

# SERVOHYDRAULIIKAN KOMPONENTIT JA VIKAANTUMINEN

**Raportti VALB413**

**Tommi Runtti  
Mikko Mustonen  
Jyrki Tervo**

**Espoo, 10.12.1999**

	A Työraportti	
	B Julkinen raportti	X
	C Luottamuksellinen raportti	
Raportin nimi Servohydrauliikan komponentit ja vikaantuminen		
Toimeksiantaja/rahoittaja ja tilaus TEKES	Raportin numero VALB413	
Projekti Käki diagnostiikka	Suoritteen numero V9SU00658	
Laatija(t) Tommi Runtti, Mikko Mustonen ja Jyrki Tervo	Sivujen/liitesivujen lkm 20 s. + 1 liite	
Avainsanat Servohydrauliikka, servoventtiili, vaurioituminen		
Tiivistelmä Suuri osa teollisuuden toiminnoista perustuu hydrauliiikan käyttöön. Servohydrauliikka mahdollistaa perinteiseen hydrauliiikkaan verrattuna nopeammat ja tarkemmat sylintereiden liikkeet. Toisaalta servohydrauliikka on kalliimpi toteuttaa ja servojärjestelmä on perinteistä järjestelmää häiriöherkempi.  Sähköhydraulisen servojärjestelmän pääkomponentit ovat servo- ja proportionaaliventtiilit. Muita perinteisessäkin hydrauliiikassa käytettäviä komponentteja ovat mm. sylinterit, pumput ja moottorit.  Suurin yksittäinen servohydrauliikassa toimintahäiriötä aiheuttava tekijä on epäpuhtaudet. Epäpuhtaudet voivat aiheuttaa häiriötä järjestelmän ohjaukselle sekä vaurioittaa komponentteja. Hydraulijärjestelmän toiminta on riippuvainen yksittäisten komponenttien kunnosta. Vikaantuminen voi ilmentyä esimerkiksi vuotoina tai ylikuumentumisena.		
Allekirjoitukset                      Espoossa 10.12.1999		
Kenneth Holmberg Tutkimuspäällikkö	Tommi Runtti Tutkija	Tarkastanut
Jakelu: Tilaaaja, 1 kpl VTT Valmistustekniikka, 5 kpl		
VTT Valmistustekniikka Käyttötötekniikka PL 1702 02044 VTT	Puhelin    09 456 5369 Fax        09 460 627 Sähköposti: Tommi.Runtti@vtt.fi WWW:     http://www.vtt.fi/manu/	

# ALKUSANAT

Tämä raportti on laadittu projektissa Koneiden ja laitteiden kunnan ja käyttövarmuuden monitorointi ja diagnostiikka, osana Käyttövarmuus kilpailutekijänä -teknologiaohjelmaa. Kirjoittajat haluavat kiittää Teknologian kehittämiskeskusta ja projektiin osallistuvia yrityksiä: Lillbacka Oy, Rautaruukki Oy Raahen Steel, Valmet Paperikoneet, Nordberg Lokomo Oy sekä Outokumpu Poricopper.

Espoo, 10. joulukuuta 1999

Tekijät

## SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	3
2 TAVOITE .....	4
3 SERVOHYDRAULIIKAN KOMPONENTIT .....	4
3.1 SERVOHYDRAULIVENTTIILIT .....	4
3.1.1 Suuntaventtiilit .....	4
3.1.2 Paineventtiilit .....	8
3.1.3 Patruunaventtiilit .....	8
3.2 VENTTIILIOHJAIMET .....	8
3.3 HYDRAULISYLINTERIT .....	9
3.4 HYDRAULIPUMPUT .....	10
3.5 HYDRAULIMOOTTORIT .....	12
3.6 SUODATTIMET .....	12
3.7 PAINEAKUT .....	13
3.8 TOIMILAITEPAKETIT .....	13
3.9 OHJAUKSESSA KÄYTETTÄVISTÄ ANTUREISTA .....	13
4 SERVOJÄRJESTELMÄT .....	13
5 HYDRAULIIKAN VIKAANTUMINEN .....	14
5.1 VIKAANTUMISEN ILMENEMINEN .....	15
5.1.1 Vuodot .....	15
5.1.2 Ylikuumentuminen .....	16
5.1.3 Ohjauksen ja toiminnan virheet .....	16
5.2 KOMPONENTTIVAURIOT .....	17
6 YHTEENVETO .....	18
7 LÄHDELUETTELO .....	19

Liite 1. Sähköhydrauliselle servojärjestelmälle tyypillisten vikojen ja oireiden yhteyksiä.

## 1 JOHDANTO

Hydrauliikkaa on käytetty teollisuudessa mitä erilaisimmissa sovelluksissa. Hydrauliikan käyttökelpoisuus perustuu kahteen peruseriaatteeseen: 1) paineenalainen neste siirtää voimaa heikentymättömästi nestettä rajoittavaan pinta-alaan sekä 2) nesteen suhteelliseen kokoonpuristumattomuuteen. Pieni kokoonpuristuvuus on kuitenkin otettava huomioon sähköhydraulisissa sovelluksissa [2].

Liikkeiden sähköhydrauliseen toteutukseen käytetään eri tasoisia tekniikoita. On/off-tekniikka on yksinkertaista tilavuusvirran suunnan ohjausta kaksitilaisilla solenoidikäyttöisillä venttiileillä. Proportionaalihydrauliikkaa voidaan käyttää vaativimissa avoimissa ohjausjärjestelmissä sekä rajoitetusti myös takaisinkytketyissä säätöjärjestelmissä. Servohydrauliikalla voidaan toteuttaa erittäin vaativia koneita ja järjestelmiä.

Servohydrauliikan komponentit ovat suurimmalta osalta samoja kuin muussakin hydrauliikassa. Eroavaisuuksina ovat tarkemman ja nopeamman säädön mahdollistavat erikoiset servoventtiilit, sekä suljetun säätöpiirin anturit ja elektroniset ohjauslaitteet. Servojärjestelmäksi nimitetään säätöjärjestelmää, jonka tehtävänä on säätää dynaamisessa tilanteessa mekaanista suuretta, kuten asemaa, nopeutta, kiihtyvyyttä, vääntömomenttia tai voimaa.

Servohydrauliikka mahdollistaa sylintereiden nopeat ja tarkat liikkeet. Kuitenkin servohydrauliikka on perinteiseen hydrauliikkaan verrattuna selvästi häiriöherkempää, esimerkiksi järjestelmän puhtausvaatimukset ovat selvästi suuremmat. Servohydrauliikkajärjestelmän ohjaus sisältää antureita ja sähköisiä toimilaitteita, joiden virheetön toiminta aiheuttaa lisää vaatimuksia kunnonvalvonnalle. Toisaalta ohjaukseen käytettävät komponentit ja mittaukset antavat lisää mahdollisuuksia kunnonvalvontaan.

## 2 TAVOITE

Tämä raportti kuuluu osana Käiki diagnostiikka -projektiin, jonka tavoitteena on kehittää koneiden ja laitteiden kunnon diagnostisointiin ratkaisumalleja, joilla mahdollistetaan valvottavien kohteiden kunnonvalvonta. Raportin pääpaino on servohydrauliikan vikadiagnostiikassa. Tämän lisäksi raportissa esitetään yleisluontoisesti servohydrauliikkaan kuuluvat komponentit sekä servojärjestelmän toimintaperiaate. Tavoitteena on, että raportti palvelee yleisluonteisena selvityksenä kaikkia kolmea teollisuuden pilot-kohdetta.

## 3 SERVOHYDRAULIIKAN KOMPONENTIT

Hydraulikomponentteihin kuuluvat hydrauliventtiilit, -sylinterit, -pumput, -moottorit ja -nesteet sekä muut varusteet, kuten hydraulisäiliö, -putket ja -letkut sekä liittimet, suodattimet ja paineakut. Tässä raportissa käsitellään laajemmin olennaisimmat sähköhydraulisen servojärjestelmän komponentit, servo- ja proportionaaliventtiilit.

### 3.1 SERVOHYDRAULIVENTTIILIT

Hydrauliikassa käytetään venttiilejä paineen säätöön, tilavuusvirran säätöön, tilavuusvirran ohjaamiseen ja erikoistehtäviin. Toimintojen mukaan venttiilit voidaan ryhmitellä seuraavasti [6, 7]:

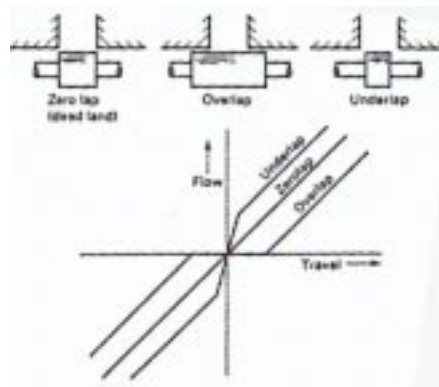
- Suuntaventtiilit: tilavuusvirran ohjaus järjestelmän eri osiin
- Paineventtiilit: paineen säätö hydraulijärjestelmässä
- Virtaventtiilit: tilavuusvirran säätö
- Erikoisventtiilit

Tässä yhteydessä keskitytään edellä mainituista venttiileistä erityisesti servohydrauliikkaan kuuluviin venttiileihin, joita ovat suunta-, paine- ja patruunaservoventtiilit [7]. Usein suuntaservoventtiilistä käytetään pelkästään servoventtiili-nimitystä.

