

Poistoilmalämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä

Kirjoittajat: Miika Rämä, Rami Niemi, Lassi Similä

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi		
Poistoilmalämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot		Asiakkaan viite
Energiateollisuus ry Mirja Tiitinen PL 100, Fredrikinkatu 51-53B, 00101 Helsinki		
Projektin nimi		Projektin numero/lyhytnimi
Poistoilmalämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä		POKA
Tiivistelmä		
<p>Lämmön talteenottoa hyödyntävät poistoilmalämpöpumppujärjestelmät (ns. PILP – järjestelmät) ovat yleistymässä erityisesti 1960-1990 välillä rakennetuissa asuinrakennuksissa. Järjestelmä on taloudellisesti kiinnostava kiinteistön omistajan näkökulmasta, mutta voi aiheuttaa ongelmia ja kustannuspaineita kaukolämpöyhtiölle.</p> <p>Samat kiinteistöt ovat usein kaukolämmön piirissä ja järjestelmä vähentää kaukolämmön kulutusta merkittävästi, noin puoleen. Kohteiden yleistyessä tällä on vaikutusta myös itse kaukolämpöjärjestelmään sekä vähentyneen kaukolämmön kysynnän että kytkennästä riippuen nousseen paluulämpötilan kautta; molemmat heikentävät kaukolämpöverkon ja erityisesti yhteistuotannon tehokkuutta. Paluulämpötilan suhteen ratkaisuna on kytkentätavan järkevä valinta, mutta kaukolämmön kulutus vähenee joka tapauksessa.</p> <p>Energiajärjestelmän näkökulmasta paikallinen, kiinteistön sisäisen energiatehokkuuden paranemisesta saatu hyöty voidaan menettää tehokkuutta kokonaisuutena arvioitaessa. Yleisesti ottaen korkean rakennusasteen kaukolämpöjärjestelmien tehokkuus heikkenee poistoilmalämpöpumppujen yleistyessä, mutta tarkempi analyysi on aina tehtävä järjestelmäkohtaisesti ja riippuu kulutuksen ja tuotannon rakenteesta sekä käytettävästä tekniikasta sekä itse muutosten suuruudesta.</p> <p>Raportissa on esitetty laaja joukko kohteita mittaustietoineen, joiden perusteella PILP – järjestelmien toiminnasta, vaikutuksista ja mahdollisuuksista saa hyvän ja kattavan kuvan.</p> <p>Suomen tasolla realistinen pitkän aikavälin potentiaali kaukolämmön kulutuksen pienenemänä poistoilmalämpöpumppujen vaikutuksesta on arvioitu 2.7 TWh suuruiseksi. Lämpöpumppujen tuoma sähkönkulutuksen kasvu on tästä alle kolmannes, arviolta 0.8 TWh.</p>		
Espoo 8.9.2015		
Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
Miika Rämä Tutkija	Kari Sipilä Johtava tutkija	Tuula Mäkinen Tutkimusalueen päällikkö
VTT:n yhteystiedot		
PL 1000, 02044 VTT		
Jakelu (asiakkaat ja VTT)		
Energiateollisuus ry, Ympäristöministeriö, Suomen Kiinteistöliitto, Oy Pamon Ab, Enermix Oy, Jetitek Oy, NIBE Energy Systems Oy ja ReTermia Oy.		
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>		

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo.....	2
1. Johdanto.....	3
2. Taustaselvitys.....	4
1.1 Kytöntäperiaate.....	4
1.2 Asiakkaan näkökulma.....	6
1.3 Tuottajan näkökulma.....	6
1.4 Järjestelmän näkökulma.....	7
1.5 Potentiaaliarvio PILP –järjestelmille Suomessa.....	10
1.6 Kaukolämpöjärjestelmätason vaikutukset.....	11
1.6.1 Kaukolämpöverkon lämpöhäviöt.....	12
1.6.2 Vaikutus yhteistuotantoon.....	12
1.7 Kirjallisuusselvitys.....	16
3. Mittaustiedot.....	21
1.8 Mittauskohteet ja kerätyt mittaustiedot.....	21
1.9 Mittaustiedot.....	23
4. Yhteenveto.....	27
Lähdeviitteet.....	28

1. Johdanto

Tutkimuksen päätavoitteena on otsikon mukaisesti selvittää, kuinka poistoilmalämpöpumppujärjestelmät (ns. PILP -järjestelmät) vaikuttavat kaukolämpöjärjestelmään sekä esitellä kohdekohtaista mittaustietoa monipuolisesti. Tässä tutkimuksessa PILP -järjestelmillä tarkoitetaan toteutusta, jossa koneellisella ilmanvaihdolla varustettu kiinteistö ottaa poistoilmasta lämmön talteen ja hyödyntää tätä lämpöpumppujärjestelmän lämmönlähteenä lämmitykselle ja mahdollisesti käyttövedelle. Mukana tarkastelussa eivät siis ole yleensä omakotitalokokoluokan poistoilmalämpöpumppujärjestelmät, joissa tuloilmaa esilämmitetään suoraan poistoilmalla.

Kuvatun kaltaisen järjestelmän seurauksena rakennusten lämmitysenergian kulutus pienenee ja kytkennästä riippuen kaukolämpöverkkoon palaavan veden lämpötila usein nousee. Nämä molemmat heikentävät sekä siirtojärjestelmän eli kaukolämpöverkon että yhteistuotannon tehokkuutta. Toisaalta lämpöpumppu toimii tehokkaammin, mikäli se esilämmitää lämmitys- tai käyttövesikiertoa. Tämä sarjakytkentä tosin huonontaa kaukolämmön jäähtymää. Rinnankytkennällä jäähtymään ei ole vaikutusta.

Tarkoituksena on arvioida PILP -järjestelmien lämmitysenergian säästöpotentiaalia sekä pohtia asetelmaa järjestelmätasolla, yksittäisen kuluttajan ja kaukolämmön tuottajan näkökulmasta tilasto- ja mittaustiedoista koottuun aineistoon perustuen. Toteutettujen kohteiden mittaustietojen esittely ja analyysi ovat tutkimuksessa myös tärkeässä roolissa.

Kiinnostuksen kohteena ovat nimenomaan kaukolämpöön liitetyt suuret vuosien 1960 ja 1990 välillä rakennetut asuinkerrostalot, jotka muodostavat selkeimmän potentiaalisen tutkimuksen kohteena oleville PILP -järjestelmille. Näiden lämmitysenergian kulutustietoja on arvioitu laskennallisesti Suomen rakennuskannan ja ominaislämmitysenergian kulutuksen perusteella.

Järjestelmän ja kaukolämmön tuottajan näkökulmasta katsoen otetaan huomio myös välillinen vaikutus yhteistuotantoon perustuviin kaukolämpöjärjestelmiin. Lähtökohdat tähän tarkasteluun luodaan potentiaaliarvioon ja tilastotietoihin pohjautuen.

Hankkeen osatavoitteena on myös luoda pohjaa todennäköisille jatkohankkeille ja yleisesti lisätä kaikkien osapuolten tietämystä ajankohtaisesta aiheesta.

Tutkimuksen rahoittivat ja projektin ohjausryhmän muodostivat Energiateollisuus ry (Mirja Tiitinen), Ympäristöministeriö (Jyrki Kauppinen), Suomen Kiinteistöliitto ry (Petri Pyly), Ab Pamon Oy (Tatu Hartikainen), Enermix Oy (Janne Heinonen), Jetitek Oy (Väinö Jaako), NIBE Energy Systems Oy (Juha Tikka) ja Retermia Oy (Lassi Saarinen). Ohjausryhmän sisäiseen keskusteluun osallistuivat myös Ilkka Rautio (Fortum) ja Markus Alén (Helsingin Energia). Vuoropuhelulla energiayhtiöiden, lämpöpumppuyritysten ja kiinteistön omistajien edustuksen välillä sekä koko ohjausryhmän kommentteilla oli merkittävä panos projektin lopputulokseen.

2. Taustaselvitys

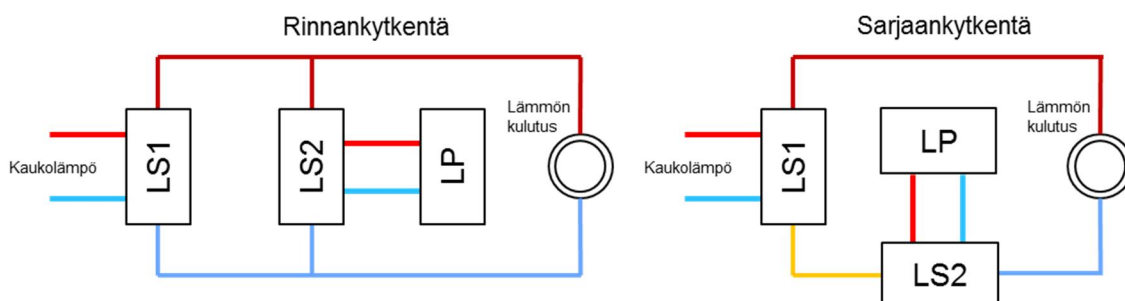
Poistoilman lämmöntalteenottoa hyödyntävät lämpöpumppujärjestelmät (PILP –järjestelmät) vaikuttavat kaukolämpöjärjestelmään vähentyneen lämmönkulutuksen sekä kytkennästä riippuen mahdollisesti kohonneen kaukolämmön paluulämpötilan kautta. Sama pätee pääpiirteissään myös muihin ns. rinnakkaislämmönlähteisiin kuten aurinkolämpöön. Kiinnostus tämän tyyppiin hajautetun energiatuotannon teknologioihin on selvästi nousussa. Tämän vuoksi kokonaisvaltaiselle tutkimukselle, siihen perustuvalla ohjeistukselle ja uusille liiketoimintamalleille parhaillaan kehittyvässä tilanteessa on selkeä tarve.

Liityntäpinta kaukolämpöön muodostaa parasta mahdollista toimintatapaa selvittäessä huomattavan määrän riippuvuussuhteita, jotka eivät aina ole itsestään selviä. Niiden suhteellisen merkityksen tai mitattavissa olevien suureiden tapauksessa itse lukuarvojen selvittäminen on työlästä ja aina tapauskohtaista. Eri vaihtoehtojen vertailu tuottaa myös erilaisia tuloksia riippuen siitä tarkastellaanko asiaa asiakkaan tai energiayhtiön näkökulmasta. Usein juuri näiden kahden toimijan edut ovat ristiriidassa toisiinsa nähden. Tässä raportissa on pyritty nostamaan esille myös järjestelmänäkökulmaa eli miten ongelma näyttäytyy kokonaisuutta arvioitaessa.

Seuraavissa kappaleissa käydään läpi kytkentään liittyviä perusratkaisuja ja näiden vaikutusta kaukolämmön paluulämpötilaan sekä lämpöpumpun tehokkuuteen ja lämpökeskuksen yleiseen toimintaan. Lisäksi käsitellään asiaa asiakkaan ja tuottajan näkökulmista sekä muodostetaan potentiaaliarvio PILP –järjestelmien mahdollistamalle lämmitysenergian säästölle Suomen rakennuskantatietoihin perustuen. Tämän arvion perusteella arvioidaan myös vaikutusta kaukolämpöön järjestelmätasolla.

1.1 Kytkentäperiaate

Kytkenän valinnalla on suuri merkitys PILP- ja kaukolämpöjärjestelmän välisille vaikutuksille. Tämä rajapinta on myös hyvä esimerkki edellä mainituista ristiriidoista. Kytkennälle on kaksi päätyyppiä; rinnankytkentä ja sarjaankytkentä. Alla kuvassa 1 on esitetty nämä kaksi vaihtoehtoa yksinkertaistaen periaatteellisella tasolla.



Kuva 1. Kaukolämmön rinnakkaislämmönlähteen rinnan- ja sarjaankytkentä.

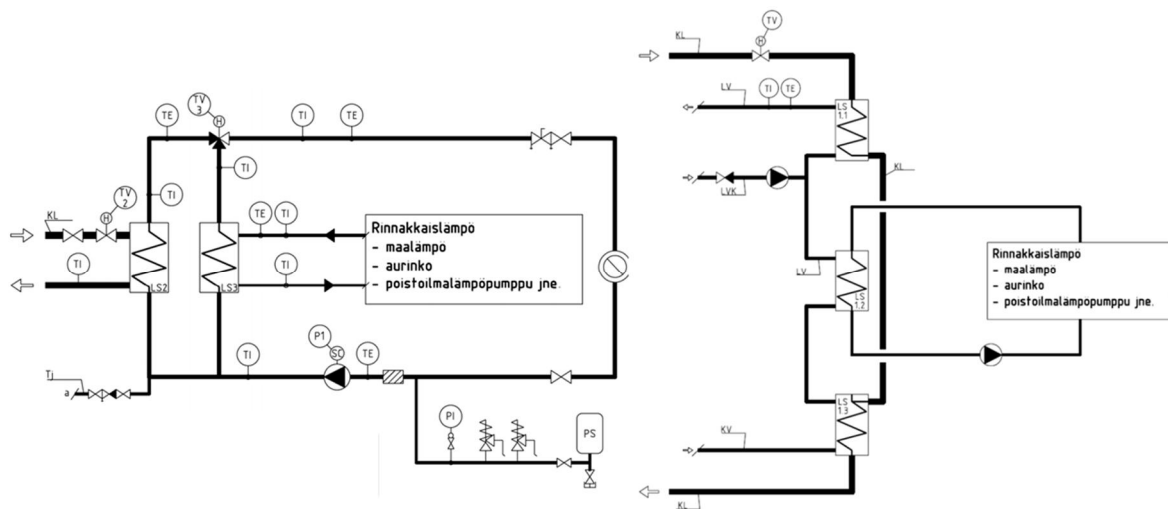
Ensin mainitussa kytkentätavassa rinnakkaislämmönlähde ja kaukolämpö lämmittävät lämpötilaltaan samaa lämmityksen jakelujärjestelmästä palaavaa vettä. Näin leikataan vain kulutusta, ei jäähtymää. Vaikka kaukolämmön lämmönsiirrin joutuu korkeammilla lämmityskierron säätölämpötiloilla tuottamaan sen mitoituslämpötiloja kuumempaa vettä, sen ylimitoituksen ansiosta tämä ei vaikuta paluulämpötilaan vaan sen määrittää käytännössä

edelleen lämmityskierrosta palaavan veden lämpötila. Mikäli kaukolämmön lämmönsiirrin on mitoitettu osalle tehosta, kaukolämmön paluulämpötila nousee myös rinnankytkennässä.

Käyttöveden kytkennän osalta rinnakkaislämmönlähde kytketään ylemmälle lämpötilatasolle kaukolämmön päästessä esilämmittämään käyttövettä, jolloin jäähtymä säilyy siirtimien mitoituksesta riippuen todennäköisesti hyvällä tasolla. Käyttöveden kierron lämmitys on myös jätetty kaukolämmölle. Lämpöpumpun mitoituksilämpötiloista riippuen kaukolämpöä tarvitaan edelleen käyttöveden lämpötilan nostamiseksi vaadittuun 58 °C saakka.

PILP –järjestelmässä kuten missä tahansa lämpöpumpusovelluksessa lämpöenergia siirtyy lämpötilatasosta toiseen tehokkaimmin mahdollisimman pienellä lämpötilaerolla. Tällainen tilanne saavutetaan järjestelmän sarjaankytkennällä kaukolämmön kanssa. Käytännössä tämä tarkoittaa lämmityksen paluuvirtauksen ja käyttöveden esilämmitystä ennen kaukolämmön lämmönsiirintä. Tämä järjestely nostaa lämpöpumpun tehokkuutta ja tuotantoa, mutta nostaa myös vastaavasti kaukolämmön paluulämpötilaa. Paluulämpötilassa näkyvän vaikutuksen suuruus riippuu PILP –järjestelmän tavoitelämpötilojen säätöarvoista.

Voimassa olevan kytkentäohje (K1/2013) vastaa kaukolämmön ja rinnakkaislämmönlähteen rinnankytkentää. Kytkentä on esitetty alla kuvassa 2.



Kuva 2. Rinnakkaislämmön kytkentäohje K1/2013 -ohjeistuksen mukaisesti lämmitykselle (vas.) ja käyttöveden tuotannolle.

Itse kytkennän lisäksi myös säätöjärjestelmällä sekä sen asetusarvoilla on suuri merkitys järjestelmän suorituskykyä ja vaikutusta kaukolämpöverkkoon tarkasteltaessa. Usein rinnakkaislämmönlähteisiin liittyy varaaja tai muu energiavarasto, joka tekee kytkennästä hieman monimutkaisemman, mutta parantaa rinnakkaislämmön hyödynnettävyyttä.

Tämän raportin tarkoituksena ei ole suositella tiettyä kytkentätapaa vaan nostaa esille ajatus siitä, että kytkentää suunniteltaessa tulisi huomioida myös kaukolämpöjärjestelmän toiminnan kannalta oleelliset asiat, erityisesti jäähtymä. Kaukolämmön kannata epäedullisella kytkentätavalla menetetään laajemmin asiaa tarkasteltaessa järjestelmän tuoman energiansäästön hyöty osin tai kokonaan. Lisäksi tästä syntyneet kustannukset jätetään kaikkien kaukolämpöjärjestelmän kuluttajien maksettavaksi.

1.2 Asiakkaan näkökulma

Sen sijaan, että lämpöpumppuja ajatellaan vaihtoehtoisena lämmöntuotantomuotona, voidaan PILP –järjestelmän katsoa olevan puhtaasti energiansäästötoimenpide. Verrattuna tavalliseen, nykytaloissa yleiseen passiiviseen lämmön talteenottoon ilmanvaihdossa, tehokkaan lämpöpumpun käyttö tuottaa suuremmat energiansäästöt. Koska lämpöpumpulla voidaan tehdä myös käyttövetä, on järjestelmästä hyötyä myös pienen lämpökuorman aikana eli käytännössä kesäaikaan. Tästä huolimatta kohteissa, joissa lämmön talteenotto on jo toteutettu, PILP –järjestelmän tuoma lisähyöty voi olla liian pieni tehdäkseen investoinnista kannattavan.

Toisin kuin useimmat muut uusiutuvat energian teknologiat tai energiatehokkuustoimenpiteet kuten ikkunoiden tai rakennuksen vaipan saneeraustyöt ovat PILP -järjestelmät yleistymässä täysin markkinaehtoisesti. Suuremmat saneeraustyöt tehdään lähes poikkeuksetta osana kiinteistön korjauksista ja hoitoa, ei varsinaisena energiatehokkuustoimenpiteenä puhumattakaan investoinnista, jolle odotetaan tyydyttävää takaisinmaksuaikaa.

Taloudellisesta näkökulmasta PILP -investointi vaikuttaa siis hyvin kiinnostavalta.

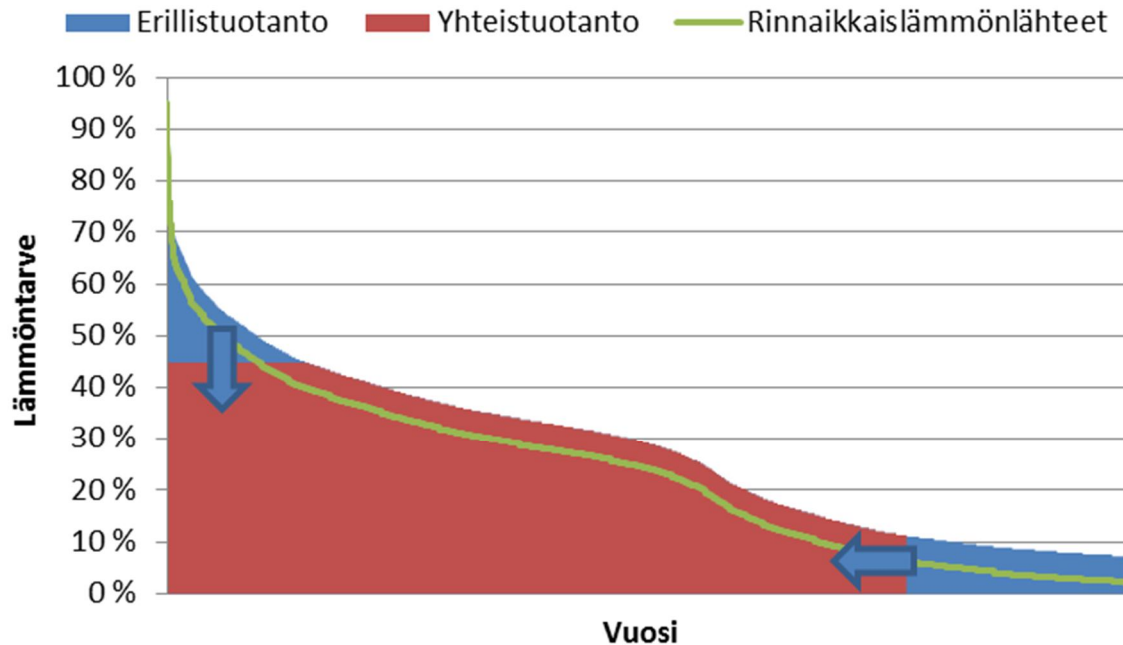
1.3 Tuottajan näkökulma

Kaukolämpöjärjestelmä on suunniteltu ja rakennettu kattamaan lämmitystarve palvelemallaan alueella kaikissa olosuhteissa. Näin ollen ns. rinnakkaislämmönlähteet kuten PILP –järjestelmät väistämättä muuttavat tasapainoa epäsuotuisaan suuntaan kaukolämmön tuottajan kannalta. Koska suuriin kiinteistöihin tarkoitetut lämpöpumppuratkaisut lähes poikkeuksetta tuottavat ainoastaan osan lämmöntarpeesta, kaukolämpöä tarvitaan edelleen täydentävänä lämmönlähteenä.

Puuttumatta itse tuotantorakenteeseen kaukolämmön jakelusta syntyvät lämpöhäviöt sekä kaukolämpöverkon ylläpito säilyvät käytännössä entisellään suhteellisten lämpöhäviöiden eli lämpöhäviöiden ja tuotannon välisen suhteen (ts. lämmön siirron hyötysuhteen) jopa kasvaessa. Tämä luo väistämättä kustannuspaineita kaukolämpöyhtiölle.

Tämä avaa kysymyksen oikeasta hinnoitteluperiaatteesta lämmölle. Kaukolämmön kannalta kilpailukykyä suhteessa lämpöpumppuihin voi parantaa siirtämällä laskutusperusteita kapasiteetti- eli perusmaksun suuntaan, jolloin energian hintaa on mahdollista laskea. Tällä päätöksellä voi kuitenkin olla odottamattomia vaikutuksia asiakkaan valintojen suhteen ja se myös energiansäästön näkökulmasta ongelmallinen. Yksi vaihtoehto on myös jäähtymään sidottu energian hinta hinnoittelun osakomponenttina.

Lämpöyhtiöiden kannalta PILP –järjestelmät tai muut rinnakkaislämmönlähteet vaikuttavat liiketoiminnan kannattavuuteen pääosin negatiivisesti. Paitsi että lämmön myynti vähenee, myös tarvittavan lämmöntuotannon ajalliset muutokset ovat hyvin todennäköisesti epäsuosiollisia. Tällä tarkoitetaan sitä, että rinnakkaislämmön lähteet syövät huipun käyttöaikaa yhteistuotannolta ja lisäävät lämmön erillistuotannon osuutta. Tätä ilmiötä on hahmoteltu kuvassa 3, jossa nuolet kuvaavat erillistuotannon osuuden muutosta yksinkertaisessa yhden yhteistuotantolaitoksen järjestelmässä.



Kuva 3. Tuotantomuotojen osuudet pysyvyyskäyrän muodossa ja PILP -järjestelmien tai muiden rinnakkaislämmönlähteiden aiheuttamat muutokset.

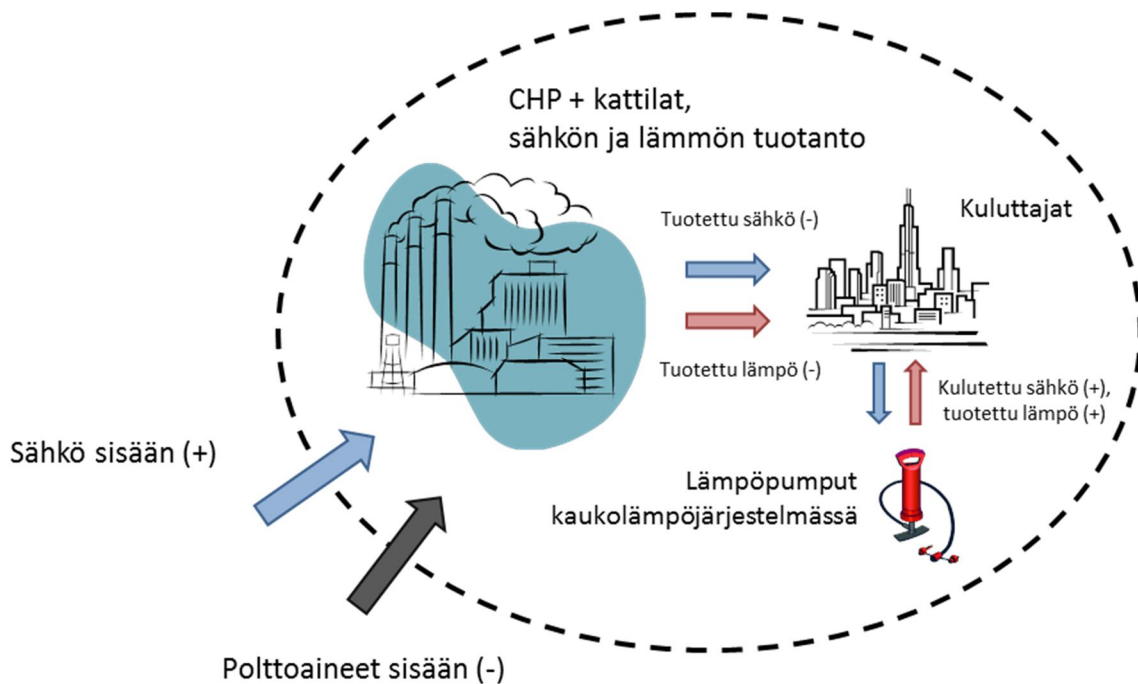
Lämpökuorman pienentymisen lisäksi myös jäähtymän heikentyminen vähentää sähköntuotantoa, joskin selkeästi vähemmän kuin lämmönkulutuksen pienentyminen. Menolämpötilaan verrattuna paluulämpötilan vaikutus sähköntuotantoon on noin viidennes. Mikäli rinnakkaislämmön tuotantoa alkaa olla järjestelmässä merkittävässä määrin, nykyisen tai oletetun kuorman mukaan mitoitettujen yhteistuotantolaitosten kannattavuus on todellisessa vaarassa ja saattaa jopa olla parempi vaihtoehto korvata yhteistuotanto kokonaan erillistuotannolla. Tämä kehityskulku on kuitenkin hyvin järjestelmäkohtainen ja näin siis vaikea yleistää.

Muutokset paluulämpötilassa voivat tuoda myös ongelmia tuotantolaitosten savukaasun lämmön talteenotolle. Järjestelmäkohtaisesti suhteellisen pieni muutos lämpötilassa voi estää tämän hyödyntämisen ja huonontaa lämmöntuotannon kokonaishyötysuhdetta merkittävästi.

1.4 Järjestelmänäkökulma

Järjestelmän näkökulmasta tilanne näyttäytyy osin kuten kuluttajallekin, mutta asetelman tavoitteena on asettaa lämmöntuotantomuodot samalle viivalle.

PILP –järjestelmän tai kaukolämpöjärjestelmässä olevien lämpöpumppujen vaikutuksesta kuluttajien sähkönkulutus suurenee, mutta lämmöntarve pienenee selvästi. Tämä näkyy kaukolämpöjärjestelmälle pienempänä lämmön kysyntänä ja yhteistuotannossa sähkön tuotannon menetyksenä. Edelleen näkökulmaa laajennettaessa järjestelmää tarvitaan lisää sähköntuotantoa, mutta toisaalta polttoainetta on säästynyt lämpökuorman pienentyessä. Tätä on havainnollistettu kuvassa 4.



Kuva 4. Järjestelmän taseraja ja energiavirrat tyypeittäin, +/- merkit kuvaavat lämpöpumppujen aiheuttaman muutoksen suuntaa.

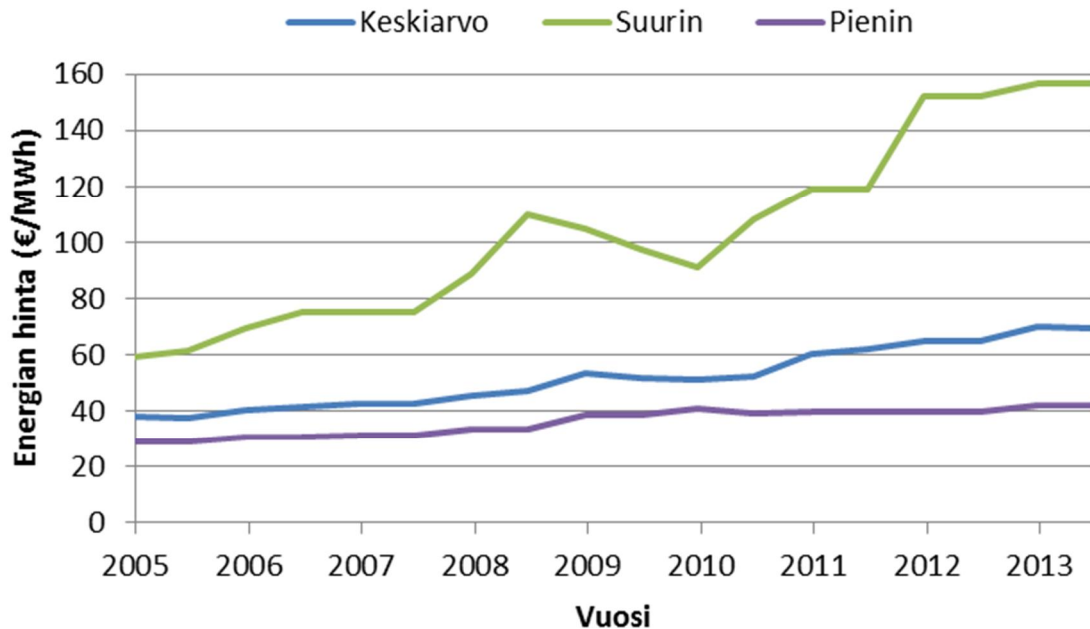
Peruskysymyksenä on voidaanko sähkö tuottaa yhteistuotantoa halvemmin, puhtaammin tai tehokkaammin rajatun järjestelmän ulkopuolella.

Tämän tilanteen osalta merkityksellistä ovat järjestelmän tarkasteltavan osan ulkopuolella tuotettavan sähkön sekä kaukolämpöyhtiön tarjoaman lämmön hinnat. Kaukolämmön hintakehitys on selkeästi todettavista kuvasta 5 seuraavalla sivulla. Sähkön hintataso on säilynyt vakaampana samalla tarkastelujaksolla. Oleellista on myös huomata suuret erot hinnoissa; järjestelmien välillä on suuria eroja.

Hintojen perusteella tilanne vaikuttaa olevan se, että osassa kaukolämpöjärjestelmiä sähköä kuluttavat lämpöpumppujärjestelmät voisivat olla kilpailukykyisiä. Kaukolämpötilastot osoittavat huomattavaa hinnannousua erityisesti viimeisen kymmenen vuoden aikana. Osa tästä noususta johtuu verotuksen muutoksista. Yhdessä matalan sähkönhinnan kanssa edellytykset PILP -järjestelmien yleistymiselle ovat olemassa.

Lisäksi sähkön hintaan kohdistuu lyhyellä aikavälillä paineita alaspäin johtuen teollisuuden rakennemuutoksesta ja pitkittyneestä talouden matalasuhdanteesta. Pidemmällä aikavälillä Suomen sähköntuotantokapasiteetista on poistumassa tuotantolaitoksia, mutta poistuvan kapasiteetin tilalle on tulossa tai suunnitteilla uutta mm. ydinvoimaa sekä mahdollisesti jopa huomattava määrä tuulivoimaa. Osa investoinneista toki on riippuvaisia sähkön hinnan kehityksestä eikä välttämättä siis toteudu.

Suomen eriytyminen kuitenkin omaksi hinta-alueekseen sähkömarkkinoilla todennäköisesti vähenee kun Olkiluoto 3 käynnistyy, jolloin Suomen aluehinta lähestyy Ruotsin huomattavasti matalampaa tasoa. Lisäksi Ruotsiin suunniteltu tuulivoimakapasiteetti, yhdessä sen sähköjärjestelmän vesivoiman suureen osuuteen perustuvan hyvän hyödyntämisvalmiuden kautta, vaikuttavat markkinahintaan oletettavasti alaspäin.



Kuva 5. Kaukolämmön hintakehitys Suomessa (Energieoteollisuus 2013).

Vastapainona vaikeammin hallittaville muutoksille on mahdollisuus vaikuttaa positiivisesti lämpöpumpupohjaisen tuotannon (esim. suurempi yksittäisistä PILP -järjestelmistä muodostettu kokonaisuus) ohjauksella kaukolämpöjärjestelmän tuotannon kannattavuuteen. Tämän ohjauksen luonnollinen synergia kaukolämpöjärjestelmälle on avainkysymyksiä kun yritetään löytää luonnollisia positiivisia takaisinkytkentöjä kokonaisjärjestelmän käytöksessä. Ajatuksen takana on oletus vaihtelevan sähkönhinnan vaikutuksesta optimaaliseen lämpöpumppujen käyttöön. Jos kaukolämpöjärjestelmä saadaan reagoimaan lämmön kulutuksen muutoksiin siten, että yhteistuotantosähköä tuotetaan vähemmän kun lämpöpumppuja käytetään paljon, on sähkönhintaan reagoitu järjestelmätasolla optimaalisesti. Tämän käytöksen hyödyntäminen esim. tuulivoiman vaikutusten minimoimiseksi sähkömarkkinoihin voi olla erittäin hyödyllistä. Lämpö- ja sähkömarkkinoiden integroituminen voi olla joka tapauksessa edetä Tanskan esimerkkiä seuraten. Halvan sähkön hyödyntäminen lämpöpumppujen avulla tuottaa huomattavasti paremman tuloksen verrattuna suoraan sähkölämmitykseen.

Myös hajautetun sähköntuotannon yhdistäminen PILP -järjestelmän tuomaan kysynnänjoustopotentialiin voi kasvattaa esim. aurinkosähkön kannattavuutta. Hajautetut järjestelmät nauttivat skaalaeduista siinä missä muutkin tuotantomuodot eli yksikköhinta putoaa järjestelmäkoon kasvaessa. Toisaalta paras tuotto sijoitetulle pääomalle syntyy kun hajautettu järjestelmä on mitoitettu syrjäyttämään ainoastaan omaa kulutusta, ilman sähkön syöttöä takaisin verkkoon.

Ylimääräisen lämmön voi myös varastoida tai siirtää kaukolämpöverkkoa pitkin eteenpäin. Kaukolämpöverkkoon syöttäminen tuo tosin tullessaan joukon uusia haasteita, mm. lämpötilatasot ja pumppauksen järjestäminen ellei lämpöä syötetä paluupuolelle. PILP-järjestelmän kannalta kuitenkin erityisesti kesäaikana saattaa lämmön syöttäminen kaukolämpöverkkoon osoittautua kannattavaksi, koska tällöin kaukolämpöverkon lämpötila on matalampi, lämpöä tuotetaan enemmän erillistuotantona ja lämmintä poistoilmaa on rajatta tarjolla. PILP -järjestelmän ylirajoittaminen lämmönvientiin ei välttämättä ole liian suuri

investointi, koska itse lämpöpumppu komponenttina on vain osa koko järjestelmän kustannuksista. Suurin osa investoinnista koostuu tarvittavasta LVI -muutoksista.

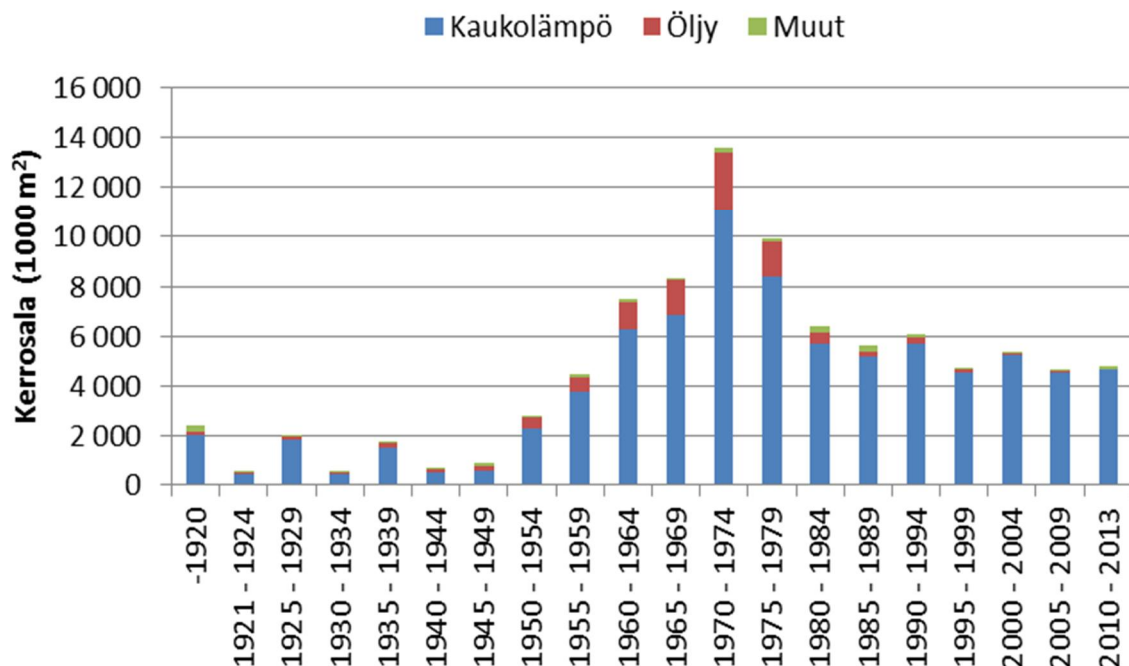
Koska suurempi osa poistoilman lämmöstä saadaan lämpöpumpuilla talteen, on myös mahdollista kasvattaa ilmamäärää, minkä puolestaan voi olettaa parantavan hengitysilmän laatua ja pienentävän kosteusvaurioiden riskiä.

1.5 Potentiaaliarvio PILP –järjestelmille Suomessa

Poistoilmalämpöpumppujärjestelmien energiasäästöpotentiaalia Suomessa arvioitiin selvittämällä kerrosalaltaan suurempien kuin 1000 m², vuosien 1960 ja 1990 välillä rakennettujen kaukolämpöön kytkettyjen asuinkerrostalojen kokonaiskerrosala sekä hyödyntämällä tutkimusta (Tuominen et al. 2014) Suomen rakennuskannan tilasta, kehityksestä ja energiankulutuksesta, jossa oli arvioitu ominaislämmitysenergian (kWh/m²) kulutuksia tietyn ikäisille taloille. Tässä lämmönkulutuksessa on mukana käyttövesi.

Potentiaalisia kohteita löytyy myös tämän rajauksen ulkopuolelta, erityisesti väliltä 1990-2002. Vuoden 2002 jälkeen poistoilman lämmön talteenotto tuli rakennusmääräyksissä velvoitteeksi. Tämän ikäisissä rakennuksissa prosentuaalinen säästö olisi toki usein suurempi, sillä poistoilman kautta menee suhteessa enemmän lämpöä hukkaan. Laskutoimitukset alla on kuitenkin suoritettu ensimmäisessä kappaleessa esitetyllä rajauksella, sillä selkeästi suurin osa potentiaalista on tällä välillä eli 1960-1990 rakennetuissa kerrostaloissa.

Kuvasta 6 alla on luettavissa laskennan lähtötietona (Tilastokeskus 2014) käytetty asuinkerrostalojen kokonaiskerrosala vuosijaksoittain. Kuvasta näkyy myös öljyä tai jotain muuta lämmitystapaa käyttävien kerrostalojen kerrosalat; kaukolämmön osuus on kuitenkin huomattavan suuri.



Kuva 6. Suomen asuinkerrostalojen kerrosala lämmitystavoittain ja rakennusvuosittain.

Taulukossa 1 alla on esitetty tämä potentiaalisin osa rakennuskannasta sekä ominaislämmitysenergian kulutus sekä näiden summana laskettu kaukolämmön kulutus.

Taulukko 1. Potentiaaliarvioon valittu ote rakennuskannasta.

Rakennusaika (-)	Kerrosala (1000 m ²)	Ominaiskulutus (kWh/m ²)	Kaukolämmön kulutus (GWh)
1960-1969	12 355	200	2 471
1970-1979	18 584	170	3 159
1980-1989	8 781	120	1 054

Yllä olevan taulukon arvoja käyttäen on edelleen laskettu neljä eri vaihtoehtoa varsinaiselle lämmitysenergian säästölle osuuksina täydestä potentiaalista. Lisäksi on oletettu järjestelmän säästävän lämmitysenergiasta 50 % ja valittu Suomen kaukolämpöjärjestelmistä ne järjestelmät, joissa on yhteistuotantoon perustuvaa tuotantokapasiteettia myöhempää käsittelyä silmällä pitäen. Nämä välitulokset on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Eri skenaarioita vastaavat osuudet kokonaispotentiaalista, kaukolämmön kulutuksen vähenemästä ja osuudesta kokonaiskulutuksesta.

Skenaario	Osuus kokonaispotentiaalista	Kaukolämmön kulutuksen vähenemä ¹ (GWh)	Osuus kaukolämmön kokonaiskulutuksesta ²
Vaihtoehto A	10 %	334	1.1 %
Vaihtoehto B	20 %	668	2.3 %
Vaihtoehto C	40 %	1 337	4.5 %
Vaihtoehto D	80 %	2 674	9.0 %

Potentiaalisia kohteita PILP –järjestelmille jää väistämättä käytetyillä olettamuksilla tehdyn rajauksen ulkopuolella, mutta suurin osa soveltuvista kohteista on kuitenkin saatu kuvattua näin. Kokonaispotentiaali (100 % valitusta rakennusmassasta) lämmitysenergian säästölle olisi 3 342 GWh.

1.6 Kaukolämpöjärjestelmätason vaikutukset

Kaukolämpöjärjestelmätasolla PILP –järjestelmän vaikuttavat järjestelmän toimintaan kahdella eri tavalla; vähentämällä kaukolämmön kulutusta eli laitosten kaukolämpökuormaa sekä nostamalla kaukolämmön paluulämpötilaa, joka vaikuttaa edelleen yhteistuotantolaitosten sähköntuotantoon sekä siirtoverkon lämpöhäviöihin; sähköntuotanto laskee ja suhteelliset lämpöhäviöt kasvavat.

Vaikutukset ja niiden merkitys ovat kuitenkin hyvin järjestelmäriippuvaista. Itse potentiaalinen rakennuskanta voi olla hyvin epätasaisesti jakautunut ja olla keskittynyt tietyn kaukolämpöjärjestelmän piiriin. Pienetkin muutokset paluulämpötilassa voivat esimerkiksi laskea laitosten savukaasujen lämmön talteenoton tehokkuutta ja vaikuttaa näin odotettua voimakkaammin yksittäisen järjestelmän toimintakykyyn.

¹ PILP –järjestelmän tuoma kaukolämmön kulutuksen vähenemä on oletettu 50 % alkuperäisestä

² Mukana yhteistuotantoon sisältävät kaukolämpöjärjestelmät

Seuraavassa laskennallisessa tarkastelussa on kuitenkin arvioitu esimerkin avulla selkeimpiä vaikutuksia kaukolämpöjärjestelmään pohjautuen edellisessä kappaleessa esitettyihin potentiaaliarvioihin. Kuvitteellista kaukolämpöjärjestelmää kuvaa tässä laskennassa kaikista Suomen yhteistuotantoa sisältävistä järjestelmistä summattu kokonaisuus, jota on käsitelty kahdella eri tavalla. Toisessa yhteistuotanto ei ole käytössä kesäaikaan matalan kulutuksen aikana ja toisessa pienempi laitos ajaa pohjakuormaa vuoden läpi. Ensimmäinen vastaa siis yhden yhteistuotantolaitoksen tapausta ja toinen karkeasti useamman laitoksen järjestelmää vastaavaa tilannetta.

Taulukossa 3 on esitetty kaukolämmön yhteis- ja erillistuotanto, lämpöhäviöt ja kaukolämmön kokonaiskulutus vuosien 2005-2013 kaukolämpötilastojen (Energiateollisuus 2013) keskiarvoina niiden kaukolämpöjärjestelmien osalta, joissa yhteistuotantoa on.

Taulukko 3. Kaukolämpötuotannon, häviöiden ja kulutuksen keskiarvot välillä 2005 - 2013.

Lukuarvo	Lämpöenergia
Yhteistuotanto	24.2 TWh (81.5 %) ³
Erillistuotanto	5.5 TWh (18.5 %) ³
Lämpöhäviöt	1.8 TWh (6 %) ⁴
Kulutus	27.9 TWh

Tulokset ovat lukuarvoina vain suuntaa antavia, mutta kuvaavat hyvin itse mekanismeja ja eri parametrien merkitystä lopputuloksen kannalta. Samaa menetelmää voidaan soveltaa myös yksittäiseen järjestelmään, jolloin tulokset ovat merkittävästi hyödyllisempiä.

1.6.1 Kaukolämpöverkon lämpöhäviöt

Kaukolämpöverkon tehokkuuden muutosta voidaan arvioida olettamalla lämpöhäviöiden absoluuttisen arvon pysyvän samana, mutta lämpökuorman vähentyvän eri skenaarioiden osoittaman määrän. Kaukolämpöverkon välityksellä siirtyy siis vähemmän lämpöä, jolloin suhteessa suurempi osuus tuotetusta lämmöstä menetetään matkalla.

Lämpöpumppujärjestelmien lasketulla osuudella kaukolämmön kokonaistuotannosta ei näy suurta vaikutusta siirtoverkon tehokkuuteen näin laskettuna. Vaihtoehto D:n mukaisessa tilanteessa kaukolämpöverkon lämpöhäviöt nousevat 0.6 %-yksikköä eli noin 10 %.

