

Erkki Karsikas

## **TULOILMAN ESILÄMMITYS JA JÄÄHDYTYS MAAPIIRILLÄ**

# **TULOILMAN ESILÄMMITYS JA JÄÄHDYTYS MAAPIIRILLÄ**

Erkki Karsikas  
Opinnäytetyö  
Syksy 2018  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Erkki Karsikas  
Opinnäytetyön nimi: Tuloilman esilämmitys ja jäähdytys maapiirillä  
Työn ohjaaja: Mikko Niskala  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2018  
Sivumäärä: 35 + 25 liitettä

---

Opinnäytetyön tilaaja oli Oulun ammattikorkeakoulu ja työn tavoitteena oli tutkia maapiirin käyttöä tuloilman esilämmityksessä ja jäähdytyksessä. Työn kohteena oli omakotitalo Oulun seudulta, minne on asennettu 150 metrin pituinen maapiiri keskimäärin 1,5 metrin syvyyteen.

Työn alussa mitattiin ilmanvaihdon tilavuusvirta, jonka jälkeen mitattiin tuloilman lämpötilaa lämmityspatterin molemmin puolin sekä maapiiristä tulevan liuoksen meno- ja paluulämpötiloja. Lämpötilamittaukset tehtiin lämpötila-antureilla, jotka asennettiin ulkoilmakanavan keskelle sekä putken pintaan lämpöeristeen alle. Lisäksi maapiirin pumpun energiankulutusta seurattiin energiamittarilla. Mittaukset aloitettiin loppukesästä ja jatkettiin loppupalveen asti.

Maapiiri voidaan mittausten perusteella todeta toimivaksi ja energiaa säästäväksi ratkaisuksi. Kanavaan sijoitetun patterin avulla saatiin vähennettyä jälkilämmityspatterin energiankulutusta. Kesällä tuloilma viileni parhaimmillaan noin 8 °C ja talvella tuloilma lämpeni noin 14,5 °C. Mittauksien avulla huomattiin ajanjaksoja, jolloin maapiiri jäähdyttää tuloilmaa tarpeettomasti ja pohdittiin keinoja tarpeettoman jäähdytyksen estämiseksi.

---

Asiasanat: maapiiri, maalämpö, esilämmitys, ilmanvaihto, jäähdytys

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 GEOENERGIA	6
2.1 Maapiiri	7
2.2 Lämmönsiirtonesteet	9
2.3 Muita maalämmön hyödyntämiskeinoja	11
2.3.1 Porakaivo	11
2.3.2 Vesistöt	12
2.4 Oulun geoenergiapotentiaali	12
3 ILMANVAIHTO	16
3.1 Jäähdytysprosessi	17
3.2 Lämmitysprosessi	21
4 MITTAUKSET	22
4.1 Kohde	22
4.2 Mittaus	23
5 TULOKSET	25
5.1 Tehoja lämpimänä kesäpäivänä 28.7.2017	26
5.2 Tehoja kylmänä talvipäivänä 28.2.2018	28
5.3 Lämmityspatterin energiankulutus	28
5.4 Automaatio	29
6 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	34
LIITTEET	
Liite 1 Mittaustulokset	
Liite 2 Kuukausittaiset keskiarvot	

# 1 JOHDANTO

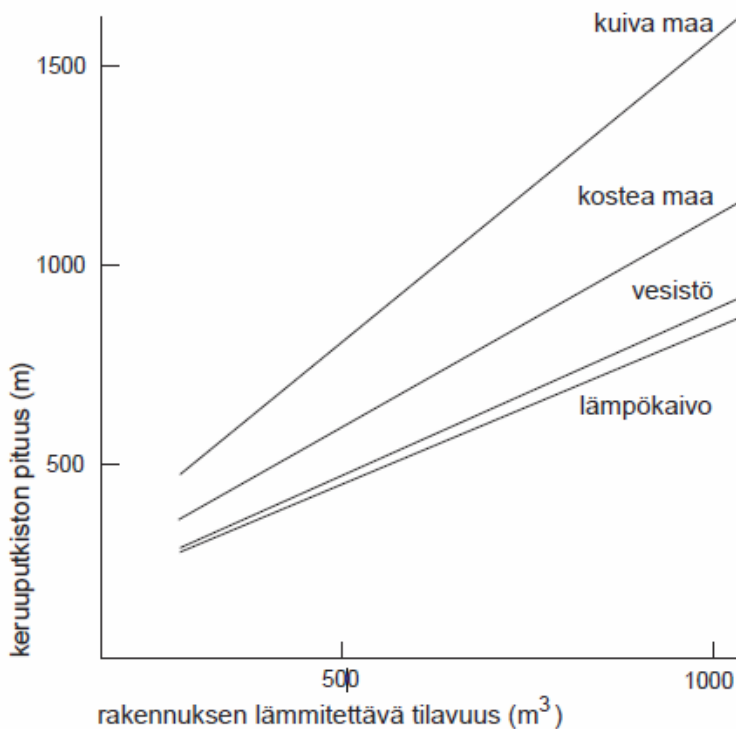
Niin sanotussa passiivisessa jäädytyksessä lämmönsiirtonestettä kierrätetään järjestelmässä ilman lämpöpumppua, jolloin käyttökustannuksena on vain kiertovesipumpun ottama sähköteho. Tuloilman passiivisella lämmityksellä ja jäädytyksellä saadaan parannettua talon energiatehokkuutta ja talviaikaan muun muassa ehkäistyä lämmöntalteenoton huurtumista. Kesäaikaan ilmaa viileämpi maalämpönereste jäädyttää tuloilmaa ja lisää asumisviihtyvyyttä.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia mittaustulosten avulla maapiirin soveltuvuutta tuloilman jäädytyksessä ja lämmityksessä. Nesteen lämpötiloja mitataan meno- ja paluupuolelta ja ilman lämpötiloja ulkoilmakanavaan liitetyn patterin molemmin puolin. Kiertovesipumppu pidetään vakiokierrosluvulla, jolloin nesteen virtaama pysyy lähes vakiona mitausjakson ajan.

Työn toimeksiantajana on Oulun ammattikorkeakoulu ja kohteena on kaksikerroksinen omakotitalo Oulusta. Kohteessa oleva 150 metriä pitkä maapiiri on tehty halkaisijaltaan 40 mm:n paksuisesta polyeteeni muoviputkesta ja lämmönsiirtonesteenä käytetään noin 50-prosenttista etyleeniglykoliliuosta. Etyleeniglykoli ei ole paras mahdollinen lämmönsiirtoneste, kun lämpötila on alhainen. Tähän kohteeseen rakentaja oli valinnut ko. lämmönsiirtonesteen hankintakustannusten perusteella. Tämä opinnäytetyö on jatkoa Riku Sänkiähon opinnäytetyölle ”Tuloilman esilämmitys maapiirillä”.

## 2 GEOENERGIA

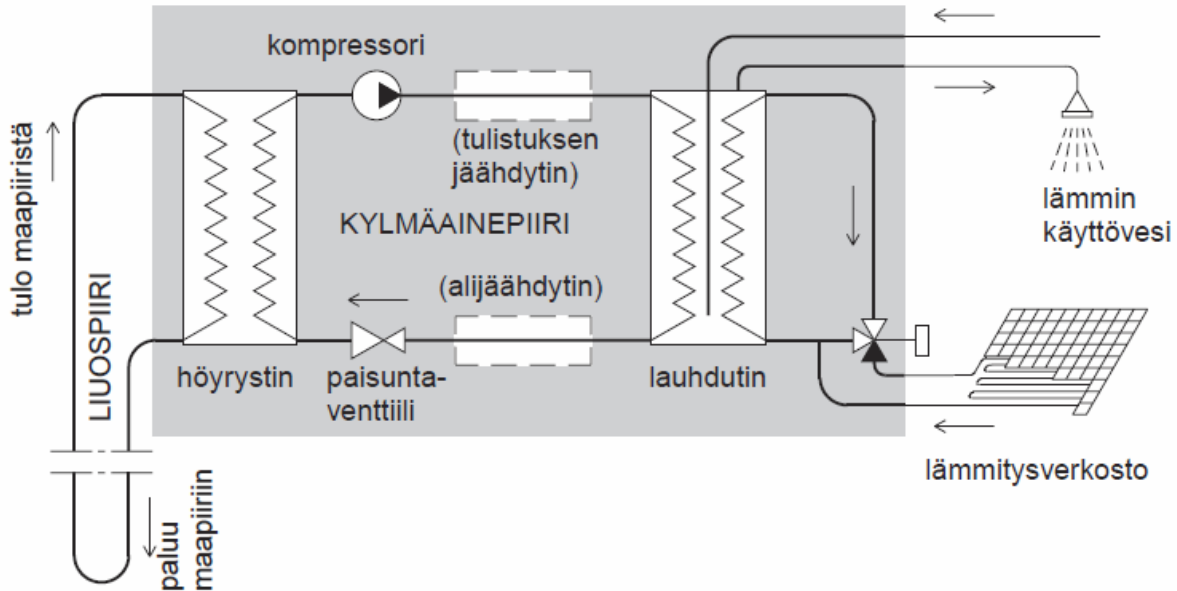
Geoenergialla tarkoitetaan uusiutuvaa maa- ja kallioperästä sekä vesistöistä saatavaa lämmitys- ja viilennysenergiaa, jota hyödynnetään maapiirillä, kallioon porattavalla energiakaivolla tai vesistöön sijoitetulla keruupiirillä. Suomessa maan keskilämpötila on suhteellisen matala, jolloin lämmitettäessä maalämmöllä on yleensä käytettävä lämpöpumpua. Kesäaikaan viileää lämmönkeruunestettä voidaan hyödyntää vapaajäähdytyksessä, jolloin lämmennyt lämmönsiirtoneste siirtää lämpöenergiaa energiakenttään lämmityskautta varten (1). Kuvassa 1 on verrattu eri lämmönkeruujärjestelmien pituuksia lämmitettävän tilavuuden suhteessa, kun käytetään lämpöpumppua lämpökertoimella 3 (2).



KUVA 1. Putkipituuksia eri lämmönkeruujärjestelmillä (2)

Lämpöpumpun toiminta perustuu kylmäainepiirissä kiertävän kylmäaineen olomuodon muutokseen (kuva 2). Lämmönkeruupiirissä lämmennyt neste muuttuu höyrystimessä kylmäaineen nesteestä höyryksi, minkä jälkeen kylmäaine siirtyy kompressoriin. Kompressori puristaa matalapaineisen höyryn korkeapaineiseksi kaasuksi, jolloin sen lämpötila nousee. Lauhduttimessa lämpö otetaan kylmäaineesta talteen rakennuksen käyttöön, ja

samalla kylmäaine muuttuu nesteeksi. Paisuntaventtiilissä lämpimän nesteen paine laskee äkisti, jolloin myös lämpötila putoaa. Tämän jälkeen kylmäaine palaa höyrystimeen ja prosessi alkaa alusta.

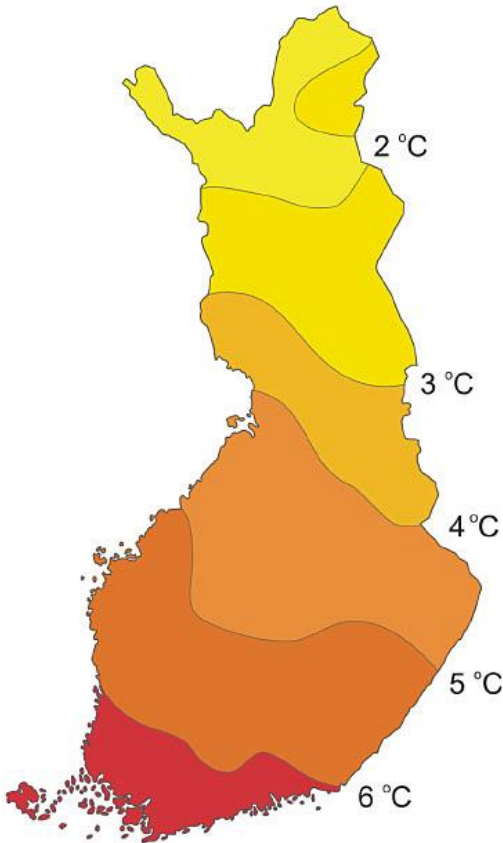


KUVA 2. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (2)

## 2.1 Maapiiri

Maapiirillä hyödynnettävä lämpöenergia on pääosin peräisin auringosta, jolloin lämpötilavaihtelut ovat suurempia kuin lämpökaivolla (kuva 3). mikä vaikuttaa muun muassa keruupiirin asennussyvyyteen. Maanpinnan lämpötila seuraa ilman lämpötilan muutoksia viiveellä kuitenkin ollen talvisin ilmaa lämpimämpi ja kesällä viileämpi.

## Maanpinnan lämpötila



KUVA 3. Maanpinnan keskilämpötiloja Suomessa (3)

Maapiirin mitoituksessa täytyy ottaa huomioon monta eri tekijää. Mitoitukseen eniten vaikuttavat tekijät ovat kohteen energiatarve ja maaperän ominaisuudet, kuten kosteus ja lämmönjohtavuus. Putkiston tehokkuuden kannalta parhaiten soveltuva maalaji on kostea savimaa sen korkean vesipitoisuuden ansiosta (2). Tilantarpeen riittäessä kannattaa putkisto mieluummin hieman ylimitoitaa kuin alimitoitaa. Alimitoitettu maapiiri johtaa lämmönlähteen hiipumiseen ja pahimmillaan sen jäätymiseen. Putkistoa painavat kivet olisi hyvä siirtää asennusvaiheessa pois, sillä maan routuessa ne voivat aiheuttaa putkiston rikkoontumisen. (4.)

Maapiirin lämmönkeräysputkena käytetään yleensä halkaisijaltaan 40 mm:n polyeteeni-putkea, joka asennetaan noin 1 m:n syvyyteen 1,5 metrin putkivälillä. Putkien asennusvälin kasvattaminen ei lisää tehonsaantoa mutta vähentäminen pienentää (5, s. 272). Ke-



ruupiirin tehokkuuden kannalta on tärkeää huomioida, että putkistossa on saatavissa turbulenttinen virtaus, koska silloin lämmönsiirto on tehokkaampaa kuin laminaarisella virtauksella. Taulukosta 1 nähdään maantieteellisen sijainnin ja maaperän laadun vaikutus maapiirin tehokkuuteen.

*TAULUKKO 1. Pintamaan hyödyntämisessä käytettäviä energiaottomääriä ja tehoarvoja (5, s. 272)*

Sijainti	Savi		Hiekka	
	Energia [kWh/m]	Max. Teho [W/m]	Energia [kWh/m]	Max. Teho [W/m]
Etelä *	50-60	20	30-40	14
Keski	40-45	18	15-20	10
Pohj. **	30-35	14	0-10	5

\* Linjan Kokkola-Savonlinnan eteläpuolella

\*\* Lappia lukuunottamatta

## 2.2 Lämmönsiirtonesteet

Lämmönsiirtonestettä käytetään lämmön tai kylmän siirtämiseen kahden erilämpöisen kohteen välillä. Yleisin lämmönsiirtoaineena käytetty neste on vesi sen hyvien lämmönsiirto-ominaisuuksien ansiosta. Tässä kohteessa vettä ei kuitenkaan voida käyttää lämmönsiirtoon sen korkean jäätyislämpötilan vuoksi. Tehokkaan ja taloudellisen lämmönsiirron saavuttamiseksi tulisi lämmönsiirtonesteellä olla muun muassa seuraavanlaisia ominaisuuksia:

- alhainen jäätympiste
- alhainen viskositeetti
- hyvä lämmönjohtavuus
- korkea ominaislämpökapasiteetti
- palamaton, myrkytön ja biologisesti hajoava
- yhteensopivuus eri materiaalien kanssa
- halpa (6).

Muita yleisiä lämmönsiirtoaineita veden lisäksi ovat eri alkoholien (etanoli), glykolin (etyleeni- ja propyleeniglykoli) ja suolojen (esim. kaliumformiaatti) vesiliuokset (6). Kohteen lämmönsiirtonesteenä käytetty etyleeniglykoli on yleisesti käytössä nestekiertoisissa LTO-järjestelmissä. Etyleeniglykolin lämmönsiirto-ominaisuudet ovat lämpimissä olosuhteissa kohtalaisen hyvät, mutta kylmissä lämpötiloissa aine jähmettyy, jolloin sen viskositeetti kasvaa ja lämmönsiirto heikkenee. Lisäksi etyleeniglykoli luokitellaan ihmisille ja ympäristölle haitalliseksi ja sen käytöstä onkin luovuttu etenkin maalämpöjärjestelmissä (7). Taulukkoon 2 on listattu eri lämmönsiirtoaineiden ominaisuuksia +5 ja -5 °C:n lämpötilassa, kun liuoksen vahvuus on 30 %.

Etanoli ja kaliumformiaatti ovat ympäristöystävällisiä ja ominaisuuksiltaan hyviä lämmönsiirtoaineita. Etanolin haittapuolena on sen paloherkkyys, minkä takia etanolipiireissä on pieni syttymisvaara. Kaliumformiaatti on puolestaan etanolia ja etyleeniglykolia korrosiivisempi, eikä se silloin sovi käytettäväksi kaikkien metallien, kuten alumiinin ja sinkin kanssa (6). Korroosiota voidaan myös estää lisäaineilla.

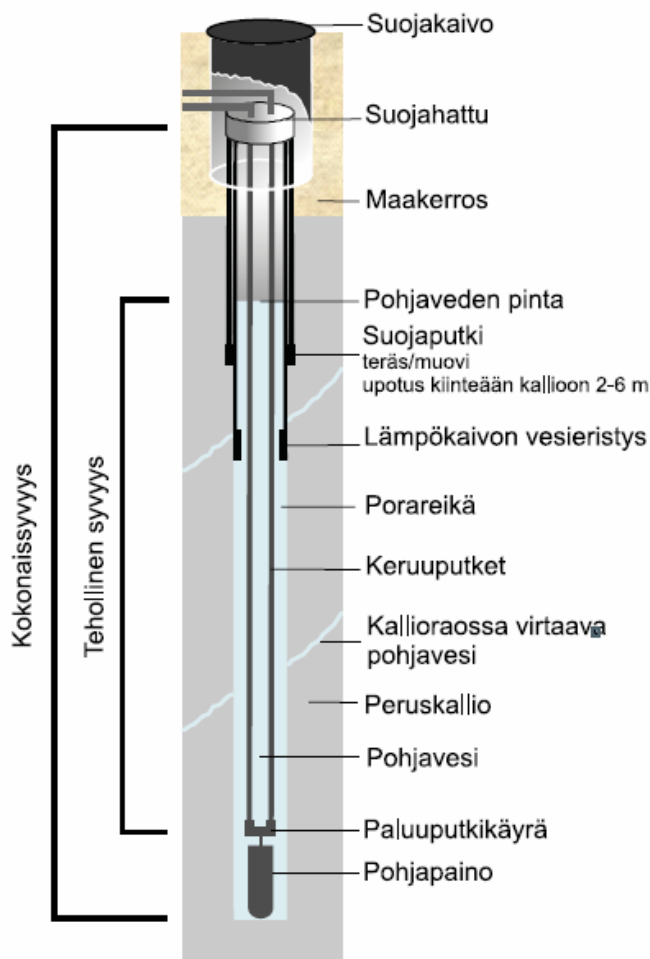
*TAULUKKO 2. Lämmönsiirtoaineiden ominaisuuksia*

Lämmönsiirtoaine	Nesteen lämpötila [°C]	Tiheys [kg/m <sup>3</sup> ]	Ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]	Lämmönjohtavuus [W/mK]	Dynaaminen viskositeetti [10 <sup>-5</sup> Pa*s]	Jäätymispiste [°C]
Etyleeniglykoli	5	1054,2	3,712	0,469	405,8	-16,9
Etyleeniglykoli	-5	1056,6	3,701	0,466	610,6	-16,9
Kaliumformiaatti	5	1188,1	3,177	0,512	212,8	-20,82
Kaliumformiaatti	-5	1192,1	3,159	0,498	285,55	-20,82
Etanoli	5	962,9	4,18	0,402	503,1	-20,4
Etanoli	-5	967,7	4,16	0,395	861,6	-20,4
Propyleeniglykoli	5	1035,9	3,855	0,454	623,4	-13,54
Propyleeniglykoli	-5	1039,5	3,839	0,449	1034	-13,54

## 2.3 Muita maalämmön hyödyntämiskeinoja

### 2.3.1 Porakaivo

Lämpökaivo eli porakaivo on kallioon pystysuoraan asennettu lämmönkeruujärjestelmä (kuva 4), jolla hyödynnetään kallioon ja pohjaveteen varastoitunutta lämpöä. Järjestelmä on yleisesti käytössä etenkin suuremmissa kiinteistöissä, kuten kouluissa ja päiväkodeissa. Porakaivon syvyys vaihtelee yleensä 100–200 metrin välillä, mutta sen teholliseksi syvyudeksi lasketaan pituus pohjaveden pinnasta keruuputken alaosaan. (2.)