### 3.1.1 Suuntaventtiilit

Rajanveto proportionaali- ja servoventtiilien välillä on usein vaikeaa, koska takaisinkytketyt proportionaaliventtiilit ovat ominaisuuksiltaan kilpailukykyisiä servoventtiilien kanssa sovelluksesta riippuen. Suurin ero on venttiilin sähköisessä ohjauksessa, mikä servoventtiileissä on tyypillisesti toteutettu vääntömoottorilla ja proportionaaliventtiileissä proportionaalimagneetilla [7].

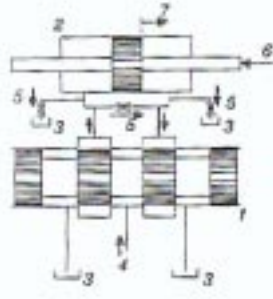
Servoventtiilin kara noudattaa tarkkaa valmistustarkkuutta. Lisäksi karan liike on ainoastaan luokkaa 0.3...3 mm [11]. Mikäli venttiilin kara päästää suljetussa asennossa tilavuusvirtaa (ei vuotovirtaa) lävitse, käytetään nimitystä negatiivinen peitto, päinvastaisessa tilanteessa puhutaan positiivisesta peitosta. Näiden lisäksi on olemassa nollapeitto-venttiileitä. Kuva 1. esittää positiivista peittoa (overlap), negatiivista peittoa (underlap) sekä nollapeittoa (zero lap), missä flow tarkoittaa virtausta ja travel karan liikesuuntaa.



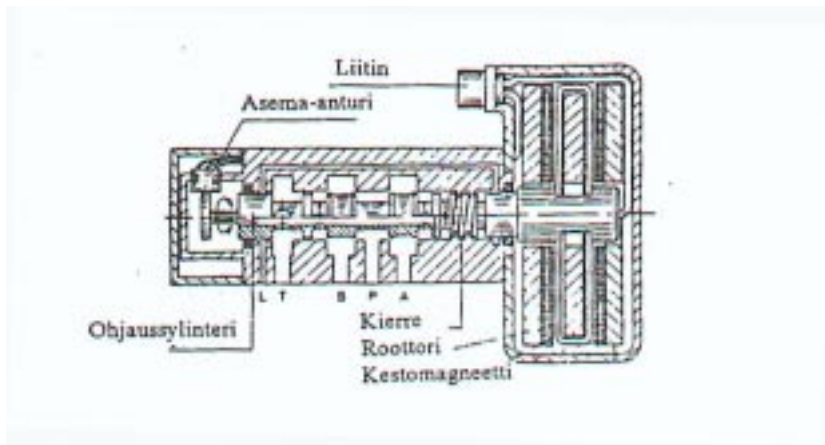
Kuva 1. Positiivinen peitto, negatiivinen peitto ja nollapeitto [11].

Kuva 2. esittää servoventtiilin avulla tapahtuvan hydraulisyylinterin ohjauksen pääperiaatetta, missä 1. kuvaa servoventtiiliä, 2. hydraulisyylinteriä, 3. säiliötä, 4. syöttöpainetta, 5. vuotovirtaa, 6. kuormitusta ja 7. männän liikettä.

Perinteisissä yksiasteisissa suuntaservoventtiileissä sähkömagneettinen ohjauslaite eli vääntömoottori liikuttaa yhdystangon välityksellä nelitieventtiilin luistia ja avaa virtaustiet suhteessa ohjausvirtaan. Venttiili sopii vain pienille tilavuusvirroille (tyypillisesti alle 10 l/min) ja venttiili on herkkä kitkan ja epäpuhtauksien vaikutuksille. Nykyaikaisissa yksiasteisissa servoventtiileissä käytetään pyörivämoottorista sähkömagneettista ohjauslaitetta sekä luistin siirtymän mittausta, joilla saavutetaan hyvät staattiset ja dynaamiset ominaisuudet, vähäinen likaherkkyys, suuri tilavuusvirta-alue ja pieni nollapisteen ryömintä. Yksiasteisia venttiileitä käytetään lähinnä konepaja- ja kappaletavara-automaatioissa. Kuva 3. esittää nykyaikaista yksiasteista servoventtiiliä [1, 7].



Kuva 2. Hydraulisylinterin servoventtiiliohjauksen periaatekuva [3].

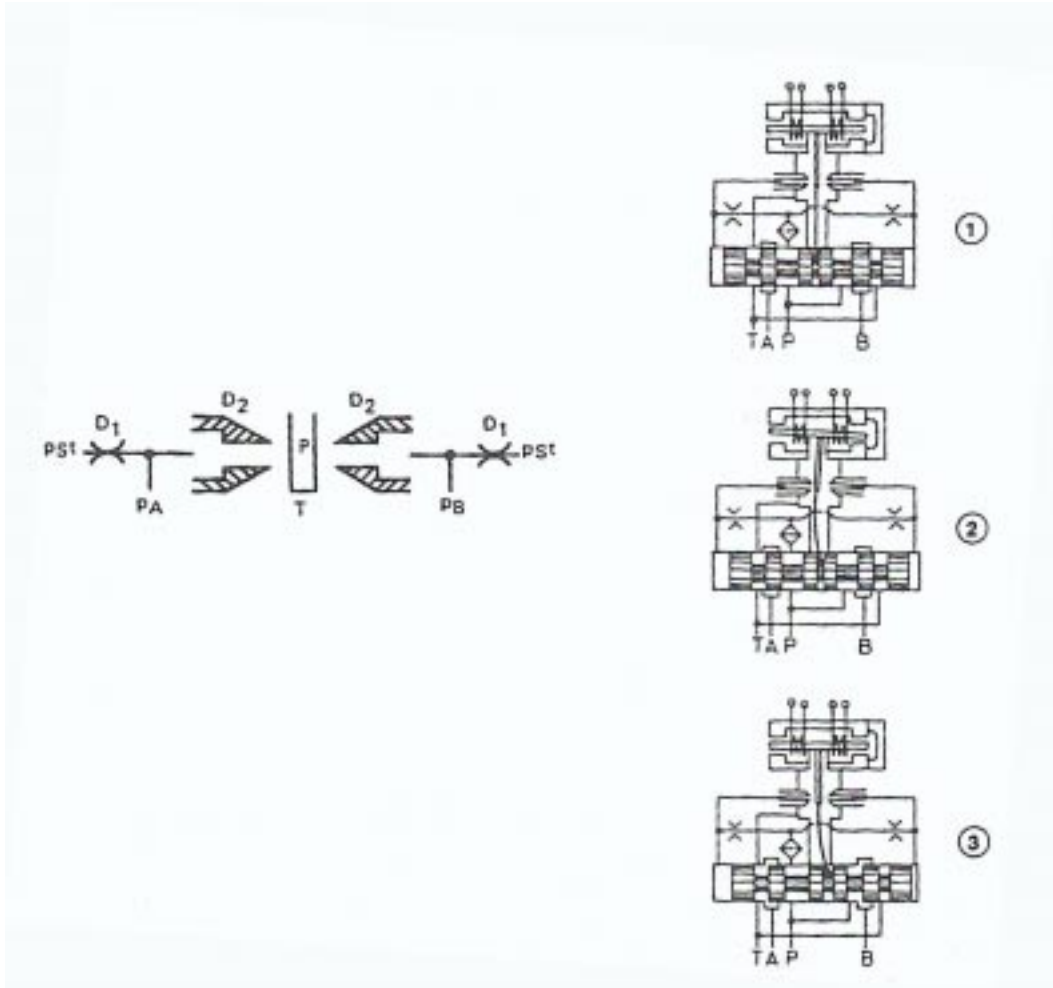


Kuva 3. Nykyaikainen yksiasteinen servoventtiili [7].

Kaksiasteisissa suuntaservoventtiileissä on hydraulinen esivahvistin, jonka tehtävänä on vahvistaa sähkömagneettisesta ohjauslaitteesta pääluistin siirtämiseen tarvittava voima riittävästi suuremmaksi kuin vaikuttavat hydrauliset virtausvoimat, kitkavoimat ja hitausvoimat. Yleensä hydraulisena esivahvistimena käytetään kaksipuolista suutin-läppäventtiiliä. Toisena asteena esiintyy useimmiten aksiaaliluistityyppinen nelitieventtiili.

