

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU  
Merenkulun koulutusohjelma / merenkulun insinööri

Jussi Vakkuri

VENTTIILITOIMILAITTEIDEN KÄYTTÖ TEOLLISUUDESSA

Opinnäytetyö 2015

# TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulku

Vakkuri, Jussi

Venttiilitoimilaitteiden käyttö teollisuudessa

Insinööriyö

46 sivua

Työn ohjaaja

Lehtori Mari Melatindos

Toimeksiantaja

Keyflow Oy

Maaliskuu 2015

Avainsanat

toimilaitteet, venttiilit, venttiilitoimilaitteet, vaihteistot

Tässä opinnäytetyössä perehdytään erilaisiin venttiilitoimilaitteisiin ja niiden käyttöön. Työssä selvitetään, minkälaisia toimilaitteita on markkinoilla, kuinka toimilaitteita käytetään ja tutustutaan toimilaitteiden rakenteisiin ja ominaisuuksiin. Työssä tutustutaan tarkemmin ruotsalaisen Oden Controllin venttiilitoimilaitteeseen.

Tieto on kerätty pääosin erilaisista artikkeleista ja alan kirjallisuudesta. Lisäksi yritysvierailut lappeenrantalaisessa Keyflow Oy:ssä tarjosivat paljon materiaalia ja oppia työhön. Yritysvierailuilla tutustuttiin tarkemmin Oden Controllin toimilaitteisiin, niiden ominaisuuksiin, käyttöön ja käyttöönottoon.

Työn tavoitteena oli luoda kattava tietopaketti venttiilitoimilaitteista ja niiden käytöstä erilaisissa sovelluksissa. Työssä esitellään erilaisia laitteita, sekä paneudutaan niiden rakenteeseen ja ohjailuun.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Marine Technology

Vakkuri, Jussi

Valve actuators in industrial use

Bachelor's Thesis

46 pages

Supervisor

Mari Melatindos, lecturer

Commissioned by

Keyflow Oy

March 2015

Keywords

Valve actuators, actuators, valves, gears.

This thesis was commissioned by Keyflow Oy. The aim of this study was to examine valve actuators. The study focused on the various types, operation principles and structure of valve actuators. This thesis also examines more precisely Swedish valve actuator manufacturer Oden Control's valve actuators.

During this thesis, visits to Keyflow Oy in Lappeenranta was performed to familiarize and calibrate various types of valve actuators made by Oden Control.

The aim of this study was to create extensive source of information about the valve actuators. In this thesis different types actuators, actuator structures and controlling the actuators are explained.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	VENTTIILITOIMILAITTEET	7
	2.1 Venttiilitoimilaitetyypit	8
	2.1.1 Monikierrostoimilaitteet	8
	2.1.2 Vääntötoimilaitteet	9
	2.1.3 Mekaaniset venttiilitoimilaitteet	10
	2.1.4 Ruuvitoiminen vaihteisto	10
	2.1.5 Kierukkavaihteiset mekaaniset toimilaitteet	11
	2.1.6 Pneumaattiset venttiilitoimilaitteet	12
	2.1.7 Sylinteritoiminen venttiilitoimilaitte	13
	2.1.8 Sähköhydrauliset toimilaitteet	14
	2.1.9 Sähkösäätöiset toimilaitteet	15
	2.2 Toimilaitteen valinta	18
3	SÄHKÖSÄÄTÖISET TOIMILAITTEET	19
	3.1 Monikäntötoimilaitteet	19
	3.2 Vääntötoimilaitteet	20
	3.3 Rakenne ja toimintaperiaate	21
	3.4 Ohjaussignaalit	22
	3.4.1 Analogiset signaalit	22
	3.4.2 HART	23
	3.4.3 Signaalityypin valinta	24
4	VAIHTEISTOT	25
	4.1 Vaihteistotyyppit	25
	4.2 Moottorityypit	30
	4.3 Vaihteiston valinta	30
5	TOIMILAITTEIDEN SÄÄTÄMINEN	31

6 VENTTIILIN VALINTA	32
6.1.1 Venttiilityypit	33
6.1.2 Säätoventtiilin valintaperusteet	33
6.1.3 Lineaariseen liikkeeseen perustuvat venttiilit	33
6.1.4 Kiertoliikkeeseen perustuvat venttiilit	34
7 ODEN-TOIMILAITTEET	36
7.1 Laitteen ohjelmointi ja käyttöönotto	38
7.2 Kalibrointi	40
8 PÄÄTELMÄT	42
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Venttiilitoimilaitteita käytetään teollisuusprosessin säätämiseen. Niiden käyttötarkoituksena on parantaa prosessin säädettävyyttä, helpottaa käyttökonekunnan työtä ja vähentää henkilökunnan työmäärää. Käyttökohteesta ja tarkoituksesta riippuen tulee valita oikeanlaiset toimilaitteet eri tilanteisiin. Käyttökohde määrittää myös käytettävän toimilaitteen haluttavat ominaisuudet sekä vaadittavan tehon tarpeen. Koska nykypäivänä markkinoilla on lukematon määrä erilaisia toimilaittevalmistajia, pyritään tässä opinnäytetyössä luomaan mahdollisimman puolueeton kuva venttiilitoimilaitteista ja niiden käytöstä.

Prosessin säädön kannalta toimilaitteet toimivat erittäin keskeisessä roolissa, sillä niiden avulla säädellään aineiden virtaamaa putkistoissa ja kanavistoissa. Virtaussäädöllä pystytään vaikuttamaan moniin prosessin eri pisteisiin sekä suureisiin, kuten lämpötilaan, paineeseen ja virtausnopeuteen.

Tulevaisuudessa sähkökäyttöiset venttiilitoimilaitteet ovat valtaamassa markkinoita. Niillä on selviä etuja verrattuna perinteisiin toimilaitteisiin. Ala on ollut murroksessa viimeiset 15 vuotta. Tekniikan ja tekoälyn kehittyessä venttiilitoimilaitteita on pystytävä säätämään entistä tarkemmin ja niistä on tullut entistä ratkaisevampi osa prosessin toimintaa ja hallintaa.

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda katsaus erilaisiin venttiilitoimilaitetyyppeihin, niiden käyttöön ja säätämiseen. Tässä opinnäytetyössä perehdyn enemmän sähkökäyttöisiin venttiilitoimilaitteisiin. Sähköisten venttiilitoimilaitteiden lisäksi esittelen myös mekaanisia, pneumaattisia ja hydraulisia toimilaitteita, jotta saataisiin laajempi kuva siitä, millaisilla tavoilla venttiileitä pystytään ohjaamaan.

Olen myös tuonut työssäni esiin muutamia venttiilityyppejä, joita toimilaitteiden kanssa käytetään. Ruotsalaisen Oden Controlin toimilaitteet edustavat venttiilitoimilaitteiden nykyaikaa ja nämä toimilaitteet ovat saaneet tarkempaa huomiota työssäni. Pääsin tutustumaan tarkemmin Oden Controlin toimilaitteisiin vieraillessani lappeenranta-laisessa Keyflow Oy:ssä. Näiden vierailujen pohjalta olen koostanut yhteenvedon Oden Controlin toimilaitteen käyttöönottoasetuksien määrittämisestä sekä toimilaitteen kalibroinnista tietokoneen avulla.

## 2 VENTTIILITOIMILAITTEET

Toimilaite on energian muunnin. Se muuttaa teholähteestä syötetyn energian mekaaniseksi energiaksi ja ohjaa määrätyn komponentin liikettä. Komponentti on yleensä venttiili, sylinteri tai luukku. Toimilaitteet käyttävät mekaanista voimaa, nestettä, ilmaa tai sähköä voimanlähteenään. Tyypistä riippumatta toimilaitteet mahdollistavat myös venttiilin avaamisen osittain. Toimilaitteissa on mittari tai asteikko, joka symboloi sitä, missä asennossa venttiili kussakin tilanteessa on. Tällä tavoin toimilaitteen ja venttiilin paketilla pystytään säätelemään väliaineen virtausta putkessa. Säättämällä läpi virtaavan aineen virtausta pystytään säätelemään lämpötilaa ja virtausnopeutta. Näiden suureiden avulla prosessin säätäminen helpottuu ja sitä voidaan säätää hyvinkin tehokkaasti ja tarkasti. (1.)

Nykyään prosessit ovat hyvin automatisoituja ja fyysinen työ on korvattu koneilla ja automaattisilla ohjailuilla. Myös venttiilien toimintaa on tänä päivänä automatisoitu paljon. Tämä on parantanut työturvallisuutta paikoissa, joissa on suuri riski työskennellä. Laivoissa tällaisia paikkoja, kuten esimerkiksi suljettuja tiloja, on paljon. Suljetuissa tiloissa työskentelyä on pystytty rajoittamaan huomattavasti asentamalla venttiilitoimilaitteita, joita pystytään käyttämään valvontajärjestelmän kautta. Venttiilejä, joita joudutaan avaamaan ja sulkemaan käsin jatkuvasti, on tämän päivän automaatiassa hyvin vähän. (2, s.15–16)

Nykyään lähes jokaista prosessiin liittyvää venttiiliä ohjaa toimilaite. Säätoventtiili muodostuu toimimoottorista ja toimielimestä. Moottori muuttaa toimielimen asentoa karan välityksellä. Useimmissa toimilaitteissa on asennoitin, jonka avulla toimielin säädetään haluttuun asentoon. (3.)

Toimilaite voi toimia joko lineaarisesti tai rotaarisesti. Lineaarinen eli sivuttais- tai pystysuuntainen liike voidaan tuottaa hydraulisesti, sähköisesti, pneumaattisesti tai mekaanisesti. Lineaariset toimilaitteet ohjaavat venttiilejä, jotka liikkuvat joko pysty- tai sivuttaissuuntaisesti. Pyörivät toimilaitteet saavat aikaan rotaarisen liikkeen. Rota-

risella liikkeellä pystytään käyttämään venttiilejä, jotka avautuvat pyörimisliikkeen avulla.

## 2.1 Venttiilitoimilaitetyypit

Venttiilitoimilaitteet voidaan jaotella karkeasti neljään eri tyyppiin. Kaikkien toimilaitteiden funktio on sama eli venttiili avataan tai suljetaan joko kokonaan tai osittain. Mekaaniset toimilaitteet, jotka ovat hyvin perinteisiä toimilaitteita, toimivat ruuvin tavoin ja välittävät näin voimaa venttiilikaralle. Hydrauliset venttiilitoimilaitteet käyttävät hydraulikkaa voimanlähteenään. Pneumaattiset toimilaitteet toimivat paineilmalla. Sähköiset toimilaitteet käyttävät toiminnassaan vaihto- tai tasavirtaa. Virta pyörittää sähkömoottoria, joka saa aikaan halutun vääntömomentin. (4.)

Venttiilitoimilaitteessa yhdistyvät asennontunnistin, momentinrajoitin, moottorin suojaus, logiikanohjaus, digitaalinen kommunikaatio ja joissain tapauksissa PID-säädin samassa laitteessa. (1.)

Lisäksi toimilaitteet voidaan jaotella monikierrostoimilaitteisiin, osakierrostoimilaitteisiin ja lineaarisiin toimilaitteisiin. Myös venttiilin käyttötarkoitusta voidaan käyttää yhtenä jaottelevana tekijänä: käytetäänkö venttiiliä säätämiseen vai toimiiko se vain sulkuventtiilinä.

Lineaariset toimilaitteet voidaan jaotella kahteen eri ryhmään: pneumaattisiin ja hydraulisiin. Ne painavat istukkaventtiilin istukkaa alaspäin pneumaattisella tai hydraulisella voimalla. Lineaariseksi toimilaitteeksi voidaan myös laskea monikierros sähköisäätöinen toimilaitte, joka välittää lineaarisen voiman rotaarisen liikkeen avulla. Tässä tapauksessa istukkaventtiilin karan pyörittäminen saa aikaan lineaarisen liikkeen. (6.)

### 2.1.1 Monikierrostoimilaitteet

Mikä tahansa venttiili, jota voidaan operoida (kiinni tai auki) kääntämällä venttiilikaraa useampia kertoja eri suuntiin tarvitsee toimiakseen monikierrostoimilaitteen (Multi turn actuator). Monikierrostoimilaitte on laite, joka pystyy välittämään venttiilille väännön ainakin yhden täyden kierroksen ajan. (5, s. 11)



Luisti ja istukkaventtiili ovat esimerkkejä venttiilistä, jota ohjataan kääntämällä venttiilikaraa useita kierroksia. Istukkaventtiilissä toimilaite on yhdistetty venttiilikaraan kierretangon tavoin. Kun toimilaitteen akseli pyörittää kierretankoa, joka on yhdistetty venttiilikaraan, pystytään venttiilin istukkaa avaamaan ja sulkemaan. Saadakseen aikaan täydellisen venttiilin aukeamisen tai sulkemisen toimilaitteen akselin tulee pyöriä muutamista kierroksista satoihin kertoihin. Sähkösäätöisiä toimilaitteita pyörittää sähkömoottori. Tämän vuoksi sähkösäätöisillä toimilaitteilla ei ole pyörimisen suhteen rajoituksia, toisin kuin pneumaattisesti ja hydraulisesti toimivilla toimilaitteilla. (6.)

ISA-standardin mukaan toimilaitteen täytyy pystyä käsittelemään luistin painoa, jolloin mitoitus on hyvin tärkeää väännön kannalta. (5.) Luistiventtiilin luistin koko saattaa vaihdella kymmenestä sentistä useisiin metreihin. Toimilaitteelta voidaan vaatia jopa 30 000 kNm vääntöä.

### 2.1.2 Vääntötoimilaitteet

Vääntötoimilaitteita (Part turn actuator) käytetään automaatioissa venttiilien ohjaamiseen. Pääasiallisia käyttökohteita ovat läppä- ja palloventtiilit. Vääntötoimilaite on toimilaite, joka välittää vääntöä venttiilille vähemmän kuin yhden täyden kierroksen. (5.)

Tämä tarkoittaa usein kiertoliikettä (quarter turn, part turn), joka on 90 astetta. Jotkut venttiilityypit vaativat yli tai alle 90 asteen kiertoa toimiakseen. Tällaisia ovat esimerkiksi kolmitiepalloventtiilit. (6.)

Vääntötoimilaitteiden sulkuelementti on aina tuotettuna venttiilin pesään, eikä se näin pääse vaikuttamaan tai rasittamaan itse toimilaitetta, toisin kuin monikäntötoimilaitteissa, joissa koko sulkuelementin paino kohdistuu venttiilikaraan, ja sitä kautta toimilaitteen käyttöakselille. (6.)

Vääntötoimilaitteiden venttiilien koot vaihtelevat muutamista millimetreistä useisiin metreihin. Samoin väännöt voivat vaihdella kymmenistä sataan tuhanteen Newtonmetriin. Sovelluksissa, joissa vaaditaan hyvin suuria voimia ja tarkkaa nopeuden säätöä, sähkösäätöiset toimilaitteet ovatkin ylivoimaisia verrattuna pneumaattisiin ja hydraulisiin toimilaitteisiin. (7.)

