



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

ANTTI POHJALA

Lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutuspaikkakohtainen mittaaminen LVI-suunnittelussa

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN TUTKINTO-
OHJELMA
2022

Tekijä Pohjala, Antti	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä huhtikuu 2022
	Sivumäärä 74	Julkaisun kieli Suomi
<p>Julkaisun nimi Lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutuspaikkakohtainen mittaaminen LVI-suunnittelussa</p>		
<p>Tutkinto-ohjelma Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma, LVI-tekniikka</p>		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Rakennusten osuus Euroopan unionin energiankulutuksesta on 40 % ja ne muodostavat noin kolmanneksen alueen kasvihuonepäästöistä. Rakennuksen käytönaikainen energiankulutus on suurin asumiskustannuksia muodostava tekijä rakennuksen elinkaaren aikana. Suomessa rakennuksen käytönaikaisesta energiankulutuksesta suurin osa muodostuu tilojen lämmityksestä.</p> <p>EU:n energiatehokkuusdirektiivin määräykset pyrkivät vähentämään rakennusten energiankulutusta ja niiden muodostamaa hiilijalanjälkeä. Direktiivi edellyttää moniasuntoisissa ja moneen eri käyttötarkoitukseen käytettävissä rakennuksissa käyttäjäkohtaista sähkön ja veden sekä lämmitys- ja jäähdytysenergian mittaamista. Tällä hetkellä käyttöveden ja sähkön osalta mittaus toteutuu Suomessa hyvin, mutta lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutuspaikkakohtainen mittaaminen on vielä harvinaista. Lämmitys- ja jäähdytyskustannuksista on tavallisesti maksettu hallinnoitavan tilan pinta-alaan perustuvaa kiinteää korvausta osana vuokraa tai yhtiövastiketta. Energian kulutuspaikkakohtainen mittaaminen mahdollistaa käyttäjäkohtaisen laskutuksen toteutuneen kulutuksen mukaisesti. Tutkimuksissa menetelmän on todettu lisäävän energian loppukäyttäjän tietoisuutta omasta kulutuksestaan ja kannustavan tätä vähentämään omaa kulutustaan.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa toimeksiantajalle tietoa kulutuspaikkakohtaista energiamittausta koskevista määräyksistä, sen käytöstä eri maissa ja teknisistä menetelmistä, joilla mittaus voidaan toteuttaa. Vapaasti saatavilla olevaan lähdeaineistoon perustuvan dokumenttianalyysin lisäksi tehtiin tapaustutkimus, jonka pohjalta esiteltiin mahdollinen tapa huoneistokohtaisen energiamittauksen tekniselle toteuttamiselle asuin-kerrostalossa. Työn tilaaja on Ramboll Finland Oy, jonka on tarkoitus hyödyntää työn tuloksia tulevien suunnittelutoimeksiantojen tukena.</p>		
<p>Avainsanat Energia, energiatehokkuus, energiamittaus, lämmitys, jäähdytys, energiatehokkuusdirektiivi, kustannustenjako</p>		

Author Pohjala, Antti	Type of Publication Bachelor's thesis	Date April 2022
	Number of pages 74	Language of publication: Finnish
Title of publication Individual metering of heating and cooling energy in HVAC design		
Degree programme Construction and civil engineering, HVAC engineering		
Abstract Buildings account for 40% of the European Union's energy consumption and they produce approximately a third of the region's greenhouse gas emissions. The energy consumption during the use of a building is the largest factor in the costs of housing during the life cycle of a building. In Finland, the majority of a building's energy consumption consists of space heating. The provisions of the EU's Energy Efficiency Directive aim to reduce the energy consumption of buildings and their carbon footprint. The directive requires the implementation of individual metering of electricity, water, heating and cooling in multi-apartment and multi-purpose buildings. At present, the metering of domestic water and electricity is carried out well in Finland, but the individual metering of heating and cooling energy is still rare. The costs for heating and cooling energy are usually paid as a fixed compensation based on the area of the premises managed. Individual energy metering allows user-specific cost allocation based on actual consumption. Studies have shown that the method increases the end-user's awareness of their own energy consumption and encourages them to reduce it. The aim of this thesis was to provide the ordering party with information about the regulations for individual energy metering, its use in different countries and the technical methods by which the metering can be carried out. In addition to the documentary analysis based on freely available literature, a case study was carried out, on the basis of which a possible way of technically implementing individual energy metering in an apartment building was presented. The ordering party of the thesis is Ramboll Finland Oy, which intends to utilize the results to support future design assignments.		
Keywords Energy, energy efficiency, energy metering, heating, cooling, EED, cost allocation		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 TUTKIMUSMENETELMÄT.....	6
3 ENERGIAN KULUTUSPAIKKAKOHTAINEN MITTAAMINEN	6
3.1 Rakennusten energiankulutus.....	6
3.2 Kulutuspaikkakohtaisen mittaamisen vaikutus asuinrakennuksen energiankulutukseen	9
3.3 Energiaköyhyys.....	13
3.4 EU-direktiivien ja Suomen lainsäädännön vaatimukset	15
3.5 Energian kulutuspaikkakohtainen mittaaminen Euroopassa.....	17
3.6 Energian kulutuspaikkakohtainen mittaaminen Suomessa	19
4 MITTAUSTEKNIIKAT	20
4.1 Energiamittaus nestevirrasta	21
4.2 Välillinen kustannustenjakso	25
4.2.1 Lämmityskustannusten jakolaite	26
4.2.2 Lämpömukavuustason mittaaminen	31
4.3 Mittaustekniikoiden yhdistäminen	33
4.4 Mittauksen kohdistaminen	34
4.5 Tulosten käsitteleminen, kompensointi ja oikeudenmukaisuus	38
4.5.1 Kiinteiden ja muuttuvien kustannusten suhde	39
4.5.2 Sijaintiin perustuva korjaus	41
4.5.3 Varastetun lämmön huomioiminen.....	43
5 ENERGIAN KULUTUSPAIKKAKOHTAINEN MITTAAMINEN TORNITALOSSA.....	45
5.1 Esimerkkirakennuksen kuvaus.....	46
5.2 Kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen toteutustapa	50
5.2.1 Energian mittaaminen asunnoissa.....	51
5.2.2 Energian mittaaminen taloyhtiön yhteisissä tiloissa.....	56
5.2.3 Energian mittaaminen päiväkodissa	62
5.3 Energian mittaamisen onnistumisen edellytykset	64
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	68
7 YHTEENVETO	69
LÄHTEET	

1 JOHDANTO

Euroopan unionin vuoden 2012 energiatehokkuusdirektiivissä ja siihen vuonna 2018 laaditussa muutoksessa unionin jäsenvaltioilta edellytetään rakennuksissa kulutuspaikkakohtaista veden, lämmön, jäähdytyksen ja sähkön mittausta. Tällä hetkellä käytöveden ja sähkön osalta mittaus toteutuu Suomessa hyvin, mutta lämmitys- ja jäähdytysenergian osalta se on vielä harvinaista. Energiankulutuksen luotettava mittaaminen mahdollistaa kustannustenjaon todellisen kulutuksen perusteella, minkä on tutkimuksissa todettu kannustavan tilan käyttäjää pienentämään omaa energiankulutustaan. Luotettavan mittauksen mahdollistamisella LVI-suunnittelussa luodaan paremmat edellytykset kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen yleistymiselle ja näin voidaan auttaa pienentämään rakennusten energiankulutusta sekä vaikuttamaan rakennusten käytön muodostamaan hiilijalanjälkeen.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa toimeksiantajalle tietoa kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen nykytilanteesta Suomessa ja muualla Euroopassa sekä Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivin ja Suomen kansallisen lainsäädännön asettamista vaatimuksista. Työssä perehdytään lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutuspaikkakohtaisessa mittaamisessa yleisesti käytettäviin teknisiin ratkaisuihin, joilla EU-direktiivin vaatimukset voidaan täyttää, mikäli direktiivi otetaan Suomessa käyttöön sellaisenaan. Lopuksi esitellään esimerkkikohteen avulla mahdollinen tapa huoneistokohtaisen energiamittauksen toteuttamiselle asuinkerrostalossa soveltamalla olemassa olevia mittausmenetelmiä. Opinnäytetyön tilaaja on Ramboll Finland Oy, jonka on tarkoitus hyödyntää työn tuloksia tulevien suunnittelutoimeksiantojen tukena.

2 TUTKIMUSMENETELMÄT

Opinnäytetyössä tutkimusmenetelmänä oli vapaasti saatavilla olevaan lähdeaineistoon perustuva dokumenttianalyysi, jolla pyrittiin kartoittamaan energian kulutuspaikkakohtaisen mittaamisen muodostamaa säästöpotentiaalia, menetelmän käyttöä Euroopan eri valtioissa, energiamittauksen teknisiä toteutustapoja sekä sitä koskevia lainsäädännöllisiä vaatimuksia. Dokumenttianalyysillä kootun teoretiedon pohjalta suoritettiin tapaustutkimus, jossa muodostettiin mahdollinen toteutustapa huoneistokohtaiselle energiamittaukselle asuinkerrostalossa. Tapaustutkimuksessa tausta-aineistona käytettiin avointen kirjallisuuslähteiden lisäksi tarkasteltavaan rakennukseen laadittuja Ramboll Finland Oy:n hallussa olevia taloteknisiä suunnitelmia. Suunnitelma-aineistojen käsittelyssä ja opinnäytetyöraporttiin sisällytettyjen kuvakaappausten tuottamisessa käytettiin LVI-suunnitelmien osalta MagiCAD for AutoCAD-suunnitteluohjelmaa ja tietomallityöskentelyssä Autodesk Navisworksia.

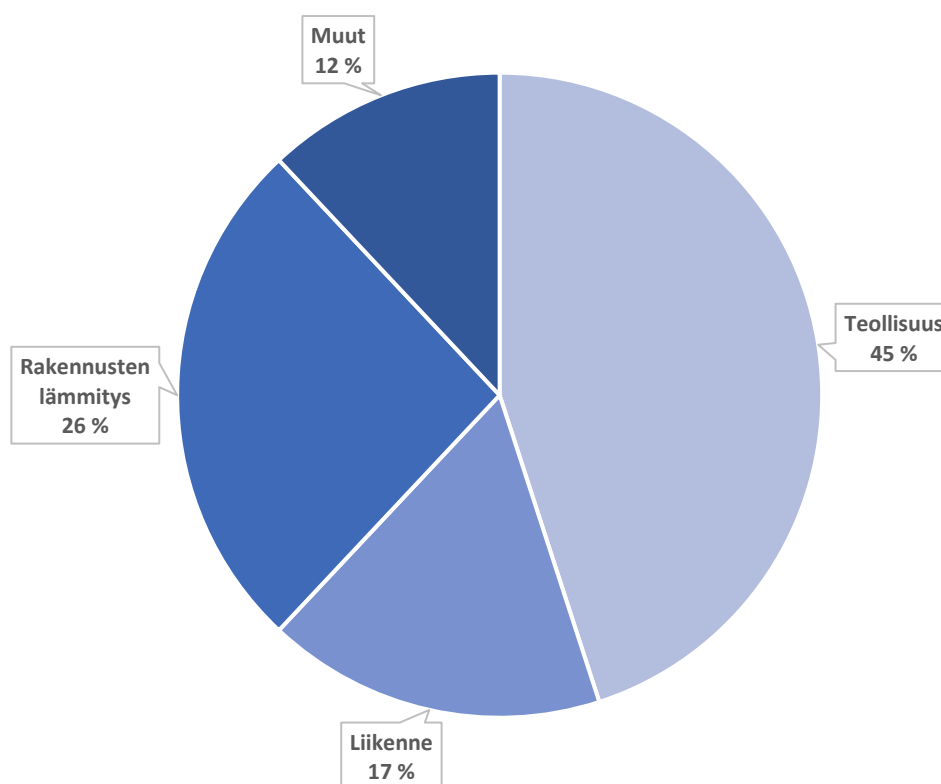
3 ENERGIAN KULUTUSPAIKKAKOHTAINEN MITTAAMINEN

3.1 Rakennusten energiankulutus

Energiasektori on suurin kasvihuonekaasujen tuottaja ja vuonna 2010 se muodosti noin kaksi kolmasosaa maailman hiilidioksidi- ja metaanipäästöistä. Suurimpien hiilivedyntuottajien joukossa se on toisena heti maatalouden jälkeen. Energiasektorin rooli ilmastonmuutoksen torjunnassa on merkittävä, koska ihmiskunnan energiankulutus lisääntyy jatkuvasti. Edelleen yli 80 % energiasta tuotetaan fossiilisilla polttoaineilla. (International Energy Agency 2013, 17) Euroopan unionin energiankulutuksesta rakennusten osuus on 40 %. Energiankäyttö on suurin ympäristöä kuormittava ja asuinkustannuksia muodostava tekijä rakennuksen elinkaaren aikana. (Motivan www-sivut 2022) Globaaleista kasvihuonepäästöistä rakennusten osuus on noin kolmannes. Tästä syystä EU on viime vuosikymmeninä pyrkinyt vähentämään sekä uusien että olemassa olevien rakennusten energiankulutusta. (Terés-Zubiaga, Pérez-Iribarren, González-Pino & Sala 2018, 2) Joissakin valtioissa rakennuskannan päästöjen osuus

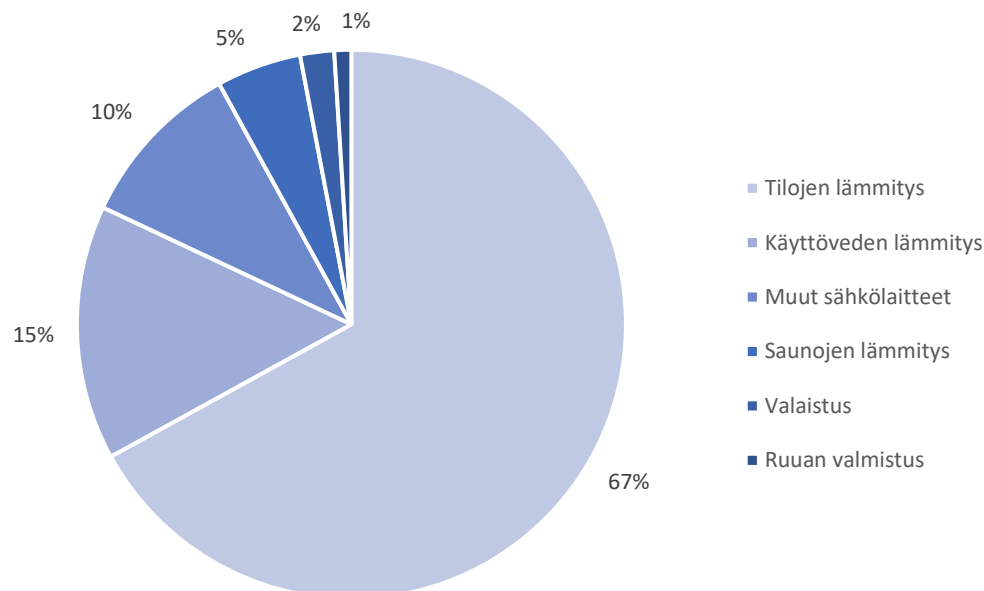
on vieläkin korkeampi. Esimerkiksi Iso-Britanniassa vuonna 2013 rakennukset muodostivat jopa 50 % maan hiilidioksidipäästöistä. Energiantuotannossa käytettävien fossiilisten polttoaineiden osuuden pienentäminen ei yksin riitä ilmastonmuutoksen hillitsemiseen. On myös panostettava energiankulutuksen vähentämiseen kehittämällä entistä älykkäämpiä ja energiatehokkaampia ratkaisuja sekä pyrittävä muuttamaan rakennusten loppukäyttäjien kulutuskäyttäytymistä. (Ahmad, Mourshed, Mundow, Sissini & Rezgui 2016, 2) Ilmastonmuutoksen torjunta ei suinkaan ole ainoa syy tarpeelle vähentää energiankulutusta, vaan sillä voidaan saavuttaa myös merkittäviä taloudellisia säästöjä. Lisäksi nykypäivän asenneilmastossa säästeliäs energiankulutus, ympäristöystävällisyys ja kestävän kehityksen peruseriaatteiden mukainen toiminta ovat omiaan kohottamaan yritysten imagoa ja parantamaan niiden asemaa markkinoilla. (Ahmad ym. 2016, 5)

Rakennuksen käytönaikainen energiankulutus muodostuu lämmityksestä, jäähdytyksestä, valaistuksesta ja muista sähkölaitteista (Motivan www-sivut 2022). Kylmän ilmastomme takia erityisesti lämmitysenergian osuus korostuu suomalaisen rakennuskannan kokonaisenergiankulutuksessa (Leino 2019, 16). Kuten kuvioista 1 käy ilmi, se muodostaa jopa noin neljänneksen kaikesta Suomen energian loppukäytöstä.



Kuvio 1. Energian loppukäyttö sektoreittain vuonna 2019 (Tilastokeskus 2019).

Tarkasteltaessa asuinrakennusten energiankulutuksen jakautumista eri käyttökohteiden välillä huomataan, että kokonaiskulutuksesta jopa 67 % muodostuu tilojen lämmityksestä. Toiseksi suurin osuus käytetään lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Energiankulutuksen jakautumista asunnoissa on havainnollistettu kuviossa 2.



Kuvio 2. Asumisen energiankulutus käyttökohteittain vuonna 2019 (Tilastokeskus 2019).

Rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysenergiankulutukseen vaikuttavat monet tekijät, kuten maantieteellinen sijainti, rakennuksen koko ja muoto, rakenteiden lämmöneristävyyttä sekä talotekniikka (Kukkonen & Reinikainen 2020, 7). Rakennuksen ja talotekniikan ominaisuuksien lisäksi kokonaisenergiankulutukseen vaikuttavat merkittävästi myös rakennuksen käyttäjän tavat ja tottumukset. Ihmisten välillä voi olla suuria eroja käyttöveden kulutuksessa tai sisälämpötilassa, jota kukin pitää miellyttävänä. (Leino 2019, 18) Myös tilassa käytettävät laitteet ja ihmiset itse tuottavat ympäristöön lämpöä, joka yhdessä auringon säteilyn muodostaman lämpökuorman kanssa vähentää varsinaisen lämmitysjärjestelmän tehontarvetta, mutta vastaavasti kesällä lisää jäähdytystarvetta. Myös ympäröivien tilojen käytöllä, kuormituksella ja ominaisuuksilla on vaikutusta vallitseviin lämpöoloihin (Kukkonen & Reinikainen 2020, 22).

Rakennuksen kulmissa ja ylemmissä kerroksissa lämmitystehontarve on suurempi kuin keskellä rakennusta, jolloin samassa rakennuksessa eri tilojen lämpöhäviöissä voi

paikoin olla merkittäviäkin eroja. Myös tilan sijainnilla eri ilmansuuntiin nähden on merkitystä sekä lämmitys- että jäähdytystehontarpeen kannalta, koska eri julkisivujen vastaanottama osuus auringon säteilyn muodostamasta lämpökuormasta vaihtelee. (Kukkonen & Reinikainen 2020, 7) Suomessa huoneiston sijainnin vaikutusta voimistavat suuret vaihtelut ulkolämpötiloissa (Möttönen, Nissinen, Vainio & Kauppinen 2013, 15).

Koska suurin osa rakennuksen energiankulutuksesta tapahtuu sen käytön aikana, on tärkeää huolehtia, että talotekniikka, kuten ilmanvaihto ja lämmitysjärjestelmä, toimivat suunnitellusti. Kiinteistön ja taloteknisten järjestelmien kunnossapidon lisäksi oleellinen osa energiatehokkuuden ylläpitoa on energiankulutuksen seuranta. Taloteknisten järjestelmien energiatehokkuudelle onkin syytä asettaa tavoitteet, joiden toteutumista valvotaan. Kulutuksen tehokas seuranta edellyttää kattavaa järjestelmäkohontaista mittausta, jotta mahdolliset poikkeamat voidaan havaita. Hyvä kiinteistön ylläpito on tässä avainasemassa. (Motivan www-sivut 2022) Rakennuskantamme energiankulutuksen ennustetaan laskevan tulevien vuosikymmenien aikana vanhojen rakennusten korjaamisen ja yhä energiatehokkaampien uudisrakennusten tuotannon myötä. Muutokseen vaikuttaa myös ilmaston lämpeneminen, jonka esimerkiksi on arvioitu vuoteen 2050 mennessä vähentävän yksittäisen pientalon lämmitysenergiankulutusta 15 % (Leino 2019, 22). Leudommat talvet tulevat luonnollisesti vähentämään lämmitystarvetta. Samalla ilmastonmuutoksen myötä aiempaa voimakkaammat ja pitkäkestoisemmat hellejaksot tulevat yleistymään, mikä lisää jäähdytystarvetta (Ilmatieteellisen laitoksen www-sivut 2022). Julkisissa rakennuksissa koneellinen jäähdytys on Suomessa jo yleistä ja kuumat kesät ovat viime aikoina lisänneet sen suosiota myös asuinrakennuksissa (Helenin www-sivut 2022).

3.2 Kulutuspaikkakohtaisen mittaamisen vaikutus asuinrakennuksen energiankulutukseen

Rakennusten ja taloteknisten järjestelmien energiatehokkuus parantuu jatkuvasti, mutta parhaan mahdollisen hyödyn saavuttamiseksi myös rakennusten käyttäjien on muutettava kulutuskäyttäytymistään ja omalla toiminnallaan pyrittävä säästämään energiaa (Cholewa, Siggelsten, Balen & Ficco 2020, 1). Suomessa on totuttu maksamaan lämmitys- ja jäähdytysenergian käytöstä kiinteää korvausta, joka perustuu

yleensä hallinnoitavan huoneiston pinta-alaan ja, joka laskutetaan osana vuokraa tai yhtiövastiketta (Möttönen ym. 2013, 15). Nykyisessä kustannustenjakomallissa yhden asunnon suurempi energiankulutus ei vaikuta merkittävästi kyseisen huoneiston käyttäjän kustannuksiin, vaan syntynyt kustannusten nousu jakautuu kaikkien asukkaiden kannettavaksi heidän asuntojensa pinta-alan mukaisessa suhteessa. Yksittäiseen asukkaaseen kohdistuva kustannuspaine jää tällöin vähäiseksi, eikä hänelle muodostu kovinkaan tehokasta kannustinta muuttaa kulutustottumuksiaan ja vähentää käyttämänsä energian määrää. (Åhlander Cevallos & Åström 2014, 17)

Euroopan unionin vuonna 2012 laaditulla energiatehokkuusdirektiivillä ja siihen vuonna 2018 tehdyillä muutoksilla pyritään ajamaan jäsenvaltioita säästeliäämpään ja tehokkaampaan energiankäyttöön. Direktiivissä energian kulutuspaikkakohtaista mittaamista pidetään yhtenä potentiaalisimmista keinoista rakennusten energiatehokkuuden edistämiseksi. Keskuslämmityksessä ja -jäähdytyksessä rakennuksissa edellytetään lämmitys- ja jäähdytysenergian mittaamista huoneistokohtaisesti, mikäli se on teknisesti mahdollista ja taloudellisesti järkevää. (Celenza ym. 2016, 1) Kulutuspaikkakohtaisessa energiamittauksessa kunkin loppukäyttäjän hallinnassa olevien tilojen, kuten kerrostalon jokaisen asuinhuoneiston, lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutus mitataan erikseen ja energiankäyttö laskutetaan suoraan käyttäjiltä heidän todellisen kulutuksensa mukaisesti. Asuinkerrostalossa yhden huoneiston suuren energiankulutuksen muodostamat kustannukset eivät tällöin enää kohdistu yhteisesti kaikkiin osakkaisiin, vaan ne voidaan osoittaa suoraan yksittäiselle energiankäyttäjälle. (Terés-Zubiaga ym. 2018, 2).

