

Jaakko Saranpää

**Sähköohjattujen venttiilien  
testilaitteiston kehittäminen**

Opinnäytetyö

Kevät 2014

Tekniikan yksikkö

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Koneautomaatio



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Jaakko Saranpää

Työn nimi: Sähköohjattujen venttiilien testilaitteiston kehittäminen

Ohjaaja: Heikki Palomäki

Vuosi: 2014

Sivumäärä: 45

Liitteiden lukumäärä:-

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa mahdollisimman monipuolinen sähköisten venttiilien testilaitte, jonka avulla vianhaku nykyaikaisista sähkötekniikalla toimivista venttiileistä helpottuisi. Työ toteutettiin PP-Hydraulics Oy:lle.

Teoriaosuudessa selvitettiin hydraulikkajärjestelmien perusrakenne ja toiminta, pääpaino hydraulikan osalta oli venttiileissä. Suunnitteluvaiheessa valittiin tarpeelliset laitteen ominaisuudet. Ominaisuuksien valinnan jälkeen etsittiin komponentit, joilla oli mahdollista toteuttaa nämä ominaisuudet. Komponenttien hankinnan jälkeen suoritettiin testilaitteen prototyypin kokoonpano ja ohjelmointi. Opinnäytetyön loppuosa pitää sisällään laitteen testauksen ja yhteenvedon.

Avainsanat: Hydraulikka, testilaitte, proportionaaliventtiili, servoventtiili, paineenmittaus.

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

**Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Engineering

Author: Jaakko Saranpää

Title of the thesis: Hydraulic test unit

Supervisor: Heikki Palomäki

Year: 2014

Number of pages: 45

Number of appendices:-

---

This thesis was made for PP-Hydraulics Oy. The aim was to plan and build a prototype of an electronic valve test unit which can be used for hydraulic systems' troubleshooting.

The thesis contains theory of hydraulics and the different components of the hydraulic system. The study concentrated particularly on proportional and servo valves. The first part in the planning was to choose the necessary qualities. After choosing the qualities the next part was to find the electronic components which could be used to achieve those qualities.

When all the electronic components were chosen, the next step was to assemble those components into aluminum cases. The last step was the programming of microcontrollers and graphical user interface. In the end there was a performance test which proved the functionality of the test unit.

Keywords: hydraulics, test unit, proportional valve, servo valve, pressure measuring.

## Sisällys

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	1
<b>Thesis abstract</b> .....	2
Kuvio- ja taulukkoluetelo .....	6
1 Johdanto.....	8
1.1 Työn tausta .....	8
1.2 Työn tavoite .....	8
1.3 Työn eteneminen .....	9
2 Hydrauliiikan perusteet.....	10
2.1 Hydrauliiikan toimintaperiaate.....	11
2.2 Venttiilit .....	12
2.3 Sähkökäyttöiset venttiilit.....	14
2.4 Proportionaalitekniikka.....	15
2.5 Servotekniikka .....	16
3 Testilaitteen ominaisuudet.....	19
3.1 Venttiilien ohjaus.....	20
3.2 Paineenmittaus .....	22
3.3 HMI .....	22
4 Testilaitteen komponenttien valinta .....	23
4.1 Langaton tiedonsiirto .....	23
4.2 Suora venttiilin ohjaus.....	23
4.3 Jänniteviestit erilliselle vahvistimelle .....	26
4.4 Paineenmittaus .....	29
4.5 Teholähteet.....	30
4.6 Komponenttien kotelointi.....	31
5 Prototyypin toteutus.....	32
5.1 Koteloiden työstäminen.....	32
5.2 Komponenttien kytkentä .....	33
5.3 Komponenttien kotelointi.....	36
5.4 Mikrokontrollerien ohjelmointi .....	36
5.5 Graafinen käyttöliittymä .....	37
6 Laitteiston testaus .....	40
6.1 Venttiilin suoraohjaus.....	40

6.2	Venttiilin ohjaus PID-säätimen kautta .....	40
6.3	Paineiden mittaus .....	41
7	Yhteenveto .....	42
	Lähteet.....	43

## KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

**AD-muunnin** Analogia-digitaali-muunnin.

**SPI** sarjaliikenneväylä, jonka muodostaa neljä signaalia.

**I2C** Sarjaliikenneväylä, joka toimii kahdella signaalilla.

**HMI** Human-machine-interface, käyttöliittymä ihmisen ja koneen välillä

**LCD-näyttö** Liquid-crystal-display, nestekidenäyttö

**PID-säädin** Säädin joka sisältää vahvistuksen, integroinnin ja derivoinnin

**DC** Tasajännite

**C#** .NET-konseptia varten kehitetty ohjelmointikieli

**PWM** Pulssinleveysmodulaatio

**RX/TX** Lähetys ja vastaanotto

**ISM** (Industrial, Scientific and Medical) lisenssivapaa radiotaajuuskaista

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Hydraulijärjestelmä kaaviona .....	11
Kuvio 2. Istukka- ja luistintyyppinen venttiili (Parker Hannifin Corporation. 2011a.) .....	12
Kuvio 3. Suunnanvaihto venttiilillä.....	13
Kuvio 4. Palloventtiili halkileikattuna (Parker Hannifin Corporation. 2012, 56.).....	13
Kuvio 5. Solenoidiohjattu venttiili (Parker Hannifin Corporation. 2011a, 2-41.).....	14
Kuvio 6. Esiohjattu venttiili (Parker Hannifin Corporation. 2011a, 2-61.).....	15
Kuvio 7. Proportionaaliventtiili (Parker Hannifin Corporation. 2011a, 3-99.) .....	16
Kuvio 8. Servoventtiilin säätöpiiri .....	17
Kuvio 9. Servoventtiili (Moog. 2014, 5.) .....	18
Kuvio 10. Laitteiston kytkentämalli .....	19
Kuvio 11. Pulssinleveysmodulointi (PWM PIC 2014) .....	20
Kuvio 12. Parker PID -säädin ja kytkentäkaavio (Parker Hannifin Corporation. 2011b, 1 – 5.).....	21
Kuvio 13. nRF24L01+ radiopiiri.....	23
Kuvio 14. STMicroelectronics L9958.....	24
Kuvio 15. L9958-ohjaimen H-silta ja sen toimintaperiaate .....	25
Kuvio 16. XL4015 DC/DC -muunnin .....	25
Kuvio 17. Arduino Nano ATmega328.....	26
Kuvio 18. MCP4728 DA-muunnin .....	27
Kuvio 19. Sovitelevy DA-muuntimelle .....	27
Kuvio 20. Differentiaalikytkeä.....	28
Kuvio 21. Multisim charge pump -kytkentä ja simulointi.....	29
Kuvio 22. WIKA-paineanturi kytkentäkotelolla.....	29
Kuvio 23. Jännitelähde.....	30
Kuvio 24. Alumiinikotelot. $\pm 10V$ ohjain, PWM-ohjain ja kauko-ohjain.....	31
Kuvio 25. LCD-näyttöjen ja USB-liittimien sovitekappaleiden 3D-mallit .....	33
Kuvio 26. Suoraan venttiiliä ohjaavan yksikön lohko-kaavio .....	33
Kuvio 27. Erillistä vahvistinta tai PID-säädintä ohjaavan yksikön lohko-kaavio. ....	34
Kuvio 28. Kauko-ohjaimen lohko-kaavio .....	35
Kuvio 29. Kauko-ohjain, $\pm 10V$ :n ohjain, PWM ohjain .....	36
Kuvio 30. Arduino-ohjelmisto ja painonappien koodi.....	36

Kuvio 31. Yhteysasetukset.....	38
Kuvio 32. Paineanturien tiedot .....	38
Kuvio 33. Venttiilien ohjaus .....	39



# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta

Opinnäytetyö on toteutettu PP-Hydraulics Oy:n toimeksiannosta. Kyseinen yritys korjaa, huoltaa ja suunnittelee hydraulikkajärjestelmiä teollisuudelle, urakoitsijoille ja koneenrakentajille. Yritys kuuluu maailmanlaajuiseen ParkerStore-verkostoon. (PP-Hydraulics Oy 2014.)

Yrityksen huollon puolelle on toivottu nykyaikaista venttiilien testilaitteistoa, koska sähkötekniikka on yleistynyt hydraulikan sovelluksissa huomattavasti. Vian diagnosointiin liittyy yleisesti tarpeellisuus käyttää toimilaitetta ulkoisella sähköohjauksella. Laitteeseen on toivottu mahdollisuutta nykyaikaisten sähköisten hydraulikkaventtiilien ohjaamiseen ja paineiden mittaamiseen. Laitteen tulisi sisältää myös liitettävyyttä tietokoneeseen, minkä avulla tulokset saadaan tietokoneelle tarkempaa tarkastelua varten. Tulosten tulisi olla mieluiten viivakaaviomuodossa, koska tulosten lukeminen on näin selkeämpää.

## 1.2 Työn tavoite

Tavoitteena on suunnitella ja rakentaa elektroniikasta lähtien laite, jonka avulla voidaan käyttää jännite- tai virtaviestillä toimivia venttiilejä, joko venttiilin oman vahvistinkortin kautta tai ilman erillistä vahvistinkorttia.

Laitteella tulisi myös olla mahdollisuus suorittaa järjestelmien paineiden mittausta paineanturien avulla, lisäksi langattomien mittausvälineiden virrantarve pitäisi mitoittaa mahdollisimman pieneksi. Paineanturien tulokset on tarkoitus siirtää reaaliaikaisena tietokoneelle, joko langattomasti tai langallisesti erillisen vastaanottimen kautta. Tietojen käsittely ja näyttö tapahtuisi Windows-pohjaisen ohjelman avulla joko viivakaavion avulla tai numerotaululla.

### 1.3 Työn eteneminen

Laitteiston suunnittelu aloitetaan käymällä läpi hydrauliiikan toimintaperiaate. Pääpaino hydrauliiikan osalta sijoittuu sähköventtiileihin ja niiden ohjaustekniikkaan. Venttiilien ohjausvaihtoehdot rajataan nykyaikana käytössä oleviin yleisimpiin menetelmiin. Paineen mittaukseen valitaan siihen soveltuvat elektroniset anturit, jotka ovat yhteensopivia rakennettavan elektroniikan kanssa.

Kun hydrauliiikan ja ohjaustekniikan perusteet on käsitelty, siirrytään laitteiston ominaisuuksien valitsemiseen. Kun tarvittavat ominaisuudet ovat selvillä, valitaan tarvittavat elektroniikkakomponentit, joilla kyseiset ominaisuudet saadaan toteutettua. Komponenttien valinnassa käydään läpi niiden toimintaperiaatteet ja kytkennät.

Komponenttien hankinnan jälkeen suoritetaan prototyypin kokoonpano ja laitteiston ohjelmointi. Ohjelmointi pitää sisällään myös graafisen käyttöliittymän luomisen. Graafinen käyttöliittymä tulee olemaan Windows-pohjainen ja sen avulla on tarkoitus suorittaa laitteen ohjausta ja mittalaitteiden tulosten käsittelyä.

Viimeisessä osuudessa suoritetaan laitteen kaikkien ominaisuuksien testaus käytännössä. Jos testauksen yhteydessä laitteistossa ilmenee puutteita, pyritään nämä korjaamaan ja ottamaan huomioon mahdollisessa jatkokehityksessä.

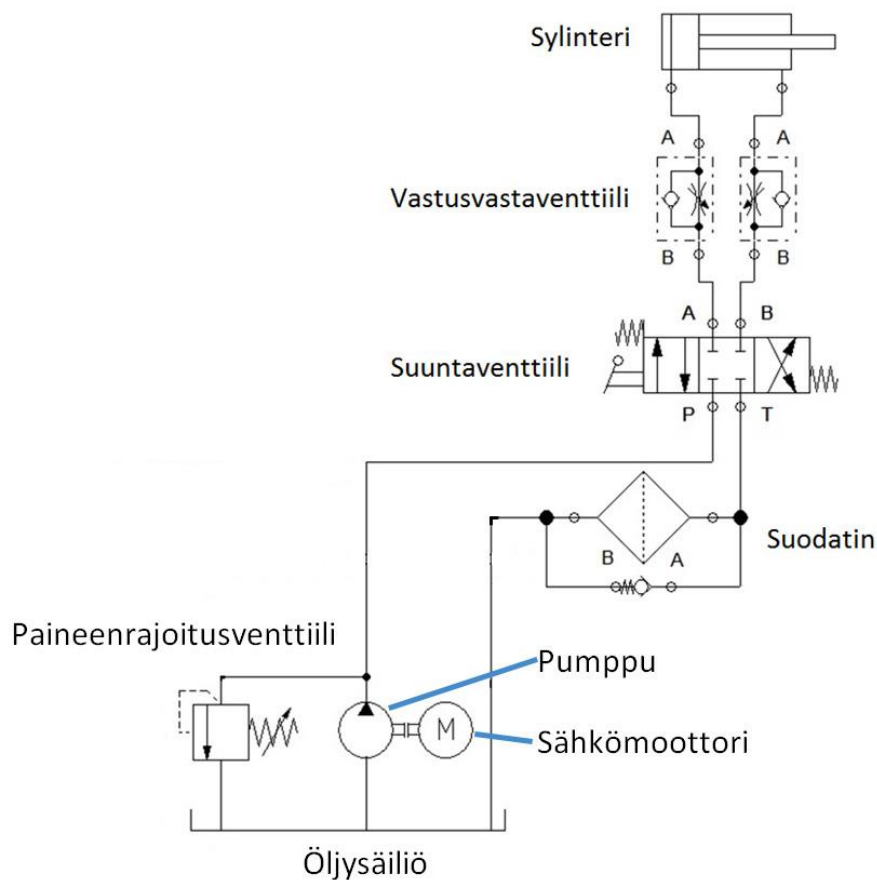
## 2 Hydrauliiikan perusteet

Hydrauliiikka on yleistynyt teollisuudessa, useimmat puristimien ja työstökoneiden liikkeet on toteutettu hydrauliiikalla. Hydrauliiikan käyttö liikkuvassa kalustossa on hyvinkin yleistä, esimerkiksi kaivinkoneet, maatalouskoneet ja erilaiset nostimet toimivat hydrauliiikalla. Hydrauliiikan komponentteja valmistetaan useissa eri maissa ja tuotantolaitoksissa, tämän vuoksi valmistajat noudattava sovittuja standardeja yhteensopivuusongelmien välttämiseksi. (Kärkkäinen & Keinänen. 2009, 170.)

