiset X-muotoisia. Tiivisteiden ura aukeaa aina paineen suuntaan, koska tiiveys saavutetaan sylinterissä vaikuttavan paineen avulla. Jos käyttöpaine on alle 15 MPa:ia, käytetään urarenkaissa yleensä tukematonta nitrilikumia. Tukematonta polyuretaania voidaan käyttää 40 MPa:iin asti, tätä korkeimmissa paineissa urarengas on usein tuettu ja siihen on lisäksi yhdistetty ohjausrenkausratkaisu. Lämpötilarajoitukset ovat mineraaliöljykäytössä nitrilikumille $-30 \dots +100$ °C, polyuretaanille $-30 \dots +80$ °C ja PTFE-seokselle $-50 \dots +235$ °C. Hydraulikkakäytössä suositeltu liukunopeus urarenkaille on 0,1-0,2 m/s. Jos voitelu ja lämmönsiirto on hyvin suunniteltu, voidaan sallia 1 m/s. Liukunopeus pneumatiikassa on vastaavasti 0,5-1 m/s ja hyvissä olosuhteissa ja hyvällä voitelulla 2-3 m/s. Urarenkaita

käytettäessä liukupintojen karkeussuositus R_a on noin 0,16-0,4 μm ja muilla pinnoilla $R_a < 0,8 \mu\text{m}$. (3, s. 652-656; 18)

Sarjatiiviste, jota kutsutaan myös pakkatiivisteeksi, käytetään melko yleisesti laiva-, kaivos- ja puristinhydrauliikassa. Tiiviste koostuu sarjassa olevista kulmarenkaista, joita voi olla 2-5 kappaletta. Kulmarenkaat ovat satula- ja vastinrenkaiden välissä, joten koko tiiviste voi olla jopa 7-osainen. Alla olevassa kuvassa on Tiivistekeskus Oy:n myynnissä oleva tyyppin M2 pakkatiiviste. Tiivisteeseen satularenkas (nro 4) on NBR-kumia, kolme V-kulmarengasta (nro 2) on kudovahvisteista NBR-kumia. Toiset V-kulmarenkaat (nro 3) ovat myös NBR-kumia, ja vastinrenkas (nro 1) kudovahvisteista kumia tai muovia. Tämä tiiviste soveltuu 5-kulmarenkaansa ansiosta käytettäväksi 35 MPa:iin asti lämpöalueella $-40 \dots +100 \text{ }^\circ\text{C}$. Usealla kulmarenkaalla aikaansaadaan hyvä paineiskkestävyys ja pitkä kontaktipinta, joka myös tiivistää erittäin hyvin. Liukunopeus on tälle tiivisteelle korkeintaan 0,5 m/s. Kahdella kulmarenkaalla käyttöpaine voi jäädä 3,5 MPa:iin, ja alemmissa paineissa kulmarengasmateriaalina voi myös olla PTFE. Vastin- ja tukirenkaat voivat myös olla niin kutsuttuja jäykkiä tukirenkaita. Pinnankarheusvaatimukset ovat samat kuin yhdistelmätiivisteillä. (3, s. 654; 18)



Kuva 17. Yhdistelmätiiviste. Tiivistekeskus Oy

Pyyhkimiä käytetään hydrauliikkasyntereissä pyyhkimään likaa, irrallisia partikkeleita ja kosteutta sylinterin varresta. Varsinkin likaisessa, syövyttävässä tai pölyisessä työympäristössä toimivalla pyyhkijällä on ratkaiseva vaikutus sylinterin käyttöikänsä. Pyyhkijä estää ympäristössä olevien haitallisten aineiden pääsyn sylinteriin, mikä suojaa sekä pidentää ohjainrenkaiden, tiivisteiden ja muiden

sylinterin sisällä olevien komponenttien huoltoväliä. Pyyhkijä ja sylinterin muut tiivisteet yhdessä auttavat myös pitämään hydraulikkaneesten puhtaana ja estävät esimerkiksi veden tai meriveden pääsemisen järjestelmään sylinterin kautta. (17;18)

Pyyhkimet voivat olla valmistettu kovasta nitrili- tai polyuretaanikumista (PU), jotka on tuettu metallirenkaalla tai erilaisilla PTFE-seosmateriaaleilla. **O-renkaita** käytetään hydraulikka- ja pneumaattikasyylintereissä laajalti, ja niiden kirjo vaihtelee suuresti. O-renkaista ja niiden erilaisista ominaisuuksista sekä rakenteista on kerrottu aikaisemmin kohdassa 3.1.2.

4 TIIVISTEIDEN VIKAANTUMINEN

4.1 Staattiset tiivisteet

Kumiseostiivisteet:

Kumiseostiivisteillä tarkoitetaan useimmiten O-renkaita, mutta yleisiä periaatteita sovelletaan muihinkin elastomeeritiivisteisiin, kuten staattisen alueen tiivisteisiin, joissa tapahtuu pientä liikehdintää. Mikäli käyttämätön tai vähän käytetty tiiviste on varastoitu väärin tai sitä on käsitelty väärin, sen pinta saattaa **halkeilla tai kuivua** (*liite 2, kuva 1*) UV-säteilyn tai liiallisen otsonoinnin takia. On hyvä tarkistaa valmistajan suositukset ja noudattaa niitä. Jos väliaine tai tiivisteiden fyysinen sijainti on syy tiivisteiden halkeiluun, on harkittava toisen tiivistemateriaalin käyttöönottoa.

Puristuminen (*liite 2, kuva 2*) aiheutuu yleensä liian suuresta paineesta. Pitkittäis-suuntaisesti väli suurenee ja sisäinen paine työntää tiivistettä tiivisteuran ulkokehälle ja sen yli, jolloin tiiviste pääsee puristumaan välykseen. Kun paine laskee ja välyys palautuu, tiivisteuran reuna kuorii tai leikkaa tiivisteiden ulkopintaa siltä alueelta, joka on ollut puristuneena välykseen. Puristumiselta voidaan välttyä, kun

- välystä pienennetään hienommalla pinnankarkeudella. Tämä vaatii usein koneistusta, mikä aiheuttaa lisäkustannuksia. Tästä ei ole hyötyä, jos otsapintojen välillä on liikehdintää, joka johtuu lämmön- ja painevaihteluista.
- käytetään kovempaa tiivistemateriaalia, mikäli mahdollista. Tiivistemateriaali ei saa olla kovempaa kuin otsapintojen materiaali.

- käytetään tiivistemateriaalia, joka kestää paremmin puristusta.
- käytetään tukirengasta tai yhdistelmätiivistettä, jossa on tukirengas. Tämä vaatii usein otsapintojen koneistusta, koska tiivisteiden halkaisija kasvaa, mikä aiheuttaa lisäkustannuksia koneistuksen osalta. Tiivistemateriaalin määrittävät käyttölämpötila, paine ja väliaineen kemiallinen koostumus.
- käytetään kokonaan erilaista tiivisterakennetta, esimerkiksi metalli-, metalliseos- tai muoviseostiivisteitä.
- suunnitellaan liitoskohta kokonaan toisenlaiseksi, jolloin voidaan käyttää toista tiivisteratkaisua, tai siirretään liitoskohta kokonaan toiseen paikkaan laitteessa.
(19, s. 417-419)

Liialliseen **turpoamiseen** (*liite 2, kuva 3*) voi olla useampi syy. Käytetty tiiviste on selvästi turvonnut, kun verrataan sitä uuteen käyttämättömään, ja ilmiö voi olla havaittavissa sekä paine- että ilmakehän puolella. Turvonnut tiiviste on voinut vahingoittaa tiivistettävän komponentin muita osia, koska tiivisteiden muodonmuutos on voinut taivuttaa tai rikkoa komponenttia, ja tiivisteiden vaihtaminen ja liitoskohdan purkaminen voi olla hankalaa. On valittava erilainen tiivistävä elastomeeri kohteelle, joka ei reagoi väliaineen kanssa. On myös mahdollista, että tiivistettävän väliaineen joukkoon on päässyt pieni määrä liuotinta tai muuta kemikaalia, mikä aiheuttaa kemiallisen reaktion tiivistävän elastomeerin kanssa.