1.6.2 Vaikutus yhteistuotantoon

Hyödyntämällä erään suomalaisen pienehkön kaukolämpöjärjestelmän tuotantoaikaasarjaa on taulukossa 3 esiteltyjen kokonaistuotantomäärien perusteella muodostettu kaikkia yhteistuotantoa sisältäviä kaukolämpöjärjestelmiä kuvaava pysyvyyskäyrä. Tämän pysyvyyskäyrän kuvaama kaukolämpökuorma on katettu erillis- ja yhteistuotannolla määrittelemällä molempien kapasiteetti kaukolämpötilastoista sekä olettamalla sellainen säätömahdollisuus prosentteina huipputehosta, jolla tilastojen mukainen yhteistuotannon määrä toteutuu valitulla pysyvyyskäyrällä.

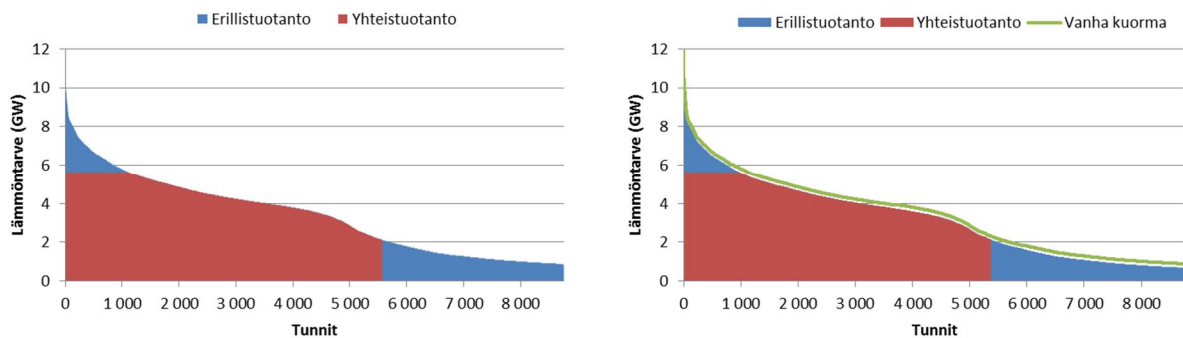
Tätä käyrää on edelleen käsitelty vähentämällä laitoksilla katettavasta kaukolämpökuormasta eri PILP –skenaarioiden mukainen määrä lämmitysenergiaa olettaen sen jakautuvan tasan

³ Osuus kaukolämmön kokonaistuotannosta

⁴ Suhteelliset lämpöhäviöt eli häviöt jaettua tuotetulla kaukolämmöllä

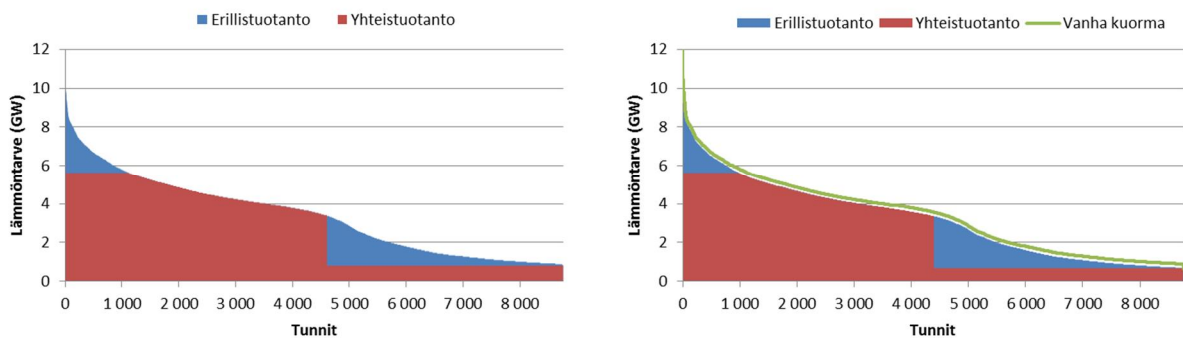
vuoden kaikille tunneille. Tämä on selkeästi yksinkertaistava olettaus, sillä varsinkin huippulämmityskaudella rakennuksen lämmitysjärjestelmän mitoituslämpötiloista ja kytkennästä riippuen lämpöpumppu on joka tapauksessa vähemmällä käytöllä kuin suurimman osan muuta vuotta.

Alla kuvassa 7 on esitetty vaihtoehtoa D kuvaavat käyrät yhden yhteistuotantolaitoksen tapauksessa.



Kuva 7. Pysyvyyskäyrä ja tuotantorakenne nykytilanteessa (vas.) ja PILP –järjestelmillä Vaihtoehto D -skenaarion mukaisesti, yhden yhteistuotantolaitoksen tilanne.

Edelleen kuvassa 8 alla on esitetty samat tulokset tilanteessa, jossa yhteistuotantolaitoksia on enemmän kuin yksi ja yhteistuotantoa voidaan hyödyntää vuoden ympäri. Tässä tilanteessa pienemmän koko vuoden ympäri käytössä olevan yhteistuotantolaitoksen kapasiteetti on määritelty likimäärin minimikuorman suuruiseksi.



Kuva 8. Pysyvyyskäyrä ja tuotantorakenne nykytilanteessa (vas.) ja PILP –järjestelmillä Vaihtoehto D -skenaarion mukaisesti, usean yhteistuotantolaitoksen tilanne.

Käyttämällä tämä menetelmää ja eri skenaarioiden mukaisia lämmitysenergian määriä saadaan joukko yllä esitetyn kaltaisia pysyvyyskäyriä, joista on laskettavissa erillistuotannolla, yhteistuotannolla ja luonnollisesti myös lämpöpumpuilla tuotettu lämpö. Tuloksia edelleen käsittelemällä saadaan laskettua kuvan 4 mukaista tilannetta vastaava kokonaishyötysuhde olettamalla, että yhteistuotannon lämpökuorman pienenemisen myötä menettämä sähköntuotanto sekä lämpöpumppujen kuluttama sähkö tuotettaisiin systeemin ulkopuolella. Tämä ulkopuolinen tuotanto on oletettu lauhdetuotannoksi.

Laskenta vaatii joukon parametreja, joille voidaan muodostaa arvot kaukolämpötilastojen sekä muiden käytettävissä olevien tietojen perusteella. Osaa parametreista voidaan pitää

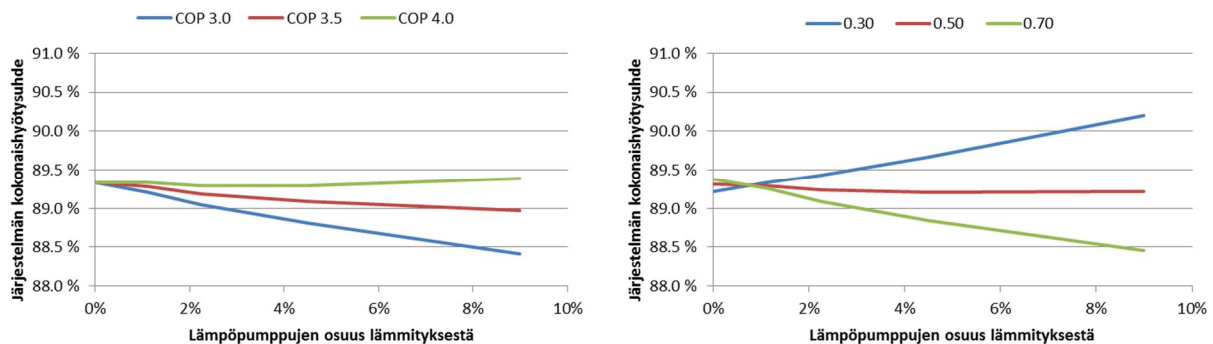
melko selkeinä valintoina, esimerkiksi yhteistuotannon ja erillistuotannon kokonaishyötysuhdetta. Sen sijaan yhteistuotannon rakennusaste ja lämpöpumpun lämpökerroin eli COP voivat vaihdella, joten näille on tehty yksinkertainen herkkyytarkastelu. Tilastojen perusteella valitut parametrit on kerätty alle taulukkoon 4.

Taulukko 4. Laskennassa käytettyjen parametrien oletusarvot.

	Arvo
Yhteistuotannon rakennusaste	0.56
Yhteistuotannon kokonaishyötysuhde	90 %
Erillistuotannon hyötysuhde	85 %
Lämpöpumppujen lämpökerroin	3.5
Sähkön lauhdetuotannon hyötysuhde	42 %

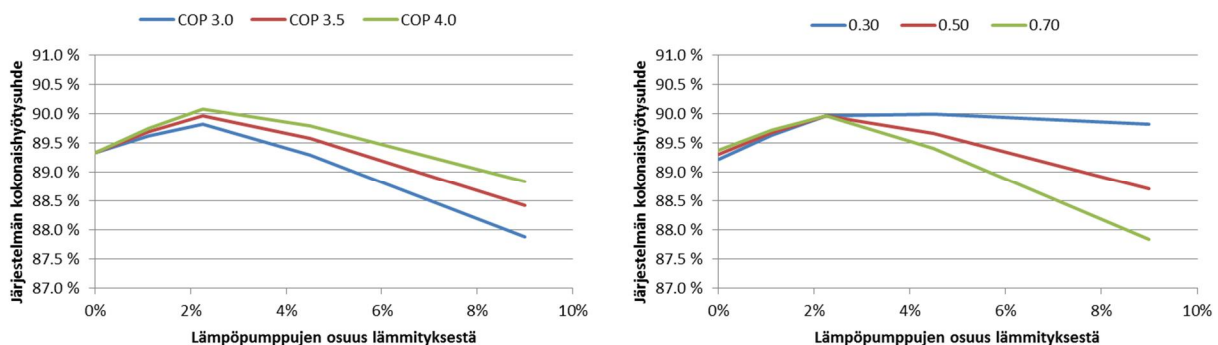
Tulokset on esitetty kokonaishyötysuhteena lämpöpumppujen osuuden funktiona eri lämpökertoimilla ja kaukolämpöjärjestelmän yhteistuotannon rakennusasteilla.

Kuvassa 9 on esitetty tulokset yhden yhteistuotantolaitoksen tapaukselle.



Kuva 9. Järjestelmän kokonaishyötysuhde lämpöpumppujen osuuden kasvaessa eri lämpökertoimilla (vas.) ja rakennusasteilla yhden yhteistuotantolaitoksen tapauksessa.

Kuvassa 10 on esitetty samat tulokset, mutta useamman yhteistuotantolaitoksen kanssa.



Kuva 10. Järjestelmän kokonaishyötysuhde lämpöpumppujen osuuden kasvaessa eri lämpökertoimilla (vas.) ja rakennusasteilla useamman yhteistuotantolaitoksen tapauksessa.

Tuloksista nähdään erojen olevan vielä suhteellisen pieniä käytetyillä lämpöpumppujen osuuksilla, jotka siis vastaavat PILP -järjestelmille otollisinta potentiaalia. Suurimmillaan ääripäiden ero on toki jo noin 2 %-yksikköä. Itse käyrän muoto on seurausta lämpöpumppujen korvaamasta tuotantotavasta. Korkean rakennusasteen yhteistuotantoa matalan lämpökertoimen lämpöpumpulla korvattaessa järjestelmä hyötysuhde laskisi selkeämmin.

Suuremmilla osuuksilla olisi myös tarpeen ottaa huomioon yhteistuotannon taloudellinen kannattavuus huipun käyttöajan lyhentyessä. Lasketuissa tapauksissa huipun käyttöaika tippuu alle 4000 tunnin n. 8.4 % osuuksilla. Erillistuotannon varaan siirryttäessä kaukolämmön hinta todennäköisesti nousisi ja järjestelmän kokonaisyötysuhde laskisi selkeästi.

Muutokset näkyvät vielä selkeämmin jos lämpöpumppujen osuus kasvaa edelleen. Tällainen tilanne voisi olla paikallisesti mahdollinen myös poistoilmalämpöpumppujen vaikutuksesta, todennäköisimmin kyse olisi suuren kapasiteetin lämpöpumpuista kaukolämmön tuotantomuotona.

1.7 Kirjallisuus selvitys

Alle on kerätty kokoelma materiaalia aiheeseen liittyen. Kustakin lähteestä on esitetty nimi, linkki, lyhyt kuvaus sekä tekijä. Suomalaiset lähteet ovat lähinnä opinnäytetöitä. Ulkomaiset näytteet ovat enimmäkseen ruotsalaisia.

Nimi	Lämpöpumppujärjestelmien vaikutus energiayhtiön liiketoimintaan (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Tarkastellaan kiinteistökohtaisten lämpöpumppujen yleistymisen vaikutusta energiayhtiön sähkö- ja kaukolämpöliiketoimintaan; mahdollisimman laaja ja ajantasainen kokonaiskuva aiheesta.
Tekijä(t)	Jokela, Esa 2014 Diplomityö, TUT
Nimi	Kaksivaiheisen lämmöntalteenotto prosessin soveltuvuus poistoilmanvaihtoiseen kerrostaloon (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Tavoitteena oli tarkastella perinteistä poistoilmanvaihtoa käyttävän kerrostalon lämmöntalteenottoa menetelmällä, joka yhdistää poistoilmalämpöpumpun ja maalämpöpumpun toiminnat. Energiaohjelman käyttö ja simulointi.
Tekijä(t)	Tuomarmäki, Tero 2015 Diplomityö, LUT
Nimi	Suomalaisen kerrostalon energiansäästömahdollisuudet poistoilman lämpöä talteenottamalla (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Työssä selvitetään taloyhtiön keinoja parantaa energiatehokkuutta. Tarkasteltavaan taloyhtiöön on tarkoituksena asentaa lämmön talteenottojärjestelmä koneellisen poistoilman yhteyteen
Tekijä(t)	Rytkönen, Heini 2012 Kandidaatintyö, LUT
Nimi	Poistoilmalämpöpumpun hyödyntäminen vanhassa kerrostalossa (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Tarkoituksena oli selvittää poistoilmalämpöpumpun (PILP) käytön soveltuvuutta, energiatehokkuutta ja kannattavuutta vanhassa asuinkerrostalossa.
Tekijä(t)	Matilainen, Ari 2013 Ins. työ, Mikkelin AMK

Nimi	Kerrostalokohteen poistoilmalämpöpumppujärjestelmän kannattavuuden selvittäminen ja mallinnus simulointiohjelmalla (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Aiheena oli tutkia poistoilmalämpöpumpun käyttöä ja investoinnin kannattavuutta vanhassa kaukolämmitteisessä asuinkerrostalokohteessa. Tarkoituksena oli myös tutkia simulointiohjelman avulla PILP- järjestelmän toimintaa ja erilaisten säätöjen vaikutusta järjestelmän tehokkuuteen.
Tekijä(t)	Saarinen, Lassi 2014 Ins. työ, Mikkelin AMK
Nimi	Poistoilmalämpöpumppujen ja aurinkokeräinten kannattavuusvertailu kerrostalokiinteistöissä (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Tarkoituksena oli vertailla ja selventää poistoilmalämpöpumppujen ja aurinkokeräinten eroja asuinkerrostalokiinteistön lämmityksen ja lämpimän käyttöveden tuottamisessa kaukolämmön rinnalla. Tarkoitus oli tutustua olemassa oleviin aurinkokeräin- ja poistoilma-lämpöpumppukohteisiin sekä vertailla niiden taloudellista kannattavuutta.
Tekijä(t)	Huhtanen, Tero 2012 Ins. työ, Metropolia Ammattikorkeakoulu
Nimi	Poistoilman lämmön talteenotto : kannattavuus ja käyttömahdollisuudet kaukolämpökerrostaloissa (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Tutkitaan onko lämmön talteenoton asentaminen kaukolämpökerrostaloon kannattavaa. Työ on rajattu saneerauskohteisiin, jossa on poistoilmanvaihto. Aiheeseen on tutustuttu (lähinnä ruotsalaisen)kirjallisuuden kautta
Tekijä(t)	Westman, Mindi 2014 Ins. työ Arcada - Nylands svenska yrkeshögskola
Nimi	Poistoilmalämpöpumppu vanhassa kerrostalossa (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Tavoitteena tutkia poistoilmalämpöpumpun tekniikkaa ja poistoilmalämpöpumpun käyttöä vanhan kaukolämmitteisen kerrostalon yhteydessä. Työssä tutustuttiin Suomen olemassa olevan rakennuskannan talotekniikan kehitykseen, korjaustarpeeseen sekä siihen, miten poistoilmalämpöpumppua voi käyttää kaukolämmön rinnalla. Aihetta lähestytään tehtyjen insinööritöiden kautta.
Tekijä(t)	Mujunen, Jarno 2014 Ins. työ, Metropolia Ammattikorkeakoulu

Nimi	Kaukolämmön ja lämpöpumpun yhdistämisen kytkentävaihtoehtoja (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Tavoitteena oli tutkia, kuinka voidaan kytkeä kaukolämpö ja lämpöpumppu toimivaksi kokonaisuudeksi lämmitettävässä rakennuksessa. Työn tavoitteena on selittää, kuinka näitä järjestelmiä voidaan yhdistää eri tavoilla. Tietoa saatu lähinnä Ruotsin kaukolämpöyhdistyksen julkaisemasta dokumentista.
Tekijä(t)	Lammert, Laura 2011 Ins. työ, Metropolia Ammattikorkeakoulu
Nimi	Poistoilmalämpöpumppu asuinkerrostalon lämmön talteenotossa (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Tavoitteena oli tutkia poistoilman lämmön hyödyntämistä asuinkerrostaloissa poistoilmalämpöpumpuilla. Työ toteutettiin tutkimalla aiheeseen liittyvää aineistoa ja tekemällä esimerkkilaskelma olemassa olevaan asuinkerrostaloon, johon ei ole vielä poistoilmalämpöpumppua asennettu.
Tekijä(t)	Lukander, Jarkko 2013 Ins. työ, Satakunnan ammattikorkeakoulu
Nimi	Technical procurement of heat recovery systems in existing apartment blocks in Sweden (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Ruotsalainen poistoilmalämmön talteenottoa tarkasteleva teknisen hankinnan projekti, jossa tarkastellaan asennusta olemassa oleviin rakennuksiin. Tarkoituksena on parantaa ja kehittää poistoilmalämmön hyödyntämisen markkinoita soveltuvan rakennuskannan tulossa laajalti remonttien piiriin. Toinen tarkasteltavista ratkaisuista käyttää poistoilmalämpöpumppua.
Tekijä(t)	Åsa Wahlström, Tomas Berggren, Therese Rydstedt ECEE 2013 Summer Study – Rethink, Renew, Restart
Nimi	Värmeåtervinningssystem för befintliga flerbostadshus Förstudie inför teknikupphandling (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Ruotsalaiseen teknisen hankinnan projektiin liittyvä esiselvitys, jossa tarkastellaan erilaisia poistoilman lämmöntalteenoton tekniikoiden ominaisuuksia. Poistoilmalämpöpumppuun pohjautuva ratkaisu yksi näistä.
Tekijä(t)	Åsa Wahlström, Åke Blomsterberg, Daniel Olsson 2009

Nimi	Frånluftsvärmepumpens möjligheter i flerbostadshus (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Energia-insinöörin tutkinnon opinnäytetyössä tarkastellaan, onko poistoilmalämpöpumpun asentaminen kannattavaa kaukolämpö-, öljy- tai biopolttoaineilla lämmitettävään asuinkortteliin
Tekijä(t)	Edvin Niklasson & Albin Coster 2013
Nimi	Konsekvensanalys av NNE-krav för befintliga flerbostadshus (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Tarkastellaan ”lähes nollaenergiarakennuksiin” liittyvien rakennusmääräysten seurauksia korjausrakentamisessa. Yhteensä 36 kohdetta, tarkastellaan erilaisia energiatehokkuustoimien ja lämmitysratkaisujen yhdistelmiä, mukana on myös poistoilmalämpöpumpun asentaminen kaukolämmitteiseen rakennukseen.
Tekijä(t)	Peter Filipsson, Catrin Heincke, Åsa Wahlström 2011
Nimi	Improving heat recovery using retrofitted heat pump in air handling unit with energy wheel (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Tutkitaan teknistä mahdollisuutta jälkiasentaa lämpöpumppu talteenoton parantamiseksi ilmanvaihtoratkaisussa, jossa on jo lämmönvaihdin siirtää energiaa lämpimästä poistoilmasta tuloilmaan.
Tekijä(t)	Jörgen Wallin, Joachim Claesson 2014 Applied Thermal Engineering Volume 62, Issue 2, 2014, p. 823-829
Nimi	Primary energy implications of ventilation heat recovery in residential buildings (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Primäärienergian käytön muutokset vaikuttavat suotuisilta kun lasketaan mukaan CHP tuotannon muutokset ja kaukolämpöverkon häviöt. Jopa 90% CHP-tuotannolla toimiva kaukolämpöjärjestelmä hyötyy poistoilmalämpöpumpuista.
Tekijä(t)	Ambrose Doodoo, Leif Gustavsson, Roger Sathre 2011 Energy and Buildings, Volume 43, Issue 7, 2011, p. 1566-1572
Nimi	Fjärrvärmecentral och frånluftsvärmepump i combination (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Tekninen raportti aiheesta, esittelee joukon erilaisia liityntöjä.
Tekijä(t)	Svensk Fjärrvärme, Rapport 2012:11. Fjärsyn.

Nimi	The role of district heating in future renewable energy systems (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Hahmottelee skenaariopohjaisessa tarkastelussa 100 % uusiutuvaan energiaan tähtäävää energiajärjestelmää Tanskassa. Lopputulosten mukaan sekä kaukolämmöllä että lämpöpumpuilla on tässä merkittävä rooli.
Tekijä(t)	H. Lund, B. Möller, B.V. Mathiesen, A. Dyrelund Energy, Volume 35, Issue 3, p. 1381-1390
Nimi	4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Kaukolämmön tulevaisuus on kuvattu riippuvan siitä synnyttääkö uusi tapa yhdistää kaukolämpöä ja -kylmää sekä sähköntuotantojärjestelmä joustavaksi kokonaisuudeksi tukemaan vaihtelevaa tuotantoa, esim. tuulivoima. Tavoitteena on esitellä Tanska 100 % uusiutuvalla toimeen tulevan maana.
Tekijä(t)	Henrik Lund, Sven Werner, Robin Wiltshire, Svend Svendsen, Jan Eric Thorsen, Frede Hvelplund, Brian Vad Mathiesen Energy, Volume 68, 2014, p. 1-11
Nimi	A new waste heat district heating system with combined heat and power (CHP) based on ejector heat exchangers and absorption heat pumps (Linkki)
Lyhyt kuvaus	Teollisen mittaluokan hukkalämmön käyttö kaukolämmön tuotannossa.
Tekijä(t)	Fangtian Sun, Lin Fu, Jian Sun, Shigang Zhang Energy, Volume 69, 2014, p. 516-524

3. Mittaustiedot

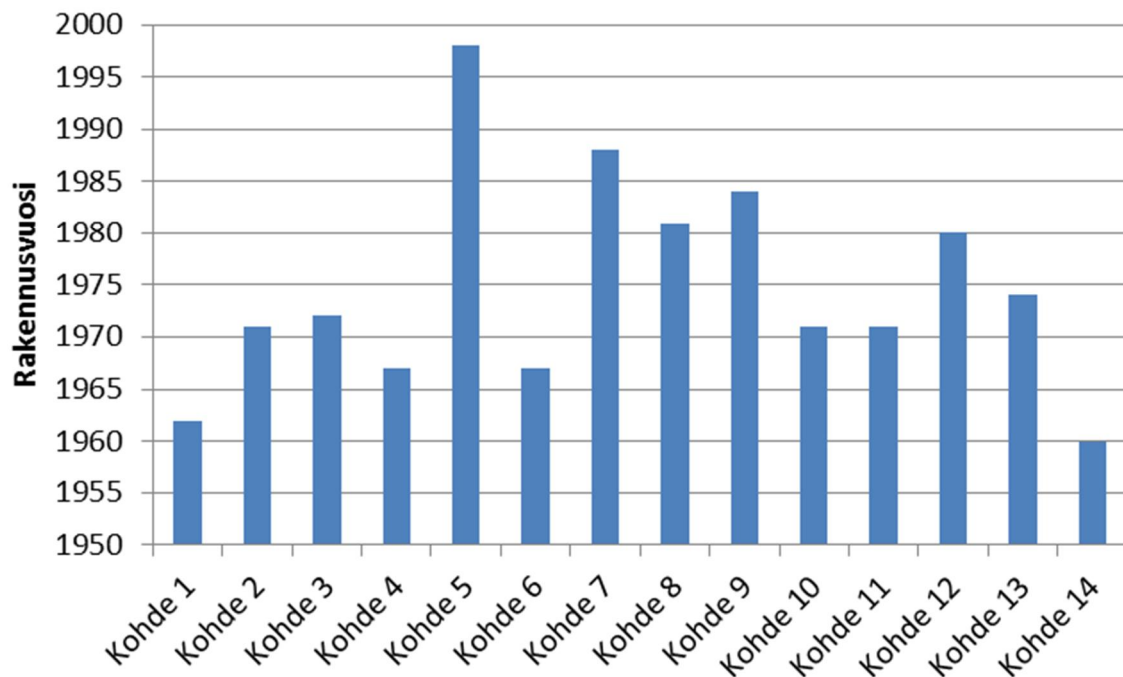
Tässä luvussa on esitelty perustiedot mittauskohteista sekä kerätyistä mittaustiedoista. Tärkeimmät mittaustiedot on kerätty raportin loppuun, mutta tässä luvussa on käyty kaikkia mittaistietoja valikoiden läpi esimerkein. Luvun loppuun on kerätty mittaustietoihin perustuvia johtopäätöksiä.

Yksittäisten mittaustietojen analysointia ja niiden keskinäistä tai ”ennen/jälkeen” –tyyppistä vertailua hankaloittavat mahdolliset muut lämmitysjärjestelmään tai kohteeseen yleisesti tehdyt energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet. Näitä ovat mm. patteriverkon tasapainotus, lämpötilasäätökäyrän muutokset, rakenteelliset parannukset tai taloteknisten laitteiden kuten poistoilmanpuhaltimien uusiminen. Yleisesti PILP –järjestelmän toteutuksen yhteydessä tehdään muutakin kuin pelkkä uusien laitteiden asennustyö. Erityisesti patteriverkon tasapainotus sekä lämmitysjärjestelmän lämpötilatasojen tarkistus on hyvin järkevää tehdä samassa yhteydessä ja yleisesti tehdäänkin.

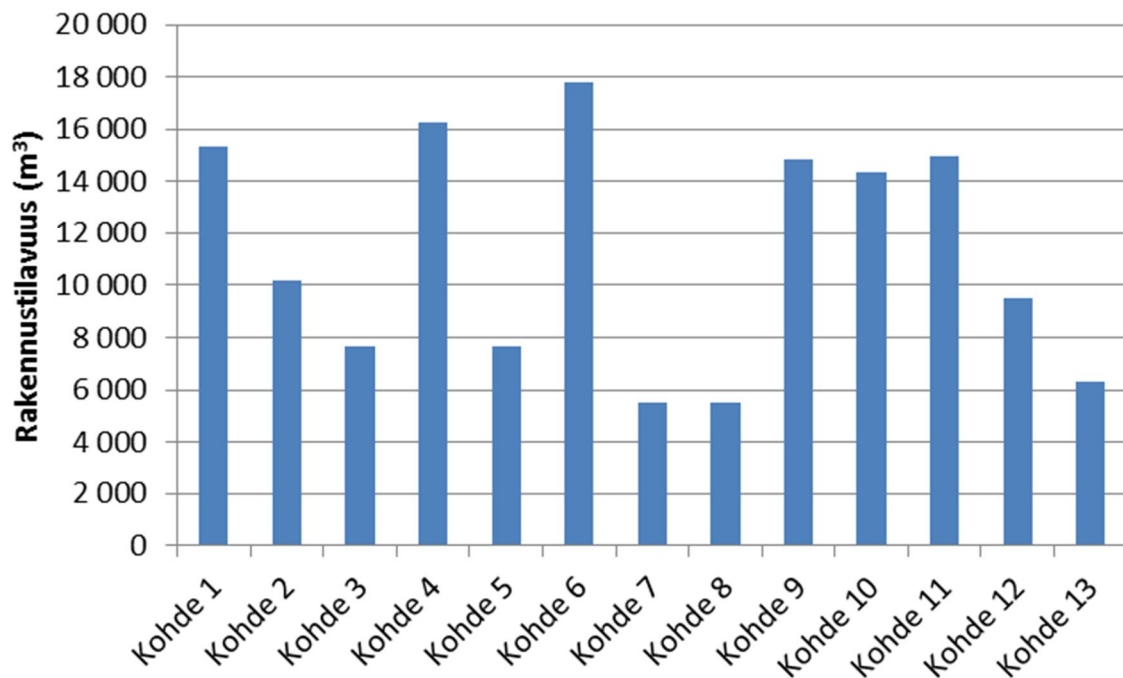
1.8 Mittauskohteet ja kerätyt mittaustiedot

Hankkeeseen saatiin mukaan yhteensä 13 kohdetta viideltä eri paikkakunnalta; Espoosta (3), Jyväskylästä (6), Lahdesta (3) ja Tampereelta (1). Kustakin kohteesta on kerätty tietoja sekä lämpöpumppujärjestelmien omista seurantajärjestelmistä että energiayhtiöiltä. Energiayhtiöiden osalta mittaustietoja on pyritty keräämään useammalta vuodelta siten, että saataisiin alustava kuva PILP –järjestelmien säästöpotentiaalista. Mukana on kohteesta riippuen 0.5-2 vuoden jakso käyttöönoton jälkeen ja 2-4 vuotta tätä ennen.

Mittauskohteiden rakennusvuodet on esitetty kuvassa 11 ja rakennustilavuudet kuvassa 12. Kohteesta 12 puuttuu tilavuustieto.



Kuva 11. Mittauskohteiden rakennusvuodet.



Kuva 12. Mittauskohteiden rakennustilavuus.

Mittaustiedot energiayhtiöiltä pitävät sisällään kokonaislämmitysenergiankulutuksen, sähkönkulutuksen sekä kaukolämpökytkennän meno- ja paluulämpötilat tunnin aika-asteleella. Myös virtaustiedot olivat saatavilla, mutta näitä ei juuri hyödynnetty, koska annetut paluulämpötilat eivät olleet hetkellisiä mittaustuloksia vaan perustuivat mittausjakson eli tunnin keskiarvoihin ollen ns. kumulatiivisia arvoja.

PILP –järjestelmien omista seurantajärjestelmistä saatavissa oleva tieto on hyvin kohderiippuvaista; joistain kohteista on saatavilla vain perustiedot, toisista tietoja on taas paljon kattavammin saatavilla. Tietojen tallennustapa on myös hyvin vaihteleva mikä asettaa haasteita näiden käsittelylle ja jatkoanalyysille. Mittaustaajuus oli vaihtelevan tiheä, noin minuutista tuntiin. Tärkeimpinä tietoina saatavilla olivat yleisesti kompressorin sähkönkulutus, COP eli tuotetun lämpöenergian suhde kulutettuun sähköenergiaan sekä lämpötilat lämpöpumppuprosessin ympärillä ja lämmön talteenotossa. Itse lämmitysjärjestelmän kuten radiaattoriverkon lämpötiloja oli harvemmin saatavilla. Seurantajärjestelmien tiedot sisältävät usein myös katkoksia, minkä vuoksi pitkiä yhtenäisiä jaksoja on vaikea esittää. Lämpötiloja koskevat mittaustiedot on jätetty tämän raportin ulkopuolelle, koska vertailukelpoista tietoa oli vähän saatavilla eivätkä yksittäisten kohteiden tiedot ole sinänsä kiinnostavia.

Käytettävissä olleiden mittaustietojen laajuuden ja tarkkuuden seurauksena perustiedot kuten lämmitysenergiankulutus ja kaukolämmön paluulämpötila ovat tuloksissa samanmuotoisina ja kohtuullisen helposti vertailtavissa.

Lämmitysenergian kulutuksen ja kaukolämmön paluulämpötilan osalta on käytetty kahta eri esitystapaa tunneittaisille tiedoille; aikasarja ja mittaustieto ulkolämpötilan funktiona. Molemmissa tapauksissa on esitetty korostettuna PILP –järjestelmän käyttöönoton hetki.

Lämmitysenergian kulutus on lisäksi koottu kuukausittaisiksi summiksi. Lämmityksen osalta eri vuosien ja kuukausien lukemat on muokattu vertailukelpoiksi kuukausittaisten lämmitystarvelukujen avulla. Koska kulutusta käyttöveden ja lämmityksen osalta ei ole

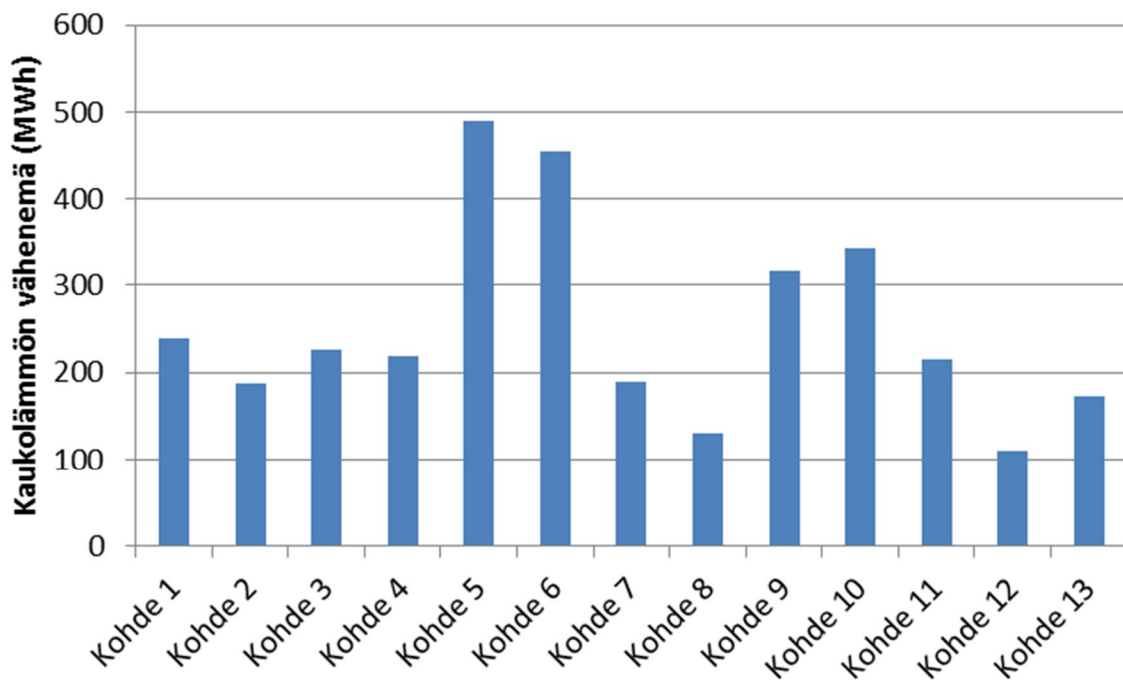
tiedoissa eroteltu, korjauskerroin toukokuusta syyskuuhun on oletettu olevan 1. Näinä kuukausina käyttöveden kulutuksen osuus kokonaiskulutuksesta on siis arvioitu olevan niin suuri, että lämmitystarvelukuihin perustuva normitus ei tuota käyttökelpoisia tuloksia.

Mittaustiedot on koottu kohdekohtaisiin tuloskortteihin, jotka käyttävät mahdollisuuksien mukaan samaa esitystapaa kohteiden välisen vertailun helpottamiseksi. Nämä tuloskortit on koottu raportin loppuun liitteiksi.

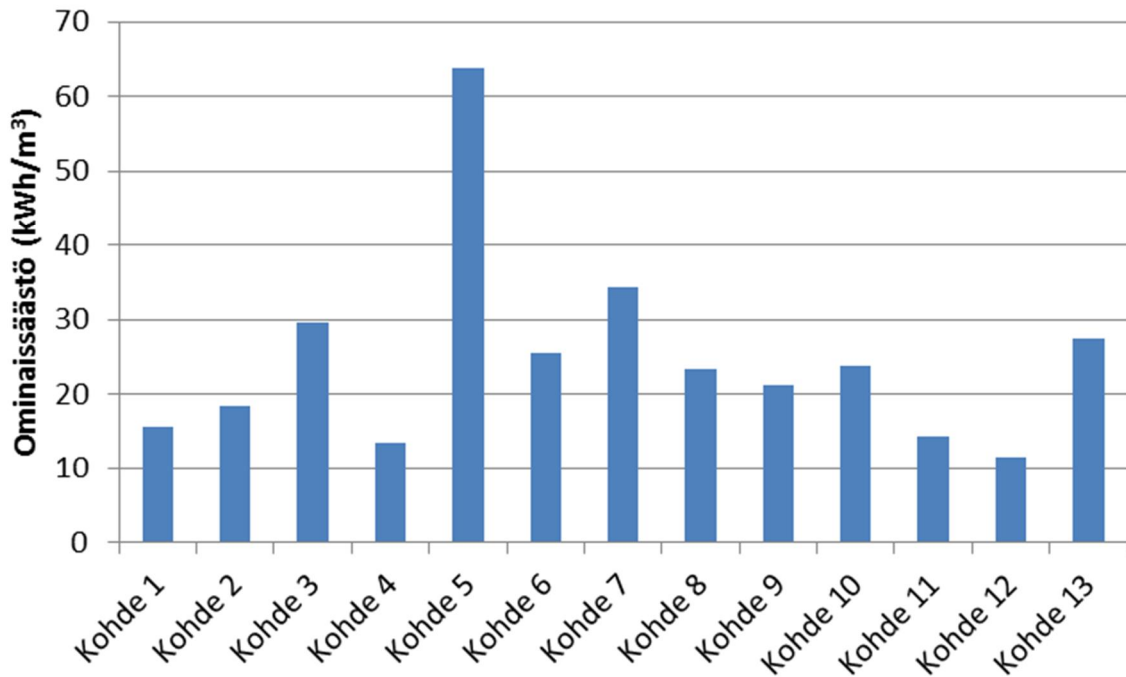
1.9 Mittaustiedot

Kohdekohtaisista mittaustiedoista keskeisin on saavutettu lämmitysenergian säästö vuodessa. Tämä kaukolämmön kulutuksen vähenemä voidaan esittää myös rakennuskuutiota kohden. Lukuarvot on mahdollisuuksien mukaan muodostettu tarkastelemalla lämmitystarvelukukorjattuja kuukausikulutuksia ja vertailemalla näiden muodostamia kokonaisia vuosia.

Tulokset on esitetty kuvissa 13 ja 14.

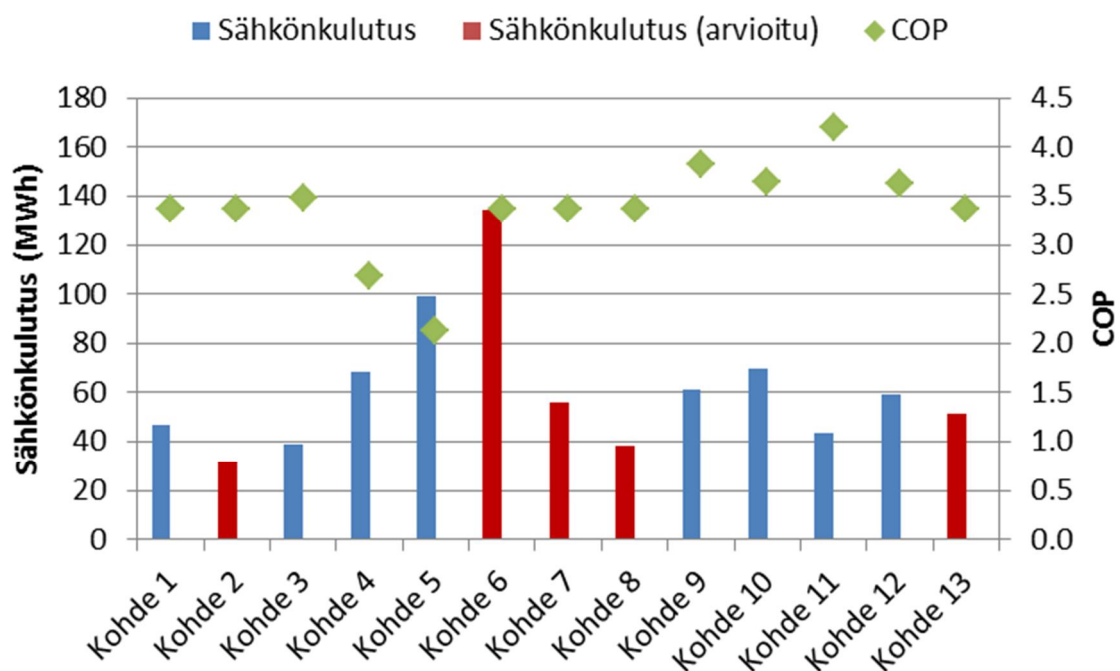


Kuva 13. Kaukolämmön kulutuksen vähenemä kohteittain.



Kuva 14. Kaukolämmön kulutuksen vähenemä rakennuskuutiota kohden kohteittain.

PILP –järjestelmän sähkönkulutuksen tiedot kerättiin lämpöpumppujärjestelmien omista seurantamittauksista mahdollisuuksien mukaan. Numeroarvo vastaa kompressorin sähkönkulutusta. Osa tiedoista on jouduttu arvioimaan puutteellisten tietojen perusteella. Kohteiden sähkönkulutustiedot ja lämpökertoimet on esitetty kuvassa 15.



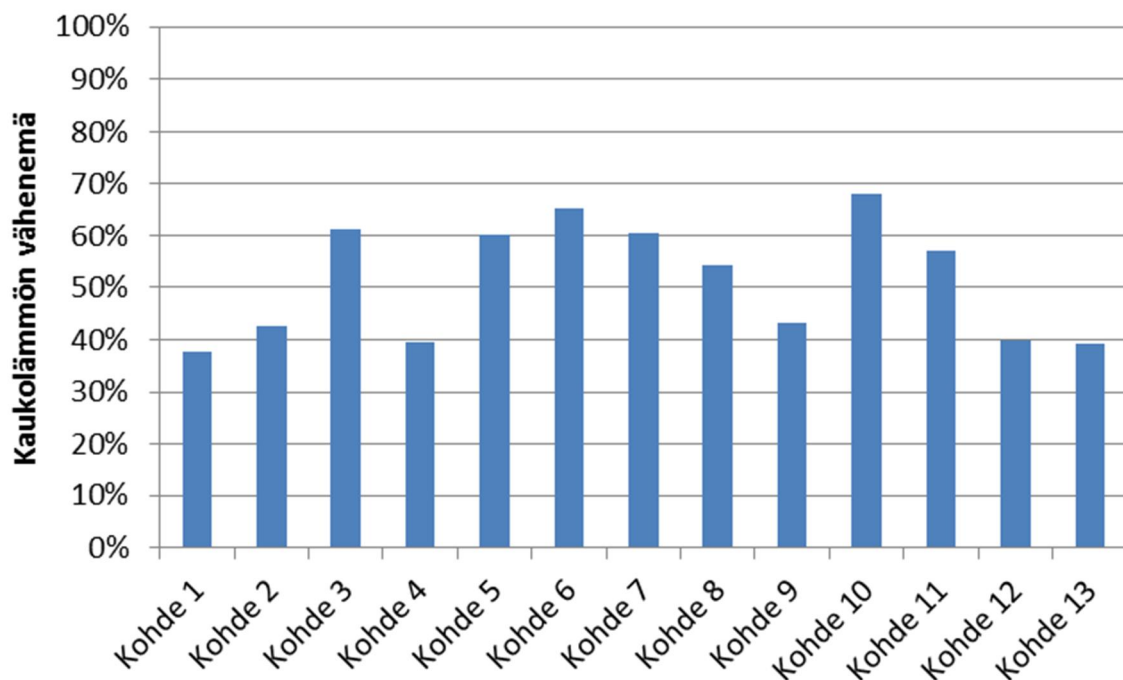
Kuva 15. PILP –järjestelmän kompressorin sähkönkulutus kohteittain.

Kohteessa 2 sähkönkulutus on arvioitu päämittarin lukeman perusteella. Kohteissa, joissa sähkönkulutus on arvioitu on käytetyt muiden kohteiden keskimääräistä COP –lukua ja kaukolämmön kulutuksen vähenemää sähkönkulutusta laskettaessa. Tämä tapa olettaa, ettei kokonaislämmönkulutuksessa ole tapahtunut muutosta eli kaukolämmön kulutuksen vähenemä vastaa täysin lämpöpumpun tuottamaa lämpöä eli itse lämmöntarpeessa ei olisi tapahtunut muutosta.

Niiden kohteiden osalta, joilla kaikki tunnusluvut ovat tiedossa, tämä päätelmä ei näytä kovin kestävältä. Yhtä kohdetta lukuun ottamatta kokonaislämmön tarve näyttää laskeneen 6 %:sta noin kolmannekseen. Yhdessä kohteessa lämmönkulutus oli kasvanut 38 %. Osaa poikkeamista selittää varmasti lämpöpumppujärjestelmien mittaustietojen virheet, mutta todennäköisesti kohteissa on tehty myös muita energiatehokkuuteen vaikuttavia toimenpiteitä.

Lämpökerroin eli COP on useimmissa mitatuissa kohteissa noin 3.5. Eri kohteiden väliset erot ovat pieniä kahta kohdetta (5 ja 11) lukuun ottamatta. Toisessa COP on vain hieman yli 2 ja toisessa yli 4. Varsinkin kahden lämpökertoimen taustalla lienee mittausrvirhe. Kytken tyyppi (rinnan- tai sarjaankytkentä) ei näytä vaikuttavan merkittävästi itse lämpöpumpun tehokkuuteen. Suurempana syynä ovat todennäköisesti lämmitys- ja lämpöpumppujärjestelmän säätöarvot eli käytännössä lämpötilatasot.

Kohteesta riippuen kaukolämmön kulutus laskee n. 40-70 %, keskimäärin 52 %. Nämä tiedot kohteittain on esitetty kuvassa 16 alla.



Kuva 16. Kaukolämmön kulutuksen lasku prosentteina.