Hydrauliiikka-tehonsiirtojärjestelmä muuttaa mekaanisen energian hydrauliseksi tehoksi. Hydraulinen teho muodostuu nesteen tilavuusvirrasta ja paineesta. Mekaaninen energia tuotetaan useimmiten polttomoottorilla tai sähkömoottorilla. Järjestelmässä toimilaitteet muuttavat hydraulisen tehon takaisin mekaaniseksi energiaksi. Hydraulisella järjestelmällä saavutettavia etuja ovat mm. joustavuus, komponenttien teho-paino-suhde, mahdollisuus ylikuormittaa toimilaitteita pysähdyksiin asti sekä suurien voimien ja momenttien aikaansaaminen. Hydraulinen teho siirretään putkia pitkin halutuille komponenteille. Komponenttien sijoittamista helpottaa niiden pieni koko tehoon nähden. (Kärkkäinen & Keinänen. 2009, 170.)

## 2.1 Hydrauliikan toimintaperiaate

Perinteinen hydraulikkajärjestelmä pitää sisällään toimilaitteen, venttiilin, suodattimen, virtauksen ja paineensäätömahdollisuuden sekä pumpun, joka tuottaa paineen ja tilavuusvirran. Kuvio 1 esittää järjestelmän osia. Sylinteri on toimilaite, jonka avulla hydraulinen teho muutetaan mekaaniseksi voimaksi. Vastusvastaventtiilit rajoittavat tilavuusvirtaa vain toiseen suuntaan, kaavion mukaan rajoitus tapahtuu vain sylinteristä poistuvalla nesteelle. Suuntaventtiili ohjaa sylinterin toimintasuuntaa vaihtamalla virtauksen suuntaa. Paineenrajoitusventtiili rajoittaa paineen säädettyyn arvoon, paineen säätö perustuu jousivoimaan ja paineen vaikutuksesta pinta-alaan. Sähkömoottori pyörittää pumpua, joka täten tuottaa paineen ja tilavuusvirran. Suodatin suodattaa nestesäiliöön palaavan nesteen epäpuhtaudet. Suodatin on varustettu tukkeutumisen varalta jousitoimisella vastaventtiilillä, joka estää ylipaineen muodostumisen. Öljysäiliö varastoi järjestelmässä tarvittavan nesteen. (Portin. 2014.)

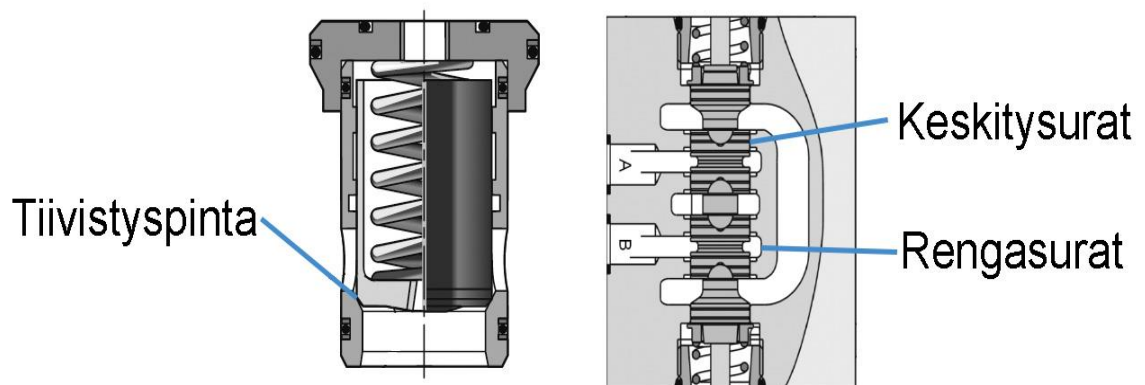


Kuvio 1. Hydraulijärjestelmä kaaviona

## 2.2 Venttiilit

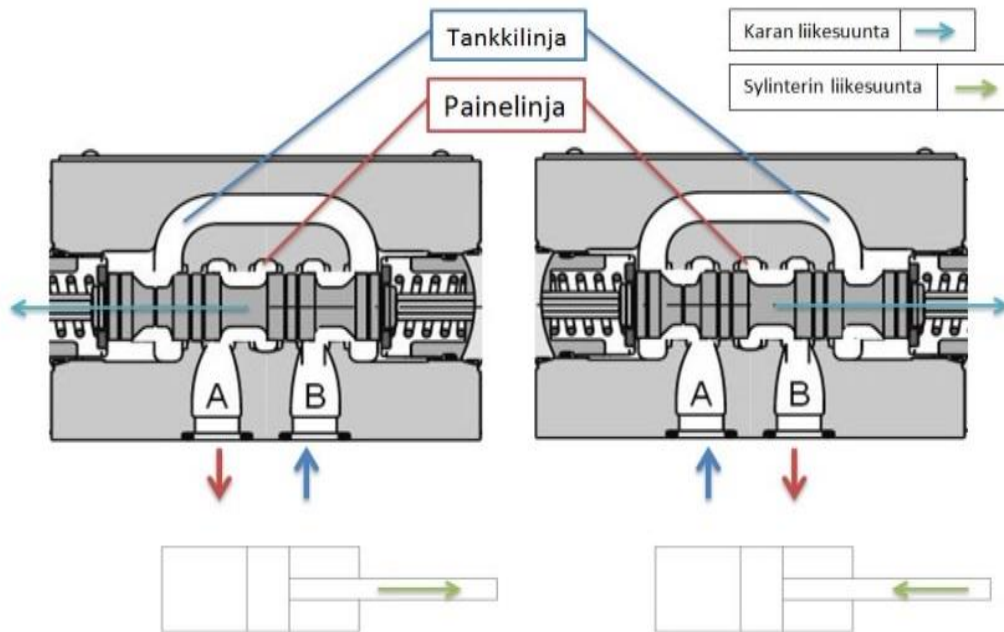
Hydraulijärjestelmien ohjaamiseen tarvitaan erilaisia venttiileitä säätämään ja ohjaamaan järjestelmän toimintoja esim. hydraulimoottorien pyörimissuunnan vaihtoa tai sylinterin ajamista haluttuun kohtaan. Järjestelmä on suojattava myös ylipaineelta. Nämä toiminnot toteutetaan venttiileiden avulla.

Karan rakenteen mukaan venttiilit jaetaan kahteen eri ryhmään, istukkaventtiileihin ja luistinventtiileihin (kuvio 2). Istukkaventtiileissä venttiilin tiivistys tapahtuu, kun kara painuu istukkapintaa vasten. Haittapuolena rakenteessa ovat sen tarvitsemat suuret ohjausvoimat, joiden pienentäminen onnistuu hydraulista rakennetta muuttamalla. Luistinventtiileissä kara on venttiilipesässä hydraulisessa tasapainossa, eikä karan liikuttamiseen vaadita suuria voimia. Luistinventtiileissä on rakenteesta johtuen vähän sisäisiä vuotoja. (Kärkkäinen & Keinänen. 2009, 222.)



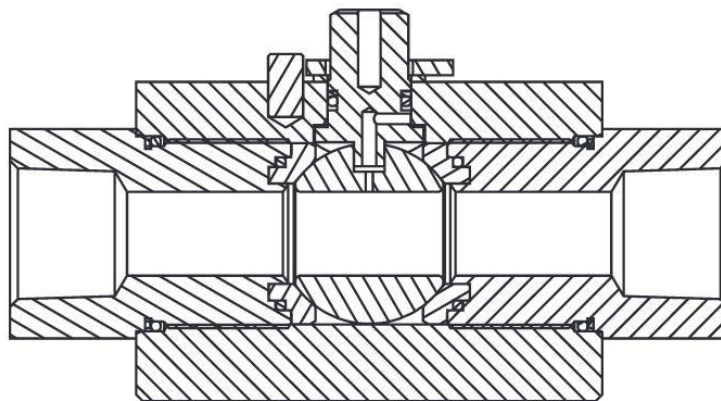
Kuvio 2. Istukka- ja luistintyyppinen venttiili (Parker Hannifin Corporation. 2011a.)

Suuntaventtiin (kuvio 3) avulla ohjataan tilavuusvirta tarpeen mukaan sinne, missä sitä milloinkin tarvitaan. Esimerkiksi kaksitoimisen sylinterin edestakaiseen ajamiseen tilavuusvirran suuntaa on vaihdettava venttiin avulla sylinterin liikesuuntaa vaihdettaessa. (Kärkkäinen & Keinänen. 2009, 232.)



Kuvio 3. Suunnanvaihto venttiilillä

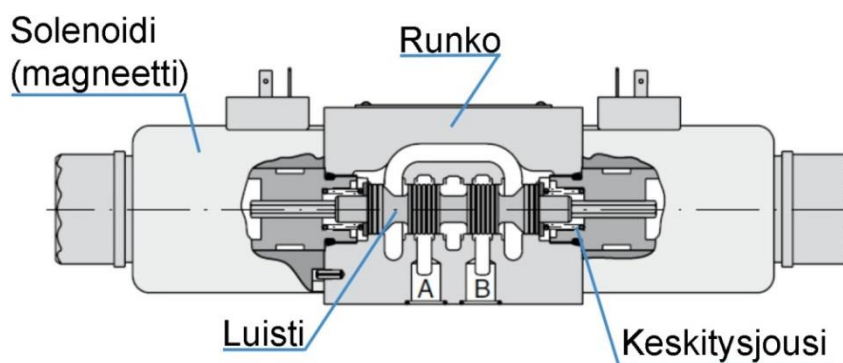
Jos on tarpeellista estää virtaus kokonaan, niin se onnistuu sulkuventtiiliä käyttämällä. Hydraulikassa suurien paineiden vuoksi paras vaihtoehto sulkuventtiiliksi on palloventtiili (kuvio 4), joka kestää suuria paineita ja on lähes vuodonkestävä. On myös olemassa vastaventtiilejä, joilla virtaus estetään vain toiseen suuntaan. (Kärkkäinen & Keinänen. 2009, 232.)



Kuvio 4. Palloventtiili halkileikkattuna (Parker Hannifin Corporation. 2012, 56.)

