

Marko Taponen

Festo EDS Solar Thermal LabVolt Series -koelaitteiston käyttöönotto ja käyttökokeemuk- set

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

18.4.2017

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Marko Taponen Festo EDS Solar Thermal LabVolt Series -koelaitteiston käyttöönnotto ja käyttökokemukset 46 sivua + 4 liitettä 18.4.2017
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tuotantopainotteinen
Ohjaajat	lehtori Seppo Innanen projekti-insinööri Harri Hakala
<p>Insinöörityön tarkoituksena oli käyttöönottaa ammattikorkeakoulu Metropolian hankkima Festo EDS Solar Thermal LabVolt Series -koelaitteisto ja raportoida siitä saaduista käyttökokemuksista. Laitteistolla voidaan havainnollistaa erilaisia aurinkolämmöllä hyödynnettäviä lämmitysjärjestelmiä. Käyttökokemusten pohjalta luodaan toimivat käyttöohjeet Metropolian henkilökunnan opetuskäyttöön.</p> <p>Työssä esitellään koelaitteisto ja sen osat sekä analysoidaan Multi Loop Systems -kirjassa esitetyt tehtävät. Laitetoimitukseen kuuluu kolme englanninkielistä opetuskirjaa, jotka sisältävät yhdeksän tehtävää. Tehtävissä rakennetaan lämmitysjärjestelmä ja mitataan 30 minuutin ajan sen toimintaa. Käyttökokemukset käydään läpi koemittauksissa ilmenneiden asioiden pohjalta. Koemittaukset suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulussa, Leppävaarassa helmi- ja maaliskuussa 2017 yhdessä Mikko Heinon kanssa, joka kertoo insinöörityössään erilaisista aurinkolämpöjärjestelmistä Suomessa sekä analysoi Solar Thermal Energy Systems -kirjassa esitetyjä tehtäviä.</p> <p>Koelaitteiston käyttöönotto onnistui hyvin, ja mittauksia päästiin suorittamaan nopeasti. Ensimmäisissä mittauksissa kuitenkin huomattiin, ettei järjestelmän vettä kierrättävää kiertovesipumppua saatu toimimaan tasaisesti ja sen toiminta-asetuksiin jouduttiin tekemään muutoksia. Muutoksien jälkeen mittaukset saatiin suoritettua ja tuloksia voitiin arvioida paremmin. Suurimmat ongelmat mittauksissa oli kiertovesipumpun toiminta, joka kaipaa vielä lisäselvityksiä.</p> <p>Tämä työ ja henkilökuntaa varten luodut laitteiston käyttöohjeet helpottavat opiskelijaa ja ohjaajaa laitteiston esittelyssä ja kirjoissa esitettyjen tehtävien tekemisessä.</p>	
Avainsanat	Festo, LabVolt, aurinkoenergia, lämmitysjärjestelmä, käyttöönnotto, käyttökokemukset

Author Title	Marko Taponen Introduction to and user experiences of the Festo EDS Solar Thermal Labvolt Series training system
Number of Pages Date	46 pages + 4 appendices 18 April 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Production orientation
Instructors	Seppo Innanen, Senior Lecturer Harri Hahkala, Project Engineer
<p>The purpose of this Bachelor`s thesis was to commission the Festo EDS Solar Thermal LabVolt Series training system, used to introduce various heating systems using solar heat, and to report any observations to the staff of Metropolia University of Applied Sciences. The observations were used when creating a set of instructions for the system.</p> <p>The thesis introduced the training systems and its components, and analyzed and performed the training tasks described in the workbooks included in the delivery of the system. The tasks comprised the construction and measurements of several systems.</p> <p>The first measurement showed that the circulation pump did not work correctly in auto-mode. Therefore, some changes were done in for example the system settings. This resulted in better measurements and an easier evaluation of results. However, the circulation pump still need to be looked into. This thesis and instructions for the tasks helps students and teachers to introduce the training system and makes it easier to conduct the tasks.</p>	
Keywords	Festo, Labvolt, solar thermal, heating system, introduction, user experiences

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	EDS Solar Thermal LabVolt Series	2
2.1	Introduction to Solar Thermal Energy -kirja	4
2.2	Solar Thermal Energy Systems -kirja	4
2.3	Multi-Loop Systems -kirja	5
3	Työskentelyaseman komponenttien esittely	6
3.1	Aurinkokeräin	6
3.2	Varaaja	7
3.3	Elektroninen paneeli	8
3.3.1	Differentiaalisäädin	9
3.3.2	Termostaattisäädin	10
3.4	Levylämmönsiirrin	11
3.5	Varoventtiili	11
3.6	Kytkenäletkut	12
3.7	Takaiskuventtiili	13
3.8	Paisunta-astia	13
3.9	Kiertovesipumppu	14
3.10	Lämpötila-anturi	15
3.11	Painemittari	16
3.12	Automaattinen ilmanpoistin	17
3.13	Täyttöastia	17
3.14	Sulkuventtiili	18
3.15	Virtausmittari	18
3.16	Lattialämmityselementti	19
3.17	Lämminilmapuhallin	19
3.18	Halogeenilamput	20
4	Koejärjestelyt	21
4.1	Esimerkki: suljettu 2-piirinen lämmitysjärjestelmä lämpövarastolla	21
4.1.1	Asennus	22

4.1.2	Mittaukset	24
5	Multi-Loop Systems -kirjan tehtävien esittely ja tulosten tarkastelu	26
5.1	Suljettu 2-piirinen lämmitysjärjestelmä lämpövarastolla	27
5.2	Suljettu 2-piirinen lattialämmitysjärjestelmä lämpövarastolla tai ilman	30
5.3	Suljettu 2-piirinen lämminilmapuhallinlämmitysjärjestelmä lämpövarastolla tai ilman	33
5.4	Suljettu 2-piirinen takaisinvirtausjärjestelmä	35
5.5	Suljettu 2-piirinen yhdistettyjärjestelmä	39
6	Käyttökokemukset	41
7	Yhteenveto	44
	Lähteet	46
	Liitteet	
	Liite 1. Komponentit	
	Liite 2. Säätyksikön oletusasetukset	
	Liite 3. Grundfos Alpha1 -kierrätyspumppu	
	Liite 4. Mittauksista otettuja kuvia	

Lyhenteet

°C	Lämpötilan yksikkö celsius.
bar	Paineen yksikkö baari. 1 bar = 100 000 Pa
fluidi	Yleisnimitys väliaineelle. Fluideja ovat pääasiassa nesteet, kaasut ja plasmat.
GPM	Gallons per minute = gallonia minuutissa.
kPa	Paineen yksikkö, kilopascal.
l	Tilavuuden yksikkö litra. 1 l = 1 dm ³
LPM	Liters per minute = litraa minuutissa.
m ²	Pinta-alan yksikkö neliometri.
psi	Pounds per inch.
W	Tehon yksikkö watti.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on kertoa Feston valmistamasta EDS Solar Thermal LabVolt Series -koelaitteiston käyttöönotosta ja siitä saaduista käyttökokemuksista. Laitteistolla voidaan havainnollistaa erilaisia aurinkolämmöllä hyödynnettäviä lämmitys-järjestelmiä. Laitteisto on tilattu Metropolia Ammattikorkeakouluun, ja koulun henkilökunta haluaa kokemuksia laitteen toimivuudesta ja soveltuvuudesta opetuskäyttöön. Koulun henkilökunnalle luodaan koejärjestelyistä toimivat ja testatut käyttöohjeet.

Laitetoimitus sisältää koelaitteiston lisäksi kolme englanninkielistä opetuskirjaa, joista Solar Thermal Energy Systems- ja Multi-Loop Systems -kirjat käsittävät yhteensä yhdeksän koetehtävää. Introduction to Solar Thermal Energy -kirja esittelee laitteiston ja sen komponentit sekä kertoo teoriatietoa aurinkolämmöstä. Kokeet suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulussa, Leppävaarassa helmi- ja maaliskuussa 2017 yhdessä Mikko Heinon kanssa, joka kertoo insinööriyössään erilaisista aurinkolämpöjärjestelmistä Suomessa sekä analysoi Solar Thermal Energy Systems -kirjassa esitetyt koetehtävät. Tässä insinööriyössä analysoidaan Multi-Loop Systems -kirjan tehtävät.

Festo toimittaa ja kouluttaa automaatioteknologiaa maailmanlaajuisesti. Perheyrityksen toiminta on saanut alkunsa 1925 Saksassa puuntyöstökoneista. 1957 perustettiin Festo Pneumatic (Festo Industrial Automation), johon kuului pneumatiikan ja elektroniikan automaatiokomponentit ja järjestelmät. Festo Didactic perustettiin vuonna 1965 tuottamaan automaatiokoulutusta ja koulutusjärjestelmiä. Suomeen Festo Oy perustettiin 1977. Festo toimii globaalisti 186 maassa ja henkilökuntaa on noin 15 000, Suomessa noin 50.

Festo Didactic SE on kansainvälinen, koulutukseen, konsultointiin ja opetussisältöjen sekä oppimisympäristöjen kehittämiseen ja valmistamiseen erikoistunut yritys. Festo Didacticin tuotteita käytetään toisen asteen oppilaitoksissa, aikuiskoulutuksessa, ammattikorkeakouluissa ja yliopistoissa. Festo Didactic laajeni vuonna 2014, kun se osti LabVolt-nimisen kanadalaisen yrityksen, joka valmistaa ympäristöön ja uusiutuviin energioihin liittyviä tuotteita.

2 EDS Solar Thermal LabVolt Series

EDS Solar Thermal (kuva 1) on laite, jolla pystytään simuloimaan erilaisia aurinkoenergialla tuotettuja lämmitysjärjestelmiä. Laitteen avulla voidaan erilaisia koemittauksia tehdessä havainnollistamaan lämmitysjärjestelmien rakennetta ja niiden rakentamiseen tarvittavien komponenttien tehtäviä. Sopiva työryhmä koemittauksien suorittamiseen on 2 – 3 henkilöä. Yhden koetehtävän tekemiseen kuluu aikaa noin 1,5-2 tuntia.

Työskentelyaseman etupuoli on tarkoitettu erilaisten komponenttien kiinnittämistä varten. Komponenttien kiinnittäminen ja paikan vaihtaminen on tehty vaivattomaksi lukitussalpa kääntämällä. Komponentit liikkuvat joko sivuttais- tai pitkittäissuunnassa asettuessaan paikoilleen työskentelyasemalle. Komponentit kytketään toisiinsa kytkentäletkujen avulla.

Laitteen takapuolelle on asennettu aurinkokeräin, jossa järjestelmässä kiertävä vesi lämmitetään. Keräintä lämmitetään toimitukseen kuuluvilla kahdella halogeenilampulla, jotka demonstroivat auringon lämpöenergiaa. Kuvassa 1 keräimen alapuolella oikealla on varaaja ja vasemmalla asennusletkujen säilytyslaatikko.



Kuva 1. EDS Solar Thermal -työskentelyasema [1].

Laitetoimitus sisältää laitteen ja sen komponenttien lisäksi kolme opetukseen tarkoitettua englanninkielistä kirjaa:

- Introduction to Solar Thermal Energy
- Solar Thermal Energy Systems
- Multi-Loop Systems

Opetuskirjojen koetehtävät esitellään luvussa 4 *Koejärjestelyt*. Seuraavassa on esitelty opetuskirjojen sisältö.

2.1 Introduction to Solar Thermal Energy -kirja

Kirjassa esitellään yksitellen kaikki toimituksessa tulevat komponentit ja niiden tehtävät. Lisäksi kirjaan on koottu teoreettista tietoa mittauksen suorittamisesta sekä auringosta ja siitä, miten auringosta säteilevää lämpöä hyödynnetään rakennuksissa. Teoreettisten tietojen ohkeen on lisätty laskutehtäviä sekä kysymyksiä, joihin on annettu valmiit vastaukset.

2.2 Solar Thermal Energy Systems -kirja

Kirjaan on koottu neljä yksinkertaisempaa, vähemmän komponentteja tarvitsevaa kytkentää, joissa neste (vesi) kiertää ainoastaan primääripiirissä. Ennen jokaista mittauksia on kerrottu teoretista tietoa mittaukseen rakennettavasta järjestelmästä. Toimitukseen kuuluu lämminilmapuhallin- sekä lattialämmityselementti, joilla siirretään lämpimästä vedestä haihtuva lämpö ilmaan.

Järjestelmän rakentaminen ja mittauksien suorittaminen ohjeistetaan kirjassa selkeästi vaihe vaiheelta. Eri vaiheiden jälkeen kirjaan on saatettu lisätä varoitushuomioita tai lisätietoja toimenpiteeseen liittyen. Mittauksien jälkeen kirjaan on koottu kysymyksiä järjestelmästä ja mittauksesta.

Kirjan loppuun on koottu seitsemän liitettä, jotka avustavat mittausten suorittamisessa (nämä liitteet eivät ole tämän insinöörinäytetyön liitteissä):

- Liite A: *Komponenttitaulukko*, kertoo eri mittauksissa tarvittavat komponentit.
- Liite B: *Turvallisuusmenetelmät*, listaus ennen mittausten aloittamista tehtävistä toimenpiteistä.
- Liite C: *Järjestelmän täyttö- ja tyhjennysmenetelmät*, ohjeistus järjestelmän täytöstä, tyhjennyksestä, puhdistuksesta sekä huollosta.
- Liite D: *Piirrosmerkit*, taulukko kytkentäkaavioiden piirrosmerkeistä.
- Liite E: *Vianetsintä*, listaus toimenpiteistä, mikäli järjestelmä ei toimi.
- Liite F: *Sähkökytkennät*, ohjeistus mittauksissa tehtävistä sähkökytkennöistä.
- Liite G: *Tarkistuslista*, taulukko ohjaajan tarkistuslistasta ennen mittausten aloittamista.

2.3 Multi-Loop Systems -kirja

Kirjaan on koottu viisi monimutkaisempaa mittausta, joissa primääripiirin lisäksi järjestelmässä on toinen piiri, sekundääripiiri. Tässä kirjassa esitetyt järjestelmät ovat käytännöllisempiä Suomen sääolosuhteisiin. Primääri- ja sekundääripiireissä kiertävät nesteet eivät sekoitu keskenään, vaan primääripiirissä kiertävästä nesteestä lämpö siirretään sekundääripiirin nesteeseen levylämmönsiirtimen tai varaajassa sijaitsevan kuparikierukan välityksellä. Mittaukset noudattavat samaa kaavaa kuin Solar Thermal Energy Systems -kirjassa esitetyt mittauksetkin, mutta ovat hieman työteliäämpiä suorittaa. Kirjan lopussa on samat liitteet, mutta liite G on jätetty pois. Tämän työn luvussa 4 Koeejärjestelyt-otsikon alla on kuvattu yksi Multi-Loop Systems -kirjan tehtävä tarkemmin sekä kaikki muut koetehtävät nimeltä.

3 Työskentelyaseman komponenttien esittely

Seuraavassa on esitelty työskentelyaseman komponentit ja niiden tehtävät. Komponenteista on koottu kuvien kera taulukko liitteeseen 1.

3.1 Aurinkokeräin

Aurinkokeräin (kuva 2) muuntaa säteilyenergian lämpöenergiaksi ja siirtää sen aurinkokeräimessä kiertävään fluidiin. Aurinkokeräimen sisäänmeno on varustettu sulkuventtiilillä ja ulostulo takaiskuventtiilillä. Lämpötila mitataan keräimen ulostulosta. Keräinpinta-ala on 0,96 m² ja tilavuus 0,60 l.

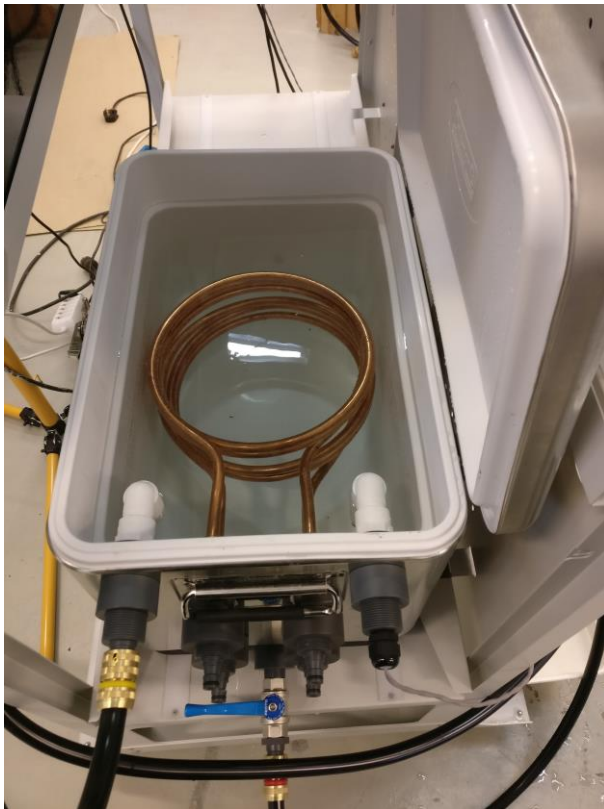


Kuva 2. Aurinkokeräin [2, s. 12].

3.2 Varaaja

Varaaja (kuva 3) on ruostumattomasta teräksestä valmistettu lämpöeristetty astia, joka pystyy varastoimaan noin 51 l vettä. Mittauksia varten varaaja täytetään noin 38 l:lle vettä. Varaaja sisältää kaksi kuparikierukkaa, jotka toimivat lämmönsiirtiminä. Niiden avulla nesteet eivät sekoitu keskenään vaan lämpö siirtyy varaajassa olevaan nesteeseen kuparikierukasta säteilemällä.