Jos uudessa tiivisteessä ilmenee **vuoto**, on kyse usein suunnitteluvirheestä tai väärästä asennuksesta. Silloin on huomioitava ainakin seuraavat asiat:

- Jos itse tiivisteessä ei ole vaurioita, eivät tiivistävät otsapinnat ole tarpeeksi kosketuksissa toisiinsa. Mitat ja toleranssit on tarkistettava. Jos käytetään korkean lämpötilan tiivisteitä, kuten esimerkiksi FEPM tai FFKM, ne eivät välttämättä tiivistä alle 15...20 °C lämpötiloissa. Laitetta on esilämmitettävä ennen käyttöönottoa.
- Vääränlainen asennus ja/tai kiristys, jolloin tiiviste vaurioitunut asennusvaiheessa.
- Hankalassa paikassa oleva pidempi puristusovitus voi esimerkiksi saada O-renkaan rullautumaan akselin tai putken ympäri asennusvaiheessa. Näin ei saavuteta tiivistävää vaikutusta, koska tiiviste ei ole oikeassa asennossa.

On myös mahdollista, että tiiviste kuoriutuu osittain tai kauttaaltaan tai kierre kuoriutuu asennusvaiheessa, jolloin sen halkaisija muuttuu ja tiivistävää vaikutusta ei saavuteta. Tällöin on harkittava erikoistyökalujen tai vaihtoehtoisen, vähemmän elastisen elastomeerin käyttöä. (*liite 2, kuva 4*) (19, s. 419-420)

Kovettuminen tai puristuspainuminen (*liite 2, kuva 5*) on usein merkki tiivisteeseen ikääntymisestä. Toistuvat rajut lämpötilan vaihtelut ja erilaisille kemikaaleille altistuminen vaikuttavat tiivisteeseen polymeeriketjuun ja heikentävät siten sen rakennetta. Vähitellen tiiviste alkaa vuotaa, koska sen elastisuus on kadonnut kovettumisen myötä eikä se enää pysty palautumaan. Kovettunut tiiviste voi edelleen tiivistää jonkin aikaa, kunhan olosuhteet pysyvät vakaina eli paine ja/tai lämpötila eivät muutu, minkä lisäksi tiivistekohdassa ei saa tapahtua liikehdintää. Ratkaisu ikääntymiselle on käyttää toista elastomeeria, jolla on laajempi lämpökestoalue, tai alentaa tiivisteeseen lämpötilaa jäähdytysratkaisulla. (19, s. 420-422)

Pehmeneminen on tavallisinta elastomeereissa, jotka on tarkoitettu kestämään nesteitä ja kemikaaleja. Neste voi tällöin vaikuttaa tiivisteeseen polymeeriketjuun heikentäen tai murtaen sen, jolloin tiivisteeseen elastisuus katoaa. Näin tiiviste pehmenee, sen kimmoisuus katoaa ja tiiviste alkaa vuotaa. Korkean lämpötilan tiivisteillä on usein huono kimmoisuus ja palautuminen huonelämmössä. Tämän takia laitetta on usein esilämmiteltävä ennen käyttöönottoa, jotta tiiveys saavutetaan. (19, s. 421)

Tiivisteeseen **murtuminen** tai **kupliminen** tapahtuu tavallisesti kaasun paineenalentumisen yhteydessä. Kun paine laskee, kaasu paisuu tiivisteessä ja voi aiheuttaa vakavia muodonmuutoksia elastomeerissa. Tässä yhteydessä puhutaan usein räjähtävästä laajentumisesta, vaikka varsinaista räjähdystä ei tapahdu, vaan laajeneminen on vain erittäin nopeaa. Kaasuille on omat tiivistestandardinsa ja vaatimuksensa, joihin tässä työssä ei perehdytä. (*liite 2, kuva 6*) (19, s. 422)

Kutistuminen voi tapahtua kovettumisen, pehmenemisen tai tiivisteeseen kohdistuvan paineen yhteisvaikutuksesta tai jos tiivistemateriaalia käytetään eristämiseen. Väliaine voi myös reagoida tiivisteeseen kanssa siten, että tiiviste kutistuu 10–15 %, mikä on yleistä matalissa lämpötiloissa ja käytettäessä kylmäaineita. Kutistuminen aiheuttaa usein ongelmia, mitä on joissakin tapauksissa kompensoitu lisäämällä esimerkiksi öljyihin tai kylmäaineisiin lisäaineita, jotka esiturvottavat tiivisteeseen. (19, s. 423)

Muoviseostiivisteet:

Vuoto uudessa tiivisteessä johtuu useimmiten suunnitteluvirheestä tai väärästä asennuksesta:

- Jos tiiviste on virheetön, eivät tiivistettävät pinnat ole tarpeeksi kosketuksissa toisiinsa. Tiivistettävät pinnat on puhdistettava huolella ja tarkistettava, ettei niissä ole vaurioita. Myös toleranssit ja mitat on tarkistettava sekä varistettava, että käytössä on oikea tiiviste.
- Tiiviste on saatettu asentaa tai kiristää väärin. Muovitiiviste vaurioituu asennusvaiheessa helpommin kuin kumitiiviste.
- Tiiviste voi vaatia lämmittämistä ja pientä venyttämistä asennuksen aikana. Liian suurta ja pysyvää muodonmuutosta on vältettävä. (19, s. 423)

Puristuminen välykseen ilmakehän puolella johtuu liiallisesta paineesta, joka on kohdistunut tiivisteuraan. Ongelma voidaan korjata seuraavasti:

- Välystä pienennetään hienommalla pinnankarkeudella. Tämä vaatii usein koneistusta, mikä nostaa kustannuksia. Tästä ei ole hyötyä, jos liitoskohdassa tapahtuu liikehdintää tai laajenemista paineen tai lämpötilan muuttuessa.
- Käytetään tiivistemateriaalia, joka sietää paremmin olosuhteiden (lämpötila, paine, väliaine) vaihteluja.
- Käytetään tiivistettä, jossa on tukirengas.
- Suunnitellaan liitoskohta kokonaan toisenlaiseksi, jolloin voidaan käyttää toista tiivisteratkaisua, tai siirretään liitoskohta kokonaan toiseen paikkaan laitteessa tai järjestelmässä.
- Muovitiiviste saattaa toimia hyvin tietyllä lämpötila-alueella, mutta muutamankin asteen ylitys voi vahingoittaa sitä. Tiiviste vaihdetaan sellaiseen, jolla on laajempi lämpötila-alue, tai mahdollisuuksien mukaan lasketaan tiivistettävän kohteen lämpötilaa muutamalla asteella varsinkin, jos lämpötila on lähellä sallittua ylärajaa. (19, s. 424)

Puristuminen välykseen painepuolella (*liite 2, kuva 7*) on harvinaista muovitiivisteille, paitsi jos paineistettu linjasto tai laite on jostain syystä päässyt alipaineiseksi. Tukos painepuolella voi nostaa lämpötilan ja paineen niin korkealle,

että muovitiiviste vaurioituu ja alkaa vuotaa. Harvoissa tapauksissa muovitiivisteeseen on eroosion ansiosta muodostunut pieniä pistesyöpyymiä, joihin väliaine jää eikä liiku virtauksen mukana. Kun väliaine ei liiku eikä näin pääse jäähtymään, se hiljalleen kuumenee ja sulattaa muovitiivisteen niin, että se alkaa vuotaa. (19, s. 424)

Metallitiivisteet:

Vuoto uudessa tiivisteessä voi johtua suunnittelu-, valmistus- tai asennusvirheestä.