Energian kulutuspaikkakohtaisella mittaamisella saavutettava energiansäästöpotentiaali rakentuu energian loppukäyttäjien lisääntyneen kulutustietoisuuden ja heidän kulutustottumustensa muuttumisen yhteisvaikutuksesta (Canale ym. 2019, 9). Kohdistettu mittaus ja todelliseen kulutukseen perustuva laskutus parantaa käyttäjän tietoisuutta hänen omasta energiankulutuksestaan kannustaen tätä säästeliäämpään energiankäyttöön, koska se vähentää suoraan hänen omia kustannuksiaan. Matalampi huonelämpötila pienentää tilan lämmityslaskua, kun taas korkeamman lämpötilan ylläpitäminen vastaavasti kasvattaa sitä. (Siggelsten & Hansson 2010, 2) Asunnoissa ehkä tehokkain tapa lämmitysenergian säästämiseen on vähentää ikkunatuuletusta lämmityskaudella ja laskea huonelämpötilaa tuntuvasti, kun tiloja ei käytetä. Todelliseen

energiankulutukseen perustuva lämmitysenergian laskutus toimiikin tässä tehokkaana kannustimena. Amerikkalaisissa tutkimuksissa on havaittu, että rakennuksissa, joissa lämmitysenergiasta maksetaan kiinteää korvausta, sisälämpötilat tyhjiillään olevissa asunnoissa ovat lämmityskaudella olleet 0,55 °C - 1,65 °C korkeampia kuin todelliseen energiankulutukseen perustuvaa laskutusta käyttävissä taloyhtiöissä. Tilojen ollessa käytössä kiinteää lämmityslaskua maksavat käyttäjät ylläpitivät keskimäärin 1 °C korkeampaa sisälämpötilaa kuin toteutuneen kulutuksen mukaista laskutustapaa käyttävien taloyhtiöiden asukkaat. Vanhemmissa rakennuksissa eron on huomattu olevan suurempi, jopa 3–4 °C. (Åhlander Cevallos & Åström 2014, 17)

Jotta tavoiteltu kulutuskäyttäytymisen muutos voidaan saavuttaa, käyttäjällä on oltava riittävät mahdollisuudet järjestelmää säätämällä vaikuttaa hallinnoimiensa tilojen lämpötilaan. Muissa kuin asuinrakennuksissa tämä voi muodostaa haasteita, koska rakennusautomaatio on monesti säädetty ohjaamaan lämmitystä ja jäähdytystä keskitetysti siten, että lopputulos olisi kokonaisuuden kannalta paras. (Kukkonen & Reinikainen 2020, 9) Haasteeksi muodostuu myös ilmanvaihtokoneen lämmitys- ja jäähdytyspatereiden energiankulutus, koska tilan käyttäjä ei yleensä voi vaikuttaa tuloilman lämpötilaan (Kukkonen & Reinikainen 2020, 8). Uudemmissa asuinrakennuksissa yleisesti käytetyissä huoneistokohtaisilla koneilla toteutetuissa hajautetuissa ilmanvaihtojärjestelmissä käyttäjän vaikutusmahdollisuudet energiankulutukseen ovat hieman paremmat, koska asukas voi itse säätää ilmavirtoja tilanteen mukaan. Ilmanvaihtoa ei kuitenkaan voi kytkeä kokonaan pois. (Kukkonen & Reinikainen 2020, 29) Käyttäjän rajalliset vaikutusmahdollisuudet omaan energiankulutukseensa rajoittavat kulutuspaikkakohtaisella energiamittaamisella saavutettavaa hyötyä, mikä on otettava huomioon mittausjärjestelmien suunnittelussa ja niiden käytön kannattavuutta arvioitaessa.

Energian kulutuspaikkakohtaisesta mittaamisesta on tehty useita tutkimuksia viime vuosina ja niissä on esitetty arvioita järjestelmän käytön mahdollistamasta energiansäästöpotentiaalista. Arvioissa on kuitenkin suurta hajontaa ja saavutetut säästöt vaihtelevat 8 % ja 40 % välillä riippuen kulloinkin tarkasteltavan kohteen talotekniikan tasosta, kulutuslukemien tarkastelutiheydestä ja rakennuksen tyypistä (Celenza ym. 2016, 2). Tutkimuksissa on todettu, että energian kulutuspaikkakohtaisella mittaamisella saavutetaan suurempi säästö energiankulutuksessa ja parempi taloudellinen kannattavuus, kun järjestelmää käytetään paljon energiaa kuluttavassa rakennuksessa

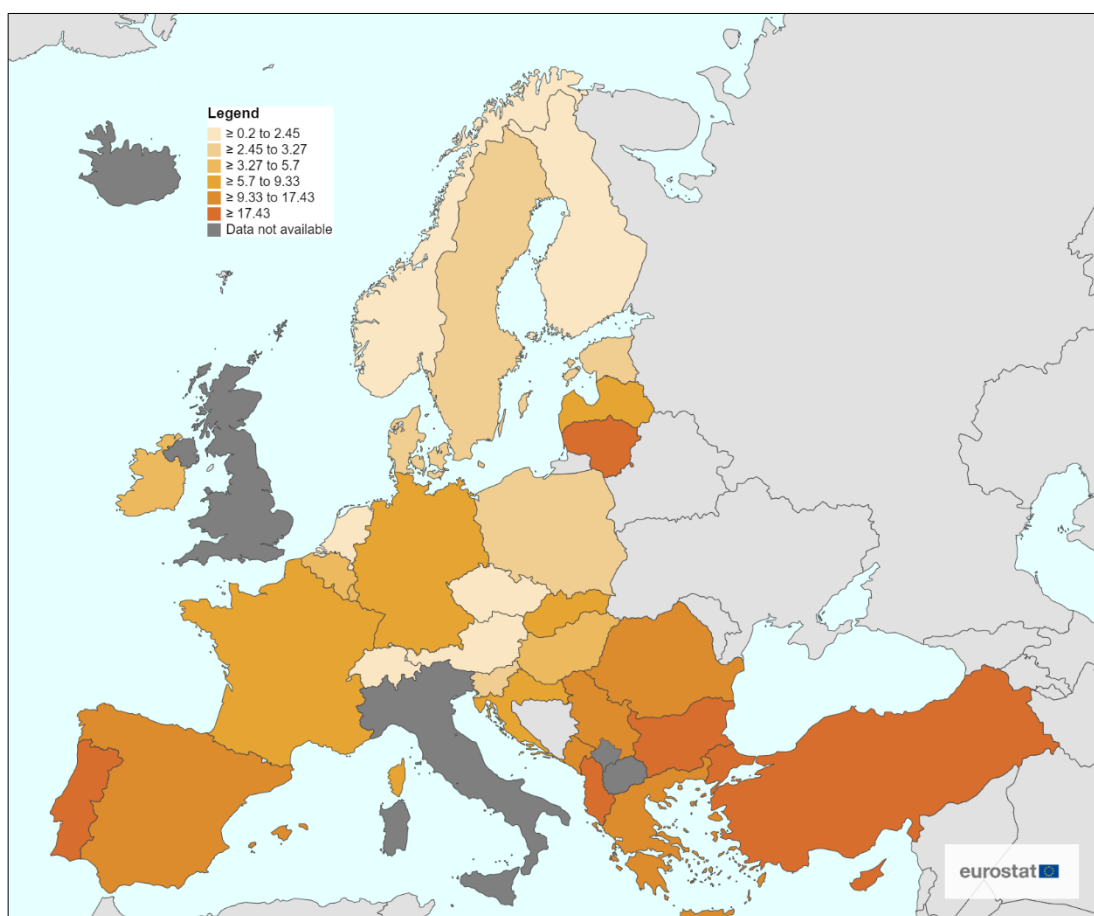
(Åhlander Cevallos & Åström 2014, 16). Energiankulutukseen vaikuttaa merkittävästi rakennuksen vaipan lämmöneristys. Tutkimusten tuloksia vertailtaessa huomataan, että saavutetut säästöt ovat olleet suurempia lämpimän ilmaston alueella kuin pohjoisen Euroopan kylmempiin oloihin suunnitelluissa hyvin eristetyissä rakennuksissa. (Canale ym. 2019, 10)

Tutkimuksissa raportoituja energiansäästösuuksia tulkittaessa on kuitenkin huomioitava, että monissa Euroopan maissa kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen yhteydessä rakennuksiin on asennettu samalla myös termostaattiset patteriventtiilit. Useissa tapauksissa kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen toteutus olemassa olevaan rakennukseen on ollut osa suurempaa lämmitysjärjestelmän saneeraustyötä. Saavutetuista kokonaissäästöistä merkittävä osa saadaan aikaan jo pelkästään termostaattisilla patteriventtiileillä ja lämmitysjärjestelmän tasapainotuksella. Kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen säästöpotentiaalia sellaisenaan, ilman muita samaan aikaan tehtyjä taloteknisiä parannuksia, ei ole erityisemmin vielä tutkittu. (Canale ym. 2019, 9) Arvioitaessa tuloksia suhteessa Suomen tilanteeseen on huomioitava, että lähes tulkoon kaikki suomalaiset asunnot on jo valmiiksi varustettu termostaattisilla patteriventtiileillä ja yksinkertaisia käsisäästöisiä malleja on käytössä enää vähän (Kukkonen & Reinikainen 2020, 28).

Euroopassa ilmasto-olosuhteet, rakentamistapa ja kulttuurilliset tottumukset vaihtelevat merkittävästi eri valtioiden välillä (Canale ym. 2019, 2). Esimerkiksi Saksassa ulkolämpötila, rakennukset ja talotekniikka ovat hyvin erilaisia kuin Suomessa. Rakennusfysikaalisilta ominaisuuksiltaan identtisissä rakennuksissa pelkästään vallitsevat ilmasto-olosuhteet aiheuttavat merkittäviä eroja niiden energiankulutuksessa (Canale ym. 2019, 9). Esimerkiksi Ruotsissa asuntojen lämmitysenergian tarve on noin 67 % korkeampi kuin Tanskassa tai Saksassa (Abrahamsson 2012, 30). Pääosa energian kulutuspaikkakohtaista mittaamista käsittelevistä tutkimuksista on tehty juuri Keski-Euroopassa (Celenza ym. 2016, 2) ja ne on toteutettu enimmäkseen sisämaan ilmastossa vain muutaman lämmityskauden ajalta (Canale ym. 2019, 10). Muun muassa juuri alueellisten erojen takia monien tutkimusten vertailu Suomen tilanteeseen on hankalaa. Viime vuosina tutkimusta on kuitenkin tehty kasvavassa määrin myös Ruotsissa, jossa ilmasto ja rakentamistapa ovat hyvin samankaltaisia kuin Suomessa. Suomalaisia aiheita käsitteleviä tutkimuksia on toistaiseksi vähän.

3.3 Energiaköyhyys

Iso-Britanniassa käytetyn määritelmän mukaan ”kotitalous on energiaköyhä, mikäli se joutuu käyttämään yli 10 % tuloistaan riittävän sisälämpötilan ylläpitämiseen tarvittavaan energiaan” (Euroopan komission www-sivut 2022). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ihmiset joutuvat tinkimään asumisensa kannalta välttämättömästä lämmityksestä, koska heidän tulonsa eivät riitä lämmityskustannusten kattamiseen. Tästä aiheutuvat ongelmat ovat laaja-alaisia. Talvikaudella liian matala sisälämpötila johtaa terveysongelmiin sekä kosteuskuormituksen nousuun, mikä vahingoittaa rakennuksia. On arvioitu, että Euroopassa energiaköyhyydestä kärsii 50–125 miljoonaa ihmistä. Tilanteesta on kuitenkin vaikea muodostaa tarkkaa arviota, koska yleistä eurooppalaista määritelmää energiaköyhyydelle ei ole (Euroopan komission www-sivut 2022). Kuten kuvasta 1 käy ilmi, energiaköyhyys on vakavinta erityisesti eteläisen Euroopan valtioissa ja Balkanilla.



Kuva 1. Prosentuaalinen osuus eri Euroopan valtioiden väestöstä, jolla on vaikeuksia asuntonsa lämmityskustannusten kattamisessa (Eurostatin www-sivut 2022).

Energian kulutuspaikkakohtaisen mittaamisen ja todelliseen kulutukseen perustuvan laskutuksen on pelätty pahentavan energiaköyhyyttä (Canale ym. 2019, 5). Eteläisessä Euroopassa energiaköyhyys on johtanut jopa siihen, että asuinrakennuksissa energian kulutuspaikkakohtaisella mittaamisella on saavutettu täysin päinvastaisia tuloksia kuin on tarkoitettu. Joissakin tapauksissa asukkaat ovat säästäväisistä energiankäytöstään huolimatta saaneet suurempia lämmityslaskuja kuin ennen kulutuspaikkakohtaisen mittaamisen käyttöönottoa seinänaapureiden suljettua lämmityksensä kokonaan. (Canale ym. 2019, 6). Esimerkiksi Bulgariassa vaikutukset ovat olleet äärimmäisiä ja monet yksin asuvat ovat sulkeneet suurimman osan lämmityspattereistaan ja lämmittävät vain yhtä huonetta. Sisälämpötilojen asiantuntematon laskeminen on johtanut lisääntyneen kosteuskuorman vuoksi mikrobivaurioihin ja asukkaiden sairastumiseen. (Canale ym. 2019, 7) Tästä syystä onkin tärkeää, että lämmityksen sulkeminen kokonaan estetään asettamalla patteriventtiileihin tietty minimilämpötila, jota ei voida alittaa (Cholewa ym. 2020, 5). Myös kaasuräjähdyksen ja tulipalojen riski on näissä rakennuksissa kasvanut ihmisten lämmittäessä asuntojaan esimerkiksi kaasuhellalla tai erilisillä sähköpattereilla pyrkiessään kiertämään huoneistokohtaisen energiamittauksen. (Canale ym. 2019, 7)

Muuhun maanosaan verrattuna Suomen tilanne energiaköyhyyden osalta on suhteellisen hyvä. Energian hinta on kuitenkin viime aikoina noussut nopeasti ja keväällä 2022 huomiota on saanut erityisesti bensiinin ja dieselin hinnankehitys. Myyntihintaan vaikuttaa verotuksen lisäksi raakaöljyn maailmanmarkkinahinta, joka on noussut merkittävästi. Hintaa nostaa myös velvoite uusiutuvien polttoaineiden sekoitusosuuden kasvattamiseen, koska niiden tuotanto fossiilisiin polttoaineisiin nähden on selvästi kalliimpaa. (Sainio 2022) Nopea hinnannousu on lisännyt autoilijoiden huolta liikkumisen kustannuksista, herättänyt voimakasta keskustelua ja johtanut jopa polttoaineiden hinnannousua vastustaviin mielenosoituksiin. Myös sähkön hinta on noussut yli kaksinkertaiseksi viimeisen vuoden aikana ja talvella 2021–2022 se oli ennätysellisen korkea. Tämä on aiheuttanut merkittäviä lisäkustannuksia erityisesti sähkölämmitteisten kiinteistöjen omistajille. (Parviala 2021) Voidaan siis arvioida, että suomalaisten energiaköyhyys on jossain määrin lisääntynyt. Vuonna 2018 Suomen rakennuskannasta 46 % lämmitettiin kaukolämmöllä (Motivan www-sivut 2022) ja esimerkiksi Helsingissä sen hinta oli vuoden 2021 aikana noussut noin 30 % (Helenin www-sivut 2022). Kaukolämmön hintakehitys vaikuttaa suoraan tavallisen kerrostaloasukkaan

asumiskustannuksiin ja energian kulutuspaikkakohtaiseen mittaamiseen perustuvassa lämmitys- ja jäähdytysenergian laskutuksessa vaikutus korostuu. Toisaalta korkeampi energianhinta tehostaa järjestelmän luomaa kannustinta energiansäästöön ja saattaa paikoin mahdollistaa huoneiston käyttäjälle jopa aiempaa pienemmät asuinkustannukset.

3.4 EU-direktiivien ja Suomen lainsäädännön vaatimukset

Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivi tuli voimaan vuonna 2012 ja sen tavoitteena oli vähentää unionin energiankulutusta 20 %:lla vuoteen 2020 mennessä (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi energiatehokkuudesta, direktiivien 2009/125/EY ja 2010/30/EU muuttamisesta sekä direktiivien 2004/8/EY ja 2006/32/EY kumoamisesta, 25.10.2012, 2012/27/EU, EUVL L 315, 14.11.2012, 1). Direktiiviä muutettiin vuonna 2018 vastaamaan paremmin EU:n energiatehokkuustavoitteita ja yksi tehdyistä muutoksista oli lämmityksen, jäähdytyksen ja lämpimän käyttöveden kulutuspaikkakohtaista mittaamista ja kustannusten jakamista käsittelevän artiklan 9b lisääminen.

Päivitettyssä energiatehokkuusdirektiivissä säädetään, että ”moniasuntoisiin ja moneen eri tarkoitukseen käytettäviin rakennuksiin, joissa on keskuslämmitys tai -jäähdytys tai jotka käyttävät kaukolämpö- tai kaukojäähdytysjärjestelmää, on asennettava käyttäjäkohtaiset mittarit, jotka mittaavat lämmityksen, jäähdytyksen tai lämpimän käyttöveden kulutusta kunkin yksikön osalta, jos tämä on teknisesti toteutettavissa ja kustannustehokasta oikeassa suhteessa mahdollisiin energiansäästöihin.” (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi energiatehokkuudesta annetun direktiivin 2012/27/EU muuttamisesta, 11.12.2018, 2018/2002, EUVL L 328, 21.12.2018, 221.) Käyttöveden mittaamisesta linjataan yksiselitteisesti. Vesijohtoihin on asennettava huoneistokohtaiset vesimittarit, mutta lämmitys- ja jäähdytysenergian osalta toteutukseen tarjotaan vaihtoehtoja. Jos kulutuksen mittaaminen energiamittareilla ei ole teknisesti tai taloudellisesti järkevää, lämmitysenergiankulutus voidaan mitata erikseen lämpöpattereilta lämmityskustannusten jakolaitteilla. Myös niiden tilalle voidaan harkita vaihtoehtoisia mittaamenetelmiä, jos jäsenvaltio pystyy osoittamaan, että lämmityskustannusten jakolaitteiden käyttö on kustannustehotonta tai teknisesti kannattamaton toteuttaa.

Jäsenvaltioiden on laadittava todelliseen kulutukseen perustuvalla laskutuksella julkisesti saatavilla olevat kansalliset säädökset, joilla varmistetaan sen täsmällisyys ja luotettavuus. Artiklassa 9c edellytetään lisäksi, että huoneistokohtaisten mittalaitteiden on oltava etäluettavia. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi energiatehokkuudesta annetun direktiivin 2012/27/EU muuttamisesta, 11.12.2018, 2018/2002, EUVL L 328, 21.12.2018, 221.)

Suomen kansallisessa lainsäädännössä rakennusten käyttämän energian mittaamisesta ja laskutuksesta säädetään Energiatehokkuuslain neljännessä luvussa. Laki tuli voimaan vuonna 2014 ja sitä on muutettu vuonna 2020 energiatehokkuusvaatimusten kiristyessä. Tällä hetkellä laki edellyttää energian laskutusta toteutuneen kulutuksen perusteella ainoastaan kiinteistötasolla, jolloin se jää energian vähittäismyyjän ja kiinteistön omistajan väliseksi asiaksi ja kustannukset jaetaan tilojen loppukäyttäjien kesken muilla tavoin (Energiatehokkuuslaki 1429/2014 4 luku 22 §). Myös Ympäristöministeriön asetuksessa 1010/2017, joka koskee uuden rakennuksen energiatehokkuutta, energiankäytön mittauksesta rakennuksessa edellytetään ainoastaan, että mittaaminen on mahdollistettava mittalaitteilla ja valmiudella niiden käyttöön ja, että energiankulutusta on pystyttävä seuraamaan koko rakennuksen ja tärkeimpien kulutuskohteiden osalta (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 31 §). Kulutuspaikkakohtaista mittaamista EU:n energiatehokkuusdirektiivissä kuvatussa laajuudessa ei edellytetä.

Asunto-osakeyhtiölaissa annetaan mahdollisuus jakaa lämmityskustannukset huoneistokohtaisesti luotettavasti mitatun toteutuneen kulutuksen perusteella. Yhtiövästikkeen maksuperusteista, joihin myös lämmitys- ja jäähdytyskustannukset kuuluvat, määrätään yhtiöjärjestyksessä (Asunto-osakeyhtiölaki 1599/2009 3 luku 4 §). Mikäli maksuperusteet muuttuvat energian kulutuspaikkakohtaisen mittauksen käyttöönoton seurauksena, joudutaan yhtiöjärjestyksestä muuttamaan yhtiökokouksessa (Asunto-osakeyhtiölaki 6 luku 34 §). Muutoksen voimaantulo vaatii, että yli puolet yhtiön osakepääomasta hyväksyy sen (Asunto-osakeyhtiölaki 6 luku 26 §).

Lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutuspaikkakohtaiseen mittaamiseen otetaan kantaa myös keväällä 2021 voimaan tulleessa Valtioneuvoston asetuksessa lämmityksen, jäähdytyksen ja veden kulutus- ja laskutustiedoista ja kustannusten jakamisesta.

Asetuksen 5 §:ssä linjataan, että lämmityksen ja jäähdytyksen kustannukset voidaan jakaa huoneistokohtaisesti kokonaan mittarilukemien perusteella tai osittain mittarilukemien perusteella ja osittain muilla tavoin (Valtioneuvoston asetus lämmityksen, jäähdytyksen ja veden kulutus- ja laskutustiedoista ja kustannusten jakamisesta 44/2021 5 §). Pykälä voidaan tulkita siten, että laskutuksessa on käytettävä todellisia kulutuslukuja, mikäli huoneistokohtainen mittausjärjestelmä on käytössä. Kyseisen laitteiston hankkimiseen ei kuitenkaan velvoiteta.

