



# Vuodottoman hydrauliikan merkitys

**No 8**

FLUID  
Finland  
2-2004



Juha Lahtinen  
Metso Paper



## UUODOTTOMAN HYDRAULIIKAN MERKITYS

Artikkeli perustuu 10.-11.03.2004 järjestetyn AEL seminaarin, "Hydrauliliitosten vuodot kuriin", alustusluentoon /15/. Vuodottomuuden merkitystä ja tiiveyttä tarkastellaan pääosin teollisuushydrauliikan näkökulmasta.

- ◆ vuodottomuuden merkitys hydraulitekniiikan kilpailukyvyille (hydrauliikka vastaan muut käyttöenergiälähteet/tehonsiirtotavat)
- ◆ miksi vuodottomuuden ("teknisen tiiveyden") toteutus tuottaa vaikeuksia myös nykytekniikan menetelmillä?
- ◆ hydraulijärjestelmien tiiveyden osatekijät
- ◆ tiiveyttä edistäviä nykytekniikan mahdollistamia teknisiä ratkaisuja
- ◆ öljyjärjestelmien suunnittelussa huomioon otettavia ympäristölainsäädännön aiheuttamia rajoitteita

### 1. Vuodottomuus hydraulitekniiikan kilpailukyvyin, alan mielikuvan ja alan aseman kohottajana.

Tuotanto- ja teollisuuslaitoksissa ovat hydrauliiikkaa käyttövoimana hyödyntävät laitteet merkittävässä, mutta usein aliarvostetussa aputekniikan asemassa. Mobileilaitteissa on järjestys päinvastainen; hydraulitekniiikkaa on päätekniikkaa, jota on vaikea korvata millään muulla nykyisin tunnetulla käyttötekniikalla/tehonsiirtotavalla. Hydraulisen tehonsiirron voima- ja tehotehiys sekä laitteiden paino-teho -suhde on ylivoimainen esim. sähkökäyttöihin verrattuna (hydrauliikan 0,1 kg/kW vastaan sähkökäytön 10 kg/kW).

Valtiot, joissa hydraulitekniiikka edustaa merkittävää työllistävää alaa, kantavat erityisesti huolta tekniikan kilpailukyvyin säilyttämisestä. 1990-luvulla ovat sähkökäyttöihin perustuvat laitteet korvanneet useita perinteisesti teollisuushydrauliikalla toteutettuja toimintoja.

Saksa on valtiona hydrauliiikka-alan "piilaakso". Saksan kone- ja laitevalmistusteollisuudessa on fluiditekniiikka (hydrauliikka+pneumatiikka) menestyneimpiä teollisuudenaloja viimeisen 50 vuoden aikana /17/. Maailmanlaajuisesti noin joka kolmas fluiditekniiikan tuote on valmistettu Saksassa (toisin sanoen Saksan osuus maailman fluiditekniisten laitteiden toimituksista on yli 30 %). Fluiditekniikan osuus tutkimukseen käytetyistä (myös julkisista) varoista on Saksassa merkittävä.

Suomessa on hydrauliiikan merkitys työllistäjänä pieni Saksaan verrattuna. Suomessa on vähän komponenttien valmistusta, mutta joillakin alueilla, esim. kallioporakoneet ja hydrauliset iskukoneet, on laitevalmistus Suomessa maailman huippua. Mobileilaitteista Suomessa valmistettavat metsäkoneet edustavat sovellutusta, jossa Suomi on huipulla järjestelmien rakentajana ja ulkomaisten komponenttien soveltajana. Alue, jossa Suomi ansaitsee erityismaininnan hydrauliiikan kilpailukyvyin edistäjänä, on alalla harjoitettu aktiivinen tutkimustoiminta ja alan yliopistotason hyvin järjestetty koulutus.

Hydrauliikan kilpailukyvyin säilyttämiseksi on hydraulitekniiikan tarjoamat edut pystyttävä hyödyntämään mahdollisimman hyvin sekä kompensoimaan haittapuolet kaikin nykytekniikan tarjoamin menetelmin.

Hydraulitekniiikan merkittävimmät haittapuolet ja samalla haasteet liittyvät hyötysuhteen kohottamiseen (häviöiden minimointi), melun vähentämiseen sekä vuotojen ehkäisyyn; vuodottomuudesta on tehtävä alan uusi ominaisuus. Saksankielisissä maissa puhutaan hydrauliiikan kolmen L:n ongelmasta: "Leistungsverluste, Lärm, Leckage" (tehohäviöt, melu, vuodot).

Ensisijaisin ja tehokkain tapa hydraulitekniiikan ongelma-alueiden korjaamiseksi on komponenttien ja laitteiden hyötysuhteen kohottaminen. Huono hyötysuhde johtaa suurempaan käyttöenergiantarpeeseen, suurempaan lämmönkehitykseen, melutason kohoamiseen, korkeampiin lämpötiloihin ja öljyn lyhyempään käyttöikään. Vuodottomuus on ongelmista kuitenkin vaikeimmin hallittava ja paikallistettava ja sen ratkaisu edellyttää kokonaisvaltaisia toimenpiteitä suunnittelupöydältä projektointiin, asennukseen, käyttöönottoon, kunnossapitoon ja koulutukseen. Oleellisessa asemassa on ammattitaidon kohottaminen kaikilla em. tasoilla sekä asennekasvatustyö ja jopa lobbaus (ylipuhuminen).

Vuotojen haittavaikutukset voidaan jakaa ympäristöystävällisyyttä, työturvallisuutta, taloudellisuutta, käytettävyyttä ja imagoa heikentäviin seikkoihin. Vuodottomuus, teknisin menetelmin saavutettavissa oleva tiiveys (tekninen tiiveys), tulee olla 2000-luvun hydrauliiikan ominaispiirre. Perusteet, miksi teknisesti tiiviiksi suunnitellusta ja rakennetusta järjestelmästä kannattaa maksaa vähän enemmän, on markkinoitava tehdasstandardien vaatimuksiksi ja hydraulisten laitteiden ostotoiminnasta vastaavien tahojen ostokriteereiksi.

### 2. Miksi vuodottomuuden ("teknisen tiiveyden") toteutus tuottaa vaikeuksia myös nykytekniikan menetelmillä? /1,6,11,12,14,19/

Hydraulijärjestelmien tyypillisimmät vuotolähteet on luetteloitu useiden tutkijoiden toimesta. Useimmat tutkimustulokset ovat 1970-1980 -luvulta ja nykytilanne on parempi. Lähteessä /6/ on esitetty tutkimus 1980 -luvun lopulta, jossa on selvitetty 60:n teollisuushydrauliikkajärjestelmän tiiveys ja esiintyneiden vuotojen aiheuttajat. Järjestelmistä oli täysin vuodottomia 27%. Vuodollisissa järjestelmissä olivat vuotojen aiheuttajina:

- ◆ 45% aiheutui putkistosta, letkuista ja liittimistä
- ◆ 32% vioittuneista sylinteritiivisteistä
- ◆ 20% lohkojen, venttiilien ja tulppien vuodoista
- ◆ 3 % muista tekijöistä mm. pumppujen akselitiivisteistä

Viime vuosien kokemusten perusteella voi vuotolähteistä kirjata seuraavaa:

- ★ putkiliittimistä aiheutuvat vuodot ovat vähentyneet
- ★ matalapaineputkistoissa esiintyy vuotoja yleisemmin kuin korkeapaineputkistoissa (teollisuushydrauliikan kokemustieto)

- ★ suurihalkaisijaisten matalapaineputkistojen laipat vuotavat
  - ★ piensarjavalmisteisissa lohkoissa (liitinpinnat, upotukset, patruunapesät) esiintyy vuotoja (tarkastustoiminta puutteellinen)
  - ★ piensarjavalmisteisissa erikoiskomponenteissa on vuotoherkkyyttä normaalia suurempi
  - ★ pumppujen akselitiivisteet vuotavat, erityisesti ruuvipumppujen
  - ★ suurihalkaisijaiset pyörivän akselin radiaaliivisteet vuotavat (erikoistiivisteet)
  - ★ huonosti tuetun putken värähtely johtaa putken tai liittimen murtumiseen
  - ★ putkien lämpölaajenemista ei ole huomioitu riittävästi ja lämpöjännitysten aiheuttamat muodonmuutokset johtavat vuotoihin
  - ★ paineluokan 210 bar laippaliitin pettää, koska toimitaan jatkuvasti paineen ylärajalla
  - ★ leikkuurengas ei "pure" hast/rust -putkeen, jonka kovuutta ei ole varmistettu
  - ★ huono ammattitaito kenttäputkistoa rakennettaessa johtaa vuotoihin (etupäässä "kaukomaiden" ongelma)
  - ★ vanhentunut letku tihkuu
  - ★ letkun paineluokka on sovellutukseen liian alhainen ja letku tai letkuliitin pettää täydellisesti
  - ★ järjestelmässä esiintyy paineiskuja, joita ei ole otettu huomioon suunnitteluvaiheessa; painevaihtelut johtavat komponenttivaurioihin ja vuotoihin
  - ★ öljysäiliöiden yhteet vuotavat (suuria kierrelitoksia tai laippapintojen tasomaisuusvirheitä)
- O -rengasliitosten vuotoja on käsitelty erikseen kohdassa 4.2.1.

Mitä pitäisi tehdä tiiveyden parantamiseksi? Etsitään vastauksia kysymykseen järjestelmien suunnittelun, asennuksen, projektion, koulutuksen ja järjestelmien ostotoiminnan kannalta.

## 2.1 Suunnittelun osuus vuodottomuuden saavuttamiseksi.

Huonosti suunniteltua järjestelmää, jossa tiiveys ja hyvä huollettavuus ei ole ollut yhtenä suunnittelun lähtökohdista, ei ammattitaitoisinkaan huoltohenkilöstö saa säilymään tiiviinä ilman rakenteellisia muutoksia. Hydraulijärjestelmien suunnittelu jakaantuu kaavio- ja rakennesuunnitteluun, joiden välinen yhteys on kiinteä. Rakennesuunnittelu käsittää koneikon, venttiililinjien ja -asemien rakenneratkaisujen valinnan ja rakenteiden suunnittelun sekä komponenttien liitännästekniikan (esim. lohkoketkniikka) ja putkiston liitännäsmenetelmien valinnan ja järjestelmän osien sijoittelun (esim. venttiilien sijoitus keskitetyksi telineelle tai hajautetusti toimilaitteiden läheisyyteen).

Rakennetekniikka on päätekijä pyrittäessä alhaisiin valmistuskustannuksiin, hyvään huollettavuuteen, meluttomuuteen, vuodottomuuteen ja lähes kaikkiin niihin ominaisuuksiin, joita pidetään laadukkaan hydraulijärjestelmän osatekijöinä. Rakenteet luovat ensimmäisenä mielikuvan järjestelmän laadusta. Näistä tosiasioista huolimatta on hydraulijärjestelmien rakennesuunnittelu laiminlyöty alue, johon käytetään vähän suunnittelutyötunteja.

Rakennesuunnittelun laiminlyöntiin voidaan luetella seuraavia syitä:

- ★ hydraulikka-alalta puuttuu rakennesuunnittelun ja hydraulijärjestelmien valmistustekniikan koulutus. Rakenteet ja valmistus opitaan käytännön työssä, jossa suunnittelijat vaihtuvat, kun kokemusta on jo kertynyt
- ★ hydraulikka on keskiasteen koulutuksessa sivuaine ja harva saa kipinän alalle; keskiasteelta ei synny riittävästi suunnittelijoita, käyttöönottajia ja huoltotoiminnasta vastaavia tekniikan tuntijoita; korkeakouluista valmistuneet hydraulikkainsinöörit eivät viihdy rakennesuunnittelijoina pitkään. Miten herättää nuorten kiinnostus tätä vaativaa alaa kohtaan?
- ★ hydraulijärjestelmien suunnittelun lähtökohdissa ovat huollettavuus ja kunnossapitäjänä toimivan loppukäyttäjän tarpeet aliarvostettuja
- ★ rakennesuunnittelu on yrityksissä aliarvostettua työtä ja jätetään usein valmistuksen yhteydessä tapahtuvaksi; siirretään loppuvastuu toteutuksesta asentajille. Hydraulikka- ja putkiasentajien ammattitaito määrää järjestelmän laatutason
- ★ hydraulijärjestelmiä valmistavien yritysten ei kannata panostaa rakennetekniikkaan, koska teollisuushydrauliikassa ovat sarjakoot pieniä ja järjestelmien hankinta ratkaistaan usein kilpailuttamalla hankinnat projektikohtaisesti; ei synny rakennetekniikan edellyttämää pitkäaikaista yhteistyötä
- ★ hydraulikkahankinnoissa on hinta usein tärkein tekijä. Laadukkaat ja tiiveyden paremmin takaavat rakenneratkaisut (esim. lohkoketkniikka ja paremman tiiveyden takaava liitintekniikka) maksavat usein vain vähän enemmän, mutta sekin on liikaa. Toimittajilla ei ole motivoitua syytä tehdä työtä, jota asiakkaat eivät arvosta
- ★ putkistojen ja järjestelmien mitoitus keskittyy staattiseen puoleen (komponentit ja putkisto läpäisevät halutut virtaukset halutuilla painehäviöillä); dynaaminen tarkastelu on väheksytty alue ja jää tekemättä ajan, rahan ja sopivan työvoiman puuttuessa. Painevaihteluilla ja -iskuilla on suora yhteys vuotoihin.