- Jos tiivisteessä ei ole vaurioita, eivät tiivistettävät pinnat ole tarpeeksi kosketuksissa toisiinsa, jolloin mitat ja toleranssit on tarkistettava.
- On tarkistettava, ettei tiivistepinnoissa ole halkeamia tai naarmuja, jotka ulottuvat koko pinnan yli. Metallitiivisteet vaativat toimiakseen hyvin hienon pinnankarkeuden.
- Jos väliaine on kaasua korkeassa paineessa, käytetään usein metallitiivisteitä, joissa on pehmeämpi metallikerros tiivisteen ulkopinnalla. Näin tiiviste muokkautuu paremmin tiivistepitojen väliin, kun liitoskohtaa kiristetään.
- Tasainen kiristys kauttaaltaan liitoskohdassa on erittäin tärkeä.

Tiivistyskohta voi lyhyenkin ajan kuluttua alkaa vuotaa, kun siihen on kohdistunut tietty määrä paine- ja lämpötilavaihteluja. Tämä voi johtua väärän metalliseostiiivisteen valinnasta, jolloin se alkaa **virua** (väsyä) ennen aikaisesti, koska sen kimmoisuusraja on ylitetty. Valmistajan suosituksista on valittava sellainen metalliseostiiiviste, joka sopii kohteeseen paremmin. **Värähtely** ja **tärinä** aiheuttavat aina pientä liikehdintää tiivistyskohteessa. Jos liikehdintä aiheuttaa toistuvia vuotoja lyhyellä aikavälillä, on harkittava liitoskohdan uudelleensuunnittelua, siirtämistä tai tuntuuta, mikäli se on mahdollista. Metalliseostiiivistettä käytettäessä on varmistettava, että se ei reagoi väliaineen tai ympäristön kanssa, minkä seurauksena voi ilmetä esimerkiksi **rakokorroosiota**. On olemassa laaja valikoima erilaisia metalliseostiiivisteitä, jotka kestävät suuria lämpötila- ja painevaihteluja, minkä lisäksi ne kestävät hyvin värähtelyä ja tärinää. (4, s. 125; 19, s. 425-428)

Näitä tiivisteitä saa usein myös mittatilaustyönä melko nopealla toimitusajalla, mutta koska kyse on erikoistiivisteistä, ne voivat olla melko kalliita verrattuna sarjavalmisteesiin tiivisteisiin.

Metalliseoslaipattiivisteet:

On havaittu, että noin 80 % vuotoista laippaliitoksissa johtuu muusta kuin itse tiivisteestä tai tiivistemateriaalista (Pressure Vessel Research Council, USA). Vuotojen syitä ovat usein väärä asennus, jossa ei ole huomioitu vikaa laipan tiivistepinnassa, liian löysälle tai kireälle jätetyt kiristyspultit tai laippojen väärä kohdistaminen. Lisäksi käytetään vääränlaista tai liian paksua tiivistettä, eikä ole epätavallista, että tiivistyskohtaa kiristetään liikaa, jolloin se murskaantuu. Yleisimpiä vuotoon vaikuttavia tekijöitä ovat:

- väärin kiinnitetyt kiristyspultit, jolloin tiivistävä kuorma on jakautunut epätasaisesti
- väärin kohdistetut laipat, epätasainen kuorma tiivistepinnoilla
- vaurio laipan pinnassa tai huolimattomasti puhdistettu pinta
- vääränlainen tiiviste, joka ei mukaudu paineen ja lämpötilan vaihdellessa
- vääränlainen tiiviste, joka ei ole yhteensopiva väliaineen kanssa, jolloin tiivisteiden sisäpinnassa on havaittavissa ennenaikaista korroosiota tai syöpymistä
- tiiviste tai kiristyspultit viruvat, jolloin materiaalien yhteensopivuus ja lämpölaajeneminen on tarkistettava
- vääntynyt, kupruileva tai taipuva tiiviste, jolloin on käytettävä erikoistiivistettä, jossa on tukirengas, tai tiivistettä, jossa on eri materiaalia oleva sisärengas, käämisydän ja ulkorengas (ks. 3.1.1)
- väliaineen liian korkea lämpö tai paine
- liian matala tai korkea lämpötila, jolloin voidaan kokeilla tiivistyskohdan lisäeristämistä tai eristeen poistamista
- tilapäinen paine- tai lämpöpiikki tiivistyskohdassa, jolloin kohdetta on seurattava tiiviimmin
- epäsojiva yhdistelmätiivisteiden sidos- ja/tai kuituaine, jolloin tiiviste kovettuu. Sidosten- ja kuituaineiden määrällinen osuus tiivisteessä on tarkistettava ja valittava sopivampi tiiviste vertailemalla valmistajan eri yhdistelmätiivisteitä ja niiden sidosten osuuksia keskenään.
- ulkoisen ympäristön tai otsonin vaikutuksesta ilmakehän puolelta vaurioitunut tai hapettunut tiiviste. Hapettuminen on melko yleistä grafiittipohjaisille tiivisteille korkeissa lämpötiloissa. (liite 2, kuva 8)

- korroosio ilmakehän puolella, sadevesi ja suolainen merivesi kiihdyttävät korroosiota. Korroosio voi myös vaikuttaa laippoihin, jolloin tiivistepinnat vaurioituvat, vaikka tiivisteet pysyvät ehjinä. Laippaliitoskohtiin on saatavilla erilaisia suojia, jotka estävät sade- ja meriveden pääsyn kohteeseen. (4, s. 125; 19, s. 425-428)

4.2 Pyörimisliikkeen tiivisteet

Huulitiivisteet:

Pyörivän liikkeen huulitiivisteiden (säteis- ja aksiaalihuulitiiviste) vikaantumisen voidaan jakaa kahteen ryhmään: staattiseen ja dynaamiseen vuotoon. Staattisella tarkoitetaan vuotoa, joka ilmenee puristussoviteen kohdalla, missä ei ole pyörivää liikettä. Jos kyseessä on pyörivä akseli, on vuoto tiivisteiden ulkoreunalla sovitepesän puolella, mutta mikäli kyseessä on pyörimätön akseli, jossa on pyörivä sovitepesä, on vuoto tiivisteiden sisäreunassa akselia vasten. Dynaamisella tarkoitetaan vuotoa, joka ilmenee aina tiivistävän huulen kohdalla, missä on pyörivää liikettä. Freudenberg Simrit tutki huulitiivisteiden ennen aikaista vikaantumista, jossa tiivisteet olivat olleet käytössä alle 100 tuntia tai 10 000 kilometriä. Tuloksista ilmenivät seuraavat vikaantumisen syyt:

- 30 % aiheutui akselistä: valmistusvirhe, linjaus, pinnankarkeus
- 30 % väärin asennettu
- 10 % tiivistevika
- 15 % yhteensopimaton voitelu, liian korkea lämpötila, värähtely, lika
- 15 % lyhytaikainen runsas vuoto, jonka syynä viallinen toisiotiiviste tai vuoto toisesta kohdasta, mikä vaikuttaa suoranaisesti vaihdettuun tiivisteeseen. Asennusvaiheessa liiallinen rasvan käyttö, jolloin se pursuaa ulos tiivisteestä, minkä seurauksena tiivisteiden huuli ei tiivistä.