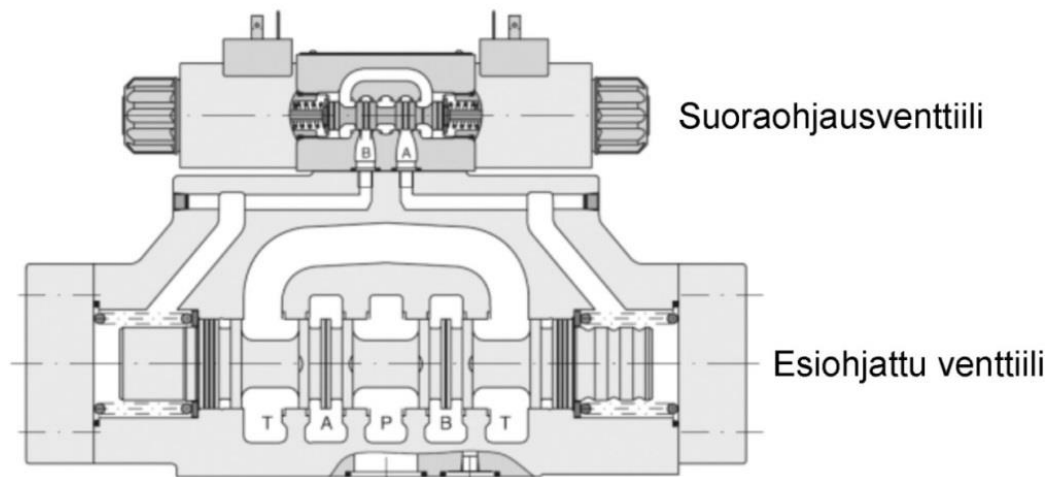
## 2.3 Sähkökäyttöiset venttiilit

Sähköisellä ohjauksella saavutetaan monia etuja, kuten venttiilin ohjauspaikan sijoittaminen. Venttiiliä voidaan ohjata luotettavasti ja helposti pitkiltäkin etäisyyksiltä. Ohjaus on myös helppo automatisoida, millä saavutetaan varma ja nopea järjestelmä. Haittapuolena sähköisessä ohjauksessa on venttiilin nopeus, joka aiheuttaa paineiskuja järjestelmään. Sähkökäyttöistä venttiiliä (kuvio 5) ohjataan sähkömagneettien avulla, asennon vaihtaminen tapahtuu asettamalla sähkömagneetti jännitteelliseksi. Jännitteen katkettua kara jää paikalleen ja tarvittaessa ohjaus takaisin keskiasentoon tapahtuu jousen tai vastakkaisen magneetin avulla. Pienet venttiilit ovat yksiasteisia eli suoraohjattuja. Ohjaus tapahtuu vaikuttamalla suoraan karan asemaan. (Kärkkäinen & Keinänen. 2009, 235.)



Kuvio 5. Solenoidiohjattu venttiili (Parker Hannifin Corporation. 2011a, 2-41.)

Suuret venttiilit ovat moniasteisia eli esiohjattuja, koska venttiilin koon kasvaessa karan ohjaukseen tarvittava voima kasvaa. Tämän vuoksi venttiilin ohjausosasta tulee epäkäytännöllinen ja suuri, sekä paljon tehoa vaativa. Yksinkertaisempaa on kytkeä pieni suoraohjausventtiili ohjaamaan suurta venttiiliä hydraulisesti, näin pienempi venttiili toimii vahvistimena, joka vahvistaa ohjaussignaalin riittävän suureksi (kuvio 6). (Kärkkäinen & Keinänen. 2009, 235.)

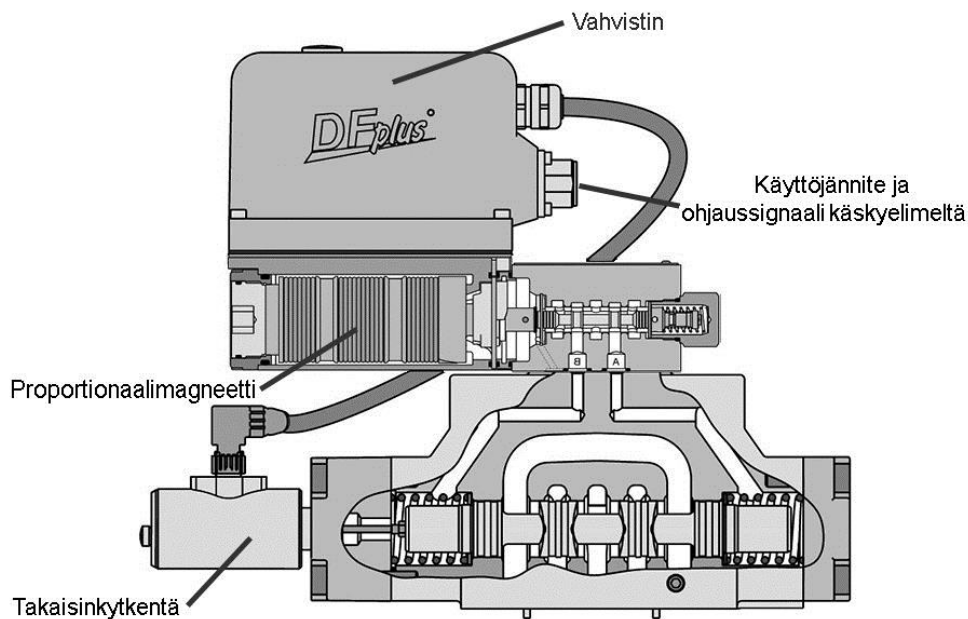


Kuvio 6. Esiohjattu venttiili (Parker Hannifin Corporation. 2011a, 2-61.)

## 2.4 Proportionaalitekniikka

Proportionaalitekniikka käsittää laitteet ja järjestelmät, jotka sisältävät proportionaaliventtiileitä. Proportionaalitekniikkaa käyttävä laite on jatkuvatoiminen säädin, jonka lähtösignaali määräytyy tulosignaalin perusteella ja niille asetetun suhteen mukaisesti. Proportionaaliventtiiliin (kuvio 7) ohjaus voidaan toteuttaa monella eri tavalla joko mekaanisesti, hydraulisesti tai sähköisesti. Yleisin järjestelmissä käytettävä ohjaustapa on sähkö. Proportionaaliventtiiliin ohjaus tapahtuu proportionaalimagneeteilla, jotka muuttava sähköisen ohjauksen mekaaniseksi liikkeeksi. Proportionaalimagneetti eroaa normaalista kytkentämagneetista siten, että magneetin voima on suoraviivainen koko käyttöalueella. Magneetin ohjaus tapahtuu erillisen vahvistimen kautta, joka muuntaa 0-10V:n ohjaussignaalin magneetille sopivaksi. Ohjaus voi olla asematakaisienkytkennällä tai ilman, takaisinkytkennällä saavutetaan parempi asetustarkkuus. Takaisinkytkentä seuraa venttiiliin karan asentoa, ja jos karan asento poikkeaa ohjaussignaalin asetusarvosta, säädin korjaa tilanteen. (Kärkkäinen & Keinänen. 2009, 286.)



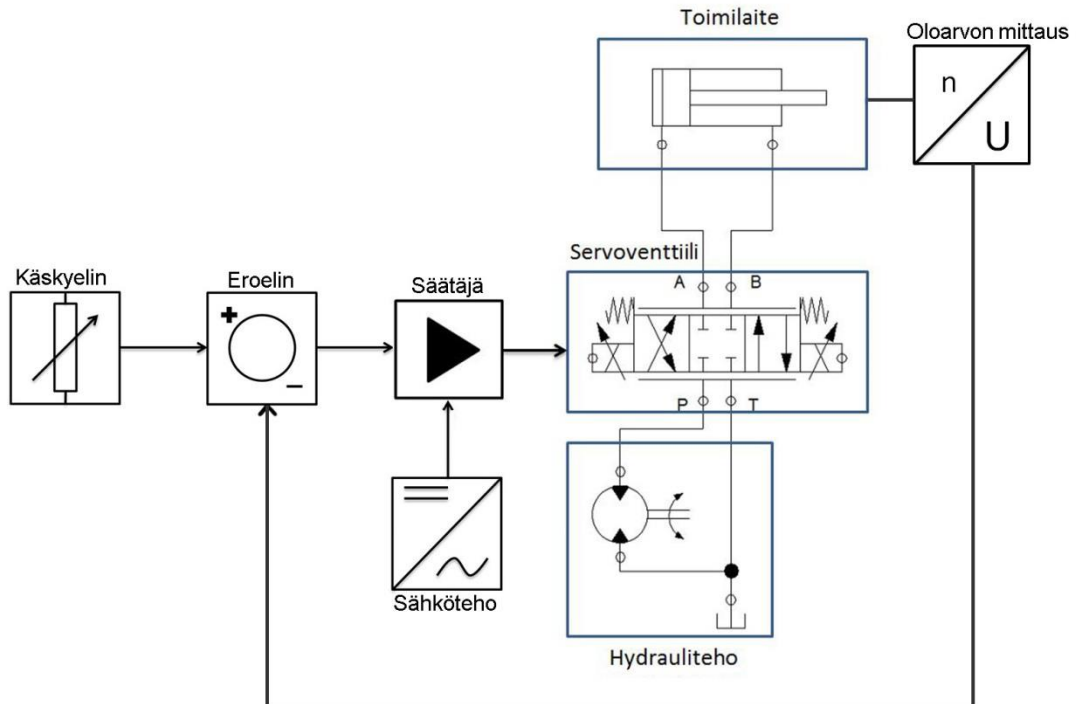


Kuvio 7. Proportionaaliventtiili (Parker Hannifin Corporation. 2011a, 3-99.)

## 2.5 Servotekniikka

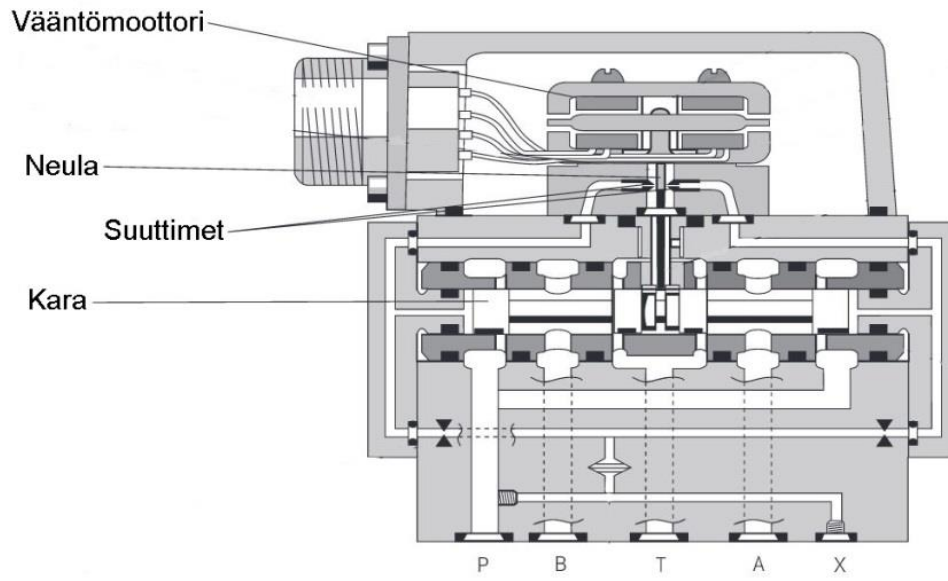
Hydrauliikassa servotekniikalla toimivat laitteet seuraavat jatkuvasti lähtösignaalin suhdetta tulosignaaliin, eli takaisinkytkennän toimintaperiaatteella (kuvio 8). Järjestelmän todellista toimilaitteen asemaa valvotaan jatkuvasti. Jos toimilaitteen todellinen arvo poikkeaa laitteelle annetusta käskyn arvosta, säätäjä tekee tarvittavan korjauksen prosessiin. Servojen tyyppejä on kolmenlaisia: Asemaservot pyrkivät saavuttamaan mahdollisimman tarkasti käskyä vastaavan aseman, näiden tarkkuus on 0,1 – 0,01 millimetriä. Teollisuusroboteissa ja työstökeskuksissa käytetään kyseisiä asemaservoja. Nopeusservot pyrkivät säätämään toimilaitteen nopeuden mahdollisimman tarkasti käskyn mukaiseksi. Nopeusservon tarkkuus on yleensä luokkaa 1 %. Voimaservot pyrkivät antamaan tarkasti käskysignaalin mukaisen voiman, esimerkiksi hydraulisylinteristä pyritään saamaan tarkka voima ja hydraulimoottorista tarkka momentti.

(Kärkkäinen & Keinänen. 2009, 289.)



Kuvio 8. Servoventtiilin säätöpiiri

Servoventtiilin (kuvio 9) ohjaus tapahtuu useimmiten sähköisesti. Sähköinen ohjaus muutetaan mekaaniseksi liikkeeksi joko askelmoottorin, lineaarimoottorin tai vääntömoottorin avulla. Vääntömoottorit ovat yleisin tapa ohjata venttiiliä. Vääntömoottorina toimii kestmagneettimoottori, jonka ohjaus tapahtuu sähkövirran avulla. Moottorin momentti on ohjausvirtaan verrannollinen eli proportionaalinen. Vääntömoottorin tuottama momentti on varsin pieni ja tämän vuoksi suurien hydraulisten tehojen ohjaus ei onnistu ilman vahvistusta. Vahvistuksessa käytetään esiohjausventtiiliä ja vahvistus voidaan suorittaa yhdessä tai kahdessa vaiheessa. Näin ollen servoventtiilistä tulee joko kaksi- tai kolmiasteinen. Hydraulisena vahvistimena voi toimia suihkuputki, suutinläppä tai luistinventtiileitä. (Kärkkäinen & Keinänen. 2009, 289.)