Vähäinen panostus hydraulikan rakenteiden ja putkistojen suunnitteluun ei ole yksin teollisuushydrauliikan heikkous. Tarkasteltaessa esim. uusia suursarjavalmistaisia kaivinkoneita, voidaan havaita, että komponentti- ja putkistojärjestelyt ovat jääneet puolitiehen ja viimeistelyn leima puuttuu monesta kohteesta.

## 2.2 Asennuksen osuus vuotojen ehkäisyssä

Asennustyö jakaantuu tehtaiden kokoonpanohalleissa tehtävään työhön ja kentällä asennuspaikalla suoritettavaan kenttäputkitustyöhön. Asennustyö käsittää putkituksen lisäksi venttiilistöjen, lohkojen, pumppuyksiköiden ja koneikkojen kokoonpanotyötä, koeajoa ja testausta.

Ala opitaan työtä tekemällä. Ammattikouluista ei valmistu hydraulikka-alalle erikoistuneita mekaanikkoja ja putkimiehiä. Harvat hydraulikka- ja putkitustyötä ostavat yritykset edellyttävät pienputkittajilta "jonkinlaista" todistusta ammattitaidosta. Suuripaineisia put-

kia saa liittää ilman paperilla todistettua muodollista pätevyyttä. Muilla aloilla, esim. sähkötekniikka, on vastaava toimintatapa lainsäädännön kautta täysin poissuljettu.

### 2.2.1 Kokoonpanotyö

Venttiiliasemien, lohkojen ja koneikkojen kokoonpano ja putkitustyö vaatii huolellisuutta ja tarkkuutta. Lohkoista koostuvan hydraulikkajärjestelmän kokoonpano on erityisesti suurta huolellisuutta vaativaa työtä. Asentaja vastaa kokoonpanotyön lisäksi myös usein lohkojen lopputarkastuksesta (viisteet, pinnanlaatu, upotusten syvyys). Putkitustyö (esim. venttiiliasemat) tehdään usein ilman kuvia ja lopputulos riippuu asentajan ammattitaidosta. Kokoonpantujen hydraulikkalaitteiden vuodottomuus todennetaan koeajon ja testauksen yhteydessä. Vuotopaikkojen havainnointi vaatii kokemusta ja taitoa kiinnittää huomio oikeisiin kohteisiin. Vuodot paljastuvat yleensä vasta öljyn lämpötilan kohotessa. Koeajo-olosuhteissa päästään harvoin käyttöoloja vastaaviin lämpötiloihin ja normaali koeajo on liian lyhytaikainen kaikkien vuotokohtien löytämiseksi.

Kokoonpanon jälkeen suoritettujen koeajon tärkein merkitys mielletään usein toimintojen testaukseksi; vuotojen havainnointi ymmärretään usein toissijaisena tehtävänä. Tutkimuksen /6/ mukaan erittäin kokeneiden asentajien kokoamista lohkojärjestelmistä löytyy "uskomattoman" paljon vuotokohteita, kun vuodot etsitään koeajossa erikoismenetelmin (esim. paineistamalla järjestelmät kaasulla).

Lohkorakenteinen hydraulikka on askel kohti parempaa tiiveyttä, mutta yksittäisten ja piensarjavalmisteiden lohkojen yhteydessä raportoidaan usein vuotoon johtavista valmistusvirheistä. Suomi on maa, jossa hydraulikkalohkoja osataan tehdä kustannustehokkaasti myös valmistussarjojen ollessa pieniä. Puutteita löytyy kuitenkin lohkojen laadunvalvonnan, puhdistuksen ja testaustoiminnassa. Kokonaisuutoimituksiin kykeneviä yrityksiä (lohkorakenteisen hydraulikan suunnittelu, valmistus, kokoonpanopano ja testaus) on Suomessa vähän.

### 2.2.2 Putkitustyö kokoonpanossa ja kentällä

Putkiston rakentaminen on käsityötä, jonka tulokseen liittyy sarjatuotantoa suurempi laatuvariaatio; tulos riippuu sarjavalmistusta enemmän tekijän ammattitaidosta. Ihmisen tekemille "luontaisille" virheille jätetään varaa. Asennuspaikalla usein huonoissa olosuhteissa suoritettavan kenttäputkitustyön tuloksena syntyvän tiiveyden ja putkiliitintekniikan yhteys tulee korostetusti esille olosuhteissa, joissa ei ole käytettävissä ammattitaitoista työvoimaa. Liitintyyppit, joiden avulla saavutetaan hyvä tiiveys huonommallakin ammattitaidolla, edustavat putkiliitintekniikan huippua (päästään lähemmäs sarjatuotantoväline tehtävää työtä).

Usein havainnoituja inhimillisten tekijöiden aiheuttamia laatuvariaatioita ovat:

- \* pienet hydraulikkalaitteet on kiristetty ylikireyteen ja suuret alikireyteen

- \* putkiston linjauksista aiheutuu jännityksiä liittimiin ja laippoihin (suurien matalapaineputkien laippaliitosvuodot)
- \* urakoitsijoiden työvälineiden taso vaihtelee; ohjeet ovat epäyhtenäisiä, asennustavat vaihtelevat ja tarkastustoiminta on puutteellista

### 2.3 Käyttöönottoon liittyvää parannettavaa

Suuri osa putkistovuodoista paljastuu putkiston huuhtelun yhteydessä. Laitteiden käynnistyttyä todennetaan painevaihtelut harvoin mittauksen avulla. Kun paineiden käyttäytyminen tunnetaan, on mahdollista parantaa heikkoja, oletettaviin vuotoihin johtavia kohteita. Putkiliittimien (leikkuurengas) jälkikiristys tietyn käyttöajan jälkeen jää useimmiten tekemättä.

### 2.4 Vuodottomuuden varmistaa kunnossapito

Hydraulijärjestelmien huolto-ohjeet ovat pääsääntöisesti huonoja tiiveyden takuupapereita. Ohjeisiin tulisi sisällyttää tiiveyden takaava suunnitelma. Suunnitelmaan kuuluu:

- tarkastusväli kriittisiksi luokitelluille kohteille
- vaihtovälin määrittely kriittisille osille, esim. letkut, kriittiset tiivisteet. Letkujen elinikä on hyvin soveluskohtainen ja vaihtoväli on määritettävä yhdessä loppukäyttäjän kanssa, joka tuntee käyttöolot
- kunnossapidon koulutus ja sitouttaminen tiiveyttä takaavan huolto-ohjelman taakse

Laitevalmistajat eivät "uskalla" sitoutua monivuotiseen vuodottomuustakuuseen, jos tiiveyttä ei turvata yhdessä kunnossapidosta vastaavan tahon kanssa.

## 3. Hydraulijärjestelmien tiiveyden osatekijät /1,3,6/

Vastauksena kysymykseen: Onko vuodottomia hydraulijärjestelmiä rakennettu? - vastataan järjestelmätoimittajien puolelta myöntävästi ja annetaan usein esimerkkinä nykypäivän auto, jossa on useita erilaisia nesteitä väliaineena käytettäviä tiiviitä järjestelmiä. Uusi auto säilyy pitkään vuodottomana, mutta perheiden vanhat kakkosautot, joissa säännöllinen huolto on laiminlyöty, jättävät lätköitä markettien pihoilta. Nykyauton tiiveyden takana on historia, josta voi ottaa opiksi mm. seuraavia kohtia:

- \* vuotoja ei ole yksinkertaisesti hyväksytty ja vuotavat kohteet on korjattu kehittämällä rakenteita ja menetelmiä vaihe vaiheelta myös yrityksen ja erehdyksen menetelmällä
- \* on kehitetty käsityöammattitaidosta ja inhimillisistä tekijöistä riippumattomia massatuotantoon soveltuvia työmenetelmiä ja tiivisteratkaisuja (fitter-independent solutions)
- \* kehitystyötä on tehty tiiviissä yhteistyössä eri tahojen välillä (tiivistevalmistajat, öljy-yhtiöt, materiaalivalmistajat, komponenttivalmistajat, työvälineiden valmistajat)
- \* on otettu tarvittaessa käyttöön tiiveyden takaavia kalliimpia rakenteita ja saatu hinta alas suursarjatuotannon avulla
- \* on standardoitu tiivisteratkaisuja (useista elementeistä koostuvia) ja tiivisten asennusympä-



ristöjä (urat, upotukset jne.) ja tietyille tiivisterakenteelle löytyy aina vähintään kaksi valmistajaa.

- \* autoja valmistavat juuri tähän työhön koulutetut ihmiset kutakin työvaihetta varten suunnitelluilla välineillä, valmistustekniikka on pitkäaikaisen kehitystyön tulos, valmistusvälineiden kuntoa valvotaan
- \* kokoonpanotyön tulos testataan aina vakiomenetelmällä
- \* auton hoitoon liittyy tiiveyttä turvaava säännöllinen käyttömäärään tai -aikaan perustuva tai ajo-olosuhteita huomioiva huolto-ohjelma
- \* huoltoja saa takuun puitteissa suorittaa vain valtuutettu koulutettu taho

Autotekniikassa on onnistuttu kehittämään tiivisteet toimiviksi laajalla käyttölämpötila-alueella. Vielä 1960-luvulla oli yleistä, että pohjoismaiden ilmasto-oloissa autojen tiivisteet pettivät täysin talviaikaan. Autotekniikassa on myös onnistuttu optimoimaan tiivisteiden tiivistystoiminta suhteessa kitkakäyttätymiseen ja tiivisteiden kulumiseen. Tiivisteillä on nykyisin riittävä elinikä. Tiiveyden parantamiseen on nykyisin käytössä suunnaton määrä keinoja. Tiivisterakenteiden ja -materiaalivaihtoehtojen määrä on suurempi kuin koskaan aiemmin. Hydrauliliitinrakenteita on niin paljon, että valinta tuottaa vaikeuksia. Tiivistykseen liittyvä tribologia ja tiivistystapahtuma ymmärretään aiempaa paremmin mallinnuksen ja laskentaohjelmien kehityksen myötä. Työstökonetekniikka mahdollistaa tiiveyttä parantavien rakenteiden valmistuksen piensarjoissa kohtuullisin kustannuksin.

#### 4. Tiiveyttä edistäviä nykytekniikan mahdollistamia teknisiä ratkaisuja

Tarkastellaan nykytekniikan tarjoamia ratkaisuja seuraavilla osa-alueilla:

- ◇ putkiliittimet, putkistot ja letkut
- ◇ staattiset tiivisteet
- ◇ dynaamiset tiivisteet
- ◇ hydraulijärjestelmien rakennetekniikka
- ◇ järjestelmien vuodottomuuden testaus
- ◇ vuotojen indikointi tiiveyden tarkailujärjestelmillä
- ◇ sekundääriset keinot; ympäristöystävälliset öljyt

Systeme	WALTERSCHEID		WALTERSCHEID		WALTERSCHEID		WALTERSCHEID	
Kriterien	Zweikanal-Schneidring Z-R	Zweikanal-Schneidring - Profilring - P-R	O-mögliche Dichtungen Schneidring + Weichdichtung S-R / Z-R+WD	Bördel	Bördel-Adapter mit O-Ring BO	Schweißnippel SN	WALFORM-WD	
Normung	DIN 2353 DIN EN ISO 8434-1	DIN 2353 DIN EN ISO 8434-1	DIN 2353 DIN EN ISO 8434-1	SAE J 514 ISO 8434-2	DIN 3949	DIN 3865, Form A ISO 8434-4	DIN 2353 DIN EN ISO 8434-1	
Teile nach Norm	alle Einzelteile	alle Einzelteile	Stutzen und Mutter	alle Einzelteile	alle Einzelteile	alle Einzelteile	Stutzen und Mutter	
System-Merkmal	Kraftschluss + kombinierte Dicht-/ Haltefunktion	Kraftschluss + kombinierte Dicht-/ Haltefunktion	Kraftschluss + kombinierte Dicht-/ Haltefunktion	Formschluss + getrennte Dicht-/ Haltefunktion	Formschluss + getrennte Dicht-/ Haltefunktion	Formschluss + getrennte Dicht-/ Haltefunktion	Formschluss + getrennte Dicht-/ Haltefunktion	
Anzahl der Bauteile	3	3	4 (systemabhängig)	3	4 (6 incl. O-Ringen)	3 (4 incl. O-Ring)	2 (3 incl. Dichtung)	
Anzahl der Leckpfade/ Dichtungsring	2	2	2	1	2	1	1	
Anzugszug/ Kraftanzug* (nach Vormontage)	360° (180°)	360° (180° nach Vormontage) 10° Galvanische Eisenschraube	360°	90°-180°	90° bzw. 180°	120°	60°	
Risiko für Montage-Fehler	groß	mittel gering bei Gesteuerter Endmontage	groß	mittel	gering	mittel	sehr gering	
Reparatur/ Service üblich mit	Z-R P-R	Z-R P-R	S-R + WD Z-R	B oft mit Z-R + neue Verschraubung	BO oft mit Z-R + neue Mutter	SN WF-WD	WF-WD S-R + WD SN, Z-R	
Kosten	100%	100%	140%	140%	140%	140%, ca 250% incl. schweißen	100%	

Kuva 1. Taulukko, jossa liitinvalmistaja Walterscheid /19/ arvostelee valmistamansa liittintyyppit hyvän liittimen ominaisuuksien suhteen.