3.5 Energian kulutuspaikkakohtainen mittaaminen Euroopassa

Ajatus energian kulutuspaikkakohtaisesta mittaamisesta ei ole uusi, vaan sitä alettiin pohtia jo 1920-luvulla, jolloin asunnon omalla puuhellalla ja tulisijalla tapahtuvasta huoneistokohtaisesta lämmityksestä alettiin vähitellen siirtyä kohti koko rakennusta palvelevaa keskuslämmitystä (Terés-Zubiaga ym. 2018, 2). Keskuslämmityksen yleistyessä alettiin myös ensimmäisen kerran tutkia, miten kunkin asunnon kuluttamaa energiaa voitaisiin mitata ja miten kustannukset voidaan jakaa loppukäyttäjien kesken heidän todellisen kulutuksensa perusteella. Tuolloin rakennuksen energiatehokkuus ja energiankäytön ympäristövaikutukset eivät olleet vielä huolenaihe, vaan lähtökohta oli puhtaasti taloudellinen. (Siggelsten & Hansson 2010, 3)

Energian kulutuspaikkakohtaisella mittaamisella saavutettava säästöpotentiaali on hyvin pitkälti riippuvainen vallitsevista ilmasto-olosuhteista ja tarkasteltavasta rakennuskannasta taloteknisine järjestelmineen. Myös mittauslaitteiden saatavuus kohdemaan markkinoilla ja taloudellinen tilanne vaikuttaa siihen, kuinka helppoa uuden tekniikan ja toimintatavan käyttöönotto on. (Canale ym. 2019, 2) Siksi Euroopan unionin jäsenvaltioiden tapa energiatehokkuusdirektiivin jalkauttamiseen omassa kansallisessa lainsäädännössään vaihtelee laajasti. Saksassa ja Itävallassa käyttäjäkohtaisen mittauksen järjestäminen on ollut jo pitkään pakollista lähes kaikissa rakennuksissa ja poikkeuksia sallitaan vain harvoin, kun taas Iso-Britanniassa kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen tekninen toteutettavuus ja taloudellinen kannattavuus arvioidaan rakennuskohtaisesti. (Celenza ym. 2016, 2)

Koska paikallisen rakennuskannan ominaisuudet vaikuttavat todelliseen kulutukseen perustuvan laskutuksen mahdollistamaan energiansäästöpotentiaaliin, vaikuttavat ne myös suoraan saavutettavissa olevaan taloudelliseen säästöön. Kulutuspaikkakohtaisessa energiamittauksessa käytettävän laitteistokokonaisuuden asennus ja ylläpito muodostavat omat kustannuksensa, jotka saattavat johtaa siihen, ettei energian säästö välttämättä takaa myös taloudellisia säästöjä. (Siggelsten & Hansson 2010, 2) Lisäksi kustannukset eivät rajoitu itse laitteistoon, vaan on huomioitava myös mahdolliset uuden laskutustavan mukanaan tuomat hallinnolliset kulut (Terés-Zubiaga ym. 2018, 8). Joissakin jäsenvaltioissa, kuten Ranskassa, kulutuspaikkakohtainen mittaaminen on jäänyt vähäiseksi, koska sen ei katsota olevan taloudellisesti kannattavaa (Celenza ym. 2016, 2). Vaikka EU:n energiatehokkuusdirektiivissä kulutuspaikkakohtaista energiamittausta käsittelevä artikla sisältää maininnan järjestelmän teknisestä toteutettavuudesta ja taloudellisesta kannattavuudesta, harvan jäsenmaan lainsäädäntö kuitenkin antaa sen tulkintaan virallisia suuntaviivoja, kuten vertailuarvoja riittävän taloudellisen kannattavuuden tai saavutettavien energiansäästöjen määrittämiseen (Canale ym. 2019, 2). Joitakin lainsäädännön ulkopuolisia ohjeita on kuitenkin annettu esimerkiksi Iso-Britanniassa, Italiassa ja Espanjassa (Canale ym. 2019, 3).

Erytisesti Ruotsin tilanne on kiinnostava, koska ruotsalainen yhteiskunta, rakentamistapa ja paikalliset ilmasto-olot ovat hyvin samankaltaisia kuin Suomessa. Ruotsissa kulutuspaikkakohtainen energiamittaus on ollut tähän asti harvinaista, mutta viime aikoina siihen kohdistuva mielenkiinto on lisääntynyt. Rakennusten energiamittauksesta annettuun lainsäädäntöön on juuri tehty muutoksia ja uusia asuntorakentamista koskevia pykäläiä on otettu käyttöön tammikuussa 2022 voimaan tulleella asetuksella. Paljon energiaa kuluttavien rakennusten energiatehokkuutta pyritään parantamaan edellyttämällä energian huoneistokohtaista mittaamista kerrostaloissa, joiden ominaisenergiankulutus on yli 200 kWh/m². Asetuksessa on mainittu poikkeuksina Västerbottenin ja Norrbottenin läänit, joissa huoneistokohtaista energiamittausta edellyttävän ominaisenergiankulutuksen raja on 180 kWh/m². (Förordning om energimätning i byggnader 000/2021, 5 §)

Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiiviä mukailleen myös Ruotsin lainsäädäntö antaa mahdollisuuden vapautua järjestelmän hankinnasta, mikäli rakennuksen omistaja kykenee osoittamaan, että mittausjärjestelmän tekninen toteutus on hankalaa tai

sen hankintakustannukset ovat suhteettoman suuret järjestelmällä saavutettuun taloudelliseen hyötyyn nähden (Förordning om energimätning i byggnader 2021/000, 5 §). Ruotsin rakennusvalvontaviranomaisen Boverketin säädöskokoelmassa on annettu tarkentavia ohjeita huoneistokohtaisen mittauksen toteuttamisesta sekä siitä, miten tekninen toteutettavuus ja taloudellinen kannattavuus määritellään. Säädösten mukaan mittauksen voidaan katsoa olevan teknisen toteutettavuuden kannalta kannattamatonta esimerkiksi historiallisesti arvokkaissa kohteissa sekä sellaisissa rakennuksissa, joissa käytetään ilmalämmitystä (Boverkets föreskrifter och allmänna råd om energimätning i byggnader 9/2020, 4 §). Säädöskokoelmassa annetaan taloudellisen kannattavuuden määrittämiseen laskukaava ja ohjeistetaan, miten laskelman lopputulosta tulee tulkita (Boverkets föreskrifter och allmänna råd om energimätning i byggnader 5 §).

3.6 Energian kulutuspaikkakohtainen mittaaminen Suomessa

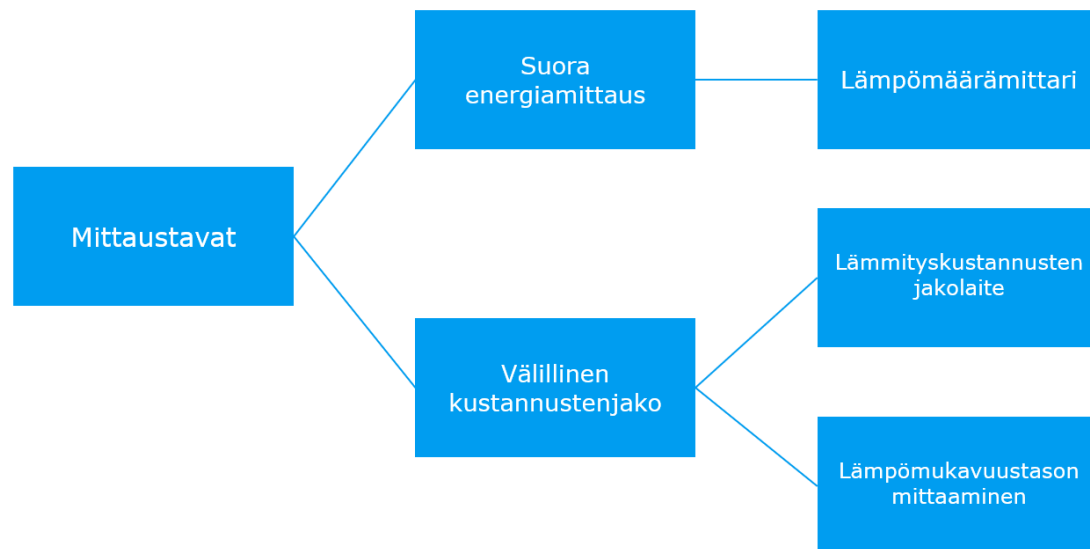
Suomen kansallisessa lainsäädännössä energian kulutuspaikkakohtaisen mittaamisen käyttöä ei ole säädetty pakolliseksi. Lainsäädännössä se kuitenkin tunnetaan ja lämmitys- ja jäähdytysenergian laskutus toteutuneen kulutuksen perusteella on mahdollista. Myös Kelan yleisen asumistuen, jonka piiriin myös opiskelijat nykyään kuuluvat, suuruuteen vaikuttavissa hyväksyttävissä asumismenoissa otetaan nykyisin huomioon myös erikseen maksettavat lämmityskustannukset (Kansaneläkelaitoksen [www](http://www.kela.fi)-sivut 2022). Vaikka kulutuspaikkakohtainen energiamittaus ei Suomessa siis olekaan tällä hetkellä pakollista, kansallisia säädöksiämme on sopeutettu ottamaan sen käyttö paremmin huomioon.

Nykyisin lämmityskustannukset jaetaan Suomessa yleensä tilan pinta-alan perusteella ja laskutetaan osana vuokraa tai yhtiövastiketta yhdessä muiden kiinteistön ylläpito-kustannusten kanssa. Koska lainsäädännön mukaan lämmitysjärjestelmä on kiinteistön omistajan vastuulla, omistaja myös tyypillisesti säätelee lämmitysenergiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä. Yksittäisen tilan käyttäjälle ei jää kovin suurta mahdollisuutta vaikuttaa syntyviin kustannuksiin. (Möttönen ym. 2013, 15) Lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutuspaikkakohtainen mittaaminen on tähän mennessä ollut hyvin harvinaista. Järjestelmiä on sovellettu joissakin yksittäisissä kauppakeskuksissa ja liikerakennuksissa, joissa on suuria yhtenäisiä liiketiloja, mutta toimistorakennuksissa ja

asuintalossa näitä ei juurikaan ole käytössä. Myös käytetyn lämmitys- ja jäähdytysenergian laskutusta yksittäisen käyttäjän toteutuneen kulutuksen perusteella on tehty hyvin harvoin. (Kukkonen & Reinikainen 2020, 6) Asuinrakennuksissa lämmitysenergia mitataan yhdellä mittarilla lämmönjakokeskuksissa, eikä alamittauspisteitä ole. Joissakin liike- ja toimistorakennuksissa puolestaan päämittauksen lisäksi on käytössä yksittäisiä alamittauspisteitä, jotka palvelevat tiettyä verkostoa tai rakennuksen osaa. (Kukkonen & Reinikainen 2020, 21)

4 MITTAUSTEKNIIKAT

Energian kulutuspaikkakohtaisen mittaamisen tekniset toteutustavat voidaan jakaa kahteen kokonaisuuteen, kulutetun energian suoraan mittaamiseen tai välilliseen kustannustenjakoon. Suora energiamittaus mittaa nimityksensä mukaisesti siirtyvää energiaa sellaisenaan ja ilmoittaa mittaustuloksen selkeässä yksikössä, kuten kilowattitunteina. Menetelmää voidaan käyttää sekä kulutuspaikkakohtaisesti että kiinteistötasolla. Välillisessä kustannustenjaossa sovellettavat menetelmät puolestaan ilmaisevat kunkin tarkasteltavan tilan muodostaman osuuden kokonaiskulutuksesta ja toimiakseen ne vaativat suoran energiamittauksen tuekseen (Canale ym. 2019, 7). Suoralla energiamittauksella voidaan esimerkiksi määrittää kiinteistön kokonaisenergiankulutus ja välillisillä kustannustenjakomenetelmillä osoitetaan, kuinka suuri osuus tästä käytetään missäkin tilassa. Kokonaisuutta on havainnollistettu kuviossa 3.

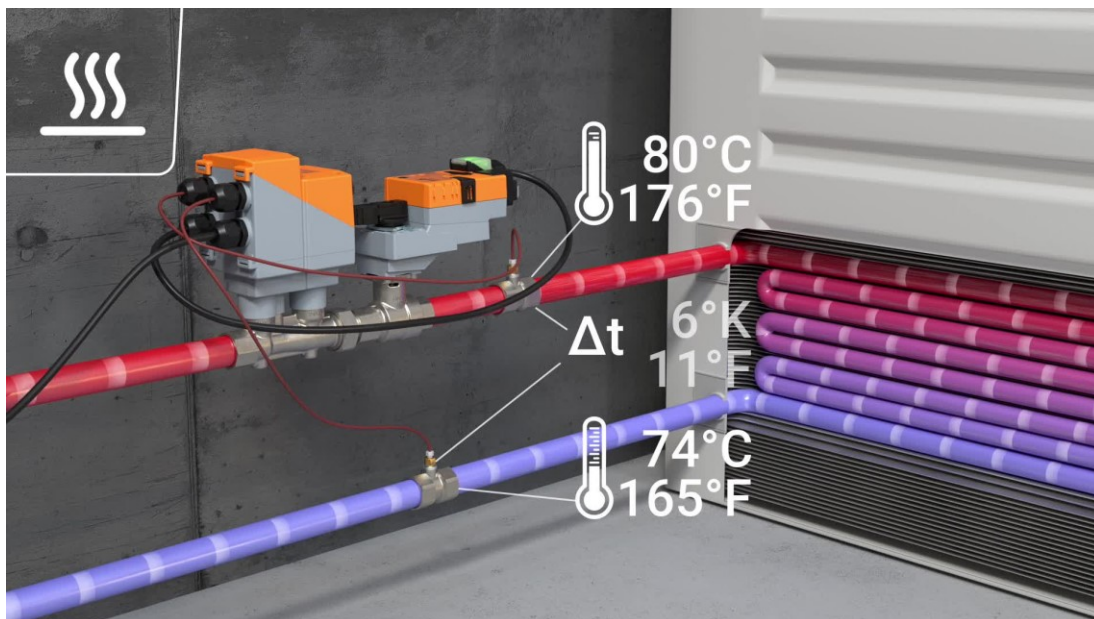


Kuvio 3. Kulutuspaikkakohteinen energiamittaus voidaan jakaa suoraan energiamittaukseen ja energiakustannusten jakoon välillisesti.

Nykyaikaisissa järjestelmissä siirtyvää energiaa mitataan tavallisesti lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän putkistoon asennettavilla nesteen tilavuusvirtaa ja lämpötilaeroa mittaavilla lämpömäärämittareilla. Välillinen kustannustenjakoa toteutetaan tyypillisesti jokaiseen lämmityspatteriin erikseen asennettavilla lämmityskustannusten jakolaitteilla tai ylläpidettävään huonelämpötilaan perustuvalla lämpömukavuustason mittaamisella. Seuraavissa alakappaleissa mittausmenetelmiä ja niiden ominaisuuksia kuvataan tarkemmin.

4.1 Energiamittaus nestevirrasta

Energiankulutusta on perinteisesti mitattu verkoston nestevirran perusteella. Mittausinstrumenttina käytettävä lämpömäärämittari asennetaan lämmitys- tai jäähdytysverkoston putkistoon, jossa se mittaa nesteen tilavuusvirtaa sekä meno- ja paluulinjojen välistä lämpötilaeroa (Möttönen ym. 2013, 6), kuten kuvan 2 esimerkissä.



Kuva 2. Lämpömäärämittarin kytkentäperiaate (Belimon www-sivut 2022).

Nesteen tilavuusvirtaa voidaan mitata perinteisellä mekaanisella, turbiiniin perustuvalla virtausmittarilla, ultraäänellä tai sähkömagneettisella menetelmällä. Viime aikoina ultraäänitoimiset mittarit ovat yleistyneet varsinkin asuntorakentamisessa (Canale ym. 2019, 7), koska niiden aiheuttama painehäviö on huomattavasti pienempi kuin mekaanisissa virtausmittareissa (Koka Oy:n www-sivut 2021). Virtauksesta ja lämpötilaerosta laite laskee siirtyneen lämpöenergian määrän ominaislämpökapasiteetin ja nesteen keskimääräisen tiheyden avulla. Lämpömäärämittarit, kuvassa 3, ovat rakenteeltaan ja toimintaperiaatteeltaan samanlaisia kuin kiinteistön päämittareina yleisesti käytetyt kaukolämpölaitteiston ensiöpuolelle asennettavat energiamittarit (Mötönen ym. 2013, 6).



Kuva 3. Ultraäänitoiminen lämpömäärämittari (Koka Oy:n www-sivut 2021).

Lämpömäärämittareita on saatavilla yhtenäisenä kokonaisuutena tai laitteisto voidaan hankkia osina, jolloin virtausanturi, lämpötila-anturit ja laskinyksikkö toimitetaan erillisinä. Kokonaisena toimitettavia mittareita käytetään tyypillisesti pienemmissä kiinteistöissä, kun taas suuremmissa kohteissa, kuten asuinkerrostaloissa, liikerakennuksissa ja teollisuuskiinteistöissä, laitteisto kootaan usein erikseen hankittavista komponenteista kuhunkin käyttötarkoitukseen sopivaksi kokonaisuudeksi. (Canale ym. 2019, 7).

Huoneistokohtaisella energiamittauksella suoraan nestevirrasta saavutetaan huomattavasti luotettavampia tuloksia kuin välillisillä kustannustenjakomenetelmillä, koska laitteisto mittaa suoraan siirtynyttä lämpömäärää. Niiden laadulle ja mittaustarkkuudelle on myös asetettu huomattavasti tarkempia vaatimuksia kuin välillisille kustannustenjakomenetelmille. (Canale ym. 2019, 3) Mittausvirhe vaihtelee yleensä 3,3 % ja 8,4 % välillä. Virhettä syntyy useimmiten mittarin ominaisuuksiin nähden liian pienestä virtaamasta tai lämpötilaerosta, verkostoon päätyneestä ilmasta ja epäpuhtauksista tai lämpötila-antureihin vaikuttavista ulkoisista lämmönlähteistä (Canale ym.

2019, 8). Erityisesti vanhoissa rakennuksissa, joissa lämmitysverkoston menoveden lämpötila on korkea, putkiston tilavuusvirta saattaa usein alittaa lämpömäärämittarin minimivirtaaman. Siksi energiamittauksen asentamisen yhteydessä kannattaa mahdollisuuksien mukaan pyrkiä laskemaan menoveden lämpötilaa, jotta tilavuusvirta saadaan nostettua lämpömäärämittareiden kannalta riittävälle tasolle. (Cholewa ym. 2020, 4) Mittausvirhe pätee uusiin mittareihin ja virheen muuttumisesta lämpömäärämittarin ikääntyessä on toistaiseksi käytössä vain rajallisesti tutkimustietoa (Canale ym. 2019, 12).

Nestevirtaan perustuvassa energiamittauksessa auringon ja tilassa käytettävien lämpöä luovuttavien laitteiden vaikutus huoneen lämpötilaan ei vääristä mittaustulosta. Termostaattisella säädöllä varustettu lämmitysjärjestelmä reagoi lämpökuorman kasvamiseen vähentämällä tehotasoaan, jolloin putkiston virtaama pienentyy ja lämpömäärämittari havaitsee kulutuksen vähentyneen. Vastaavasti esimerkiksi ikkunatuuletus lämmityskaudella laskee huoneen lämpötilaa, jolloin termostaattisesti säätyvä lämmitysjärjestelmä nostaa tehotasoaan ja virtaaman kasvaessa lämpömäärämittari rekisteröi energiankulutuksessa tapahtuneen muutoksen. Energiankulutuksen muutokset ja sen vaikutukset kustannuksiin kyetään kohdistamaan oikeaan paikkaan. (Abrahamsson 2012, 10) Lämpömäärämittarit soveltuvat hyvin kytkettäviksi myös jäähdytysverkoistoihin, koska jäähdytysjärjestelmien toiminta noudattaa pitkälti samoja lainalaisuuksia kuin vesikiertoinen keskuslämmitys. Myös jäähdytyksessä perusajatuksena on lämpöenergian siirtäminen virtaavan nesteen mukana, mutta sen sijaan, että energiaa tuotaisiin palveltavaan tilaan, sitä viedään pois. Mittausmenetelmä huomioi nestevirran siirtämän energiamäärän kokonaisuudessaan ja siihen sisältyy myös jäähdytyslaitteissa tapahtuvan kondensoitumisen, jossa osa energiamäärästä kuluu huoneilmassa olevan vesihöyryn olomuodon muutokseen. Vaikka kyseinen energiaosuus ei auta tilan jäähdyttämisessä, kondensoituminen laskee sisäilman kosteutta ja parantaa asukkaan kokemaa olosuhdetta, jolloin siihen kuluvan energian sisältyminen mittaustulokseen ei ole sinänsä ongelma. (Kaihua henkilökohtainen tiedonanto 9.3.2022)

Lämmityskustannusten jakaminen nestevirran mukana siirtyvää energiaa mittaamalla muodostaa myös omat haasteensa. Tilan sijainti rakennuksessa vaikuttaa merkittävästi sen lämpöhäviöön, jolloin jotkin tilat väistämättä kuluttavat enemmän energiaa kuin toiset. Lämpömäärämittarit eivät ota tätä huomioon, vaan mittaustulokset perustuvat

puhtaasti virtauksen siirtämään energiamäärään. Kustannuksia jaettaessa loppukäyttäjät voivat kokea joutuvansa eriarvoiseen asemaan. Ongelmaksi muodostuu myös huoneistojen välisten lämpövirtojen huomioiminen mittaustuloksissa. (Abrahamsson 2012, 11) Mittalaitteiden hyödynnettävyys tuottaa myös haasteita olemassa olevissa rakennuksissa, joissa kaikkien energiavirtojen saaminen mittauksen piiriin vaatisi putkireittien vuoksi useiden mittauspisteiden asentamista. Monissa tapauksissa lämpömäärämittareiden käytöstä saadaan kannattavaa ainoastaan uudisrakennuksissa, joissa mittaus voidaan huomioida jo putkireittien suunnitteluvaiheessa. (Canale ym. 2019, 7) Mittaustekniikan tarkkuus on myös vahvasti riippuvainen lämmitys- tai jäähdytysjärjestelmän tasapainotuksesta sekä mahdollisista tukoksista, putkivuodoista ja järjestelmään jääneestä ilmasta (Cholewa ym. 2020, 4). Onnistuneen ja luotettavan energiamittauksen edellytyksenä on, että perusasiat ovat kunnossa ja mittauksen piirissä oleva lämmitys- tai jäähdytysjärjestelmä toimii oikein.

4.2 Välillinen kustannustenjakko

Mikäli lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän putkireititykset ovat sopivia, voidaan energiankulutusta mitata huoneistokohtaisesti nestevirrasta. Monissa rakennuksissa lämmitys- ja jäähdytysputkistot on kuitenkin toteutettu siten, että lämpömäärämittareiden käyttö ei ole teknisesti tai taloudellisesti järkevää. EU:n energiatehokkuusdirektiivissä ongelma on huomioitu ja kulutuspaikkakohtaisesta energiamittausta käsittelevässä artikkelissa annetaan mahdollisuus käyttää näissä tilanteissa välillisiä kustannustenjakomenetelmiä. Tavallisimmat ratkaisut ovat lämmityskustannusten jakolaitteet tai lämpömukavuustasoon perustuva mittaus. (Canale ym. 2019, 3) Näiden lisäksi kulutuspaikkakohtaisessa energiamittauksessa on aiemmin, erityisesti Italiassa, käytetty välillisenä kustannustenjakomenetelmänä myös ITC-järjestelmää (Insertion Time Counter), joka rekisteröi termostaattisen patteriventtiilin avautumisen ja sulkeutumisen (Canale ym. 2019, 7). Järjestelmä on kuitenkin epätarkka, koska se ei osaa ottaa huomioon patterin todellista lämpötehoa ja siihen voi muodostua merkittävääkin mittausvirhettä, jos patterissa on ilmaa. Ilmaamattomassa patterissa patteriventtiili voi olla kokonaan auki, jolloin ITC tulkitsee energiaa kuluvan, vaikka vesi ei todellisuudessa pääse kiertämään välttämättä lainkaan. (Kaihua henkilökohtainen tiedonanto 17.2.2022)

4.2.1 Lämmityskustannusten jakolaite

Järjestelmissä, joissa lämpömäärämittareiden asentaminen huoneistokohtaisesti olisi hankalaa, voidaan energiankäytön kustannukset jakaa tilojen käyttäjien kesken hyödyntämällä lämmityskustannusten jakolaitteita. Niiden avulla lämmitysenergian kulutusosuudet voidaan määrittää patterikohtaisesti. (Terés-Zubiaga J. ym., 7) Laite asennetaan tilaan lämpöä luovuttavan rakenteen, kuten lämmityspatterin tai näkyville asennetun eristämättömän putken pintaan, jossa se mittaa kiinnityspintansa ja huonetilan välistä lämpötilaeroa. Laitteita on Suomessa asennettu vasta yksittäisiin vuokrataloihin ja tutkimuskohteisiin, mutta Keski-Euroopassa ne ovat yleisemmässä käytössä. (Möttönen ym. 2013, 6) Euroopassa toteutetuissa energiaa kulutuspaikkakohtaisesti mittaavissa järjestelmissä lämmityskustannusten jakolaitteet ovat olleet kaikista yleisin ratkaisu, koska niiden käyttö on huomattavasti halvempaa kuin lämpömäärämittareiden asentaminen (Abrahamsson 2012, 12).