KUVA 4. Lämpökaivon rakenne (7)

Lämpökaivon asennuskustannukset ovat suuremmat kuin maapiirillä, mutta sen etuina ovat muun muassa pienempi tilantarve ja suurempi energiansaanti putkimetriä kohden (kuva 1). Pienissä omakotitaloissa on syytä harkita esimerkiksi ilma-vesilämpöpumpun

käyttöä maalämmön sijasta. (2.) Porakaivon hankinta tehtiin luvanvaraiseksi vuonna 2011, jolloin esimerkiksi lämmitysjärjestelmän muuttaminen maalämpöön tarvitsee toimenpideluvan.

### **2.3.2 Vesistöt**

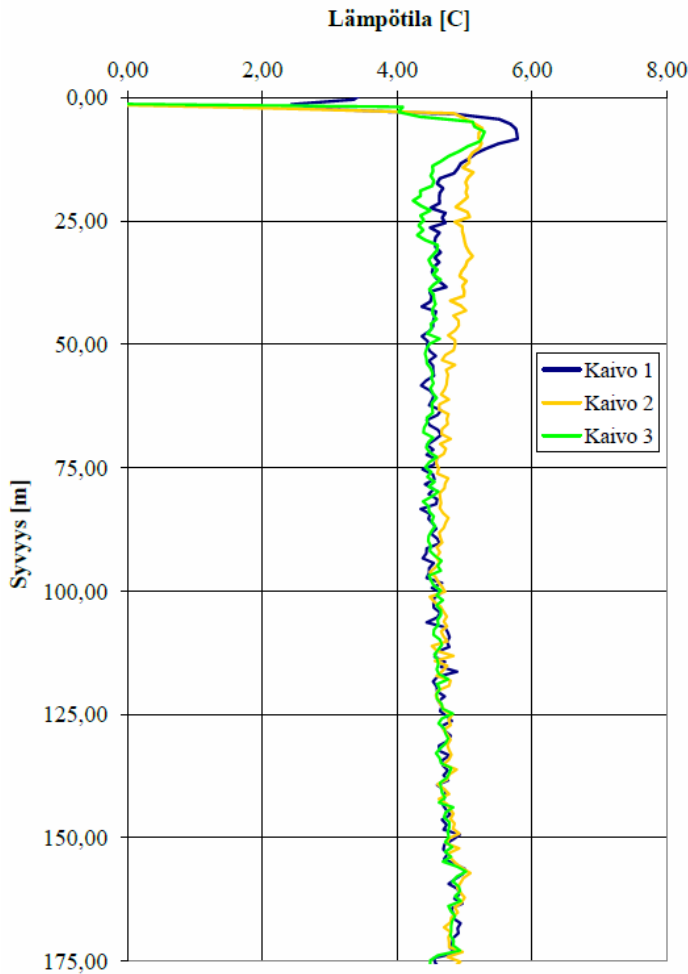
Vesistöön asennettava lämmönkeruujärjestelmä vaatii aina vesialueen omistajan luvan. Lämmönlähteenä voidaan käyttää järviä, lampia tai merenrantoja joiden syvyys jo rannan läheisyydessä on vähintään 2 metriä. Vesistöistä saatava vuotuinen energia putkimetriä kohden on 70–80 kWh, joka vastaa lähes porakaivon lämmöntuottoa (kuva 1). (2.)

Järjestelmä asennetaan veteen kuten maaperään, mutta keruuputkisto ankkuroidaan 6–30 kg:n betonipainoilla, joilla estetään putkiston nousu ja mahdollinen rikkoontuminen. Rannalle on asennettava ankkuroinnin kieltävät varoituskyltit. (2.)

### **2.4 Oulun geoenergiapotentiaali**

Geologian tutkimuskeskuksen Länsi-Suomen yksikkö teki vuonna 2013 geoenergiakaritoituksen Oulun kaupungin Yhdyskunta- ja ympäristöpalvelujen toimesta. Työ oli osa laajempaa geoenergian hyödyntämiseen tähtäävää hankekokonaisuutta, jonka tarkoituksena oli selvittää Oulun geoenergiapotentiaalia ja verrata sitä olemassa olevaan tutkimusaineistoon. (1.)

Kallioperän lämpötila nousee syvemmälle mentäessä, joka Suomessa kasvaa noin 0,8–1,5 °C / 100 m. Riittävän syvälle mentäessä lämpötilaerot tasoittuvat, jolloin lämpötilat noudattavat alueelle tyypillistä tasoa. Kuvasta 5 nähdään Haukiputaalla sijaitsevien kolmen eri lämpökaivon lämpötilaprofiilit sekä alueen tyypillinen lämpötila (noin 4,5 °C). (1.)



KUVA 5. Lämpökaivon lämpötilamittausten tuloksia Haukiputaalla (1)

Kivilajialueet luokiteltiin tutkimuksessa neljään eri luokkaan pääosin lämmönjohtavuuden, mutta myös porattavuuden perusteella (Taulukko 3). Taulukkoon on lisätty kivilajiluokkaan kuuluvat kivilajit. (1.)

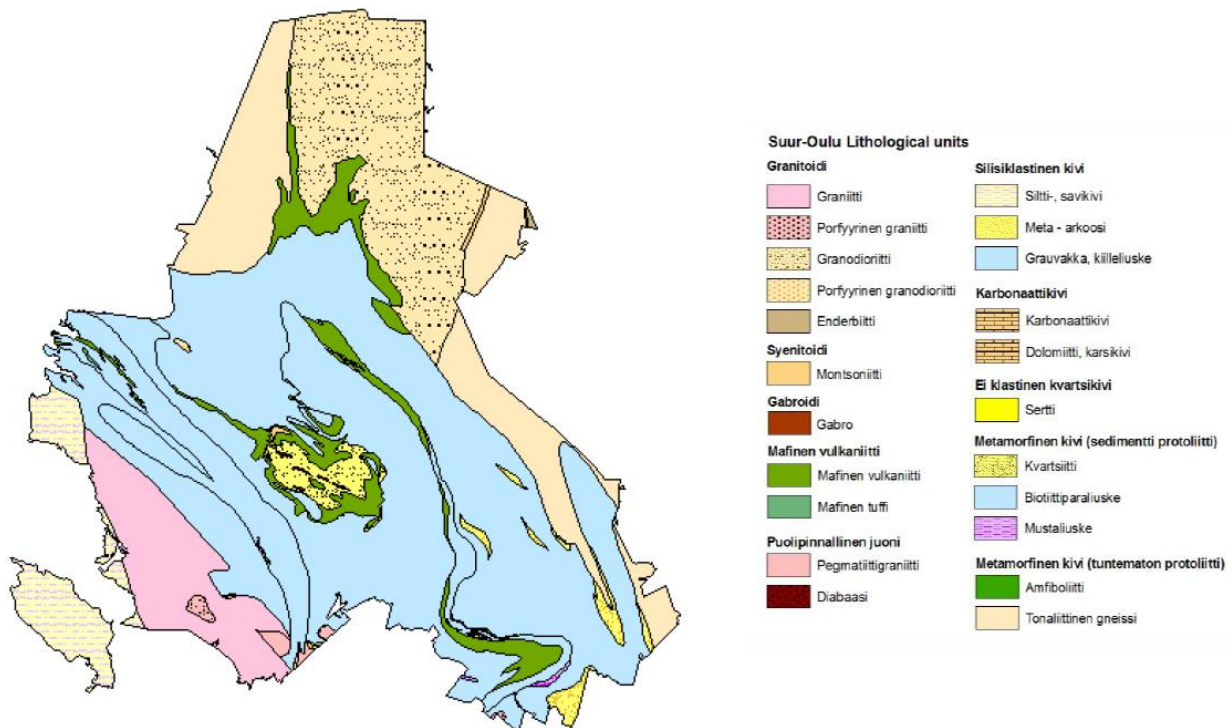
TAULUKKO 3. Kivilajiluokkien lämmönjohtavuus (1)

Kivilajiluokka	Lämmönjohtavuus [W/(m*K)]		Kivilaji
	TRT-mitattu*	Tyypillinen kirja-arvo	
Luokka I	-	4,60	kvartsiitti
Luokka II	3,17 - 3,61	3,08	graniitti, gneissi
Luokka III	2,63 - 2,95	2,74	liuske
Luokka IV	-	2,0 - 2,4	savikivi

\* vaihteluväli GTK:n tekemissä mittauksissa Suomessa

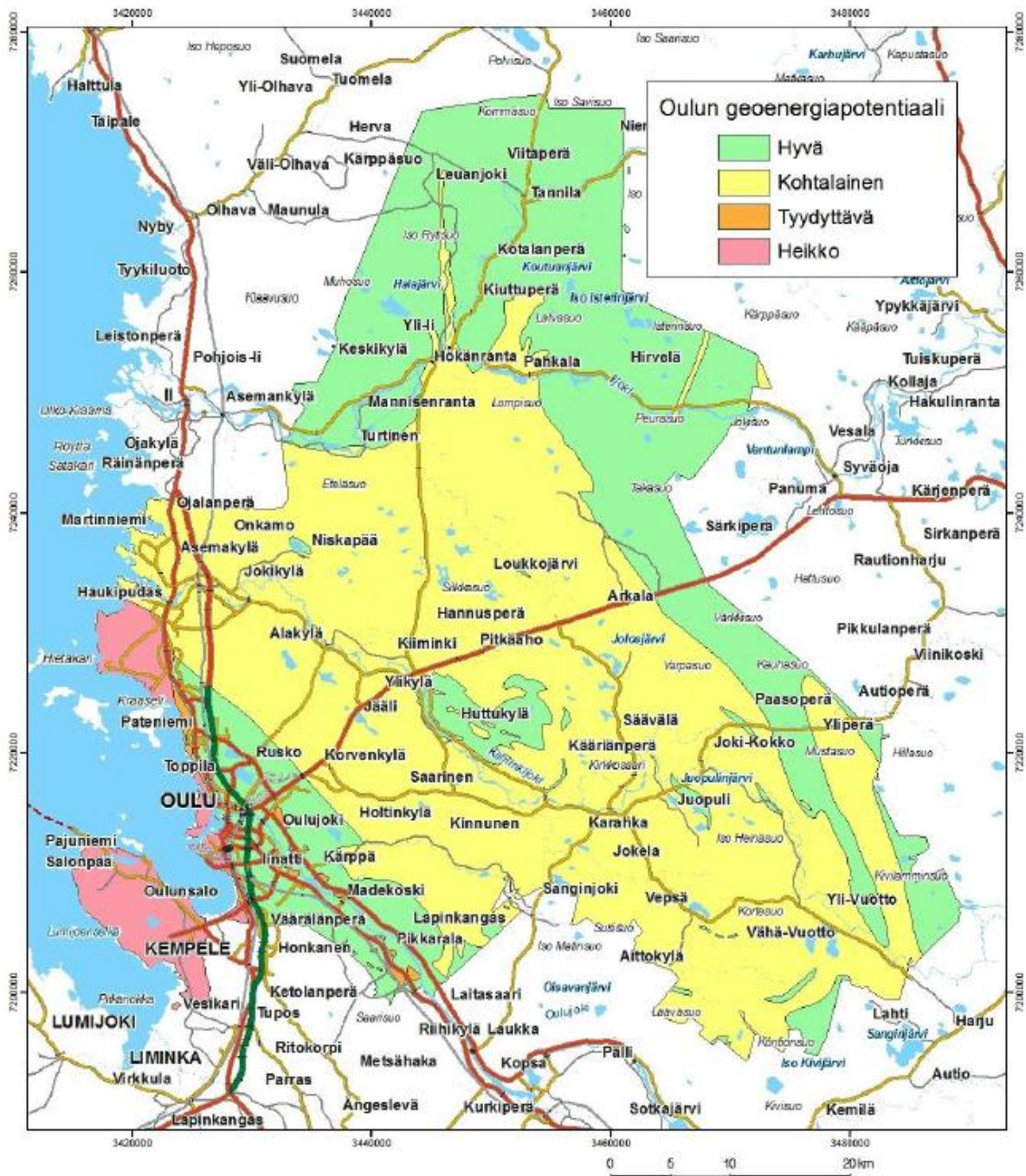
\*\* ns. superluokka (ml. kvartsiitti)

Johtopäätöksenä voidaan todeta Oulun alueen geoenergiapotentialin olevan pääosin hyvä (kuva 7). Parhaimpiin alueisiin kuuluvat Kiimingin kvartsiittialue (luokka I) ja Oulun graniitti- ja Yli-lin gneissialue (luokka II). Heikompiin alueisiin kuuluvat Kiimingin liuske-alue (luokka III) sekä Oulun länsilaidan savikivialue (luokka IV) (kuvat 6 ja 7). (1.)



KUVA 6. Oulun kallioperä (1)

Porakaivon hankinnan yhteydessä on hyvä selvittää alueen maanpinnan syvyys, sillä se on merkittävä tekijä kaivon porauskustannuksessa. Oulun alueella maanpinnan syvyys on pääosin 0–20 metriä. Poikkeuksena ovat kuitenkin Oulujokilaakson alue sekä savikivialue Oulun länsipuolella. Oulunsalo–Perävainion savikivialueella maanpinnan syvyys heittelee 20–70 m:n välillä ja Oulujokilaakson alueella kallionpinta on paikoin jopa 40 m:n syvyydellä. (1.) Myös kallion lohkaraisuus voi estää porauksen.



KUVA 7. Oulun geoneergiapotentiaali (1)

### 3 ILMANVAIHTO

Ilmanvaihdon tarkoituksena on pitää sisäilman puhtaus haluttuna. Tämä toteutetaan viemällä poistoilma likaisista tiloista kuten vessoista, keittiöistä ja suihkuista ja tuomalla raitista ulkoilmaa puhtaisiin tiloihin kuten makuu- ja olohuoneisiin. Määräysten mukaan asuinrakennuksen minimi-ilmavirta on  $0,35 \text{ l/s/m}^2$ , joka vastaa ilmanvaihtokerrointa  $0,5 \text{ 1/h}$   $2,5 \text{ m:n}$  korkuisessa huoneessa.

Ilmanvaihtojärjestelmästä puhuttaessa sillä tarkoitetaan yleensä painovoimaista-, koneellista poisto- tai koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää. Painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä ilmanvaihto tapahtuu sisä- ja ulkoilman tiheuserojen, ilmareitin korkeuden ja tuulen vaikutuksen avulla (5, s.114). Koneellisessa poistoilmanvaihdossa likainen sisäilma puhalletaan ulos katolle sijoitettuna huippuimurin tai kanavapuhaltimen avulla. Ulkoilman saanti tapahtuu joko vuotoilmareittien kautta tai korvausilmaventtiileistä, kuten painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässäkin. Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla ilmanvaihto onnistuu vedottomasti ja energiatehokkaasti lämmöntalteenoton ja lämmityspattereiden avulla. Myös suurin osa ulkoilman mukana tulevista epäpuhtauksista jää suodattimiin, jolloin sisäilman laatu paranee.

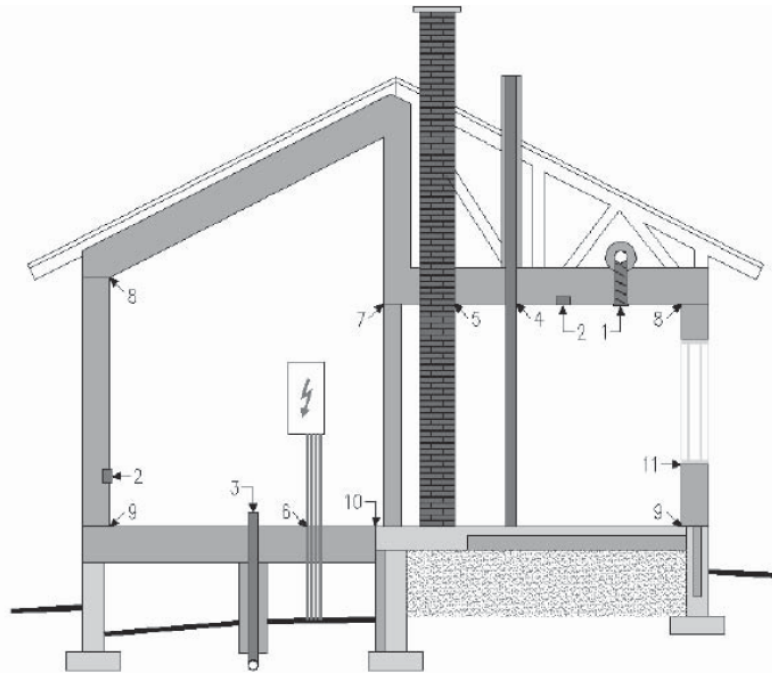
Rakenteiden ja liitoksien läpi vuotavalla ilmalla eli vuotoilmalla on merkittävä vaikutus rakennuksen energiankulutukseen ja asumisviihtyvyyteen. Hyvällä ilmatiiviydellä varmistetaan, että lämmin ja kostea sisäilma ei pääse virtaamaan rakenteisiin ja samalla estetään kylmän ulkoilman tunkeutuminen sisätiloihin. Pahimmassa tapauksessa vuotavan rakenteen lämpötila laskee sisäilman kastepistelämpötilan tasolle, jolloin vaarana on rakenteen kastuminen.

Hyvällä ilmatiiviydellä parannetaan myös asumisviihtyvyyttä. Kylmän ilman virratessa rakenteiden vuotokohdista oleskelutiloihin aiheutuu siitä vedon tunnetta. Vuotoilman mukana voi sisätiloihin myös kulkeutua rakenteista ja ulkoilmasta peräisin olevia epäpuhtauksia.

Rakennuksen ilmatiiviyys on myös merkittävä tekijä energiankulutuksen kannalta. Passiivitalo, jonka ilmanvuotoluku on  $n_{50} = 0,6 \text{ 1/h}$ , tarvitsee laskennallisesti 25 % vähemmän



energiaa tilojen lämmitykseen kuin talo, jonka ilmanvuotoluku on  $n_{50} = 4 \text{ 1/h}$  (8). Kriittisiä kohtia rakenteen tiivistyksen kannalta on esitetty kuvassa 8.