#### 4.1 Putkiliittimet, putkistot ja letkut

Vuonna 1933 patentoitiin Saksassa putkiliittimeksi 24 asteen kartiolla varustettuun liitinrunkoon asennettava leikkuurengasliitin (DIN 2353), joka muodostui putkiliittimen standardiksi Euroopassa ja erityisesti teollisuushydrauliikassa. 1940-luvun alkuvuosina kehitti A.L. Parker USA:ssa liittintyyppin, jossa putken pää muokattiin 37 asteen kulmaan (kartiokulman puolikas) ja kiristettiin putkea ympäröivällä mutterilla liitintungossa olevaa vastaavaa kartioita vasten (JIC liitin, SAE J514, ISO 8434 osa 2). Liitintyyppistä tuli toinen standardiliitin, erityisesti mobilehydrauliikassa, ja se on saavuttanut USA:ssa n. 70 % markkinaosuuden.

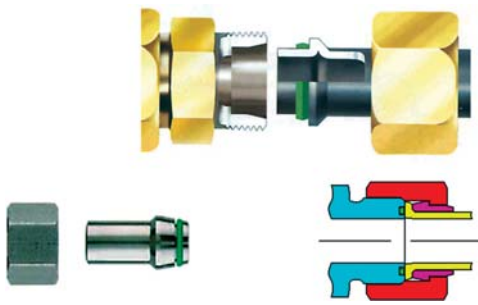
2000-luvulla voidaan tiiveyttä mahdollisimman hyvin varmistavan putkiliittimen ominaisuuksiksi lueta:

- \* mahdollisimman vähän osia, ei hylsyjä eikä renkaita
- \* sarjatuotantoon soveltuva inhimilliset virheet estävä rakenne
- \* pidätys- ja tiivistystoiminto on erotettu toisistaan, tiivistettäviä pintoja vähän
- \* elastinen tiivistys on "must"; vuodottomuutta ei saavuteta metalli vastaan metalli tiivistyksellä.
- \* liitoksen teko onnistuu luotettavasti huonollakin ammattitaidolla ja liitos sallii asennusvirheitä vuotamatta
- \* asennusaika on pieni
- \* liitin ei vioitu helposti käsiteltäessä ja varastotaessa
- \* itsepidättävä kiristysmutteri
- \* korroosiosuojattu pinta
- \* liitin on vaihtokelpoinen kaikkien valmistajien DIN/ISO-normin liittimien kanssa, perustuu 24 asteen kartioon ja mutteriin
- \* liitoksen hinta on edullinen ja liittimet ovat yleisesti saatavilla.
- \* liitin on testattu puolueettomasti, jos se on uusi ja käyttökokemukset sovellutusalueilta ovat vähäisiä.

Kuva 1 esittää erään valmistajan edustamien eri liittintyyppien luokittelua ja arvostelua edellämainittujen ominaisuuksien suhteen. Kuvassa 2 on esitetty liittimiä, jotka toteuttavat joko osittain tai täysin edellämainitut vaatimukset.

Nykyisin on saatavilla lukuisia em. tavoitteet täyttäviä liittimiä. Todellisuus poikkeaa kuitenkin tavoitteista. 1990-luvun puolivälissä n. 80 % putkiliitoksista (Saksan tilasto) toteutettiin perinteisellä leikkuurengasliittimellä (metalli vastaan metalli tiivistyksellä). Maailmanlaajuisesti on levitettävyytteen 37 asteen kartiolla varustettu JIC liitin ilmeisesti edelleen yleisimmin käytetty liittintyyppi. Käyttömäärät huomioon ottaen, ei näitä liittintyyppisiä voi nykyisinkään täysin väheksyä.

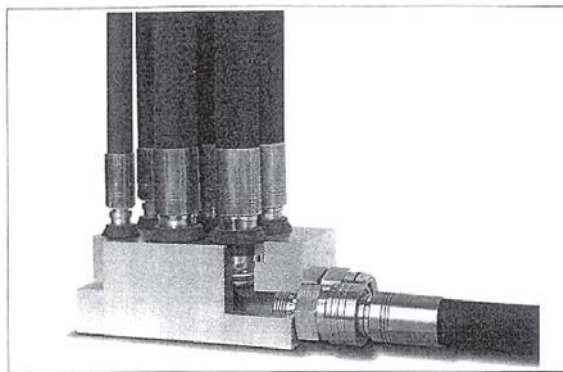
Uusimmat liitinrakenteet, joissa putken pää kylmämuokataan 24 asteen liitinkartioksi asennettavaksi (kuva 2, yläosa), ovat useiden tahojen (esim. tämän artikkelin lähteet) mielestä 2000-luvun putkiliittimiä. Tähän mielipiteeseen päätyy helposti, kun vertaen liittimen rakennetta ja hyvän liittimen vaatimuksia. Käyttökokemuksia on uusista liittimistä vielä verrattain vähän ja puolueettomia testejä (esim. rasiustestejä eri putkimateriaalien yhteydessä) on vaikea löytää.



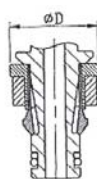
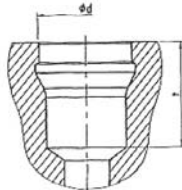
Kuva 2. Liitin-tyyppejä, jotka toteuttavat osittain tai täysin 2000-luvun liittitekniikan vaatimukset (ylhäällä Walter-scheidin Walform, alhaalla vasemmalla hitsattava putkipää, oikealla Parkerin ORFS-liitin).

Perinteisen putkiliittimien rinnalle on viime vuosina esitelty vähän asennustilaa vaativia ilman työkaluja liitettäviä liittimiä (kuva 3). Liittimen valintaan vaikuttavat myös sovellutusalueen määräykset ja standardit sekä putkimateriaali ja tietenkin kustannukset. Useissa puristinkäytöissä ovat turvallisuusmääräykset edellyttäneet hitsattavan elastisella tiivisteellä varustetun putkipään (kuva 2) käyttöä.

Haponkestävillä tai ruostumattomilla putkilla varustetuissa järjestelmissä on putken hinta putkituskustannuksissa merkittävämpi kuin "mustilla" teräsputkilla toteutetuissa järjestelmissä. Saumallinen putki on saumatonta tarkkuusteräspuutkea halvempi ja hitsattavat putkipäät mahdollistavat saumallisen putken käytön. Hitsauksen automatisointi nopeuttaa asennustyötä ja takaa tasalaatuisen tuloksen. Saumalliset putket ja hitsattavat putkipäät johtavat pienempiin kenttäputkiston rakentamiskuluihin verrattuna esim. EO2-Plus liittimillä ja saumattomilla haponkestävillä tarkkuusteräspuutkilla rakennettuun putkistoon.



DN	PN [bar]	Øl [mm]	T [mm]	øD [mm]
6	450	14,7	18,5	22
8	450	14,7	18,5	22
10	445	19,7	18,5	27
12	445	19,7	18,5	27
16	420	24,1	18,5	31
20	420	29,9	24	36



Kuva 3. Ilman työkaluja asennettava letkuliitin, joka mahdollistaa liittämisen pakkauksen pieneen tilaan /9/.

Laippaliitäntöjen käyttöön siirrytään teollisuusjärjestelmissä viimeistään, kun putkikoko on suurempi tai yhtäsuuri kuin DN40. Mobilekäytössä käytetään laippaliitoksia usein jo koosta 16 mm (1/2") alkaen. Teollisuuslaitosten standardeissa (esim. paperitehtaat) määritellään laippaliitoksen käyttöönottorajaksi usein putkikoko 30 mm tai suurempi. Usein käytetään hitsattavia laippoja ja liittämiseen suositellaan puskuhitsiä pienahitsin sijasta.

Kansainvälisesti käytössä olevat laippaliitinstandardit ovat:

- ISO 6162 4-reikäinen jaettu laippa (SAE)
- ISO 6164 4-reikäinen neliömäinen laippa

Näiden lisäksi käytetään DIN laippoja, DIN 2632, 2638 ja 2629, joita useat komponenttivalmistajat käyttävät komponenttien tulo- ja lähtöliitäntöissä. DIN laippoja käytettäessä on O-rengasura usein koneistettava laipan sileään pintaan. DIN laippoja on olemassa kokoon DN1000 (max. paine 400 bar) saakka. DIN laippojen haittapuolena on laipan suuret ulkomitat. SAE-laippoja (ISO 6162) on kokoon DN100 saakka. SAE-laippaliitos on joko yhdestä osasta koostuva hitsattava (ei asennoituva) tai asennoituva moniosainen laippaliitos. Pyöreitä laippoja käytetään kokoluokassa DN 100 tai suurempi. Pyöreille laipoille on tulossa uusi standardi ISO/DIS 6163-1.

GS-Hydrolla on lisäksi kauan käytössä ollut laippaliitinrakenne, jossa pidätintoiminto aikaansaadaan putkeen koneistettuun uraan asennetun jousirenkaan avulla ja laippa vastaa jousirenkaaseen. Uran koneistus edellyttää suuremman putkiseinämän käyttöä kuin painetarve joissakin tapauksissa edellyttäisi. Laippaliittämiä pidetään hyvän tiiveyden takaavina liittiminä. Liitoksen yhteydessä tavattavien vuotojen aiheuttajat liittyvät O-rengasliitokseen, jota on käsitelty kappaleessa 4.2.1.

Putkiliittimien lähtöliitäntöissä käytetty kierrelliitäntä on tärkeä osa putkiliitintekniikkaa. Amerikassa on teollisuushydrauliikassa edelleen käytössä kartiokierreitä, joiden tiiveys on varmistettava liimalla. Euroopassa käytetään lähtöliitinkierteenä yleisesti ISO 1179:n (DIN 3852) mukaista Form E:tä, jossa kierteenä on suora tuumainen BSP-kierre tasauksella varustettuna. Nykyisin lähes standardina kiinnitetään tähän kierteeseen lähtöliitin, jonka tasopinnassa on ura ja urassa elastinen kierrelliitännän tasopintaa vasten tuleva rengas (Ermeton ED-tiivistys). Aiemmin käytettiin elastisen renkaan sijasta lähtöliittimeen sorvattua tiivistesarjmaa. Yleisesti ollaan yksimielisiä siitä, että lähtöliittimen tiivistyksen on oltava elastinen ja muut ratkaisut tulisi "julistaa pannaan".

Kansainvälisen standardisointikomitean ISO TC 131 ehdotuksen mukaan tullaan nykyisin käytössä olevat standardikierrelliitännät (kolme kappaletta) korvaamaan pitkällä aikavälillä ISO 6149:n (SAE J514/DIN 3852) mukaisella liitoksella, jossa käytetään metristä kierrettä ja tiivistepintana kartiopintaa, johon liittimen kaulalla olevaan uraan sijoitettu O-rengas vastaa. Kuvassa 4 on esitetty eri lähtöliitintyyppien vertailu ja osoitettu suunta kohti suositeltavia liittimiä.

Putkista, liittimistä ja letkuista koostuvan kenttäputkiston rakentamisen suuntalinjoja ovat:

- ★ hitsauksien lisääminen ja hitsauksen automaatioasteen kohottaminen; vain ehdotonta avausta vaativat kohdat varustetaan liittimillä
- ★ toinen suuntalinja suosii etukäteen valmisteltuja usein laippaliitännöillä varustettuja putkia, joista asennuskohteessa kootaan kenttäputkisto

Paperi- ja metsäteollisuuden laitoksissa hydraulikka-putkistot (laitteita yhdistävät kenttäputkistot) rakennetaan pääsääntöisesti paikan päällä. Esiasennettuja ovat koneiden rungoilla kulkevat putkistot. Putkihal-kaisijaan 42 mm saakka liitetään putket liittimillä ja suurempihalkaisijaiset hitsataan ja liitetään laippaliit-timillä kohdista, joissa putkiston avaaminen tai pur-kaminen on välttämätöntä asennus- tai kunnossapi-tosyistä.

Sarjavalmisteisten mobilekoneiden putkistot taivutaan numeerisesti ohjatuilla koneilla, joiden käytön yleistymisen teollisuushydrauliikan koneikko- ja vent-tiililinelvalmistuksessa etenee hitaasti. Tiiveyden säi-

lymisen kannalta on putkiston kannakointi suunnitel-tava hyvin lämpölaajenemisvarat huomioon ottaen. Letkuille ja kriittisiksi luokitelluille putkien liitoskoh-dille "tulisi" pystyä määrittämään vuodontarkastus- ja vaihtovälisuositus. Työturvallisuuden kannalta kriit-tiset letkut on osoitettava ja suojattava. Letkun pään irtoaminen on estettävä ketjulla työturvallisuutta vaa-rantavissa kohteissa.