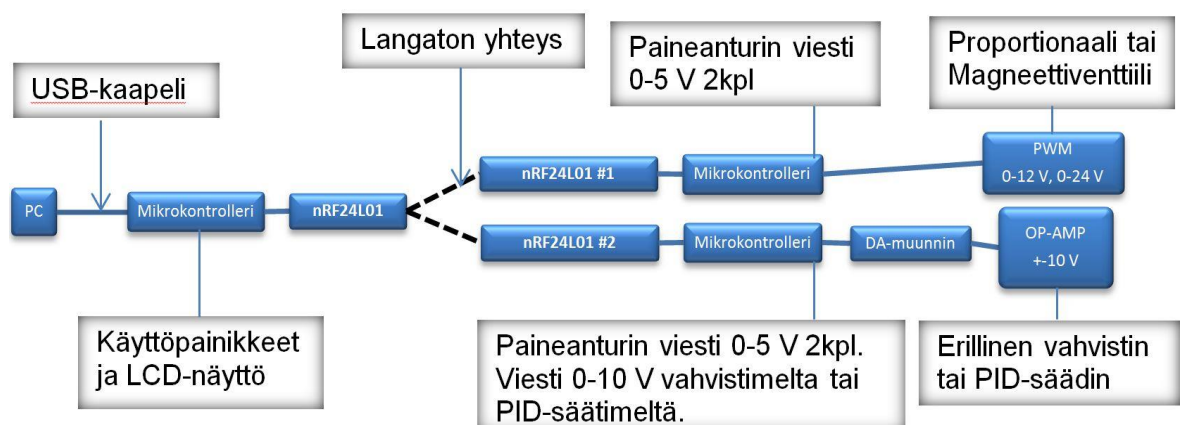
Kuvio 9. Servoventtiili (Moog. 2014, 5.)

### 3 Testilaitteen ominaisuudet

Testilaitteen ominaisuuksien valintaan vaikuttavat tekijät ovat komponenttien hinta, monipuolisuus, laajennettavuus ja yksinkertainen rakenne. Komponentit valitaan ohjaamaan yleisimpiä nykyaikaisia venttiileitä. Osa testilaitteen laskentakuormasta hajautetaan kentällä toimiviin ohjaus- tai mittalaitteisiin.

Kuten kuviosta 10 selviää, niin laitteiston HMI toteutetaan mikrokontrollerilla, johon liitetään käyttöpainikkeita, potentiometri ja LCD-näyttö. Näiden avulla voidaan ohjata laitteita ilman PC:tä. Mikrokontrolleri on myös mahdollista liittää PC:hen USB-kaapelin avulla ja näin suorittaa ohjaus PC:n kautta. Mikrokontrollerin on tarkoitus lähettää tarvittavia tietoja tietokoneelle tai ohjauslaitteeseen, mistä käyttäjä pystyy visuaalisesti havainnoimaan ja säätämään laitteen tapahtumia. Tiedonsiirto HMI-ohjausyksikön ja venttiilien ohjausyksiköiden välillä tulee tapahtumaan langattomasti.

Venttiilien ohjausyksikköjä tulee olemaan kaksi kappaletta. Ensimmäinen ohjaa venttiileitä suoraan PWM-tekniikalla ja toinen ohjaa erillistä venttiilin vahvistinta tai PID-säädintä  $\pm 10$  V:n viestillä. Molempiin ohjausyksikköön saa liitettyä tarpeen vaatiessa kaksi paineanturia. Toisessa ohjausyksikössä tulisi olla myös mahdollisuus liittää erilliseltä vahvistimelta tai PID-säätimeltä tulevaa monitorointitietoa, jonka avulla ilmoitetaan venttiilin karan tai sylinterin varren asema. Monitorointitieto luetaan säätimeltä jänniteviestinä 0-10 V, jos mahdollista.

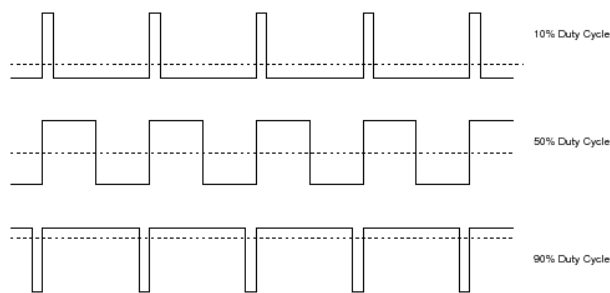


Kuvio 10. Laitteiston kytkentämalli

### 3.1 Venttiilien ohjaus

PWM-tekniikkaa käyttävällä ohjaimella on mahdollista käyttää venttiileitä, joissa ei ole erillistä vahvistinta, vaan ohjaus tapahtuu syöttämällä sähköä suoraan proportionaalimagneetille tai servoventtiilin vääntömoottorille. Tämän avulla voidaan rajata vianhakualuetta pienempiin osiin ja rajata mahdolliset vahvistin- tai säädinviat pois.

PWM on lyhenne englanninkielisistä sanoista pulse width modulation, suomeksi tämä tarkoittaa pulssinleveysmodulaatiota. Kuten kuvasta 11 selviää, PWM-tekniikassa jännite on joko päällä tai poissa. Sääto tapahtuu pulssin päällä oloajan lyhentämällä tai pidentämällä. Pulssituksen taajuus on yleensä kilohertsien luokkaa riippuen käyttökohteesta. (PWM PIC 2014.)



Kuvio 11. Pulssinleveysmodulointi (PWM PIC 2014)

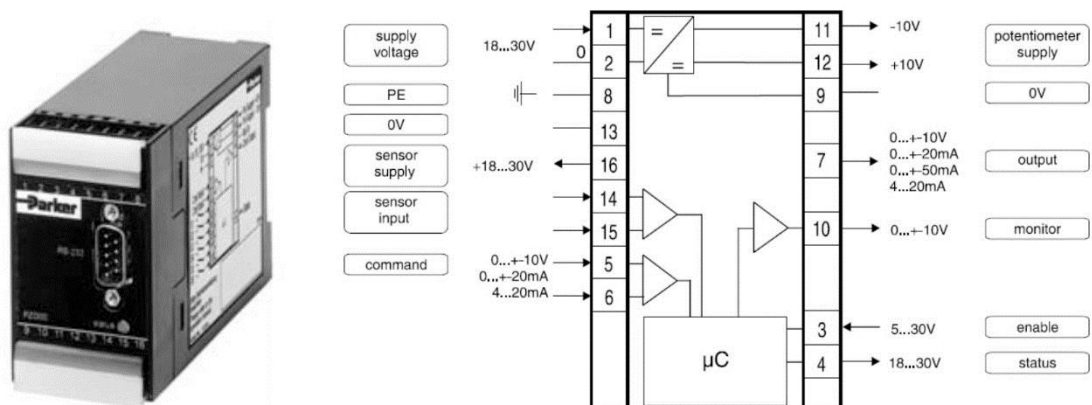
Koska servoventtiilit ovat usein virtaohjattuja, ohjauksessa otetaan huomioon tarpeellinen virran rajoitus, jonka avulla suojataan venttiilin vääntömoottorin ylikuormitustilanteet. PWM-tekniikan vuoksi laitteistoon tulee myös jännitteensäätö, jonka avulla voidaan määrittää vääntömoottorin läpi menevä virta. Jännite saadaan selville Ohmin lain avulla (kaava 1), jossa  $U$  kuvaa jännitettä,  $R$  resistanssia ja  $I$  virtaa. Useimmiten servoventtiileiden vääntömoottorin virta- ja resistanssiarvot löytyvät käyttöohjeista. Joissain tapauksissa resistanssi täytyy mitata venttiilistä, jolloin mittauksen voi suorittaa perinteisellä yleismittarilla, joka on varustettu resistanssinmittausominaisuudella.

$$U = R * I \quad (1)$$

Proportionaaliventtiin suoraohjaus toteutetaan myös samaisella PWM-tekniikalla, jolla voidaan ohjata joko yksi- tai kaksisuuntaisia venttiileitä. Proportionaalimagneettien maksimi ohjausjännite tulee valinnaiseksi joko 12 V:lla tai 24 V:lla, koska nämä ovat yleisimpiä käyttöjännitteitä kyseisissä laitteissa. Magneettien ohjausjännite ja virta-arvot on useimmiten merkitty venttiin magneetteihin. Laitteiston maksimivirran tavoitearvo asetetaan 4 ampeeriin, koska yleisimmät servoventtiilien vääntömoottorit ja proportionaaliventtiileiden ohjausarvot sijoittuvat tämän arvon alle. (Parker Hannifin Corporation. 2011a.)

Toinen ohjain tulee venttiileille, jotka on varustettu omalla vahvistimella tai PID-säätimellä. Näiden ohjaukseen tullaan käyttämään jänniteviestiä  $\pm 10$  V. Suljetuissa säätöpiireissä  $\pm 10$  V:n ohjain tulee ohjaamaan erillistä PID-säädintä, koska säädin sisältää monipuoliset parametrintoimintoja. Tässä tapauksessa PID-säätimenä tulee toimimaan Parkerin valmistama PID00A-40 (kuvio 12), jonka avulla onnistuu useimpien venttiileiden ohjaus.

Parkerin säädin on tarkoitettu erityisesti suljettujen järjestelmien ohjaamiseen ja on helposti parametroitavissa RS-232C-sarjaliitännän kautta. Laitteen ominaisuuksiin kuuluvat muun muassa laajat PID-asetukset, nopeuden säätö takaisinkytkennän perusteella, differentiaalinen syöttö monipuolisilla asetuksilla, lähtö monipuolisilla asetuksilla ja neljä rampifunktiota. (Parker Hannifin Corporation. 2011b.)



Kuvio 12. Parker PID -säädin ja kytkentäkaavio (Parker Hannifin Corporation. 2011b, 1 – 5.)

### 3.2 Paineenmittaus

Paineenmittaus tapahtuu sähköisten anturien avulla. Mitattava painealue mitoitetaan yleisten järjestelmien tarpeiden mukaan. Paineanturien valmistajat tarjoavat useimmiten eri painealueelle sijoittuvia antureita, joiden valinta riippuu käyttökohteesta ja paineenmittauksen tarkkuuden tarpeesta. Koska paineanturit tulevat yleiseen käyttöön, kokemuksen perusteella yli 400 bar:in painetta tuottavat järjestelmät ovat harvinaisempia, valitaan anturi jonka mittausalue on 0–400 bar. Kyseisellä painealueella säilytetään myös suhteellisen hyvä tarkkuus mittauksissa.

### 3.3 HMI

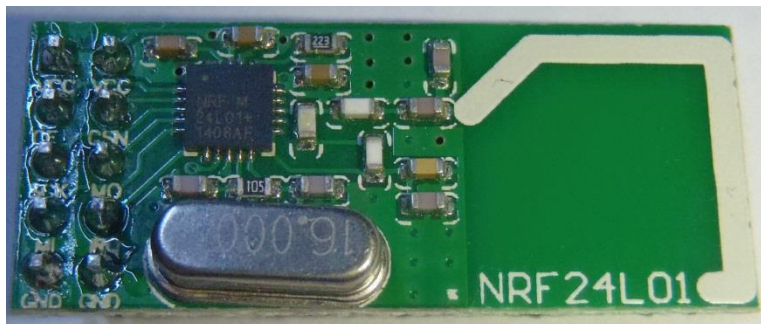
HMI:llä tarkoitetaan käyttöliittymää, jonka avulla ihminen pystyy havainnoimaan ja säätämään koneen tapahtumia.

Testilaitteiston ohjausyksiköiden ohjaus tapahtuu langattoman kauko-ohjaimen kautta tai kytkemällä kauko-ohjain PC:n USB-porttiin, jolloin PC lähettää ja vastaanottaa kauko-ohjaimen kautta tarvittavat tiedot. Langattomuudella saavutetaan huomattavia etuja, kun järjestelmän tarkkailua voidaan suorittaa eri paikoista ilman että johdot sotkeutuisivat järjestelmän toimilaitteisiin. Mahdollisia paineantureilta ja venttiileiltä tulevia mittaustuloksia siirretään langattomasti kauko-ohjaimelle ja sen kautta tietokoneelle. Tietojen käsittely tapahtuu Windows-pohjaisen ohjelman avulla, joka näyttää tiedot viivakaaviomuodossa tai numeerisesti. Ohjelmaan tulee myös mahdollisuus tallentaa mittaustiedot myöhempää tarkastelua varten.

## 4 Testilaitteen komponenttien valinta

### 4.1 Langaton tiedonsiirto

Testilaitteen tapauksessa langaton tiedonsiirto tapahtuu Nordic Semiconductorin valmistamilla radioprosessoreilla. Kaikissa testilaitteen osissa tullaan käyttämään nRF24L01+ 2,4 GHz:n radiopiiriä, jota on saatavilla valmiina moduulina. Se sisältää kaikki oheiskomponentit (kuvio 13). Valintaan vaikutti piirin yleisyys harrastelijoiden keskuudessa, jonka vuoksi tietoa ja esimerkkejä on tarjolla riittävästi sekä piiri on helppo ottaa käyttöön.



