



Juha Salminen

HIKOILEVAN LÄMPÖNUKEN VEDENSYÖTTÖJÄRJESTELMÄ

HIKOILEVAN LÄMPÖNUKEN VEDENSYÖTTÖJÄRJESTELMÄ

Juha Salminen
Opinnäytetyö
Kevät 2013
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikan koulutusohjelma, projektointi

Tekijä(t): Juha Salminen

Opinnäytetyön nimi: Hikoilevan lämpönukan vedensyöttöjärjestelmä

Työn ohjaaja(t): Timo Heikkinen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2013 Sivumäärä: 36 + 1 liite

Opinnäytetyön tilaajana on Oulun Työterveyslaitos. Työssä suunniteltiin ja toteutettiin vedensyöttöjärjestelmä lämpönukelle. Lämpönukella voidaan simuloida ihmisen lämpökäyttäytymistä. Tätä hyödynnetään testatessa eri vaatamateriaalien lämpöominaisuuksia. Liittämällä nukkeen vedensyöttöominaisuus voidaan simuloida hikoilevan ihmisen lämpöominaisuuksia ja saada monipuolisempaa tietoa vaatteiden ominaisuuksista.

Tarkoituksena oli saada toimiva järjestelmä, joka pystyy levittämään nestettä tasaisesti ympäri nukkea. Tämä saavutettiin oikeanlaisilla komponenttivalinnoilla. Työssä käydään läpi oikeanlaisten komponenttien hankintaa, laitteiston kokoamista ja ohjelmointia. Valmiissa vedensyöttöjärjestelmässä vesisäiliön painoa mitataan vaa'alla, jolla selviää veden syöttömäärä. Vettä pumpataan säiliöstä venttiiliklusterille, joka sisältää yhteensä 14 venttiiliä. Jokaiselta venttiililtä lähtee letku nukelle. Vettä saadaan siis johdettua 14:ään eri pisteeseen.

Järjestelmässä venttiileitä ohjattiin pareittain, jonka vuoksi vesi ei jakaudu täysin tasaisesti jokaiselle letkulle. Tämä näkyi eri venttiilien läpi syötetyn vesimäärän vaihteluna. Sovittiin, että tulevaisuudessa ohjelmaa muutetaan niin, että jokaista venttiiliä ohjataan erikseen.

Asiasanat: Vedensyöttöjärjestelmä, instrumentointi, lämpöominaisuudet

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
LYHENTEET	5
1 JOHDANTO	6
2 LÄMPÖNUKKE	7
2.1 Historiaa	7
2.2 Käyttötarkoitus	8
3 OHJELMOITAVAT LOGIIKAT	10
3.1 Siemens S7-1200	10
3.2 ABB AC500-eCo	11
4 INSTRUMENTOINTI	13
4.1 Ohjelmoitavan logiikan valinta	13
4.2 Pumpun valinta	13
4.3 Venttiilien valinta	14
4.4 Liittimien ja letkujen valinta	15
4.5 Vaaka	15
5 VEDENSYÖTTÖJÄRJESTELMÄ	16
5.1 Automaatiokaapin kokoaminen	17
5.2 Venttiiliklusterin kokoaminen	20
5.3 Letkujen asentaminen	21
6 OHJELMOINTI	24
7 JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖ	28
7.1 Käyttöliittymä	28
7.2 Järjestelmän ilmaus	29
7.3 Järjestelmän kalibrointi	29
8 TULOKSET JA ONGELMANRATKAISU	31
9 POHDINTA	33
LÄHTEET	35
Liite 1 Testauspöytäkirja	

LYHENTEET

AC = vaihtovirta

CPU = Central Processing Unit, suoritin

DC = tasavirta

DI = digitaalitulo

DO = digitaalilähtö

DQ = digitaalilähtö

Fieldbus = kenttäväylä

GPRS = langaton tiedonsiirtopalvelu

I/O = sisään- ja ulostulo

Instrumentointi = laitteiden valintaa ja sijoittelua

PLC = ohjelmoitava logiikka

Profibus = kenttäväylä

Profinet = teollisuus-Ethernet-standardi

Rly = relay, rele

spm = strokes per minute, iskuja minuutissa

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on lämpönukelle rakennettava vedensyöttöjärjestelmä, joka on integroituna puettavaan haalariin. Näin voidaan simuloida ihmisen hikoilua ja testata sen vaikutusta eri kangasmateriaaleihin. Työ tehdään Oulun työterveyslaitokselle. Työn pääongelma on venttiilien ja pumpun oikeanlainen ohjaus, jotta vettä saadaan syötettyä tasaisesti haluttu määrä. Ennen työn tekemistä tuli miettiä mahdollisia toteutustapoja, esimerkiksi sitä, tehdäänkö työ PC-ohjauksella vai jollain muulla tavalla. Suosittelin käytettäväksi ohjelmoitavia logiikoita, koska niistä on koulun kautta eniten kokemusta eivätkä ne ole erityisen kalliita. Vaihtoehtoina olivat Siemens S7-1200- sekä ABB:n AC500-eCo -järjestelmät. Molemmat ovat edullisia ja sopivat pienien ja keskisuurien järjestelmien ohjaukseen.

Projektissa rakennettavan vedensyöttöjärjestelmän avulla saadaan tärkeää tietoa fyysisen rasituksen aiheuttamasta lämpökäyttäytymisestä ihmisessä. Hikoilu vaikuttaa materiaalien lämpöominaisuuksiin keskeisesti, joten nukella saatavasta testausdatasta on hyötyä esim. vaatteiden ja ajoneuvojen ohjaamojen suunnittelussa.

Työn tavoitteena on suunnitella ja rakentaa toimiva vedensyöttöjärjestelmä. Ongelmakohtia löytyy kolmesta osa-alueesta: instrumentoinnissa, laitteiston kokoamisessa ja ohjelmoinnissa. Täytyy löytää sopiva pumppu, venttiilit ja PLC:n moduulit, jotka ovat yhteensopivia toistensa kanssa. Ne täytyy kytkeä oikein vikatilanteiden välttämiseksi. Ohjelmoitavalle logiikalle täytyy toteuttaa ohjelma, joka ohjaa pumppua ja venttiileitä halutulla tavalla.

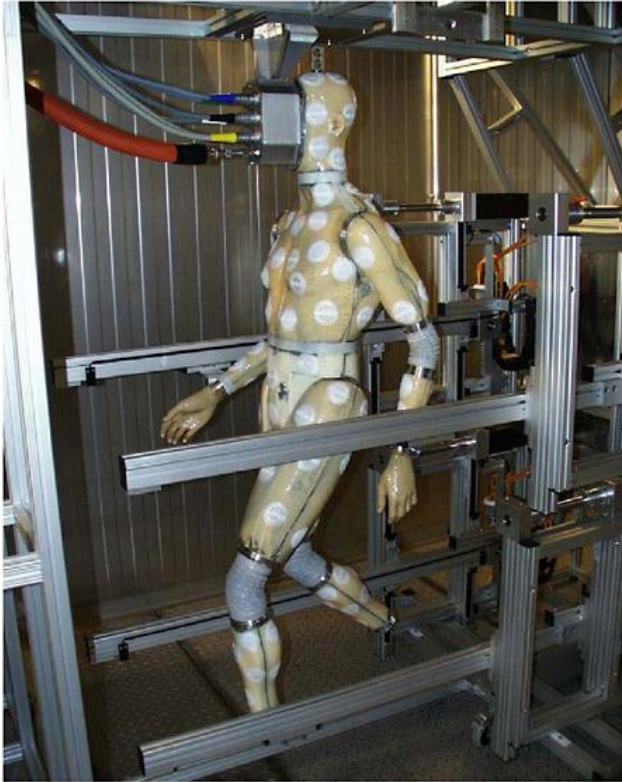
Työterveyslaitoksella on aiemmin rakennettu elektroniikasta tehty vedensyöttöjärjestelmä hikoilevalle jalalle. Siinä venttiili avataan ja pumppu lyö yhden iskun, jonka jälkeen venttiili suljetaan. Tämä toistetaan jokaiselle erilliselle venttiilille. Jalan vedensyöttöjärjestelmästä sai hyvän mallin tässä opinnäytetyössä toteutettuun vedensyöttöjärjestelmään.

2 LÄMPÖNUKKE

2.1 Historiaa

Lämpönuket ovat olleet käytössä tutkimus- ja kehitystyössä yli 60 vuoden ajan. 40-luvun alussa Yhdysvaltojen armeija kehitti ensimmäisen lämpönukan. Se on kuparista tehty ja sisältää vain yhden lämpösegmentin, joka on tietyn alueen kokoinen lämpöä tuottava osa. Tarve saada tarkempaa ja monipuolempaa tietoa kehitti nukkejen teknologiaa. Nukkeja alettiin rakentaa useasta itsenäisesti ohjattusta lämpösegmentistä. Nykyaikaiset nuket sisältävät yli 15 lämpösegmenttiä. Digitaalisen säädön kehitys mahdollisti nukkejen kehityksessä suuren harppauksen eteenpäin. Digitaalinen säätö mahdollisti nopeimmat vasteajat ja tarkemmat säädöt. Mittaustuloksista saatiin myös tarkempia. Staattisesti paikallaan olevat nuket antavat rajoitettuja mittaustuloksia oikeisiin käyttöolosuhteisiin verrattuna. Tämä johti nivelien kehittämiseen, joka mahdollisti nukkejen istumisen tai jatkuvan liikkeen, kuten kävelyn tai pyöräilyn. (1, s. 614.)

Tänä päivänä on nähtävissä kahdenlaista eri kehityssuuntaa. Toinen keskittyy monimutkaisten, moneen tarkoitukseen soveltuvien lämpönukkejen kehitykseen, jotka soveltuvat huipputason tutkimus- ja kehitystyöhön. Näistä esimerkkinä on kuvassa 1 esiintyvä sveitsiläinen SAM (Sweating Agile Thermal Manikin), joka hikoilee ja kykenee suorittamaan realistista liikkumista. ADAM (Advanced Automotive Manikin) on amerikkalainen hikoileva lämpönukke, jonka päätarkoitus on testata ajoneuvojen ilmastoja. ADAM on omavarainen siinä suhteessa, että se sisältää vesilähteen hikirauhasille, virtalähteen lämpösegmenteille ja virtapiirit säädöille ja datan keräämiseen. (1, s. 615.)



KUVA 1. Sveitsiläinen hikoileva lämpönukke SAM (1.)

Toinen trendi on yksinkertaisten ja halpojen, mutta silti tarkkojen ja luotettavien lämpönukkejen valmistamisessa. Ammattihygienistit ja pienet vaatevalmistajat ovat näistä kiinnostuneita. Nämä rajoittuvat antamaan vain yhden, koko kehoa käsittävän lämmöneristys- ja haihtumisenestomittaus tuloksen. (2, s. 615.)