Lämmityskustannusten jakolaitteet voidaan toimintaperiaatteensa perusteella jakaa haihduttaviin ja elektronisiin malleihin (Möttönen ym. 2013, 6). Haihduttavien jakolaitteiden toiminta perustuu laitteen sisällä olevan avonaisen ampullin sisältämän nesteen haihtumiseen ja haihtumisnopeuden perusteella voidaan arvioida patterin lämmönluovutusteho (SFS-EN 835 1994, 7). Elektroniset mallit puolestaan ovat nimityksensä mukaisesti sähköisiä laitteita, joissa lämpötilan mittaaminen tapahtuu elektronisilla antureilla. Ne ovat käytännössä syrjäyttäneet haihduttavat mallit markkinoilla. (Möttönen ym. 2013, 6) Elektroniset lämmityskustannusten jakolaitteet voivat toimia joko yhdellä anturilla, jolloin ne mittaavat lämpötilaa vain asennuspinnastaan, tai kahdella anturilla, jolloin ne mittaavat sekä asennuspintansa lämpötilaa että huonetilan lämpötilaa (SFS-EN 834 2013, 11). Laitteet toimivat paristoilla, joiden kesto on yleensä noin 10 vuotta. Elektroniset jakolaitteet voidaan yhdistää langattomasti kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmään, mikä mahdollistaa EU:n energiatehokkuusdirektiivin edellyttämän etäluettavuuden. (Abrahamsson 2012, 12) Esimerkki elektronisesta lämmityskustannusten jakolaitteesta on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Elektroninen lämmityskustannusten jakolaite (Siemensin www-sivut 2021).

Lämmityskustannusten jakolaitteet eivät suoraan mittaa energiankulutusta, vaan ne ilmaisevat kunkin lämmityspatterin osuuden kokonaiskulutuksesta (Cholewa ym. 2020, 3). Todellisen energiamäärän sijaan jakolaite ilmoittaa mittaustuloksensa yleensä dimensiottomassa yksikössä, josta käytetään kansainvälisessä kirjallisuudessa nimitystä allocation unit tai lyhennettä AU (Cholewa ym. 2020, 3). Jokainen lämmityskustannusten jakolaite ohjelmoidaan erikseen kunkin lämmityspatterin lämpöteknisten ominaisuuksien mukaan (Åhlander Cevallos & Åström 2014, 13) ja yksittäisen lämmityspatterin luovuttama energia on verrannollinen kaavassa 1 kuvattuun yhtälöön (Cholewa ym. 2020, 3).

$$Q \propto K_C K_Q \sum (T_s - T_h) \Delta t \quad (1)$$

jossa,

Q = patterin luovuttama lämpöenergia, kWh

K_C = patterin pinnan ja jakolaitteen välistä lämpötilaeroa mallintava korjauskerroin

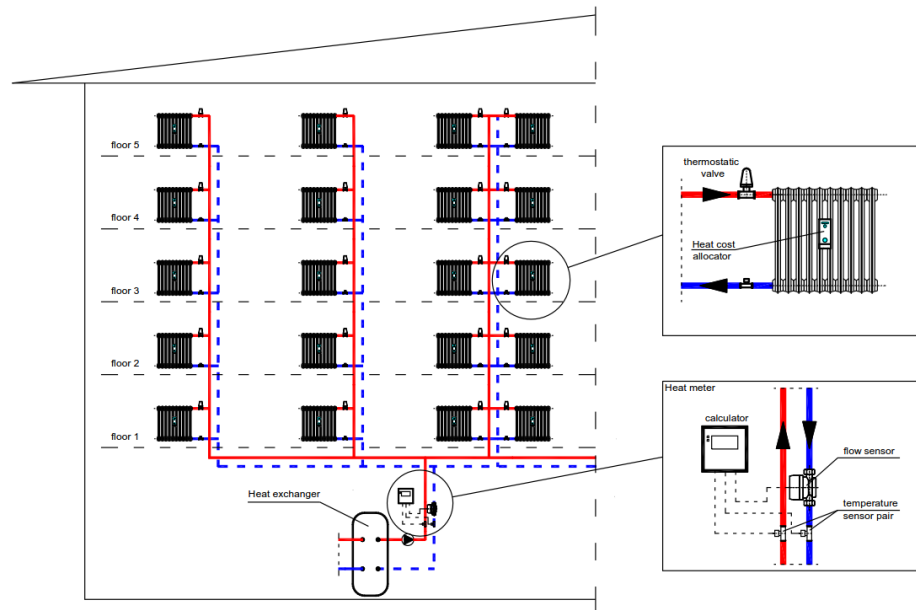
K_Q = lämmityspatterin nimellistehoa kuvaava korjauskerroin

T_s = lämmityspatterin pintalämpötila, °C

T_h = huoneilman lämpötila, °C

Δt = mittausjakson ajallinen pituus

Lämmityskustannusten jakolaitteen ilmoittaman mittauslukeman suhde todelliseen energiankulutukseen on määritettävissä kunkin lämmityspatterin ominaisuuksiin perustuvien korjauskertoimien avulla, mutta monissa jo käytössä olevissa vanhemmissa lämmityspattereissa niiden määrittäminen jälkikäteen voi olla hankalaa (Canale ym. 2019, 12). Myös lämmityskustannusten jakolaitteiden rekisteröimän mittauslukeman muodostamiseen käytettävät algoritmit vaihtelevat eri mallien välillä, joten samassa rakennuksessa on syytä käyttää vain saman valmistajan laitteita (Cholewa ym. 2020, 4). Patterin ominaisuuksien määrittämisen lisäksi tuloksen tarkkuuteen vaikuttaa myös mittauksen tiheys, koska lämmityskustannusten jakolaite saavuttaa sitä paremman mitaustarkkuuden, mitä tiheämmin se tallentaa kulutuslukemia. Tiheämpi tallennusväli kuitenkin lisää sähkönkulutusta, jolloin jakolaitteen pariston kapasiteetti muodostaa omat rajoitteensa. Suurin osa Euroopassa käytetyistä malleista tekee mittauksen kahden minuutin välein. (Michnikowski 2017, 2) Jokaisella mittauskerralla laite tallentaa kulutuslukeman ja lisää sen edellisiin tallentamiinsa lukemiin (Michnikowski 2017, 3). Lämmityskustannusten jakolaitteiden tuottamat mittauslukemat jaetaan asuntoon sijoitettujen jakolaitteiden lukumäärällä, jolloin saatu lopputulos vastaa tarkasteltavan asunnon osuutta energian kokonaiskulutuksesta. Luotettavan lopputuloksen aikaansaamiseksi lämmityskustannusten jakolaitteita on siis käytettävä yhdessä lämpömäärämittareiden kanssa. Koko rakennuksen yhteinen energiankulutus mitataan vähintään yhdellä lämpömäärämittarilla ja kokonaiskulutus jaetaan loppukäyttäjien kesken lämmityskustannusten jakolaitteiden ilmoittamien kulutusosuuksien perusteella. (Cholewa ym. 2020, 4) Mittausjärjestelmän toteutustapaa on havainnollistettu kuvassa 5.



Kuva 5. Lämpömäärämittarin ja lämmityskustannusten jakolaitteiden yhteiskäyttö. Rakennuksen kokonaisenergiankulutus mitataan lämmönjakokeskuksen yhteyteen asennettavalla lämpömäärämittarilla ja lämmityskustannusten jakolaitteet määrittävät kunkin asunnon osuuden kokonaiskulutuksesta (Michnikowski 2017, 5).

Lämmityskustannusten jakolaitteiden merkittävin etu on järjestelmän edullisuus ja joustavuus, sillä ne voidaan asentaa lähes millaiseen rakennukseen tahansa eikä niiden toiminta ole riippuvainen putkireitityksistä. Laitteet myös reagoivat todenmukaisesti huonetilan olosuhteiden muutoksiin. Huoneiston sisäiset lämpökuormat ja auringon lämmittävä vaikutus saavat lämmitysjärjestelmän termostaattisen ohjauksen vähentämään lämmityspattereissa kiertävän veden virtaamaa, jolloin patterin pintalämpötila laskee ja lämmityskustannusten jakolaitteen rekisteröimä kulutus pienenee. Vastavasti esimerkiksi ikkunatuuletus lämmityskaudella laskee sisälämpötilaa, jolloin lämmitysjärjestelmä reagoi tähän ja pyrkii säilyttämään asetetun sisälämpötilan lisäämällä virtaamaa, jolloin pattereiden pintalämpötila nousee. (Abrahamsson 2012, 10)

Koska lämmityskustannusten jakolaitteilla energiankulutusta mitataan vain välillisesti, myös niiden tarkkuus on heikompi kuin lämpömäärämittareissa. Eräässä tutkimuksessa on havaittu, että kahdessa saman rakennuksen asunnossa lämpömäärämittareiden mittausrvirhe oli noin 4,5 %, kun taas lämmityskustannusten jakolaitteilla virhe oli 9 %. Mittaustarkkuuteen vaikuttaa merkittävästi myös asentajan ammattitaito,

koska lämmityskustannusten jakolaitteet täytyy sijoittaa patterin pinnassa juuri oikeaan kohtaan. (Cholewa ym. 2020, 4)

Lämmityskustannusten jakolaitteet useimmiten ilmoittaa energian kulutusosuuden yksiköittäen lukemana, kun taas lämpömäärämittarista energiankulutus on luettavissa suoraan kilowattitunteina. Joissakin jakolaitemalleissa kulutuslukema voidaan esittää myös kilowattitunteina, mutta mittaustulos on enemmänkin suuntaa antava ja laskutusvaiheessa se on ensin korjattava päämittauksen avulla. (Kaihua henkilökohtainen tiedonanto 9.3.2022) Laitteiston toiminnan kannalta tämä ei suoranaisesti ole ongelma, mutta loppukäyttäjät saattavat suhtautua järjestelmään epäilevästi (Cholewa ym. 2020, 4). Kuten nestevirrasta tapahtuvassa energiamittauksessa, haittapuoleksi lämmityskustannusten jakolaitteissa muodostuu eri tilojen toisistaan poikkeavat lämpöhäviöt, jotka ovat riippuvaisia tilan sijainnista rakennuksessa ja tilojen suuntautumisesta eri ilma-suuntiin. Laskutuksessa saatetaan tarvita sijaintiin perustuvaa kompensointia, koska puhtaasti mittaustulosten perusteella tehtävässä kustannustenjaossa tilojen käyttäjät kokevat helposti joutuvansa eriarvoiseen asemaan. Kompensointi voidaan toteuttaa esimerkiksi kalibroimalla lämmityskustannusten jakolaitteet niiden sijoituspaikkojen mukaan. Kalibroinnilla voidaan myös vaikuttaa siihen, miten järjestelmä rekisteröi ilmaisen energian tai muut olosuhteisiin vaikuttavat tekijät, jotka eivät ole riippuvaisia tilan käyttäjän toiminnasta. (Abrahamsson 2012, 11)

Jäähdytysenergian kulutusosuuksien seurannassa lämmityskustannusten jakolaitteista ei juurikaan ole hyötyä. Teoriassa niitä voitaisiin käyttää säteilyyn perustuvissa jäähdytyslaitteissa, kuten passiivipalkeissa, koska toimintaperiaate on lähes sama kuin lämmityspattereiden pinnasta tapahtuvassa mittauksessa. Lämmityskustannusten jakolaitteiden mittaustarkkuuden on kuitenkin huomattu heikkenevän sitä enemmän, mitä pienempi laitteen asennuspinnan ja ympäröivän huoneilman välinen lämpötilaero on. Jäähdytyspalkkien tapauksessa jakolaitteiden mittaustarkkuus kärsii jo niin paljon, ettei niitä käytännössä kannata käyttää tähän tarkoitukseen lainkaan. (Kaihua henkilökohtainen tiedonanto 12.1.2022) Jakolaitteita ei myöskään voida hyödyntää rakentamiseen upotetuissa lämmönjakojärjestelmissä, kuten lattialämmityksessä (Kukkonen & Reinikainen 2020, 31).

4.2.2 Lämpömukavuustason mittaaminen

ASHRAE:n kehittämässä lämpömukavuustason perustuvassa mittausmenetelmässä mitataan huoneilman lämpötilaa ja kustannukset jaetaan loppukäyttäjien kesken suhteessa tiloissa ylläpidettyyn lämpömukavuustason (Terés-Zubiaga J. ym., 7). Mittaus voidaan toteuttaa tavallisilla huoneilman lämpötila-antureilla, kuvassa 6, jotka yhdistetään kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmään. Anturit on asennettava tilaan siten, etteivät ne ole alttiina suoralle auringonvalolle tai muille tekijöille, jotka voivat vääristää mittaustuloksia (Abrahamsson 2012, 7).



Kuva 6. Huonetilaan asennettava lämpötila-anturi (Siemensin www-sivut 2021).

Järjestelmän oletusarvoksi voidaan asettaa esimerkiksi asunnon tavallinen mitoituslämpötila 21 °C, jonka ylläpitämisestä syntyvät lämmityskustannukset kuuluvat huoneiston vuokraan tai yhtiövastikkeeseen sellaisenaan. Jos huoneiston käyttäjä syystä tai toisesta haluaa nostaa sisälämpötilan oletusarvoa korkeammaksi, järjestelmä rekisteröi sen ja asukkaan lämmityslasku kasvaa. Vastaavasti matalamman lämpötilan ylläpitämisellä lämmityksen osuutta huoneiston kustannuksista voidaan vähentää (Abrahamsson 2012, 6). Erilaisia antureita on markkinoilla laaja valikoima ja järjestelmäkokonaisuus voidaan räätälöidä tarkoituksenmukaiseksi tilan koon ja halutun mittaus-tarkkuuden perusteella (Abrahamsson 2012, 7). Lämpömukavuustason perustuva

mittausmenetelmä voidaan ohjelmoida palvelemaan lämmitysenergian lisäksi myös jäähdytysenergian kulutuspaikkakohtaista mittaamista ja huonelämpötila-antureita voidaan myös hyödyntää tilan lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän ohjaamiseen rakennusautomaation avulla. (Kaihua henkilökohtainen tiedonanto 12.1.2022) Lämmityskustannusten jakolaitteiden tavoin lämpömukavuustason mittaus ei ilmaise todellista kulutettua energiamäärää, vaan sen avulla määritetään huoneiston osuus kokonaisenergiankulutuksesta. Järjestelmä vaatii toimiakseen energiamittauksen lämpömittarilla vähintään kiinteistötasolla (Canale ym. 2019, 7).

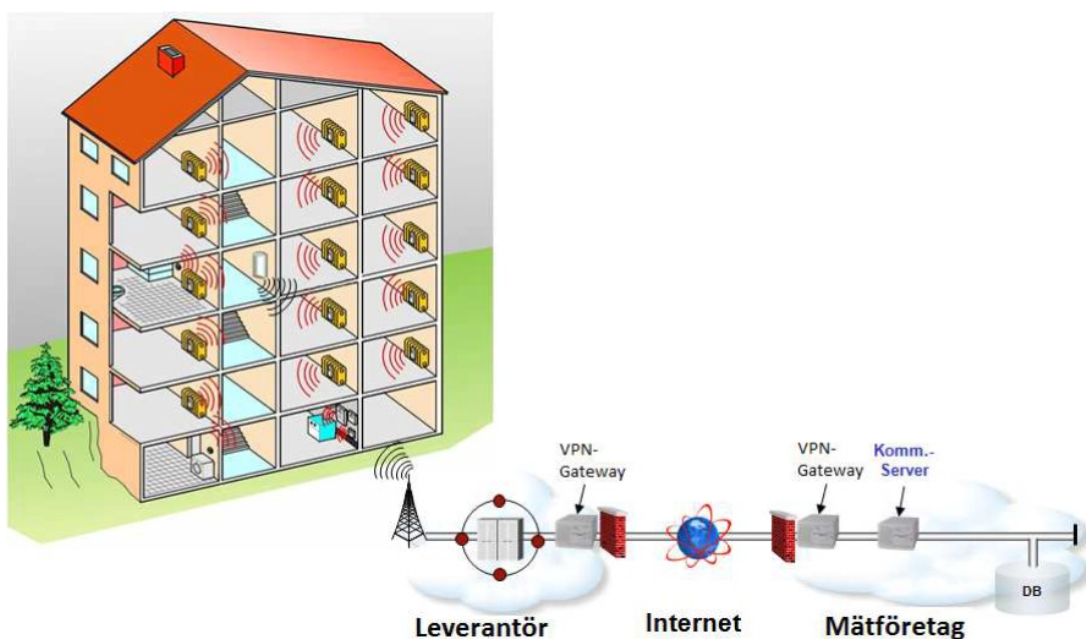
Toisin kuin lämpömittareita tai lämmityskustannusten jakolaitteita käytettäessä lämpömukavuustason perustuvan järjestelmän mittaustulokset eivät ole riippuvaisia huoneiston sijainnista rakennuksessa tai viereisistä tiloista siirtyvän lämpöenergian määrästä. Kustannusten jako perustuu tilan loppukäyttäjän itse valitsemaan lämpömukavuustason eikä erillisiä laskennallisia korjauskertoimia tarvita tulosten käsittelyssä. Paikalliset puutteet esimerkiksi rakennuksen tiiviyydessä eivät vaikuta tilan loppukäyttäjän lämmitys- tai jäähdytyskustannuksiin. Kiinteistön omistajan kuluissa ne kuitenkin näkyvät, mikä kannustaa tätä puuttumaan ongelmiin sellaisia havaitessaan. (Abrahamsson 2012, 7)

Lämpömukavuustason perustuva mittaus on epätarkempi menetelmä kuin esimerkiksi lämmityskustannusten jakolaite. Lisäksi antureille ei ole EU-tasolla annettu tarkkoja vaatimuksia. Saatavilla olevien laitteiden kirjo on valtava ja niiden luotettavuus saattaa olla kyseenalainen. (Abrahamsson 2012, 8) Järjestelmä ei myöskään osaa ottaa huomioon monia todelliseen energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä (Abrahamsson 2012, 35). Lämmityskaudella ikkunatuuletus saa lämmitysjärjestelmän nostamaan tehotasoaan ylläpitääkseen asetetun sisälämpötilan, jolloin myös energiaa kulutetaan enemmän. Mittausjärjestelmä ei reagoi lämmitysjärjestelmän kasvaneeseen kuormitukseen ja avonaisen ikkunan aiheuttama sisälämpötilan lasku saa järjestelmän tulkitsemaan energiankulutuksen vähentyneen. Todelliseen energiankulutukseen nähden mittaustulos voi olla siis täysin päinvastainen. Asukkaan sijasta ylimääräiset kustannukset kohdistuvat kiinteistön omistajaan, jolle muodostuu taloudellinen riski siitä, ettei kaikkia lämmityskustannuksia saada välttämättä katettua vuokra- tai vastiketuilla. Puutetta on tosin mahdollista kompensoida erilaisilla teknisillä ratkaisuilla,

kuten tunnistimilla, jotka esimerkiksi reagoivat parvekkeen oven avaamiseen ja keskeyttävät tilan lämmityksen siksi aikaa. (Abrahamsson 2012, 8)

4.3 Mittaustekniikoiden yhdistäminen

Energiankulutusta voidaan mitata huoneistokohtaisesti useilla erilaisilla tekniikoilla, joista jokaisella on omat hyvät ja huonot puolensa. Käyttökelpoisimman ja luotettavimman lopputuloksen aikaansaamiseksi on syytä käyttää hyödyksi nykyaikaisten rakennusautomaatiojärjestelmien mukanaan tuomia mahdollisuuksia. Eri mittausjärjestelmät voidaan verkottaa yhteen siten, että niiden tuottamat tiedot täydentävät toisiaan. Asuinkerrostaloissa esimerkiksi lämmitysjärjestelmän pystynousut voidaan varustaa lämpömittareilla, joiden lisäksi asuntojen pattereihin asennetaan lämmityskustannusten jakolaitteet mittaustarkkuuden parantamiseksi (Cholewa ym. 2020, 4). Kerätty mittaustieto kootaan yhteen, minkä jälkeen se voidaan lähettää langattomasti eteenpäin esimerkiksi energiayhtiölle, joka hoitaa laskituksen saamiensa mittaustulosten perusteella. Järjestelmän toiminta on mahdollista sopeuttaa asiakkaan tarpeisiin ja siihen tarkkuuteen, jolla tuloksia halutaan saada (Abrahamsson 2012, 5). Eri mittausvoilla tuotetun tiedon yhdistelemiseen perustuvan järjestelmän toimintaperiaatetta on havainnollistettu kuvassa 7.



Kuva 7. Energiamittaustekniikoiden yhteiskäytön periaate (Abrahamsson 2012, 6).