Kuvio 13. nRF24L01+ radiopiiri

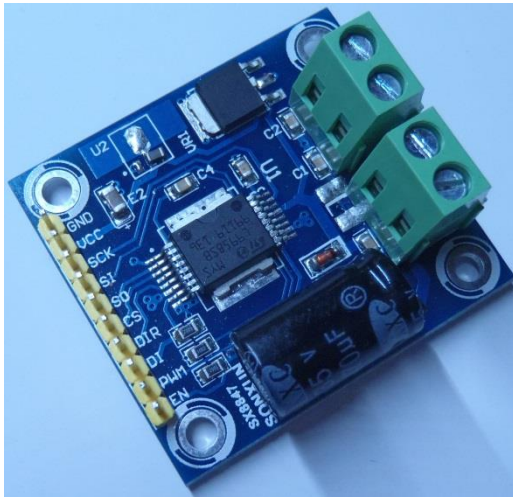
nRF24L01+ on pitkälle integroitu, energiatehokas 2 Mbps RX/TX-piiri. Piiri käyttää 2,4 GHz:in ISM-taajuutta, jonka RX/TX virrankulutus on enintään 14 mA, käyttäen hyödyksi edistynyttä energian hallintaa. Käyttöjännitealue laitteella on 1,9V – 3,6V, jonka vuoksi energialähteenä voi toimia esimerkiksi nappiparisto. ShockBurst™-teknologian avulla varmistetaan vakaa ja nopea SPI-yhteyden toiminta mikrokontrollerien kanssa. Laite ei vaadi erillisiä suodattimia tai resonaattoreita. (Nordic Semiconductor 2008.)

### 4.2 Suora venttiilin ohjaus

Ilman erillistä vahvistinta ajettavat proportionaali- ja servoventtiilit vaativat paljon tehon kestoja ohjaavilta komponenteilta. Venttiilien vääntömoottorien ja magneettikelojen tekniikka muistuttaa läheisesti tasavirtamoottoria, minkä vuoksi kyseiseen tekniikkaan ohjaimia on tarjolla laaja valikoima. Tämän tiedon



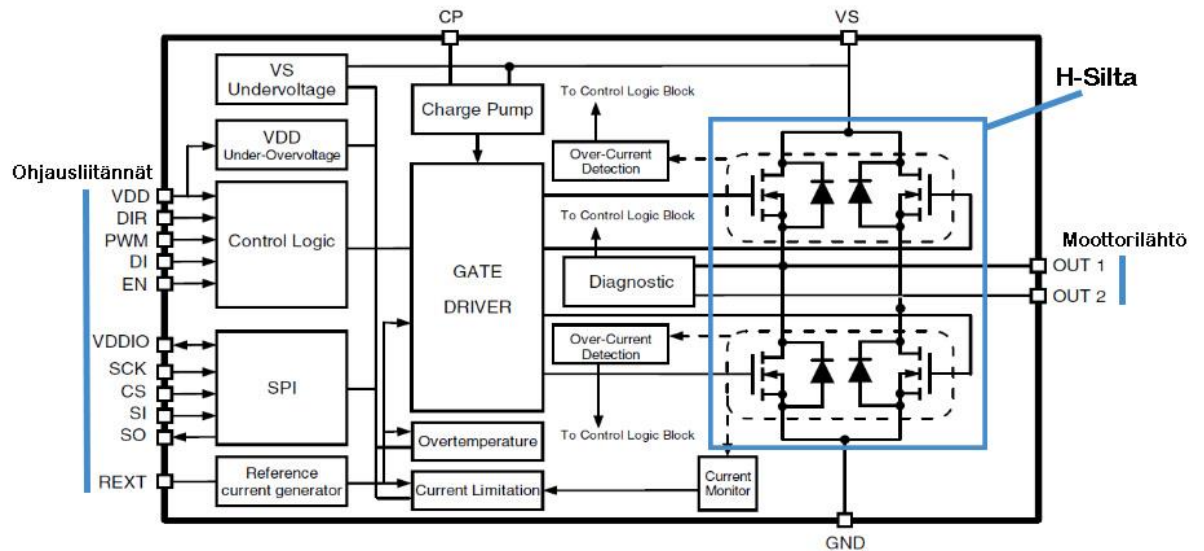
perusteella etsittiin tasavirtamoottorin ohjain, joka tukee mikrokontrolleriohjausta. Vaihtoehtoista parhaimmaksi muodostui valmis ohjain, joka sisältää tarvittavat oheiskomponentit ja on rakennettu ST Microelectronicsin L9958 (kuvio 14) piirin ympärille.



Kuvio 14. STMicroelectronics L9958

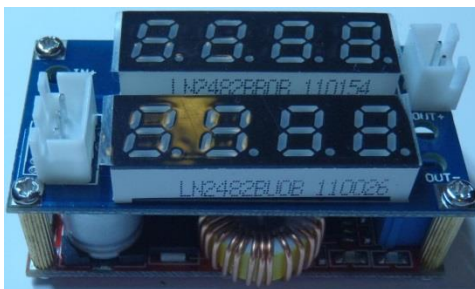
Ohjain on tarkoitettu tasavirtamoottoreille sekä askelmoottoreille, joiden virrantarve on korkeintaan 8,6 A. Ohjaimen H-silta on suojattu ylikuumentumiselta, oikosuluilta sekä ali- ja ylijännitteiltä. Ohjaimen asetuksia pystytään säätämään SPI-väylän kautta, asetuksia ovat mm. virtarajoitus 2,5 ... 8 A, virhetilojen ilmoitus, yli- ja alijännitteiden säätö. H-sillan maksimi syöttöjännite on 28 V. Ohjaimen varsinainen ohjaaminen tapahtuu PWM- (tehon säätö), EN- (ohjaimen aktivointi) ja DIR- (moottorin pyörimissuunnan vaihto) nastojen kautta. (STMicroelectronics 2013.)

Ohjaimen lohkokaaviosta selviää (kuvio 15), että H-silta suorittaa moottorin ohjauksen. Silta koostuu neljästä MOSFET-transistorista, joiden avulla virran kulkua voidaan säätää ja tarvittaessa kääntää lähdön napaisuutta. Ohjausliitännöistä käyttöön tulee vain DIR, PWM ja EN. Moottorilähtö kytketään tässä tapauksessa hydraulikkaventtiilin keloille tai vääntömoottorille, riippuen venttiilin ohjaustavasta.



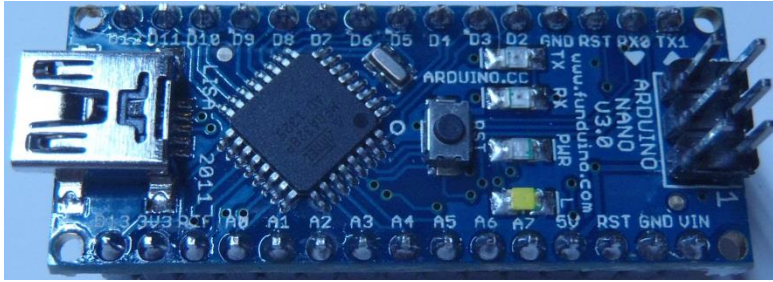
Kuvio 15. L9958-ohjaimen H-silta ja sen toimintaperiaate

Koska L9958-ohjaimen virtarajoitusasetukset ovat hyvin rajalliset ja tarkka jänniterajoitus puuttuu, piirille syötetään sähkö säädettävän DC/DC-muuntimen kautta. Tähän tarkoitukseen valittiin XLSEMI:n XL4015-piiriin perustuva DC/DC-muunnin (kuvio 16). Muuntimessa on erikseen säädettävät jännite- ja virranrajoitus, asetusten säätö tapahtuu hakkurin piirilevyssä olevien potentiometrien sekä jännite- ja virtanäytön avulla. Käyttöjännitealue muuntimella on 8 ... 32 V ja virrankesto 5 A. (XLSEMI. XL4015 data sheet 2014.)



Kuvio 16. XL4015 DC/DC -muunnin

Edellä olevien komponenttien ohjaamiseen valittiin Arduino Nano, joka perustuu Atmelin ATmega328-mikrokontrolleriin (kuvio 17). Kyseinen mikrokontrolleri valittiin, koska kontrolleri sisältää kaiken tarpeellisen kyseisen kokoonpanon ohjaamiseen. Lisäksi opiskelumateriaalin hankinta on helppoa, koska laite on yleinen. Valintaan vaikutti myös kokemus kontrollerista, jonka vuoksi käyttöönotto ja ohjelmointi ovat vaivatonta.



Kuvio 17. Arduino Nano ATmega328

Mikrokontrollerin ominaisuudet:

Käyttöjännite I/O-nastat	0...5 V
Syöttöjännitesuositus	7...12 V
Syöttöjänniterajat	6...20 V
Digitaaliset I/O-nastat	14 joista 6 tukee PWM
Analogiset sisääntulot	8 kpl
Maksimivirta per I/O-nasta	40 mA
Flash-muisti	32 KB mistä 2 KB alkulatausohjelma
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Kellotaajuus	16 MHz
Mitat	18,5 mm x 43,2mm.

(Arduino 2014.)

### 4.3 Jänniteviestit erilliselle vahvistimelle

Jänniteviestin tarkoituksena on ohjata erillistä vahvistinta, jonka avulla ohjataan venttiiliä. Tässä tapauksessa laite ohjaa pääsääntöisesti Parkerin PID-säädintä. Säädin vaatii jänniteviestin  $\pm 10$  V, tähän käyttöön tarkoitettu mikrokontrolleri ei sovellu suoraan, koska kontrolleri ei sisällä DA-muunninta. Tästä johtuen kontrolleri vaatii oheiskomponentteja, joiden avulla voidaan luoda tarvittavat jänniteviestit. Koska suurin osa DA-muunnimista toimii 3 – 5 V:n jännitteillä, tarvitaan kytkentään vielä operaatiovahvistin, jonka avulla voidaan vahvistaa ja

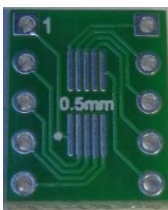
säätää jänniteviesti välille  $\pm 10$  V. Koska operaatiovahvistimesta täytyy saada ulos  $\pm 10$  V:n jänniteviesti, täytyy vahvistimelle saada käyttöjännitteeksi myös negatiivinen jännite joka mahdollistaa negatiivisen jänniteviestin. Koska käyttöjännite useimmissa tapauksissa tulee olemaan 24 VDC, voidaan jännite joko jakaa vastuksilla käyttäen hyväksi virtuaalista maata tai käyttää charge pump -tekniikkaa, joka voidaan toteuttaa erillisellä ajastinpiirillä. Tässä tapauksessa käytetään charge pump -tekniikkaa, koska tällaisesta kytkennästä saadaan enemmän virtaa ulos paremmalla hyötysuhteella.

DA-muuntimena tulee toimimaan pienikokoinen 4,9 mm X 3 mm Microchipin MCP4728 (kuvio 18) 12-bittinen, 4-kanavainen muunnin. Muunninta ohjataan I2C-väylän kautta, tämä tapahtuu liittämällä muunnin Arduino Nanon I2C-väylään. Muuntimen käyttöjännite on 2,7 V – 5,5 V ja viestin tuottaminen käyttöjännitteestä riippuen on 0 V – 4,096 V, asettumisaika säätöjen välillä on tyypillisesti 6  $\mu$ s. Muuntimen käyttökohteita ovat muun muassa antureiden kalibrointi, kannettavat instrumentointilaitteet, ohjelmoitavat jännite- ja virtalähteet sekä teollisuuden prosessien ohjaus. (Microchip Technology Inc. 2010.)



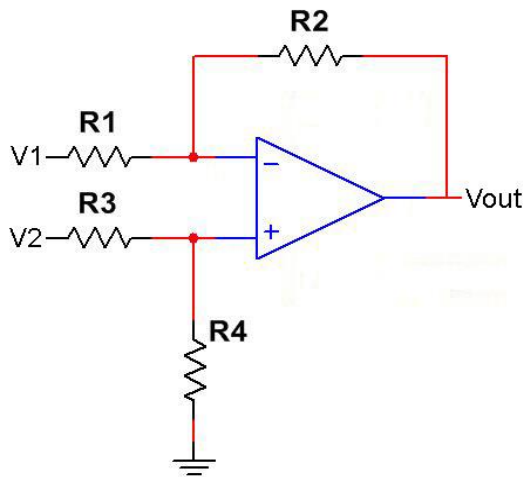
Kuvio 18. MCP4728 DA-muunnin

Pienestä koosta johtuen DA-muunnin juotetaan kiinni sovituslevyyn (kuvio 19) ja johdotus viedään sovituslevyltä tarvittaville komponenteille. Johdotuksista I2C-väylän johdot liitetään mikrokontrollerille, muuntimelle tuodaan erikseen 5 V:n käyttöjännite ja kaksi muuntimen ulostuloa viedään operaatiovahvistimelle.