Tietokoneiden kehitys on mahdollistanut myös tietokonepohjaisten lämpönukkejen luomisen. Numeerisia malleja voidaan käyttää lämpönukkejen simulointiin. Tietokonepohjaisilla lämpönukeilla voidaan tutkia sen vaikutusta ympäristöön, oli se sitten huone, ajoneuvo tai vaatekokonaisuus. (2, s. 614.)

2.2 Käyttötarkoitus

Mielenkiinto lämpönukkejen käyttämiseen tutkimus ja mittauskäytössä on kasvanut viime vuosina. Tämä näkyy uusien nukkejen valmistus- ja käyttömäärissä. Auto- ja vaatealalla ollaan erityisen kiinnostuneita tämän kaltaisesta monipuolisesta arviointityökalusta. Lämpönuket ovat monimutkaisia, herkkiä ja kalliita instrumentteja. Ne on suunniteltu ihmiskehon lämmöntuoton ja sen ympäristön vaikutusten analysointiin. (2, s. 616.)

Ihmisen mallisella lämpönukella mitataan lämmön kulkeutumista ja säteilyä joka suuntaan koko pinnalta. Mitä useampi lämpösegmentti nukessa on sitä tarkempia mittauksia voidaan tehdä. Summaamalla pinta-alalla painotetut arvot, voidaan koko kehon lämpöhäviö määritellä. Halutulla testausympäristöllä lämpönukke mittaa lämpöhäviötä tarkasti ja luotettavasti. (2, s. 616.)

Käytännön sovelluskohteet ovat pääasiassa vaatetuksen lämmöneristävyyksien tutkimisessa ja kehon paikallisten lämmönmuutosten seuraamisessa monimutkaisissa ympäristöissä, kuten ajoneuvojen ohjaustiloissa (2, s. 616).

Hikoilevalla lämpönukella voidaan simuloida ihmisen hikoilemista, ja sillä voidaan testata vaatteiden lämmönhaihtumisen vastustuskykyä, kun tekstiilit kostuvat. Vaatteiden lämmönhaihtumisen vastustuskyky on yksi luontaisista osatekijöistä, joka estää hikoilemisen aiheuttamaa lämmönsiirtoa. Hikoileminen on yksi tärkeimmistä ihmisen kehon lämpötilan säätelijöistä. Jos ihminen kokee samanlaisen ulkoisen rasituksen, niin mitä suurempi vaatteiden lämmönhaihtumisen vastustuskyky on, sitä vähemmän keho viilenee hikoilun vaikutuksesta. (3, s. 647; 4, s. 177.)

Monisegmenttisillä lämpönukeilla voidaan arvioida mikroilmastoja, kuten eri lämpötilojen, tuuletuksen ja ilmastoinnin vaikutusta kehoon ja sen ympäristöön. Erityisesti lämpönuket ovat hyödyllisiä epäsymmetrisissä paikoissa ja heterogeenisissä lämpöympäristöissä, kuten ajoneuvojen ohjaustiloissa. (2, s. 616.)

3 OHJELMOITAVAT LOGIIKAT

Opinnäytetyössä ohjausjärjestelmä toteutettiin ohjelmoitavilla logiikoilla.

Logiikoiden (PLC) ero perinteisiin automaatiojärjestelmiin (DCS) on hämärtynyt, mutta erona voidaan pitää logiikoiden painotusta binäärisen informaation käsittelyyn. Logiikoilla voidaan toteuttaa askel askeleelta etenevää ohjausta sekä varmistuksia, lukituksia ja suojauksia. I/O-määristä riippuen logiikoilla voidaan suorittaa hyvin yksinkertaisista prosesseista kuten pienten koneiden ohjauksista aina suuriin prosessiteollisuuden ohjauksiin asti.

Logiikat rakentuvat kolmesta osasta, tuloista, keskusyksiköstä ja lähdöistä. Anturien, kytkimien ja lähettimien välittämät tiedot kytketään tuloihin, joista keskusyksikkö lukee ne ja siirtää muistiin. Tiedot käsitellään keskusyksikössä, joka suorittaa ohjelmoinnilla määritellyt toimenpiteet, kunnes se siirtää tiedot lähtöihin. Lähdöissä voi olla esimerkiksi kytkimiä, moottoreita, pumppuja ym. toimilaitteita. Tällaista sekvenssiä kutsutaan ohjelmakierroksi. Pyyhkäisevässä logiikassa muutoksia ei voida suorittaa ohjelmakierroksen aikana, vaan lähdöt muuttuvat vasta kierron päätteeksi, ennen seuraavaa. Tämä aiheuttaa pyyhkäisevän logiikan hitauden. Reaaliaikaisissa logiikoissa I/O muuttuu todellisen tilan mukaan, eli I/O voi muuttua ohjelmakierron aikana. Tästä voi huonolla ohjelmoinnilla aiheutua loogisia virheitä. (5.)

Esittelen kaksi ohjelmoitavaa logiikkaa: Siemens S7-1200- ja ABB AC500-eCo-järjestelmät. Päädyin lopulta näihin kahteen hinnan, ominaisuuksien ja saatavuuden perusteella.

3.1 Siemens S7-1200

Simatic S7-1200 soveltuu pieniin automaatoratkaisuihin. Sen modulaarisen rakenteen vuoksi logiikka on hyvin laajennettavissa ja sen voi myös yhdistää osaksi suurempaa automaatiojärjestelmää. Laitteeseen on integroituna Profinet, joka voidaan helposti liittää normaalilla RJ45-Ethernet-kaapelilla tietokoneeseen ohjelmointia ja valvontaa varten. S7-1200:aan on mahdollista liittää Fieldbus -ja Profibus-kenttäväylät ja sarjaportti suoran yhteyden muodostamiseen toiseen

laitteeseen. S7-1200 sisältää myös tuen GPRS:n käytölle. Logiikkaan voidaan liittää käyttöliittymäpaneeli, josta voi seurata prosessin toimintaa. (6, s. 5–6.)

Ulostuloista saadaan ulos binääristen päällä/pois-pulssien lisäksi myös pulssijonoa ja pulssileveysmodulointua signaalia. Tämä mahdollistaa askelmootoreiden ja servojen ohjaamisen. Simatic S7-1200 sisältää myös PID-toimilohkon, mikä mahdollistaa vaativimpienkin säätöjen toteutuksen. (6, s. 6–7.)

Simatic S7-1200 Starter Kit sisältää 1212C CPU:n, jossa on kaksi analogiatuloa, kahdeksan digitaalituloa ja kuusi relelähtöä. CPU:hun voidaan liittää signaalimoduuli pulssisyötölle ja kaksi I/O-moduulia, joilla I/O:iden määrää saadaan kasvatettua. (6, s. 25.)

Taulukossa 1 on tarkemmin kuvattu Starter Kitin sisältämän 1212C CPU:hun liittyviä teknisiä ominaisuuksia.

TAULUKKO 1. CPU 1212C:n tekniset tiedot (7, s. 672.)

CPU 1212C

User memory	Work memory	25 Kbytes
	Load memory	1 Mbyte
	Retentive memory	2 Kbytes
	Bit memory	4096 bytes
I/O	Digital	8 inputs/6 outputs
	Analog	2 inputs
Boolean execution speed	0.1 µs/instruction	
Real math execution speed	18 µs/instruction	

3.2 ABB AC500-eCo

AC500 -sarjan edullisempi ja kevennetty versio tarjoaa hinnaltaan kilpailukykyisen ratkaisun pienistä keskisuuriin järjestelmiin. eCo on rakenteeltaan modulaarinen, jonka vuoksi järjestelmä voidaan räätälöidä haluttua käyttötarkoitusta varten. Maksetaan ominaisuuksista joita tarvitaan. AC500-eCo on yhteensopiva AC500 -laitteiston ja ohjelmiston kanssa. eCo

sisältää laskuritoiminnot ja pulssileveyden modulaatio -ulostulot. Ohjelma voidaan ladata järjestelmään kätevästi SD -muistikortilta ilman erillisiä ohjelmistotyökaluja. PM 564 CPU:n analogiatulot voidaan konfiguroida digitaalituloiksi tarpeen vaatiessa. AC500-eCo:n Starter Kit sisältää PM554-T CPU:n, jossa käytetään transistoreja. Lisäksi tulee hankkia lisämoduuli I/O:ille. (8; 9; 10.)

Taulukossa 2 on tarkemmin kuvattu PM554-T:n teknisiä ominaisuuksia.

TAULUKKO 2. PM554-T: tekniset tiedot (10, s. 1.)

PM554-T

User program memory	128 kB
I/O (Digital)	8 inputs/6 outputs
Speed	0.1 μ s/instruction

4 INSTRUMENTOINTI

Instrumentointia suunniteltaessa valitaan yhteensopivat komponentit, jotka pysyvät hinnaltaan budjetin rajoissa mutta ovat silti riittävän laadukkaita. Tässä projektissa kalleimmat yksittäiset hankinnat ovat ohjelmitava logiikka, pumppu, vaaka ja venttiilit.

4.1 Ohjelmitavan logiikan valinta

Sekä Siemensin S7-1200 että ABB:n AC-500 eCo soveltuisivat tehtävään. Kummassakin on tarpeeksi ulostuloja ja pulssilähtö pumpulle. Hinta on samaa tasoa kummassakin järjestelmässä. Kokemus S7-300 -logiikasta teki ajatuksen S7-1200:n käyttämisestä helpommalta, koska ohjelmointiympäristö oli ennestään tuttu. Myös eCo:n Starter Kitin sisältämä transistoripohjainen PM554-T CPU vaikutti valintaan. Transistorit vaativat suojauspiirien rakentamista. Katsoin kuitenkin, että tässä projektissa releohjaukset sopivat aivan yhtä hyvin käytettäväksi. Relepohjaiseen logiikkaan venttiilit on helpompi kytkeä, koska ne eivät vaadi erillistä suojausta.

Siemens S7-1200 Starter Kit sisältää CPU 1212C AC/DC/Rly -keskussyksikön, jossa on kahdeksan digitaalituloa, kaksi analogiatuloa ja kuusi digitaalista relelähtöä. Koska työssä ohjataan 14 venttiiliä, tarvitaan lisäksi tarvitaan yksi SM 1223 DI 8 x 24 VDC, DQ 8x Relay -moduuli. Lisämoduuli nostaa lähtöjen määrän kuudesta neljääntoista. Relelähdöt eivät toimi tarpeeksi nopeasti pulssijonon lähettämiseen, joten tarvitaan yksi SB 1223 DI 2 x 5 VDC / DQ 2x 5 VDC 200 kHz -digitaalinen signaalimoduuli, jolla lähetetään pulssijono pumpulle.