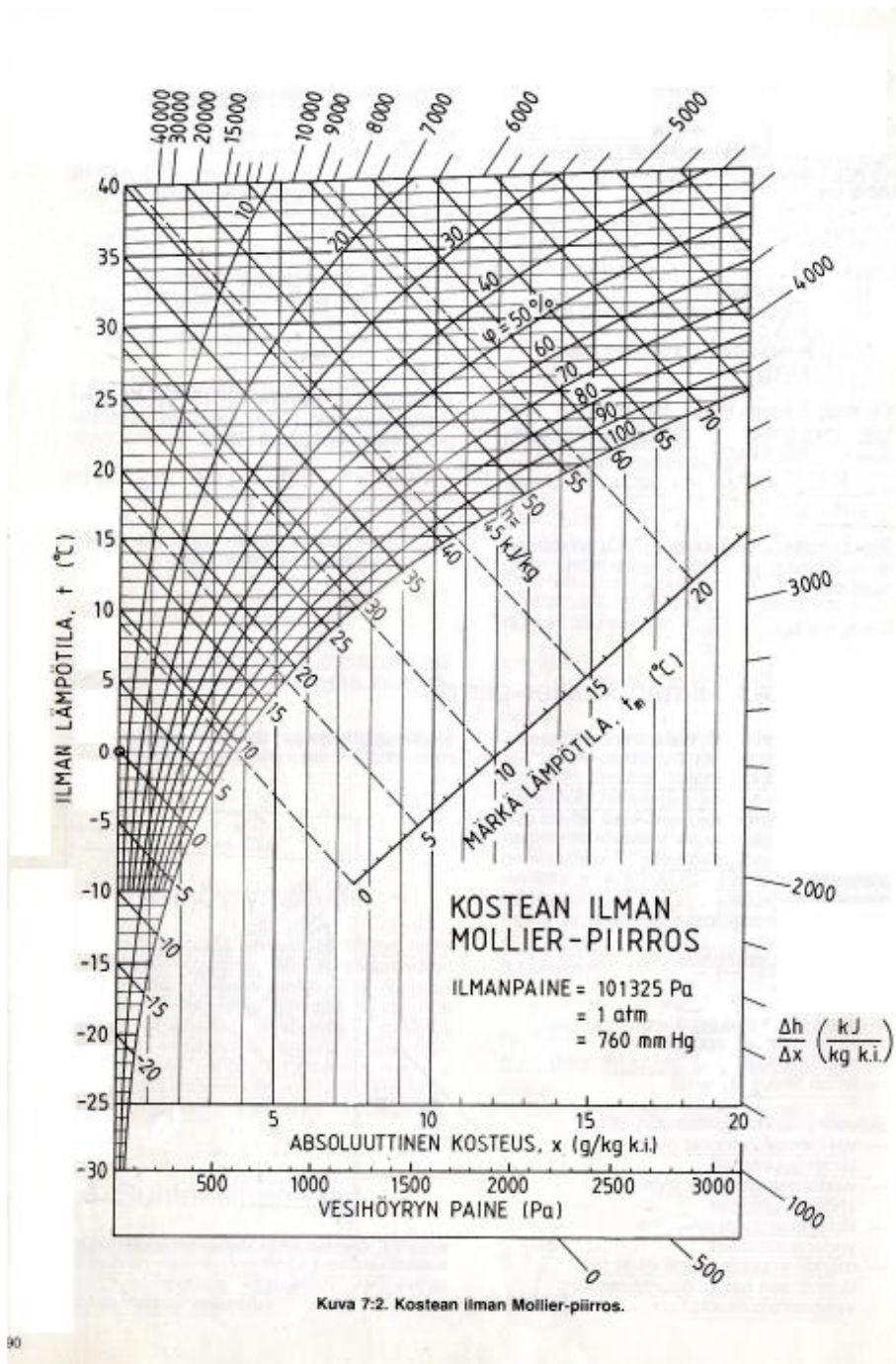
1. Ilman- ja höyrynsulun ulkopuolelle tehtyjen IV-asennusten läpiviennit
2. Ilman- ja höyrynsulun ulkopuolelle tehtyjen sähköasennusten läpiviennit
3. Viemäreiden läpiviennit alapohjassa
4. Viemärin tuuletusputken läpivienti yläpohjassa
5. Savuhormin läpivienti yläpohjassa
6. Sähköpääkeskuksen johtojen läpiviennit alapohjassa
7. Kantavien väliseinien liittymät
8. Ulkovaipparakenteiden liittymät
9. Elementtien saumat
10. Tuulettuvan ja maanvaraisen alapohjan liittymät
11. Ikkunoiden ja ovien liittymät

*KUVA 8. Vaipan tiivistyksen kriittiset kohdat (8).*

### 3.1 Jäähdytysprosessi

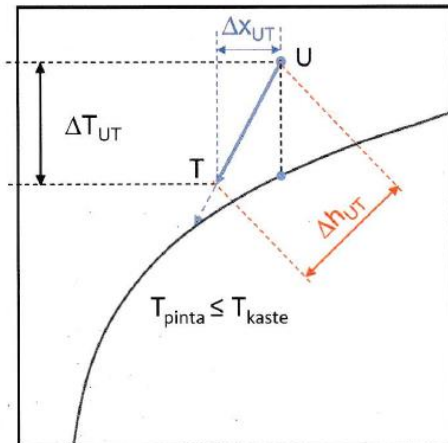
Jäähdytysprosessissa jäähdytettävästä tilasta pyritään siirtämään ylimääräinen lämpöenergia pois. Tyypillisesti jäähdytys toteutetaan tilaan sijoitetulla puhallinkonvektorilla tai ilmanvaihtokoneeseen tai kanavaan liitetyn jäähdytyspatterin avulla. Yleensä ilmaa jäähdytetään, kun sisälämpötila rakennuksessa kohoaa liiallisesti, mikä vaikuttaa muun muassa asumismukavuuteen.

Mollier-diagrammi eli h-x-piirros on yleisesti käytetty työkalu ilmastointiteknikan prosessien havainnollistamisessa ja laskennassa (kuva 9). Tyypillisiä prosesseja, joita piirroksella mallinnetaan, ovat muun muassa ilman lämmitys, jäähdytys, kostutus ja lämmöntalteenotto.



KUVA 9. H-x-piirros

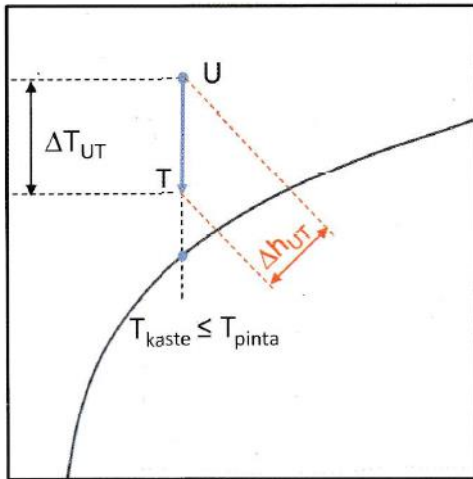
Veden kondensoituminen jäähdytysprosessissa riippuu patterin pintalämpötilasta ja patterille tulevan ilman kastepistelämpötilasta. Patterin pintalämpötilan ollessa ilman kastepistelämpötilaa matalampi tapahtuu kondensoitumista, jolloin jäähtymisprosessi on kuvan 10 mukainen. (9, s.132.)



**Kuva 4.9.** Jäähdytysprosessi, kun patterin pintalämpötila on vakio ja matalampi kuin ilman kastepistelämpötila.

**KUVA 10.** Jäähdytysprosessi, kun tapahtuu kondensoitumista (9, s.132)

Vastaavasti kondensoitumista ei tapahdu, kun patterin pintalämpötila on kastepistelämpötilaa korkeampi (kuva 11). Laskennassa patterin pintalämpötilana voidaan käyttää tulevan ja lähtevän nesteen lämpötilojen keskiarvoa eli tässä tapauksessa maapiiriltä tulevan ja patterilta lähtevän etyleeniglykolin lämpötiloja.



**Kuva 4.8.** Jäähdytysprosessi, kun patterin pintalämpötila on korkeampi kuin ilman kastepistelämpötilä.

**KUVA 11.** Jäähdytysprosessi, kun kondensoitumista ei tapahdu (9, s.132)

Kondensoituminen täytyy ottaa huomioon, kun halutaan laskea patterin tehoa jäähdytys-tilanteessa. Kun ilmaa ei kuivata, voidaan teho laskea kaavalla 1 lämpötiloja ja ominaislämpökapasiteettia käyttäen. Ilmaa kuivattaessa täytyy teho laskea entalpioilla (kaava 2). Kaavaa 2 voidaan käyttää myös tilanteessa, jossa ilmaa ei kuivata.

$$\Phi = \rho_i * q_v * c_p * (t_2 - t_1)$$

**KAAVA 1**

$\Phi$  = teho (kW)

$\rho_i$  = ilman tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$c_p$  = ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)

$q_v$  = ilman tilavuusvirta (m<sup>3</sup>/s)

$t_2$  = ilman lämpötila patterin jälkeen (°C)

$t_1$  = ilman lämpötila ennen patteria (°C)

$$\Phi = \rho_i * q_v * (h_2 - h_1)$$

**KAAVA 2**

$\Phi$  = teho (kW)

$\rho_i$  = ilman tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$q_v$  = ilman tilavuusvirta (m<sup>3</sup>/s)

$h_2$  = ilman entalpia patterin jälkeen (kJ/kg)

$h_1$  = ilman entalpia ennen patteria (kJ/kg)

### 3.2 Lämmitysprosessi

Ilmastoinnissa ilmaa lämmitetään yleensä kanavaan tai koneeseen sijoitetuilla esi- ja jälkilämmityspattereilla sekä lämmöntalteenotolla. Patterit voivat olla sähköllä toimivia tai nestekiertoisia. Nestekiertoisissa pattereissa lämmönsiirtoaineena on yleensä vesi.

Lämmitysprosessissa lämmitettävään ilmaan ei tuoda eikä siitä lähde kosteutta eli ilman absoluuttinen kosteus pysyy vakiona. Absoluuttinen kosteus  $x$  (g/kg) sijaitsee diagrammissa vaaka-akselilla, josta voidaan lukea ilman vesisisältö. Prosessin suunta  $h$ - $x$ -piirroksessa on tällöin kohtisuoraan ylöspäin. Prosessin teho voidaan laskea kaavalla 1.

## 4 MITTAUKSET

### 4.1 Kohde

Työn kohteena on tutkia omakotitaloon asennetun 150 metrin pituisen maapiirin toimintaa, joka on kytketty ulkoilmakanavassa sijaitsevaan Vallox MLV Multi 200 -patteriin. Maaperä on kostea hiekkaa, ja lämmönsiirtonesteinä käytetään noin 50-prosenttista vesi-etyleeniglykoliliuosta. Keruuputkistona on käytetty 40 mm:n paksuista polyeteeniputkea, joka on asennettu keskimäärin 1,5 metrin syvyyteen (10). Ilmanvaihtokoneena toimii pyörivällä lämmöntalteenotolla varustettu Enerventin Pandion Eco ECE.

Kiertovesipumpuksi on valittu Grundfosin MAGNA1 25-80, joka on asetettu käymään va-kiokierrosnopeudella virtaaman tasaamiseksi (kuva 12).



*KUVA 12. Kiertovesipumppu Grundfos MAGNA1 25-80*

## 4.2 Mittaus

Mittaukset aloitettiin kohteessa kesällä, ja ne jatkuivat lopputalveen saakka. Näin saatiin mittaustuloksia niin lämpimiltä kesäpäiviltä kuin kylmiltä talvipakkasiltakin. Ulkoilmavirran suuruus tarkistettiin raitisilmasäleiköstä TSI Alnor -balometria (kuva 13) käyttäen, sillä se on nopea ja luotettava tapa mitata pieniä ja keskisuuria ilmavirtoja.



*KUVA 13. TSI Alnor -balometri (11)*

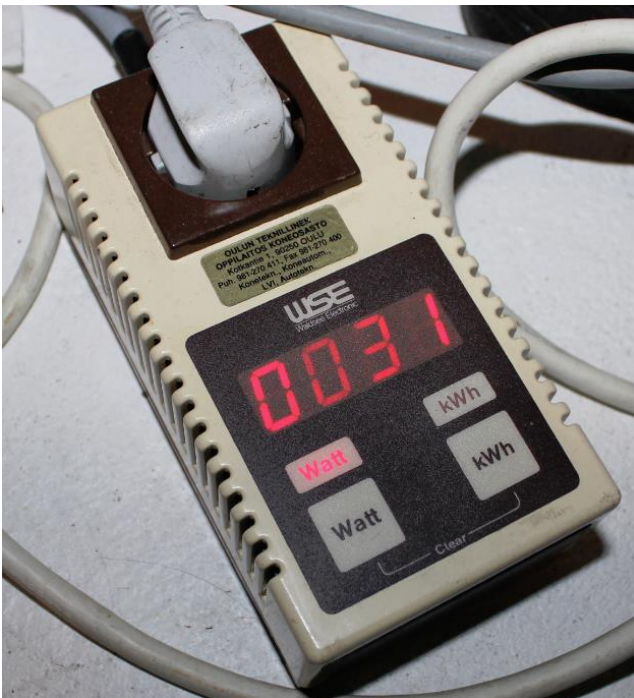
Lämpötiloja mitattiin Kimon Kistock KT210 -loggerilla (kuva 14). Loggeriin yhdistettiin neljä lämpötila-anturia, jotka mittasivat etyleeniglykolin meno- ja paluulämpötiloja pinta-lämpötilamittauksina sekä ilman lämpötilaa kanavaan sijoitetun lämmityspatterin molemmin puolin.





KUVA 14. Kimo Kistock KT210

Kiertovesipumppu yhdistettiin energiamittariin, jolla seurattiin pumpun sähkötehoa ja energiankulutusta (kuva 15). Tehon avulla saatiin katsottua valmistajan pumppukäyrästä nesteen virtaama.



KUVA 15. Sähkötehon ja -energian mittari



## 5 TULOKSET

Tavoitteena oli tutkia esilämmityspatterin toimivuutta ilma- ja nestepuolen tehojen avulla. Nestepuolen teho voidaan laskea kaavalla 1. Kaavaa voidaan käyttää myös ilmapuolen tehon laskennassa silloin, kun ei tapahdu kondenssia. Jos kondenssia tapahtuu, teho lasketaan kaavaa 2 käyttäen.

Laskuissa ilman ominaislämpökapasiteetin arvona on käytetty arvoa 1 kJ/kg°C ja tiheytenä 1,25 kg/m<sup>3</sup>. Ilman tilavuusvirraksi saatiin 78 l/s balometrillä mitattuna. Pumpun keskihoksi saatiin 32,4 W, jolla luettiin liuoksen virtaamaksi valmistajan pumppukäyrästä 0,11 l/s. Liuoksen ominaisuudet saatiin CoolPack-ohjelmasta.

Ilman suhteellisen kosteuden arvot on saatu ilmatieteenlaitoksen sivustolta (12). Säähavaintoasemaksi on valittu Pellonpään havaintoasema. Kosteuden arvot on ilmoitettu 1 tunnin havaintovälillä, josta laskettiin päivän keskiarvo.

Kondensoitumisen selvittämiseksi tarvitaan ilman kastepistelämpötila ja patterin pintalämpötila. Patterin pintalämpötilana voidaan käyttää nesteen meno- ja paluulämpötilojen keskiarvoa. Ilman kastepistelämpötila lasketaan kaavalla 3 (13).

$$T_d = \frac{T_n}{\left(\frac{m}{\log\left(\frac{P_w}{A}\right)} - 1\right)} \quad \text{KAAVA 3}$$

$T_d$  = kastepistelämpötila

$$T_n = 240,7263$$

$$m = 7,591386$$

$$A = 6,116441$$

$P_w$  = vesihöyryn osapaine (hPa)

Vesihöyryn osapaine lasketaan kaavalla 4 (13).

$$P_w = P_{ws} * \frac{RH}{100} \quad \text{KAAVA 4}$$

$P_{ws}$  = kylläisen höyryn paine (hPa)

RH = suhteellinen kosteus

Kylläisen höyryn paine saadaan kaavasta 5 (13).

$$P_{ws} = A * 10^{\left(\frac{m*T}{T+T_n}\right)} \quad \text{KAAVA 5}$$

T = ilman lämpötila (°C)

Kun kastepistelämpötila on saatu selville, sitä verrataan patterin pintalämpötilaan. Kondensoitumista tapahtuu, jos kastepistelämpötila on matalampi kuin patterin pintalämpötila. Tällöin täytyy laskea ilman kosteussisältö, jotta prosessi voidaan mallintaa h-x-piirrookseen. Kosteussisältö lasketaan kaavalla 6 (5, s.86).

$$x = 0,622 * \frac{p_h}{p-p_h} \quad \text{KAAVA 6}$$

$p_h$  = vesihöyryn osapaine (Pa)

$p$  = ilman kokonaispaine (101325 Pa)

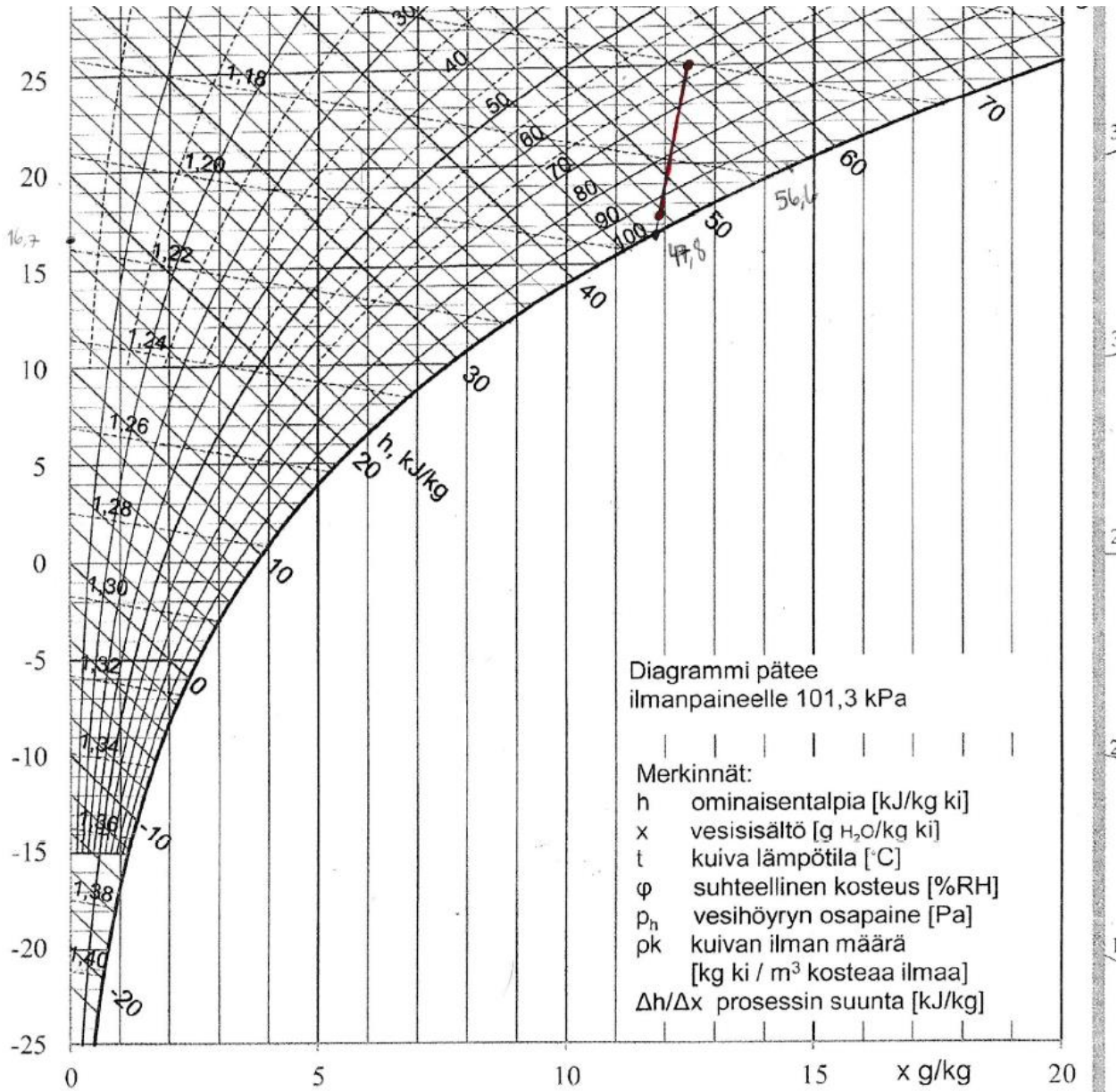
## 5.1 Tehoja lämpimänä kesäpäivänä 28.7.2017

Ulkoilman lämpötila mittaushetkellä oli 25 °C ja suhteellinen kosteus 62 %. Ilman lämpötila patterin jälkeen oli 17,3 °C. Patterille menevän liuoksen lämpötila oli 16,3 °C ja paluulämpötila 17,1 °C. Taulukkoon 4 on laskettu patterin hetkellinen teho ilma- ja nestepuolelta.