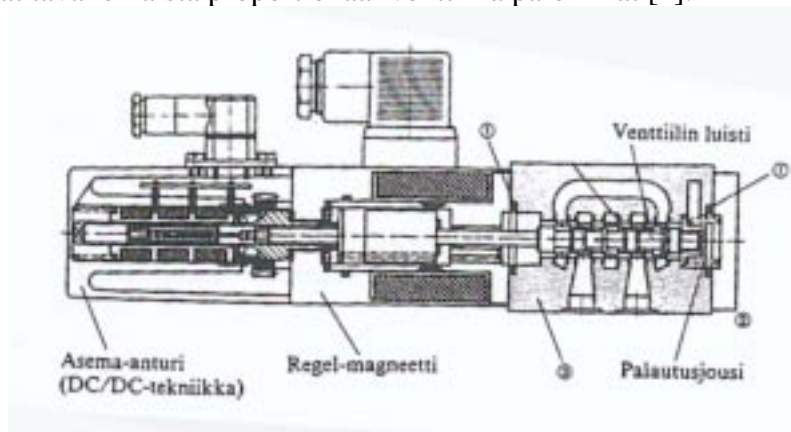
Kuva 4. esittää mekaanisella takaisinkytkennällä varustettua kaksiasteista suuntaservoventtiiliä. Suutin-läppäventtiilissä läpän asema (mekaaninen ohjesignaali) muutetaan paine-eroksi (hydraulinen lähtösignaali). Kun läppä siirtyy keskiasennosta (1) jompaan kumpaan suuntaan, ennen suutinta vallitseva paine kasvaa suutinvirtauksen estyessä. Suuttimien välistä paine-eroa voi käyttää hyväksi luistin asemaa muuttaessa. Vääntömoottoriin syötetty ohjausvirta aikaansaa läpän siirtymisen vasemmalle (2). Vastaavan suutinkanavan paine kasvaa suuremmaksi kuin oikeanpuoleisen kanavan paine. Kanavat on yhdistetty luistin päätykammioihin, joiden välille kehittyy paine-ero. Luistin ja suutinläpän välillä oleva takaisinkytkentäjousi jännittyy ja pyrkii kumoamaan vääntömoottorin aikaansaaman väännön. Kun vääntömomentit saavuttavat tasapainon, läppä on siirtynyt keskiasentoon ja luistin päiden välinen paine-ero on tasaantunut. Luisti on uudessa, vääntömoottorille annetun ohjausvirran mukaisessa asennossa ja takaisinkytkentäjousi vastaavan määrän taipuneena (3) [1].

Kolmiasteisissa suuntaservoventtiileissä on esiohjausventtiilinä kaksiasteinen suuntaservoventtiili ja kolmas aste on sähköisesti takaisinkytketty. Kolmiasteinen venttiili soveltuu jopa 1500 l/min tilavuusvirroille. Pääohjausasteessa on yleensä sähköinen takaisinkytkentä esimerkiksi LVDT-anturilla [1, 7].



Kuva 4. Mekaanisella takaisinkytkennällä varustettu kaksiasteinen suuntaservoventtiili [1].

Proportioonaliventtiilien esiohjausosa perustuu proportionaalimagneettiin. Sille on tunnusomaista, että magneetin aikaansaama voima ei riipu ankkurin liikematkasta. Voimaa voidaan ohjata kelan jännitettä tai virtaa muuttamalla. Tilavuusvirran suunnanohjaukseen käytettävät venttiilit ovat yksi-, kaksi- tai kolmiasteisia 4-tieventtiileitä. Ensimmäinen aste muodostuu proportionaalimagneetilla ohjatusta luistiventtiilistä. Muut asteet ovat tavanomaisia luistiventtiileitä, joita alemmaa astetta oleva venttiili ohjaa aikaansaamalla paine-eron luistin päätykammioiden välille. Kuva 5. esittää säätöjärjestelmiin tarkoitettua proportionaaliventtiiliä, regelventtiiliä, jonka dynaamiset ominaisuudet ovat tavanomaista proportionaaliventtiiliä paremmat [1].



Kuva 5. Säätöjärjestelmiin tarkoitettu proportionaaliventtiili, regelventtiili [1].

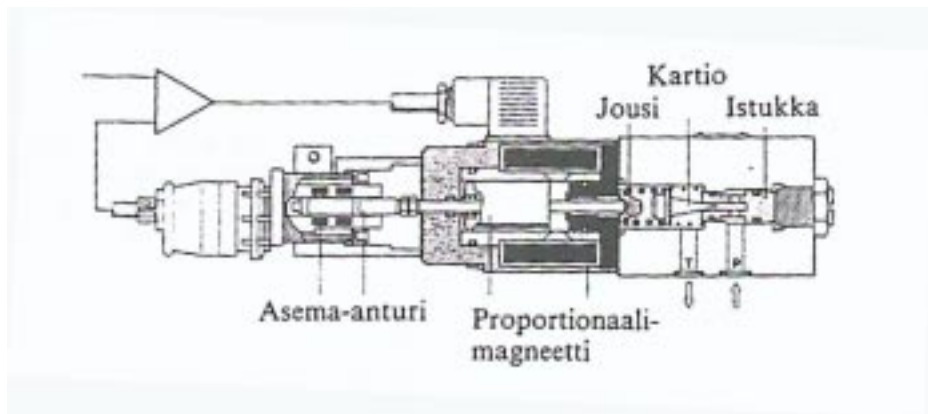


Viime aikoina on servo- ja proportionaaliventtiileihin kehitetty uusia ominaisuuksia, kuten ohjaussignaalin käsittelyä sekä vikadiagnostiikkaa. Lähitulevaisuudessa parhaita venttiileitä voidaan pitää älykkäinä yksiköinä, jossa venttiilin ohjaukseen vaikuttaa sisäänrakennettu diagnostiikka, esimerkiksi venttiili kykenee ottamaan huomioon vuodon muuttamalla ohjausta vuodon kompensoimiseksi [16]. Merkkivaloilla vikatilanteessa (ja/tai PC-ohjausta käytettäessä virheilmoitus) hälytyssignaalin antavaa diagnostiikkaa on olemassa useimmissa servoventtiileissä.

### 3.1.2 Paineventtiilit

Suuntaservoventtiilien lisäksi on olemassa paine- ja patruunaservoventtiileitä. Paineservoventtiilit ovat yleensä kolmitietyyppisiä. Paineservoventtiileitä käytetään, kun paineproportionaaliventtiilien staattiset ja dynaamiset ominaisuudet eivät enää riitä.

Paineproportionaaliventtiilissä (suoraanohjattu) säätöruuvi korvataan asemaohjatulla tai asemasäädetyllä proportionaalimagneetilla. Tavallisesti venttiilissä on sähköinen takaisinkytkentä. Suoran ohjauksen ollessa voimaohjaus, magneetti on kiinnitetty suoraan karaan ilman joustaa, mikä ilmenee kuvasta 6. Tällainen venttiili soveltuu ainoastaan pienille tilavuusvirroille. Esiohjatussa paineproportionaaliventtiilissä magneettia käytetään esiohjausosassa, jolloin painesäädetyllä hydraulinesteellä kuormitetaan varsinaista säätökaraa.



Kuva 6. Suoraanohjattu paineproportionaaliventtiili, jossa on asematakaisinkytkentä [1].

### 3.1.3 Patruunaventtiilit

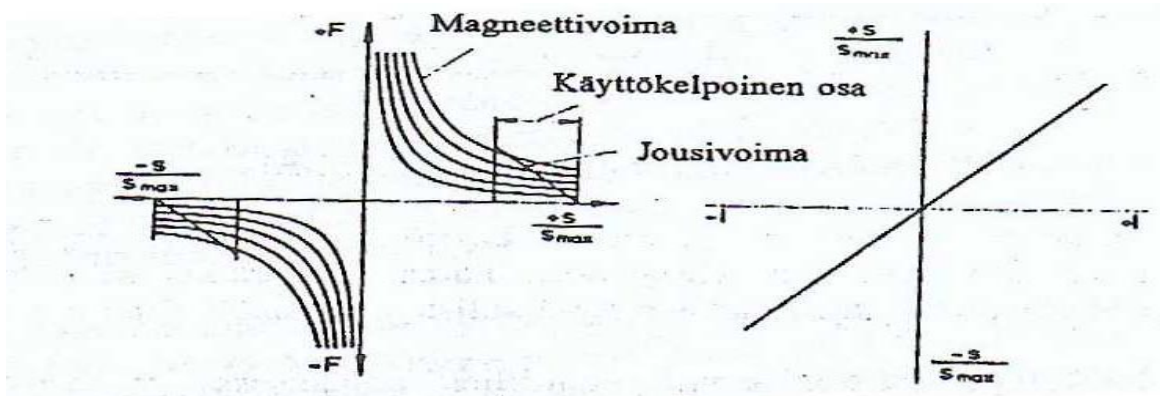
Patruunaservoventtiileillä voidaan toteuttaa proportionaali- ja servoventtiilitoimintoja. Säädettävä suure voi periaatteessa olla mikä tahansa suorasti tai epäsuorasti mitattavissa oleva fysikaalinen suure. Patruunatekniikassa nestetilan painetta ja tilavuusvirtaa hallitaan kahdella kuristuksella, joista toinen sijoitetaan tuloliitäntään ja toinen lähtöliitäntään. Kuristuksina toimivat patruunat eli 2-tiepatruunaventtiilit [1].