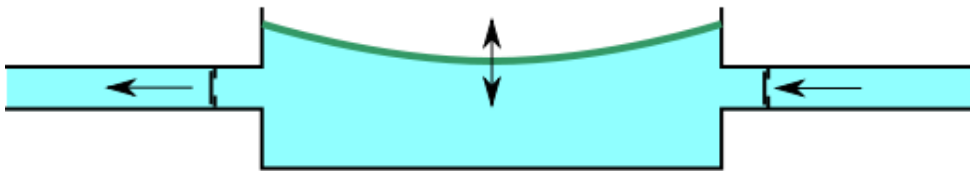
4.2 Pumpun valinta

Pumpun valinnan tärkeimmät kriteerit ovat tarkkuus, kapasiteetti ja mahdollisuus ohjata ulkoisella signaalilla. Pumpun kapasiteetin täytyy suurimmillaan olla vähintään 350 g/h, joten pumpun kokoluokka on pieni. Käyttötarkoitukseen sopivia pieniä tarkkuuspumppuja on käytössä elintarvike -ja lääketeollisuudessa. Tehtävään löytyy useita eri vaihtoehtoja, mutta halvin,

vaatimukset täyttävä pumppu on Iwaki EWN-R, joka on elektromagneettinen annostelupumppu.

Iwaki EWN-R on kalvopumppu, joka kykenee pumppaamaan 3,9 l/h täydellä teholla. Pumpun iskutiheyttä voidaan säätää 1–360 spm sekä iskujen pituutta välillä 0,5 mm–1,0 mm. Muita järjestelmän komponentteja valittaessa tulee ottaa huomioon pumpun lähtöpuolen paine 0,7 MPa ja pumpulle liitettävän letkun 6 mm:n ulkohalkaisija ja 4 mm:n sisähalkaisija. (11, s. 95.)

Kalvopumpun keskellä on säiliö, jossa on edestakaisin liikkuva kalvo. Säiliön molemmissa päissä on aukeavat ja sulkeutuvat läpät. (Kuva 2.)



KUVA 2. Kalvopumpun toimintaperiaate (12.)

Kalvon liikkessa ylöspäin päästöpuolen läppä sulkeutuu ja imupuolen läppä avautuu, jolloin vettä imeytyy säiliöön. Kalvon liikkessa alaspäin imupuolen läppä sulkeutuu ja päästöpuolen läppä avautuu, jolloin vesi puskeutuu ulos.

Kalvopumppuja on pienipaineisia pienellä virtauksella ja suuripaineisia suurilla virtauksilla. Ominaisuudet riippuvat kalvon suuruudesta ja sen iskupituudesta. Ne pystyvät pumppaamaan liejuisia ja paksuja suuriviskositeettisiä seoksia, joissa voi olla suhteellisen suuria määriä kiinteää ainetta. Kalvopumput voivat käydä kuivakäynnillä pitkiäkin aikoja menemättä rikki (Iwaki EWN-R 30 min). Kalvopumput voivat olla hyötyteholtaan jopa 97 %. (12.)

4.3 Venttiilien valinta

Venttiilin valintaan vaikuttavat ohjausjännite, sisähalkaisija, paineensietokyky, mekaaninen ja sähköinen liitännätapa ja liitinkoko putkelle. Venttiiliä täytyy pystyä ohjaamaan PLC:n ulostulosta tulevalla 24 V:n tasajännitteellä. Letkuissa kulkeva vesimäärä on pieni, joten venttiilin koon tulee olla sopiva. Venttiilin täytyy myös kestää pumpun luomaa painetta.

VCW21-5G-2-02F-Q on normaalisti kiinni oleva solenoidiventtiili. Kun sille syötetään 24 V:n tasajännite, venttiili avautuu. Tässä venttiilissä sisähalkaisija on 2 mm ja paine-ero voi olla 2 MPa. Venttiilin liitinkoko on ¼” ja liitinkierretyyppi G. Venttiili voidaan kiinnittää paikoilleen pohjasta, mikä helpottaa venttiiliklusterin rakentamista. (13, s. 3.)

4.4 Liittimien ja letkujen valinta

Venttiileille sopivat liittimet löytyivät SMC:n KQ2-G -sarjasta. Pumpulta venttiileille tuleva letku liitetään venttiileihin T-haaralla, johon ulkohalkaisijalta 6 mm:n paksuinen letku sopii. Venttiileiltä nukelle lähtevät letkut liitetään venttiileihin suorilla liittimillä, joihin ulkohalkaisijalta 4 mm:n paksuinen letku sopii. Liittimiä voidaan käyttää 1,0 MPa:n painealueella. (14, s. 2.)

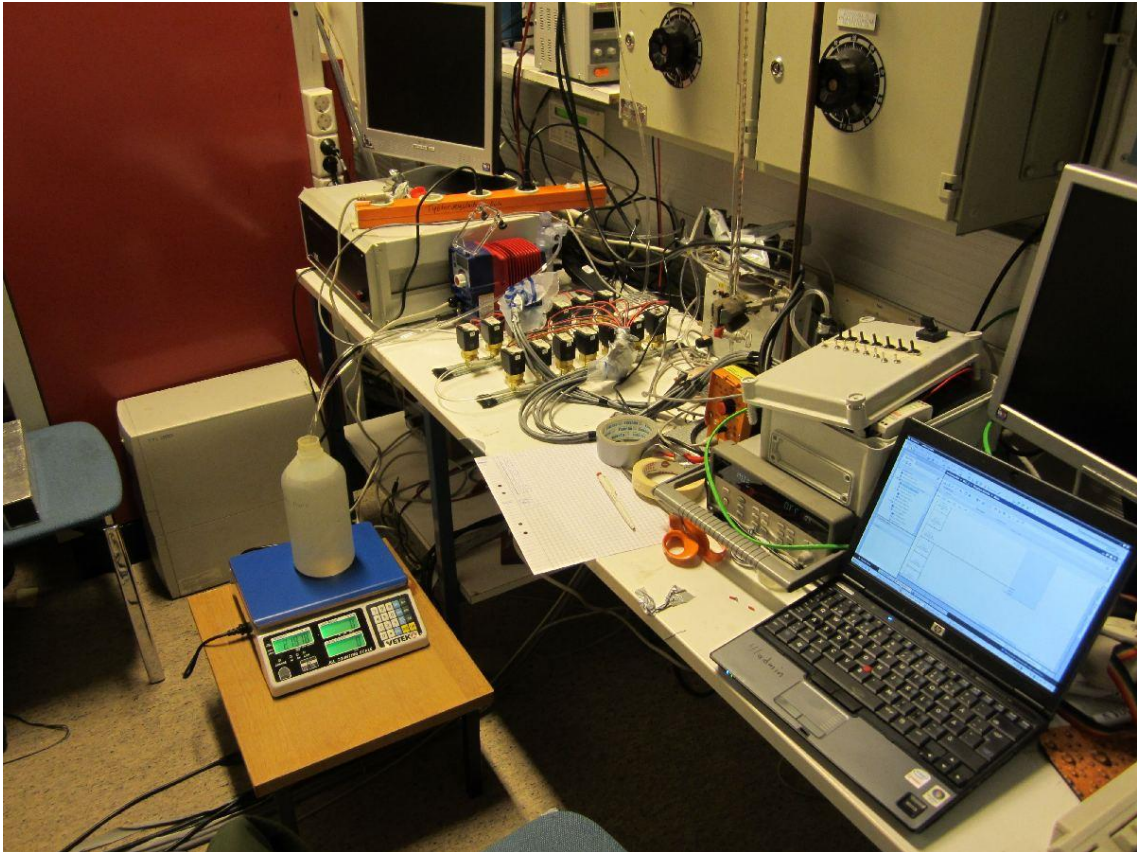
Venttiileille letkuiksi valittiin SMC:n TU -sarjan polyuretaaniletku. Pumpusta venttiileille letkun ulkohalkaisija on 6 mm ja sisähalkaisia on 4 mm. Venttiileiltä nukelle letkujen ulkohalkaisija on 4 mm ja sisähalkaisija on 2,5 mm. Letkun operointipaine on 0,8 MPa, mikä on juuri pumpun syöttöpaineen yläpuolella. (15, s. 1.)

4.5 Vaaka

Vesimäärän mittaamiseen valittiin tarkkuusvaaka, jonka tärkein kriteeri on pystyä mittaamaan 0,1 g:n tarkkuudella vähintään kaksi kilogrammaa painavia esineitä. Sopivaksi vaa'aksi löytyi JCL-laskurivaaka, mikä pystyy mittaamaan 3 kg painavia esineitä 0,1 g:n tarkkuudella. (16, s. 1)

5 VEDENSYÖTTÖJÄRJESTELMÄ

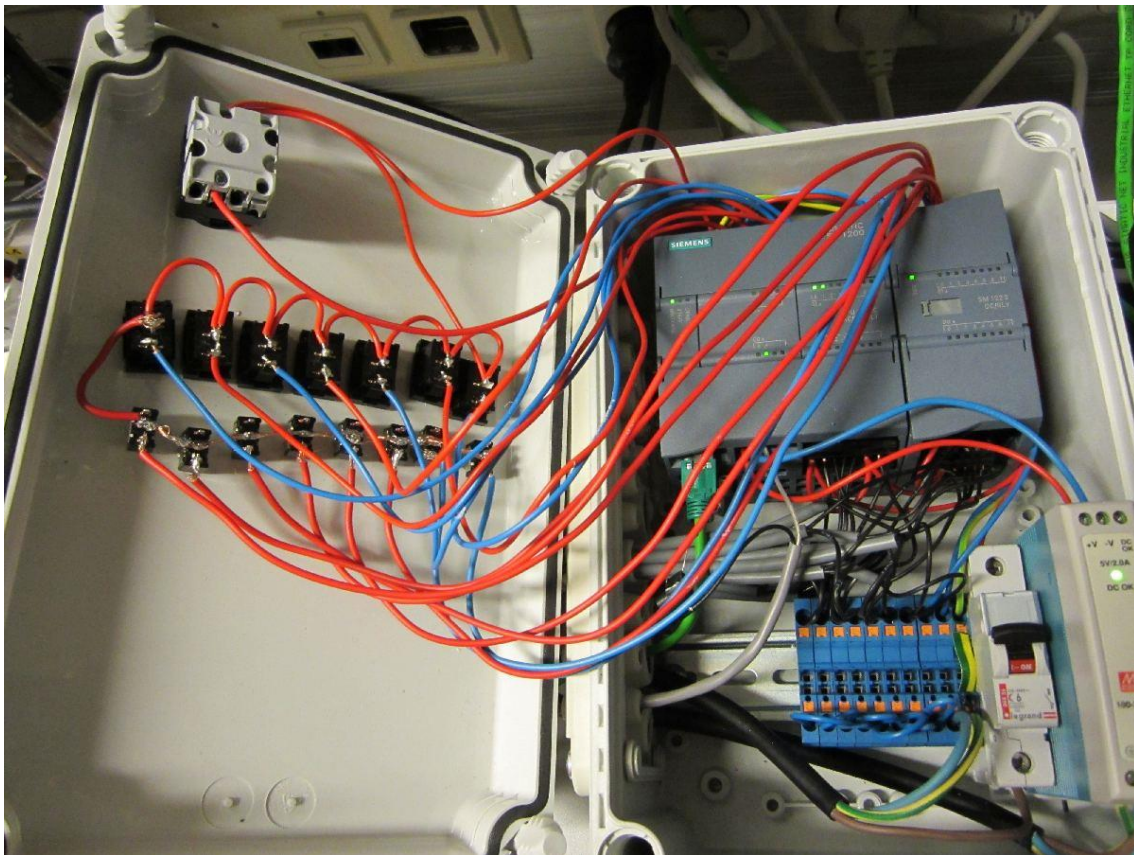
Vedensyöttöjärjestelmä koostuu vaa'asta, vesisäiliöstä, pumpusta, venttiileistä, letkuista ja automaatiojärjestelmästä. Kuvassa 3 näkyy järjestelmä kokonaisuudessaan.



