

Aapo Ojala

**MUOVIVARAAJEN ENERGIAEHOVUUDEN JA
KÄYTETTÄVIEN LÄMMÖNSIIRINKIERUKKAPAKETTIN
TUTKIMINEN**

**MUOVIVARAAJEN ENERGIATEHOKKUUDEN JA
KÄYTETTÄVIEN LÄMMÖNSIIRRINKIERUKKAPAKETTIN
TUTKIMINEN**

Aapo Ojala
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma, LVI-insinööri

Tekijä(t): Aapo Ojala

Opinnäytetyön nimi: Muovivaraajien energiatehokkuuden ja käytettävien kierukkapakettien tutkiminen

Työn ohjaaja(t): Mikko Niskala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2014 Sivumäärä: 98 + 2 liitettä

Työssä tutkittiin Riku'therm-tuoteperheen varaajien energiatehokkuutta ja käytettäviä kierukkapaketteja sekä suoritettiin lämpökuvaus lämpövuotojen löytämiseksi muovivaraajien rakenteista. Lisäksi tutkittiin käytettävien kierukkapakettien käyttövesikierukoiden laskennallisia lämmönsiirto-ominaisuuksia. Työn toimeksiantajana oli suomalainen Northern Nature Energy.

Energiatesteissä käytettiin pohjana SFS-EN 12977-3 -standardia, jossa on määritelty hybridivaraajien EU-standardien mukainen testaaminen.

Energiatesteissä saavutettiin 300 litran varaajassa noin 90 %:n hyötysuhde. 800 litran varaajalle oli suunniteltu 2 kierukkapakettia. Ensimmäisen kierukkapaketin tulokset olivat hyötysuhteeltaan yli 90 %:n luokkaa. Kierukkapaketti 2:n tulokset olivat muutaman prosenttiyksikön verran ensimmäistä kierukkapakettia parempia.

Käyttövesikierukoille suoritettiin virtaus-painehäviökoe, jossa määritettiin kierukan k-arvo ja määritettiin virtaus-painehäviökuvaaja. 300 litran varaajan käyttövesikierukassa syntyi 0,3 litran sekuntivirtaamalla 49 kPa:n painehäviö. 800 litran varaajan kierukkapaketti 1:lle syntyi vastaavalla virtaamalla 100 kPa:n painehäviö. Kierukkapaketti 2:n painehäviö oli 0,3 litran sekuntivirtaamalla 37 kPa.

Lämpökuvaus suoritettiin 300 litran varaajalle ja kontrollikuvina käytettiin kilpailevan yrityksen saneerausvaraajaa. Kuvissa etsittiin lämpöhäviöitä varaajan rakenteista ja rungosta. Rungosta ei lämpövuotoja löytynyt, mutta varaajan hatusta löytyi pieniä lämpövuotoja, joiden perusteella ehdotettiin eristeiden lisäämistä varaajan hattuosaan.

Lämmönsiirto-ominaisuudet laskettiin käyttövesikierukoille kahdella tavalla; teoreettisella laskennalla sekä mitatuilla lämmönsiirto-ominaisuuksilla. Teoreettiset laskennat olivat kaikkia mitattuja lämmönsiirto-ominaisuuksia suurempia, mikä oli odotettua. Lasketuissa arvoissa oli kuitenkin niin paljon eroa, ettei niitä suositeltu käytettäväksi. Tulokset olivat korkeintaan suuntaa antavia.

Asiasanat: Varaaja, energiatehokkuus, painehäviö, SFS-EN 12977-3, muovivaraaja

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 VARAAJIEN ESITTELY	7
2.1 Varaajien yleinen esittely	7
2.2 Muovivaraajien esittely	7
2.2.1 Riku'therm 300	10
2.2.2 Riku'therm 800	11
3 TESTAUSLAITTEISTON RAKENTAMINEN	12
3.1 Varauslaitteisto	12
3.1.1 Komponenttien valinta	12
3.1.2 Toimintakaavio	13
3.2 Purkulaitteisto	14
3.2.1 Komponenttien valinta	14
3.2.2 Toimintakaavio	17
4 LÄMPÖKUVAUS	19
5 VIRTAUS-PAINEHÄVIÖKOKEET	21
5.1 Virtauksen teoria	21
5.2 Testauslaitteisto	23
5.3 Riku'therm RT300	26
5.4 Riku'therm RT800	27
5.4.1 Kierukkapaketti 1	28
5.4.2 Kierukkapaketti 2	29
5.5 Tulosten analysointi	32
6 ENERGIATESTIT	33
6.1 Energiansiirron teoria	33
6.2 Testien suorittaminen	34
6.3 Riku'therm 300	37
6.3.1 Ryhmä 1	37
6.3.2 Ryhmä 2	39

6.3.3 Ryhmä 3	41
6.3.4 Ryhmä 4	44
6.3.5 Ryhmä 5	46
6.4 Riku'therm 800 kierukkapaketti 1	50
6.4.1 Ryhmä 1	51
6.4.2 Ryhmä 2	53
6.4.3 Ryhmä 3	55
6.4.4 Ryhmä 4	57
6.4.5 Ryhmä 5	59
6.5 Riku'therm 800 kierukkapaketti 2	63
6.5.1 Ryhmä 1	64
6.5.2 Ryhmä 2	66
6.5.3 Ryhmä 3	68
6.5.4 Ryhmä 4	70
6.5.5 Ryhmä 5	72
6.6 Tulosten analysointi	76
7 KÄYTTÖVESIKIERUKOIDEN K_{LS} -ARVO	79
7.1 Teoreettinen lämmönsiirtymisluku	79
7.1.1 Teoreettisen lämmönsiirtymisluvun laskeminen	79
7.1.2 Riku'therm 300	82
7.1.3 Riku'therm 800	84
7.2 Mitattu lämmönsiirtymisluku	86
7.2.1 Lämmönsiirron teoria	86
7.2.2 Riku'therm 300	88
7.2.3 Riku'therm 800	88
7.3 Tulosten analysointi	89
8 YHTEENVETO	91
LIITTEET	94
Liite 1 Pumpun valintakäyrä	
Liite 2 Kierukkapaketti 3	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaajana toimi Northern Nature Energy. Opinnäytetyössä tutkittiin saksalaisen Rikutec-yhtiön muovivaraajia. Varaajien toimittajana Suomessa toimii Northern Nature Energy. Opinnäytetyössä tutkittiin varaajien energiatehokkuutta käyttäen pohjana SFS-EN 12977-3 -standardia. Lisäksi opinnäytetyössä tutkittiin varaajissa käytettävien kierukkapakettien käyttövesikierukoiden painehäviöitä.

Kierukoille suoritettiin virtaus-painehäviökoe, jossa määritettiin kullekin kierukalle k-arvo, jota yritys voi käyttää omissa laskelmissaan. Riku'therm 300 -varaajalle suoritettiin lämpökuvaus, jossa käytettiin vertailukohteena kilpailevan yrityksen saneerausvaraajaa. Näiden kuvien perusteella suositeltiin parannuksia varaajissa käytettäviin rakenteisiin. Lisäksi laskettiin käytettävien käyttövesikierukoiden lämmönsiirtokyky.

2 VARAAJIEN ESITTELY

Tässä luvussa käydään läpi varaajien käyttötarkoituksia yleisesti sekä esitellään testattavat muovivaraajat.

2.1 Varaajien yleinen esittely

Lämminvesivaraajaa käytetään lämmön varastointiin, mikäli lämmöntuoton teho tai käyttöveden tarve vaihtelee suuresti. Vesikiertoisissa lämmitysjärjestelmissä lämpöä varastoidaan lämmityslaitteella varaajan veteen. Varaaja edesauttaa saavuttamaan tasaisen ja miellyttävän huonelämmön. Varaajan avulla voidaan myös tuottaa lämmintä käyttövettä käyttämällä varaajaan kytkettyä käyttövesikierukkaa. (1, s.18; 2, s.2.) Koska vedellä on loistava lämmönvarauskyky, soveltuu varaaja erinomaisesti käytettäväksi lämmitysjärjestelmässä. Varaajan lisääminen lämmitysjärjestelmään parantaa hyötysuhdetta, pienentää hiilijalanjälkeä ja laskee energiakustannuksia. Nykyaikainen lämminvesivaraaja kykenee yhdistämään useammasta lähteestä saatavat eritasoiset energiat. (3, s.1.) Uudet energiatehokkuusvaatimukset asettavat vaatimuksia myös lämminvesivaraajille. Valmistajat joutuvat kiinnittämään suuremmissa määrin huomiotaan varaajan eristeisiin sekä kytkentöihin sekä kytkennöissä käytettäviin kierukoihin ja niiden energiansiirtokykyyn. (4, s.1.)

2.2 Muovivaraajien esittely

Varaajat koostuvat lämpöstabilisoidusta PE-muovikuoresta, 100 mm:n polyuretaanieristeestä, lämpöstabilisoidusta PE-RT-sisäkuoresta, RST-teräksestä valmistetuista kierukoista, RST-teräksestä valmistetusta kannesta, johon kierukat on liitetty sekä polyuretaanieristehatusta. (4, s.6.)

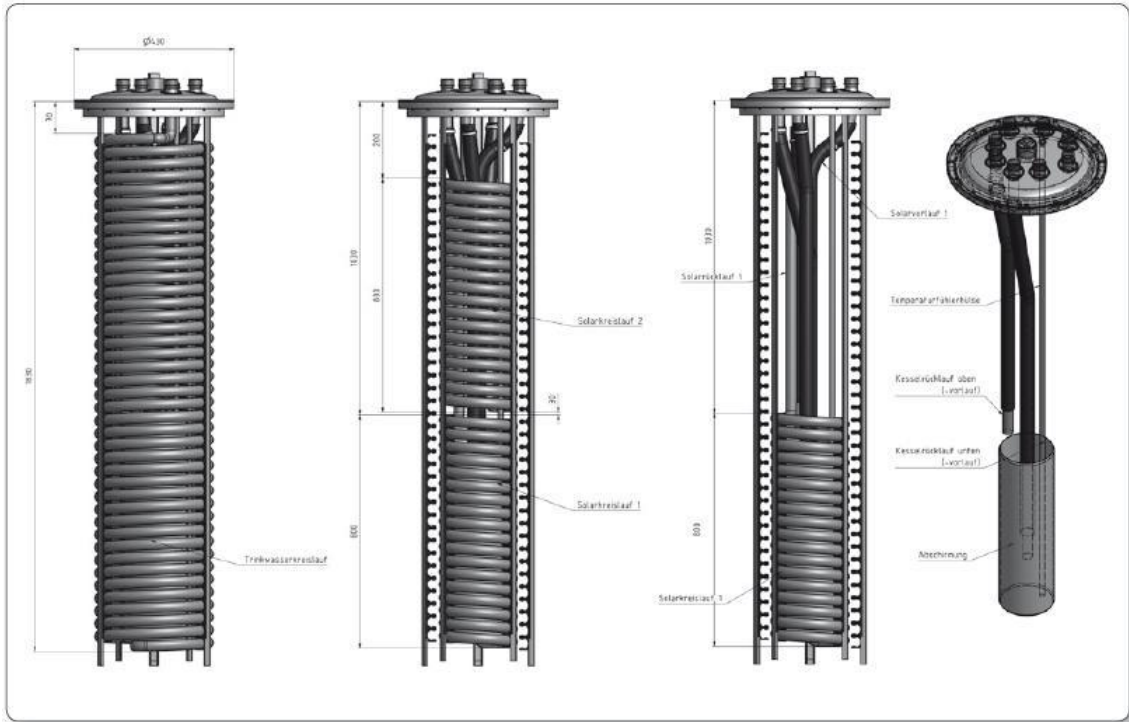
Varaajien suurin sallittu sisälämpötila on 95 °C. Suurin sallittu paine varaajien sisällä on 3 bar. RST-kierukoiden suurin sallittu käyttöpaine on 10 bar. (Northern Nature Energy 2013, 6.) RST-kierukkapaketit on valmistettu joustavasta RST-putkesta.

Varaajissa on käytettävissä 4 liitännätapaa: kattilaliitântä 1, aurinkokierukka, kattilaliitântä 2 sekä käyttövesikierukka. Lisäksi varaajasta löytyy sähkövastuspaikka. Kuvassa 1 on esitetty varaajan 4 pääliitântää.



KUVA 1. Liitännät vasemmalta oikealle: kattilaliitântä 1, aurinkokierukka, kattilaliitântä 2, käyttövesikierukka

Kuvassa 2 on esitetty RST- kierukkapakettien tekninen rakenne pääpiirteittäin. Kierukoiden pituudet vaihtelevat käytettävän varaajan mukaan. Kattilaliitântä 1:ssä on kaksi putkea. Toinen putki päättyy heti kannen alle, toinen putki ylettyy varaajan puoleenväliin. Aurinkokierukka kiertää varaajan pohjasta varaajan puoleenväliin. Kattilaliitântä 2:ssa on kaksi putkea. Toinen putki päättyy heti kannen alle, toinen putki ylettyy varaajan pohjaan. Käyttövesikierukka kiertää varaajan pohjasta varaajan kannen alle.



KUVA 2. Kierukoiden poikkileikkauskuvat vasemmalta oikealle: 1: käyttövesikierukka, 2: kaksi aurinkokierukkapakettia (ylempi poistettu tuotantomallista) 3: aurinkokierukka, 4: kattilaliitännöjen 1 ja 2 alaputket.

Kuvassa 2 neljännessä poikkileikkauskuvassa näkyvät kierukkapakettien kattilaliitännät 1 ja 2. Näiden putkien päät eivät ole avonaisia, vaan ne on tulpattu ja putkeen on tehty alaosaan reikiä, joiden kautta vesi pääsee kulkemaan. Tätä on selvennetty kuvassa 3.



KUVA 3. Tulpattu kattilaliitäntä; putken kyljessä näkyy pientä reiitystä

2.2.1 Riku'therm 300

Riku'therm 300 on varaajaperheen pienin varaaja. Varaaja on täysin yhtenäinen, eikä se ole purettavissa pienempiin osiin. Taulukossa 1 on esitetty Riku'therm 300 -varaajan tärkeimmät tekniset tiedot.

TAULUKKO 1. Riku'therm 300-varaajan tekniset tiedot

Ominaisuus	Yksikkö	RT300
Tilavuus	dm ³	300
Omapaino	kg	58
Kokonaispaino	kg	358
Mitat (ø x korkeus)	mm	790 x 1616
Maksimi veden lämpötila	°C	95
Maksimi käyttöpaine	bar	3

Taulukossa 2 on Rikutecin ilmoittamat 300 litran varaajan kierukkapaketin tärkeimmät tekniset tiedot.

TAULUKKO 2. Riku'therm 300-kierukkapaketin tekniset tiedot

Ominaisuus	Yksikkö	RT300 Aurinkokierukka	RT300 Käyttövesikierukka
Tilavuus	dm ³	5,4	15,5
Maksimi käyttöpaine	bar	10	10
Kierukan pinta-ala	m ²	1,27	3,61

2.2.2 Riku'therm 800

Riku'therm 800 on varaajaperheen suurin varaaja. Varaaja ei ole yhtenäinen, ja se on purettavissa pienempiin osiin. Taulukossa 3 on esitetty Riku'therm 800 -varaajan tärkeimmät tekniset tiedot.

TAULUKKO 3. Riku'therm 800 varaajan tekniset tiedot

Ominaisuus	Yksikkö	RT800
Tilavuus	dm ³	800
Omapaino	kg	110
Kokonaispaino	kg	910
Mitat (ø x korkeus)	mm	1006 x 2160
Maksimi veden lämpötila	°C	95
Maksimi käyttöpaine	bar	3

Taulukossa 4 on Rikutecin ilmoittamat kierukkapaketin 1 tärkeimmät tekniset tiedot.

TAULUKKO 4. Riku'therm 800 kierukkapaketti 1:n tekniset tiedot

Ominaisuus	Yksikkö	RT800 Aurinkokierukka	RT800 Käyttövesikierukka
Tilavuus	dm ³	8,2	22,9
Maksimi käyttöpaine	bar	10	10
Kierukan pinta-ala	m ²	1,91	5,35

3 TESTAUSLAITTEISTON RAKENTAMINEN

Koska Oulun seudun ammattikorkeakoulusta ei suoraan löytynyt tarvittavaa testauslaitteistoa muovivaraajien testaamiseksi, päätettiin rakentaa varaus- sekä purkulaitteistot. Varauslaitteiston pohjana käytettiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun sähkökattilaa, joka muokattiin käytettäväksi varaajien lataamisessa. Purkulaitteistoon ei löytynyt sopivaa pohjaa ammattikorkeakoulusta, joten purkulaitteisto päätettiin rakentaa testausta varten.

3.1 Varauslaitteisto

Tässä luvussa käydään läpi varauslaitteiston komponenttien valintaa ja esitetään varauslaitteiston toimintakaavio.

3.1.1 Komponenttien valinta

Varauslaitteiston pohjana oli käyttöveden lämmittämiseen tarkoitettu sähkökattila. Varauslaitteistoon täytyi lisätä pumppu, pumpunsäätöventtiili, ilmanpoistin, paisunta-astia sekä varoventtiili. Lisäputkitukset tehtiin käyttäen CU22-putkea.

Koska painehäviö varaajissa sekä latauslaitteistoissa oli tuntematon, valittiin pumppu, joka kykenisi yli 100 kPa:n paineentuottoon virtaaman ollessa standardissa määritelty $1 \text{ m}^3/\text{h}$. Valintaohjelmana käytettiin Grundfos WebCAPS -ohjelmaa, jonka perusteella valittiin elektronisesti säädettävä Grundfos Magna 32-100 -pumppu. Liittessä 1 on WebCAPS-ohjelmaan syötetyt mitoitusarvot ja niiden perusteella ehdotetun pumpun pumppukäyrä.

Pumpunsäätöventtiiliksi valikoitui TA STAD 20 -venttiili. Venttiili valikoitui helpon mitattavuuden ja säädettävyyden vuoksi, koska venttiiliä käytettäisiin mittauksissa virtaaman mittaamiseksi.

Paisunta-astia mitoitettiin käyttäen Teknokalorin TeknoWeb-ohjelmaa. Mitoituksessa käytettiin lähtöarvoina 1,5 barin avautumispainetta varoventtiilille, sekä 100 celsiusasteen lämpötilavaihtelua käytettävälle nesteelle. Ohjelma

suositteli käytettäväksi 80 litran paisunta-astiaa. Mitoituksen perusteella valittiin Reflexin 80 litran paisunta-astia, jossa oli 1,5 barin esipaine.

Kuvassa 4 on esitetty valmis varauslaitteisto.

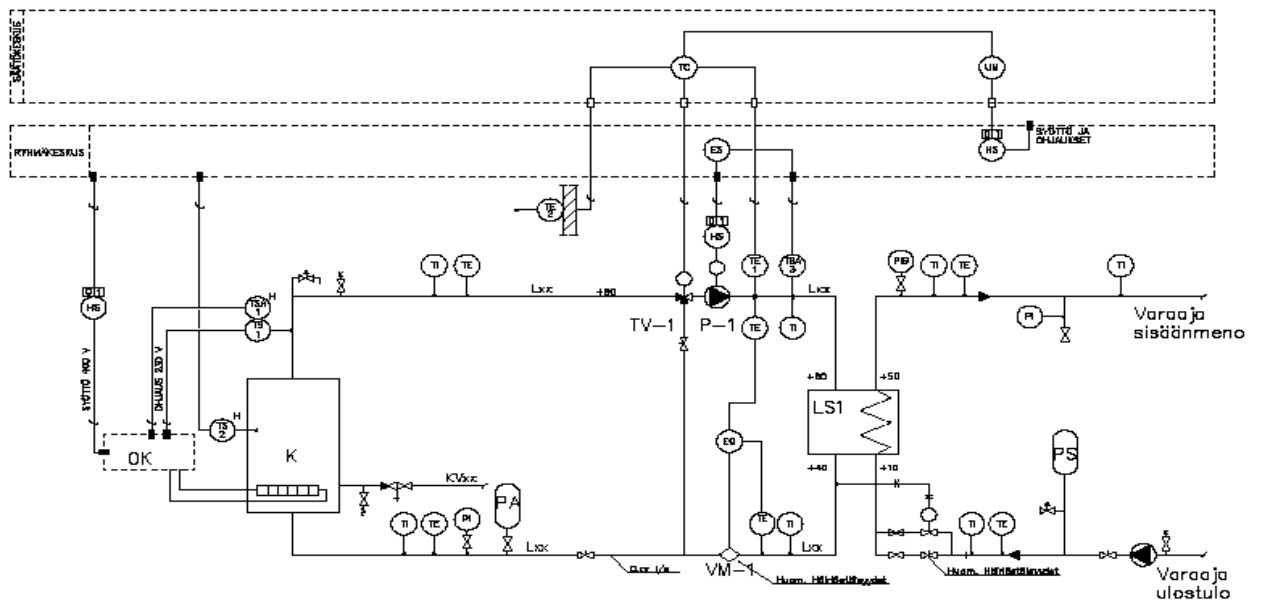


KUVA 4. Varauslaitteisto; kuvan yläosassa näkyy valittu Grundfos Magna 32-100 -pumppu

3.1.2 Toimintakaavio

Termostaatti TS-1 pysäyttää ja käynnistää vastuksen ohjauskeskuksesta, kun kattilasta lähtevän veden lämpötila saavuttaa termostaattiin asetetut raja-arvot. Varalämmitystermostaatti TS-2 kytkee varalämmitysvastuksen päälle ja pois, kun kattilasta lähtevän veden lämpötila saavuttaa termostaattiin asetetut raja-arvot. Lämpötilanrajoitustermostaatti TSA-1 pysäyttää vastuksen, jos kattilasta lähtevän veden lämpötila saavuttaa termostaattiin asetetun arvon.

Säätöventtiiliä TV-1 ohjataan menoveden tuntoelimen TE:n ja ulkoilman tuntoelimen TE-2 mittausarvojen perusteella siten, että lämmitysverkostoon lähtevän menoveden lämpötila pysyy asetuservojen mukaisena. Kuvassa 5 on esitetty sähkökattilan kytkentäkaavio.



KUVA 5. Sähkökattilan kytkentäkaavio

3.2 Purkulaitteisto

Tässä luvussa käydään läpi purkulaitteiston komponenttien valintaa ja esitetään purkulaitteiston toimintakaavio.

3.2.1 Komponenttien valinta

Purkulaitteisto rakennettiin käyttäen CU22-kupariputkea mahdollisimman pienen virtaushäviön saavuttamiseksi. Toisiopiiri rakennettiin CU15-putkesta. Lämmönsiirtimen teho laskettiin käyttäen Danfossin mitoitusohjelmaa sekä varaajien testausstandardissa EN 12977-3:2012 määriteltyjä arvoja. Standardissa on määritelty testien maksimivirtaamaksi $1 \text{ m}^3/\text{h}$. Standardissa on myös määritelty varaajassa olevan veden maksimilämpötila $60 \text{ }^\circ\text{C}$ sekä purkamiseen käytettävän veden menolämpötila $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Näitä arvoja käytettiin kaavassa 1 määriteltäessä lämmönsiirtimen minimitehoa.

$$\phi_{\text{lämmönsiirrin, minimi}} = q_v * \rho * c_{p_v} * \Delta T$$

KAAVA 1

missä,

$$\phi_{\text{lämmönsiirrin, minimi}} = \text{lämmönsiirtimen minimiteho [kW]}$$

$$q_v = \text{lämmönsiirtimen läpi kulkeva vesivirta [m}^3\text{/s]}$$

$$\rho = \text{veden tiheys [kg/m}^3\text{]}$$

$$c_{p_v} = \text{veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/(kg*}^\circ\text{C)}]$$

$$\Delta T = \text{veden lämpötilan muutos lämmönvaihtimessa [}^\circ\text{C]}.$$

$$\phi_{\text{lämmönsiirrin, minimi}} = 0,00028 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (60^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}).$$

Tulokseksi saatiin

$$\phi_{\text{lämmönsiirrin, minimi}} \approx 47 \text{ kW}.$$

Koska kyseessä oli lämmönsiirtimessä käytettävä minimiteho, täytyi varsinaisen lämmönsiirtimen teho olla tätä suurempi. Tämän vuoksi valittiin 50 kW:n levylämmönsiirrin, joka oli vaadittua minimitehoa seuraava suurempi koko.

Pumpun mitoituksessa suurin kriteeri kohdistui riittävän suuren vesivirran tuottamiseen, riittävään paineentuottoon sekä helppoon säädettävyyteen. Koska painehäviö kierukoissa oli tuntematon, valittiin pumppu, joka kykenisi yli 100 kPa:n paineentuottoon virtaaman ollessa standardissa määritelty 1 m³/h. Tämän perusteella päädyttiin samaan pumppuun kuin varauslaitteistossa.

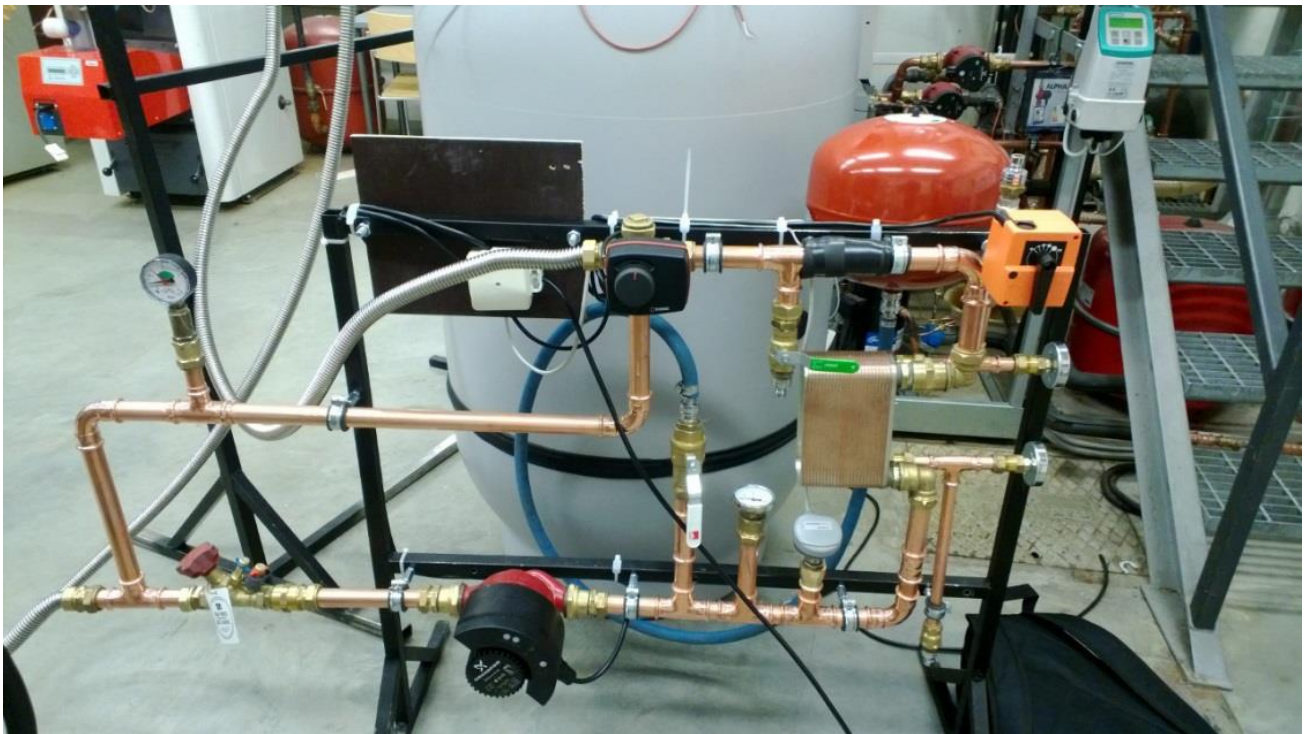
Pumpunsäätöventtiiliksi valittiin TA STAD 20 linjansäätöventtiili, jota käytettäväisiin virtaaman mittaamiseen. TA STAD 20 venttiiliin päädyttiin sen helpon säädettävyyden ja mitattavuuden vuoksi.

Moottoriventtiili 2TV1 mitoitettiin käyttäen Belimon laskentatyökalua. Laskennassa käytettiin virtaamana arvoa 1,6 m³/h sekä paine-erona 300 kPa:a. Laskentatyökalu ehdotti venttiilin rungoksi R2015-1P6-S1. Venttiilin k_{vs} -arvo oli

1,6. Tähän päädyttiin myös siksi, että koululla oli moottori, joka oli yhteensopiva rungon kanssa.

3-tieventtiiliksi valittiin Esbe VRB 142 -4-tieventtiili, josta tulpattiin yksi lähtö. Valinnassa käytettiin hyväksi Esben mitoitusastaulukkoa. Toimilaitteeksi valittiin Esben oma toimilaitte ARA639, jota ohjattaisiin suhteellisella säädöllä.

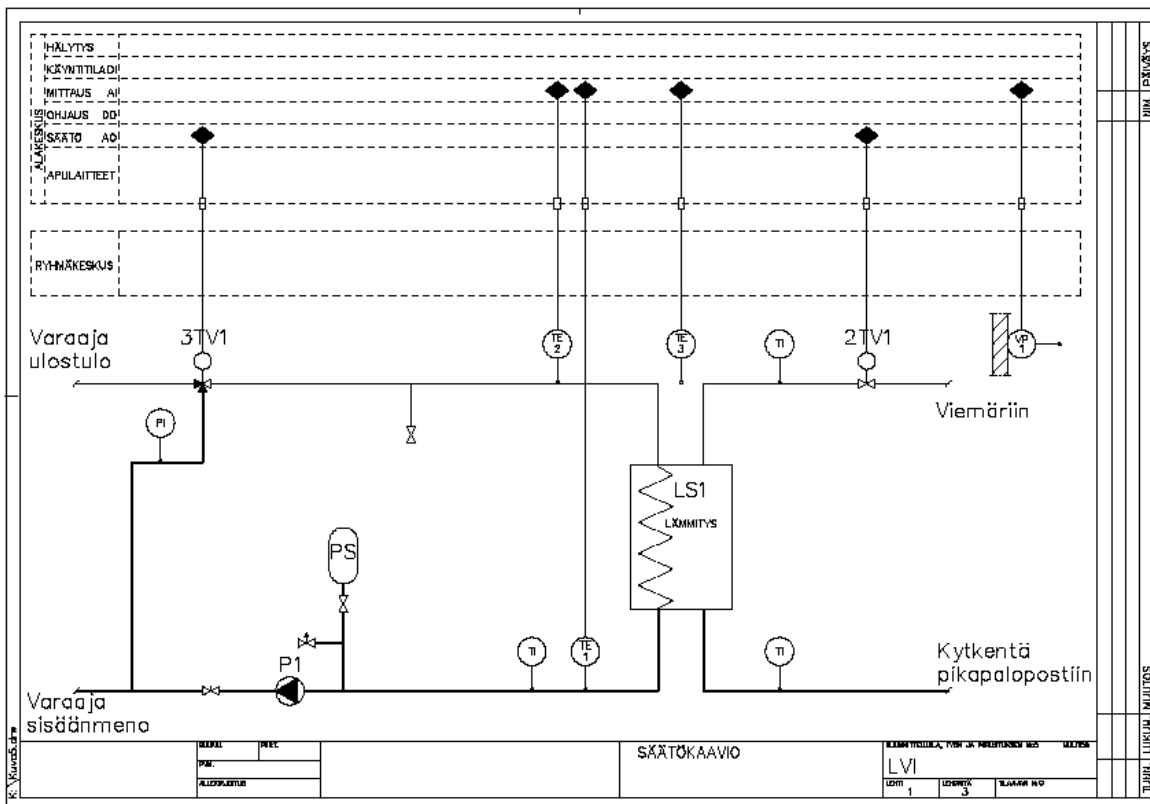
Paisunta-astia mitoitettiin käyttäen Teknokalorin TeknoWeb-ohjelmaa. Mitoituksessa käytettiin lähtöarvoina 1,5 barin avautumispainetta varoventtiilille sekä 100 celsiusasteen lämpötilavaihtelua käytettävälle nesteelle. Tilavuudeksi ilmoitettiin 20 litraa, koska suurimman kierukkapaketin tilavuudeksi oli ilmoitettu 15 litraa ja purkujärjestelmän loppuosan tilavuudeksi laskettiin noin 5 litraa. Ohjelma suositteli käytettäväksi 2 litran paisunta-astiaa. Mitoituksen perusteella valittiin Reflexin 10 litran paisunta-astia, jossa oli 1,5 barin esipaine. Kuvassa 6 on esitetty valmis purkulaitteisto.