TAULUKKO 4. Tehoja kesäpäivältä

Ilma		Neste	
Tuntuva teho [W]	Kokonaisteho [W]	Teho [W]	Teho putkimetriä kohden [W/m]
-720,7	-823,7	332,3	2,2

Tuntuvalta teholla tarkoitetaan tehoa, joka kuluu kuivan ilman jäähdyttämiseen, jolloin ilman absoluuttinen kosteus pysyy vakiona. Kokonaisteho huomioi myös ilman kuivumisen. Tuntuva teho lasketaan kaavalla 1 ja kokonaisteho kaavalla 2. Kuvassa 16 on esitetty ilman jäähdytysprosessi.



KUVA 16. Ilman jäähdytysprosessi kesäpäivänä

## 5.2 Tehoja kylmänä talvipäivänä 28.2.2018

Ulkoilman lämpötila mittaushetkellä oli  $-26,2\text{ °C}$  ja ilman lämpötila patterin jälkeen oli  $-11,6\text{ °C}$ . Patterille menevän liuoksen lämpötila oli  $0,4\text{ °C}$  ja paluulämpötila  $-5\text{ °C}$ . Taulukoon 5 on laskettu hetkellinen lämmitysteho.

TAULUKKO 5. Tehoja talvipäivältä

Ilma	Neste	
Teho [W]	Teho [W]	Teho putkimetriä kohden [W/m]
1474,4	2102,3	14,0

Maapiirin teho putkimetriä kohden vastaa hyvin taulukossa 1 esitetyn maapiirin tehoa savimaassa. Maaperä kohteessa oli kosteaa hiekkaa.

## 5.3 Lämmityspatterin energiankulutus

Lopuksi tutkitaan esilämmityspatterin vaikutusta jälkilämmityspatterin energiankulutukseen. Ilmanvaihtokoneen tuloilman lämpötilasuhde ilmavirralla  $78\text{ l/s}$  ja tulo/poistosuhteella 1 on  $78\%$ . Ympäristöministeriön LTO-laskurilla saadaan poistoilman vuosihyötysuhteeksi  $75\%$ , kun poistoilman lämpötila on  $21\text{ °C}$ , tulo/poistosuhde 1 ja jäteilman lämpötila jäätymissuojauksessa  $0\text{ °C}$  (14). Tuloilman lämpötilana käytetään arvoa  $18\text{ °C}$ .

LTO:n hyötysuhde heikkenee tilanteessa, jossa jäätyminen rajoittaa jäteilman lämpötilaa. Talteenoton hyötysuhde voidaan laskea kaavalla 7.

$$\eta_{tp} = \frac{t_p - t_j}{t_p - t_u} \quad \text{KAAVA 7}$$

$t_p$  = poistoilman lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_j$  = jäteilman lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_u$  = ulkoilman lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ )

Kaavasta 7 saadaan edelleen johdettua kaava 8 jäteilman laskemiseksi.

$$t_j = \eta_{tp} * (t_u - t_p) + t_p$$

KAAVA 8

Tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen saadaan laskettua kaavalla 9.

$$t_{lto} = t_u + (\eta_{tp} * (t_p - t_u))$$

KAAVA 9

Pumpun energiankulutusta seurattiin mittausjakson ajan energiamittarilla. Käyntiajaksi saatiin 6962 h ja energiankulutukseksi 225,86 kWh, jolloin pumpun keskiteho on 32,4 W. Liitteessä 2 on esitetty kuukausittaisia keskiarvoja sekä jälkilämmityspatterin energiankulutus esilämmityspatterin kanssa ja ilman esilämmityspatteria.

#### 5.4 Automaatio

Automaatiolla tarkoitetaan itsestään tapahtuvaa toimintaa tai itsestään toimivaa laitetta. Toimilaitteet ohjaavat tietotekniikan avulla tietyn laitteen, esimerkiksi iv-koneen toimintaa, jolloin tuloilman lämpötila saadaan pidettyä haluttuna tai ilmavirtaa tehostettua lämpötila- ja hiilidioksidiantureiden avulla.

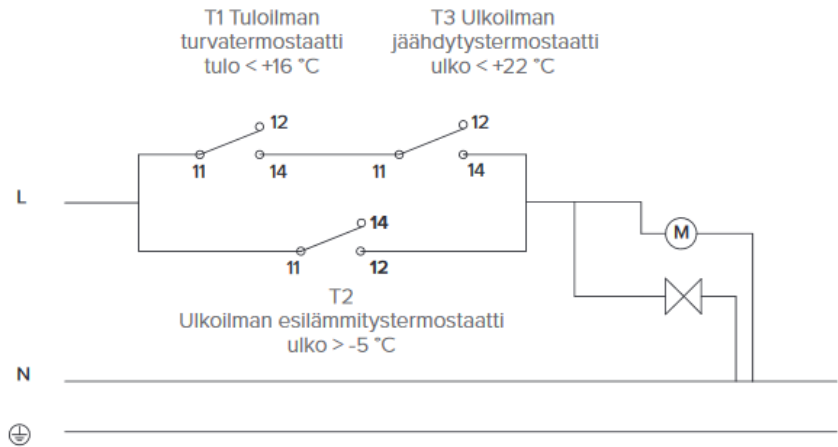
Maapiirin kiertovesipumppua voidaan ohjata esimerkiksi kolmella lämpötilatermostaattilla (kuva 17). Lämmitystermostaatti kytkeytyy, kun ulkoilman lämpötila alittaa asetusarvon ja jäädytystermostaatti kytkeytyy ulkoilman lämpötilan noustessa liian korkeaksi. Turvatermostaattilla estetään liian kylmän ilman kulkeutuminen kanavistoon, jolloin kondenssin riski pienenee. (15).

## Termostaattien kytkentäesimerkki Vallox termostaateilla (8087000)

Turvatermostaatti T1 kytkee, kun tuloilman lämpötila nousee yli 16 asteen.

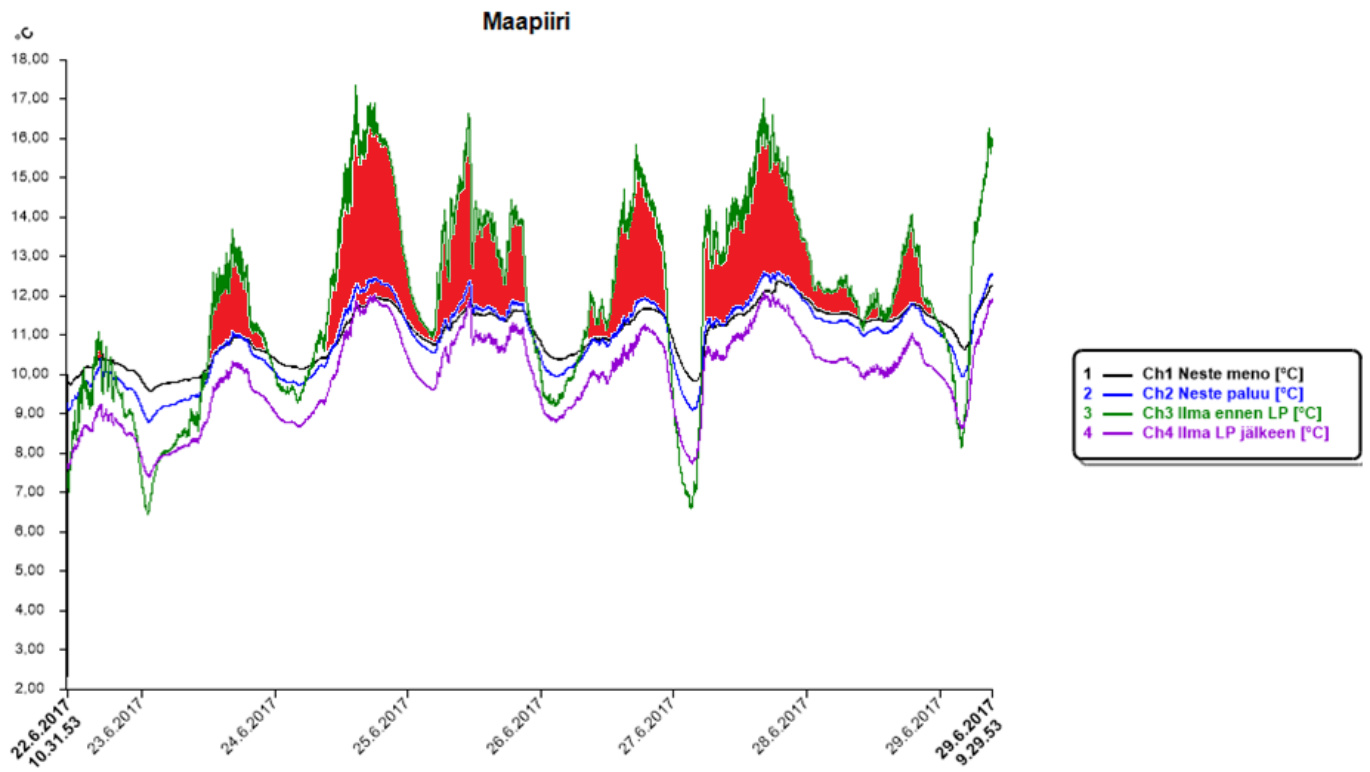
Esilämmitystermostaatti T2 kytkee, kun ulkoilman lämpötila laskee alle -5 asteen.

Jäähdytystermostaatti T3 kytkee, kun ulkoilman lämpötila nousee yli 22 asteen.



KUVA 17. Termostaattien kytkentäesimerkki (15).

Automaatiikalla voitaisiin estää tilanteet, jossa maapiiristä tuleva neste jäähdyttää tuloilmaa vaikka jäähdytykselle ei olisi tarvetta. Yleensä tällaisia tilanteita syntyy loppukesästä, kun ulkoilma viilenee nopeasti maaperän lämmönvaihtelun ollessa hitaampaa. Kuvassa 18 on esitetty mittausjakso, jolloin maapiiri on jäähdyttänyt tuloilmaa tarpeettomasti. Punaisella värjätty alue on hukkaenergiaa.



KUVA 18. Mittausjakso ajalta 22.6.–29.6.

## 6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tutkia maapiirin käyttöä tuloilman esilämmityksessä ja jäähdytyksessä lämpötilamittausten avulla. Mitattujen lämpötilojen avulla voitiin laskea ilma- ja nestepuolen tehoja.

Mittaukset suoritettiin lämpötila-antureilla, jotka asennettiin keskelle ulkoilmakanavaa ja putken pintaan lämpöeristyksen alle. Ilmanvaihdon tuloilmavirta mitattiin ulkoilmasäleiköstä balometrilla. Maapiirin pumppu laitettiin käymään vakiokierrosluvulla virtaaman tasaamiseksi ja kytkettiin energiamittariin energiankulutuksen seuraamiseksi. Pumpun kuluttaman energian avulla saatiin valmistajan pumppukäyrästä luettua maapiiriliuoksen virtaama.

Mitattujen lämpötilojen avulla laskettiin tehoja neste- ja ilmapuolelta. Tehon laskennassa tarvittavat ilman ja nesteen ominaisuudet, kuten ominaislämpökapasiteetti ja tiheys, otettiin mittausjakson keskilämpötilassa. Etyleeniglykolin ominaisuudet saatiin CoolPack-ohjelman avulla, kun nesteen sekoitussuhde tiedettiin. Lämmönsiirtoaineena etyleeniglykoli ei ole paras mahdollinen kylmissä olosuhteissa, mutta siihen päädyttiin hankintakustannusten vuoksi.

Lämmityskauden (1.8.2017–5.4.2018) keskiteho nestepuolella oli 711W ja ilmapuolella 319W ja jäähdytyskauden (22.6.2017–31.7.2017) teho nestepuolella oli 15W ja ilmapuolella 320W. Erot tehoissa johtuvat pitkälti lämmönsiirtonesteen ominaisuuksista, jotka vaihtelevat suuresti nesteen lämpötilan vaihtuessa. Yleisesti ottaen ilmapuolen tehoja voidaan pitää luotettavimpina ilman ominaisuuksien pysyessä melkein vakiona lämpötilavaihteluista huolimatta.

Järjestelmä voidaan todeta toimivaksi ja energiaa säästäväksi. Järjestelmän ainoa energiaa kuluttava laite on kiertovesipumppu, jonka keskitehoksi saatiin 32,4 W. Jälkilämmityspatterin energiankulutukseksi saatiin ilman esilämmityspatteriin kytkettyä maapiiriä 1326 kWh ja esilämmityspatterin kanssa 568 kWh. Mittausjakson aikana energiaa säästettiin 758 kWh.



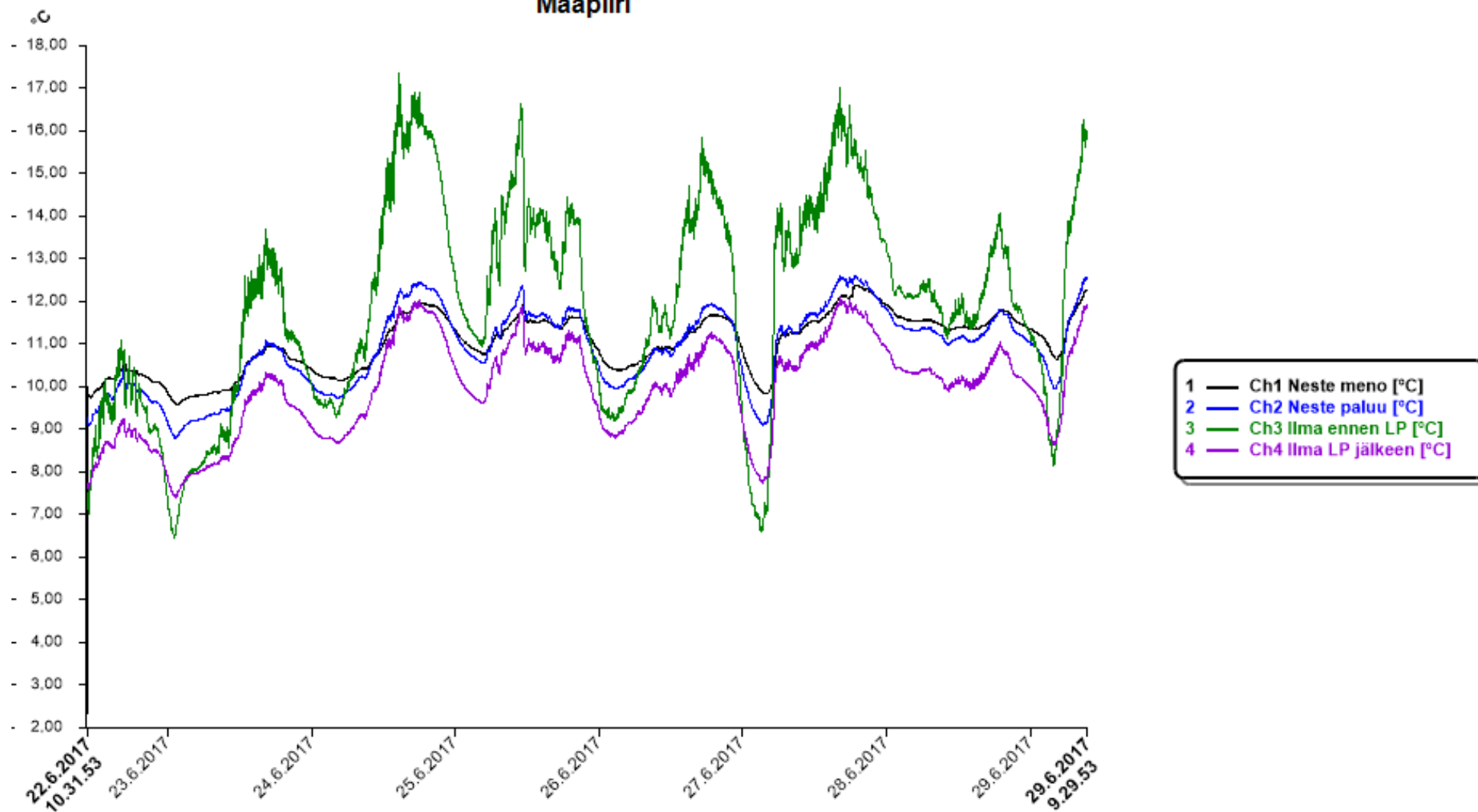
Lisäsäästöjä todennäköisesti saataisiin asentamalla keruuputkisto syvemmälle, sillä kylmänä talvipäivänä patterille menevän nesteen lämpötila on jo melkein 0 °C ja patterilta palaava neste on alle 0 °C. Tällä olisi myös vaikutusta jäähdytystehoon, koska kesällä patterille menevän nesteen lämpötila olisi todennäköisesti myös matalampi. Automatiikan avulla saataisiin pieniä säästöjä jälkilämmityspatterin energiankulutukseen, kun turhaa jäähdytystä ei tapahtuisi.