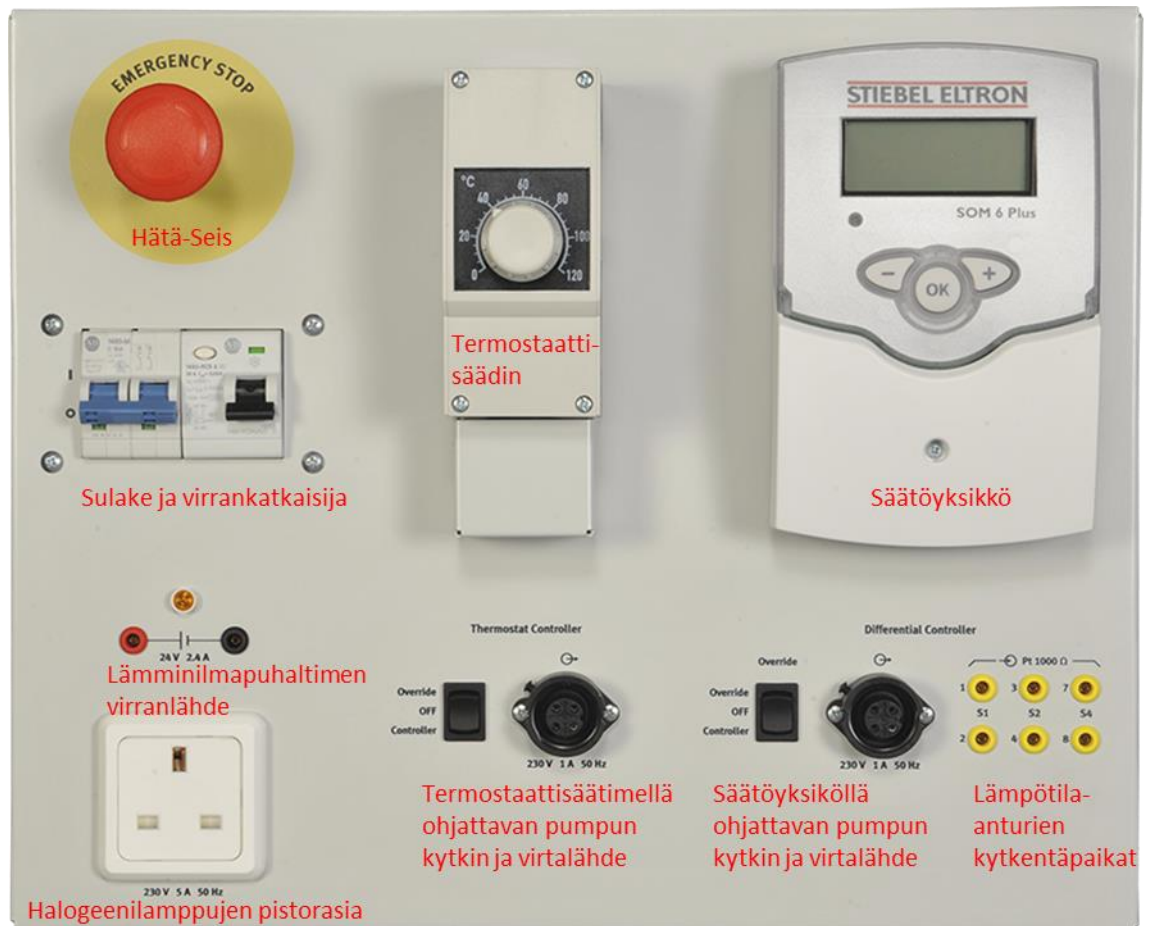
Varaaja sisältää myös paluuyhteen, tyhjennysventtiilin ja nesteen lämpötila-anturin, joka mittaa varaajan nesteen pinnan lämpötilan. Lämpötila on luettavissa säätöyksiköltä. Tyhjennysventtiili toimii monissa mittauksissa järjestelmän syöttönä, ja vesi palaa varaajaan järjestelmän kierrettyään paluuyhteen kautta.



Kuva 3. Varaaja, jonka sisällä kaksi kuparikierukkaa.

3.3 Elektroninen paneeli

Elektroninen paneeli (kuva 4) sisältää hätä-seis-painikkeen, sulakkeen ja virrankatkaisijan, termostaatti- ja differentiaalisäätimen ja niiden virranlähteet ja kytkimet, lämminilmapuhaltimen virranlähteen sekä halogeenilamppujen pistorasian. Lämpötila-anturit kytketään paneelin paikoille S1, S2 ja S4.



Kuva 4. Elektroninen paneeli.

3.3.1 Differentiaalisäädin

Digitaalista säätöyksikköä (kuva 5) käytetään kiertovesipumpun toiminnan ohjaamiseen. Pumppua ohjattaessa säätöyksikön avulla tulee kytkimen olla Controller-asennossa. Pumppu ohjautuu säätöyksikköön asetettujen toimintapisteiden mukaisesti, joita voidaan tarvittaessa muuttaa ”-”, ”+” ja ”OK” -painikkeilla. Säätimellä voidaan ohjata vain toista pumppua. Säätöyksikkö mahdollistaa aurinkokeräimen sekä varaajan lämpötilojen luvun samanaikaisesti, kun ne on kytketty paneeliin niille kuuluville paikoille. Pumppu ohjautuu näiden komponenttien lämpötilamittauksen mukaan. Oletusasetuksilla pumppu käynnistyy, kun varaajan ja aurinkokeräimen lämpötilaero on 6,7 °C. Säätöyksikön oletusasetukset on esitetty liitteessä 2.

Pumppua voi ohjata niin sanotusti käsikäytöllä, kun säätöyksikön kytkin on Override-asennossa. Pumppua ohjataan tällöin pumpun painikkeesta. Kytkimen ollessa OFF-asennossa pumppu ei pyöri.



Kuva 5. Digitaalinen säätöyksikkö [1].

3.3.2 Termostaattisäädin

Kierrätyspumppua voidaan ohjata myös termostaattisäätimen avulla. Termostaattisäädin (kuva 6) ohjautuu oleskelutilan lämpötilan mukaisesti. Termostaattisäätimeen asetetaan manuaalisesti haluttu lämpötila, jolloin pumppu pyörii niin kauan, kunnes asetettu lämpötila saavutetaan. Toimintapiste voidaan asettaa pyörittämällä termostaattisäätimen rullaa. Pumppua ohjattaessa termostaattisäätimen avulla kytkimen tulee olla Controller-asennossa.



Kuva 6. Termostaattisäädin [1].

3.4 Levylämmönsiirrin

Levylämmönsiirtimellä (kuva 7) siirretään lämpöenergiaa fluidista toiseen. Nesteet eivät sekoitu keskenään vaan lämpöä siirretään kuparipronssisten levyjen välityksellä. Lämmityssiirto pinta-alaa on 0,12 m² ja tilavuutta 0,11 litraa.



Kuva 7. Levylämmönsiirrin [1].

3.5 Varoventtiili

Laitetoimitus sisältää kaksi järeää 125 psi eli noin 8,5 bar:n paineessa avautuvaa varoventtiiliä (kuva 8), jotka ovat kiinteästi asennettu työskentelyasemalle vasempaan ja oikeaan reunaan. Varoventtiilin tehtävä on varmistaa, ettei suljetussa järjestelmässä verkoston sisällä kiertävän nesteen paine nouse liian korkeaksi. Ylimääräinen paine poistuu varoventtiiliin asennetun juoksuputken kautta, kun verkoston paine ylittää sallitun rajan. Koemittauksissa ei ole vaaraa painerajan ylittymiselle, ja verkosto toimisi hyvin ilman niitäkin, mutta ne on lisätty työskentelyasemalle kuvaamaan oikeaa lämmitysjärjestelmää.



Kuva 8. Varoventtiili [1].

3.6 Kytkentäletkut

Kytkentäletkut (kuva 9) on tarkoitettu kytkentöjen tekemiseen komponenttien välille. Kytkentäletkujen päät on varustettu yksisuuntaventtiileillä vuotojen ehkäisemiseksi. Koemittauksia tehdessä ohjeistetaan käyttämään mahdollisimman lyhyitä letkuja.

Letkuja on neljää eri pituutta, jotka on myös merkitty väripannoilla erikseen:

- 30 cm sininen
- 60 cm vihreä
- 90 cm keltainen
- 180 cm punainen.



Kuva 9. Kytkentäletkut [1].

3.7 Takaiskuventtiili

Takaiskuventtiili (kuva 10) varmistaa, että järjestelmän neste kiertää vain yhteen suuntaan. Takaiskuventtiili estää esimerkiksi luonnonkierron avulla varaajan jäähtymisen yöaikaan. Takaiskuventtiilin molemmille puolille on asennettu kaksi tyhjennysventtiiliä, joista järjestelmä voidaan tyhjentää. Tyhjennysventtiilien yläpuolella on letkujen kytkentäpaikat, joista järjestelmän voi vaihtoehtoisesti täyttää tai puhdistaa.



Kuva 10. Takaiskuventtiili asennettuna kahden tyhjennysventtiilin väliin [1].

3.8 Paisunta-astia

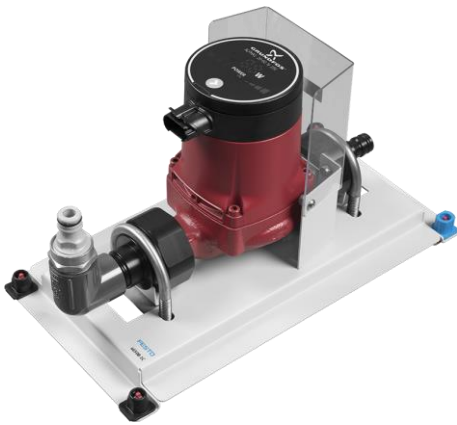
Lämpötilan noustessa veden tilavuus kasvaa lämpölaajenemisen johdosta. Suljettuun järjestelmään asennetaan paisunta-astia (kuva 11), jossa ei ole normaaliin tapaan kumikalvoa. Paisunta-astian tilavuus on 7,95 litraa, ja se pystyy varastoimaan vettä 4,16 litraa. Laitetoimitukseen kuuluu kaksi paisunta-astiaa.



Kuva 11. Paisunta-astia [1].

3.9 Kiertovesipumppu

Toimitukseen kuuluu kaksi helppokäyttöistä Grundfos Alpha1 -kiertovesipumppua (kuva 12), jotka on tarkoitettu käyttöveden kierrätykseen ja lämmitysjärjestelmiin. Kaksi pumppua mahdollistaa Multi-Loop Systems -kirjassa esitettyjen koemittausten teon. Pumppu sisältää vain yhden napin, jolla pystytään säätämään pumppua vakionopeuden, -paineen tai suhteellisen paineen mukaan (kuva 13). Pumpun tarkemmat tiedot on lisätty liitteeseen 3.

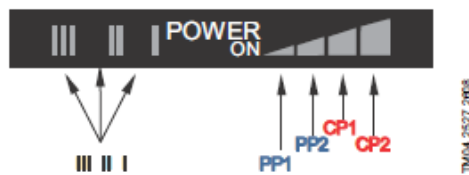


Kuva 12. Kiertovesipumppu [1].

7.4 Pumpun asetuksen ilmaisevat merkkivalot

Pumpussa on seitsemän valinnaista asetusta, jotka voidaan valita painikkeella. Katso kuva 8, nro 4.

Pumpun asetus ilmaistaan seitsemällä eri merkkivalolla. Katso kuva 9.



Kuva 9 Seitsemän merkkivaloa

Painikkeiden painallusmäärä	Merkkivalo	Kuvaus
0	PP2 (tehdasasetus)	Ylin suhteellinen painekäyrä
1	CP1	Alin vakiopainekäyrä
2	CP2	Ylin vakiopainekäyrä
3	III	Vakionopeus, nopeus III
4	II	Vakionopeus, nopeus II
5	I	Vakionopeus, nopeus I
6	PP1	Alin suhteellinen painekäyrä
7	PP2	Ylin suhteellinen painekäyrä

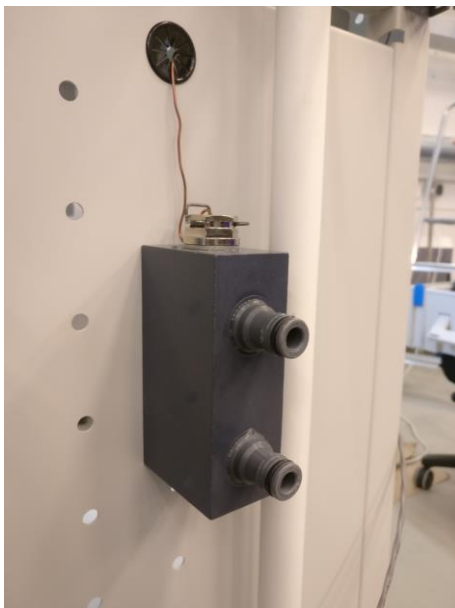
Kuva 13. Liitteestä 3 kaapattu kuva pumpun asetuksien ilmaisevista merkkivaloista.

3.10 Lämpötila-anturi

Verkoston lämpötilaa voidaan seurata digitaaliselta säätöyksiköltä kolmella elektronisella lämpötila-anturilla (kuva 14), ja yhdellä mekaanisella anturilla (kuva 15), joka on kytketty termostaattisäätimeen. Nesteen lämpötila mitataan sen kuljettua aurinkokeräimen läpi. Keräimen jälkeinen lämpötilamittaus, kytketään elektronisen paneelin paikkaan S1. Varaajassa olevan nesteen lämpötilamittaus kytketään paikkaan S2. Kuvan 12 lämpötila-anturi kytketään paikkaan S4. Sähkökytkennöistä on opetuskirjoihin lisätty ohjeet liitteeseen F.



Kuva 14. Lämpötila-anturi [1].



Kuva 15. Termostaattisäätimen mittaus.

Laitetoimitukseen kuuluu myös kaksi analogista lämpötilamittaria (kuva 16), joista nesteen lämpötilan näkee joko celsius- tai fahrenheit asteina.



Kuva 16. Lämpötilamittari [1].

3.11 Painemittari

Painemittarilla (kuva 17) voidaan mitata verkoston paine komponenttien, sulkuventtiileiden ja virtausmittareiden, kohdista, joihin on lisätty paineletkulle kytkentäpaikat. Mittari on kalibroitu näyttämään paineen lukema kilopascaleina (kPa) tai lukemana paaunaa neliötuumaa kohden (psi).



Kuva 17. Painemittari [1].

3.12 Automaattinen ilmanpoistin

Ilmanpoistin (kuva 18) asennetaan järjestelmän korkeimpaan kohtaan poistamaan verkostosta ylimääräinen ilma. Järjestelmän komponentit toimivat tehokkaammin, eivätkä sähköiset laitteet pääse ylikuumentumaan. Ilma on itsessään eriste, ja se haittaa lämmönsiirtimien ja pumppujen toimintaa.



Kuva 18. Automaattinen ilmanpoistin [1].

3.13 Täyttöastia

Verkostoon voidaan lisätä painetta kaatamalla kannusta suppiloon vettä ja avaamalla venttiili, jolloin täyttöastia (kuva 19) toimii myös manuaalisena ilmanpoistimena. Verkostoon jäänyt ilma poistuu kuplimalla suppilon kautta, jolloin suppilossa oleva vesi korvaa sen.



Kuva 19. Täyttöastia [1].

3.14 Sulkuventtiili

Sulkuventtiilit (kuva 20) mahdollistavat tarpeen mukaan komponenttien vaihdon ilman, että tarvitsee koko verkostoa tyhjentää. Venttiilin molemmilta puolilta on mahdollisuus mitata paine, kun se liitetään paineletkulla painemittariin. Laitetoimitukseen kuuluu kaksi sulkuventtiiliä.



Kuva 20. Sulkuventtiili [1].

3.15 Virtausmittari

Virtausmittari (kuva 21) näyttää verkoston virtauksen nopeuden. Mittarin sisällä oleva vaaka osoittaa virtausnopeuden nesteen kulkiessa mittarin läpi. Verkostoon mahdollisesti jumiutuneet ilmakuplat ja epäpuhtaudet havaitaan mittarin kohdalta. Virtausnopeuden yksikkönä käytetään litraa minuutissa (LPM) tai gallonia minuutissa (GPM). Mittausasteikko näyttää 0,76-7,6 LPM.



Kuva 21. Virtausmittari [1].

3.16 Lattialämmityselementti

Lattialämmityselementissä (kuva 22) on 412 cm^2 lämmityspinta-alaa, joka koostuu ke-
raamisen laatan päälle asennetusta kupariputkistosta. Lattialämmitys toimii lämmönsiir-
timen tavoin lattialämmityspotkien lämmittäessä ensin lattian pintaa, josta lämpö siirtyy
ympäröivään ilmaan.



Kuva 22. Lattialämmityselementti [1].

3.17 Lämminilmapuhallin

Lämminilmapuhallin (kuva 23) sisältää $15,2 \text{ cm}^2$:n kennon. Lämmitetty vesi kiertää pu-
haltimen kennossa, josta se siirtyy huoneilmaan. Radiaattorin takapuolelle on asennet-
tu kaksi puhallinta, joiden kautta lämmitetty ilma puhalletaan huoneilmaan. Elektroni-
sessa paneelissa on virransyöttö puhaltimille. Laitetoimitukseen kuuluu pintalämpömit-
tari, joka kiinnitetään magneetilla ulospuhallusaukkojen väliin. Pintalämpömittari mittaa
ulospuhallettavan ilman lämpötilaa.



Kuva 23. Lämminilmapuhallin [1].