Raskarakenteiset rakennukset saattavat muodostaa rajoitteita langattoman tiedonsiirron käyttöön, jolloin mittausdataa kerääviä vastaanottimia tarvitaan useita. Tarvittavien vastaanottimien määrää voidaan tarvittaessa vähentää hyödyntämällä menetelmää, jossa mittalaitteet itsessään toimivat eräänlaisina tukiasemina. Mittaustiedon keräämisen ja lähettämisen lisäksi mittalaitteet siis välittäisivät eteenpäin myös muiden laitteiden tuottamaa tietoa. Tällä tavalla voidaan langattoman yhteyden katvealueiden poistamisen lisäksi vähentää yksittäisen mittalaitteen yhteyden kantamaa ja laitteiston tiedonvälityksessä käytettävän sähkömagneettisen säteilyn lähetysvoimakkuutta. (Abrahamsson 2012, 5) Tiedonsiirtoyhteyden laatuun on syytä kiinnittää huomiota erityisesti, jos rakennuksessa käytetään lämmityskustannusten jakolaitteita, jotka lähettävät mittausdatan ulkoiseen muistiin. Yhteysongelmat häiriötilanteessa saattavat johtaa tietojen osittaiseen menettämiseen. Lämpömittarit ovat tässä suhteessa hieman toimintavarmempia sisäisen muistinsa ansiosta. (Cholewa ym. 2020, 4)

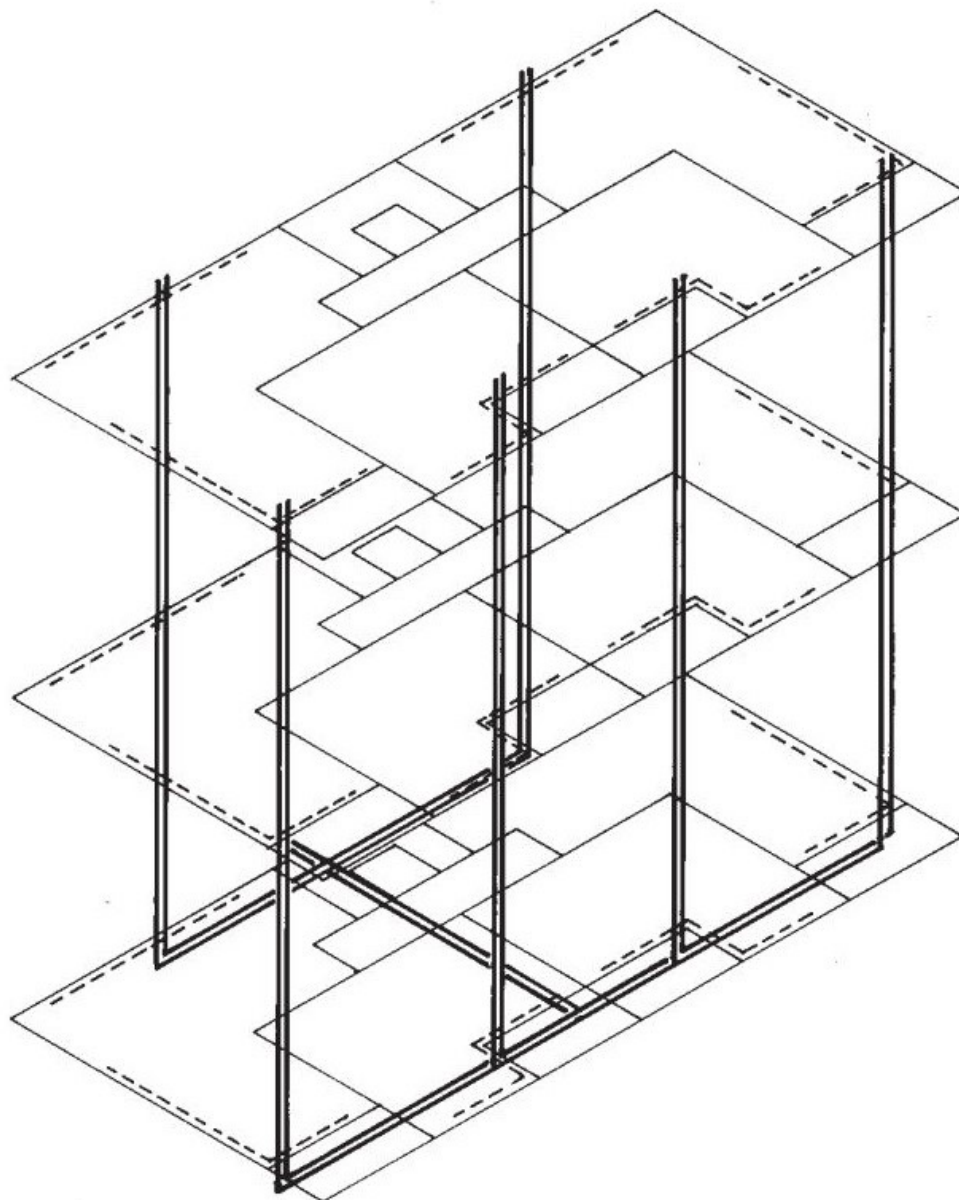
Älykäs ja verkotettu järjestelmä mahdollistaa toteutuneen energiankulutustiedon välittämisen myös asunnon haltijalle. Huonetilaan asennettavasta päätelaitteesta, johon voidaan lämmityksen ja jäähdytyksen lisäksi yhdistää myös sähkön ja käyttöveden kulutuslukemia, asukas pystyy itse seuraamaan toteutunutta energiankulutustaan ja vertaamaan sitä aiempaan. Kulutusseuranta on mahdollista toteuttaa myös esimerkiksi verkkosivun tai mobiilisovelluksen avulla. (Abrahamsson 2012, 6) Helposti saatavilla oleva tieto parantaa entisestään huoneiston käyttäjän tietoisuutta omasta kulutuksestaan kannustaen energiansäästöön ja samalla auttaa tätä reagoimaan havaitsemiinsa poikkeamiin.

4.4 Mittauksen kohdistaminen

Kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen suunnittelussa on oleellista määrittää aluksi ne tilat, joissa mittausta tullaan tekemään. Asuinrakennuksissa tämä on suhteellisen selkeää, koska yksittäiset asunnot ovat helposti hahmotettavia toisistaan erillisiä kokonaisuuksia ja ne pysyvät yleensä lähes muuttumattomina koko rakennuksen olemassaolon ajan. Toimistorakennuksissa ja kauppakeskuksissa puolestaan tilanne on toinen, koska esimerkiksi liiketilojen koot muuttuvat usein. (Kukkonen & Reinikainen 2020, 20) Kulutuspaikkakohtaisessa energiamittauksessa tämä saattaa johtaa

mittausjärjestelmän muuttamiseen liiketilaremonttien yhteydessä, jolloin myös remonttikustannukset kasvavat. Mahdollisten muutosten ennakointi aiheuttaa haasteita rakennuksen suunnittelussa, koska lämpömäärämittareiden mahdollinen siirtely ja lisääminen joudutaan huomioimaan ylimääräisillä tilavarauksilla. Mittauspisteiden määrää määritettäessä onkin päätettävä, minkä kokoiseen tilaan energiamittaus kannattaa toteuttaa, koska rakennuksen jakaminen liian pieniin vyöhykkeisiin nostaa kustannuksia lämpömäärämittareiden suuren määrän takia. Rakennuksen jakaminen liian suuriin vyöhykkeisiin puolestaan johtaa siihen, että mittausjärjestelmää voidaan joutua tulevaisuudessa muuttamaan paljonkin rakennuksen pohjapiirroksen muuttuessa. (Kukkonen & Reinikainen 2020, 21) Optimaalisen ratkaisun löytäminen vaatii siis huolellista suunnittelua ja ennakointia.

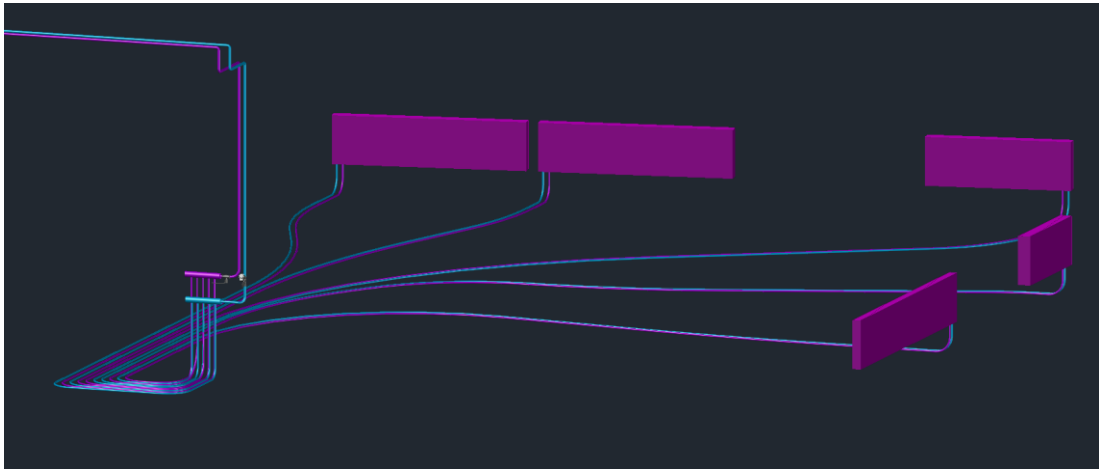
Myös käytettävien mittaustekniikoiden valinnassa täytyy ottaa huomioon rakennuksen luonne ja mahdolliset jo olemassa olevat talotekniset järjestelmät. Suomessa lämmitysverkoston putkitus on perinteisesti toteutettu rakennuksen ulkoreunoilla kulkevilla hajautetuilla nousulinjoilla ja yhtä asuntoa saattaa palvella useampikin nousulinja (Möttönen ym. 2013, 6), kuten kuvan 8 esimerkissä. Lämpömäärämittareita jouduttaisiin asentamaan useita, jotta kaikki huoneistoa palvelevat putkilinjat saataisiin mittauksen piiriin, mikä rajoittaa niiden käytettävyyttä varsinkin olemassa olevissa rakennuksissa. Mittauspisteiden suuri määrä johtaa korkeisiin kustannuksiin ja putkireittien muuttaminen jälkeinpäin on hankalaa ja kallista. (Kukkonen & Reinikainen 2020, 21). Lämmityskustannusten jakolaitteet ovat usein viisaampi valinta hajautetuilla nousulinjoilla toteutetuissa lämmitysjärjestelmissä (Canale ym. 2019, 7).



Kuva 8. Lämmitysverkoston rungot on hajautettu rakennuksen julkisivuille ja samaa asuntoa palvelee useampi nousulinja (Viljakainen, Alppi & Valkama 2005, 70).

Jotta kulutuspaikkakohtainen energiamittaus saadaan uudisrakennuksissa toteutettua kyllin kattavasti, luotettavasti ja kohtuullisilla kustannuksilla, sen käyttö on otettava huomioon jo lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän putkiston suunnittelussa. Putket olisi pyrittävä mahdollisuuksien mukaan tuomaan tilaan yhden mittauspisteen kautta, jolloin lämpömäärämittareiden käytölle saadaan luotua paremmat edellytykset. Asuntorakentamisessa tämä käytännössä tarkoittaisi lämmitysjärjestelmän toteutusta huoneisto-kohtaisen jakotukin avulla, kuten kuvan 9 esimerkissä. (Kukkonen & Reinikainen 2020, 26) Jakotukkijärjestelmään verrattuna hajautetut nousulinjat ovat kuitenkin

halvempi ratkaisu eikä jakotukkiratkaisua kannata välttämättä valita ainoastaan energiamittausta varten (Kukkonen & Reinikainen 2020, 31).



Kuva 9. Pattereiden lämmönsyöttö vaakaputkistolla huoneistokohtaisen jakotukin kautta MagiCAD-suunnitteluohjelmalla havainnollistettuna.

Energiaa kulkeutuu mittauksen kohteena olevaan tilaan myös muita reittejä kuin lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän kautta. Luotettava mittaus edellyttää, että kaikki tilaan saapuvat energiavirrat saadaan kulkemaan mittalaitteiden kautta mahdollisimman täydellisesti. Esimerkiksi asuinkerrostalossa varsinaisen lämmitysjärjestelmän osuus lämpöenergian kokonaistuotosta saattaa olla vain 30–40 %, jolloin mittauksen kohdistamisella pelkästään siihen ei saavuteta merkittävää hyötyä. (Kukkonen & Reinikainen 2020, 9) Haasteeksi muodostuu erityisesti ilmanvaihtokoneiden lämmitys- ja jäähdytyspattereiden energiankulutuksen huomioiminen. Tuloilma lämmitetään yleensä 17–20 °C:een ilmanvaihtokoneen omalla lämmityspatterilla ja lämmön talteenottolaitteistolla ennen sen puhaltamista huonetilaan ja varsinkin isojen useampia tiloja palvelevien keskusilmanvaihtokoneiden lämmitysenergiankäytön muodostamien kustannusten jakaminen kunkin loppukäyttäjän todellisen kulutuksen perusteella voi olla haastavaa. (Kukkonen & Reinikainen 2020, 8) Koska uusissa rakennuksissa lämmitysenergian prosentuaalinen osuus kokonaisenergiankulutuksessa on vähentynyt, suurempi paine energiansäästöissä kohdistuu tuloilman lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden tuotantoon. Kun valtaosa energiasta kuluu tulevaisuudessa muualla kuin käyttäjän hallinnoimassa tilassa, kuten lämmönjakohuoneessa tai ilmanvaihtokonehuoneessa, kustannusten oikeudenmukainen ja järkevä jakaminen käyttäjien kesken muodostuu haasteelliseksi. (Kukkonen & Reinikainen 2020, 22)

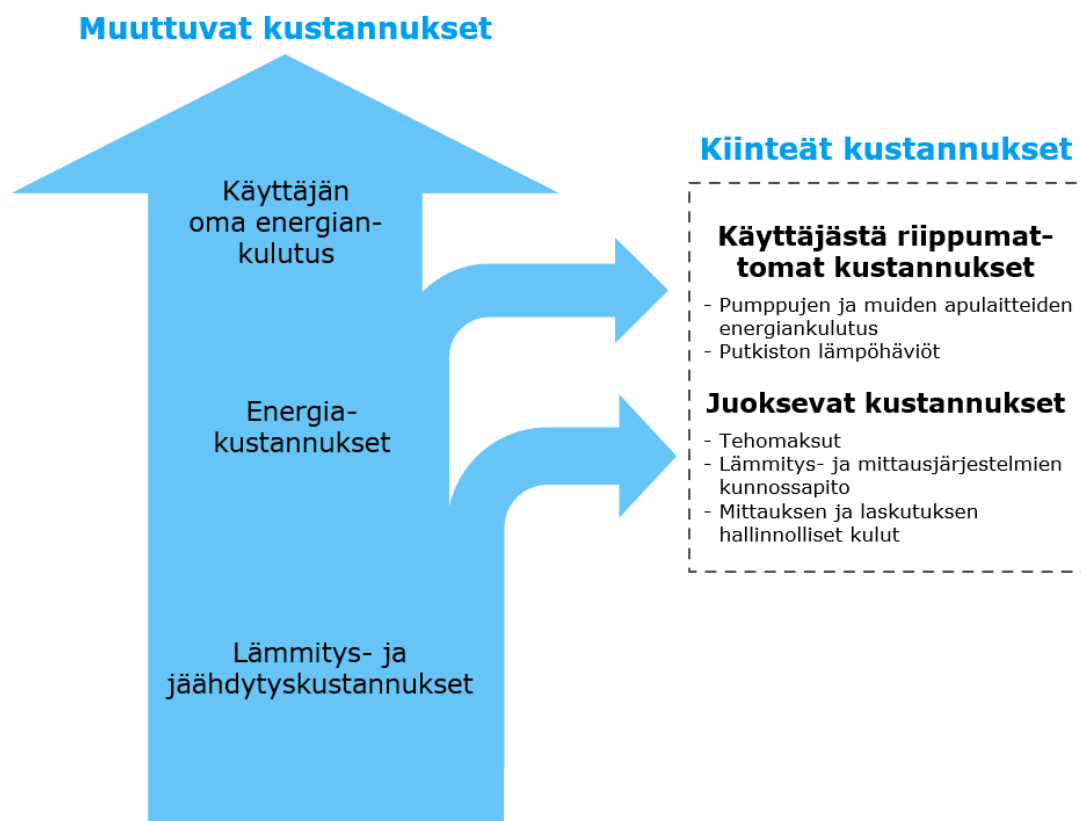
4.5 Tulosten käsitteleminen, kompensointi ja oikeudenmukaisuus

Käyttöveden luotettava mittaaminen kulutuspaikkakohtaisesti on suhteellisen helppoa. Suomessa se tuli uudisrakentamisessa pakolliseksi jo vuonna 2011 sekä korjaushankkeissa vuonna 2013 (Kukkonen & Reinikainen 2020, 6). Putkistoon asennetaan virtausanturit ja laskutus perustuu siihen vesimäärään, joka on virrannut niiden läpi tarkastelujakson aikana. Kulutusta tapahtuu vain silloin, kun vesihana avataan. Lämmitys- ja jäähdytysenergian tapauksessa todellisen kulutuksen mittaaminen ei kuitenkaan ole yhtä yksinkertaista, koska ulkoiset tekijät vaikuttavat tulosten luotettavuuteen huomattavasti voimakkaammin.

EU:n energiatehokkuusdirektiivin vaatimuksilla tavoitellaan rakennusten käyttäjien vastuullisempaa energiankulutusta, jolloin laskutusperusteena olisi lähtökohtaisesti käytettävä todellisia kulutuslukemia sellaisenaan (Canale ym. 2019, 5). Kuitenkin mittausjärjestelmiin vaikuttavat ulkoiset tekijät ovat saaneet jotkin asiakkaat kyseenalaistamaan menetelmän reiluuutta. Juuri tähän liittyvät huolet ovat olleet osittain syynä siihen, ettei kulutuspaikkakohtainen energiamittaus ole monissa maissa vielä yleistynyt (Terés-Zubiaga ym. 2018, 10). Asuintaloissa osakkeenomistajien yhdenvertaisuuteen on kiinnitettävä huomiota ja Suomessa sen toteutumisen varmistamisesta on säädetty laissa (Asunto-osakeyhtiölaki 1 luku 10 §). Lakisääteisten vaatimusten vuoksi kulutuslukemia jouduttaisiin mittausmenetelmien epätarkkuuksien vuoksi mahdollisesti tasaamaan ja korjaamaan, jotta asukkaiden yhdenvertaisuus voidaan katsoa toteutuneeksi (Kukkonen & Reinikainen 2020, 23). Monissa Euroopan valtioissa, joissa kulutuspaikkakohtainen energiamittaus on käytössä, nämä ongelmat on tunnistettu ja niiden ratkaisemiseksi on kehitetty erilaisia menetelmiä, joilla pyritään kompensoimaan mittausjärjestelmien epätarkkuuksia luotettavamman ja oikeudenmukaisemman kustannustenjaon varmistamiseksi. Kompensointimenetelmien käytössä on kuitenkin suurta hajontaa eri maiden välillä – joissakin niiden käyttö on määrätty laissa, joissakin ne ovat vapaaehtoisia ja joissakin taas kokonaan kiellettyjä. (Canale ym. 2019, 12)

4.5.1 Kiinteiden ja muuttuvien kustannusten suhde

Energiakustannusten jakamisen helpottamiseksi on kehitetty malli, joka perustuu lämmitys- ja jäähdytyskustannusten jakamiseen kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin. Kiinteät kustannukset muodostuvat rakennuksen yhteisten tilojen lämmityksestä ja jäähdytyksestä, järjestelmien energiahäviöistä, ylläpitokustannuksista ja muista kiinteistä kustannuksista, kuten kaukolämpöyhtiön perimistä maksuista. Muuttuvat kustannukset muodostuvat rakennuksen tilojen loppukäyttäjien energiankäytöstä, johon he voivat tiettyyn rajaan saakka vaikuttaa omalla toiminnallaan. Ideaalitulanteessa muuttuvat kustannukset ovat riippuvaisia ainoastaan käyttäjien omasta kulutuskäyttäytymisestä ja kaikki muu sisältyy kiinteisiin kustannuksiin. Kiinteät kustannukset pysyisivät siis vakiona, vaikka kaikki talon asukkaat sulkisivat omien huoneistojensa lämmitys- ja jäähdytyslaitteet kokonaan. (Canale ym. 2019, 2) Kokonaiskustannusten jakautumista kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin on havainnollistettu kuviossa 4.



Kuvio 4. Lämmityskustannusten jakautuminen kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin (Canale ym. 2019, 3).

Menetelmän ydinajatuksena on, että lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutuspaikkakohtainen mittaaminen kohdistetaan muuttuviin kustannuksiin ja osittain etukäteen säädellyt kiinteät kustannukset peritään asukkailta osana esimerkiksi huoneiston pinta-alan perustuvaa kiinteää korvausta (Canale ym. 2019, 3). Jotta koko rakennuksen energiankäytöstä voidaan muodostaa totuudenmukainen tilannekuva, rakennuksen omistajan on kyettävä erottelemaan toisistaan yleisten tilojen lämmitykseen ja jäähdytykseen, lämpimän käyttöveden tuottamiseen ja asukkaiden tarpeisiin kuluva energia toisistaan. Lämmönjakohuoneessa sijaitsevan päämittarin lisäksi tarvitaan siis yksi tai useampi alamittauspiste. (Cholewa ym. 2020, 6) Suomalaisissa rakennuksissa lämpimän käyttöveden kulutus mitataan usein jo valmiiksi huoneistokohtaisilla vesimittareilla. Näin ollen esimerkiksi asuinrakennuksissa tarvitaan uutena ainoastaan järjestelmä, jolla yleisten tilojen ja asuntojen energiankulutus voidaan erotella toisistaan. Energiamittareita joudutaan asentamaan enemmän, mikä luonnollisesti johtaa lisääntyneisiin kustannuksiin ja teknisen toteutuksen osalta vaikuttaa suunnitteluun (Cholewa ym. 2020, 6).

Lämmitys- ja jäähdytyskustannusten jakamisessa mittauksen puutteiden korjaaminen kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin pohjautuvalla mallilla on melko yleistä. Monissa Euroopan maissa, joissa todelliseen kulutukseen perustuva lämmitys- ja jäähdytysenergian laskutus on käytössä, kiinteiden ja muuttuvien kustannusten suhteesta säädetään laissa. Käytännöt kuitenkin vaihtelevat suuresti ja kulutusosuuksien suhde toisiinsa voidaan maasta riippuen määrätä suoraan laissa, rajoittaa esimerkiksi kaukolämmön myyjän tai kiinteistön omistajan toimesta, arvioida erikseen rakennuskohtaisesti tai kulutuslukemien kompensointi voidaan kieltää kokonaan. (Canale ym. 2019, 2) Kulutuspaikkakohtaista energiamittausta käyttävissä Euroopan maissa etukäteen säädettyjen kiinteiden kustannusten osuus vaihtelee 25 % ja 60 % välillä riippuen kunkin maan ilmastosta, elintasosta ja rakennuskannan ominaisuuksista. Esimerkiksi Itä-Euroopassa kiinteiden kustannusten osuus on suuri, koska rakennusten energiatehokkuus on tavallisesti heikko ja energiakustannusten aiheuttamia kiistoja pienituloisten asukkaiden kanssa pyritään välttämään. Suurimmassa osassa EU:n jäsenmaista kiinteät kustannukset on rajattu lailla 30–50 % osuuteen. (Canale ym. 2019, 3) Energiankulutuksen jakaminen kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin etukäteen säädetyillä rajarvoilla muodostaa kuitenkin haasteita ja saattaa vääristää loppukäyttäjän energialaskua merkittävästi, koska osuuksien todellinen suuruus vaihtelee huomattavasti eri

rakennusten välillä. Laskennallisen määrittämisen sijaan kiinteän osuuden suuruus kannattaa ennemmin muodostaa riittävän kattavalla alamittauksella, jolla rakennuksen yleisten tilojen energiankulutus voidaan todentaa tarkemmin. (Cholewa ym. 2020, 7)

4.5.2 Sijaintiin perustuva korjaus

Tilan sijainti rakennuksessa ja huoneiston suuntaus eri ilmansuuntiin nähden vaikuttaa sen lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutukseen ja osassa tiloista kulutus on väistämättä suurempi kuin toisissa. Ylimmän kerroksen kulmahuoneiston lämmityskustannukset voivat olla toistakymmentä prosenttia korkeammat kuin keskellä rakennusta olevissa alempien kerrosten asunnoissa (Canale ym. 2019, 4). Joissakin keskellä rakennusta olevissa tiloissa, jotka eivät ole juuri lainkaan kosketuksissa rakennuksen vaippaan, lämpöhäviöt ulkoilmaan ovat lähes olemattomat (Siggelsten & Hansson 2010, 2). Erityisesti vanhoissa huonommin eristetyissä rakennuksissa ja kylmillä alueilla, joissa lämmityskausi on pitkä, vaikutus korostuu (Cholewa ym. 2020, 5). Rakennuksen fysikaalisten ominaisuuksien vuoksi lämmityslaskujen loppusummiin muodostuu merkittäviä eroja, jotka saattavat aiheuttaa tyytymättömyyttä rakennuksen käyttäjien keskuudessa, mikäli laskutus toteutetaan puhtaasti mitattujen kulutuslukemien perusteella (Canale ym. 2019, 4).

Sijainnista johtuvaa tilojen lämpötekniistä eriarvoisuutta on pyritty kompensoimaan korjauskertoimilla, joilla epäedullisemmassa asemassa oleville tiloille muodostetaan alennuksia lämmityskustannuksiin samalla, kun edullisemmassa asemassa olevien tilojen osuuksia nostetaan (Canale ym. 2019, 6). Tavoitteena on saattaa sijaintinsa vuoksi eriarvoisissa asemassa olevat huoneistot samalle viivalle siten, että tilan loppukäyttäjän maksettavaksi tulevat energiakustannukset olisivat oikeudenmukaisempia, mutta kokonaiskustannukset kiinteistötasolla saataisiin edelleen katettua (Canale ym. 2019, 6). Sijaintiin perustuvien korjauskertoimien käyttö on Euroopassa melko yleistä, mutta niiden soveltamislaajuudessa on merkittävää hajontaa, kuten taulukosta 1 käy ilmi.