On tärkeää muistaa, että huulitiivisteiden vikaantumiseen on harvoin ainoastaan yksi syy, vaan siihen vaikuttaa yleensä useampi osatekijä. Vikaantumisen määrittämiseksi tulee tutkia sekä tiivistettä, akselia että tiivitepesää. Tiivistekohtaa purkaessa on syytä olla huolellinen, jotta vikaantumisen todellinen syy selviää. Huulitiivisteiden vikaantumisen erilaisia syitä ovat esimerkiksi:

Ei näkyviä vauriota tai jätteitä

- puutteellinen kosketuspinta tai viallinen puristusjousi
- liian korkeaviskositeettinen öljy, joka muodostaa liian paksun öljykalvon
- liian suuri pitkittäisliikehdintä akselilla
- liiallinen vaseliinin käyttö asennusvaiheessa

Asennusvirheet

- terävät reunat tai viisteet akselissa tai tiivistepesässä
- tiivisteiden asennus terävien hammastusten tai kiilaurien kautta/yli
- väärät asennustyökalut
- akseli vioittuu väärän käsittelyn tai suojauksen puuttumisen takia
- muoviseostiivisteet, kuten PTFE, vahingoittuvat helpommin asennusvaiheessa kuin esimerkiksi kumiseostiivisteet

Karstaa huulitiivisteiden ympärillä

- öljy tai voiteluaine on ylikuumentunut huulitiivisteessä. Pieni ylikuumentuminen jättää yleensä vähän karstaa huulitiivisteiden ilmakehän puolelle. Vakava ylikuumentuminen jättää huomattavan määrän karstaa tiivisteiden molemmille puolille ja kuluttaa nopeasti tiivisteiden huulta.
- akselille on asennettava lisjäähdytysratkaisu tai pyörimisnopeutta on säädettävä. Huulitiivisteiden kitkaa on vähennettävä vaihtamalla tiivistemateriaalia. Voiteluaine on vaihdettava sellaiseen, jossa on korkeampi lämmönkestävyys. (*liite 2, kuva 9*)

Tiivisteiden halkeilu

- voi olla muutama iso halkeama tai useampi pieni, joita on vaikea havaita
- kyseinen tiivistemateriaali ylikuumentunut
- tiivisteiden ikääntymisen, voiteluaineiden ominaisuuksien heikkenemisen, lämmön siirtymistä estävän karstautumisen sekä muoviseostiiivisteiden lievän muodonmuutoksen yhteisvaikutus
- tiivistemateriaali vaihdettava lämmönkestävämmäksi, parannettava jäähdytystä tai vähennettävä kitkaa. (*liite 2, kuva 10*)

Sulkuneste- tai voiteluaineongelmat

- tiiviste on turvonnut ja epämuodostunut, koska tiiviste reagoi sulkunesteen tai voiteluaineen kanssa
- tiivisteessä kuplia, jotka aiheuttavat kemiallisen reaktion sulkunesteen tai voiteluaineen kanssa (*liite 2, kuva 11*)
- pieni määrä lisäainetta sulkunesteessä tai voiteluaineessa voi myös vaurioittaa tiivistettä. Tämä voi olla hyvinkin hankalaa todeta tai määrittää, mistä lisäaineesta on kyse.
- jotkin lisäaineet voivat epäsuotuisissa olosuhteissa, kun järjestelmässä on muitakin jäänteitä, muodostaa pieniä kiinteitä partikkeleita jotka kuluttavat tiivistettä hyvin nopeasti
- ilmakehän puolella tiiviste voi vaurioitua vahvoista puhdistusaineista tai liuottimista

Vaurioita tiivisteiden huuleissa, ei ylikuumentumisesta johtuvaa

- vääränlainen tiiviste, huuli ei ole tarpeeksi tiivis, jolloin ulkopuolelta pääsee likaa tiivistepinnoille
- metallihiukkasia tiivistepinnoilla: huonosti puhdistettu asennusvaiheessa tai metallin kulumista epätarkan akselilinjauksen takia (*liite 2, kuva 12*)
- ruostetta tiivistepinnoilla: väärä varastointi tai vettä päässyt tiivistepinnoille (*liite 2, kuva 13*)

Kova kuluminen ja urautuminen

- kuivakäynti
- liian suuri paine tiivistepesässä: pysyvä muodonmuutos tiivisteessä
- vaihteleva paine tiivistepesässä: väsymys, muodonmuutos tiivisteessä
- akselia hiottu asennusvaiheessa tai vastaavanlaista hiontaa on suoritettu tiivistyskohdan läheisyydessä. Hienojakeista, metallihiontapölyä on päässyt tai jäänyt tiivistepinnoille.
- tiivisteiden pintaan on päässyt sulautumaan kovia jäänteitä jotka kuluttavat itse akselia (19, s. 428-436; 11)

Punostiivisteet:

Punostiivisteitä käytetään yleensä akselitiivisteinä, edestakaisen liikkeen tiivistämisessä sekä erilaisissa tiivistepeissä etenkin höyryventtiileissä.

Punostiivisteitä käytettäessä yleisimpiä tiivistysongelmia ovat:

Tiiviste pursuaa tiivistepeän molemmista päistä

- liian suuri välys: jos venttiili toimii hyvin eikä vuoda paljon, riittää, että käytetään tukirengasta tiivistepeän ja/tai kiristyslaipan puolella
- vaihtoehtoisesti on käytettävä punostiivistettä, jolla on parempi puristusvastus
- tiivisteeseen vaikuttaa liian suuri paine

Kiristyslaippa on painunut syvälle sisälle punostiivisteeseen

- liiallinen kiristys, kiristysvara loppu
- asennusvaiheessa punostiivistekappale leikattu liian lyhyeksi

Tiivistepeä vuotaa

- jälkikiristettävä
- punostiivisteet asennettu väärin, leikkauskohdat ovat päällekkäin
- tiivistepeä viallinen tai sitä ei ole puhdistettu kunnolla asennusvaiheessa
- venttiilikarassa uurteita

Tiivisteiden sisähalkaisija on vahvasti tummentunut ja kovettunut

- ylikuumentuminen: puutteellinen voitelu tai jäähtytys, venttiiliä kiristetty liikaa tai liian suuri kitka
- käytettävä punostiivistettä, jossa on paremmat voiteluominaisuudet tai tiivistettä, jossa on parempi lämmönkestävyys

Kulunut akselin pinta tai akseli, jossa on selvät kulumisurat

- lika, hiekka tai metallipöly saavat aikaan hiovan vaikutuksen akselille
- tietyillä kuitupohjaisilla (aramidi) punostiivisteillä on erittäin vahva hiova vaikutus, ja kun niitä käytetään, on huomioitava akselin kovuus
- jos akseli on pintakarkaistu erittäin kovaksi, akselin lämmönsiirtokyky voi kärsiä

- jos tiivistepesä toistuvasti kuumenee liikaa, on harkittava yhden punostiivisterenkaan korvaamista jäähdytysrenkaalla, jonka läpi ohjataan jäähdyttävää nestettä

Tiiviste on turvonnut, pehmentynyt tai murentunut

- kemiallinen reaktio tiivisteiden ja väliaineen yhteisvaikutuksesta
- tarvitaan punostiiviste, joka on valmistettu toisesta materiaalista

Tiiviste on kovettunut tai kutistunut

- voiteleva ja/tai jäähdyttävä aine ei pysy tiivisteessä: vaihdettava tiivistemateriaaliin, joka sitoo paremmin itseensä voitelevan aineen

Nopeasti lisääntyvä vuoto

- epäkeskeinen akseli tai tiivistepesä: akseli linjattava tai tiivistepesä vaihdettava
- laakeririkko kytketyssä laitteessa
- jos epäkeskeisyys on hyvin pientä, voi riittää, että vaihdetaan punostiivisteeseen, jossa on elastomeerisydän, mikä sallii pientä liikehdintää (12; 19, s. 445-446)