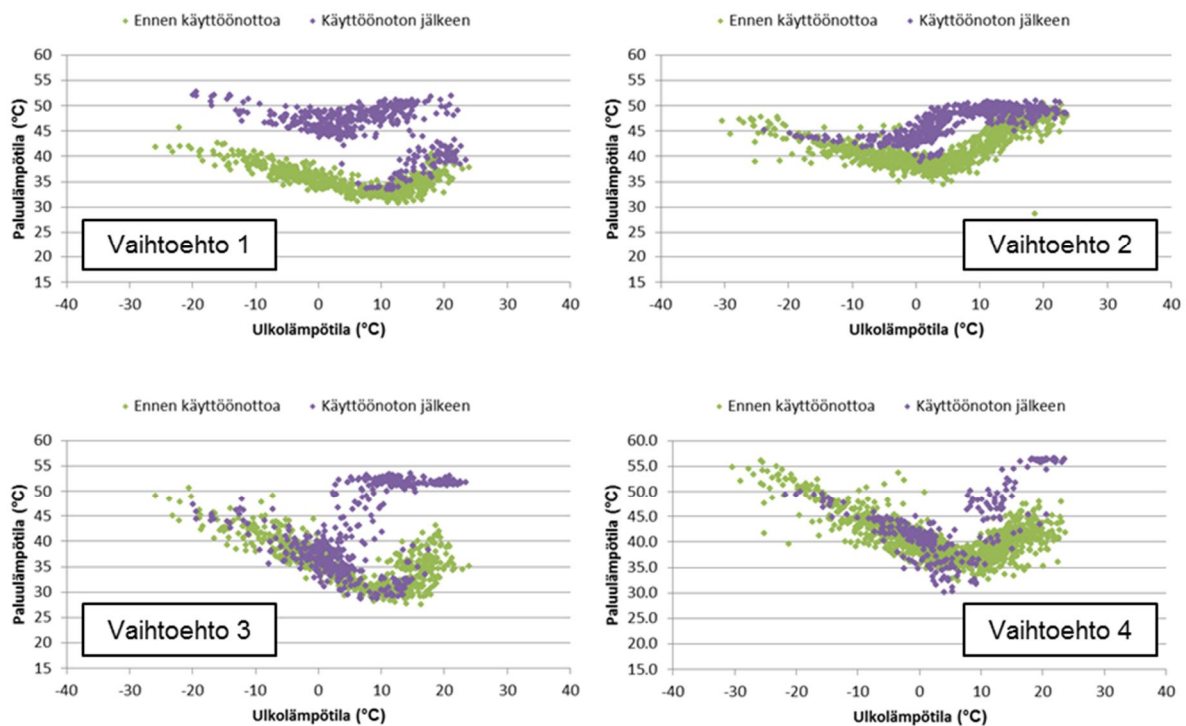
Ulkolämpötilan funktiona kaukolämmön kulutusta tarkasteltaessa huomataan, että kun aikaisemmin kaukolämmön kulutus alkaa kasvaa n. 10 - 20 °C ulkolämpötilavälillä, PILP – järjestelmän asentamisen jälkeen tämä nousu alkaa välillä 0 - 10 °C, yleisesti lähempänä nollaa astetta. Tässä käänne pisteessä järjestelmän tuoma lämmitysenergian säästö on myös suhteessa suurimmillaan.

Paluulämpötiloja tarkasteltaessa näkyy selvimmin käytetty kytkentä ja tuloksista on selkeästi erotettavissa seuraavat päätyypit:

- 1) Jäähdytys on vuoden ympäri selkeästi pienempi
- 2) Jäähdytys pienempi 0 - 15 °C ulkolämpötiloissa, muuten vaikutus vähäisempi
- 3) Lämmityskaudella jäähdytys hyvä, heti sen ulkopuolella selvästi huonompi
- 4) Lämmityskaudella jäähdytys hyvä, käyttöveden osuuden kasvaessa jäähdytys huononee asteittain

Kolmessa ensimmäisessä vaihtoehdossa on käytetty sarjankytkentää joka osin tai kokonaan. Käyttöveden esilämmitys tehdään varaajalla. Neljännessä kyseessä on taas K1 –suosituksen mukainen rinnankytkentä (kohteet 12 ja 13).

Alle kuvaan 17 on koottu edustavat otokset paluulämpötilan muutoksista kustakin päätyypistä.



Kuva 17. Paluulämpötila eri kytkentätyypeillä ennen ja jälkeen PILP -järjestelmän.

Sarjan- ja varaajakytkennän seurauksena PILP –järjestelmän pystyessä tuottamaan tarvittavan lämmitystehon tarpeen kokonaan, kaukolämmölle jää käyttöveden kiertojohton lämmitys. Ulkolämpötilan laskiessa ja tehontarpeen sekä lämmityspiirin lämpötilan asetusarvojen kohotessa kaukolämpöä tarvitaan enemmän ja jäähdytys lähenee PILP –järjestelmää edeltänyttä tilannetta.

Jossain mittauskohteissa jäähdytys on pienempi läpi lämmityskauden. Näissä tilanteissa kytkentä kyse on puhtaasta lämmityskierron esilämmityksestä. Itse kytkennän lisäksi tuloksiin vaikuttavat myös PILP –järjestelmän säädön asetusarvot ja toimintalogiikka.

4. Yhteenveto

PILP –järjestelmät ovat yleistymässä Suomessa soveltuvan saneerausikäisen asuntokannan ja taloudellisen kilpailukykyensä johdosta energiatehokkuustoimenpiteenä. Selkeimmin soveltuva kohde on poistoilmakonein varustettu ja 1960-1990 rakennettu asuinkerrostalo. Nämä muodostavat Suomen rakennuskannasta merkittävän osan.

Järjestelmän ansiosta asuinkerrostalon kaukolämmön kulutus vähenee arviolta 50 %. Kohteesta riippuen tämä luku vaihtelee kuitenkin vajaasta 40 prosentista lähes 70 prosenttiin.

Suomen rakennuskantatilastojen ja rakennusvuodesta riippuvan ominaislämmitysenergian kulutuksen perusteella on laskettu realistiseksi pitkän aikavälin kokonaispotentiaaliksi kaukolämmön kulutuksen vähenemälle koko maassa noin 2.7 TWh. Tyypillisellä lämpökertoimella (COP) 3.5 laskettuna vastaava sähkönkulutuksen kasvu olisi noin 0.8 TWh.

Kaukolämpöjärjestelmään PILP –järjestelmä vaikuttaa kahdella eri tapaa; kaukolämmön kulutuksen vähentymisenä ja kytkennästä riippuen paluulämpötilan nousuna. Kummatkin vaikuttavat mahdollisen yhteistuotannon sähkön tuotannon kapasiteettiin ja siirtojärjestelmän eli kaukolämpöverkon tehokkuuteen negatiivisesti.

Tulokset tämän suhteen ovat kuitenkin hyvin järjestelmäkohtaisia. Yleisesti ottaen kulutuksen vähentymisellä on selkeästi suuremmat vaikutukset kuin paluulämpötilan vähäisillä muutoksilla. Poikkeuksen tähän tekevät järjestelmät, jossa hyödynnetään savukaasujen lämmön talteenottoa ja joiden toiminta vaarantuu jo pienemmästä lämpötilan noususta.

Järjestelmätasolla kokonaishyötysuhdetta laskettaessa merkittävimmät lopputulokseen vaikuttavat tekijät ovat lämpöpumpun lämpökerroin, yhteistuotannon rakennusaste sekä korvaavan sähköntuotannon rakenne. PILP –järjestelmät siis lisäävät sähkön tarvetta sekä oman kulutuksensa että kaukolämpökuorman pienentymisen kautta yhteistuotannon sähkön tuotannon vähentymisenä. Korkea rakennusaste kääntää vaakakupin helposti kaukolämmön suuntaan, korkea lämpökerroin taas hyödyntää lämpöpumppuja. Tarkemmat johtopäätökset vaativat kaukolämpöjärjestelmäkohtaista analyysiä.

Mittaustulokset tuovat selkeästi esiin eri kytkentätapojen erot sekä muutokset kaukolämmön kulutuksessa. Parhaiten nämä tulevat esiin esittäessä kulutusta tai paluulämpötilaa ulkolämpötilan funktiona. PILP –järjestelmä siirtää kaukolämmön kulutuksen ulkolämpötilariippuvuutta pidemmälle lämmityskauteen siten, että kulutus lähtee nousuun n. 0-10 °C ulkolämpötilassa. Suurimmat suhteelliset säästöt saadaan juuri tällä lämpötila-alueella.

Paluulämpötila riippuu vielä voimakkaammin toteutetusta kytkennästä. Joillain kytkennöillä paluulämpötila on selkeästi (10 °C) edeltävää tilannetta korkeampi, toisilla selkeä ero näkyy tietyllä lämpötila-alueella; yleensä juuri edellä mainitulla välillä 0-10 °C. Kaikki paluulämpötilaa selkeästi muuttaneet järjestelmät ovat toteutettu ainakin pääosin sarjaankytkennällä. Paluulämpötilaan liittyvät ongelmat ovat kuitenkin ratkaistavissa, sillä suositeltu kytkentätapa eli rinnankytkentä vaikuttaa paluulämpötilaan vähän tai ei ollenkaan.

Lähdeviitteet

Energiateollisuus ry. 2013. Kaukolämpötilastot 2005-2013.
<http://energia.fi/tilastot/kaukolammitys>. [viitattu 31.10.2014].

Energiateollisuus ry. 2013. Kaukolämmön hinnat 2013.
<http://energia.fi/tilastot/kaukolammon-hinnat-tyyppitaloissa-eri-paikkakunnilla>. [viitattu 31.10.2014]

Nord Pool Spot 2014. Market Data 2000-2013. <http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/ALL1/Yearly/?view=table> [viitattu 3.11.2014]

Pöyry. 2012. Kaukolämmön ja lämmönjakokeskusten kytkennät ja lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat. Viite 16ENN0075-E0001.

Tilastokeskus. 2014. Haku rakennuskannasta tutkimuskäyttöön: kaukolämmitetyt asuinkerrostalot rakennusvuosittain vuoteen 2013 saakka.

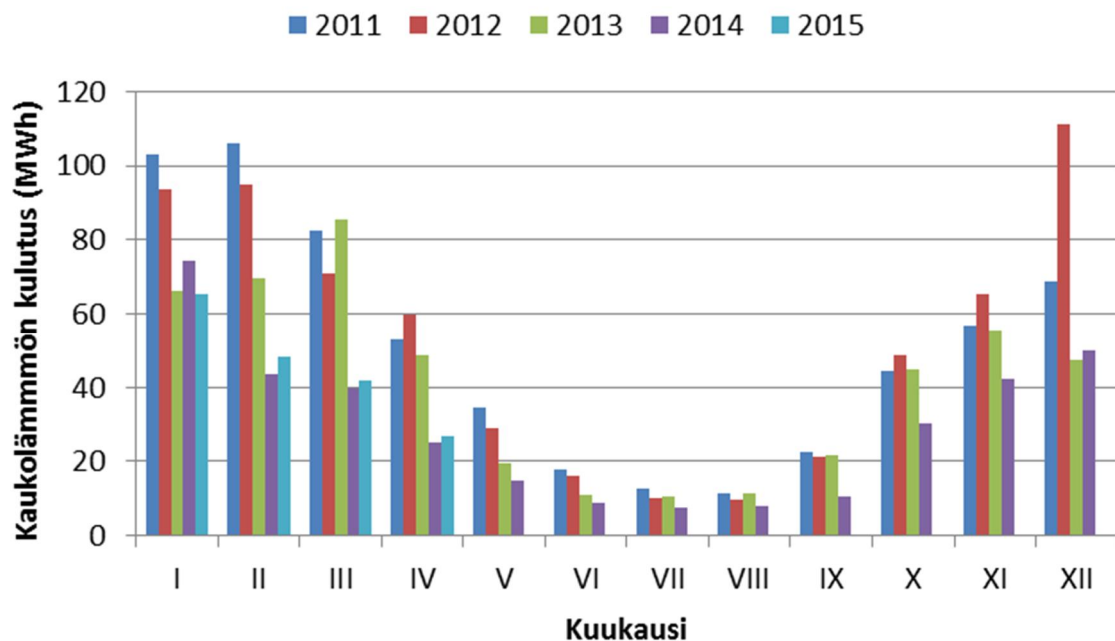
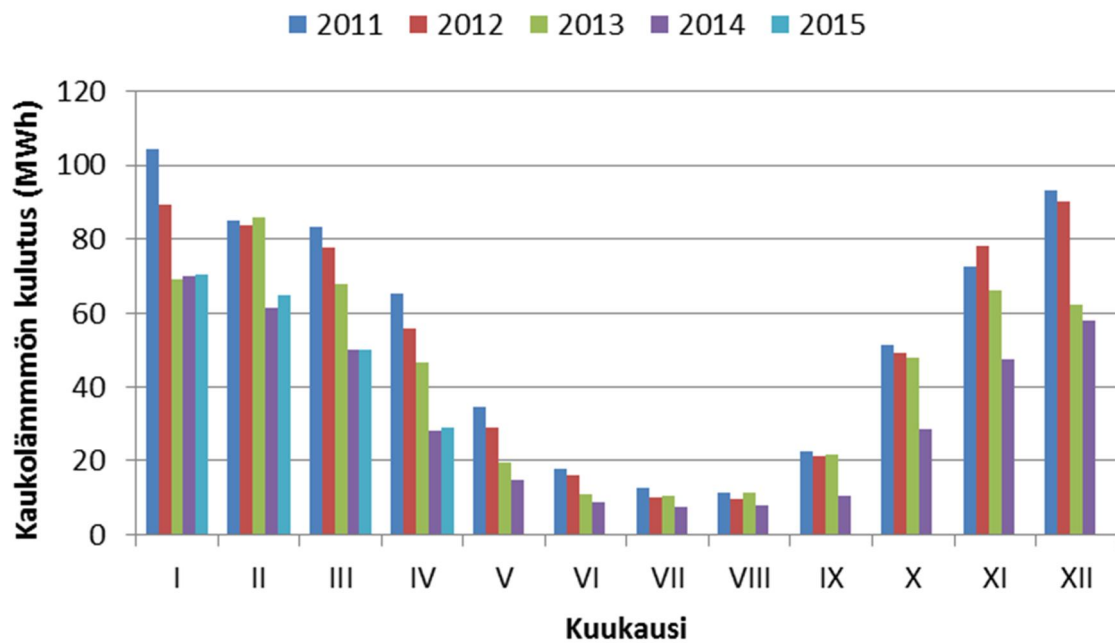
Pekka Tuominen, Riikka Holopainen, Lari Eskola, Juha Jokisalo, Miimu Airaksinen. 2014. Calculation method and tool for assessing energy consumption in the building stock. Building and Environment, Volume 75, May 2014, Pages 153–160

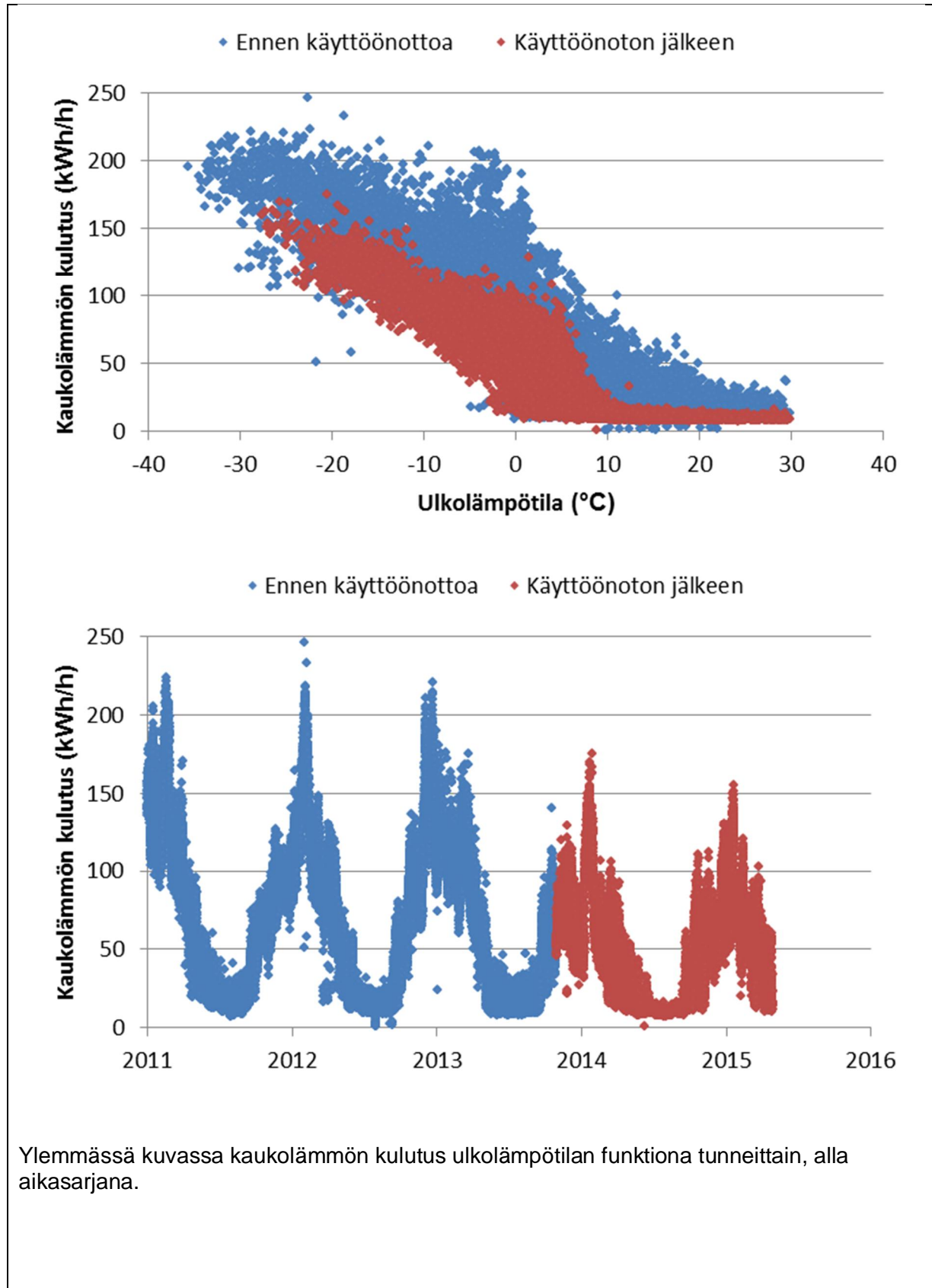
LIITE A Kohteet

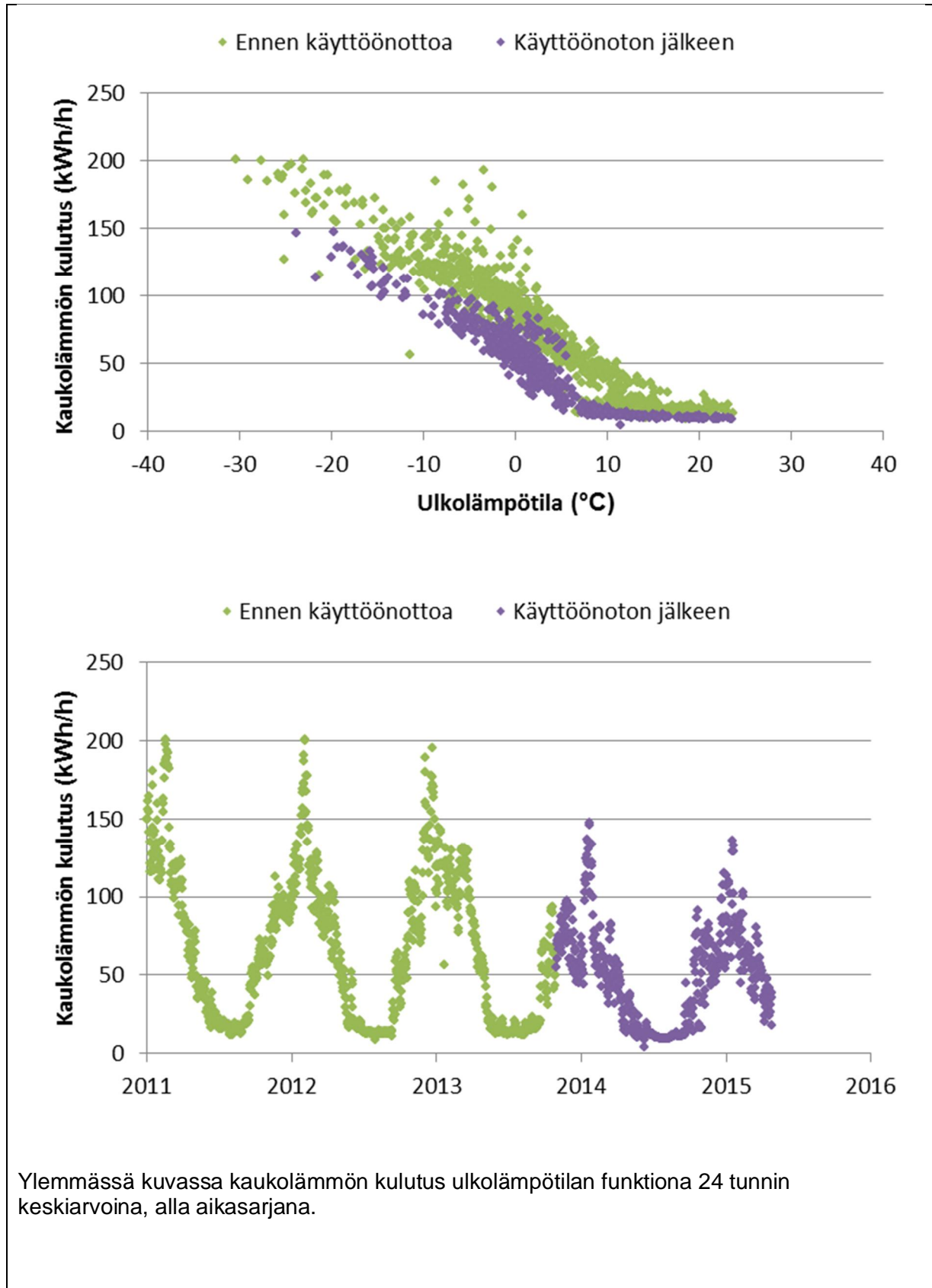
Kohde 1 (perustiedot ja lämmitysenergiankulutus)

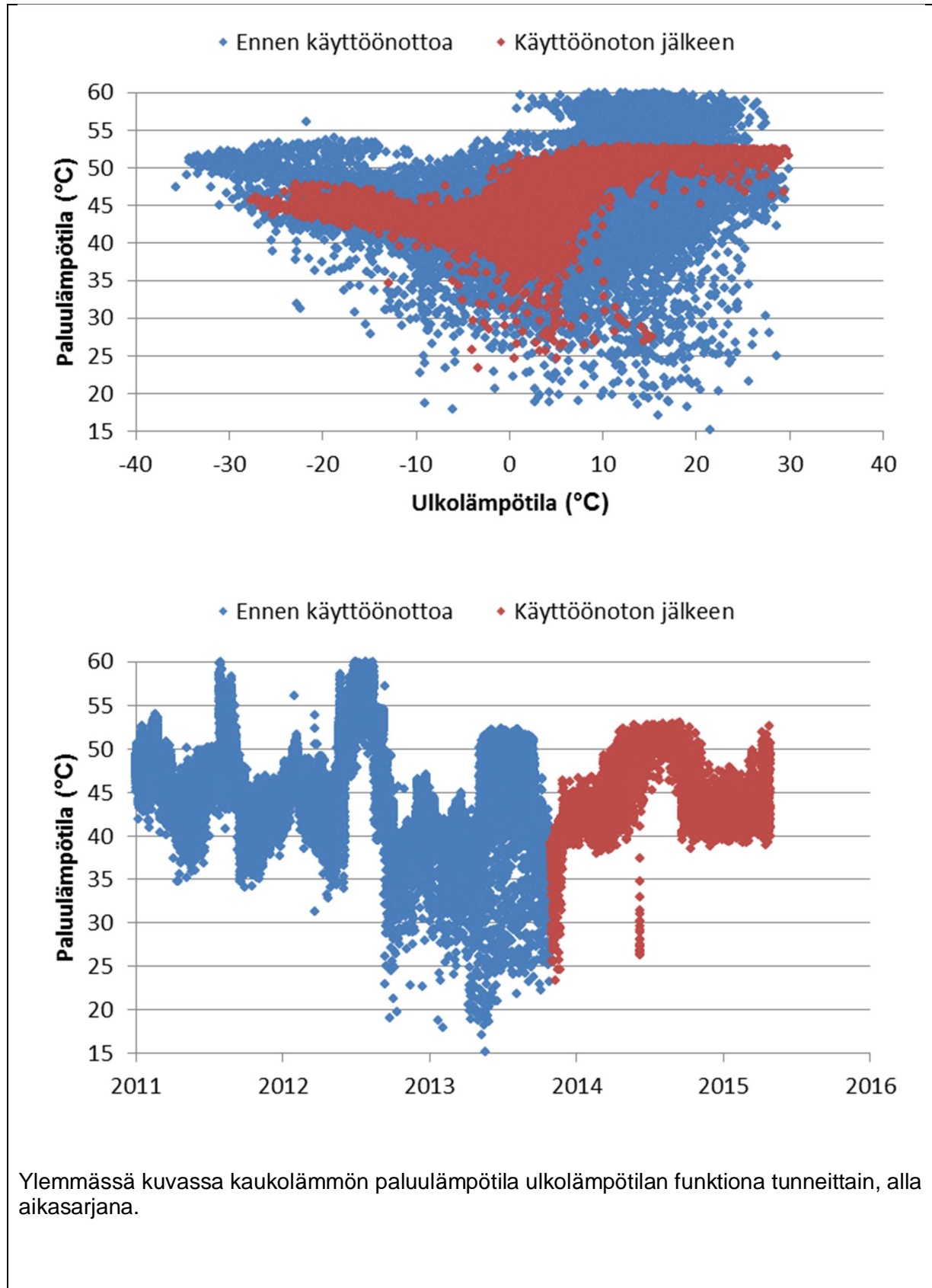
Sijainti	Jyväskylä	Kerroksia	-
Tilavuus	15 000 m ³	Huoneistot	-
Rakennusvuosi	1962	Järjestelmän käyttöönotto	12/2013

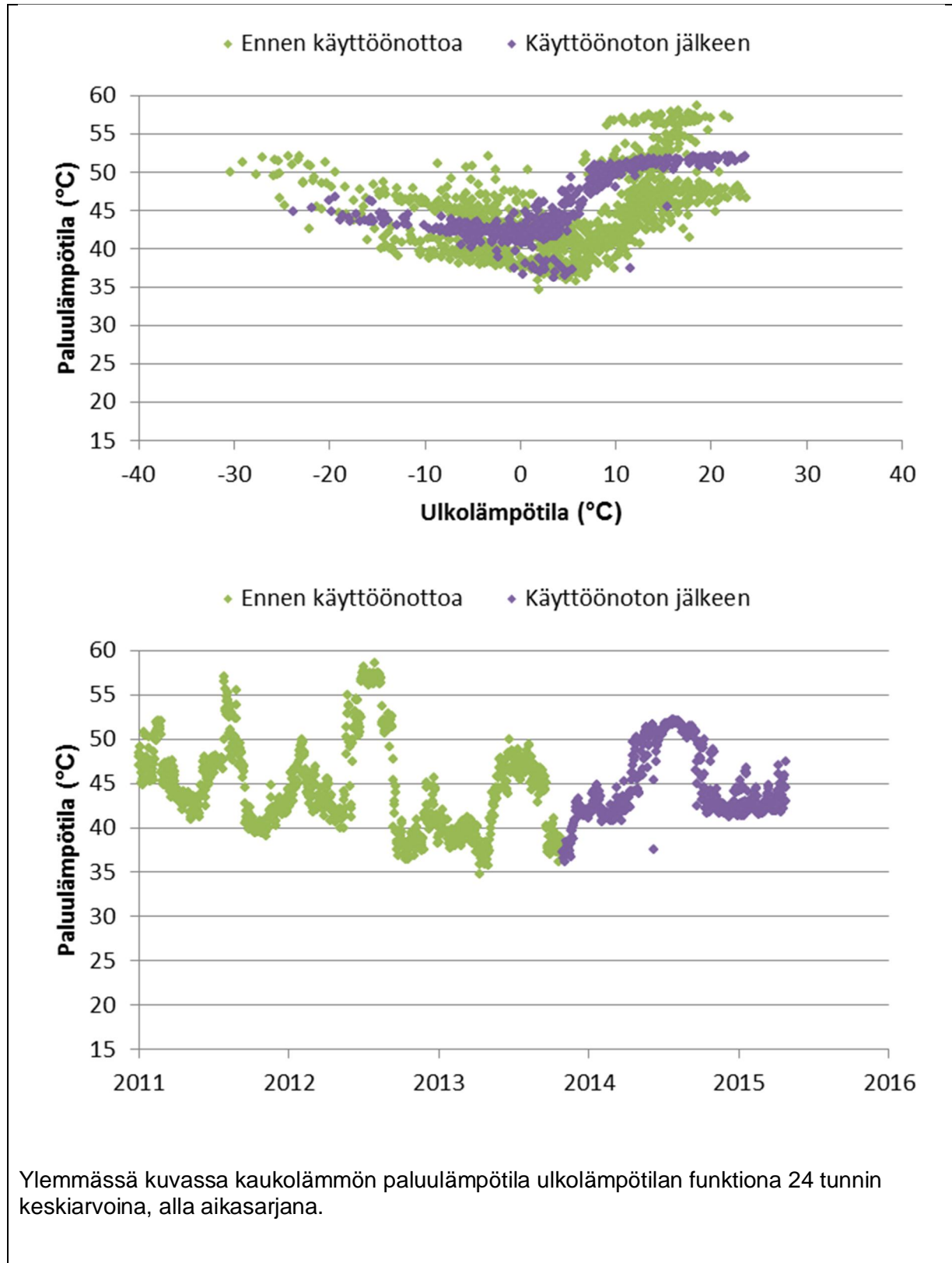
Kaukolämmön kulutus ennen käyttöönottoa 630 MWh ja käyttöönoton jälkeen 390 MWh (-38 %). Yllä normitettu kaukolämmön kulutus kuukausittain, alla mitatut arvot.



Kohde 1 (kulutus tunneittain)


Kohde 1 (kulutus 24h keskiarvoina)


Kohde 1 (paluulämpötilat)


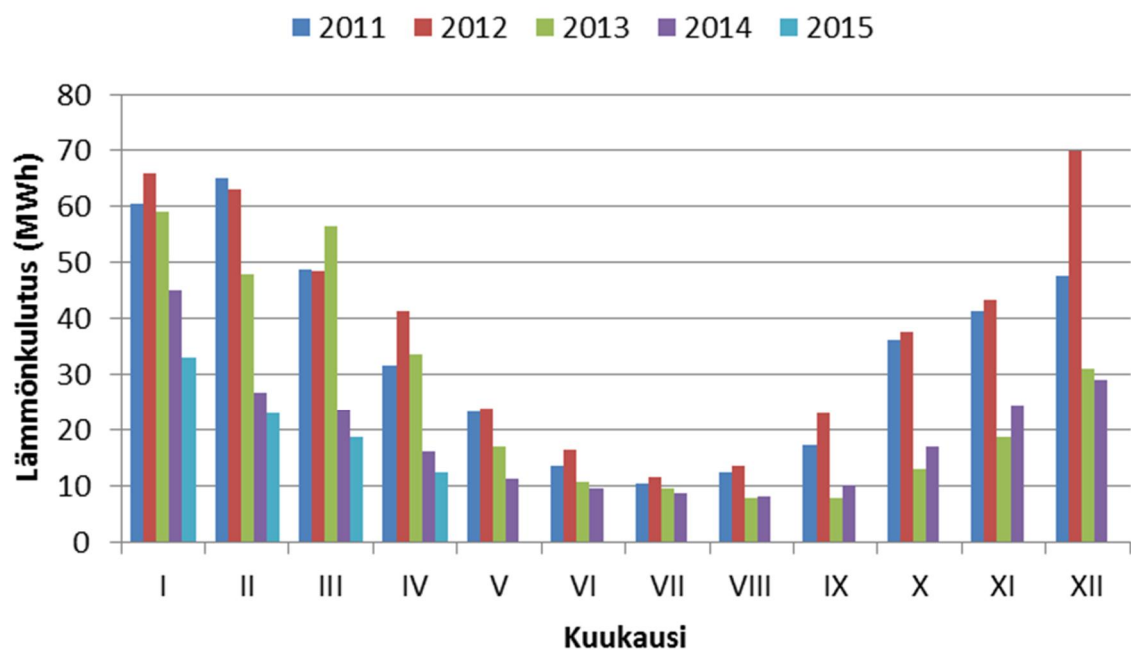
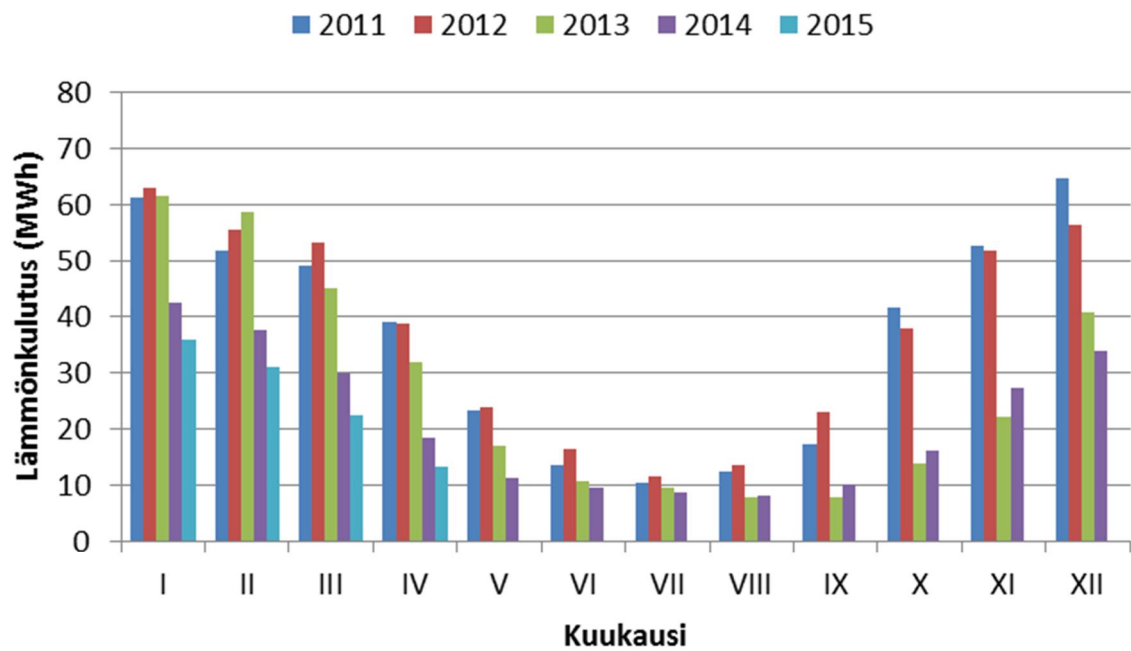
Kohde 1 (paluulämpötilat 24h keskiarvoina)


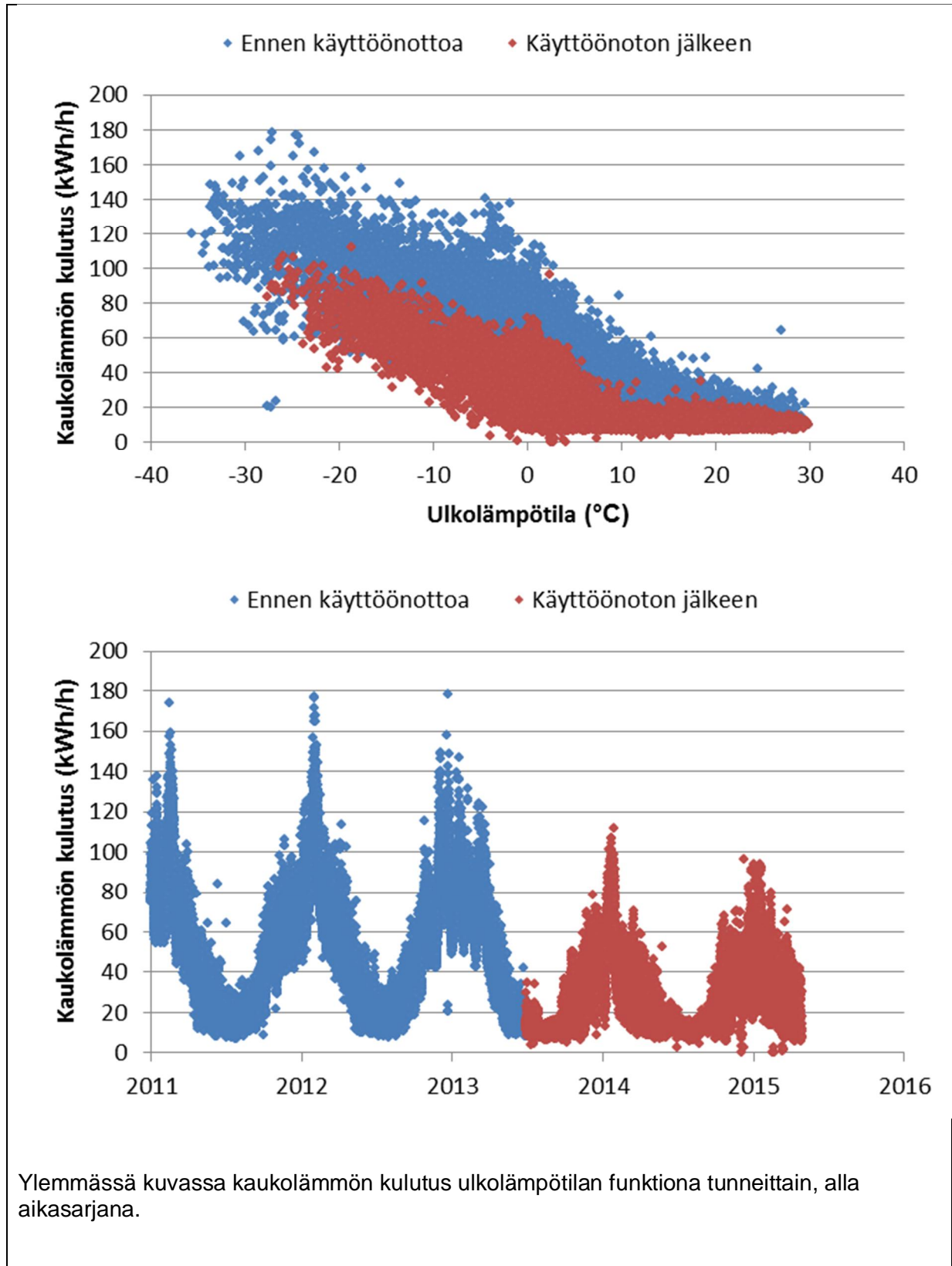
Ylemmässä kuvassa kaukolämmön paluulämpötila ulkolämpötilan funktiona 24 tunnin keskiarvoina, alla aikasarjana.

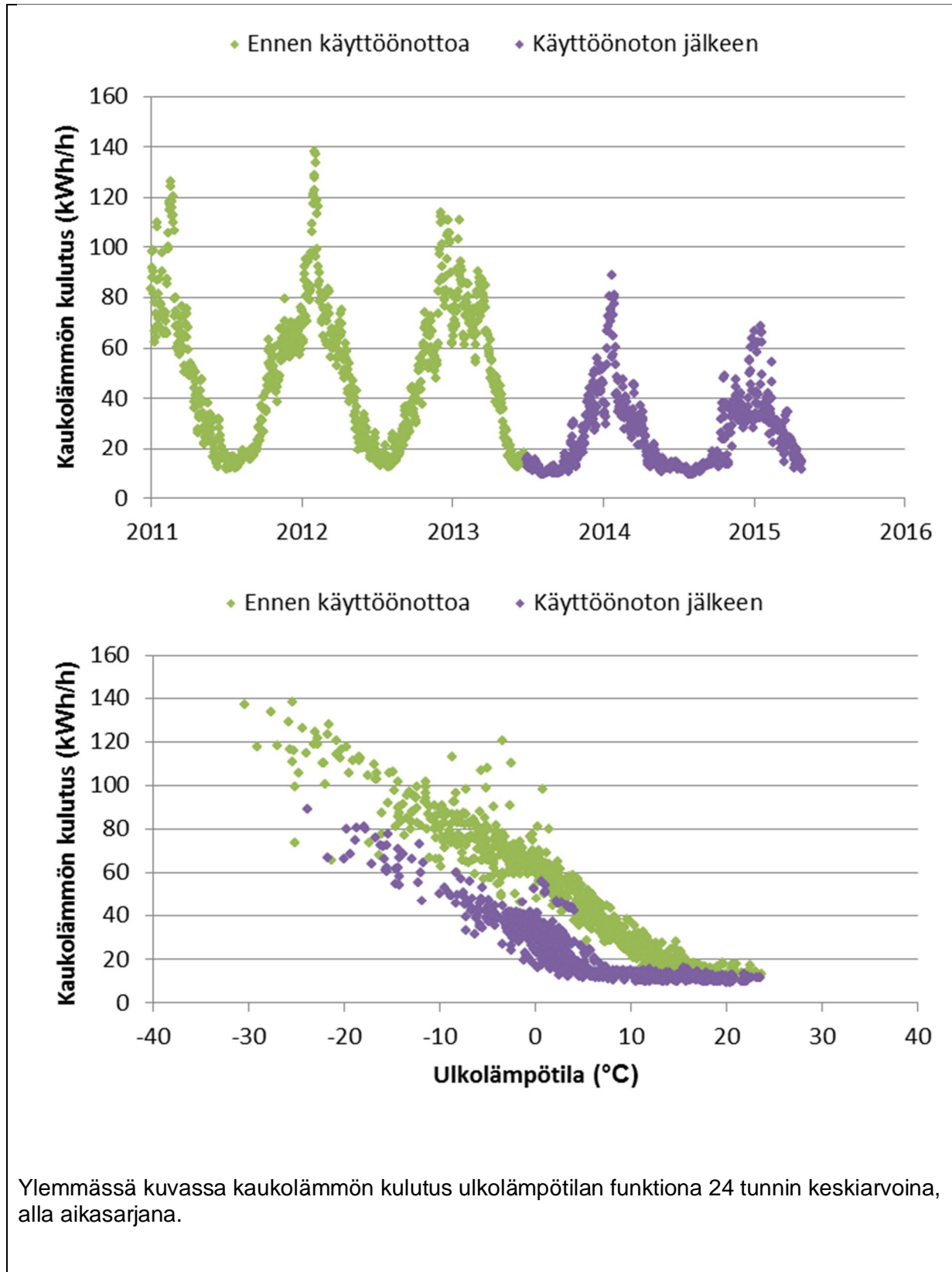
Kohde 2 (perustiedot ja lämmitysenergiankulutus)

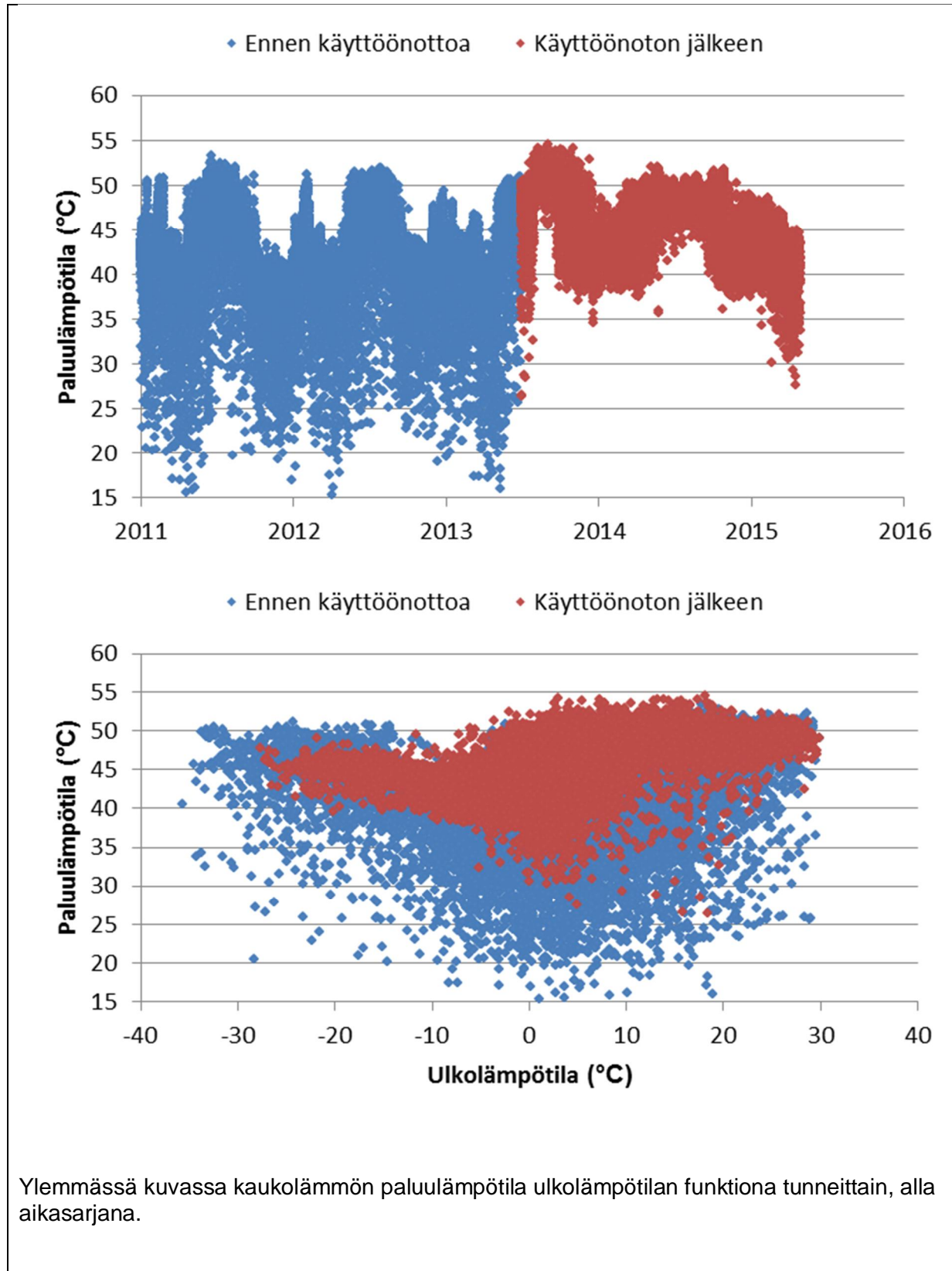
Sijainti	Jyväskylä	Kerroksia	-
Tilavuus	10 000 m ³	Huoneistot	-
Rakennusvuosi	1971	Käyttöönotto	8/2013

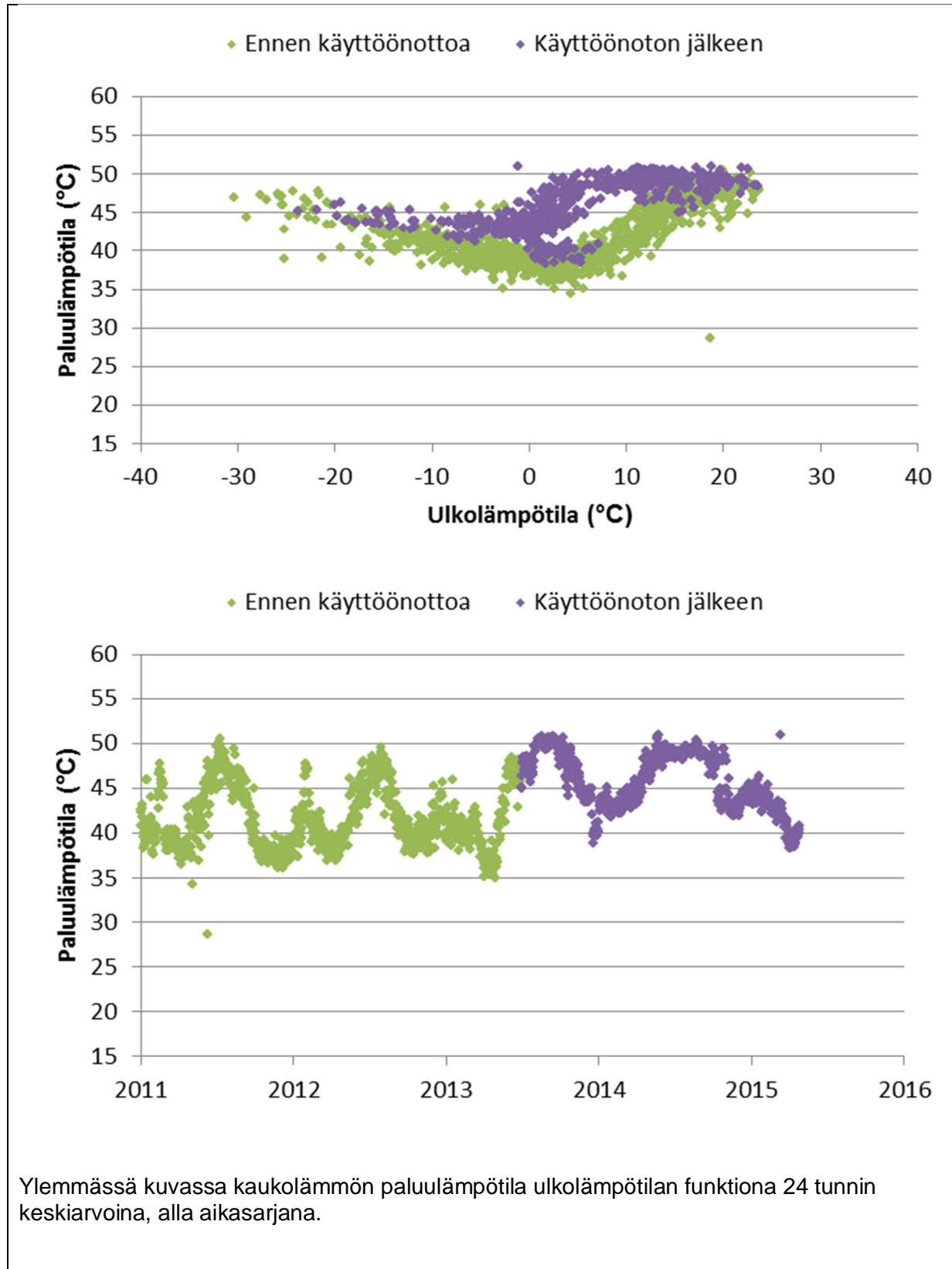
Kaukolämmön kulutus ennen käyttöönottoa 440 MWh ja käyttöönoton jälkeen 250 MWh (-43 %). Yllä normitettu kaukolämmön kulutus kuukausittain, alla mitatut arvot.