## 3.2 VENTTIILIOHJAIMET

Servoventtiileiden venttiilinohjaimina käytetään yleisimmin vääntömoottoria, sekä tasavirta ja askelmoottoria [7]. Kuva 7. esittää vääntömoottorille tyypillistä ominaiskäyrää. Vääntömoottorin toimintaperiaate on seuraavanlainen:

Ankkuri on kiinnitetty taivutusjouseen, jonka varassa se pääsee kiertymään. Kun ohjausvirta on nolla, ankkuri on keskiasennossa jousivoiman keskittämänä. Ankkurin molemmilla puolilla

vaikuttavat magneettiset vetovoimat ovat tasapainossa, koska ilmvälit sekä kestmagneettien niihin synnyttämät magneettivuot ovat yhtä suuret. Kun vääntömoottorin käämeihin johdetaan ohjausvirta, se aiheuttaa ankkuriin ja ilmväleihin magneettivuon, joka vahvistaa ja heikentää ankkuriin nähden ristikkäin sijaitsevien ilmväliden magneettivuota. Tämä aiheuttaa voimaparin, joka kiertää ankkuria jouta vasten. Ankkurin tasapainoasema riippuu ohjausvirran suuruudesta [6].



Kuva 7. Vääntömoottorin tyypillinen ominaiskäyrä [7].

Vääntömoottorin lähtösuurena on ankkurin siirtoelimeen kiinnitetyn läpän asema. Liikealue ja teho ovat tyypillisesti melko pieniä. Dynaamiset ominaisuudet ovat hyvät ja hystereesi on pieni. Rakenne on kuitenkin kallis ja herkkä ulkoisille häiriöille, johtuen osien valmistustarkkuusvaatimuksista sekä magneettipiirin materiaalivalinnoista [7].

Tasa- ja vaihtovirtamoottorien käyttö venttiilien ohjauksessa on verrattain harvinaista. Käyttöä rajoittavia tekijöitä ovat yleensä suuri koko sekä korkea hinta. Tasavirtamoottoreissa staattorissa olevat kestmagneetit saavat aikaan staattisen magneettikentän. Kun roottorin eli ankkurin käämeihin johdetaan virta, aiheuttaa magneettikenttä virtajohtimiin voiman, joka pyörittää roottoria. Virta johdetaan käämeihin kommutaattorin ja sen harjojen avulla siten, että virta kulkee napojen kohdalla aina oikeaan suuntaan. On olemassa myös hiiliharjattomia servomoottoreita, joissa kommutointi hoidetaan sähköisesti. Momentti on suoraan verrannollinen ohjausvirtaan, ja se pysyy vakiona koko pyörimisnopeusalueella. Korkeat suoritusarvot omaavia kestmagnetoituja tasavirtamoottoreita kutsutaan usein DC-servomoottoreiksi, joille on tyypillistä kevyt pienihitauksinen roottori. AC-servomoottoreiksi kutsutaan harjatonta tasavirtamoottoria, jonka kommutointi tapahtuu elektronisesti [7].

Servomoottoreihin verrattuna askelmoottoreilla on puolellaan merkittäviä etuja: ohjaus on luonteeltaan digitaalista ja kiinteästä askelkulmasta johtuen sitä voidaan käyttää avoimessakin piirissä tarkkaan asemansäätöön. Askelmoottorin roottorin pyöriminen tapahtuu askelittain ohjauslaitteen antamaa pulssia kohti. Askelmoottorien perustyyppinä ovat kestmagneetti- ja reluktanssimoottorit sekä hybridimoottorit [7]. Reluktanssimoottorien dynaamiset ominaisuudet ovat heikommät kuin kestmagneettimoottorilla, mutta reluktanssimoottori toimii paremmin tarvittaessa pientä askelluskulmaa. Hybridimoottoreissa on pyritty yhdistämään kahden edellämainitun moottorityypin parhaat puolet. Askelmoottorin ohjaus tapahtuu joko uni- tai bipolaarisesti.

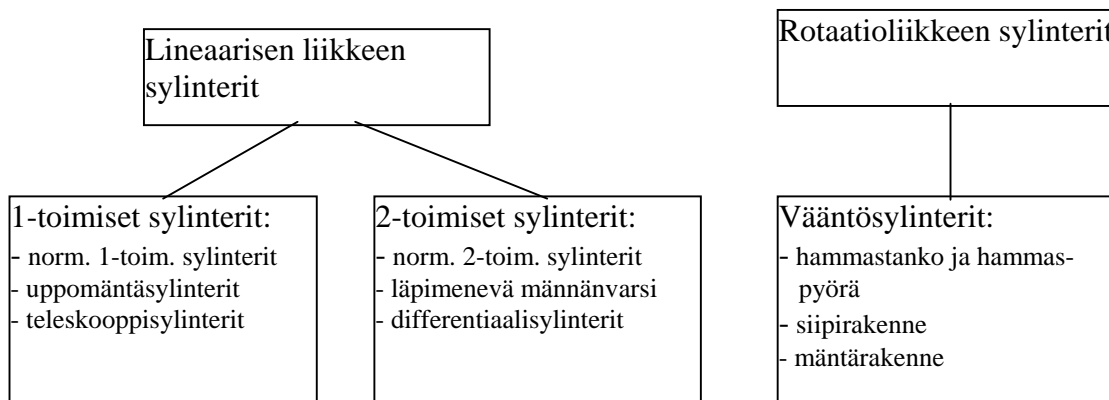
### 3.3 HYDRAULISYLINTERIT

Hydraulisyylinterit muuttavat hydraulisen energian mekaaniseksi suoraviivaiseksi liikkeeksi. Kuvassa 8. esitetään kaksi esimerkkiä hydraulisyylinteristä, jotka eroavat toisistaan sylinterin päädyn kiinnitystavan suhteen. Tavallisimmat sylinteripäätyjen kiinnitystavat ovat hitsaus, sidepulttikiinnitys, kierrekiinnitys, ruuvikiinnitys sekä lukitusrengaskiinnitys [14]. On olemassa useita hydraulisyylinterityyppejä, kuten kuva 9. osoittaa. Yksitoimisella sylinterillä vain toinen liike, tavallisesti + liike, saadaan aikaan paineen avulla. Palauttava liike aikaansaadaan joko massalla, jousella tai muulla ulkoisella voimalla [14]. Kaksitoimisessa sylinterissä saadaan paineen avulla liike molempiin suuntiin.



Kuva 8. Kaksi esimerkkiä hydraulisyylinteristä: hitsattu sylinteri (a) ja sidepulttisyylinteri (b) [19].

Hydraulisyylinterirakenteen suunnittelussa on otettava huomioon nurjahdusvaara, erityisesti männänvarren ulkoasennossa. Nurjahdusvaaraan vaikuttaa olennaisesti myöskin hydraulisyylinterin eri kiinnitystavat, joita ovat jäykkä nivel, pallonivel tai nivelakseli sekä jalka-, laippa- tai pohjakiinnitys. Sylinterin asennus ja toiminta tulee suunnitella siten, että sylinteriin kohdistuva kuormitus on lähes yksinomaan aksiaalista.



Kuva 9. Hydraulisyylinterit jaettuna eri ryhmiin [6, 14].

Hydraulisyylinterin tiivistys tarvitaan männän ja sylinterinputken sekä männänvarren ja sylinterin etupäädyn välissä. Tiivisteisiin liittyvistä ominaisuuksista on otettava huomioon tiivistyskyky, paineenkestävyys, kulumiskestävyys, lepo- ja liikekitkan suuruus, lämpötilankestävyys ja kemiallinen kestävyys [6]. Servohydrauliikassa voidaan käyttää tiivistetöntä sylinteriä, koska tällä tavoin sylinteri saadaan herkkäliikkeiseksi. Haittana on kuitenkin pieni vuoto männän ohi. Hydraulisyylinterieissä käytettävät tiivistetyypit ovat [6]:

- O-rengas: halpa, ei sovellu kovin hyvin liikkuvaksi tiivisteeksi.
- Huulitiiviste: tavallisimmin hydraulisyylinterieissä käytetty, tiivis vain toiseen suuntaan.
- Pakkatiiviste: useita tiivisteitä peräkkäin, kiristettävissä.

Hydraulisyylintereissä käytetään yleensä päätyvaimennusta, kun männän nopeus ylittää 0.1 m/s [6]. Törmäystä voidaan vaimentaa esimerkiksi venttiilikytkennoillä, sylinterin sisään asennetulla päätyasentovaimennuksella tai mekaanisella rakenteella, joka estää mäntää törmäämästä päätyyn.

### 3.4 HYDRAULIPUMPUT

Hydraulipumput ovat lähes poikkeuksetta tyypiltään syrjäytuspumppuja. Kuva 10. esittää hammaspyörä- (gear), siipi- (vane) ja mäntäpumpun (piston) toimintaperiaatekuvaa. Hydraulipumppujen rakenteet ilmenevät kuvasta 11. Taulukko 1. esittää hydraulipumppujen suoritusarvoja.