3.18 Halogeenilamput

Laitetoimitukseen kuuluu kaksi 500 W:n halogeenilamppua, joilla aurinkokeräintä lämmitetään. Lamput kytketään niille kuuluvaan telineeseen, mikä mahdollistaa lämpöenergian siirtymisen tasaisesti keräimen pintaan (kuva 24).



Kuva 24. Halogeenilamput [2, s. 32]

4 Koejärjestelyt

Solar Thermal Energy Systems -kirja sisältää neljä koetehtävää:

- avoin 1-piirinen veden lämmitys/kierrätysjärjestelmä
- suljettu 1-piirinen radiaattori- tai lattialämmitysjärjestelmä
- suljettu 1-piirinen lämmitysjärjestelmä lämpövarastolla
- suljettu 1-piirinen lämminilmapuhallin- tai lattialämmitysjärjestelmä lämpövarastolla.

Tämän kirjan tehtävien tarkempi kuvaus ja tulosten esittely Mikko Heinon insinööriyössä.

Multi-Loop Systems -kirja sisältää viisi koemittausta:

- suljettu 2-piirinen lämmitysjärjestelmä lämpövarastolla
- suljettu 2-piirinen lattialämmitysjärjestelmä lämpövarastolla tai ilman
- suljettu 2-piirinen lämminilmapuhallinlämmitysjärjestelmä lämpövarastolla tai ilman
- suljettu 2-piirinen takaisinvirtausjärjestelmä (4 variaatiota)
- suljettu 2-piirinen yhdistettyjärjestelmä (3 variaatiota), esimerkiksi sekundääripiirissä lattialämmitys ja lämminilmapuhallin on kytketty sarjaan.

4.1 Esimerkki: suljettu 2-piirinen lämmitysjärjestelmä lämpövarastolla

Seuraavassa kuvataan yhden Multi-Loop Systems -kirjan tehtävän koejärjestelyt tarkemmin. Ennen jokaisen koemittauksen aloittamista kirja kuvailee lyhyesti mittauksen

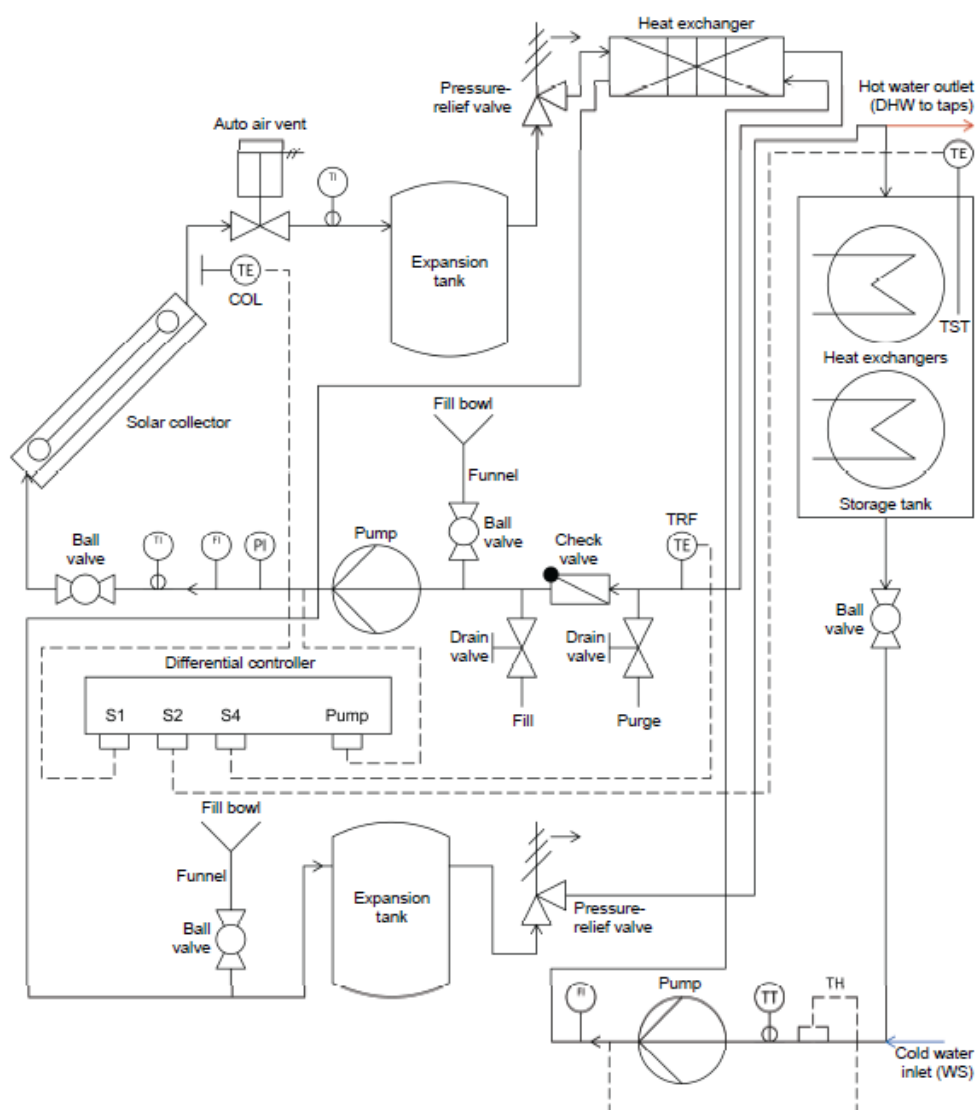
tavoitteen, mitä komponentteja mittauksen suorittamiseen vaaditaan sekä mitkä turvallisuustoimenpiteet tulee ottaa huomioon.

4.1.1 Asennus

Tässä mittauksessa rakennetaan suljettu 2-piirinen lämmitysjärjestelmä, joka sisältää lämmönvarastoinnin. Mittauksien suorittaminen etenee vaiheittain numerojärjestyksessä. Ensimmäisenä on lisätty järjestelmästä kytkentäkaavio (kuva 25).

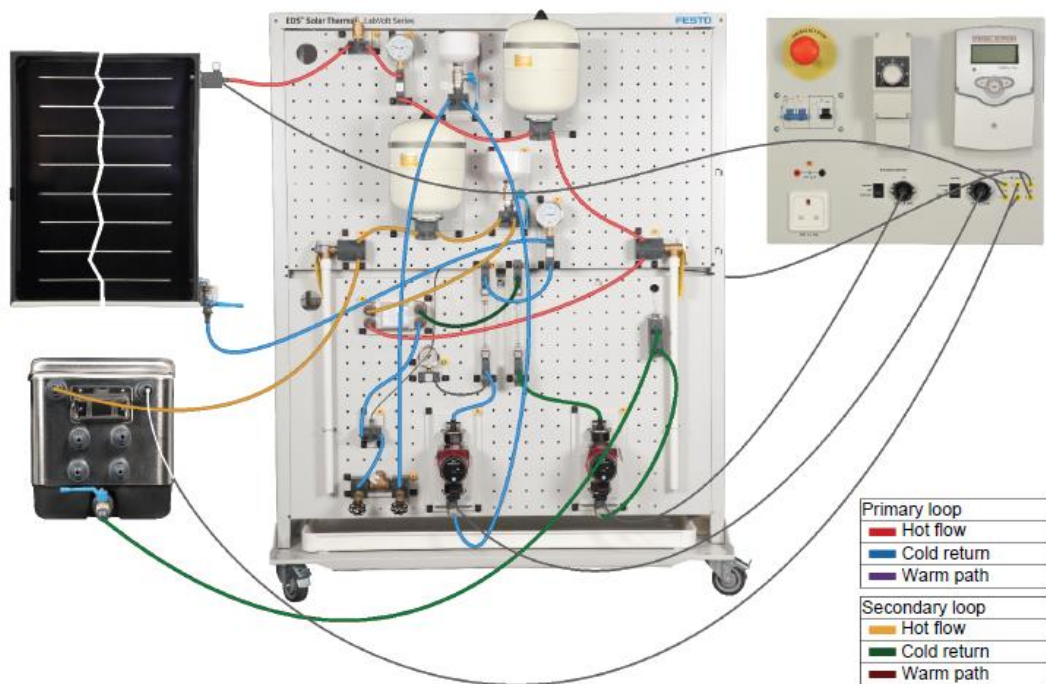
Installation

1. Figure 2 shows an indirect system with thermal storage.



Kuva 25. Suljetun 2-piirisen lämpövaraston sisältämän lämmitysjärjestelmän kytkentäkaavio [3, s. 6].

Kytkentäkaavion avulla voidaan järjestelmä rakentaa työskentelyasemalle, mikä vaatii komponenttien tunnistamista piirrosmerkkien perusteella. Kytkentäkaaviosta nähdään komponenttien kytkentäjärjestys sekä nesteen virtaussuunta. Toisessa kohdassa varmistetaan, että järjestelmään on kytketty oikeat ja oikea määrä komponentteja, minkä lisäksi käyttövalmiista järjestelmästä on otettu kuva (kuva 26).



Kuva 26. Käyttövalmis suljettu 2-piirinen lämmitysjärjestelmä lämpövarastolla [3, s. 8].

Ennen järjestelmän täyttöä vedellä, kohdissa 3 – 6 varmistetaan sähkökytkentöjen oikeellisuus, aurinkokeräimen kulma ja se, että asennusletkujen kytkentä on kytkentäkaavion ja kuvan 26 mukainen. Järjestelmän täyttö ja tyhjennys on ohjeistettu kirjan liitteessä C. Järjestelmä voidaan täyttää usealla eri tavalla. Varaaja tulisi täyttää ensin vedellä noin 38 l, minkä jälkeen loppujärjestelmä voidaan vesittää täyttöastioiden tai -venttiileiden kautta tai pumpun avulla imemällä varaajasta vettä järjestelmään. Varaajaan joudutaan ehkä jälkeinpäin lisäämään vettä.

Suljettua järjestelmää täyttäessä verkostoon jää todennäköisesti ilmaa, jolloin vesi ei pääse virtaamaan järjestelmässä. Virtausmittareiden ja pumppujen lukemat osoittavat, mikäli järjestelmässä ei kierrä vesi kunnolla. Liite C ohjeistaa myös järjestelmän ilmauksessa. Ilmauksen tehtävänä on varmistaa, että verkostossa kiertää ainoastaan vesi, jolloin kiertovesipumput pysyvät toimintakuntoisina. Järjestelmä on tarpeeksi hy-

vin ilmattu, kun virtausmittarin lukema on vähintään 1,9 l/min ja pumpun käyttämä sähköteho on vähintään 30 W. Kohdat 7 – 10 liittyvät järjestelmän täyttämiseen ja ilmaamiseen.

4.1.2 Mittaukset

Kohdassa 11 ennen mittauksien aloittamista tarkistetaan järjestelmässä olevien venttiilien asennot taulukon 1 mukaan.

Taulukko 1. Venttiilien asennot ennen mittauksien aloittamista [3, s. 9]

Valves	States
Automatic air vent	closed
Fill bowl ball valves (2)	closed
Solar collector ball valve	open
Storage tank ball valve	open
Check valve assembly (fill) drain valve	closed
Check valve assembly (purge) drain valve	closed

Pumput ohjautuvat mittauksessa termostaattiin ja säätöyksikköön asetettujen arvojen mukaan. Pumppujen kytkimet tulee olla mittauksien ajan Controller-asennossa (kohta 12). Säätöyksikön asetuksista tulee muuttaa pumpun ohjaus automaatille, mikä ohjeistetaan kohdassa 13. Primääripiirin pumppu ohjautuu tällöin varaajan ja keräimen lämpötilaeron mukaan, joka on oletusasetuksilla 6 °C. Termostaattisäädin tulee asettaa 3 – 6 °C ympäristön lämpötilaa ylemmäksi. Sekundääripiirin pumppu hakeutuu tällöin termostaattisäätimeen asetetun toimintapisteen mukaan. Ympäristön lämpötila ja termostaattiin asetettu toimintapiste merkitään kohtaan 14.

Kun edellä mainitut toimenpiteet on tehty, voi varsinainen mittaus alkaa, jolloin taulukon 2 merkitään mittauspisteiden lähtöarvot.

Taulukko 2. Mittauksen tulokset [3, s. 11]

Device	Values for different measuring times			Units
	Initial	At 15 min	At 30 min	
F1-1 (flow rate)				L/min
PI-1 (pressure)				kPa
F1-2 (flow rate)				L/min
PI-2 (Pressure)				kPa
TI (collector input)				°C
TI (collector output)				°C
TE-S1 (COIL)				°C
TE-S2 (TST)				°C
TE-S4 (TRF)				°C
Floor temperature				°C
Air temperature				°C

Kun arvot on syötetty, voidaan halogeenilamput sytyttää ja säätää oikealle etäisyydelle aurinkokeräimestä (kohta 15). Taulukkoon 2 merkitään tilanteet noin 15 ja 30 minuutin kohdilta (kohdat 16 ja 17). Pumppujen tulee käydä, silloin kun arvoja merkitään taulukkoon. Laitteiston toimintaa tulee tarkkailla koko mittauksen ajan.

Viimeisten arvonsyöttöjen jälkeen kohdat 18 – 21 ohjeistaa järjestelmän sammutuksessa ja tyhjennyksessä. Järjestelmän tyhjennyksestä on ohjeet kirjan liitteessä C. Ohjaaja tarkistaa lopuksi työn ja tulokset (kohta 22). Koemittaus päättyy järjestelmään ja mittaukseen liittyviin kysymyksiin.

5 Multi-Loop Systems -kirjan tehtävien esittely ja tulosten tarkastelu

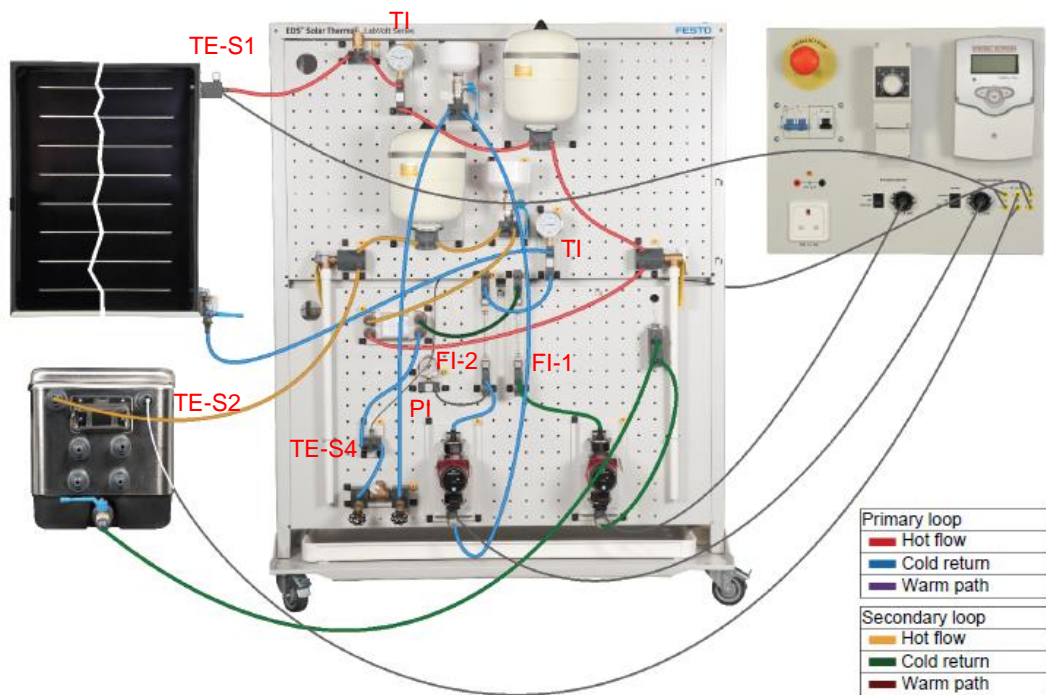
Seuraavassa esitellään Multi-Loop Systems -kirjan tehtävät ja tarkastellaan koemittauksista saadut tulokset. Mikko Heino esittelee insinööriytössään Solar Thermal Energy Systems -kirjan tehtävät ja tulokset. Koululle tehtäviin käyttöohjeisiin luotiin uudet suomennetut tulostaulukot, joita käytetään tässä tulosten esittelyssä.

Multi-Loop Systems -kirjan tehtävissä järjestelmässä on kaksi kiertopiiriä: primääri- ja sekundääripiiri. Molemmat piirit sisältävät kiertovesipumput, jotka kierrättävät piireissä vettä. Piirit eivät sekoitu keskenään, vaan primääripiiristä siirtyy lämpöä sekundääripiiriin nesteeseen joko levylämmönsiirtimen tai varaajan kautta. Primääripiiri kiertää aurinkokeräimen kautta, joten primääripiiriä voidaan kutsua aurinkopiiriksi. Sekundääripiiri kiertää varaajan kautta, joten sitä voidaan kutsua varaajapiiriksi.

Tulostaulukkoon merkittiin lähtötiedot mittauksen alussa (Nyt-sarake) pumppujen ollessa käsikäytöllä, toisin kuin kirja ohjeistaa, koska pumppuja ei saatu toimimaan tasaisesti koko mittauksen ajan. Lähtötiedot kirjattiin pumppujen ollessa käsikäytöllä ja vaihdettiin automaatile, kun halogeenilamput sytytettiin.

5.1 Suljettu 2-piirinen lämmitysjärjestelmä lämpövarastolla

Tehtävä 1 on luvussa 4.1 esitelty esimerkki: suljettu 2-piirinen lämmitysjärjestelmä lämpövarastolla (kuva 27). Kuvaan on merkitty mittauspisteet tulosten lukemisen helpottamiseksi.