Kohde 2 (kulutus tunneittain)


Kohde 2 (kulutus 24h keskiarvoina)


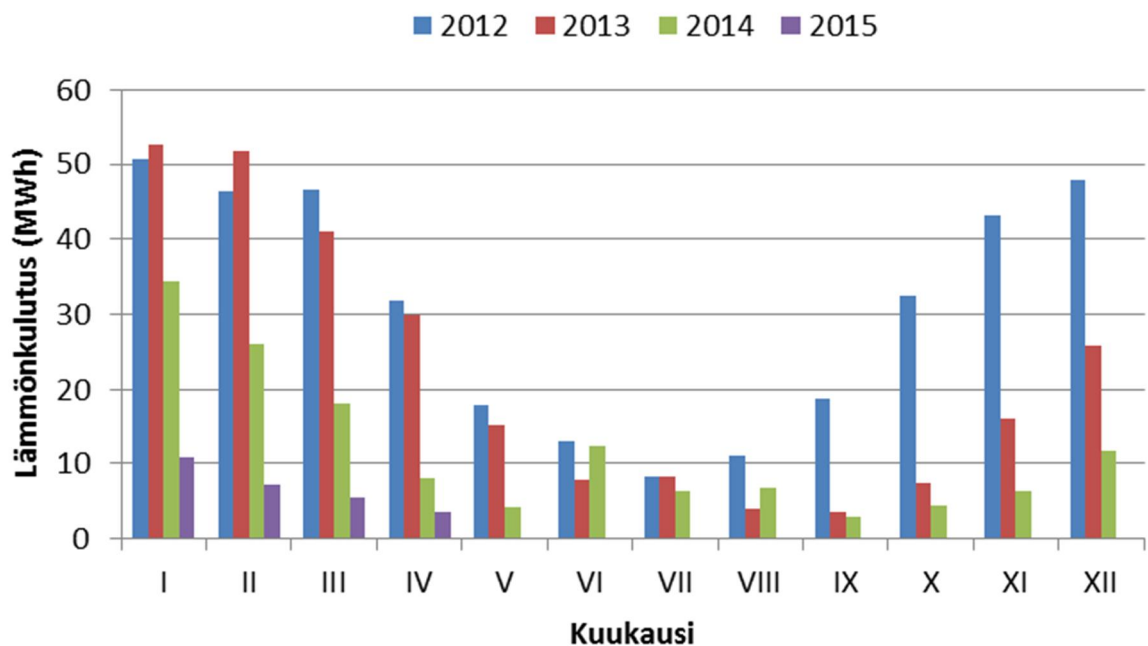
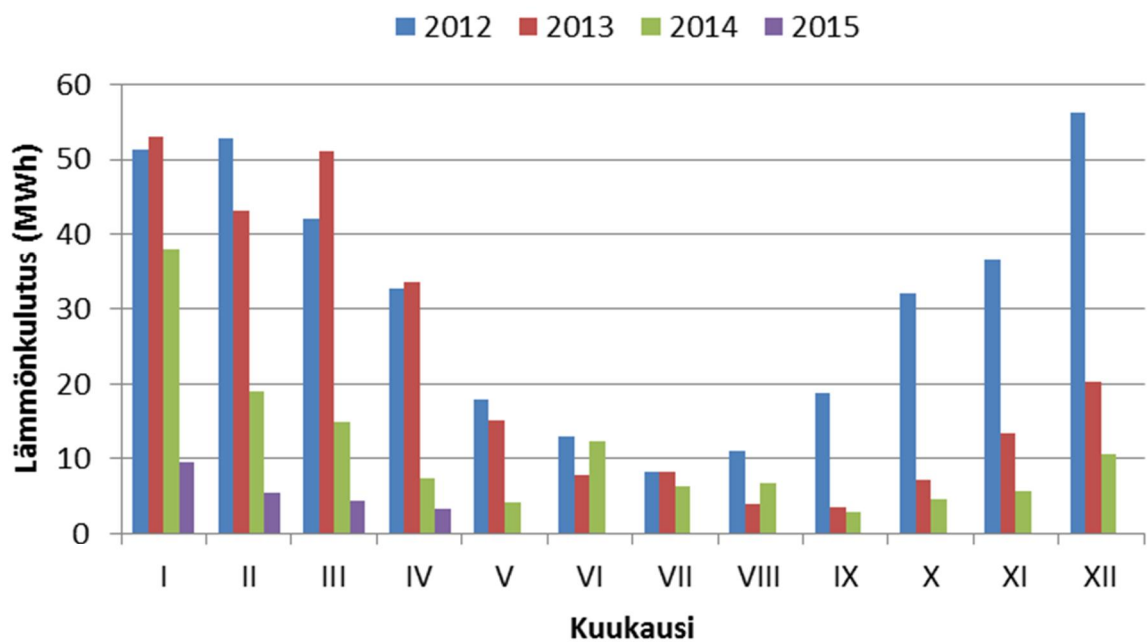
Kohde 2 (paluulämpötilat)


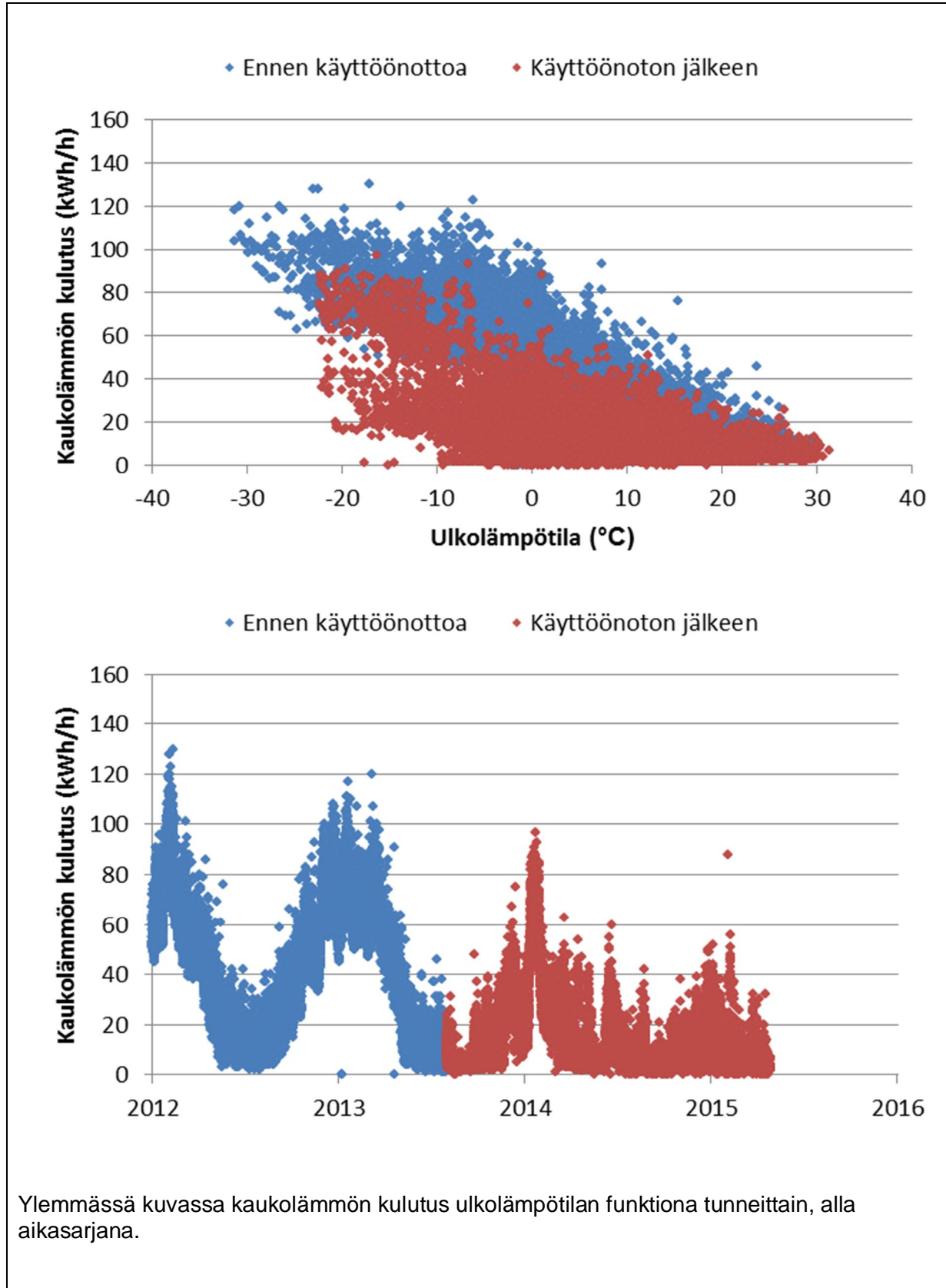
Kohde 2 (paluulämpötilat 24h keskiarvoina)


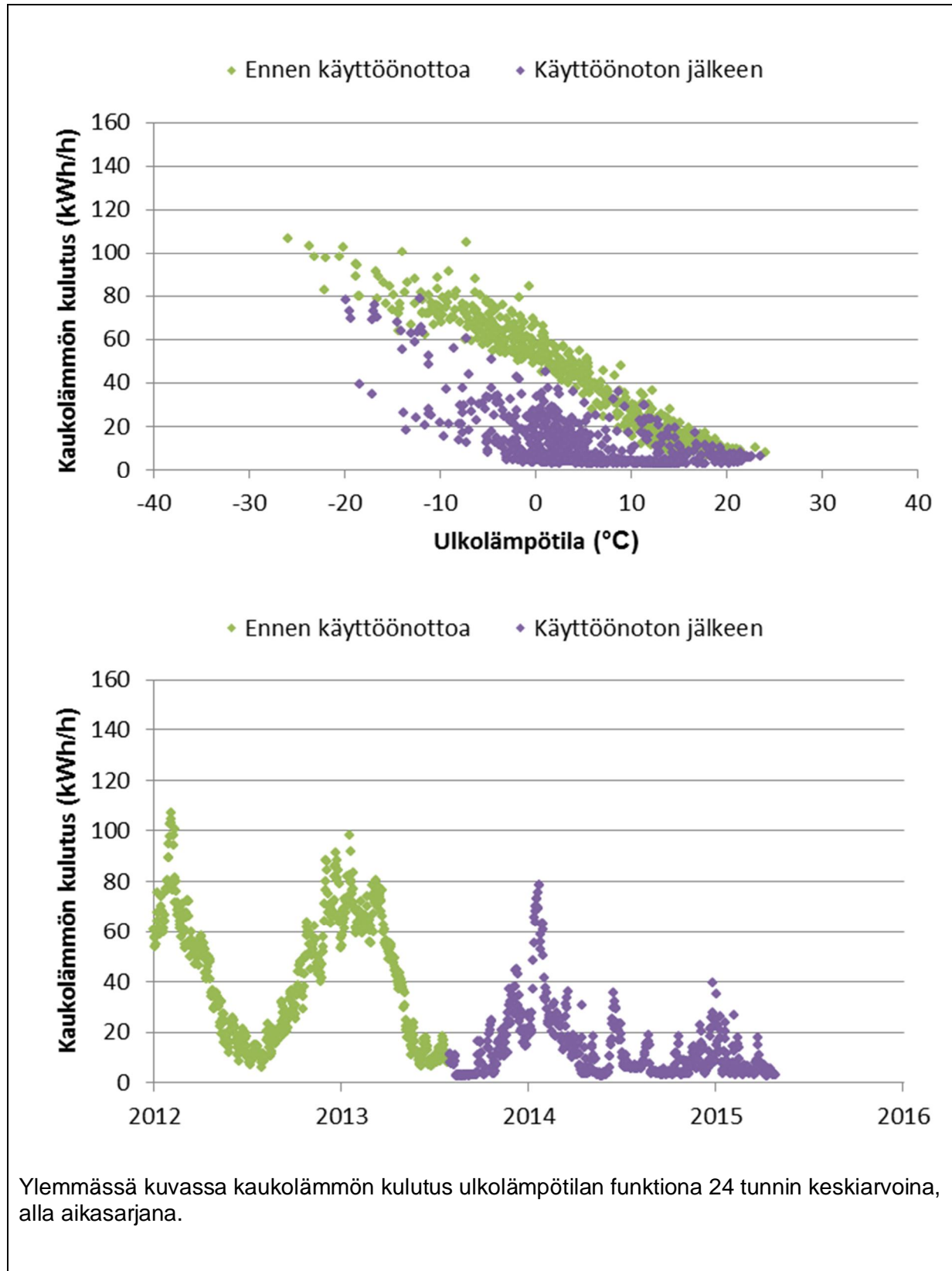
Kohde 3

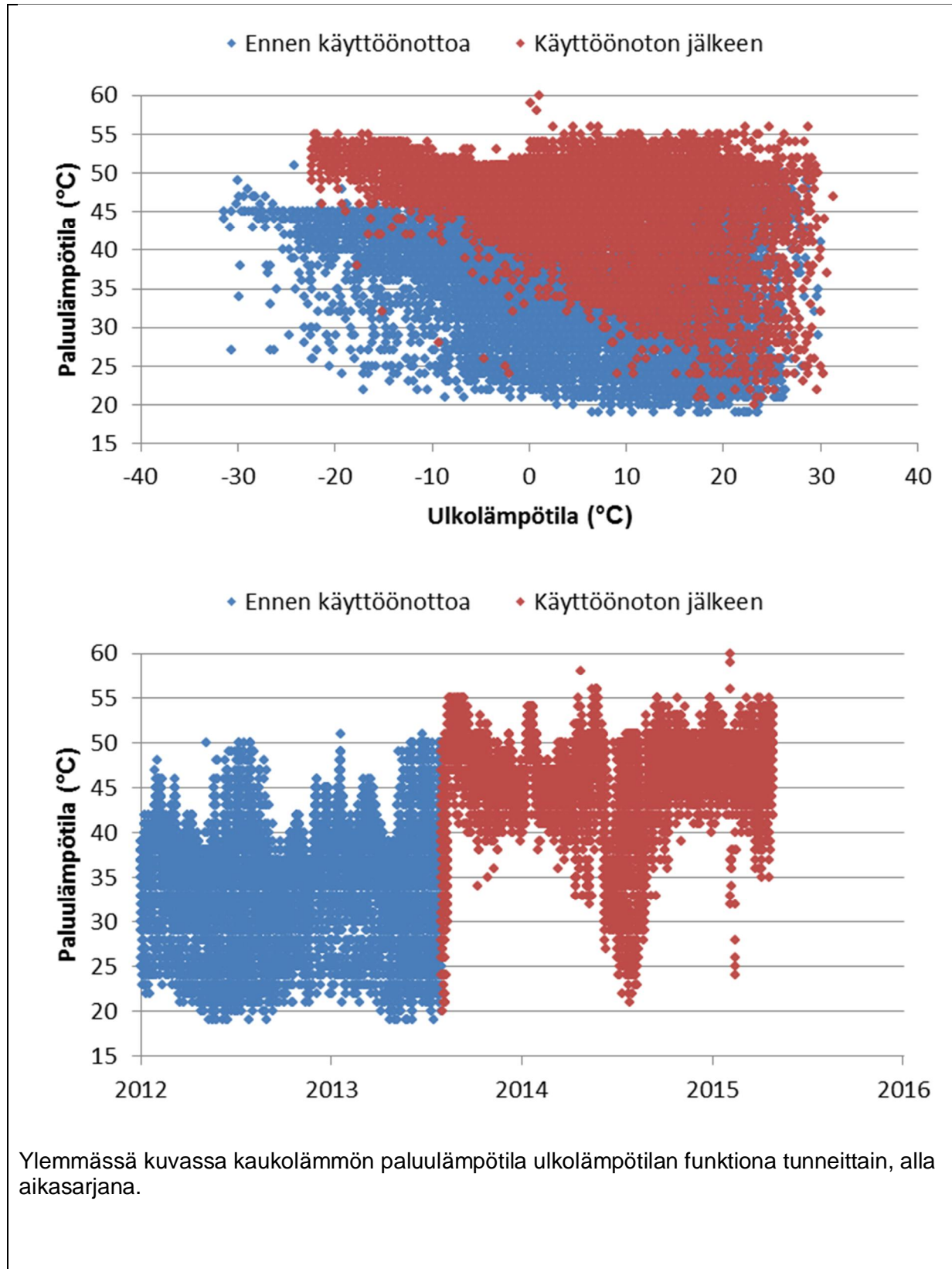
Sijainti	Lahti	Kerroksia	-
Tilavuus	7 500 m ³	Huoneistot	33
Rakennusvuosi	1967	Käyttöönotto	8/2013

Kaukolämmön kulutus ennen käyttöönottoa 370 MWh ja käyttöönoton jälkeen 140 MWh (-61 %). Yllä normitettu kaukolämmön kulutus kuukausittain, alla mitatut arvot.

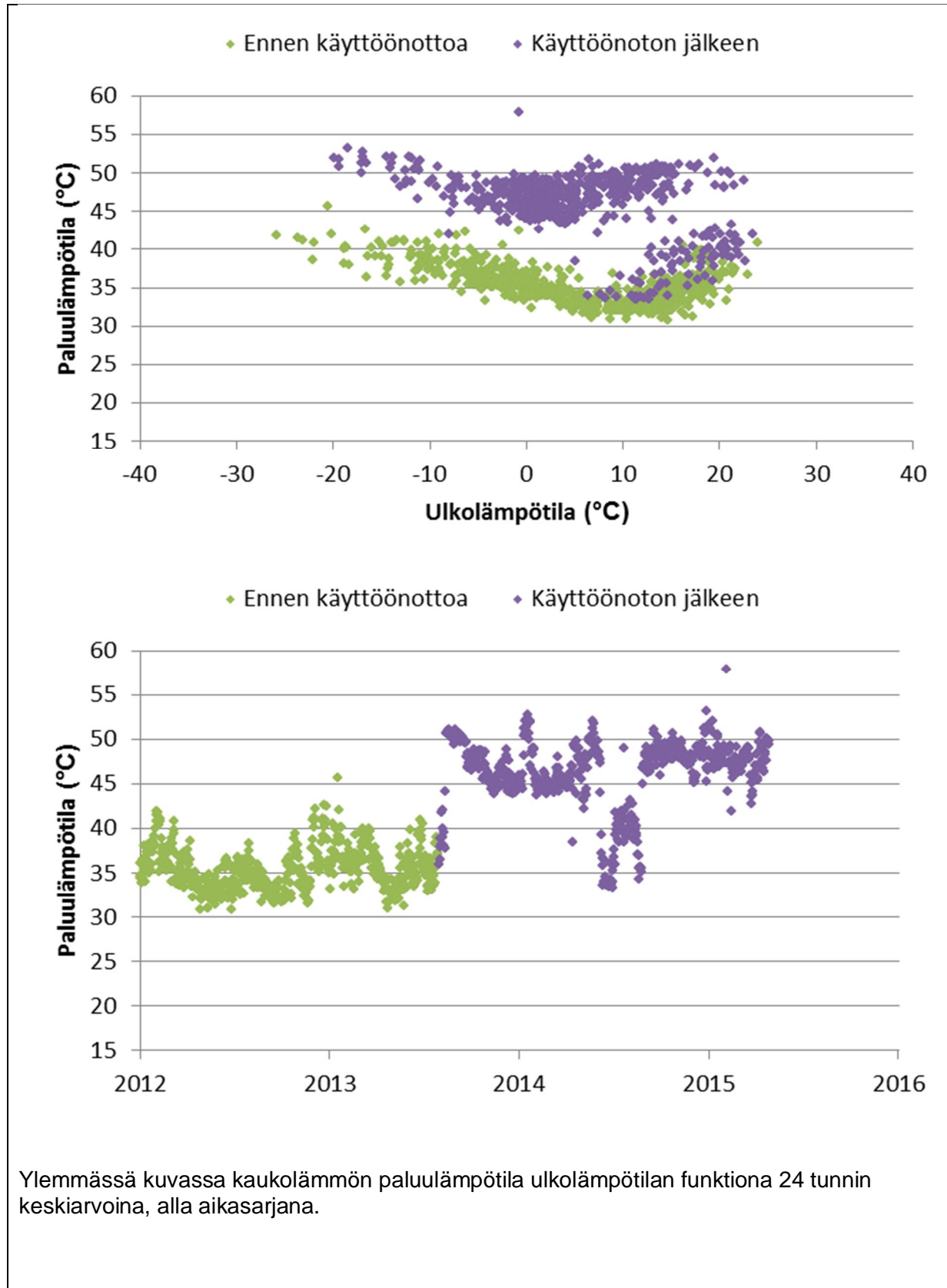


Kohde 3 (kulutus tunneittain)


Kohde 3 (kulutus 24h keskiarvoina)


Kohde 3 (paluulämpötilat)


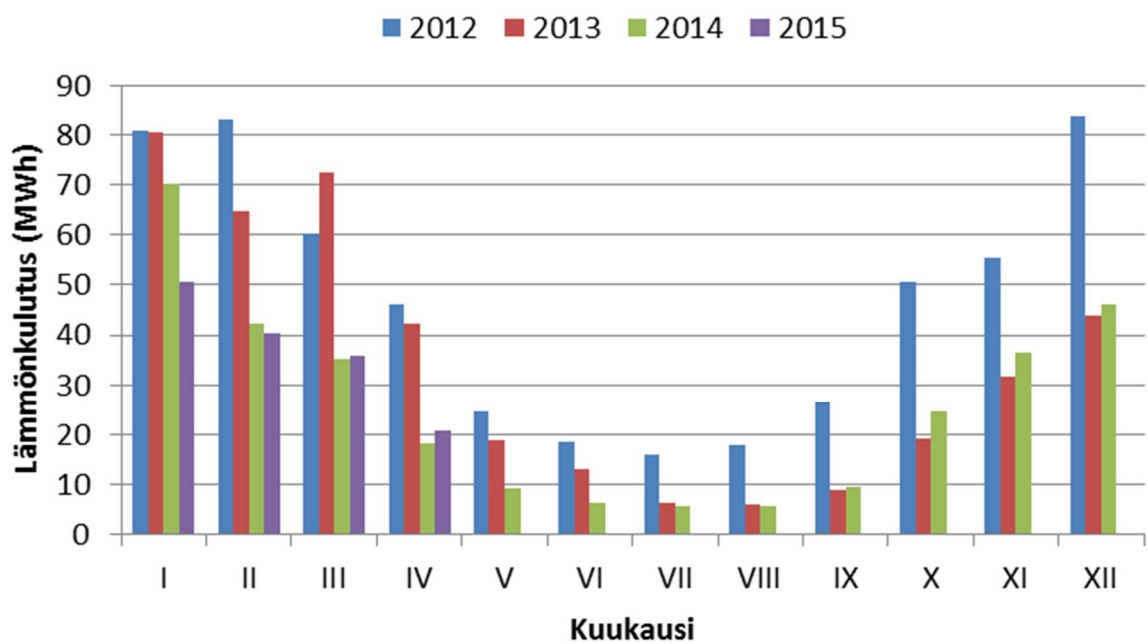
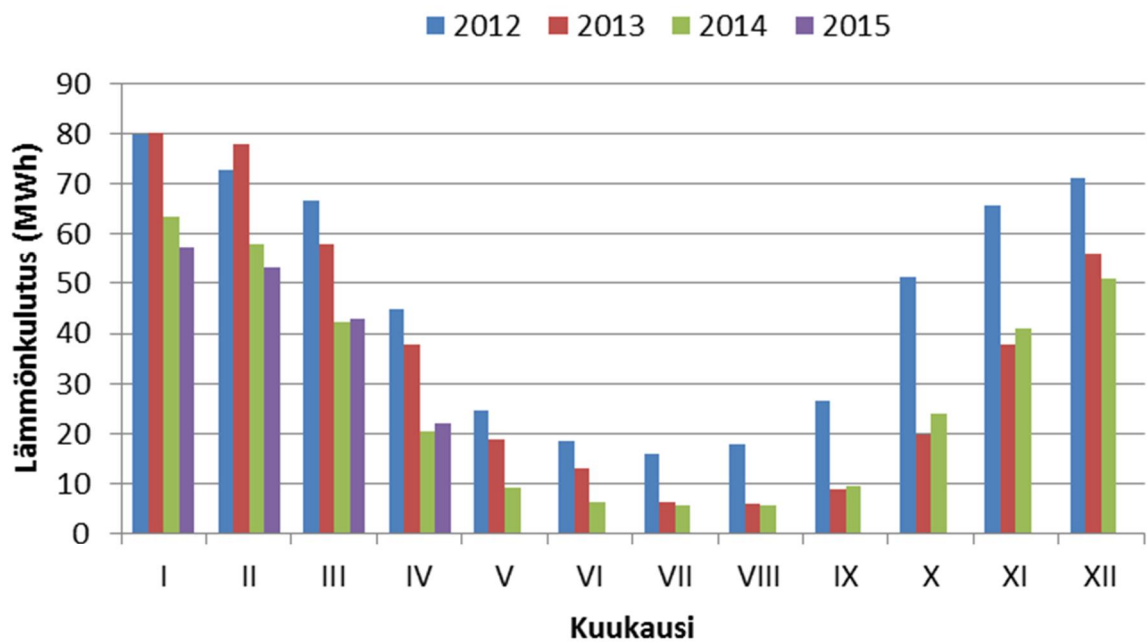
Ylemmässä kuvassa kaukolämmön paluulämpötila ulkolämpötilan funktiona tunneittain, alla aikasarjana.

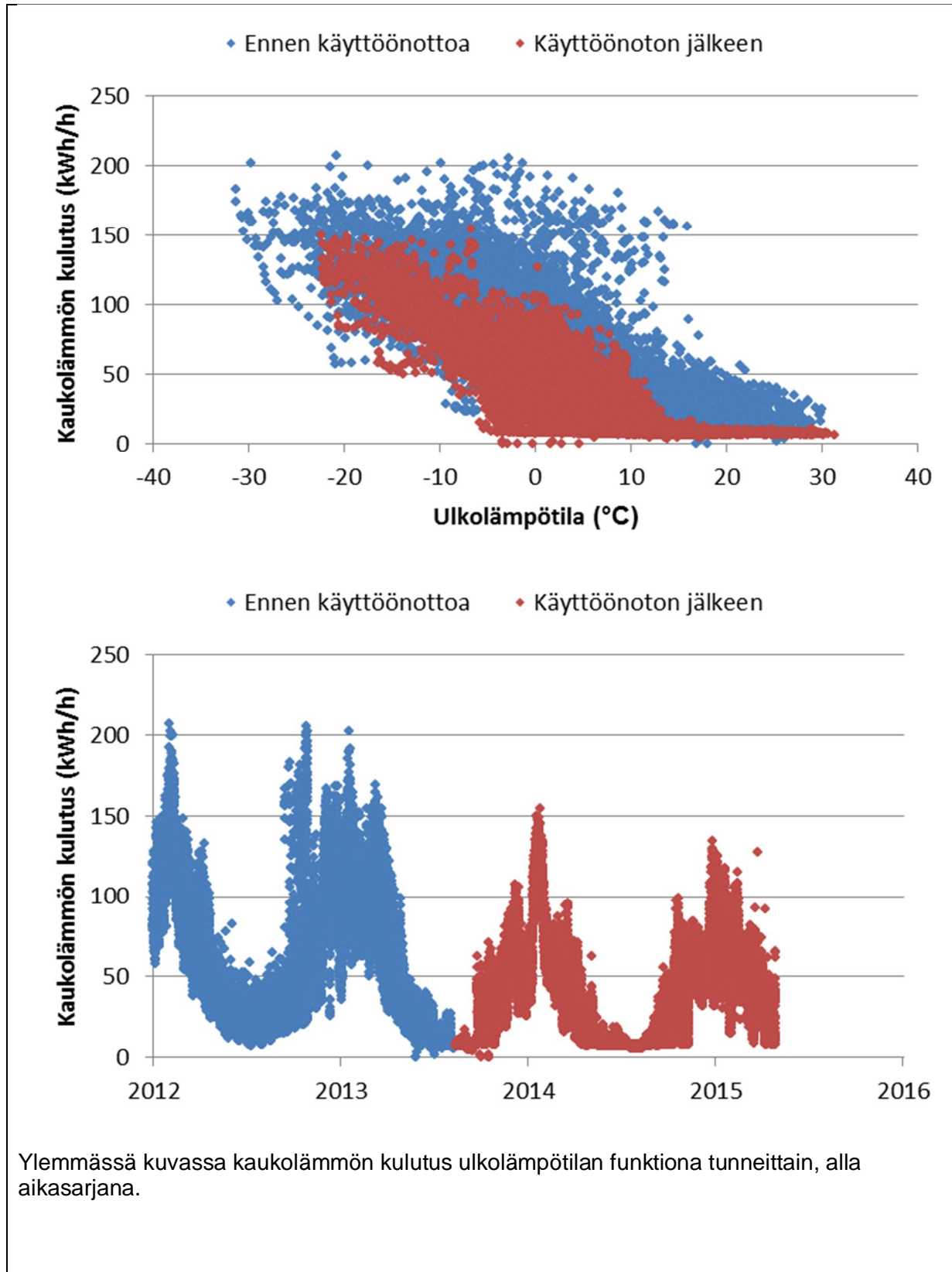
Kohde 3 (paluulämpötilat 24h keskiarvoina)


Kohde 4

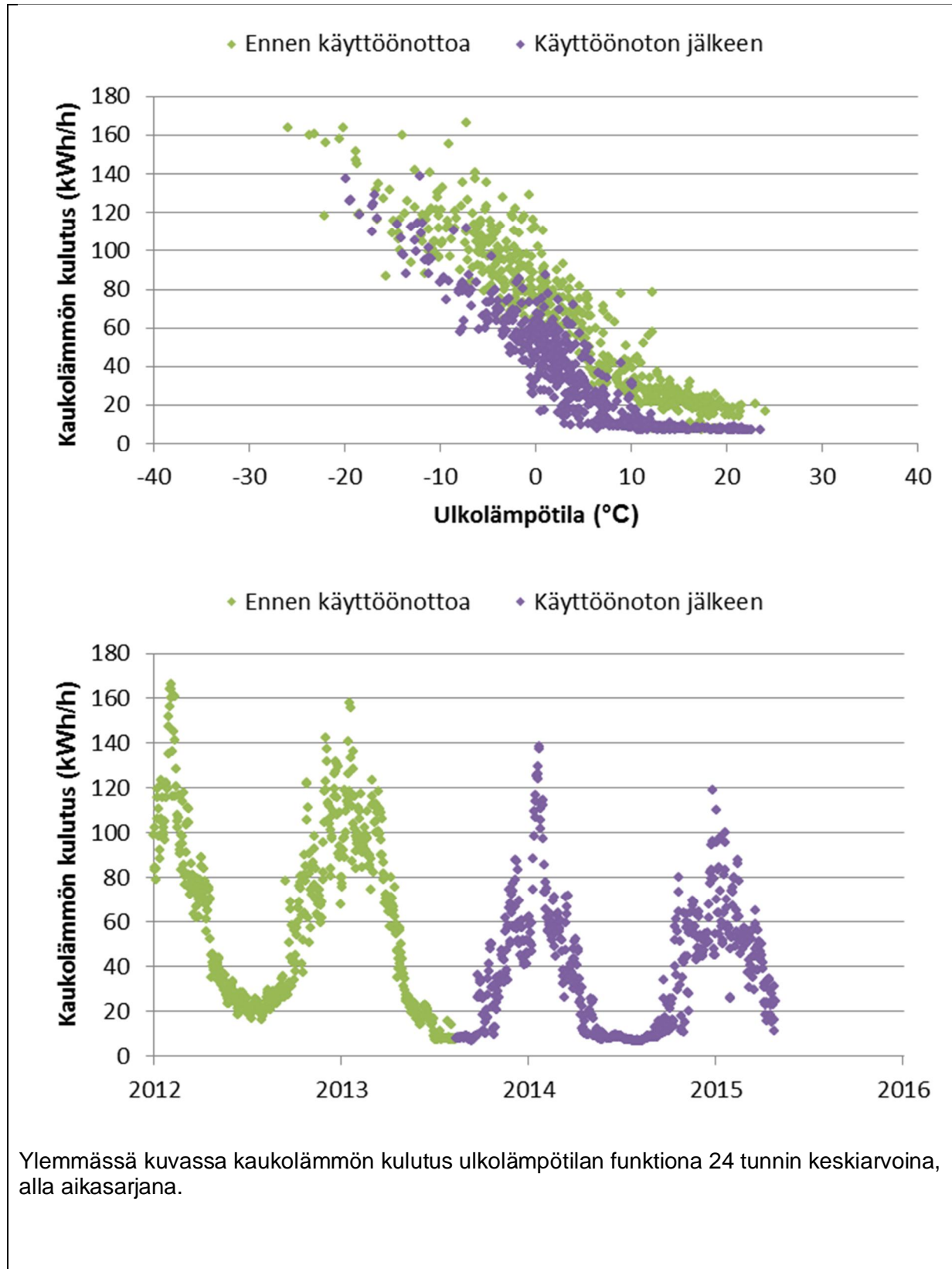
Sijainti	Lahti	Kerroksia	8
Tilavuus	16 000 m ³	Huoneistot	60
Rakennusvuosi	1998	Käyttöönotto	7/2013

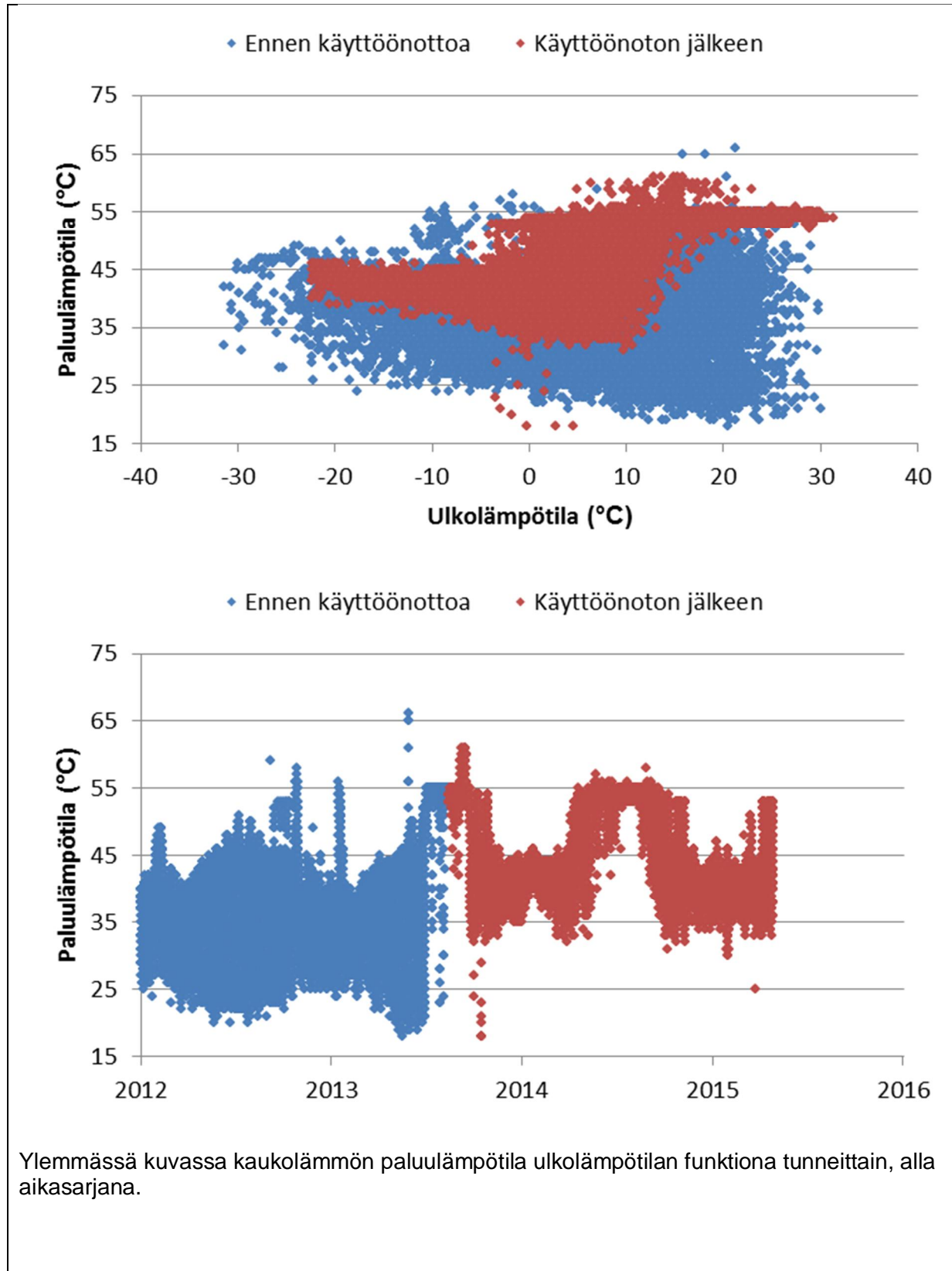
Kaukolämmön kulutus ennen käyttöönottoa 560 MWh ja käyttöönoton jälkeen 340 MWh (-39 %). Yllä normitettu kaukolämmön kulutus kuukausittain, alla mitatut arvot.

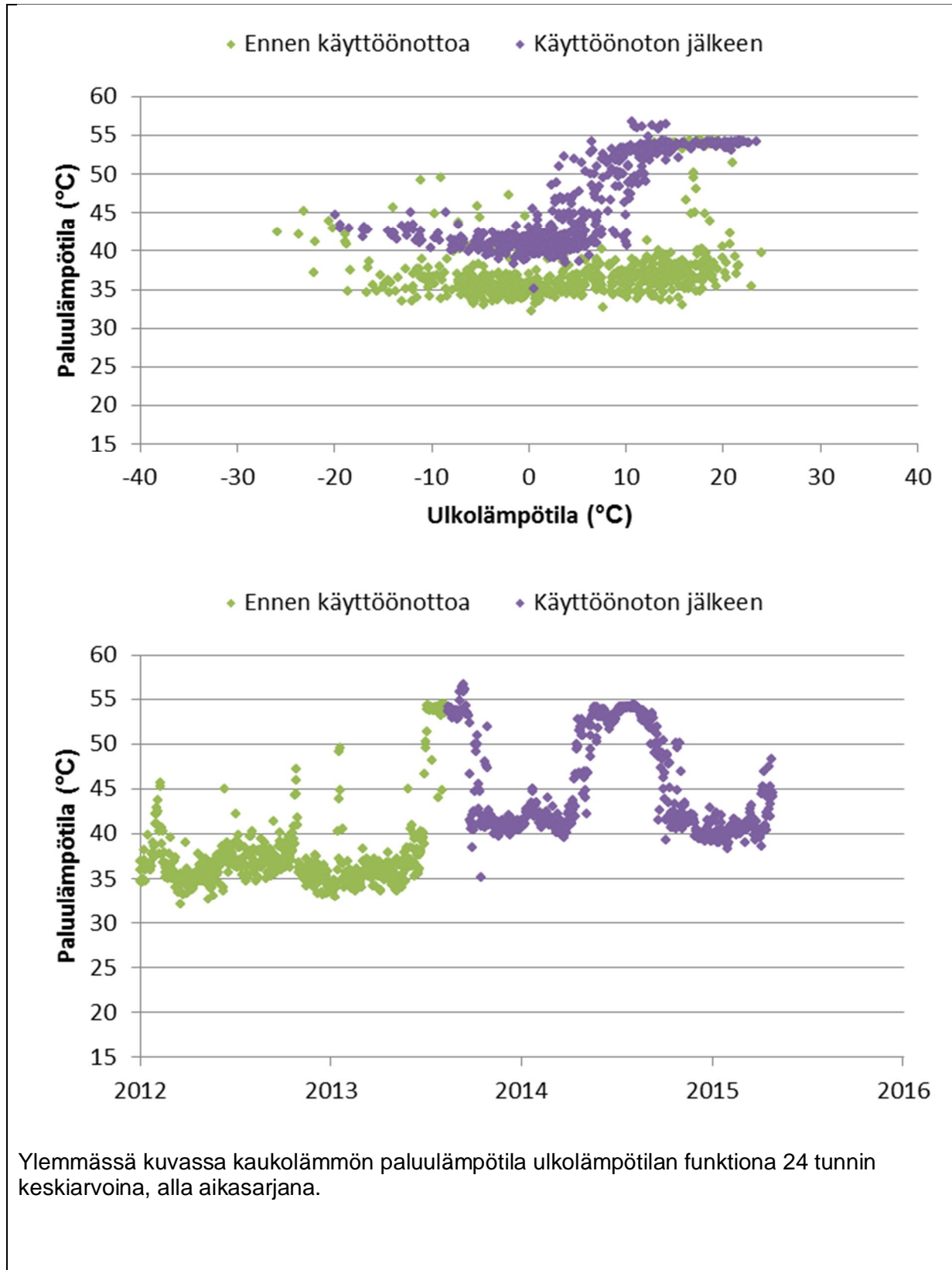


Kohde 4 (kulutus tunneittain)


Ylemmässä kuvassa kaukolämmön kulutus ulkolämpötilan funktiona tunneittain, alla aikasarjana.