KUVA 3. Vedensyöttöjärjestelmä

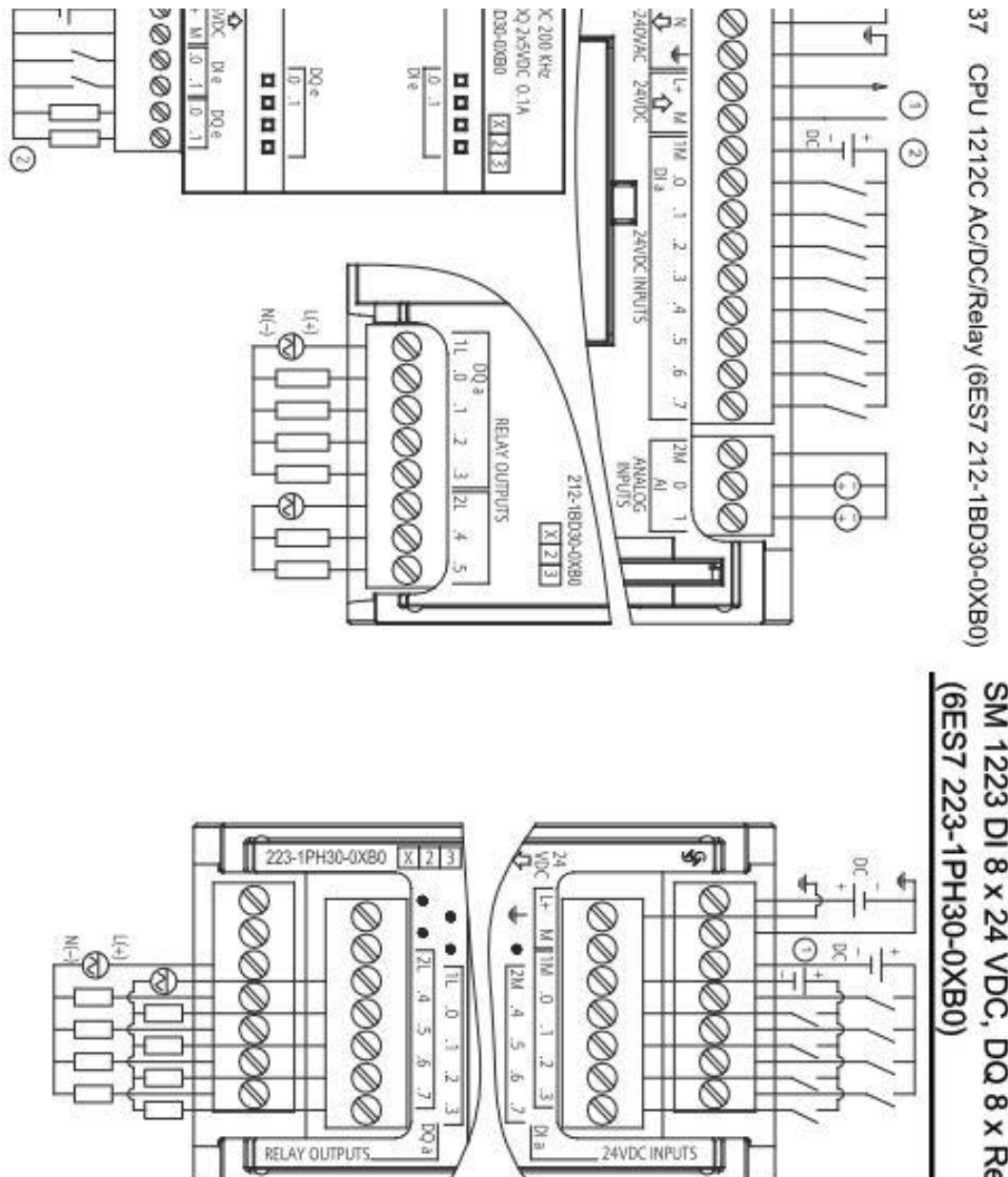
5.1 Automaatiokaapin kokoaminen

Automaatiokaappiin tulee logiikka, johdonsuojakatkaisija, 5 V:n tasajännitteensyöttöä varten hakkuriteholähde SM 1223 -signaalimoduulille ja liittimet, jotka liitetään DIN-kiskoon. Kanteen kiinnitetään nokkakytkin ja 15 vipukytkintä. Kaappiin tuodaan 230 V:n vaihtojännitteet logiikalle ja hakkuriteholähteelle. Logiikalta lähtee 14 ohjauskaapelia venttiileille ja yksi signaalikaapeli pumpulle. Kuvassa 4 näkyy koottu automaatiokaappi.



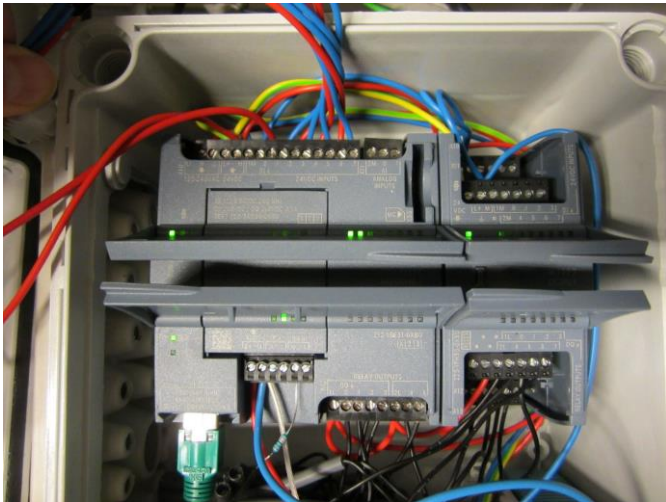
KUVA 4. Automaatiokaappi

Aluksi tehtiin tarvittavat kytkennät logiikalle manuaalin johdotuskaavion (kuva 5) mukaan.



KUVA 5. PLC:n johdotuskaavio (5, s. 679, 697, 726.)

Kuvassa 6 näkyy kytketty ohjelmoitava logiikka (PLC).



KUVA 5. Vedensyöttöjärjestelmän PLC

SM 1223 -signaalimoduuli tarvitsee 5 V:n jännitelähteen, joka tuotiin hakkuriteholähteestä. Pumpulle tulevan ulkoisen signaalin virta saa olla korkeintaan 1,8 mA 5 V DC. Signaalimoduulilta lähtee 0,1 A 5 V DC. Ohmin lain mukaan:

$$\frac{5 \text{ V}}{1,8 \text{ mA}} = 2777,7 \Omega.$$

Yksi 3,3 kΩ:n vastus rajoittaa virtaa tarpeeksi.

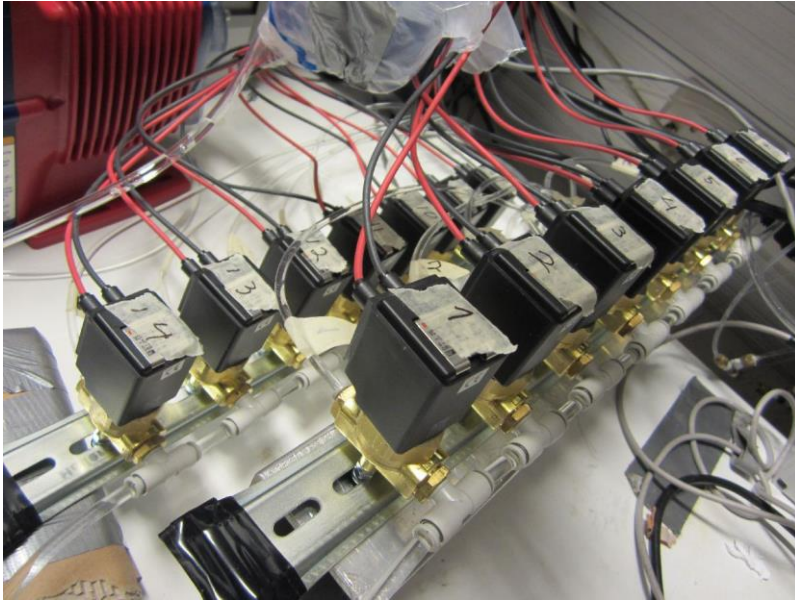
Kuvassa 7 näkyy signaalimoduuliin kytketty vastus, jonka kautta signaali viedään pumpulle.



KUVA 7. Vastus kytkettynä signaalimoduulin pulssilähtöön

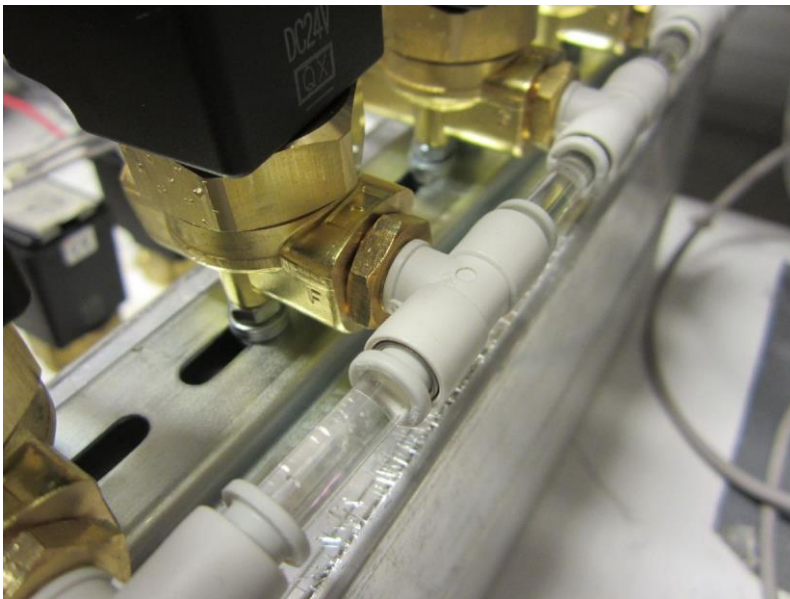
5.2 Venttiiliklusterin kokoaminen

Automaatiokaapissa PLC:n 24 V DC Relay -lähdeistä tuodut kaapelit kytketään venttiileihin. Kuvassa 8 näkyvät venttiilit asennettiin pohjassa olevilla ruuvikiinnikkeillä DIN-kiskoon.