Kuva 27. Suljettu 2-piirinen lämmitysjärjestelmä lämpövarastolla mittauspisteineen.

Hyödyt:

- Aurinkokeräimessä lämmitetty neste voidaan ohjata suoraan levylämmönsiirtimelle
- Järjestelmä on jäätymissuojattu.

Haitat:

- Vesi-glykoli liuos voi ylikuumentua, joten se ei sovellu kuumiin sääolosuhteisiin
- Järjestelmä vaatii ohituksen, kun lämmitystä ei tarvita.

Taulukossa 3 on esitelty alkutiedot halogeenilamppujen lukumäärästä sekä säätöyksiköön tehdyistä muutoksista.

Taulukko 3. Koemittauksen alkutiedot.

	Arvo	Yksikkö	Selite
2 x 500 W lamppu	-	-	-
DT 0	4,5	K	Switch on tempature
Alkuperäinen DT 0	6	K	-
DT S	5	K	Nominal Tempature difference
Alkuperäinen DT S	10	K	-

Taulukossa 4 näkyvät mittauksen tulokset. Ensimmäisessä sarakkeessa on mittauspiste (Laite), toisessa sarakkeessa lähtötiedot ennen halogeenilamppujen sytyttämistä (Nyt), kolmannessa ja neljännessä sarakkeessa tulokset 15 ja 30 minuutin kohdalla ja viidennessä sarakkeessa tuloksien yksiköt.

Taulukko 4. Koemittauksen tulokset.

Laite	Nyt	15 min	30 min	Yksikkö
Pumpun teho	-	-	-	W
F1-1 (Virtausnopeus)	1,8	1,7	1,7	L/min
PI-1 (Paine)	42	41	41	kPa
F1-2 (Virtausnopeus)	4,4	4,4	4,5	L/min
PI-2 (Paine)	-	-	-	kPa
TI (Collector input)	10	14	16	°C
TI (Collector output)	12	18	20	°C
TE-S1 (Collector)	17,9	28,4	29,7	°C
TE-S2 (Storage)	18,9	20	21,5	°C
TE-S4 (TRF)	18,9	21,1	22,7	°C
Lattialämmitys	-	-	-	°C
Lämminilmapuhallin	-	-	-	°C

TE-S1-anturi mittaa veden lämpötilan aurinkokeräimen ulostulossa. Mittauksen alussa veden lämpötila on ollut 17,9 °C ja lopussa 29,7 °C. Lämpötila on noussut jo 15 minuutin kohdalla 28,4 °C. Pumppujen ollessa pysähdyksissä aurinkokeräimeen jäävä vesi lämpenee nopeasti. Pumput eivät mittauksen alussa yleensä heti lähteneet pyörimään, jolloin keräimen lämpötila nousi nopeasti.

TE-S2-anturi mittaa veden lämpötilaa varaajan pinnassa. Mittauksen alussa veden lämpötila on ollut 18,9 °C ja lopussa 21,5 °C. Lämpötilan nousu on ollut tasaista ja olisi korkeampi lopussa, mikäli aurinkopiirin pumppu saataisiin toimimaan tasaisemmin.

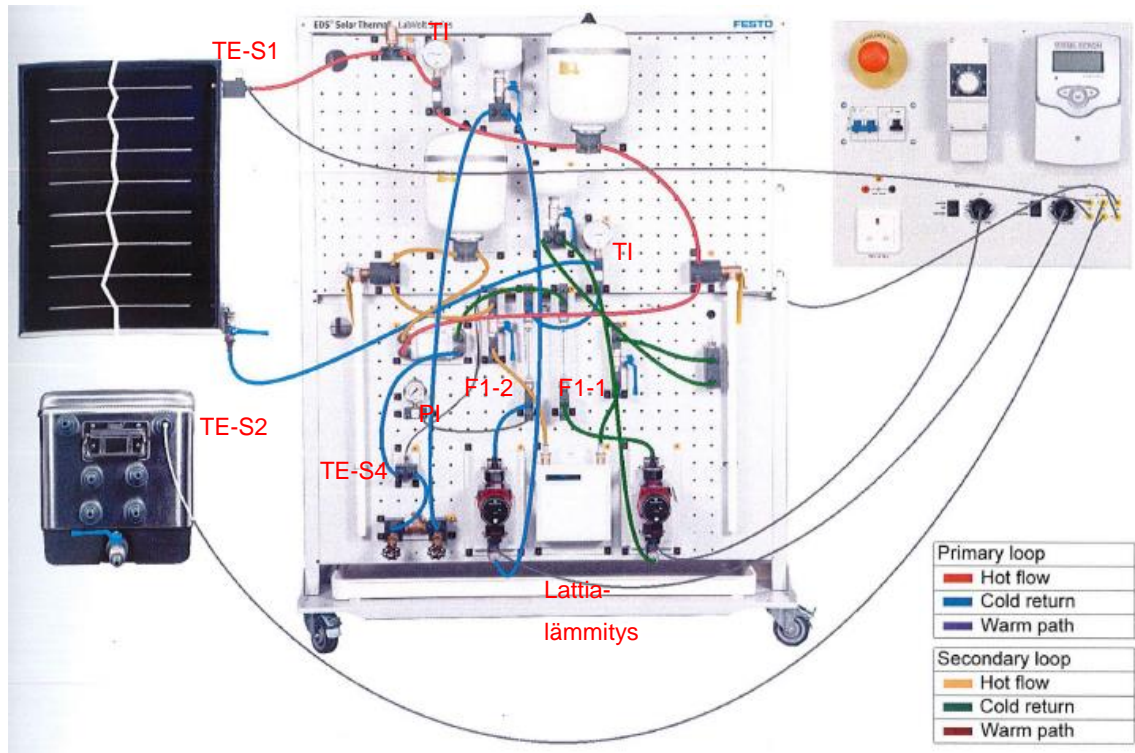
TE-S4-anturi on sijoitettu järjestelmässä aurinkopiiriin levylämmönsiirtimen paluupuolelle. Mittauksen alussa lämpötila on ollut 18,9 °C ja lopussa 22,7 °C. Lämpötilan nousu on ollut tasaista. Vertailemalla TE-S1- ja TE-S4-antureita voidaan laskea, paljonko levylämmönsiirrin luovuttaa lämpöä aurinkopiiriin. Tosin lämpöä haihtuu aurinkokeräimen ulostulosta levylämmönsiirtimelle mentäessä, koska kytkentäletkut eivät ole eristettyjä.

TI-analogiset mittarit mittaavat veden lämpötilan ennen aurinkokeräintä ja sen jälkeen. Kummankin mittarin tulokset ovat suhteellisen tasaisen kasvavia. Aurinkokeräimen jälkeinen analoginen mittari on noin 10 °C alhaisempi kuin keräimen TE-S1 (Collector) -mittaus, johtuen pumppujen epätasaisesta toiminnasta. Lisäksi lämpöä häviää kytkentäletkujen kautta ennen TI (Collector output) -mittausta.

Virtausmittareiden FI-1 ja FI-2 tulokset ovat lähes samat. Tulokset on kirjattu pumppujen ollessa käynnissä noin 15 ja 30 minuutin mittaamisen jälkeen. Pumput käyvät siis samalla teholla käynnissä ollessaan, eikä niiden virtaamia voida säätää portaattomasti järjestelmän tilan mukaan. Tulokset ilmenevät myös painelukemasta PI-1, joka on ollut jokaisen mittauksen aikana lähes sama. PI-2-lukema unohdettiin kirjata, koska paineletku olisi pitänyt siirtää toiseen virtausmittariin.

5.2 Suljettu 2-piirinen lattialämmitysjärjestelmä lämpövarastolla tai ilman

Tehtävässä 2 on kaksi variaatiota suorittaa mittaus. Koemittaus on tehty ilman lämpövarastoa (kuva 28). Lämpöä siirretään aurinkopiiristä varaajapiiriin levylämmönsiirtimen kautta. Mittauksessa käytettiin neljää halogeenilamppua verrattuna tehtävässä 1 käytettyihin kahteen halogeenilamppuun. Koemittaus tehtiin myös lämpövarastolla, mutta sitä ei saatu onnistumaan.



Kuva 28. Suljettu 2-piirinen lattialämmitysjärjestelmä ilman lämpövarastoa mittauspisteineen.

Hyödyt:

- Järjestelmää voidaan käyttää, kun lämmitykselle on tarvetta (pumppujen ei tarvitse pyöriä jatkuvasti).

Haitat:

- Järjestelmä vaatii ohituksen, kun lämmitystä tai lämpövarastoa ei tarvita.

Taulukko 5. Koemittauksen alkutiedot

	Arvo	Yksikkö	Selite
4 x 500 W lamppu	-	-	-
DT 0	4,5	K	Switch on tempature
Alkuperäinen DT 0	6	K	-
DT S	5	K	Nominal Tempature difference
Alkuperäinen DT S	10	K	-

Taulukko 6. Koemittauksen tulokset

Laite	Nyt	15 min	30 min	Yksikkö
Pumpun teho 1	35	-	-	W
Pumpun teho 2	30	-	-	W
F1-1 (Virtausnopeus)	3	2,4	3,2	L/min
PI-1 (Paine)	12	12	12	kPa
F1-2 (Virtausnopeus)	2,8	0	0	L/min
PI-2 (Paine)	-	-	-	kPa
TI (Collector input)	24	30	40	°C
TI (Collector output)	22	30	38	°C
TE-S1 (Collector)	28,7	42,1	50	°C
TE-S2 (Storage)	26,4	26,4	26	°C
TE-S4 (TRF)	28,5	38,8	47,3	°C
Lattialämmitys	70/72	76/78	78/80	°C
Lämminilmapuhallin	-	-	-	°C

TE-S1-anturi mittaa veden lämpötilan aurinkokeräimen ulostulossa. Koemittaus yritettiin tehdä lämpövarastolla, mutta silloin varaajapiirin veden lämmittäminen kesti kauan eikä 45 minuutin mittauksellakaan saatu lattialämmityksen lukemaa nousemaan kuin yhden asteen. Ilman lämpövarastoa taas mittaus oli käytännössä tehty alle 15 minuutissa lattialämmityksen noustessa lähtötilanteesta 70/72 → 76/78. Aurinkopiirin pumppu ei enää pyörinyt loppumittauksen ajan kuin satunnaisesti. Aurinkokeräimen lämpötila oli noussut 15 minuutissa 14,4 °C.

TE-S2-anturi mittaa veden lämpötilaa varaajan pinnassa. Lämmönvarastointia ei tässä mittauksessa ollut mukana, joten se on mittauksen aikana vain jäähtynyt.

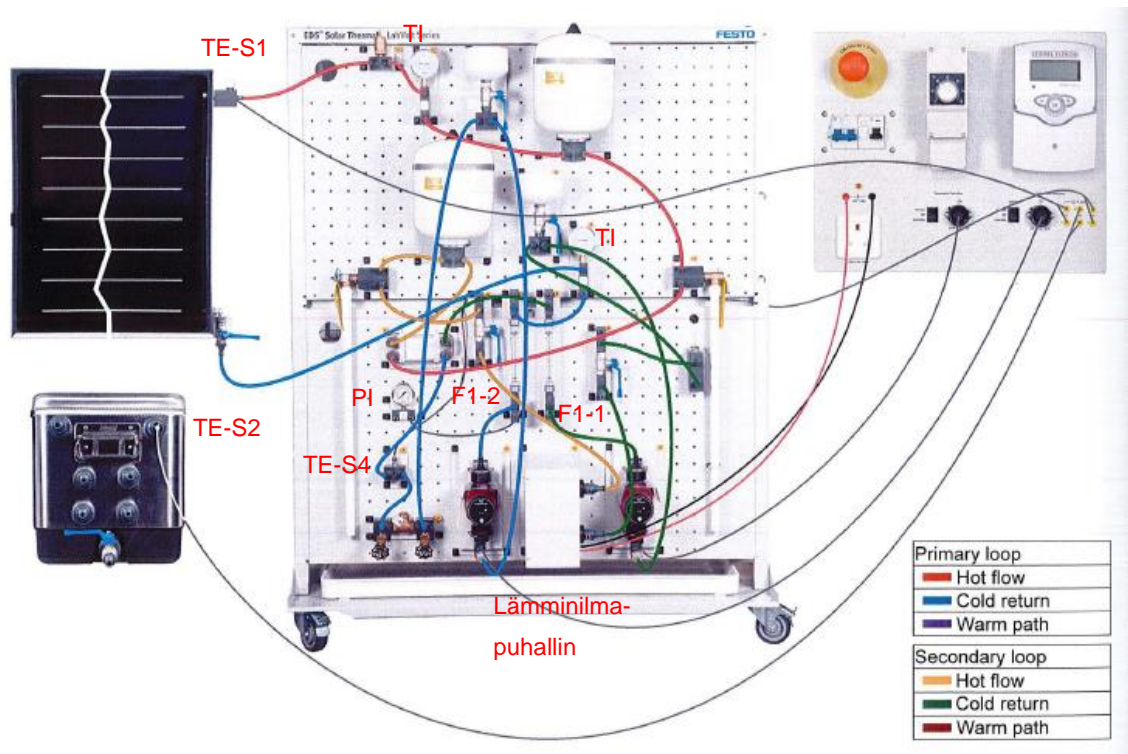
TE-S4-anturi on sijoitettu järjestelmässä aurinkopiiriin levylämmönsiirtimen paluu puolelle. Aurinkokeräimen nopea lämpötilan nousu näkyy tässä mittauksessa: lämpötila on noussut 10,3 °C.

TI-analogiset mittarit mittaavat veden lämpötilan ennen aurinkokeräintä ja sen jälkeen. Nesteen lämpötilan ollessa ennen keräintä suurempi kuin jälkeen kertoo sen, että aurinkopiirin pumppu on toiminut epätasaisesti. 15 minuutin kohdalla lämpötilat olivat yhtä suuret.

Loppujen mittauspisteiden analysointia ei pysty tekemään, koska mittaus oli ohi alle 15 minuutissa. Virtausmittari F1-2 osoittaa, että aurinkopiirin pumppu ei ole pyörinyt 15 ja 30 minuutin kohdilla. Edellisestä mittauksesta jäänyt lämmennetty vesi järjestelmässä saattoi vaikuttaa mittaukseen.

5.3 Suljettu 2-piirinen lämminilmapuhallinlämmitysjärjestelmä lämpövarastolla tai ilman

Tehtävä 3 on samanlainen kuin tehtävä 2, mutta mittauksessa lattialämmityselementti on vaihdettu lämminilmapuhalttimeen. Mittaus toteutettiin ilman lämpövarastoa (kuva 29), koska järjestelmää ei tässäkin tapauksessa saatu toimimaan lämpövarastolla.



Kuva 29. Suljettu 2-piirinen lämminilmapuhallinlämmitysjärjestelmä ilman lämpövarastoa mitauspisteineen.

Hyödyt:

- Järjestelmää voidaan käyttää, kun lämmitykselle on tarvetta (pumppujen ei tarvitse pyöriä jatkuvasti).

Haitat:

- Järjestelmä vaatii ohituksen, kun lämmitystä ei tarvita.

Taulukko 7. Koemittauksen alkutiedot

	Arvo	Yksikkö	Selite
4 x 500 W lamppu	-	-	-
DT 0	4,5	K	Switch on tempature
Alkuperäinen DT 0	6	K	-
DT S	5	K	Nominal Tempature difference
Alkuperäinen DT S	10	K	-

Taulukko 8. Koemittauksen tulokset

Laite	Nyt	15 min	30 min	Yksikkö
Pumpun teho 1	38	-	-	W
Pumpun teho 2	32	-	-	W
F1-1 (Virtausnopeus)	3	2,2	3	L/min
PI-1 (Paine)	56	50	52	kPa
F1-2 (Virtausnopeus)	2,6	2,5	0	L/min
PI-2 (Paine)	-	-	-	kPa
TI (Collector input)	18	25	35	°C
TI (Collector output)	18	25	33	°C
TE-S1 (Collector)	25	38,4	46,2	°C
TE-S2 (Storage)	26,6	26,5	26,5	°C
TE-S4 (TRF)	24,2	33,3	43	°C
Lattialämmitys	-	-	-	°C
Lämminilmapuhallin	20	28	28	°C

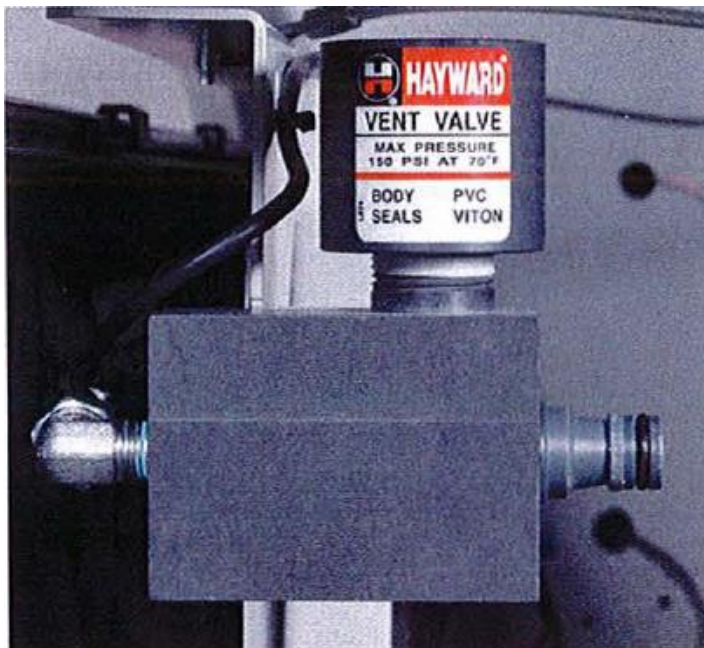
Koemittaus aloitettiin hiukan viileämmällä vedellä kuin tehtävässä 2. Mittaus kesti vähän pidempään, joten sillä näyttäisi olevan vaikutusta järjestelmän toimintaan. Lämminilmapuhaltimesta mitataan puhaltimien välistä ulospuhallettavan ilman lämpötila, joka nousi 8 °C 15 minuutin aikana. Loppujen mittauspisteiden tulokset ovat tehtävän 2 kanssa samansuuruisia.