Kohde 4 (kulutus 24h keskiarvoina)


Kohde 4 (paluulämpötilat)


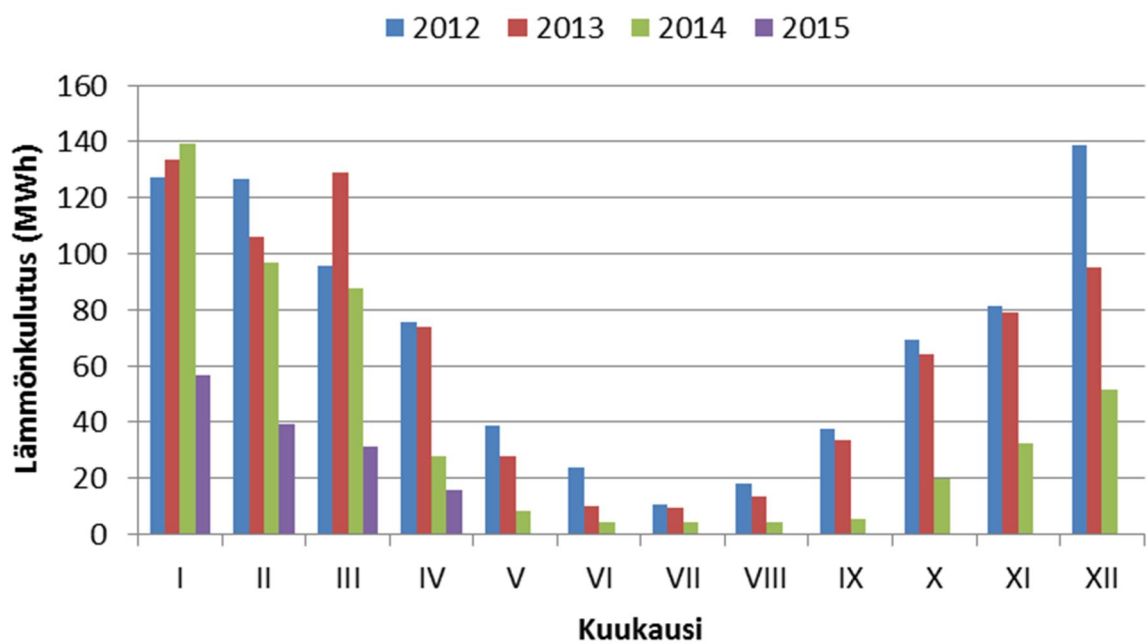
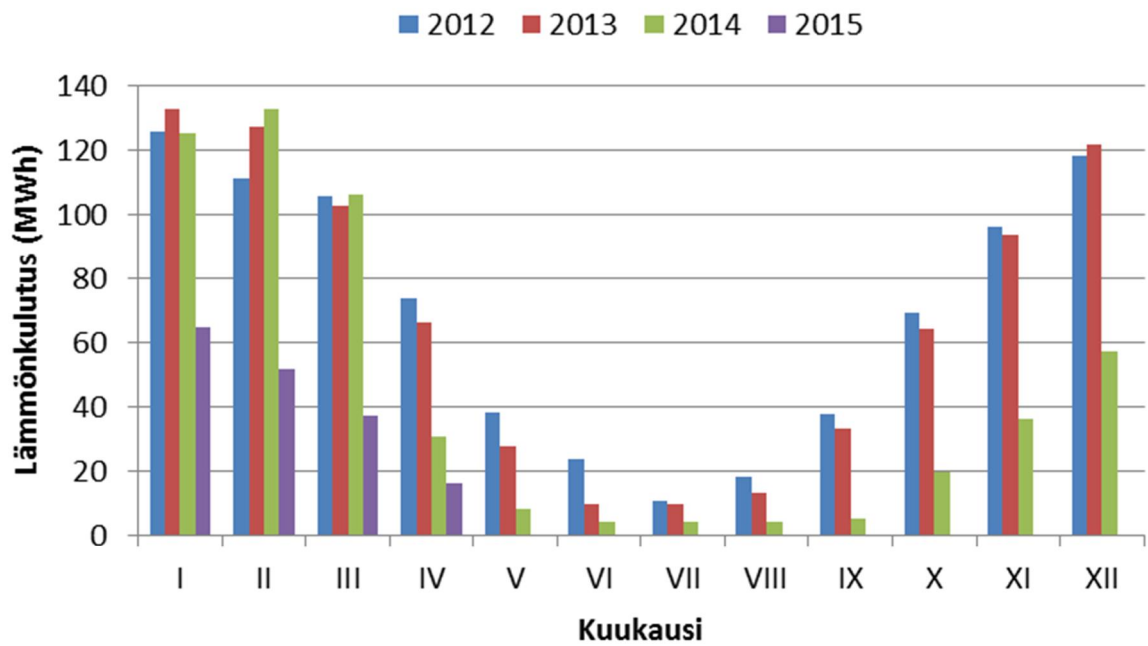
Kohde 4 (paluulämpötilat 24h keskiarvoina)


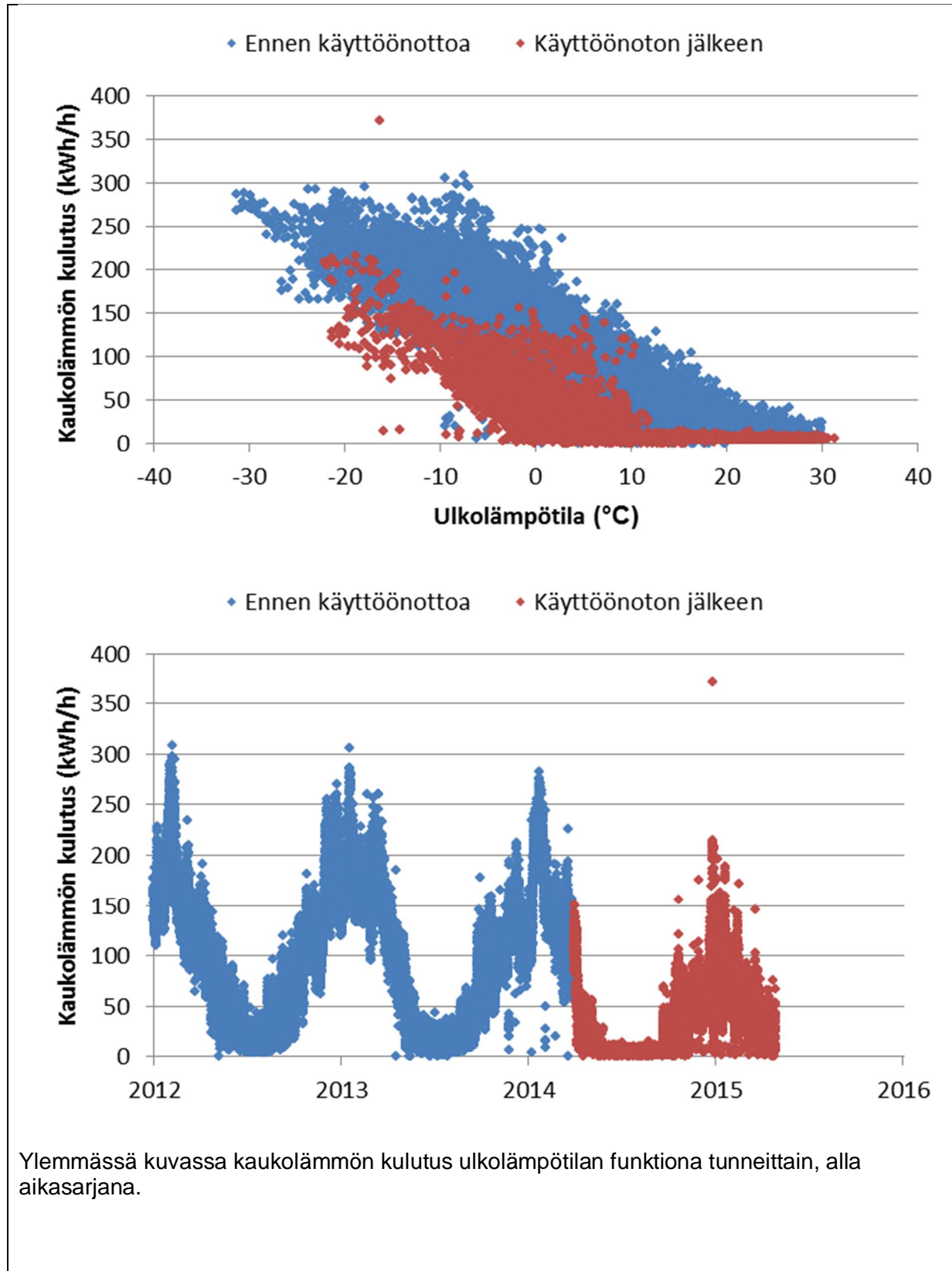
Ylemmässä kuvassa kaukolämmön paluulämpötila ulkolämpötilan funktiona 24 tunnin keskiarvoina, alla aikasarjana.

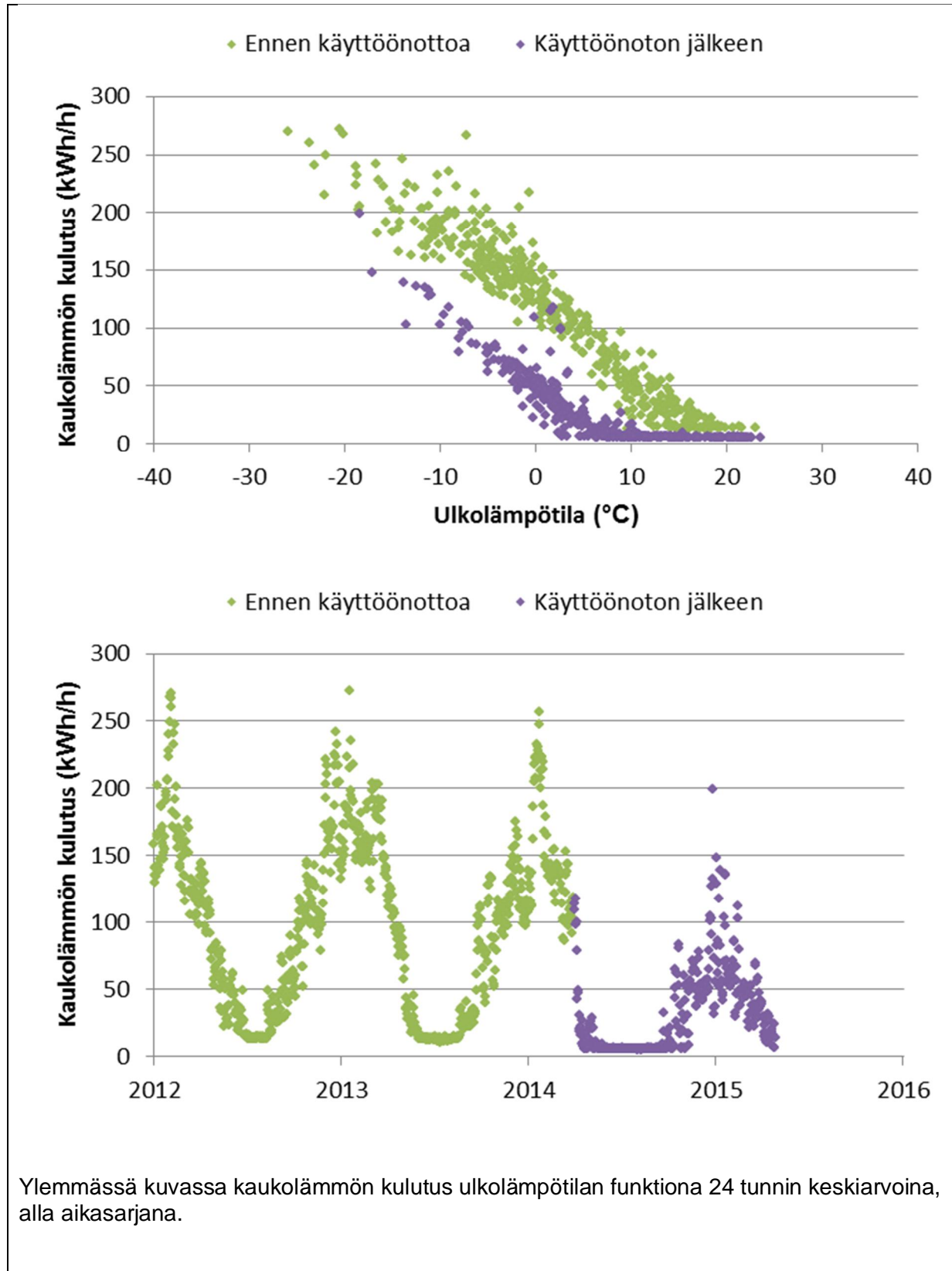
Kohde 5

Sijainti	Lahti	Kerroksia	-
Tilavuus	7 500 m ³	Huoneistot	30
Rakennusvuosi		Käyttöönotto	4/2014

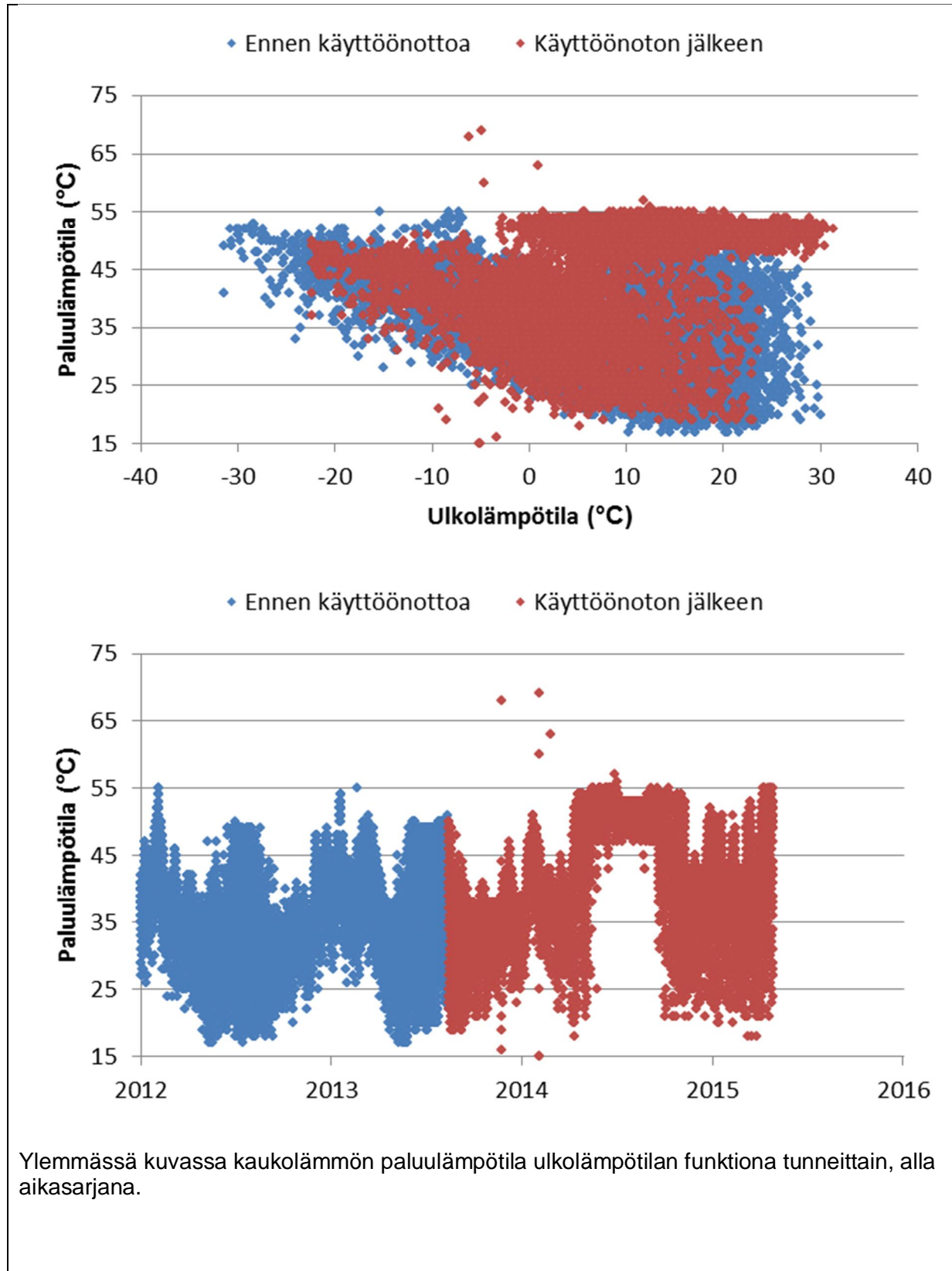
Kaukolämmön kulutus ennen käyttöönottoa 815 MWh ja käyttöönoton jälkeen 325 MWh (-60 %). Yllä normitettu kaukolämmön kulutus kuukausittain, alla mitatut arvot.

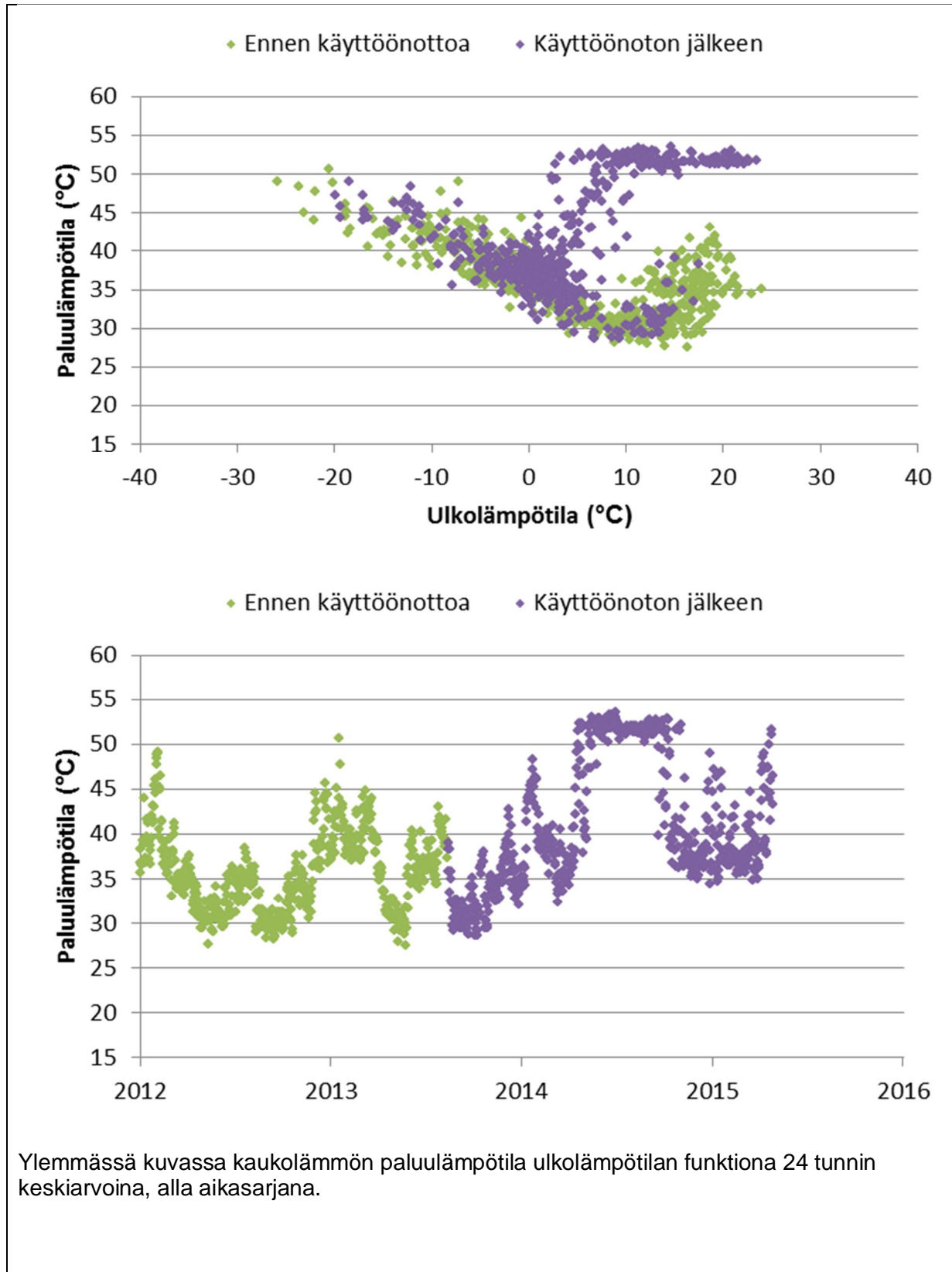


Kohde 5 (kulutus tunneittain)


Kohde 5 (kulutus 24h keskiarvoina)


Ylemmässä kuvassa kaukolämmön kulutus ulkolämpötilan funktiona 24 tunnin keskiarvoina, alla aikasarjana.

Kohde 5 (paluulämpötilat)


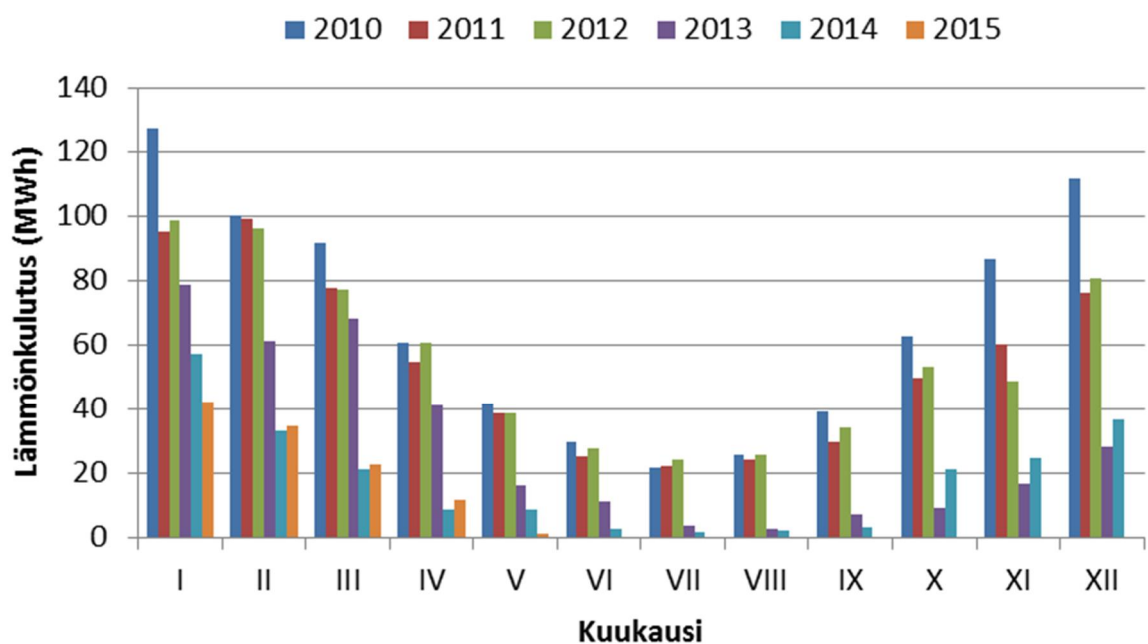
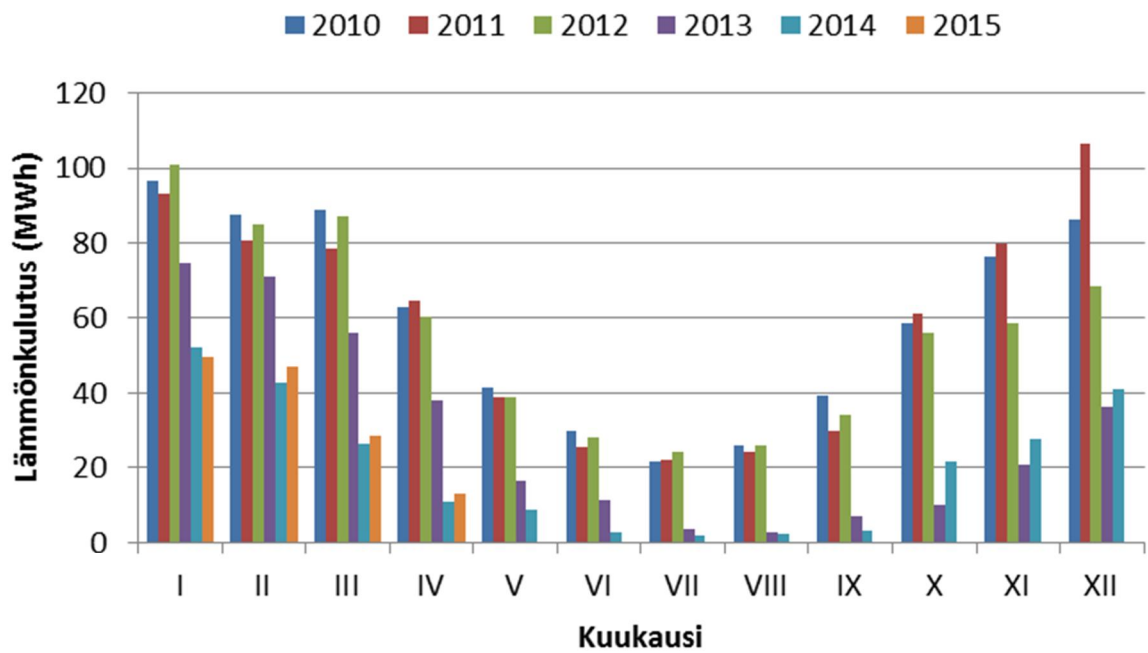
Kohde 5 (paluulämpötilat 24h keskiarvoina)


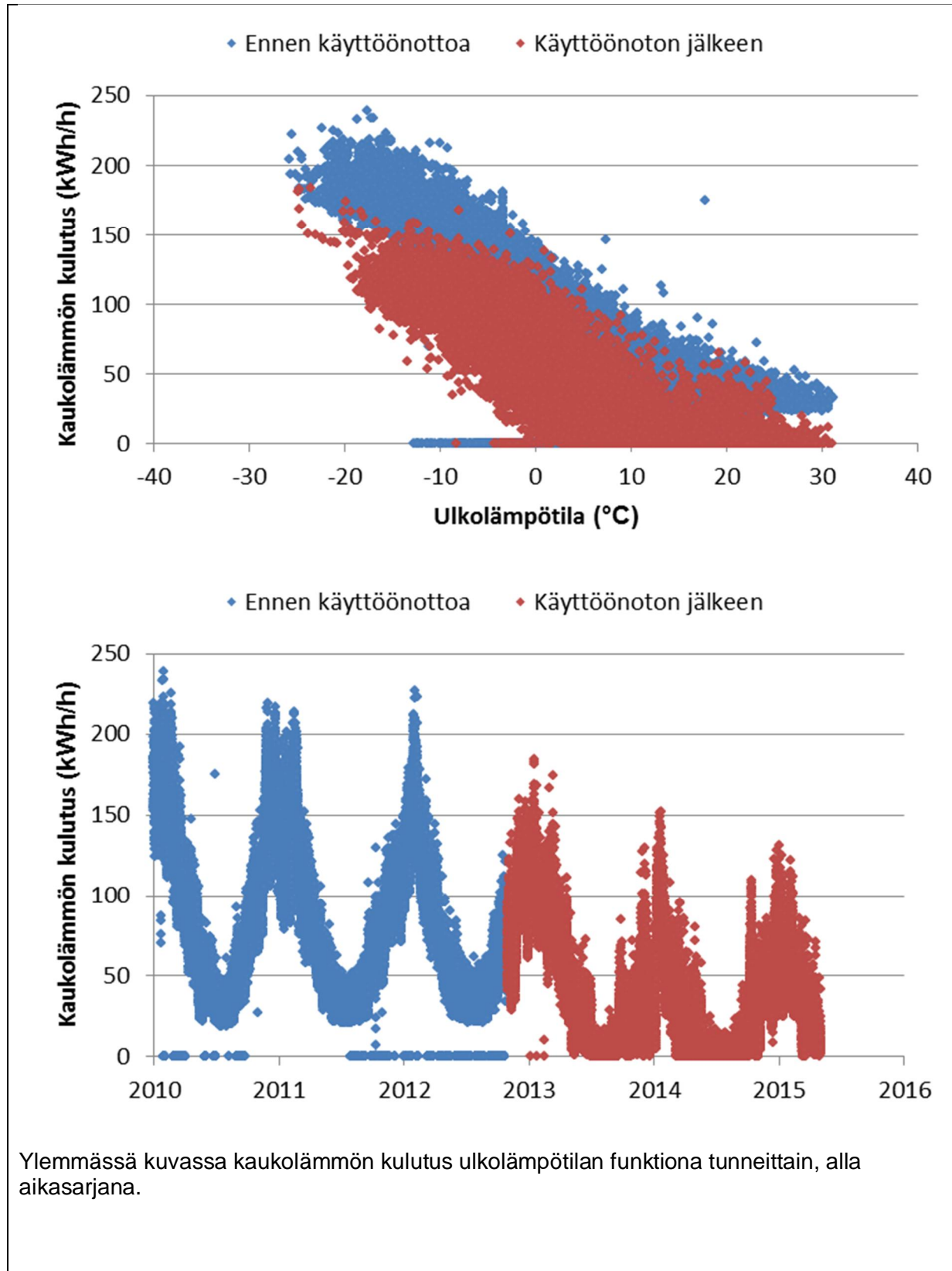
Ylemmässä kuvassa kaukolämmön paluulämpötila ulkolämpötilan funktiona 24 tunnin keskiarvoina, alla aikasarjana.

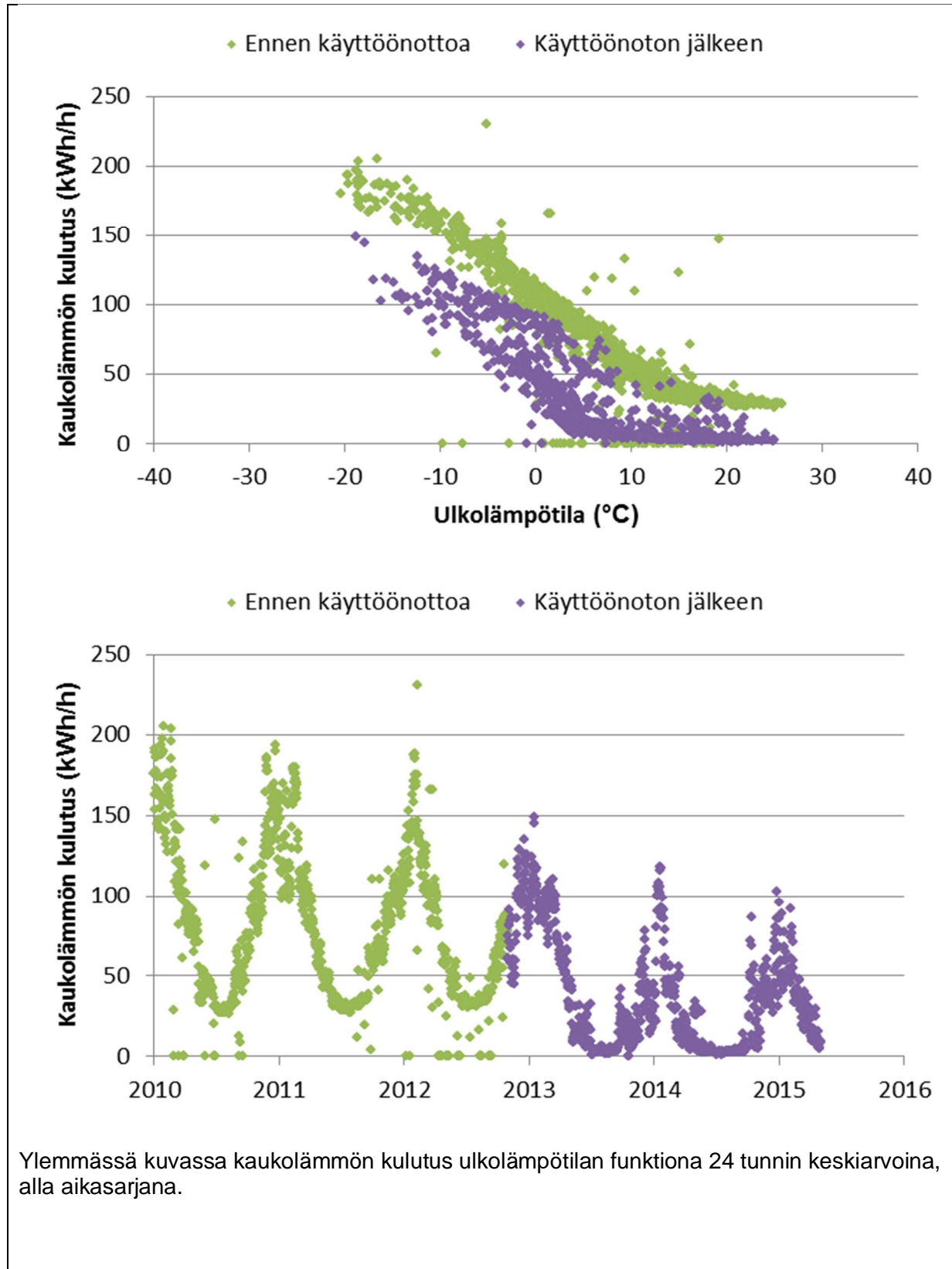
Kohde 6

Sijainti	Espoo	Kerroksia	-
Tilavuus	18 000 m ³	Huoneistot	-
Rakennusvuosi	1988	Käyttöönotto	11/2012, 5/2013

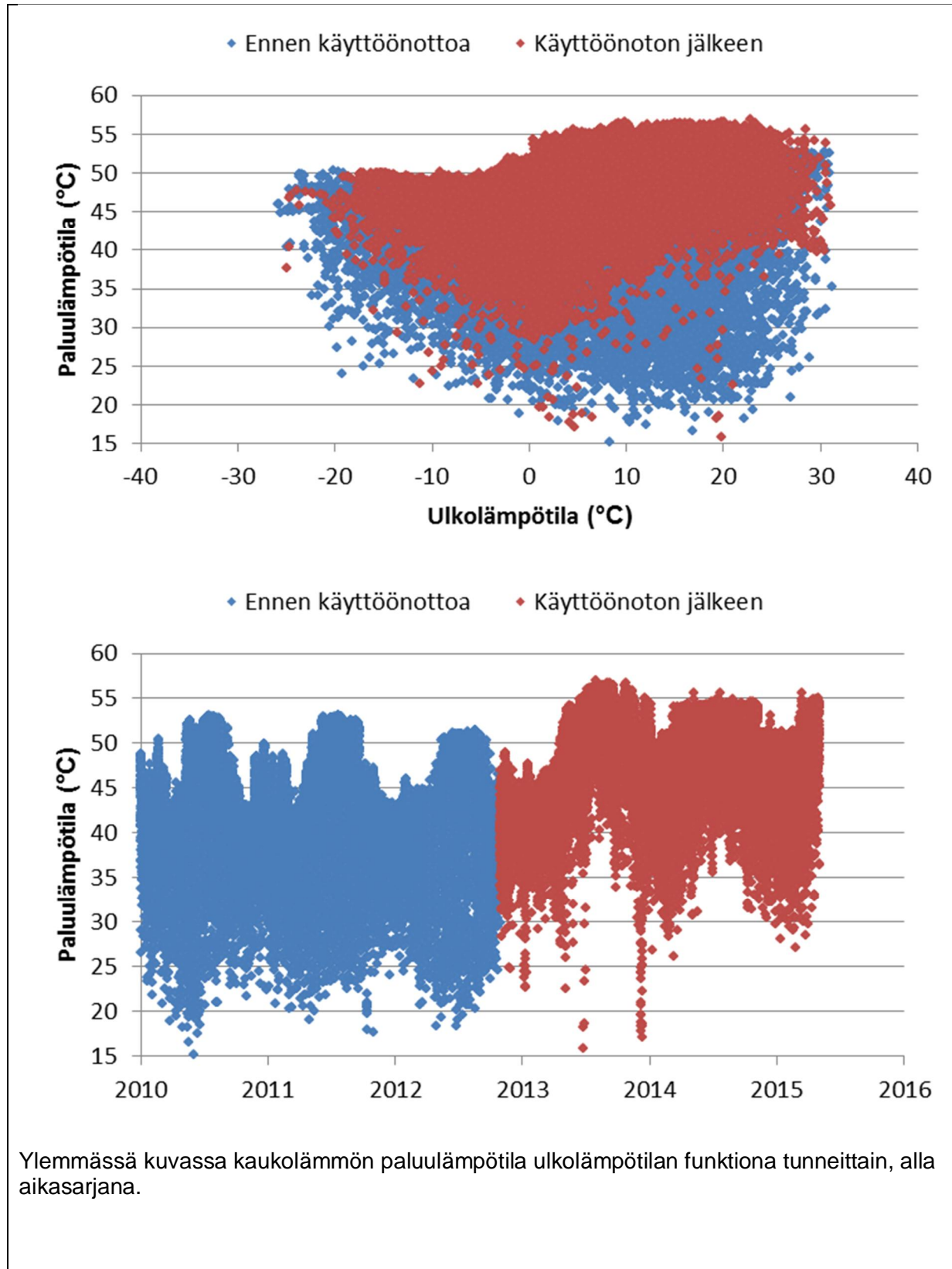
Kaukolämmön kulutus ennen käyttöönottoa 695 MWh ja käyttöönoton jälkeen 240 MWh (-65 %). Yllä normitettu kaukolämmön kulutus kuukausittain, alla mitatut arvot.



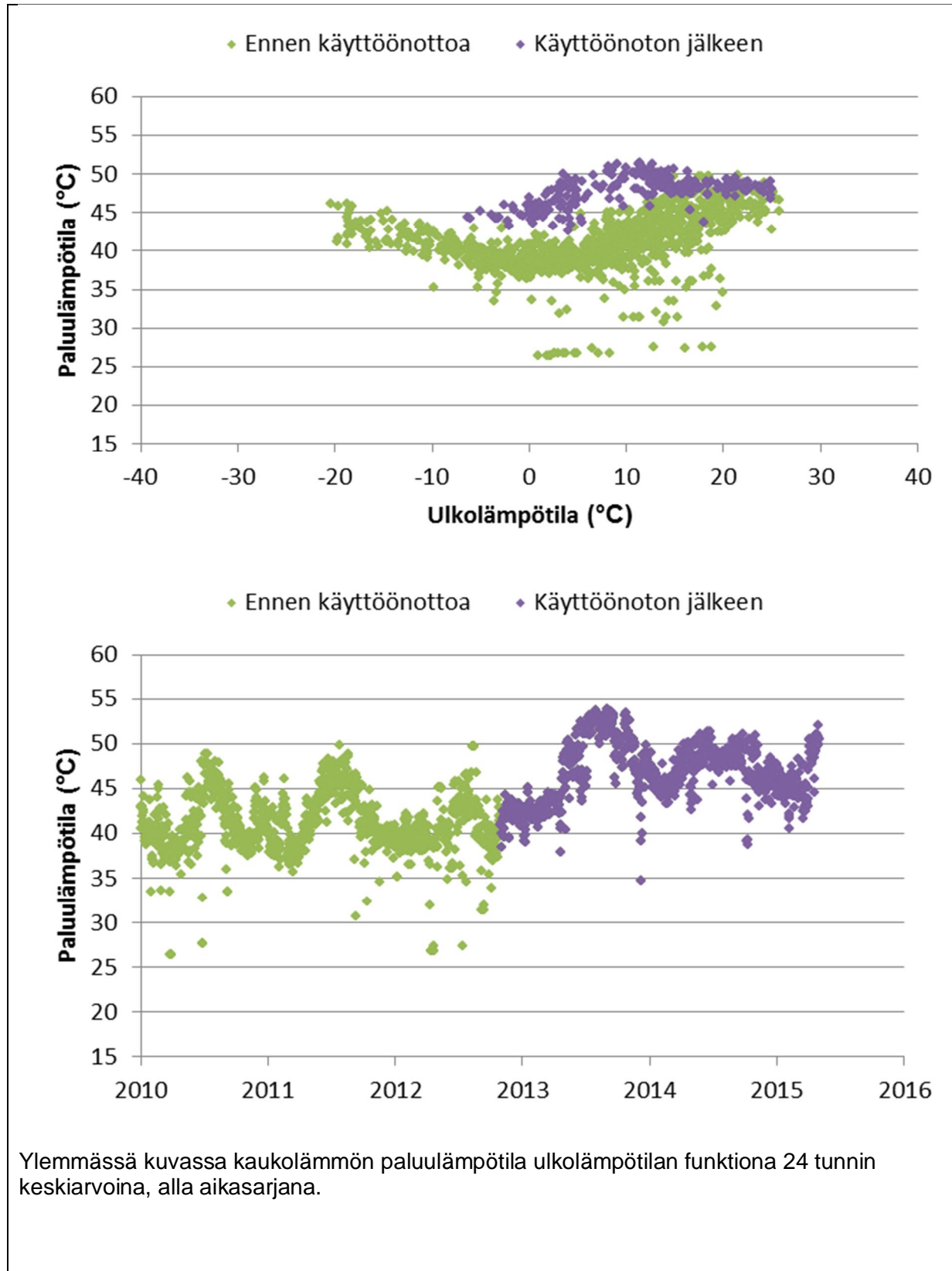
Kohde 6 (kulutus tunneittain)


Kohde 6 (kulutus 24h keskiarvoina)


Ylemmässä kuvassa kaukolämmön kulutus ulkolämpötilan funktiona 24 tunnin keskiarvoina, alla aikasarjana.

Kohde 6 (paluulämpötilat)


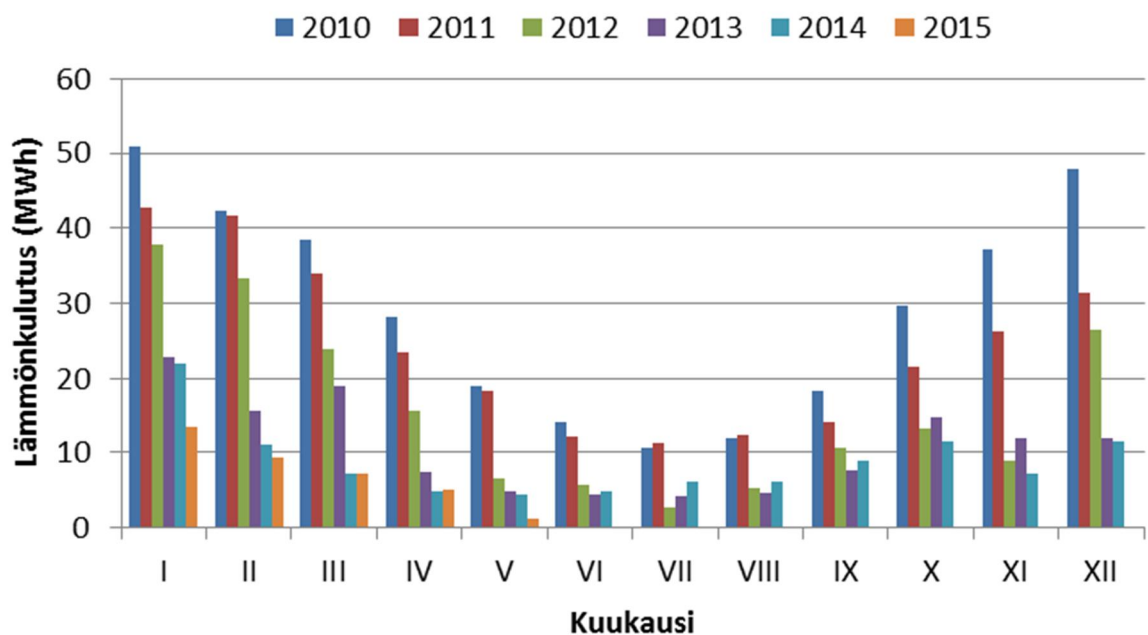
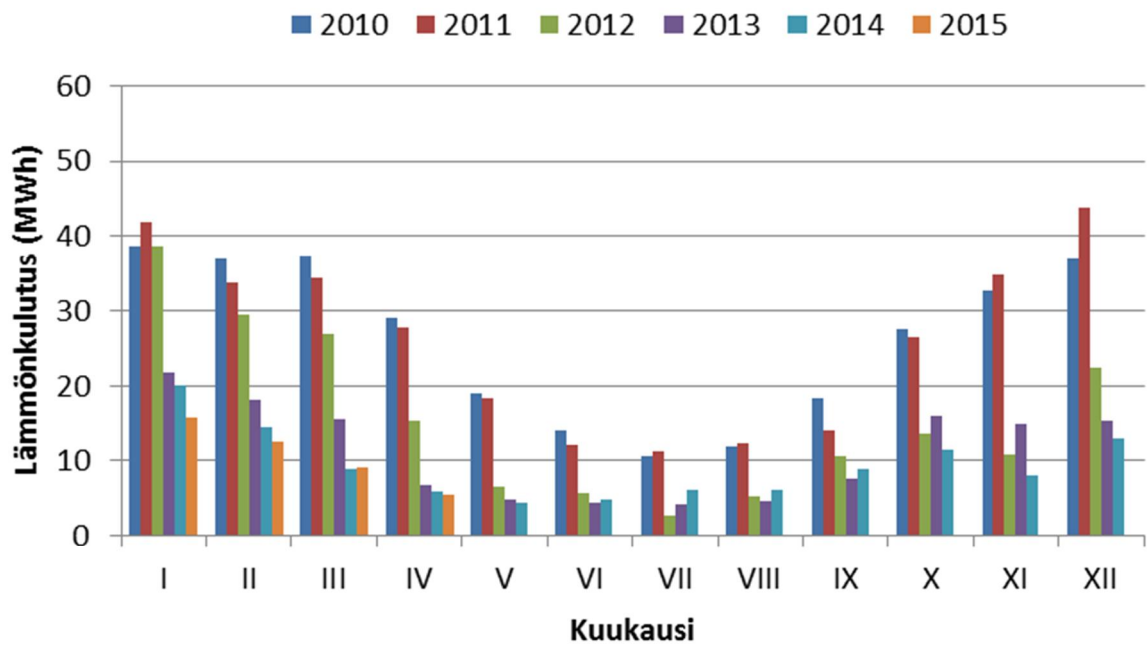
Ylemmässä kuvassa kaukolämmön paluulämpötila ulkolämpötilan funktiona tunneittain, alla aikasarjana.