KUVA 6. Purkulaitteisto

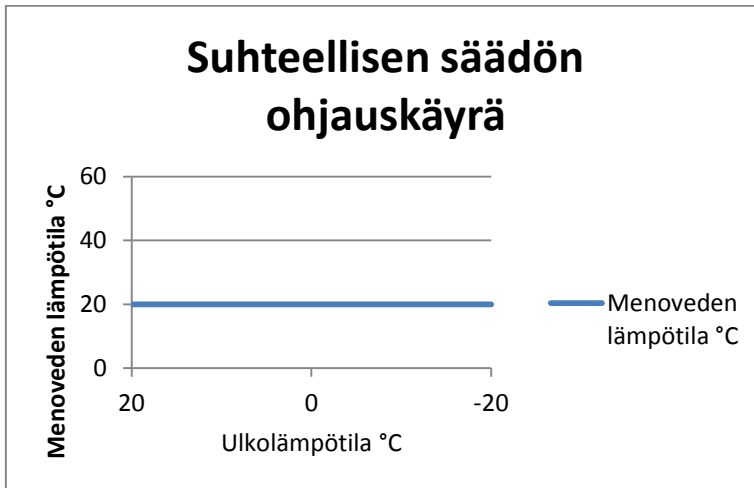
3.2.2 Toimintakaavio

Kolmitieventtiä 3TV1 ohjataan lämpötila-anturi TE2:n perusteella. Pumpua P1 säädetään suoraan pumpusta halutun virtaaman saavuttamiseksi. 2-tieventtiä 2TV1 säädetään käänteisesti TE1:n perusteella. Ulkolämpötila-anturi TU on liitetty vastuspotentiometriin, jolla voidaan antaa säätimelle mikä tahansa ulkolämpötila. Kuvassa 7 on esitetty purkulaitteiston kytkentäkaavio.



KUVA 7. Purkulaitteiston kytkentäkaavio

Koska ohjauksessa käytettiin lämmitykseen tarkoitettua ohjauspiiriä, annettiin säätimelle ohjausarvot ulkolämpötilan funktiona. Kuvassa 8 on esitetty ohjausarvot säätimelle.



KUVA 8. Suhteellisen säädön ohjauk käyrä purkulaitteistolle

4 LÄMPÖKUVAUS

Pienemmälle Riku'therm RT 300 -muovivaraajalle päätettiin suorittaa lämpökuvaus ja vertailla lämpökuvia kilpailevan yrityksen raudasta valmistetun saneerausvaraajan lämpökuviin käyttäen saneerausvaraajan kuvia kontrollikuvina. Näin voitaisiin havaita mahdolliset lämpövuodot muovivaraajan rakenteissa.

Riku'therm RT 300-varaaja varattiin käyttäen sähkökattilaa, jota käytettiin myös varaajan energiatesteissä. Perinteinen rautavaraaja varattiin siihen liitetyillä kahdella sähkövastuksella. Molemmat varaajat varattiin 75 celsiusasteen lämpötilaan, minkä jälkeen lämmitysvastukset sekä sähkökattila sammutettiin, liitännät suljettiin ja varaajat jätettiin tasaantumaan 20 tunniksi. Lämpökuvaus suoritettiin tämän jälkeen käyttäen Flir Systemsin Flir P660-lämpökameraa. Lämpökuvissa käytettiin kaikissa samaa skaalaa 15 °C—70 °C, jotta välttyttäisiin skaalan vaihtelusta johtuvalta väärylta informaatiolta. Ympäristön lämpötilana käytettiin 25 °C, ympäristön emissiivisyytenä 0,95.



KUVA 9. Muovivaraaja oikealla ja saneerausvaraaja vasemmalla

Kuvasta 9 käy ilmi, että muovivaraajassa ei ollut suuria lämpövuotoja rungossa. Perinteiseen varaajaan verrattaessa suurin ero rungossa on kierukoiden liitännöissä. Lisäksi perinteisen varaajan eristeistä näkyi pientä lämpövuotoa verrattuna muovivaraajaan. Suurimmat muovivaraajan lämpövuodot löytyivät varaajan hattuun sijoitetuista liitännöistä sekä varaajan hatun päältä, koska hattuosa ei istunut täydellisesti yhteen. Kuvassa 10 näkyy muovivaraajan lämpövuoto hatun päältä.



KUVA 10. Muovivaraajan hattu päältäpäin

5 VIRTAUS-PAINEHÄVIÖKOKEET

Varaajien käyttövesikierukoihin suoritettiin virtaus-painehäviökoe. Kokeessa mitattiin painehäviötä ja virtaamaa kierukan yli käyttäen TA STAD 25 -venttiiliä virtauksen säätämiseen. Koska virtaamia säädettiin venttiilin esisäätöarvoilla, kutakin virtaamaa ja siitä syntyvää painehäviötä kierukassa mitattiin yhden minuutin ajan. Tämän jälkeen venttiiliä säädettiin uudestaan. Minuutin aikana virtaama ja painehäviö tasaantuivat riittävästi, jotta saatiin mittaukselle riittävän suuri tarkkuus ja varmuus. Yhden minuutin aikana tallenetuille tiedoille otettiin keskiarvo, jota käytettiin taulukon ja kuvaajan laatimiseen.

Mitattuja virtaamia ja paine-eroja käytettiin myös kierukan k-arvon määrittämiseen. K-arvolla tarkoitetaan kierukan ominaiskerrointa, jolla pystytään määrittämään painehäviö tai virtaus kierukan läpi, mikäli vain toinen muuttuja tiedetään. K-arvoa voidaan käyttää muun muassa mitoittaessa oikean kokoista varaajaa tilaajan tahtomaan kohteeseen.

5.1 Virtauksen teoria

Putkivirtauksen kokonaispainehäviö koostuu kahdesta osasta, kitkavastuksesta ja kertavastuksista. Kertavastukset koostuvat putkistossa olevista mutkista, T-kappaleista, supistuksista sekä muista putkistoon liitetyistä laitteistoista ja putkistoa muuttavista osista. Kertavastukset lasketaan putkistolle kaavalla 2. (6.)

$$\Delta p_{\varphi} = \sum \varphi * \frac{1}{2} * \rho * v^2 \quad \text{KAAVA 2}$$

missä,

Δp_{φ} = kertavastuksista syntyvä painehäviö [Pa]

$\sum \varphi$ = kertavastusten summa

ρ = fluidin tiheys [$\frac{kg}{m^3}$]

v = fluidin nopeus [$\frac{m}{s}$].

Kitkavastus syntyy fluidin liikkeistä putkistossa. Kitkavastukseen vaikuttavat tekijät ovat putkiston pituus, putkiston halkaisija, putkiston materiaali ja karheus sekä putkistossa virtaavan fluidin tiheys ja nopeus. Kitkavastus lasketaan putkistolle kaavalla 3. (6.)

$$\Delta p_k = R * L = \lambda * \frac{L}{d} * \frac{1}{2} * \rho * v^2 \quad \text{KAAVA 3}$$

missä,

Δp_k = kitkapainehäviö [Pa]

R = putkiston ominaispainehäviö [$\frac{Pa}{m}$]

L = putkiston pituus [m]

λ = kitkavastuskerroin

d = putkiston sisähalkaisija [m]

ρ = fluidin tiheys [$\frac{kg}{m^3}$]

v = fluidin nopeus [$\frac{m}{s}$].

Kokonaispainehäviö putkistossa on kaavan 4 mukainen.

$$\Delta p_{kok} = \lambda * \frac{L}{d} * \frac{1}{2} * \rho * v^2 + \sum \varphi * \frac{1}{2} * \rho * v^2. \quad \text{KAAVA 4}$$

Fluidin nopeus v voidaan ilmoittaa myös virtaaman ja putkiston poikkipinta-alan avulla, jolloin käytetään kaavaa 5.

$$\Delta p_{kok} = \lambda * \frac{L}{d} * \frac{1}{2} * \rho * \left(\frac{q_v}{A}\right)^2 + \sum \varphi * \frac{1}{2} * \rho * \left(\frac{q_v}{A}\right)^2. \quad \text{KAAVA 5}$$

Tällöin kaava 5 sieventyy kaavaksi 6.

$$\Delta p_{kok} = \left(\lambda * \frac{L}{d} + \sum \varphi\right) * \frac{1}{2} * \rho * \frac{1}{A} * q_v^2. \quad \text{KAAVA 6}$$

Koska kyseessä on jokaisen kierukkapaketin tapauksessa virtaus-painehäviö – testin aikana muuttumaton putkisto-osuus, voidaan putkiston poikkipinta-ala A,

kertavastusten summa $\sum\varphi$, putkiston pituus L sekä putkiston sisähalkaisija d olettaa vakioiksi. Myös virtaavan fluidin lämpötilan pysytellessä vakiona voidaan fluidin tiheys ρ olettaa vakioiksi. Kitkavastuskerroin λ riippuu virtaamasta, jonka oletetaan olevan samassa verkostossa vakio. Tällöin käytetään kaavaa 7. (6.)

$$k = \left(\lambda * \frac{L}{d} + \sum\varphi \right) * \frac{1}{2} * \rho * \frac{1}{A}. \quad \text{KAAVA 7}$$

missä,

$$k = \text{verkoston vakio} \left[\frac{kPa}{\left(\frac{dm^3}{s}\right)^2} \right].$$

Tämän avulla kierukan painehäviö eri virtaamilla voidaan ilmoittaa kaavalla 8. (6.)

$$\Delta p_{kok} = k * q_v^2. \quad \text{KAAVA 8}$$

Koska painehäviö Δp_{kok} sekä virtaama q_v ovat mitattavia suureita, tahdotaan kierukalle selvittää sen k-arvo käyttäen kaavaa 9.

$$k = \frac{\Delta p_{kok}}{q_v^2}. \quad \text{KAAVA 9}$$

Eri virtaamille saaduille k-arvoille otetaan keskiarvo, jolloin saadaan kierukan teoreettinen k-arvo, jota tilaajayritys voi käyttää omissa laskelmissaan.

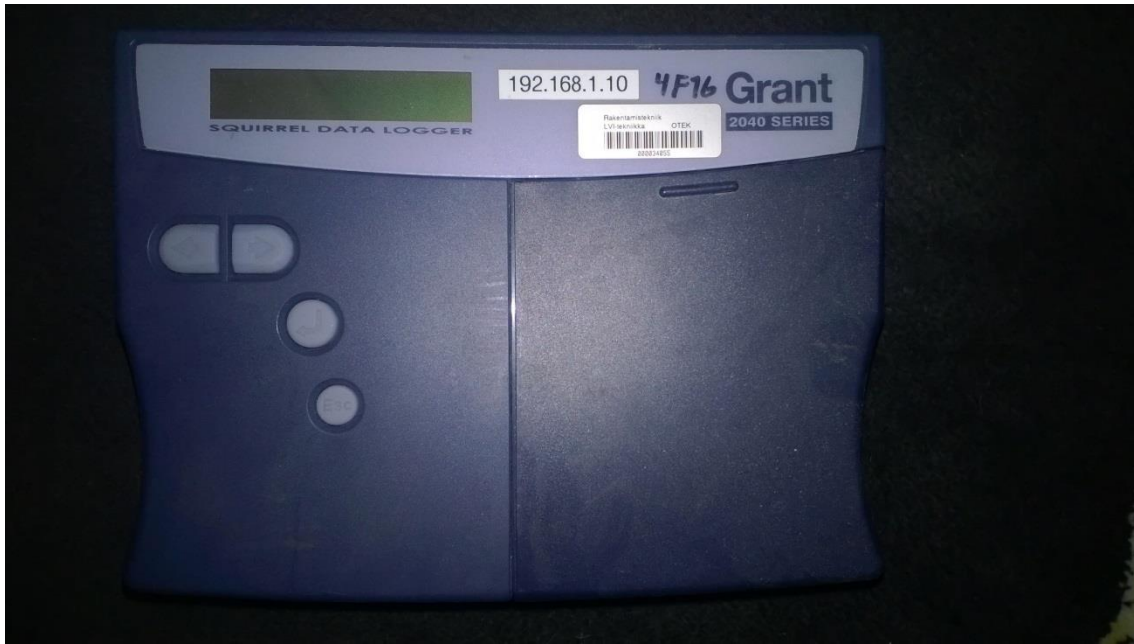
5.2 Testauslaitteisto

Testauslaitteistona käytettiin energiatesteissä käytettyä purkulaitteistoa hiukan muunneltuna. Purkulaitteistosta poistettiin kolmitieventtiili ja avonainen putkenpää tulpattiin palloventtiilillä. Pumpun tilalle tuli kytkentä pikapalopostiin, mikä antoi riittävän suuren virtaamamahdollisuuden testin suorittamiseen.

Pumpunsäätöventtiilinä toiminut TA STAD 20 -linjansäätöventtiili kierrettiin esisäätöarvoon 4,0. Tätä venttiiliä käytettiin virtauksen mittaamiseen.

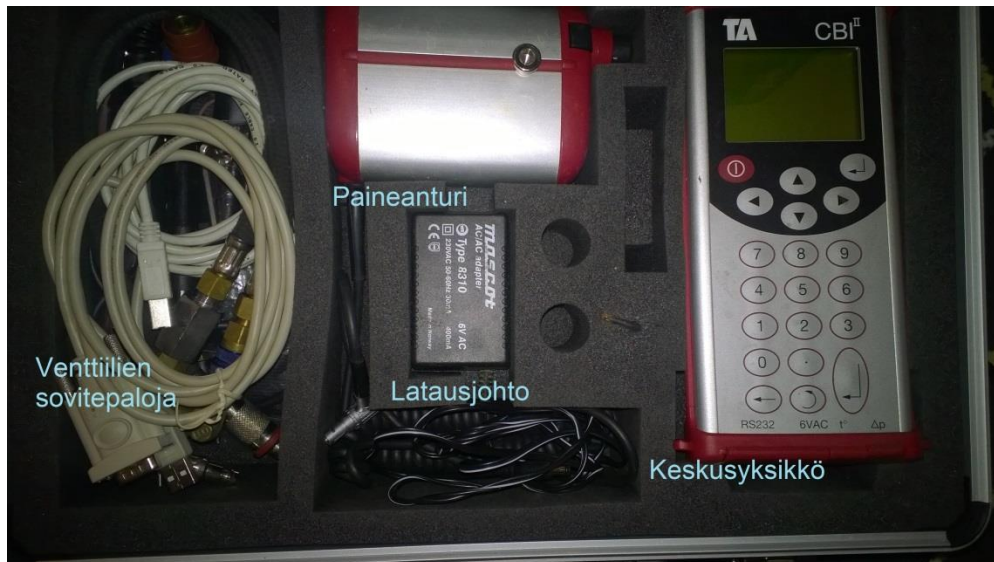
Testattavan varaajan kierukan liitännöihin lisättiin toinen linjansäätöventtiili, TA STAD 25, jota käytettiin virtauksen säätämiseen. Virtausta säädettiin 0,2:n askelluksilla, jolloin eri virtaamia tuli yhteensä 23 (linjansäätöventtiilin esisäätöarvot voidaan säätää välillä 0,0–4,4).

Painehäviön mittaamisessa käytettiin kahta Pro dual VPL 16 -painelähetintä, joille asetettiin mittausalue 0–1 000 kPa. Mittaviesti toimitettiin loggeriin 0–10 voltin jänniteviestillä, jossa jänniteviesti 0 V tarkoitti 0 kPa:a ja jänniteviesti 10 V 1 000 kPa:a. Ensimmäinen painelähetin asetettiin varaajassa olevan kierukan tuloputkeen T-haaralla. Toinen painelähetin asetettiin paluuputkeen T-haaralla. Painelähettimien lähettämä tieto kirjattiin viiden sekunnin välein loggeriin. Loggerina toimi Grantin 2040 -sarjan Squirrel data logger (kuva 11).



KUVA 11. Testeissä käytetty dataloggeri

Virtaama mitattiin TA STAD 20 -venttiilistä käyttäen TA CBI II -merkkistä venttiilinmittauslaitetta. Laite mittaa painehäviötä venttiilin yli tietyllä esisäätoarvolla, jolloin laite laskee virtaaman venttiilin läpi käyttäen kyseisen esisäätoarvon k-arvoa. Virtaama tallennettiin laitteen muistiin viiden sekunnin välein. Kuvassa 12 on esitetty TA CBI II -venttiilinmittauslaite lisälaitteineen.



KUVA 12. Testeissä käytetty virtausmittari, johon tieto tallennettiin

Ennen testejä tarkistettiin pikapalopostista saatavilla oleva maksimipaine sekä maksimivirtaama. Maksimivirtaama tarkistettiin ajamalla vettä virtaustamittaan TA STAD 20-venttiilin läpi suoraan viemäriin, ilman kytkentöjä varaajiin tai varaajan testauslaitteistoon. Tällä tavalla maksimivirtaamaa ei rajoittanut mikään. Suurimmaksi mahdolliseksi virtaamaksi pikapalopostin läpi mitattiin 2,25 litraa sekunnissa. Minimivirtaamaksi pikapalopostin läpi on määritetty 0,85 litraa sekunnissa (8, s.38).

Maksimipaineen mittaamiseksi pikapaloposti kytkettiin varaajan kierukkapakettiin kiinni. Paketista poistettiin ilma juoksuttamalla vettä sen lävitse. Tämän jälkeen suljettiin virtaaman säätämiseen tarkoitettu TA STAD 25-venttiili, jolloin paine kierukkapaketissa tasaantui samaksi kuin pikapalopostissa käytettävissä oleva paine. Tämän jälkeen tieto tallennettiin käyttäen painelähettä. Maksimipaineeksi mitattiin 540 kPa.

5.3 Riku'therm RT300

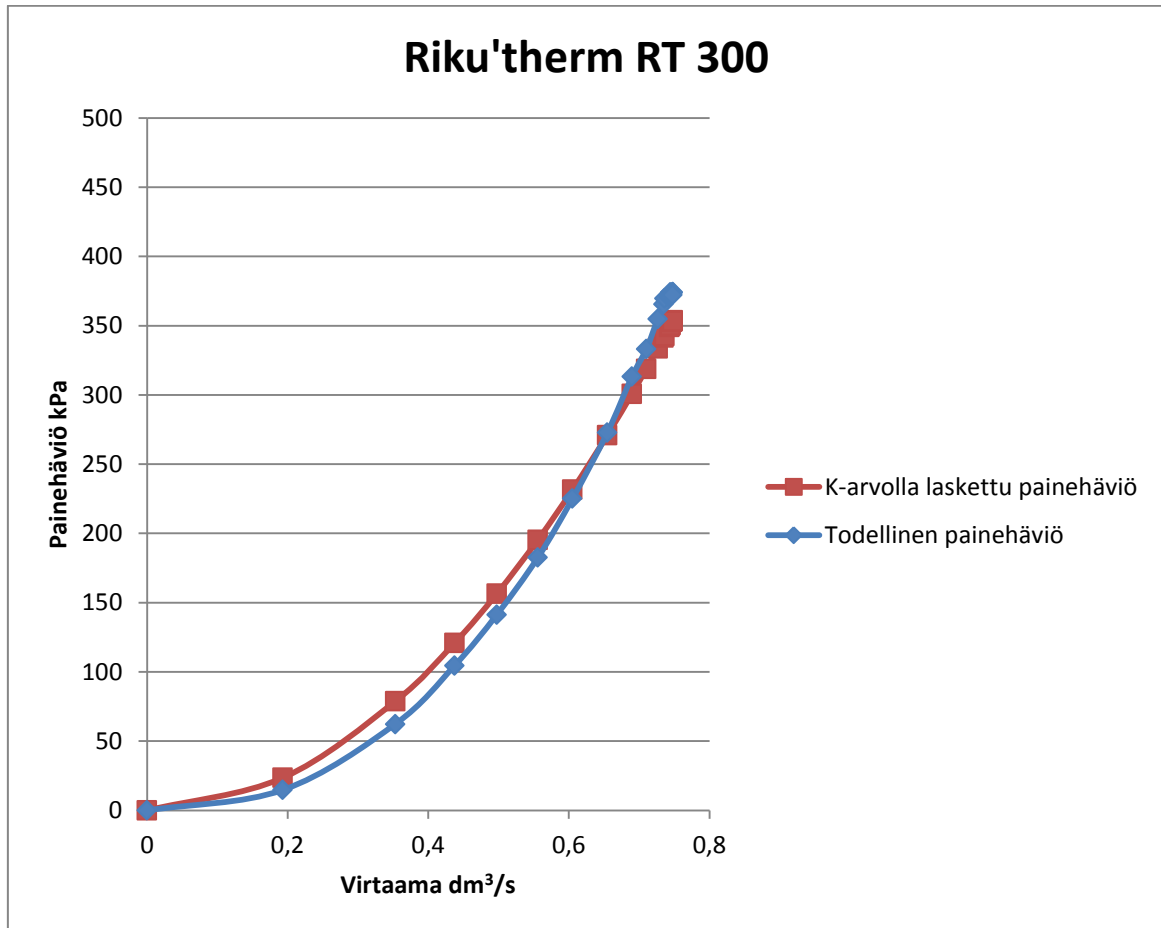
Riku'therm 300 on kooltaan varaajista pienin ja sisältää pienimmän kierukkapaketin. Lyhyempi putkiston pituus näkyi virtaus-painehäviökokeessa pienenä kitkavastushäviönä verrattaessa suurempiin varaajiin ja niissä käytettäviin kierukkapaketteihin. Taulukossa 5 on esitetty mitatut virtaamat ja painehäviöt.

TAULUKKO 5. Riku'therm 300:n virtaama-painehäviötaulukko.

Esisäätöarvo	Virtaama	Mitattu painehäviö	k-arvo	Painehäviö k-arvolla laskettuna
-	dm ³ /s	kPa	kPa/(dm ³ /s) ²	kPa
0,0	0,0000	0,00	-	0
0,2	0,1930	14,76	396,4	23,5
0,4	0,3530	62,33	500,2	78,8
0,6	0,4375	104,64	546,7	121,0
0,8	0,4974	141,27	571,0	156,4
1,0	0,5559	182,63	591,0	195,4
1,2	0,6053	225,23	614,8	231,6
1,4	0,6547	272,71	636,3	271,0
1,6	0,6897	313,16	658,4	300,7
1,8	0,7103	333,06	660,2	318,9
2,0	0,7264	354,94	672,6	333,6
2,2	0,7350	365,41	676,4	341,5
2,4	0,7361	369,76	682,4	342,5
2,6	0,7432	370,44	670,7	349,2
2,8	0,7435	370,77	670,7	349,5
3,0	0,7448	372,21	670,9	350,7
3,2	0,7443	371,28	670,1	350,3
3,4	0,7443	374,11	675,3	350,3
3,6	0,7482	374,34	668,8	353,9
3,8	0,7471	374,07	670,2	352,9
4,0	0,7478	373,76	668,3	353,6
4,2	0,7475	372,23	666,2	353,2
4,4	0,7449	372,24	670,9	350,8

Taulukon 5 lasketuista k-arvoista otettiin keskiarvo poislukien esisäätöarvon 0,0 k-arvo. Keskimääräiseksi k-arvoksi saatiin 632,2 kPa/(dm³/s)². Tätä arvoa käytettiin taulukon 1 k-arvolla lasketun painehäviön määrittämiseen eri virtaamilla käyttäen kaavaa 9. Taulukon arvoja käytettiin luomaan

painehäviöistä virtaamien suhteen kuvaaja käyttäen todellisia painehäviöitä sekä keskimääräisellä k-arvolla laskettuja painehäviöitä. Painehäviöt virtaamien suhteen Riku'therm 300:lle on esitetty kuvaajassa 1.



KUVAAJA 1. Riku'therm 300 kierukkapaketin painehäviö - virtaamakuvaaja.

5.4 Riku'therm RT800

Riku'therm RT 800-varaajalle suoritettiin kolme eri testiä, koska varaajalle oli suunniteltu kolme erilaista kierukkapakettia. Ensimmäinen kierukkapaketti oli Riku'thermin oma kierukkapaketti, joka toimitetaan tällä hetkellä varaajan mukana. Toinen kierukkapaketti oli Northern Nature Energyn suunnittelema kierukkapaketti, joka ei ollut tällä hetkellä tuotannossa, mutta sen hyvät ja huonot puolet tahdottiin selvittää. Kolmannen kierukkapaketin selvitys löytyy liitteestä 2.

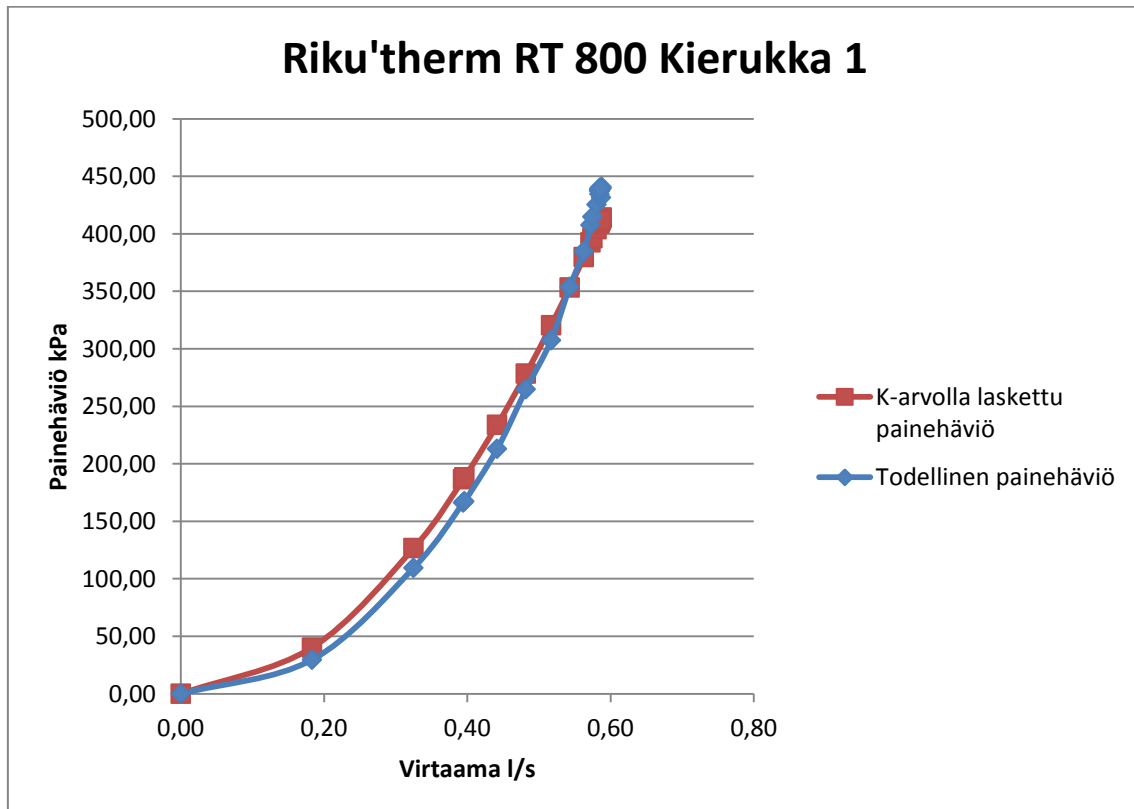
5.4.1 Kierukkapaketti 1

Riku'therm RT800 -varaajan mukana tuleva kierukkapaketti on rakennettu samasta DN20 taipuisasta ruostumattomasta teräsputkesta kuin RT300:n paketti. Kierukkapaketin korkeus on varaajan suuremman koon takia RT300:n pakettia suurempi. Tällöin myös käyttövesikierukan pituus kasvaa suuremmaksi, mikä näkyy tuloksissa suurempana painehäviönä. Taulukossa 5 on esitetty mitatut virtaamat ja painehäviöt.

TAULUKKO 6. Riku'therm 800 kierukkapaketti 1:n virtaama-painehäviötaulukko.

Esisäätöarvo	Virtaama	Painehäviö	K-arvo	K-arvolla laskettu painehäviö
-	l/s	kPa	kPa/(dm ³ /s) ²	kPa
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
0,2	0,18	29,66	883,22	40,26
0,4	0,33	109,56	1036,32	126,73
0,6	0,39	166,20	1068,52	186,44
0,8	0,40	167,25	1065,71	188,11
1,0	0,44	212,96	1091,57	233,85
1,2	0,48	264,82	1139,51	278,56
1,4	0,52	307,47	1149,98	320,48
1,6	0,54	354,01	1200,65	353,42
1,8	0,56	384,67	1214,25	379,73
2,0	0,57	407,59	1244,75	392,49
2,2	0,57	414,73	1255,06	396,09
2,4	0,58	425,45	1262,69	403,87
2,6	0,59	431,44	1252,44	412,91
2,8	0,58	434,57	1270,51	409,99
3,0	0,58	437,36	1281,70	409,02
3,2	0,58	438,59	1285,29	409,02
3,4	0,59	439,07	1277,27	412,04
3,6	0,59	439,91	1284,42	410,53
3,8	0,59	437,27	1275,36	410,96
4,0	0,59	439,76	1273,60	413,88
4,2	0,59	440,87	1276,48	413,99
4,4	0,59	439,98	1280,92	411,72

Taulukon 6 lasketuista k-arvoista otettiin keskiarvo poislukien esisäätöarvon 0,0 k-arvo. Keskimääräiseksi k-arvoksi saatiin 1198,7 kPa/(dm³/s)². Tätä arvoa käytettiin taulukon 2 k-arvolla lasketun painehäviön määrittämiseen eri virtaamilla käyttäen kaavaa 9. Taulukon arvoja käytettiin luomaan painehäviöistä virtaamien suhteen kuvaaja käyttäen todellisia painehäviöitä sekä keskimääräisellä k-arvolla laskettuja painehäviöitä. Painehäviöt virtaamien suhteen Riku'therm 800 kierukkapaketti 1:lle on esitetty kuvaajassa 2.