5.4 Suljettu 2-piirinen takaisinvirtausjärjestelmä

Tehtävässä 4 on neljä eri variaatiota suorittaa mittaus:

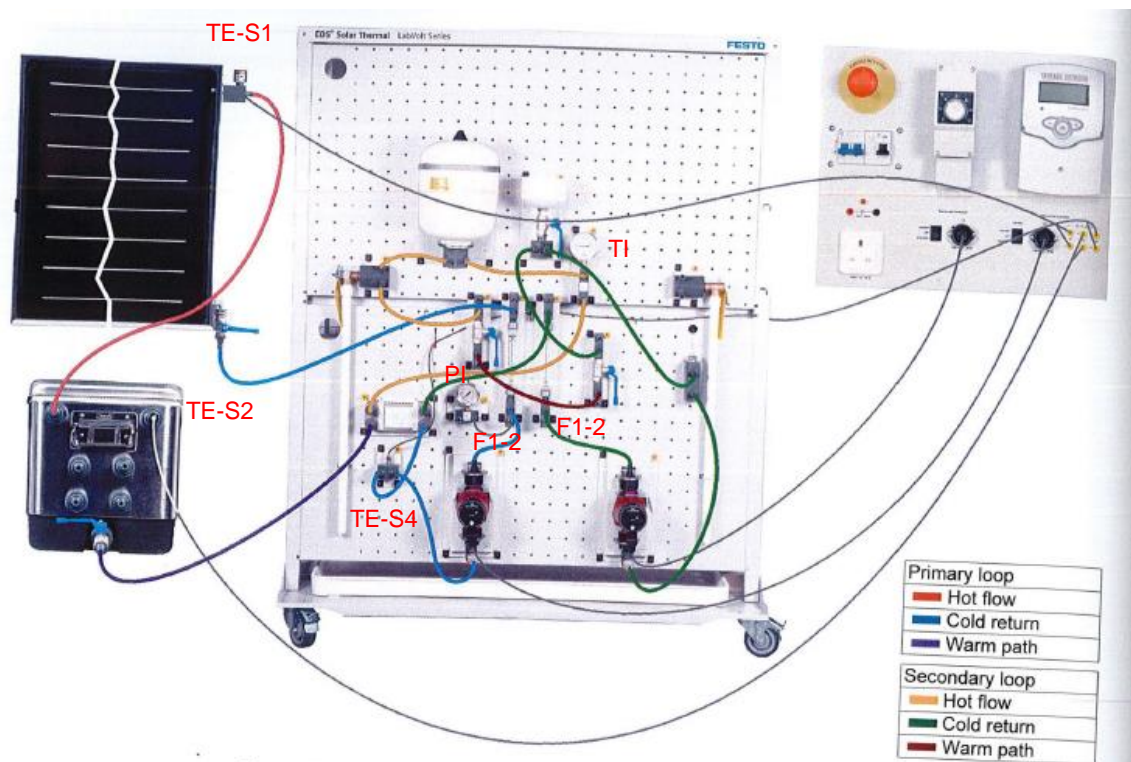
- 2-piirinen vesivaraajalämmitysjärjestelmä
- 2-piirinen vesivaraaja- ja lattialämmitysjärjestelmä
- 2-piirinen vesivaraaja- ja lämminilmapuhallinlämmitysjärjestelmä
- 2-piirinen lämmitysjärjestelmä levylämmönsiirtimellä.

Kolmessa ensimmäisessä variaatiossa lämmönsiirtimenä käytetään kuviteltua tyhjennyssäiliötä ja neljännessä levylämmönsiirintä. Tyhjennyssäiliönä toimii aiemmissakin mittauksissa käytetty varaaja. Pumppu pysähtyy, kun tyhjennyssäiliö ylittää asetetun lämpötilan ja keräimen ulostuloon vaihdettu tyhjönttiili (kuva 30) päästää automaattisesti ilmaa keräimeen, jotta keräimeen jäänyt vesi valuu takaisin tyhjennyssäiliöön. Tällöin keräimen putkistoon ei jää vettä, eikä se voi jäätymä kylmissä olosuhteissa. Tehtävässä kirjataan ylös mittauspisteiden lisäksi varaajan pinnan korkeus mittauksen lopussa, kun pumppu sammutetaan ja järjestelmä tyhjenee.



Kuva 30. Tyhjönttiili [1].

Kirja ei kuitenkaan ohjeista tehtävän annossa, että säätöyksiköltä pitäisi asetuksia muuttaa, vaan pumppu ohjautuu edelleen keräimen ja varaajan lämpötilamittauksen mukaan. Keräimen kulma säädetään vain aiemmista mittauksista poiketen 50°:n kulmaan ja varmistetaan, että se on tyhjennyssäiliön pinnan yläpuolella. Koemittaus suoritettiin neljännen variaation mukaan (kuva 31). Koemittauksesta on kuva liitteessä 4, viimeinen kuva.



Kuva 31. Suljettu 2-piirinen takaisinvirtaus-vedenlämmitysjärjestelmä levylämmönsiirtimellä mittauspisteineen.

Hyödyt:

- Järjestelmä on tehokas.
- Yksinkertainen toteutus vähentää kuluja ja pienentää huoltomaksuja.
- Ylikuumenemissuoja sammuttaa pumpun, kun raja ylitetään.
- Järjestelmä voidaan toteuttaa ilman vesi-glykoliseosta.

- Vesi-glykoliseos pidentää järjestelmän käyttöikä.

Haitat:

- Järjestelmä voi jäätää pitkien kylmien jaksojen aikana, ei kylmiin sääolosuhteisiin.
- Tarvitaan tyhjennysäiliö.
- Järjestelmä vaatii tehokkaamman pumpun.
- Keräin on sijoitettava lähelle, tyhjennysäiliön yläpuolelle.
- Tyhjennysäiliö tulee asentaa keräimen ja varaajan väliin.
- Aurinkokeräimien valikoima on rajattu, keräimen putkituksen tulee olla oikeanlainen.
- Järjestelmä vaatii tarkat suunnitelmat ja asennukset, koska komponenttien väliset korkeusasemat tulee huomioida.

Taulukko 9. Koemittauksen alkutiedot

	Arvo	Yksikkö	Selite
4 x 500 W lamppu	-	-	-
DT 0	4,5	K	Switch on tempature
Alkuperäinen DT 0	6	K	-
DT S	5	K	Nominal Tempature difference
Alkuperäinen DT S	10	K	-

Taulukko 10. Koemittauksen tulokset

Laite	Nyt	15 min	30 min	Yksikkö
Pumpun teho 1	23	-	-	W
Pumpun teho 2	29	-	-	W
F1-1 (Virtausnopeus)	1,6	3	1,5	L/min
PI-1 (Paine)	23	28	32	kPa
F1-2 (Virtausnopeus)	2,6	3,3	1,5	L/min
PI-2 (Paine)	-	-	-	kPa
TI (Collector input)	-	-	-	°C
TI (Collector output)	22	21	22	°C
TE-S1 (Collector)	25,3	36	37,3	°C
TE-S2 (Storage)	28,5	29,4	30,9	°C
TE-S4 (TRF)	27	28	29	°C
Lattialämmitys	-	-	-	°C
Lämminilmapuhallin	-	-	-	°C

Tulokset ovat tasaisen nousevia lähes jokaisessa mittauspisteessä. Suuria lämpötilan nousuja ei mittauksen aikana syntynyt, koska pumput kävivät tasaisen väliajoin. Lopussa mitattu tyhjennyssäiliön pinta nousi noin 0,5 cm järjestelmän tyhjentyessä varaajaan.

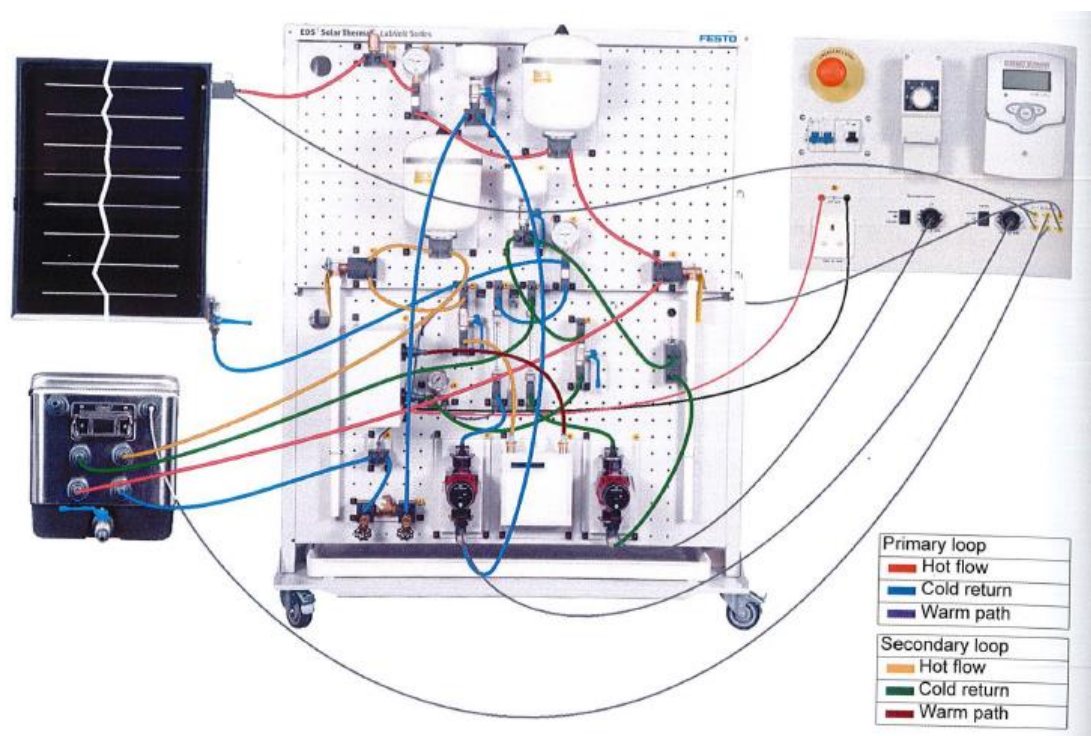
Aurinkokeräin ja varaaja ovat muista mittauksista poiketen samassa piirissä, ja tästä syystä lämpötilaero tasoittuu nopeasti lämpimän veden virratessa suoraan varaajaan. TI (Collector output) on ainoa lämpötilamittaus sekundääripiirissä. Primääripiirin heikon lämpötilan nousun johdosta lämpöä ei siirry sekundääripiiriin juuri ollenkaan. Tehtävän tarkoituksena on ollut havainnollistaa erilainen aurinkojärjestelmä.

5.5 Suljettu 2-piirinen yhdistettyjärjestelmä

Tehtävässä 5 on kolme eri variaatiota suorittaa mittaus:

- 2-piirinen lattialämmitysjärjestelmä lämmönvarastoinnilla
- 2-piirinen ilmanlämmitysjärjestelmä lämmönvarastoinnilla
- 2-piirinen lattia- ja ilmanlämmitysjärjestelmä.

Koemittaus suoritettiin kolmannen variaation mukaan (kuva 32).



Kuva 32. Suljettu 2-piirinen veden-, lattia- ja ilmanlämmitysjärjestelmä [3, s. 76].

Hyödyt:

- Järjestelmä voidaan asentaa jälkikäteen, maksaa itsensä takaisin.
- Järjestelmä on tehokkaampi kuin itsenäiset järjestelmät.

Haitat:

- Järjestelmän mitoitus.
- Järjestelmä on monimutkainen toteuttaa.
- Tarvitaan tyhjennyssäiliö.

Taulukko 11. Koemittauksen alkutiedot

	Arvo	Yksikkö	Selite
4 x 500 W lamppu	-	-	-
DT 0	4,5	K	Switch on tempature
Alkuperäinen DT 0	6	K	-
DT S	5	K	Nominal Tempature difference
Alkuperäinen DT S	10	K	-

Taulukko 12. Koemittauksen tulokset

Laite	Nyt	15 min	30 min	Yksikkö
Pumpun teho 1	36	-	-	W
Pumpun teho 2	34	-	-	W
F1-1 (Virtausnopeus)	2,5	2,5	2,3	L/min
PI-1 (Paine)	50	38	50	kPa
F1-2 (Virtausnopeus)	2,3	2,5	2	L/min
PI-2 (Paine)	-	-	-	kPa
TI (Collector input)	12	22	24	°C
TI (Collector output)	14	24	25	°C
TE-S1 (Collector)	19,8	36	37,9	°C
TE-S2 (Storage)	21,4	23,8	26,4	°C
TE-S4 (TRF)	20	29,2	31,4	°C
Lattialämmitys	66/68	66/68	68/70	°C
Lämminilmapuhallin	20	20	23	°C

Järjestelmässä lämmitetään varaajan vettä, mikä toimii myös lämmönsiirtimenä primääri- ja sekundääripiirin välillä. Primääripiiri koostuu aurinkokeräimestä, jonka lämmennyt vesi kiertää varaajan kuparikierukkaan ja palaa takaisin keräimelle uudelleen lämmitettäväksi. Sekundääripiiri koostuu tässä mittauksessa useammasta komponentista, jossa lämmennyt vesi kiertää ensin lattialämmityksen kautta lämminilmapuhaltimelle. Varaaja täytettiin noin puolilleen, jotta varaajan vesi lämpenisi nopeammin.

Pumput pyörivät koko mittauksen ajan lähes täydellä teholla, mutta järjestelmä ei kovin paljoa ehtinyt lämpiämään 30 minuutin aikana.

TE-S1-anturi mittaa veden lämpötilan aurinkokeräimen ulostulossa. Keräin lämpiää jo 15 minuutissa 16,2 °C alkutilanteesta, kun se 30 minuutin kohdalla on enää noussut 15 minuutin tuloksesta 1,9 °C. Keräimen läpi virtaavan veden F1-2-virtausnopeus on suuri, joten keräimessä tapahtuvaa lämpötilannousua on vaikea havaita. TE-S4, joka on sijoitettu primääripiiriin kuparikierukan jälkeen, osoittaa saman, sillä lämpötila on lämmönluovutuksen jälkeen edelleen korkea. Lämmennyt vesi kiertää liian nopeasti kuparikierukan läpi niin, ettei se ehdi luovuttamaan kaikkea lämpöenergiaansa. Ti-mittauksien lämpötilat ovat samaisesta syystä korkeat.

TE-S2-anturi mittaa veden lämpötilaa varaajan pinnassa. Lämpötilan nousu varaajassa on ollut tasaista. Alkutilanteessa veden lämpötila on ollut 21,4 °C ja 30 minuutin kohdalla 26,4 °C.

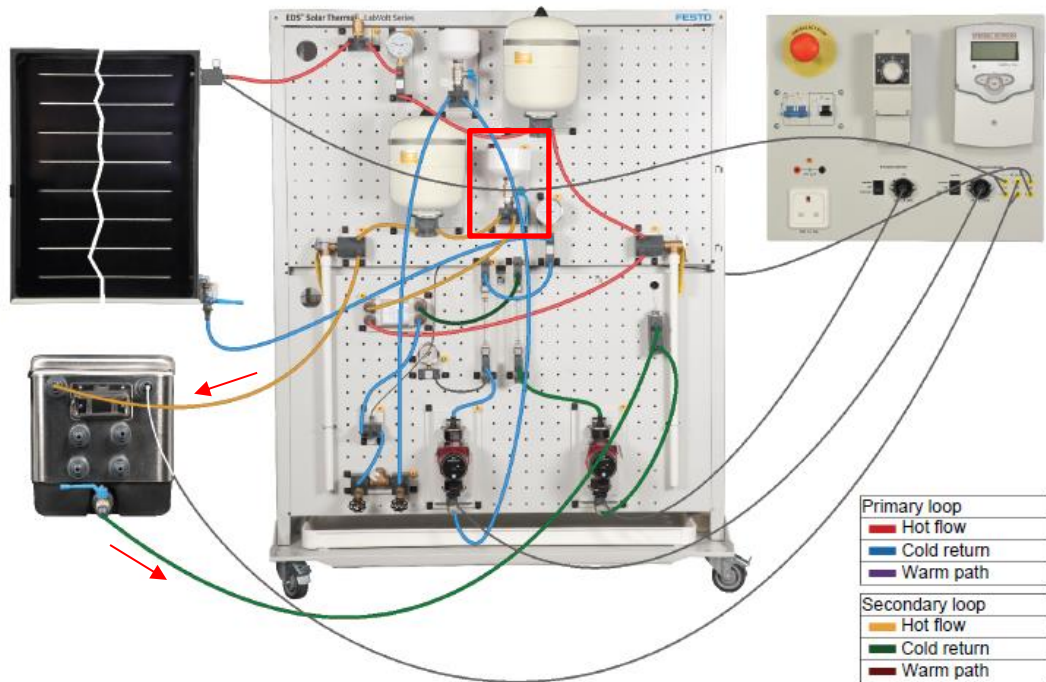
Lattialämmityksen ja lämminilmapuhaltimen tulokset nousivat vasta 30 minuutin kohdalla vähäsen. Mittausaika pitäisi olla pidempi tällä järjestelmällä, jos tuloksia haluttaisiin selkeämmin. Primääripiirin pumppu pitäisi kuitenkin saada toimimaan tasaisemmin, jotta mittauksesta olisi saanut selkeämpiä tuloksia.