Liukurengastiivisteet:

Mekaanisten tiivisteiden vikaantumisen syiden selvittäminen voi olla hyvinkin haastavaa. On ymmärrettävä kone- ja laitekokonaisuus, jossa tiiviste toimii, sekä oltava hyvin perehtynyt tiivisteiden toimintaperiaatteisiin. Suuri osa mekaanisen tiivisteiden vioista ei johdu tiivisteestä vaan laitteesta, jossa se toimii, sekä sen laitteen käyttöön liittyvistä tekijöistä. Näitä voivat olla esimerkiksi erilaisten pumppujen kuivakäynti, pumppujen käyttö suljetuin venttiilein, kavitaatio tai pumppujen vääränlainen käyttö, mikä aiheuttaa voimakasta värähtelyä tiivistettävässä kohdassa. Toisiopiirien, kuten esimerkiksi tiivistettävän kohteen jäähdytysjärjestelmän, vääränlainen käyttö tai operointi voi myös vioittaa tiivistettä. Mekaaniset tiivisteet voivat olla rakenteeltaan hyvin monimutkaisia, joissa on usea tiivistävä kohta sekä useampi toisiotiiviste esimerkiksi O-renkaan muodossa. Näistä jokainen tiivistävä kohta voi olla vikaantumiseen johtava pää- tai osatekijä. Lähtökohtaisesti vikaantumisen määrittämiseksi on hyvä kirjata ylös esimerkiksi, milloin vuoto on havaittu ja mitkä olivat käyttöolosuhteet (lämpötila, paine, pyörimisnopeus, virtaus)

laitteella tai koneella. Seuraavaksi on esitelty muutama vianmäärityskeino ja mahdollinen vianaiheuttaja mekaaniselle tiivisteelle.

Vika käynnistysvaiheessa tai pian sen jälkeen:

- tiivistepinta vaurioitunut asennusvaiheessa: jäämiä tiivistepinnoissa, toisiotiiviste (O-rengas) vaurioitunut asennusvaiheessa
- tiiviste väärin asennettu: jousikuormitus vääränlainen tiiviste, virhe akselilinjauksessa, pumppupyörä väärässä asennossa tai kulmassa
- liian suuri akselin pitkittäisliikehdintä: aiheuttaa paineiskuja tiivistepinnoille
- rasvaa tai likaa tiivistepinnoilla: aiheuttaa suurta kitkaa tiivistepinnoille, kuumeneminen, voimakas ja nopea kuluminen

Vika muutaman tunnin tai päivän jälkeen:

- koneen tai laitteen vääränlainen käynnistys: tiiviste on käynyt kuivana, konetta, laitetta tai nestettä ei ole esilämmitetty
- toisiopiirin väärä käynnistystapa
- putkistosta tai laitteistosta irronnut likaa, ruostetta tai muita haitallisia partikkeleita uudelleenikäynnistyksen paineiskun vuoksi
- käytetty vääränlaista tiivistettä
- väärät asennustyökalut, jousikuorma vääränsuuruinen
- väärä kiinnitystapa: käytetty liian pehmeitä pultteja tai muttereita, jotka venyvät tai väsyvät ennen aikaisesti
- tiivisteiden käyttöalue ei vastaa varsinaista käyttöaluetta: tiiviste ei sovellu kohteen vaativiin käyttöolosuhdemuutoksiin, joissa lämpötila, paine, virtaus- tai pyörimisnopeus voivat vaihdella. Tiiviste ei välttämättä ole yhteensopiva kaikkien kohteessa käytettävien väliaineiden kanssa.

Äkillinen vikaantuminen tyydyttävän käyttöajan jälkeen:

- lämpöshokki kuivakäytön seurauksena, kun huomattavasti viileämpää nestettä virtaa tiivistepinnoille
- laakerivika tai vika akselissa
- painepiikki, joka ylikuormittaa tiivisteiden

Äkillinen vikaantuminen uudelleenikäynnistyksen yhteydessä:

- väliainetta jähmettynyt tiivistepinnoille

- tiiviste vioittunut laitteen pysähtymisvaiheessa
- toisiopiiriä ei ole käynnistetty tai se ei ole käynnistynyt
- painepiikki
- kuivakäynti: erittäin haitallista, jos kyseessä on kaksi melko kovaa tiivistepintaa

Muita vikaantumiseen johtavia syitä:

- lämpövaikutus: lyhytaikainen korkean lämpötilan piikki tai pidempiaikainen lämpörajan hieman ylittävä altistuminen
- höyrystyminen: tiivistepinnan ohut voitelukalvo höyrystyy liian korkean lämpötilan tai liian ohuen voitelukalvon takia
- korroosio: varsinkin kuormitus- tai kiristysjousissa
- väli- tai voiteluaineen kemiallinen reaktio tiivistepinnalla, etenkin elastomeereissa
- koneesta tai laitteesta liuennutta kiintoainetta kerääntyy tiivistepinnoille aiheuttaen kuivia pisteitä, jotka rikkovat voitelukalvon eheyden
- yllämainitut kiintoaineet voivat epäsuotuisissa olosuhteissa myös kiteytyä tiivistepinnoille ja kokonaan estää voitelukalvon syntymisen
- sulkunestepiirin toimintahäiriö, jolloin väliainetta pääsee toisiotiivisteille
- hiomiskuluminen: erittäin hienojakeista pölyä tai likaa pääsee tiivistepinnoille ja kuluttaa tiivisteiden ennenaikaisesti loppuun
- kuormitusjousen tukkeutuminen: jousen väliin pääsee runsaasti likaa, joka estää sen toiminnan, jolloin tiivistepinnat eivät painu tarpeeksi toisiaan vasten ja tiiviste alkaa vuotaa (13; 19, s. 437-442)

Labyrinttitiivisteet:

Yleisin vikaantumisen syy on vuoto, joka ilmenemisen jälkeen vähitellen lisääntyy. Vuodon aiheuttaa yleensä jonkin tiivistävän osan kuluminen, ja sen määrä on suoraan verrannollinen tiivistävän osan kasvavaan välykseen. Näin ollen pienikin välyksen kasvu voi näennäisesti ja määrällisesti lisätä vuodon määrää tuntuvasti. Yleisiä keinoja estää tai hidastaa kulumista labyrinttitiivisteissä ovat esimerkiksi

- valittava kulutuskestävimpiä materiaaliyhdistelmiä

- tarkistettava, ovatko välykset realistisia tiivisteiden koon ja väliaineen laadun suhteen
- estettävä tiivistepintoja kuluttava lämpötilan nousu tiivisteessä pienentämällä välyksiä ja selvitettävä, kannattaako tiivisteiden rakenne tai materiaali vaihtaa lämmönkestävämpään vai keskittyä väliaineen lämpötilaa alentaviin ratkaisuihin
- selvitettävä, pitääkö virtausmäärää tai nopeutta muuttaa
- tutkittava, pääseekö väliaine esimerkiksi höyrystymään jossakin vaiheessa tai jossakin laitteen kohdassa, mikä voi epäsuotuisissa olosuhteissa aiheuttaa syövyttävää vaikutusta tiivistepinnoille
- tutkittava, muodostuuko jossakin osassa laitekokonaisuutta öljysumua, joka pääsee kondensoitumaan ja kulkemaan tiivisteelle asti, ja arvioitava, onko sillä eroosio ja/tai korroosiovaikutusta tiivisteelle
- estettävä ulkopuolisen lian pääsy tiivisteelle pitämällä ympäristö puhtaana. Jos laitekokonaisuutta pestään ulkopuolisesti, on vältettävä veden tai pesuaineiden ruiskuttamista suoraan tiivisteiden ulkopinnoille.
- tiivisteiden huollon yhteydessä käytettävä ainoastaan laitevalmistajan hyväksymiä pesu- tai liuotinaaineita.