### 2.1.3 Mekaaniset venttiilitoimilaitteet

Mekaaniset toimilaitteet muuttavat pyörivää liikettä lineaariseksi. Tämä saadaan aikaan kammien tai pyörän avulla, jolloin voima välittyy vaihteistolle tai ruuville. Näin venttiiliä voidaan ohjata kiinni tai auki asentoon. (8, s. 19)

### 2.1.4 Ruuvitoiminen vaihteisto

Alla oleva kuva kuvaa ruuvitoimista vaihteistoa, jota käytetään mekaanisessa venttiilitoimilaitteessa esimerkiksi yhdessä pallo- tai läppäventtiilin kanssa. Kuoren sisällä on kierretanko, jossa on mutteri. Mutteri on yhdistetty vipuun, joka kääntää venttiilikaraa. Kun venttiilin rattia pyöritetään, saa se aikaan pyörimisliikkeen kierretangolle. Mutteri liikkuu kierretangolla ja kääntää samalla kääntövipua, joka on yhteydessä venttiilikaraan. Näin saadaan aikaan pyörivä liike, jolla venttiiliä pystytään avaamaan tai sulkemaan asteittain. (8, s. 23)

Kierteen nousua ja kierteen pituutta muuttamalla saadaan aikaan välitysuhde, jolloin myös mutteriin yhdistetyn vivun pituutta pystytään pidentämään tai lyhentämään. Tällaisilla vaihteistoilla pystytään avaamaan käsin suuriakin venttiileitä. Venttiilin täydelliseen avautumiseen vaadittavien pyörytysten lukumäärä voi vaihdella kymmenestä sataan kierrokseen. Yleisesti voidaan todeta, että mitä isompi venttiili, sitä suurempi välitysuhde. Usein laitteen rungossa on osoitin, joka osoittaa, missä asennossa venttiili kulloinkin on. (9.)

Yleisimmät mekaanisen ruuvitoimilaitteen kanssa käytettävät venttiilit ovat läppä- tai palloventtiileitä, jotka vaativat toimiakseen 90 asteen kääntymisen.



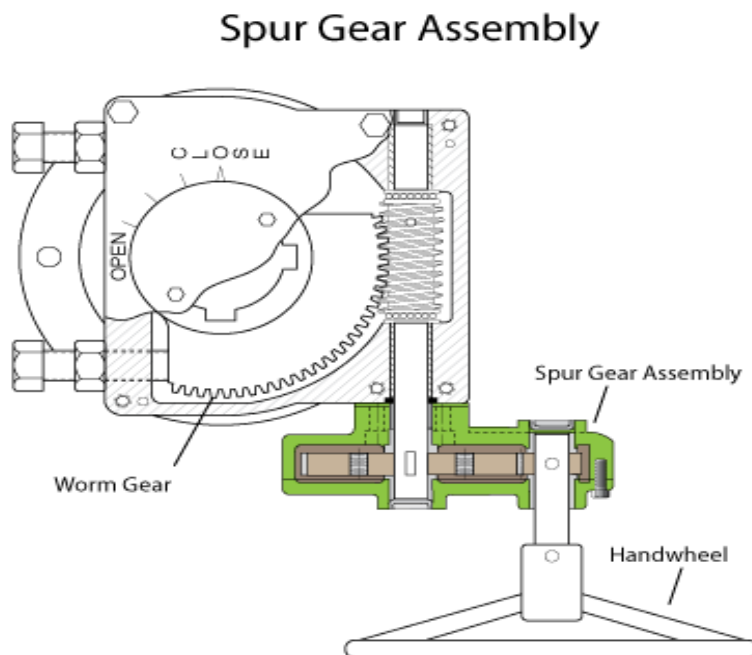
Kuva 1. Esimerkki ruuvitoimisesta mekaanisesta toimilaitteesta (19.)

### 2.1.5 Kierukkavaihteiset mekaaniset toimilaitteet

Kierukkavaihteen toimintaperiaate on hyvin samanlainen verrattuna ruuvitoimiseen vaihteeseen. Kierukkavaihteisenkin venttiilin avaaminen tapahtuu käsipyörä, joka on yhteydessä vaihteiston kautta venttiilikaraan. Kierukkavaihteen käyttö on huomattavasti yleisempää johtuen sen luotettavuudesta. (9.)

Venttiilikaraan voima saadaan välittymään vaihteistossa, jossa on kierukkavaihte. Venttiilirattia pyöritettäessä pyörii kierukka, jossa on kierre. Kierteet osuvat hammaspyörään, jossa on sama hammasväli kuin kierukassa. Hammaspyörä on suoraan yhteydessä venttiilikaraan sovitteen avulla. Kun kierukka pyörii, pyörittää se samalla hammaspyörää, joka avaa tai sulkee venttiiliä. (8, s. 21)

Kierukkavaihteen yleinen välityssuhde on 80:1. Yleisimmät käytettävät venttiilit ovat pallo- ja läppäventtiilit, jotka vaativat avautuakseen ¼-kierroksen. Välityssuhteen ollessa 80:1, vaaditaan 20 täyttä käsipyörän pyöräytystä avaamaan tai sulkemaan venttiilin kokonaan. Hyötysuhdetta huonontaa kuitenkin merkittävästi kitka, joka syntyy kierteen ja hammaspyörän kosketuksesta. Tästä johtuen hyötysuhde on todellisuudessa vain noin 30 % laskennallisesta välityssuhteesta. (9.)



Kuva 2. Esimerkki kierukkavaihteistosta, jota käytetään käsikahvalla (19.)

### 2.1.6 Pneumaattiset venttiilitoimilaitteet

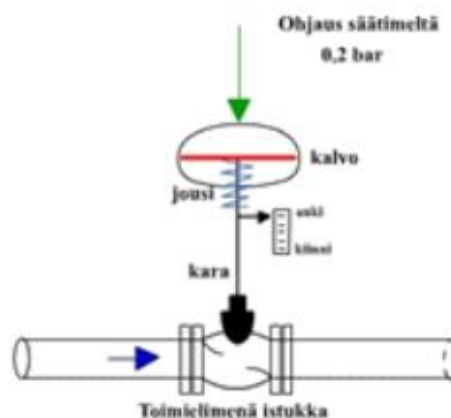
Pneumaattiset toimilaitteet ovat vielä nykyäänkin hyvin yleisiä nopeutta vaativissa säädöissä. Yleisimpiä pneumaattisia toimilaitteita ovat kalvotoimilaitte, ja sylinteritoiminen toimilaitte. (3.)

Kalvotoimilaitteita käytetään yhdessä istukkaventtiilien kanssa ja niitä käytetään esimerkiksi höyrylinjojen säätöventtiileinä ja sovelluksissa, joissa venttiilin toimintaan ei tarvita vaikuttamaan merkittävän suuria voimia. Kalvotoimilaitteilla voidaan kuitenkin operoida suuriakin venttiileitä, mutta näissä sovelluksissa kalvotoimilaitteiden ongelmaksi muodostuu toimilaitteen suuri koko.(29) Istukkaventtiilissä toimimoottorin ohjaaman ylös ja alaspäin liikkuvan karan päässä on istukka, joka säätelee virtausaukkoa. Karan liike saadaan aikaan yleensä pneumaattisella kalvomootorilla. (10, s. 284)

Pneumaattinen ohjausviesti  $<1\text{bar}$  tulee säätimeltä ja viesti ohjataan pneumaattisessa kalvomootorissa joko kalvon ylä- tai alapuolelle. Kun ohjailuilmu tulee kalvon yläpuolelle, jousi puristuu kasaan ja toimielimenä toimivan venttiilin istukka sulkeutuu. Kalvoventtiilejä on joko kaksi- tai yksitoimisia. Yksitoimisissa ohjailuilmua säädelään ainoastaan yläpuolelta eli venttiili on auki tilanteessa, jossa ohjailuilman tulo lakkaa. Ilmanpaineella siis säädelään venttiilin toimintaa eli missä asennossa venttiili on. Tällöin pystytään säätelemään virtausta hyvinkin helposti. Usein ilmanpainetta ohjaa sähköinen ohjaussignaali 4-20mA, jonka säädin muuttaa ilmanpaineeksi. Tällöin toimilaitteen ohjailu tapahtuu hyvinkin tarkasti, sillä haluttu instrumentaali ilmanpaine skaalataan sähköisen ohjaussignaalin alueelle 4-20mA. (3.)

#### ISTUKKAVENTTIILI

- Sulje venttiili: ▶
- Avaa venttiili: ▶

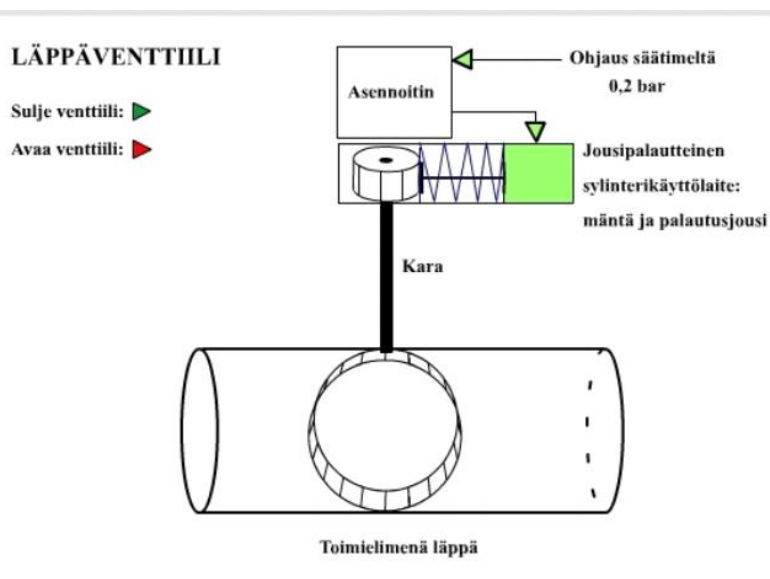


Kuva 3. Esimerkki kalvotoimilaitteen ohjauksesta (3.)

### 2.1.7 Sylinteritoiminen venttiilitoimilaite

Sylinteritoimista venttiilitoimilaitteita käytetään yhdessä läppä- ja palloventtiilien kanssa. Toimilaitetta käyttämällä pystytään säätämään venttiilin sulkuelintä. Läppää säätämällä saadaan aikaan virtaussäätö. Venttiilien toiminta perustuu pneumaattisiin ohjailuviesteihin, jotka tulevat asennoittimelle. Asennoitin säätää venttiilin asentoa ja on yhteydessä venttiilikaraan. Alla olevassa kuvassa läppäventtiili on yhdistetty pneumaattiseen yksitoimiseen sylinteritoimilaitteeseen. Ylimpänä kuvassa on asennoitin, johon tulee pneumaattinen ohjausviesti (0,2 – 1 bar). Viesti antaa asennoittimelle käskyn joko avata tai sulkea venttiiliä. Asennoittimen alapuolella on kaksoissylinteri, joka säätelee venttiilikaraa, ja avaa tai sulkee venttiiliä. Toisen kammion jousikuormalla, voidaan valita venttiilin turvasuunta, apuenergian (paineilman) kadotessa. Läppäventtiiliä käytetään säätö- ja sulkuventtiileinä sellaisissa kohteissa, jossa venttiilitä vaaditaan lujaa mekaniikkaa ja kestävyyttä. Sitä käytetään esimerkiksi kaasujen, lietteiden ja nesteiden säätelyssä. (3.) (10, s. 285)

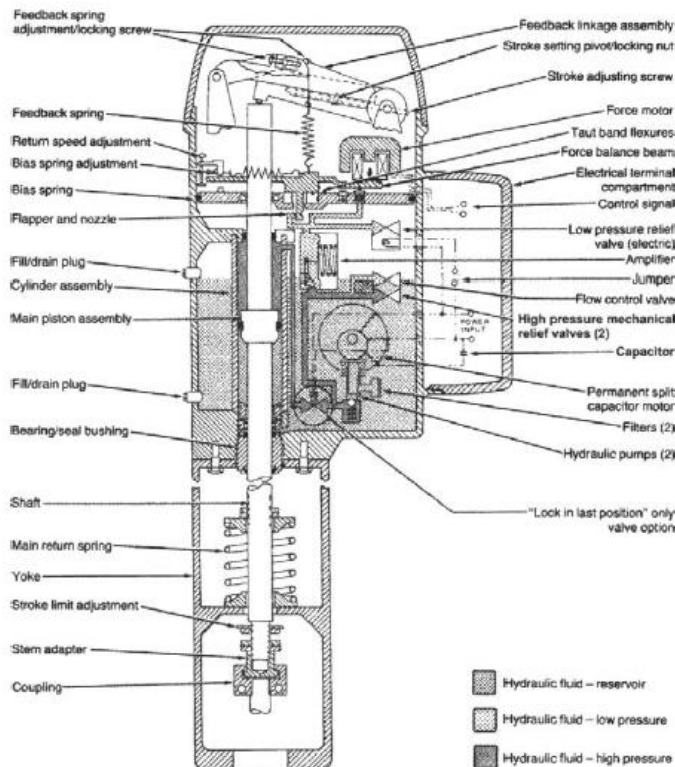
Jousipalautteinen toimilaite eroaa kaksitoimisesta siten, että siinä on vain yksi sylinterinkammio, joka säätelee venttiilin toimintaa. Kun mäntä liikkuu sisäänpäin, jousi viritetty. Kun männän syöttöilma loppuu, jousi palauttaa venttiilin lähtöasentoon. (10, s. 285)



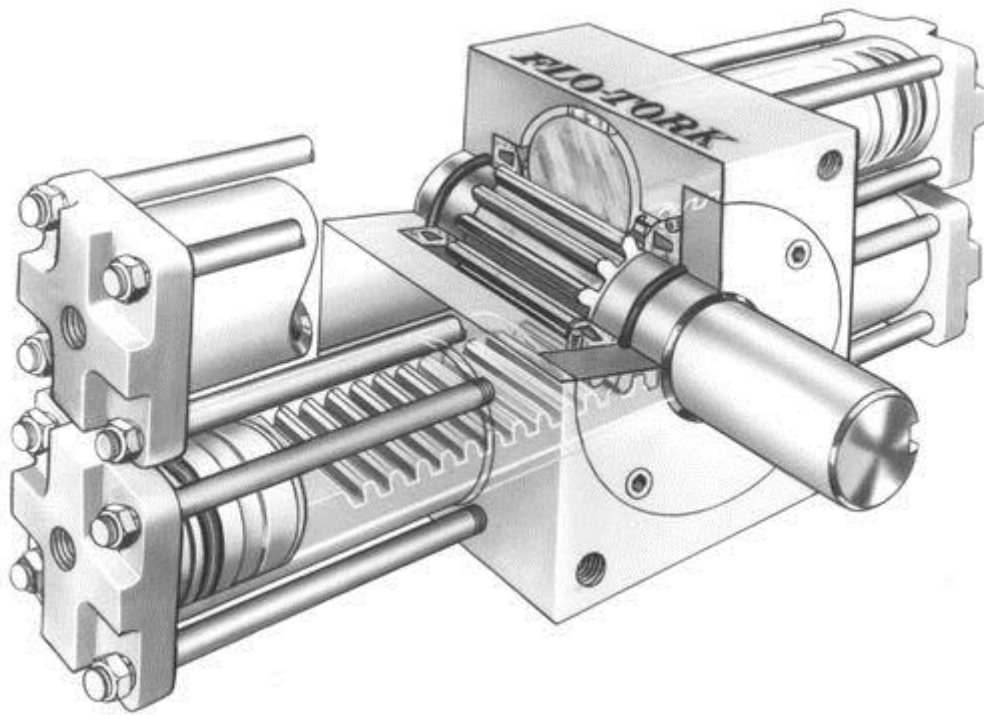
Kuva 4. Esimerkki sylinteritoimisesta venttiilitoimilaitteesta. (9.)