6 Käyttökokemukset

Kirjoissa esitetyt koemittaukset eivät kaikki sovellu Suomen olosuhteissa toteutettavaksi, mutta nekin muodostavat käsityksen siitä, mitä lämmitysjärjestelmien rakentamisessa on välttämätöntä. Solar Thermal Energy Systems -kirjassa esitetyt mittaukset eivät olisi käytännöllisiä välttämättä missään olosuhteissa, mutta yksinkertaisista mittauksista lähdettäessä muodostetaan käsitys jokaisen komponentin tarkoitukselle. Kaikki yhdeksän koemittauksta saatiin pääsääntöisesti suoritettua alusta loppuun. Seuraavassa perehdytään muutamaon ongelmakohtaan.

Ilman poistaminen järjestelmästä tuotti ajoittain ongelmia. Primääripiirin ilmaus onnistuu helpommin, koska siinä on yleensä vähemmän komponentteja. Ilmauksen tehtävänä on varmistaa, että pumput kierrättävät järjestelmässä ainoastaan vettä. Kirjan ohjeistus järjestelmän ilmaamisesta on yksinkertainen ja toimiva, mutta komponenttien

paikoilla on suuri merkitys ilmauksessa. Koejärjestelyissä kuvatussa esimerkissä täyttöastian paikka sekundääripiirissä on ongelmallinen, koska täyttöastia on pumpun painepuolella ja täten vesi valuu kokonaan astiasta varaajaan. Täyttöastia ei toimi tässä kohdassa piiriä kuin ilman poistoon.



Kuva 33. Sekundääripiirin täyttöastia neliöitynä. Varaajan ympärillä olevat punaiset nuolet osoittavat veden virtaussuunnan.

Asennusletkujen kytkennän tarkistamisen jälkeen on hyvä tarkistaa kytkentäletkujen päissä olevat yksisuuntaventtiilit, jotka saattavat jumiutua. Koemittauksessa ilmeni, että pumppu ei saanut imettyä varaajasta vettä, vaikka piiri kulki vain varaajasta termostaattimittauksen kautta pumpun imupuolelle. Varaajan ja mittauksen välinen asennusletkun yksisuuntaventtiili oli jumiutunut. Ongelma korjaantui, kun letku vaihdettiin uuteen ja järjestelmä saatiin sen myötä ilmattua. Kytkentä oli siis ohjeen mukaisesti tehty. Yksisuuntaventtiilit voisi poistaa letkuista kokonaan, mikäli niitä jumiutuu enemmän.

Pumpun toiminta-asetuksia jouduttiin muuttamaan alussa joihinkin mittauksiin, koska pumpun virtaamaa ei saatu ohjattua pitämään keräimen ja varaajan lämpötilaeroa vakiona. Pumppu käynnistyi ja sammui niin nopeasti, ettei järkeviä mittaustuloksia saatu luettua virtaus- ja painemittarista. Oletusasetuksissa pumppu käynnistyy, kun lämpötilaero on 6 °C, mutta se alennettiin 4 °C:seen. Lisäksi nominaalista lämpötilaeroa alen-

nettiin 10 °C:sta → 5 °C:seen. Nominaalisen lämpötilaeron saavuttua keräimen ja varaajan välillä pumpun käyntinopeus kasvaa 10 %. Nominaaliasteikko on mitta-asteikko, jossa alkiot ryhmitellään yhden tai useamman ominaisuutensa perusteella osajoukkoihin, esimerkiksi lämpötilan mukaan kylmään ja kuumaan. Lisäksi veden lämmittämiseen tarkoitettuja halogeenilamppuja lisättiin kahdella 500 W:n halogeenilampulla. Lamput sijoitettiin kiinni keräimeen suuremman lämmitystehon saavuttamiseksi. Mikko Heinon kanssa tehdyistä koemittauksista on kuvia liitteessä 4. Asetuksien muutos ja lamppujen lisääminen auttoivat ja koemittausten suorittaminen onnistui paremmin.

Laitetoimitukseen kuuluvat kahden halogeenilampun teho ei riitä tuottamaan tarpeeksi lämpöenergiaa kaikissa kirjoissa esitetyissä koetehtävissä, jotta keräimessä kiertävä neste saavuttaisi lämpötilaeron varaajaan nähden. Pumppu toimi paremmin säätöyksikköön tehtyjen asetusten muutosten jälkeen, mutta ongelma ilmeni kuitenkin joissain mittauksissa. Teho eli lämpövirta voidaan määrittää, kun tiedetään veden virtausnopeus ja veden lämpötilaero.

$$\Phi = \frac{V}{t} * \Delta T * \rho * c_p$$

Φ on teho [W]

$\frac{V}{t}$ on virtausnopeus [l/s]

ΔT on lämpötilaero [°C]

ρ on tiheys [kg/m³]

c_p on ominaislämpökapasiteetti [kWs/kg°C]

Veden oletetaan lämpiävän 30 minuutin aikana 10 °C. Veden virtausnopeutena käytetään arvoa 1,75 l/min (= 0,03 l/s), joka on suhteutettu keräimen pinta-alaan. Lähteenä käytetään Savo-Solar Oy:n teettämää koemittausta Solar Simulatorilla, jossa 2 m²:n aurinkokeräimessä kierrätettiin vettä 3,5 l/min [4]. Laitetoimitukseen kuuluva aurinkokeräin on pinta-alaltaan 1 m²:n kokoinen.

$$0,03 \frac{l}{s} * 10 \text{ }^{\circ}\text{C} * 1000 \frac{kg}{m^3} * 4,2 \frac{kWs}{kg^{\circ}\text{C}} = 1260 W$$

Laitetoimitukseen kuuluvat halogeenilamput ovat 500 W:n suuruisia, joten niiden yhteisteho on 1 000 W. Aurinkokeräimien hyötysuhde on yleisesti 35 – 75 %, joten valikoidaan laitetoimitukseen kuuluvan keräimen hyötysuhteeksi 50 %. Tällöin veden lämmittäminen 10 °C:seen tarvittaisiin:

$$\frac{1260 W}{0,5} = 2520 W$$

eli keräimet tarvitsisivat auringon säteilytehoa noin 2 500 W eli viiden halogeenilampun verran. Neljällä halogeenilampullakin olisi parempia tuloksia varmasti saatavilla, mutta pumpun toiminta tarvitsee vielä lisäselvityksiä.

TI-mittauksissa käytetyt analogiset lämpötilamittarit poikkeavat jokaisessa mittauksessa säätöyksiköltä luettavista lämpötiloista. Esimerkiksi TI:n (Collector output) tulisi olla lähellä TE-S1 (Collector) -mittausta, mutta se on jokaisessa mittauksessa noin 10 °C alhaisempi. Lämpö häviää mittausten välillä letkujen kautta jonkin verran, mutta 10 °C on joka tapauksessa liian suuri. Analogiset mittarit ovat luottavuudeltaan epätarkempia, mutta ne tulisi kuitenkin tarkistaa tai vaihtaa kokonaan uusiin.

Lisää analysoitavaa järjestelmästä aiheutti Multi-Loop Systems -kirjan tehtävässä 5, suljettu 2-piirinen yhdistettyjärjestelmä, lämmönsiirtimenä käytetty varaajan kuparikierukan lämmönsiirtopinta-ala, koska T4-S4-mittaus osoittaa, että aurinkopiirin veden lämpötila ei juurikaan laske varaajan jälkeen. Lämmönsiirtopinta-ala on ilmeisesti liian pieni, koska mittauksen aikana mitatut veden virtausnopeudet ovat kuitenkin riittävät mittauksen suorittamiseen.

7 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli käyttöönottaa ammattikorkeakoulu Metropolian hankkima Festo EDS Solar Thermal LabVolt Series -koelaitteisto ja raportoida siitä saaduista käyttökokemuksista koulun henkilökunnalle. Lisäksi työssä esiteltiin Multi-Loop Systems -opetuskirjan tehtävät ja mittauksien tulokset.

Koelaitteistolla voidaan havainnollistaa erilaisia aurinkoenergialla tuotettuja lämmitys-järjestelmiä ja siihen kuuluvien komponenttien tehtäviä. Lisäksi koululle luodaan käyt-tökokemuksien pohjalta laitetoimitukseen kuuluviin englanninkielisissä kirjoissa esitet-yihin tehtäviin ohjeet, jotka eivät ole osana tätä insinööriytötä. Laitteiston käyttöönotto ja koemittaukset suoritettiin yhdessä Mikko Heinon kanssa, joka kuvailee insinööriyös-sään Suomeen soveltuvia aurinkolämpöjärjestelmiä ja esittelee Solar Thermal Energy Systems -opetuskirjan tehtävät ja niistä saadut tulokset.

Laitteiston käyttöönotto onnistui hyvin, ja opetuskirjoissa esitettyjä tehtäviä päästiin suorittamaan nopeasti. Tehtävien sisältö on kaikissa tehtävissä samankaltainen. Teh-tävässä rakennetaan työskentelyasemalle lämmitysjärjestelmä ja tutkitaan sen toimin-taa 30 minuutin ajan. Mittaustulokset kirjataan taulukkoon 15 ja 30 minuutin ajankohdil-la. Mittauksen jälkeen opetuskirjoissa on kysymysosio tehdystä mittauksesta.

Tehtävien suorittaminen tuotti alussa haasteita ja joitakin muutoksia jouduttiin teke-mään, jotta mittauksista saatiin järkeviä. Kiertovesipumppua ei saatu ohjautumaan ta-saisesti automaattilla. Pumppu ohjautuu digitaaliseen säätöyksikköön syötettyjen arvo-jen perusteella eikä säätöyksikköön tehtyjen muutoksien jälkeenkään pumppua saatu ohjautumaan tasaisesti. Pumpun ohjaus vaatii tarkempaa perehtymistä.

Laitetoimitukseen kuuluu kaksi 500 W:n halogeenilamppua, joilla lämmitetään aurinko-keräimessä kiertävä vesi. Halogeenilamppuja lisättiin vielä kahdella 500 W:n halogee-nilampulla, millä yritettiin saada kiertovesipumppu ohjautumaan tasaisemmin. Muutok-set autoivat ja mittaukset saatiin suoritettua kohtalaisesti.

Ammattiaineopettajille pidetyssä laitteistoesittelyssä järjestelmän ilmaamisessa oli vai-keuksia, jolloin vika löytyi viallisesta kytkentäletkusta. Opettajilta sai hyviä vinkkejä mit-tauksien jatkamiseen. Koemittauksissa kohdattujen ongelmien ratkaiseminen hidasti ja vaikeutti mittauksien suorittamista, mutta samalla niiden ratkaiseminen oli opettavaista. Vika ei aina ollut laitteistossa, vaan vika voi olla väärin sijoitetuilla komponenttien pai-koilla. Laitteisto sopisi hyvin ensimmäisen vuoden opiskelijoille, koska laitteiston avulla järjestelmien toiminta ja komponentit tulisivat tutuiksi, mikä helpottaa opintoja muilla kurseilla.

Lähteet

- 1 LabVolt Series by Festo Didactic - EDS® Solar Thermal (46121-10). 2015. Verkkodokumentti. Festo Didactic Inc. <https://www.labvolt.com/solutions/6_electricity_and_new_energy/19-46121-10_eds_solar_thermal>. Luettu 16.4.2017
- 2 Festo Didactic Ltée/Ltd. 2016. Introduction to Solar Thermal Energy. Quebec, Kanada.
- 3 Festo Didactic Ltée/Ltd. 2016. Multi-Loop Systems. Quebec, Kanada.
- 4 Functional Solar Test. 2011. Verkkodokumentti. Solar Simulator Finland Ltd. <http://www.solarsimulator.com/site/assets/files/1123/o_sf100-01_savosolar_solar_collector.pdf>. Luettu 18.4.2017

Komponentit

Kokeissa käytettyjen komponenttien nimet ja kuvat



Aurinkokeräin



Varaaja



Elektroninen paneeli



Levylämmönsiirrin



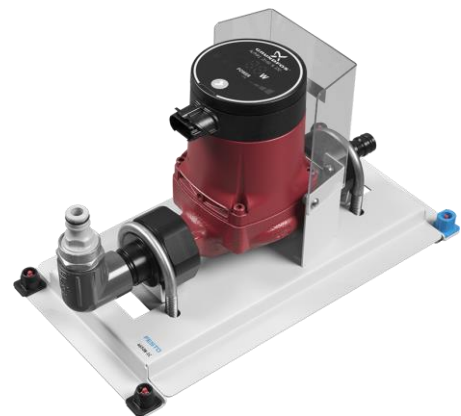
Varoventtiili



Kytentäletkut



Takaiskuventtiili täyttö- ja tyhjennysventtiilin välissä



Kierrätyspumppu



Lämpötila-anturi



Paisunta-astia



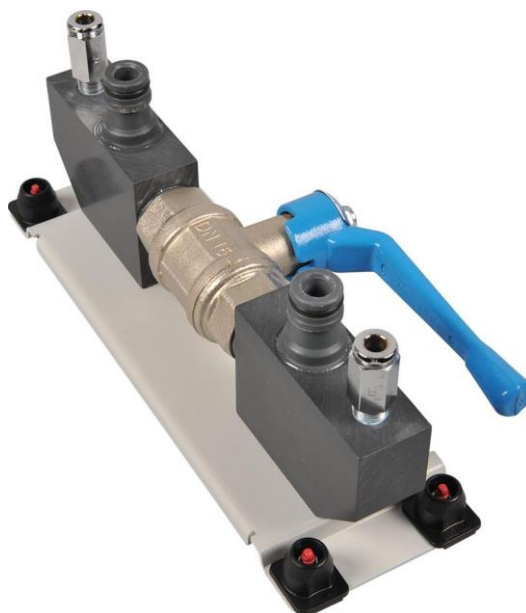
Automaattinen ilmanpoistin



Lämpötilamittari



Täyttöastia



Sulkuventtiili



Virtausmittari



Painemittari



Lattialämmityselementti



Lämminilmapuhallin



Halogeenilamput + teline

Säätöyksikön oletusasetukset

Stiebel Eltron SOM 6 Plus:n oletusasetukset ja kanavien kuvaukset

Display Channels				
Channel		Description	Terminal	Page
INIT	x*	ODB initialization active	-	12
FLL	x*	ODB filling time active	-	12
STAB	x*	ODB stabilization in progress	-	12
COL	x	Temperature collector	S1	12
TST	x	Temperature tank	S2	12
S3	x	Temperature sensor 3	S3	12
S4	x	Temperature sensor 4	S4	12
TR	x*	Temperature return sensor	S4	12
n %	x	Pump speed R1	R1	13
hP	x	Operating hours R1	R1	13
kWh	x*	Heat quantity kWh	-	13
MWh	x*	Heat quantity MWh	-	13

Adjustment Channels				
Channel		Description	Factory setting	Page
DT O	x	Switch-on temperature difference	12.0 °Ra [6.0 K]	14
DT F	x	Switch-off temperature difference	8.0 °Ra [4.0 K]	14
DT S	x	Nominal temperature difference	20.0 °Ra [10.0 K]	14
RIS	x	Rise control	4 °Ra [2 K]	14
nMN	x	Minimum pump speed	30 %	14
S MX	x	Maximum tank temperature	140 °F [60 °C]	15
EM	x	Emergency temperature collector	270 °F [130 °C]	15
		Emergency temperature collector if ODB is activated:	200 °F [95 °C]	15
OCC	x	Option collector cooling	OFF	16
CMX	x*	Maximum collector temperature	230 °F [110 °C]	16
OSYC	x	Option system cooling	OFF	16
DTCO	x*	Cooling switch-on temperature difference	40.0 °Ra [20.0 K]	16
DTCF	x*	Cooling switch-off temperature difference	30.0 °Ra [15.0 K]	16
OSTC	x	Option tank cooling	OFF	17
OHOL	x*	Option holiday cooling	OFF	17
THOL	x*	Holiday cooling temperature	110 °F [40 °C]	17
OCN	x	Option minimum limitation	OFF	17
CMN	x*	Minimum collector temperature	50 °F [10 °C]	17
OCF	x	Option antifreeze	OFF	17
CFR	x*	Antifreeze temperature	40.0 °F [4.0 °C]	17
OHQM	x	Option energy metering	OFF	18
FMAX	x*	Maximum flow	6.0 l	18
MEDT	x*	Antifreeze type	1	18
MED%	x*	Antifreeze concentration (only if MEDT = propylene or ethylene)	45 %	18
ODB	x	Drainback option	OFF	19
tDTO	x*	ODB switch-on condition - time period	60 s	19
tFLL	x*	ODB filling time	5.0 min	19
tSTB	x*	ODB stabilization time	2.0 min	19
MAN	x	Manual operation R1	Auto	20
LANG	x	Language	En	20
UNIT	x	Temperature unit	°C	20
RESE	x	Reset - back to factory defaults		20
W0020100		Version number		

Legend:

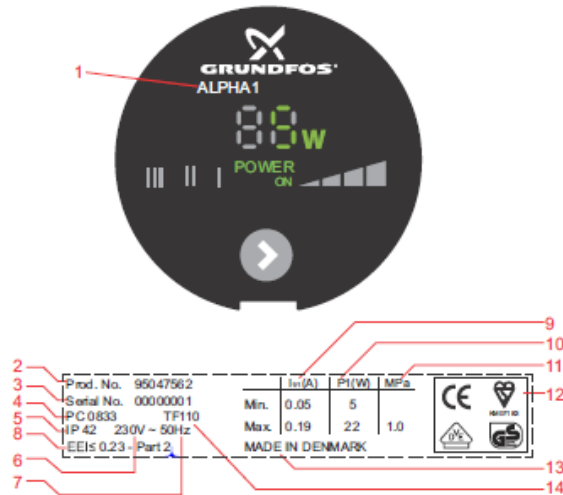
Symbol	Specification
x	Channel is available
x*	Channel is available if the corresponding option is activated.