KUVAAJA 2. Riku'therm 800 kierukkapaketti 1 virtaus-painehäviö- kuvaaja

5.4.2 Kierukkapaketti 2

Kierukkapaketin 2 on valmistanut Northern Nature Energy. Ulkoisesti kierukkapaketti on samannäköinen kierukkapaketti 1:n kanssa. Paketin kehikko on leikattu vesileikkurilla teräslevystä lattaraudan sijaan. Kierukkapaketti 2 on valmistettu yhtä kokoa suuremmasta taipuisasta ruostumattomasta DN25 - teräsputkesta. Tämä tarkoittaa pienempää painehäviötä putkiston läpi sekä suurempaa lämmönluovutus-pinta-alaa. Kuvassa 13 näkyvät kierukkapaketit rinnakkain.

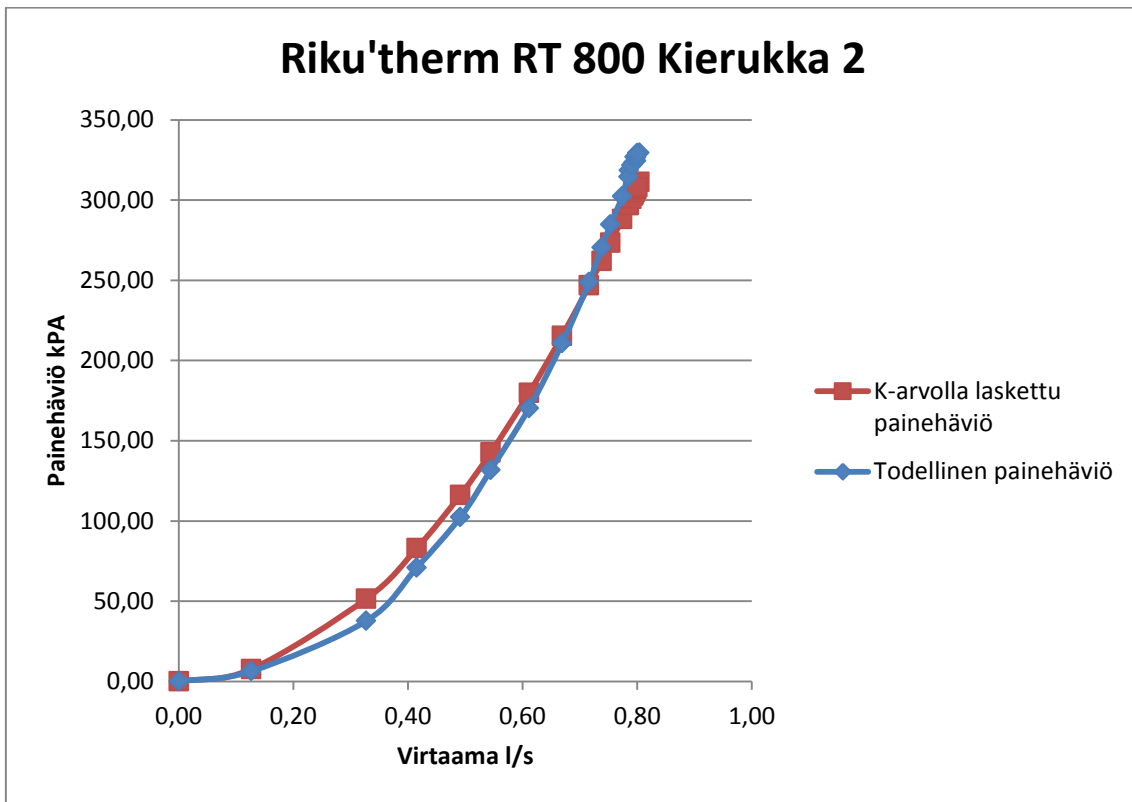
Kierukkapaketin suurempi putkikoko näkyi virtaama-painehäviökokeessa pienempänä painehäviönä samalla virtaamalla. Taulukossa 7 on esitetty mitatut virtaamat ja painehäviöt.

TAULUKKO 7. Riku[®]therm 800 kierukkapaketti 2:n virtaama-painehäviötaulukko

Esisäätoarvo	Virtaama	Painehäviö	K-arvo	K-arvolla laskettu painehäviö
-	l/s	kPa	kPa/(dm ³ /s) ²	kPa
0,0	0,00	0,00	0	0,00
0,2	0,13	6,40	401,94	7,66
0,4	0,33	37,70	352,42	51,51
0,6	0,42	70,98	411,54	83,04
0,8	0,49	102,39	424,20	116,22
1,0	0,54	131,77	444,78	142,65
1,2	0,61	170,34	455,93	179,88
1,4	0,67	210,69	470,96	215,39
1,6	0,72	248,92	485,55	246,83
1,8	0,74	270,38	496,65	262,12
2,0	0,75	284,88	501,80	273,34
2,2	0,77	302,34	505,09	288,21
2,4	0,79	318,41	515,80	297,22
2,6	0,79	314,46	510,19	296,75
2,8	0,79	323,49	513,02	303,60
3,0	0,79	322,21	512,48	302,72
3,2	0,79	321,65	514,98	300,72
3,4	0,80	324,55	509,07	306,96
3,6	0,80	326,89	516,51	304,72
3,8	0,80	329,22	514,50	308,08
4,0	0,80	326,78	512,66	306,90
4,2	0,80	329,41	509,41	311,35
4,4	0,80	328,30	512,96	308,14

Taulukon 7 lasketuista k-arvoista otettiin keskiarvo poislukien esisäätoarvon 0,0 k-arvo. Keskimääräiseksi k-arvoksi saatiin 481,5 kPa/(dm³/s)². Tätä arvoa käytettiin taulukon 6 k-arvolla lasketun painehäviön määrittämiseen eri virtaamilla käyttäen kaavaa 9. Taulukon arvoja käytettiin luomaan painehäviöistä virtaamien suhteen kuvaaja käyttäen todellisia painehäviöitä

sekä keskimääräisellä k-arvolla laskettuja painehäviöitä. Painehäviöt virtaamien suhteen kierukkipaketille 2 on esitetty kuvaajassa 3.



KUVAAJA 3. Riku'therm 800 kierukkipaketti 2:n virtaus-painehäviö – kuvaaja.

Kuvassa 13 on esitetty Riku'therm 800-varaajan kierukkipaketit rinnakkain.



KUVA 13. Kierukkipaketti 1 vasemmalla ja kierukkipaketti 2 oikealla

5.5 Tulosten analysointi

Riku'therm 300:n alhaisempi painehäviö suurempaan varaajaan oli odotettavissa. Lyhyempi kierukkapaketti ja tätä kautta lyhyempi putkisto-osuus näkyi tuloksissa matalana painehäviönä varsinkin pienemmillä virtaamilla. K-arvo osui eri virtaamilla pääsääntöisesti välille 500–700 kPa/(dm³/s)² keskiarvon ollessa 632,2 kPa/(dm³/s)². Riku'therm 300:n tulos virtaamalla 0,3 l/s oli 49, joka alittaa epävirallisena lähtöarvona olevan 50 kPa hiuksenhienosti.

Suuremman 800 litran varaajan tulos oli kaksijakoinen. Ensimmäisen kierukkapaketin painehäviö kasvoi varsin suureksi. Suurimpina syinä tähän ovat kasvanut putkiston pituus, ja muuttumaton putkiston sisähalkaisija verrattuna pienempään 300 litran varaajaan. K-arvoksi saatiin yli 1 000 kPa/(dm³/s)² lähes kaikilla virtaamilla, keskiarvon ollessa 1 198,7 kPa/(dm³/s)². Virtaaman ollessa 0,3 litraa sekunnissa kierukan läpi kasvoi painehäviö kierukassa noin 100 kPa:iin, joka on tuplaten epävirallisen suunnitteluvaron verran. Toisaalta tätä voidaan kompensoida, mikäli vedenpaine verkostossa on suuri, jolloin painehäviö kierukan läpi ei ole yhtä merkittävä eikä rajoita yhtä paljon vesikalusteille rakennettavien putkistojen suunnittelua.

Kierukkapaketti 2:n virtaus-painehäviötestin tulokset olivat erittäin hyviä. Suurempi putken sisähalkaisija näkyi tuloksissa pienempänä K-arvona kaikilla virtaamilla keskiarvon ollessa 481,5 kPa/(dm³/s)². Tämä oli alle puolet kierukkapaketin 1:n vastaavasta k-arvosta. Kierukkapaketti 2:n tulos oli myös Riku'therm 300:n k-arvoa pienempi. Virtaamalla 0,3 litraa sekunnissa kierukka tuotti 30 kPa:n painehäviön, mikä on alhaisempi kuin Riku'therm 300:n vastaava luku.

Tulosten perusteella olisi suositeltavaa käyttää isommassa 800 litran varaajissa kierukkapakettia numero 2 alueilla, missä vedenpaine on alhainen, tai mikäli kustannukset sallivat, siirtyä kokonaan kierukkapaketti 2:n käyttöön.

6 ENERGIATESTIT

Tässä luvussa käydään läpi varaajille suoritettuja energiatestejä, niiden tuloksia ja energiansiirron teoriaa, jonka pohjalta energiatestien tulokset laskettiin.

6.1 Energiansiirron teoria

Varaajaan teoreettisesti varattu energia voidaan laskea kaavalla 10.

$$E = \frac{V \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T}{3600 \frac{s}{h}} \quad \text{KAAVA 10}$$

missä,

E = varaajan sisältämä lämpöenergia [kWh]

V = varaajan tilavuus [m^3]

ρ = veden tiheys [$\frac{kg}{m^3}$]

C_p = veden ominaislämpökapasiteetti [$\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$]

ΔT = muutos varaajan sisällön lämpötilassa [$^\circ C$]

$3600 \frac{s}{h}$ = kerroin kilowattisekuntien muuttamiseksi kilowattitunneiksi.

Hetkellinen energiansiirto lasketaan kaavalla 11.

$$E_{\text{hetkellinen}} = \frac{q_{v,i} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{\text{sisäänmeno},i} - T_{\text{ulostulo},i}) \cdot t_{\text{log.väli}}}{3600 \frac{s}{h}} \quad \text{KAAVA 11}$$

missä,

$E_{\text{hetkellinen}}$ = ajanjakson aikana siirretty energiamäärä [kWh]

$q_{v,i}$ = virtaama [$\frac{m^3}{s}$]

$T_{\text{sisäänmeno},i}$ = sisäänmenevän veden lämpötila [$^\circ C$]

$T_{\text{ulostulo},i}$ = ulostulevan veden lämpötila [$^\circ C$]

$t_{log.väli}$ = ajanjakson pituus [s].

Koska tiedot tallennettiin loggereiden muistiin 5 sekunnin välein, käytettiin hetkellisiä energioita latauksen ja purkamisen kokonaisenergioiden selvittämiseen. Ajanjakson pituutena käytettiin tiedontallennuksen aikaväliä 5 sekuntia. Tällöin siirretyt kokonaisenergiat laskettiin kaavalla 12.

$$E_{kok,siirr} = \sum_{i=1}^n \frac{q_{v,i} * \rho * C_p * (T_{sisäänmeno,i} - T_{ulostulo,i}) * t_{log.väli}}{3600 \frac{s}{h}} \quad \text{KAAVA 12}$$

missä,

$E_{kok,siirr}$ = testivaiheen aikana siirretty kokonaisenergian määrä [kWh].

Varaajien hyötysuhde määriteltiin vertailemalla varaajan sisälle siirrettyä energiaa siitä ulossaadun energian määrään. Hyötysuhde laskettiin käyttämällä kaavaa 13.

$$\eta_{varaaja} = \frac{E_{kok,siirr,purku}}{E_{kok,siirr,lataus}} * 100 \quad \text{KAAVA 13}$$

missä,

$\eta_{varaaja}$ = varaajan hyötysuhteen testin osalta [%].

Testeissä 3, 4 ja 5 tarkasteltiin saadun lämpimän käyttöveden määrää purkuvaiheessa. Tämä laskettiin kaavalla 14.

$$V_{lämmin käyttövesi} = \sum_{T=60}^{T \geq 55} q_{v,i} * t_{log.väli} \quad \text{KAAVA 14}$$

missä,

$V_{lämmin käyttövesi}$ = yli 55°C:n käyttöveden määrä [dm^3].

6.2 Testien suorittaminen

Varaajille suoritettiin energiatestit, joissa määriteltiin niiden kyky vastaanottaa ja siirtää lämpöä ja energiaa. Energiatestit suoritettiin viidellä eri liitäntätavalla, jotka on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Energiatestien liitöntätavat testien aikana

Ryhmän numero	Lataustapa	Purkutapa
1	Suora	Suora
2	Epäsuora	Suora
3	Suora	Epäsuora
4	Epäsuora	Epäsuora
5	Suora	Epäsuora

Suora liitöntätapa tarkoittaa, että käytettävä laitteisto on suoraan yhteydessä varaajan sisällä olevaan veteen. Epäsuora liitöntätapa tarkoittaa, että lämpö siirtyy varaajan ja testauslaitteiston välillä kierukan kautta.

Ryhmän 1 testissä varaaja ladattiin käyttäen suoraa liitöntätapaa. Latauslaitteisto liitettiin varaajan kattilaliitöntä 2:een. Purkamisessa käytettiin suoraa liitöntätapaa. Purkulaitteisto liitettiin kattilaliitöntä 1:een.

Ryhmän 2 testissä varaaja ladattiin käyttäen epäsuoraa liitöntätapaa. Latauslaitteisto liitettiin varaajan aurinkokennoliitöntään. Purkamisessa käytettiin suoraa liitöntätapaa. Purkulaitteisto liitettiin kattilaliitöntä 2:een.

Ryhmän 3 testissä varaaja ladattiin käyttäen suoraa liitöntätapaa. Latauslaitteisto liitettiin varaajan kattilaliitöntä 2:een. Purkamisessa käytettiin epäsuoraa liitöntätapaa. Purkulaitteisto liitettiin käyttövesikierukkaan.

Ryhmän 4 testissä varaaja ladattiin käyttäen epäsuoraa liitöntätapaa. Latauslaitteisto liitettiin varaajan aurinkokierukkaliitöntään. Purkamisessa käytettiin epäsuoraa liitöntätapaa. Purkulaitteisto liitettiin käyttövesikierukkaan.

Ryhmän 5 testissä varaaja ladattiin käyttäen suoraa liitöntätapaa. Latauslaitteisto liitettiin varaajan kattilaliitöntä 2:n. Purkamisessa käytettiin epäsuoraa liitöntätapaa. Purkulaitteisto liitettiin käyttövesikierukkaan. Lisäksi

testissä oli 48 tunnin stand-by-mittaus lataamisen ja purkamisen välissä. Mittauksen tarkoituksena on selvittää lämpötilan lasku varaajan sisällä, kun varaajaa ei käytetä.

Lämpötila-antureiden sijainnit ilmoitettiin ennen varsinaisia testejä. Jokaisen testin alussa suoritettiin tasausjakso, missä varaajan lämpötila pyrittiin tasaamaan 20 °C:n lämpötilaan ennen lataamisen aloittamista. Varaajaan sisäänmenevän ja ulostulevan veden lämpötila sekä varaajan sisälämpötila tallennettiin loggerin muistiin 5 sekunnin välein. Lataamiseen käytettävä virtaama tallennettiin muistiin 5 sekunnin välein. Tämän jälkeen varaajaa varattiin, kunnes varaajasta palaavan veden lämpötila $T_{\text{lataus, ulostulo}}$ oli 60 °C ja koko varaajan lämpötila oli saavuttanut 60 °C lämpötilan. Tämän jälkeen latauslaitteisto sammutettaisiin ja liitännät suljettaisiin soveltuvilta osin.

Purkuvaiheessa varaajasta otettiin energiaa ulos syöttämällä varaajaan 20 celsiusasteista vettä. Varaajaan sisäänmenevän ja ulostulevan veden lämpötila sekä varaajan sisälämpötila tallennettiin loggerin muistiin 5 sekunnin välein. Purkamiseen käytettävä virtaama tallennettiin muistiin 5 sekunnin välein. Testiä jatkettiin, kunnes varaajasta palaavan veden lämpötila $T_{\text{purku, ulostulo}}$ oli 20 °C. Tämän jälkeen liitännät suljettiin soveltuvilta osin ja testi päättyi. (9.)

Tulosten analysoinnissa huomioitiin varaamisen lämpötilakehitys varaajan sisällä sekä laskettiin varaamiseen käytetty energia. Purkuvaiheessa huomiota kiinnitettiin lämpötilakehitykseen ja laskettiin purkamalla saatu energia. Lisäksi ryhmien 3, 4 ja 5 tuloksissa laskettiin yli 55 celsiusasteisen käyttöveden määrä.

6.3 Riku'therm 300

Tässä luvussa käydään läpi energiatestejä Riku'therm 300:n osalta.

Taulukossa 9 on ilmoitettu antureiden asennussyvydet testien ajan.

TAULUKKO 9. Antureiden asennussyvydet Riku'therm 300 varaajan sisällä

Anturin nimi	Anturin sijainti anturitaskun yläosasta mitattuna
Yläosa	13 cm
Keskiosa	50 cm
Alaosa	110 cm

Riku'therm 300:n teoreettinen maksimienergia laskettiin käyttäen kaavaa 10.

$$E_{RT300,teoreettinen} = \frac{0,3m^3 * 4,18 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} * 990 \frac{kg}{m^3} * (60^\circ C - 20^\circ C)}{3600 \frac{s}{h}}$$

$$E_{RT300,teoreettinen} = 13,8 kWh.$$

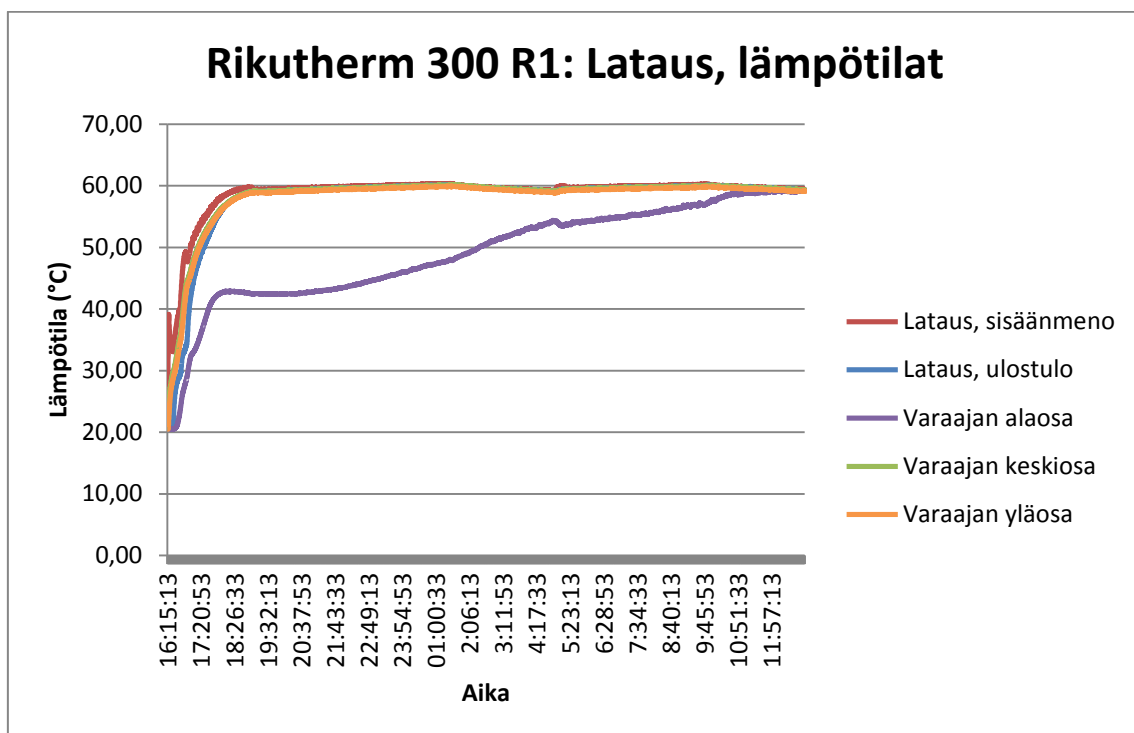
Tätä arvoa käytettiin latausenergioiden tarkastelussa, jotta huomattaisiin mahdolliset mittausvirheet energioiden laskennassa testien aikana. Koska varaajaan oli kytketty lataus- ja purkulaitteisto, oli todellinen energiamäärä tätä arvoa suurempi, koska yhteenlaskettu tilavuus oli varaajan tilavuutta suurempi. Lisäksi latausten aikana tapahtui häviöitä liitäntäputkien ja varaajan eristeiden lävitse.

6.3.1 Ryhmä 1

Ryhmän 1 testi aloitettiin vakauttamalla varaajan lämpötila 20 °C:n lämpötilaan juoksuttamalla kylmää vettä purkulaitteiston lämmönvaihtimen LV1:n läpi, jolloin varaajan sisältä kiertävä vesi jäähdytti varaajan. Testin alkuvaiheessa varaajan

sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 20,58 °C, varaajan keskiosassa 20,63 °C sekä yläosassa 20,49 °C.

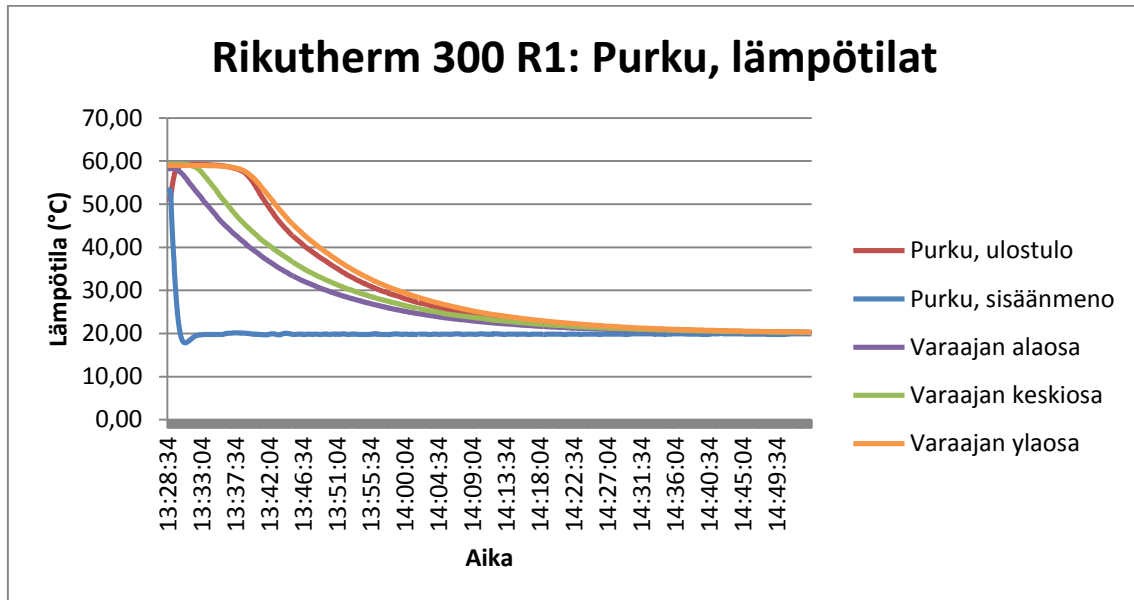
Varaajaa varattiin suoralla kytkennällä käyttäen varaajan pidempää kytkentää, joka ulottui varaajan alaosaan asti. Varaajan varaaminen aloitettiin kello 16.15 ja varaaminen päättyi seuraavana päivänä kello 13.02. Varaaminen suoritettiin vakiovirtaamalla, jonka keskiarvona oli 0,20 litraa sekunnissa. Varaamisen lopussa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 59,13 °C, keskiosassa 59,35 °C sekä yläosassa 59,09 °C. Yhteensä varaajaan varattiin energiaa 15,82 kWh. Mahdollinen ylimääräinen energia selittyy lämmön johtumisena varaajan seinien, hatun ja varaamisessa käytetyn epäsuoran lataustavan häviöinä, sillä liitântäputket latauslaitteistoon olivat eristämättömät. Latauksen lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 4.



KUVAAJA 4. Rikutherm 300 R1: Lataus, lämpötilat

Purkamiseen käytettiin ryhmän 1 testissä varaajan ensimmäistä kattilaliitântää, jonka poistoputki sijaitsee varaajan keskiosassa. Testi aloitettiin kello 13.29 ja testi päättyi kello 14.53. Varaajan sisälämpötilat purkutestin alussa olivat varaajan alaosassa 58,23 °C, keskiosassa 59,29 °C ja yläosassa 59,00 °C.

Purkamisessa käytettiin vakiovirtaamaa, jonka keskiarvona oli 0,22 litraa sekunnissa. Energiaa saatiin purkuvaiheen aikana varaajasta ulos 13,59 kW. Purkutilanteen lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 5.



KUVAAJA 5. Rikutherm 300 R1: purku, lämpötilat

Varaajan hyötysuhde laskettiin käyttäen kaavaa 13.

$$\eta_{RT300,R1} = \frac{13,59 \text{ kWh}}{15,82 \text{ kWh}} * 100$$

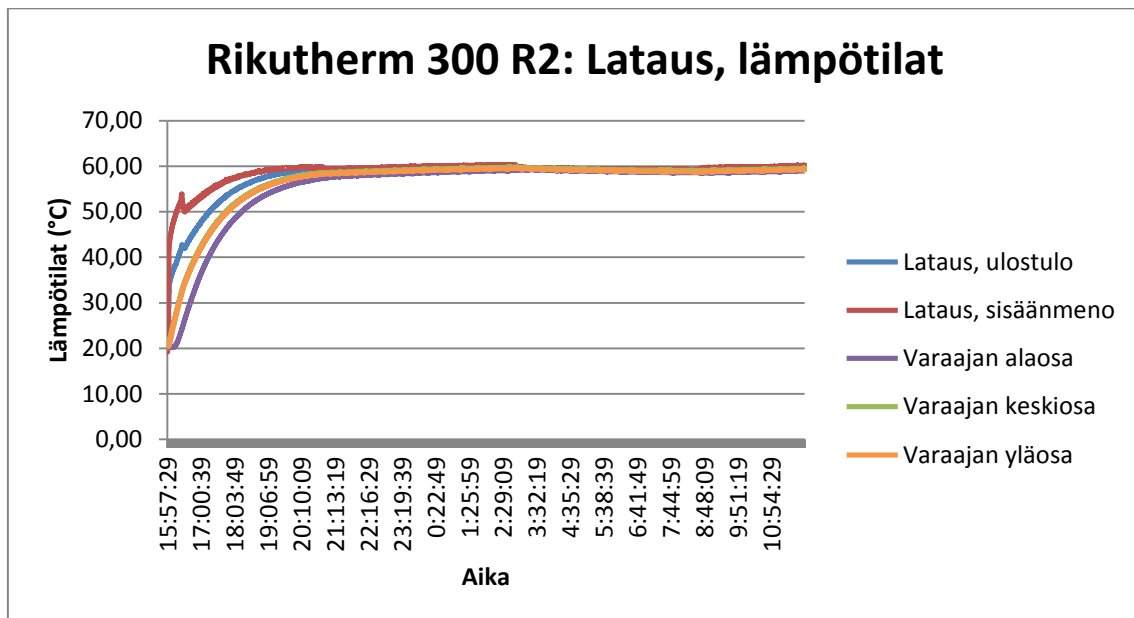
$$\eta_{varaaja} = 86\%.$$

6.3.2 Ryhmä 2

Ryhmän 2 testi aloitettiin vakauttamalla varaajan lämpötila 20 °C:n lämpötilaan juoksuttamalla kylmää vettä purkulaitteiston lämmönvaihtimen LV1:n läpi, jolloin varaajan sisältä kiertävä vesi jäähdytti varaajan. Kuvaajasta 6 käy ilmi, että lämpötila vakautui onnistuneesti varaajan sisällä. Alaosan lämpötila oli 20,24 °C, keskiosan 20,54 °C ja yläosan 20,45 °C.

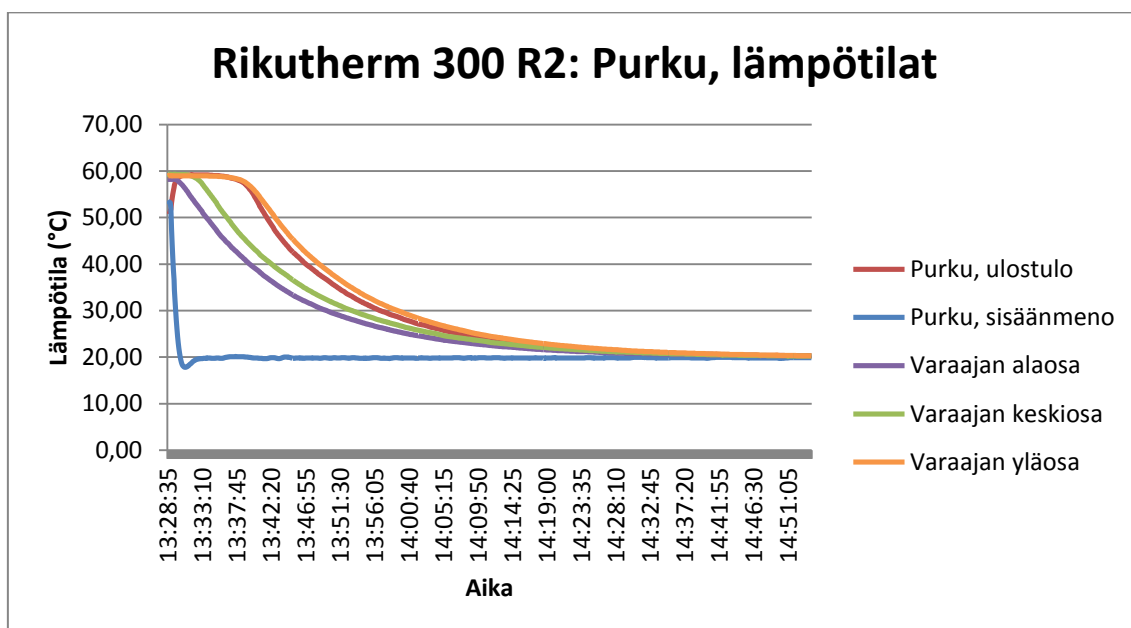
Varaajaa varattiin epäsuoralla kytkennällä käyttäen varaajan aurinkokierukkaa, mikä on sijoitettu varaajan alaosaan. Varaajan varaaminen aloitettiin kello 15.57 ja varaaminen päättyi seuraavana päivänä kello 11.57. Varaaminen suoritettiin

vakiovirtaamalla, jonka keskiarvo oli 0,19 litraa sekunnissa. Varaamisen lopussa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 58,92 °C, keskiosassa 59,54 °C sekä yläosassa 59,29 °C. Yhteensä varaajaan varattiin energiaa 15,48 kWh. Mahdollinen ylimääräinen energia selittyy lämmön johtumisena varaajan seinien, hatun ja varaamisessa käytetyn epäsuoran lataustavan häviöinä, sillä liitännäputket latauslaitteistoon olivat eristämättömät. Varaajan sisälämpötila nousi haluttuun 60 °C:n lämpötilaan paljon suoraa lataustapaa nopeammin. Latauksen lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 6.