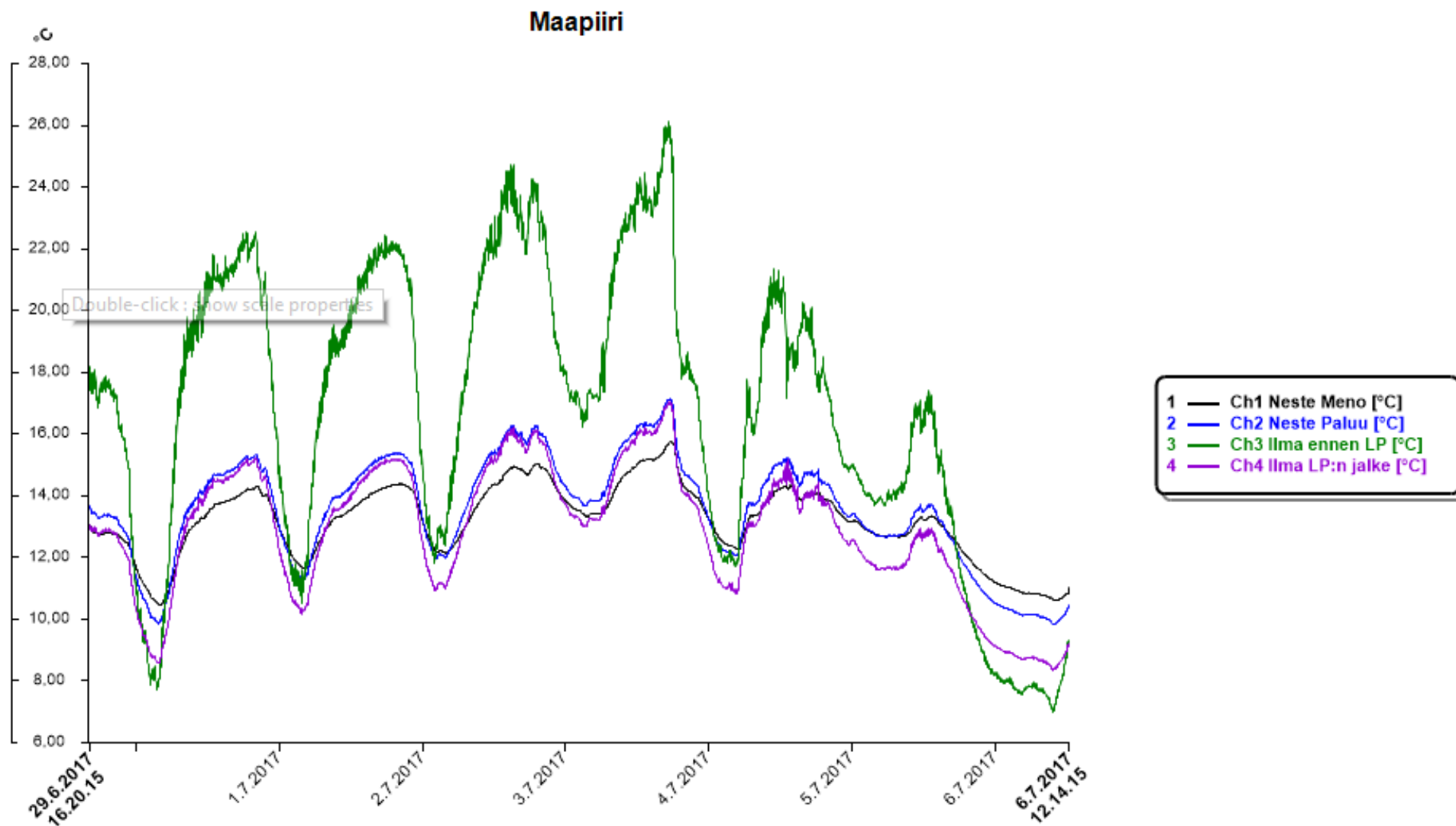
## LÄHTEET

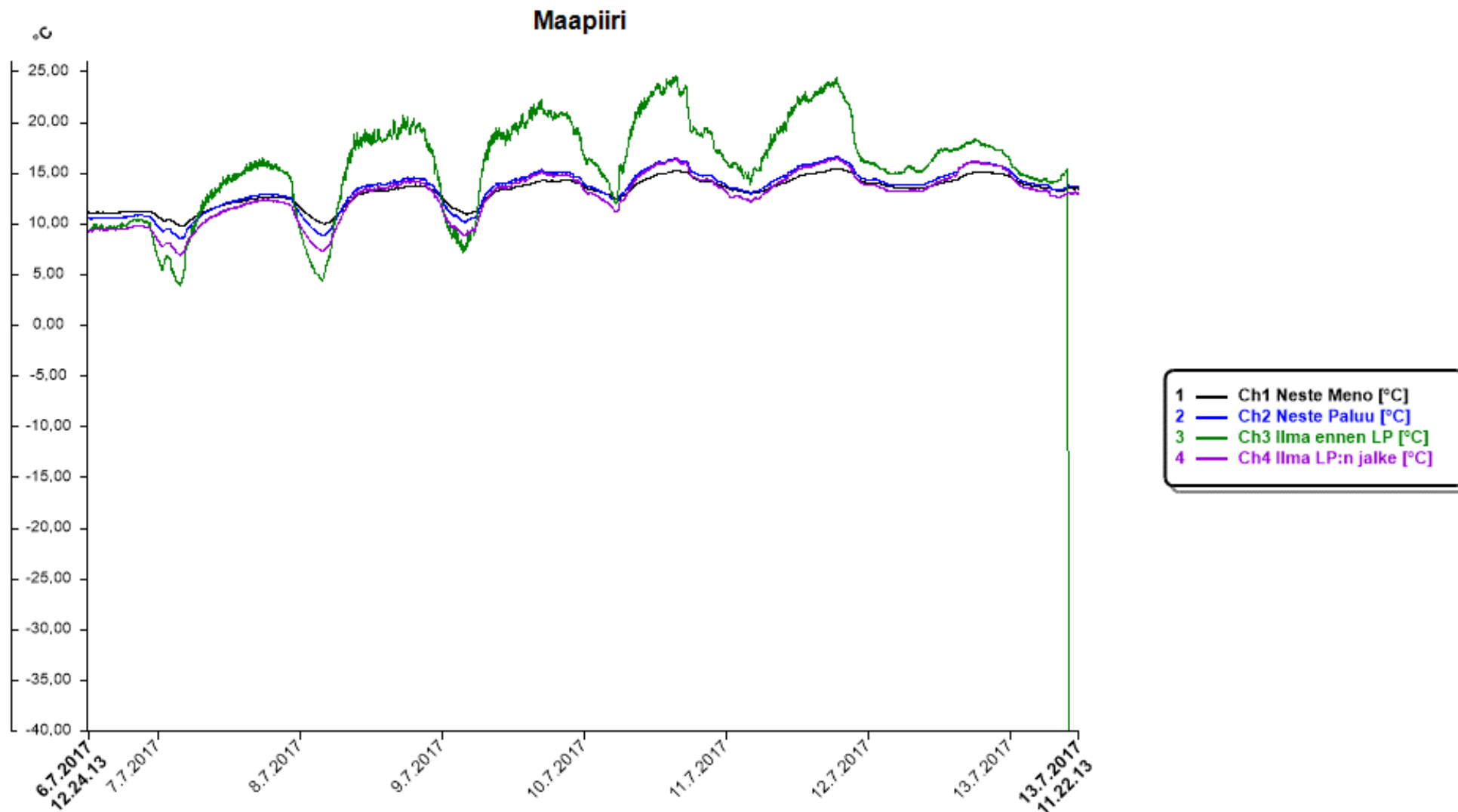
1. Oulun geoenergiapotentiaalin kartoitus. Geologian tutkimuskeskus. Saatavissa: <http://www.gtk.fi/asiantuntijapalvelut/energia/geoenergia/geoenergiapotentiaali.html>  
Hakupäivä 28.1.2018.
2. LVI 11-10332. 2002. Lämpöpumput. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/lvi/kortit/10332.html.stx> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 3.1.2018.
3. Geoenergia. Geologian tutkimuskeskus. Saatavissa: <http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/geoenergia/> Hakupäivä 28.1.2018
4. Maalämmön keruupiiri, osa 2: vaakaputkisto. Ekolämpö. Saatavissa: <https://ekolampo.fi/maalammon-keruupiiri-osa-2-vaakaputkisto/> Hakupäivä 28.1.2018.
5. Sandberg, Esa 2014. Ilmastointitekniikka osa 1. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Tampere: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
6. Aittomäki, Antero 2001. Välilliset kylmälaitokset: suunnittelu ja rakentaminen. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.
7. Juvonen, Janne – Lapinlampi, Toivo 2013. Energiakaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO\\_2013.pdf?sequence=4](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4) Hakupäivä 10.2.2018.
8. Asko, Sarja 2010. Rakennuksen tiiviys. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK100301.pdf> Hakupäivä 12.4.2018.
9. Sandberg, Esa 2014. Ilmastointitekniikka osa 2. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Tampere: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
10. Sankiaho, Riku 2017. Tuloilman esilämmitys maapiirillä. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, talotekniikan tutkinto-ohjelma. Saatavissa: [http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/127380/sankiaho\\_riku.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/127380/sankiaho_riku.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Hakupäivä 15.1.2018.

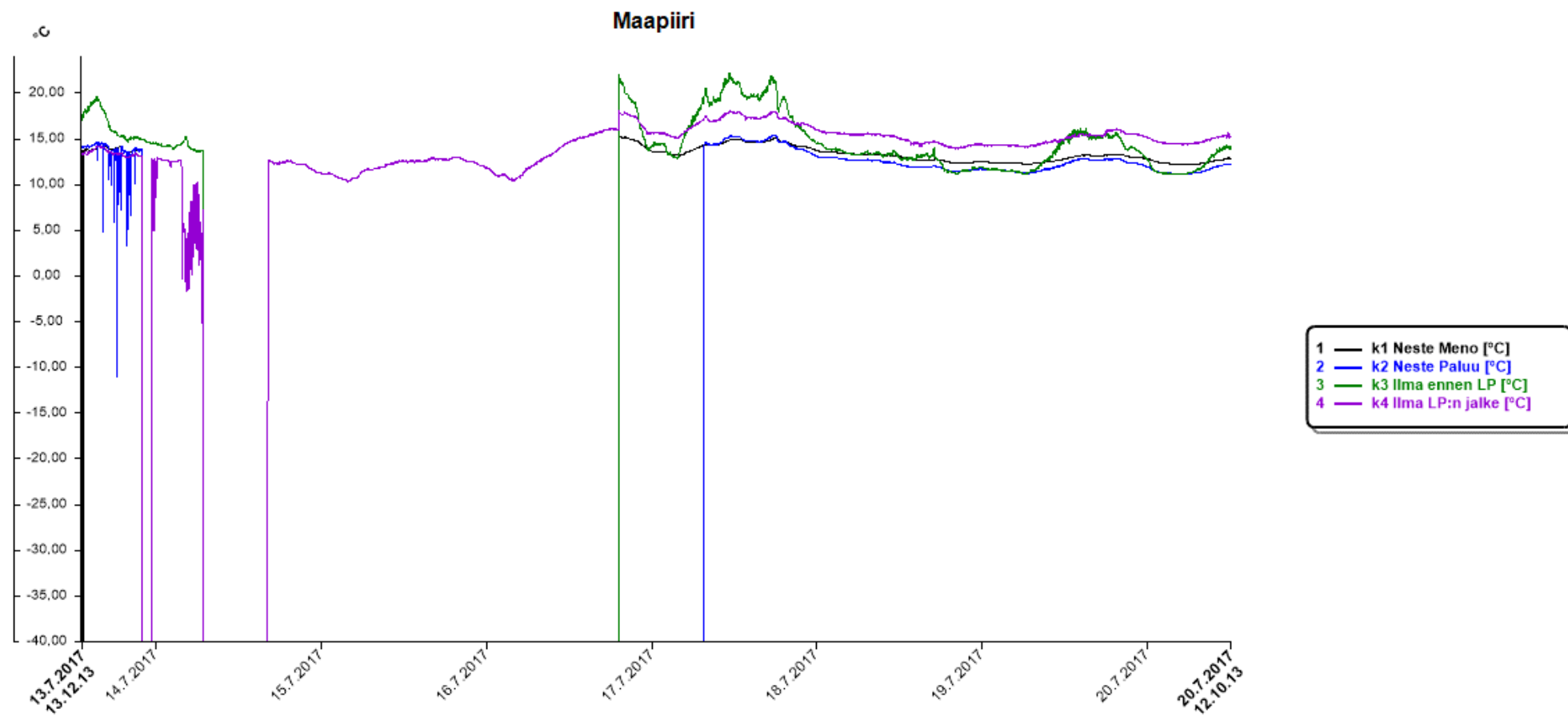
11. Balometri ilman huppua. 2018. Teknocalor. Saatavissa: <https://www.teknocalor.fi/ilmanvaihdon-mittauslaitteet/huppumittarit/balometri-ilman-huppua-m3106200e?returnurl=%2filmanvaihdon-mittauslaitteet%2fhuppumittarit%2f> Hakupäivä 28.1.2018.
12. Säähavaintojen lataus. Ilmatieteenlaitos. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/> Hakupäivä 12.2.2018.
13. Humidity conversion formulas. Väisälä. Saatavissa: [https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/Humidity\\_Conversion\\_Formulas\\_B210973EN-F.pdf](https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/Humidity_Conversion_Formulas_B210973EN-F.pdf) Hakupäivä: 23.4.2018.
14. Energiatehokkuus. 2018. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/name/%7B4332AA81-75E1-4CA0-B208-B0ACB60A267F%7D/133692> Hakupäivä 25.5.2018.
15. Vallox MLV MULTI 200/250 –lämmitys-viilennyskanavapatteri. Ohje. Vallox oy. Saatavissa: [https://www.vallox.com/files/771/Manual\\_Vallox\\_MLV\\_Multi\\_200\\_250\\_FIN\\_SWE\\_ENG\\_20180213\\_PRINT.pdf](https://www.vallox.com/files/771/Manual_Vallox_MLV_Multi_200_250_FIN_SWE_ENG_20180213_PRINT.pdf) Hakupäivä: 3.9.2018.