## 4.2 Tiivisteet

Tiiveyden osatekijöistä on tärkein tiiviste, jonka pää-tehtävä on vuodoton tiivistäminen yhdistyneenä mah-dollisimman pieneen kitkavoimaan. Tarkastellaan ny-kyisiä staattisia ja dynaamisia tiivisteitä ja tiivistetek-niikan kehitysnäkymiä.

### 4.2.1 Staattiset tiivisteet

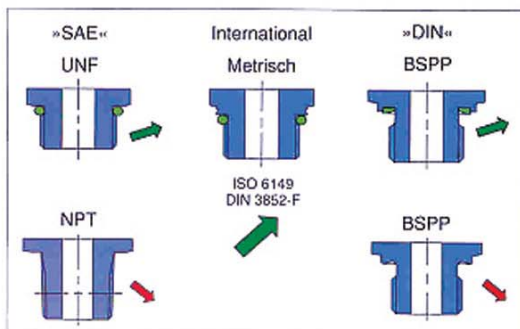
Vuonna 1939 patentoitu O-rengas on säilyttänyt ase-mansa hydrauliiikan yleistiivisteenä. O-rengas on ai-noa tiivistemuoto ja rakenne, joka on standardoitu (DIN 3771). Useimmat hydrauliiikan staattiset tiivis-teet toteutetaan O-renkaan avulla. Venttiilin vir-tausaukkojen ja asennuslaatan/lohkon välinen tiivistys (akσιαalinen tiivistys), patruunapesän ja pesän asennusporauksen välinen tiivistys (radiaalinen tiivistys), laippaliitosten tiivistys, tulppien ja kansien tiivistys ja erilaiset läpivientitiivisteet ovat esimerkkejä O-renkaan käytöstä. O-rengasliitos on edustanut lähes vuodotonta tiivistystapaa. Muiden vuotokohteiden vähentyessä ovat O-rengasliitoksen vuototapaukset nousseet korostuneemmin esille. Lohkotekniikan li-sääntyvä käyttö, lohkojen piensarjavalmistus, O-ren-gas materiaalien suuri määrä ja laadun vaihtelu, ovat myös lisänneet vuotoihin johtaneita syitä. Kuvassa 5 on esitetty tiivistevalmistaja Busak+Shambanin ko-kemuksiin perustuva tilasto O-rengasvaurioiden aiheuttajista. O-renkaan ohella muita staattisen tiivistyksen tiivisterakenteita esittää kuva 6.

### O-rengasliitoksen tiiveyden varmistaminen ja staattisen tiivistyksen kehittäminen.

O-rengasliitoksen vuotojen aiheuttajat ovat yleisesti tiedossa /esim. lähteet 1, 6, 7, 14, 16, 18/. Perinteisen O-rengasliitoksen tiiveyttä voidaan turvata seu-raavin menetelmin:

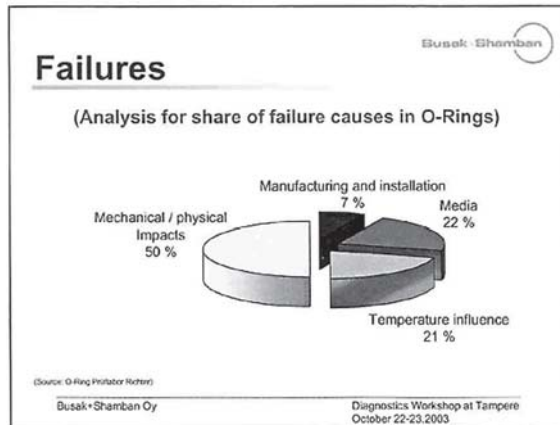
- valvotaan, että liitettävien osien pinnanlaatu on hyvä ja pintojen muototoleranssit toteutuvat
- varmistetaan esipuristuman riittävyys; useissa O-rengasluetteloissa suositusvälys johtaa pieneen esipuristumaan (n. 12 %). Nauhan halkaisijan ollessa suurempi kuin 3.5 mm on suurin suositeltu esipuristuma n. 20 % ja nauhan halkaisijoilla 1.8...2.65 on suurin suositeltu puristuma 20...30 % /16/
- valvotaan O-rengas materiaalin laatua (kts. kuva 7, DVR-arvo)
- käytetään oikeaa rengaskovuutta (riippuu käyttö-paineesta ja painevaihtelusta, välyksen koosta, osien pinnanlaadusta, liitettävien osien jäykkydestä)
- varmistetaan, että kiinnitysruuvit eivät pohjaa
- korvataan O-rengas paremman tiiveyden takaa-valla suorakulmaisella R-renkaalla.

»DIN« (Metrisch/ BSPP)				
	Kupferscheibe	O-Ring und Kammerring	Metallische Dichtkante	Profildichtung in Nut
Normung	DIN 3852-2 Form A	DIN 3852-2 Form A	ISO 1179-4 DIN 3852-2B	ISO 1179-2 DIN 3852-2 E
Gewindearten	Metrisch/ Rohr G	Metrisch/ Rohr G	Metrisch/ Rohr G	Metrisch/ Rohr G
Globale Verbreitung	Sehr gering	Sehr gering	Hoch	Sehr hoch
Dichtfunktion	Metallisch	Elastomer	Metallisch	Elastomer
Druckbelastbarkeit	Niedrig	Mittel	Mittel	Hoch
Anzahl der Bauteile	2	3	2	1
Dichtverhalten	Gut	Gut	Sehr gut	Hervorragend
Erstmontage	Kritisch	Sehr gut	Sehr gut	Hervorragend
Service	Kritisch	Sehr gut	Kritisch	Hervorragend
»SAE« (NPT/UNF/ Metrisch)				
	Konisches Gewinde mit Dichtmittel	O-Ring in Fase (UNF)	O-Ring in Fase mit Deckscheibe	O-Ring in Fase (metrisch)
Normung	ANSI B1.20.1-1983	ISO 11926	ISO 6149 SAE J 1926	ISO 6149 DIN 3852-3 F
Gewindearten	Metrisch/ Rohr G/NPT	Metrisch/ Rohr G	Metrisch/ Rohr G	Metrisch/ Rohr G
Globale Verbreitung	Gering	Hoch	Hoch	Noch gering
Dichtfunktion	Zus. Dichtmittel	Elastomer	Elastomer	Elastomer
Druckbelastbarkeit	Hoch	Sehr hoch	Mittel	Sehr hoch
Anzahl der Bauteile	1	1	1	1
Dichtverhalten	Gut	Hervorragend	Sehr gut	Hervorragend
Erstmontage	Kritisch	Hervorragend	Sehr gut	Hervorragend
Service	Kritisch	Hervorragend	Hervorragend	Hervorragend



Kuva 4. Lähtöliitinyhteiden ominaisuuksien vertailu ja vihreillä suuntanuolilla osoitettu suositeltavien liitännöiden suunta /20/.

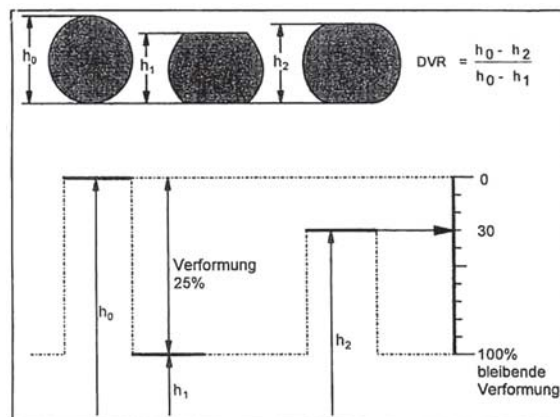




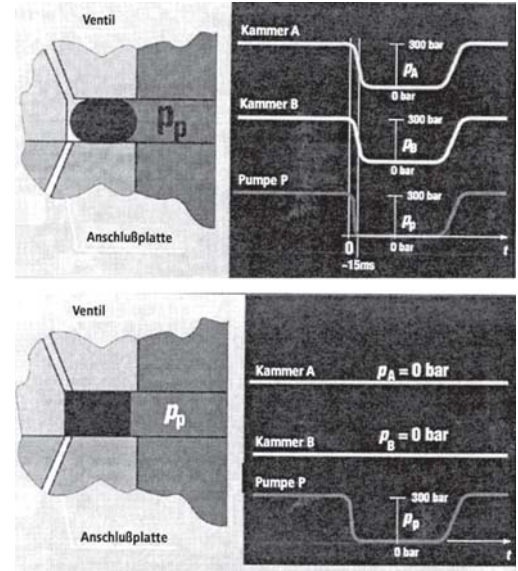
Kuva 5. O-rengasvaurioiden aiheuttajia tiivistevalmistaja Busak+Shambanin mukaan.

Statische Dichtungen:		
<p>O-Ring</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>einfacher Aufbau, einfache platzsparende Nutgestaltung</li> <li>vielfältig in der Verwendung</li> <li>preiswert</li> </ul>		
Dichtungsformen	veränderte Eigenschaften gegenüber dem O-Ring	Anwendungsbeispiele
<p>Rechteck-Ring</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>kein Walken der Dichtung in der Nut, wegen der besseren Kammerung</li> <li>größere Anlage bzw. Dichtfläche</li> <li>besserer Compression-Set wegen des größeren Volumens</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deckelabdichtungen axial und radial</li> <li>Flanschverbindungen</li> <li>Ventilabdichtungen</li> </ul>
<p>Quad- oder X-Ring</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verdrängung bei der Montage</li> <li>Anpreßkraft geringer als beim O-Ring</li> <li>kein störender Preßgrat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>auf Grund der geringen Anpreßkräfte kann der Quad-Ring auch zur Abdichtung gering zueinander bewegter Bauteile eingesetzt werden</li> </ul>
<p>USIT-Ring</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stahlring verhindert eine zu hohe Verpressung des Elastomertelles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einschraubstutzen</li> <li>Flanschverbindungen</li> <li>Schottverschraubungen</li> </ul>

Kuva 6. O-renkaalle vaihtoehtoisia staattisia tiivisteitä ja niiden ominaisuuksia O-renkaaseen verrattuna /5/.



Kuva 7. O-renkaan muodonmuutosvakio (DVR-arvo) ilmoittaa renkaaseen jäävän pysyvän muodonmuutoksen, kun esipuristus vapautetaan. Mitä pienempi arvo on, sitä parempi on tilanne tiivistyksen kannalta. Suurin sallittu vakion arvo on n. 25 % /5,18/.



Kuva 8. Sykkivän paineen ( $P_p$ ) vaikutus O-renkaan ja R-renkaan takaa mitattuihin paineisiin (mittauskanavat renkaan takana).

Suorakulmisen renkaan (kuva 8) avulla saavutetaan seuraavat edut:

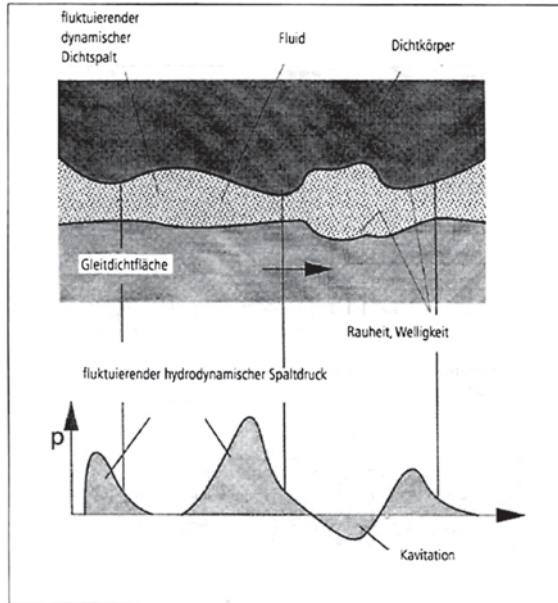
- rengas täyttää suorakulmisen uran täysin ja vältetään kuvassa 8 esitetty painevaihtelu uran alueella
- voidaan asentaa aiempaan O-renkasuraan ja tiivisteeseen muoto ja asema säilyy urassa paremmin
- tiivistepinta on suurempi ja pinnanlaadulle asetetuista vaatimuksista voidaan tinkiä
- renkaan elinikä (vaihtoväli) on pitempi
- voidaan sallia suurempi välilyönti eikä tarvita tukirengasta

#### 4.2.2 Dynaamiset tiivisteet (lineaariliike ja pyörimisliike)

Toistensa suhteen liikkuvien pintojen välisen raon tiivistys ja nesteen ulospääsyn estävän ilmiön ymmärtäminen, on ollut hyvin pitkään tekniikkaa, jota ei ole oivallettu. Tiivistystekniikan tutkimus on laiminlyöty ja ilmiöiden huonosta hallinnasta johtuen on tiivisteiden valinta käyttökohteisiin ollut usein huonosti harkittua. Tiivistystekniikka on ollut kokemuseräinen "tiede". Viimeisen n. 15 vuoden aikana tehty perustutkimus ja parantuneet laskentamahdollisuudet ovat lisänneet ymmärrystä ja jopa muuttaneet täysin käsityksiä tiivisteiden toiminnasta. Erityisesti pyörivän pinnan tiivistystapahtuma ja tiivisteiden vastinpinnan laadun merkitys, on tullut "julkiseksi" tiedoksi vasta 1990-luvulla /3,4,6/.