Grundfos Alpha1 20-60 N 150

Suomi (FI)

3. Tunnustiedot

3.1 Arvokilpi



Kuva 2 Esimerkki arvokilvestä

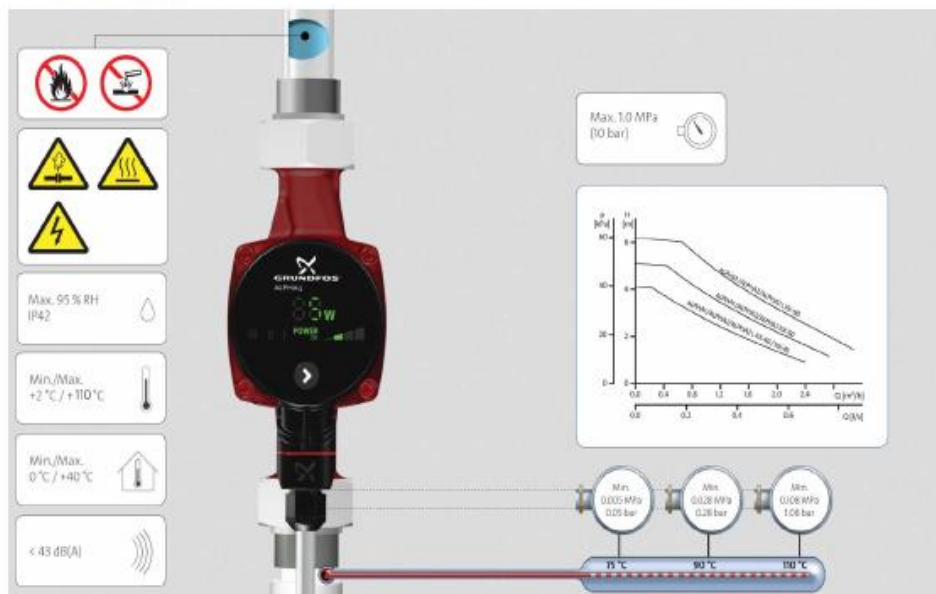
Nro	Kuvaus	Nro	Kuvaus
1	Pumpputyyppi	8	Energiätehokkuusindeksi (EEI)
2	Tuotenumero	9	Nimellisvirta [A]: Min.: Minimivirta [A] Max.: Maksimivirta [A]
3	Sarjanumero	10	Ottoteho P1 [W]: Min.: Pienin ottoteho P1 [W] Max.: Suurin ottoteho P1 [W]
4	Tuotantokoodi: 1. ja 2. numero = vuosi 3. ja 4. numero = viikko	11	Suurin järjestelmäpaine [MPa]
5	Kotelointiluokka	12	CE-merkki ja hyväksynnät
6	Jännite [V]	13	Valmistusmaa
7	Taajuus [Hz]	14	Lämpötilaluokka

3.2 Tyypikoodi

Esimerkki	ALPHA1	25	-40	180
Pumpputyyppi				
Imu- ja paineliitäntöjen [mm] nimellishalkaisija (DN)				
Maks. nostokorkeus [dm]				
: Valurautainen pumppupesä				
N: Pumppupesä ruostumatonta terästä				
A: Ilmanerottimella varustettu pumppupesä				
Rakennepituus [mm]				

4. Käyttökohteet

4.1 Järjestelmätyypit



Kuva 3 Pumpattavat nesteet ja käyttöolosuhteet

GRUNDFOS ALPHA1 soveltuu seuraaviin käyttötarkoituksiin:

- Vakio- tai muuttuvan virtauksen järjestelmät, joissa halutaan optimoida pumpun toimintapisteen asetus.
- Järjestelmät, joissa menoputken lämpötila vaihtelee.

4.2 Pumpattavat nesteet

Puhtaat, juoksevat, syövyttämättömät ja ei-räjähdysherkät nesteet ilman kiintoaineita, kuituja tai mineraaliöljypitoisuutta. Katso kuva 3.

Lämmitysjärjestelmissä veden on täytettävä lämmitysjärjestelmien vedenlaatua koskevat standardit, esim. saksalainen standardi VDI 2035.



Varoitus

Pumppua ei saa käyttää syttyvien nesteiden, kuten dieselöljyn, bensiinin tai vastaavien nesteiden siirtoon.

4.3 Järjestelmäpaine

Enintään 1,0 MPa (10 bar). Katso kuva 3.

4.4 Suhteellinen ilmankosteus (RH)

Enintään 95 %. Katso kuva 3.

4.5 Kotelointiluokka

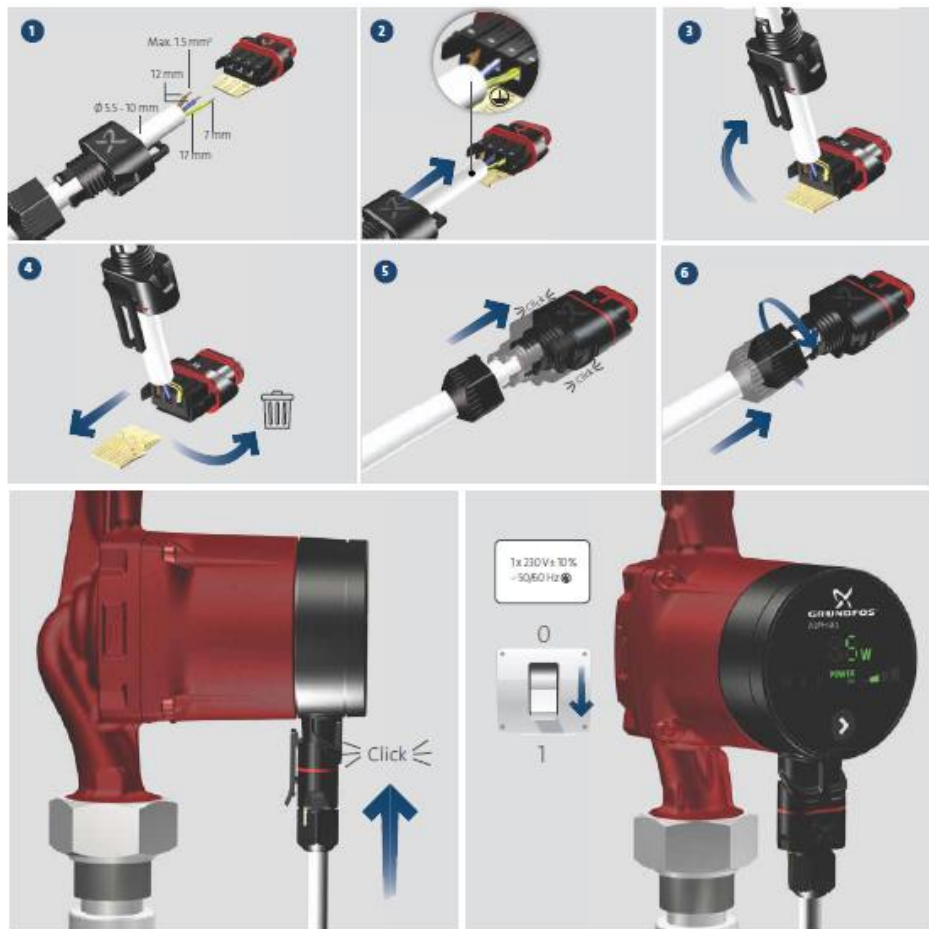
IP42. Katso kuva 3.

4.6 Imupaine

Pienin imupaine suhteessa nesteen lämpötilaan. Katso kuva 3.


Nesteen lämpötila	Pienin imupaine	
	[MPa]	[bar]
≤ 75 °C	0,005	0,05
90 °C	0,028	0,28
110 °C	0,108	1,08

6. Sähköasennus



Kuva 7 Sähköliitäntä

Sähköliitännät ja suojaus on tehtävä paikallisten määräysten mukaisesti.

Varoitus
Pumppu on liitettävä maahan 
Pumppuun on liitettävä ulkoinen verkkokytin, jossa kaikkien napojen katkaisuvälin on oltava vähintään 3 mm.

- Pumppu ei tarvitse ulkoista moottorisuojaa.
- Varmista, että verkkojännite ja -taajuus vastaavat arvokilvessä olevia tietoja. Katso kohta 3.1 Arvokilpi.
- Kytke pumppu virtalähteeseen toimitukseen sisältyvällä pistokkeella kuvan 7 mukaisesti.
- Ohjauspaneelissa oleva merkkivalo osoittaa, että sähkövirta on kytketty päälle.

7. Ohjauspaneeli

7.1 Ohjauspaneelin elementit



Kuva 8 GRUNDFOS ALPHA1:n ohjauspaneeli

Ohjauspaneelin osat:

Nro	Kuvaus
1	Näyttö, joka kertoo pumpun todellisen tehonkulutuksen watteina
2	"POWER ON" -merkkivalo
3	Seitsemän merkivaloa, jotka ilmaisevat pumpun asetuksen
4	Pumppuasetuksen valintapainike

7.2 Näyttö

Näyttö (kuva 8, nro 1) on päällä, kun sähkövirta on kytketty. Näyttö ilmaisee pumpun todellisen tehonkulutuksen watteina (kokonaislukuna) käytön aikana.

Huomaa Viat, jotka estävät pumpun oikean toiminnan (esim. jumittuminen) ilmaistaan näytöllä "-.-". Katso kohta 12. Vianetsintä.

Jos vikailmaisu tulee näkyviin, korjaa vika ja nollaa pumppu kytkemällä sähkövirta pois päältä ja takaisin päälle.

Huomaa Jos pumpun juoksupyörä pyörii, esim. täytettäessä pumppua vedellä, energiaa saattaa syntyä sen verran, että näyttö syttyy vaikka sähkövirta ei olekaan kytketty.

7.3 "POWER ON" -merkkivalo

"POWER ON" -merkkivalo (kuva 8, nro 2) palaa, kun sähkövirta on kytketty.

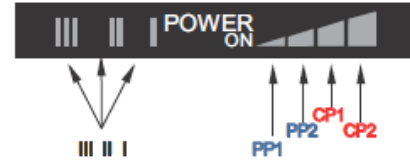
Huomaa Kun ainoastaan "POWER ON" -merkkivalo palaa, pumpussa on ilmennyt jokin vika (esim. jumittuminen), joka estää sen toiminnan. Katso kohta 12. Vianetsintä.

Jos vikailmaisu tulee näkyviin, korjaa vika ja nollaa pumppu kytkemällä sähkövirta pois päältä ja takaisin päälle.

7.4 Pumpun asetuksen ilmaisevat merkivalot

Pumpussa on seitsemän valinnaista asetusta, jotka voidaan valita painikkeella. Katso kuva 8, nro 4.

Pumpun asetus ilmaistaan seitsemällä eri merkivalolla. Katso kuva 9.



Kuva 9 Seitsemän merkivaloa

Painikkeiden painallusmäärä	Merkkivalo	Kuvaus
0	PP2 (tehdasasetus)	Ylin suhteellinen painekäyrä
1	CP1	Alin vakiopainekäyrä
2	CP2	Ylin vakiopainekäyrä
3	III	Vakionopeus, nopeus III
4	II	Vakionopeus, nopeus II
5	I	Vakionopeus, nopeus I
6	PP1	Alin suhteellinen painekäyrä
7	PP2	Ylin suhteellinen painekäyrä

Lisätietoja asetusten toiminnasta on kohdassa 11. Pumpun asetukset ja pumpun kapasiteetti.

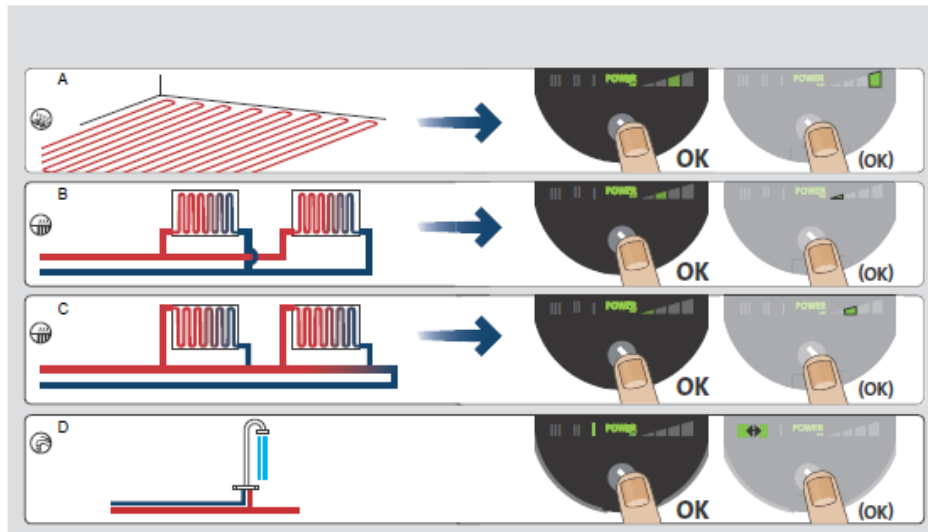
7.5 Pumppuasetuksen valintapainike

Pumpun asetus vaihtuu aina, kun painiketta (kuva 8, nro 4) painetaan.

Täysi kierto on seitsemän painikkeen painallusta. Katso kohta 7.4 Pumpun asetuksen ilmaisevat merkivalot.

8. Pumpun asettaminen

8.1 Pumpun asetus järjestelmän tyyppin mukaan



Kuva 10 Pumpun asetuksen valinta järjestelmän tyyppin mukaan

Tehdasasetus = ylin suhteellinen painekäyrä (PP2).

Suosittelut ja vaihtoehtoiset pumppuasetukset kuvan 10 mukaan:

Nro	Järjestelmän tyyppi	Pumpun asetus	
		Suositus	Vaihtoehtoinen
A	Lattialämmitys	Alin vakiopainekäyrä (CP1)*	Ylin vakiopainekäyrä (CP2)*
B	2-putkijärjestelmät	Ylin suhteellinen painekäyrä (PP2)*	Alin suhteellinen painekäyrä (PP1)*
C	1-putkijärjestelmät	Alin suhteellinen painekäyrä (PP1)*	Ylin suhteellinen painekäyrä (PP2)*
D	Käyttövesi	Vakionopeus, nopeus I*	Vakionopeus, nopeus II tai III*

* Katso kohta 14.1 Kapasiteettikäyrien lukuohje.

Vaihtaminen suositellusta vaihtoehtoiseen pumpun asetukseen

Lämmitysjärjestelmät ovat "hitaita" järjestelmiä, joita ei voida asettaa optimoitimintaan muutaman minuutin tai tunnin aikana. Jos suositeltu pumpun asetus ei anna haluttua lämmön jakautumista talon huoneisiin, vaihda pumpun asetus ilmoitettuun vaihtoehtoiseen asetukseen.

Pumpun asetusten kuvaus suhteessa kapasiteettikäyriin löytyy kohdasta 11. Pumpun asetukset ja pumpun kapasiteetti.

8.2 Pumpun ohjaus

Käytön aikana pumpun nostokorkeutta säädetään "suhteellisen painesäädön" (PP) tai "vakioainesäädön" (CP) periaatteella. Näissä säätötavoissa pumpun kapasiteettia ja sen myötä tehokulusta säädetään järjestelmän lämmöntarpeen perusteella.

Suhteellinen painesäätö

Tässä säätötavassa säädetään paine-eroa pumpun yli virtaaman perusteella.

Suhteellisen paineen käyrät ilmaistaan Q/H-kaavioissa merkinnöillä PP1 ja PP2. Katso kohta 11. Pumpun asetukset ja pumpun kapasiteetti.

Vakiopainesäätö

Tässä säätötavassa säilytetään vakioaine-ero pumpun yli virtaamasta riippumatta.

Vakiopainekäyrät ilmaistaan Q/H-kaavioissa merkinnöillä CP1 ja CP2, ja ne ovat vaakasuoria kapasiteettikäyriä. Katso kohta 11. Pumpun asetukset ja pumpun kapasiteetti.

10. Käyttöönotto

10.1 Ennen käyttöönottoa

Ennen kuin pumpu käynnistetään, järjestelmä on täytettävä vedellä ja ilmattava. Pumpun tulopuolella on oltava vaadittava minimi-imupaine. Katso kohdat 4. Käyttökohteet ja 13. Tekniset tiedot ja asennusmitat.

10.2 Pumpun ilmaaminen



Kuva 12 Pumpun ilmaaminen

Pumppu on itseilmautuva. Sitä ei tarvitse ilmata ennen käyttöönottoa.

Pumpussa oleva ilma voi aiheuttaa melua. Melu lakkaa muutamia minuutteja käynnin jälkeen.

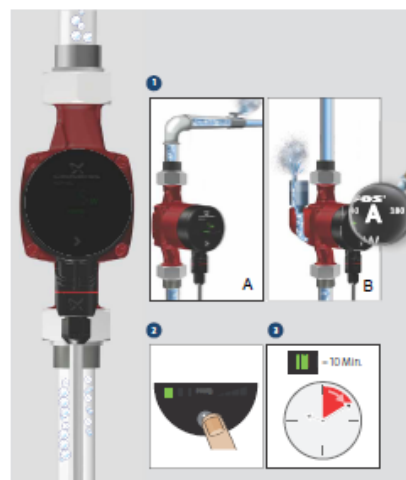
Pumpun ilmautumista voidaan nopeuttaa asettamalla pumpu hetkeksi nopeudelle III järjestelmän koosta ja rakenteesta riippuen.