KUVAAJA 6. Riku'therm 300 R2: lataus, lämpötilat

Purkamiseen käytettiin ryhmän 2 testissä varaajan ensimmäistä kattilaliitäntää. Testi aloitettiin kello 13.28 ja testi päättyi kello 14.54. Varaajan sisälämpötilat purkutestin alussa olivat varaajan alaosassa 59,29 °C, keskiosassa 59,96 °C ja yläosassa 59,66 °C. Purkamisessa käytettiin vakiovirtaamaa, jonka keskiarvona oli 0,22 litraa sekunnissa. Energiaa saatiin purkuvaiheen aikana varaajasta ulos 13,52 kWh. Purkutilanteen lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 7.



KUVAAJA 7. Rikutherm 300 R2: purku, lämpötilat

Varaajan hyötysuhde laskettiin käyttäen kaavaa 13.

$$\eta_{RT300,R2} = \frac{13,52 \text{ kWh}}{15,48 \text{ kWh}} * 100$$

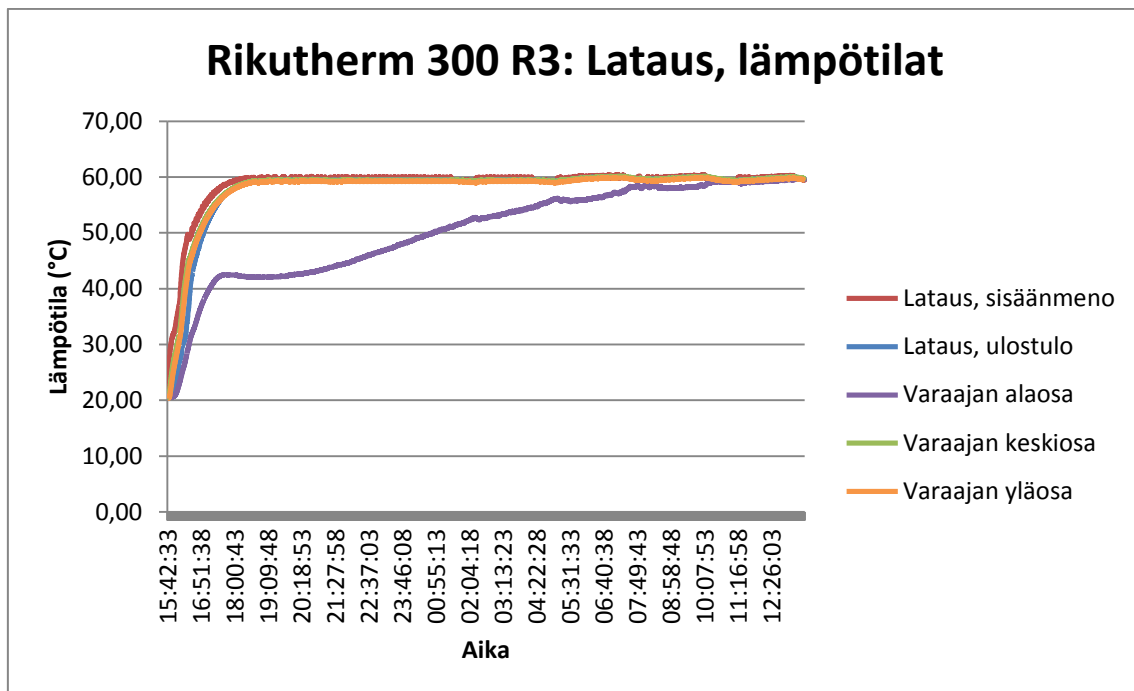
$$\eta_{RT300,R2} = 87\%.$$

6.3.3 Ryhmä 3

Ryhmän 3 testi aloitettiin vakauttamalla varaajan lämpötila 20 °C:n lämpötilaan juoksuttamalla kylmää vettä purkulaitteiston lämmönvaihtimen LV1:n läpi, jolloin varaajan sisältä kiertävä vesi jäähdytti varaajan. Testin alkuvaiheessa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 20,38 °C, varaajan keskiosassa 20,43 °C sekä yläosassa 20,33 °C.

Varaajaa varattiin suoralla kytkennällä käyttäen varaajan pidempää kytkentää, joka ulottui varaajan alaosaan asti. Varaajan varaaminen aloitettiin kello 15.42 ja varaaminen päättyi seuraavana päivänä kello 13.35. Varaaminen suoritettiin vakiovirtaamalla, jonka keskiarvona oli 0,20 litraa sekunnissa. Varaamisen lopussa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 59,55 °C,

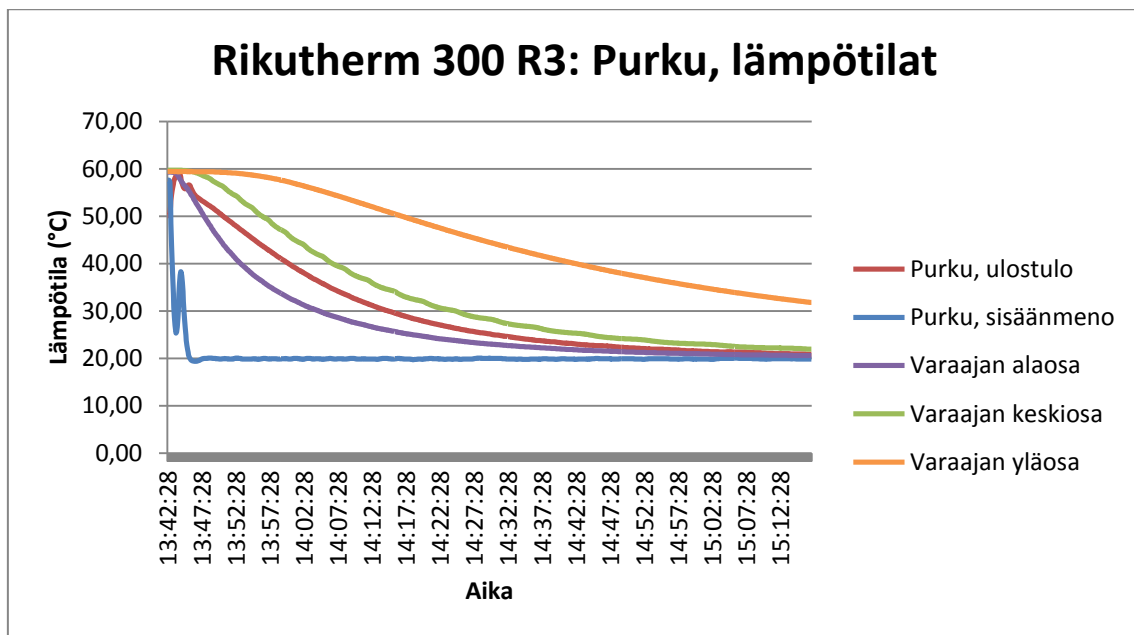
keskiosassa 59,72 °C sekä yläosassa 59,47 °C. Yhteensä varaajaan varattiin energiaa 14,85 kWh. Mahdollinen ylimääräinen energia selittyi lämmön johtumisena varaajan seinien, hatun ja varaamisessa käytetyn epäsuoran lataustavan häviöinä, sillä liitännäputket latauslaitteistoon olivat eristämättömät. Latauksen lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 8. Kuvaajassa on huomattavaa alaosan hidas lämpeäminen muuhun varaajan verrattuna. Tämä johtui käytetyn liitännän alaputkeen tehdyistä teknisistä ratkaisuksista.



KUVAAJA 8. Rikutherm 300 R3: lataus, lämpötilat

Purkamiseen käytettiin ryhmän 3 testissä varaajan käyttövesikierukkaa. Testi aloitettiin kello 13.42 ja testi päättyi kello 15.17. Varaajan sisälämpötilat purkutestin alussa olivat varaajan alaosassa 59,27 °C, keskiosassa 59,70 °C ja yläosassa 59,41 °C. Purkamisessa käytettiin vakiovirtaamaa, jonka keskiarvona oli 0,22 litraa sekunnissa. Yli 55 °C lämpöistä käyttövettä saatiin purkuvaiheen aikana varaajasta 42 litraa, mutta tähän määrään tulee suhtautua kriittisesti sillä sisäänmenevän veden lämpötilaa ei saatu tasattua 20 °C:n lämpötilaan tarpeeksi nopeasti. Kaikenkaikkiaan energiaa saatiin purkuvaiheen aikana

varaajasta ulos 13,45 kWh. Yläosan jääminen osittain lämpimäksi testin lopussa johtuu lämpötila-anturin sijoituspaikasta suoraan kierukkapaketin hatun alle, jossa ei ollut lainkaan lämmönsiirtopinta-alaa käyttövesikierukassa. Lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 9.



KUVAAJA 9. Rikutherm 300 R3: purku, lämpötilat

Varaajan hyötysuhde laskettiin käyttäen kaavaa 13.

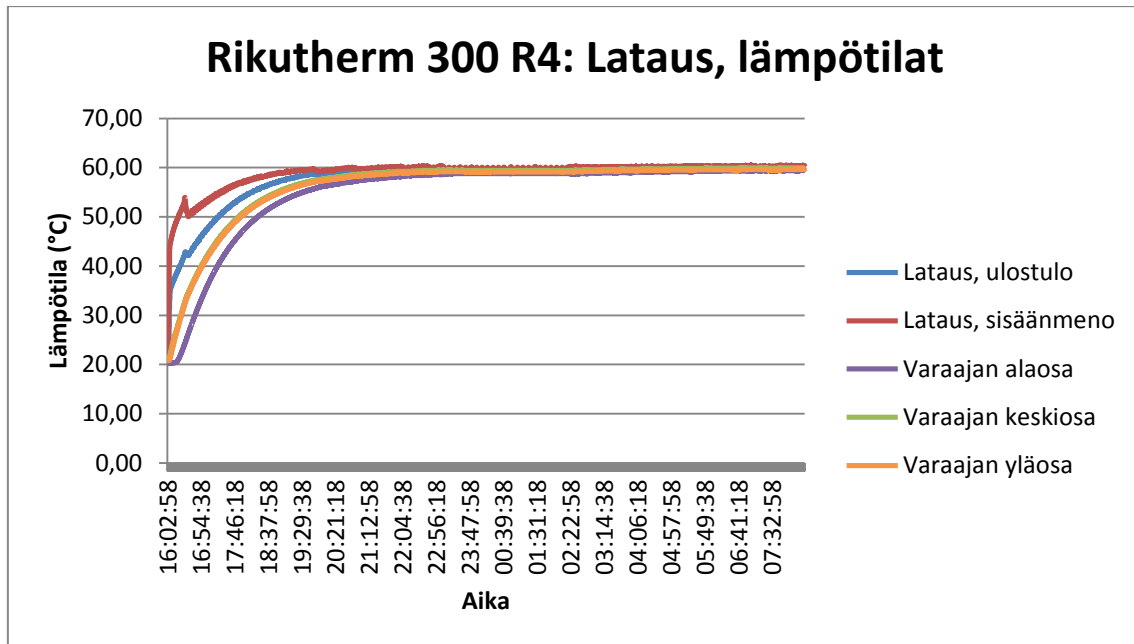
$$\eta_{RT300,R3} = \frac{13,45 \text{ kWh}}{14,85 \text{ kWh}} * 100$$

$$\eta_{RT300,R3} = 91\%.$$

6.3.4 Ryhmä 4

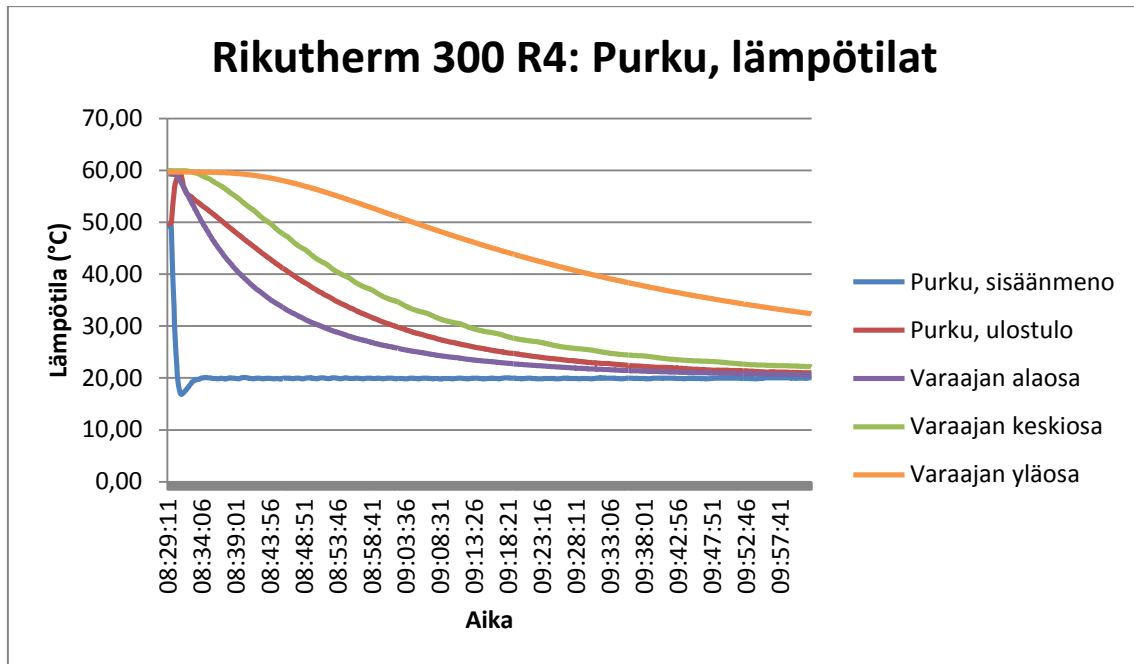
Ryhmän 4 testi aloitettiin vakauttamalla varaajan lämpötila 20 °C:n lämpötilaan juoksuttamalla kylmää vettä purkulaitteiston lämmönvaihtimen LV1:n läpi, jolloin käyttövesikierukan sisällä kiertävä vesi jäähdytti varaajan. Kuvaajasta 6 käy ilmi, että lämpötila vakautui onnistuneesti varaajan sisällä, lämpötilojen ollessa varaajan sisällä alaosassa 20,33 °C, keskiosassa 20,83 °C ja yläosassa 20,80 °C.

Varaajaa varattiin epäsuoralla kytkennällä käyttäen varaajan aurinkokierukkaa, mikä on sijoitettu varaajan alaosaan. Varaajan varaaminen aloitettiin kello 16.03 ja varaaminen päättyi seuraavana päivänä kello 08.24. Varaaminen suoritettiin vakiovirtaamalla, jonka keskiarvo oli 0,19 litraa sekunnissa. Varaamisen lopussa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 59,42 °C, keskiosassa 59,98 °C sekä yläosassa 59,68°C. Yhteensä varaajaan varattiin energiaa 15,16 kWh. Ylimääräinen energia verrattuna teoreettiseen energiamäärään selittyy lämmön johtumisena varaajan seinien, hatun ja varaamisessa käytetyn epäsuoran lataustavan häviöinä, sillä liitäntäputket latauslaitteistoon olivat eristämättömät. Varaajan sisälämpötila nousi haluttuun 60 °C lämpötilaan paljon suoraan lataustapaa nopeammin. Latauksen lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 10.



KUVAAJA 10. Rikutherm 300 R4: lataus, lämpötilat

Purkamiseen käytettiin ryhmän 4 testissä varaajan käyttövesikierukkaa. Testi aloitettiin kello 8.29 ja testi päättyi kello 10.21. Varaajan sisälämpötilat purkutestin alussa olivat varaajan alaosassa 59,29 °C, keskiosassa 59,96 °C ja yläosassa 59,66 °C. Purkamisessa käytettiin vakiovirtaamaa, jonka keskiarvona oli 0,22 litraa sekunnissa. Yli 55 °C lämpöistä käyttövettä saatiin purkuvaiheen aikana varaajasta 35,9 litraa. Kaikenkaikkiaan energiaa saatiin purkuvaiheen aikana varaajasta ulos 14,11 kW. Yläosan jääminen osittain lämpimäksi testin lopussa johtuu lämpötila-anturin sijoituspaikasta suoraan kierukkapaketin hatun alle, jossa ei ollut lainkaan lämmönsiirtopinta-alaa käyttövesikierukassa. Lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 11.



KUVAAJA 11. Riku'therm 300 R4: purku, lämpötilat

Varaajan hyötysuhde laskettiin käyttäen kaavaa 13.

$$\eta_{RT300,R4} = \frac{14,11 \text{ kWh}}{15,16 \text{ kWh}} * 100$$

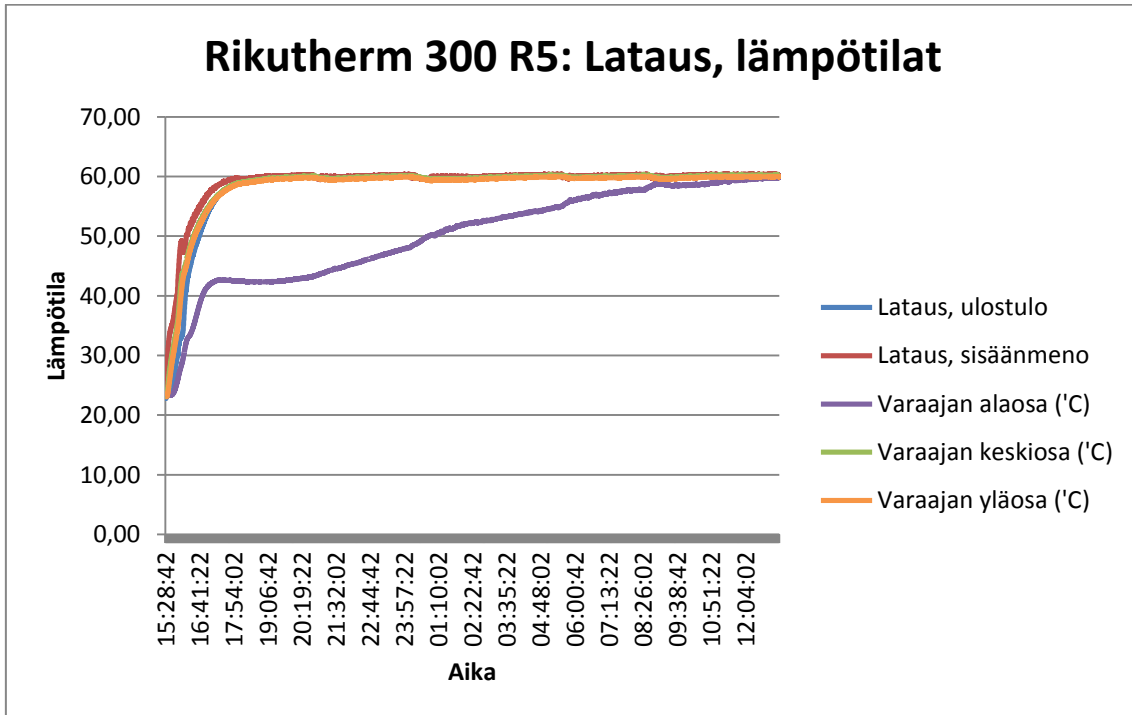
$$\eta_{RT300,R4} = 93\%.$$

6.3.5 Ryhmä 5

Ryhmän 5 testi aloitettiin vakauttamalla varaajan lämpötila 20 °C:n lämpötilaan juoksuttamalla kylmää vettä purkulaitteiston lämmönvaihtimen LV1:n läpi, jolloin käyttövesikierukan sisällä kiertävä vesi jäähdytti varaajan. Kuvaajasta 12 käy kuitenkin ilmi, että varaajan jäi edellisen testin jäljiltä hieman ylimääräistä lämpöä, sillä testin alkuvaiheessa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 23,23 °C, varaajan keskiosassa 23,28 °C sekä yläosassa 23,07 °C.

Varaajaa varattiin suoralla kytkennällä käyttäen varaajan pidempää kytkentää, joka ulottui varaajan alaosaan asti. Varaajan varaaminen aloitettiin kello 15.29 ja varaaminen päättyi seuraavana päivänä kello 13.16. Varaaminen suoritettiin vakiovirtaamalla, jonka keskiarvona oli 0,22 litraa sekunnissa. Varaamisen

lopussa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 59,84 °C, keskiosassa 60,21 °C sekä yläosassa 59,97 °C. Yhteensä varaajaan varattiin energiaa 15,11 kWh. Mahdollinen ylimääräinen energia selittyy lämmön johtumisena varaajan seinien, hatun ja varaamisessa käytetyn epäsuoran lataustavan häviöinä, sillä liitäntäputket latauslaitteistoon olivat eristämättömät. Lisäksi varaajan sisälämpötila nousi varaajan keskiosassa hieman 60 °C yläpuolelle. Latauksen lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 12.

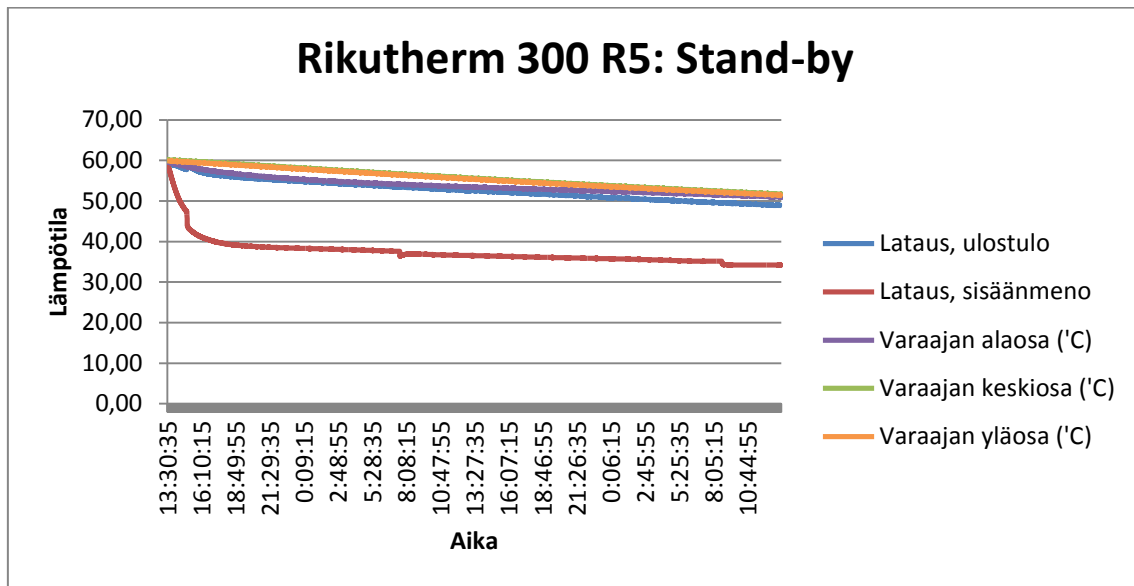


KUVAAJA 12. Riku'therm 300 R5: lataus, lämpötilat

Varaajan varauksessa on huomattavaa keski- ja yläosan nopea lämpeneminen, kun alaosan lämpeneminen kestää useita tunteja pidempään.

Kun varaaja oli saatu varattua, pumput sammutettiin ja suljettiin ylimääräiset liitännät, jotta veden kierto purku- ja latauslaitteistoissa estyisi. Molemmista laitteistoista jätettiin kuitenkin yksi venttiili auki, jotta paisunta-astiat kykenisivät toimimaan testin ajan. Varaaja jätettiin 48 tunniksi stand-by-tilaan, jonka aikana varaajan sisälämpötilat tallennettiin viidestä kohdasta: varaajan alaosasta, varaajan keskikohdasta, varaajan yläosasta sekä latauksen sisäänmeno- ja

ulostuloputkista. Tieto tallennettiin loggeriin 10 sekunnin välein. Kuvaajassa 13 on esitetty varaajan sisälämpötilojen kehitys 48 tunnin stand-by-tilan aikana.



KUVAAJA 13. Riku[®]therm 300 R5: stand-by, lämpötilat

Kuvaajassa 5 on huomattavaa lämpötilan hidas tippuminen varaajan sisällä. 48 tunnin jälkeen varaajan alaosan lämpötilaksi mitattiin 50,99 °C, keskiosan 51,69 °C sekä yläosan lämpötilaksi 51,43 °C. Ympäröivän huoneilman lämpötila oli testin ajan 21°C. Latauksen sisäänmenon lämpötilan nopeampi laskeminen johtuu putken sijainnista hatun alla: se on hatun alla ylimmäisenä ja täten sen ympärillä on vähiten eristystä. Latauksen ulostuloputki on latauksen sisäänmenoputken alapuolella ja suoraan varaajan yläpuolella, jolloin varaajan yläosan kautta poistuva lämpö piti veden putken sisällä lähes varaajan lämpöisenä. Latauksen ulostulon lämpötilaksi mitattiin lopputilanteessa 48,88 °C ja sisäänmenon 33,9 °C.

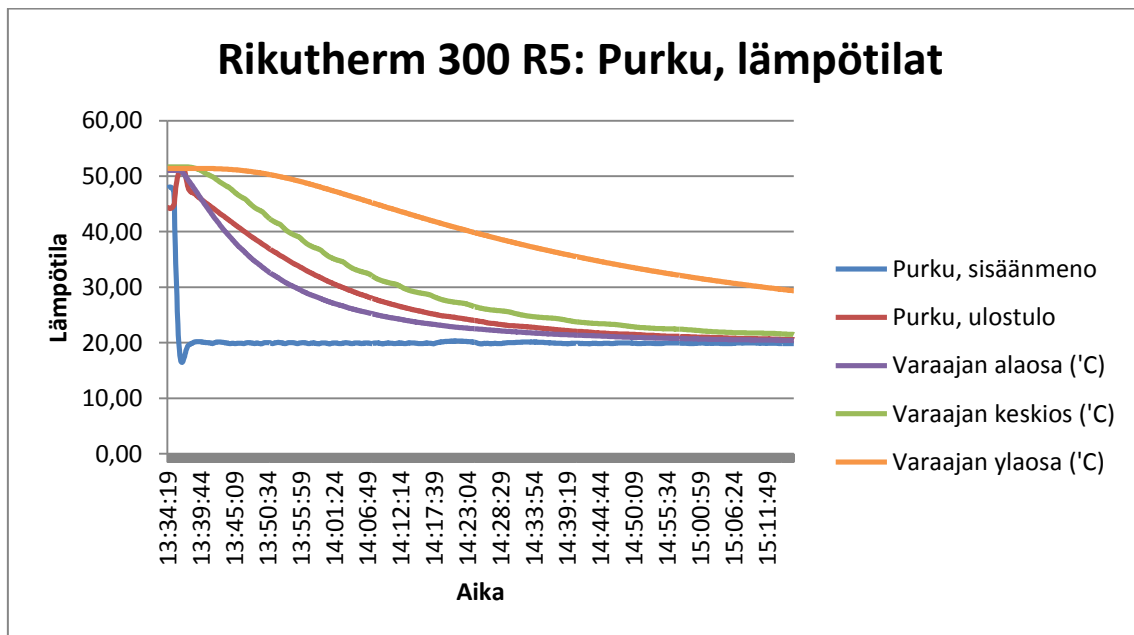
Käyttämällä kaavaa 10 laskettiin varaajan sisällä olevan energian määrä käyttäen varaajan sisälämpötilana alaosan, keskiosan ja yläosan keskiarvoa 51,37 °C.

$$E_{R5: RT300, stand-by} = \frac{0,3m^3 * 4,18 \frac{kJ}{kg * ^\circ C} * 990 \frac{kg}{m^3} * (51,37^\circ C - 20^\circ C)}{3600 \frac{s}{h}}$$

$$E_{R5: RT300, stand-by} = 10,82 \text{ kWh}$$

Tähän energiamäärään tulee kuitenkin suhtautua varauksella, koska lämpötilojen keskiarvosta ei voi päätellä veden lämpötilamäärän jakautumista varaajan sisällä. Tulos on korkeintaan suuntaa antava.

Stand-by -tilan jälkeen varaaja purettiin käyttäen epäsuoraa kytkentää. Purkulaitteisto kytkettiin varaajan käyttövesikierukkaan. Kuvaajassa 14 on esitetty lämpötilakehitys purkutilanteen aikana varaajassa.



KUVAAJA 14. Riku'therm 300 R5: purku, lämpötilat

Huomattavaa testissä on varaajan melko alhainen lämpötila jo testin alkaessa. Yli 55-celsiusasteista käyttövettä ei varaajasta kyetty saamaan ollenkaan. Varaajan korkeimman sisälämpötilan ollessa testin alussa 51,69 °C kyettiin käyttövesi lämmittämään varaajassa 51,46 °C:n lämpötilaan, mikä osoittaa varaajassa käytettävän kierukan erinomaisen kyvyn siirtää energiaa. Purkuvaihe tapahtui vakiovirtaamalla, jonka keskiarvo oli testin aikana 0,22 litraa sekunnissa. Yhteensä energiaa saatiin varaajasta ulos 48 tunnin stand-by -tilan jälkeen 11,27 kWh. Yläosan hidas jäähtyminen johtuu anturin sijainnista suoraan kierukkapaketin yläosassa, jossa kierukoiden lämmönsiirtopinta-alan puuttuminen aiheutti lämmön säilymistä varaajassa.

Varaajan hyötysuhde laskettiin käyttäen kaavaa 13.

$$\eta_{RT300,R5} = \frac{11,27 \text{ kWh}}{15,11 \text{ kWh}} * 100$$

$$\eta_{RT300,R5} = 75\%.$$

6.4 Riku'therm 800 kierukkapaketti 1

Tässä kappaleessa käydään läpi energiatestejä Riku'therm 300:n osalta.

Taulukossa 10 on ilmoitettu antureiden asennussyvyydet testien ajan.

TAULUKKO 10. Antureiden asennussyvyydet Riku'therm 800 varaajan sisällä.