Kuvio 19. Sovitelevy DA-muuntimelle

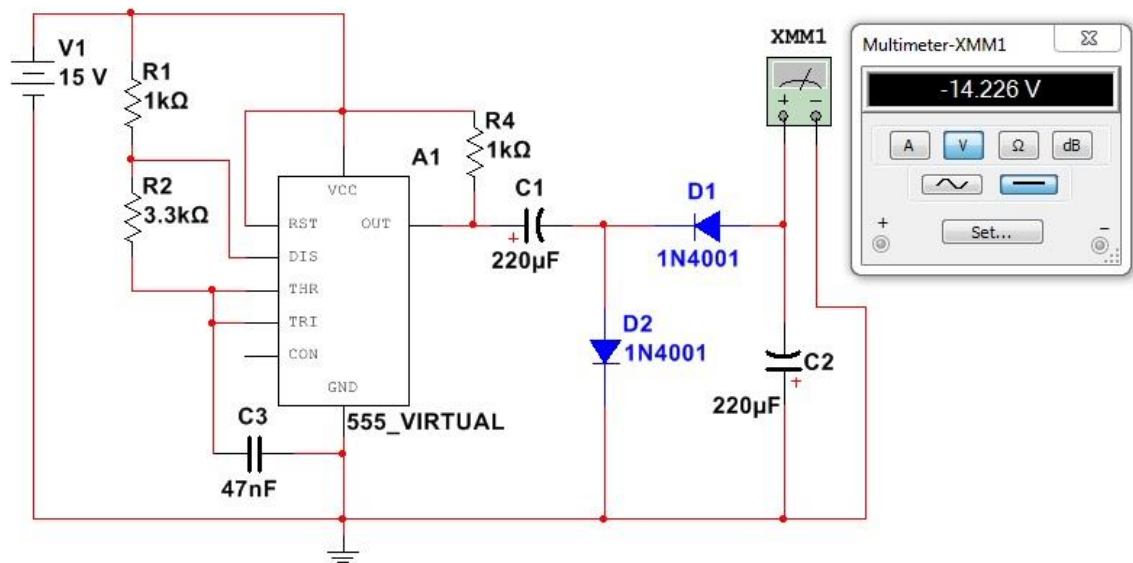
Operaatiovahvistimeksi valitaan yleiskäyttöinen Texas Instrumentin LM358 -komponentti, jonka käyttöjännite on hyvin laaja 32 V. Koska vahvistimesta täytyy saada positiivinen ja negatiivinen ulostulo, on tähän tarkoitukseen differentiaalikytkentä oivallinen valinta (kuvio 20).



Kuvio 20. Differentiaalikytkentä

$$V_{out} = \left( \frac{R1+R2}{R3+R4} \right) \frac{R4}{R1} V_2 - \frac{R2}{R1} V_1 \quad (2)$$

Kuten kuviosta 20 ja kaavasta 2 selviää,  $V_1$ :n ja  $V_2$ :n avulla voidaan säätää vahvistimen ulostulevaa jännitettä. Näitä sisääntuloja DA-muunnin tulee ohjaamaan 0 V – 4,096 V jännitteellä. Vastuksien resistanssi riippuu jännitteen vahvistustarpeesta. Operaatiovahvistimen negatiivinen käyttöjännite toteutetaan charge pump -tekniikalla ja tähän tarkoitukseen valitaan yleinen Texas Instrumentin NE555-ajastinpiiri. Kuten kuviosta 21 selviää, piiri vaatii toimiakseen pienen määrän oheiskomponentteja, jolloin kytkentä on suhteellisen yksinkertainen.



Kuvio 21. Multisim charge pump -kytkentä ja simulointi

#### 4.4 Paineenmittaus

Paineantureita on saatavilla monilla lähtösignaaleilla. Tässä tapauksessa valittiin WIKA:n valmistamat anturit (kuvio 22), joissa lähtösignaali on jänniteviesti 0 V – 5 V. Kyseinen anturi on helppo liittää mikrokontrolleriin ilman erillistä signaalinkäsittelyä, anturin käyttöjännite on 8 V – 30 V. Paineanturissa on yleismallinen ¼ tuuman prosessiliitäntä. Useimmat hydraulikkajärjestelmät on varustettuja näillä mittausliitännöillä.



Kuvio 22. WIKA-paineanturi kytkentäkotelolla

Anturin malli on A-10, joka on tarkoitettu yleisiin teollisuuden sovelluksiin. Anturin rakenne on erittäin kompakti ja laadukas, mutta hinnaltaan erittäin kilpailukykyinen. Malli on tarkoitettu maailmanlaajuisesti käytettäväksi, mistä

johtuen anturilla on kansainväliset cULus- ja GOST-R-sertifioinnit. Anturiin on mahdollista valita eri prosessiliitännöitä ja painealueita. (Wika Finland Oy 2014.)

## 4.5 Teholähteet

Koska testilaitte on jaettu osiin, osa laitteista tulee toimimaan akulla ja osa ulkoisella jännitelähteellä. Akkukäyttöiseksi asetetaan vähän virtaa kuluttavat laitteet. Ulkoisella jännitelähteellä tulee toimimaan paljon virtaa vaativat laitteet.

Venttiilien suoraohjauksessa laite käyttää ulkoista jännitelähdettä (kuvio 23). Virtalähde tuottaa 24 V:n jännitteen ja maksimikuormitus tällä jännitteellä on 4,5 A. Virtalähteessä on myös valintakytkin jännitteelle, minkä avulla jännitettä voidaan tarpeen vaatiessa laskea, mutta perusasetuksena tullaan käyttämään 24 V:n jännitettä.



Kuvio 23. Jännitelähde

Jänniteviestin  $\pm 10$  V muodostava ohjain tulee toimimaan samalla jännitelähteellä kuin sen ohjaama erillinen vahvistin tai PID-säädin, koska laitteiden täytyy olla samassa potentiaalissa. Samalla potentiaalilla saavutetaan samanarvoinen maadoitus, jonka avulla erillisen vahvistimen tai PID-säätimen jänniteviestin mittauservo täsmää ohjaimen lähettämään viestiin.

Kauko-ohjain saa käyttöjännitteen USB-liittimen kautta, joka kytketään joko tietokoneeseen tai erilliseen akkuun.

#### 4.6 Komponenttien kotelointi

Komponenttien kotelointiin oli kaksi vaihtoehtoa, joko muovikotelo tai alumiinikotelo. Koska käyttöolosuhteissa saattaa ilmetä korkeita lämpötiloja, ja osa komponenteista vaatii jäähdytysalustan, jolloin alumiinikotelo voidaan käyttää myös lämmönjohtimena, katsottiin alumiinikotelon olevan parempi vaihtoehto. Alumiinikotelon ainoa haittapuoli on hieman vaikeampi työstäminen, koska LCD-näytöille, käyttöpainikkeille, potentiometreille ja liittimille täytyy jyrsiä tai porata reiät. Alumiinikoteloita tulee kolmenlaisia, jänniteviestin  $\pm 10$  V:n lähettävä ohjain vaatii pienen kotelon, PWM-ohjain ja kauko-ohjain tulevat tarvitsemaan hieman isommat kotelot (kuvio 24).



Kuvio 24. Alumiinikotelot.  $\pm 10$ V ohjain, PWM-ohjain ja kauko-ohjain



## 5 Prototyypin toteutus

Prototyypin rakentaminen aloitettiin koteloiden työstämisestä. Koteloiden työstämiseen riitti pylväsporakone, joka oli varustettu ristisyöttöruuvipuristimella, pienellä jysinterällä ja tarpeellisilla poranterillä. Koteloiden työstön jälkeen osa komponenttien kytkennöistä tehtiin kytkentälevylle, jolloin koteloon asennettavuus helpottui. Loput komponenteista liitettiin toisiinsa johdoilla ja sijoitettiin omiin koteloihinsa. Liittimet ja osa komponenteista kiinnitettiin koteloihin joko ruuveilla tai metallille tarkoitetulla kaksikomponenttiliimalla.

Komponenttien koteloinnin jälkeen suoritettiin laitteiden ohjelmointi. Mikrokontrollereiden ohjelmointi suoritettiin Arduinon omalla ohjelmistolla. Graafinen käyttöliittymä, jonka on tarkoitus ohjata ja vastaanottaa tietoja testauslaitteilta, luotiin Visual Studio 2012 -ohjelmistolla käyttäen C#-kieltä. Tiedonvaihto PC:n ja laitteiden välillä tapahtuu käyttämällä kauko-ohjaimen USB-liitäntää.

### 5.1 Koteloiden työstäminen

PWM-ohjaimen kotelon työstössä koteloon täytyi jyrsiä paikka LCD-näytölle, joka ilmoittaa jännitteen ja virta-arvon. Tämä suoritettiin pylväsporakoneen ristisyöttöruuvipuristimella ja jysintäterällä. Koteloon täytyi myös porata reiät säätöpotentiometriä säätönupeille, antennin liittimelle, käyttöjännitteen liittimelle, USB-liittimille ja paneeliliittimelle, johon venttiilille tarkoitettu johtosarja liitetään. Työstövaiheessa huomattiin, että kotelon reiät eivät olleet kovin tarkkoja. Tämän korjaamiseksi koteloon tulostettiin 3D-tulostimella sovituskappaleet (kuvio 25), jolloin asennuksesta saatiin siisti. Myös kahdelle USB-liittimelle tehtiin erillinen sovituskappale tulostimella, näin helpotettiin liittimien kiinnittämistä koteloon.

Kauko-ohjaimessa täytyi myös jyrsiä paikka LCD-näytölle, potentiometrille, antennille, USB-liittimelle ja painonapeille. Tässäkin tapauksessa LCD-näytön ympärille täytyi tulostaa sovituskappaleet (kuvio 25) siistin lopputuloksen saamiseksi.

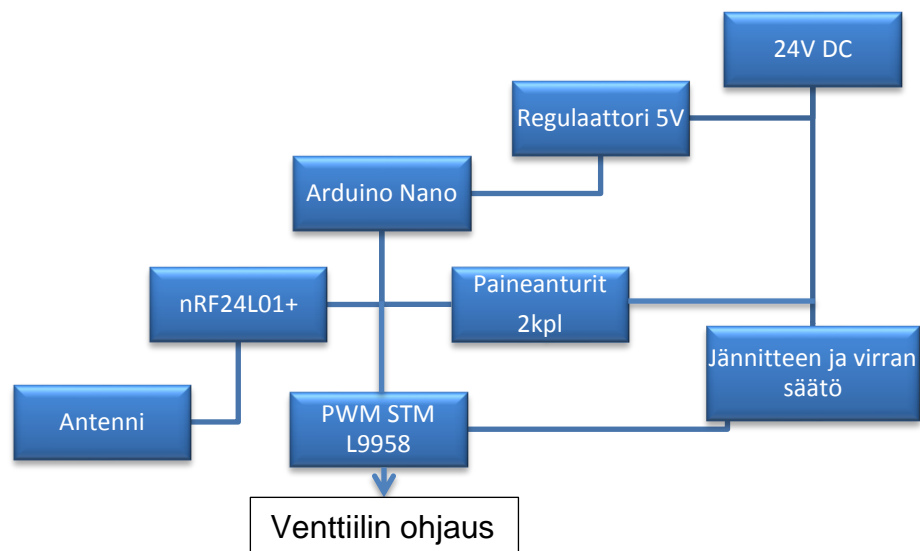
Jänniteviestin lähettävä yksikkö vaati reiät USB-liittimille, liitinrimalle ja antennille. Kahdelle USB-liittimelle täytyi tehdä sovitekappale (kuvio 25) 3D-tulostimella.



Kuvio 25. LCD-näyttöjen ja USB-liittimien sovitekappaleiden 3D-mallit

## 5.2 Komponenttien kytkentä

Suoraan venttiiliä ohjaavan yksikön komponentit kytketään toisiinsa johdoilla, koska johtojen määrä on suhteellisen pieni. Lohkokaaviosta (kuvio 26) ilmenee, että laitteelle syötetään 24 V:n DC-käyttöjännite. 24 V:n käyttöjännite pudotetaan jänniteregulaattorilla Arduino Nanolle sopivaksi eli 5 V:iin.



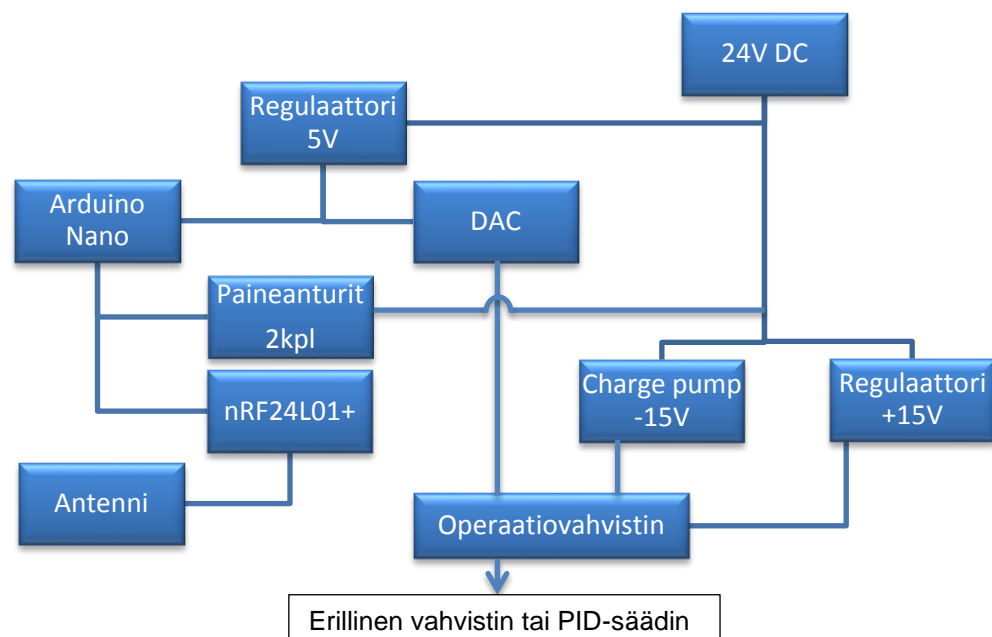
Kuvio 26. Suoraan venttiiliä ohjaavan yksikön lohkokaavio

Radiopiirin käyttöjännite syötetään Arduino Nanoon integroidun 3,3 V:n jänniteregulaattorin kautta ja radiopiiriin liitetään erillinen antenni kantavuuden parantamiseksi. Radiopiiriä ohjataan Arduino Nanon-SPI väylän kautta.