## 2.1.8 Sähköhydrauliset toimilaitteet

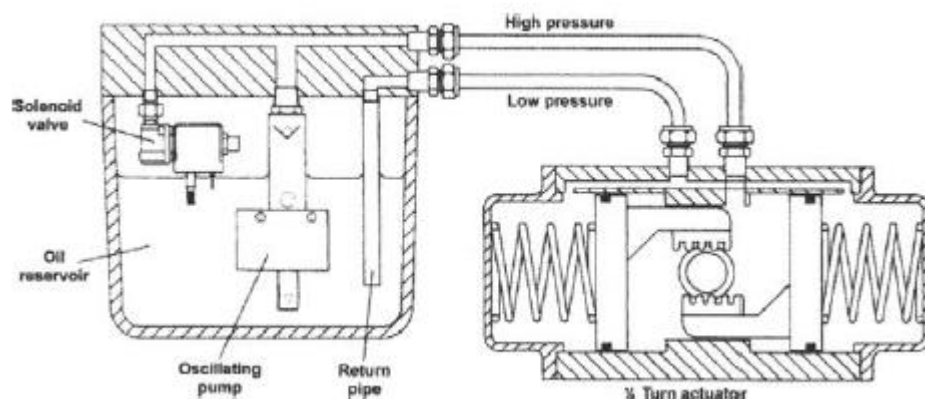
Sähköhydraulisia toimilaitteita on monenlaisia venttiilityypistä riippuen. Kääntyviä venttiilityyppejä ohjataan erilaisilla toimilaitteilla kuin lineaarisesti liikkuvia. Ohjailusignaali on yleensä 4—20 mA. Ohjaussignaali ohjaa solenoidin kelaa, joka ohjaa suutinta keinuivun kautta. Signaalista riippuen suutin aukeaa tiettyyn asentoon ja näin hydraulioöljy pääsee virtaamaan. Kun suutin on kiinni, paine paineenkorostusreleessä nousee. Suuttimen avautuessa paine laskee. Paine saa männän liikkumaan haluttuun suuntaan. Sähkömoottori ohjaa pientä mäntäpumppua, joka tuottaa hydraulioöljyn paineen. Tehon lähde voi olla erillään toimilaitteesta tai se voidaan integroida toimilaitteeseen. Hydraulitoimilaitteilla voidaan päästä korkeisiin vääntö- ja työntölukemiin. Hydraulitoimilaitteiden suurin ongelma on niiden huono nopeudensäätö; liian nopeasti toimiessaan ne voivat aiheuttaa ongelmia, kuten esimerkiksi paineiskuja. (11.) (10, s. 292)



Kuva 5. Lineaarinen hydraulitoimilaite (10, s. 294)



Kuva 6. Kääntyvä hydraulinen toimilaite. (20.)



Kuva 7. Esimerkki kääntyvän hydraulitoimilaitteen ohjauksesta (10.)

### 2.1.9 Sähköstättöiset toimilaitteet

Sähkötoimilaitteissa käytetään sähkömoottorin ja vaihteen yhdistelmää, joka tuottaa venttiilin liikuttamiseen vaadittavan vääntömomentin tai liikkeen. Säättötoimilaitteet sisältävät yleensä myös käsipyörän, joka mahdollistaa venttiilin liikuttamisen käsin. Toimilaitteet mittaavat venttiilin asentoa ja vääntömomenttia. Saatujen tietojen perusteella ohjausyksikkö käsittelee tietoja ja käynnistää tai sammuttaa toimilaitteen moottoria. Sähkötoimilaitteet toimivat automaatiojärjestelmien kautta ja yleensä niitä pys-

tyy myös ohjaamaan paikallisesti. (12.) Sähkösäätöinen toimilaite on laite, joka muuttaa sähköisen energian liikkeeksi lineaariseksi tai pyöriväksi (5.).

Sähkösäätöisissä venttiilitoimilaitteissa sähkömoottori käyttää vaihdetta. Vaihteesta ulos tuleva momentti välittyy liitännän kautta venttiiliin. Toimilaitteessa oleva kytkinyksikkö mittaa liikematkan ja valvoo vaihteen siirtämää vääntömomenttia. Kytkinyksikkö ilmoittaa moottorin ohjausyksikölle venttiilin pääteasennon tai asetetun vääntömomentin raja-arvon saavuttamisesta. Ohjausyksikkö pysäyttää moottorin, kun toimilaite on saavuttanut matka- tai momenttirajan. (12.)

Kolmivaiheisia vaihtovirtamoottoreita käytetään suurimmissa toimilaitetyypeissä. Nykyään kuitenkin yksivaiheiset tasavirtamoottorit ovat alkaneet korvata kolmivaiheisia, koska vaihteistojen rakenteet ovat muuttuneet ja hyötysuhteet parantuneet huomattavasti. Aikaisemmin sähkötoimilaitteita ei käytetty juurikaan sellaisten venttiilien kanssa, jossa avauksia jouduttiin tekemään useasti, moottorin ylikuumentumisen takia.

Det Norske Veritaksen mukaan toimilaitteet tulee varustaa jollakin venttiilin manuaalisella ohjausyksiköllä hätätilanteiden tai operointitarkoitusten varalta. Sähköisten toimilaitteiden kanssa käytetään käsipyörää, joka on asennettu toimilaitteeseen. Hydraulisten toimilaitteiden kanssa käytetään käsipumppua, jolla venttiiliä pystytään ope- roimaan. (13.)

Käsipyörä antaa mahdollisuuden ohjata venttiiliä manuaalisesti. Sitä käytetään prosessin uudelleen aloittamisessa tai hätätapauksissa. Joissain tapauksissa sitä voidaan käyttää rajoittamaan venttiilin avautumis- tai sulkeutumismatkaa. Käsipyörä voidaan asentaa vaihteistoon eri tavoin. Se voidaan asentaa suoraan venttiilikaraan, jolloin sillä voidaan ohjata suoraan venttiilin liikettä ja tällöin rajoittaa toimilaitteen venttiiliä liikkuttavaa matkaa. Se voidaan myös asentaa lukittavalla vaihteella toimilaitteen sisälle, jolloin sitä voidaan käyttää hätätilanteessa, jos toimilaitteen toiminnassa esiintyy häiriöitä. Käsipyörää ei ole tarkoitettu prosessin säätämiseen, eikä sitä tule käyttää hätäsulkuventtiilinä missään järjestelmässä. Kun käsipyörään joudutaan turvautumaan, on oltava varma, että toimilaitteen sähkömoottori ei pyöri, eikä toimilaitteella ole käskyä ajaa venttiiliä johonkin suuntaan, sillä toimilaitteen vaihteisto voi pahimmillaan hajota tai hammasrattaat vaurioitua. (10, s. 293)



DNV-luokituslaitos määrittää, että sähkösäätöiset toimilaitteet tulee varustaa rajakytkimillä, jotka rajoittavat tai mittaavat vääntöä tai rajoittavat matkaa. Toimilaitteet tulee varustaa myös ylikuumenemissuojalla. (13.)

Mekaaninen rajakytkin mittaa tai rajoittaa venttiilin kulkemaa matkaa. Kun venttiili saavuttaa raja-asennon, se lähettää signaalin ja toimilaitteen toiminta lakkaa. Vääntöä mittaavan rajakytkimen toiminta perustuu siihen, että se mittaa toimilaitteeseen kohdistuvaa väännön määrää. Kun se saavuttaa ennalta määrätyn raja-arvon, sähkömoottorin pyöriminen pysähtyy. Vääntöä rajoittava kytkin toimii paremmin olosuhteissa, joissa on paljon värinää ja lämpötilan vaihteluja. (6.)

Toimilaitteet varustetaan aina asennontunnistimella. Asennontunnistin indikoi käyttäjälle, missä asennossa venttiili on, ja käyttäjä voi seurata, minkä matkan venttiili kulkee sitä käytettäessä. Asennon rajakytkin voidaan toteuttaa signaalilampuilla, jotka indikoivat venttiilin asentoa. Lamput ovat yleensä toimilaitteessa ja laitteen ohjailuyksikössä. Tällaista yhdistelmää käytetään usein varsinkin sulkuventtiilien kanssa. Kehittyneemmät asentotunnistimet lähettävät myös tietoa säätöventtiileistä, ja niiden avulla pystytään tarkkailemaan venttiilin asentoa eri tilanteissa. Rajakytkimet voivat esimerkiksi kertoa operaattorille, millä kapasiteetilla tuotantoa ajetaan. Ne eivät kuitenkaan ohjaa venttiiliä tai toimilaitetta, vaan lähettävät ainoastaan dataa käyttäjälle. (10, s. 293)

Toimilaitteet käyttävät yleensä kierukkavaihdetta muuntamaan sähkömoottorin kovaa pyörimisnopeutta momentiksi. Vaihteistot ovat yleensä itsestään lukittuvia, jotta vaaratilanteissa venttiili ei pääse muuttamaan asentoaan. Varsinkin monikierrostoimilaitteille tämä on erittäin tärkeä ominaisuus, sillä ne ovat aksiaalisesti rasitettu luistiventtiilin luistin painolla. Joissakin sovelluksissa jarru on toteutettu siten, että sähkömoottori kytkeytyy oikosulkuun pyörimisen loputtua ja tekee näin itsestään sähkögeneraattorin. (6.)

Jokaisessa sähkösäätöisessä venttiilitoimilaitteessa yleisperiaate on lähestulkoon sama. Moottorityypit, vaihteistot, kytkimet ja ohjaussignaalityypit eroavat kuitenkin suuresti eri laitevalmistajien välillä.

Eri venttiilityypit vaikuttavat toimilaitteen rakenteeseen. Monikierrosventtiilit, osittaisen kääntöliikkeen venttiilit ja lineaarisesti liikutettavat venttiilit vaativat jokainen

omanlaisensa toimilaitteen. Nykyään on kuitenkin valmistajia, joiden toimilaitteet toimivat jokaisen venttiilityypin kanssa. Toimilaitteisiin asennetaan erilainen sovite ja kytkin, joka on venttiilityypistä riippuvainen. Yleisstandardina käytetään ISO 5211 standardia. (14.)

## 2.2 Toimilaitteen valinta

Venttiilitoimilaitetta valittaessa pitäisi keskittyä oikean tyyppin ja koon löytämiseen. Ensimmäiseksi tulee valita voimanlähde. Yleisempiä voimanlähteitä ovat sähkö tai välittäjäaine. Sähkömoottorin voimanlähteenä voidaan käyttää yksivaihe- tai kolmivaiheisyöttöä. Varsinkin säätöventtiilisovelluksissa oikosulkumoottorin käyttö rajoittaa käynnistymistäjuutta, moottorin ylikuumentumisen vuoksi. Nykyään yksivaihetekniikkaa käytetään melkein kaikkien valmistajien sovelluksissa, myös kaikista suurimmissa toimilaitetyypeissä. (14.) Usein sähkösäätöiset toimilaitteet toimivat kaikilla yleisimmillä jännitteillä eikä erillistä muuntajaa tarvita. Yleisimmät moottorityypit ovat askelmoottori tai servomoottori, yleisimmin käyttöjännitteenä käytetään 24 v tai 48 v tasavirtaa. (15.)

Erilaisten välittäjäainetta voimanlähteinä käyttävien toimilaitteiden kirjo on huomattavasti sähkötoimilaitteita laajempi. Välittäjäaineena voidaan käyttää paineilmaa, tyyppiä, hydraulinestettä tai maakaasua. On myös olemassa erilaisia muunnoksia erilaisille välittäjäaineen käyttöpaineille. Sylinterikokoa muuttamalla pystytään jokaiselle venttiilikoolle löytämään oikeanlainen toimilaite. (1.)

Kun valitaan ja mitoitetaan toimilaitetta tietynlaiselle venttiilille, tulee venttiilin koko ja tyyppi olla tiedossa, jotta oikeanlainen toimilaite pystytään valitsemaan. On olemassa venttiileitä, jotka vaativat toimiakseen monikierrostoimilaitteen, ja venttiileitä, joita käytetään osakierrostoimilaitteella. Tällä on suuri vaikutus siihen, millaista toimilaitetta ollaan valitsemassa. Kun yhdistetään saatavilla oleva voimanlähde, koko ja tyyppi, pystytään nopeasti valitsemaan oikea toimilaitetyyppi. Kustannuksissa sähkösäätöinen toimilaite tulee usein halvemmaksi verrattuna välittäjäainetta voimanlähteenä käyttävään sovellukseen. (1.)

Lopullista valintaa ei pystytä tekemään, ennen kuin venttiiliä liikuttavan voiman tarve on selvillä. Laskettaessa osakääntöventtiilin liikuttamiseen tarvittavaa vääntöä, on yleensä hyvä ottaa yhteyttä venttiilivalmistajaan. Suurin osa valmistajista on mitannut

venttiilien operoimiseen tarvittavaa vääntöä operoimalla venttiileitään erilaisissa linjastoissa eri paineilla. Tieto on aina saatavilla asiakkaille. Monikierrosventtiilien kanssa tilanne on toinen, sillä ne voidaan jakaa useaan ryhmään liikkeen osalta: nousevat, ylöspäin nousevat - ei pyörivät ja ei nousevat mutta pyörivät. Jokaisessa tapauksessa mitat, karan mitta ja halkaisija yhdessä venttiilikaran kierteen nousun kanssa, ovat tärkeimmät mitat toimilaitteen mitoittamiseen. Tämä tieto yhdistettynä venttiilin kokoon ja paine-eroon venttiilin kummaltakin puolelta pystytään laskemaan vaadittava voima, jota venttiilin liikuttamiseen on käytettävä. (1.) (15.)

Kun oikea toimilaitetyyppi on valittu ja venttiilin vaatima momenttivoima selvitetty, pystytään toimilaitte mitoittamaan käyttämällä valmistajan tekemää mitoitusaulukkoa tai ohjelmaa. Toimilaitetta valittaessa tulee myös syventyä toimilaitteen koon lisäksi nopeuteen, jolla venttiiliä operoidaan. Koska nopeudella on suora suhde toimilaitteen välittämään vääntöön, joudutaan joskus tekemään kompromisseja, jotta toimilaitteista ei tule liian kookkaita. Jos nopeutta halutaan lisätä ja ylläpitää samaa vääntöä, joudutaan myös tehoa lisäämään. Välittäjäainetoimilaitteet pystyvät säätelemään nopeutta, jos niiden sisään asennetaan vastusvastaventtiileitä. Nämä venttiilit vaikuttavat toimilaitteen nopeuteen ja säätelevät virtausta ja virtausnopeutta. Sähkötoimisten toimilaitteen nopeutta pystytään säätelemään sähkömoottorin ohjausvirtaa muuttamalla. (1.)

Soveltuva laite pystytään valitsemaan, kun on päätetty voimanlähde ja tiedetään venttiilityyppi, venttiilikoko, tarvittava nopeus ja momenttimäärä.