Taulukko 1. Sijaintiin perustuvien korjauskertoimien käyttö Euroopan eri valtioissa (Cholewa ym. 2020, 5).

Valtio	Korjausmenetelmä käytössä	
Bulgaria	Kyllä	Käyttö sallittua, mutta harvinaista
Italia	Ei	Käyttö kielletty
Itävalta	Ei	Käyttö kielletty
Latvia	Kyllä	Erillinen asiantuntija laskee korjauskertoimet jokaiselle rakennukselle erikseen
Liettua	Kyllä	Säädetty pakolliseksi
Puola	Kyllä	Käyttö vapaaehtoista
Ranska	Kyllä	Käyttö vapaaehtoista
Romania	Kyllä	Korjauskertoimet lasketaan jokaiselle huoneelle erikseen
Ruotsi	Kyllä	Käyttö vapaaehtoista
Saksa	Ei	Käyttö kielletty
Tanska	Kyllä	Käyttö vapaaehtoista
Tšekki	Kyllä	Säädetty pakolliseksi
Viro	Kyllä	Käyttö vapaaehtoista

Joissakin maissa, joissa sijaintiin perustuvien korjauskertoimien käyttö on säädetty vapaaehtoiseksi, menetelmän soveltamisesta on annettu täydentäviä ohjeita. Esimerkiksi Ruotsissa korjauskertoimia ohjeistetaan käyttämään vain, jos lämmityskustannusten jakolaitteita asennetaan olemassa oleviin rakennuksiin. Hyvin eristetyissä uudisrakennuksissa ja lämpömäärämittareita käytettäessä korjauskertoimia ei nähdä tarpeelliseksi. Korjauskertoimien käyttöä olemassa olevissa rakennuksissa perustellaan kuluksipaikkakohtaisen energiamittauksen aiheuttamilla huoneistokohtaisten energiakustannusten muutoksilla, jotka joissakin tiloissa voivat olla huomattavia. Sijainnin vaikutus energialaskuun saattaa vaikuttaa merkittävästi asunnon arvoon ja korjauskertoimilla tätä muutosta pyritään lieventämään. (Cholewa ym. 2020, 5)

Kiinteiden korjauskertoimien asettaminen lämpöhäviöltään suuremmille huoneistoille on suhteellisen yksinkertaista, mutta menetelmän haasteena on sen epätarkkuus (Canale ym. 2019, 6). Pelkän sijainnin ja ilmansuunnan lisäksi tilan todelliseen energiankulutukseen vaikuttavat monet tekijät, kuten auringon säteily ja tilan sisäiset lämpökuormat, joiden mallintaminen on haastavampaa. Ongelma korostuu erityisesti jo ennestään energiatehokkaissa rakennuksissa, joissa sisäisten lämpökuormien ja auringon osuus kokonaisenergiatarpeesta on suuri. (Cholewa ym. 2020, 5) Korjauskertoimien

tarkkuutta voidaan parantaa perusteellisemmilla lämpöhäviölaskelmilla (Canale ym. 2019, 6).

4.5.3 Varastetun lämmön huomioiminen

Huoneistojen sijainnin lisäksi lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutukseen, ja siten myös kulutuksen luotettavaan mittaamiseen, vaikuttavat merkittävästi hallitsemattomat energiavirrat tilasta toiseen (Möttönen ym. 2013, 15). Lämpöenergia siirtyy pääasiassa avoimien aukkojen kautta, mikä vaikeuttaa mittauksen soveltamista esimerkiksi kauppakeskuksissa (Kukkonen & Reinikainen 2020, 8). Vierekkäisten tilojen lämpötilaeron vaikutuksesta lämpöä siirtyy myös johtumalla seinien läpi. Mikäli asuinkerrostalossa tyhjillään olevassa huoneistossa ylläpidetään selvästi matalampaa lämpötilaa kuin asutuissa naapurihuoneistoissa, lämpötilaero pyrkii tasoittumaan väli-seinien tai asuntojen välisten ilmapuotojen kautta. (Siggelsten & Hansson 2010, 2) Kirjallisuudessa ilmiöstä käytetään nimitystä varastettu lämpö ja se ilmenee asukkaan säästeliäistä kulutustottumuksista riippumattomana asunnon ylisuurena energiankulutuksena. Erityisen epäsuotuisissa tilanteissa lämmittämättömän asunnon naapureiltaan viemä energia saattaa kattaa, hieman tutkimuksesta riippuen, jopa 80–95 % asunnon koko lämmitysenergiantarpeesta muodostaen merkittäviä haasteita energiakustannusten oikeudenmukaisessa jakamisessa asukkaiden kesken. (Canale 2019, 4) Väliseinien ja ilmapuotojen kautta naapurihuoneistoista kulkeutuvien energiavirtojen lisäksi asuntoon luovuttavat jonkin verran lämpöä myös huoneen läpi kulkevat eristämättömät putket (Kukkonen & Reinikainen 2020, 8), joskin uusien rakennusten lämmitysjärjestelmien menoveden matalamman lämpötilan ansiosta vaikutus ei ole enää niin voimakas (Kukkonen & Reinikainen 2020, 14). Muiden kuin lämmityspattereiden luovuttaman lämmön osuutta kokonaisenergiasta voidaan yrittää mitata esimerkiksi kytke-mällä mittalaitteita myös eristämättömiin putkiin, kuten kuvassa 10.



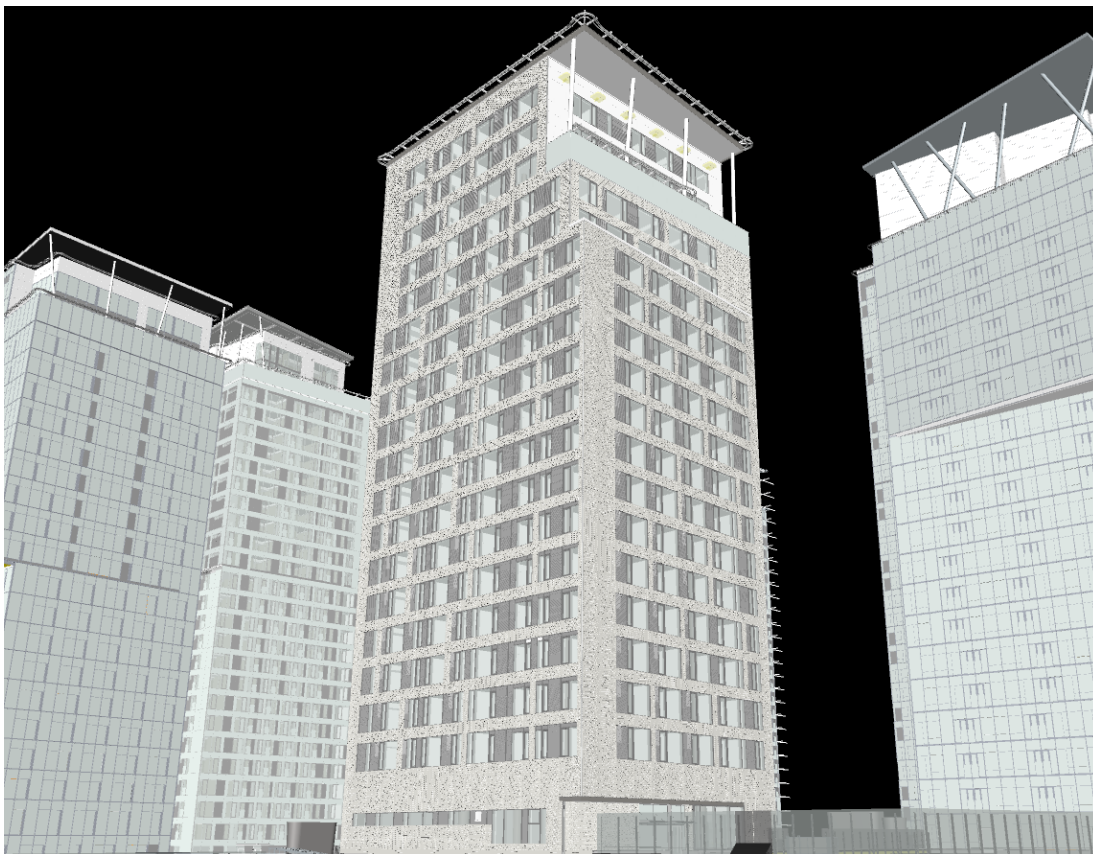
Kuva 10. Patteriputkiin asennettuja lämmityskustannusten jakolaitteita berliiniläisessä kerrostaloasunnossa (Möttönen ym. 2013, 8).

Varastettu lämpö on yksi kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen merkittävimmistä haasteista. Se korostuu varsinkin uusissa ja energiatehokkaissa rakennuksissa, joissa rakennuksen vaipan pienempien lämpöhäviöiden vuoksi sisäisten lämpökuormien merkitys on suuri. (Cholewa ym. 2020, 7) Eristämättömien putkien luovuttaman energiaosuuden mittaaminen vaatii lisää mittalaitteita, mikä luonnollisesti nostaa kustannuksia samalla, kun väliseinien läpi siirtyvä energia jää edelleen mittauksen ulkopuolelle. Varastetun lämmön osuutta kokonaisenergiankulutuksesta voidaan kuitenkin huomioida laskennallisesti korjaamalla mitattuja kulutuslukemia (Michnikowski 2017, 2). Joissakin tapauksissa riittävä korjaus voidaan toteuttaa hyvinkin yksinkertaisesti asettamalla perittäville lämmityskustannuksille ala- ja ylärajat (Cholewa ym. 2020, 7), mutta varastetun lämmön vaikutus huoneiston energiankulutukseen voidaan mallintaa myös tarkemmin. Varsinaisen huoneistokohtaisen energiankulutuksen mittaamisen lisäksi tarkkaillaan huoneiston keskilämpötilaa, mikä voidaan toteuttaa esimerkiksi huonelämpötila-antureilla lämpömukavuustasoon perustuvan mittauksen tavoin. Mikäli huonelämpötila-antureita ei ole käytössä, keskilämpötila kyetään tarvittaessa mittaamaan myös lämmityskustannusten jakolaitteilla ohjelmoimalla ne

uudelleen. (Michnikowski 2017, 3) Tilojen välisten lämpövirtojen aiheuttamaa virhettä voidaan korjata suhteuttamalla huoneistokohtaisella energiamittauksella määritetty energiankulutus siihen, mikä rakennuksen ominaisuuksien ja mittausjakson aikaisen keskimääräisen sisälämpötilan perusteella huoneiston laskennallisen energiankulutuksen pitäisi olla (Michnikowski 2017, 6). Menetelmä on suhteellisen tarkka ja sillä esimerkiksi kyetään estämään naapurihuoneistojen lämmitysenergian tahallinen hyödyntäminen sulkemalla oman asunnon lämmitys (Canale ym. 2019, 6). Mittaustulosta ei kuitenkaan voida kompensoida kokonaisuudessaan, koska muutoin tilan käyttäjän omien valintojen merkitys vähenee liikaa ja kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen säästeliäämpään kulutuskäyttäytymiseen kannustava vaikutus osittain menetetään. Tuloksia kannattaakin käsitellä siten, että esimerkiksi puolet mitatusta kulutuksesta on suhteutettu laskennalliseen kulutukseen ja puolet on suoraan mittalaitteiden tuottamaa. (Michnikowski 2017, 7)

5 ENERGIAN KULUTUSPAIKKAKOHTAINEN MITTAAMINEN TORNITALOSSA

Tässä luvussa esitellään tapaustutkimuksen avulla mahdollinen tapa kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen tekniseen toteuttamiseen asuinkerrostalossa. Mittauksen käyttöönotolla odotettavissa oleva energiansäästö ja mittausjärjestelmään liittyvän taloudellisen investoinnin kannattavuuden arviointi vaatii laajempaa analyysia ja se rajataan tämän opinnäytetyön ulkopuolelle. Tarkasteltavana esimerkkirakennuksena käytetään pääkaupunkiseudulla sijaitsevaa tornitaloa. Rakennushankkeessa on osallisena useita organisaatioita, joista taloteknisestä suunnittelusta vastaa Ramboll Finland Oy. Opinnäytetyötä kirjoitettaessa hankkeen suunnitteluvaihe on päättymässä ja rakennustöitä ollaan aloittamassa. Toteutuneesta rakennuksesta ei siis ole olemassa materiaalia, kuten valokuvia, vaan käytettävissä oleva tausta-aineisto koostuu opinnäytetyön kirjoitusaikaisista Ramboll Finland Oy:n hallussa olevista suunnitelma-asiakirjoista ja niiden pohjalta tuotetuista tietomalleista. Tornitalon ulkonäköä on havainnollistettu kuvassa 11.

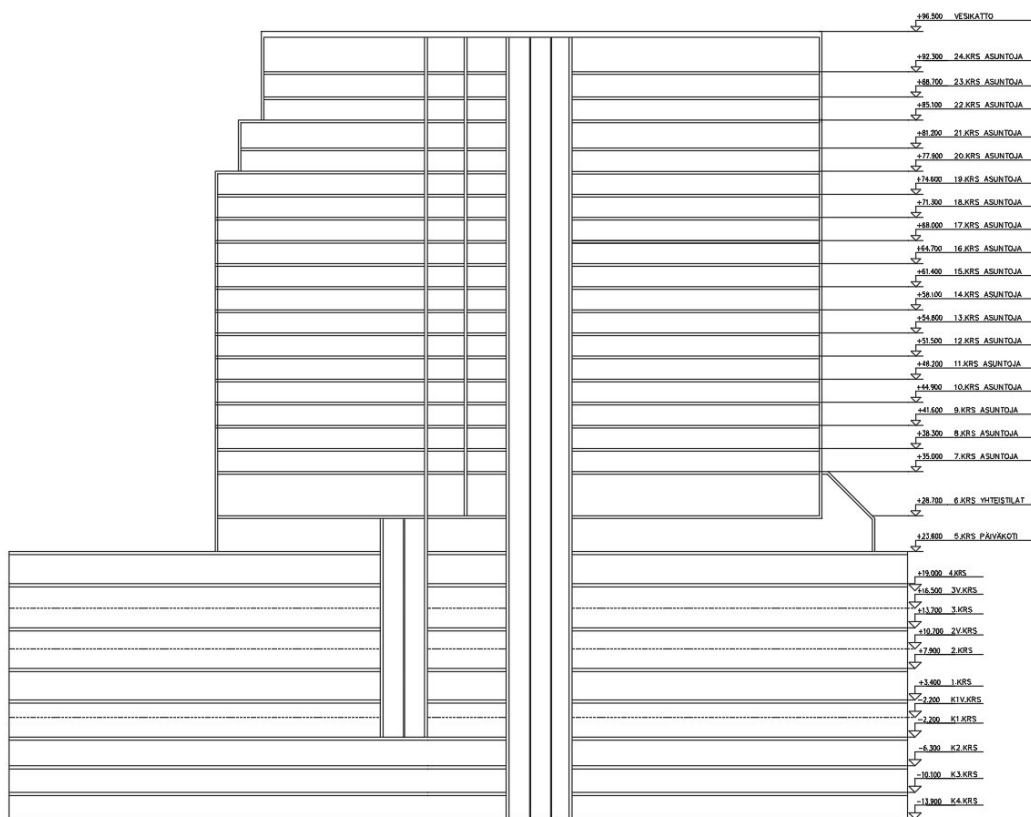


Kuva 11. Arkkitehtisuunnitelmiin pohjautuva tietomallinäkyvä tarkasteltavasta tornitalosta.

5.1 Esimerkkirakennuksen kuvaus

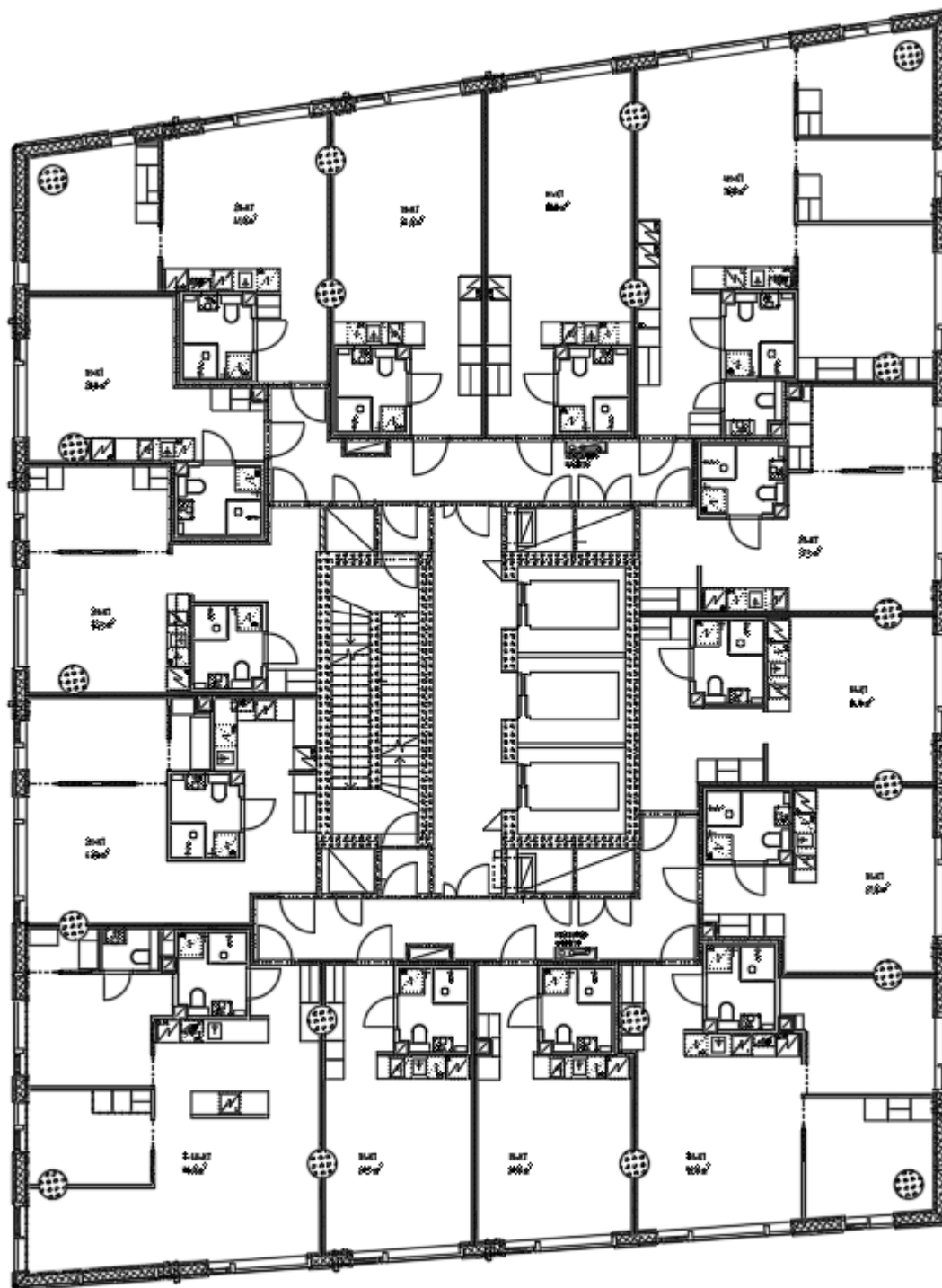
Tarkasteltavassa rakennuksessa on yhteensä 24 kerrosta ja sen korkeus on noin 98 metriä, mikä tekee siitä harvinaislaatuisen kohteen korkean rakentamisen ollessa Suomessa vasta yleistymässä. Tornitalo rakennetaan olemassa olevan liikerakennuksen päälle ja alimmat kerrokset sekä maanalaiset tasot ovat jo ennestään olemassa. Myös talotekniikka verkottuu osittain liikerakennuksessa jo olemassa oleviin järjestelmiin. Varsinaisen tornitalon osuus alkaa neljännestä kerroksesta, johon on suunniteltu irtaimisto- ja ulkoiluvälinevarastoja sekä lämmönjakohuone ja rakennuksen yleisiä tiloja palvelevia ilmanvaihtokoneita. Rakennuksen viidennessä kerroksessa sijaitsee päiväkotia, jonka ulkoilupiha sijoitetaan liikerakennuksen katolle. Kuudennessa kerroksessa on asukkaiden käyttöön tarkoitettuja yhteisiä oleskelutiloja sekä irtaimisto- ja ulkoiluvälinevarastoja. Varsinaiset asunokerrokset ovat seitsemännestä kerroksesta ylöspäin. 22. kerrokseen on asuntojen lisäksi suunniteltu taloyhtiön saunatilat sekä asukkaiden yhteisessä käytössä oleva kerhohuone ja kattoterassi. Rakennuksen

suunniteltujen toimintojen jakautumista eri kerroksiin on havainnollistettu tornitalon periaatekaaviossa kuvassa 12.



Kuva 12. Tornitalon periaatekaavio, jossa on esitetty kerrosten korkeus ja käyttötarkoitus. Alaosassa leveämpänä näkyvä jalustaosuus on osittain jo olemassa oleva rakenne, jonka päälle varsinainen tornitalo rakennetaan.

Tornitalon asunnot ovat vuokra-asuntoja ja niitä on yhteensä 240 kappaletta. Valtaosa asunnoista on yksiöitä ja pieniä kaksioita, minkä lisäksi kussakin kerroksessa on kaksi kolmen huoneen asuntoa ja yksi neljän huoneen asunto. Huoneistojen koko vaihtelee pienimmän yksiön 25,5 m²:stä neljän huoneen asunnon 73 m²:iin. Asunnot sijoitetaan rakennuksen ulkoreunoille tornitalon keskellä olevan porrashuoneen, kerroskäytävien ja hissien ympärille. Asuinkerroksen pohjaratkaisu on esitetty kuvassa 13.

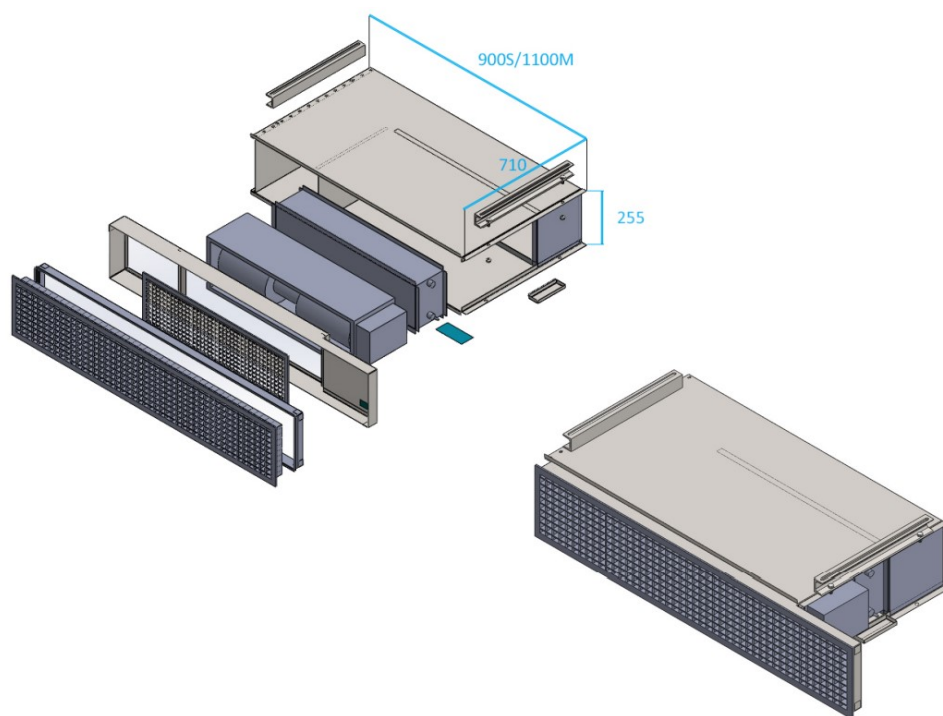


Kuva 13. Asuinkerroksen pohjapiirros. Osa arkkitehdin merkinnöistä on piilotettu.