24 V:n käyttöjännite on liitetty myös DC/DC-muuntimeen, joka sisältää LCD-näytön ja potentiometrit jännitteen ja virran säätöön. DC/DC-muuntimelta linja jatkuu moottoriohjaimelle, jonka ohjaus tapahtuu mikrokontrollerilla. Moottoriohjaimen ulostulo on kytketty paneeliliittimeen, johon on mahdollista liittää erilaisia johtosarjoja tarpeen mukaan.

Paineanturien käyttöjännite syötetään 24 V:n linjasta ja antureilta lähtevän jänniteviestilinja on kytketty Arduino Nanon analogiatuloihin.

Erillistä vahvistinta tai PID-säädintä ohjaavan yksikön komponenttien kytkentä suoritetaan myös johdoilla. Lohkokaaviosta ilmenee (kuvio 27), että laitteelle syötetään 24 V:n käyttöjännite, joka on liitetty myös erilliselle vahvistimelle tai PID-säätimelle.



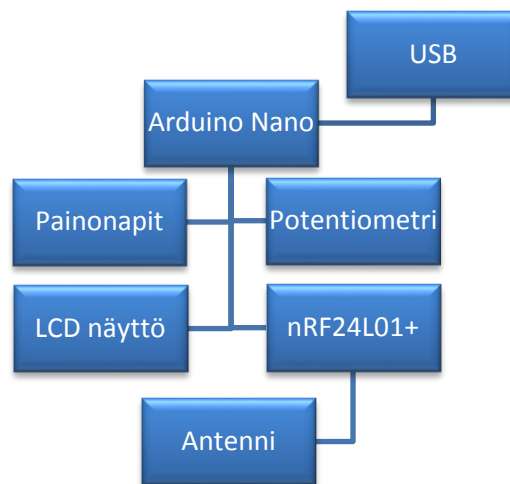
Kuvio 27. Erillistä vahvistinta tai PID-säädintä ohjaavan yksikön lohko-kaavio.

Kyseisessä yksikössä on myös tarpeen pudottaa käyttöjännite sopivaksi jänniteregulaattorilla, koska Arduino Nano ja DA-muunnin tarvitsevat 5 V:n käyttöjännitteen.

Tässäkin tapauksessa radiopiirin käyttöjännite tulee Arduino Nanon 3,3 V:n jänniteregulaattorilta ja radiopiirin ohjaus tapahtuu SPI-väylän kautta. Radiopiiriin on myös asennettu erillinen antenni.

Operaatiovahvistimen käyttöjännite syötetään 15 V:n jänniteregulaattorilta ja charge pump -piiriltä, joka kääntää jännitteen negatiiviseksi eli -15 V:iin. Operaatiovahvistimen ohjaus tapahtuu DA-muuntimen kahdella 0-5 V:n ulostulolla. DA-muunninta ohjataan Arduino Nanon I2C-väylällä.

Kauko-ohjaimen komponentit liitetään yhteen myös johtojen avulla. Lohkokaaviosta ilmenee (kuvio 28), että laitteelle syötetään USB-liittimen kautta 5 V:n käyttöjännite joko erilliseltä akulta tai PC:n USB-portin kautta. Painonapit on kytketty Arduino Nanon digitaalisiin sisääntuloihin ja potentiometri analogiasisääntuloon. LCD-näytön ohjaus tapahtuu I2C-väylän kautta ja radiopiirin ohjaus tapahtuu SPI-väylän kautta. Radiopiirin käyttöjännite tulee Arduino Nanon 3,3 V:n regulaattorilta ja piirille on asennettu erillinen antenni kantavuuden lisäämiseksi, kuten edellisissäkin tapauksissa.



Kuvio 28. Kauko-ohjaimen lohkokaavio

### 5.3 Komponenttien kotelointi

Koteloiden mitoitus oli onnistunut, koska komponenttien koteloinnissa ei ilmennyt ongelmia ja tilaa oli riittävästi. Sovituskappaleiden ansiosta kotelosta (kuva 29) saatiin tiiviit, mikä estää mahdollisen lian pääsyn komponentteihin.



Kuvio 29. Kauko-ohjain,  $\pm 10V$ :n ohjain, PWM ohjain

### 5.4 Mikrokontrollerien ohjelmointi

Mikrokontrollerien ohjelmointi suoritettiin Arduinon omalla ohjelmistolla (kuvio 30). Ohjelmat ladattiin mikrokontrollereihin Arduino Nanon USB-liittimen kautta.

```

VtestLahetin | Arduino 1.0.5
File Edit Sketch Tools Help
VtestLahetin
}
void ppRead()
{
  y = digitalRead(3);
  a = digitalRead(4);
  v = digitalRead(5);
  o = digitalRead(2);
  if(y==0 && yup==0 && sar==0 && PC==0){ylos=1; yup=1; ylos=0; ind--;}if(y==1){yup=0;}
  if(a==0 && aup==0 && sar==0 && PC==0){alas=1; aup=1; alas=0; ind++;}if(a==1){aup=0;}
  if(v==0 && vup==0){vasen=1; vup=1; vasen=0; sar--;}if(v==1){vup=0;}
  if(o==0 && oup==0 && PC==0){oikea=1; oup=1; oikea=0; sar++;}if(o==1){oup=0;}
  ind = constrain(ind, 0, 4);
  sar = constrain(sar, 0, 3);
}
Arduino Nano w/ ATmega328 on COM17

```

Kuvio 30. Arduino-ohjelmisto ja painonappien koodi

Kaikissa ohjaimissa radiopiirin koodi on melkein samanlainen, vastaanotto- ja lähetys-tyyppinen, nämä viestit eritellään koodissa erikseen tarvittavaan muotoon.

Ohjelmointi aloitettiin kauko-ohjaimen valikosta. Valikkoon tuli vaihtoehdot paineenmittaukselle,  $\pm 10$  V ohjaimen käyttöön, PWM-ohjaimen käyttöön ja PC:n tiedonsiirtoon. Paineenmittausvalikko sisältää kahden paineanturin lähettämät tiedot, paine-erot, minimi- ja maksimi-arvot.  $\pm 10$ V ohjaimen käyttövalikko näyttää asetetun arvon ja asetettavan arvon voltteina. PWM-ohjaimen käyttövalikko näyttää asetetun arvon ja asetettavan arvon prosentteina. Valikossa on myös PC-yhteyden kytkentä päälle, jolloin ohjaus siirtyy PC:lle. Asetettavan arvon valitseminen tapahtuu potentiometrillä. Valikkojen selaus ja arvojen asettaminen suoritetaan neljällä painonapilla.

PWM-ohjaimen koodi sisältää L9958 -piirin ohjauksen kahdella digitaalisella ulostulolla, jotka ovat DIR (moottorin pyörimissuunnan vaihto) ja EN (ohjaimen aktivointi). Tehon säätöön käytetään Atmelin ATmega328-mikrokontrollerin PWM-signaalia. Ohjauksen arvot vastaanotetaan radiopiirin välityksellä ja takaisin lähetetään paineanturien mittaamat tiedot.

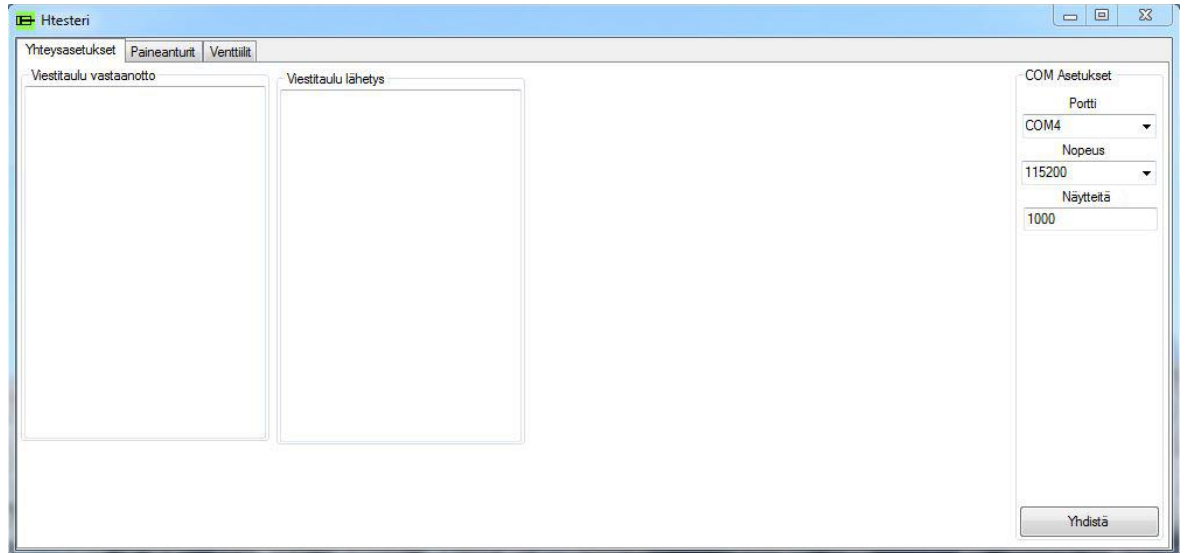
$\pm 10$  V ohjaimen koodissa käytetään muokattua PWM-ohjaimen koodia, koska toimintatapa on miltei samanlainen. Erona on, että  $\pm 10$  V ohjaimen sisältämää DA-muunninta ohjataan I2C-väylällä, joka siten ohjaa operaatiovahvistinta. Radiopiirin vastaanottamat ja lähetetyt tiedot ovat samassa muodossa kuin PWM-ohjaimessa.

## 5.5 Graafinen käyttöliittymä

Graafinen käyttöliittymä koodattiin C#-kielellä. Tietojen käsittely rakennettiin kolmelle eri välilehdelle, joita ovat yhteysasetukset, paineanturit ja venttiilit.

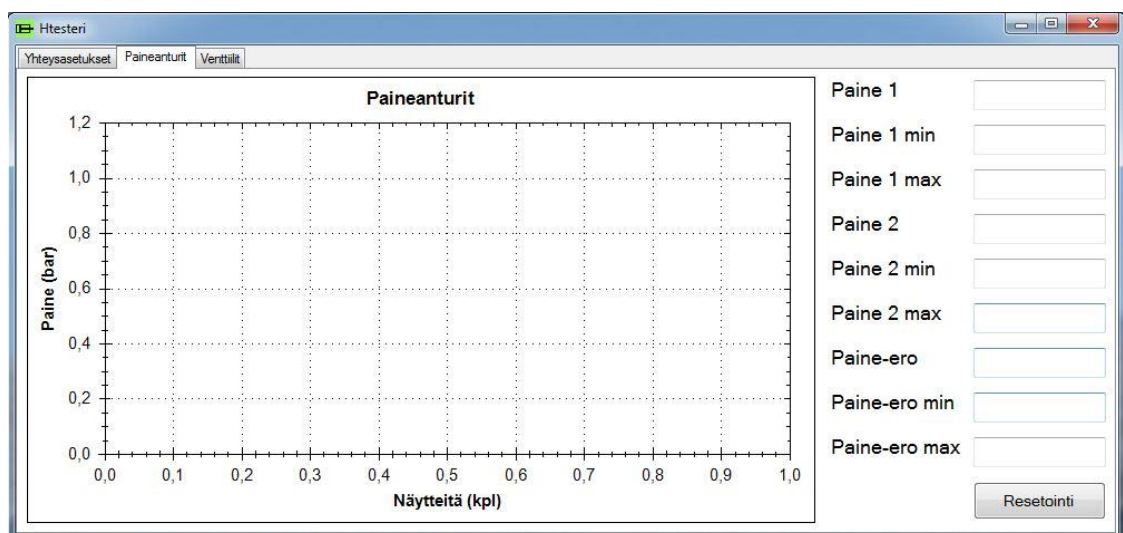
Yhteysasetukset (kuvio 31) pitää sisällään kauko-ohjaimen ja PC:n väliseen yhteyden muodostamiseen tarvittavat asetukset. Asetuksista löytyy sarjaliikenteen nopeuden ja portin valinta, myös paineanturien näytteiden otanta on valittavissa. Yhdistä-nappia painamalla ohjelma muodostaa sarjaliikenneyhteyden kauko-

ohjaimen. Viestitaulukoista voi nähdä vastaanotettavat tiedot ja lähtevät tiedot numeerisessa muodossa. Jos sarjaliikenteessä tapahtuu virheitä, siitä ilmoitetaan vastaanottavaan viestitaulukoon.