Materiaalitekniikka on tiivistystekniikan tärkein osa-alue. Vuonna 1795 valitsi Joseph Bramnah nahan ensimmäisen hydraulisen puristimen sylinterien tiivistämateriaaliksi. Nahka, kyllästetty puuvillakangas ja luonnollinen sekä keinotekoinen kautsu olivat yli 150 vuoden ajan yleisimmät hydraulisten laitteiden tiivistämateriaalit. 1960-luvun lopulla toi kemianteollisuus markkinoille polyuretaanimateriaalit ja tiivisteiden valmistus ruiskupuristamalla saatiin hallintaan.

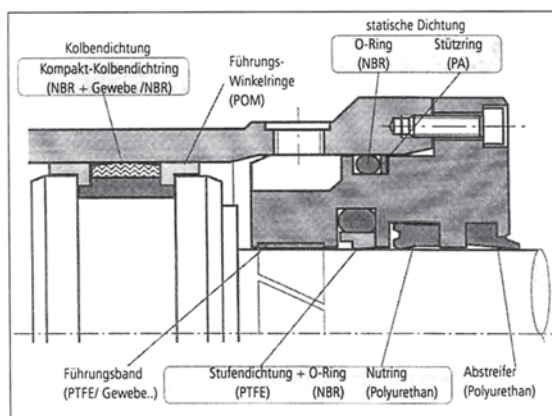




Kuva 9. Painejakautuma tiivisteiden ja vastinpinnan välissä /6/.

Tiivistemateriaaleina käytetyt PU-seokset ovat kehittyneet merkittävästi alkuajoista ja vähitellen "hiljaisen vallankumouksen" kautta syrjäyttäneet muut materiaalit. Nykyiset termoplastiset polyuretaanit (TPU) ovat mahdollistaneet aiempaa laajempaa käyttölämpötila-alueen.

Staatissa tiivistyksessä on tiivistemateriaalin esipuristuman aiheuttama paine tiivistettävää painetta suurempi. Dynaamisessa tiivistyksessä on ollut olennaista ymmärtää, että tiivistysvaikutus riippuu tiivisteiden puristusvoimakäyrän muodosta, johon vaikuttaa esim. lineaariliikkeen tiivisteissä, tiivisteiden sisäänmeno ja ulostuloviisteiden muodoilla. Dynaamisessa tiivistyksessä muodostuu liikkuvan pinnan ja tiivisteiden väliin hydrodynaamisten ja elasto- sekä mikroelastohydrodynaamisten voimien vaikutuksesta ohut rako. Raon paksuus vaihtelee ja riippuu pinnan karheudesta ja tiivistemateriaalin viskoelastisuudesta. Öljy virtaa tiivisteiden ja sen vastinpinnan välissä



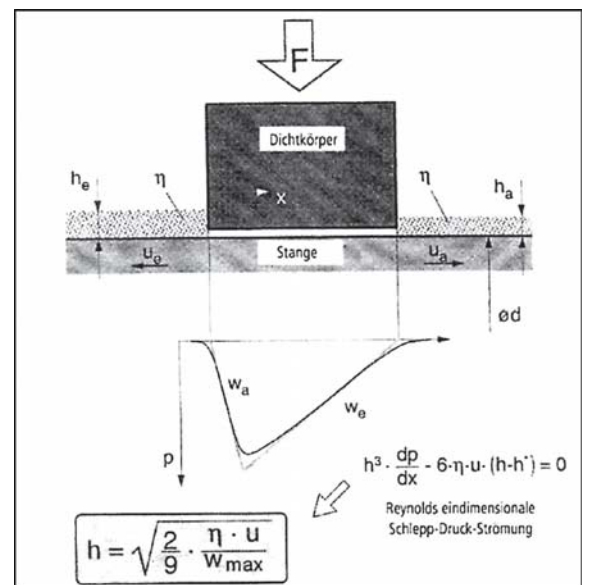
Kuva 10. Sylinterin männän ja männänvarren tiivistejärjestelmä /6/.

välillä kapenevassa ja välillä avautuvassa raossa (kuva 9). Virtausta aiheuttaa pinnan liikkeen lisäksi tiivisteiden ylitse vaikuttava paine-ero. Männänvarren tiivisteessä keskimäärin n. 1 mikrometrin paksuinen öljykalvo siirtyy pinnan liikkeen mukana ulos yhden tai useamman tiivisteiden kautta. Vuodolla on tiivistettä voiteleva ja jäähdyttävä vaikutus.

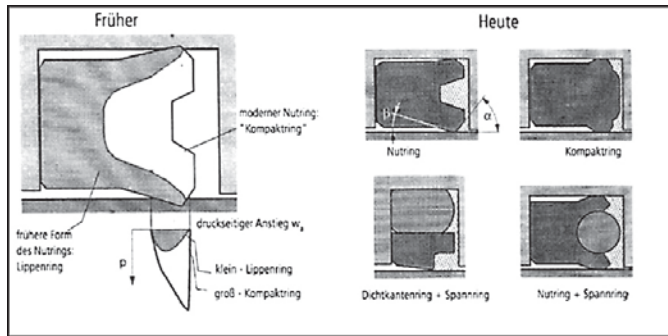
Dynaamisissa tiivistystilanteissa ei saavuteta absoluuttista tiiveyttä ja on otettu käyttöön teknillisen tiiveyden käsite.

**Männänvarsen tiivisteet:** Männänvarren tiiviste koostuu varren ohjaimen, tiivisteiden ja pyyhkijän (luovuttimen) muodostamasta kokonaisuudesta (kuva 10). Aiemman ajatustavan mukaan tuli varren tiivisteiden tiivistemateriaalin olla mahdollisimman pehmeää ainetta ja tiiviste painettiin varren pintaan suurella voimalla hydraulista painetta hyödyntäen. Dynaamisissa tilanteissa nämä "staatissa periaatteella" toteutetut tiivisteet eivät olleet vuodottomia.

Nykyisin tehdään männänvarsen tiivisteet kovasta materiaalista (jäykkä polyuretaani tai PTFE). Tiivisteiden painepuolella käytetään jyrkkää tuloviistettä tiivistettävän pinnan ja varren välillä. Poistopuolella on viiste loivempi. Tiivisteiden painepuolella on paineen muutosnopeus tiivisteiden tuloaukossa suuri; paluupuolella on muutos loivempi (kuva 11). Jyrkkä painegradientti johtaa pieneen öljykalvoon, loivempi paksumpaan kalvoon. Tiivistettä voidaan pitää "vuodottomana", jos varren mukana ulos tulevan öljykalvon paksuus on pienempi kuin sen öljykalvon paksuus, jonka varsi pystyy sisäänmenessään potentiaalisesti kuljettamaan takaisin. Nykyisten tiivisteiden viisteet ja materiaalit on mitoitettu siten, että tämä ehto toteutuu. Aiempaa männänvarren tiivistettä ja nykyisiä rakenteita esittää kuva 12.



Kuva 11. Männänvarren tiivisteiden puristusprofiili varren liikkessa ulospäin (nopeus  $U_a$ ) ja sisäänpäin ( $U_e$ ). Tiiviste ei vuoda, jos varsi pystyy kuljettamaan sisäänpäin paksuun öljykalvon ( $h_e$ ) kuin mitä öljyä siirtyy ulospäin ( $h_a$ ) /6/.



Kuva 12. "Aiemman" ajan pehmeä männänvarren tiiviste vasemmalla ja oikealla nykyisiä tiivistekenteitä /6/.

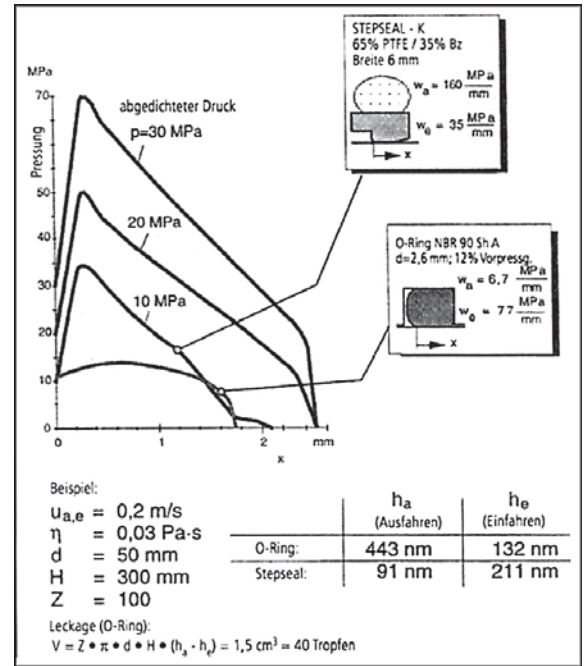
Tietyn tiivisteelle ominaisen painearvon jälkeen paine tiivisteeseen paluupuolella (tiivisteeseen pituuden loppupäässä) kehittyä niin suureksi, että tiiviste alkaa vuotaa (kuva 13). Tällöin voidaan käyttää useita sarjaankytkettyjä tiivisteitä joko tiivisteiden välisellä vuotoöljyliitännällä varustettuna tai ilman. Rakenteen valintaan vaikuttaa varren liikenoikeuksien suhde (sisään/ulos) ja tiivistettävä paine sekä tiiveydelle asetettu tavoite.

**Pyyhkijät:** Pyyhkijän ensisijainen tehtävä on puhdistaa varsi liasta, vedestä ja muista epäpuhtauksista sisäänmenoliikkeen aikana. Nykyisin on käytössä kaksoishuulella varustettuja pyyhkijärenkaita, joissa toinen lähinnä tiivistettä oleva huuli pyyhkii mahdollista tiivisteeseen kautta vuotanutta öljyä. Pyyhkijöiden osalta on keskitytty tutkimaan tilannetta, joka syntyy, kun likaa pyyhkivä tiivisteeseen uloin reuna on liian tiukka ja poistaa lian lisäksi myös ohuen öljykalvon (mikron luokkaa), joka on tullut ulos varren liikkuessa ulospäin. Tämän öljykalvon tulisi palautua takaisin sisälle varren sisäänajoliikkeen aikana (kuva 14).

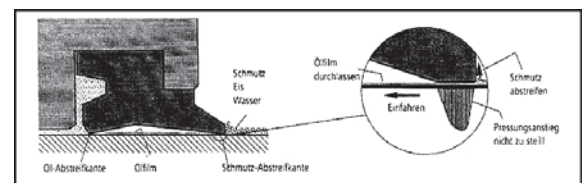
Kuva 15 esittää paineenrajoitustoiminnolla varustettua pyyhkijää (luovutinta). Pyyhkijään on yhdistetty tiivistystoiminto eikä primääritiivisteeseen jäljessä käytettyä sekundääritiivistettä kuten kuvassa 10. Jos primääritiiviste pettää ja öljyn paine tiivisteeseen ja luovuttimen välitilassa ylittää arvon n. 3 bar, päästää luovutin öljyn yläreunansa kautta lävitse. Paineennousu ei johda pyyhkijän irtoamiseen ja pyyhkijä säilyy toimintakykyisenä (estää lian sisällepääsyn). Läpikässytty vuoto ilmaisee primääritiivisteeseen rikkoutumisen.

**Varren ohjurit:** Tiiviste ja varren ohjaimet toimivat yhteistyössä. Vuotoon johtava tilanne syntyy, jos tiivisteeseen tulopuolella olevan ohjurin ja varren välitys on niin pieni, että varren mukana kulkeutuva öljy ei pääse palaamaan takaisin varren liikettä vastaan vaan nostaa painetta ohjurin matkalla ja tiivisteeseen edessä. Paineen nousu voi olla staattista painetasoa huomattavasti suurempi ja johtaa tiivistevuotoon. Toinen yleinen suurilla painetasoilla (>300 bar) esiintyvä varren ohjaukseen liittyvä tiivisteaurio syntyy, kun tiivisteeseen jättöpuolella on liian suuri rengasrako (ei ohjainta tai väärä välitys) ja tiiviste työntyy välykseen.

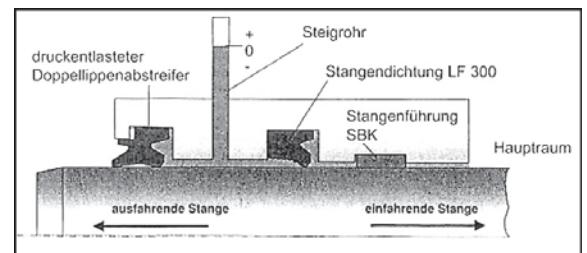
Nykyisellä tiivistetekniikalla saadaan aikaan teknisesti vuodottomia sylintereitä, mutta on oltava valmiutta maksaa näistä ratkaisuista standardisylintereissä käytettyä tekniikkaa enemmän. Nyrkkisääntönä on esitetty /3/, että kalliissa erikoissylintereissä voi tiiviste maksaa 5...6% sylinterin hinnasta ja halvoissa standardisylintereissä 1.5...2%. Halvankin tiivisteiden tulisi kuitenkin toteuttaa päätehtävänsä. Tiivisteiden vastinpinnan laatu on olennainen kustannuksiin vaikuttava tekijä. Pinnanlaatua on käsitelty kappaleessa 4.3.