Maapiiri

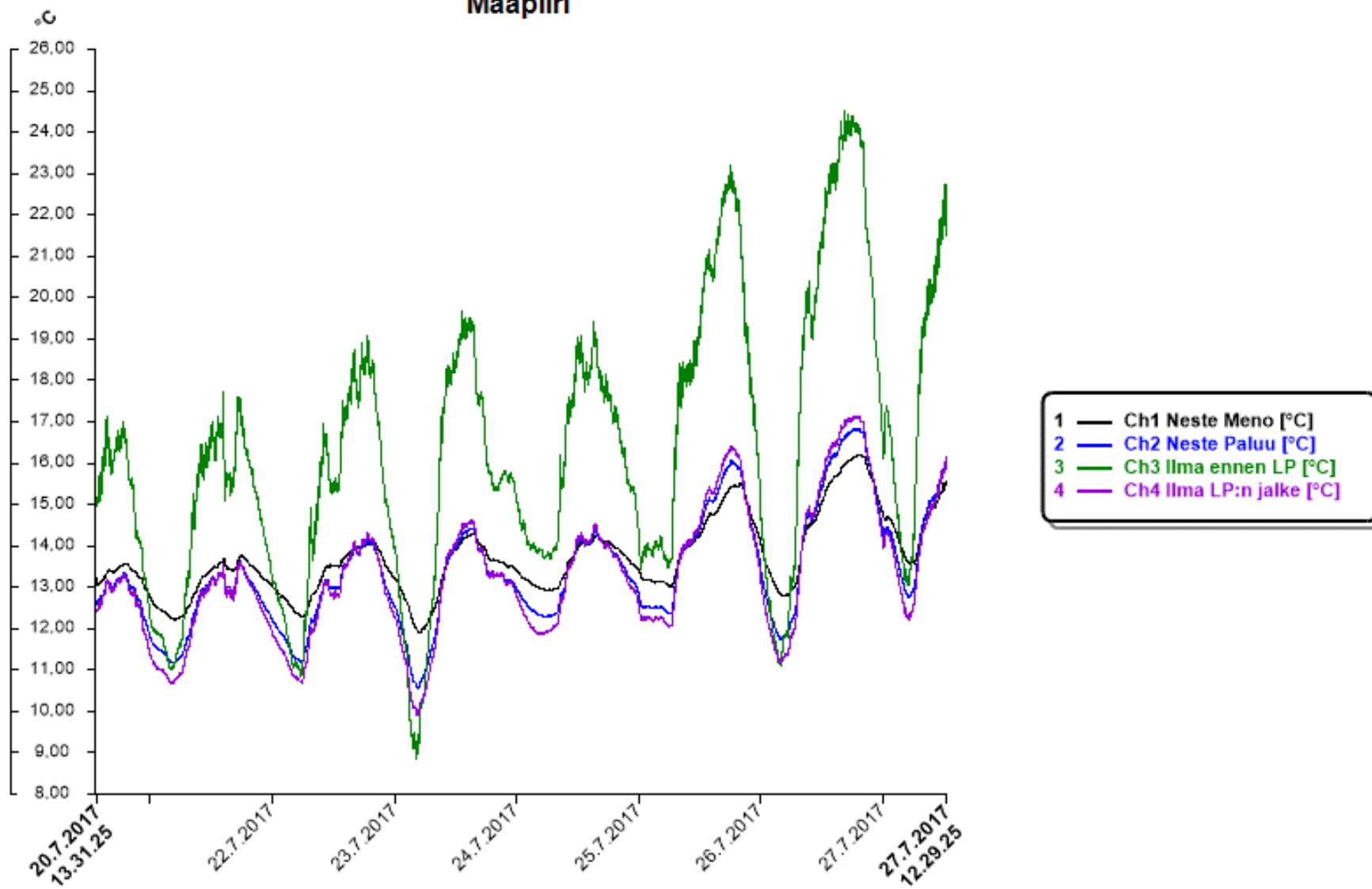




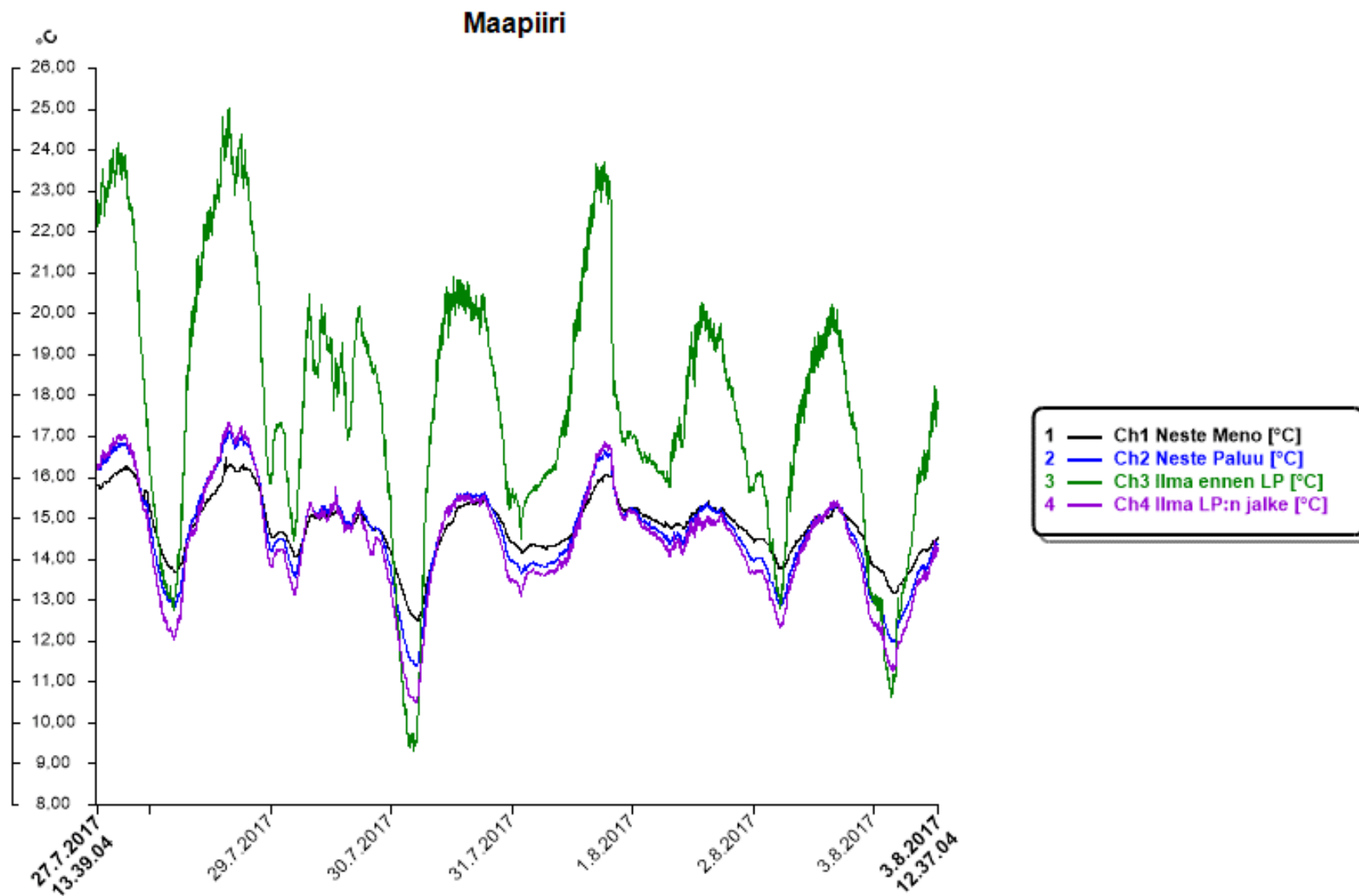


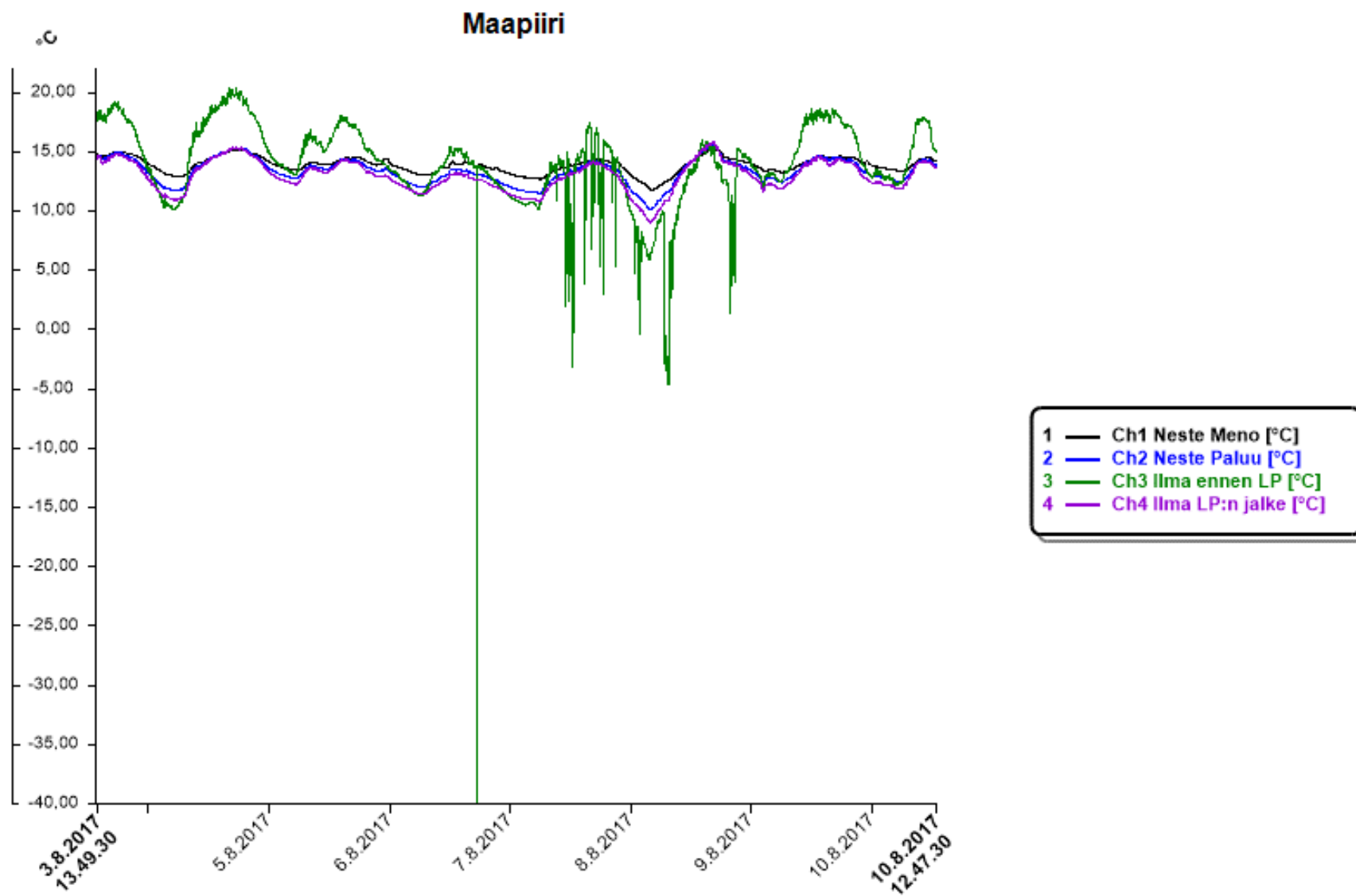


### Maapiiri

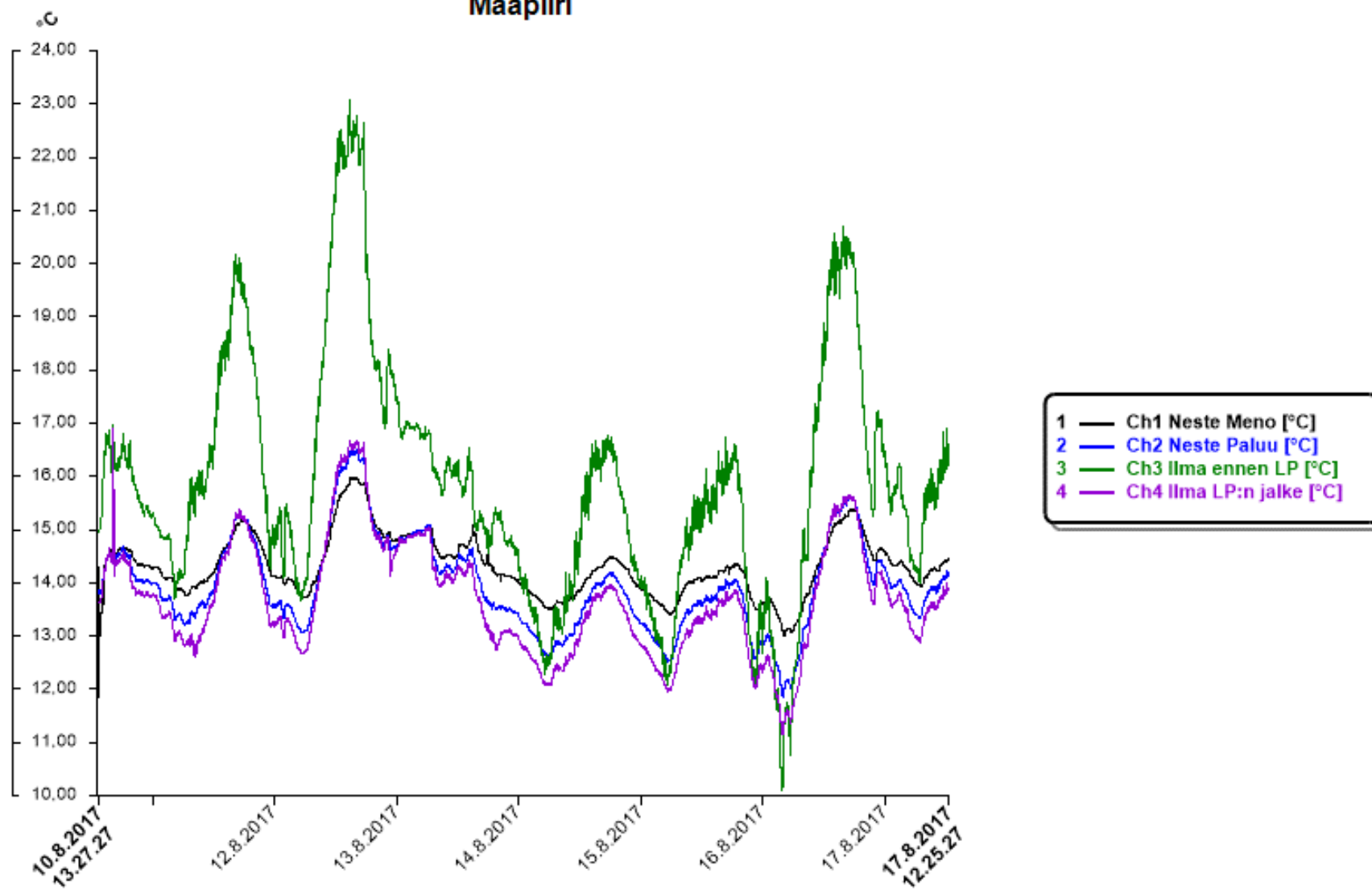


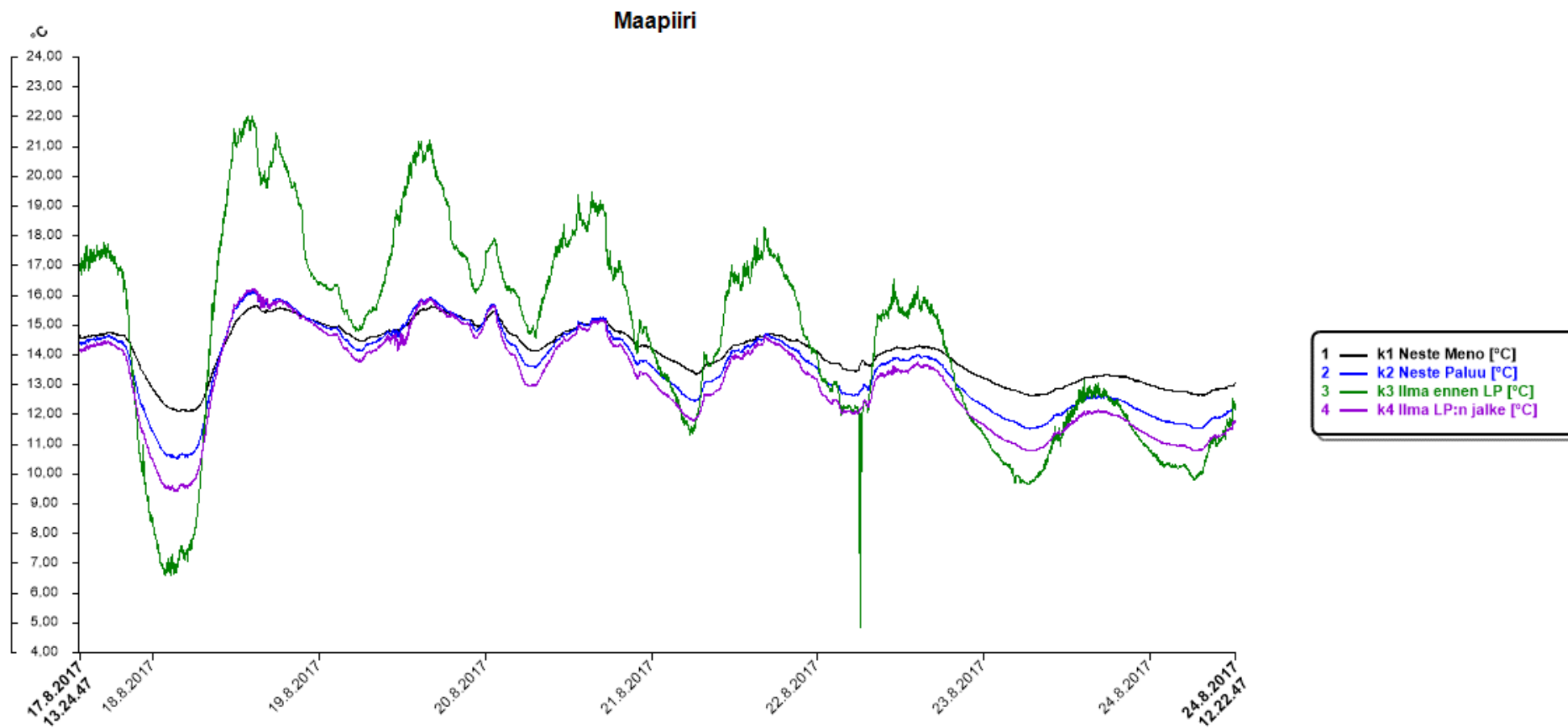


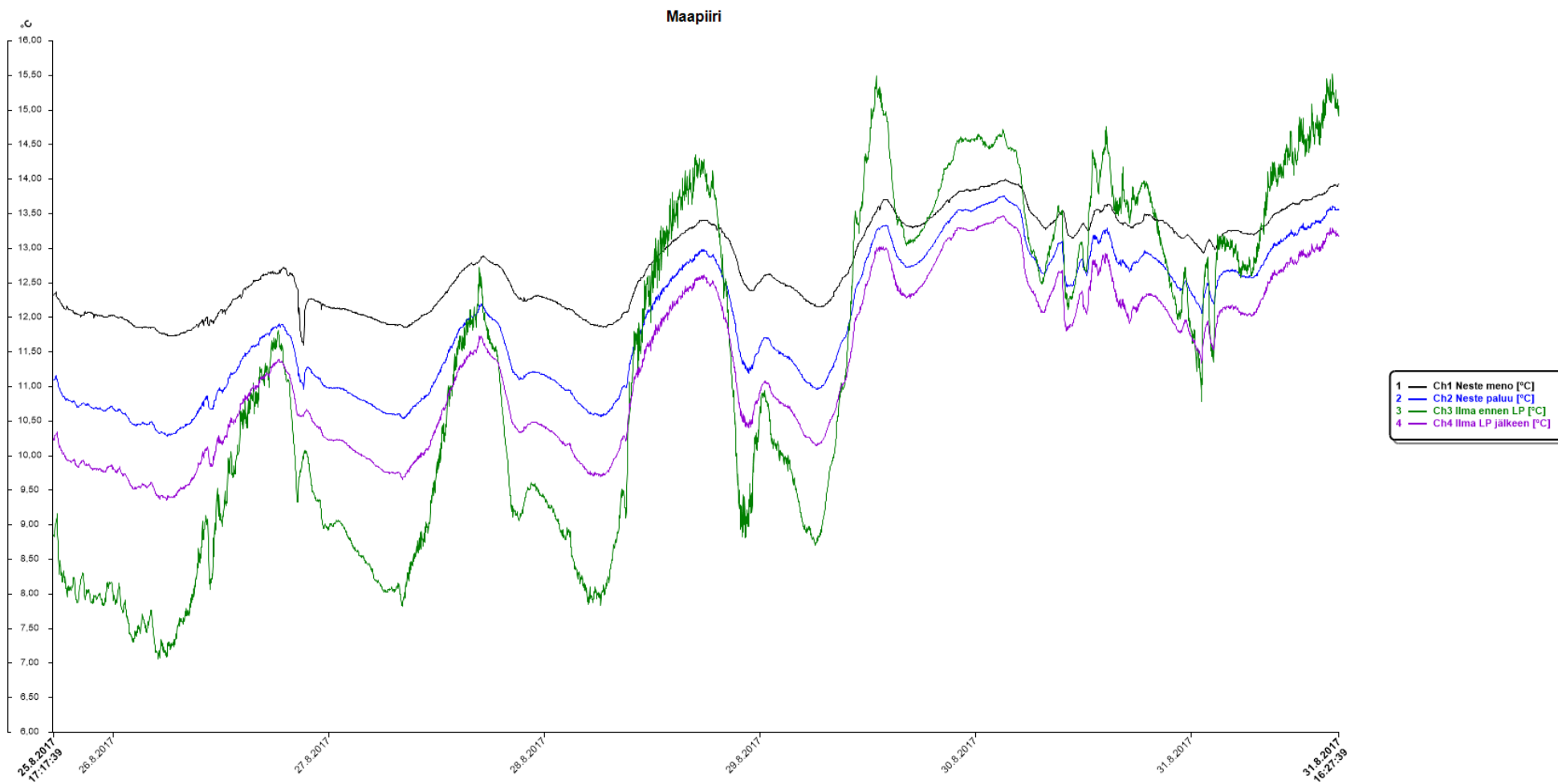


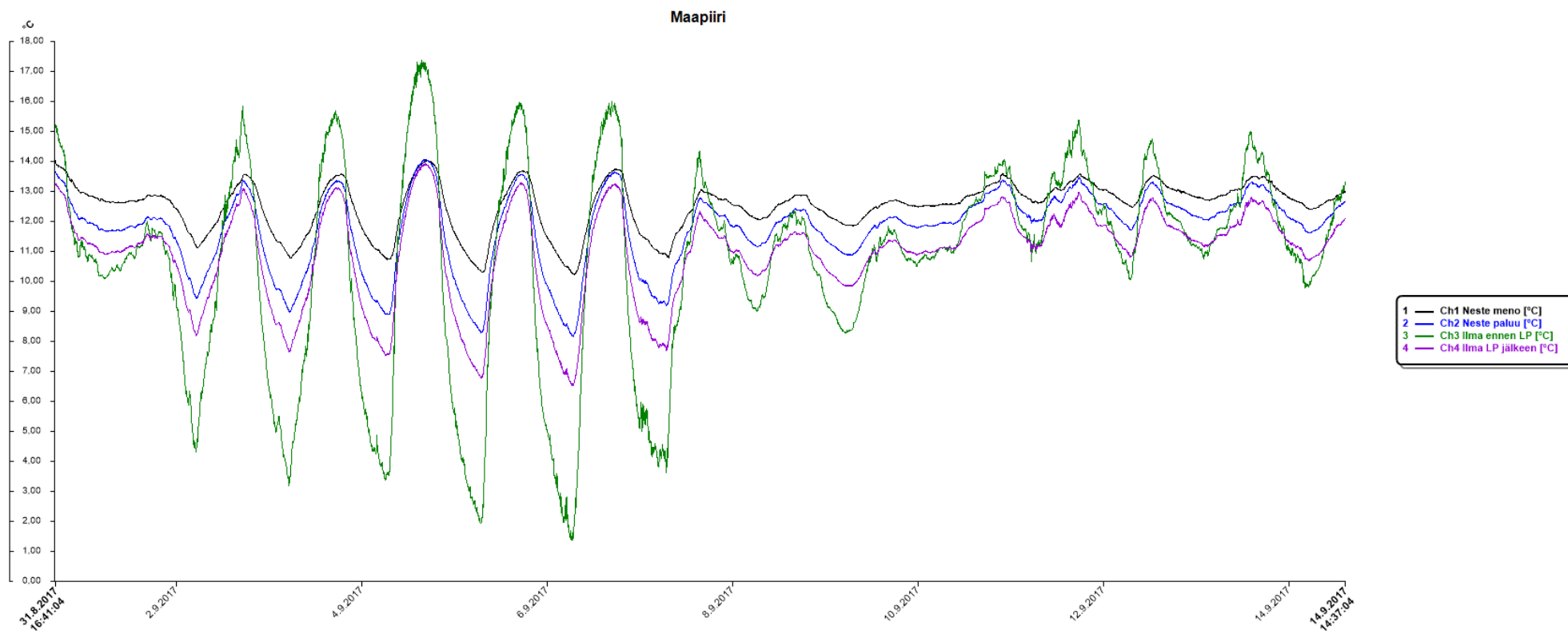


### Maapiiri

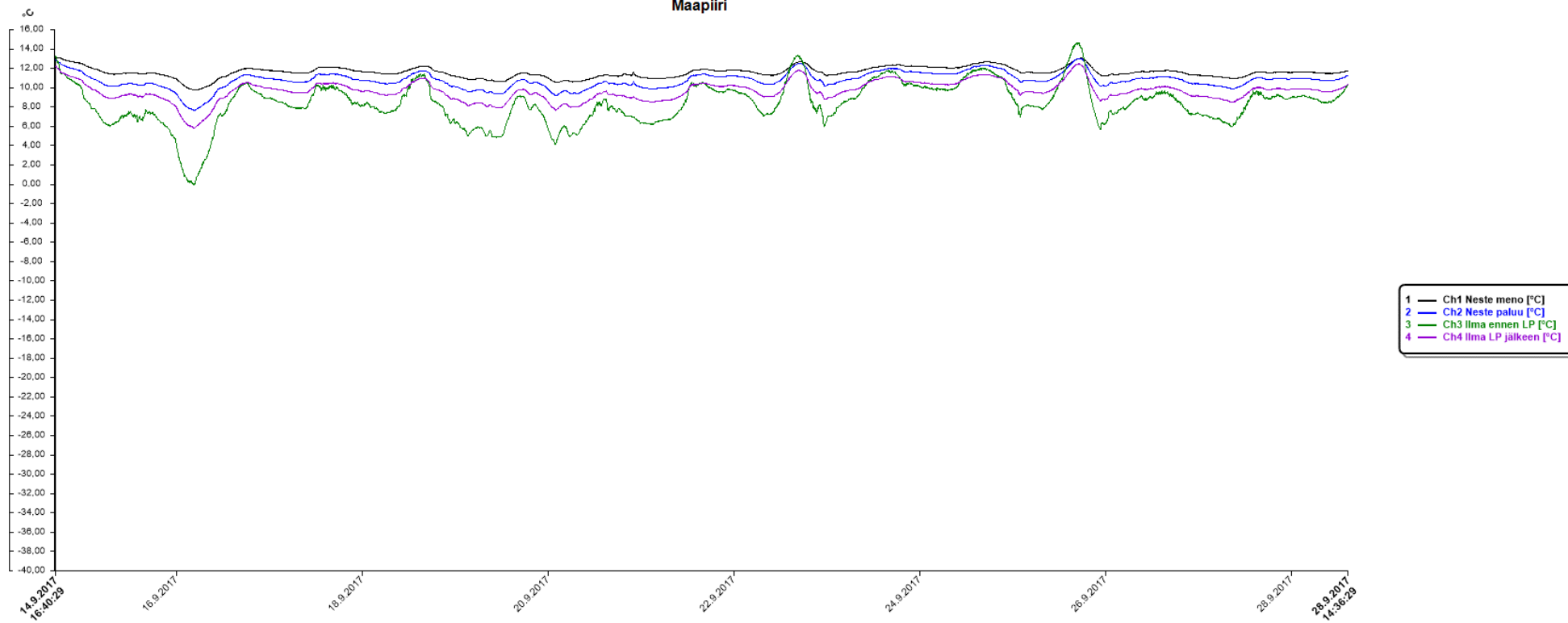


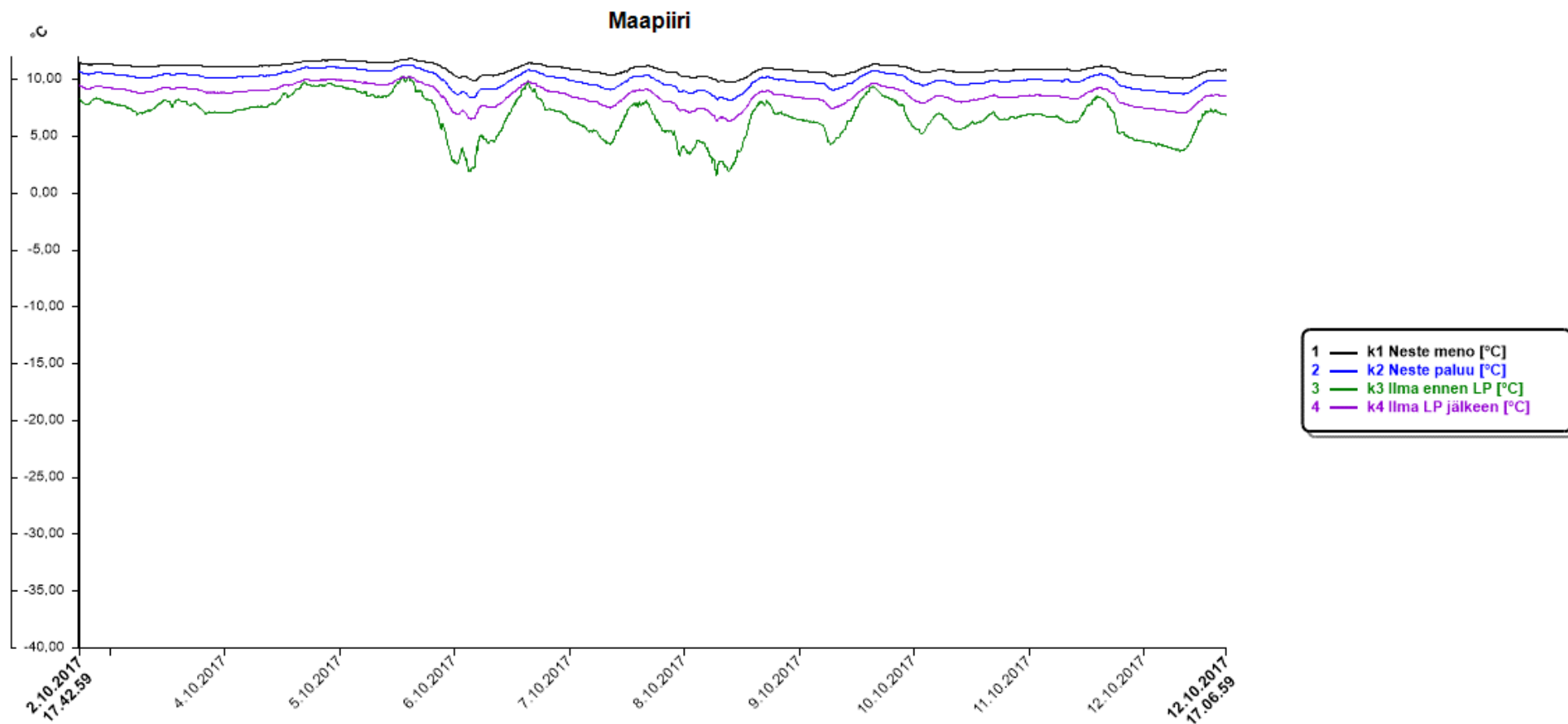




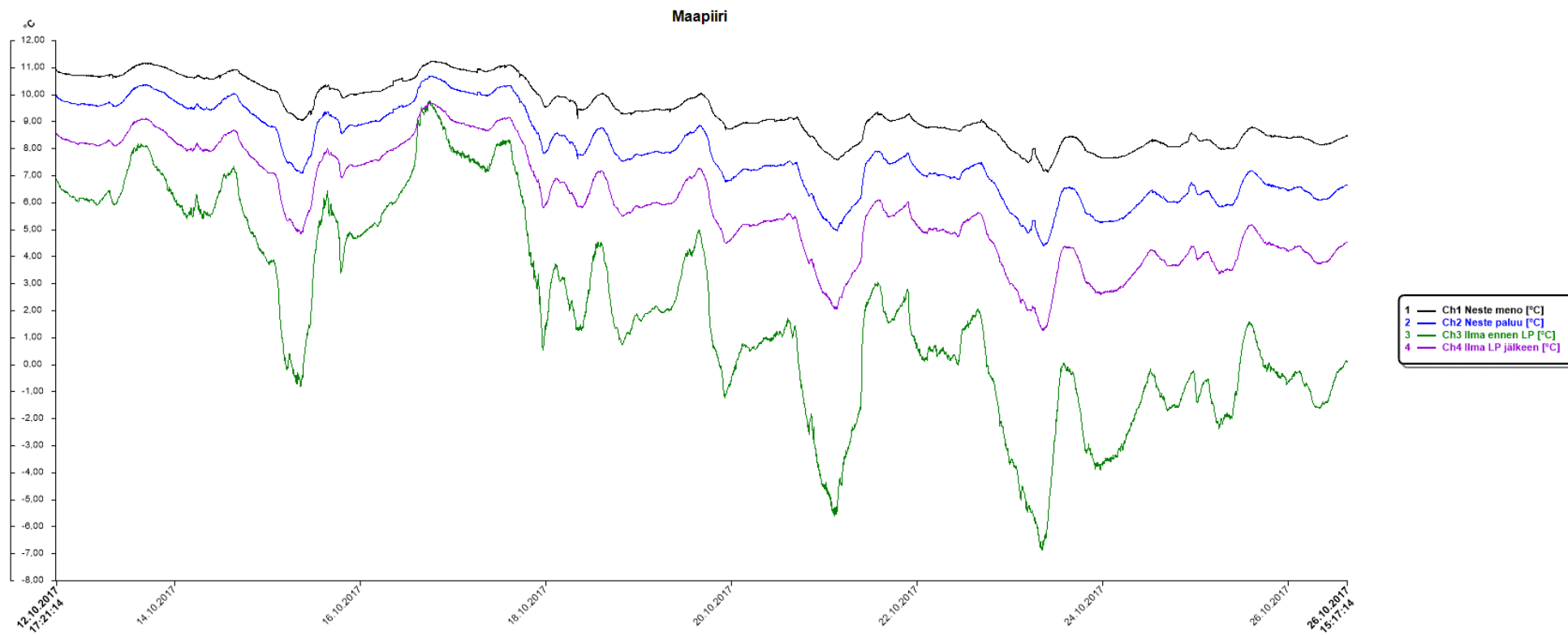


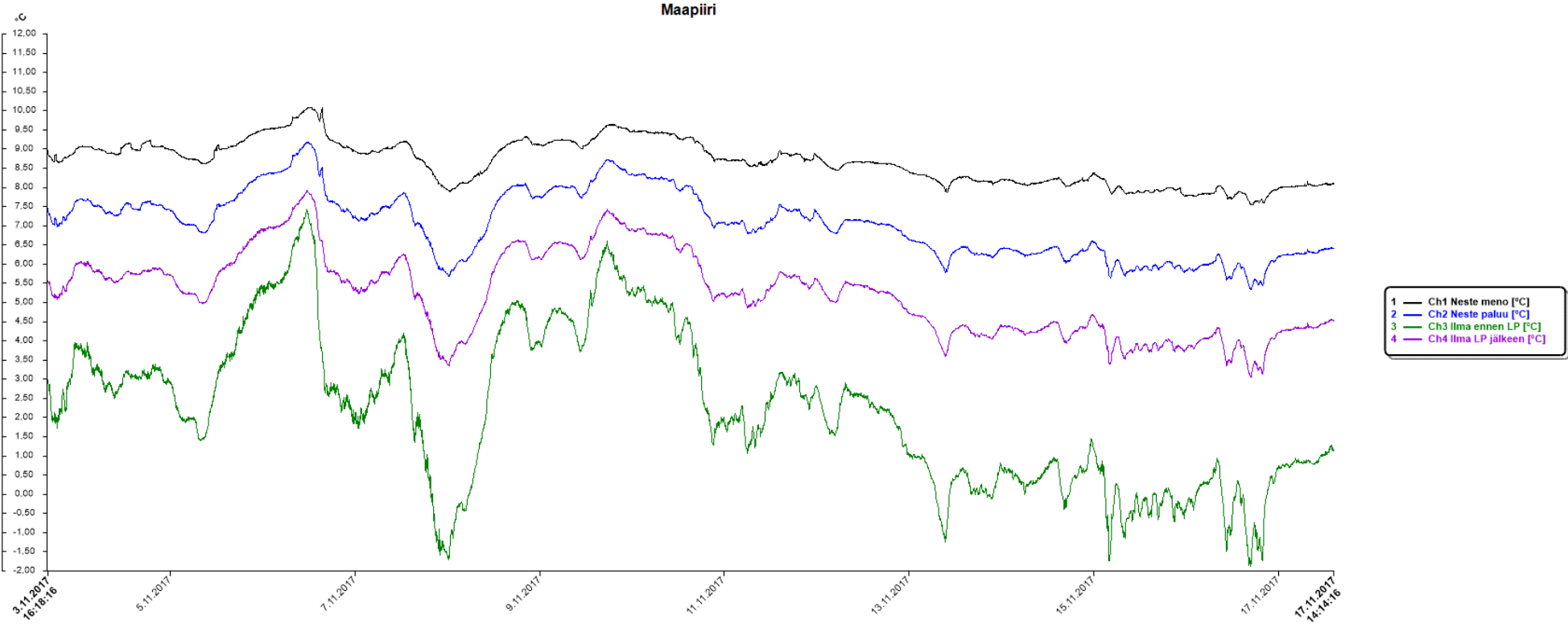
Maapiiri

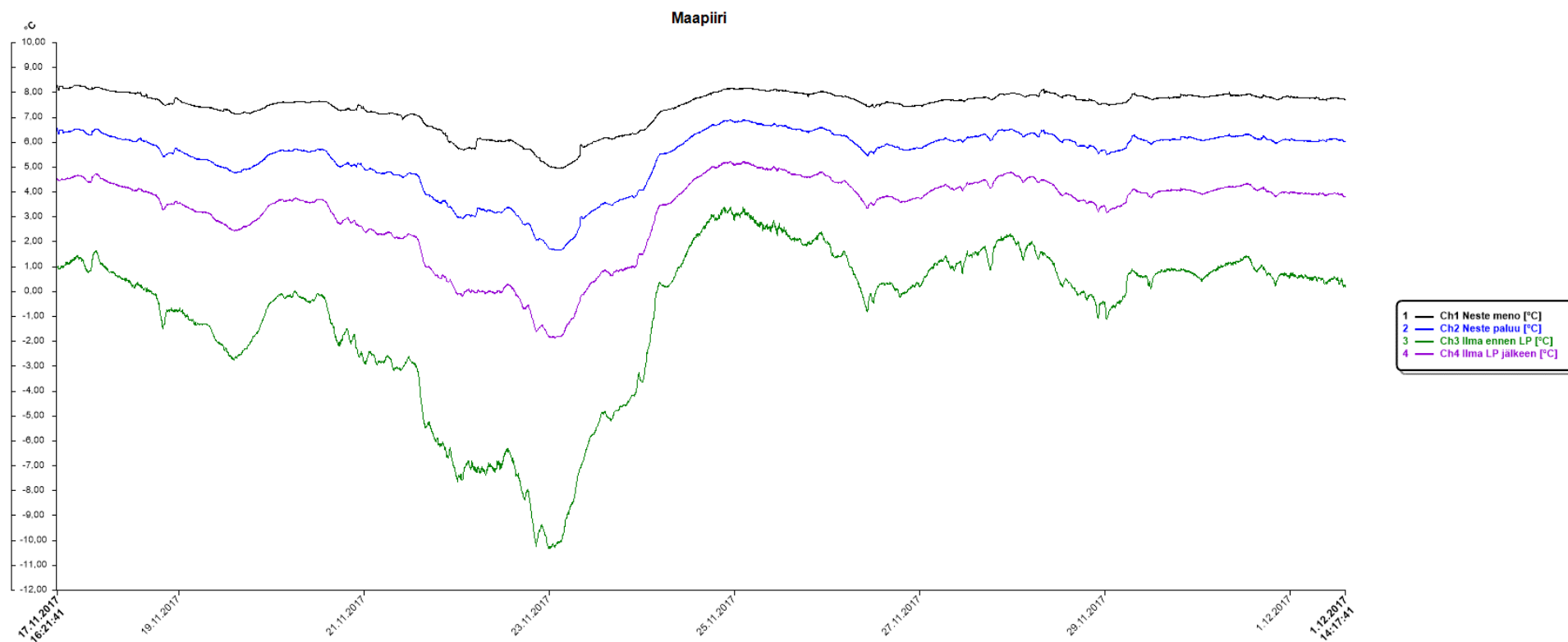


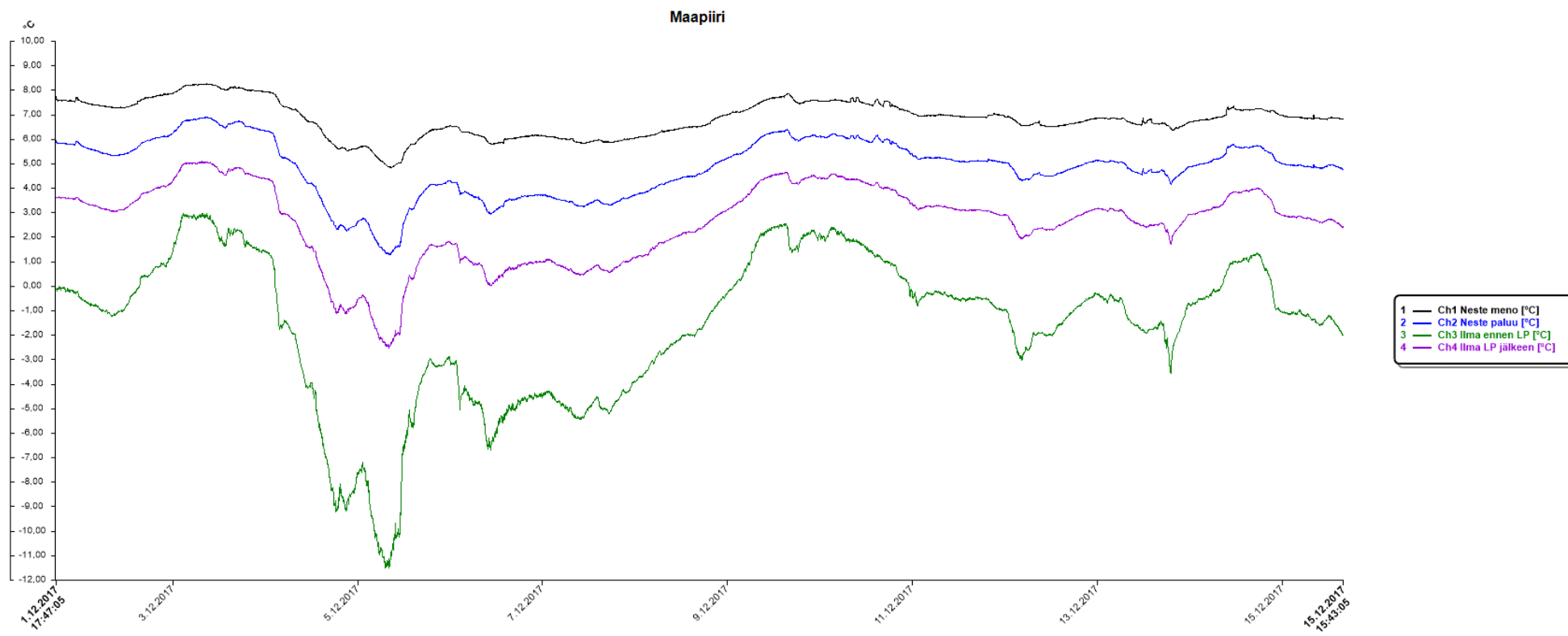


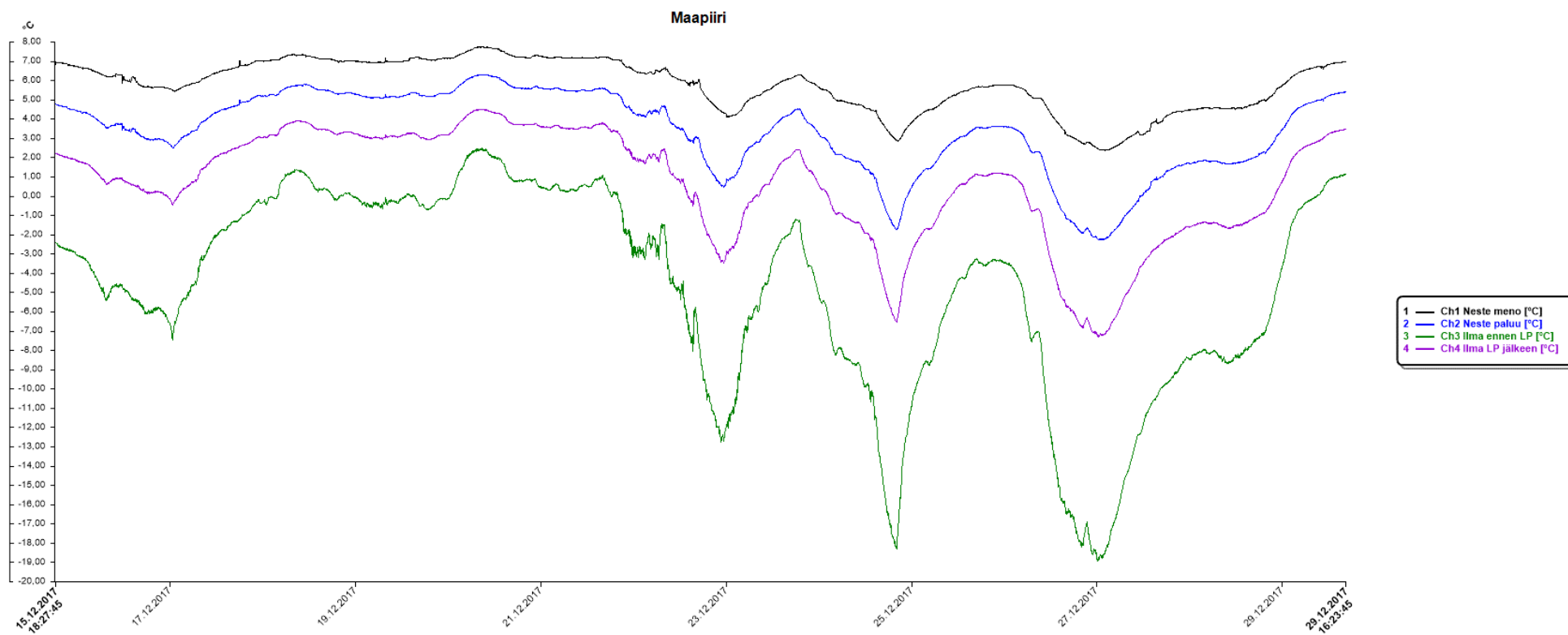