Asuntojen ilmanvaihto on toteutettu kylpyhuoneisiin sijoitetuilla huoneistokohtaisilla ilmanvaihtokoneilla, joiden ulko- ja jäteilmalaitteet sijoitetaan julkisivulle. Yhteistiloja ja kerroskäytäviä palvelevat erilliset koneet ja korkea porrashuone on toteutettu painovoimaisella ilmanvaihdolla. Lämmitysjärjestelmänä käytetään kaukolämpöä ja lämmönjakojärjestelmänä on vesikiertoinen patterilämmitys. Märkätiloissa on lisäksi

sähköinen lattialämmitys. Lämmitysjärjestelmän runkoputket tuodaan kylpyhuoneiden yhteyteen asennetuille jakotukeille, joihin patterit kytketään lattiavaluun asennettavilla muovisilla vaakaputkilla. Useimmista asuinrakennuksista poiketen pattereissa ei käytetä termostaattisia patteriventtiileitä, vaan rakennusautomaatiojärjestelmä ohjaa niiden läpi kulkevia virtaamia suoraan jakotukeilta käsin huonelämpötila-antureiden tuottaman mittaustiedon perusteella. Rakennuksen korkeus tuottaa LVI-järjestelmille haasteita ja myös lämmitysputkistojen suunnittelussa se on jouduttu huomioimaan. Rakennus on jaettu kahteen vyöhykkeeseen siten, että vyöhyke 1 kattaa rakennuksen alemmat osat 14. kerrokseen saakka ja vyöhyke 2 ylemmät osat 15. kerroksesta ylöspäin. Nousulinjat on sijoitettu rakennuksen keskelle porrashuoneen yhteydessä oleviin kuiluihin ja kumpaakin vyöhykettä palvelee oma paineenkorotusasemansa.

Asunnoissa on puhallinkonvektoreilla, kuvassa 14, toteutettu koneellinen jäähdytys. Konvektoreita on asunnon koosta riippuen yksi tai kaksi ja ne on sijoitettu olohuoneeseen ja isommissa asunnoissa myös isoimpaan makuuhuoneeseen. Myös jäähdytysjärjestelmä on rakennuksen korkeuden vuoksi jaettu vyöhykkeisiin lämmitysjärjestelmän tavoin. Jäähdytysenergia tuotetaan kaukokylmällä.



Kuva 14. Alakattorakenteen otsapintaan asennettava Seroco Alvar-puhallinkonvektori (Serocon www-sivut 2022).

Korkeassa rakentamisessa on huomioitava hormivaikutus, joka syntyy talvella sisä- ja ulkoilman välisestä termisestä paine-erosta. Ilmiössä korkeiden yhtenäisten tilojen alaosan muodostuu alipaine ja yläosaan ylipaine. Esimerkiksi painovoimaisen ilmavaihdon toiminta perustuu tähän ilmiöön. Suuret paine-erot hankaloittavat ovien avaamista ja sulkemista sekä saattavat jumiuttaa hissien ovia. Lämmitysjärjestelmän suunnittelussa hormivaikutus näkyy paine-erojen aiheuttamina suurempina ilmavuotoina, jotka kasvattavat rakennuksen lämpöhäviöitä. (Nybergh 2014, 2) Tarkasteltavassa tornitalossa hormivaikutusta on suunnitteluvaiheessa tutkittu ja sitä on pyritty hallitsemaan kuilujen osastoinnilla. Lämmitysjärjestelmän suunnittelussa hormivaikutuksen on huomattu lisäävän tilojen lämpöhäviöitä jonkin verran, mutta sen vaikutus on tuulen aiheuttamaan lämpöhäviöön nähden vähäinen. Maanpinta ja muut esteet, kuten puut, muodostavat kitkaa, joka hidastaa tuulen nopeutta maanpinnan tasolla. Siirryttäessä ylemmäs maanpinnan muodostaman kitkan vaikutus vähenee, jolloin tuulen nopeus kasvaa korkeuden mukana. Tätä kutsutaan tuuligradientti-ilmiöksi. (Suomen Urheilmailuopisto Oy 2011, 12) Tarkasteltavan tornitalon tapauksessa rakennus on jo niin korkea, että tuulen voimakkuus ja siten myös sen jäähdyttävä vaikutus näkyvät selvästi ylimpien kerrosten lämpöhäviölaskelmissa. Tornitalon lämmityssuunnittelun yhteydessä havaittiin, että ylimpien kerrosten lämpöhäviö oli jopa noin 20 % korkeampi kuin katutasossa.

5.2 Kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen toteutustapa

Tavoitteena on muodostaa tekninen toteutusratkaisu mittausjärjestelmälle, jolla lämmitys- ja jäähdytysenergian kustannukset voidaan määrittää huoneistokohtaisesti ja jakaa käyttäjien kesken todellisen kulutuksen perusteella. Rakennuksen kokonaisenergiankulutus mitataan kiinteistön päämittareilla, jotka on asennettu jo aiemmin tornitalon alla olevan liikerakennuksen rakentamisen yhteydessä. Olemassa olevien päämittareiden lisäksi järjestelmää joudutaan laajentamaan lisäämällä riittävä määrä alamittauspisteitä, jotka mahdollistavat energian mittauksen kulutuspaikkakohtaisesti. Tällöin päämittareilla mitattavasta kokonaisenergiankulutuksesta saadaan eroteltua taloyhtiön yleisten tilojen, päiväkodin ja asuntojen kulutusosuus. Mittausjärjestelmäkokoamisen muodostamisessa sovelletaan luvussa 4 esiteltyjä yleisesti käytössä olevia tekniikoita. Lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutuspaikkakohtaisen mittaamisen

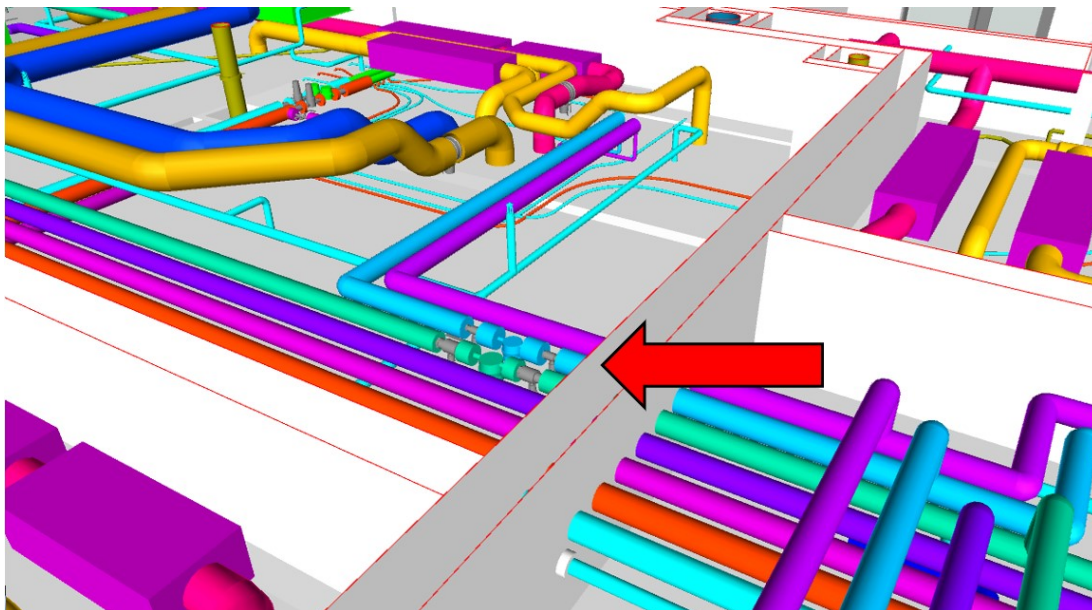
toteuttaminen ei ole kuulunut tornitalon alkuperäiseen lämmitys- ja jäähdytys suunnitteluun, joten huoneistokohtaisen energiamittauksen käyttöä ei ole huomioitu esimerkiksi putkireittien suunnittelussa. Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivin mukaisesti energiamittauksessa pyritään käyttämään ensisijaisena mittausmenetelmänä lämpö määrämittäriä, mutta joissakin rakennuksen osissa se ei välttämättä ole teknisesti mahdollista tai järkevää. Puutteita pyritään paikkaamaan täydentämällä kokonaisuutta tarvittaessa myös muilla mittausmenetelmillä.

Tarkasteltava tornitalo on viimeisimmällä tekniikalla toteutettava uudisrakennus ja mittausjärjestelmän suunnittelussa voidaan hyödyntää kattavaa ja kehittynyttä rakennusautomaatiota. Luotettavin mittaustulos voidaan saavuttaa käyttämällä useita eri tekniikoita ja yhdistämällä ne rakennusautomaatioon, jolloin eri lähteistä saatavasta mittaustiedosta voidaan kerätä yhtenäinen kokonaisuus. Rakennusautomaation tuottama mittaustieto helpottaa myös mahdollisten korjauskertoimien määrittämistä tasapuolisemman kustannustenjaon mahdollistamiseksi.

5.2.1 Energian mittaaminen asunnoissa

Teknisesti parhaat edellytykset luotettavalle ja kustannustehokkaalle energiamittaukselle huoneistokohtaisesti saadaan, jos energiavirrat, tässä tapauksessa virtaava neste, tuodaan tarkasteltavaan tilaan yhden mittauspisteen kautta. Tornitalolle suunniteltu talotekniikka luo tälle erinomaiset edellytykset, koska lämmönsyöttö asuntojen lämmityspattereille tapahtuu keskitetysti huoneistokohtaisten jakotukkien kautta. Tällöin jokaiseen asuntoon haaroittuu kerroskäytävän kattoon asennetuista runkolinjoista vain yksi meno- ja paluulinja. Myös jäähdytysenergia tuodaan asuntoon yhden putkiparin kautta ja useammalla puhallinkonvektorilla varustetuissa asunnoissa putkisto haaroittuu vasta asunnon sisällä. Yksittäiseen asuntoon tuotava energia voidaan mitata helposti lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän putkistosta asentamalla lämpö määrämittäriä asunnon ulko-oven sisäpuolelle eteistilan kattoon alakattorakenteessa olevan huolto- luukun taakse. Alakatto soveltuu lämpö määrämittäriä sijoituspaikaksi hyvin, koska useimmat mittarivalmistajat suosittelevat niiden asentamista vaakatasossa olevaan putkeen pystyputken sijasta (Cholewa ym. 2020, 4). Etäluettavat mittarit yhdistetään kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmään, jonka kautta niiden tuottamaa

mittaustietoa voidaan kerätä ja käsitellä. Lämpömäärämittareiden mahdollista asennustapaa on havainnollistettu kuvassa 15.

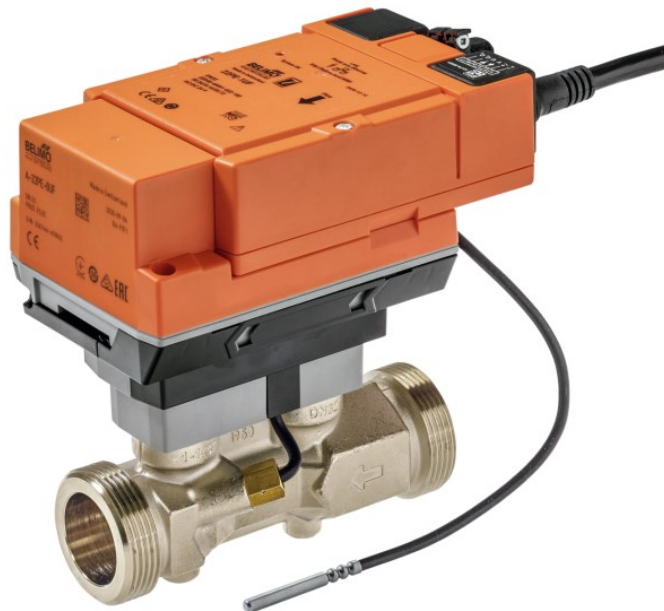


Kuva 15. Navisworks-näkymä Rambollin suunnitelma-aineiston pohjalta luodusta tietomallista. Lämmitys- ja jäähdytysputkistoon asennettavat lämpömäärämittarit venttiileineen voidaan sijoittaa asunnon eteistilaan alakattorakenteeseen huoltoluukun taakse.

Lämpömäärämittareiden käytössä on huomioitava, että lämpöenergiaa kulkeutuu huoneistoon myös muita reittejä kuin patteriverkoston kautta (Kukkonen & Reinikainen 2020, 50) ja nämä energiavirrat jäävät mittauksen ulkopuolelle. Tornitalon asunnoissa lisälämmitystä tuottavat kylpyhuoneen lattialämmitys ja asunnon oman ilmanvaihtokoneen tuloilman lämmityspatteri, jotka molemmat toimivat sähköllä. Näiden järjestelmien kautta tulevaa lämmitysenergian määrää sisältyy jo ennestään huoneistokohtaiseen sähkölaskuun, joten kulutettu lämmitysenergia voidaan niistä huolimatta laskea tasapuolisesti ja oikein.

Asuntokohtaisessa energiamittauksessa voidaan hyödyntää esimerkiksi Belimon 22PE-1U – sarjan lämpömäärämittareita, kuvassa 16. Virtausmittarin putkiliitäntöjen kokovalikoima on laaja, 15 millimetristä 50 millimetriin, joten tornitalossa ne soveltuvat kulutuspaikkakohtaiseen energiamittaukseen hyvin. Myös lämmitys- ja jäähdytysputkistojen pienimmätkin virtaumat osuvat mittarin toiminnan kannalta sallitulle

alueelle. Mittarit saavat virransyöttönsä verkkovirrasta ja ne voidaan kytkeä rakennusautomaatiojärjestelmään BACnet-, Modbus- tai MP-väylän kautta. (Belimon www-sivut 2022) Laitteet ovat suhteellisen pienikokoisia ja ne saadaan mahtumaan hyvin alakattorakenteeseen muun talotekniikan sekaan.



Kuva 16. Lämpöenergiamittari Belimo 22PE-1U (Belimon www-sivut 2022).

Nestevirtaan perustuva energiamittaus on tarkka menetelmä, mutta kuten luvussa 4 on mainittu, sen tuottaman mittaustiedon tulkitsemisessa ja hyödyntämisessä on haasteensa. Mittaus ei osaa sellaisenaan ottaa huomioon huoneiston sijainnin vaikutusta lämpöhäviöön tai väliseinien läpi asunnosta toiseen siirtyviä energiavirtoja (Abrahamsson 2012, 11). Muualla Euroopassa suosituin menetelmä energian huoneistokohteisessa mittauksessa on lämmityskustannusten jakolaitteiden käyttö (Abrahamsson 2012, 12), mutta tarkasteltavien esimerkkikohteen asuntojen tapauksessa niitä tuskin voidaan hyödyntää. Tornitalon asunnot ovat kalliita ja niiden suunnittelussa on pyritty esteettisesti hienostuneeseen lopputulokseen. Myös lämmityspattereiden valinnassa niiden ulkonäköön on kiinnitetty erityistä huomiota ja ne on upotettu ulkoseinään niille varattuihin syvennyksiin miellyttävän lopputuloksen viimeistelemiseksi. Pattereiden valinnassa pyrittiin mahdollisimman ohuisiin radiaattoreihin, joissa on sileä etupaneeli ja hienostunut muotoilu. Näiden kriteerien pohjalta asuntojen lämmityspattereiksi

valittiin sisustuksellisesta näkökulmasta korkealaatuiset kuvan 17 Purmon FCV-sarjan sileäpintaiset paneeliradiaattorit.



Kuva 17. Purmo FCV-paneeliradiaattori (Purmon www-sivut 2022).

Kun asuntojen suunnittelu sisustuksen kannalta on viety hyvin pitkälle, ylimääräisten laitteiden, kuten lämmityskustannusten jakolaitteiden, pinta-asennus pattereihin tuskin tulisi rakennushankkeen tilaajan näkökulmasta kysymykseen. Jakolaitteilla saavutettava hyöty lämpömittareiden tuottaman mittaustiedon täydentämisessä on myös rajallinen, koska niiden mittaustulosten luotettavuuteen liittyvät ongelmat ovat pitkälti samankaltaisia. Lämmityskustannusten jakolaitteita ei myöskään voida hyödyntää jäädytysenergian mittaamisessa (Kaihua henkilökohtainen tiedonanto 12.1.2022), jolloin niillä ei voida tukea puhallinkonvektorijärjestelmän energiamittausta.

Lämpömittareiden tuottamaa tietoa voidaan kompensoida yhdistämällä siihen lämpömukavuustasoon perustuva energiamittaus. Tornitalon asunnoissa ei käytetä termostaattisia patteriventtiileitä, vaan rakennusautomaatiojärjestelmä säätelee virtaamia suoraan jakotukilta huonelämpötila-antureiden tuottaman mittaustiedon perusteella. Lämpömukavuustasoon perustuva energiamittaus voidaan helposti integroida ohjelmallisesti osaksi järjestelmää, koska kaikki tarvittavat fyysiset komponentit ovat jo

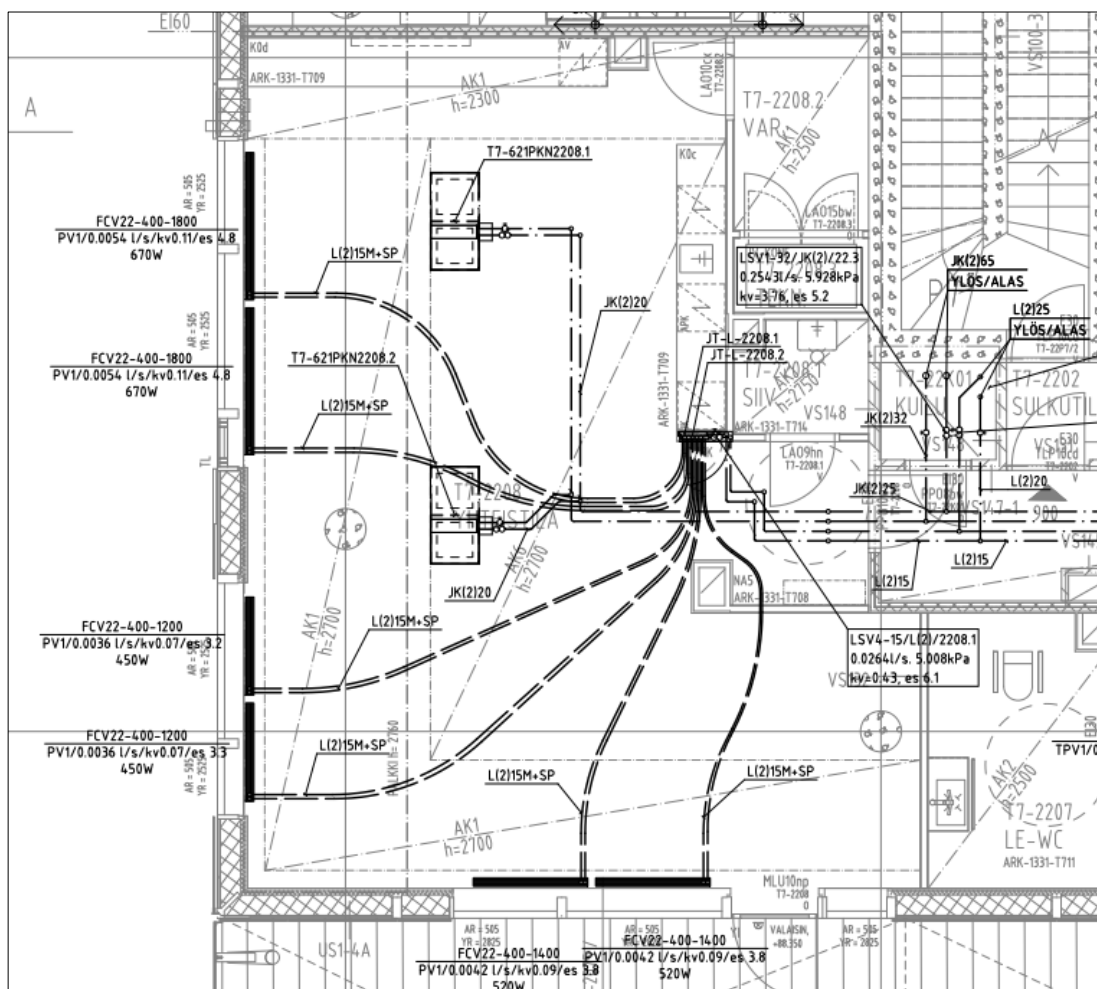
ennestään olemassa. Mittaustapa palvelee myös jäähdytysenergiankulutuksen seuranta kesäkaudella.

Tarkasteltava tornitalo on uusimmalla tekniikalla toteutettu uudisrakennus, jonka suunnittelussa on sekä rakenteiden että talotekniikan osalta noudatettu nykypäivän tiukkoja vaatimuksia. Rakennus on energiatehokas ja sen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku, eli E-luku, on vain 75 kWh/m². Uusissa ja hyvin eristetyissä rakennuksissa asuntojen energiankulutuslukemien korjaamisessa ei ole syytä käyttää sijaintiin perustuvia korjauskertoimia. Niiden ensisijainen tarkoitus on suojella asukkaita liian suurilta kustannusten muutoksilta, kun kulutuspaikkakohtainen energiamittaus otetaan käyttöön olemassa olevissa rakennuksissa. Samalla estetään suuret ja nopeat muutokset asuntojen arvossa. (Cholewa ym. 2020, 5) Koska tarkasteltava esimerkkikohde on uudisrakennus, energiankulutuksen vaikutus asuntojen arvoon voidaan ottaa huomioon jo alusta alkaen, eikä asukkaille ole luvassa rajujen kustannusten muutosten muodostamia ikäviä yllätyksiä rakennuksen käytön aikana.

Asuntojen väliset seinät ovat kaksinkertaisella kipsilevyllä molemmin puolin vuorattuja teräsrankaseiniä, joissa on eristeenä 150 mm mineraalivillaa. Hyvän ääneneristävyyden ja palonkeston lisäksi seinärakenteen lämmöneristävyys on väliseinäksi hyvä, mikä hieman auttaa rajoittamaan huoneistojen välisiä lämpövirtoja. Energiaa toki siirtyy yhä jonkin verran seinärakenteen läpi ja ilmavuotojen mukana, mutta väliseinän hyvä eristävyys hieman helpottaa tilannetta. Huoneistojen välisiä lämpövirtoja voidaan tarvittaessa pyrkiä kompensoimaan kappaleessa 4.5.3. kuvatulla menetelmällä, jossa lämpömäärämittareiden mittaustulos suhteutetaan siihen, mitä rakennuksen ominaisuuksien ja vallitsevan sisälämpötilan perusteella asunnon pitäisi kuluttaa. Tässä voidaan hyödyntää tehokkaasti lämpömukavuustason mittaamista jo olemassa olevilla huonelämpötila-antureilla. Mittausmenetelmää voidaan hyödyntää myös, kun lopullisen laskutuksessa käytettävän energiankulutuslukeman määrittämisessä huomioidaan märkätilojen lattialämmityksen ja ilmanvaihtokoneen tuloilman lämmityksen kuluttama energia.