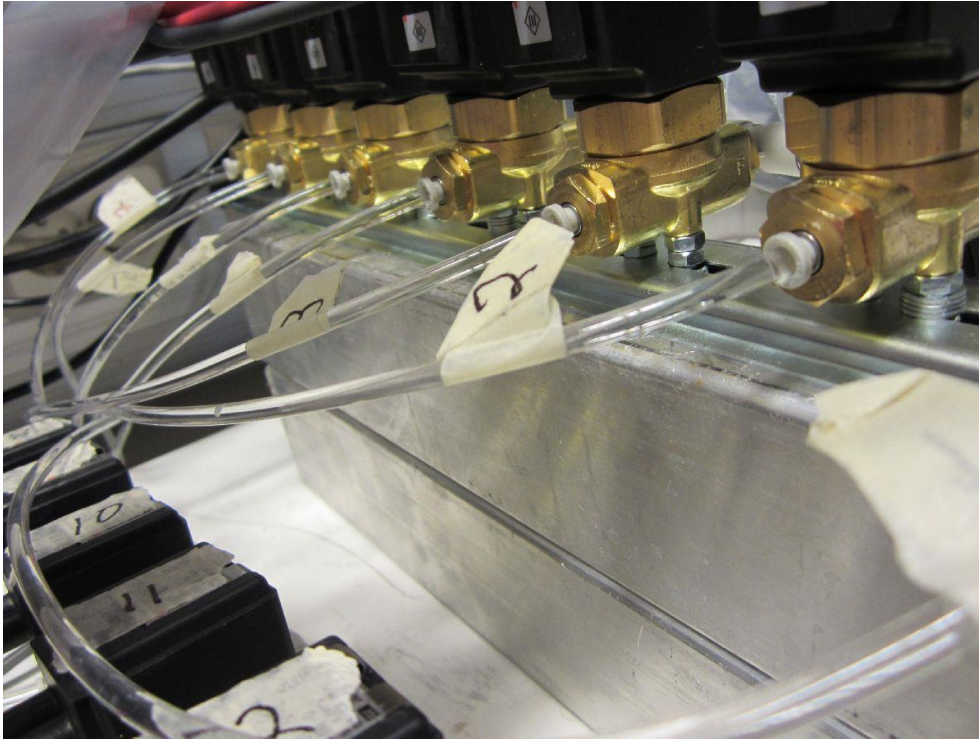


KUVA 8. Vedensyöttöjärjestelmään asennetut venttiilit

Kuvassa 9 näkyy venttiileihin kiinnitetty T-haara ja kuvassa 10 suoraliitin letkuille.



KUVA 8. Venttiileihin T-haaralla kytketty letku



KUVA 10. Suoralla liittimellä venttiileihin kytketyt letkut

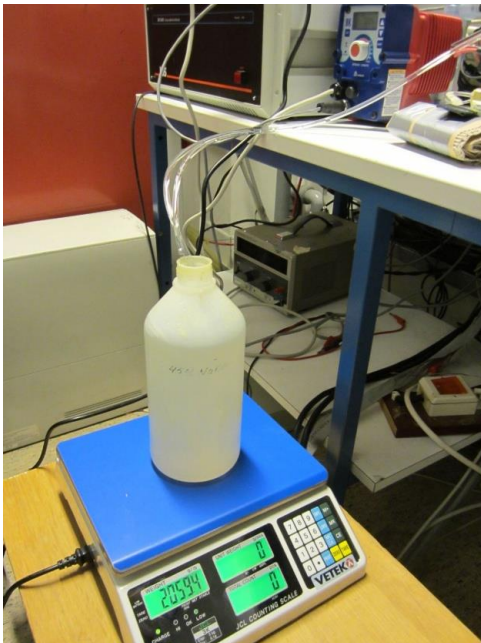
5.3 Letkujen asentaminen

Pumppuun liitettiin imu- ja ilmausletkut, jotka vietiin vaa'an päällä olevaan vesitankkiin. Syöttöletku kytkettiin venttiilien T-haaraan. Kuvassa 11 näkyvät pumpun letkuliitännät ja ylhäällä oleva ilmausventtiili.



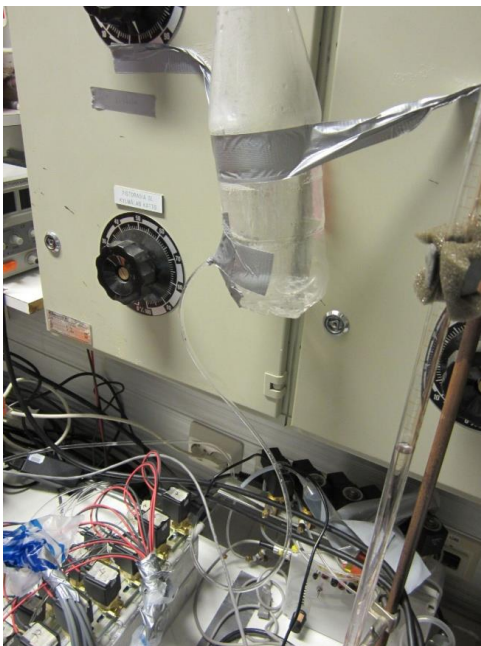
KUVA 11. Pumpun letkuliitännät

Kuvassa 12 näkyvältä pullolta viedään letku pumpulle, josta se jatkaa matkaansa venttiilien T-haaraan.



KUVA 12. Järjestelmän vesisäiliö ja vesimäärän mittaamiseen käytettävä vaaka

Venttiilien T-haaralta jatkuva letku vietiin pullolle, jota käytetään järjestelmän ilmauksessa (kuva 13).



KUVA 13. Ilmauspullo

Venttiien suoraliittimiltä lähtevät letkut asennettiin seinän läpi testaustilaan (kuva 14), jossa lämpönukke (kuva 15) sijaitsee. Huoneessa voidaan säädellä ilmasto-olosuhteita, kuten tuulen nopeutta ja lämpötilaa.



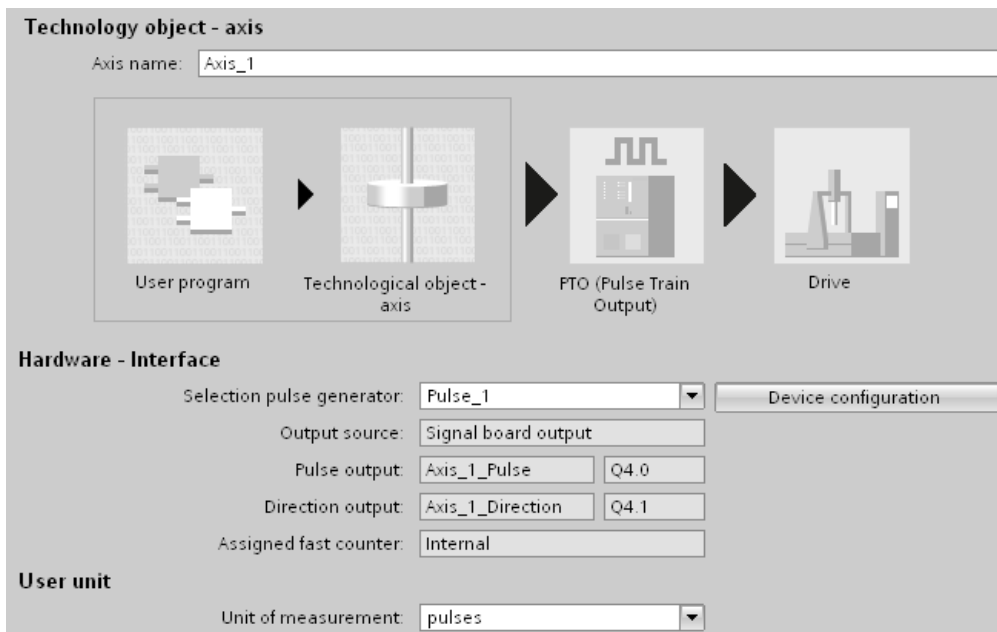
KUVA 14. Seinän läpi viedyt vesiletkut testaushuoneessa



KUVA 15. Työterveyslaitoksen lämpönukke

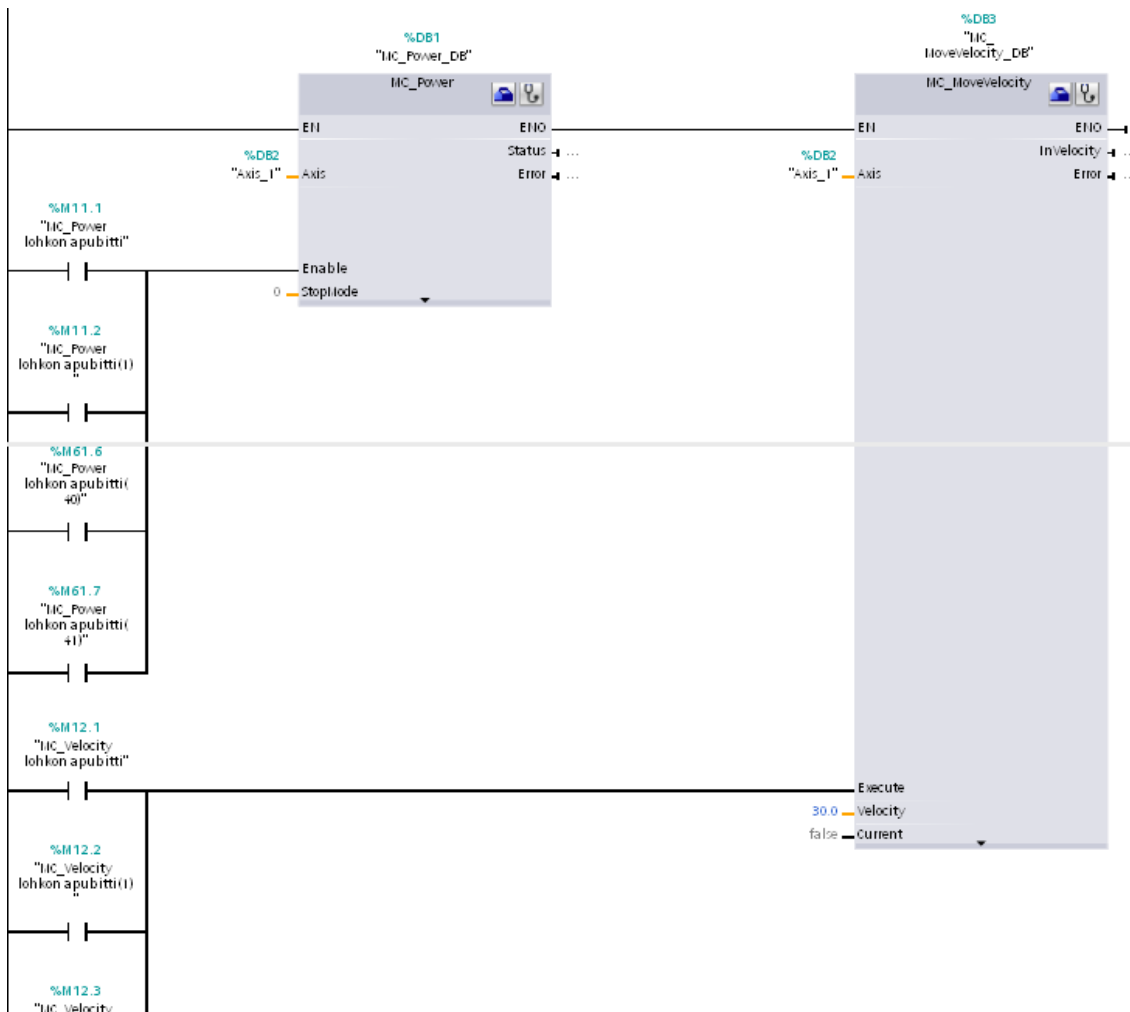
6 OHJELMOINTI

Ohjelmointi suoritettiin Siemensin TIA Portal -ohjelmistolla. Oikeanlaisen pulssijonon muodostaminen oli ohjelmoinnissa ongelma. Ainoa mahdollisuus pulssijonolle on käyttää Simaticin askelmoottorin ohjaussovellusta. Askelmoottorisovellukselle tarkoitettu Axis-sovellus piti ensin konfiguroida. Kuvassa 16 esitellään Axis-sovelluksen konfigurointiparametreja.