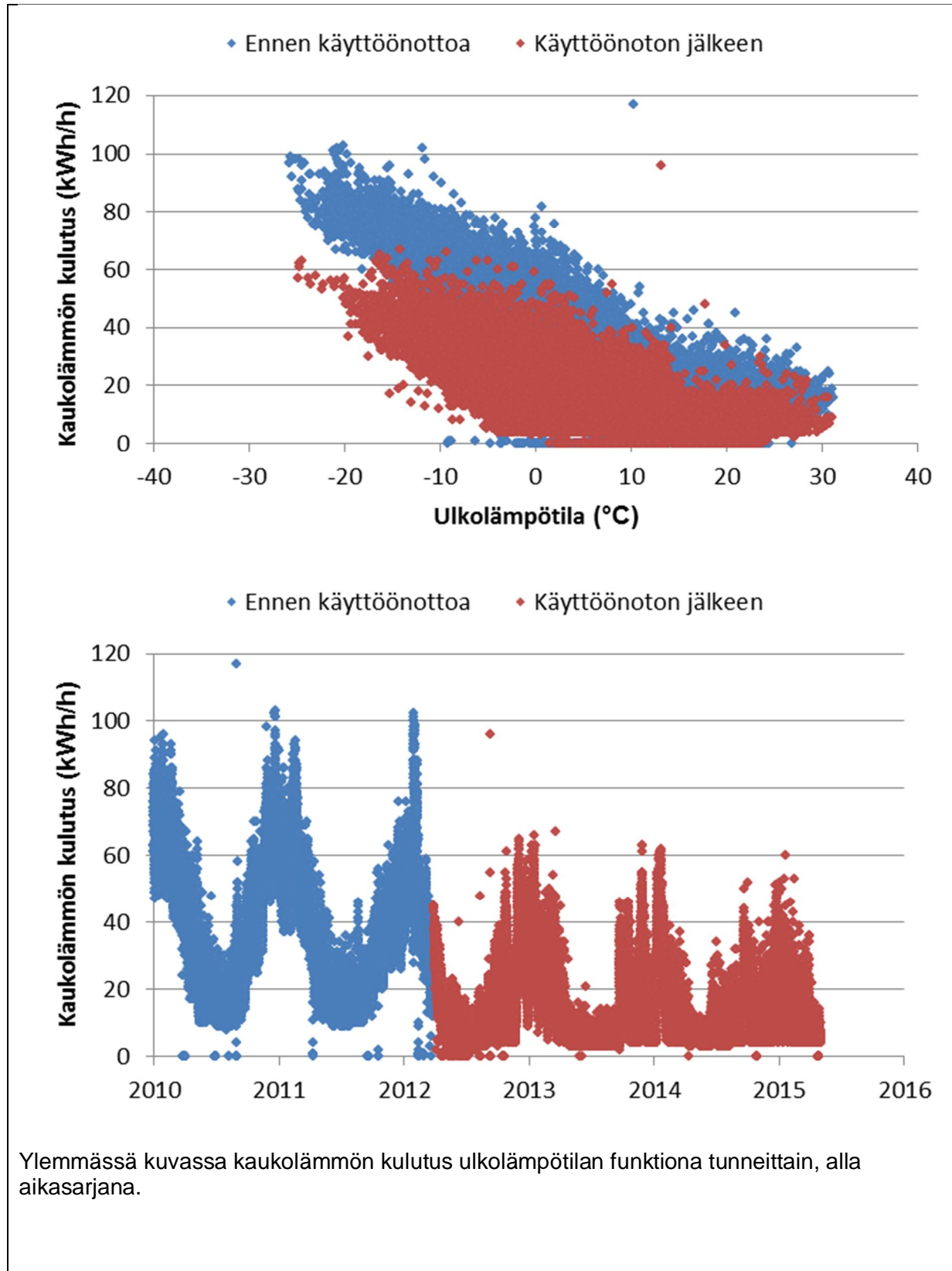
Kohde 6 (paluulämpötilat 24h keskiarvoina)


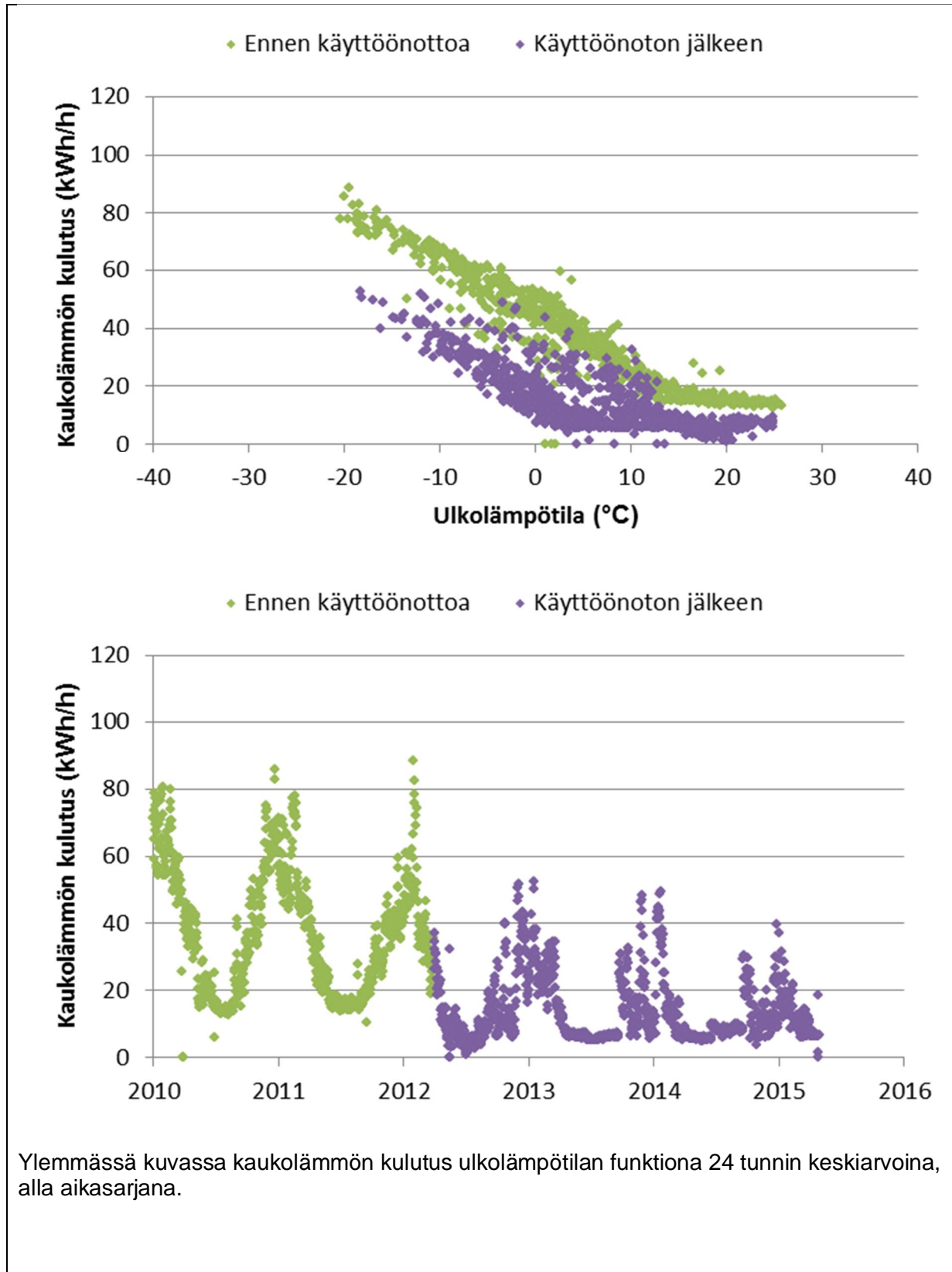
Kohde 7

Sijainti	Espoo	Kerroksia	-
Tilavuus	5 500 m ³	Huoneistot	-
Rakennusvuosi	1981	Käyttöönotto	4/2012

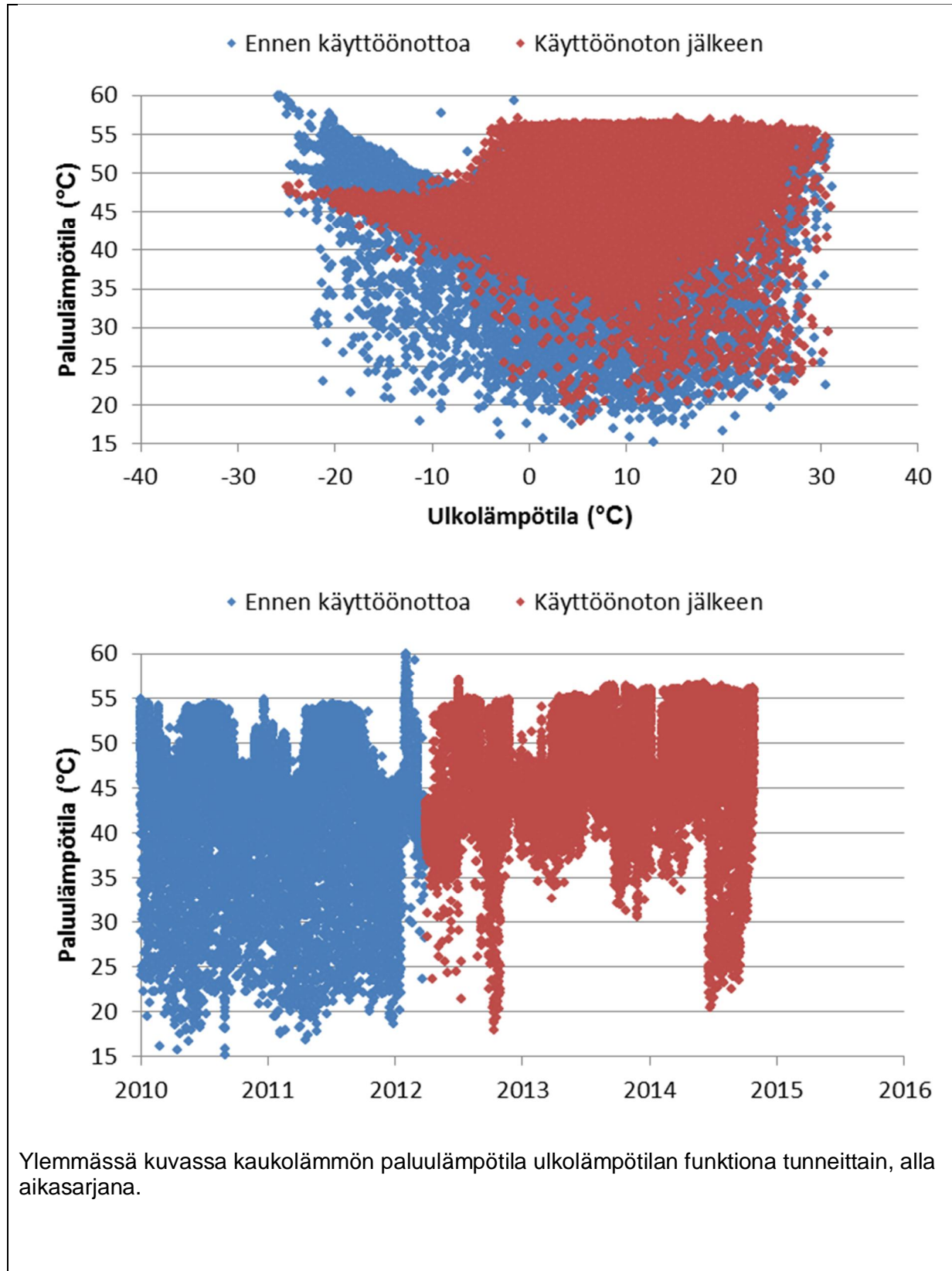
Kaukolämmön kulutus ennen käyttöönottoa 310 MWh ja käyttöönoton jälkeen 120 MWh (-61 %). Yllä normitettu kaukolämmön kulutus kuukausittain, alla mitatut arvot.

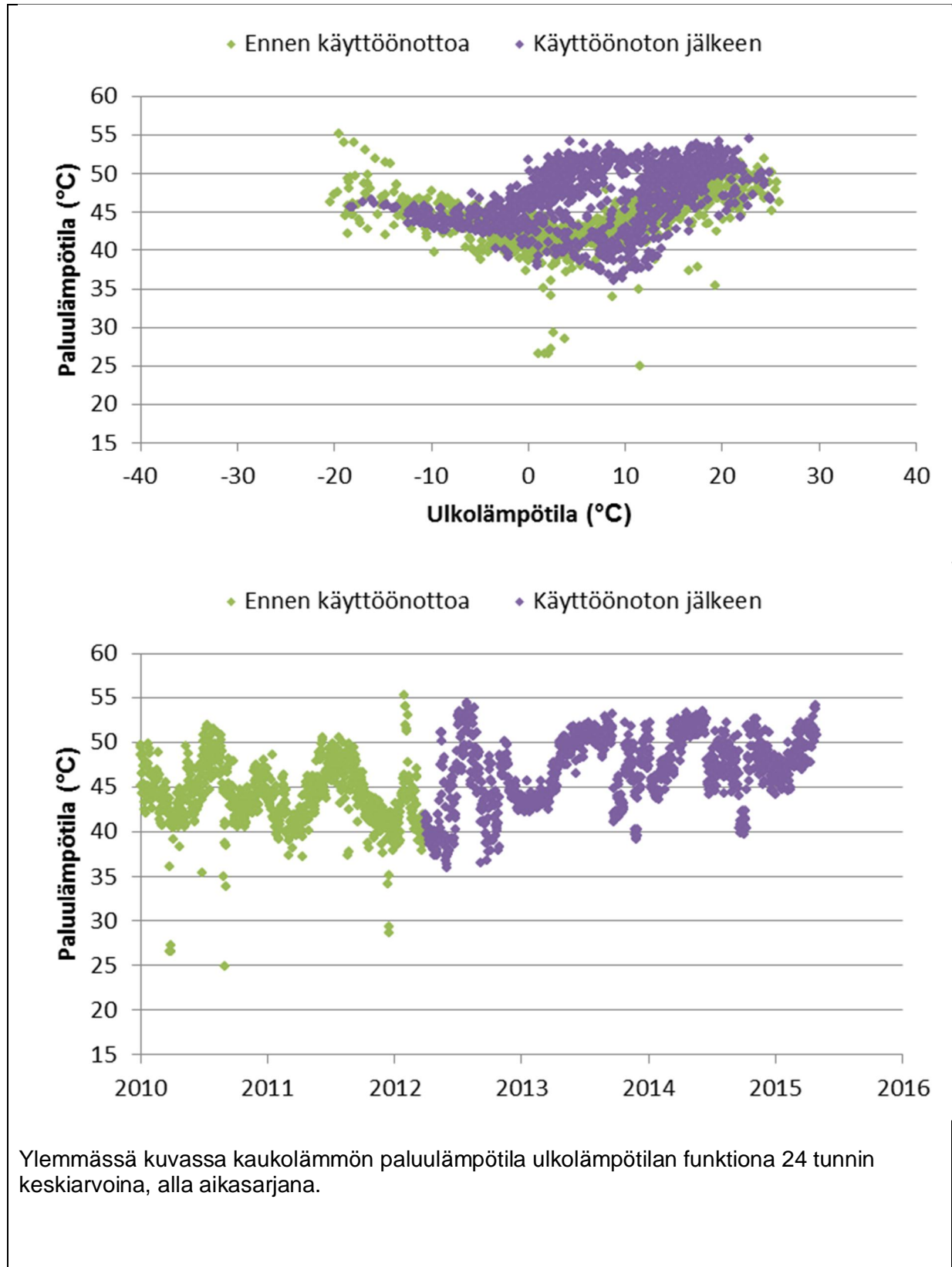


Kohde 7 (kulutus tunneittain)


Kohde 7 (kulutus 24h keskiarvoina)


Ylemmässä kuvassa kaukolämmön kulutus ulkolämpötilan funktiona 24 tunnin keskiarvoina, alla aikasarjana.

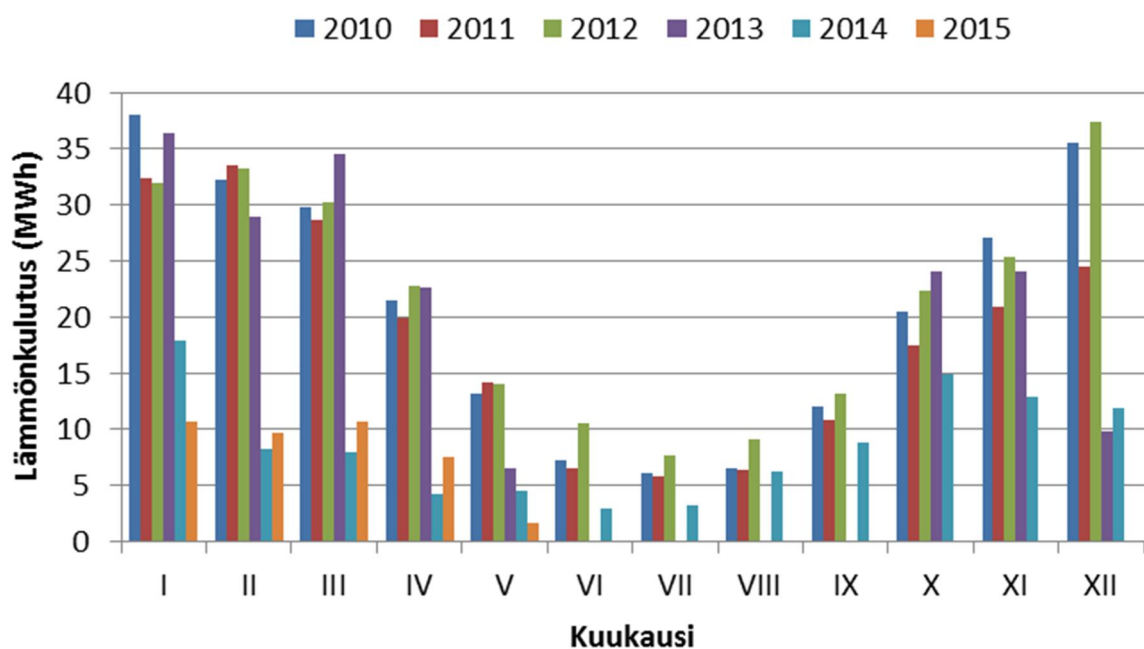
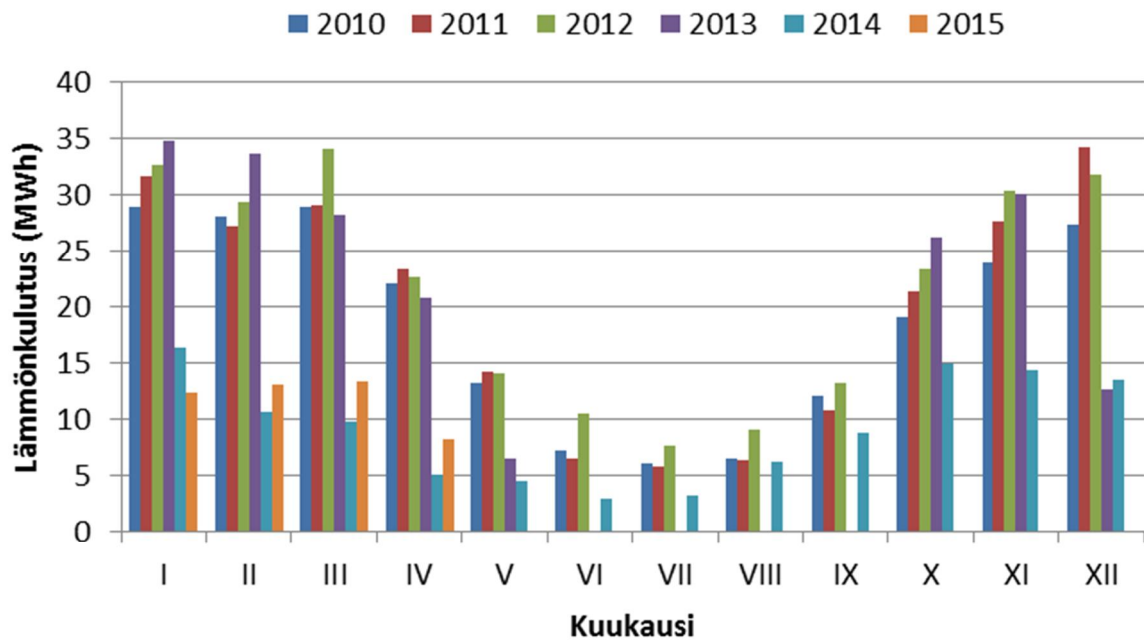
Kohde 7 (paluulämpötilat)


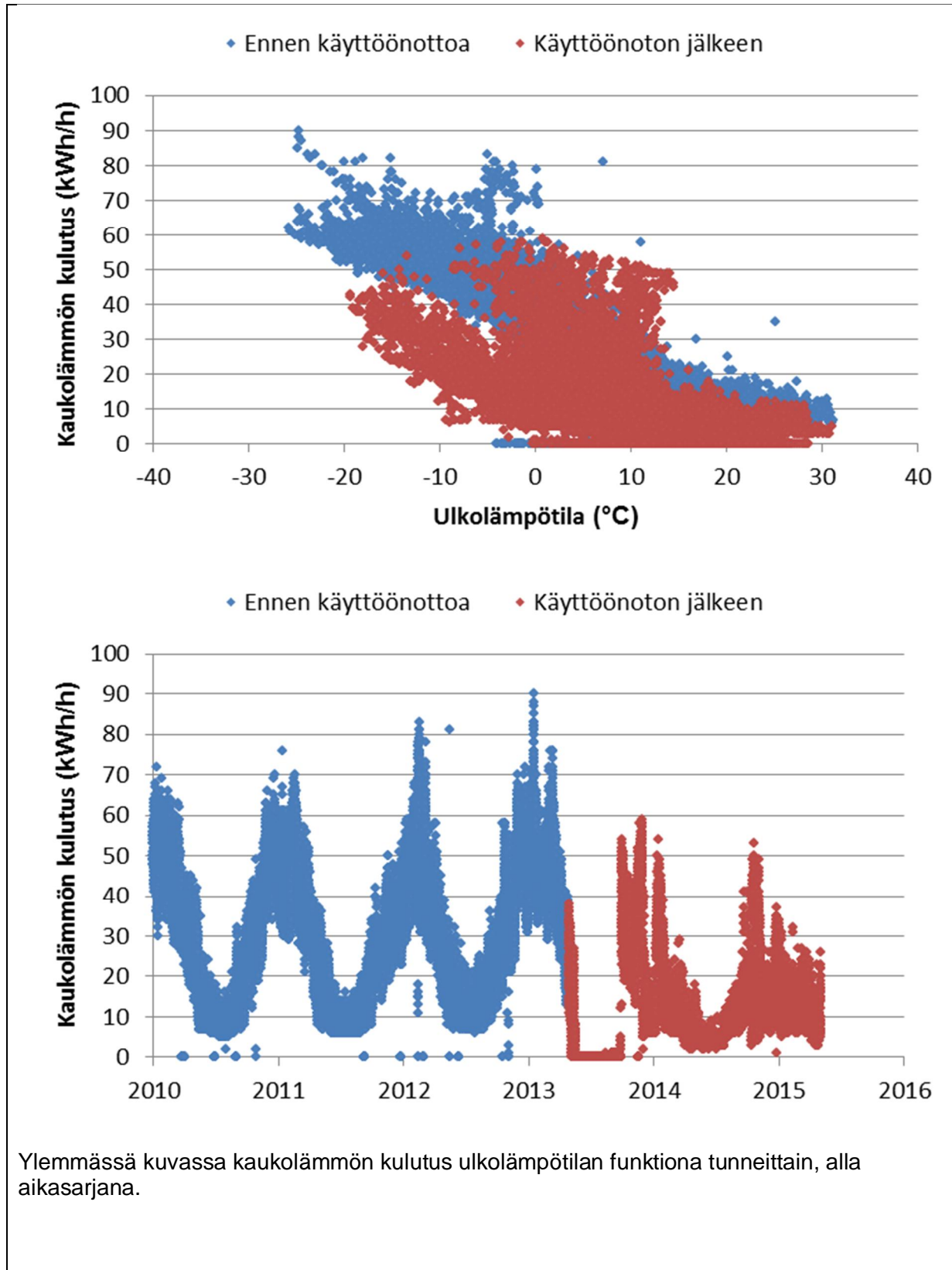
Kohde 7 (paluulämpötilat 24h keskiarvoina)


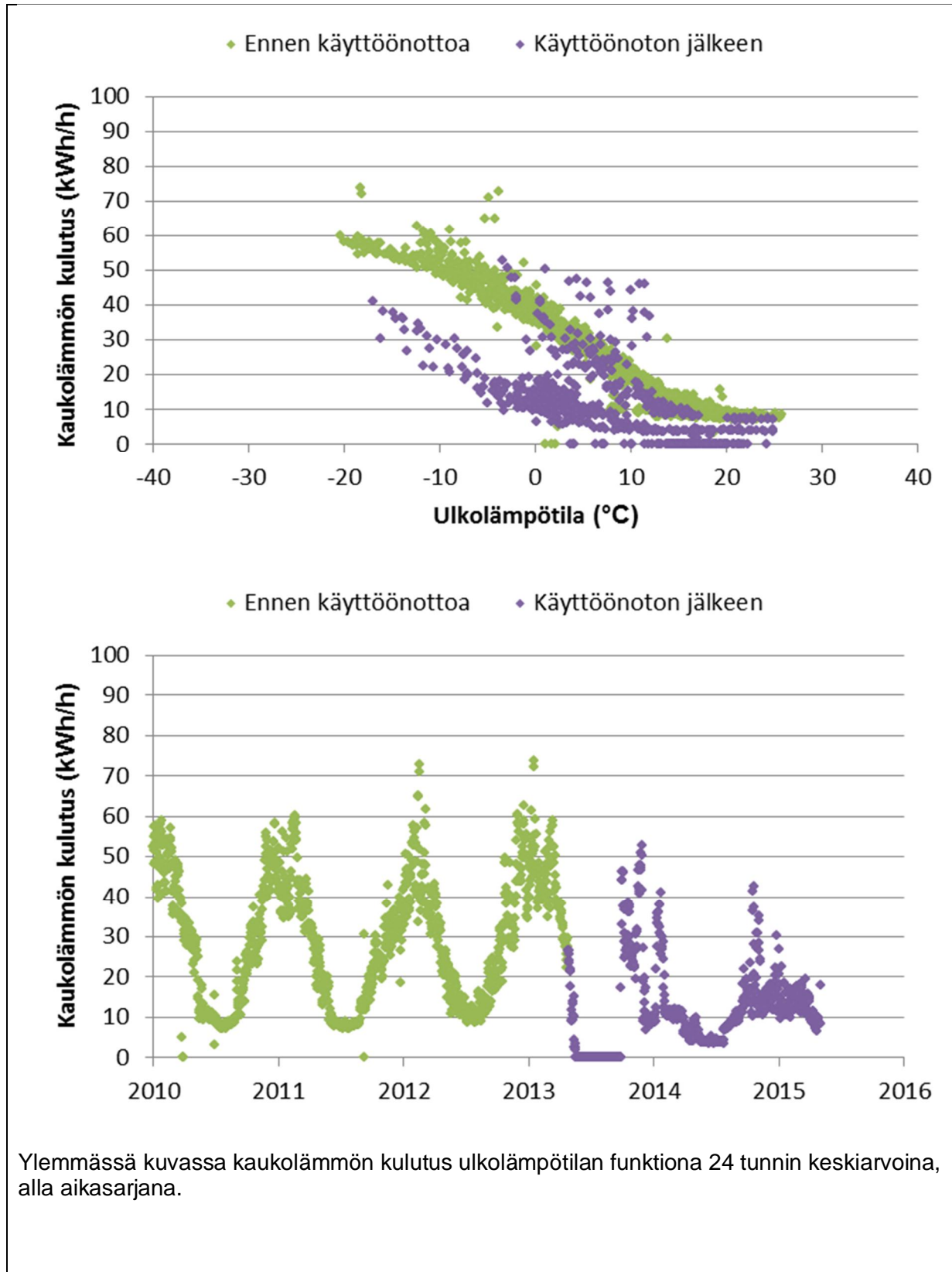
Kohde 8

Sijainti	Espoo	Kerroksia	-
Tilavuus	5 500 m ³	Huoneistot	-
Rakennusvuosi	1984	Käyttöönotto	12/2013

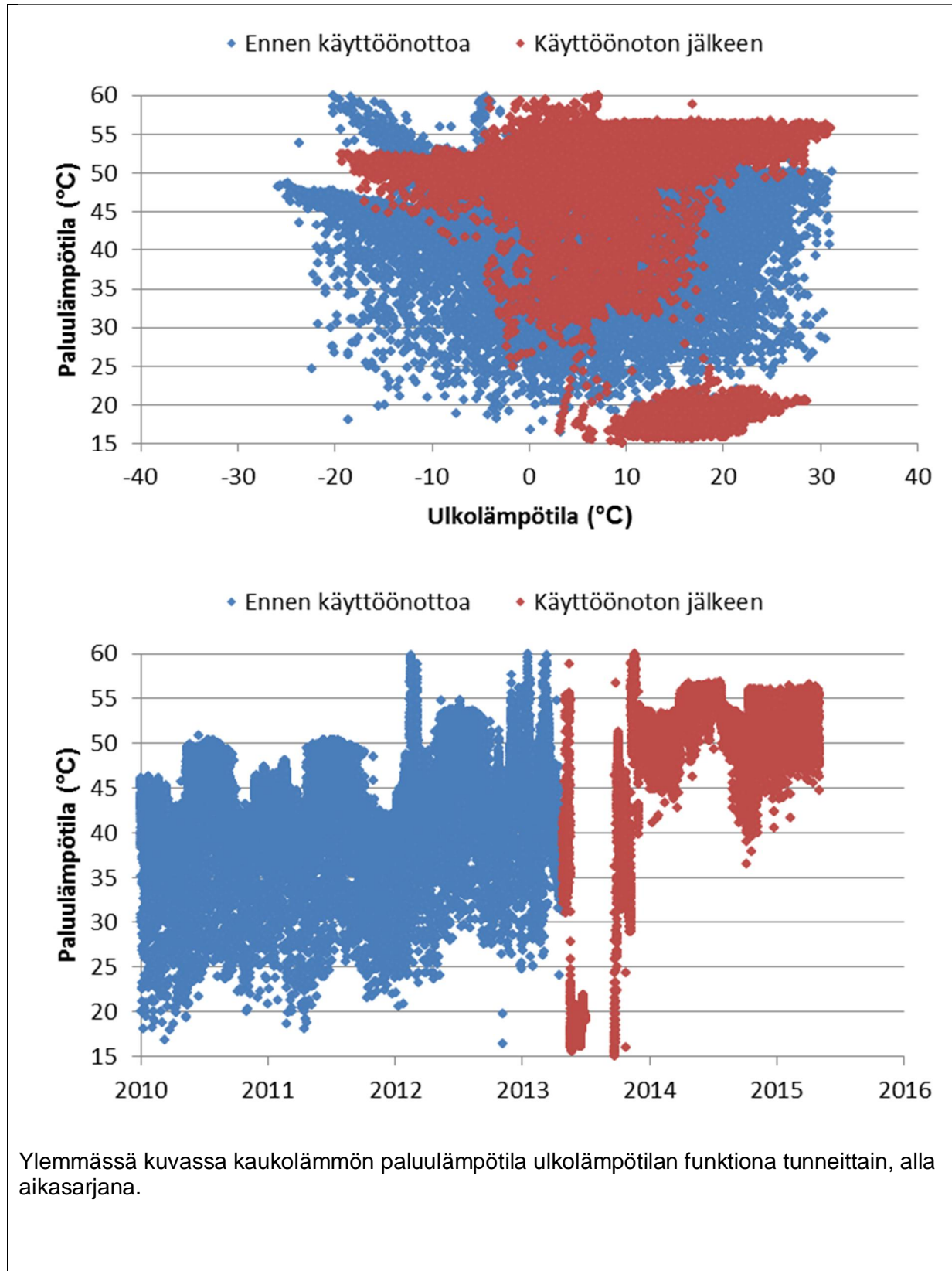
Kaukolämmön kulutus ennen käyttöönottoa 240 MWh ja käyttöönoton jälkeen 110 MWh (-54 %). Yllä normitettu kaukolämmön kulutus kuukausittain, alla mitatut arvot.

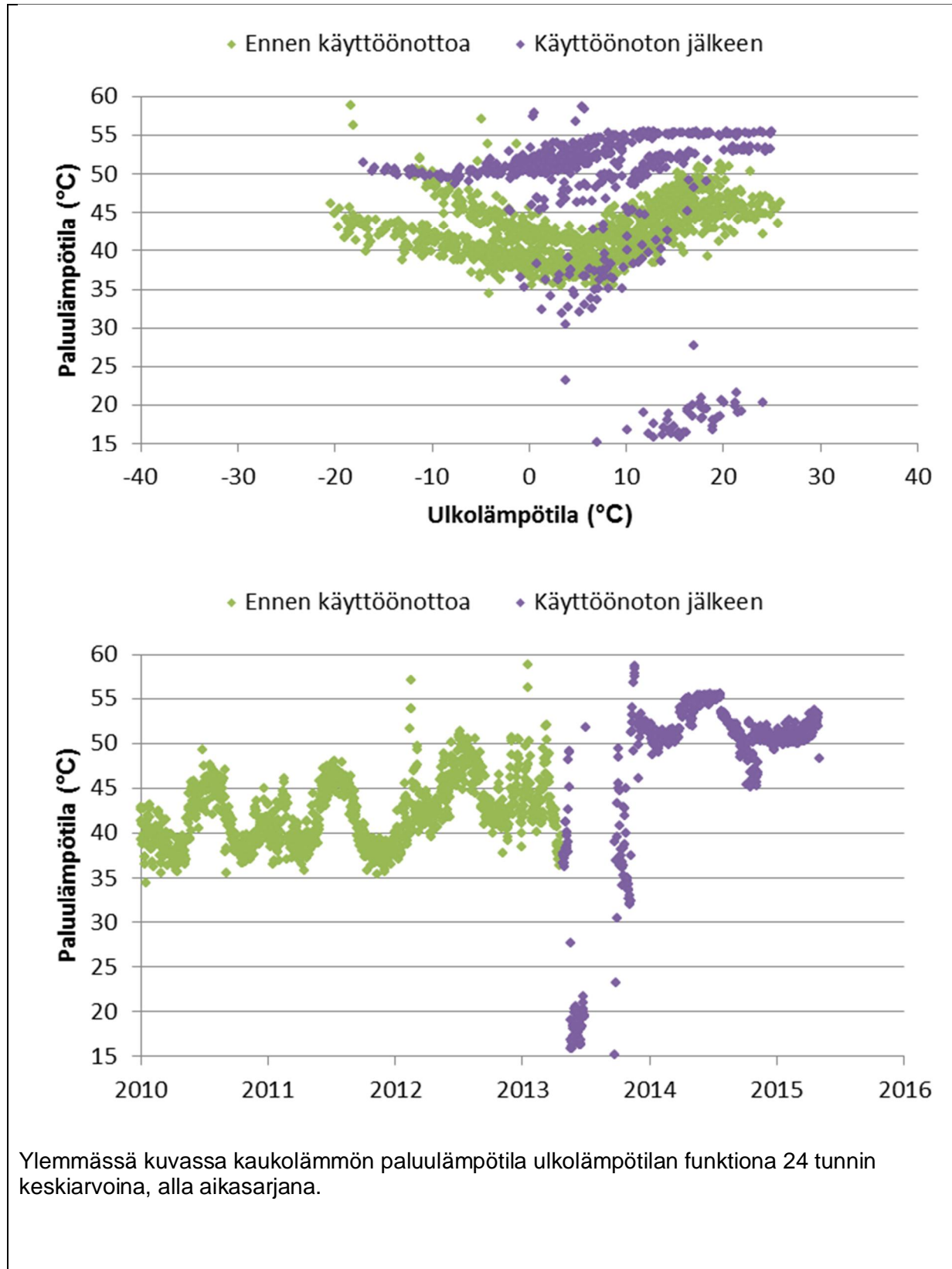


Kohde 8 (kulutus tunneittain)


Kohde 8 (kulutus 24h keskiarvoina)


Ylemmässä kuvassa kaukolämmön kulutus ulkolämpötilan funktiona 24 tunnin keskiarvoina, alla aikasarjana.

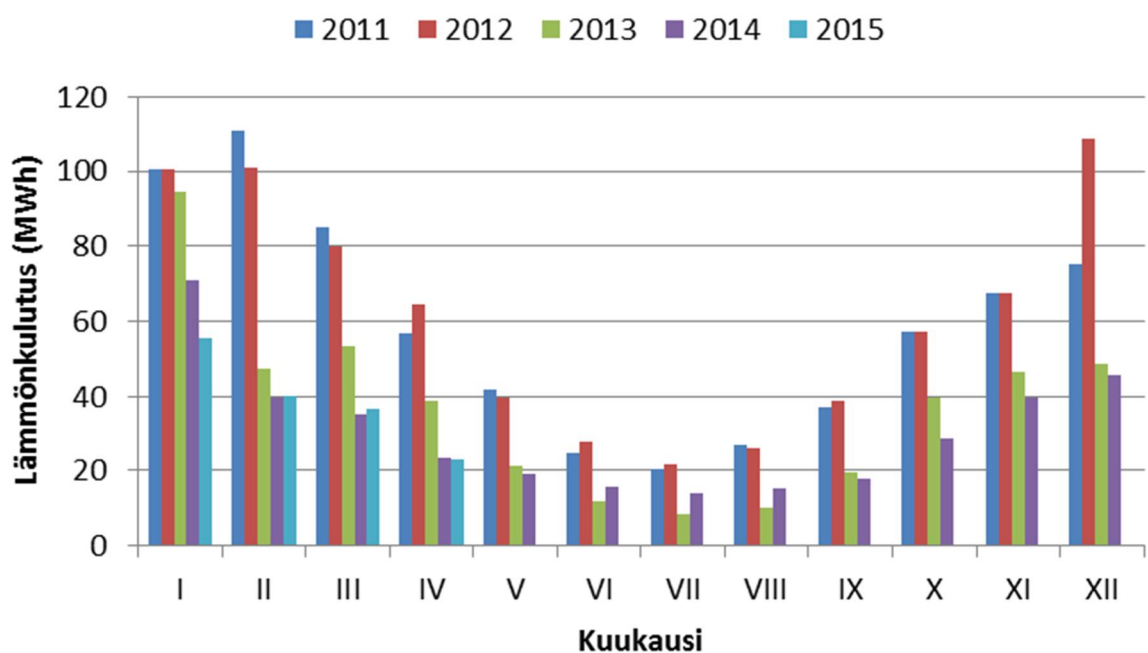
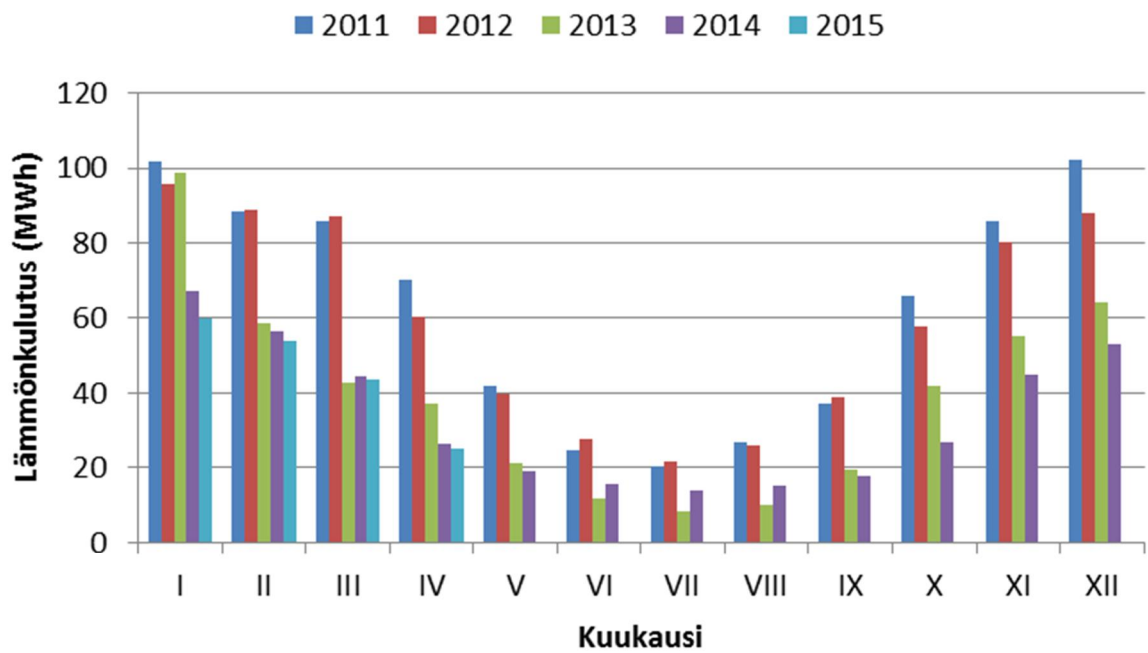
Kohde 8 (paluulämpötilat)


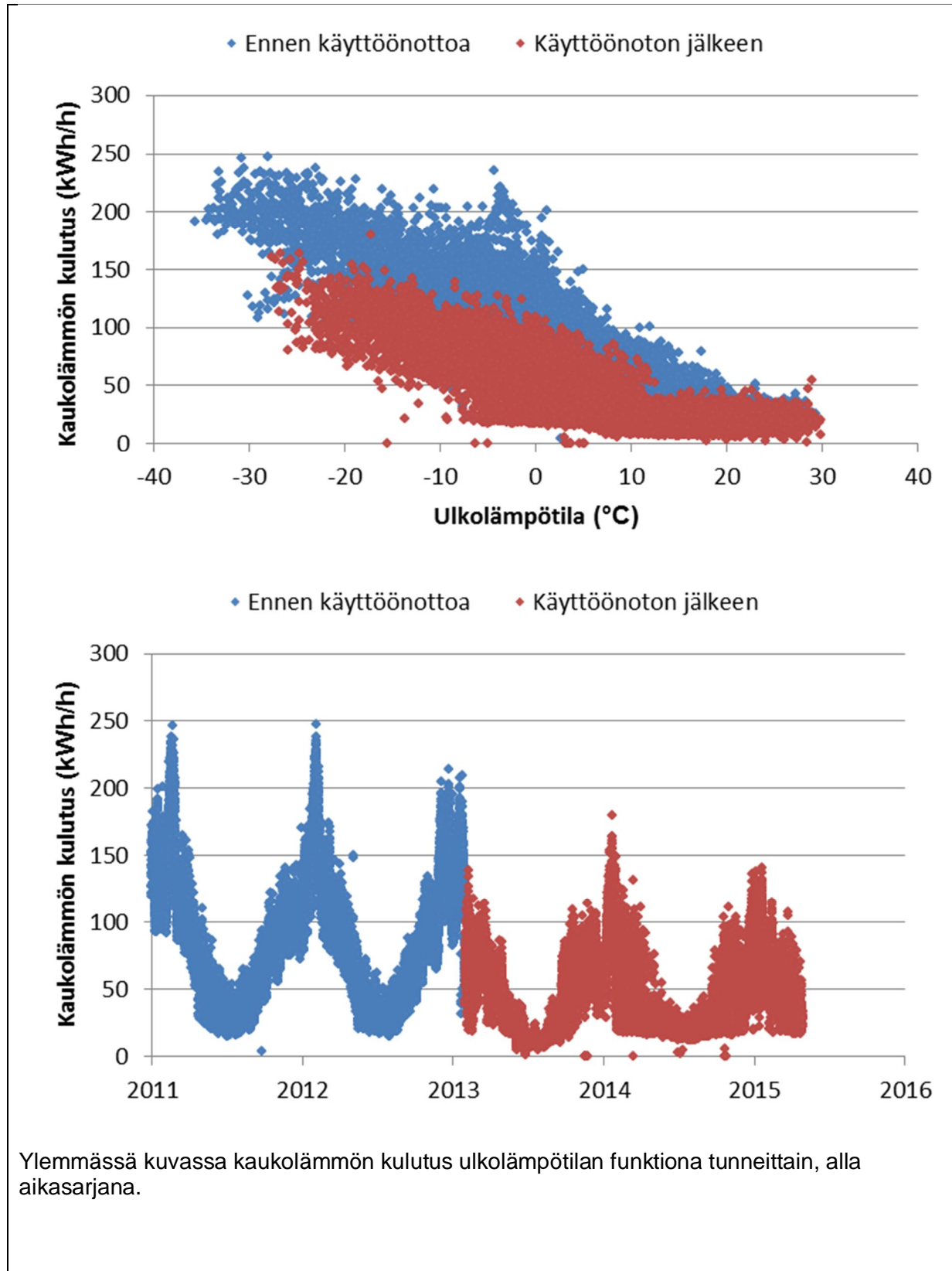
Kohde 8 (paluulämpötilat 24h keskiarvoina)