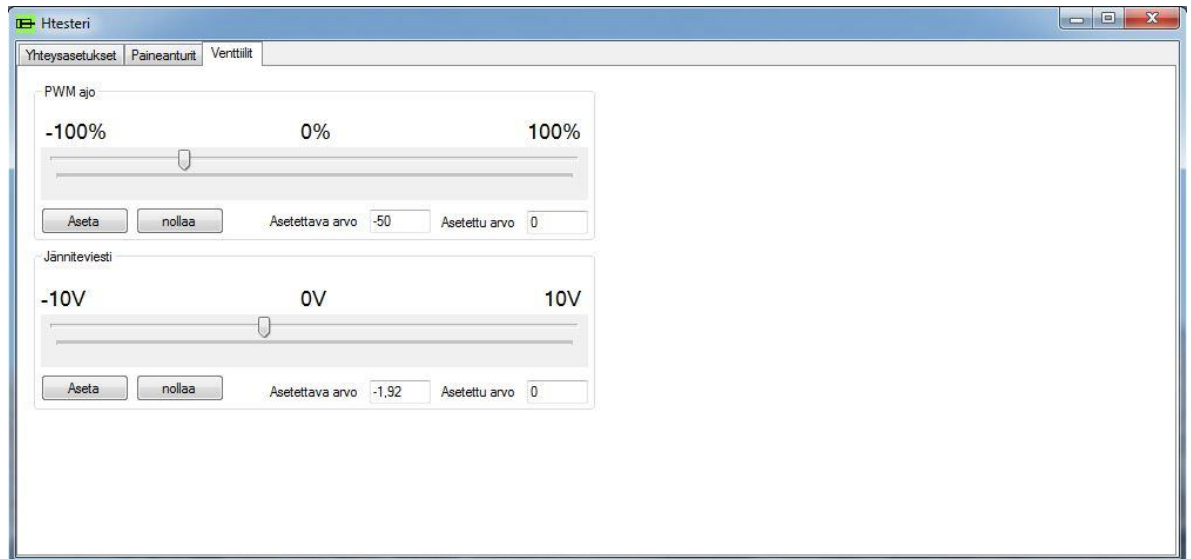
Kuvio 31. Yhteysasetukset

Paineanturien tietoja (kuviokuva 32) vastaanotetaan aina kun sarjaportti on auki. Jos paineantureita ei ole kytketty kiinni ohjausyksiköihin, vastaanotetaan nollaa. Paineanturien tiedot näytetään numerotaulukolla, jossa on lajiteltu minimi, maksimi ja ero-arvo. Tiedoista muodostetaan myös viivakaavio, jonka voi tulostaa tai tallentaa myöhempää tarkastelua varten. Taulukon zoomaaminen on myös mahdollista. Viivakaavioon piirtyy kaksi eri viivaa: paineanturi 1 ja paineanturi 2.



Kuvio 32. Paineanturien tiedot

Venttiilien asetusarvojen syöttö (kuvio 33) on toteutettu trackbarin avulla, jonka ohjaus tapahtuu hiirellä. Asetettava ohjausarvo näkyy myös erillisessä tekstilaatikossa. Trackbarilla valittava arvo ei tule voimaan välittömästi, vaan ohjausarvo täytyy aktivoida Aseta-painonapilla. Aktivoinnin jälkeen ohjelma tarkastaa onko sarjaportti auki. Portin ollessa auki ohjausarvo lähetetään kauko-ohjaimen kautta joko  $\pm 10$  V:n- tai PWM-ohjaimelle.



Kuvio 33. Venttiilien ohjaus



## 6 Laitteiston testaus

Laitteiston testaus suoritettiin PP-Hydraulics Oy:n testipenkissä, jonka viereen on sijoitettu hydraulikkakoneikko. Koneikko on säädetty tuottamaan painetta noin 180 bar ja virtausta on mahdollista säätää painelinjaan asennetulla kuristimella. Teoreettinen koneikon tuottama maksimivirtaus on 80 l/min, joka yleensä riittää huoltoon tulevien venttiilien testaamiseen.

Koneikon käyttöpaine menee venttiilipöytään, josta syötetään käyttöpaine pohjalaatalle, johon on mahdollista asentaa erikokoisia venttiileitä. Pohjalaatan lähdoissä on pikaliittimet, joihin on mahdollista liittää erilaisia toimilaitteita. Pohjalaattaan asennettavat venttiilit ovat yleensä proportionaaliventtiileitä.

Servoventtiilien testauksessa on ollut käytössä sylinteri, joka sisältää asema-anturin ja integroidun pohjalaatan. Sylinteriä on myös mahdollista käyttää proportionaaliventtiileiden kanssa.

### 6.1 Venttiilin suoraohjaus

Testauksessa käytettiin PWM-ohjainta ja testattava venttiili oli Parkerin valmistama proportionaaliventtiili. Venttiiliin ohjaamaksi toimilaitteeksi kokeiltiin nestemootoria ja sylinteriä. Venttiilin testauksessa ei ilmennyt ongelmia ja testilaitte toimi niin kuin piti. Toinen testattava venttiili oli servoventtiili, jonka ohjaama toimilaitte oli sylinteri. Servoventtiilin tiedoista katsottiin sallittu maksimivirta ja vääntömoottorin resistanssi, ja näiden tietojen avulla laskettiin tarvittava jännite. Laskennasta saatu jännite säädettiin ohjaimelta sopivaksi. Testauksessa ei ilmennyt ongelmia ja venttiili toimi moitteettomasti.

### 6.2 Venttiilin ohjaus PID-säätimen kautta

Venttiilin ohjaus tapahtui PID-säätimen kautta joka ohjasi sylinteriä asematiedon mukaan. PID-säätimeen liitettiin  $\pm 10V$ :n ohjain, jonka tehtävänä oli antaa asemakäske. Sylinterin ohjaus toimi moitteettomasti ja asemointitarkkuus oli hyvä. Testauksen yhteydessä ilmeni laitteen kehittämiskohta. Jos laitteen radioyhteys katkeaa, niin PID-säätimelle menevä asemakäske menee oletusarvoksi, joka on 0.

Jos sylinteri ei ole 0-asemassa, lähtee se liikkumaan tähän annettuun asemaan. Tämä ongelma on kuitenkin ratkaistavissa ohjelman muutoksella.

### **6.3 Paineiden mittaus**

Paineiden mittausta testattiin käsipumpulla, johon liitettiin sähköiset paineanturit. Käsipumppuun oli myös kytketty erillinen painemittari, jonka avulla voitiin tarkastaa täsmääkö mittalaitteiden paineet. Mittaustulokset olivat suurin piirtein samat erillisen painemittarin ja paineanturien kanssa. Viivakaavion piirto toimi moitteettomasti ja näytteidenottonopeus oli riittävä. Viivakaavion tallennus onnistui myös myöhempää tarkastelua varten.

## 7 Yhteenveto

Tässä työssä kehitettiin sähköohjattujen venttiilien testauslaitteisto PP-Hydraulics Oy:n käyttöön.

Tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa testauslaitteisto, jonka avulla voidaan ohjata nykyaikaisia venttiileitä. Laitteen avulla vika-alueita voidaan pilkkoa pienempiin osiin, jolloin huolto helpottuu.

Lopputuloksena valmistui kolme erillistä ohjainta. Ensimmäinen ohjain on kauko-ohjain, jonka avulla annetaan ohjaukskäskyjä ja luetaan muilta ohjaimilta tulevia tietoja. Toinen ohjain on PWM-ohjain, joka ohjaa venttiilin magneettikeloja tai servoventtiilin vääntömoottoria suoraan ilman erillistä vahvistinta tai säädintä. Kolmas ohjain on  $\pm 10$  V:n ohjain, joka antaa jänniteviestin väliltä  $\pm 10$ V, tätä käytetään erillisen vahvistimen tai PID-säätimen ohjaamiseen, mitkä ohjaavat venttiileitä. Kaikkien ohjaimien välinen viestintä tapahtuu langattomasti, jolloin vältetään johtojen sotkeutuminen toimilaitteisiin.

Ongelmia kehitystyössä aiheutti joidenkin aihe-alueiden opiskelumateriaalin niukkuus. Materiaalia jouduttiin etsimään paljon ulkomaalaisilta internetsivuilta ja PDF-julkaisuista. Käytännön osuus ei erityisemmin tuottanut ongelmia. Opinnäytetyö valmistui suunnitellussa aikataulussa, vaikka välillä aika tuntui loppuvan kesken. Laitteistoa pyritään kehittämään tulevaisuudessa, koska uusia kehittämiskohtia on ilmennyt jonkin verran.

Testauslaitteisto on otettu käyttöön PP-Hydraulics Oy:n huollon puolella ja siitä on ollut apua monissa tilanteissa.

## Lähteet

Arduino. 2014. Arduino Nano. [Verkkosivu].

[Viitattu 12.8.2014]. Saatavana: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>

Kärkkäinen, K. & Keinänen, T. 2009. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. Helsinki: WSOY.

Microchip Technology Inc. 2010. MCP4728 data sheet. [PDF-Julkaisu].

[Viitattu 16.8.2014]. USA: Microchip Technology Inc. Saatavana:

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22187E.pdf>

Moog inc. 2014. Moog G761/761 Series Flow Control Servo Valves. [PDF-

Julkaisu].USA:Moog. Saatavana: [http://www.moog.com/literature/ICD/Moog-ServoValves-G761\\_761Series-Catalog-en.pdf](http://www.moog.com/literature/ICD/Moog-ServoValves-G761_761Series-Catalog-en.pdf)

Nordic Semiconductor. 2008. nRF24L01+. [PDF-Julkaisu]. Norway: Trondheim.

[Viitattu 8.7.2014]. Saatavana:

[https://www.nordicsemi.com/eng/nordic/download\\_resource/10875/3/71847571](https://www.nordicsemi.com/eng/nordic/download_resource/10875/3/71847571)

Parker Hannifin Corporation. 2011a. Catalogue HY11-3500/UK. [PDF-Julkaisu].

USA: Parker Hannifin Corporation. [Viitattu 25.7.2014]. Saatavana:

[http://www.parker.com/literature/Hydraulic%20Controls%20Europe/HY11-3500UK/HY11-3500UK\\_10.2011\\_PDFoverall.pdf](http://www.parker.com/literature/Hydraulic%20Controls%20Europe/HY11-3500UK/HY11-3500UK_10.2011_PDFoverall.pdf)

Parker Hannifin Corporation. 2011b. Bulletin HY11-5715-616/UK. [PDF-Julkaisu].

USA: Parker Hannifin Corporation. [Viitattu 25.7.2014]. Saatavana:

[http://www.parker.com/literature/Hydraulic%20Controls%20Europe/Manuals%20UK/PID00A\\_10%205715-616%20UK.pdf](http://www.parker.com/literature/Hydraulic%20Controls%20Europe/Manuals%20UK/PID00A_10%205715-616%20UK.pdf)

Parker Hannifin Corporation. 2012. Catalog HY14-3300/US. USA:

Parker Hannifin Corporation.

Portin P. 2014. Yrittäjä. PP-Hydraulics Oy. Haastattelu 28.7.2014.

PP-Hydraulics Oy. 2014. [Verkkosivu]. [Viitattu 8.7.2014] . Saatavana:

<http://www.pphydraulics.fi>

PWM PIC: Pulse Width Modulation. 2014. PWM for the PIC Microcontroller (or any

microcontroller) [Verkkosivu] [viitattu 3.9.2014]. Saatavana: <http://www.best-microcontroller-projects.com/pwm-pic.html>

STMicroelectronics. 2013. DocID17269 Rev 6. [PDF-Julkaisu].

[Viitattu 28.7.2014]. Saatavana:

<http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00268302.pdf>

WIKA Finland Oy. 01/2014. WIKA data sheet PE 81.60. [PDF-Julkaisu].

[Viitattu 27.7.2014]. Saksa: WIKA. Saatavana:

[http://www.wika.fi/upload/DS\\_PE8160\\_GB\\_1631.pdf](http://www.wika.fi/upload/DS_PE8160_GB_1631.pdf)

XLSEMI. XL4015 data sheet. 2014. [PDF-Julkaisu]. Kiina: XLSEMI.  
[Viitattu 5.8.2014]. Saatavana:  
<http://www.xlsemi.com/datasheet/XL4015%20datasheet.pdf>