### 3 SÄHKÖSÄÄTÖISET TOIMILAITTEET

#### 3.1 Monikäntötoimilaitteet

Monikierrostoimilaitte välittää liike-energian lineaarisesti venttiilikaralle. Sähkösäätöinen monikierrostoimilaitte on yleinen ja luotettavin venttiilitoimilaitetyyppi. Yksi- tai kolmivaihesähkömoottori välittää voimaa hammaspyörävaihteiston, kierukkavaihteiston tai planeettavaihteiston kautta venttiilikaran pyörimiseen. Toimilaitte yhdistetään usein venttiilikaraan kuularuuvilla ja karaa pyörittämällä saadaan joko ylös tai alaspäin suuntautuva liike. Sähkösäätöisellä toimilaitteella pystytään operoimaan erittäin suuria venttiileitä kohtuullisen nopeasti. Suojatakseen venttiiliä rajakytkin sammuttaa moottorin ennalta asetetussa rajakohdassa tai momenttia rajoittava kytkin kytkee sen pois päältä, jos momentti kasvaa liian suureksi. Venttiilin asentolähetin antaa tiedon

venttiilin asennosta. Monikierrostoimilaitteissa on myös vaihteiston lukon avausmekanismi, jolloin toimilaitetta ja venttiiliä pystytään operoimaan myös käsipyörää apuna käyttäen, esimerkiksi tilanteissa, joissa sähkönsyöttö katkeaa. (6.)

ISA-standardin mukaan toimilaitteen täytyy pystyä käsittelemään luistiventtiilin luistin painoa, jolloin mitoitus on hyvin tärkeää juuri väännön kannalta. (5.) Luistiventtiilin luistin saattaa vaihdella kymmenestä sentistä useisiin metreihin. Toimilaitteelta voidaan vaatia jopa 30 000 Nm vääntöä.



Kuva 7. Monikierrostoimilaitte yhdistettynä lineaarisesti toimivaan istukkaventtiiliin

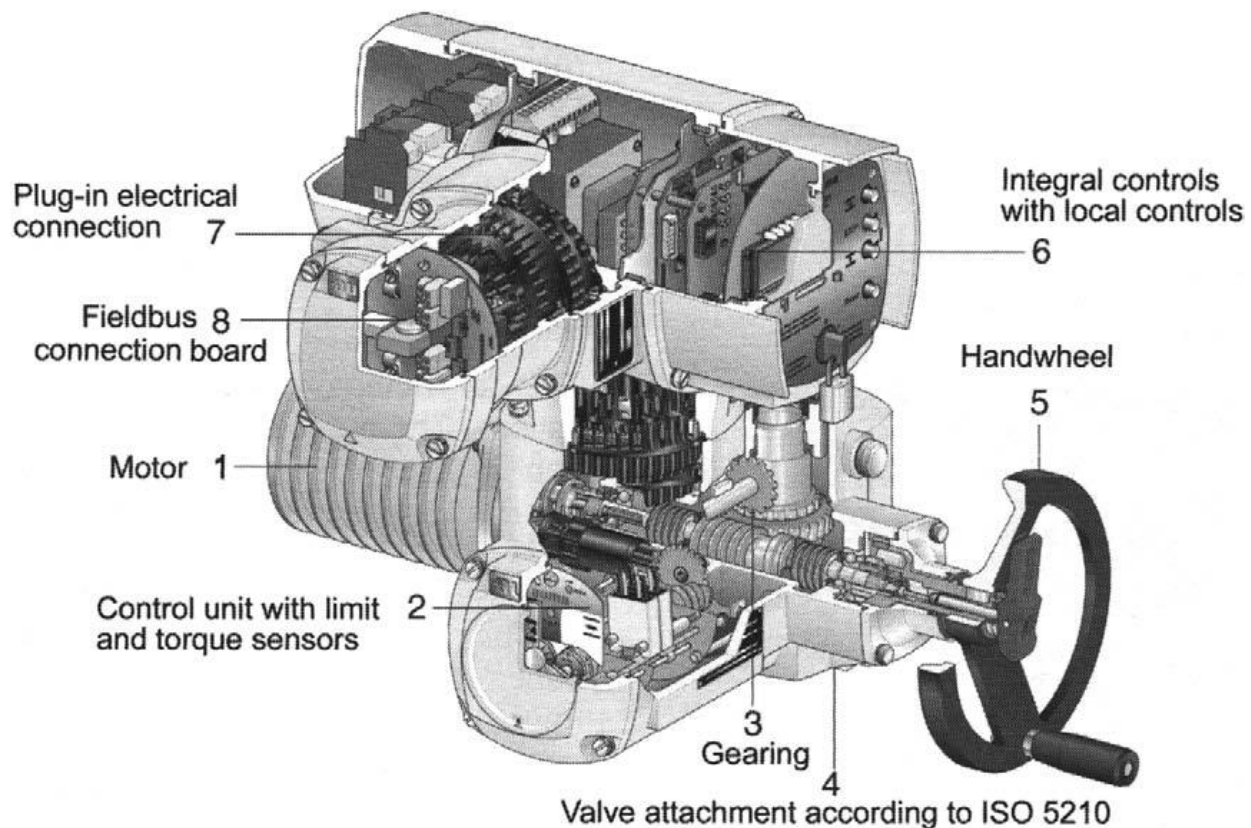
### 3.2 Vääntötoimilaitteet

Vääntötoimilaitteita (Part turn actuator) käytetään automaatiassa pääasiassa läppä- ja palloventtiilien ohjaamiseen. Vääntötoimilaitte välittää vääntöä venttiilille vähemmän kuin yhden täyden kierroksen.

Vähemmän kuin yksi kierros tarkoittaa usein kiertoliikettä, joka on 90 astetta. On joitakin venttiilityyppejä, kuten jakoventtiilit, jotka vaativat yli tai alle 90 asteen kiertoa toimiakseen. (6.)

Vääntötoimilaitteiden sulkuelementti on aina tuettuna venttiilin pesään, eikä näin pääse vaikuttamaan tai rasittamaan itse toimilaitetta.

Vääntötoimilaitteiden venttiilien koot vaihtelevat muutamista millimetreistä useisiin metreihin. Samoin väännöt vaihtelevat kymmenistä sataan tuhanteen Newton-metriin. Sovelluksissa, joissa vaaditaan hyvin suuria voimia, sähkösäätöiset toimilaitteet ovatkin ylivoimaisia verrattuna pneumaattisiin ja hydraulisiin toimilaitteisiin. (10. s. 291–292)



Kuva 8. Esimerkki ja rakennekuva sähköisestä osakääntötoimilaitteesta (10, s. 292)

### 3.3 Rakenne ja toimintaperiaate

Yllä oleva kuva osakierrostoimilaitteesta kuvaa hyvin perinteisen sähkösäätöisen toimilaitteen rakennetta. Toimilaitteen peruselementit ovat kytkentälevy, vaihteisto, moottori, kondensaattori, rajakytkimet ja momenttikykimet.

Toimilaitteen sähkömoottorin hammasratas pyörii ja ajaa samalla syöttöratasta. Syöttöratastaan kuormitus siirretään epäkeskomekanismiin. Epäkeskomekanismi ajaa vaih-

teistoa, joka kääntää voiman siirtoratasta. Tämä vaikuttaa joko suoraan tai välillisesti ruuvien kautta venttiilikaraan.

Kun toimilaitetta käytetään käsikäytöllä, käsipyörä kääntää käsikäytön akselia, joka vaikuttaa suoraan matopyörään. Kun matopyörä pyörii, on se rynnössä sisähampaisen hammaspyörän kanssa. Sisähampainen hammaspyörä on rynnössä vaihteistoon ja kääntää voiman siirtoratasta.

### 3.4 Ohjaussignaalit

#### 3.4.1 Analogiset signaalit

Olemassa olevat signaalityypit määrittelevät paljon toimilaitteen valintaa. Tänä päivänä perinteiset manuaalisesti käytettävät toimilaitetyypit ovat poistumassa nykyaikaisen toimilaitteiden tieltä. Modernit toimilaitteet hyödyntävät tietokone- ja PLC-tekniikkaa. Uusien signaalityyppien myötä laitteiden vianetsintä on murroksessa. Aikaisemmin käyttöhenkilökunta selvitti vikatilanteita paikan päällä. Yleisimmät viat olivat helposti havaittavissa: painemittarit ja venttiilikaran asento toimivat usein vikadiagnoosin lähteenä. Muissa tapauksissa laite joudutaan yleensä poistamaan paikaltaan, mikä voi vaatia huomattavia työmääriä. Nykyajan laitteet lähettävät tiedon viasta käyttäjälle. Käyttäjä saa näin ratkaisuehdotuksen valvontajärjestelmän kautta, ja huoltoryhmä pystytään lähettämään paikan päälle huomattavasti paremmilla tiedoilla, jolloin ongelma voi olla ratkaistavissa hyvinkin helposti. Kun valvontajärjestelmän ohjelmisto on aina ajan tasalla, voidaan prosessia ajaa erittäin tehokkaasti ja vähentää huollosta aiheutuvia tuotantomerenetyksiä. (10, s. 280–282)

Anturit ja ilmaisimet pystyvät mittaamaan erilaisia suureita kuten painetta, tiheyttä, paine-eroa, pinnan korkeutta, virtausta, kaasun pitoisuutta, pH-arvoa, kosteutta, nopeutta, lämpötilaa, alipainetta, värähtelyä ja viskositeettia. Näitä arvoja voidaan käyttää hyväksi prosessin sekä toimilaitteiden ja venttiilien säätämisessä. (10, s. 280–282)

Yksi yleisimmistä signaaleista on 4 – 20 mA 24V:n tasavirtasignaali. Kun käytetään analogista virtasignaalia analogisen jännitesignaalin sijasta, poistuvat johtimien kestävyys- ja jännitehäviöihin liittyvät ongelmat. Muita signaalimuotoja ovat jo poistuvat 0 – 20 mA dc, 1 – 5 mA dc, 10 – 50 mA dc, 1 – 5 V dc sekä 1 – 10 Vdc. 4 – 20 mA signaalia käytetään 0 – 20 mA signaalin sijasta, koska johtimista johtuvat viat on hel-

pompi paikantaa, jos niissä oletusarvoisesti pitäisi kulkea aina vähintään 4 mA virta. (16, s. 22)

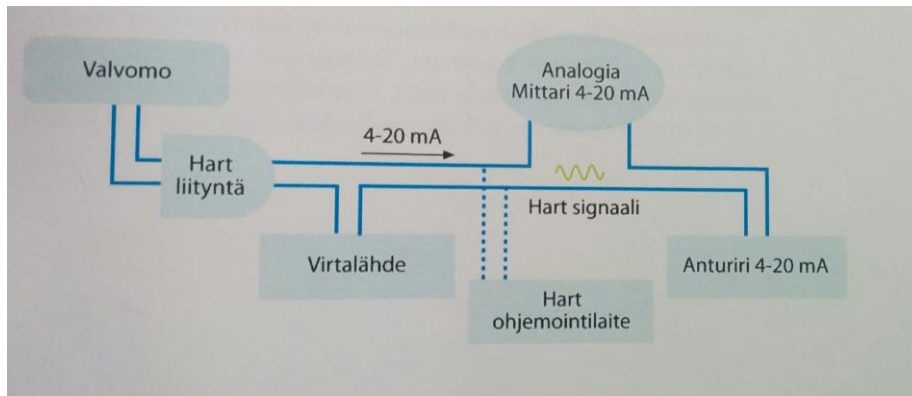
Nykyään digitaalisista ohjailusignaaleista on tullut hyvin suosittuja ja ne ovatkin syrjäyttämässä vanhoja ja suosittuja analogisia ohjaussignaaleja. Analogista signaalia pystytään kuitenkin muuttamaan myös digitaaliseen muotoon FSK-tekniikan avulla (Frequency Shift Keying). Siinä analoginen tieto muutetaan digitaalseksi tiedoksi ja tieto lähetetään käyttäjälle digitaalisessa muodossa. Ohjelmistona käytetään HART-protokollaa. Käyttäjät pystyvät uusimaan omaa järjestelmäänsä uusimatta vanhoja johtimia toimilaitteiden ja antureiden välillä. Tieto pystytään lähettämään HART-protokollan avulla jopa kolmen kilometrin päähän ja toimilaitteita ja antureita pystytään säätämään kannettavien tietokoneiden ja kämmentietokoneiden avulla. HART-protokollan käyttö vaatii kuitenkin modernimpien toimilaitteiden sekä antureiden asennusta. (10, s. 293)

### 3.4.2 HART

HART (Highway Remote Transducer Protocol) on maailmanlaajuinen protokolla, jonka avulla voidaan kommunikoida digitaalista informaatiota analogisilla johdotuksilla rakennetuissa järjestelmissä kenttälaitteiden ja valvontapisteen välillä. HART-kenttäväylän kommunikoinnin avulla voidaan ilmaista, missä kunnossa mittalaite tai säätölaite on, ja sen toimintaa voidaan seurata, ohjata ja ominaisuuksia parametroida eli ohjelmoida rajatusti. Kun laitteeseen tulee vika, käyttäjä voi tutkia vian lähteen ja syyn tietokoneyhteyksien kautta. Tällöin voidaan määrittää, onko vika itse laitteessa vai prosessissa. Kommunikoinnin avulla käyttäjät pystyvät tutkimaan mittausten ja säätöjen laatua, ja ehkäisemään tulevat viat tai prosessihäiriöt. (17, s.120–121)

HART-protokollan johdotuksessa käytetään normaaleja instrumenttijohtoja. HART:n suosio perustuu siihen, että analogisia 4 – 20 mA kaapelointeja on edelleen enemmistö prosessi- ja koneautomaation sovelluksissa. Se on siis analogisen signaalin ja digitaalisen kenttäväylän yhdistelmä. (17, s.120–121)

HART sisältää kaksi kommunikaatiokanavaa signaalissa 4 – 20 mA, eli varsinaisen mittaussignaalin ja digitaalisen signaalin, joka informoi laitteen tilan. (17, s.120–121)



Kuva 9. HART-kytkennän periaate mittauksessa (17)

### 3.4.3 Signaalityypin valinta

Signaalityypin valinnassa tulee ottaa huomioon muutamia tärkeitä asioita kuten käyttökannan taitotaso ja etäisyys lähimpään toimittajan huoltopisteeseen. Sellaiset järjestelmät, joiden huoltoon pystytään käyttämään ainoastaan toimittajan valtuuttamaa huoltopalvelua, saattavat tulla pitkällä aikavälillä erittäin kalliiksi. Mekaaniset laitteet voivat olla rakenteeltaan hyvinkin monimutkaisia, mutta niiden huolto ja korjaustoimenpiteet voidaan suorittaa hyvin yksinkertaisella työkalustolla. Sähköiset ja elektroniset laitteet voivat vaatia hyvinkin paljon erilaisia diagnosointityökaluja, jos vikadiagnosovellusta ei ole suoraan asennettu laitteiston ohjelmistoon. (16, s. 24)

Pneumaattisten laitteiden vikadiagnosointi on helppo tehdä painemittareilla ja mekaanisilla mittauslaitteilla. Analogiset sähköjärjestelmät pystytään tarkastamaan normaalilla yleismittarilla. Perinteiset analogiset signaalit, 4 – 20 mA ja 1 – 10 V, voidaan integroida nykyaikaisiin digitaalisiin sovelluksiin. Digitaalisovellukset vaativat kuitenkin huomattavasti monimutkaisempaa diagnostiikkalaitteistoa kunnon valvontaan ja vian etsintään. (17, s.123)

Elektroniikka elää murroksessa ja tekniikka kehittyy kovalla vauhdilla. Tänään asennettua järjestelmää voi olla mahdotonta huoltaa tai korjata kahden vuoden päästä, tai varaosia ei ole saatavilla. Valittaessa signaalityyppiä täytyy ottaa huomioon, että valmistaja sitoutuu tällä hetkellä käytettävän tyyppin kehitykseen, sekä siihen, että signaalityyppiä ja laitteistoa on mahdollista päivittää tulevaisuudessa. (10, s. 282–286)



Digitaaliset järjestelmät voivat varastoida tietoa prosessin vaihtelevuudesta ja laitteiston kunnosta. Prosessia pystytään optimoimaan jatkuvasti. Tällä pystytään saavuttaman paras hyötysuhde riippumatta olosuhteista. Tilastoitu data voidaan kerätä automaattisesti, ja laitteet voivat verrata sitä vanhoihin trendeihin. Näin saadaan tietoa, mitä kohtaa prosessissa tulee säätää. Jos toimintaympäristö tukee päivittäistä digitaalijärjestelmän huoltamista ja tarkkailemista, tulee digitaalisignaali hinnoittelultaan suotuisaksi. Muussa tapauksessa on parempi harkita analogisia signaaleja. (10, s. 282–286)

## 4 VAIHTEISTOT

Eri valmistajien sähkösäätöisten venttiilitoimilaitteiden vaihdelaatikot ja sovellukset eroavat toisistaan hyvinkin paljon.