Kuva 13. Puristuspainejakautuma männänvarren tiivisteeseen pituuden matkalla tiivistettävän paineen ollessa muuttujana (10, 20, 30 MPa). O-renkaan puristuspainetta muuttuu jyrkemmin tiivistettävän paineen vastapuolella, jolloin varren sisäänajoliikkeen aikana ei varrenpinnan mukana liikkuva öljykerros pääse takaisin sylinteriin /6/.



Kuva 14. Kaksireunaisen pyyhkijän (luovuttimen) toimintaperiaate. Liian suuri ulkosärmän puristuspainetta pyyhkii öljykerroksen varrelta ja estää öljyn pääsyn sylinterin sisälle /6/.



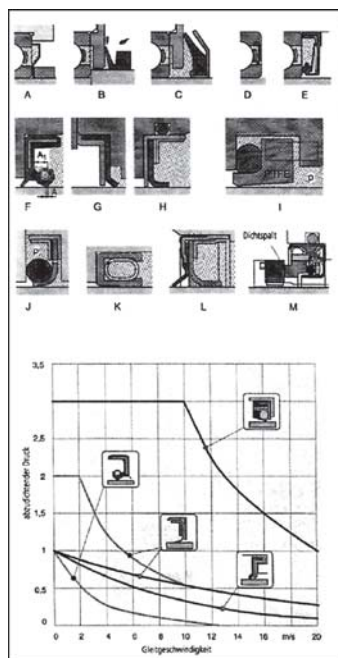
Kuva 15. Paineenrajoitustoiminnalla varustettu pyyhkijä, joka vapauttaa paineen pyyhkijän ja tiivisteeseen välisestä tilasta ennen pyyhkijän irtoamista. Kuva esittää järjestelyn koeyhteyttä (paineen mittaus välitilasta) /21/.

### Pyörivien akselien tiivisteet:

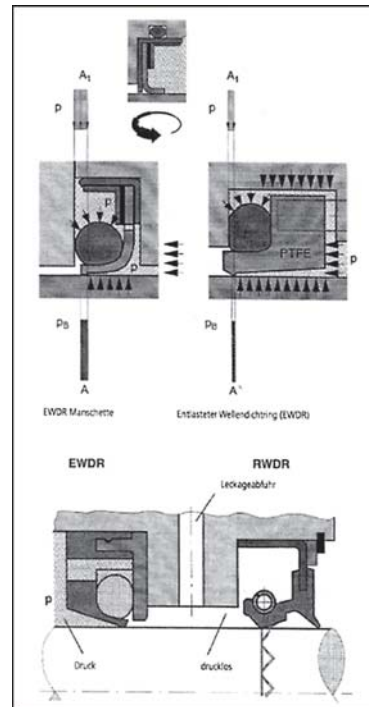
Mahdollisimman pieni vuoto ja pitkä käyttöikä ovat tavoitteina ristiriitaisia, koska pitkä käyttöikä edellyttää tiivisteiden voitelua ja voitelu johtaa helposti vuotoon. Tiivisteiden ja tiivistettävän pinnan välille muodostuvan paineen on vastattava vähintään tiivistettävän nesteen painetta, mutta pintojen välinen paine ei saa muodostua kovin paljon suuremmaksi (lämpeneminen). Tiivisteiden rungon on mukauduttava myös akselin säteittäiseen liikkeeseen, mutta samalla on rungon oltava riittävän jäykkä paineen aiheuttamille muodonmuutoksille. Tiivisteiden suunnittelu on "taiteilua" em. tekijöiden välillä. Painevoimat tulee kompensoida tiivisteessä siten, että tiivisteiden ja tiivistettävän pinnan välille muodostuu sopiva pintapaine kaikissa olosuhteissa.

Kuva 16 esittää erilaisia radiaaliivisterakenteita. Yleisesti nykyisin käytössä olevat radiaaliivisterengaat soveltuvat vain pienien paine-erojen tiivistykseen. Kuvassa 17 on esitetty uusia rakenteita. Painevoimien tasapainotusta hyödyntäen on kehitetty tiivisteitä, joissa tiivistettävä paine-ero voi olla n. 30 bar ja liukunopeus n. 20 m/s. Uusimmissa rakenteissa on äkkiä katsoen vanhat ajatustavat käännetty ympäri, kun on pyritty kompensoimaan tiivisteeseen vaikuttavia painevoimia. Jos tavoitteena on lähes absoluuttinen tiiveys, esitetään ratkaisuksi uusimman mallin mukaista radiaaliivistettä, vuotoöljyporausta tiivisteiden jälkeen ja uloimpana osana perinteisempää radiaaliivistettä (kuva 17 alaosa).

Pyörimisliikkeessä voi tiivisteiden vastinpinnan mikro- ja makrorakenne aiheuttaa nestettä siirtävän pyörrevoiman, joka voi johtaa vuotoon tai tiivisteiden puutteelliseen voiteluun. Vastinpinnan laatuvaatimuksia ei ole päivitetty samalla tahtia tiivisterakenteiden kehityksen kanssa. Vastinpinnan hionta siten, että pintarakenne ei aiheuta nesteen liikettä, johtaa pitkiin hionta-aikoihin. Vastinpinnan laatuvaatimukset ja laadun todentaminen tunnustetaan alueeksi, jota on jatkossa kehitettävä.



Kuva 16. Radiaaliivisterakenteita. Yleisesti käytetään radiaaliivisterengasta F, joka soveltuu vain pienien paine-erojen (<math><0.2...0.3 \text{ bar}</math>) yhteydessä käytettäväksi. Mallit I, J ja M soveltuvat suuremmille paineille ja suuremmille liukunopeuksille. Alimmainen kuva osoittaa tiivistetyypin F, G ja H liukunopeusraja-erisuuruisille tiivistettävälle paineille. Ylimmäinen käyrä edustaa tiivistetyypin I variaatiota, joka on tiivistysominaisuuksiltaan ylivoimainen /6/.



Kuva 17. Radiaaliivisteiden suunnitteluun liittyvää optimointia. Tiivistettävä paine ei saa aiheuttaa liian suurta tiivistettä kuluttavaa puristusvoimaa. Painevoimien tasapainotusta hyödyntäen on kehitetty tiivisteitä, joissa tiivistettävä paine-ero voi olla n. 30 bar ja liukunopeus n. 20 m/s. Uusimmissa rakenteissa on äkkiä katsoen vanhat ajatustavat käännetty ympäri, kun on pyritty kompensoimaan tiivisteeseen vaikuttavia painevoimia. Jos tavoitteena on lähes absoluuttinen tiiveys, esitetään ratkaisuksi uusimman mallin mukaista radiaaliivistettä, vuotoöljyporausta tiivisteiden jälkeen ja uloimpana osana perinteisempää radiaaliivistettä (kuva 17 alaosa).

### 4.3 Tiivistystekniikan haasteet ja kehityksen painopistealueet /3, 5, 6, 12, 13/

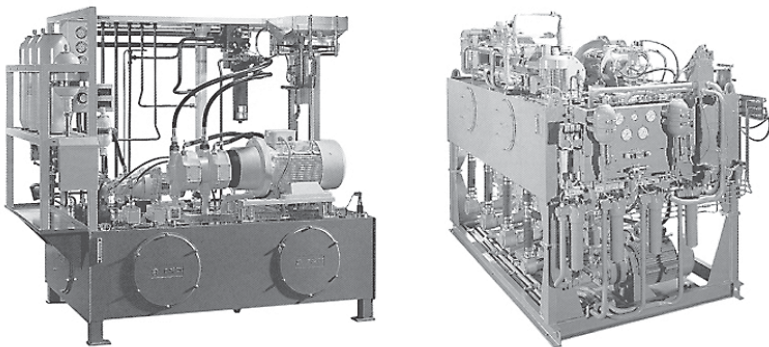
Tiivisteitä tutkivat tahot ovat hyvin selvillä alueista, joista puuttuu tietoa. Loppukäyttäjillä ja koneenvalmistajilla on odotuksia, joihin löytyy ratkaisu vain tutkimustyön kautta. On hallittava tiivisteiden tribosysteemi, joka käsittää tiivisteiden (materiaali, muoto), vastinpinnan ja voiteluaineen sekä ympäristöolosuhteet. Tiivistystekniikan lähitulevaisuuden haasteita ovat:

- FEM mallinnuksen hyödyntäminen ja jatkokehitys, tarvitaan mm. tarkempia materiaalmalleja
- laskettujen tulosten todennus mittauksin (vaatimus tutkimustyössä) tuottaa nykyisin vaikeuksia; mittaukset koeympäristössä ovat yksi- tai kaksiulotteisia, ilmiöiden ymmärtäminen edellyttää kolmiulotteista teoriatarkastelua.
- tiivistemateriaalin valinnassa on huomiotava myös materiaalin soveltuvuus sarjavalmistukseen; toiminnalliset ja valmistukselliset vaatimukset eivät ole aina yhteneviä, on hallittava suuri määrä erilaisia materiaaleja loppuvaatimusten säilyessä vakiona
- vastinpinnan pinnanlaatu on aihe, josta löytyy puutteita kaikilta alueilta; 1) ei osata vaatia oikeaa laatua eikä ymmärretä pinnanlaadun merkitystä, 2) piirustuksiin merkittävät pinnanlaatuvaatimukset ja merkinnät vaihtelevat, 3) nykyisillä pinnanlaadun mittalaitteilla ei pystytä todentamaan vaaditun pinnan toteutumista (mm. karheushuipujen laatua/lajia ei pystytä todentamaan), 4) pinta on kolmiulotteinen ja yleisesti käytössä olevat mittaukset ovat yksi- tai kaksiulotteisia, 5) pinnan rakenteen mallintaminen laskennassa tuottaa vaikeuksia (esim. uudet pinnoitteet), 6) vastinpinnan laatu alkaa muuttua heti käyttöönoton jälkeen, 7) erilaiset uudet pinnoitusmenetelmät yleistyvät hitaasti, 8) mikä on kompromissi pinnanlaadun ja valmistuskustannusten välillä?
- mobileikäyttöissä on vaatimuksena käyttölämpötila-alueen laajentaminen alueelle  $-45^{\circ}\text{C}...+120^{\circ}\text{C}$ ,



joka on mahdollista jo käyttöön otetuilla materiaaleilla (termoplastiset polyuretaanit, fluorisilikonit)

- tiivisteiden elinikä riippuu useista muuttujista, käyttäjien taholta asetetaan elinikä tavoitteeksi suuria käyttötuntimääriä (esim. 20 000 h), jotka edellyttävät vakio-olosuhteita toteutuakseen
- tiivisteiden vaihtotyö edustaa usein työkustannuksiltaan merkittävää kuluerää; esim. suuren sylinterin männänvarren tiivisteiden vaihto oli vanhoilla pakkatiivisteillä (katkaistava nauha) helppo juttu verrattuna nykyisten tiivisteiden vaihtotyöhön
- ennakoivan kunnossapidon mahdollistava tiivisteiden toiminnan valvonta, vuoto tulisi havaita helposti vähintään visuaalisesti, käyttäjät odottavat myös kehittyneempiä valvontatapoja, esim. kulumista ilmaisevan anturoinnin liittäminen tiivisteiden rakenteeseen, erilliset vuotoöljyliitännät alkavien vuotojen havainnointiin ym.
- standardoituja asennusuria tiivisteille ei pidetä kehitystä rajoittavina tekijöinä



Kuva 18. Putkiliittimillä toteutettuja koneikkojen putkituksia. Osa järjestelmän venttiileistä on sijoitettu koneikolle. Huollettavuus ei ole paras mahdollinen.



Kuva 19. Lohkoihin keskitetty koneikon hydraulikka /23/.

#### 4.4 Hydraulijärjestelmien rakennetekniikka /14,15/

Oikein valitut ja mitoitettut komponentit ja putkistot yhdistyneenä harkittuun rakennesuunnitteluun, jossa on huomioitu hyvän huollettavuuden vaatimukset, antaa järjestelmälle laadun leiman ja parantaa hydraulitekniikan imagoa.