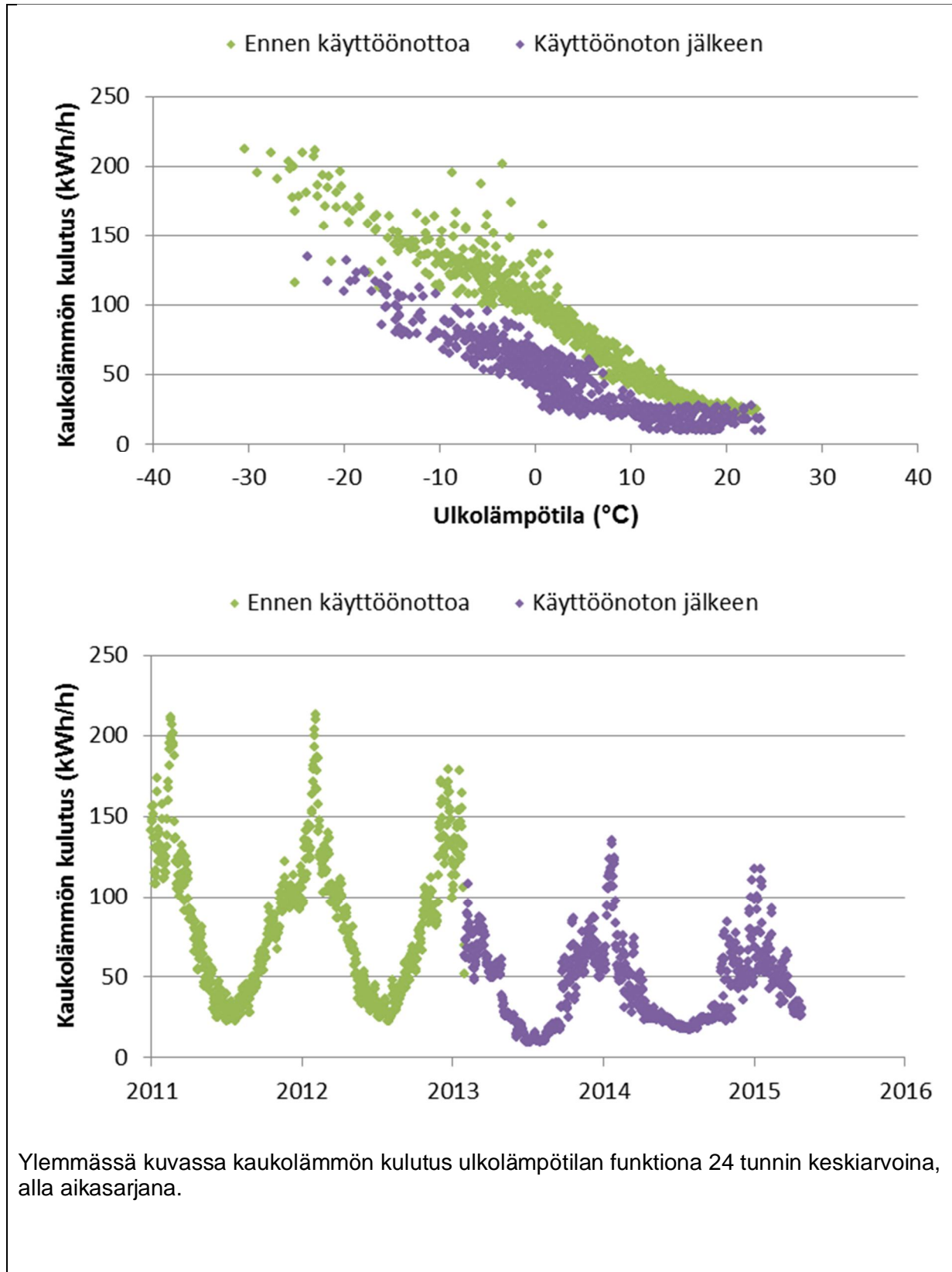
Kohde 9

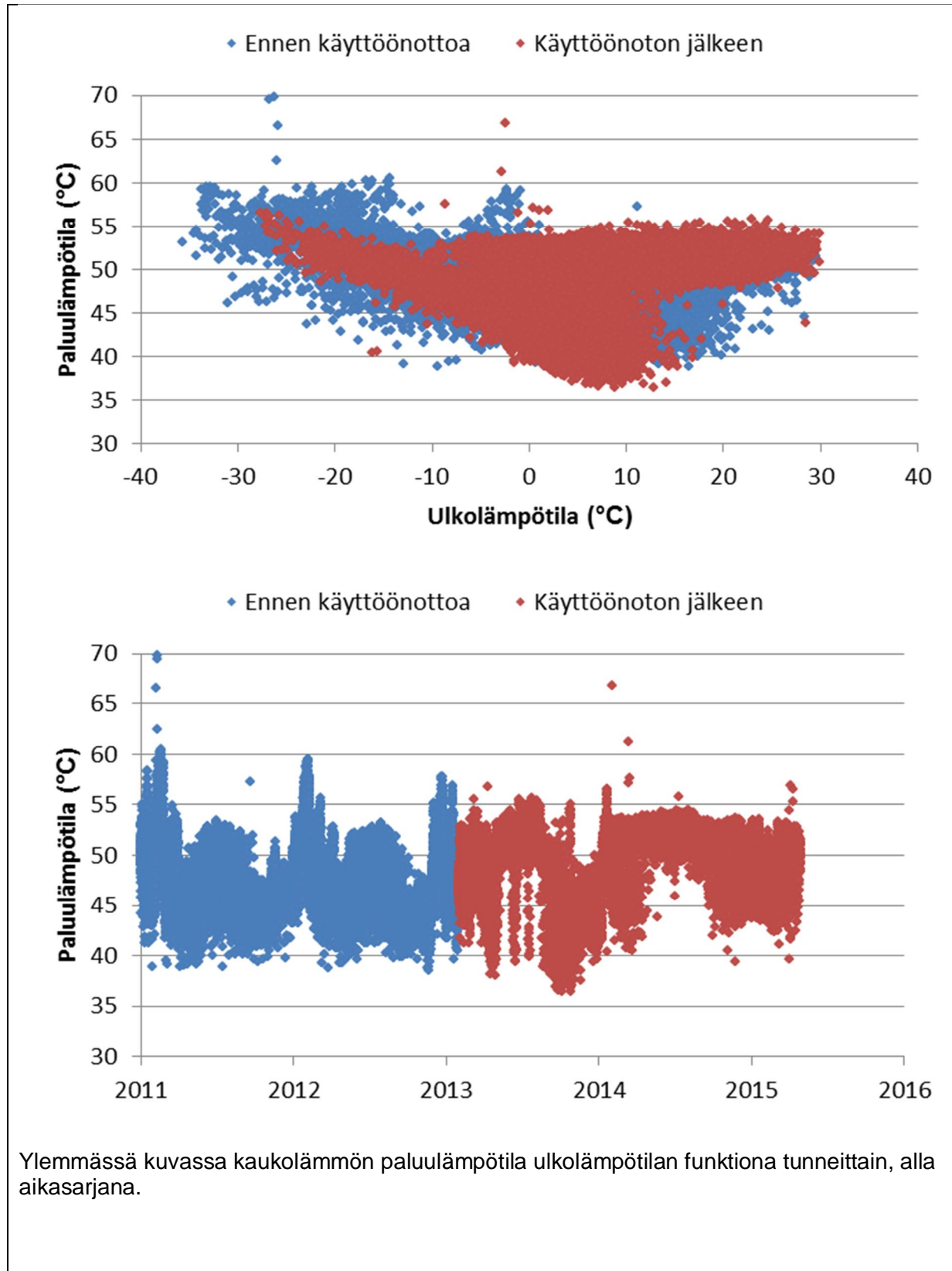
Sijainti	Jyväskylä	Kerroksia	-
Tilavuus	15 000 m ³	Huoneistot	-
Rakennusvuosi	1971	Käyttöönotto	2/2013

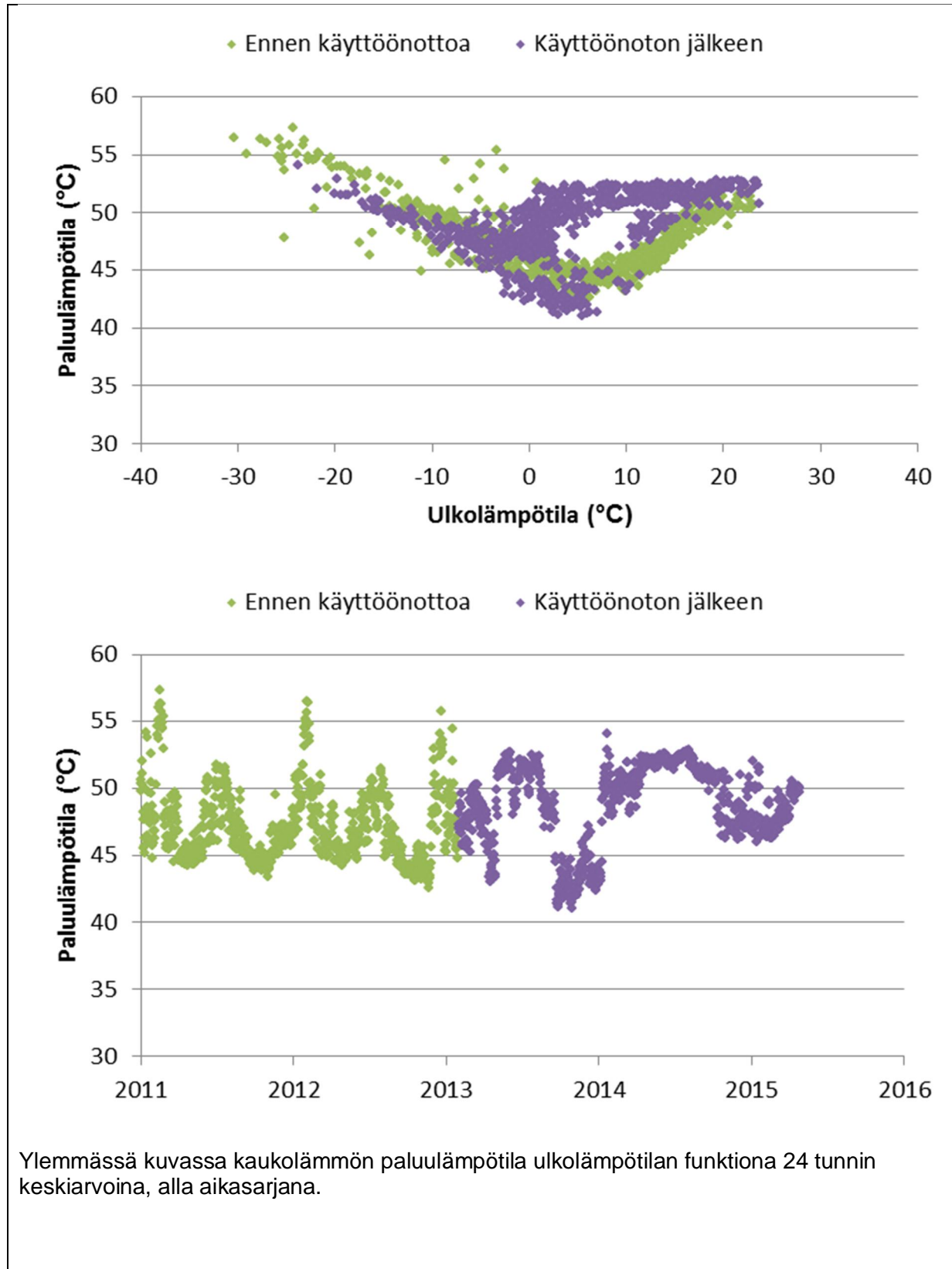
Kaukolämmön kulutus ennen käyttöönottoa 730 MWh ja käyttöönoton jälkeen 415 MWh (-43 %). Yllä normitettu kaukolämmön kulutus kuukausittain, alla mitatut arvot.



Kohde 9 (kulutus tunneittain)


Kohde 9 (kulutus 24h keskiarvoina)


Kohde 9 (paluulämpötilat)


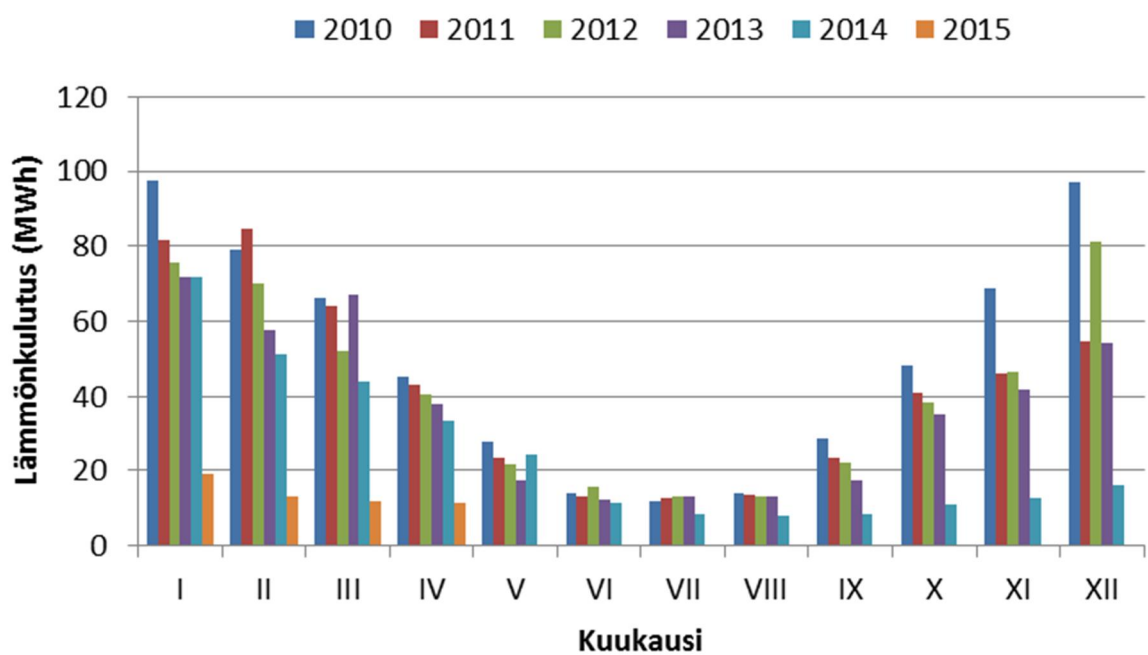
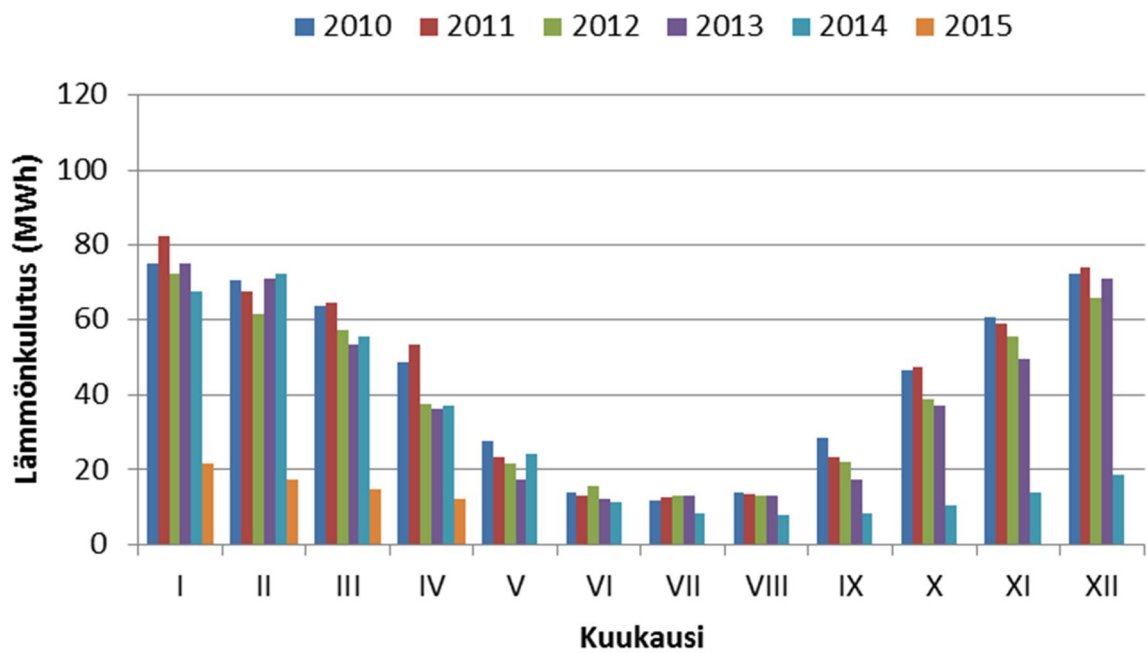
Kohde 9 (paluulämpötilat 24h keskiarvoina)


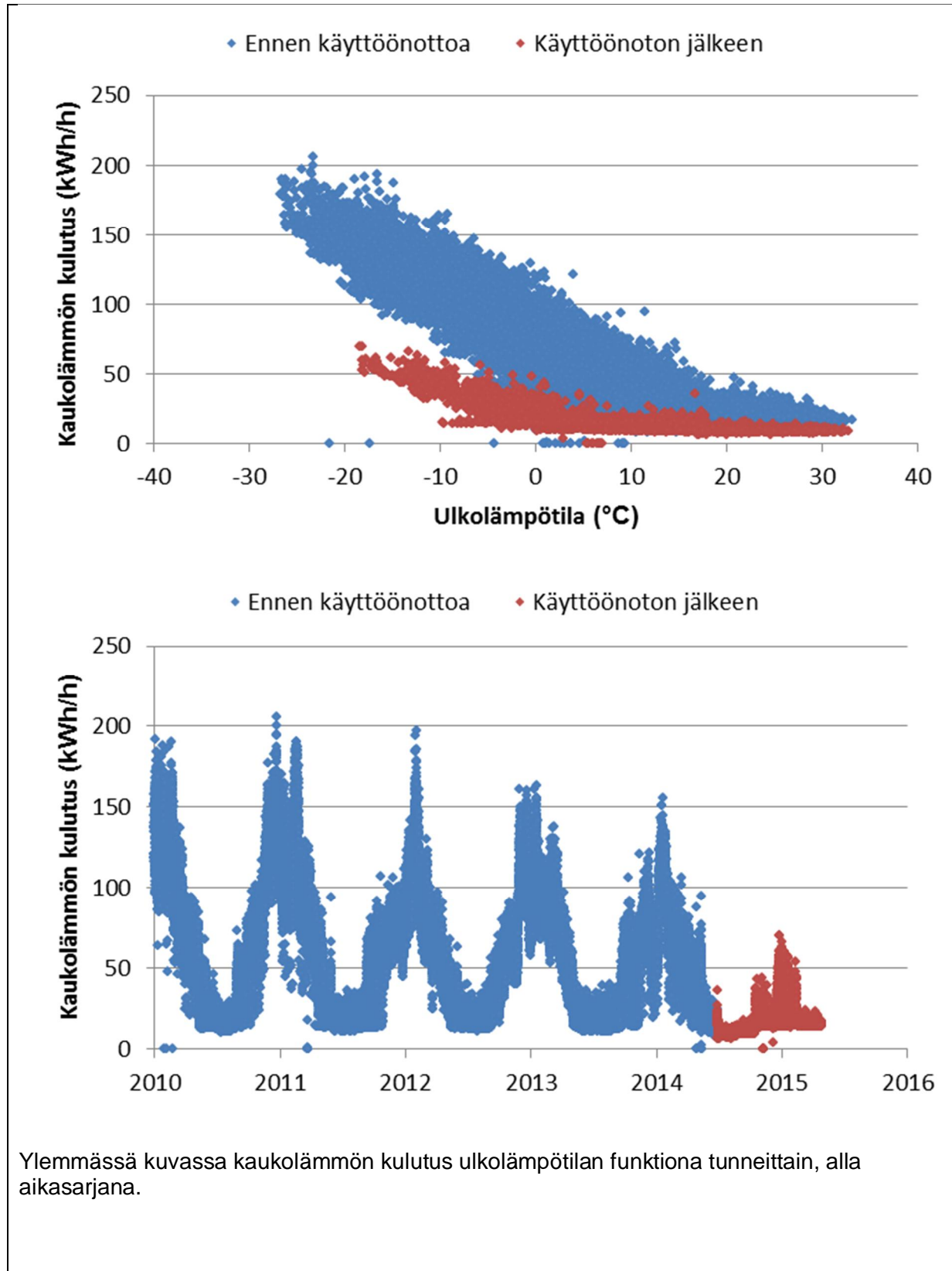
Ylemmässä kuvassa kaukolämmön paluulämpötila ulkolämpötilan funktiona 24 tunnin keskiarvoina, alla aikasarjana.

Kohde 10

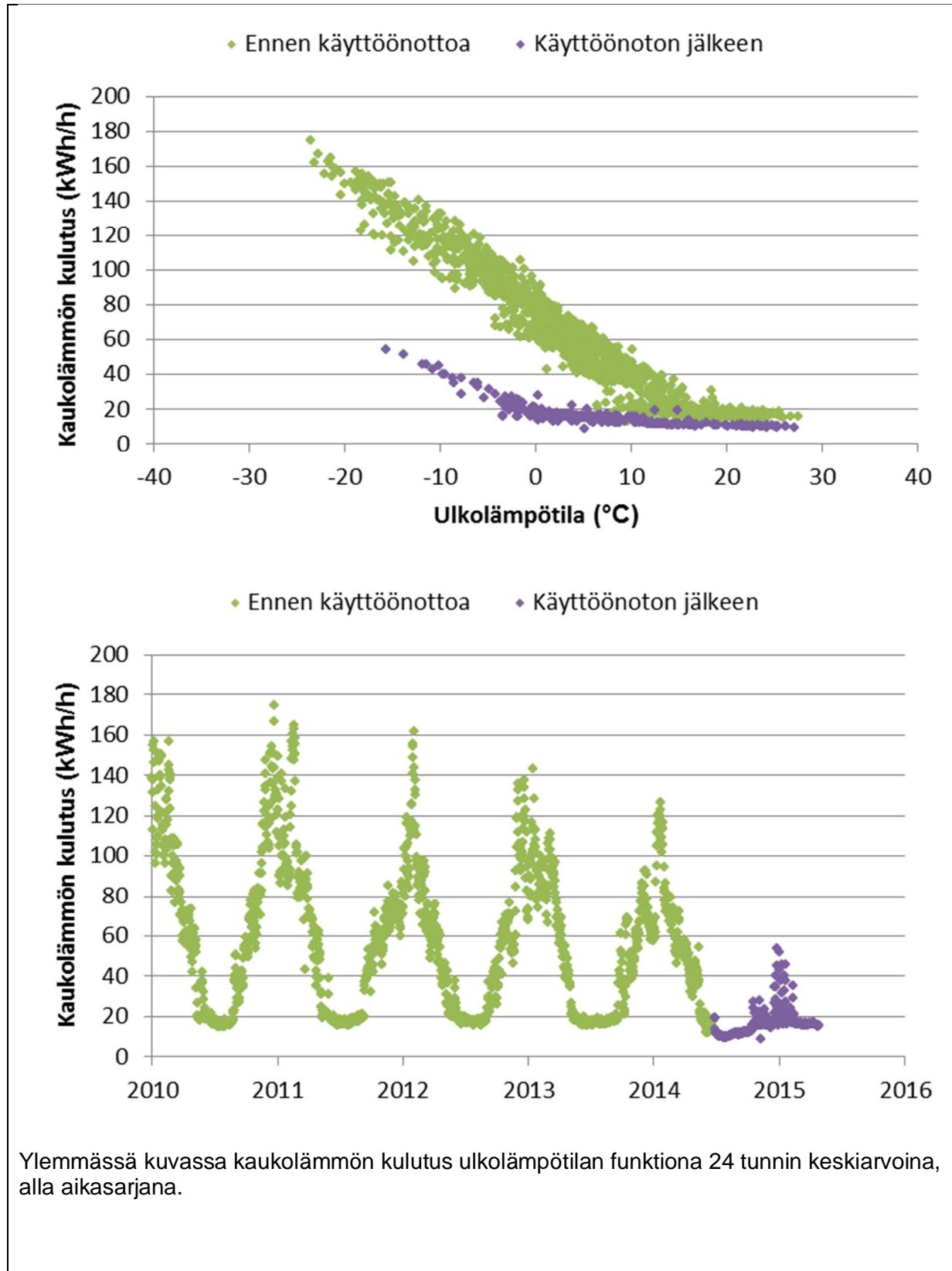
Sijainti	Tampere	Kerroksia	6
Tilavuus	14 000 m ³	Huoneistot	60
Rakennusvuosi	1971	Käyttöönotto	7/2014

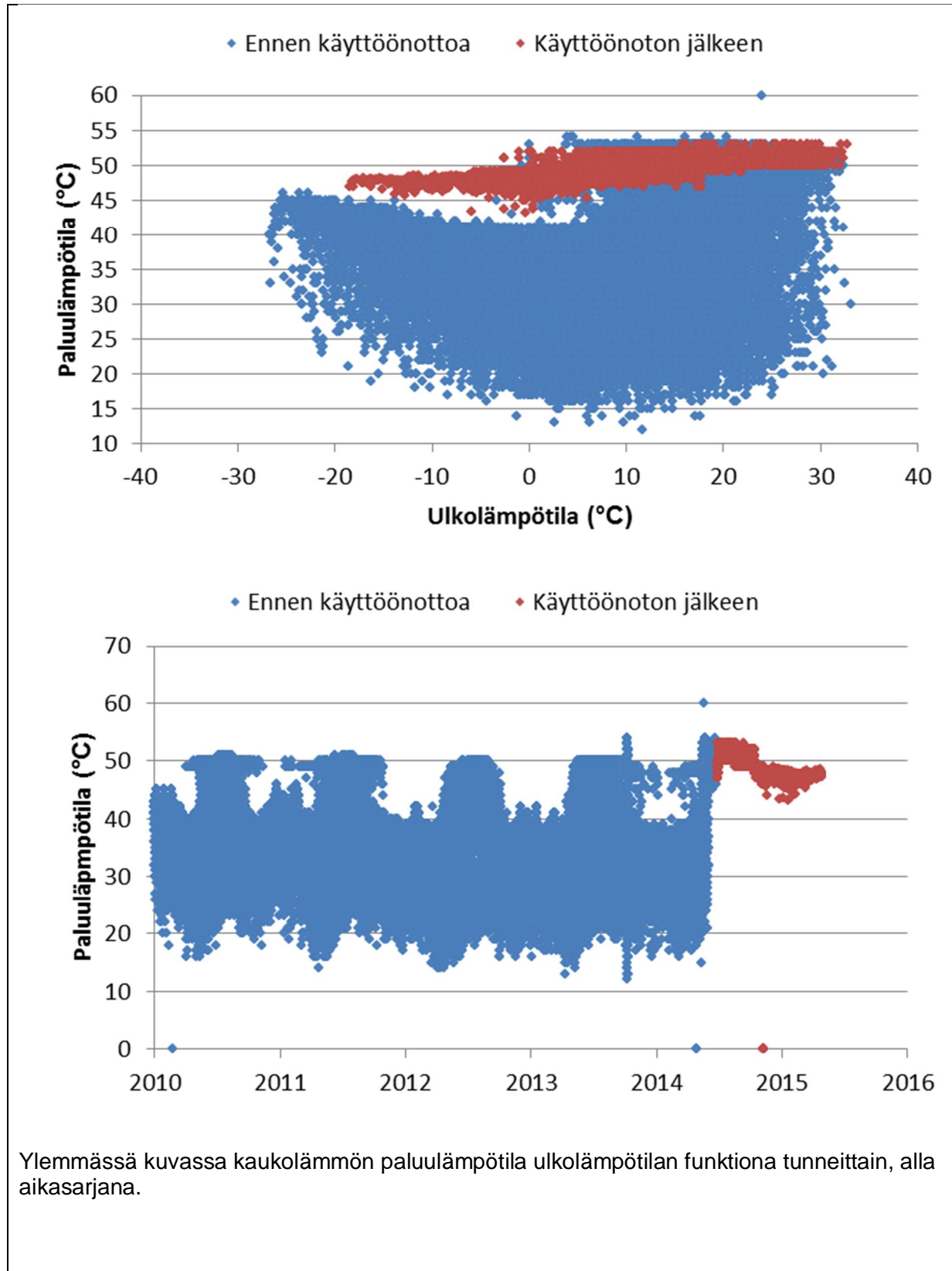
Kaukolämmön kulutus ennen käyttöönottoa 500 MWh ja käyttöönoton jälkeen 160 MWh (-68 %). Yllä normitettu kaukolämmön kulutus kuukausittain, alla mitatut arvot.



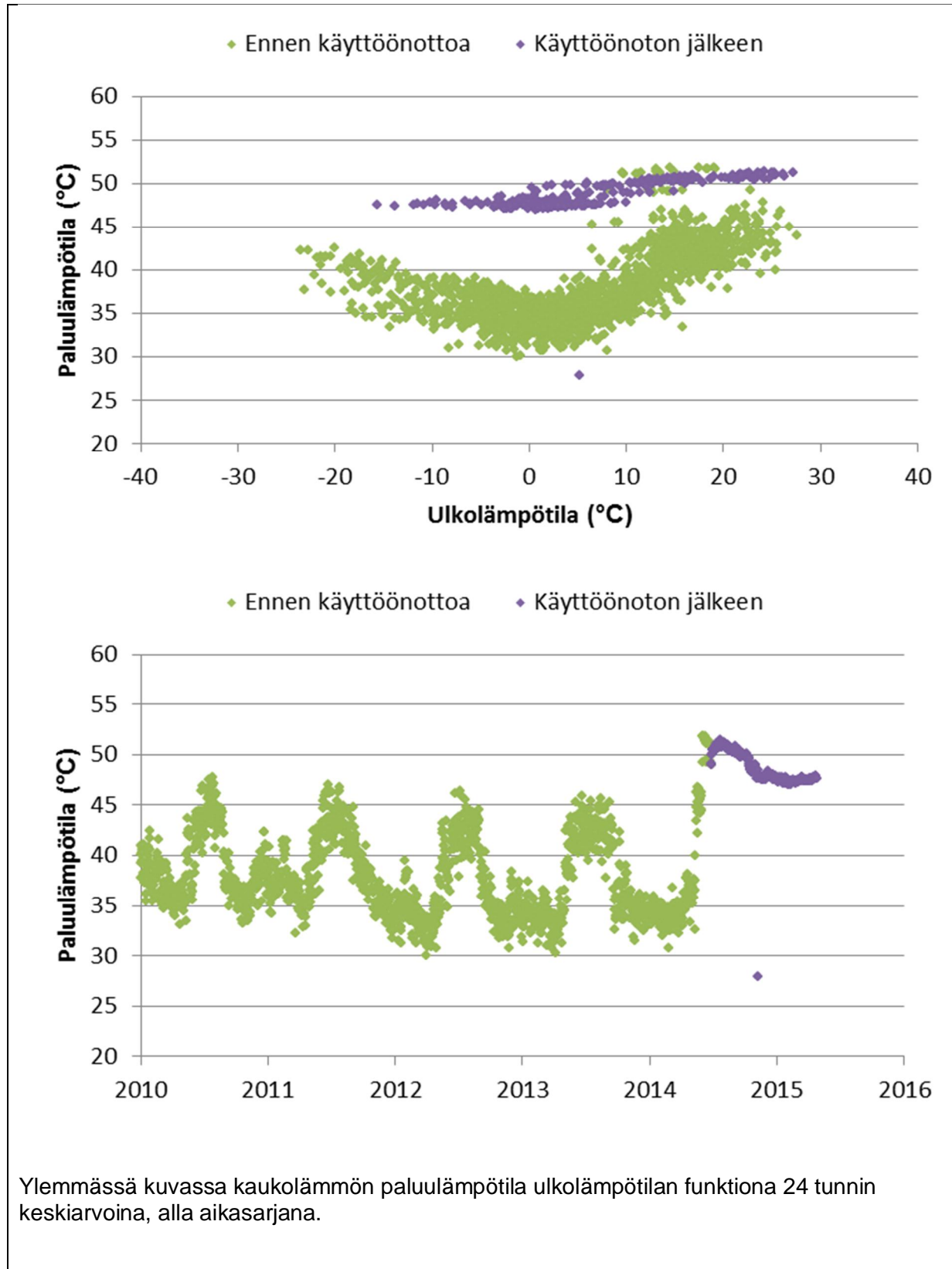
Kohde 10 (kulutus tunneittain)


Ylemmässä kuvassa kaukolämmön kulutus ulkolämpötilan funktiona tunneittain, alla aikasarjana.

Kohde 10 (kulutus 24h keskiarvoina)


Kohde 10 (paluulämpötilat)


Ylemmässä kuvassa kaukolämmön paluulämpötila ulkolämpötilan funktiona tunneittain, alla aikasarjana.

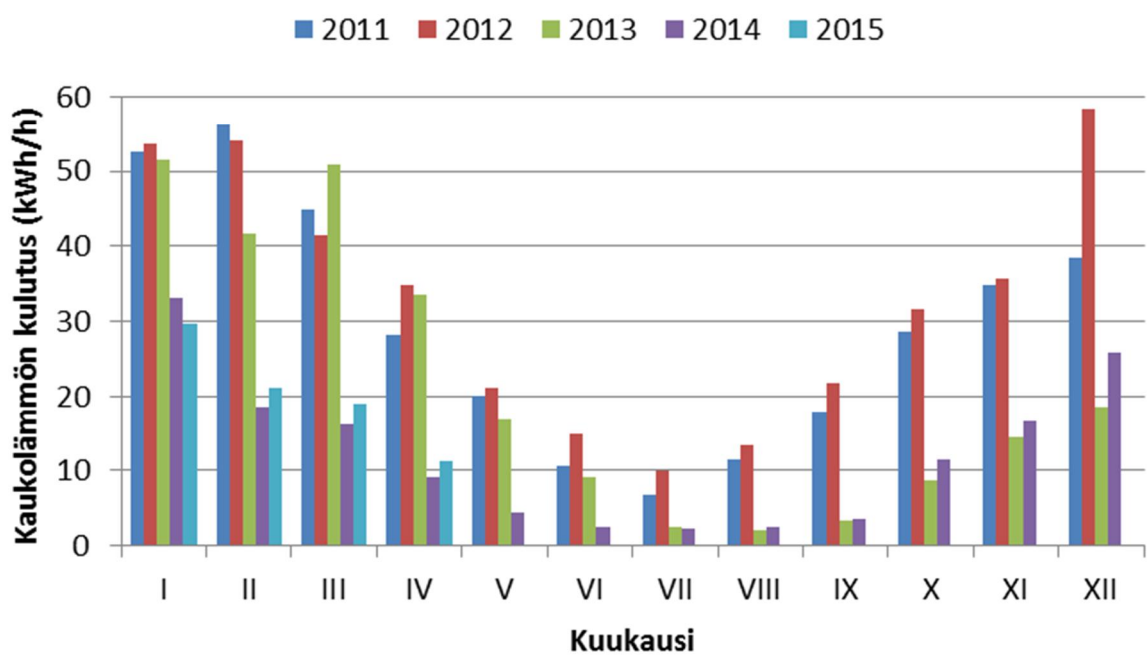
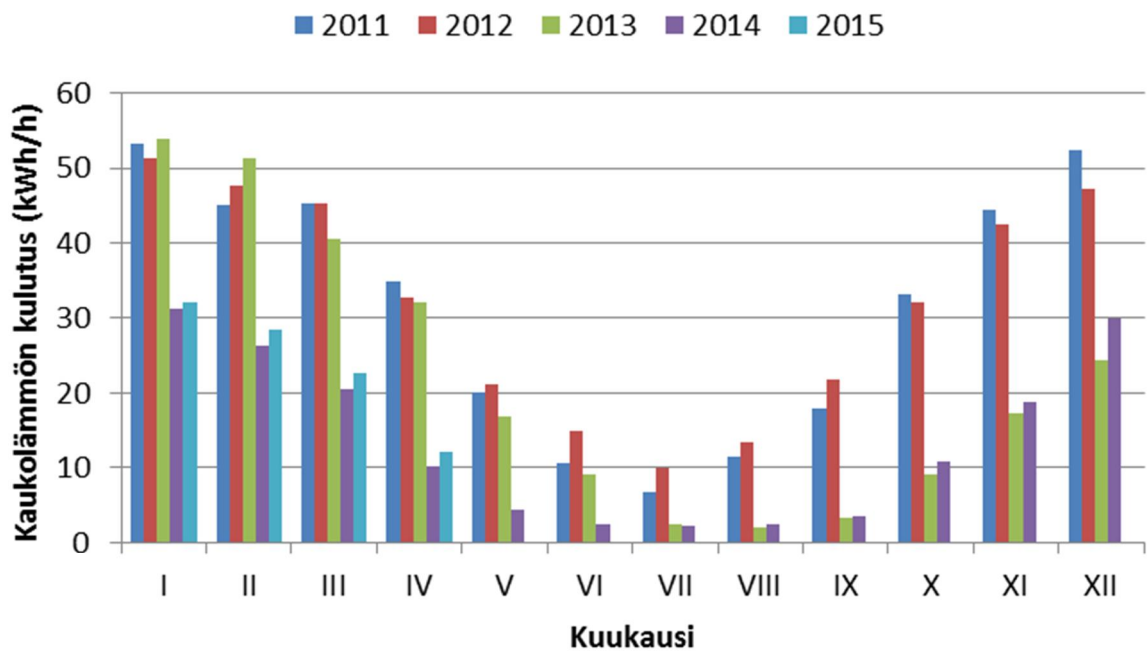
Kohde 10 (paluulämpötilat 24h keskiarvoina)


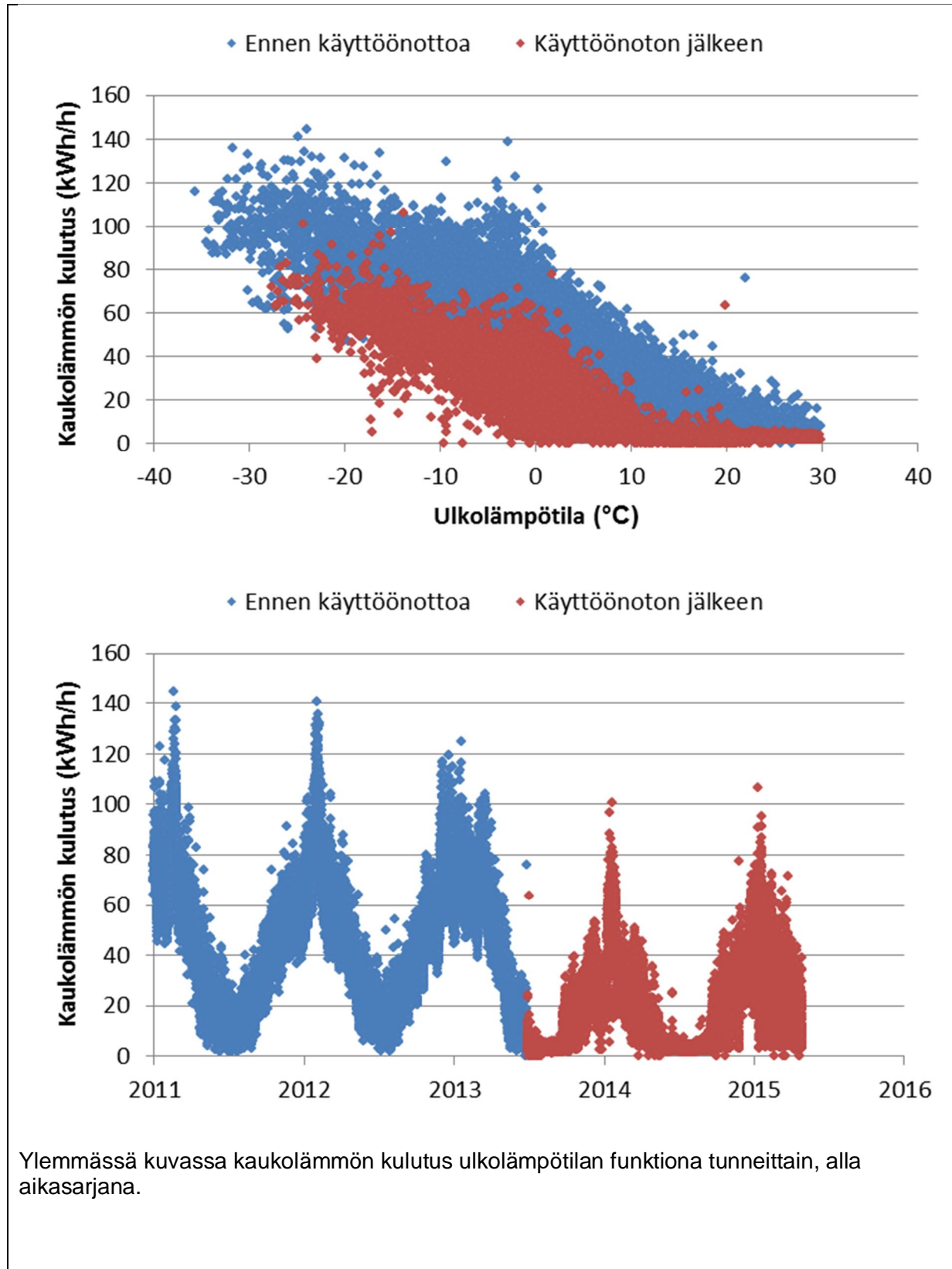
Ylemmässä kuvassa kaukolämmön paluulämpötila ulkolämpötilan funktiona 24 tunnin keskiarvoina, alla aikasarjana.

Kohde 11

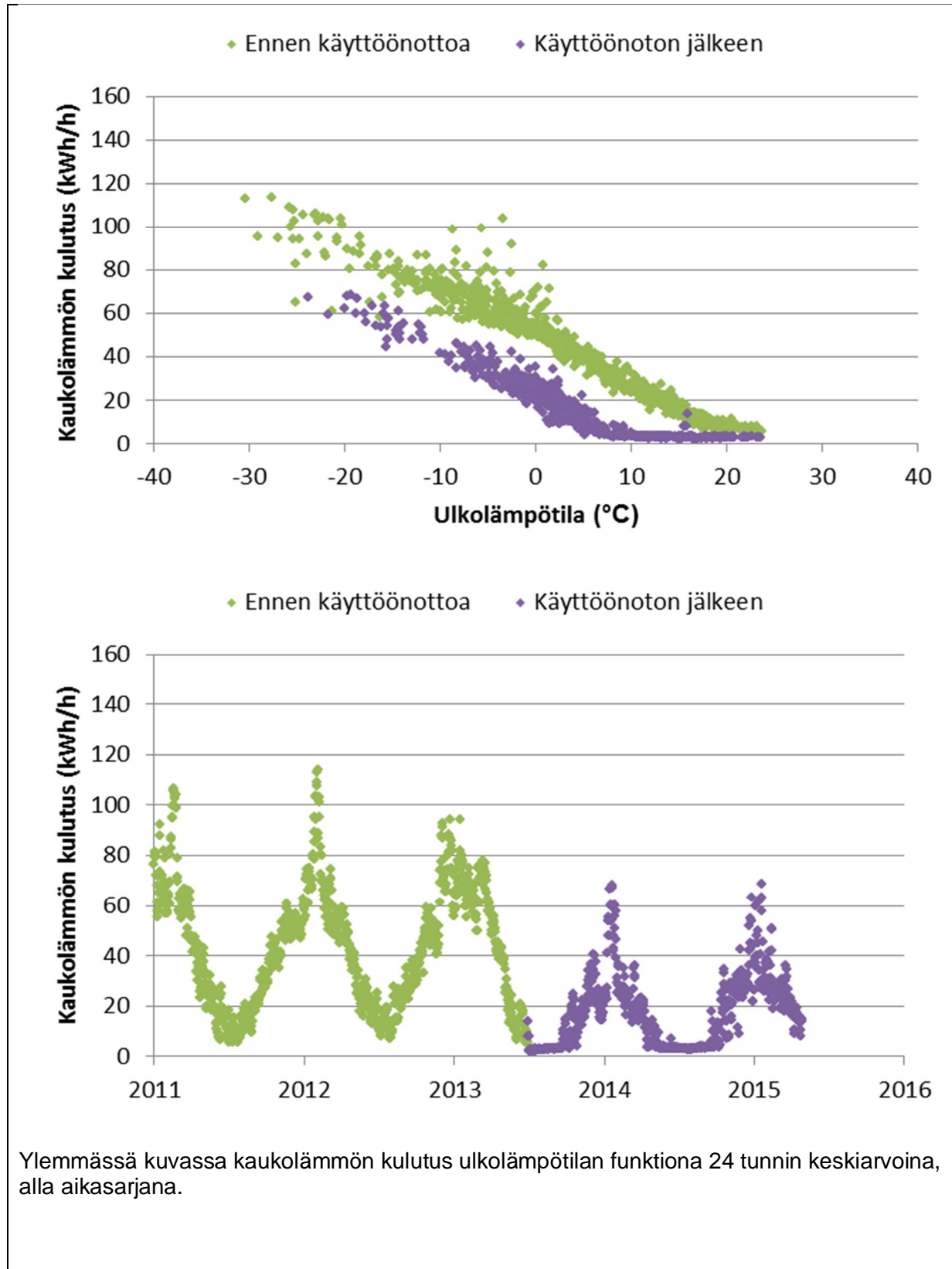
Sijainti	Jyväskylä	Kerroksia	-
Tilavuus	15 000 m ³	Huoneistot	-
Rakennusvuosi	1974	Käyttöönotto	7/2013

Kaukolämmön kulutus ennen käyttöönottoa 380 MWh ja käyttöönoton jälkeen 160 MWh (-57 %). Yllä normitettu kaukolämmön kulutus kuukausittain, alla mitatut arvot.