Anturin nimi	Anturin sijainti anturitaskun yläosasta mitattuna
Yläosa	13 cm
Keskiosa	90 cm
Alaosa	180 cm

Riku'therm 800:n teoreettinen maksimienergia laskettiin käyttäen kaavaa 10.

$$E_{RT800,teoreettinen} = \frac{0,8 \text{ m}^3 * 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} * 990 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (60\text{°C} - 20\text{°C})}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}$$

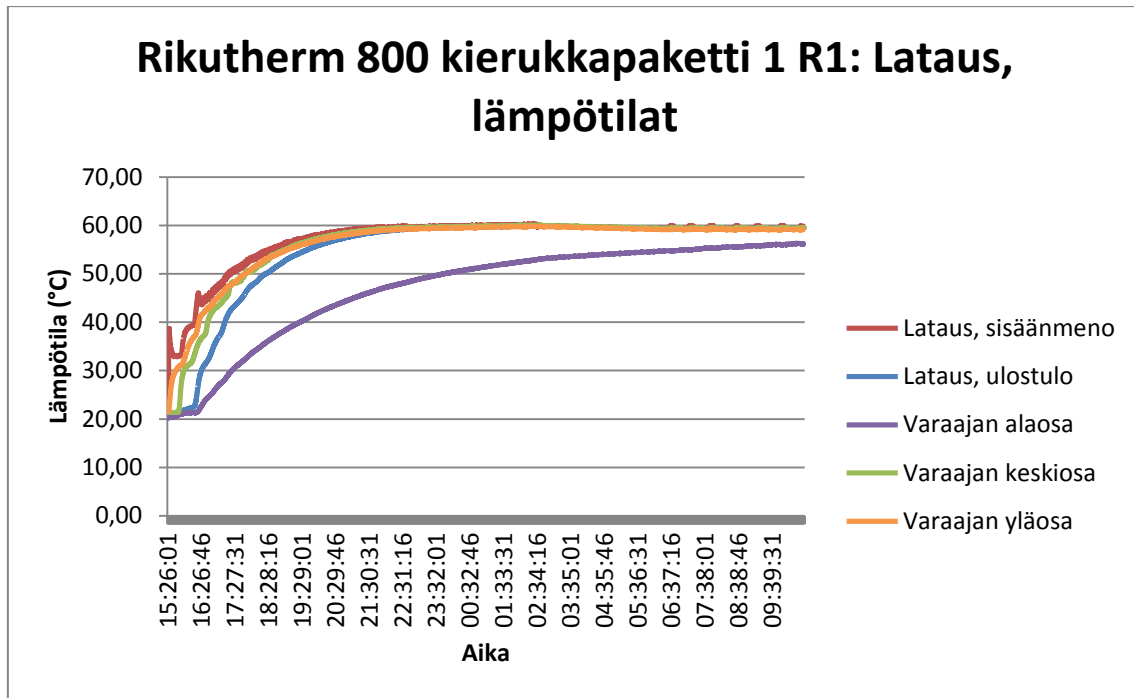
$$E_{RT800,teoreettinen} = 36,8 \text{ kWh}.$$

Tätä arvoa käytettiin latausenergioiden tarkastelussa, jotta huomattaisiin mahdolliset mittausvirheet energioiden laskennassa testien aikana. Koska varaajaan oli kytketty lataus- ja purkulaitteisto, oli todellinen energiamäärä tätä arvoa suurempi, koska yhteenlaskettu tilavuus oli varaajan tilavuutta suurempi.

6.4.1 Ryhmä 1

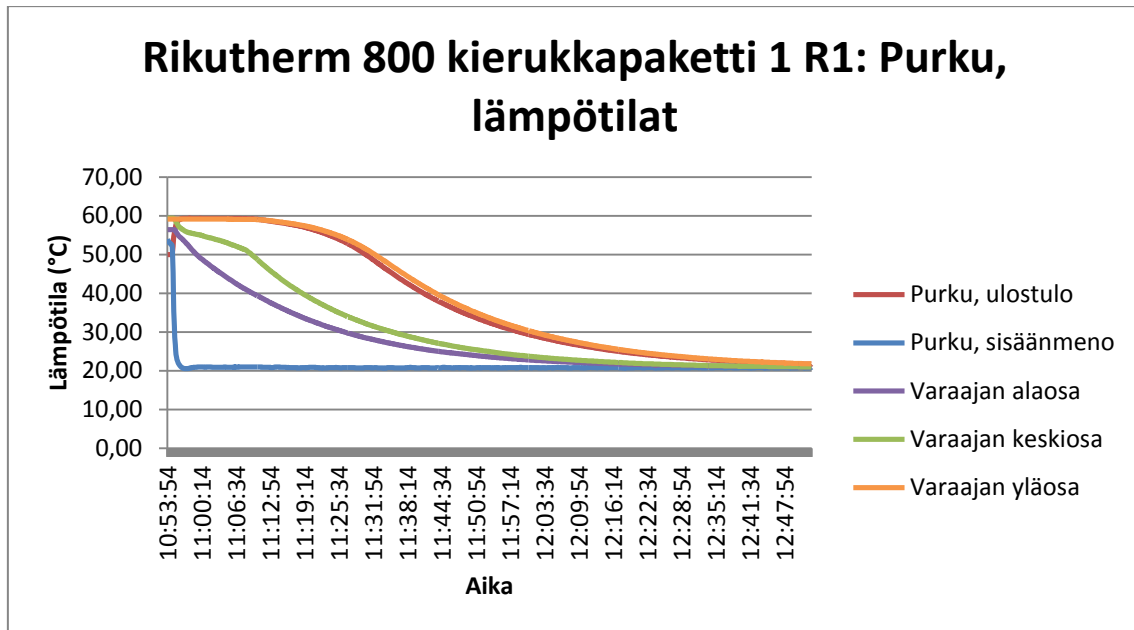
Ryhmän 1 testi aloitettiin vakauttamalla varaajan lämpötila 20 °C:n lämpötilaan juoksuttamalla kylmää vettä purkulaitteiston lämmönvaihtimen LV1:n läpi, jolloin varaajan sisältä kiertävä vesi jäähdytti varaajan. Testin alkuvaiheessa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 20,23 °C, varaajan keskiosassa 21,44 °C sekä yläosassa 21,66 °C.

Varaajaa varattiin suoralla kytkennällä käyttäen varaajan pidempää kytkentää, joka ulottui varaajan alaosaan asti. Varaajan varaaminen aloitettiin kello 15.26 ja varaaminen päättyi seuraavana päivänä kello 10.39. Varaaminen suoritettiin vakiovirtaamalla, jonka keskiarvona oli 0,21 litraa sekunnissa. Varaamisen lopussa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 56,22 °C, keskiosassa 59,48 °C sekä yläosassa 59,19 °C. Yhteensä varaajaan varattiin energiaa 37,40 kWh. Mahdollinen ylimääräinen energia selittyy lämmön johtumisena varaajan seinien, hatun ja varaamisessa käytetyn epäsuoran lataustavan häviöinä, sillä liitäntäputket latauslaitteistoon olivat eristämättömät. Latauksen lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 15. Kuvaajassa on huomattavaa alaosan hidas lämpeäminen muuhun varaajan verrattuna. Tämä johtui käytetyn liitännän alaputkeen tehdyistä teknisistä ratkaisuista.



KUVAAJA 15. Riku'therm 800 K1 R1: lataus, lämpötilat

Purkamiseen käytettiin ryhmän 1 testissä varaajan ensimmäistä kattilaliitintää, jonka poistoputki sijaitsee varaajan keskiosassa. Testi aloitettiin kello 13.29 ja testi päättyi kello 14.53. Varaajan sisälämpötilat purkutestin alussa olivat varaajan alaosassa 56,43 °C, keskiosassa 59,43 °C ja yläosassa 59,17 °C. Purkamisessa käytettiin vakiovirtaamaa, jonka keskiarvona oli 0,25 litraa sekunnissa. Energiaa saatiin purkuvaiheen aikana varaajasta ulos 34,75 kW. Lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 16.



KUVAAJA 16. Riku'therm 800 K1 R1: purku, lämpötilat

Varaajan hyötysuhde laskettiin käyttäen kaavaa 13.

$$\eta_{RT800K1,R1} = \frac{34,75 \text{ kWh}}{37,40 \text{ kWh}} * 100$$

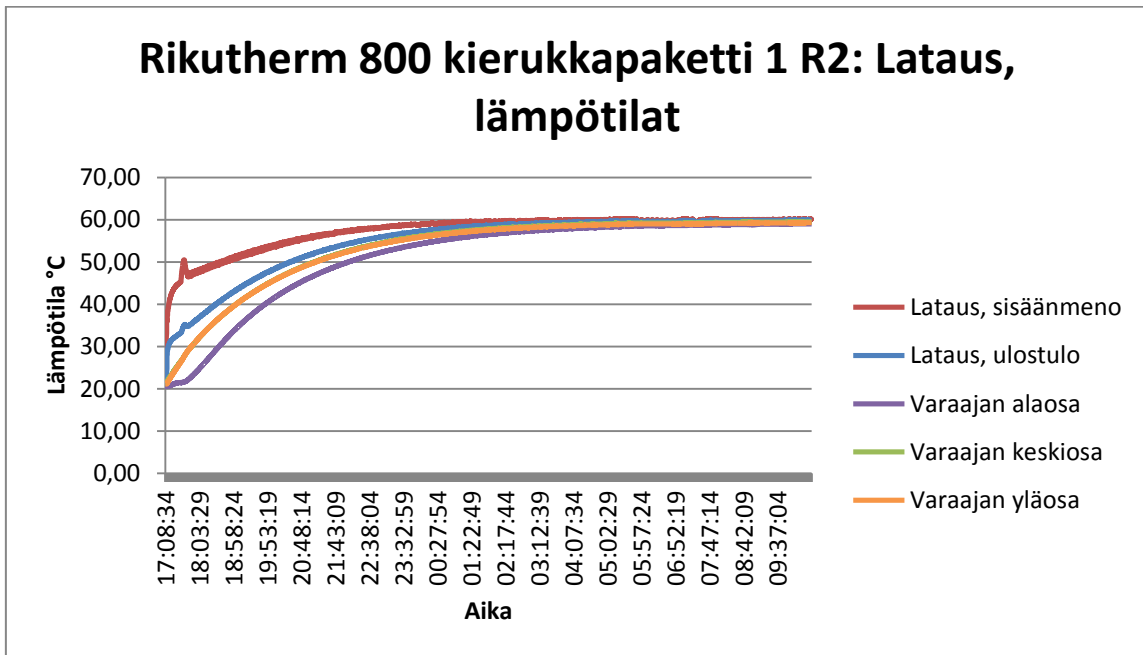
$$\eta_{RT800K1,R1} = 93\%.$$

6.4.2 Ryhmä 2

Ryhmän 2 testi aloitettiin vakauttamalla varaajan lämpötila 20 °C:n lämpötilaan juoksuttamalla kylmää vettä purkulaitteiston lämmönvaihtimen LV1:n läpi, jolloin varaajan sisältä kiertävä vesi jäähdytti varaajan. Kuvaajasta 17 käy ilmi, että varaajaan jäi hieman ylimääräistä lämpöä, lämpötilojen ollessa varaajan sisällä alaosassa 20,58 °C, keskiosassa 21,34 °C ja yläosassa 21,16 °C.

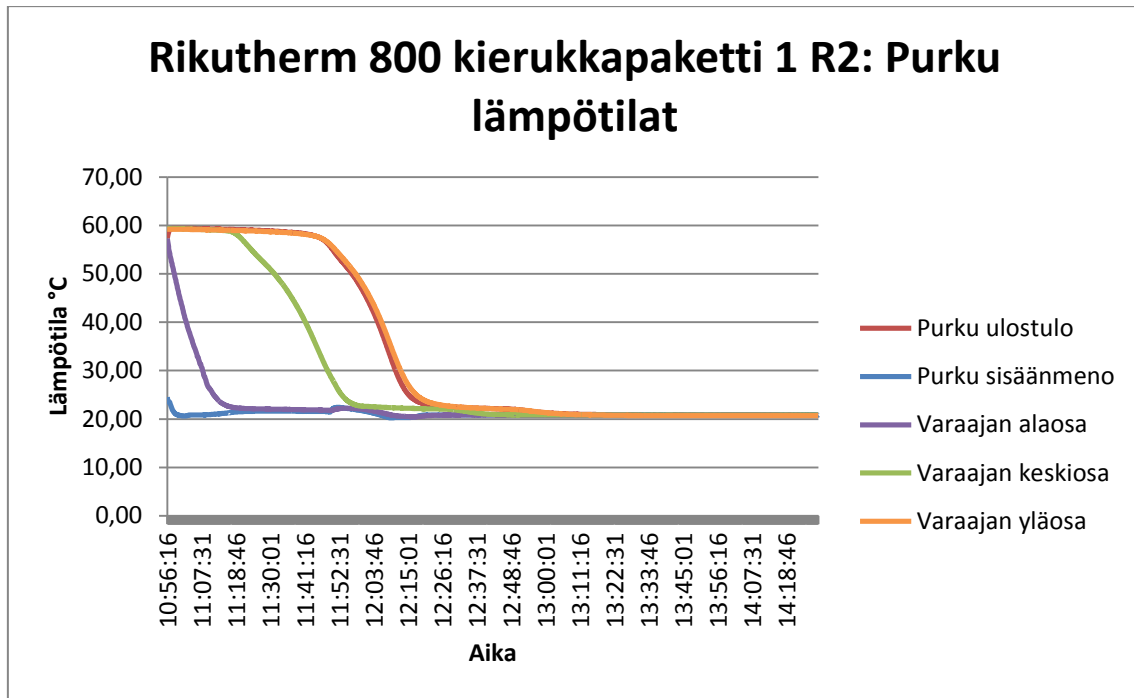
Varaajaa varattiin epäsuoralla kytkennällä käyttäen varaajan aurinkokierukkaa, mikä on sijoitettu varaajan alaosaan. Varaajan varaaminen aloitettiin kello 17.08 ja varaaminen päättyi seuraavana päivänä kello 10.32. Varaaminen suoritettiin vakiovirtaamalla, jonka keskiarvo oli 0,19 litraa sekunnissa. Varaamisen lopussa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 59,02 °C, keskiosassa 59,53 °C sekä yläosassa 59,28 °C. Yhteensä varaajaan varattiin

energiaa 35,72 kWh. Mahdollinen ylimääräinen energia selittyy lämmön johtumisena varaajan seinien, hatun ja varaamisessa käytetyn epäsuoran lataustavan häviöinä, sillä liitännäputket latauslaitteistoon olivat eristämättömät. Varaajan sisälämpötila nousi haluttuun 60 °C lämpötilaan paljon suoraa lataustapaa paremmin, eikä alaosa jäänyt pitkäksi aikaa muuta varaajaa kylmemmäksi. Latauksen lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 17.



KUVAAJA 17. Riku'therm 800 K1 R2: lataus, lämpötilat

Purkamiseen käytettiin ryhmän 2 testissä varaajan toista kattilaliitintä. Testi aloitettiin kello 10.56 ja testi päättyi kello 14.29. Varaajan sisälämpötilat purkutestin alussa olivat varaajan alaosassa 57,27 °C, keskiosassa 59,34 °C ja yläosassa 59,20 °C. Purkamisessa käytettiin vakiovirtaamaa, jonka keskiarvona oli 0,21 litraa sekunnissa. Energiaa saatiin purkuvaiheen aikana varaajasta ulos 34,02 kWh. Lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 18.



KUVAAJA 18. Riku'therm 800 K1 R2: purku, lämpötilat

Varaajan hyötysuhde laskettiin käyttäen kaavaa 13.

$$\eta_{RT800K1,R2} = \frac{34,02 \text{ kWh}}{35,72 \text{ kWh}} * 100$$

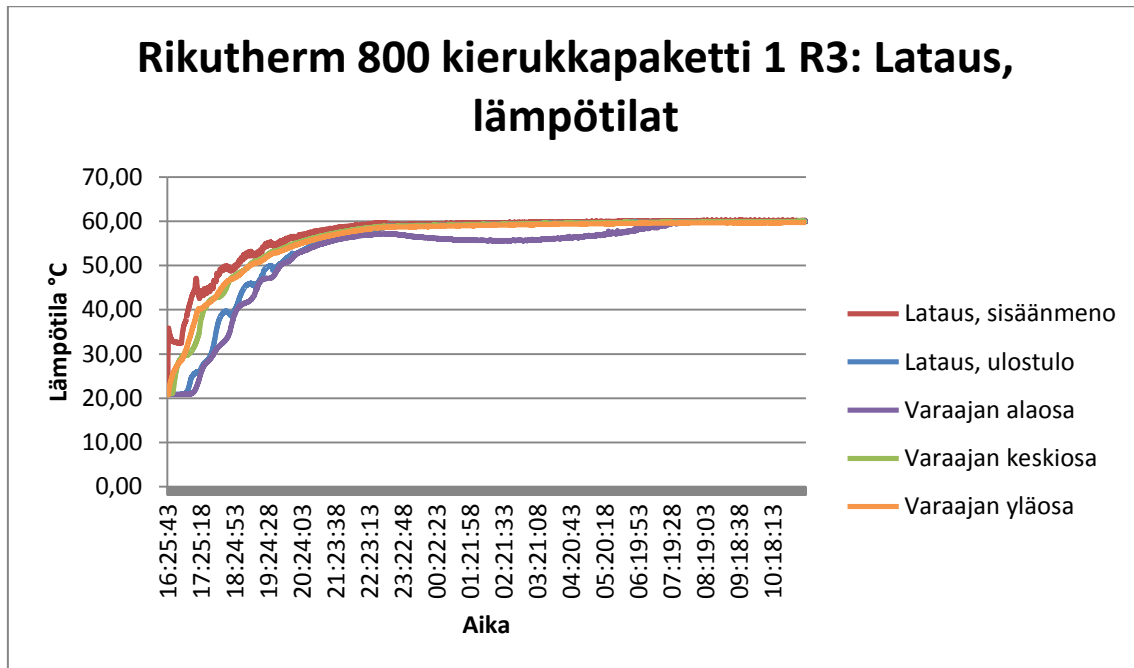
$$\eta_{RT800K1,R2} = 95\%.$$

6.4.3 Ryhmä 3

Ryhmän 3 testi aloitettiin vakauttamalla varaajan lämpötila 20 °C:n lämpötilaan juoksuttamalla kylmää vettä purkulaitteiston lämmönvaihtimen LV1:n läpi, jolloin varaajan sisältä kiertävä vesi jäähdytti varaajan. Testin alkuvaiheessa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 20,91 °C, varaajan keskiosassa 20,92 °C sekä yläosassa 20,81 °C.

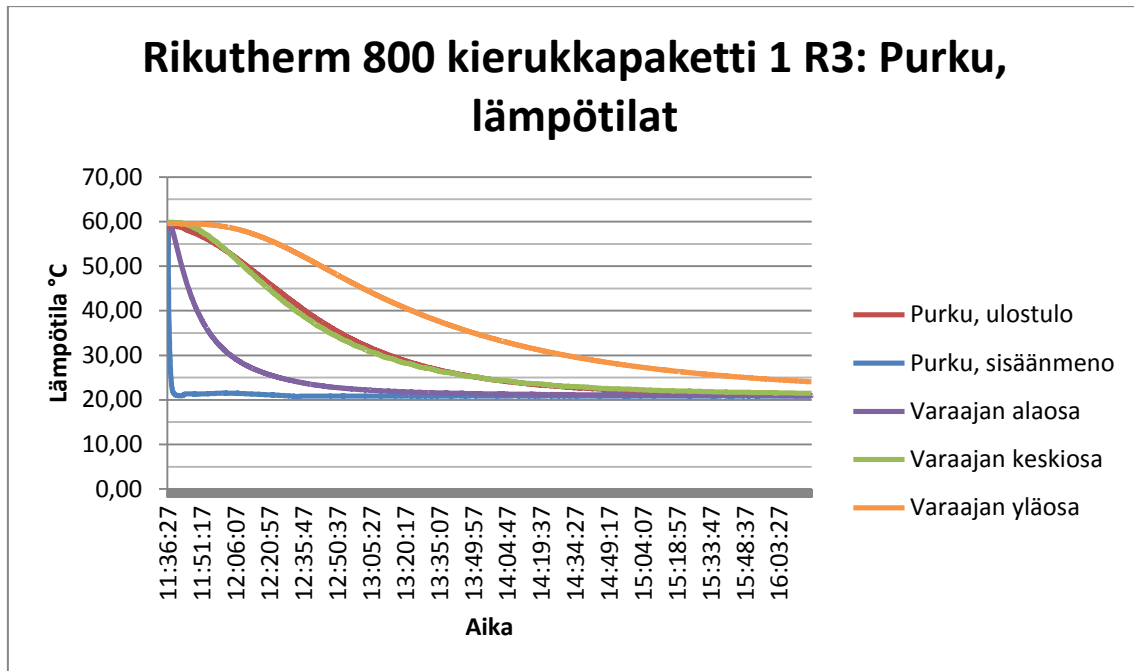
Varaajaa varattiin suoralla kytkennällä käyttäen varaajan pidempää kytkentää, joka ulottui varaajan alaosaan asti. Varaajan varaaminen aloitettiin kello 16.25 ja varaaminen päättyi seuraavana päivänä kello 11.17. Varaaminen suoritettiin vakiovirtaamalla, jonka keskiarvona oli 0,18 litraa sekunnissa. Varaamisen lopussa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 59,94 °C,

keskiosassa 59,98 °C sekä yläosassa 59,73 °C. Yhteensä varaajaan varattiin energiaa 37,38 kWh. Mahdollinen ylimääräinen energia selittyy lämmön johtumisena varaajan seinien, hatun ja varaamisessa käytetyn epäsuoran lataustavan häviöinä, sillä liitäntäputket latauslaitteistoon olivat eristämättömät. Latauksen lämpötiläkäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 19.



KUVAAJA 19. Riku'therm 800 K1 R3: lataus, lämpötilat

Purkamiseen käytettiin ryhmän 3 testissä varaajan käyttövesikierukkaa. Testi aloitettiin kello 11.36 ja testi päättyi kello 16.19. Varaajan sisälämpötilat purkutestin alussa olivat varaajan alaosassa 59,77 °C, keskiosassa 59,84 °C ja yläosassa 59,57 °C. Purkamisessa käytettiin vakiovirtaamaa, jonka keskiarvona oli 0,19 litraa sekunnissa. Yli 55 °C lämpöistä käyttövettä saatiin purkuvaiheen aikana varaajasta 220 litraa. Kaikenkaikkiaan energiaa saatiin purkuvaiheen aikana varaajasta ulos 34,43 kWh. Yläosan jääminen osittain lämpimäksi testin lopussa johtuu lämpötila-anturin sijoituspaikasta suoraan kierukkapaketin hatun alle, jossa ei ollut lainkaan lämmönsiirtopinta-alaa käyttövesikierukassa. Lämpötiläkäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 20.



KUVAAJA 20. Riku'therm 800 K1 R3 :purku, lämpötilat

Varaajan hyötysuhde laskettiin käyttäen kaavaa 13.

$$\eta_{RT800K1,R3} = \frac{34,43 \text{ kWh}}{37,38 \text{ kWh}} * 100$$

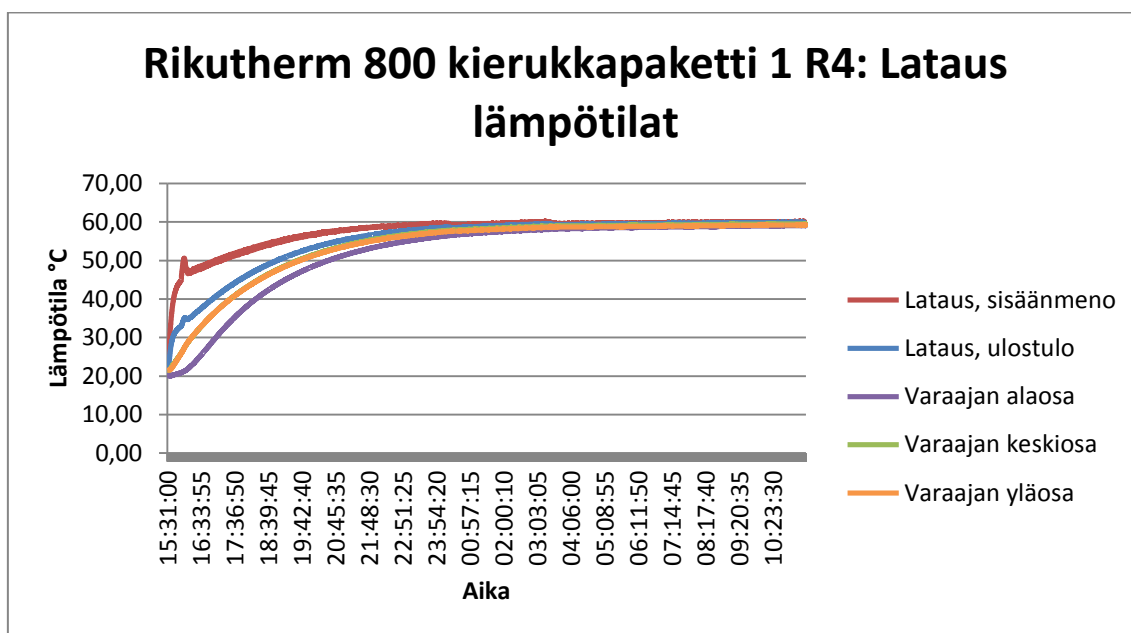
$$\eta_{RT800K1,R3} = 92\%.$$

6.4.4 Ryhmä 4

Ryhmän 4 testi aloitettiin vakauttamalla varaajan lämpötila 20 °C:n lämpötilaan juoksuttamalla kylmää vettä purkulaitteiston lämmönvaihtimen LV1:n läpi, jolloin käyttövesikierukan sisällä kiertävä vesi jäähdytti varaajan. Kuvaajasta 21 käy ilmi, että varaajaan jäi hieman ylimääräistä lämpöä, lämpötilojen ollessa varaajan sisällä alaosassa 20,08 °C, keskiosassa 21,49 °C ja yläosassa 21,55 °C.

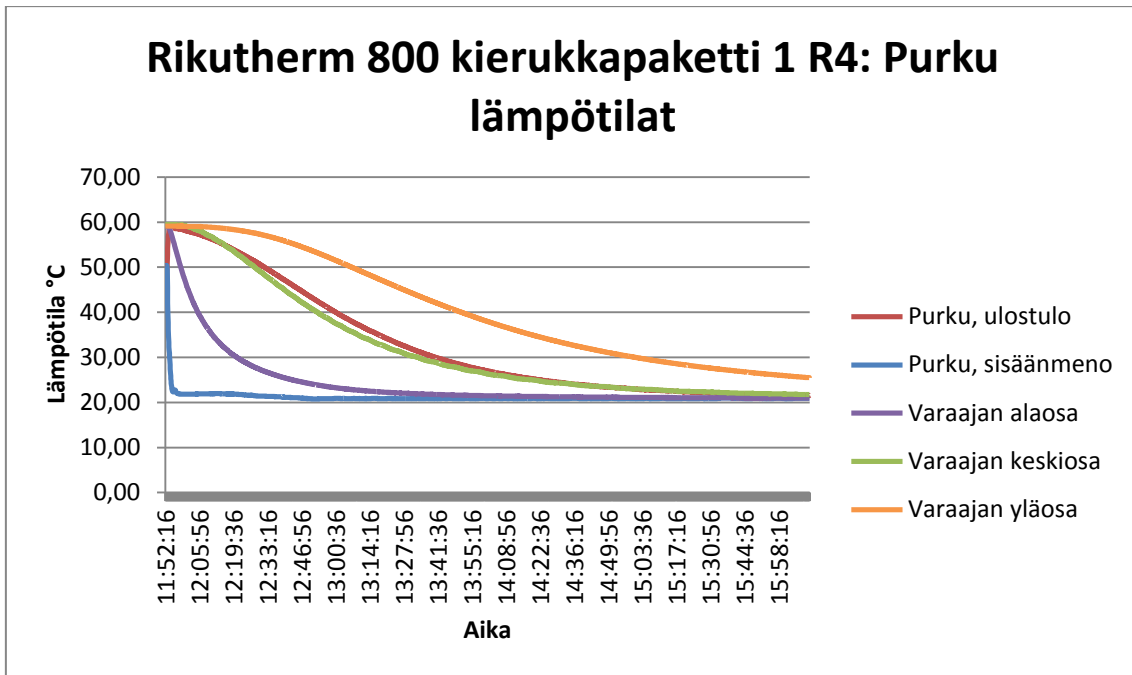
Varaajaa varattiin epäsuoralla kytkennällä käyttäen varaajan aurinkokierukkaa, joka on sijoitettu varaajan alaosaan. Varaajan varaaminen aloitettiin kello 15.31 ja varaaminen päättyi seuraavana päivänä kello 11.26. Varaaminen suoritettiin vakiovirtaamalla, jonka keskiarvo oli 0,20 litraa sekunnissa. Varaamisen

lopussa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 59,05 °C, keskiosassa 59,55 °C sekä yläosassa 59,23°C. Yhteensä varaajaan varattiin energiaa 44,25 kWh. Ylimääräinen energia selittyy mittausvirheenä latauksen aikana. Varaajan sisälämpötila nousi haluttuun 60 °C lämpötilaan paljon suoraa lataustapaa paremmin. Latauksen lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 21.



KUVAAJA 21. Riku'therm 800 K1 R4: Lataus lämpötilat.

Purkamiseen käytettiin ryhmän 4 testissä varaajan käyttövesikierukkaa. Testi aloitettiin kello 11.52 ja testi päättyi kello 16.02. Varaajan sisälämpötilat purkutestin alussa olivat varaajan alaosassa 59,29 °C, keskiosassa 59,96 °C ja yläosassa 59,66 °C. Purkamisessa käytettiin vakiovirtaamaa, jonka keskiarvona oli 0,17 litraa sekunnissa. Yli 55-celsiusasteista käyttövettä saatiin purkuvaiheen aikana varaajasta 219 litraa. Kaikenkaikkiaan energiaa saatiin purkuvaiheen aikana varaajasta ulos 33,45 kW. Yläosan jääminen osittain lämpimäksi testin lopussa johtuu lämpötila-anturin sijoituspaikasta suoraan kierukkapaketin hatun alle, jossa ei ollut lainkaan lämmönsiirtopinta-alaa käyttövesikierukassa. Lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 22.



KUVAAJA 22. Riku'therm 800 K1 R4: Purku lämpötilat.

Varaajan hyötysuhde laskettiin käyttäen kaavaa 13.

$$\eta_{RT800K1,R4} = \frac{33,45 \text{ kWh}}{44,35 \text{ kWh}} * 100$$

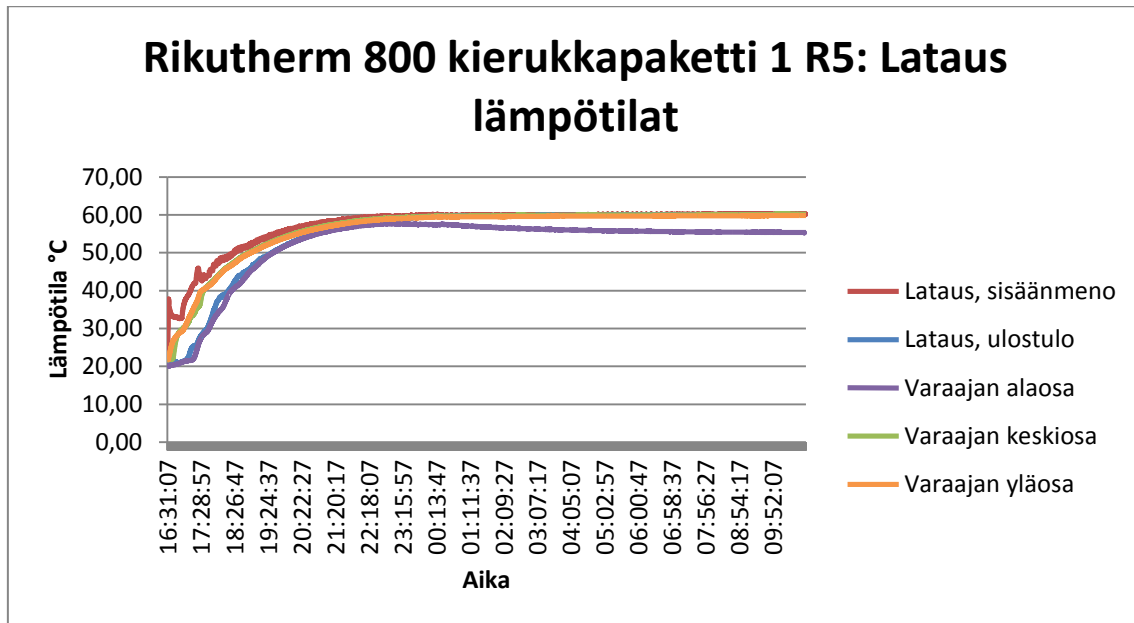
$$\eta_{RT800K1,R4} = 75\%.$$

6.4.5 Ryhmä 5

Ryhmän 5 testi aloitettiin vakauttamalla varaajan lämpötila 20 °C:n lämpötilaan juoksuttamalla kylmää vettä purkulaitteiston lämmönvaihtimen LV1:n läpi, jolloin käyttövesikierukan sisällä kiertävä vesi jäähdytti varaajan. Kuvaajasta 23 käy kuitenkin ilmi, että varaajan jäi edellisen testin jäljiltä hieman ylimääräistä lämpöä, sillä testin alkuvaiheessa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 20,03°C, varaajan keskiosassa 21,72°C sekä yläosassa 21,83°C.