Kuva 10. Hammaspyörä-, siipi- ja mäntäpumpun toimintaperiaatekuva [23].

**Hammaspyöräpumput:**  
 - Ulkopuolisesti sivuavat hammaspyörät  
 - Sisäpuolisesti sivuavat hammaspyörät

**Ruuvipumput:**  
 - 1-ruuviset  
 - 2-ruuviset  
 - 3-ruuviset

**Siipipumput:**  
 - Siivet pyörivät roottorin mukana  
 - Siivet pyörivät staattorin mukana

**Mäntäpumput:**  
 - Rivimäntäpumput  
 - Radiaalimäntäpumput  
 - Aksiaalimäntäpumput

Kuva 11. Hydraulipumppujen rakenteet [6, 14].

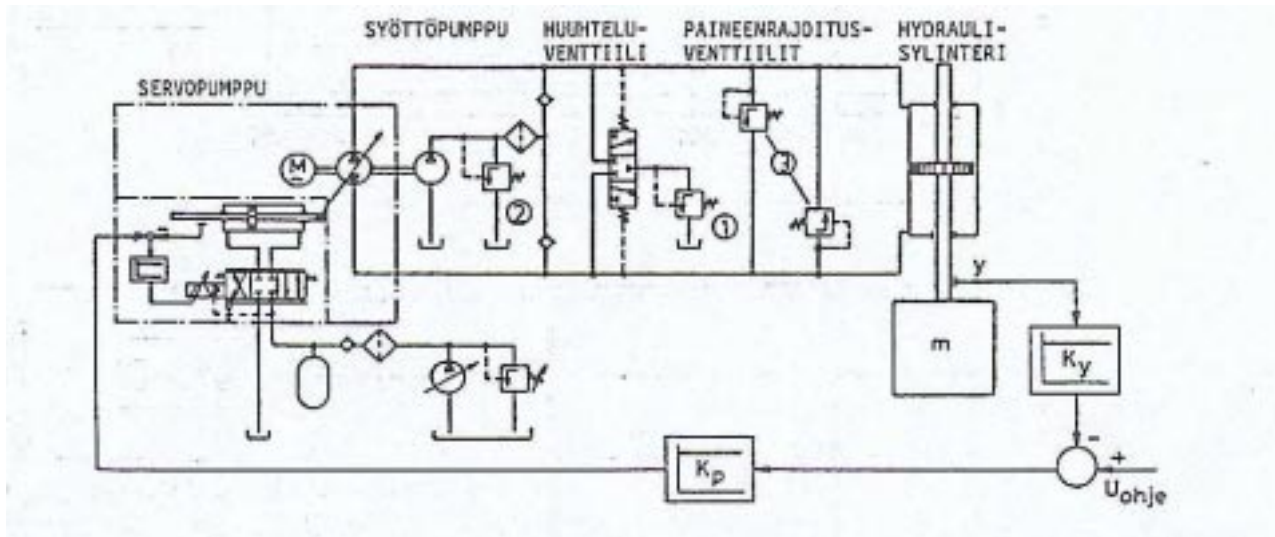
Taulukko 1. Hydraulipumppujen suoritusarvoja [6].

Pumppurakenne	Kierrostilavuus [cm <sup>3</sup> /r]	Maksimipaine [bar]	Pyörimisnopeus [r/min]	Hyötysuhde
Hammaspyörä	3...100	250	500...5000	0.8...0.9
Siipi	10...125	200	900...3000	0.8...0.9
Ruuvi	100...1000	200	1500...3500	0.6...0.8
Rivimäntä	100...500	1000	100...1000	0.7...0.9
Radiaali	0.4...20	700	1000...3500	0.8...0.95
Aksiaali	10...2000	400	500...4000	0.85...0.95

Hydrauliset servojärjestelmät, joissa käyttöteho on yli 15 kW, pyritään toteuttamaan pumppuohjattuina. Pumppuohjauksessa massa ja liikematkat ovat vähintään yhtä tai kahta kertaluokkaa suuremmat kuin venttiilikäytössä, joten servopumppuohjattu järjestelmä on hitaampi kuin venttiiliohjattu järjestelmä. Tavallisesti suljetuissa järjestelmissä käytetään lisäksi

huhteluventtiiliä, joka vaikuttaa järjestelmän dynaamisiin ominaisuuksiin. Servopumppuina käytetään yleisimmin aksiaalimäntä-, radiaalimäntä- tai siipipumppuja [7]. Kuva 12. esittää pumppuohjattua servojärjestelmää.

Pumpun välinnassa ratkaiseva tekijä on kierrostilavuus, joka on moottorin ottama tilavuus kierrosta kohden ( $m^3/r$ ). Hydraulimoottorien kierrostilavuudet ovat välillä 0.16 ... 8000  $cm^3$ /kierros standardin SFS 4556 mukaisesti [6].



Kuva 12. Pumppuohjattu servojärjestelmä, jossa toimilaitteena on sylinteri [7].

### 3.5 HYDRAULIMOOTTORIT

Hydraulimoottorit ovat periaatteessa hydraulipumppujen vastakohta. Niiden avulla voidaan hydraulinen energia muuttaa takaisin mekaaniseksi energiaksi. Rakenteeltaan hydraulimoottorit muistuttavat suuresti pumppuja, joskus onkin mahdollista käyttää hydraulipumppua moottorina ja päinvastoin. Hydraulimoottorien rakenteet ovatkin hyvin pitkälle kuvissa 10. ja 11. esitettyjä pumppujen rakenteita vastaavia. Hydraulipumppujen tavoin hydraulimoottorit toimivat syrjäytysperiaatteella.

Paineettomana moottori ottaa yhden radiaanin kääntymistä kohti tietyn tilavuuden väliainetta. Tätä tilavuutta kutsutaan radiaanitulavuudeksi ( $m^3/rad$ ). Lisäksi käytetään kierrostilavuutta, kuten hydraulipumpuilla.

### 3.6 SUODATTIMET

Hydraulijärjestelmässä on aina epäpuhtauksia. Suodatuksen pyrkimyksenä ei ole absoluuttinen puhtaus, vaan pyritään pitämään puhtaustaso järjestelmän toiminnan kannalta hyvällä tasolla [21].

Hydraulijärjestelmissä käytetään matala-, keski- ja korkeapainesuodattimia sekä huohotin- ja imusuodattimia. Matala- ja keskipainesuodattimia käytetään voiteluöljyn yleiseen suodattamiseen, korkeapainesuodattimia voidaan käyttää päävirtausuodattimina suojaamaan herkkiä komponentteja. Asennus tapahtuu venttiilistä riippuen säiliön kanteen, putkistoon tai venttiilin yhteyteen. Huohotinsuodattimia voidaan käyttää nestesäiliöiden täyttötulppissa [5].

Useissa suodattimissa on sisäänrakennettu diagnostisointi sallitun puhtaustason ylitykselle, esimerkiksi merkkivalo Moog D761 -sarjan servoventtiilien korkeapainesuodattimissa [17].

Suodattimissa käytetään yleensä voimakasta magneettia magnetisoituvien partikkeleiden erottamiseksi hydraulineesteestä. Mikäli tästä aiheutuu erityistä haittaa, voidaan käyttää esimerkiksi keskipakoisvoimaan perustuvaa erotinta, jolla saadaan myöskin vesi erotettua hydraulineesteestä [15].

### 3.7 PAINEAKUT

Paineakkuja käytetään hydraulikassa varastoimaan energiaa sekä vaimentamaan painevärähtelyä. Pääasiallinen käyttötarkoitus on otettava huomioon paineakkuja mitoitettaessa. Muuttuvina suureina paineakun toiminnan aikana ovat lämpötila, paine ja tilavuus. Rakkoakun, esimerkki paineakusta, toimintaperiaate on seuraavanlainen [20]: Rakkoakun sisällä on kumimainen säiliö, joka täytetään ensin täyttöventtiilin kautta tiettyyn esitäyttöpaineeseen ja tilavuuteen. Kaasuna akussa käytetään typpeä. Käytön aikana akun pohjassa oleva venttiili aukeaa, kun järjestelmän paine ylittää akun esitäyttöpaineen. Tällöin akkuun virtaa öljyä ja sen paine alkaa nousta kohti ylittä käyttöpainetta, samalla kaasun tilavuus pienenee. Minimi- ja maksimikäyttöpaineita vastaavien tilavuuksien välinen erotus määrittelee akun käytettävissä olevan öljytilavuuden. Paineakun kuntoa voidaan tarkkailla typen paineen tai lämpötilan mittauksilla.

### 3.8 TOIMILAITEPAKETIT

Servotoimilaitteiden hankinnan ja käyttöönoton helpottamiseksi on yleistynyt ns. servotoimilaittepakettien tarjonta. Niiden perusajatuksena on koota sylinteri, takaisinkytkennän vaatima anturi, servoventtiili, ohjauselektronikka ja osa putkista ja letkuista toiminnalliseksi ja rakenteelliseksi moduli. Modulin käyttöönotto sekä asennus ja irrotus tapahtuvat helpommin kuin erillisistä komponenteista koostuvassa järjestelmässä [1, 7].