Vaihdelaatikko on mekaaninen laite, jonka tehtävä on lisätä moottorin vääntöä tai muuttaa moottorin kierrosnopeutta. Moottorin akseli on yhdistetty vaihdelaatikkoon ja voima ohjataan vaihdelaatikon läpi. Vaihdelaatikko välittää voiman sen välityssuhteen mukaan. (8, s. 22)

Vaihdelaatikon komponentit vaihtelevat paljon eri laitetyyppien ja valmistajien välillä. Yleensä valmistusmateriaalina käytetään rautaa, alumiinia ja pronssia, mutta on myös joitakin vaihdelaatikkotyyppisiä, jonka valmistamiseen voidaan käyttää vahvoja muoviseoksia. Vaihteiston hammaspyörien hampaat vaikuttavat paljon kokonaistehokkuuteen, vääntöön ja nopeuteen. Suorilla hammaspyörän hampailla varustettuja vaihteistoja käytetään sovelluksissa, joissa ei vaadita suurta nopeutta. Tällaiset vaihteistot ovat usein äänekkäitä ja niillä on huono hyötysuhde. Viistohammaspyörä vaihteistoja käytetään usein sovelluksissa, joissa kierrosnopeudet ovat korkeita. (21.)

### 4.1 Vaihteistotyypit

Erilaisia vaihteistotyyppisiä on paljon. Suurin ero eri vaihteiden välillä on suorituskyvyn ominaisuuksissa. Vaihteiston valinta on aina sovelluskohtaista. Vaihteistoista on saatavilla useaa eri kokoa, välityssuhdetta ja hyötysuhdetta.

Kulmavaihteita on kahta tyyppiä: suorahampainen kulmavaihte ja viistohammaspyöräkulmavaihte. Suorahampaisia käytetään hidasnopeuksissa sovelluksissa ja viistohampaista sovelluksissa, joissa vaaditaan suuria nopeuksia. (21.)



Kuva 10 ja 11. Kuvissa suorahampainen ja viistohampainen kulmavaihte. (21.)

Kulmavaihteet valmistetaan usein valuraudasta tai alumiinista. Kulmavaihteita voidaan käyttää monikäntö- ja osakäntötoimilaitteissa. Ne ovat usein kestäviä, jos ne on valmistettu laadukkaista materiaaleista ja linjattu oikein. (21.)

Lieriöhammaspyörävaihteistoissa on kaksi erikokoista hammaspyörää asennettuna samansuuntaiselle akselille. Vaihteisto on äänekäs, johtuen kahden erikokoisen hammaspyörän yhteen sovittamisesta. Tällöin myös hampaiden kulumisen voi olla suurta. Vaihteiston välityssuhdetta on helppo muuttaa hammaspyörien kokoa muuttamalla. Hammaspyörät on usein valmistettu teräksestä tai pronssiseoksesta. (21.)



Kuva 12. Lieriöhammaspyörävaihte. (21.)

Kierukkavaihteet pystyvät käsittelemään suuria kuormanvaihteluja. Ne ovat hiljaisia ja huoltovapaita, mutta ovat hyötysuhteeltaan muita vaihteistotyyppisiä huonompia. Kierukka pystyy kääntämään hammaspyörää hyvinkin helposti, mutta hammaspyörää

kääntämällä kierukkaa ei pystytä liikuttamaan. Vaihteistot ovat niin sanotusti itselukittuvia. Tällaisia vaihteistoja käytetään usein sähköhydraulisissa ja sähkökäyttöisissä osakääntötoimilaitteissa. Vaihteistot on valmistettu, teräksestä, alumiinista tai pronssi-seoksesta. (21.)



Kuva 13. Kierukkavaihte (21.)

Planeettavaihteisto on saanut nimensä siitä, että se muistuttaa rakenteeltaan hyvin paljon aurinkokuntaa. Planeettavaihteilla saavutetaan perinteisiin rinnakkaisakselisiin vaihteisiin verrattuna useita käyttöä edistäviä edullisia ominaisuuksia, joita ovat muun muassa planeettaratkaisun kompaktius, moninkertainen pyörimisnopeuden alennus sekä edullisemmat laakerivaateet. (22. s.695–700) Planeettavaihteiston pääkomponentit ovat aurinkopyörä, rengaspyörä ja planeettapyörät. Rengaspyörä on pyörästön uloin osa, johon planeettapyörät ovat yhteydessä. Planeettapyörät vaikuttavat samanaikaisesti rengaspyörään ja aurinkopyörään. Hammaspyörät valmistetaan alumiinista, ruostumattomasta teräksestä tai pronssiseoksesta. Planeettavaihteistoja käytetään sovelluksissa, joiden vaatimuksia ovat välyksettömyys, kompakti koko, hyvä hyötysuhde ja hyvä vääntö/paino suhde. (21.)



Kuva 14. Planeettavaihteisto (21.)

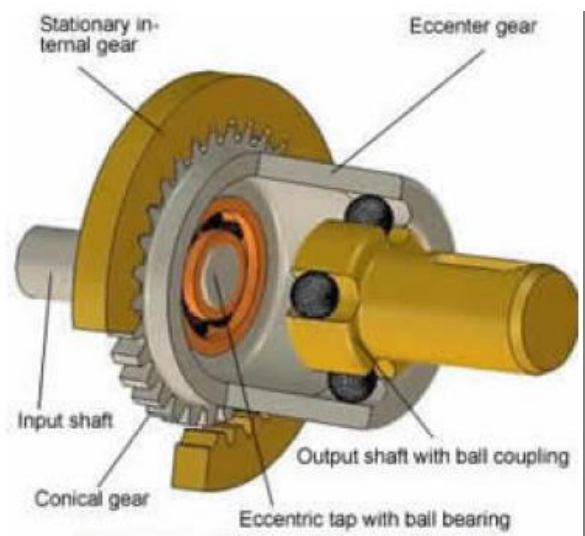
Oden gear -vaihteistoa käytetään Odenin omissa toimilaitteissa. Vaihteisto on maailmanlaajuisesti Odenin patentilla suojattu. Se muistuttaa etäisesti japanilaisen Sumitomon Cyclo-vaihteistoa, mutta on eräänlainen yksinkertainen muunnos siitä. (14.)



Kuva 15. Sumitomon Cyclo-vaihde (23.)

Oden gear on hammasratasalennusvaihde; siinä on kaksi hammasratasta, joista sisempi on asennettu akselille epäkeskeisesti kiilan avulla. Sen suunnittelun on mahdollistanut nykyaikainen CAD-tekniikka, mutta se voidaan valmistaa perinteisillä hammasratakoneilla tai valutekniikalla. Tyypillisesti siinä käytetään välityssuhdetta 100:1. Erinomainen hyötysuhde ja minimaalinen hammaspyörien välinen vällys ovat sen selkeitä valtteja. Vaihteisto on suunniteltu sovelluksiin, joissa vaaditaan korkeita välityssuhteita, tarkkuuta, luotettavuutta ja korkeaa väännön kestävyyttä. Sillä on ominainen tynnyrimäinen rakenne, joka suojaa hammaspyöriä kulumiselta ja parantaa hyötysuhdetta.

Sisääntuloakselia pyörittää sähkömoottori, jonka akseli on yhteydessä hieman epäkeskeisellä holkilla ja kuulalaakerilla sisempään hammaspyörään. Kun moottori ja akseli pyörähtävät yhden kierroksen, sisempi hammaspyörä pyörähtää yhden hammastuksen verran päinvastaiseen suuntaan. Sisempi hammaspyörä on rynnössä ulomman hammaspyörän kanssa 5 - 10 hammasta kerrallaan, ja ulompi hammaspyörä pysyy paikallaan. Välityssuhde muodostuu ulomman hammaspyörien hampaiden määrästä, joita on yleensä 100 – 250 kappaletta. Välitettäessä hidasta epäkeskeistä liikettä suoralle käyttöakselille käytetään yleensä hyvinkin monimutkaisia kytkimiä. Odenin vaihteistossa tämä on ratkaistu yksinkertaisemmalla ja luotettavammalla tavalla. Epäkeskossa hammaspyörässä on lieriömäinen putki, joka on toisesta päästä kiinnitetty kartioholkin avulla ja toinen pää on sisäisesti kytketty moottoriin. Vaihteiston ulostuloakseli pyörii siis vastakkaiseen suuntaan verrattuna vaihteiston sisääntuloakseliin.



Kuva 16. Oden gear vaihteisto. (14)

## 4.2 Moottorityypit

Vaihdemoottorit koostuvat sähkömoottorista ja alennusvaihteesta. Moottori voi olla harjallinen, harjaton tai vaihtovirtamoottori. Sähkömoottori ja alennusvaihte tulevat yleensä pakettina, mutta ne voivat olla myös erilliset. Kun moottori ja alennusvaihte tulevat samassa paketissa ja ovat samalla akselilla, kutsutaan tätä kokonaisuutta integroiduksi vaihdemoottoriksi. Lähes kaikkia sähkömoottorityyppejä voidaan käyttää voiman lähteenä. Nykyään yleisimmät moottorityypit toimilaitesovelluksissa ovat 24 tai 48 voltin tasavirtamoottorit yhdistettynä alennusvaihteeseen, jotka vaihtelevat valmistajien välillä. (21.)

Lähes kaikki vaihdelaatikot toimivat samalla tavalla. Vaihteen pyörimissuunta on sama kuin sitä pyörittävällä akselilla. Erikokoisten hammaspyörien yhdistelmällä pystytään vaikuttamaan ulostuloakselin pyörimisnopeuteen ja vääntömomenttiin. Isoilla välityssuhteilla saadaan ulos suuria vääntöjä nopeuden hidastuessa, kun taas pienillä välityssuhteilla saadaan suuria nopeuksia, mutta samalla vääntö kärsii. (21.)

Planeettavaihteistojen toimintaperiaate on hyvin samanlainen. Planeettapyörät ovat rynnössä aurinkopyörän kanssa samaan aikaan, kun rengaspyörä on rynnössä planeettapyörien kanssa. Yleensä sovellus koostuu kolmesta komponentista. Sisääntulo, ulostulo ja yksi liikkumaton komponentti, esimerkiksi aurinkopyörä on kytkettynä voimantuotto- eli sisääntuloakselille, rengaspyörä on kytkettynä ulostuloakselille ja planeettapyörät ovat liikkumattomia komponentteja. Tällaisessa sovelluksessa voimaa tuottava akseli pyörittää aurinkopyörää ja planeettapyörät pysyvät paikallaan omalla akselilla. Kun aurinkopyörä pyörii, pyörittää se planeettapyöriä, jotka pyörittävät ja välittävät vääntöä uloimpana olevalle rengaspyörälle. Välityssuhteeseen vaikuttavat hammaspyörien hampaiden määrät. Hammaspyöriä muuttamalla välityssuhdetta pystytään muuttamaan erittäinkin tarkasti. Sähkömoottorin pyörimisnopeutta muuttamalla pystytään muuttamaan vaihteistosta ulos tulevan akselin pyörimisnopeutta ja vääntöä. Sähkömoottorin voiman ulostuloa käytetään vaihteiston voiman sisääntulona, jolloin moottori vaikuttaa nopeuteen, jolla vaihteisto pyörii. (21.)

## 4.3 Vaihteiston valinta

Vaihteiston valintaan vaikuttaa moni asia, kuten välityssuhde, pyörimisnopeus, vääntö ja vaihteistotyyppi. Välityssuhde pystytään laskemaan vaihteen hammaspyörien

hampaiden määrästä. Esimerkiksi jos toisessa hammaspyörässä on 40 hammasta ja toisessa 10, saadaan välityssuhteeksi 4:1. Suurin vääntöön vaikuttava tekijä on se, millaista välityssuhdetta käytetään. Jos halutaan saada suuri vääntö ulostuloakselille, täytyy välityssuhteen olla suuri. Mikäli halutaan suuri nopeus, välityssuhteen täytyy olla pienempi. Yksinkertaisesti voidaan todeta, että jos nopeus hidastuu, vääntö kasvaa. Vääntö pystytään laskemaan kaavasta: Moottorin vääntö \* Välityssuhde = Vääntö ulostuloakselilla. (21.)

## 5 TOIMILAITTEIDEN SÄÄTÄMINEN

Prosessin säätämisen tärkein ominaisuus on luotettavuus. Venttiilit sijaitsevat usein vaikeissa paikoissa ja niiden vikaantumista on vaikea todentaa. Tällöin usein oletetaan, että vika on venttiilissä, vaikka ongelma olisi jossakin muualla. Käyttäjän oikeuksiin kuuluu, että venttiilit ovat rakenteellisesti toimivia ja sovellettavien standardien mukaisia. (2, s. 15)

Toimilaitteita säädellään säätötekniikan avulla. Tällaista systeemiajattelua kutsutaan takaisinkytketyksi säädöksi. Tarkasteltavat kohteet kuvataan laatikoiksi, joissa on sisäänmeno (input) ja ulostulo (output). Systeemin ulostuloa halutaan usein säätää, ja säätö tapahtuu säätämällä systeemin sisääntuloa. Esimerkiksi laivan esilämmitysjärjestelmän ulostulona voidaan käyttää koneille tulevan kuumen veden lämpötilaa. Lämpötilaa ohjataan venttiilillä (sisääntulo), joka päästää kuumaa höyryä höyrytুকkiin ja näin säätelee lämpimän veden lämpötilaa. (24, s. 75–76)

Systeemiä kuvaavassa kaaviossa laatikon eteen piirretään toinen laatikko, joka on säädin. Tämäkin on systeemi, jolla on ulostulo ja sisäänmeno. Säätimen ulostulo on ohjausviesti, joka kytketään suoraan edellä mainitun kohdesysteemin sisääntuloon. Säätimen sisäänmenona on puolestaan kohdesysteemin ulostulon ja sen tavoitearvon erotus. Kun tämä kaikki piirretään kuvaksi, huomataan, että kohdesysteemin ulostulo tavallaan viedään takaisinpäin. Tällaisesta säädöstä käytetään nimitystä takaisin kytketty säätö. Tällaista säätöä käytetään myös kaikissa venttiilitoimilaitteissa, joissa venttiiliä avaamalla tai sulkemalla vaikutetaan johonkin säätävään suureeseen. (24, s. 75–76)

## 6 VENTTIILIN VALINTA

Säätöventtiili on säätöpiirin työtä tekevä eli aktiivinen osa. Se on samalla liittymä fyysisen prosessin ja ohjausjärjestelmän välillä. Tämän vuoksi venttiili on hyvin merkittävä osa säätöpiiriä.