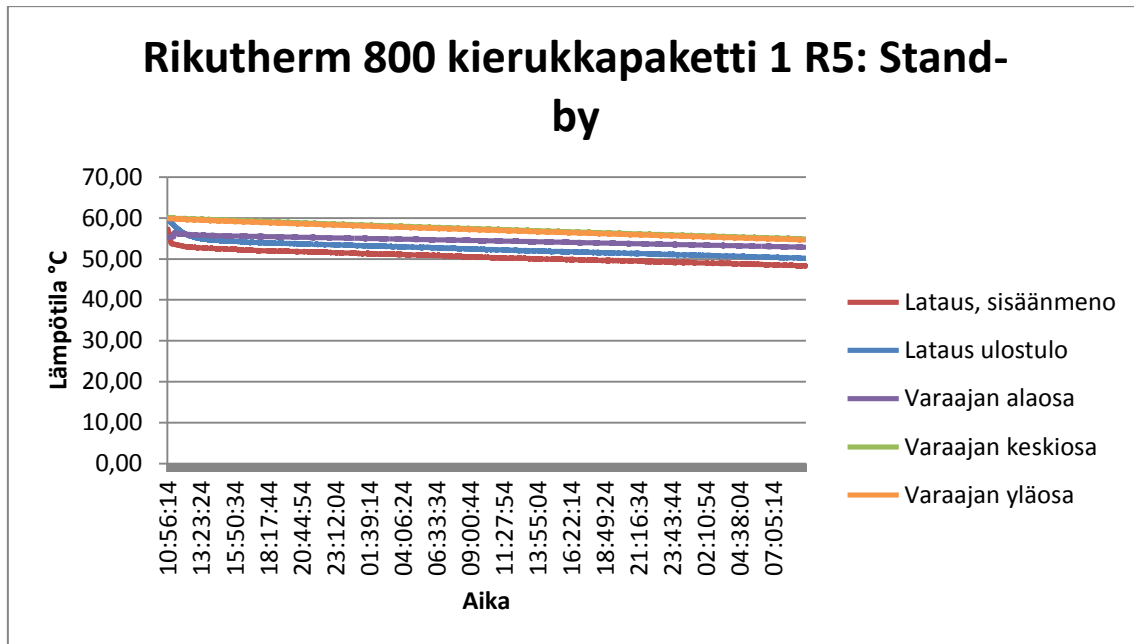
Varaajaa varattiin suoralla kytkennällä käyttäen varaajan pidempää kytkentää, joka ulottui varaajan alaosaan asti. Varaajan varaaminen aloitettiin kello 16.31 ja varaaminen päättyi seuraavana päivänä kello 10.49. Varaaminen suoritettiin vakiovirtaamalla, jonka keskiarvona oli 0,21 litraa sekunnissa. Varaamisen

lopussa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 55,33 °C, keskiosassa 60,17 °C sekä yläosassa 59,83 °C. Yhteensä varaajaan varattiin energiaa 36,46 kWh. Varaajan alaosa jäi edellisistä testeistä poiketen yllättävän kylmäksi, syyn ollessa epäselvä. Latauksen lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 23.



KUVAAJA 23. Riku'therm 800 K1 R5: Lataus lämpötilat.

Kun varaaja oli saatu varattua, pumput sammutettiin sekä suljettiin ylimääräiset liitännät, jotta veden kierto purku- ja latauslaitteistoissa estyisi. Molemmissa laitteistoista jätettiin kuitenkin yksi venttiili auki, jotta paisunta-astiat kykenisivät toimimaan testin ajan. Varaaja jätettiin 48 tunniksi stand-by-tilaan, jonka aikana varaajan sisälämpötilat tallennettiin viidestä kohdasta: varaajan alaosasta, varaajan keskikohdasta, varaajan yläosasta sekä latauksen sisäänmeno- ja ulostuloputkista. Tieto tallennettiin loggeriin 10 sekunnin välein. Kuvaajassa 24 on esitetty varaajan sisälämpötilojen kehitys 48 tunnin stand-by -tilan aikana.



KUVAAJA 24. Rikutherm 800 K1 R5: stand-by, lämpötilat

Kuvaajassa 24 on huomattavaa lämpötilan hidas laskeminen varaajan sisällä. 48 tunnin jälkeen varaajan alaosan lämpötilaksi mitattiin 52,85 °C, keskiosan 54,78 °C sekä yläosan lämpötilaksi 54,65 °C. Ympäröivän huoneilman lämpötila oli testin ajan 21 °C. Latauksen sisäänmenon lämpötilan nopeampi laskeminen johtuu putken sijainnista hatun alla, sillä se on hatun alla ylimmäisenä ja täten sen ympärillä on vähiten eristystä. Latauksen ulostuloputki on latauksen sisäänmenoputken alapuolella ja suoraan varaajan yläpuolella, jolloin varaajan yläosan kautta poistuva lämpö piti veden putken sisällä lähes varaajan lämpöisenä. Latauksen ulostulon lämpötilaksi mitattiin lopputilanteessa 50,20 °C ja sisäänmenon 48,26 °C.

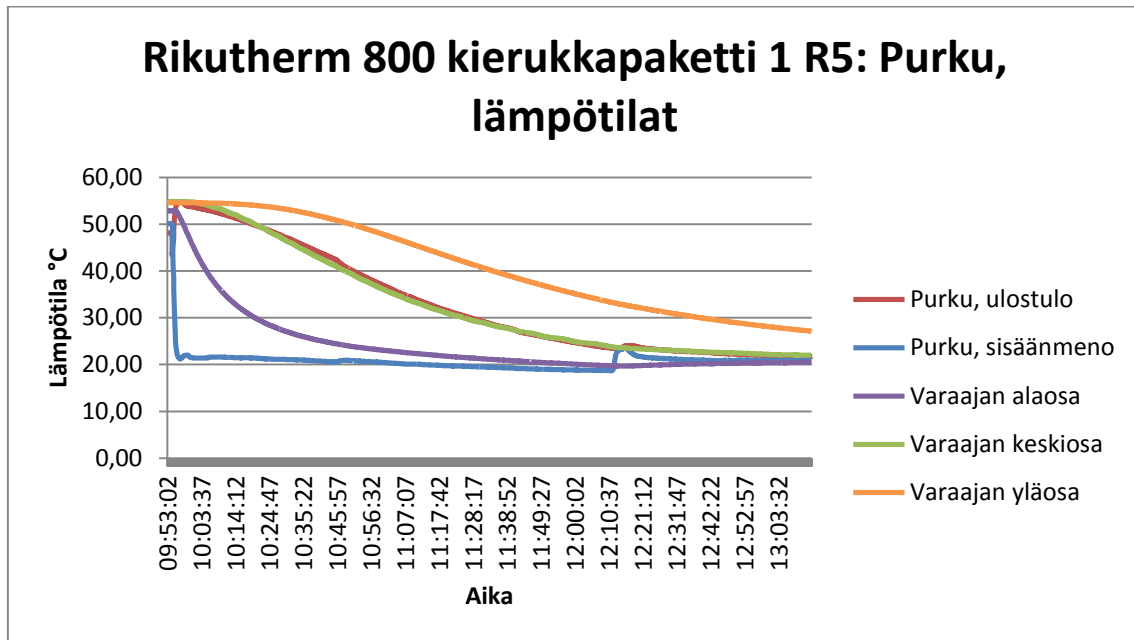
Käyttämällä kaavaa 10 laskettiin varaajan sisällä olevan energian määrä käyttäen varaajan sisälämpötilana alaosan, keskiosan ja yläosan keskiarvoa 54,12 °C.

$$E_{R5: RT800K1, stand-by} = \frac{0,8m^3 * 4,18 \frac{kJ}{kg * ^\circ C} * 990 \frac{kg}{m^3} * (54,12^\circ C - 20^\circ C)}{3600 \frac{s}{h}}$$

$$E_{R5: RT800K1, stand-by} = 31,37 kWh$$

Tähän energiamäärään tulee kuitenkin suhtautua varauksella, koska lämpötilojen keskiarvosta ei voi päätellä veden lämpötilamäärän jakautumista varaajan sisällä. Tulos on korkeintaan suuntaa antava.

Stand-by -tilan jälkeen varaaja purettiin käyttäen epäsuoraa kytkentää. Purkulaitteisto kytkettiin varaajan käyttövesikierukkaan. Kuvaajassa 25 on esitetty lämpötilakehitys purkutilanteen aikana varaajassa.



KUVAAJA 25. Rikutherm 800 K1 R5: purku, lämpötilat

Huomattavaa testissä on varaajan melko alhainen lämpötila jo testin alkaessa. Yli 55-celsiusasteista käyttövetä ei varaajasta kyetty saamaan ollenkaan. Mutta varaajan korkeimman sisälämpötilan ollessa testin alussa 54,85 °C, kyettiin käyttövesi lämmittämään varaajassa 54,75 °C lämpötilaan, mikä osoittaa varaajassa käytettävän kierukan erinomaisen kyvyn siirtää energiaa.

Purkuvaihe tapahtui vakiovirtaamalla, jonka keskiarvo oli testin aikana 0,19 litraa sekunnissa. Yhteensä energiaa saatiin varaajasta ulos 48 tunnin stand-by tilan jälkeen 29,92 kWh. Yläosan hidas jäähtyminen johtuu anturin sijainnista suoraan kierukkapaketin yläosassa, jossa kierukoiden lämmönsiirtopinta-alan puuttuminen aiheutti lämmön säilymistä varaajassa.

Varaajan hyötysuhde laskettiin käyttäen kaavaa 13.

$$\eta_{RT800K1,R5} = \frac{29,92 \text{ kWh}}{36,46 \text{ kWh}} * 100$$

$$\eta_{RT800K1,R5} = 82\%.$$

6.5 Riku'therm 800 kierukkapaketti 2

Tässä kappaleessa käydään läpi energiatestejä Riku'therm 800 kierukkapaketille 2. Taulukossa 11 on ilmoitettu antureiden asennussyvyydet testien ajan.

TAULUKKO 11. Antureiden asennussyvyydet Riku'therm 800-varaajan sisällä

Anturin nimi	Anturin sijainti anturitaskun yläosasta mitattuna
Yläosa	13 cm
Keskiosa	90 cm
Alaosa	180 cm

Riku'therm 800:n teoreettinen maksimienergia laskettiin käyttäen kaavaa 10.

$$E_{RT800,teoreettinen} = \frac{0,8m^3 * 4,18 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} * 990 \frac{kg}{m^3} * (60^\circ C - 20^\circ C)}{3600 \frac{s}{h}}$$

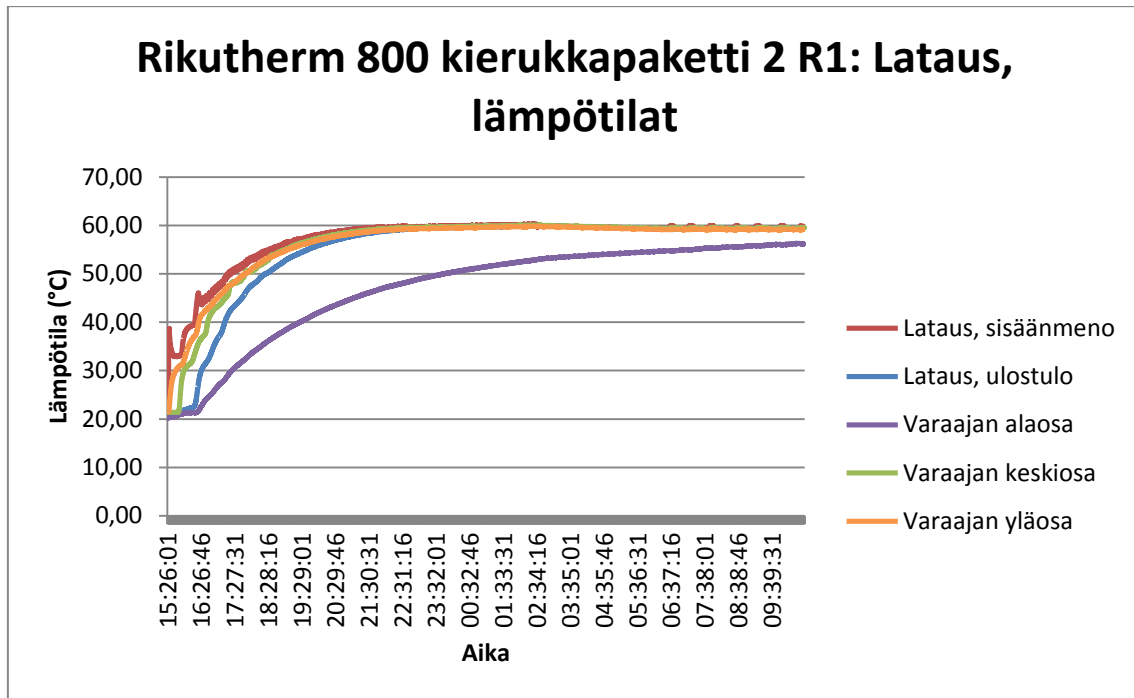
$$E_{RT800,teoreettinen} = 36,8 \text{ kWh}.$$

Tätä arvoa käytettiin latausenergioiden tarkastelussa, jotta huomattaisiin mahdolliset mittausvirheet energioiden laskennassa testien aikana. Koska varaajaan oli kytketty lataus- ja purkulaitteisto, oli todellinen energiamäärä tätä arvoa suurempi, koska yhteenlaskettu tilavuus oli varaajan tilavuutta suurempi.

6.5.1 Ryhmä 1

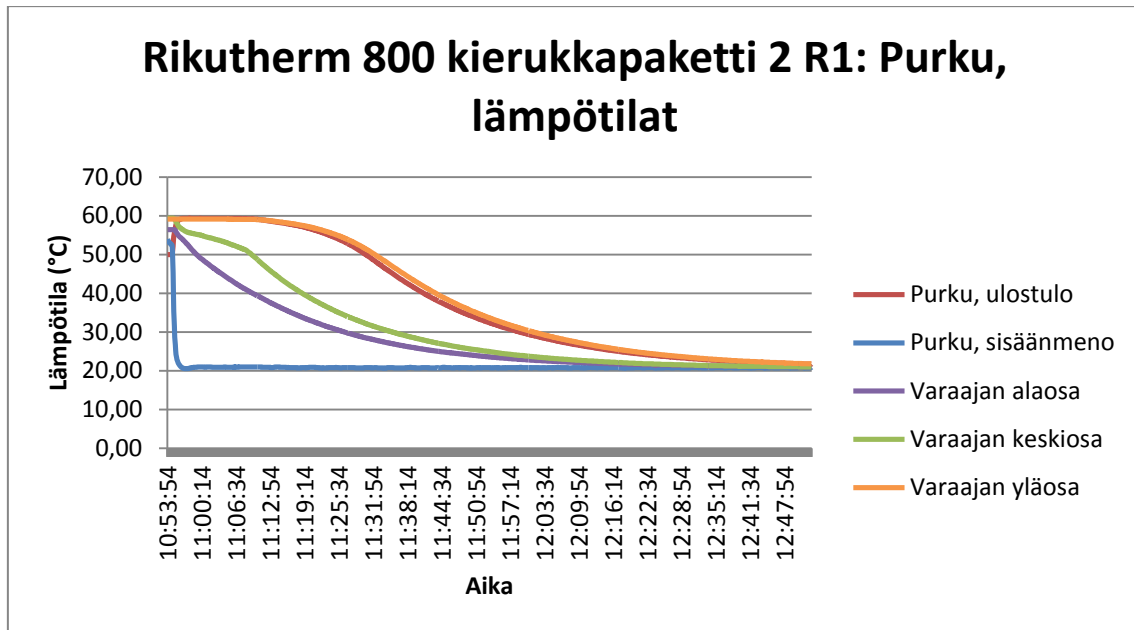
Ryhmän 1 testi aloitettiin vakauttamalla varaajan lämpötila 20 °C:n lämpötilaan juoksuttamalla kylmää vettä purkulaitteiston lämmönvaihtimen LV1:n läpi, jolloin varaajan sisältä kiertävä vesi jäähdytti varaajan. Testin alkuvaiheessa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 20,23 °C, varaajan keskiosassa 21,44 °C sekä yläosassa 21,66 °C.

Varaajaa varattiin suoralla kytkennällä käyttäen varaajan pidempää kytkentää, joka ulottui varaajan alaosaan asti. Varaajan varaaminen aloitettiin kello 15.26 ja varaaminen päättyi seuraavana päivänä kello 10.39. Varaaminen suoritettiin vakiovirtaamalla, jonka keskiarvona oli 0,21 litraa sekunnissa. Varaamisen lopussa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 56,22 °C, keskiosassa 59,48 °C sekä yläosassa 59,19 °C. Yhteensä varaajaan varattiin energiaa 37,39 kWh. Mahdollinen ylimääräinen energia selittyy lämmön johtumisena varaajan seinien, hatun ja varaamisessa käytetyn epäsuoran lataustavan häviöinä, sillä liitäntäputket latauslaitteistoon olivat eristämättömät. Latauksen lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 26. Kuvaajassa on huomattavaa alaosan hidas lämpeäminen muuhun varaajan verrattuna. Tähän oli syynä käytetyn liitännän alaputkeen tehdyt tekniset ratkaisut.



KUVAAJA 26. Riku'therm 800 K2 R1: lataus, lämpötilat

Purkamiseen käytettiin ryhmän 1 testissä varaajan ensimmäistä kattilaliitintää, jonka poistoputki sijaitsee varaajan keskiosassa. Testi aloitettiin kello 13.29 ja testi päättyi kello 10.53. Varaajan sisälämpötilat purkutestin alussa olivat varaajan alaosassa 56,43 °C, keskiosassa 59,43 °C ja yläosassa 59,17 °C. Purkamisessa käytettiin vakiovirtaamaa, jonka keskiarvona oli 0,25 litraa sekunnissa. Energiaa saatiin purkuvaiheen aikana varaajasta ulos 34,75 kWh. Lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 27.



KUVAAJA 27. Riku'therm 800 K2 R1: purku, lämpötilat

Varaajan hyötysuhde laskettiin käyttäen kaavaa 13.

$$\eta_{RT800K2,R1} = \frac{34,75 \text{ kWh}}{37,39 \text{ kWh}} * 100$$

$$\eta_{RT800K2,R1} = 93 \%$$

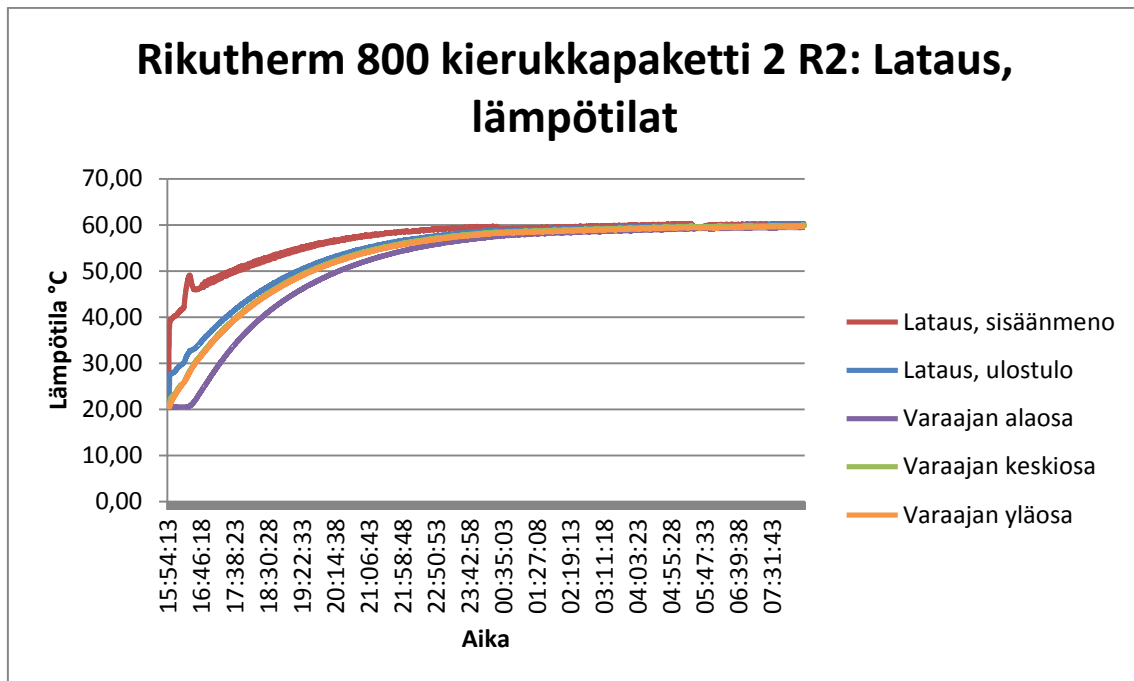
6.5.2 Ryhmä 2

Ryhmän 2 testi aloitettiin vakauttamalla varaajan lämpötila 20 °C:n lämpötilaan juoksuttamalla kylmää vettä purkulaitteiston lämmönvaihtimen LV1:n läpi, jolloin varaajan sisältä kiertävä vesi jäähdytti varaajan. Kuvaajasta 28 käy ilmi, että varaajaan jäi hieman ylimääräistä lämpöä, lämpötilojen ollessa varaajan sisällä alaosassa 20,51 °C, keskiosassa 20,67 °C ja yläosassa 20,56 °C.

Varaajaa varattiin epäsuoralla kytkennällä käyttäen varaajan aurinkokierukkaa, mikä on sijoitettu varaajan alaosaan. Varaajan varaaminen aloitettiin kello 15.54 ja varaaminen päättyi seuraavana päivänä kello 08.24 Oulun seudun ammattikorkeakoulussa tapahtuneen sähkökatkoksen vuoksi. Varaaminen suoritettiin vakiovirtaamalla, jonka keskiarvo oli 0,20 litraa sekunnissa.

Varaamisen lopussa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 59,47

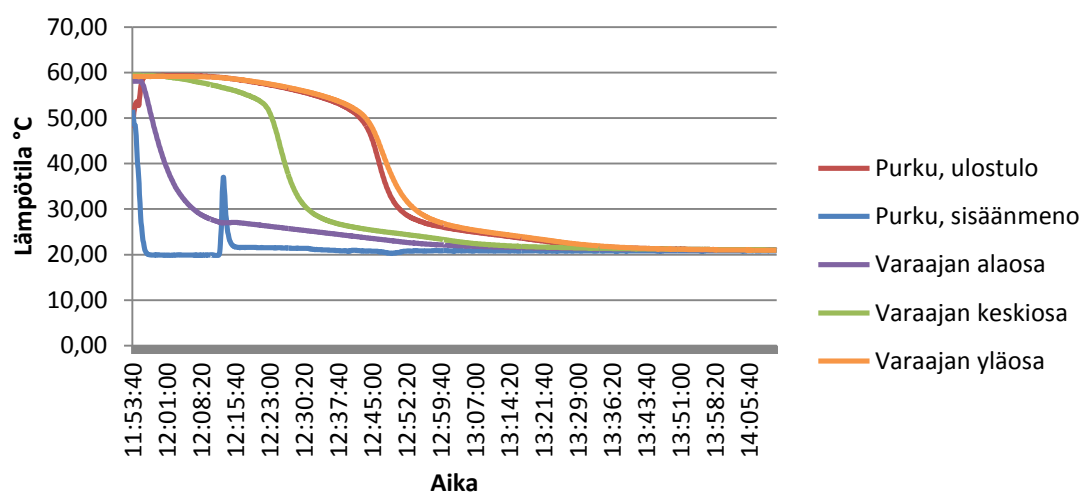
°C, keskiosassa 59,88 °C sekä yläosassa 59,67 °C. Yhteensä varaajaan varattiin energiaa 37,02 kWh. Mahdollinen ylimääräinen energia verrattuna teoreettiseen energiamäärään selittyy lämmön johtumisena varaajan seinien, hatun ja varaamisessa käytetyn epäsuoran lataustavan häviöinä, sillä liitäntäputket latauslaitteistoon olivat eristämättömät. Varaajan sisälämpötila nousi haluttuun 60 °C:n lämpötilaan paljon suoraan lataustapaa paremmin, eikä alaosa jäänyt pitkäksi aikaa muuta varaajaa kylmemmäksi. Latauksen lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 28.



KUVAAJA 28. Riku'therm 800 K2 R2: lataus, lämpötilat

Purkamiseen käytettiin ryhmän 2 testissä varaajan toista kattilaliitäntää. Testi aloitettiin kello 11.53 ja testi päättyi kello 14.11. Varaajan sisälämpötilat purkutestin alussa olivat varaajan alaosassa 58,09 °C, keskiosassa 59,41 °C ja yläosassa 59,12 °C. Purkamisessa käytettiin vakiovirtaamaa, jonka keskiarvona oli 0,25 litraa sekunnissa. Energiaa saatiin purkuvaiheen aikana varaajasta ulos 35,63 kWh. Lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 29.

Rikutherm 800 kierukkapaketti 2 R2: Purku, lämpötilat



KUVAAJA 29. Rikutherm 800 K2 R2: purku, lämpötilat

Varaajan hyötysuhde laskettiin käyttäen kaavaa 13.

$$\eta_{RT800K2,R2} = \frac{35,63 \text{ kWh}}{37,02 \text{ kWh}} * 100$$

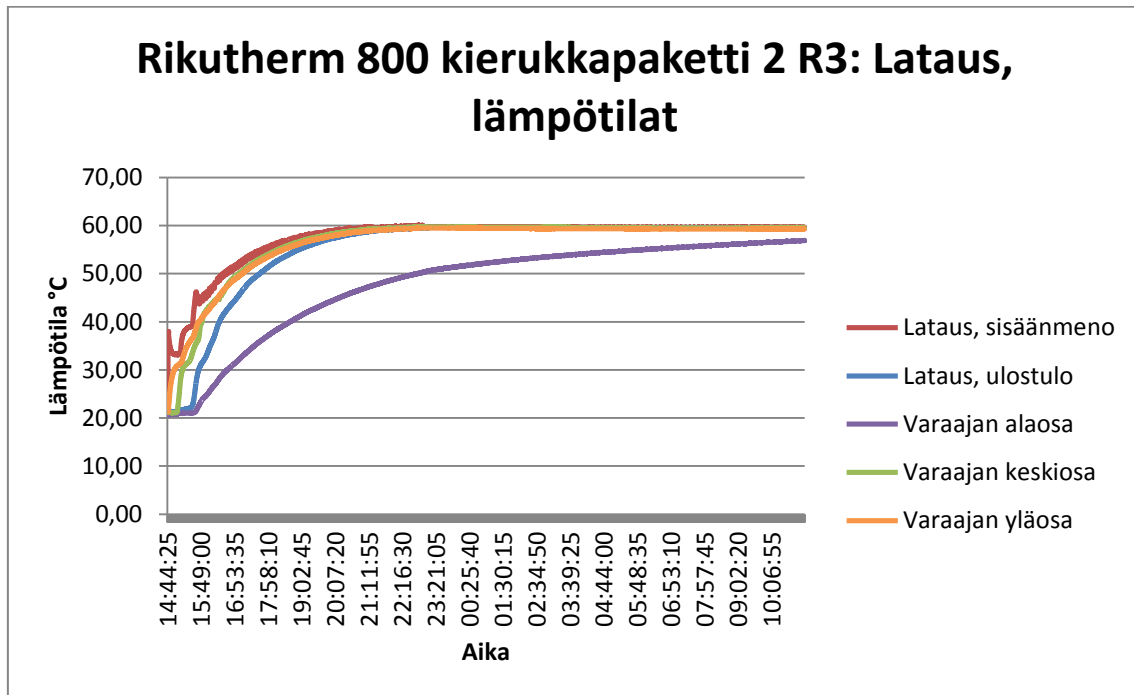
$$\eta_{RT800K2,R2} = 96\%.$$

6.5.3 Ryhmä 3

Ryhmän 3 testi aloitettiin vakauttamalla varaajan lämpötila 20 °C:n lämpötilaan juoksuttamalla kylmää vettä purkulaitteiston lämmönvaihtimen LV1:n läpi, jolloin varaajan sisältä kiertävä vesi jäähdytti varaajan. Testin alkuvaiheessa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 20,48 °C, varaajan keskiosassa 21,14 °C sekä yläosassa 21,28 °C.