Labyrinttitiivisteitä käytetään usein hyvinkin nopeasti pyörivissä kohteissa, kuten turbiineissa, joten niiden on toimittava erittäin vakaasti ja tasapainoisesti. Tämän takia on mahdollista, että erinäisiä heilahduksenvaimentimia on lisä- tai jälkiasennettava. Näissä tapauksissa on suotavaa kääntyä laitevalmistajan puoleen. (14; 19, s. 446-447)

4.3 Suoraviivaisen liikkeen tiivisteet

Tässä käsitellään vikaantumista edestakaisen liikkeen tiivisteissä, joita käytetään lähinnä hydraulikan ja pneumaattikan sylintereissä. Materiaaleiltaan nämä tiivisteet ovat usein elastomeeri- tai muovipohjaisia, minkä lisäksi on myös olemassa näiden erilaisia yhdisteitä. Vikaantumisen syyn selvittäminen voi olla monimutkaista: se voi olla seurausta useasta osatekijästä, kuten lämpötilan, paineen ja väliaineen yhteisvaikutuksesta. Sylinterin purkamisen yhteydessä olisi hyvä myös tutkia järjestelmän muita komponentteja sekä väliaineen laatua, jotta vikaantumisen todellinen syy selviää. Esimerkkejä vikaantumisista ja niiden mahdollisista syistä:

Uusittu tiiviste vuotaa, ei näkyviä vaurioita tiivisteessä

- runsas vuoto: sylinterillä liian suuri liukunopeus (m/s) tiivisteelle
- runsas vuoto: väliaineella liian korkea viskositeetti tai liian matala lämpötila. Tarvittava lämpölaajeneminen ei ole vielä tapahtunut.
- vääränlainen tiiviste: tiivisteiden huuli ei pääse laajenemaan tarpeeksi, sylinterin ja tiivisteiden väärät mittasuhteet. Riittää, että toleranssi on väärä yhdessä seitsemänsäisen sarjatiivisteiden tiivisteessä.

Voimakas kuluminen V-, W- tai X-tiivisteiden huuliosassa

- työpaine on liian matala ja voitelu huonoa, pneumatiikkasynterinin työilmassa on liian vähän voitelevaa öljyä tai hydraulikkasynterinin öljy on liian matalaviskositeettista. (*liite 2, kuva 14*)
- väärä tiivistemateriaali kohteelle
- sylinterivarren pinnankarkeus

Voimakas kuluminen tiivisteiden alareunassa painepuolelta katsoen

- työpaine on liian korkea ja voitelu huonoa tai väärä tiiviste, joka on liian kulumisherkkä. Tiivisteiden ja/tai tukirenkään rakenne on selvästi vaurioitunut kauttaaltaan pohjasta (*liite 2, kuva 14*)
- palautusliikkeen varoventtiili ei toimi
- pohjavaimennus ei vikaantunut

Pursuaminen

- ylipaine: järjestelmässä painepiikkejä, jotka ylittävät työpainesuositukset
- liian korkea lämpötila: väliaineen lämpötila ylittää suositukset. Elastomeeripohjaisten tiivisteiden ominaisuudet heikkenevät ja polymeeripohjaisille tiivisteille aiheutuu pysyviä muodonmuutoksia.

Dynaamisen paineen syntyminen sylinteriin

- koska toleranssit ovat hyvin pienet nykyisissä sylintereissä, on mahdollista, että männän työliike muodostaa yli- tai alipainetta sylinteriin, mikä voi ilmetä ylipaineena +-liikkeen aikana ja vuorostaan alipaineena --liikkeen aikana. Koska yli- tai alipaine muodostuu männän väärälle puolelle, se saattaa vahingoittaa tiivisteitä. Esimerkiksi V- tai W-muotoiset tiivisteet on suunniteltu tiivistämään paineen vaikutuksesta, minkä seurauksena huulet

laajenevat. Tämä ei toteudu alipaineen vaikutuksesta, joka aiheuttaa huulien supistumista, mihin niitä ei ole suunniteltu. Kaksitoimisessa hydrauliiikkasynterissä, jossa on esimerkiksi X-muotoinen männäntiiviste, voi samanaikaisesti muodostua sekä ali- että ylipainetta männän molemmille puolille, mikä kasvattaa paine-eroa huomattavasti. Pneumatiikkasynterissä tämä on myös mahdollista, mikäli männän liukulaakerilla on hyvin pieni toleranssi.

- teleskooppisyntereissä paine-erot voivat kasvaa erittäin suuriksi, jos käytetään vääränlaisia tiivisteitä, jotka eivät tasaa painetta oikein eri työliikkeiden välillä
- hydrauliiikassa paine-ero-ongelma on esimerkiksi ratkaistu suunnittelemalla erilaisia pieniä kierteisiä tai aaltomaisia porrastettuja urituksia männän tiivisteeseen
- pneumatiikassa männän liukulaakerit ovat usein viistehalkaistuja ongelman ratkaisemiseksi

Tasaisesti poikittaisia uurteita tiivisteissä

- ilmaa järjestelmässä: hydrauliiikkaöljyn seassa on runsaasti ilmaa. Paineen laskiessa ilma laajenee voimakkaasti synterissä aiheuttaen eroosiota tiivisteille, mikä ilmenee uurteina tasaisesti tiivistepintojen yli. (*liite 2, kuva 15*)

Tiivistepinnassa pistemäisiä painautumia

- voi olla muutama isompi piste tai runsaasti esiintyviä pieniä pisteitä: järjestelmästä irronneita hyvin pieniä metallipartikkeleita, jotka eivät jää suodattimiin. Paineen alla ne painuvat tiivisteisiin ja vahingoittavat niitä. Jos metallipartikkeleita esiintyy runsaasti, voivat ne myös vahingoittaa männän vartta, jolloin pinnankarkeusvaatimukset eivät enää täyty. (*liite 2, kuva 16*)

Palon jälkiä tiivisteessä

- polymeeripohjainen tiiviste voi olla selvästi mustunut tai sulanut ja elastomeeripohjainen kovettunut tai hiiltynyt
- kun erittäin isot hydrauliikkasynterit ovat pitkään lepotilassa, niihin saattaa vähitellen päästä ilmaa. Kun synteriä ajetaan ja synteripesä äkillisesti paineistuu, on mahdollista, että hydrauliiikkaöljy ja ilma muodostavat syttyvän

seoksen, joka voi sytyttää räjähdysmäisen palon, jota voi verrata dieselmoottorin käyntiin. Ilmiötä kutsutaan myös nimellä dieselöinti.