### 3.9 OHJAUKSESSA KÄYTETTÄVISTÄ ANTUREISTA

Useimmiten hydraulisen servosylinterin säädössä käytetään ainoastaan asematakaisinkytkentää [18]. Tähän käytetään tyypillisesti potentiometrejä, LVDT-antureita (differentiaalimuunnin), pulssiantureita yhdistettynä ruuvikäyttöön sekä magnetostriktiivisiä antureita. Nopeus ja kiihtyvyys voidaan laskea asematiedosta derivoimalla. Proportionaaliventtiilin magneetin takaisinkytkennässä käytetään yleensä LVDT-anturia. Servosylinterin anturin valintaan vaikuttavat ensisijaisesti mitattava iskunpituus ja haluttu asemointitarkkuus [1].

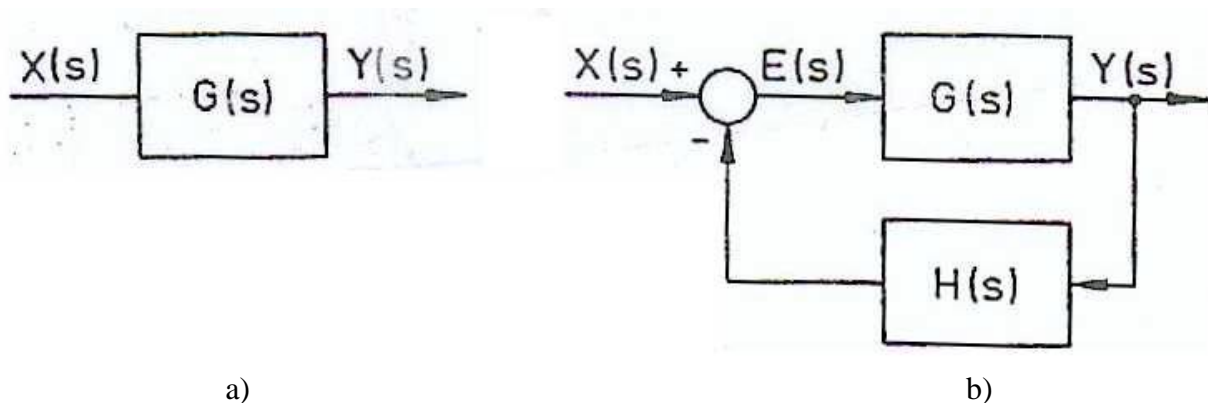
Hydraulisyylinterin voiman säätösovelluksessa tarvitaan paineen mittausta sekä männän etä määntä varren puolelta. Anturina voidaan käyttää esimerkiksi venymäliuska-anturia [18].

Erilaisten servoventtiilien karan takaisinkytkentä on usein ratkaistu asema-anturilla, esimerkiksi kolmiasteisessa suuntaservoventtiilissä LVDT-anturilla [1].

## 4 SERVOJÄRJESTELMÄT

Servojärjestelmä voidaan määritellä järjestelmäksi, joka sisältää vahvistuksen lisäksi automaattisen poikkeaman korjauksen [11]. Poikkeama tarkoittaa tavoitearvon ja toteutuneen arvon erotusta.

Useimmiten tarkka liikkeiden hallinta edellyttää säätöjärjestelmän eli suljetun säätöpiirin käyttöä. Kuva 13. esittää periaatekuvaa avoimesta ja suljetusta säätöpiiristä, missä  $X(s)$  tarkoittaa syötettä,  $Y(s)$  vastetta,  $G(s)$  siirtofunktiota,  $E(s)$  erosuuretta ja  $H(s)$  takaisinkytkennän siirtofunktiota. Mikäli  $H(s) = 1$ , käytetään nimitystä suora takaisinkytkentä, muussa tapauksessa kyseessä on epäsuora takaisinkytkentä [FonS]. Hyvät dynaamiset ominaisuudet ovat tärkeitä, järjestelmän on kyettävä reagoimaan nopeasti ohjearvon suuriinkin muutoksiin (lyhyt vasteaika) ja ohjearvoa on pystyttävä seuraamaan tarkasti ilman värähtelyjä (stabiili järjestelmä) [11].



Kuva 13. Avoimen a) ja suljetun b) säätöpiirin periaatekuva.

Sähköhydrauliset servojärjestelmät ovat yleensä takaisinkytkettyjä asema-, nopeus- tai voimaservoja, joissa toimilaitteena on joko hydraulisyliinteri tai -moottori. Keskeinen osa servojärjestelmää on servoventtiili, jossa sähköinen ohjaus muutetaan hydrauliseksi ohjaukseksi. Lähes kaikki servojärjestelmät ovat sähköisesti ohjattuja ja takaisinkytkennästä riippuen käytetään erilaisia antureita. Sähköhydrauliset servojärjestelmät voidaan luokitella signaalirakenteeseen perustuen seuraavalla tavalla [7]:

- Analogisesti ohjatut analogiset servojärjestelmät.
- Analogisesti ohjatut digitaaliset servojärjestelmät.
- Digitaalisesti ohjatut analogiset servojärjestelmät.
- Digitaalisesti ohjatut digitaaliset servojärjestelmät.

Servojärjestelmässä voidaan käyttää energian talteenottoa esimerkiksi tilavuusvirtakytketyn suljetun hydraulijärjestelmän tai painekytketyn sekundäärikäytön avulla. Tästä ratkaisusta käytetään nimitystä sekundäärisäätöjärjestelmä. Tilavuusvirtakytkentä tarkoittaa, että toimilaitte saa primääriyksikössä asetetun tilavuusvirran ja toimilaitteen kuorman suuruus määrää järjestelmän painetasoa. Painekytkentäisissä järjestelmissä vaikuttaa vakioaine ja toimilaitteen kuorman suuruus vaikuttaa toimilaitteen saamaan tilavuusvirtaan. Energiaa varastoivana elimenä käytetään paineakkaa.

Yleensä hydraulista energiaa siirrettäessä on häviöillä suuri osuus käytetystä kokonaisenergiasta. Tämä on johtanut kehitystä kohti hydraulijärjestelmiä, joilla on parempi energiatalous. Regeneratiivissa servojärjestelmissä energia on mahdollista saada takaisin. Häviöenergia pyritään

pitämään mahdollisimman pienenä. Ns. hydraulimuunnin mahdollistaa energian takaisinsaannin. Hydraulimuunnin muodostuu kahdesta tai kolmesta yhteen kytketystä hydraulikoneesta, jotka voivat toimia pumppuna tai moottorina ja joista yksi tai kaksi on säädettävää tyyppiä. Päätoimintaperiaate on, että toimilaitteen tilavuusvirran säätö perustuu vakiopaineverkkoon kytketyn säätömoottorin avulla tapahtuvaan hydraulimuuntimen pyörimisnopeuden säätöön.

## 5 HYDRAULIIKAN VIKAANTUMINEN

Hydrauliikan vikaantuminen ilmenee nestevuotoina, ylikuumenemisena, ohjauksen tai toiminnan virheinä tai järjestelmän pysähtymisenä. Monet eri vikaantumistavat johtavat näihin seurauksiin [8, 9, 10, 21]. Liitteessä 1. esitetään kaaviokuva sähköhydraulisen servojärjestelmän mahdollisista vikatyypeistä sekä niistä kertovista oireista [24].

Koko hydraulijärjestelmän käyntiaste on riippuvainen yksittäisten komponenttien kunnosta. Usein komponentin vaurioitumisen syy jää kuitenkin epäselväksi. Tämän vuoksi on kehitetty järjestelmiä, joissa voidaan simuloida eri vikatyyppejä [8].

Kuva 14. esittää tyypillisen hydraulijärjestelmän epäpuhtauslähteitä, missä aeration = ilmavuoto, contamination = epäpuhtaudet, erosion = eroosio, fatigue = väsymiskuluminen, leakage = vuoto ja sliding wear = liukumiskuluminen. Eri tutkimuksissa on osoitettu, että epäpuhtaudet ovat useimmiten syynä hydraulijärjestelmien vaurioihin [4, 15], servohydrauliikassa n. 40-70 % tapauksista. Hydraulinesteen epäpuhtaudet aiheuttavat toimintahäiriöitä kautta koko järjestelmän. Erityisesti servohydrauliikan tarkkaan säätöön suunnitellut, pienen valmistustoleranssin omaavat venttiilit ovat herkkiä likaantumisen aiheuttamalle juuttumiselle. Muutkin venttiilit voivat juuttua paikoilleen kiinteiden epäpuhtauksien kasaantumisen seurauksena. Paineenalennusventtiilin tai ylikuormitussuojana toimivan päästöventtiilin juuttuminen aiheuttaa järjestelmän ylikuumenemistä.