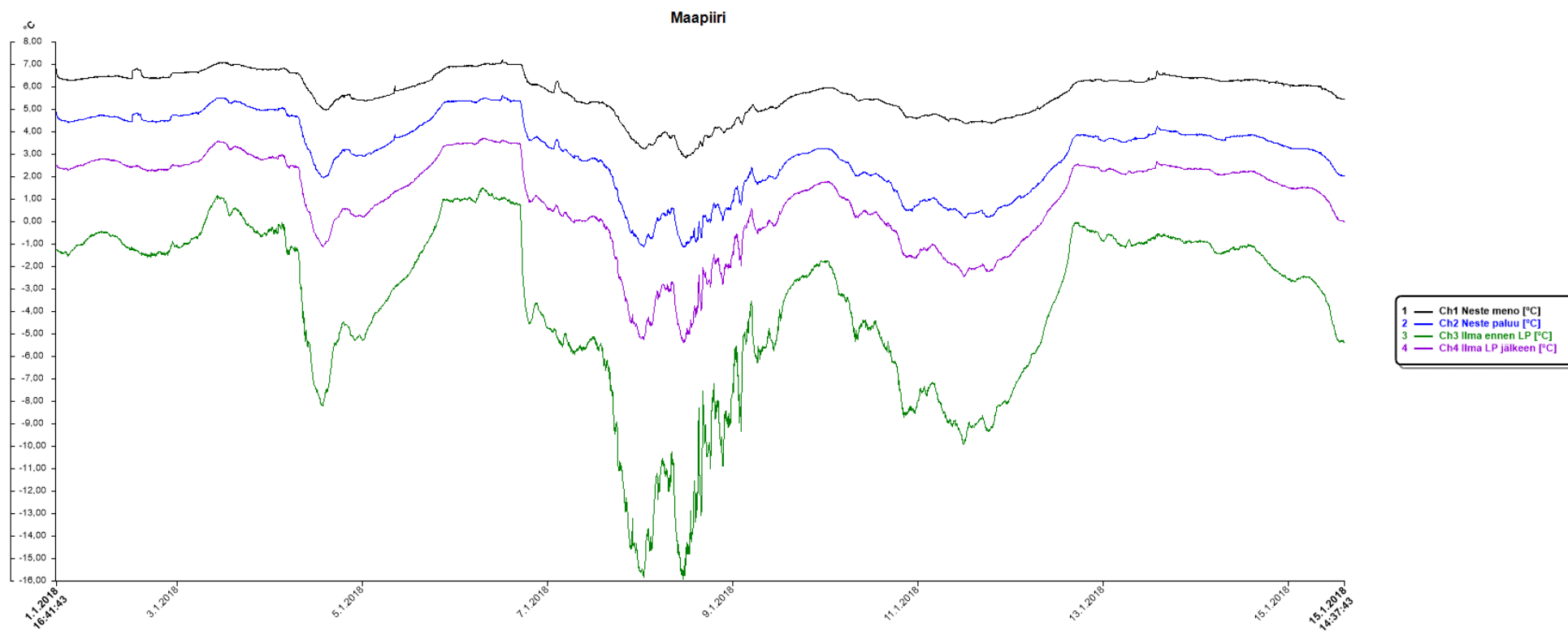


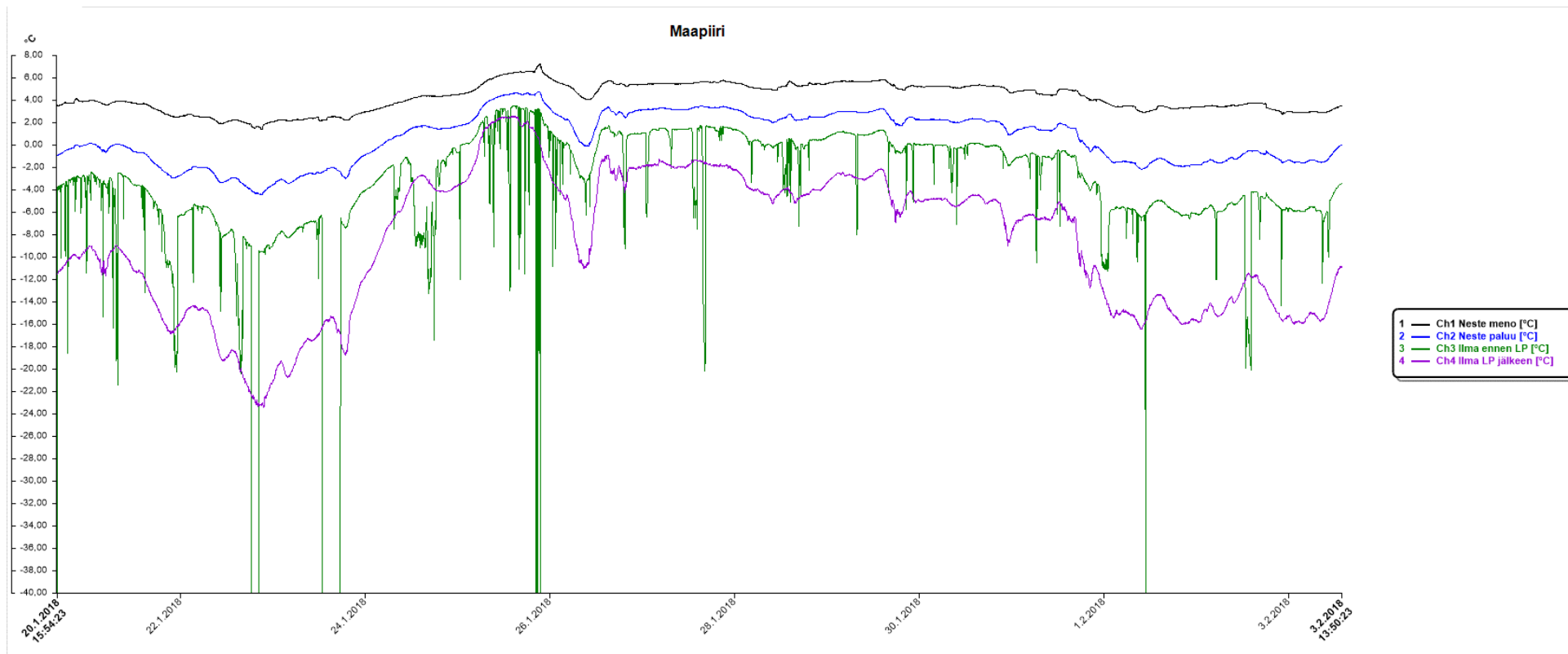


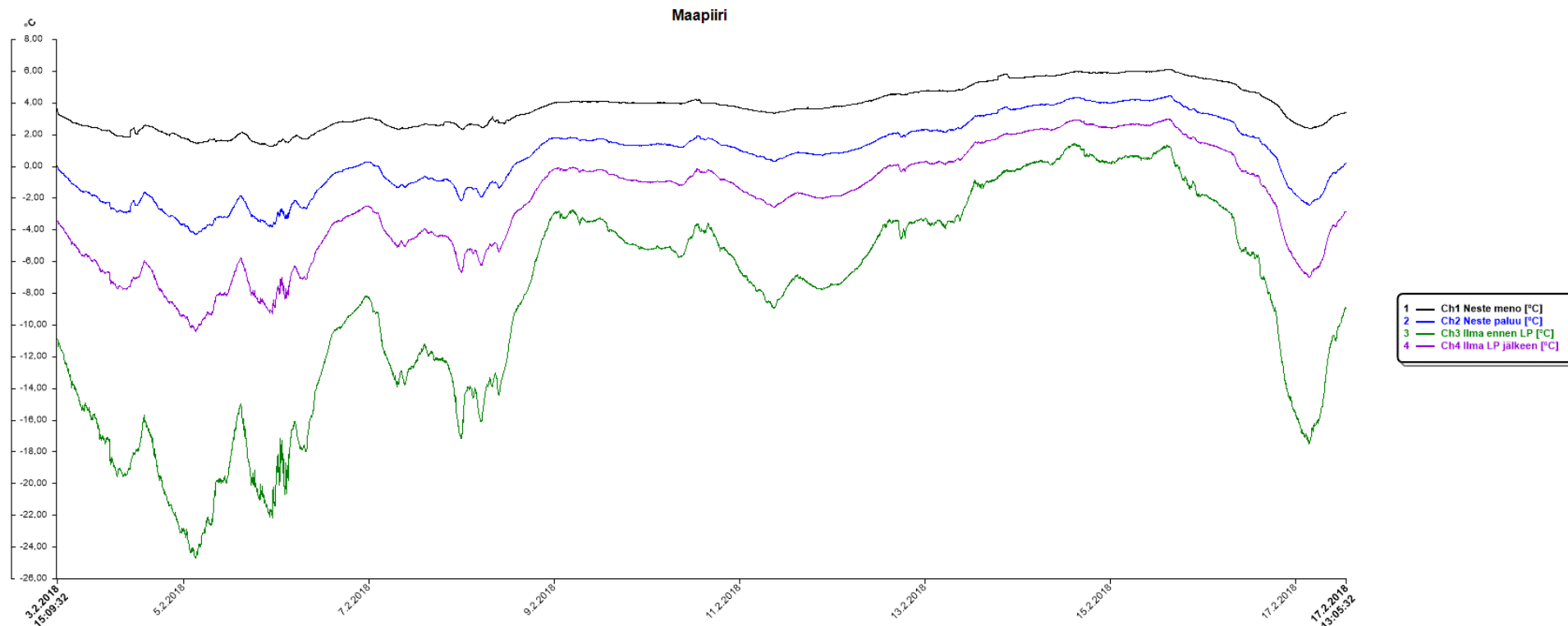




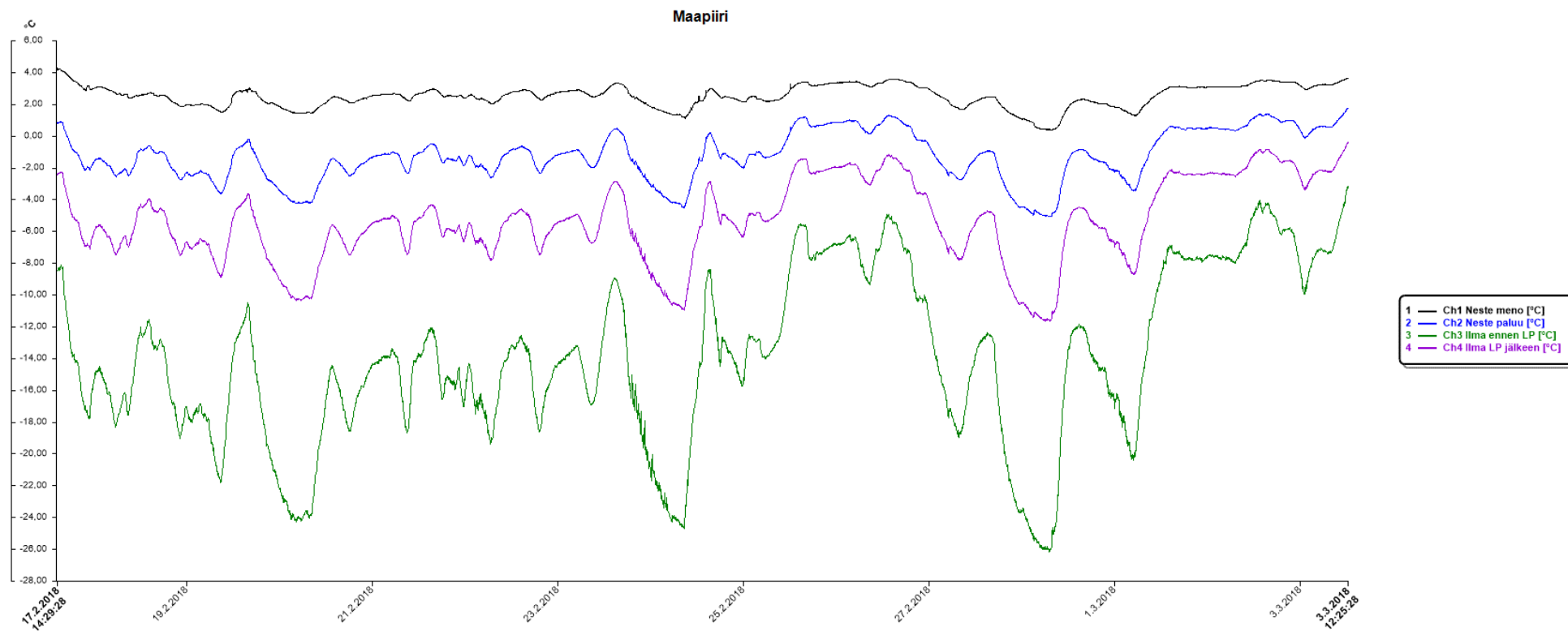


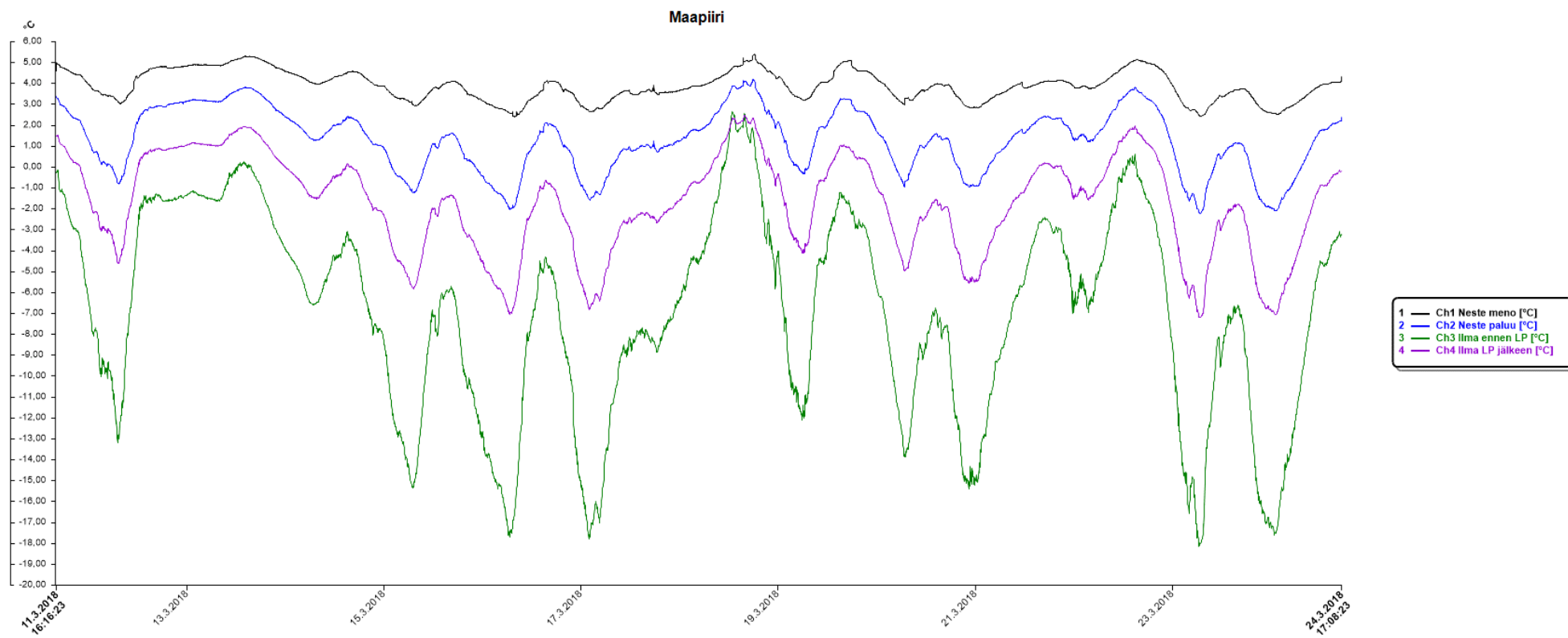


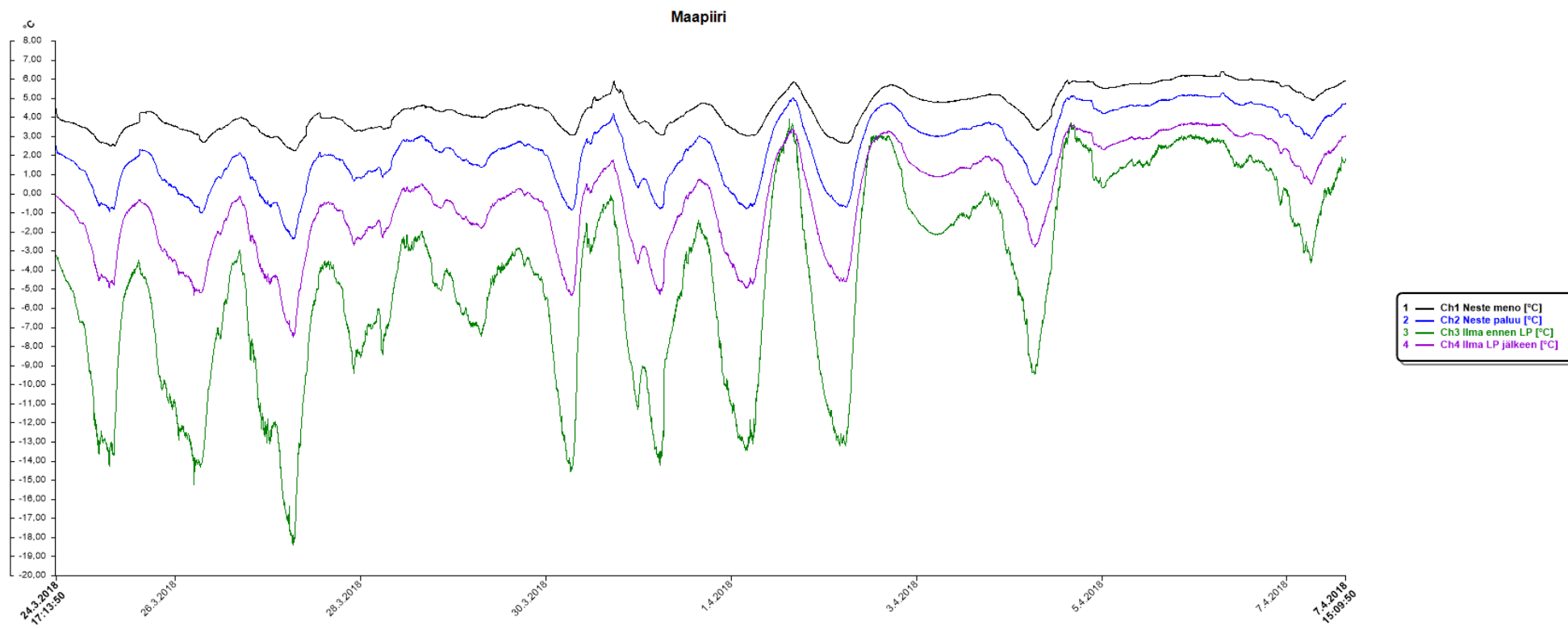












## Keskiarvoja kuukausittain

## LIITE 2/1

Kuukausi	Neste meno	Neste paluu	Ilma ennen LP	Ilma LP jälk	Øneste	Øilma	teho [w/m]	energia kWh/m	JLP+P energiankulutus kWh	JLP energiankulutus ilman patteria kWh
Kesäkuu	11,2	11,1	12,5	10,3	-22,0	-214,3	-0,1	-0,11	0	0
Heinäkuu	13,7	13,8	16,73	13,341	27,7	-356,8	0,2	0,14	0	0
Elokuu	13,90	13,38	14,38	13	-199,62	-146,9	-1,3	-0,99	0	0
Syyskuu	12,05	11,25	9,5	10,29	-311,4	76,6	-2,1	-1,49	0	4,82
Lokakuu	11,22	10,33	7,57	9,08	-504,34	285,8	-3,4	-2,50	18,49	54,66
Marraskuu	8,03	6,23	0,64	4,22	-696,03	347,37	-4,6	-3,34	64,44	118,07
Joulukuu	6,35	4,13	-3,13	1,65	-860,3	463,8	-5,7	-4,27	103,76	208,17
Tammikuu	6,47	4,61	-1,03	2,52	-1042,58	458,11	-7,0	-5,17	53,52	103,4
Helmikuu	2,18	-2,55	-18,78	-7,36	-1356,93	725,3	-9,0	-6,08	183,32	544,28
Maaliskuu	2,46	-0,78	-11,59	-4,38	-1013,26	516,3	-6,8	-5,03	121,54	261,76
Huhtikuu	5,04	3,41	-1,3	1,3	-631,8	252,8	-4,2	-3,03	23,29	31,29
	8,4	6,8	2,3	4,9	-601,0	218,9	-4,0	-2,9	568	1326
	Punaisella merkityistä kuukausista puuttuu mittausdataa									