Esimerkkejä rakennetekniikasta:

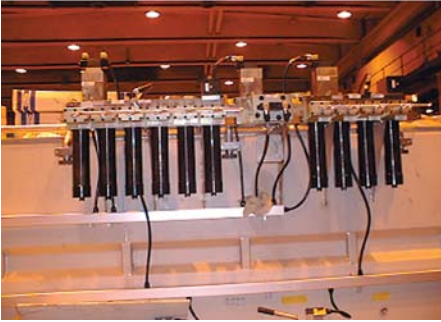
- lohkojen käyttö koneikolla putkiliitosten vähentämiseksi ja koneikon ulko-osan siistimiseksi; toimintojen keskittäminen lohkoihin (kuva 18 esittää putkittamalla toteutettuja koneikkoja ja kuva 19 lohkotekniikalla toteutettua koneikkoa. Kuva 20 esittää koneikkoa, jonka putkistusta on vähennetty lohkorakenteita kehittämällä)
- joskus kannattaa lohkoista siirtyä takaisin putkiin putkitustyön ja liitosten vähentämiseksi (kuva 21)
- moduloimalla koneikon eri toiminnot (suodatus, jäähdytys, matalapainepumppaus, korkeapainepumppaus, venttiilit ja kenttäputkiliitännät) voidaan koneikko kokoonpanna "palikoista", joiden sijoitusta vaihtelemalla saadaan suuri koneikko sovitettua erilaisiin asennustiloihin (kuva 20)
- järjestelmän osien (venttiililinjat, lohkot, koneikot) oikea sijoittelu pienentää kenttäputkiston rakentamiskuluja ja järjestelmän painehäviöitä (kuva 21)
- ryhmäpohjalaatta yhdessä väli-laattaventtiilien kanssa mahdollistaa erilaisten kytkentöjen toteutuksen saman perusrakenteen avulla liittimien määrän pysyessä pieninä; liitospintojen ja O-rengastiivistysten määrä on sensijaan suuri
- usein toistuvaa sovelluskohtaista venttiilistöä varten, jota ei voi toteuttaa standardiryhmäpohjalaatoilla, kannattaa suunnitella ko. järjestelmän ryhmäpohjalaatta, joka koostuu useista erilaisista toisiinsa liitetyistä lohkoista (kuva 22)
- komponenteilla, joihin on liitetty mm. painelähtimiä ja säätöelektronikkaa, saadaan yksinkertaistettua myös rakenteita (kuva 23)
- suurien putkivetojen vienti telineen sisälle voidaan kiertää lohkorakenteilla ja niihin sovitetuilla venttiililinjilla (perinteinen telinemalli, kuva 24).

#### 4.5 Järjestelmien vuodottomuuden testaus

Vuodottomuutta tavoiteltaessa on teknisten ratkaisujen lisäksi huomioitava järjestelmien vuodottomuuden testaus ja huolto-ohjelma tiiveyden säilyttämiseksi. Lähteessä /6/ on tutkittu menetelmiä suurien lohkorakenteisten hydraulijärjestelmien vuodottomuuden todentamiseksi kokoonpanon jälkeen. Testausmenetelmiä oli etsitty auto-teollisuudesta ja kylmäkoneiteollisuudesta. Kaksi testausmenetelmää on esitelty tarkemmin:

- 1) Optronische Dichtsheitsprüfung (ODP). Kokoonpantu rakenne paineistetaan hiilidioksidilla. Rakenne valaistetaan infrapunavalolla. Infrapunakamera kohdistetaan laitteeseen. Kamerassa käytetään suodatinta, joka absorboi testauskaasun aallonpituutta. Kamera on kytketty kuvaputkeen ja haluttuja kohteita voidaan zoomata kameran avulla. Kohdat, joista testikaasu purkautuu erottuvat selvästi kuvaputkelta kontrastina (valo heijastuu kohteesta, mutta vuotava kohta "imee" valon) kts.kuva 27.
- 2) Heliumkaasuun perustuva testi (kuva 28). Testattava järjestelmä paineistetaan heliumilla. Järjestelmä tarkastetaan erityisen heliumia tunnistavan sensorin avulla.

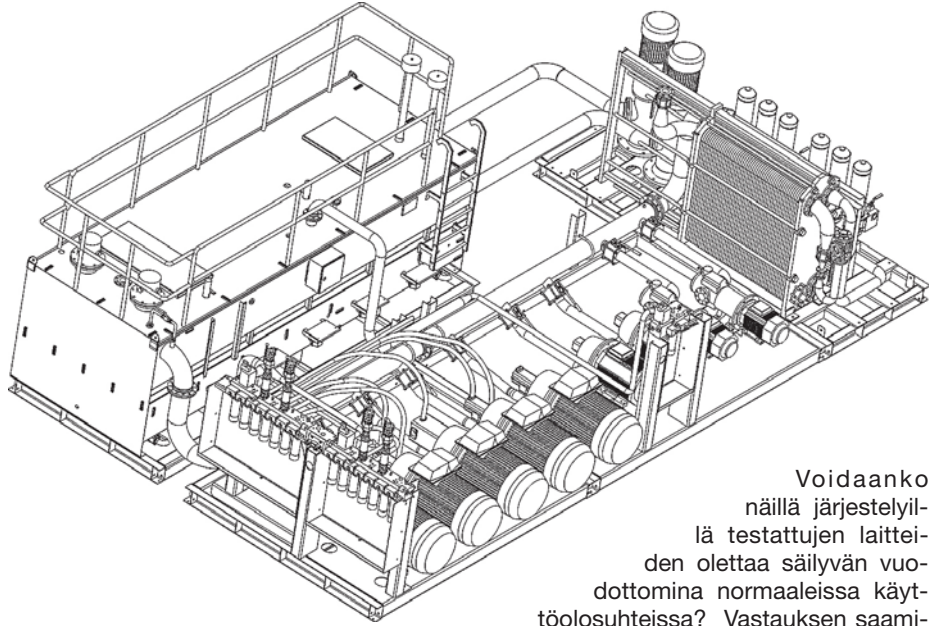




Kuva 20. Koneikko (ylempi kuva), jonka putkitusta on vähennetty lohkorakenteita kehittämällä (alempi kuva) /23/.



Kuva 21. Putkityön ja liitosten vähentämiseksi on siirrytty yläkuvan rakenteesta alakuvassa olevaan rakenteeseen /23/.



Kuva 22. Moduleista kokoonpantava suuri koneikko /23/.



Kuva 23. Kirjahyllymallinen teline sijoittuna ohjattavan laitteen alapuolelle. Väilaaattarakenteiset venttiilit on asennettu ryhmäpohjalaattaan /24/.



Kuva 24. Osalohkoista koostuva järjestelmän ryhmäpohjalaatta kahden eri valmistajan venttiileille sovellettuna /23/.

Voidaanko näillä järjestelyillä testattujen laitteiden olettaa säilyvän vuodottomina normaaleissa käyttöolosuhteissa? Vastauksen saimeksi oli molempia testausjärjestelmiä sovellettu ruiskupuristuskoneen hydraulikkaan, erityisesti lohkorakenteisiin, joiden vuotojen paikallistaminen on yleensä hankalaa. Lohkojen kokoonpanon suorittivat hyvin ammattitaitoiset henkilöt. Siitä huolimatta testauksen yhteydessä löytyi merkittävästi vuotokohteita. Vuodot korjattiin ja järjestelmiä ryhdyttiin seuraamaan laitteen käynnistyttyä. Laitetta käytettiin ympärivuorokautisessa käytössä. Seurannan perusteella todettiin järjestelmät vuodottomiksi vielä vuoden käytön jälkeen.

Suomessa piensarjoja valmistavan teollisuushydrauliikkatuotannon tulee löytää vastaus seuraaviin kysymyksiin:

- Miten saada vuodottomuuden kunnollinen testaus yleistymään teollisuudessa?
- Miten saada loppuasiakkaat ymmärtämään testaustoiminnan arvo ja maksamaan kunnollisen testauksen aiheuttama lisäkustannus ?







Kuva 25. Venttiilistö toteutettuna perinteisillä komponenteilla (vasen kuva) ja nykyhetken uusinta tekniikkaa vastaavilla (oikea kuva, venttiiliin liitetty digit. elektroniikka ja venttiilin sisäinen painelähtin) /23/.

Kuva 26. Perinteinen venttiililinet, jossa putket on keskitetty asennuslevyn takapuolelle /23/.

#### 4.6 Vuotojen indikointi tiiveyden-tarkkailujärjestelmillä

Vuotojen havainnointiin on esitetty mm. seuraavia järjestelyjä:

- \* järjestelmän ollessa seis -tilassa paineistetaan seurattavat kohteet, suljetaan paineistettu tilavuus (esim. lukkoventtiilit) ja taltioidaan paineen muutos ajan funktiona. Verrataan paineenmuutosnopeutta uudella järjestelmällä mitattuun käyrään (sovellettavissa esim. sylintereille ja lämmönvaihtimille)
- \* seurataan säiliön pinnan muutosnopeutta pintalähtetimen avulla ja kehitetään järjestelmään äly, joka erottaa epänormaalin muutosnopeuden järjestelmän työkiertoon liittyvästä normaalista öljypinnan vaihtelusta. Pinnan muutosnopeuden lisäksi voidaan seurata järjestelmän syöttöpainetta ja asentaa virtausantureita mittaustietojen täydentämiseksi
- \* mitataan kaksiosaisten tiivisteiden välitilan vuotovirtaus
- \* järjestetään havaintoyhteys sijoitukseen hankalille vuotoherkille osille

#### 4.7 Vuotojen haittavaikutusten minimointi sekundäärisin keinoin

Ehdottomasti järkevämpi tapa on yrittää poistaa vuodot kuin torjua niitä toissijaisilla menetelmillä kuten ympäristöystävällisten öljyjen käyttöönotolla. Hydraulikka-ala ei ole kuitenkaan panostanut riittävän ajoissa vuodottomuuteen; maine on huono, kun vuotojen poisto on onnistunut vain vältävästi ja luotto on mennyt.

On aloja, joissa ei anneta koneille käynnistyslupaa, jos hydraulijärjestelmässä ei käytetä luonnossa hajoavaa öljyä. Vaihteistossa ja moottorissa, joiden öljymäärä on merkittävä, voi ja on pakko käyttää normaaleja öljyjä.

Euroopassa myönnetään tietyt vaatimukset täyttävälle öljyille "Blue Angel" symboli merkiksi ympäristöystävällisyydestä. Bioöljyjen alkutaival on ollut kivikkoisen ja suurista markkinointiponnisteluista ja ympäristönäkökohtien esilläolosta huolimatta, ovat hydraulikaan bioöljyt saavuttaneet vain vähäisen markkinaosuuden. Hintaero mineraaliöljyihin verrattuna on ollut pääeste laajemmalle käyttöönotolle.

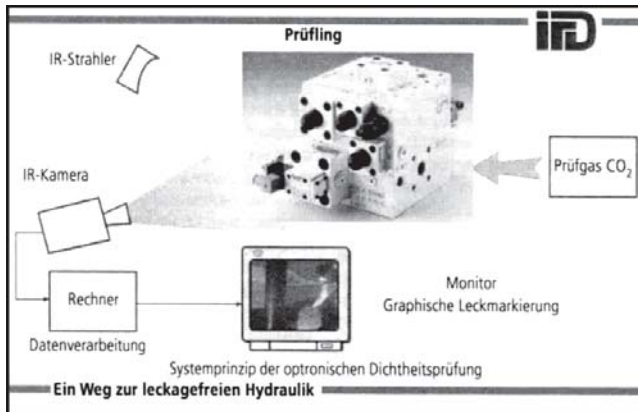
Alkuaikojen vaikeudet jäivät myös pysyvästi käyttäjien mieliin. Ensimmäisen sukupolven bioöljyt aiheuttivat seuraavia ongelmia:

- kaikki öljyt eivät olleet yhteensopivia nykyisin käytössä olevien tiivistemateriaalien kanssa ja öljyjen käyttöönotto johti vuotokohteiden lisääntymiseen.
- öljyjen elinikä oli lyhyt; öljyjen ominaisuudet huononivat jossakin käyttöiän vaiheessa äkillisesti ja ellei tätä hetkeä tunnustettu, saattoi seurauksena olla voiteluhäiriö, komponenttien vikaantumisen ja tiivistemateriaalien pilaantumisen.
- öljyt eivät ole olleet tasalaatuisia.
- kun öljy on uutta, esiintyi vähän tiivisteongelmia, mutta öljyn vanhetessa lisääntyivät ongelmat merkittävästi

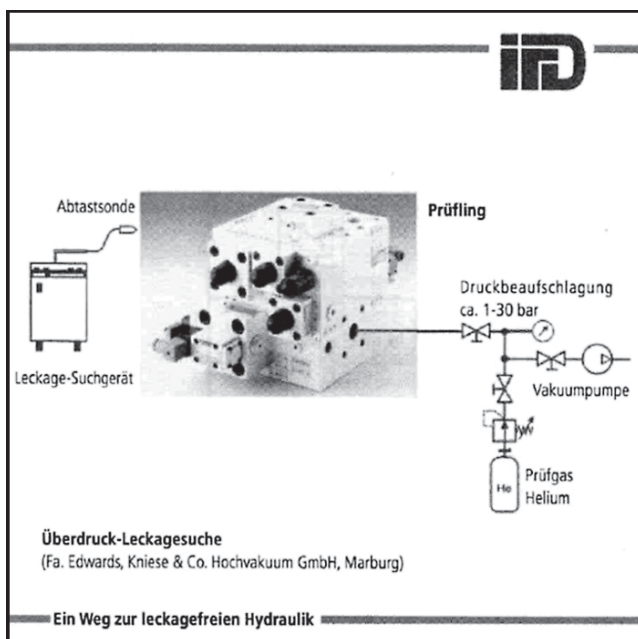
Kuten hydraulikaan "saavuttamattoman" tiiveyden suhteen, syntyi epäluulo myös bioöljyjen käyttökelpoisuudesta luotettavaan toimintaan pyrittäessä. Nykyiset uuden sukupolven bioöljyt ovat eri tuotteita kuin bioöljyjen ensimmäinen sukupolvi. Nykyisin markkinoilla olevat bioöljyt perustuvat kolmeen eri perusrakenteeseen: HETG (rapsiöljypohjainen neste), syntetiseen esterisiin pohjautuva neste HEES ja polyglykolipohjainen HEPG neste. Näiden pohjalta on kehitetty toisen sukupolven bionesteet. Ennusteen mukaan /6/ on vuonna 2010 mineraali ja synteettisillä öljyillä edelleen valta-asema öljymarkkinoilla (kerroin 2.5). Bionesteiden käyttö on kuitenkin kasvanut merkittäväksi (kerroin 1.5). Vesi-öljy emulsioilla ja puhtaalla vedellä on myös merkittävä asema (molemmilla kerroin n. 1).