Venttiili- ja prosessiteollisuuden kehittyessä valmistajat ovat kehittäneet tuotteita ja paranteet niiden toimintaa. Uudet konstruktiot ovat ratkaisu moniin vanhoihin ongelmiin, mutta samalla tämä aiheuttaa ristiriitaa käyttäjissä. Venttiilin ja toimilaitteen valinta on muodostunut entistä vaikeammaksi, koska lähes kaikilla kilpailijoilla on markkinoilla hyvin samankaltaisia tuotteita. (2, s. 16)

Pelkästään hinnan perusteella toteutuva venttiilipaketin valinta ei useinkaan osoittaudu kannattavaksi. Valinnassa on otettava huomioon myös varaosien tarve ja huoltokustannukset, jotka joissakin tapauksissa ja sovelluksissa voivat osoittautua hyvinkin kalliiksi. Usein keskitytään liikaa hankintakustannuksiin, eikä laitteiston yhdenmukaistamiseen kiinnitetä huomiota. Yhdenmukaistamisella pystytään saamaan huomattavia etuja huolto- ja varaosakustannuksissa. (2, s. 17)

Säätöventtiilin valinta on pitkälti perustunut likimääräisiin arviointimenetelmiin ja käytännöstä saatuihin kokemuksiin (2, s. 51). Nykyään lähes jokaisella venttiilivalmistajilla on työkalu venttiilien mitoittamiseen.

Säätöventtiili ja toimilaitteen yhdistelmä on tärkeä osa prosessin putkistoa, ja sen aiheuttamat virtaus- ja painehäviöt on otettava erityisesti huomioon putkistoa suunniteltaessa. Soveltuvan venttiilin valinnassa on aluksi huomioitava venttiilikoko ja tyyppi. Tämän jälkeen venttiilin ominaiskäyrä kartoitetaan ja valitaan sopiva venttiili käyrän avulla. Paine-ero venttiilin yli on harvoin vakio venttiilin koko avautuma-alueella, johtuen virtauksen dynaamisista painehäviöistä. Yleensä venttiilin tulopaine laskee ja lähtöpaine nousee virtauksen kasvaessa. Tämän päivän ohjelmilla on kuitenkin mahdollista mitoittaa juuri oikeanlainen venttiili ennalta määriteltiin kohtaan putkistoa. (2, s. 52)



### 6.1.1 Venttiilityypit

Venttiilityypit voidaan jakaa kahteen ryhmään: lineaariseen liikkeeseen perustuviin venttiileihin ja kiertoliikkeeseen perustuviin venttiileihin. Lineaarisesti liikkuvien venttiilien sulkuelementtiä ohjataan pysty- tai vaakasuunnassa. Tällaisia venttiileitä ovat esimerkiksi istukka- ja luistiventtiili. Kiertoliikkeisten venttiilien sulkuelementtiä ohjataan aina kääntämällä. Esimerkkejä tällaisista venttiileistä ovat pallo- ja läppäventtiili. Erilaiset venttiilityypit soveltuvat erilaisiin käyttökohteisiin. (25.)

### 6.1.2 Säätoventtiilin valintaperusteet

Säätoventtiilin valintaan vaikuttavia suureita ovat käyttökohde, paine, lämpötila, normaali/kriittinen virtaus, eroosion ja korroosion kesto, väliaine, huollettavuus, hinta ja toimitusaika. (26.)

Venttiilin käyttökohde pitäisi olla tarkkaan harkittu. Käyttökohteeseen vaikuttavia suureita ovat, väliaine, virtausmäärä sekä  $K_v$ -arvo.  $K_v$ -arvo saadaan laskemalla, kuinka paljon vettä venttiilin läpi virtaa tunnissa ( $m^3/h$ ) 1 bar paine-erolla. Venttiilin kohdistuva paine, paine-ero venttiilin läpi ja sulkupaine tulisi ottaa huomioon venttiiliä valittaessa. Virtaavan aineen lämpötila vaikuttaa myös venttiilin pesäratkaisuihin. Esimerkiksi erittäin kuumilla väliaineilla käytetään lämmönkestäviä pesäratkaisuja. Myös itse väliaine tai väliaineen viskositeetti esimerkiksi öljyt aiheuttavat tietynlaisia vaatimuksia pesäratkaisuille. (26.)

Hyvällä sulk- ja säätoventtiilillä on selkeästi eri ominaisuuksia. Tämän vuoksi valinta on joskus hankalaa, jos venttiilin tulee täyttää molemmat tehtävät. Usein sellaiset ominaisuudet, kuten suuri kapasiteetti, hyvä tiiviys ja pieni kitka eivät esiinny samassa venttiilissä, joten on tehtävä kompromisseja. (26.)

### 6.1.3 Lineaariseen liikkeeseen perustuvat venttiilit

Istukkaventtiilejä ovat muun muassa yksi-istukkainen, kaksi-istukkainen, moniportainen ja antikavitaatioistukkaventtiili.

Istukkaventtiileistä yleisin on yksi-istukkaventtiili. Sen rakenne koostuu pesästä, ylälaipasta, karasta ja istukkarenkaasta. Karan liike on aina lineaarinen. Pesä voi olla suo-

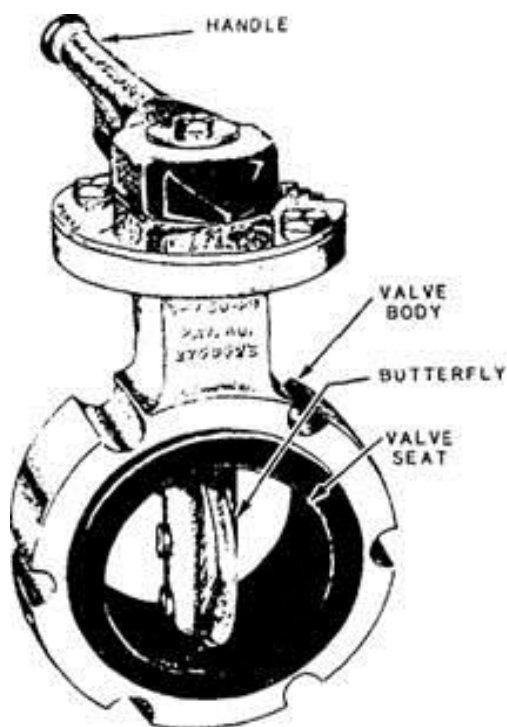
ra, kulma tai Y:n mallinen. Kun venttiilikaraa pyöritetään tai painetaan, istukka tiivistää venttiilipesän, jolloin venttiili sulkeutuu. Liitännät ovat yleensä laippahitsauksia tai kierrelitoksia. Tyypit voidaan jakaa laakeroinnin eli tuennan mukaan. Tällaisia tyyppjä ovat kara-, holkki- tai häkkituettu venttiili. (25.)

Lineaariliikeventtiilin etuja ovat korkeat paine-erot, pienet virtausmäärät ja niiden fyysinen lujuus.

#### 6.1.4 Kiertoliikkeeseen perustuvat venttiilit

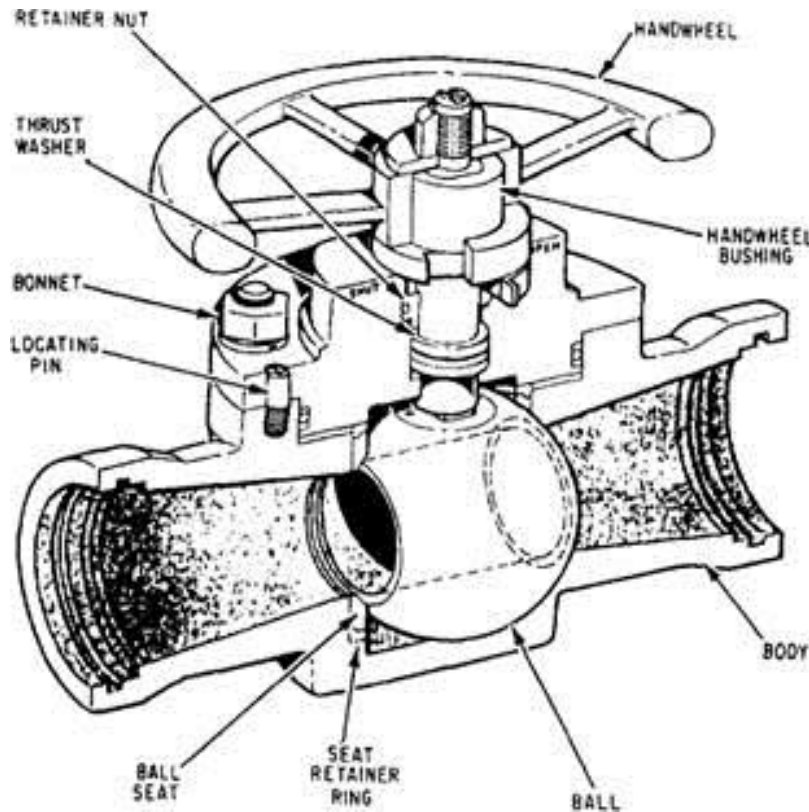
Kiertoliikkeeseen perustuvia venttiileitä ovat läppäventtiilit, palloventtiilit, kiertoistukat ja tulppaventtiilit. Verrattuna istukkaventtiileihin, niiden rakenne on paljon kevyempi ja kompaktimpi. Kapasiteetti-arvot ovat suuremmat, karan tiivistäminen yksinkertaisempaa, venttiilit ovat käyttövarmoja ja edullisempia. (25.)

Läppäventtiilin rakenne on putkielimen kokoinen eli akseli menee joko läpän läpi tai se on kiinnitetty läpän ala- ja yläpuolelta. Karaa kääntämällä venttiilin läppää käännetään joko kiinni tai auki. Läpän materiaalit vaihtelevat käyttötarkoituksen ja väliaineen mukaan. (27.)



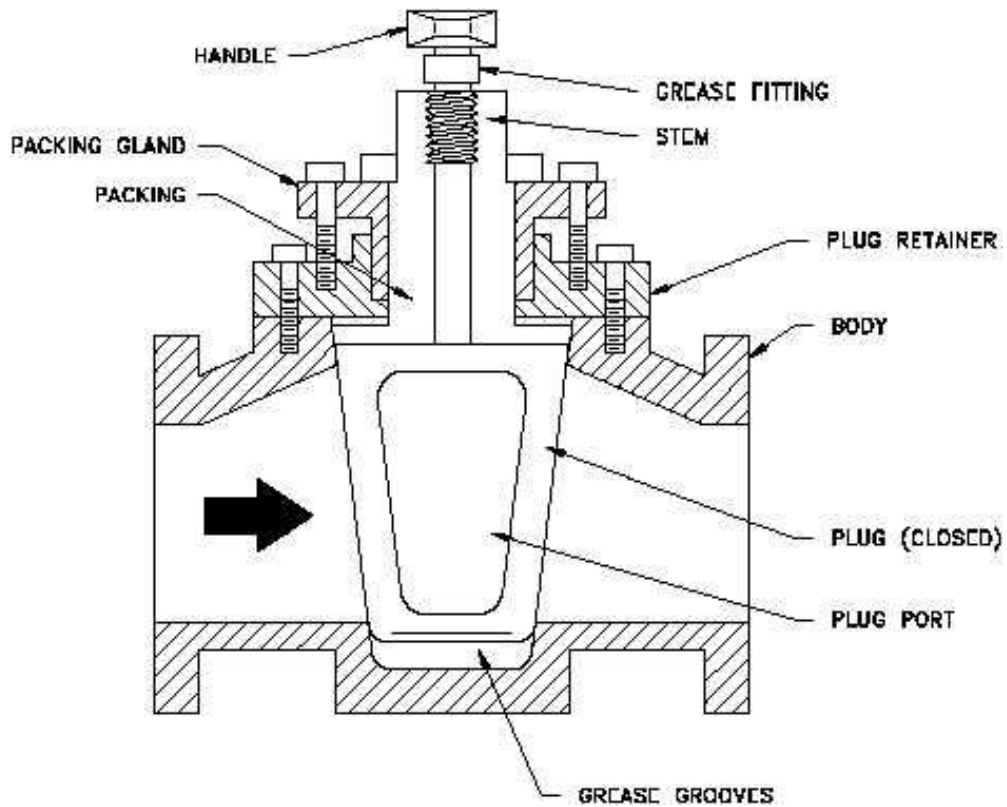
Kuva 17. Läppäventtiili (27.)

Palloventtiilin venttiilin ja pesän rakenteita on useita erilaisia. Pesä voi olla täysiauk-  
koinen, supistettu, V-pallo tai joku muu muoto/poraus pallossa. Palloventtiilin toimin-  
taperiaate on muuten hyvin samankaltainen kuin läppäventtiilisissä, mutta sulkuele-  
menttinä on pallo, joka on koneistettu tai porattu siten, että se sulkee venttiilipesän.  
(27.)



Kuva 18. Palloventtiili (27.)

Kiertoistukkaventtiilin rakenne on yksipesäinen. Sen sulkuelementtinä toimii sul-  
kuelin, joka on joko keskeisesti tai epäkeskeisesti laakeroitu venttiilin runkoon. Sul-  
kuelin kulkee venttiilipesässä istukkarengasta vasten. Kun venttiilikaraa käännettään,  
sulkuelin joko tiivistyy täysin istukkarengasta vasten tai venttiili aukeaa. Kier-  
toistuk-  
kaventtiiliä pystytään säätämään erittäin tarkasti. Sen säätösuhde on 100:1, jolloin  
avautuma-alue 0 - 100 %. (25.)



Kuva 19. Kiertoistukka venttiili. (28.)

Kiertoliikkeeseen perustuvilla venttiileillä ominaista on, että tiivistepinnan muodostaa tiivisteen pallomainen pinta ja pallo/segmentti. Sulkuelin ja tiiviste ovat aina kosketuksissa toistensa kanssa, jolloin tiivistepinnat pysyvät puhtaina. Tämä mahdollistaa hyvän tiiviyden pitkäaikaisessa käytössä. (28.)

Toinen merkittävä etu on laaja säätöalue. Venttiileitä voidaan operoida hyvin pienillä avauskulmilla ilman stabiiliusongelmia sekä toisaalta ilman korkeasta virtauskapasiteetistä aiheutuvia ongelmia. (28.)

## 7 ODEN-TOIMILAITTEET

Oden Control valmistaa toimilaitteita prosessiteollisuuden vaatimuksiin. Odenin toimilaitteet ovat lineaarisia ja monikierrustoimilaitteita ja ne on tehty kestäväksi vaikeita käyttöolosuhteita. Tällä hetkellä valikoimista löytyy viisi erityyppistä toimilaitetta, jotka kaikki on saatavilla erikokoisille venttiileille. (14.)