- jos iso hydraulikkajärjestelmä on toistuvasti pitkiä aikoja lepotilassa, olisi hyvä asentaa jonkinlainen ilmausratkaisu kohteisiin, jotka ovat paineistettuja käytön aikana. Tämänlainen kohde voi esimerkiksi olla ison sylinterin korkein kohta sylinteripesässä. (3, s. 652; 19, s. 447-452)

5 VARASTOINTI

Monet tiivistemateriaalit ovat käyttökelpoisia useankin varastointivuoden jälkeen. Tämä edellyttää, että ne on säilötty suhteellisen viileässä, kuivassa, puhtaassa ja auringonvalolta suojatussa tilassa. Ennen pitkää tiivisteet kuitenkin ikääntyvät, kun niiden rakenteessa tapahtuu kemiallinen hajoaminen. Tämä koskee varsinkin elastomeeri- ja elastomeerisidonnaisia tiivisteitä. Ilmiö on havaittavissa esimerkiksi tiivisteiden kuivumisena ja haurastumisena, minkä vuoksi sen tiivistävät ominaisuudet heikkenevät ratkaisevasti. Mitä korkeampi ympäröivä lämpötila on, sen nopeammin tiiviste haurastuu, ja etenkin auringon ultraviolettisäteily kiihdyttää prosessia entisestään. Näitä tiivisteitä ei muutenkaan tulisi käyttää enää neljän vuoden kuluttua niiden valmistuspäivästä. (19, s. 526-527)

Metallitiivisteissä ei ole kyseistä ongelmaa, mutta varsinkin sellaisissa metalliseostiiivisteissä, joissa on erilaisia elastomeerisidosaineita, ongelma saattaa ilmetä. Metalliseostiiivisteiden ikääntymisen nopeuteen vaikuttaa ratkaisevasti seosaineen laatu ja seossuhde. Jos epäilee tiivisteiden kuntoa ja ikää, on suositeltavaa tarkistaa valmistajan varastoimiseen liittyvät ohjeet. Nykyään tiivisteistä pitäisi löytyä valmistusajankohta ilmoitettuna ainakin kuukauden tarkkuudella. Grafiitti-, PTFE-, taso- sekä laippatiivisteissä ei tavallisesti ole sidosaineita, joten niiden varastointiaika on yleensä melkein yhtä pitkä kuin metallitiivisteillä. (14; 20)

Varastoidun tiivisteiden kunnolla on ratkaiseva merkitys sen toimivuuteen, kun tiiviste otetaan käyttöön. Metalliset tiivisteet ovat erittäin lujia, mutta eivät saa naarmuuntua. Kumiset tiivisteet ovat taipuisia, mutta vahingoittuvat helposti terävistä esineistä, kun taas toiset ovat erittäin hauraita ja alttiita halkeilulle. Kaikkia tiivisteitä olisi syytä varastoida, käsitellä ja kuljettaa yhtä varovasti. Taivutettu, kolhittu, naarmutettu tai vasaralla muotoiltu tiiviste ei yleensä tiivistä ainakaan niin kauan kuin sen kuuluisi.

Pienikin naarmu esimerkiksi liukurengastiivisteessä voi aikaansaada vuotokohdan. (19, s.527)

Esimerkiksi Burgmann®-liukurengastiivisteet toimitetaan aina alkuperäisissä ja vahingoittumattomissa pakkauksissa, ja ne ovat erittäin viimeistelyjä ja testattuja koneenosia. Niiden käsittely ennen varastointia ja sen aikana vaatii tiettyjä olosuhteita. Elastomeereille pätee standardisoitu ohje ISO 2230-1973 (E). Eräissä liukupintamateriaaleissa ja elastomeereissä voi vääränlaisen varastoinnin yhteydessä ajan myötä ilmetä muodonmuutoksia, mikä saattaa alentaa tiivisteiden käyttöikää. (20)

Liukurengastiivisteet kuuluu varastoida kuivassa, pölyttömässä ja lievästi ilmastoidussa tilassa. Suhteellinen ilmankosteus ei saa ylittää 65 % ja varastointipaikan lämpötilan pitäisi olla 15...25 °C. Liukurengastiiviste ei saa altistua auringonvalolle tai otsonille, koska ne haurastuttavat elastomeerejä. Erityisesti nitrilikumi (NBR) täytyy suojata hyvin auringon säteiltä ja muulta ultraviolettisäteilyltä, joka voi olla peräisin halogeeni- tai fluoresoivasta valosta. (14)

Varastoinnissa ei suositella käytettäväksi mitään korroosiosuoja-aineita, koska ne saattavat vahingoittaa elastomeerejä ja alentaa tiivisteiden käyttöikää. Tiivisteet tulisi varastoida niiden alkuperäisissä, ehjissä pakkauksissa ja mieluiten tasaisella alustalla. Olisi hyvä määräajoin tarkistaa, ettei pakkauksessa ole ulkoisia vaurioita. Tietyissä olosuhteissa säilytettäviin pakkauksiin valmistaja voi tarvittaessa lisätä kuivatusainetta. Jos pakkauksessa on kosteusindikaattoreita, tulisi se tarkastaa 8 viikon välein, ja mikäli pakkaukseen on päässyt kosteutta ja sen kosteusprosentti on yli 50, pitää se lähettää valmistajalle tarkastettavaksi ja uudelleenpakattavaksi. Myös yli kaksi vuotta varastoidut erikoispaketut tiivisteet tulee lähettää valmistajalle tarkastettavaksi. Tiivisteiden takuu raukeaa, jos niiden varastointiolosuhteet ovat olleet vääränlaisia. (20)

6 LOPUKSI

Tiivistyskohdan liike vaikuttaa siihen, käytetäänkö staattista, puolistaattista vai dynaamista tiivistettä. Tiivisteiden käyttöikään vaikuttavat käyttökohteeseen oikean tiivisteiden valinta ja oikea sekä huolellinen asennus. Uuden tiivisteiden vääränlainen käyttöönotto voi myös hyvin nopeasti vaurioittaa tiivistettä. Käytön aikana

kulumiseen vaikuttavat esimerkiksi väliaineen laatu, voiteleva ja/tai jäähdyttävä aine, pintojen epätasaisuudet, paineen sekä lämpötilan vaihtelut ja syntyvä kitkalämpö. Tarkan käyttöiän määrittäminen on vaikeaa.

Hydrauliikkasyylinterin tiivisteiden normaali käyttöikä voi esimerkiksi olla 4000 tuntia, mutta säteishuulitiivisteillä käyttöikä saattaa olla vain 1000 tuntia. Liukurengas- ja labyrinthitiivisteet toimivat luotettavasti vuosia, kun asennus on tehty oikein ja käyntiolosuhteet ovat oikeanlaiset. Näissä tapauksissa laitteen käynnistys ja pysäytys aiheuttavat eniten kulumista. Eräät staattiset tiivisteet voivat kestää 20 vuotta, jos käyttöolosuhteet ovat vakaat ja suotuisat.

Opinnäytetyön tavoite oli selvittää, minkälaisia tiivisteratkaisuja on käytössä etenkin laivan konepuolella. Aihe on laaja, koska periaatteessa jokaisessa liitoskohdassa käytetään jonkinlaista tiivistysratkaisua. Työn edetessä ilmeni, että laivoilla ja prosessiteollisuudessa käytetään hyvin paljon samanlaisia tiivisteitä. Eräitä tiivisteitä tai tiivistemateriaaleja en ole vanhemmilla laivoilla työskennellessäni käsitellyt lainkaan; tutuimpia olivat taso-, laippa-, punos- ja säteishuulitiivisteet, joiden kehitys on ollut nopeaa ja valikoima on nykyään melko laaja. Enää ei tarvitse tyytyä yleistiiivisteisiin, jotka voivat pahimmassa tapauksessa kestää käytössä ainoastaan joitakin kuukausia.

Teknisimmät ratkaisut löytyivät liukurengas- ja labyrinthitiivisteistä, joissa tuotekehitys on ollut kaikkein nopeinta ja valikoima on laajin. Nämä tiivisteet vaativat erittäin huolellista asennusta, ja käyntiolosuhteiden on pysyttävä valmistajan antamissa suosituksissa. Tässä korostuu oikean tiivisteiden valitseminen käyttökohteen mukaan. Kun nämä asiat on otettu huomioon, tiivisteet toimivat luotettavasti kauan.