*Kuva 14. Tyypillisen hydraulijärjestelmän epäpuhtauslähteitä [21].*

Servohydrauliikan takaisinkytketyssä säädössä käytettävät anturit ovat asema-, liike-, nopeus- tai voima-antureita. Oma osansa servohydrauliikan vikadiagnostiikasta on näiden anturien, sekä säätöpiirin toiminnan seuraaminen.



## 5.1 VIKAANTUMISEN ILMENEMINEN

### 5.1.1 Vuodot

Vuotoja esiintyy liittimissä ja letkuissa tai komponenttien tiivisteissä. Ulkoisen vuodon havaitseminen voi olla helppoa öljylammikon tai öljysuihkun perusteella. Vuoto voi paljastua myös järjestelmän paineen alenemisesta ja toimilaitteiden hidastumisesta. Sisäisen vuodon aiheuttajan paikantaminen on vaikeampaa kuin ulkoisen vuodon. Joidenkin komponenttien toimintaan liittyy olennaisesti jonkin verran sisäistä vuotoa, mutta yleisemmin sisäinen vuoto johtuu tiivisteiden kulumisesta tai vikaantumisesta sekä itse osien kulumisesta. Yksi vuodon syy on hydraulinesteen liian alhainen viskositeetti, joka voi johtua järjestelmän ylikuumentumisesta [11].

### 5.1.2 Ylikuumentuminen

Hydrauliikkajärjestelmät suunnitellaan toimimaan n 40 - 80 ° C välille vakioidussa lämpötilassa, tosin poikkeuksia on varsinkin ylärajalla. Jatkuva yli 80 ° C lämpötila johtaa hydrauliöljyn ominaisuuksien nopeaan huononemiseen [11].

Hydraulineesteeseen tulee lämpöä pumpusta paineen tuoton yhteydessä sekä putkistosta ja komponenteista nesteeseen virtauksen kuristumisen vuoksi.

Öljyn ylikuumentumista voivat aiheuttaa seuraavat tekijät:

Liian korkean viskositeetin öljy, liian korkeaksi asetettu järjestelmän paine, paineenalennusventtiilin tukkeutuminen, pumpun jatkuva käyttö täydellä kuormalla ja sisäinen vuoto aiheuttavat öljyn kuumenemisen pumpussa. Pumppu joutuu toimimaan huonolla hyötysuhteella, liian korkeaa painetta vastaan tai jatkuvasti liian suurella teholla.

Öljyn ylikuumentuminen riittämättömästä jäähtymisestä johtuen voi aiheutua seuraavista seikoista: Liian pieni nestemäärä säiliössä tai järjestelmässä ylipäättään, virtauksen kuristuminen putkistossa, toimilaitteen liikkeen estyminen, ylisuuret liikenopeudet ja virtausnopeudet, putkistojen kuumeneminen ulkoisista syistä sekä riittämätön jäähtytys aiheuttavat sen, ettei öljy jäähdy riittävästi kierron aikana. Virtaus kuristuu ja aiheuttaa tehon muuttumista lämmöksi lommoutuneissa tai tukkeutuneissa putkissa, mutta myös päästöventtiileissä, jotka joutuvat toimimaan virtaustienä toimilaitteen liikkeen estyessä.

### 5.1.3 Ohjauksen ja toiminnan virheet

Ohjauksen ja toiminnan virheet, samoin kuin vuodot ja ylikuumentuminenkin, voivat johtaa hydraulijärjestelmän täydelliseen pysähtymiseen. Vikaantuminen voi huomauttaa edetä sellaiselle asteelle, jolla normaalit huoltotoimenpiteet eivät enää auta. Taulukossa 2. on summattu hydraulijärjestelmän ominaisuuksia ja vaurioitumistapoja.

*Taulukko 2. Hydraulijärjestelmän ominaisuudet, ominaisuuksien ääriarvot ja niiden vaikutukset [9, 11].*

Ominaisuus	Ominaisuuden ääriarvot	Vauriot ääritapauksessa
1. Nesteen paine	Liian korkea; liian suuri kuorma, ylipaineventtiili tukkeutunut  Liian pieni; pumpun imupuolella	Putkistorikko Kuluminen Luistin juuttuminen Kavitaatio
2. Nesteen määrä	Liian vähäinen; vuotoja, suunnitteluvirhe	Ylikuumentuminen Pumpun kiinnileikkaaminen
3. Virtaus	Voimakas virtaus pienessä raossa	Suihkuerosio luistissa ja venttiilissä
4. Painepulssit	Resonointi	Väsyminen
5. Suodatus	Tukkeutuminen; liian hieno suodatus, erityisen paljon epäpuhtauksia, huollon laiminlyönti	Kavitaatio Putken tai suodattimen repeäminen Vastapaine paluuputkessa
6. Neste/Materiaali	Epäyhteensopivuus	Tiivisteiden liukeneminen, pintojen korrosio
7. Nesteen likaantuminen	Kiinteät epäpuhtaudet; ulkoa tai kulumisesta  Kemikaalit; prosessilaitteista, jäähdyttimen vuotaminen	Kuluminen liukupinnoissa, virtausaukkojen tukkeutuminen Korrosio
8. Piirin rakenne	Äärimmäiset kuormitukset	Säröt ja rikkoutuminen

## 5.2 KOMPONENTTIVAURIOT

Neljän eri hydraulijärjestelmän komponenttien vikaantuminen eri syistä johtuen ja vikojen esiintyminen on esitetty taulukossa 3. [15, 22]. Lähteessä [22] ei ole ilmoitettu käyttöolosuhteita eikä kuormituksen voimakkuutta. Todennäköisesti tutkimus on tehty laitteiden todellisessa käyttöympäristössä, mikä voidaan päätellä metsäkoneen huomattavasti muita suuremmasta vikataajuudesta.

Servo- ja proportionaaliventtiilit asettavat erikoisvaatimuksia hydraulinesteen puhtaudelle. Lähteissä [12, 13] on tutkittu epäpuhtauksien vaikutusta venttiilien toimintaan. Tutkimuksessa [12] proportionaaliventtiilin suutin-läppä -periaatteella toimiva esiohjausosa sietää kuormittamattomana epäpuhtauksia melko hyvin, mutta saman kaksiasasteisen venttiilin pääkaran toiminta oli tyydyttävää epäpuhtauksien kokoluokan vaihdeltaessa 0-15 µm välillä ja konsentraation ollessa 300 mg/l. Sen sijaan kasvatettaessa epäpuhtaushiukkasten koko 0-25 µm välille, hiukkaskonsentraatio voi enimmillään olla 50 mg/l. Servoventtiilit ovat vielä herkempiä epäpuhtauksille, erityisesti 0.7-1.5 µm (välysten suuruusluokkaa) ja n. 60 µm hiukkaset (suuttimien tukkeutuminen) [13]. Molemmissa edellä mainituissa selvityksissä [12, 13] todetaan venttiilien kuormituksen kasvattamisen lisäävän merkittävästi herkkyyttä epäpuhtauksien vaikutukselle.

Hienoista, alle 5 µm läpimittaisista kiinteistä epäpuhtaushiukkasista kasautuu liejua servoventtiilin karan ja rungon väliin. Suuremmat hiukkaset leikkautuvat ohjausporauksen ja luistin välissä, jos toimilaitteessa riittää voimaa. Kaikenlaiset epäpuhtaudet aiheuttavat helposti häiriöitä luistin liikkeeseen, mutta myös luistin ja rungon kulumista, joista seuraa venttiilin virtaus- ja säätöominaisuuksien muuttumista ja vuotoa [11].

Venttiilien ja toimilaitteiden ominaisuudet voivat muuttua epäpuhtauksien aiheuttaman kulumisen tai tiivisteiden vaurioitumisen vuoksi. Yleinen muutos on lisääntynyt sisäinen vuoto, joka voi alentaa järjestelmän suorituskykyä. Suodattimet tukkeutuvat, jos niitä ei vaihdeta ajoissa.

Hydrauliikan toiminta voi olla virheellistä myös säätöjärjestelmän vikaantumisen vuoksi. Säätöjärjestelmä sisältää anturit, joilla toimilaitteen asemaa, liikenopectta tai voimaa mitataan. Lisäksi järjestelmään kuuluu anturien johdotus, signaalin vahvistus ja käsittely, jonkinlainen ohjauslogiikka tai tietokoneohjaus sekä servoventtiilin luistin liikuttamiseen tarvittavat sähköiset toimilaitteet ja niiden vahvistimet. Säätöjärjestelmän viat ovat pääasiassa sähköisiä, esimerkiksi liittimien irtoaminen, ja ne voidaan havaita tarkkailemalla järjestelmän signaaleja esimerkiksi logiikan käyttöliittymään ohjelmoidun diagnostiikan avulla [11].