KUVA 16. Axis-konfigurointi

Pulssisignaalin muodostamiseksi täytyi käyttää askelmoottorille tarkoitettuja ohjelmalohkoja. Näistä MC_Power käynnistää ja pysäyttää Axis-toiminnan. MC_MoveVelocity puolestaan ohjaa askelmoottoria asetetulla nopeudella tasaisesti. Kuvassa 17 näkyvät ohjelman MC_Power- ja MC_MoveVelocity -toimilohkot.

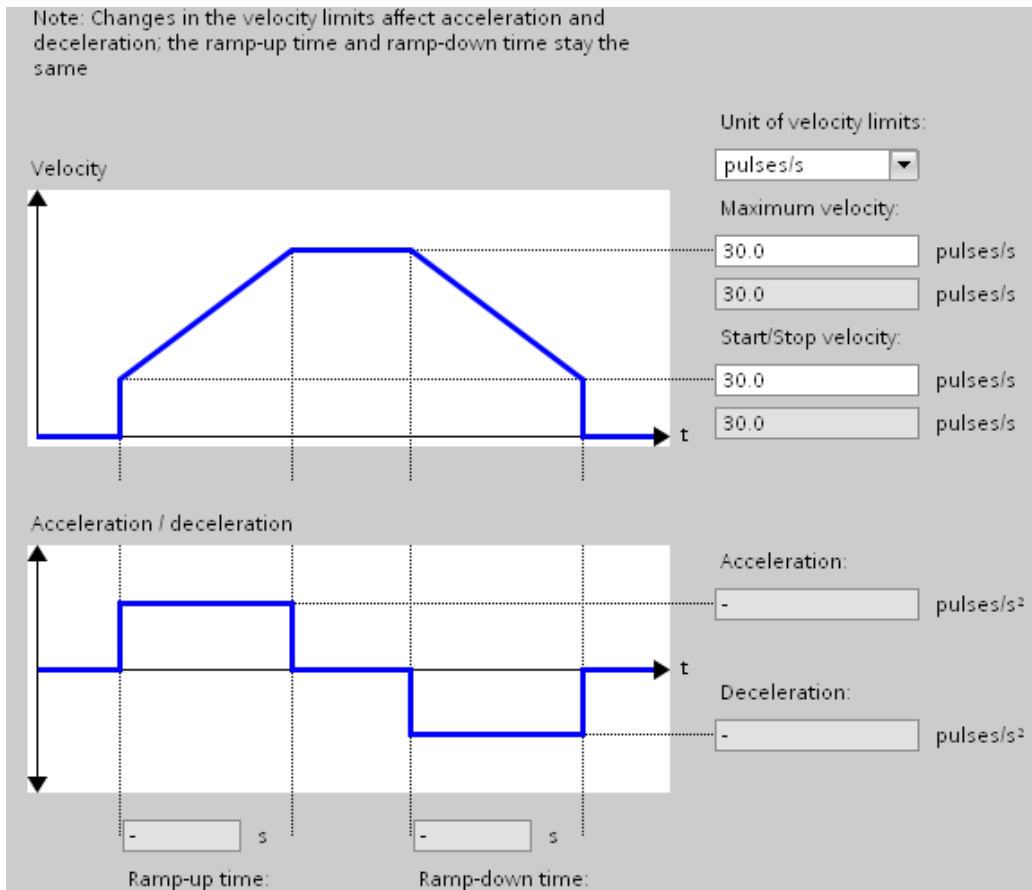


KUVA 17. Ohjelman MC_Power ja MC_MoveVelocity –toimilohkot

Pumpulle syötettävää pulssijonoa ohjataan niin, että MC_Powerin apubitti aktivoi Axis-sovelluksen, minkä jälkeen MC_MoveVelocity:n toimilohkoa ohjaava toinen apubitti aktivoi lohkon hetkeksi, jolloin muodostuu sopiva pulssijono pumpulle. MC_Powerin apubitti on päällä millisekunnin, jonka jälkeen se sulkeutuu. MC_MoveVelocity toimii, kunnes se on lähettänyt kolme pulssia.

Pulssilähdöstä tulee aina vähintään kolme pulssia. Pumpua sai säädettyä niin, että se iskee saatuaan kolme pulssia. Alun perin tässä kesti noin sekunnin sen hetkisten Axis-asetusten vuoksi. Tämä taas aiheutti venttiilien pitkän päälläoloajan, jonka vuoksi järjestelmään pääsi helposti ilmaa, joka aiheutti veden epätasaisen jakautumisen. Hidas pulssitoiminta aiheutti myös neljännen pulssin aina muutaman ohjelmakierron jälkeen, mikä aiheutti pumpulle ylimääräisiä iskuja. Tämä sotki vedensyötön tasaisuutta entisestään.

Ongelma korjaantui säätämällä Axis-asetuksista nopeus 1 pulse/s:sta 30 pulse/s:ään (kuva 18). Pulssitaajuuden nosto lyhensi venttiilien päälläoloaikoja, jonka vuoksi vesi kulki tasaisemmin jokaisessa letkussa.



KUVA 18. Pulssinopeudet MC_MoveVelocitylle

Ohjelmaan kuuluu kolme erilaista vedensyöttötasoa, 105 g/h, 225 g/h ja 450 g/h. Yksi ajo kestää yhden tai kaksi tuntia. Lisäksi ohjelmassa on valinta venttiileiden manuaalikäytölle ja mahdollisuus nollata laskurit.

Vedensyöttösekvenssin periaatteellinen toiminta on sellainen, että venttiin auetessa pumppu lyö yhden iskun, jonka jälkeen venttiili sulkeutuu.

Vedensyöttöohjelma koostuu kuudesta samanlaisesta sekvenssistä, joiden ainoa ero on lopussa olevan laskurin ja ajastimen parametreissa. Jokaisella vedensyöttötasolla on siis oma sekvenssinsä tunnin ja kahden tunnin ajoa varten. Tämä tekee ohjelmasta laajan. Venttiilien ohjaus pareittain puolitti ohjelman koon. Tämä näkyi myöhemmin mittaustuloksissa. Käsittelen asiaa tarkemmin osiossa 8.

Jokainen venttiilipari on päällä 0,7 s. Kun venttiilit ovat päällä, menee MC_Power -lohkon apubitti päälle 1 ms:n ajaksi. Tämä taas saa MC_MoveVelocity -lohkon aktiiviseksi 1 ms:n ajaksi, jolloin pumppu saa pulssiohjauksensa. Ennen seuraavaa venttiiliparia on aina 3,3 s:n vetohidastus. Sekvenssin lopussa on laskuri, joka menee pois päältä kun sekvenssiä on suoritettu tarvittava määrä. Lopussa on myös ajastin, joka pysäyttää ohjelman toiminnan hetkeksi ennen seuraavan venttiilikierroksen alkua. Tällä ajastimella ja laskurilla määritellään montako kierrosta vettä syötetään tunnin tai kahden tunnin kuluessa.

7 JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖ

7.1 Käyttöliittymä

Käyttöliittymä koostuu pääkytkimestä ja 15 dippikytkimestä. Pääkytkimellä voidaan ehkäistä ohjelman tahaton käyttö. Kun pääkytkin on asennossa 1, voidaan dippikytkimiä käyttää. Dippikytkimillä voidaan valita, kuinka kauan ja kuinka paljon vettä syötetään. Pintaa, jolle vettä halutaan levittää, on yhteensä $1,5 \text{ m}^2$, joten kun halutaan kosteuttaa kangasta esimerkiksi 150 g neliometriä kohden tunnissa, tarvitaan vettä 225 g . $150 \frac{\text{g}}{\text{h}} * 1,5 \text{ m}^2 = 225 \text{ g} \frac{\text{m}^2}{\text{h}}$.

- 1: Ohjelma 1, $150 \text{ g} \frac{\text{m}^2}{\text{h}}$, vettä syötetään 225 g tunnin aikana.
- 2: Ohjelma 2, $150 \text{ g} \frac{\text{m}^2}{\text{h}}$, vettä syötetään 450 g kahden tunnin aikana.
- 3: Ohjelma 3, $300 \text{ g} \frac{\text{m}^2}{\text{h}}$, vettä syötetään 450 g tunnin aikana.
- 4: Ohjelma 4, $300 \text{ g} \frac{\text{m}^2}{\text{h}}$, vettä syötetään 900 g kahden tunnin aikana.
- 5: Ohjelma 5, $70 \text{ g} \frac{\text{m}^2}{\text{h}}$, vettä syötetään 105 g tunnin aikana.
- 6: Ohjelma 6, $70 \text{ g} \frac{\text{m}^2}{\text{h}}$, vettä syötetään 210 g kahden tunnin aikana.

Venttiileitä voidaan käyttää myös manuaalisesti. Kun dippikytkin 14 on päällä, voidaan muilla kytkimillä ohjata venttiileitä:

- 14 kytkin ja 1 kytkin päällä: venttiili 1 auki.
- 14 kytkin ja 2 kytkin päällä: venttiili 2 auki.
- 14 kytkin ja 3 kytkin päällä: venttiili 3 auki.
- 14 kytkin ja 13 kytkin päällä: venttiili 13 auki.
- 14 kytkin ja 15 kytkin päällä: venttiili 14 auki.

Kytkin 15 käynnistää ohjelman 15, joka nolaa laskurit. Kun joku vedensyöttöohjelmista päättyy, ei uusi ohjelma voi käynnistyä ennen kuin ohjelmassa oleva laskuri nolataan. Ohjelman päättymisen jälkeen tulee ohjelman ohjauskytkin ensin sulkea ja vasta sen jälkeen nolata laskuri, muuten ohjelma käynnistyy uudelleen.

7.2 Järjestelmän ilmaus

Järjestelmän ilmaus tulee suorittaa, jos syöttöjärjestelmää ei ole käytetty moneen viikkoon, pumpulle vaihdetaan uusi vesisäiliö tai entinen pääsee tyhjenemään. Pumppu laitetaan manuaalikäytölle ja pumpun ilmausventtiili avataan kiertämällä sitä kaksi kierrosta. Pumppu käynnistetään ja sen annetaan pumpata noin 15 minuuttia, jonka jälkeen pumppu pysäytetään ja ilmausventtiili suljetaan.