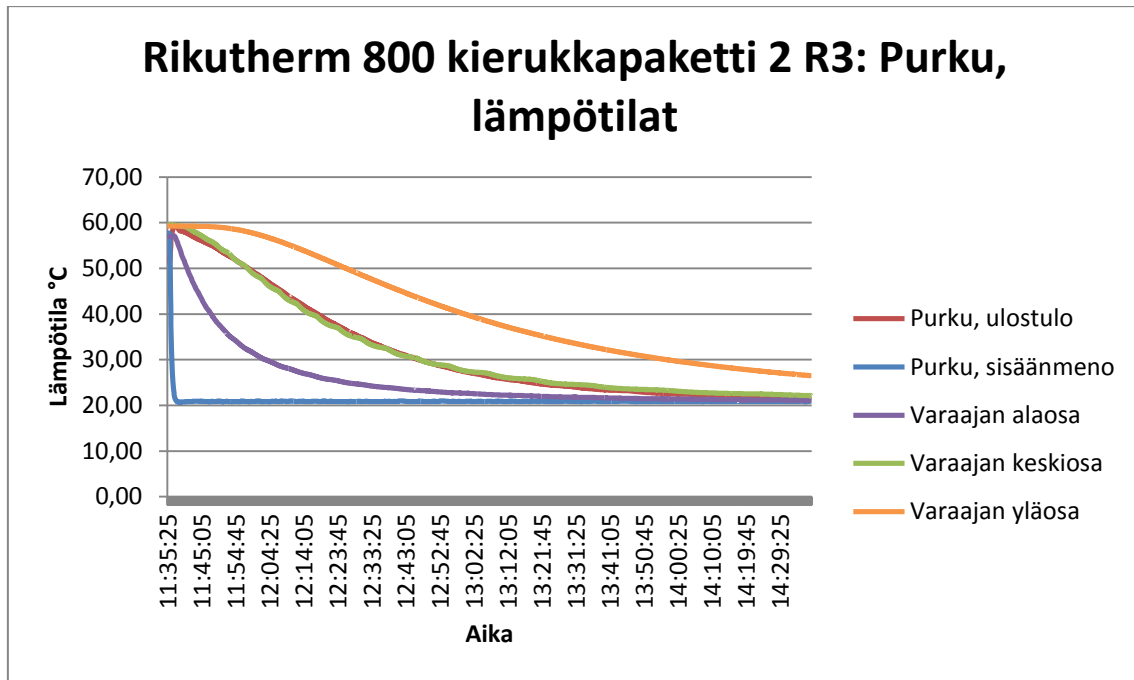
Varaajaa varattiin suoralla kytkennällä käyttäen varaajan pidempää kytkentää, joka ulottui varaajan alaosaan asti. Varaajan varaaminen aloitettiin kello 14.44 ja varaaminen päättyi seuraavana päivänä kello 11.11. Varaaminen suoritettiin vakiovirtaamalla, jonka keskiarvona oli 0,21 litraa sekunnissa. Varaamisen lopussa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 56,93 °C,

keskiosassa 59,59 °C sekä yläosassa 59,32 °C. Yhteensä varaajaan varattiin energiaa 37,29 kWh. Mahdollinen ylimääräinen energia selittyy lämmön johtumisena varaajan seinien, hatun ja varaamisessa käytetyn epäsuoran lataustavan häviöinä, sillä liitännäputket latauslaitteistoon olivat eristämättömät. Latauksen lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 30. Kuvaajassa on huomattavaa alaosan hidas lämpeäminen muuhun varaajan verrattuna. Tähän olivat syynä käytetyn liitännän alaputkeen tehdyt tekniset ratkaisut.



KUVAAJA 30. Riku'therm 800 K2 R3: lataus, lämpötilat

Purkamiseen käytettiin ryhmän 3 testissä varaajan käyttövesikierukkaa. Testi aloitettiin kello 11.35 ja testi päättyi kello 14.39. Varaajan sisälämpötilat purkutestin alussa olivat varaajan alaosassa 56,94 °C, keskiosassa 59,53 °C ja yläosassa 59,28 °C. Purkamisessa käytettiin vakiovirtaamaa, jonka keskiarvona oli 0,26 litraa sekunnissa. Yli 55 °C lämpöistä käyttövettä saatiin purkuvaiheen aikana varaajasta 195 litraa. Kaikenkaikkiaan energiaa saatiin purkuvaiheen aikana varaajasta ulos 35,43 kWh. Yläosan jääminen osittain lämpimäksi testin lopussa johtuu lämpötila-anturin sijoituspaikasta suoraan kierukkapaketin hatun alle, jossa ei ollut lainkaan lämmönsiirtopinta-alaa käyttövesikierukassa. Lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 31.



KUVAAJA 31. Riku'therm 800 K2 R3: purku, lämpötilat

Varaajan hyötysuhde laskettiin käyttäen kaavaa 13.

$$\eta_{RT800K2,R3} = \frac{35,43 \text{ kWh}}{37,29 \text{ kWh}} * 100$$

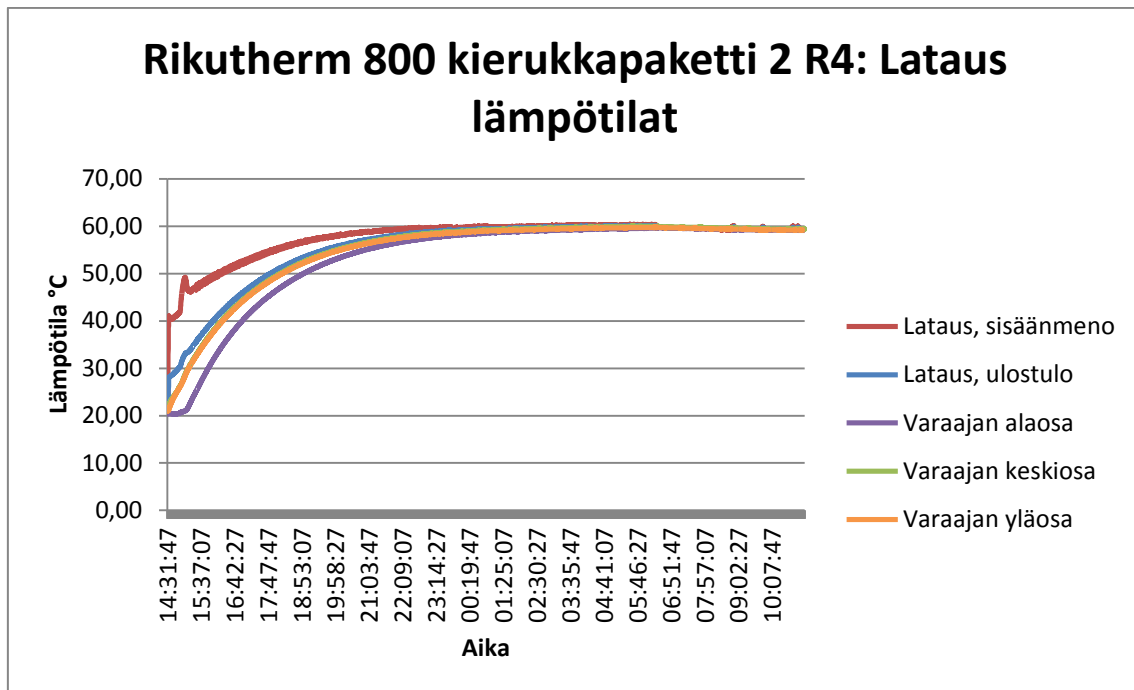
$$\eta_{RT800K2,R3} = 95\%.$$

6.5.4 Ryhmä 4

Ryhmän 4 testi aloitettiin vakauttamalla varaajan lämpötila 20 °C:n lämpötilaan juoksuttamalla kylmää vettä purkulaitteiston lämmönvaihtimen LV1:n läpi, jolloin käyttövesikierukan sisällä kiertävä vesi jäähdytti varaajan. Kuvaajasta 32 käy ilmi, että varaajaan jäi hieman ylimääräistä lämpöä lämpötilojen ollessa varaajan sisällä alaosassa 20,40 °C, keskiosassa 21,09 °C ja yläosassa 21,00 °C.

Varaajaa varattiin epäsuoralla kytkennällä käyttäen varaajan aurinkokierukkaa, joka on sijoitettu varaajan alaosaan. Varaajan varaaminen aloitettiin kello 14.32 ja varaaminen päättyi seuraavana päivänä kello 11.12. Varaaminen suoritettiin vakiovirtaamalla, jonka keskiarvo oli 0,20 litraa sekunnissa. Varaamisen

lopussa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 59,12 °C, keskiosassa 59,40 °C sekä yläosassa 59,17 °C. Yhteensä varaajaan varattiin energiaa 37,33 kWh. Mahdollinen ylimääräinen energia selittyy lämmön johtumisena varaajan seinien, hatun ja varaamisessa käytetyn epäsuoran lataustavan häviöinä, sillä liitäntäputket latauslaitteistoon olivat eristämättömät. Varaajan sisälämpötila nousi haluttuun 60 °C lämpötilaan paljon suoraa lataustapaa paremmin. Latauksen lämpötiläkäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 32.

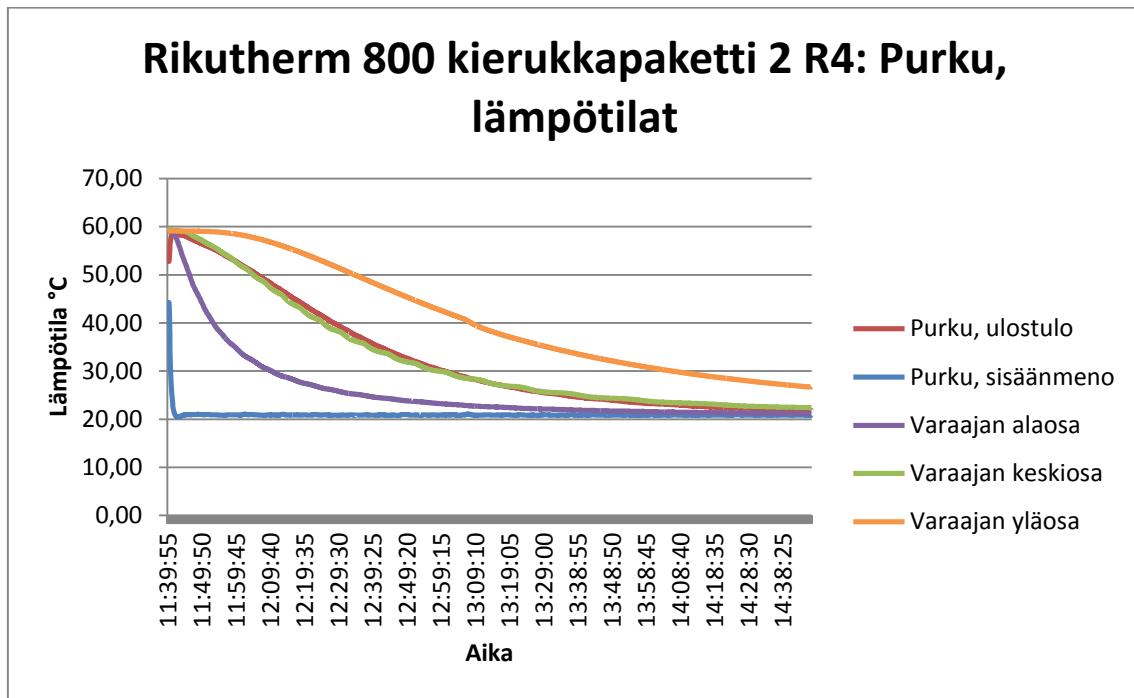


KUVAAJA 32. Rikutherm 800 K2 R4: Lataus lämpötilat.

Purkamiseen käytettiin ryhmän 4 testissä varaajan käyttövesikierukkaa. Testi aloitettiin kello 11.40 ja testi päättyi kello 14.46. Varaajan sisälämpötilat purkutestin alussa olivat varaajan alaosassa 59,03 °C, keskiosassa 59,33 °C ja yläosassa 59,10 °C. Purkamisessa käytettiin vakiovirtaamaa, jonka keskiarvona oli 0,23 litraa sekunnissa. Yli 55-celsiusasteista käyttövettä saatiin purkuvaiheen aikana varaajasta 189 litraa. Kaikenkaikkiaan energiaa saatiin purkuvaiheen aikana varaajasta ulos 34,79 kWh. Yläosan jääminen osittain lämpimäksi testin lopussa johtuu lämpötila-anturin sijoituspaikasta suoraan kierukkapaketin hatun

alle, jossa ei ollut lainkaan lämmönsiirtopinta-alaa käyttövesikierukassa.

Lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 33.



KUVAAJA 33. Riku'therm 800 K2 R4: purku, lämpötilat

Varaajan hyötysuhde laskettiin käyttäen kaavaa 13.

$$\eta_{RT800K2,R4} = \frac{34,79 \text{ kWh}}{37,33 \text{ kWh}} * 100$$

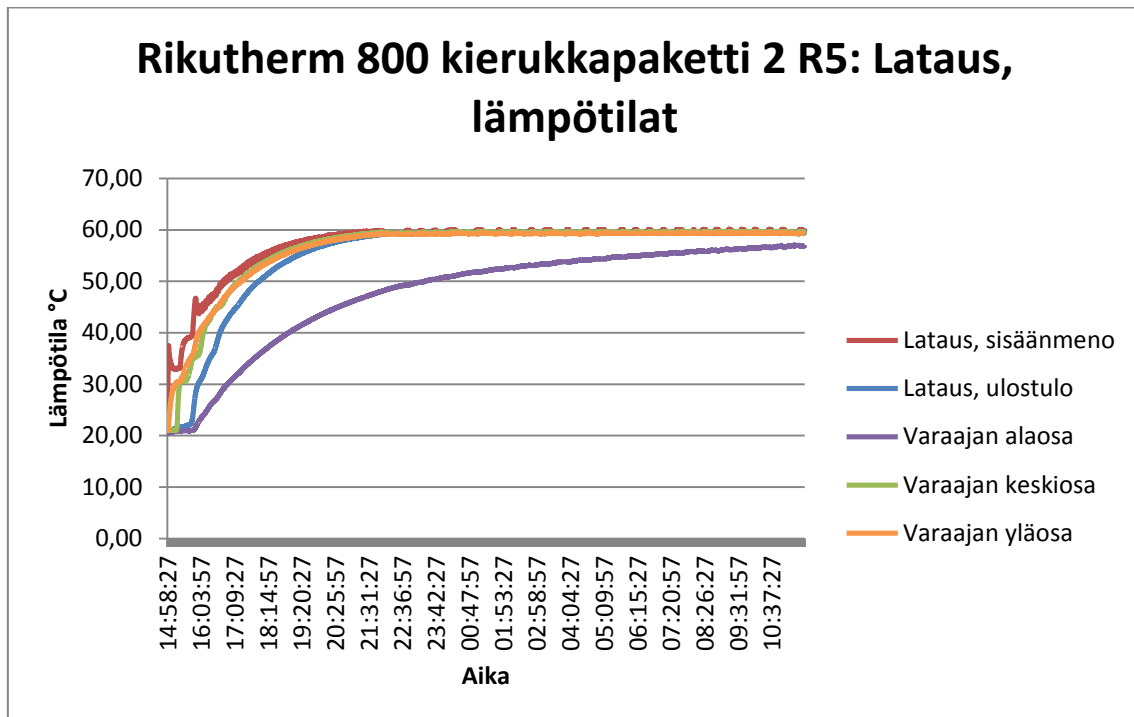
$$\eta_{RT800K2,R4} = 93\%.$$

6.5.5 Ryhmä 5

Ryhmän 5 testi aloitettiin vakauttamalla varaajan lämpötila 20 °C:n lämpötilaan juoksuttamalla kylmää vettä purkulaitteiston lämmönvaihtimen LV1:n läpi, jolloin käyttövesikierukan sisällä kiertävä vesi jäädyttii varaajan. Testin alkuvaiheessa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 20,43 °C, varaajan keskiosassa 21,06 °C sekä yläosassa 21,16 °C.

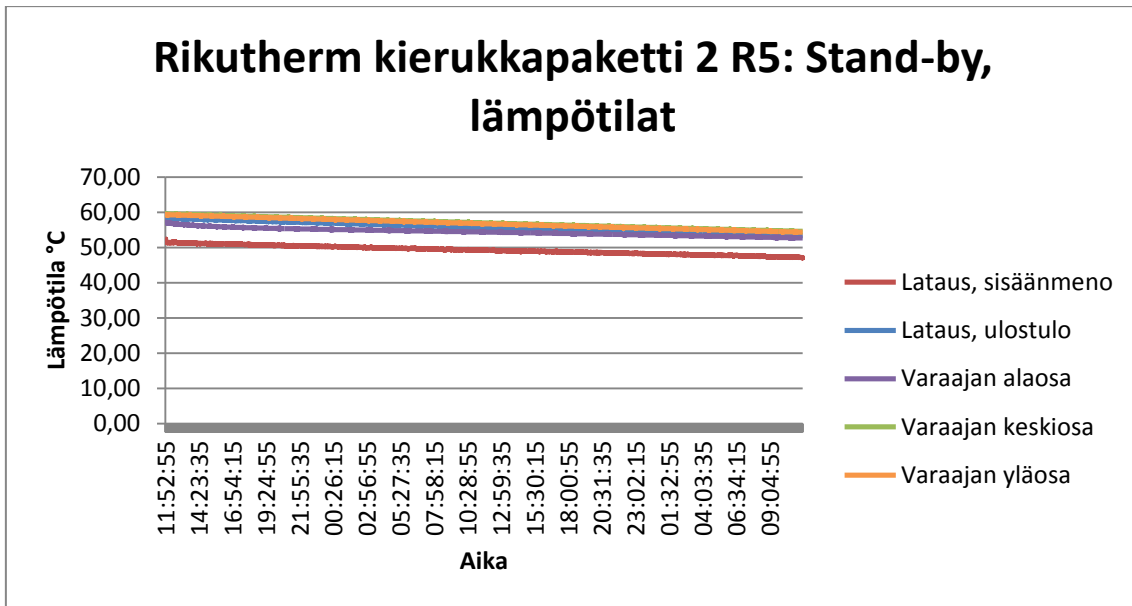
Varaajaa varattiin suoralla kytkennällä käyttäen varaajan pidempää kytkentää, joka ulottui varaajan alaosaan asti. Varaajan varaaminen aloitettiin kello 14.58

ja varaaminen päättyi seuraavana päivänä kello 11.42. Varaaminen suoritettiin vakiovirtaamalla, jonka keskiarvona oli 0,21 litraa sekunnissa. Varaamisen lopussa varaajan sisälämpötilat olivat varaajan alaosassa 56,97 °C, keskiosassa 59,67 °C sekä yläosassa 59,36 °C. Yhteensä varaajaan varattiin energiaa 36,97 kWh. Latauksen lämpötilakäyrä ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 34.



KUVAAJA 34. Riku'therm 800 K2 R5: lataus, lämpötilat

Kun varaaja oli saatu varattua, pumput sammutettiin ja ylimääräiset liitännät suljettiin, jotta veden kierto purku- ja latauslaitteistoissa estyisi. Molemmissa laitteistoista jätettiin kuitenkin yksi venttiili auki, jotta paisunta-astiat kykenisivät toimimaan testin ajan. Varaaja jätettiin 48 tunniksi stand-by -tilaan, jonka aikana varaajan sisälämpötilat tallennettiin viidestä kohdasta: varaajan alaosasta, varaajan keskikohdasta, varaajan yläosasta sekä latauksen sisäänmeno- ja ulostuloputkista. Tieto tallennettiin loggeriin 10 sekunnin välein. Kuvaajassa 35 on esitetty varaajan sisälämpötilojen kehitys 48 tunnin stand-by tilan aikana.



KUVAAJA 35. Riku'therm 800 K2 R5: stand-by, lämpötilat

Kuvaajassa 35 on huomattavaa lämpötilan hidaskasvua varaajan sisällä. 48 tunnin jälkeen varaajan alaosan lämpötilaksi mitattiin 52,72 °C, keskiosan 54,60 °C sekä yläosan lämpötilaksi 54,36 °C. Ympäröivän huoneilman lämpötila oli testin ajan 21°C. Latauksen sisäänmenon lämpötilan nopeampi laskeminen johtuu putken sijainnista hatun alla: se on hatun alla ylimmäisenä ja täten sen ympärillä on vähiten eristystä. Latauksen ulostuloputki on latauksen sisäänmenoputken alapuolella ja suoraan varaajan yläpuolella, jolloin varaajan yläosan kautta poistuva lämpö piti veden putken sisällä lähes varaajan lämpöisenä. Latauksen ulostulon lämpötilaksi mitattiin lopputilanteessa 53,38 °C ja sisäänmenon 47,14 °C.

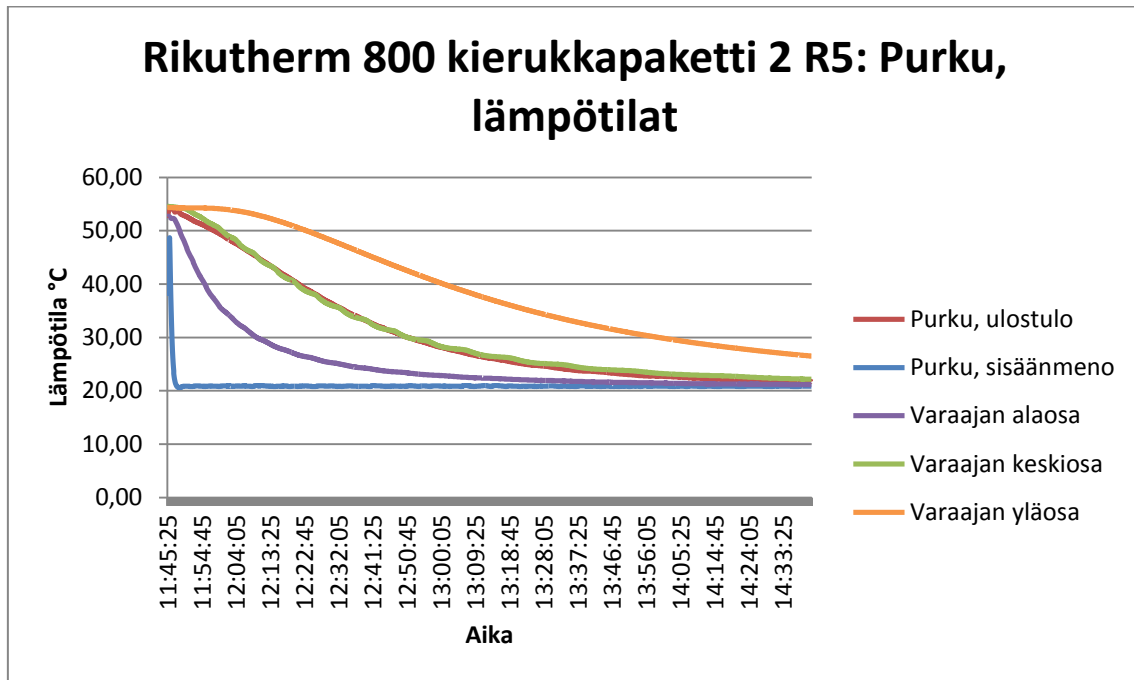
Käyttämällä kaavaa 10 laskettiin varaajan sisällä olevan energian määrä käyttäen varaajan sisälämpötilana alaosan, keskiosan ja yläosan keskiarvoa 53,89°C.

$$E_{R5: RT800K2, stand-by} = \frac{0,8m^3 * 4,18 \frac{kJ}{kg * ^\circ C} * 990 \frac{kg}{m^3} * (53,89^\circ C - 20^\circ C)}{3600 \frac{s}{h}}$$

$$E_{R5: RT800K2, stand-by} = 31,16 kWh$$

Tähän energiamäärään tulee kuitenkin suhtautua varauksella, koska lämpötilojen keskiarvosta ei voi päätellä veden lämpötilamäärän jakautumista varaajan sisällä. Tulos on korkeintaan suuntaa antava.

Stand-by -tilan jälkeen varaaja purettiin käyttäen epäsuoraa kytkentää. Purkulaitteisto kytkettiin varaajan käyttövesikierukkaan. Kuvaajassa 36 on esitetty lämpötilakehitys purkutilanteen aikana varaajassa.



KUVAAJA 36. Riku'therm 800 K2 R5: purku, lämpötilat

Huomattavaa testissä on varaajan melko alhainen lämpötila jo testin alkaessa. Yli 55-celsiusasteista käyttövettä ei varaajasta kyetty saamaan ollenkaan. Mutta varaajan korkeimman sisälämpötilan ollessa testin alussa 54,58 °C, kyettiin käyttövesi lämmittämään varaajassa 54,42 °C:n lämpötilaan, mikä osoittaa varaajassa käytettävän kierukan erinomaisen kyvyn siirtää energiaa. Purkuvaihe tapahtui vakiovirtaamalla, jonka keskiarvo oli testin aikana 0,25 litraa sekunnissa. Yhteensä energiaa saatiin varaajasta ulos 48 tunnin stand-by tilan jälkeen 29,38 kWh. Yläosan hidas jäähtyminen johtuu anturin sijainnista suoraan kierukkapaketin yläosassa, jossa kierukoiden lämmönsiirtopinta-alan puuttuminen aiheutti lämmön säilymistä varaajassa.

Varaajan hyötysuhde laskettiin käyttäen kaavaa 13.

$$\eta_{RT800K2,R5} = \frac{29,38 \text{ kWh}}{36,97 \text{ kWh}} * 100$$

$$\eta_{RT800K2,R5} = 79\%.$$

6.6 Tulosten analysointi

Kaikkien varaajien ja kierukkapakettien osalta voidaan nostaa esiin testit 1, 3 ja 5. Kaikissa näissä testeissä käytettiin suoraa liitäntää kattilaliitäntä 2:n kautta, ja kaikissa testeissä oli huomattavaa varaajan alaosan hidas lämpeäminen muuhun varaajaan verrattuna; 800 litran varaajan tapauksessa jopa 18 tunnin lataus ei riittänyt nostamaan varaajan alaosa täysin samalle tasolle muun varaajan kanssa. Tämä johtuu varaajissa käytettävästä teknisestä ratkaisusta sulkea varaajan alaosaan yltävä putkiliitäntä ja tehdä siihen reikiä, joiden kautta vesi pääsee kulkemaan. Mikäli liitäntää käytetään esimerkiksi talon lattialämmitysjärjestelmässä, toimii liitäntä toisinpäin, eli kylmä vesi purkautuu alaputkesta hallitusti kohti pohjaa ja lämmin vesi imetään järjestelmään varaajan yläosasta. Lataamisessa käytettiin liitäntää toisinpäin, eli kylmä vesi pumpattiin varaajan alaosasta sähkökattilaan, ja sieltä vesi palautui varaajaan yläosaan. Tämä putken reiittäminen aiheutti huonon vedenkierron varaajan sisällä käytettäessä liitäntää varaajan lataamiseen.

Testeissä 2 ja 4 on huomattavaa aurinkokierukan parempi kyky siirtää lämpöä myös varaajan alaosaan. Kaikissa testeissä, joissa käytettiin aurinkokierukkaa varaajan lataamiseen, varaajan alaosa lämpeni suoraa liitäntätapaa nopeammin, mikä vei aikaa suurimmillaankin vain 12 tuntia, jolloin koko varaaja oli lämmennyt 60 °C:n lämpötilaan. Aurinkokennon teho oli kuitenkin suoraa liitäntätapaa pienempi. Tämä käy ilmi tarkasteltaessa palaavan veden lämpötilaa, mistä käy ilmi, että aurinkokierukka ei kyennyt siirtämään kaikkea lämpöä varaajaan, vaan sähkökattilaan palaava vesi oli vielä osittain lämmintä. 300 litran varaajassa aurinkokierukalle mitattiin 10 kW:n enimmäisteho. 800 litran varaajassa kierukkapaketti 1:lle suurin mitattu teho oli aurinkokierukalle 13,2 kW. Kierukkapaketti 2:n aurinkokierukalle mitattiin 14,9 kW:n teho.

Käyttövesikierukoiden tehokkuus käy hyvin ilmi R5:n testeissä. Vaikka varaajan sisälämpötila ei ollut minkään 48 tunnin stand-by tilan jälkeen yli 55 °C, kykenivät kierukat silti lämmittämään veden lähelle varaajan sisällä ollutta suurinta lämpötilaa vain muutaman desimaalin erottaessa lämpötilat. Yli 55-celsiusasteisen käyttöveden määrässä Riku'therm 300:n tulokset olivat hieman kyseenalaiset ryhmän 3 testissä. 42 litraa lämmintä käyttövettä testin 3 aikana oli tuloksena hyvä, mutta koska menovettä ei onnistuttu vakauttamaan 20 °C:n lämpötilaan tarpeeksi nopeasti, ei tulos ole vertailukelpoinen. Ryhmän 4 tulokseksi saatiin 35,9 litraa lämmintä käyttövettä, mikä on vertailukelpoinen. Riku'therm 800:n kahden kierukkapaketin tulokset olivat hieman ristiriitaisia. Kierukkapaketti 1:n tulokset olivat keskenään yhdensuuntaiset: testistä 3 saatiin 220 litraa lämmintä käyttövettä, testistä 4 229 litraa lämmintä käyttövettä. Kierukkapaketti 2:n vastaavat tulokset olivat testissä 3 195 litraa lämmintä käyttövettä ja testissä 4 190 litraa lämmintä käyttövettä. Ennen testien suorittamista uskottiin kierukkapaketti 2:n onnistuvan tässä testissä paremmin, koska paketin putket olivat yhtä kokoa isommat ja tämän vuoksi lämmönsiirtopinta-ala käyttövesikierukoissa suurempi. Pienempi lämpimän käyttöveden määrä voi johtua käytetystä suuremmasta virtaamasta kierukkapaketti 2:n testeissä.

Energiatesteissä molemmat 800 litran varaajan kierukkapaketit vaikuttavat onnistuneilta. Molempien kierukoiden hyötysuhteet olivat testeissä 1, 2, 3 ja 4 pääsääntöisesti yli 90 % pois lukien kierukkapaketti 1:n testi numero 4, jonka suorittamisessa on tapahtunut mittausvirhe ladatun energian osalta. Eroa näillä kahdella paketilla oli muutaman prosentin verran kierukkapaketti 2:n hyväksi. Riku'therm 300:n tulokset olivat onnistuneita hyötysuhteen ollessa 90 %:n molemmin puolin. Taulukossa 12 on esitetty yhteenveto energiatestien tuloksista.

TAULUKKO 12. Yhteenveto energiatestien tuloksista

	Ladattu energia	Purettu energia	Hyötysuhde	Yli 55°C käyttövesi
	kWh	kWh	%	l
Riku'therm 300				
Ryhmä 1	15,82	13,59	86	-
Ryhmä 2	15,48	13,52	87	-
Ryhmä 3	14,85	13,45	91	42
Ryhmä 4	15,16	14,11	93	35,9
Ryhmä 5	15,11	11,27	75	0
Riku'therm 800 K1				
Ryhmä 1	37,40	34,75	93	-
Ryhmä 2	35,72	34,02	95	-
Ryhmä 3	37,38	34,43	92	220
Ryhmä 4	44,35	33,45	75	229
Ryhmä 5	36,46	29,92	82	0
Riku'therm 800 K2				
Ryhmä 1	37,39	34,75	93	-
Ryhmä 2	37,02	35,63	96	-
Ryhmä 3	37,29	35,43	95	195
Ryhmä 4	37,33	34,79	93	190
Ryhmä 5	36,97	29,38	79	0

7 KÄYTTÖVESIKIERUKOIDEN k_{ls} -ARVO

Kierukkapakettien käyttövesikierukoille laskettiin k_{ls} -arvo käyttäen hyväksi luvun 7 energiatesteistä saatuja tuloksia. k_{ls} -arvoa käytetään mitoittaessa käyttövesikierukoita varaajiin. Laskennassa käytettiin vain testiryhmän 3 tuloksia. 800 litran varaajan kierukkapaketti 2:lle ei ollut tiedossa käyttövesikierukan pinta-alaa, minkä vuoksi kierukkapaketti 2:n käyttövesikierukan k_{ls} -arvo jätettiin laskematta.

k_{ls} -arvo laskettiin käyttövesikierukoille kahdella tavalla. Ensiksi laskettiin teoreettinen lämmönsiirtymisluku $k_{ls,teoreettinen}$. Tämä ei ota huomioon häviöitä, vaan laskee optimaalisen lämmönsiirtotehon tietyillä lämpötiloilla ja virtaamalla.

Laskuissa käytettiin varaajien sisälämpötilalle painotettua keskiarvoa. Keskiarvoa painotettiin varaajan yläosalle 47%:a, keskiosalle 50%:a ja alaosalle 3%:a. Alaosan matala painotus johtuu anturin sijainnista varaajan sisällä. Anturi oli sijoitettu varaajan alaosaan, joka veden kerrostumisen vuoksi kylmeni ensimmäiseksi ja vaikutti keskilämpötilaan ennenaikaisesti.