*Taulukko 3. Lähteen [22] hydrauliikkajärjestelmien vikaantumistutkimuksen tulokset. \* = lähteestä [15].*

Komponentit	Vikataajuus vikaa / 10 <sup>6</sup> h	Vikataajuus vikaa / 10 <sup>6</sup> h	Vikataajuus vikaa / 10 <sup>6</sup> h	Vikataajuus vikaa / 10 <sup>6</sup> h	Vikaantumistapa	Vian ensisijainen syy
	Metsäkone	Levykäsittelylaite	Kuljetin	NC-jyrsinkone		
Venttiilit	69	1	2	33	1) Kiinnijuuttuminen 29% 2) Vuoto 21% 3) Väärä toiminto 18% 4) Määrittelmätön 17% 5) Muu vika 15%	1) Määrittelmätön 47% 2) Epäpuhtaudet 22% 3) Kuluminen 20% 4) Kunnossapitovirhe 5% 5) Materiaalivirhe 4%
Sylinterit	318	2	30	38	1) Vuoto 50% 2) Muu vika 19% 3) Määrittelmätön 17% 4) Kuluma 15% 5) Riittämätön kapasiteetti 10%	1) Kuluminen 50% 2) Määrittelmätön 31% 3) Ulkoisten tekijöiden aiheuttama vaurio 5% 4) Valmistusvirhe 6% 5) Materiaalivirhe 5%
Hydraulipumput	34	5	38	12	1) Kuluma 50% 2) Muu vika 50%	1) Kuluminen 67% 2) Käyttömootorin palaminen 17% 3) Määrittelmätön 16%
Hydraulimootorit	237	10	46	11	1) Akselin katkeaminen 33% 2) Riittämätön kapasiteetti 24% 3) Vuoto 21% 4) Määrittelmätön 18% 5) Väärä toiminto 4%	1) Määrittelmätön 47% 2) Kuluminen 24% 3) Materiaalivirhe 6% 4) Epäpuhtaudet 3% 5) Kunnossapitovirhe 3%
Suodattimet	14	6	23	13	* Tukkeutuminen, vuotaminen, mekaaninen vaurio tai nopea kuluminen	1) Epäpuhtaudet 50% 2) Materiaalivirhe 50%
Paineakut	43	-	77	70	1) Vuoto 100%	1) Kuluminen 67% 2) Määrittelmätön 33%
Letkut	90	-	-	-	1) Vuoto 47% 2) Muu vika 20% 3) Reikä 15% 4) Murtuma 11% 5) Määrittelmätön 7%	1) Määrittelmätön 31% 2) Kuluminen 30% 3) Ulkoisten tekijöiden aiheuttama vaurio 26% 4) Materiaalivirhe 5% 5) Palo 4%

## 6 YHTEENVETO

Tässä yleisluonteisessa raportissa tehdään katsaus servohydrauliikan tärkeimpiin komponentteihin ja servojärjestelmän vikaantumiseen. Vikaantuminen käsitellään sekä järjestelmän että yksittäisen komponentin tasolla. Tämän lisäksi esitetään, millä tavoin vikaantuminen ilmenee järjestelmässä.

Servohydrauliikka mahdollistaa perinteiseen hydrauliikkaan verrattuna nopeammat ja tarkemmat sylintereiden liikkeet. Toisaalta servojärjestelmä on perinteistä järjestelmää herkempi häiriötekijöille ja se on useimmissa tapauksissa myös kalliimpi toteuttaa. Sähköhydraulisen servojärjestelmän pääkomponentit ovat servo- ja proportionaali-venttiilit. Muita perinteisessäkin hydrauliikassa käytettäviä komponentteja ovat mm. sylinterit, pumput ja moottorit.

Suurin yksittäinen servohydrauliikassa toimintahäiriötä aiheuttava tekijä on epäpuhtaudet. Epäpuhtaudet voivat aiheuttaa häiriötä järjestelmän ohjaukselle sekä vaurioittaa komponentteja. Hydraulijärjestelmän toiminta on riippuvainen yksittäisten komponenttien kunnosta. Vikaantuminen voi ilmentyä esimerkiksi vuotoina tai ylikuumenemisena.

## 7 LÄHDELUETTELO

- [1] Airila, M. Mekatroniikka. 4. korjattu p. Espoo: Otatiето, 1996. 386 s. ISBN 951-672-239-3
- [2] AISE (Association of Iron and Steel Engineers). The Lubrication Engineers Manual. 2nd Edition. Pittsburgh: AISE, 1996. 625 s. + liitt. 2 s. ISBN 0-930767-01-2
- [3] Chen, P-C & Shih, M-C. An Experimental Study on the Position Control of a Hydraulic Cylinder using a Fuzzy Logic Controller. JSME International Journal. Series III, Vol. 34, No. 4, 1991. S. 481-489.
- [4] Day, M. Condition Monitoring of Hydraulic Systems. Teoksessa: Rao, B.K.N. (ed.). Handbook of Condition Monitoring. 1<sup>st</sup> Edition. Oxford: Elsevier Advanced Technology, 1996. S. 209-252. ISBN 1 85617 234 1
- [5] Finn-Filter. Hydraulic Filters. Parker Filtration. Tuotekansio, Urjala 1999.
- [6] Fonselius, J., Rinkinen, J. & Vilenius, M. Koneautomaatio. Hydrauliikka II. Helsinki: Opetushallitus, 1995. 224 s. + liitt. 2 s. ISBN 951-719-153-7
- [7] Fonselius, J., Rinkinen, J. & Vilenius, M. Koneautomaatio. Servotekniikka. Helsinki: Opetushallitus, 1998. 194 s. ISBN 951-719-472-2
- [8] Heinonen, M. Sähköhydraulisen servoventtiilin vikadiagnostiikka. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, 1994. 96 s. + liitt. 7 s.
- [9] Hunt, T.M. A Review of Condition Monitoring Systems Applicable to Fluid Power Systems. Teoksessa: Proceedings of the 7th International Fluid Power Symposium. Englanti: BHRA, 1986. S. 285-294.
- [10] Hunt, T.M. Condition Monitoring of Mechanical and Hydraulic Plant. A concise introduction and guide. Lontoo: Chapman & Hall, 1996. 221 s. + liitt. 45 s. ISBN 0 412 70780 2

- [11] Hunt, T.M. & Vaughan, N. The Hydraulic Handbook. 9th edition. Oxford: Elsevier Advanced Technology, 1996. 711 s + liitt. 29 s. ISBN 1 85617 250 3
- [12] Inoue, R. Contaminant Effects: Look What Happens to Proportional Valves. Hydraulics & Pneumatics 37 (1984) 11. S. 156-159.
- [13] Järvinen, M. Levynvalssaimen paksuudensäätöhydrauliikan kunnonvalvonnan määrittäminen. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, 1991. 145 s. + liitt. 5 s.
- [14] Korhonen, E. & Havumäki, M. Hydrauliikan komponenttien oppi- ja käsikirja. Jyväskylä: Teknolit, 1991. 192 s. + liitt. 13 s. ISBN 951-96321-2-3
- [15] Lehmusto, M. Hydrauliijärjestelmän luotettavuuden parantaminen. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, 1981. 106 s. + liitt. 17 s.
- [16] Lenz, W. Developments in High Performance Proportional Valves with CANopen Fieldbus Interface. Teoksessa: Koskinen, K.T. & Vilenius, M. The Sixth Scandinavian International Conference on Fluid Power, May 26-28, 1999, Tampere, Finland. 14 s. ISBN 952-15-0181-2
- [17] Moog, Servolution Moog. Tuotekansio 1999.
- [18] Nevala, K. 46251S Mekatroniikka. Kurssimateriaali 1997. Oulun Yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Konetekniikan osasto.
- [19] Rexroth Mecman Svenska AB, 1999. Industrihydraulik [verkkodokumentti]. Ruotsi: Engineering Mannesmann Rexroth [viitattu 9.8.1999]. Saatavissa: <http://www.rexrothmecman.se>.
- [20] Saari, P. Nauhavalssaimen hydraulisen paksuudensäätöjärjestelmän tutkiminen. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, 1992. 104 s. + liitt. 15 s.
- [21] Stecki, J. & Grahl-Madsen, M. Distribution of Particulate Contamination in Multi-Branch Hydraulic Systems. Teoksessa: Koskinen, K.T. & Vilenius, M. The Sixth Scandinavian International Conference on Fluid Power, May 26-28, 1999, Tampere, Finland. S. 1135-1148. ISBN 952-15-0181-2
- [22] Thorstensson, L. & Lövroth, C. Tillförlitlighets- och fältstudier av hydrauliksystem. Del I, Slutrapport från projektet. Sveriges Mekanförbund, Stockholm 1977. 97 s.
- [23] Yeaple, F. Fluid Power Design Handbook. New York: Marcel Dekker, 1984. 607 s. + liitt. 7 s. ISBN 0-8247-7196-6
- [24] Yongxiang, L. & Zhangwei, C. A Knowledge-based Electrohydraulic Servo-System Fault Diagnostic Model. Teoksessa: Koskinen, K.T. & Vilenius, M. The Sixth Scandinavian International Conference on Fluid Power, May 26-28, 1999, Tampere, Finland. S. 686-694. ISBN 952-15-0181-2
- Liite 1. Sähköhydrauliselle servojärjestelmälle tyypillisten vikojen ja oireiden yhteyksiä [23].