Seuraavaksi pumppua ajetaan manuaalikäytöllä niin kauan, että järjestelmässä olevat ilmakuplat menevät ilmaussäiliöön veden mukana. Tämän jälkeen venttiileitä ohjataan manuaalisesti, kunnes syöttöletkut ovat täynnä vettä. Lopuksi pumppu pysäytetään.

7.3 Järjestelmän kalibrointi

Kalibrointi tulee suorittaa ennen vedensyötön aloittamista. Aluksi PLC laitetaan stop-tilaan, jonka jälkeen avataan TIA Portal -ohjelmalla vedensyöttö -tiedosto. Avataan pääohjelma ja mennään kohtaan "Network 1". Muutetaan viimeisellä rivillä oleva "1 ohjelma laskuri":n niminen CTU -toimilohkon arvo "PV" "1":ksi. Tämä pysäyttää ohjelman aina yhden kierroksen jälkeen.

Tämän jälkeen tallennetaan ohjelma ja ladataan se PLC:hen ylävalikossa olevassa "Online -> Download to device" -valikosta. Ohjelma laitetaan online-tilaan, mikäli se ei jo ole. Lopuksi PLC laitetaan Run-tilaan.

Laitetaan pumppu ensin ulkoiselle ohjaukselle, jonka jälkeen ajetaan ohjelmaa kytkimellä 1 muutamaan kertaan. Katsotaan vaa'alta, kuinka paljon pumppu imee vettä säiliöstä yhden kierroksen aikana. Kierrosten välillä laskuri nollataan kytkimellä 15. Pumpattavaa vesimäärää voi säätää muuttamalla pumpussa olevaa "Stroke length" -säädintä. Säätimen ollessa 100 % pumppu imee säiliöstä noin 6 g vettä kierroksen aikana. Pumpattavaan vesimäärään vaikuttaa myös säiliön pinnankorkeus.

Kun kierroksia on tehty muutama, pitäisi pumpun imemä vesimäärä olla selvillä. Muutetaan Networkin lopussa olevat "1 ohjelma repeat" TP-toimilohko ja "1 ohjelma laskuri" CTU-toimilohko seuraavilla kaavoilla:

"x ohjelma laskuri" CTU-toimilohkon "PV" arvo:

$$\frac{\text{Ohjelman haluttu pumpattava vesimäärä}}{1 \text{ kierroksella pumpattu vesimäärä}} \rightarrow \frac{225 \text{ g}}{6 \text{ g}} = 37,5$$

Ainoastaan kokonaisluvut käyvät, eli tässä tapauksessa joko 37 tai 38 kierrosta.

"x ohjelma repeat" TP-toimilohkon "PT" arvo:

$$\frac{3600 \text{ s TAI } 7200 \text{ s, eli } 1 \text{ vai } 2 \text{ tuntia}}{\text{kierrosmäärällä}} - 28 \text{ s (1: kierroksen aika)}$$

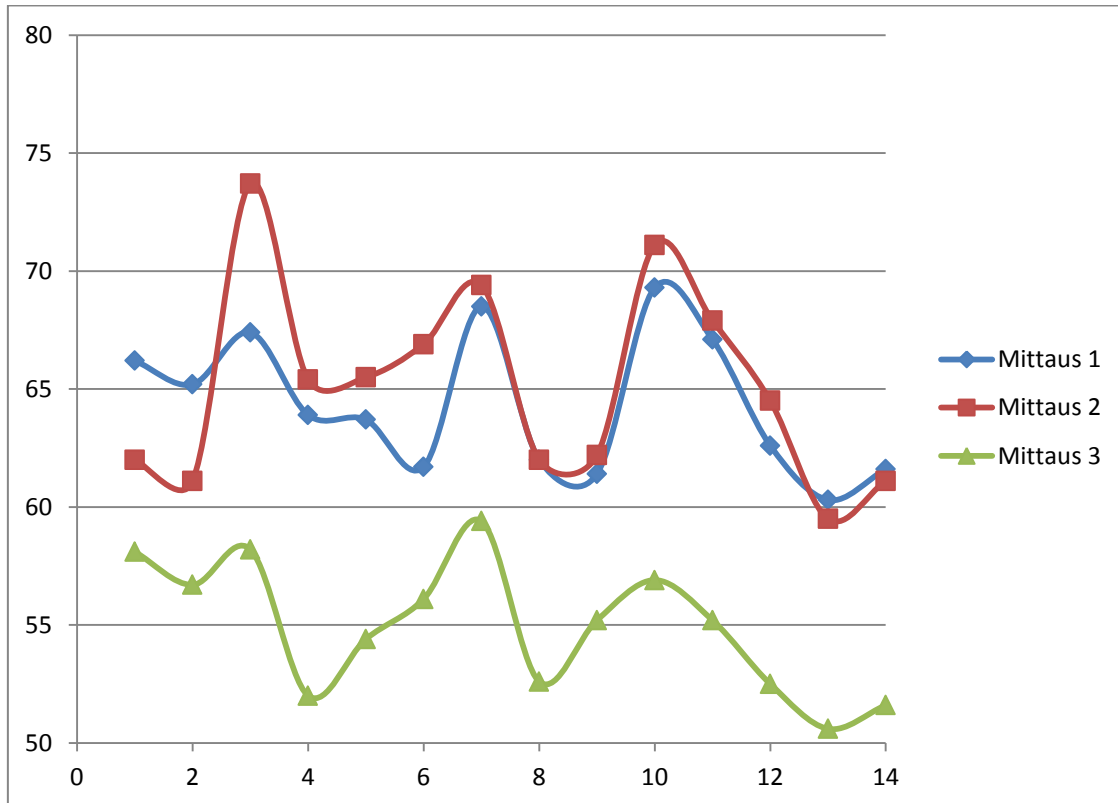
$$\frac{3600 \text{ s}}{37} - 28 \text{ s} = 69,297 \text{ s}$$

Voidaan syöttää tarkka arvo eli 69,297 s toimilohkon kohtaan "PT".

Kalibroinnin voi suorittaa mille tahansa vedensyöttötasolle. Tulee muistaa, että säiliön pinnankorkeuden alentuessa ei vettä pumpata yhtä paljon kuin säiliön ollessa täysi. Esimerkiksi jos alussa vettä pumpataan 6 grammaa kierroksen aikana, voi lopussa määrä olla 5 grammaa kierroksen aikana. Keskiarvoisesti määrä on 5,5 g/kierros. Tämä tulee ottaa huomioon vain, kun vettä pumpataan 900 g. Alemmilla syöttömäärillä tällä ei ole niin suurta vaikutusta.

8 TULOKSET JA ONGELMANRATKAISU

Valmis vedensyöttöjärjestelmä ohjaa kahta venttiiliä kerralla. Tämä aiheuttaa veden jakautumista järjestelmässä epätasaisesti, koska paine vaihtelee dynaamisesti. Tämä näkyy selvästi mittaustuloksissa. Kuvassa 19 on x-akselilla letkun numero ja y-akselilla vesimäärä grammoina.



KUVA 19. Veden jakautuminen letkujen välillä mittauksissa

Kuten kuvasta havaitaan, on nähtävissä selvä käyttäytymismalli. Samat venttiilit järjestelmässä päästävät vettä letkuihin aina enemmän kuin toiset. Tämä selittyy venttiilien paikalla ja toimintajärjestyksenä. Paine jakautuu aina kahdelle letkulle, mikä aiheuttaa tämän ilmiön. Ongelma ratkaistaan muuttamalla ohjelmaa niin, että venttiilien pareittain ohjaamisen sijasta niitä ohjataan yksittäin. Tällöin pumpun luoma paine ei vaikuta useassa paikassa, vaan vesi kulkee vain yhdessä paikassa kerrallaan. Mittaustulokset on esitelty tarkemmin liitteessä 1.

Sovittiin että ohjelmaa muutetaan tämän opinnäytetyön jälkeen niin, että jokaista venttiiliä ohjataan yksittäin. Ohjelman laajuuden vuoksi se on työlästä, koska nykyisen ohjelmarakenteen pohjalta tehtynä tämä tarkoittaisi sitä, että siitä tulisi kaksi kertaa laajempi. Nykyisellään jokaisella vedensyöttösekvenssillä on täysin oma ohjelmansa, jotka ovat käytännössä täysin identtisiä toiminnaltaan. Ainoastaan lopun laskuri ja ajastin eroavat, ja ne määrittelevät montako kierrosta sekvenssiä ajetaan ja kuinka kauan odotetaan ennen seuraavaa kierrosta. Jokaisen ohjelmassa oleva lohko täytyy olla erilainen, eikä lohkoja voi vain kopioida. Muuten ohjelma ei toimi, kuten sen pitäisi, PLC:n luonteen vuoksi. PLC lukee ohjelmaa ylhäältä alas jatkuvasti. Esimerkiksi jos ohjelman alussa olisi ajastin1 ja se olisi kopioitu ohjelman loppuun, ohjelman alussa olevan ajastin1:sen ohjaaminen aktiiviseksi saa myös lopussa olevan ajastin1 aktiiviseksi. Tämän vuoksi jokaisen toimilohkon tulee olla eriniminen.

Mietin vaihtoehtoja tapaa tehdä ohjelma, ja päädyin osittain uudenlaiseen ohjelmaratkaisuun. Pohdin ratkaisuksi tapaa, jossa olisi vain yksi kokonainen ohjelma, joka sisältäisi kaikki vedensyöttötasot. Niitä ei siis olisi hajautettu omiksi ohjelmapätkiksi. Se olisi lähes identtinen tämän hetkisen vedensyöttösekvenssi-ohjelman kanssa, joka on siis sama jokaisessa eri vedensyöttösekvenssissä lopun laskuria ja ajastinta lukuunottamatta.

Ohjelman alkuun tulisi rinnan kuusi sulkeutuvaa kytkintä, joilla valitaan haluttu vedensyöttöohjelma. Näistä jokainen käynnistää saman pääsekvenssin, johon kuuluvat kaikki venttiilit yksittäin. Pääasiallinen ero vanhaan olisi siinä, että lopussa olisi kuusi eri ajastinta ja laskuria, jokaisella vedensyöttöohjelmalla omansa. Esimerkiksi alussa oleva I0.4 (vedensyöttöohjelma 4) sulkisi myös lopussa olevat lopputimerille ja laskurille menevät I0.4-kytkimet. Näin ohjelma supistuisi paljon, koska ainoastaan laskuri- ja ajastinlohkot täytyisi tehdä omina jokaiselle vedensyöttöohjelmalle eikä koko sekvenssiä.