7.1 Teoreettinen lämmönsiirtymisluku

Tässä luvussa käydään läpi varaajien käyttövesikierukoiden teoreettista lämmönsiirtokykyä.

7.1.1 Teoreettisen lämmönsiirtymisluvun laskeminen

Teoreettinen lämmönsiirtymisluku lasketaan kaavalla 15 :

$$k_{ls,teoreettinen} = \frac{U_{teoreettinen}}{\pi \cdot d_u} \quad \text{KAAVA 15}$$

missä,

$$k_{ls,teoreettinen} = \text{kierukan teoreettinen lämmönsiirtymisluku} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

$$U_{teoreettinen} = \text{kierukan teoreettinen lämmönjohtuvuus} \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$$

d_u = käytettävän putken ulkohalkaisija [m].

Kierukan teoreettinen lämmönjohtavuus $U_{teoreettinen}$ lasketaan käyttäen kaavaa 16:

$$U_{teoreettinen} = \frac{\pi}{\left(\frac{1}{\alpha_s d_s} + \frac{1}{2 \lambda_{putki}} \ln\left(\frac{d_u}{d_s}\right) + \frac{1}{\alpha_u d_u}\right)} \quad \text{KAAVA 16}$$

missä,

$$\alpha_s = \text{putken sisällä virtaavan fluidin lämmönsiirtokerroin} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

d_s = käytettävän putken sisähalkaisija [m]

$$\lambda_{putki} = \text{käytettävän putkimateriaalin lämmönjohtavuus} \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$$

\ln = luonnollinen logaritmi

$$\alpha_u = \text{putken ulkopuolisen aineen lämmönsiirtokerroin} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right].$$

Putken sisällä virtaavan veden lämmönsiirtokerroin α_s lasketaan kaavalla 17:

$$\alpha_s = \frac{\lambda_{vesi} \cdot Nu_{sisä}}{d_s} \quad \text{KAAVA 17}$$

missä,

$$\lambda_{vesi} = \text{putkessa virtaavan veden lämmönjohtavuus} \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$$

$Nu_{sisä}$ = Nusseltin luku [-].

Nusseltin luku $Nu_{sisä}$ on dimensioton luku. Nusseltin luku lasketaan turbulenttiselle putkivirtaukselle kaavalla 18:

$$Nu_{sisä} = 0,037 * (Re^{0,75} - 180) * Pr^{0,42} \quad \text{KAAVA 18}$$

missä,

Re = Reynoldsin luku [-]

Pr = Prandtlin luku [-].

Reynoldsin luku on toinen dimensioton luku. Reynoldsin luku lasketaan putkivirtaukselle kaavalla 19:

$$Re = \frac{v_{vesi} * d_s}{\nu_{vesi,kin.}} \quad \text{KAAVA 19}$$

missä,

v_{vesi} = veden virtausnopeus putkessa [$\frac{m}{s}$]

$\nu_{vesi,kin.}$ = veden kinemaattinen viskositeetti [$\frac{m^2}{s}$].

Prandtin luku Pr on kolmas dimensioton luku. Prandtin luku lasketaan kaavalla 20:

$$Pr = \frac{\rho * C_p * \nu_{vesi,kin.}}{\lambda_{vesi}} \quad \text{KAAVA 20}$$

Ulkopuolinen lämmönsiirtokerroin lasketaan kaavalla 21:

$$\alpha_u = \frac{\lambda_{vesi,ulko.} * Nu_{ulko}}{d_u} \quad \text{KAAVA 21}$$

missä,

$\lambda_{vesi,ulko.}$ = kierukan ulkopuolisen veden lämmönjohtavuus [$\frac{W}{m * ^\circ C}$].

Ulkopuolisen veden Nusseltin luku Nu_{ulko} lasketaan kaavalla 22:

$$Nu_{ulko} = 0,48 * \sqrt[4]{(Pr * Gr)} \quad \text{KAAVA 22}$$

missä,

Gr = Grashofin luku [-].

Grashofin luku on neljäs dimensioton luku. Grashofin luku lasketaan putken ulkopuoliselle vedelle kaavalla 23:

$$Gr = \frac{g * d_u^3 * \beta * \Delta T_{virtaus-säiliö}}{\nu_{vesi,kin.}^2} \quad \text{KAAVA 23}$$

missä,

$g = \text{painovoimakiihtyvyys } \left[\frac{m}{s^2} \right]$

$\beta = \text{veden lämpölaajenemiskerroin } \left[\frac{1}{^\circ\text{C}} \right]$

$\Delta T_{\text{virtaus-säiliö}} = \text{putkessa virtaavan veden keskilämpötilan ja varaajassa olevan veden lämpötilan välinen lämpötilaero } [^\circ\text{C}].$

7.1.2 Riku'therm 300

Teoreettinen lämmönsiirtymisluku $k_{ls,teoreettinen,RT300}$ laskettiin pienemmälle 300 litran varaajalle käyttäen luvussa 6 suoritettujen energiatestien tuloksia. Tuloksista valittiin yksi ajanhetki, jolle laskettiin lämmönsiirtymisluku $k_{ls,teoreettinen,RT800K1}$. Putken ulko- ja sisähalkaisijoissa käytettiin ulko- ja sisämittojen keskiarvoja, koska varaajissa käytettävä putkimateriaali oli taipuisaa ja tämän vuoksi ulko- ja sisämitat vaihtelivat.

Laskeminen aloitettiin laskemalla käyttöveden virtaukselle Reynoldsin luku käyttäen kaavaa 19.

$$Re_{RT300} = \frac{0,58 \frac{m}{s} * 0,0216m}{6,04 * 10^{-7} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re_{RT300} = 20\,797.$$

Prandtin luku laskettiin käyttäen kaavaa 20.

$$Pr_{RT300} = \frac{990 \frac{kg}{m^3} * 4180 \frac{J}{kg^\circ\text{C}} * 6,04 * 10^{-7} \frac{m^2}{s}}{0,638 \frac{W}{m^\circ\text{C}}}$$

$$Pr_{RT800K1} = 3,9.$$

Nusseltin luku $Nu_{sisä}$ laskettiin kaavan 18 mukaisesti.

$$Nu_{sisä,RT300} = 0,037 * (20\,797^{0,75} - 180) * 3,9^{0,42}$$

$$Nu_{sisä,RT300} = 102$$

Putken sisällä virtaavan veden lämmönsiirtokerroin α_s laskettiin käyttäen kaavaa 17:

$$\alpha_{s,RT300} = \frac{0,638 \frac{W}{m^{\circ}C} * 102}{0,0216m}$$

$$\alpha_{s,RT300} = 3010,8 \frac{W}{m^2^{\circ}C}.$$

Ulkopuolisen lämmönsiirtokertoimen ratkaiseminen aloitettiin laskemalla Grashofin luku Gr käyttäen kaavaa 23.

$$Gr_{RT300} = \frac{9,81 \frac{m}{s^2} * (0,0246m)^3 * (4,35 * 10^{-4} \frac{1}{^{\circ}C}) * (49,89^{\circ}C - \frac{38,72^{\circ}C + 19,94^{\circ}C}{2})}{(6,04 * 10^{-7} \frac{m^2}{s})^2}$$

$$Gr_{RT300} = 3,58 * 10^6.$$

Seuraavaksi ratkaistiin ulkopuolinen Nusseltin luku Nu_{ulko} käyttäen kaavaa 22.

$$Nu_{ulko,RT300} = 0,48 * \sqrt[4]{(3,9 * (3,58 * 10^6))}$$

$$Nu_{ulko,RT300} = 29,4.$$

Ulkopuolinen lämmönsiirtokerroin α_u laskettiin käyttäen kaavaa 21:

$$\alpha_{u,RT300} = \frac{0,638 \frac{W}{m^{\circ}C} * 29,4}{0,0246m}$$

$$\alpha_{u,RT300} = 762 \frac{W}{m^2^{\circ}C}.$$

Lämmönjohtavuus U laskettiin käyttämällä kaavaa 16.

$$U_{RT300} = \frac{\pi}{\left(\frac{1}{3010,8 \frac{W}{m^2^{\circ}C} * 0,0216m} + \frac{1}{2 * 58 \frac{W}{m^{\circ}C}} * \ln\left(\frac{0,0246m}{0,0216m}\right) + \frac{1}{762 \frac{W}{m^2^{\circ}C} * 0,0246m} \right)}$$

$$U_{RT300} = 45 \frac{W}{m^{\circ}C}.$$

Lämmönsiirtymisluku $k_{ls,teoreettinen,RT800K1}$ laskettiin käyttäen kaavaa 15.

$$k_{ls,teoreettinen,RT300} = \frac{42,8 \frac{W}{m^{\circ}C}}{\pi * 0,0246m}$$

$$k_{ls,teoreettinen,RT300} = 582 \frac{W}{m^2^{\circ}C}$$

7.1.3 Riku'therm 800

Teoreettinen lämmönsiirtymisluku $k_{ls,teoreettinen,RT800K1}$ laskettiin suuremmalle 800 litran varaajalle käyttäen luvussa 6 suoritettujen energiatestien tuloksia.

Tuloksista valittiin yksi ajanhetki, jolle laskettiin lämmönsiirtymisluku $k_{ls,teoreettinen,RT800K1}$. Putken ulko- ja sisähalkaisijoissa käytettiin ulko- ja sisämittojen keskiarvoja, koska varaajissa käytettävä putkimateriaali oli taipuisaa ja tämän vuoksi ulko- ja sisämitat vaihtelivat.

Laskeminen aloitettiin laskemalla käyttöveden virtaukselle Reynoldsin luku käyttäen kaavaa 19.

$$Re_{RT800K1} = \frac{0,50 \frac{m}{s} * 0,0216m}{6,04 * 10^{-7} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re_{RT800K1} = 17\,770,2.$$

Prandtin luku laskettiin käyttäen kaavaa 20.

$$Pr_{RT800K1} = \frac{990 \frac{kg}{m^3} * 4180 \frac{J}{kg^{\circ}C} * 6,04 * 10^{-7} \frac{m^2}{s}}{0,638 \frac{W}{m^{\circ}C}}$$

$$Pr_{RT800K1} = 3,9.$$

Nusseltin luku $Nu_{sisä}$ laskettiin kaavan 18 mukaisesti.

$$Nu_{sisä,RT800K1} = 0,037 * (17\,770,2^{0,75} - 180) * 3,9^{0,42}$$

$$Nu_{sisä,RT800K1} = 89$$

Putken sisällä virtaavan veden lämmönsiirtokerroin α_s laskettiin käyttäen kaavaa 17:

$$\alpha_{s,RT800K1} = \frac{0,638 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 89}{0,0216m}$$

$$\alpha_{s,RT800K1} = 2636,9 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} .$$

Ulkopuolisen lämmönsiirtokerroimen ratkaiseminen aloitettiin laskemalla Grashofin luku Gr käyttäen kaavaa 23.

$$Gr_{RT800K1} = \frac{9,81 \frac{m}{s^2} * (0,0246m)^3 * 4,35 * 10^{-4} \frac{1}{^\circ C} * (57,32^\circ C - \frac{55,91^\circ C - 21,39^\circ C}{2})}{(6,04 * 10^{-7} \frac{m^2}{s})^2}$$

$$Gr_{RT800K1} = 3,25 * 10^6 .$$

Seuraavaksi ratkaistiin ulkopuolinen Nusseltin luku Nu_{ulko} käyttäen kaavaa 22.

$$Nu_{ulko,RT800K1} = 0,48 * \sqrt[4]{(3,9 * 3,25 * 10^6)}$$

$$Nu_{ulko,RT800K1} = 28,7 .$$

Ulkopuolinen lämmönsiirtokerroin α_u laskettiin käyttäen kaavaa 21:

$$\alpha_{u,RT800K1} = \frac{0,638 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 28,7}{0,0246m}$$

$$\alpha_{u,RT800K1} = 743,9 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} .$$

Lämmönjohtavuus U laskettiin käyttämällä kaavaa 16.

$$U_{RT800K1} = \frac{\pi}{\left(\frac{1}{2636,9 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 0,0216m} + \frac{1}{2 * 58 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}} * \ln \left(\frac{0,0246m}{0,0216m} \right) + \frac{1}{743,9 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 0,0246m} \right)}$$

$$U_{RT800K1} = 42,8 \frac{W}{m^{\circ}C}.$$

Lämmönsiirtymisluku $k_{ls,teoreettinen,RT800K1}$ laskettiin käyttäen kaavaa 15.

$$k_{ls,teoreettinen,RT800K1} = \frac{42,8 \frac{W}{m^{\circ}C}}{\pi * 0,0246m}$$

$$k_{ls,teoreettinen,RT800K1} = 554 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}.$$

7.2 Mitattu lämmönsiirtymisluku

Tässä luvussa lasketaan käyttövesikierukan k_{ls} -arvo käyttäen käyttövesikierukoiden mitoitusohjeita. Käyttövesikierukalle laskettiin k_{ls} -arvo koko energiatestin ajalle.

7.2.1 Lämmönsiirron teoria

Laskettaessa käyttövesikierukoiden pinta-aloja varaajiin, käytetään kaavaa 24 määriteltäessä tarvittava kierukan pinta-ala (7, s. 212).

$$A = \frac{\varphi}{k_{ls} * \Delta T_{ln}} \quad \text{KAAVA 24}$$

missä,

A = kierukan pinta-ala [m^2]

φ = nestevirran lämpöteho [W]

ΔT_{ln} = Säiliöveden ja kierukassa virtaavan veden keskimääräinen logaritminen lämpötilaero [$^{\circ}C$].

Kaavasta tahdotaan selvittää k_{ls} , jolloin käytetään kaavaa 25.

$$k_{ls} = \frac{\varphi}{A * \Delta T_{ln}}. \quad \text{KAAVA 25}$$

Logaritminen lämpötilaero ΔT_{ln} lasketaan kaavalla 26.

$$\Delta T_{ln} = \frac{(T_{varaaja,keskim.} - T_{purku,sisäänmeno}) - (T_{varaaja,keskim.} - T_{purku,ulostulo})}{\ln\left(\frac{T_{purku,sisäänmeno} - T_{purku,ulostulo}}{T_{purku,ulostulo} - T_{varaaja,keskim.}}\right)} \quad \text{KAAVA 26}$$

missä,

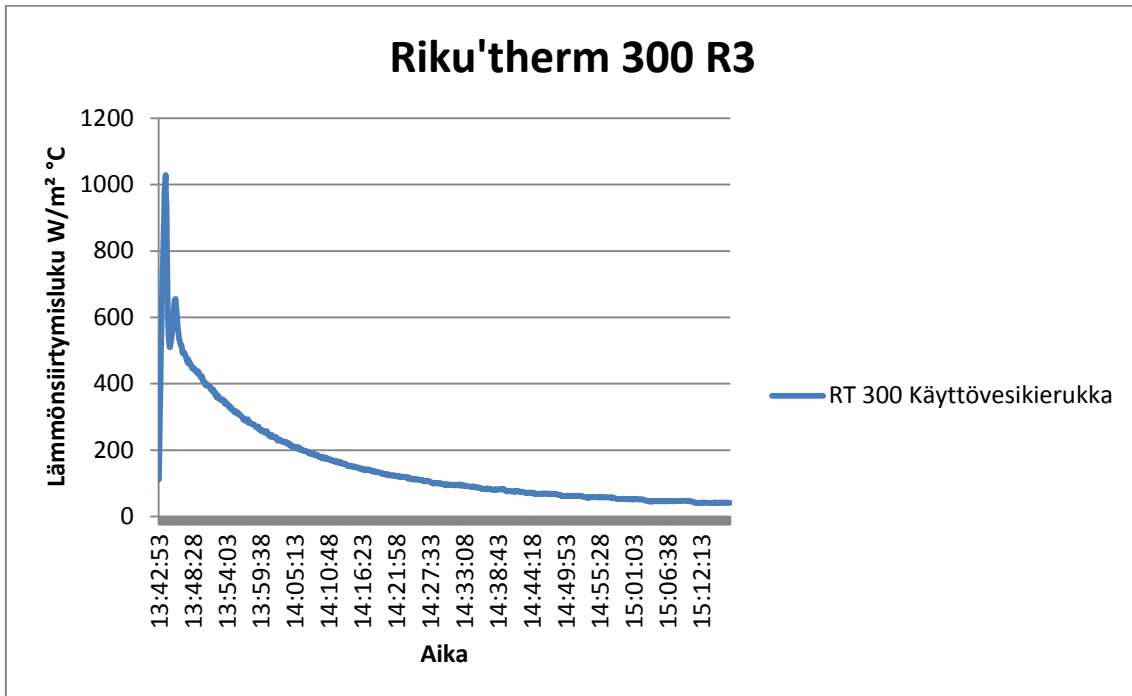
$T_{varaaja,keskim.}$ = Varaajan sisällön keskimääräinen lämpötila [°C].

Teho φ voidaan ilmoittaa käyttämällä testeissä mitattua virtaamaa ja tulo- ja menoveden lämpötiloja $T_{purku,ulostulo}$ ja $T_{purku,sisäänmeno}$. Tällöin käytetään kaavaa 27.

$$k_{ls} = \frac{q_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{purku,ulostulo} - T_{purku,sisäänmeno})}{A \cdot \Delta T_{ln}} \quad \text{KAAVA 27}$$

7.2.2 Riku'therm 300

Pienemmän Riku'therm 300 varaajan k_{Is} -arvo on esitetty kuvaajassa N. Testin alussa sisäänmenevän veden lämpötila $T_{purku,sisäänmeno}$ ei ole täysin vakiintunut, mikä aiheutti kuvaajaan suuren vaihtelun. Lämmönsiirtymisluvun lasku testin ajan johtuu lämpötilaeron pienenemisestä varaajan sisälämpötilan ja käyttövesikierukassa virtaavan veden välillä. Teoreettinen laskettu lämmönsiirtymisluku $k_{Is,teoreettinen,RT300} = 582 \frac{W}{m^2\text{°C}}$ laskettiin kello 14.01 tallenetuista tiedoista. Mitattu lämmönsiirtymisluku $k_{Is,RT300}$ oli samalla hetkellä $241 \frac{W}{m^2\text{°C}}$.

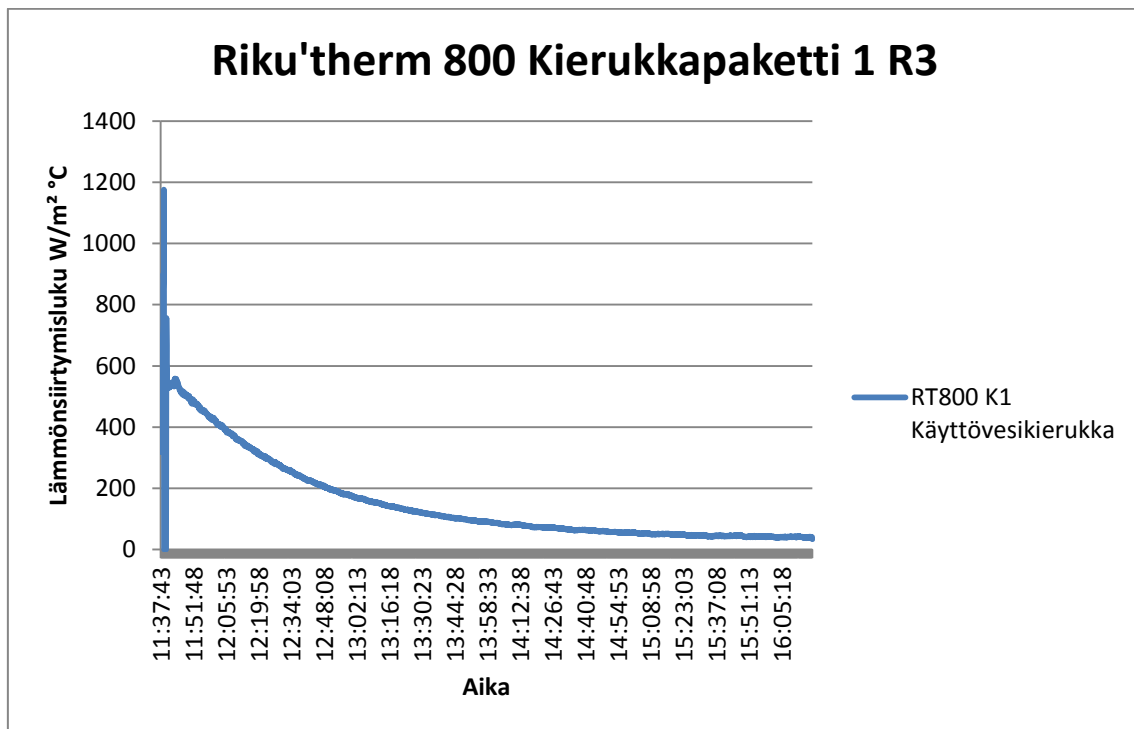


KUVAAJA 37. Riku'therm 300:n mitattu k_{Is} -arvo

7.2.3 Riku'therm 800

Suuremman Riku'therm 800-varaajan k_{Is} -arvo on esitetty kuvaajassa N. Testin alussa sisäänmenevän veden lämpötila $T_{purku,sisäänmeno}$ ei ole täysin vakiintunut, mikä aiheutti kuvaajaan suuren heittelyn. Lämmönsiirtymisluvun lasku testin ajan johtuu lämpötilaeron pienenemisestä varaajan sisälämpötilan ja käyttövesikierukassa virtaavan veden välillä. Teoreettinen laskettu lämmönsiirtymisluku $k_{Is,teoreettinen,RT800K1} = 554 \frac{W}{m^2\text{°C}}$ laskettiin kello 11.55

tallennetuista tiedoista. Mitattu lämmönsiirtymisluku $k_{ls,RT800K1}$ oli samalla hetkellä $456 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$.



KUVAAJA 38. Riku'therm 800:n mitattu k_{ls} -arvo.

7.3 Tulosten analysointi

Luvussaa esitetyt tulokset ovat korkeintaan suuntaa antavia. Suurimpina tekijöinä tähän ovat laskentatavan epätarkkuus ja tallennetun tiedon vähäinen määrä. Varaajien sisälämpötila olisi pitänyt tallentaa useammasta kohdasta, jotta oltaisiin kyetty saamaan varaajan keskilämpötilalle tarpeeksi tarkka keskiarvo. Laskentatavan epätarkkuudelle suurin syy on varaajissa käytetty taipuisa teräsputki. Kaavoissa oletetaan putkien olevan tasaisia. Tätä yritettiin kompensoida ottamalla putkien halkaisijoista keskiarvo.

Riku'therm 300 tuloksissa oli suuria heittoja teoreettisen ja mitatun k_{ls} -arvojen välillä. Syyksi epäiltiin liian vähäistä alaosan painotusta varaajan keskilämpötilan määrittämisessä, sillä pienemmän varaajan alaosa vie prosentuaalisesti suuremman osuuden koko varaajan tilavuudesta. Teoreettinen k_{ls} -arvo oli kuitenkin mitattua k_{ls} -arvoa suurempi, mikä osoitti

laskentatavan olleen oikea. Mitatun k_{ls} -arvon ollessa $240 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ teoreettinen k_{ls} -arvo oli $582 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$.

Riku'therm 800 tuloksissa päästiin melko lähelle teoreettista k_{ls} -arvoa. Syynä tähän on varaajan alaosan parempi painotus keskilämpötilan määrittämisessä.

Teoreettinen k_{ls} -arvo oli $554 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ mitatun k_{ls} -arvon ollessa $456 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä oli tarkoitus tutkia Riku'therm-sarjan muovivaraajien energiatehokkuutta, mahdollisia lämpövuotoja lämpökuvauksen avulla sekä suorittaa kierukkapaketeille virtaus-painehäviökokeet. Lisäksi tutkittiin käytettävien kierukkapakettien käyttövesikierukoiden lämmönsiirtokykyä laskennallisesti. Koska EN-standardi, jossa varaajien energiatehokkuuksille pyrittiin määrittämään raja-arvot, viivästyi vuoteen 2015, ei tässä opinnäytetyössä ole luokiteltu varaajien energiatehokkuuksia.

Energiakokeissa päästiin 800 litran varaajien osalta lähes kaikissa testeissä yli 90 %:n energiatehokkuuteen. Parhaimmillaan käytetystä energiasta palautettiin käyttöön jopa 96 %. 800 litran varaajan kierukkapakettien välillä oli eroa vain muutama prosenttiyksikkö kierukkapaketti 2:n hyväksi. Parempi hyötysuhde kierukkapaketti 2:lla johtui käytetystä suuremmasta putkikoosta, joka lisäsi lämmönsiirtopinta-alaa varaajan sisällä.

300 litran varaajan energiatestit eivät päässeet yhtä hyviin hyötysuhteisiin. Hyötysuhteet olivat noin 90 %. Pienempi hyötysuhde saattaa osaltaan selittyä pienemmästä ladatusta energiasta. Hukkaenergian absoluuttinen määrä pysyi samana 800 litran ja 300 litran varaajien kesken, mikä aiheutti suuremman prosentuaalisen häviön 300 litran varaajan kohdalla.

Mitattaessa yli 55 °C:n käyttöveden määrää 800 litran varaajan kierukkapakettien asetelma päinvastaiseksi. Kierukkapaketti 1 lämmitti ryhmän 3 testissä yli 55-celsiusasteista käyttövettä 220 litraa, ryhmän 4 testissä 219 litraa. Kierukkapaketti 2:lle kirjattiin samoista testeistä tulokset 195 litraa ryhmälle 3 ja ryhmälle 4 189 litraa. Pienempi tulos saattaa johtua testien aikana käytetystä suuremmasta virtaamasta käyttövesikierukan läpi. Tämä vaatisi lisää testausta.

300 litran varaaja kykeni lämmittämään vettä ryhmän 3 testissä 42 litraa, mutta tulos ei ole vertailukelpoinen. Ryhmän 4 testissä varaajasta saatiin ulos 35,9 litraa lämmintä käyttövettä.

Lämpökuvauksessa ei löydetty rungosta lämpövuotoja. Vertailtaessa kilpailevaan saneerausvaraajaan huomattiin, että liitäntöjen puuttuminen varaajan rungosta esti suurien lämpövuotojen syntymistä runkoon. Varaajan hattuosassa nähtiin pieni lämpövuoto. Lämpövuoto tapahtui lähinnä saumojen kohdalta, mutta myös hatun pinnasta säteili hieman lämpöä hukkaan. Tämä hukkalämpö voitaisiin eliminoida lisäämällä polyuretaania hatun eristysosaan.

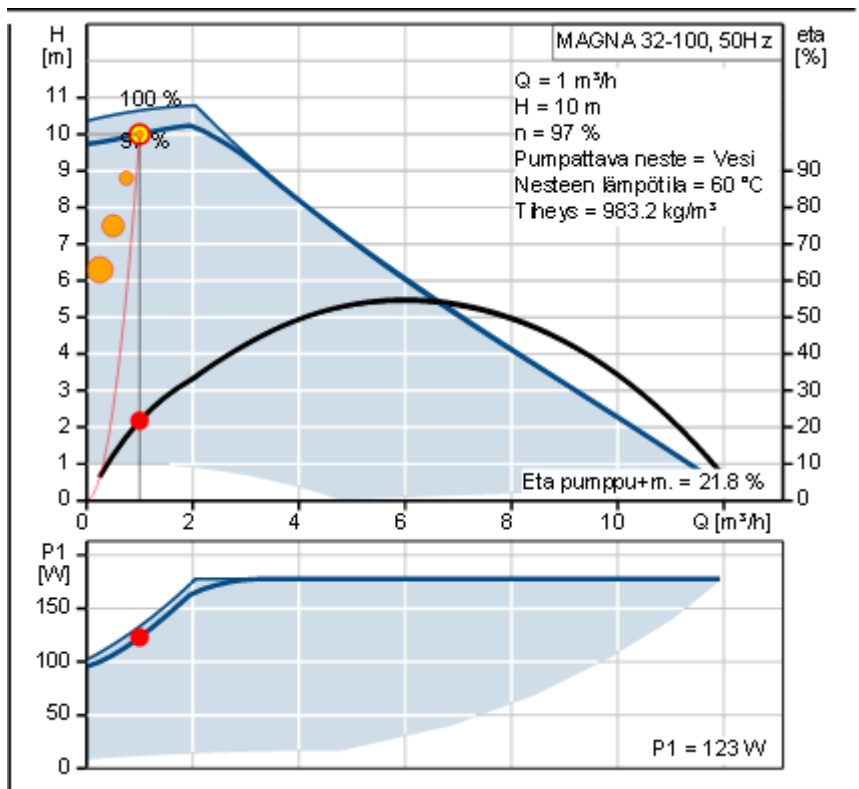
Virtaus-painehäviökokeissa mitattiin hyviä tuloksia kaikissa kierukkapaketeissa. Riku'therm 800:n kierukkapaketti 2:ssa syntyi pienempi painehäviö, minkä takia kyseistä kierukkapakettia suositeltaisiin käytettäväksi varsinkin alueilla, joissa on pieni paine käyttövesiverkoissa. 800 litran varaajan kierukkapaketti 1:ssä painehäviö kasvoi käyttövesikierukan läpi 0,3 litran sekuntivirtaamalla yli 50 kPa:n, mutta tämä arvo ei ole kuitenkaan rakennusmääräyskokoelmissa määritelty raja-arvo, vaan sitä on pidetty hyvänä lähtöarvona varaajien kierukoita mitoitettaessa.

Käyttövesikierukoiden k_{Is} -arvoihin tulee suhtautua varauksella. Vaikka teoreettinen k_{Is} -arvo oli kummankin kierukan tapauksessa suurempi, syntyi heittoa 300 litran varaajan kohdalla 59 %. Suuremman varaajan kohdalla heittoa tulosten välillä syntyi 18 %. Näitä mittaustuloksia ei suositella käytettäväksi, vaan ne ovat korkeintaan suuntaa antavia.

LÄHTEET

1. Energiavaraajat. 2013. Gebwell Oy. Saatavissa: www.gebwell.fi. Hakupäivä 22.11.2013.
2. Yleisesite. 2013. Kaukora Oy. Saatavissa: www.kaukora.fi/materiaalipankki/esitteet. Hakupäivä 22.11.2013
3. Lämmönvarauksen ytimessä. 2013. Esite. Akvaterm Oy.
4. Hybridivaraajat. 2013. Esite. Akvaterm Oy.
5. Riku'therm muovivaraajien tekninen esite. Northern Nature Energy 2013.
6. Mäkelä, Veli-Matti 2013. T630203 Virtaustekniikka 3 op. Opintojakson muistiinpanot keväällä 2013. Oulu: Oulun sedun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
7. Rakennusten vesijohdot ja viemärit. Suomen kunnallistekniikan yhdistys 1987.
8. D1 (2007). Kiinteistön vesi- ja viemärilaitteistot, määräykset ja ohjeet. D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismääräyskokoelma. Hakupäivä 13.10.2013.
9. SFS EN 12977-3. 2013. Thermal solar systems and components – Custom built systems – Part 3: Performance test methods for solar water heater stores. Brysseli: European Committee For Standardization.

LIITTEET



Liite 1. Pumpun valintakäyrä