Odenin toimilaitteet eroavat muista toimilaitteista niiden käyttämän vaihteiston osalta. Kun muissa toimilaitteissa yleisin vaihterakenne on kierukkavaihteisto, käyttää Oden

toimilaitteissaan patentoimaansa Oden gear -vaihteistoa. Laitteet käyttävät toimiakseen joko 24 V tai 48 V tasavirtaa. (14.)

Jokaisen toimilaitteen pohjana on samanlainen alumiininen kuori, joka sisältää askelmoottorin tai servomoottorin, alennusvaihteen ja kytkentäpiirin. Alennusvaihteen käytetään Odenin vaihteistoa, jonka välityssuhde on 100:1. Vaihdetta voidaan myös käyttää käsipyörän avulla. (14.)

Elektroniikka on sijoitettu alumiinikuoreen lähelle moottoria. Toimilaitteessa ei ole käytetty akkuja, potentiometrejä, kuormansäätäjiä tai muita tärinälle tai liialle herkkiä komponentteja. Moottoria käytetään joko 24 tai 48 voltisella tasavirralla. Jännite voidaan valita Odenin omalla ohjelmalla ja samaa toimilaitetta voidaan käyttää molempien jännitteiden kanssa. (14.)

Kaikkia parametrejä, kuten vääntöä, nopeutta ja työ-aluetta voidaan säätää OVP-ohjelman avulla. Sen kautta pystytään säätämään automaattista voiman ja ajan kalibrointia ja automaattista sulkeutumistoimintoa. Kaikki asetukset on talletettu toimilaitteen väliaikaiseen muistiin, joten esimerkiksi black out -tilanteessa, muistaa toimilaitteen aikaisemman positionsa. Jos toimilaitte ei saa virtaa kahdeksaan tuntiin, se voi kalibroida itse itsensä. Tällöin toimilaitte määrittää raja-asetukset ja toimilaitte pysyy aina tarkasti kalibroituina. (14.)

Kääntömoduuli koostuu vaihdepyörästä, joka toimii kytkimen sisimpänä osana. Moduulin kuuluu myös kaksi osoitinta, joista venttiilin asento voidaan todentaa sähkökatkoksen aikana, jos prosessin valvontaelimet eivät ole enää käytössä. Kääntömoduuli pystytään koneistamaan sopiviksi erilaisille venttiilin karatyypeille. Toimilaitteissa voidaan myös käyttää valmiiksi oikeanlaista sovitetta kytkimen sisälle, jolloin venttiilin sovittaminen helpottuu. (14.)

Lineaarimoduuli koostuu alumiinisesta kuoresta, jossa on pallomutteri, ruuvi ja painelaakeri. Pallomutteri on käytännössä välyksetön, jolloin kaikki voima saadaan siirrettyä painelaakerille ja näin se pystyy käsittelemään suurempia voimia. (14.)

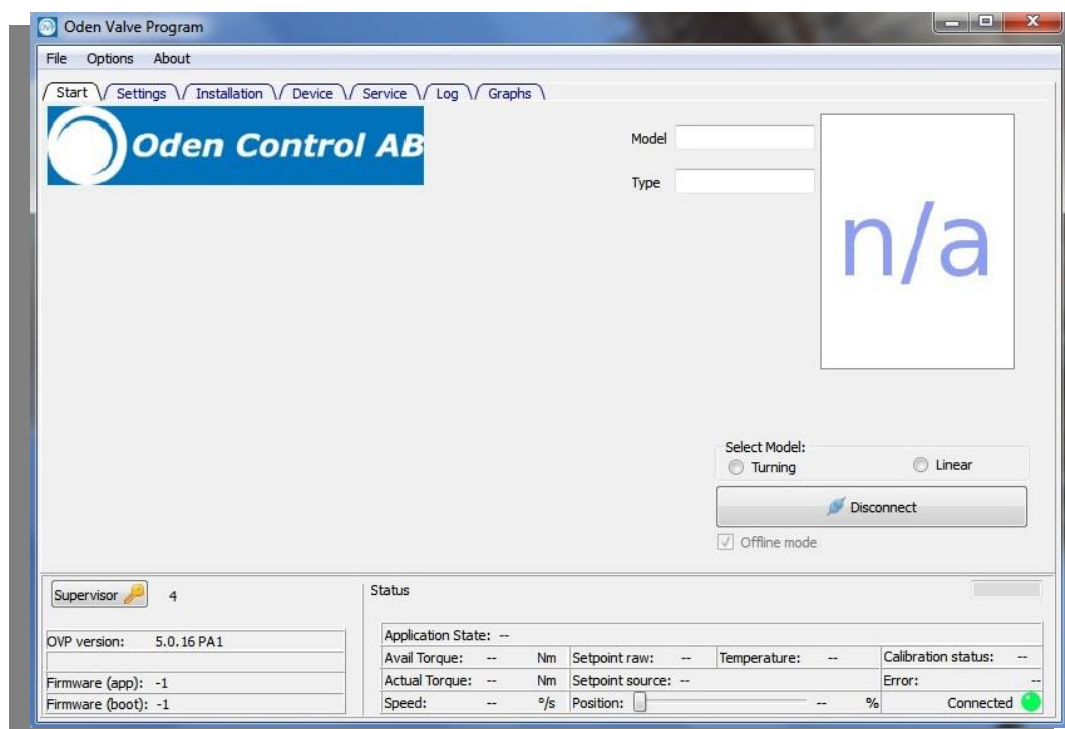
Oden valmistajana pitää tuotettaan ylivoimaisena, jos sitä vertaillaan muihin toimilaitteisiin. Toimilaitteiden selvä etu on tarkkuus, joka on täysin välyksettömän vaihteiston ansiota. Toimilaitteilla on erinomainen välityssuhde, koska vaihdevalmistajan vaih-

teistovalikoima on suhteellisen laaja ja vaihteistoja pystytään rakentamaan useita peräkkäin, jolloin välityssuhdetta pystytään edelleen suurentamaan ja täten voimaa lisäämään. Odenin toimilaitteet ovat lisäksi erittäin luotettavia yksinkertaisen konstruktion ansiosta. Laitteet ovat myös pieniä ja kevyitä verrattuna muiden valmistajien vastaaviin tuotteisiin. Toimilaitteiden vasteaika, nopeus ja voimavälitys ovat erittäin nopeita. Asiakkaita houkuttelevat toimilaitteiden helpolla asennuksella ja huoltovapaudella. Asiakas saa mukaan ohjelman, jolla toimilaitteen parametrejä pystytään helposti muuttamaan tietokoneen ja USB-johdon välityksellä. Toimilaitteet pystyvät itse kalibroimaan itsensä, eikä siinä ole mekaanisia rajakytkimiä, jotka voisivat siirtyä esimerkiksi tärinän johdosta, toisin kuin joidenkin kilpailijoiden laitteissa. (14.)

## 7.1 Laitteen ohjelmointi ja käyttöönotto

Odenin toimilaitteen mukana toimitetaan OVP-ohjelma, joka on tarkoitettu toimilaitteen käyttöönottoon ja parametrien säätämiseen.

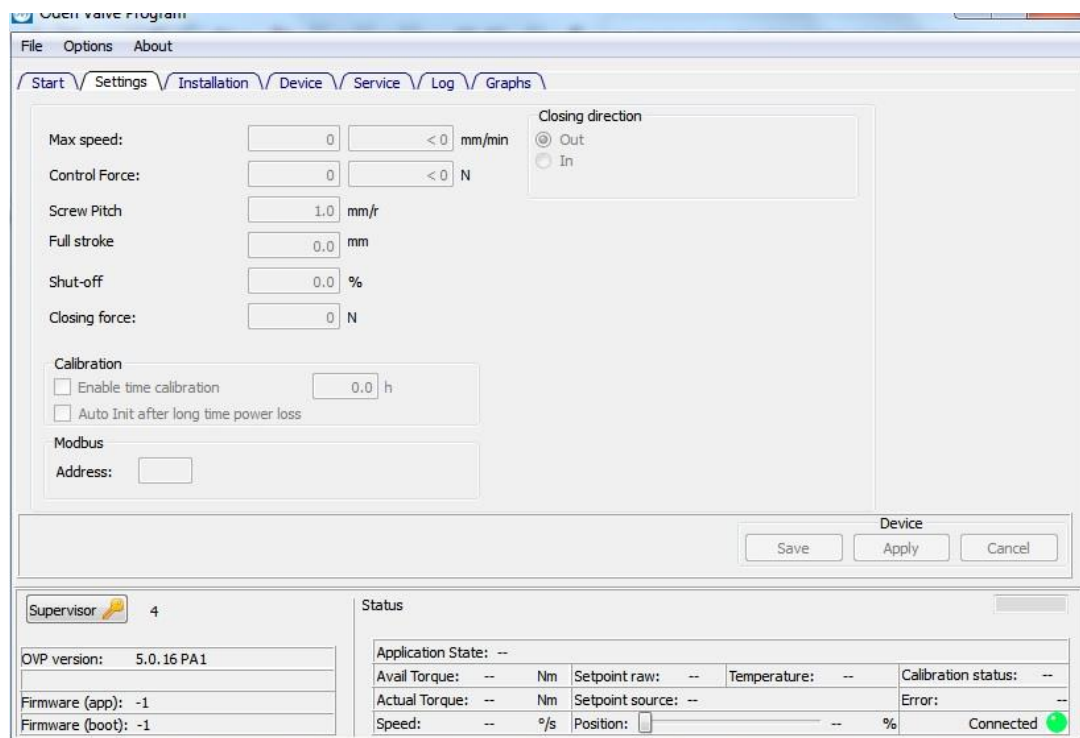
Kun toimilaitte yhdistetään tietokoneeseen USB-kaapelilla, ohjelman aloitussivulla toimilaitteen tyyppi tulee automaattisesti näkyviin. Tämän jälkeen käyttäjän tulee valita, käytetäänkö toimilaitetta kääntyvällä moduulilla vai lineaarisella moduulilla. Samalla sivulla näkyvät jännitteen tyyppi, moottorin lämpö, kalibrointiasetus, vikalogi, nopeus ajettaessa, vaikuttava momentti sekä saatavilla oleva momentti. (29.)



Ohjelman toinen sivu on asetus-välilehti, jolla säädetään toimilaitetta. Toimilaitteen ajonopeutta voidaan säätää mm/min tarkkuudella. Odenin toimilaitteita on kahdella eri moottorityypillä: servomoottorilla ja askelmoottorilla. Servomoottorin maksiminopeus on 250°/s ja askelmoottorin 40°/s. Linearimodulin ruuvin nousu vaihtelee välillä 5 - 20 mm. Toimilaitteen teoreettinen maksimikäyttönopeus mm/min 20 mm:n ruuvin nousulla on  $20\text{mm} * \left(\frac{250}{360}\right) * 60\text{s} = 830\text{ mm/min}$ . Nopeuteen vaikuttaa kuitenkin kont-

rolloiva voima, joka hidastaa toimilaitetta lineaarisesti. Maksimaalinen momentti vaihtelee 16kN-80KN toimilaitetyypistä riippuen. (29.)

Ruuvin nousu ja iskun pituus vaihtelevat toimilaitetyypeittäin. Iskun pituus säädetään aina koko venttiilin iskun pituuden mukaan. Toimilaitteen sulkeutumissuuntaa pystytään myös muuttamaan. Tämä palvelee sellaisia venttiilityyppejä, jotka kara ylä-asennossa ovat suljettuina. Sulkemismomentti ei ole sama kuin momentti, millä toimilaitetta käytetään. Se on voima, jolla toimilaitte painaa venttiilikaraa alaspäin, kun se on ennalta määrättyssä kiinni-asennossa. Toimilaitteen kalibrointi tapahtuu joko automaattisesti tietyin ajanjaksoin, tai sen voi määrittää siten, että kalibrointi tapahtuu, kun toimilaitteen virran saamisessa on jokin häiriö, esimerkiksi black out -tilanne. (29.)