9 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa toimiva vedensyöttöjärjestelmä lämpönukelle puettavalle haalarille, jotta voitaisiin simuloida hikoilevan ihmisen lämpöominaisuuksia. Syöttöjärjestelmä valmistui ajallaan ja toimi kuten pitikin. Omalta osaltani väärinymmärryksen vuoksi ohjelmoin järjestelmän venttiilit toimimaan pareittain. Tämä johti veden epätasaiseen levittäytymiseen. Sovittiin että minä muutan ohjelmaa tulevaisuudessa niin, että venttiilit toimivat yksittäin.

Tankin vesimäärän aiheuttama hydrostaattinen paine vaikuttaa kuinka paljon pumppu imee vettä yhdellä iskulla. Kun tankki on täynnä, vettä lähtee enemmän kuin jos tankissa on enää kolmannes jäljellä. Tämä vaikuttaa siihen, ettei vedensyöttö ole täysin lineaarista. Kokonaisuudessaan vettä saadaan menemään oikea määrä, mutta sitä menee alussa enemmän kuin lopussa. Tämä voi näkyä tehtävissä simulaatioissa niin, että alussa testattava kangas kostuu enemmän kuin ohjelman loppupuolella. Esimerkiksi kun tankissa on vettä 2326,5 g, pumpataan yhdellä kierroksella vettä 5,8 g. Kuitenkin kun vettä pumpataan 900 g, on pumpattavan veden kierroksen keskiarvo 5,5 g. Tässä on nähtävissä selvä epälineaarisuus, joka saadaan tarkemmin selville testaamalla eri vesimääriä ja sitä kuinka paljon vettä niistä pumpataan.

Helppointa olisi pitää vesimäärä halutulla alueella esimerkiksi pinta-antureilla, jotka ohjaisivat vedensyöttöä jostain toisesta tankista. Tässä voisi myös käyttää PID-säädintä, joka säätäisi tankkiin tulevaa veden määrää ohjaamalla toisesta säiliöstä tulevaa tuloventtiiliä. Tämänkaltainen ratkaisu tekisi simuloinnista tarkempaa. Uusina laitteina tarvitsisi vain säätöventtiilin ja pinta-anturin. PLC:tä pitäisi täydentää moduulilla, jossa olisi myös analogialähtö säätöventtiilille.

Tulevaisuuden kannalta järjestelmää voidaan laajentaa hankkimalla S7-1200-logiikkaan lisämoduuli, jolloin voidaan ohjata vielä useampia venttiileitä. Nykyisellä 1212C CPU:lla toimivaa järjestelmää voidaan laajentaa nykyisestä 14 Rly-lähdöstä maksimissaan 38 Rly-lähtöön. Tällöin vettä voitaisiin syöttää 38 pisteeseen. Tämä vaatisi kuitenkin uuden automaatiokotelon hankkimista,

koska nykyinen on liian pieni lisämoduuleille. Komponenttien siirto on toisaalta nopea toimenpide. Kaikkia kytkentöjäkään ei välttämättä tarvitsisi purkaa.

Vettä voitaisiin levittää tasaisemmin nukun pinnalle käyttämällä hyvin ohuita kuituja, jotka kiinnitettäisiin nukelle meneviin letkuihin. Yhdessä ”kuituviuhkassa” olisi useita kuituja, joilla vettä voitaisiin levittää tasaisesti halutulle alueelle.

Kaiken kaikkiaan järjestelmä on toimintakuntoinen, ja etenkin muutosten jälkeen se tulee olemaan varmasti hyödyllinen testikäytössä. Mikäli laitteisto havaitaan hyödylliseksi, voidaan sitä jatkokehittää hyvinkin pitkälle. Uskoisin, että laajentamalla ulostulojen määrää, levittämällä vesi kuiduilla haalarissa ja rakentamalla vedenpinnalle säätösystemi saadaan simulaatiosta hyvinkin tarkka.

Opinnäytetyön aiheena lämpönuken vedensyöttöjärjestelmän suunnittelu ja rakentaminen oli haastava ja mielenkiintoinen. Oikeiden komponenttien löytäminen ja hankkiminen oli uusi kokemus. Vastuu järjestelmän valmistumisesta oli opettavaista.

LÄHTEET

1. Sweating Agile Thermal Manikin. Saatavissa:
<http://www.nap.edu/books/11959/xhtml/images/p200146c2g34001.jpg>
[Hakupäivä 25.4.2013](#)
2. Holmér, Ingvar. 2004. Thermal manikin history and applications. Berlin. Springer-Verlag.
3. Fukazawa, Takako - Lee, Guang – Matsuoka, Takeshi – Kano, Kiyotsugu – Tochihara, Yutaka. 2004. Heat and water vapour transfer of protective clothing systems in a cold environment, measured with a newly developed sweating thermal manikin. Berlin. Springer-Verlag.
4. Wang, Faming – Kuklane, Kalev – Gao, Chuansi – Holmér, Ingvar. 2011. Effect of temperature difference between manikin and wet fabric skin surfaces on clothing evaporative resistance: how much error is there? Berlin. Springer-Verlag.
5. Programmable logic controller. 2013. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller. [Hakupäivä 6.3.2013](#).
6. Simatic S7-1200 Brochure. 2010. Siemens AG.
7. Simatic S7-1200 System Manual. 2011. Siemens.
8. AC500-eCo. 2013. ABB. Saatavissa:
<http://www.abb.com/product/ap/seitp329/CF453A4A3B893FC0C12575DE0030B6B4.aspx>. [Hakupäivä 6.3.2013](#).

9. Miten AC500-eCo parantaa menestystäsi? 2013. ABB. Saatavissa:
<http://www.abb.com/product/ap/seitp329/b7668ec7e5cbce1dc125777d0026ca62.aspx>. Hakupäivä 6.3.2013.
10. AC500-eCo CPUs. 2013. ABB. Saatavissa:
[http://www02.abb.com/global/deabb/deabb201.nsf/0/731caff319baf5c3c125779d00414da3/\\$file/2CDC125116D0201+2010-09-03.pdf](http://www02.abb.com/global/deabb/deabb201.nsf/0/731caff319baf5c3c125779d00414da3/$file/2CDC125116D0201+2010-09-03.pdf). Hakupäivä 6.3.2013.
11. Iwaki EWN-R Manual. 2008. IWAKI CO. Saatavissa:
<http://www.iwaki-pumps.com.au/manuals/EWN-R%20IOM%20T683-2.pdf>. Hakupäivä 6.3.2013.
12. Diaphragm pump. 2013. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Diaphragm_pump. Hakupäivä 6.3.2013.
13. VCW Series. 2013. SMC. Saatavissa:
[http://www.smc.eu/portal/NEW_EBP/03\)Process_Valve/3.2\)Process_Valve/o\)VCW20_30_40/VCW_EU.pdf](http://www.smc.eu/portal/NEW_EBP/03)Process_Valve/3.2)Process_Valve/o)VCW20_30_40/VCW_EU.pdf). Hakupäivä 6.3.2013.
14. KQ2 Series. 2013. SMC. Saatavissa:
http://www.smcaus.com.au/files/products/KQ21277962105_1.pdf. Hakupäivä 6.3.2013.
15. TU Series. 2013. SMC. Saatavissa:
http://content2.smcetech.com/pdf/TU_US.pdf. Hakupäivä 6.3.2013.
16. JLC. 2010. Vetek. Saataivssa:
<http://www.finvaaka.fi/download/pdf/180/DATASHEET-JCL.pdf>. Hakupäivä 6.4.2013

Hikoilevan lämpönuken vedensyöttöjärjestelmä

Tislaamaton vesi

Testauspöytäkirja 30.1.2013

225g	Tankin vesi alussa	2314,2 g
Stroke Length 100%	Tankin vesi lopussa	2085,6 g
Kierroksia 35		228,6 g
1/kierros		6,531429 g

450g	Tankin vesi alussa	2314,2 g
Stroke Length 100%	Tankin vesi lopussa	1858,9 g
Kierroksia 70		455,3 g
1/kierros		6,504286
Kierrosmääräksi 69		

900g	Tankin vesi alussa	2314,2 g
Stroke Length 100%	Tankin vesi lopussa	1411,4 g
Kierroksia 140		902,8 g

225g ajo useaan kertaan	Mitattu vesimäärä	Erotus
	2314,2	
	2085,6	228,6
	1858,9	226,7
	1633,9	225
	1411,4	222,5
		902,8 g

Syötetään 902,8g

14 astiaa, kuivapaino

	Mitattu vesimäärä	Erotus
Astia 1 (152,8g)	219	66,2
Astia 2 (169,6g)	234,8	65,2
Astia 3 (177,6g)	245	67,4
Astia 4 (153,3g)	217,2	63,9
Astia 5 (138,3g)	202,9	63,7
Astia 6 (162,8g)	224,5	61,7
Astia 7 (94,6g)	163,1	68,5
Astia 8 (177,5g)	239,5	62
Astia 9 (120,0g)	181,4	61,4
Astia 10 (97,7g)	167,2	69,3
Astia 11 (97,1g)	164,2	67,1
Astia 12 (223,8g)	286,4	62,6
Astia 13 (175,4g)	235,7	60,3
Astia 14 (138,3g)	199,9	61,6
		900,9 g

900g	Tankin vesi alussa	2327,1 g
Stroke Length 100%	Tankin vesi lopussa	1414,3 g
Kierroksia 140		912,8 g

1-7 venttiileiden alla 2 rautapalikkaa

Syötetään 912,8g

14 astiaa, kuivapaino	Mitattu vesimäärä	Erotus
Astia 1 (152,8g)	214,8	62
Astia 2 (169,6g)	230,7	61,1
Astia 3 (177,6g)	251,3	73,7
Astia 4 (153,3g)	218,7	65,4
Astia 5 (138,3g)	203,8	65,5
Astia 6 (162,8g)	229,7	66,9
Astia 7 (94,6g)	164	69,4
Astia 8 (177,5g)	239,5	62
Astia 9 (120,0g)	182,2	62,2
Astia 10 (97,7g)	168,8	71,1
Astia 11 (97,1g)	165	67,9
Astia 12 (223,8g)	288,3	64,5
Astia 13 (175,4g)	234,9	59,5
Astia 14 (138,3g)	199,4	61,1
		912,3 g

Testauspöytäkirja 6.2.2013
Tislattu vesi

Stroke Length 100%	Tankin vesi alussa	2310,9 g
Kierroksia 140	Tankin vesi lopussa	1535,4 g
		775,5 g

14 astiaa, kuivapaino	Mitattu vesimäärä	Erotus
Astia 1 (152,8g)	210,9	58,1
Astia 2 (169,6g)	226,3	56,7
Astia 3 (177,6g)	235,8	58,2
Astia 4 (153,3g)	205,3	52
Astia 5 (138,3g)	192,7	54,4
Astia 6 (162,8g)	218,9	56,1
Astia 7 (94,6g)	154	59,4
Astia 8 (177,5g)	230,1	52,6
Astia 9 (120,0g)	175,2	55,2
Astia 10 (97,7g)	154,6	56,9
Astia 11 (97,1g)	152,3	55,2
Astia 12 (223,8g)	276,3	52,5
Astia 13 (175,4g)	226	50,6
Astia 14 (138,3g)	189,9	51,6