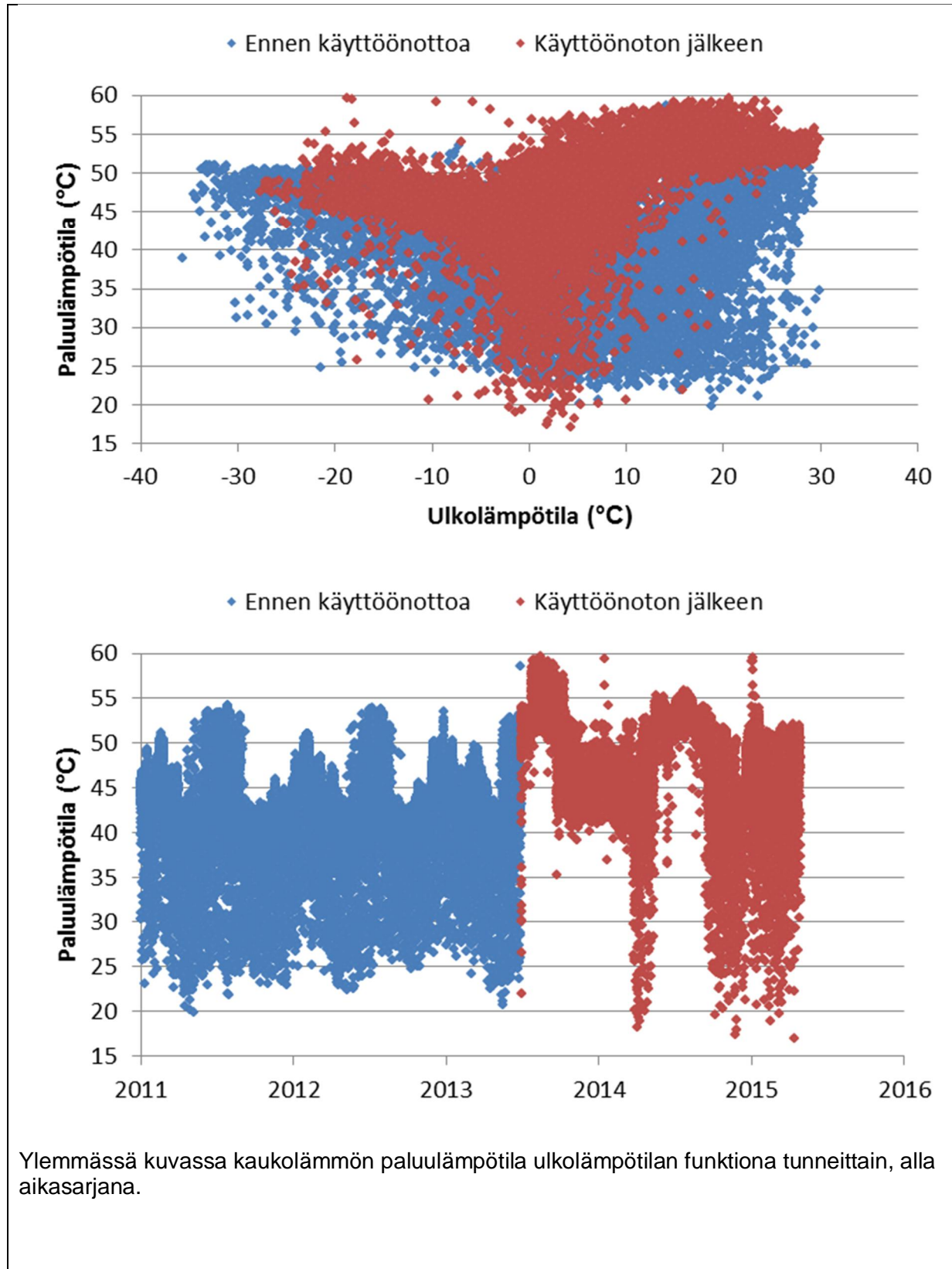


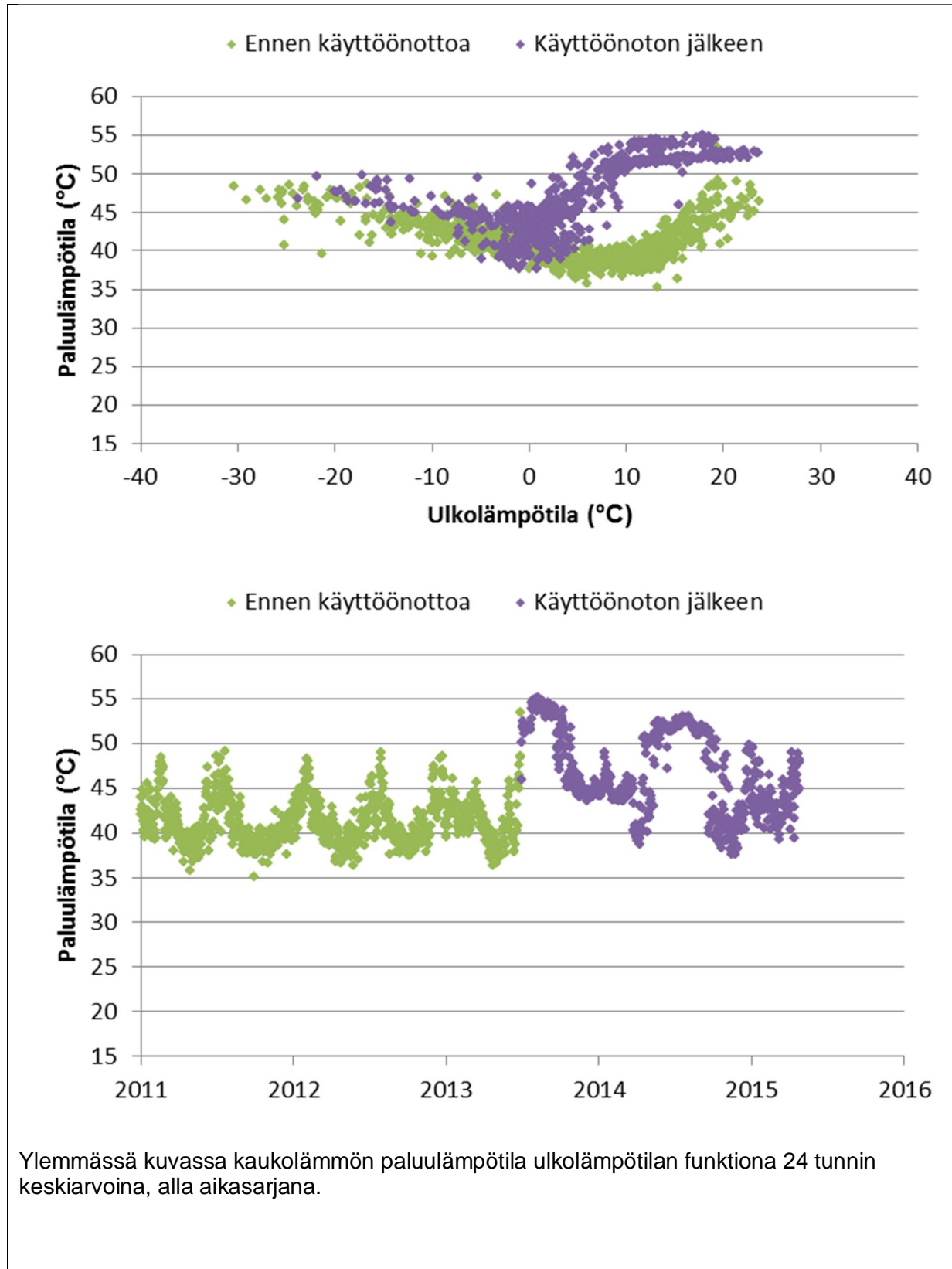
Kohde 11 (kulutus tunneittain)


Ylemmässä kuvassa kaukolämmön kulutus ulkolämpötilan funktiona tunneittain, alla aikasarjana.

Kohde 11 (kulutus 24h keskiarvoina)


Ylemmässä kuvassa kaukolämmön kulutus ulkolämpötilan funktiona 24 tunnin keskiarvoina, alla aikasarjana.

Kohde 11 (paluulämpötilat)


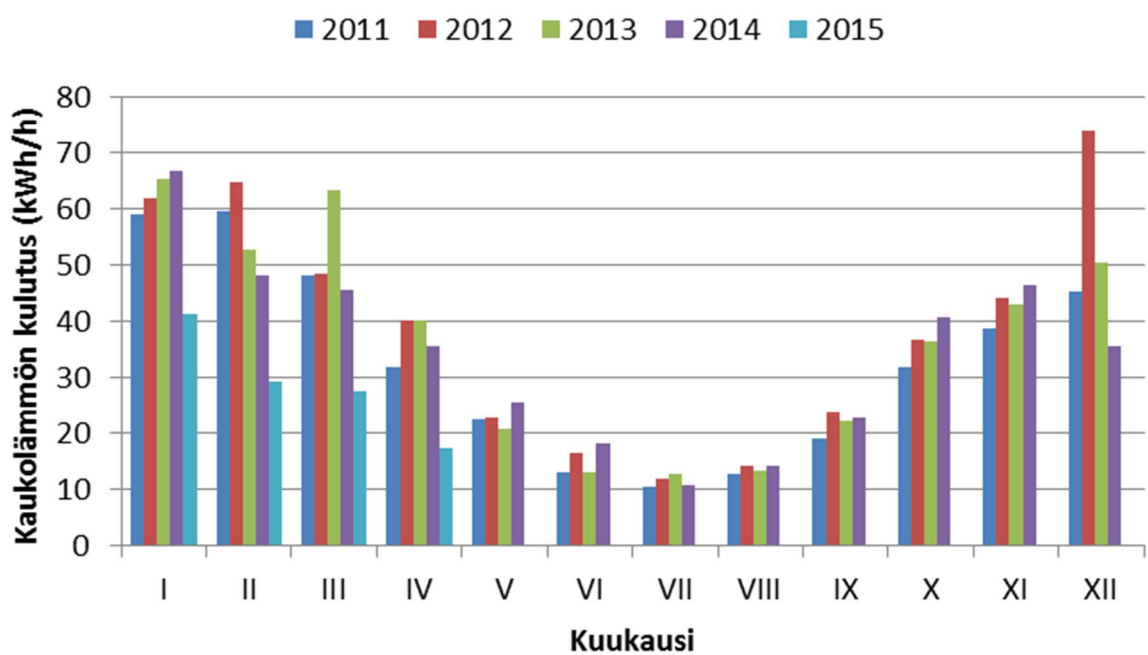
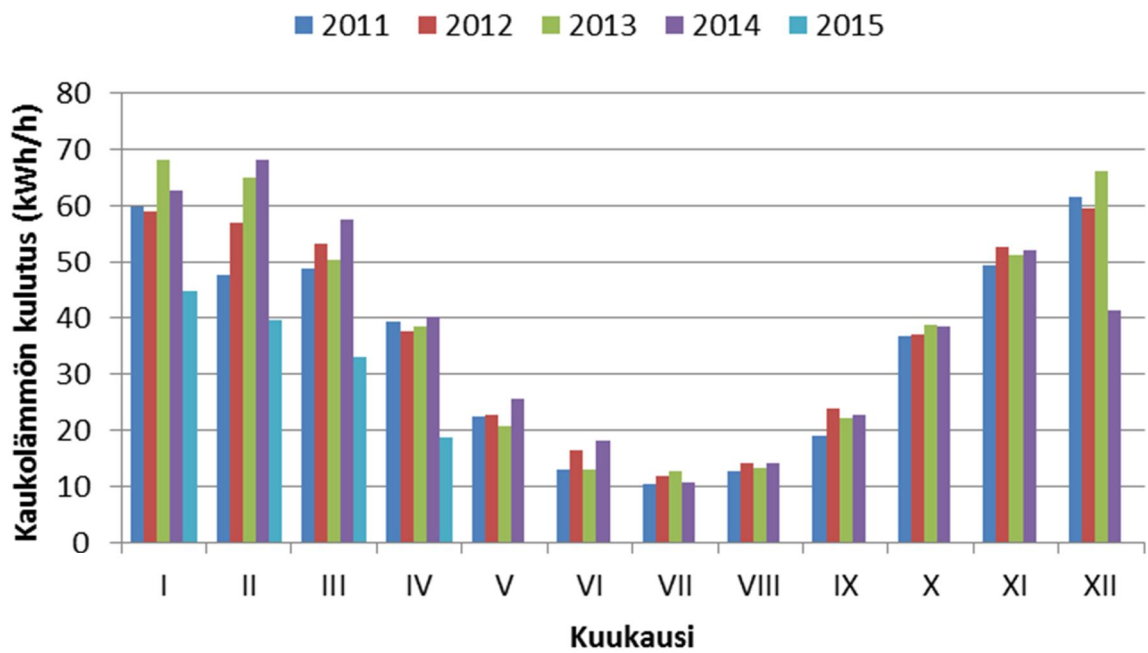
Kohde 11 (paluulämpötilat 24h keskiarvoina)


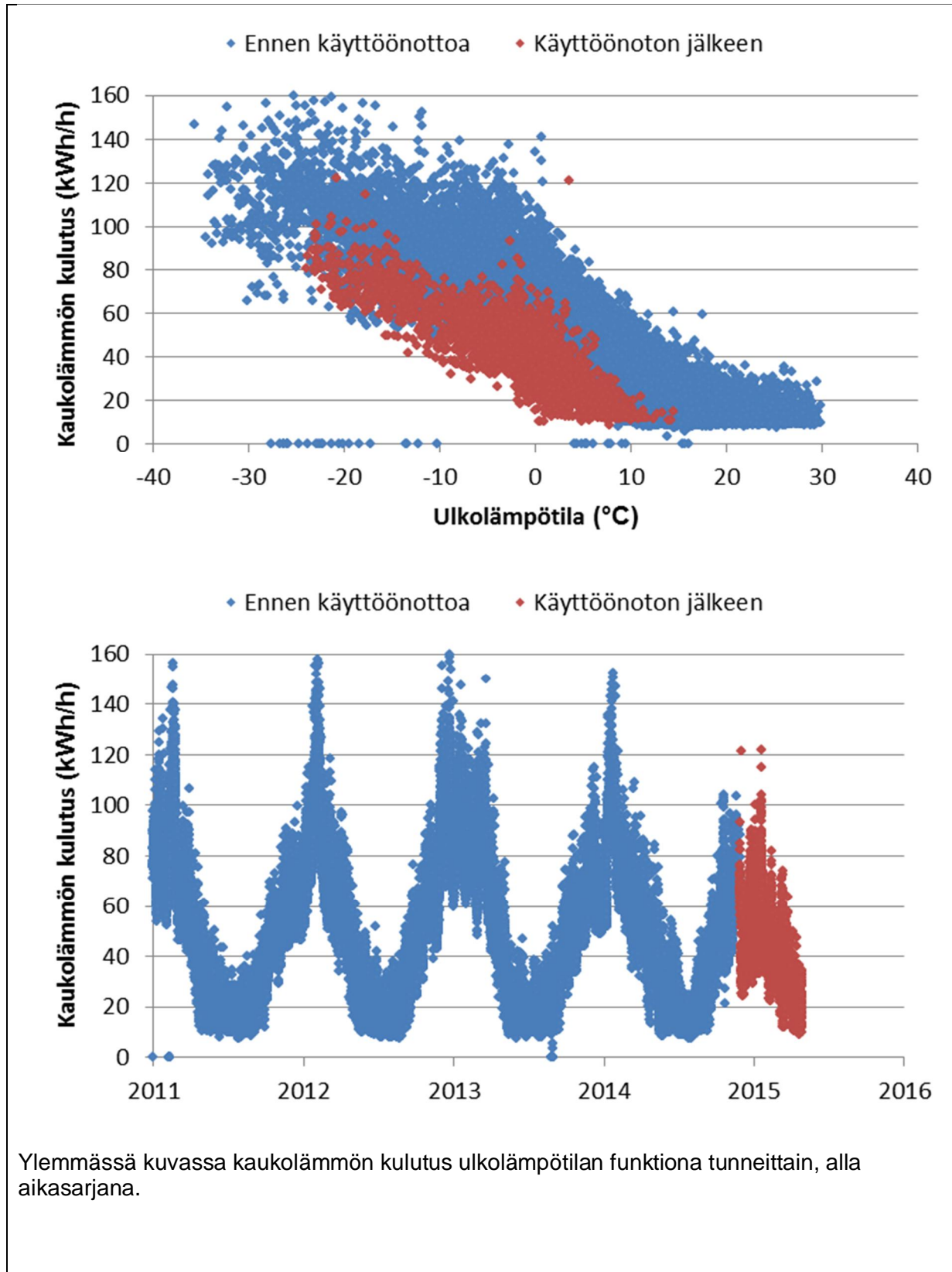
Ylemmässä kuvassa kaukolämmön paluulämpötila ulkolämpötilan funktiona 24 tunnin keskiarvoina, alla aikasarjana.

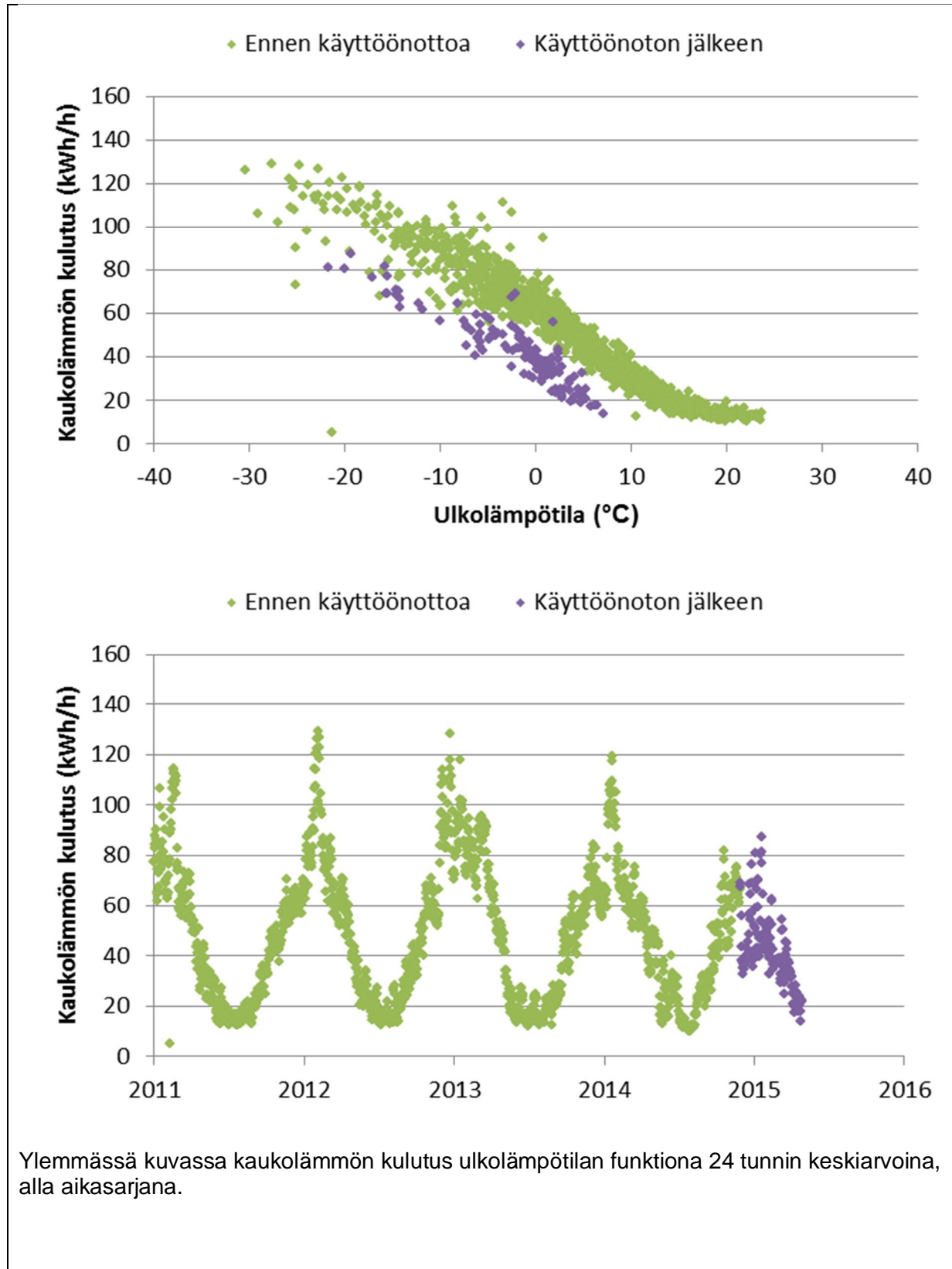
Kohde 12

Sijainti	Jyväskylä	Kerroksia	4
Tilavuus	9 500 m ³	Huoneistot	26
Rakennusvuosi	1974	Käyttöönotto	12/2014

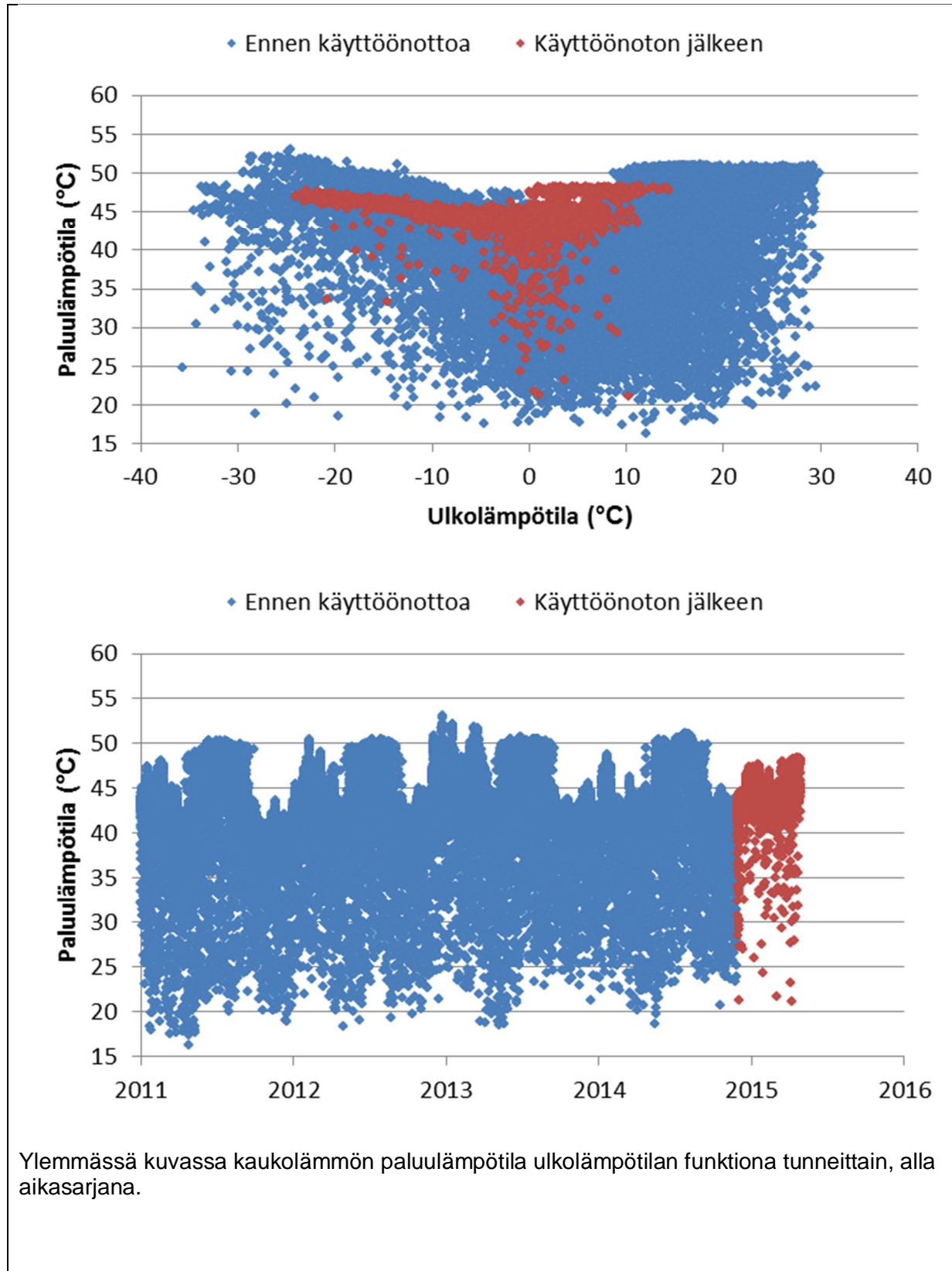
Kaukolämmön kulutus ennen käyttöönottoa 280 MWh ja käyttöönoton jälkeen 170 MWh (-40 %). Yllä normitettu kaukolämmön kulutus kuukausittain, alla mitatut arvot.

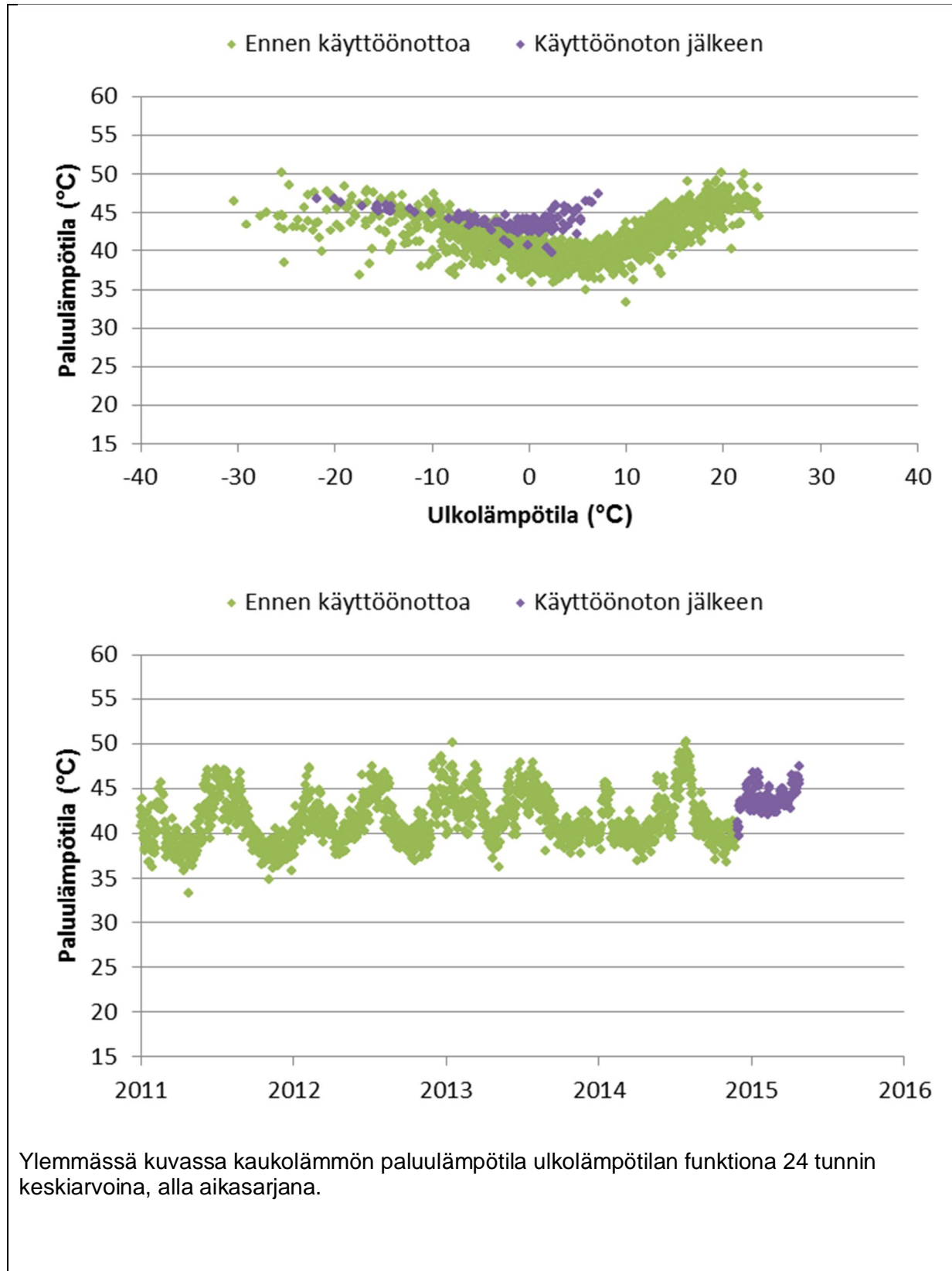


Kohde 12 (kulutus tunneittain)


Kohde 12 (kulutus 24h keskiarvoina)


Ylemmässä kuvassa kaukolämmön kulutus ulkolämpötilan funktiona 24 tunnin keskiarvoina, alla aikasarjana.

Kohde 12 (paluulämpötilat)


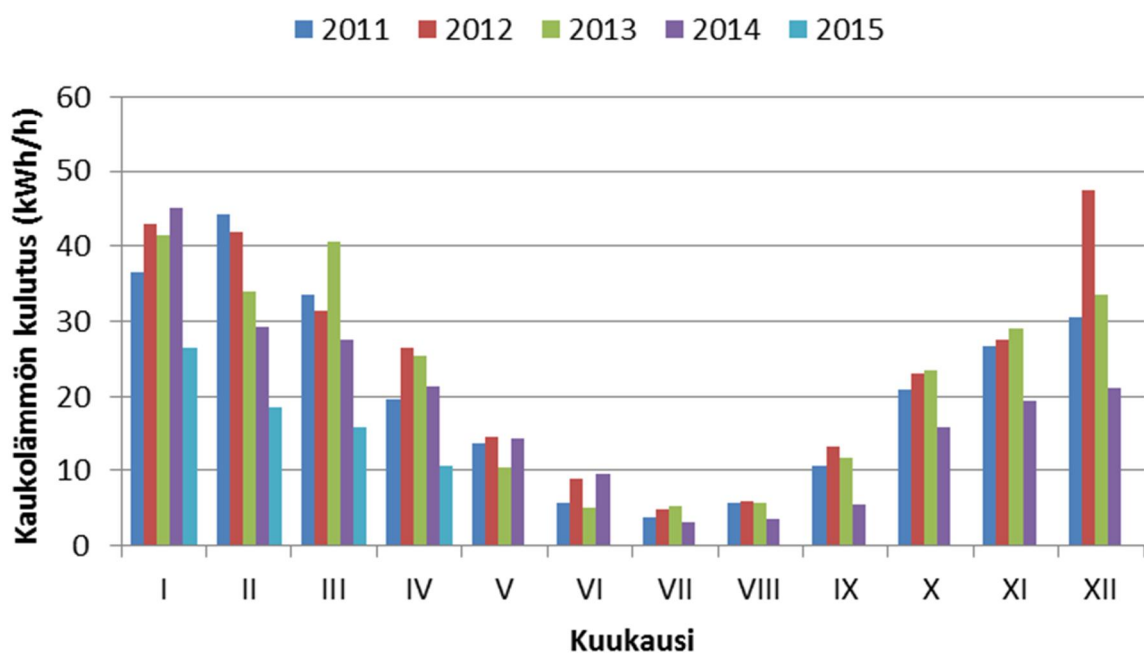
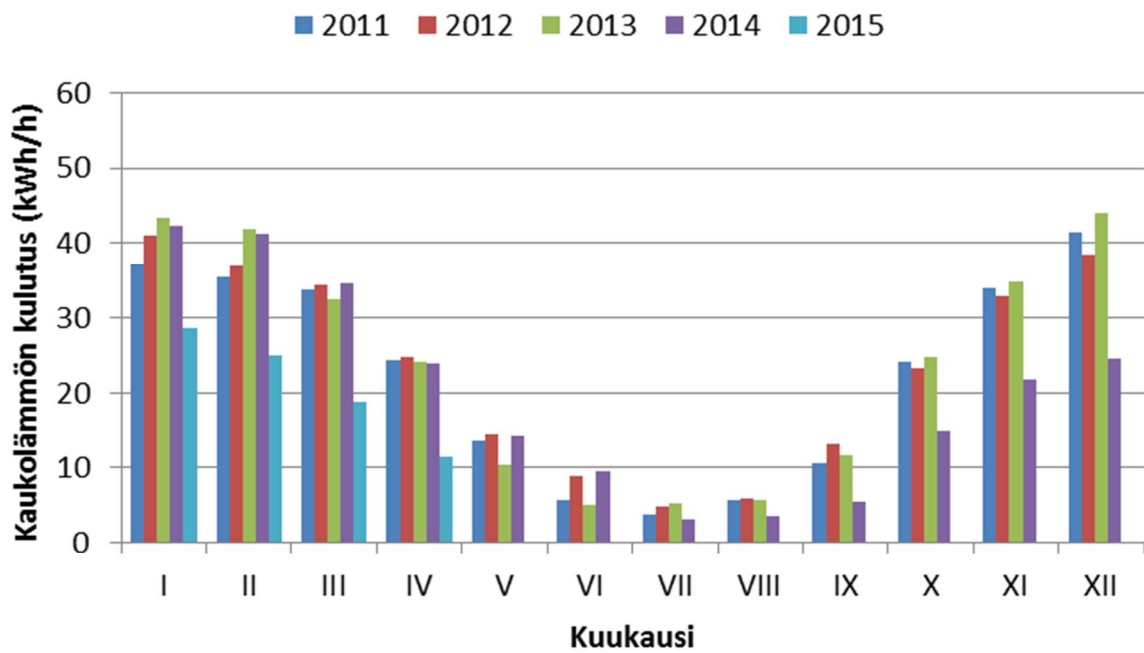
Kohde 12 (paluulämpötilat 24h keskiarvoina)


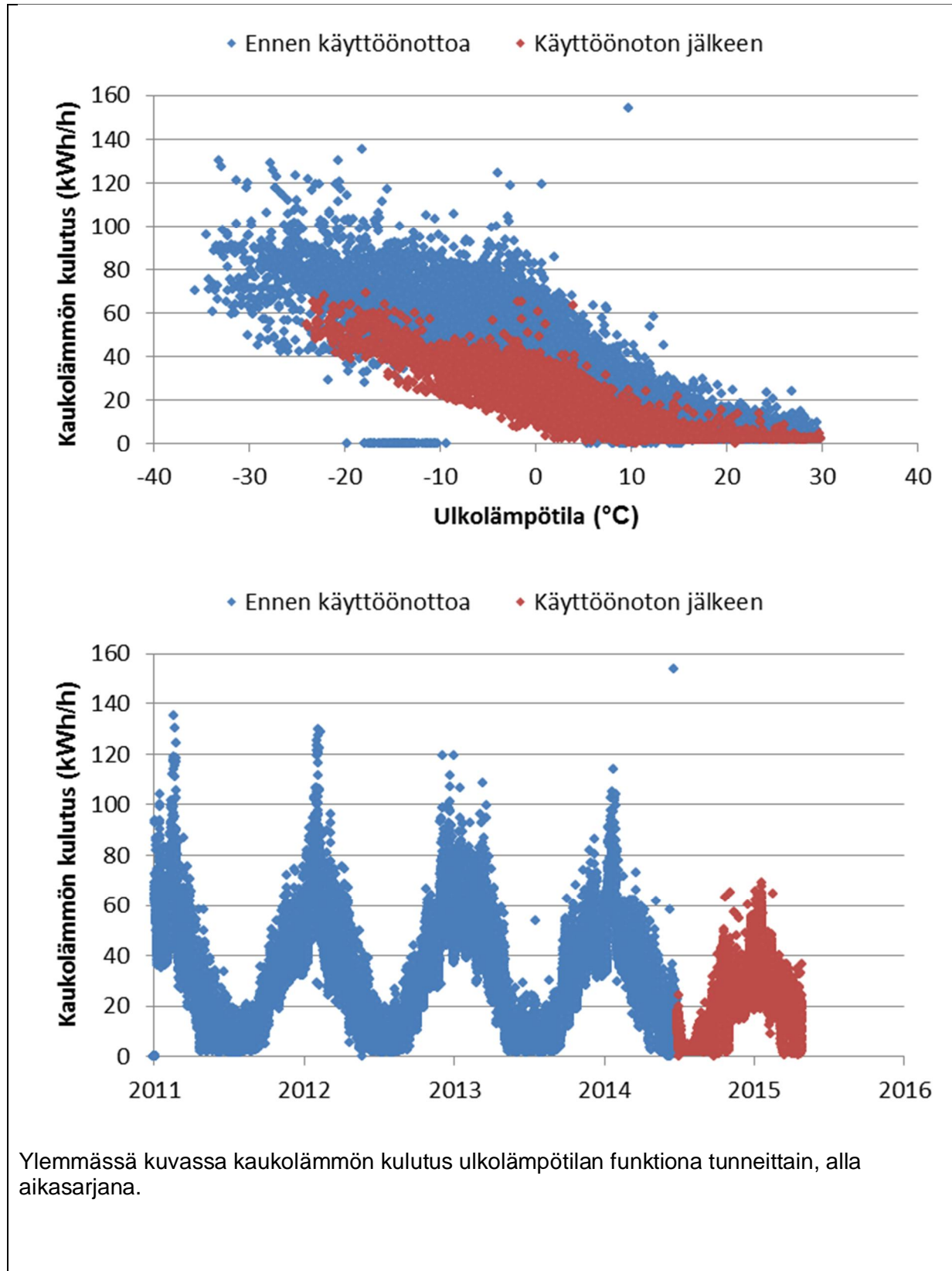
Ylemmässä kuvassa kaukolämmön paluulämpötila ulkolämpötilan funktiona 24 tunnin keskiarvoina, alla aikasarjana.

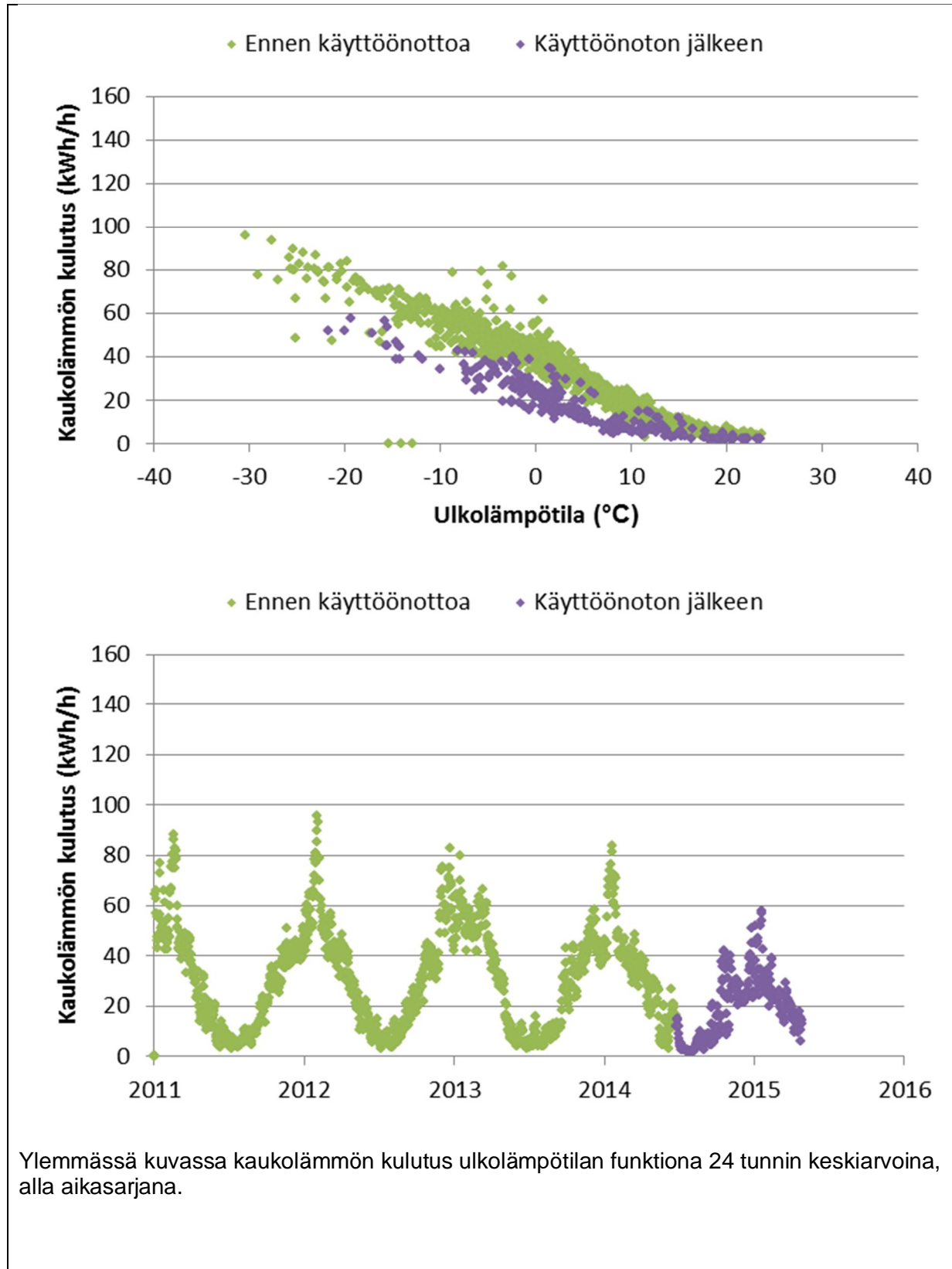
Kohde 13

Sijainti	Jyväskylä	Kerroksia	5
Tilavuus	6 000 m ³	Huoneistot	34
Rakennusvuosi	1960	Käyttöönotto	7/2014

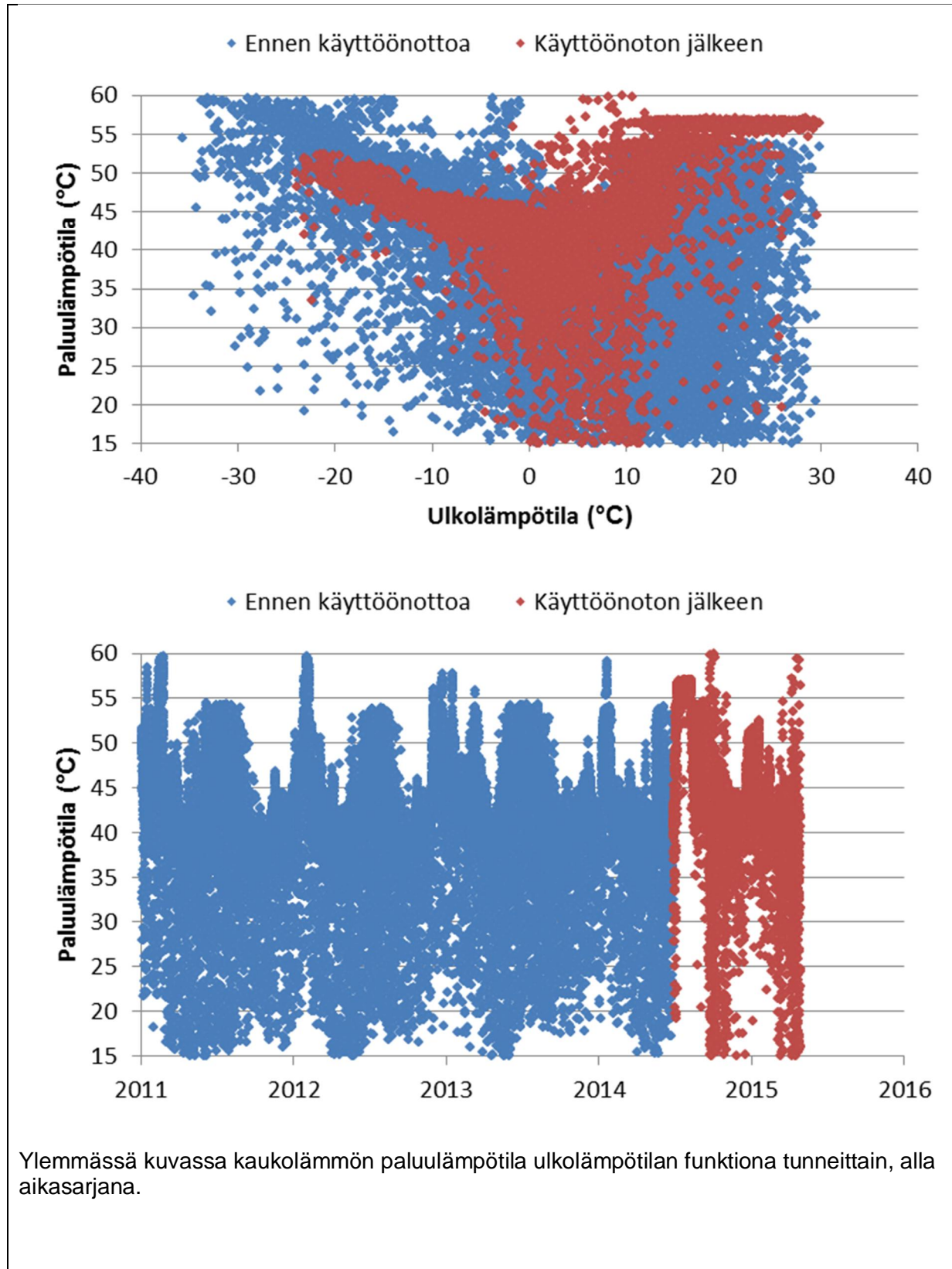
Kaukolämmön kulutus ennen käyttöönottoa 440 MWh ja käyttöönoton jälkeen 270 MWh (-39 %). Yllä normitettu kaukolämmön kulutus kuukausittain, alla mitatut arvot.

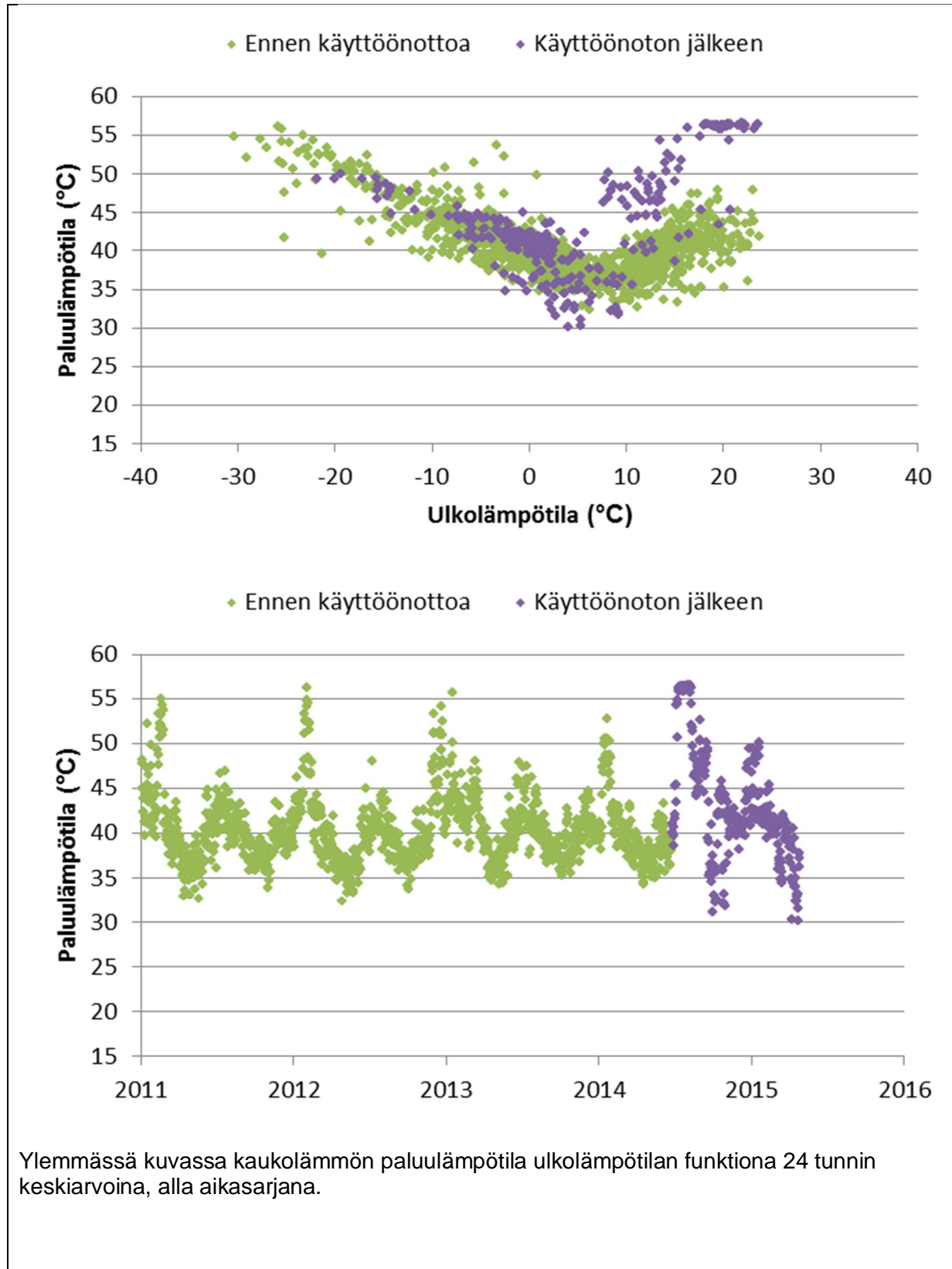


Kohde 13 (kulutus tunneittain)


Kohde 13 (kulutus 24h keskiarvoina)


Ylemmässä kuvassa kaukolämmön kulutus ulkolämpötilan funktiona 24 tunnin keskiarvoina, alla aikasarjana.

Kohde 13 (paluulämpötilat)


Kohde 13 (paluulämpötilat 24h keskiarvoina)


Ylemmässä kuvassa kaukolämmön paluulämpötila ulkolämpötilan funktiona 24 tunnin keskiarvoina, alla aikasarjana.