## 7.2 Kalibrointi

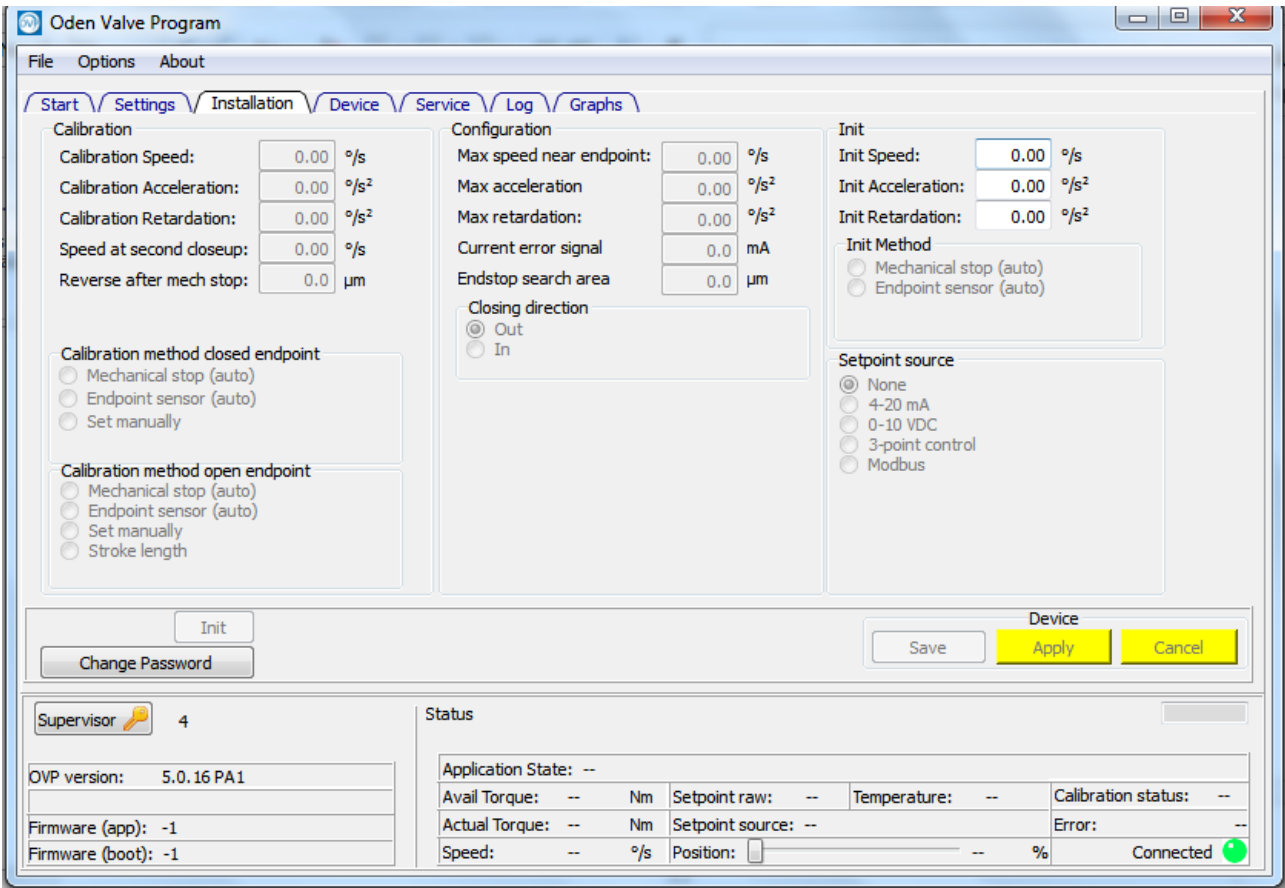
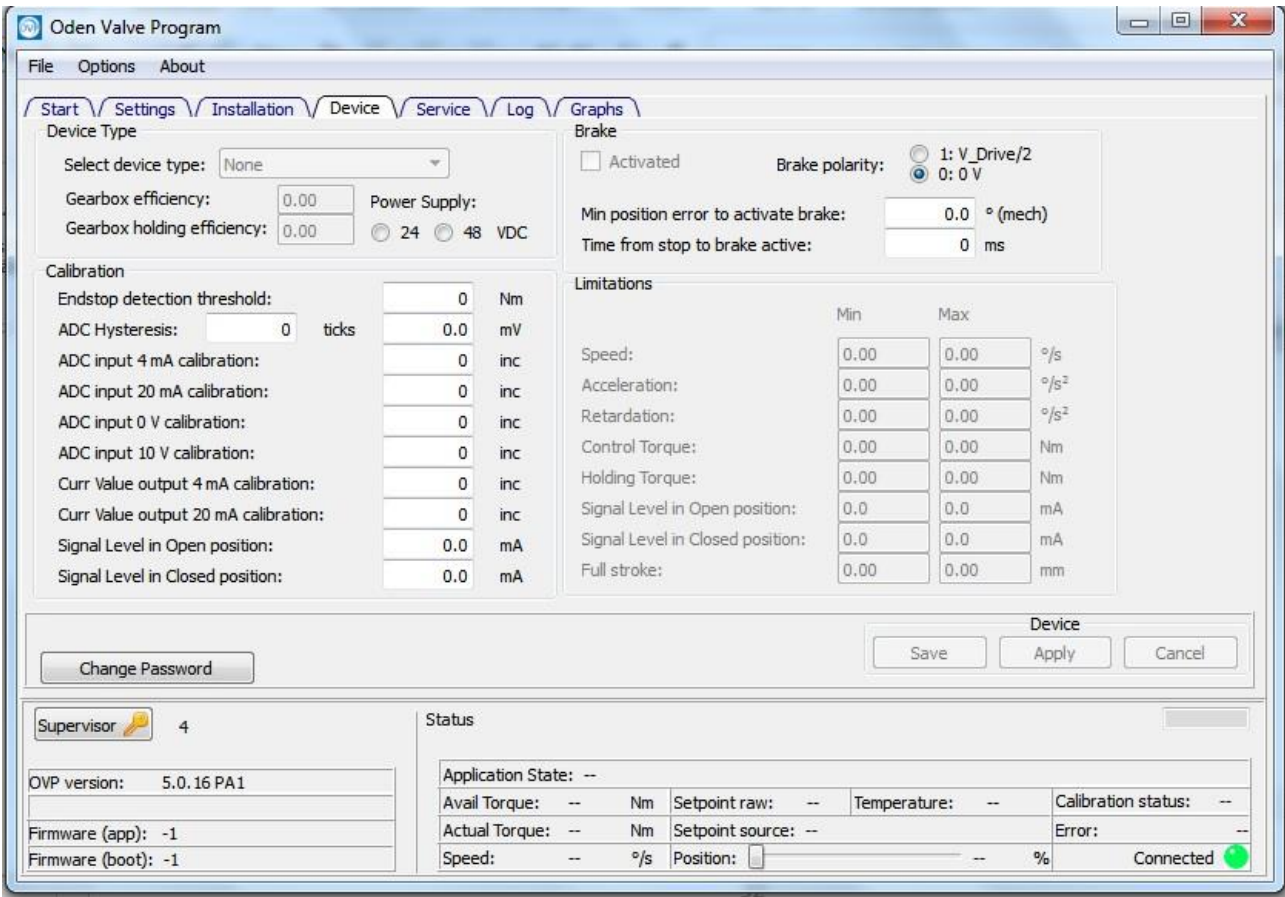
Toimilaite kalibroidaan samalla ohjelmalla. Yleensä toimilaite toimitetaan valmiiksi kalibroituina ja valmiina käyttöön. Kalibrointinopeutta on mahdollista säätää. Toimilaitteen kalibrointi tapahtuu automaattisesti. Toimilaite ajaa itseään kiinni ennalta määrätyn matkan ja saman matkan auki. Kun venttiili asettuu kiinni, toimilaitteeseen on ennalta määrätty momentti, jota se pitää raja-arvonaan. Toimilaitteessa itsessään ei siis ole minkäänlaisia mekaanisia rajakytkimiä. Toimilaite voidaan kalibroida siten, että kiinni asettuessaan se avaa venttiiliä tai poistaa jännitysmomenttia muutaman mikrometrin verran. Tätä reverse mechanical stop -ominaisuutta käytetään varsinkin suurikokoisissa istukkaventtiileissä. Tällä niin sanotulla pakittamisella pyritään estämään venttiilinkaran jumiutuminen tiivistävään pintaan. Ominaisuus on varsin käytännöllinen sellaisissa sovelluksissa, joissa lämpölaajenemista voi tapahtua. (29.)

Kalibroitavaksi päätepisteeksi voidaan valita mekaaninen pysähtyminen, jolloin ennalta määritetyn momentin saavuttaessa toimilaite määrittää päätepisteen. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää raja-sensoria tai ajaa venttiili käsikäyttöisesti tiettyyn asentoon. Avaamisen päätepiste määritetään yleensä iskun pituuden tai sensorin mukaan. (29.)

Toimilaite on itsessään niin tarkka, että sen hystereesisyttä, eli tarkkuutta, millä määmäärällä toimilaite lähtee liikkeelle, voidaan säädellä. Usein ohjaussignaalisissa esiintyy pieniä värähtelyitä. Esimerkiksi ohjaussignaali värähtelee välillä 11,7 – 12,3 mA, hystereesisyttä säätämällä pystytään kompensoimaan nämä pienet signaalin heikkoudesta johtuvat värähtelyt. Toinen käyttökohde hystereesin säätämiseksi on venttiilin ohjaus lämpötilan tai paineen mukaan. Lämpötila skaalataan alueelle 4 – 20 mA lineaarisesti, jolloin ohjaussignaalisissa esimerkiksi 5 mA tarkoittaa 30 astetta ja 7 mA 35 astetta. Mikäli ei haluta, että toimilaite reagoi pienempiin lämpötilavaihteluihin, pystytään hystereesisytydellä kompensoimaan venttiilitoimilaitteyhdistelmän herkkyyttä. (29.)

Säätämällä pystytään vaikuttamaan nopeuteen ja momentin määrään. Yleensä hyötysuhde on kuitenkin noin 90 %. Vaihteisto ei ole kuitenkaan itselukkiutuva, joten toimilaitteen sähkömoottori toimii jarruna silloin, kun laitetta ei käytetä. Sähkömoottori menee niin sanotusti oikosulkuun ja tekee itsestään generaattorijarrun. (29.)





## 8 PÄÄTELMÄT

Tutkittuani ja paneuduttuani pääasiassa sähkösäätöisiin venttiilitoimilaitteisiin, huomaisin että niiden edut ovat huomattavia verrattuna perinteisiin ratkaisuihin.

Voiman välittäminen sähköventtiilitoimilaitteissa on teoriassa paljon yksinkertaisempi verrattuna perinteisiin sovelluksiin. Varsinkin sähköventtiilitoimilaitteiden rakenne poikkeaa hyvin paljon hydraulisista ja pneumaattisista toimilaitteista. Yleensä sähkömoottorit ovat suhteellisen pieniä ja kytkimellä varustettuja, joten vikatilanteessa ne on yksinkertaista vaihtaa. Vaihteistot ovat kestäviä ja voiman välitys yksinkertaista. Tulevaisuudessa vaihteistojen kehittyessä voidaan olettaa, että toimilaitteiden koot muuttuvat pienemmiksi. Mielestäni hyvä esimerkki on tässä työssä esittelemäni Oden Controlin toimilaite, joka on huomattavasti kilpailijoitaan pienempi ja kompaktimpi johtuen sen omasta vaihteistorakenteesta.

Yleensä tietokoneella ohjattava välityssignaali on hyvin nopea ja samalla säädettävyys erinomaista ja nopeaa.

Voiman välittäminen on huomattavasti yksinkertaisempaa, koska välityssignaali on nopeampi kuin pneumaattisissa ratkaisussa ja signaali pystytään välittämään pidemmältä matkalta.

Sähkösäätöisten toimilaitteiden hyviä puolia ovat niiden tarkkuus ja herkkyys. Samalla ne ovat helppokäyttöisiä.

Yleensä toimilaite toimitetaan pakettina, jolloin tarvitaan vain oikeanlainen johdotus. Sähköjohtojen asennus on huomattavasti helpompaa ja halvempaa verrattuna ilmalinjojen rakentamiseen. Voiman välitys on viiveetöntä, sillä heti ohjauksikäskyn saatuaan toimilaite alkaa välittämään voimaa toimielimelle.

Pneumaattisiin toimilaitteisiin verrattuna suurin etu on siinä, että häiriön sattuessa asento jää viimeiseksi annettuun arvoon, eikä venttiili pääse sulkeutumaan tai avautumaan. Pneumaattisissa sovelluksissa ilmansaannin estyessä venttiili sulkeutuu ja saattaa aiheuttaa ongelmia.

Voimavälitykseen ja tarkkuuteen eivät vaikuta esimerkiksi venttiiliin välissä olevat epäpuhtaudet, koska voimankäytön määrästä saadaan halutessa dataa ulos jatkuvasti.

Sähkösäätöisissä toimilaitteissa esiintyy kuitenkin edelleen muutamia heikkouksia, kuten monimutkaisempi rakenne. Myöskeskimääräinen vikaantumisherkyys on suurempi kuin pneumaattisesti toimivilla toimilaitteilla.

Monimutkaisen rakenteen takia huolto on huomattavasti vaikeampaa ja kalliimpaa kuin vastaavilla pneumaattisilla toimilaitteilla. Toimilaitteiden huolto vaatii myös enemmän perehtymistä kuin perinteisten toimilaitteiden huolto.

Moottorin aiheuttamat viat ovat yleisiä. Esimerkiksi ylikuumentuminen voi aiheuttaa myös alennusvaihteen toiminnan häiriöitä.

## LÄHTEET

1. Warnett, C. 2004. A descriptive definition of valve actuators. June 2004 issue of Valve World magazine.
2. Venttiilikirja. 1990. Neles-Jamesbury Oy.
3. Frondelius, L. 2007. Toimilaitteet Keski-Uudenmaan koulutuskuntayhtymä Saatavissa: <http://moodle.keuda.fi/kansiot/kaol/LAITTEISTOT/toimilaitteet/index.htm> [Viitattu 3.1.2015]
4. Santecindia. Methods of valve actuation. Saatavissa: <http://www.santecindia.com/methods-of-valve-actuation.html> [Viitattu 5.3.2015]
5. ISA Standard 96 02.01.2007. Guidelines for the Specification of Electric valve actuators
6. Stoneleigh engineer services, Classification of actuators according to their movement, Saatavissa <http://www.stoneleigh-eng.com/actuator.html> Viitattu 11.12.2014
7. Spirax Sarco. Control Valve Actuators and Positioners. Saatavissa: <http://www2.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/control-hardware-el-pn-actuation/control-valve-actuators-and-positioners.asp> Viitattu 3.1.2015
8. Sclater, N & Chironis, N.P. 2001. Mechanism & mechanical devices source-book. 3.painos, McGraw-Hill
9. Val-matic valve and manufacturing corp. Manual actuators. Saatavissa: <http://www.valmatic.com/pdfs/ManualActuators.pdf> [Viitattu 14.12.2014]
10. Nesbitt, B. 2007. Handbook of VALVES AND ACTUATORS.
11. NAVALIMPLIANTI, Tork 30 service manual

12. AUMA Riester GmbH & Co. KG. Auma electric turning actuators. Saatavissa:  
[http://www.auma.com/uploads/media/sp\\_import2/prospekte/antriebe/pb\\_modular\\_range\\_fi.pdf](http://www.auma.com/uploads/media/sp_import2/prospekte/antriebe/pb_modular_range_fi.pdf) [Viitattu 3.12.2014]
13. DET NORSKE VERITAS 2014. Electrical actuators for valves July 2014.
14. ODEN CONTROLS AB. Mainoslehtiset, OVP-ohjelma, manuaalit ja verkkosivut.
15. Ulanski, W. SVF Flow Controls Inc. How to select an actuator. Saatavissa:  
[http://www.svf.net/resources/How\\_to\\_Select\\_an\\_Actuator.pdf](http://www.svf.net/resources/How_to_Select_an_Actuator.pdf) [viitattu 13.3.2015]
16. Johansson, E. 2000. Sääätötekniikka 2000, Säättö- ja mittaustekniikka oppikirja.
17. Heinokoski, R. 2013. Kone- ja prosessi automaation kunnossapito.
18. Val-matic valve and manufacturing corp. Traveling nut actuator. Saatavissa:  
[http://www.valmatic.com/actuation\\_travelingnut.html](http://www.valmatic.com/actuation_travelingnut.html) [Viitattu 11.1.2015]
19. Val-matic valve and manufacturing corp. Worm gear actuator. Saatavissa:  
[http://www.valmatic.com/actuation\\_wormgear.html](http://www.valmatic.com/actuation_wormgear.html) [Viitattu 11.1.2015]
20. FLO TORK. rack-and-pinion, actuator. Saatavissa:  
<http://www.directindustry.com/prod/moog-flo-tork/hydraulic-actuator-rotary-rack-and-pinion-65826-492287.html> [Viitattu 24.3.2015]
21. Anaheim automation. Gearboxes. Saatavissa:  
<http://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/gearbox-guide.php#sthash.dT5xmpVB.dpbsFigure> [Viitattu 12.1.2015]
22. Yuksel, C. & Kahraman, A. 2004. Mechanism and Machine Theory 39
23. Sumitomo Machinery Corp. of America. Cyclo Gear. Saatavissa:  
<http://www.globalspec.com/FeaturedProducts/Detail/SumitomoMachineryofA>

merica/Sumitomos\_Cyclo\_Drive\_Video\_Demonstration/115727/0 [Viitattu 30.3.2014]

24. Heinonkoski, R & Asp, R & Hyppönen, H 2008. Automaatio- Helppoa elämää?
25. IHS Engineering. Valve types. Saatavilla: <http://www.globalspec.com/pfdetail/valves/types> [Vierailtu 20.12.2014]
26. Gimson, M 2014. How to choose the right pressure reducing control valve for the job. Saatavilla: <http://www.singervalve.com/blog/how-to-choose-the-right-pressure-reducing-control-valve-for-the-job> [viitattu 13.2.2015]
27. Valve types, Saatavilla: <http://www.tpub.com/fireman/69.htm> [viitattu 13.2.2015]
28. Nuclear power training. Plug valves. Saatavilla: [http://nuclearpowertraining.tpub.com/h1018v2/css/h1018v2\\_41.htm](http://nuclearpowertraining.tpub.com/h1018v2/css/h1018v2_41.htm) [viitattu 13.2.2015]
29. Vakkuri, Lauri. Toimitusjohtaja. Haastattelut 2014 ja 2015 Keyflow Oy.