Lähteessä /6/ on tiivistevalmistaja Freudenbergin artikkeli, jossa on käsitelty uuden sukupolven bionesteiden kemiallista rakennetta ja nesteiden soveltuvuutta erilaisille tiivistemateriaaleille. On pyritty vastaamaan kysymykseen millaisia tiivistemateriaaleja näiden nesteiden yhteydessä tulisi käyttää. Eri materiaaleilla oli tehty lukuisia kokeita, joissa oli verrattu tiivisteiden käyttäytymistä uuden ja keinoitekoisesti vanhentuneen nesteen yhteydessä ja erilaisissa käyttölämpötiloissa. Mittauksissa seurattu pääsuure oli tiivisteiden turpoaminen (tilavuuden muutos). Testeissä oli mukana yleisimmin käytössä olevat tiivistemateriaalit: NBR (akryyli-





Kuva 27. Lohkojen vuototesti hiilidioksidia kaasuna käyttäen /6/.



Kuva 28. Lohkojen vuototestilaitteisto, jossa testikaasuna käytetään heliumia ja vuodot tutkitaan heliumia tunnistavalla anturilla /6/.

nitrili butadieenikumi; kaupanimet Perbunan, Europrene, Hycar, Nipol jne.), FPM (fluoripolymeeri; kaupanimet Viton A, Viton B, Technoflon D, Kalrez, Viton GLT jne.) sekä PUR (polyuretaani; kaupanimet Desmopan, Vulkollan, Hylene, Adiprene jne.) Osa testeistä oli suoritettu ensimmäisen sukupolven bioöljyillä ja osa uudemman polven öljyillä.

Tutkimuksen mukaan ovat uusien synteettisiin esteihin pohjautuvien bioöljyjen tribologiset ominaisuudet ja vanhenemiskäyttäytyminen verrattavissa mineraaliöljyihin. "Blue Angel" sertifikaatin täyttävän öljyn minimivaatimukset määritellään VDMA:n lehdellä 24568. Näitä vaatimuksia ei ole kuitenkaan vielä päivitetty vastaamaan niitä tuloksia, joita uuden polven öljyillä on saavutettu. Uusilla öljyillä suoritetaan edelleen kestotestejä ja näiden öljyjen yleistyminen on odotettavissa lähitulevaisuudessa. Bioöljylle hyvin soveltuvaksi tiivistemateriaaliksi on tutkimuksissa todettu PU (termoplastinen tai valettu PU). Tällä hydrolyysikestoisella PU:lla saavutetaan sama käyttäyty-

minen bioöljyjen yhteydessä kuin tavallisella PU:lla mineraaliöljyjen yhteydessä.

## 5. Öljyjärjestelmien suunnittelussa huomioon otettavia ympäristölainsäädännön aiheuttamia rajoitteita /6/

Tuotteen valmistajalla on enenevässä määrin vastuu tuotteen valmistukseen ja myös käyttöön liittyvistä ympäristöhaitoista. Vastuu ulottuu ketjun alusta raaka-aineesta tuotteen jalostus- ja valmistusvaiheeseen ja edelleen osittain tuotteen käyttöön ja kulutukseen ja lopuksi tuotteen hävitykseen, kierrätykseen ja uudelleen hyödyntämiseen. Ketjun hallinta (materials flow management) on perustana ympäristökysymysten hallinnassa (Environmental Management). Ekologian ja ekonomin yhteensovittaminen tuotetta valmistettaessa ja käytettäessä antaa onnistuessaan tuotteelle ominaispiirteen, joka voi toimia merkittävästi kilpailuetuna tulevaisuudessa.

EMAS ja ISO 14001 määrittelevät vaatimuksia, jotka täyttäessään voi yritys saada ympäristösertifikaatin. PIUS; "product-integrated environmental protection" edellyttää ympäristönsuojelullisten näkökohtien huomiointia kaikissa tuotteen eliniän vaiheissa. Tuotekehitys- ja suunnitteluvaihe on painoarvoltaan suuri, koska siinä tehdyt ratkaisut vaikuttavat tuotantoprosessin valintaan ja asettavat rajoja uudelleenkäytölle. Tuotteen hävittämisestä ja kierrätyksestä syntyvät kulut ovat yhtenä osana ekotuotteen myyntihintaa määritettäessä.

Vesilainsäädäntö on tärkein vedelle haitallisten nesteiden käyttöä rajoittavista asetuksista. Lakia tulkitaan eri tavalla valtiosta riippuen. Saksassa on vesihuoltoa koskeva lainsäädäntö (WHG "Wasserhaushaltsgesetz") peräisin vuodelta 1987. Saksaan toimittavien laitteiden on noudatettava ko. osavaltiossa voimassa olevia säädöksiä. Euroopan muissa maissa ei ole voimassa tämän alueen lainsäädäntöä vastaavassa laajuudessa, mutta EU:n odotetaan yhtenäistävän säännökset.

Lainsäädäntö koskee lähes kaikkia järjestelmiä, jotka voivat saastuttaa ja pilata vettä. Vettä saastuttavat aineet jaetaan Saksassa luokkiin (WGK0...3) ja mineraaliöljyä väliaineena käyttävät järjestelmät kuuluvat luokkaan 2. Haitallisia nesteitä käyttävien järjestelmien valmistajan perusvaatimuksena on ns. "Four Barrier Protection Concept", joka edellyttää aina seuraavien kohtien huomiointia:

- o vedelle haitalliset nesteet on pidettävä suljetuissa tiloissa paikallisia määräyksiä noudattaen
- o vikatilanteita varten on järjestelmät varustettava säiliöillä/altaita, joihin neste kerätään
- o käyttäjän on tarkkailtava ja tarkastettava järjestelmää säännöllisesti
- o järjestelmän ylläpitoa voi suorittaa vain koulutettu työvoima
- o järjestelmä on tarkastettava säännöllisesti valtuutetun tarkastajan toimesta
- o on varauduttava mahdollisten vahinkojen aiheuttamien haittojen rajoittamiseen ennalta suunnitelluilla toimenpiteillä

Järjestelmän käyttäjälle jätetään siis vastuu järjestelmän turvallisuudesta käytöstä. Käyttäjälle annetaan määräyksiä, joissa edellytetään, että asennuksesta ja huollosta vastaa ammattitaitoinen työvoima, asennus on tarkastutettu valtuutetulla tarkastajalla ja että laitteen toimintaa valvotaan säännöllisesti valmistajan ohjeiden mukaan. Ammattitaitoisesta työvoimasta annetaan myös selvät määräykset. Ammattitaidon taakeena tulee olla todistus ja tarkastuksia suorittavan yrityksen on päivitettävä lupansa määrätyin aikavällein.

Haitallisia nesteitä sisältävien järjestelmien on aina täytettävä perusvaatimukset. Näiden lisäksi on erityisvaatimuksia, joita sovelletaan järjestelmien nestetilavuuden ja käytettävän nesteen perusteella.

Öljyjärjestelmät, joiden nestetilavuus on 10 m<sup>3</sup> tai suurempi kuuluvat lähes aina erityisvaatimusten piiriin. Japanissa on suurin yksittäisen säiliön tilavuus rajoitettu arvoon 6000 l. Tätä suuremmat järjestelmät on jaettava kahteen täysin erilliseen säiliöön. Erityisvaatimusten lisäksi on vielä tietyille järjestelmille, esim. veden päällä liikkuville tai veden läheisyydessä oleville, laadittuja erityismääräyksiä.

Perusvaatimuksissa mainitaan kuusi kohtaa: järjestelmän on oltava vuodon (maan alla on käytettävä kaksinkertaisia seinämiä), vuoto on oltava aina havaittavissa ja todennettavissa, "pidätystilavuus" vuotoille, varmistettava veden saanti palotilanteissa, varusteet vuotojen keräämiseksi sekä käyttö- ja tarkastusohjeet.

Erityisvaatimuksissa voidaan vaatia käytettäväksi elastisella materiaalilla varustettua liittintyyppiä tai hitsattavia liittimiä, vuotoöljysäiliöitä, johon vuodot johdetaan keskitetysti, vuotojen helppoa havainnointia edesauttavia järjestelyjä ja täydellistä ohjeistusta valvonnasta, ylläpidosta ja toimenpiteistä mahdollisten vahinkojen varalle. Annetaan myös malleja yksityiskohtaisista ohjeista, joissa määritellään miten usein kukin paikka on tarkastettava vuotojen suhteen, kuka vastaa tarkastuksista jne.

Valmistajaa koskevia määräyksiä käsittelevät standardit DIN 24 346 "Hydraulic Systems-Principles of Workmanship" ja DIN EN 982 "Technical Safety Requirements on Hydraulic Systems and their Components".

Saksassa hydraulikka-alalla toimivien yritysten ammattitaitoa määrittää yhdistys FGMA ("Fachbetriebsgemeinschaft Maschinenbau").

### Lähteet:

1. O+P-Gesprächsrunde: Leckagen – muss das sein? Ölhydraulik und pneumatik 39 (1995) Nr.2 s. 74 – 90.
2. O+P-Gesprächsrunde: Wohin führt der Weg der Fluidtechnik im 21. Jahrhundert. Ölhydraulik und pneumatik 43 (1999) Nr.11-12 s. 782 –799.
3. O+P-Gesprächsrunde: Neue Entwicklungen in der Dichtungstechnik. Ölhydraulik und pneumatik 43 (1999) Nr.2 s. 83-96.

4. O+P-Interview: Dichtungstechnik in Forschung und Lehre. Ölhydraulik und pneumatik 48 (2004) Nr. 1 s. 21-24.
5. O+P-Grundlagen: Dichtungen in der Fluidtechnik O+P- Konstruktions Jahrbuch 2000/2001 s. 34-47
6. Dichte Hydroanlagen "stationär und mobil". Rexroth seminaarijulkaisu, RD 00 596/04.98
7. Ashby, D.M., How to avoid O-ring problems in six easy steps. Hydraulics & Pneumatics July 1996 s. 43 – 46.
8. Ashby, D.M., Recent developments in O-ring sealing technology. Hydraulics & Pneumatics May 1999 s. 43 – 44.
9. Esitemateriaali 2003, VOSS Fluid GmbH ja Walterscheid Rohrverbindungstechnik: Stecken statt Schrauben
10. Gorgs, K-J., Kleinbreuer, W., Hydraulik-Schlauchleitungen. Ölhydraulik und pneumatik 41 (1997) Nr. 11-12, s. 814-817
11. Grosse, J., Exner, H., Dichte Verbindungssysteme in Hydroanlagen. Ölhydraulik und pneumatik 47 (2003) Nr. 5, s. 346-350
12. Hahmann, W., Dichtungssysteme in der Anwendung. Ölhydraulik und pneumatik 47 (2003) Nr. 4, s. 244-251
13. Kirsch, B., Innovationen zur Verbesserung der Anlagenverfügbarkeit und Umweltverträglichkeit. Ölhydraulik und pneumatik 44 (2000) Nr. 10, s. 624-630
14. Lahtinen, J., Hydraulijärjestelmien rakennetekniikka - avaintekijä, jolla vaikutetaan hydraulikka-alan imagoon? Kunnossapitokoulu n:o 67, Kunnossapito 2001, n:o 6
15. Lahtinen, J., AEL seminaari 10-11.03.2004: Hydrauliliitosten vuodot kuriin. Alustusluento.
16. Parker Seals., Precision O-ring Handbook. Catalogue 5705 E
17. Rauen, H., Wettbewerbsposition und Strategien der deutschen Fluidtechnik. Ölhydraulik und pneumatik 46 (2002) Nr. 4 s. 198 – 203.
18. Richter, B., Lebensdauer von O-Ringen. Neue Erkenntnisse aus Langzeitversuchen an NBR-O-Ringen. Ölhydraulik und pneumatik 42 (1998) Nr. 5 s. 336 – 339.
19. Schinke, B., Rohrverbindungssysteme Hydraulik und pneumatik 45 (2001) Nr. 3 s. 156 – 162.
20. Schmehl, B., Leckagefreie Hydraulikverbindungen. Die Bibliothek der Technik, Band 226, 94 s. Verlag Moderne Industrie, 2002, Parker Hannifin
21. Weber, M., Konstruktion und Darstellung von Hydraulikrohrleitungen. Ölhydraulik und pneumatik 45 (2001) Nr. 6, s. 420 - 422
22. Braun, O., Siegrist, U., Druckentlasteter Doppelabstreifer PRW1. Ölhydraulik und pneumatik 48 (2004) Nr. 2, s. 94 - 97
23. Valokuvat, Metso Paper Rautpohjan Automaatio- tuotanto
24. Valokuvat, UPM-Kymmene Jämsänkoski (E. Hakonen).