Jaettuani tiivisteet neljään pääryhmään huomasin, että jokaisesta ryhmästä olisi voinut tehdä oman opinnäytetyön. Tietoa löytyy hyvin englannin kielellä, ja olisi ollut mielenkiintoista perehtyä syvällisemmin yhteen teknisempään pyörivän liikkeen tiivisteeseen. Oli haastavaa rajata opinnäytetyö siten, että se kertoo mahdollisimman monesta tiivisteratkaisusta laivakäytössä ja sisältää kuitenkin kaiken oleellisen tiedon. Tiivisteiden toimivuuteen ja käyttöaikaan liittyy monia osatekijöitä, jotka suoraan vaikuttavat toisiinsa.

LÄHTEET

1. SFS käsikirja 1. Standardit ja standardisointi 2013. Verkkodokumentti
http://www.sfs.fi/files/83/KK_1_2013.pdf [01.03.2014]
2. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. SFS verkkokauppahaku. 2014.
<http://sales.sfs.fi/sfs/servlets/ProductServlet> [01.03.2014]
3. Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miettinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M. & Välimaa, V. 2009. Koneenosien suunnittelu. WSOYpro Oy
4. Lamons gasket Handbook. 2012. Verkkodokumentti
<http://www.lamons.com/news/html/NewGasketHandbook.php> [10.03.2014]
5. Sölken, W. Explore the world of piping. 2014. Verkkodokumentti
http://www.wermac.org/flanges/flanges_general_part6.html [10.03.2014]
6. The Brinell hardness test. Verkkodokumentti
<http://www.gordonengland.co.uk/hardness/brinell.htm> [10.03.2014]
7. Klinger ramikro. 2014. Verkkodokumentit, hakemisto
<http://www.ramikro.fi/?p=support> [15.03.2014]
8. Tisan Oy. 2014. Verkkodokumentti
<http://www.tisan.fi/materiaalitiedot.html> [15.03.2014]
9. Loctite. 2014. Kunnossapito-opas. Verkkodokumentti
<http://www.loctite.fi/kunnossapito-opas-5463.htm> [20.03.2014]
10. Alvarez, H. 2006. Energi Teknik, del 1 & 2. Studentlitteratur
11. Trelleborg sealing solutions. 2014. Verkkodokumentti
http://tssstatic.com/remotemedia/media/globalformastercontent/downloadsautomaticlycreatedbyscript/catalogs/rotary_gb_en.pdf [25.03.2014]

12. Tiivistepalvelu Oy. 2014. Verkkosivut
<http://tiivistepalvelu.fi/punostiivisteet> [01.04.2014]
13. EagleBurgmann. 2014. Verkkodokumentti
http://www.eagleburgmann.com/products/mechanical-seals/mechanical-seals-for-pumps/pusher-seals/m7n?set_language=en [10.04.2014]
14. EagleBurgmann. 14.08.2007. Verkkodokumentti
<http://business.eagleburgmann.com/images/svenskaLabyrinttaetningar/EagleRoterand.pdf> [10.04.2014]
15. Ansaharju. T. 2009. Koneenasennus ja kunnossapito. WSOY Oppimateriaalit Oy
16. Parker. Medium duty hydraulic cylinders, Series 3L. 2014. Verkkodokumentti
http://www.parker.com/literature/Industrial%20Cylinder/cylinder/cat/english/HY08_1130_4_NA.pdf [15.04.2014]
17. Peninsular Cylinder CO. 2014. Verkkodokumentti
http://www.peninsularcylinders.com/HH_Links/HH_Air_NFPA_Cylinders/HH_MH_NFPA_Air%20Cylinder%20Seal%20and%20Repair%20Kits%20-%20VITON.htm [20.04.2014]
18. Tiivistekeskus Oy. Pakkatiivisteet. 2014. Verkkohaku
<http://tuotteet.tiivistekeskus.fi/main.html?nodeUid=1449141&parents=1154661&path=0&catalogUid=1154028&style=view0> [10.05.2014]
19. Flitney, R. 2007. Seals and sealing handbook, fifth edition. Elsevier Ltd.
20. Tiivistetekniikka Oy. Varastointi. 2014. Verkkodokumentti
<http://www.tiivistetekniikka.fi/varastointi/> [10.05.2014]

ESIMERKKEJÄ VOIMASSA OLEVISTA SFS STANDARDEISTA JA RAPORTEISTA	
STANDARDI	TIIVISTÄMINEN
SFS 2201	Pyörötiivisteet laipoille NP 10...40. 1967
SFS 4541	Punostiivisteet pyöriville akseleille ja venttiilikaroille. Yleistä. 1993
SFS 5216	Tiivisteet. Tiivisterenkaat LM-teollisuusputkien kiintolaipoille ja kaulus/irtolaipoille. 1995
SFS 5806	Tiivistelevyt. Kumilevy kudosisvasteella tai ilman. 1996
SFS 5809	Tiivistelevyt. PTFE-tiiviste. 1996
SFS 5810	Tiivistelevyt. Grafiittitiiviste. 1996
SFS 5811	Tiivistelevyt. Kumisidosteinen kuitutiiviste. 1996
SFS-EN 291	Kumi tiivisteet. Staattiset tiivisteet palaville kaasuille 200 mbar asti. Materiaalieritelvät
SFS-EN 751-1:en	Metallisille kierrelitoksille tarkoitetut tiivisteaineet, jotka joutuvat kosketuksiin 1., 2. ja 3. kaasuryhmän kaasujen ja kuuman veden kanssa. Osa 1: Anaerobiset saumausaineet
SFS-EN 751-2:en	Metallisille kierrelitoksille tarkoitetut tiivisteaineet, jotka joutuvat kosketuksiin 1., 2. ja 3. kaasuryhmän kaasujen ja kuuman veden kanssa. Osa 2: Kovettumattomat saumausaineet
SFS-EN 751-3:en	Metallisille kierrelitoksille tarkoitetut tiivisteaineet, jotka joutuvat kosketuksiin 1., 2. ja 3. kaasuryhmän kaasujen ja kuuman veden kanssa. Osa 3: Sintraamattomat PTFE-teipit
SFS-EN 1514-1:en	Laipat ja yhteet. PN-mitoitettujen laippojen tiivisteiden mitat. Osa 1: Ei-metalliset tasotiivisteet
SFS-EN 1514-2:en	Laipat ja yhteet. PN-mitoitettujen laippojen tiivisteiden mitat. Osa 2: Metalliset tasotiivisteet
SFS-EN 1514-3:en	Laipat ja yhteet. PN-mitoitettujen laippojen tiivisteiden mitat. Osa 3: Ei-metalliset PTFE-päällystetyt tiivisteet
SFS-EN 1514-4:en	Laipat ja yhteet. PN-mitoitettujen laippojen tiivisteiden mitat. Osa 4: Teräslaipoissa käytettävät aallotetut, tasaiset tai uritetut metalliset ja pinnoitetut metalliset tiivisteet
SFS-EN 1514-8:en	Laipat ja yhteet. PN-mitoitettujen laippojen tiivisteiden mitat. Osa 8: Polymeeriset O-rengastiivisteet uritetuille laipoille
SFS-EN 12308:en	Koneet ja laitteet LNG. Soveltuvuustestit laippaliitostiivisteille LNG putkistoissa.
SFS-EN 12756:en	Mekaaniset tiivisteet. Periaatteelliset mitat, merkinnät ja materiaalitunnukset
SFS-EN ISO 9222-1	Tekniset piirustukset. Tiivisteet dynaamisiin sovellutuksiin. Osa 1: Yleinen yksinkertaistettu esittäminen
ISO 7483:1991	Tiivisteiden mitat ISO 7005 putkilaipoille. 1991
Suomen Standardisointiliitto SFS ry.	