Kun pumpu on ilmautunut, eli melu on lakannut, aseta pumpu suositusten mukaisesti. Katso kohta 8. Pumpun asettaminen.

Huomio Pumppu ei saa käydä kuivana.

Järjestelmää ei voi ilmata pumpun kautta. Katso kohta 10.3 Lämmitysjärjestelmien ilmaaminen.

10.3 Lämmitysjärjestelmien ilmaaminen



Kuva 13 Lämmitysjärjestelmien ilmaaminen

Lämmitysjärjestelmä voidaan ilmata

- pumpun yläpuolelle asennetusta ilmanpoistoventtiilistä (A)
- ilmanerottimella varustetun pumppupesän kautta (B).

Lämmitysjärjestelmiin, joissa on usein runsaasti ilmaa, suosittelemme pesän ilmanerottimella varustettujen pumppujen asennusta, ts. ALPHA1-pumpun tyyppiä XX-XX A.

Kun lämmitysjärjestelmä on täytetty nesteellä, toimi seuraavasti:

1. Avaa ilmanpoistoventtiili.
2. Aseta pumpu nopeudelle III.
3. Anna pumpun käydä hetken aikaa, riippuen järjestelmän koosta ja rakenteesta.
4. Kun pumpu on ilmautunut, eli kun mahdollinen melu on lakannut, aseta pumpu suositusten mukaisesti. Katso kohta 8. Pumpun asettaminen.

Toista menettely tarvittaessa.

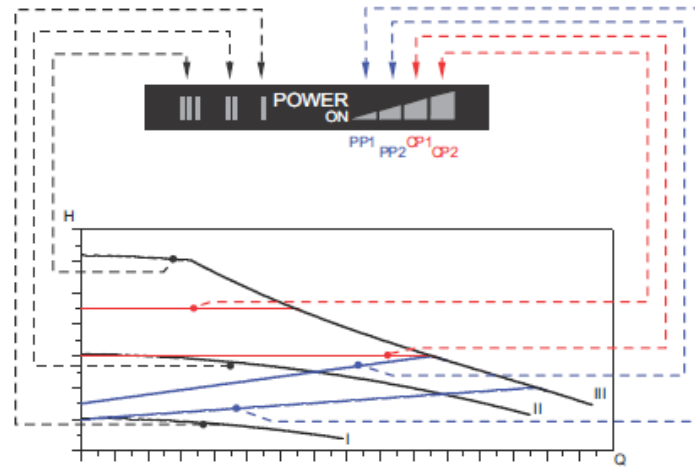
Huomio Pumppu ei saa käydä kuivana.

TM05 8001 1713

TM05 8000 1713

11. Pumpun asetukset ja pumpun kapasiteetti

Kuva 14 osoittaa pumpun asetuksen ja kapasiteetin välisen suhteen käyrien avulla. Katso kohta 14. Ominaiskäyrät.



TM04 2532 2008

Kuva 14 Pumpun asetus suhteessa pumpun kapasiteettiin

Asetus	Pumppukäyrä	Toiminta
PP1	Alin suhteellinen painekäyrä	Pumpun toimintapiste siirtyy ylös- tai alaspäin alimmalla suhteellisella painekäyrällä lämmöntarpeen mukaan. Katso kuva 14. Nostokorkeus (paine) pienenee lämmitystarpeen vähentyessä ja suurenee lämmitystarpeen kasvaessa.
PP2 (tehdasasetus)	Ylin suhteellinen painekäyrä	Pumpun toimintapiste siirtyy ylös- tai alaspäin ylimmällä suhteellisella painekäyrällä lämmöntarpeen mukaan. Katso kuva 14. Nostokorkeus (paine) pienenee lämmitystarpeen vähentyessä ja suurenee lämmitystarpeen kasvaessa.
CP1	Alin vakiopainekäyrä	Pumpun toimintapiste siirtyy ulos- tai sisäänpäin alimmalla vakiopainekäyrällä järjestelmän lämmitystarpeen mukaan. Katso kuva 14. Nostokorkeus (paine) pysyy vakiona lämmöntarpeesta riippumatta.
CP2	Ylin vakiopainekäyrä	Pumpun toimintapiste siirtyy ulos- tai sisäänpäin ylimmällä vakiopainekäyrällä järjestelmän lämmitystarpeen mukaan. Katso kuva 14. Nostokorkeus (paine) pysyy vakiona lämmöntarpeesta riippumatta.
III	Nopeus III	Pumppu käy vakionopeudella ja siten myös vakiokäyrällä. Nopeudella I pumppu asetetaan toimimaan minimikäyrällä kaikissa toimintaolosuhteissa. Katso kuva 14. Pumpun ilmautumista voidaan nopeuttaa asettamalla pumppu hetkeksi nopeudelle III. Katso kohta 10.2 Pumpun ilmaaminen.
II	Nopeus II	Pumppu käy vakionopeudella ja siten myös vakiokäyrällä. Nopeudella II pumppu asetetaan toimimaan keskimmaisella käyrällä kaikissa toimintaolosuhteissa. Katso kuva 14.
I	Nopeus I	Pumppu käy vakionopeudella ja siten myös vakiokäyrällä. Nopeudella I pumppu asetetaan toimimaan minimikäyrällä kaikissa toimintaolosuhteissa. Katso kuva 14.

12. Vianetsintä



Varoitus

Sähkövirta on katkaistava ennen pumpulle suoritettavia töitä. Varmista, ettei sähkövirtaa voida epähuomiossa kytkeä takaisin.

Vika	Ohjauspaneeli	Syy	Korjaus
1. Pumppu ei käy.	Valo ei pala.	a) Asennuksen sulake on palanut.	Vaihda sulake.
		b) Virta- tai jännitetoiminen suojakatkaisin on lauennut.	Palauta katkaisin.
		c) Pumppu on viallinen.	Vaihda pumppu.
2. Järjestelmästä kuuluu melua.	Näytöllä näkyy "-.-". Pelkkä "POWER ON" palaa.	a) Syöttöjännitevika. Syöttöjännite saattaa olla liian matala.	Tarkasta, että syöttöjännite on sallitulla alueella.
		b) Pumppu on jumittunut.	Poista epäpuhtaudet.
3. Pumpusta kuuluu melua.	Näyttää normaalia käyttötilaa.	a) Järjestelmässä ilmaa.	Ilmaa järjestelmä. Katso kohta 10.3 Lämmitysjärjestelmien ilmaaminen.
		b) Virtaama liian suuri.	Alenna imukorkeutta. Katso kohta 11. Pumpun asetukset ja pumpun kapasiteetti.
4. Lämpö ei riitä.	Näyttää normaalia käyttötilaa.	a) Pumpussa ilmaa.	Anna pumpun käydä. Se ilmaa itsensä vähitellen. Katso kohta 10.2 Pumpun ilmaaminen.
		b) Imupaine on liian alhainen.	Korota imupainetta tai tarkasta mahdollisen paisuntasäiliön ilmatilavuus.
		a) Pumpun kapasiteetti liian alhainen.	Lisää imukorkeutta. Katso kohta 11. Pumpun asetukset ja pumpun kapasiteetti.

13. Tekniset tiedot ja asennusmitat

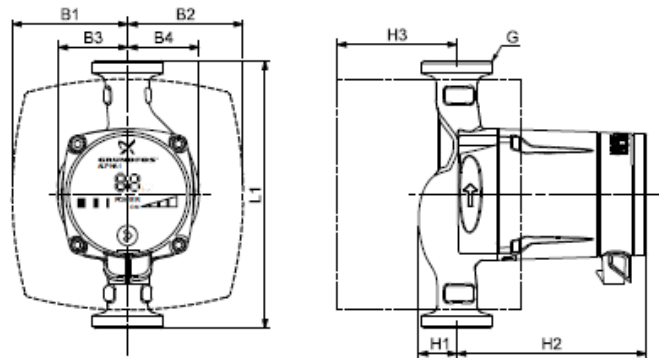
13.1 Tekniset tiedot

Verkköjännite	1 x 230 V - 10 %/+ 10 %, 50/60 Hz, PE.	
Mootorinsuoja	Pumppu ei tarvitse ulkoista moottorinsuojaa.	
Kotelointiluokka	IP42.	
Eristysluokka	F.	
Suhteellinen ilmankosteus	Enintään 95 %.	
Järjestelmäpaine	Enintään 1,0 MPa, 10 bar, nostokorkeus 102 m.	
Imupaine	Nesteen lämpötila	Pienin imupaine
	≤ +75 °C	0,05 bar, 0,005 MPa, nostokorkeus 0,5 m
	+90 °C	0,28 bar, 0,028 MPa, nostokorkeus 2,8 m
	+110 °C	1,08 bar, 0,108 MPa, nostokorkeus 10,8 m
EMC	EN 55014-1:2006 ja EN 55014-2:1997.	
Äänenpainetaso	Pumpun äänenpainetaso on alhaisempi kuin 43 dB(A).	
Ympäristön lämpötila	0 ... +40 °C.	
Lämpötilaluokka	TF110, CEN 335-2-51 mukaan.	
Pintalämpötila	Suurin pintalämpötila ei ylitä +125 °C.	
Nesteen lämpötila	+2 ... +110 °C.	

Jotta kondenssiveden muodostuminen ohjauskoteloon ja staattoriin voidaan estää, on pumpattavan nesteen lämpötilan oltava aina ympäristön lämpötilaa korkeampi.

Ympäristön lämpötila [°C]	Nesteen lämpötila	
	Min. [°C]	Maks. [°C]
0	2	110
10	10	110
20	20	110
30	30	110
35	35	90
40	40	70

13.2 Asennusmitat, GRUNDFOS ALPHA1 XX-40, XX-45, XX-50, XX-60 (kansainväliset markkinat)
Asennuspiirustukset ja mittataulukot



Kuva 15 Mittapiirrokset, ALPHA1 XX-40, XX-45, XX-50, XX-60

Pumpputyyppi	Mitat								
	L1	B1	B2	B3	B4	H1	H2	H3	G
ALPHA1 15-40 130	130	78	78	46	49	27	129	58	1
ALPHA1 20-40 130	130	78	78	46	49	27	129	58	1 1/4
ALPHA1 25-40 130	130	78	78	46	49	27	129	58	1 1/2
ALPHA1 25-40 180	180	78	78	47	48	26	127	58	1 1/2
ALPHA1 25-40 A 180	180	63	93	32	65	50	135	82	1 1/2
ALPHA1 32-40 180	180	78	78	47	48	26	127	58	2
ALPHA1 15-50 130	130	78	78	46	49	27	129	58	1
ALPHA1 15-50 130*	130	78	78	46	49	27	127	58	1 1/2
ALPHA1 20-50 130	130	78	78	46	49	27	129	58	1 1/4
ALPHA1 25-50 130	130	78	78	46	49	27	129	58	1 1/2
ALPHA1 25-50 180	180	78	78	47	48	26	127	58	1 1/2
ALPHA1 32-50 180	180	78	78	47	48	26	127	58	2
ALPHA1 15-60 130*	130	77	78	46	49	27	129	58	1 1/2
ALPHA1 15-60 130	130	78	78	46	49	27	129	58	1
ALPHA1 20-60 130	130	78	78	46	49	27	129	58	1 1/4
ALPHA1 25-60 130	130	78	78	46	49	27	129	58	1 1/2
ALPHA1 25-60 180	180	78	78	47	48	26	127	58	1 1/2
ALPHA1 25-60 A 180	180	63	93	32	65	50	135	82	1 1/2
ALPHA1 32-60 180	180	78	77	47	48	26	127	58	2
ALPHA1 20-40 N 150	150	-	-	49	49	28	127	-	1 1/4
ALPHA1 20-45 N 150	150	-	-	43	43	27	127	-	1 1/4
ALPHA1 25-40 N 180	180	-	-	47	48	26	127	-	1 1/2
ALPHA1 20-50 N 150	150	-	-	49	49	28	127	-	1 1/4
ALPHA1 25-50 N 180	180	-	-	47	48	26	127	-	1 1/2
ALPHA1 20-60 N 150	150	-	-	49	49	28	127	-	1 1/4
ALPHA1 25-60 N 180	180	-	-	47	48	26	127	-	1 1/2

* Vain Britannian markkinoita varten.

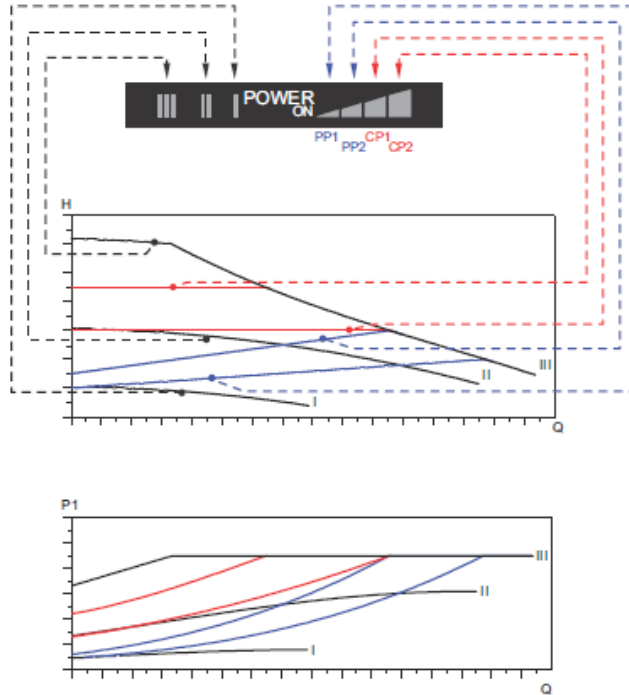
14. Ominaiskäyrät

14.1 Kapasiteettikäyrien lukuohje

Jokaisella pumpun asetuksella on oma kapasiteettikäyränsä (Q/H-käyrä).

Tehokäyrä (P1-käyrä) kuuluu kuhunkin Q/H-käyrään. Tehokäyrä kertoo pumpun tehonkulutuksen (P1) watteina tietyllä Q/H-käyrällä.

P1-arvo on sama arvo, joka voidaan lukea pumpun näytöltä. Katso kuva 18:



Kuva 18 Kapasiteettikäyrät suhteessa pumpun asetukseen

Asetus	Pumppukäyrä
PP1	Alin suhteellinen painekäyrä
PP2 (tehdasasetus)	Ylin suhteellinen painekäyrä
CP1	Alin vakiopainekäyrä
CP2	Ylin vakiopainekäyrä
III	Vakionopeus, nopeus III
II	Vakionopeus, nopeus II
I	Vakionopeus, nopeus I

Lisätietoja pumpun asetuksista on kohdissa

7.4 Pumpun asetuksen ilmaisevat merkkivalot

8. Pumpun asettaminen

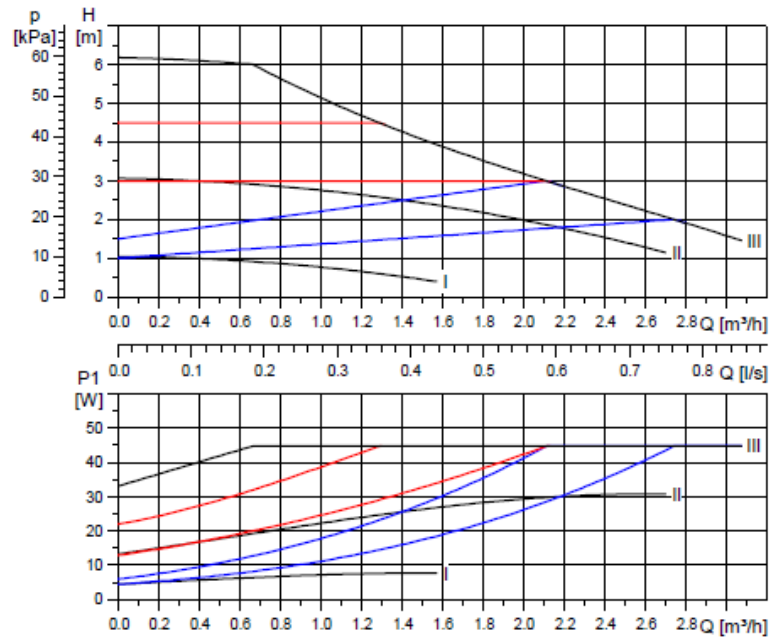
11. Pumpun asetukset ja pumpun kapasiteetti.

14.2 Käyrien edellytykset

Alla esitetyt ohjeet koskevat seuraavilla sivuilla esitettyjä kapasiteettikäyriä:

- Testineste: ilmaton vesi.
- Käyrät ovat voimassa tiheydelle $\rho = 983,2 \text{ kg/m}^3$ ja nesteen lämpötilalle $+60 \text{ °C}$.
- Kaikki käyrät ilmaisevat keskimääräisiä arvoja eikä niitä tule pitää takuukäyrinä. Jos tietty minimikapasiteetti on tarpeen, on tehtävä tapauskohtaiset mittaukset.
- Nopeuksien I, II ja III käyrät on merkitty.
- Käyrät ovat voimassa kinemaattiselle viskositeetille $\nu = 0,474 \text{ mm}^2/\text{s}$ (0,474 cSt).

14.6 Kapasiteettikäyrät, ALPHA1 XX-60



Kuva 22 ALPHA1 XX-60

TM04 2108 2008

Mittauksista otettuja kuvia