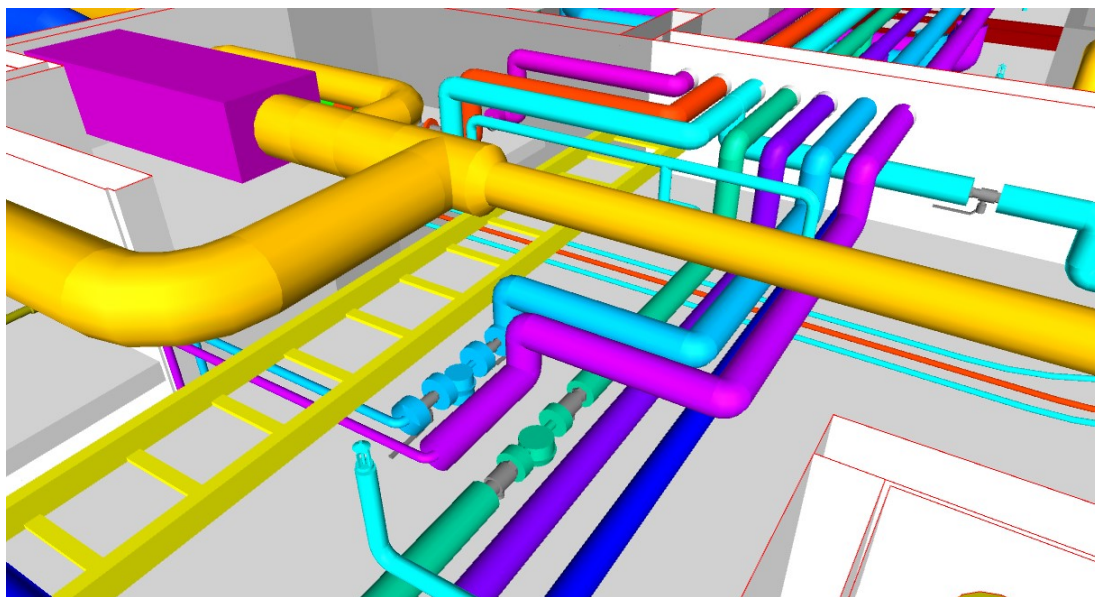
5.2.2 Energian mittaaminen taloyhtiön yhteisissä tiloissa

Taloyhtiön yhteisten tilojen lämmittäminen ja jäähdyttäminen palvelee kaikkia tornitalon asukkaita, jolloin näiden kustannusten jakaminen asukkaiden kesken esimerkiksi asunnon pinta-alan mukaisessa suhteessa on perusteltua. Yhteisten tilojen energiankulutus joudutaan mittaamaan erikseen kulutuspaikkakohtaisesti, jotta se saadaan eroteltua asuntojen energiankulutuksesta. Asukkaiden yhteiseen käyttöön tarkoitettussa kerhotilassa 22. kerroksessa energiamittaus kannattaa toteuttaa samaan tapaan kuin asunnoissa, koska talotekniikka on hyvin samantapaista. Tilan lämmitys tapahtuu yhdestä pisteestä jakotukin kautta. Jäähdytyksestä vastaa kaksi puhallinkonvektoria, joita palveleva vesi tulee tilaan myös yhtä putkiparia pitkin. Tilan lämmitys- ja jäähdytysratkaisu on esitetty kuvassa 18.



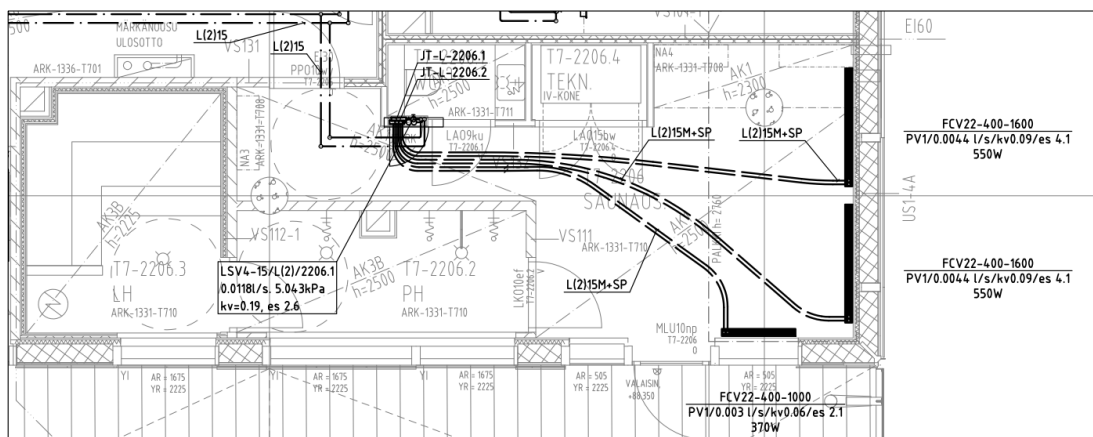
Kuva 18. Kerhotilan lämmitys- ja jäähdytysratkaisu. Pattereiden lämmönsyöttö tapahtuu tilan oman jakotukin kautta ja jäähdytyksestä vastaa kaksi puhallinkonvektoria. Oikeassa alakulmassa näkyvässä WC-tilassa on sähköinen lattialämmitys.

Koska jäähdytys- ja lämmitysenergia tuodaan tilaan yhden pisteen kautta, energiankulutus kyetään mittaamaan tehokkaasti asentamalla lämpömäärämittarit kerhotilan sisäänkäynnin läheisyyteen, kuten kuvassa 19. Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän putket sijaitsevat myös niin lähekkäin, että mittalaitteet voidaan sijoittaa saman huolto- luokun taakse. Mittareiksi voidaan valita esimerkiksi samat Belimo 22PE-1U – sarjan energiamittarit, joita käytetään myös asuntojen energiamittaukseen.



Kuva 19. Navisworks-näkymä Rambollin suunnitelma-aineiston pohjalta luodusta tietomallista. Kerhotilan lämpömäärämittarit venttiileineen voidaan asentaa alakattoon sisäänkäynnin läheisyyteen. Paikka on ahdas ja suunnitteluvaiheessa mittareiden käyttö on syytä huomioida putkireittien yhteensovituksessa.

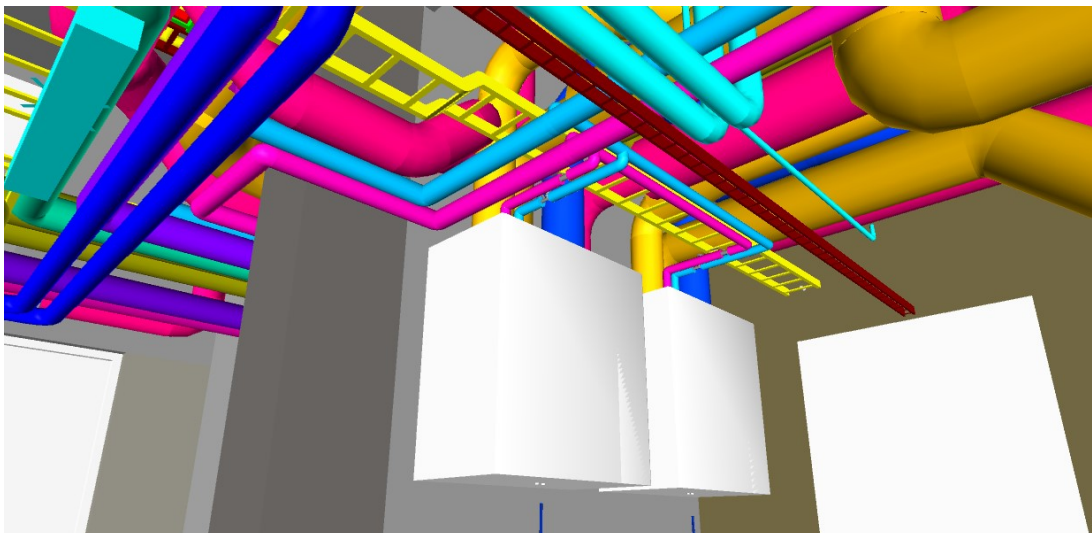
Myös kerhotilassa käytetään Purmon FCV-sarjan paneeliradiaattoreita, joiden virtaamia ohjataan termostaattisten patteriventtiileiden sijaan rakennusautomaatiolla jakotukilta käsin asuntojen tapaan. Lämmitysjärjestelmän ohjaukseen käytettäviä olemassa olevia huonelämpötila-antureita voidaan tässäkin tapauksessa hyödyntää myös lämpömukavuustason mittaukseen, joka mahdollistaa tarvittaessa kerhotilan ja viereisten asuntojen välisten energiavirtojen kompensoinnin keskilämpötilan avulla. Myös taloyhtiön saunatilan yhteydessä olevan oleskelutilan energiankulutus voidaan mitata samanlaisella ratkaisulla, koska myös sen patterit saavat lämmönsyöttönsä saunaosaston oman jakotukin kautta rakennusautomaation ohjaamana. Saunaosastolla ei ole koneellista jäähdytystä, joten energiamittaus toteutetaan ainoastaan lämmitysjärjestelmään. Saunaosaston lämmitysratkaisu on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Saunaosaston oleskelutila lämmitetään jakotukkiin kytkettyjen pattereiden avulla ja märkätiloissa on sähköinen lattialämmitys. Koneellista jäähdytystä ei ole.

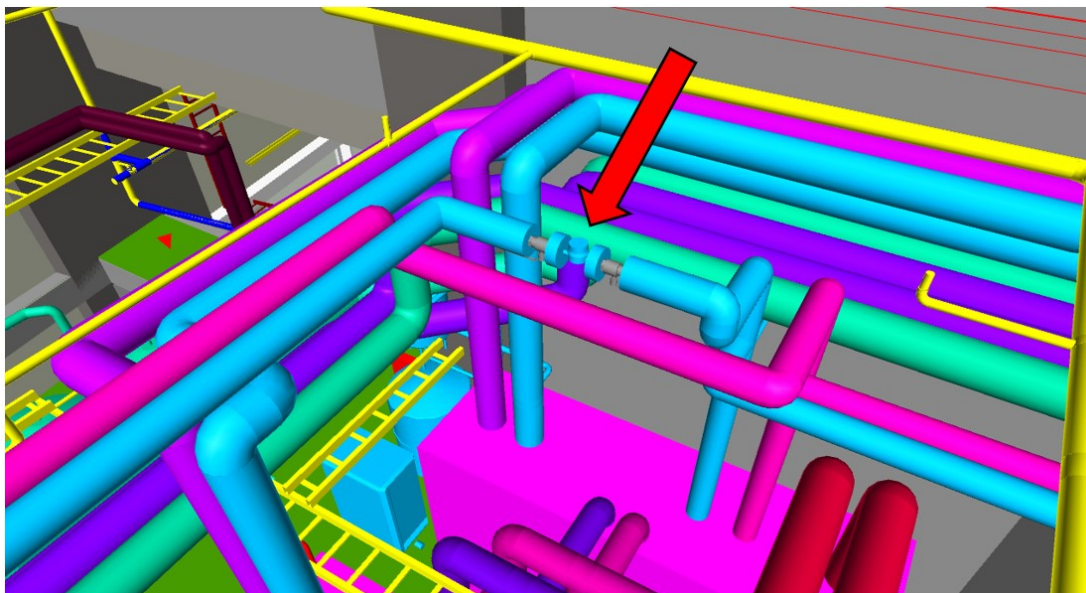
Sekä kerhotilassa, että saunaosastolla ilmanvaihdosta vastaa kummankin tilan oma ilmanvaihtokone, jossa tuloilma lämmitetään sähköllä. Ratkaisuun päädyttiin, koska vesikiertoisen ilmanvaihdon lämmityksen vaatimia putkinousuja ei kustannussyistä kannata tuoda lähes satametrisen rakennuksen ylimpiin kerroksiin vain kahden ilmanvaihtokoneen takia. Lämpöä tiloihin tuottavat myös kerhotilan WC:ssä ja saunaosaston pesuhuoneessa lattialämmitys, jotka niin ikään toimivat sähköllä. Energiakustannukset sisältyvät tilojen sähkölaskuun.

Tornitalon alemmissa osissa olevia yhteisiä tiloja ja asuinkerrosten kerroskäytäviä palvelevat ilmanvaihtokoneet, kuvassa 21, sijaitsevat neljännen kerroksen teknisissä tiloissa kaukolämpö- ja kaukojäähdytyskeskusten yhteydessä. Ilmanvaihtokoneet käyttävät tuloilman lämmitykseen vesikiertoista lämmityspatteria, joka on kytketty omaan verkostoonsa. Samaan verkostoon on kytketty myös teknisten tilojen lämmitykseen käytettävät lämmityspatterit. Neljännessä kerroksessa ei ole koneellista jäähdytystä.



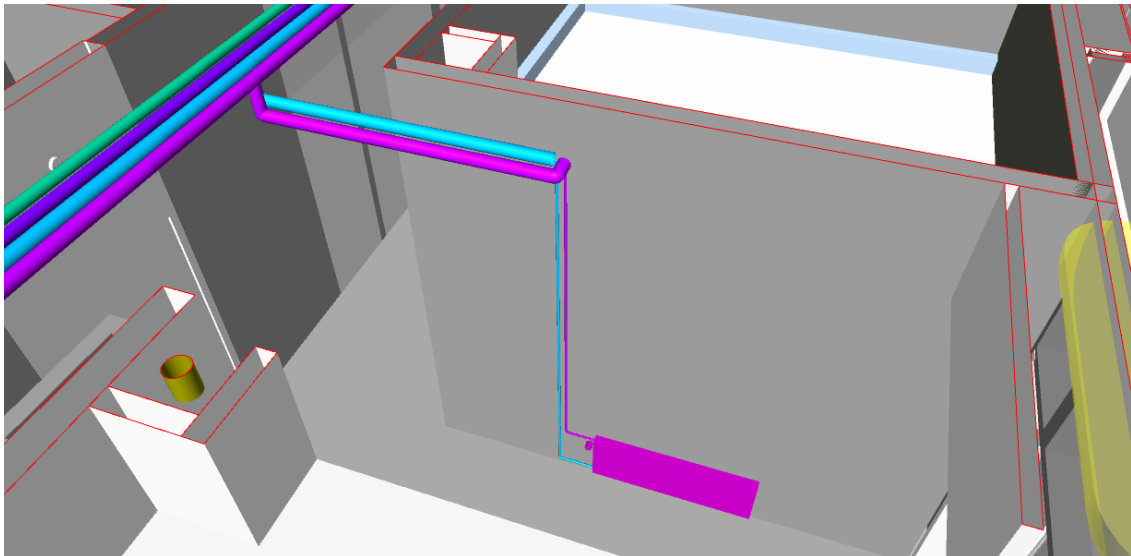
Kuva 21. Navisworks-näkymä Rambollin suunnitelma-aineiston pohjalta luodusta tietomallista. Kerroskäytäviä palvelevien ilmanvaihtokoneiden tuloilma lämmitetään vesikiertoisilla pattereilla.

Neljännän kerroksen teknisissä tiloissa lämmitysjärjestelmän putkitus on yksinkertainen ja tilojen lämmitys sekä yleisiä tiloja palvelevien ilmanvaihtokoneiden lämmitysenergiankulutus saadaan mitattua yhdellä lämpömäärämittarilla. Putkikoko on suurimmillaan 32 mm, joten aiemmin asuntojen energiamittaukseen sopivana esimerkkilaitteena ehdotettua Belimo 22PE-1U – sarjan mittaria on saatavilla oikeankokoisena. Mittalaittekokonaisuuden kannalta on eduksi, jos se voidaan rakentaa mahdollisimman pitkälle saman valmistajan komponenteista. Näin kyetään välttämään mahdollisia yhteensopivuusongelmia. Mittauspiste voidaan sijoittaa kaukolämpölaitteiston läheisyyteen, kuten kuvassa 22.



Kuva 22. Navisworks-näkymä Rambollin suunnitelma-aineiston pohjalta luodusta tietomallista. Neljännen kerroksen teknisen tilan lämmityspattereiden ja tornitalon yhteisten tilojen ilmanvaihdon lämmitysenergiankulutusta mittaava lämpömäärämittari voidaan sijoittaa kaukolämpölaitteiston läheisyyteen.

Asuinkerrosten käytävät ovat pääasiassa kokonaan asuntojen ympäröimiä eikä niille ole suunniteltu erillistä lämmitystä. Poikkeuksena on 22. kerroksen kattoterassille johtava lyhyt käytävä, johon oli tarpeen lisätä patteri lasioven aiheuttaman lämpöhäviön vuoksi. Patteri ei ole suoraan yhteydessä muiden tilojen lämmitykseen, vaan sen lämmönsyöttö on haaroitettu suoraan käytävän runkoputkista kuvan 23 mukaisesti.



Kuva 23. Yksittäinen suoraan runkolinjoihin kytketty lämmityspatteri kerroskäytävällä. Navisworks-näkymä Rambollin suunnitelma-aineiston pohjalta luodusta tietomallista.

Yhden patterin kuluttaman energian mittaamiseen ei kannata käyttää lämpömäärämittaria sen hankintakustannusten vuoksi. Tällaisissa tapauksissa patteri voidaan varustaa lämmityskustannusten jakolaitteella. Kerroskäytävässä käytetään asunnoista ja 22. kerroksen yhteistiloista poiketen perinteisemmän tyylistä patteria, jolloin sisustukselliset näkökulmat tuskin ovat esteenä jakolaitteen käytölle.

Tornitalon kuudes kerros koostuu kokonaisuudessaan taloyhtiön yhteisiä tiloista, joihin sisältyy asukkaiden käyttöön tarkoitettu kerhotila sekä ulkoiluväline- ja irtaimistovarastoja. Kerroksessa ei ole koneellista jäähdytystä, joten energiankulutusta mitataan ainoastaan lämmitysjärjestelmästä. Koska koko kerros sisältää vain taloyhtiön yhteistiloja, ja siten palvelee vain yhtä laskutettavaa tahoja, energiamittaus voitaisiin ihannetilanteessa toteuttaa vain yhdestä mittauspisteestä kohdassa, jossa putkisto haaroittuu pystynousuista kerrokseen. Kuudennen kerroksen putkireitit eivät kuitenkaan anna tähän mahdollisuutta, koska asuinkerrosten nousukuilut sijaitsevat eri kohdissa kuin alemmissa kerroksissa. Kuudennen kerroksen katossa jäähdytys- ja lämmitysputkistoilla joudutaan tekemään joissain tapauksissa pitkiäkin vaakasiirtoja kuilulta toiselle. Kerroksen oman lämmityksen vaatimat haaroitukset on otettu sieltä, mistä se kussakin tapauksessa on ollut mahdollista. Kerroksen lämmitysenergiankulutus voidaan mitata asentamalla lämpömäärämittarit kolmeen mittauspisteeseen.

5.2.3 Energian mittaaminen päiväkodissa

Tornitalon viides kerros on varattu kokonaisuudessaan päiväkodin käyttöön. Lämmitys on toteutettu vesikiertoisilla lämmityspattereilla. Lisäksi paljon lämmitystehoa vaativissa tiloissa, joissa on isoja ikkunoita ja niiden alla vähän tilaa, hyödynnetään myös lattiaan asennettavia konvektoreita, kuten kuvan 24 Purmo Kon-sarjan laitteita. Konvektorit on kytketty samaan lämmitysverkostoon pattereiden kanssa.



Kuva 24. Purmo Kon-sarjan lämmityskonvektori (Purmon www-sivut 2022).

Päiväkodissa on koneellinen jäähdytys, joka on toteutettu tornitalon muiden tilojen tapaan puhallinkonvektoreilla. Varsinaisen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän lisäksi energiaa kuluu myös kahdessa lämmitysjärjestelmään kytketyssä oviverhohuhtimessa, jotka on asennettu tuulikaappeihin uloskäyntien yhteyteen. Laitteen tuottama kapea ja voimakas ilmavirta muodostaa kahden erillämpöisen tilan välille verhomaisen ilmasulun, jonka avulla ilmassojen sekoittuminen keskenään voidaan estää (Hedengrenin www-sivut 2022). Oviverhohuhtimien, kuvassa 25, avulla saadaan vähennettyä päiväkodin lämpöhäviötä ulko-ovien ollessa auki.



Kuva 25. ARFEC3500-oviverhohallin (Hedengrenin www-sivut 2022).

Kuten kuudennessa kerroksessa sijaitsevissa taloyhtiön yhteisissä tiloissa, myös päiväkodin katossa muuta tornitaloa palvelevilla lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän runkoputkilla joudutaan tekemään paikoin pitkiäkin vaakasiirtoja nousukuilulta toiselle. Päiväkotiin sijoitettuja lämmitys- ja jäähdytyslaitteita palvelevien putkilinjojen haaroitukset on tehty sinne, mihin se kulloinkin on ollut mahdollista. Päiväkodin yläpuolella oleviin taloyhtiön varasto- ja kerhotiloihin nähden tällaisia haaroja on jouduttu tekemään enemmän. Lämpömäärämittareilla on hankalampaa erotella päiväkodin käyttämä lämmitys- ja jäähdytysenergia tilojen läpi kulkevista kokonaisvirtaamista, joita syötetään ylempiin kerroksiin. Lämpömäärämittareilla jäähdytysenergian mittaus voitaisiin kattaa kahdella mittauspisteellä, mikä on vielä toteutettavissa kohtuullisin kustannuksin. Kolmas jäähdytysenergiankulutusta mittaava lämpömäärämittari asennetaan päiväkodin yläpuolelle kuudennen kerroksen ilmanvaihtokonehuoneeseen mittaamaan päiväkotia palvelevan ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterin energiankulutusta. Lämmitysjärjestelmän putkisto on kuitenkin rikkonaisempi ja kaikkien päiväkotia palvelevien lämmityslaitteiden saaminen lämpömäärämittareiden toteuttaman mittauksen piiriin vaatisi kuuden mittarin asentamista. Hankittavien energiamittareiden lukumäärä kasvaisi niin suureksi, ettei se olisi enää taloudellisesti tai teknisesti järkevää. Lämpömäärämittareiden käyttö olisi otettava huomioon jo suunnitteluvaiheessa ja sen mahdollistamiseksi kohtuullisilla kustannuksilla päiväkodin lämmitysjärjestelmän putkitukset olisi toteutettava toisella tavalla.

Mikäli lämpömäärämittareiden käyttö ei ole teknisesti mahdollista tai taloudellisesti järkevää, EU:n energiatehokkuusdirektiivi antaa mahdollisuuden energian mittaamiseen myös muilla tavoin. Päiväkodin tapauksessa lämmitysenergian kulutusosuus voidaan mitata lämmityskustannusten jakolaitteilla, jolloin mittaus saadaan toteutettua huomattavasti helpommin ja edullisemmin. Ongelmaksi tosin muodostuvat lämmitys-järjestelmään kytketyt oviverhopuhaltimet, joissa jakolaitteita ei voida hyödyntää. Niiden energiankulutus on edelleen mitattava putkistoon asennettavilla lämpömäärämittareilla. Lämpömäärämittari joudutaan asentamaan myös kuudennen kerroksen ilmanvaihtokonehuoneeseen mittaamaan päiväkodin ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin energiankulutusta.

5.3 Energian mittaamisen onnistumisen edellytykset

EU:n energiatehokkuusdirektiivin kulutuspaikkakohtaista energiamittausta käsittelevässä artiklassa säädetään, että energiankulutus on ensisijaisesti toteutettava lämpömäärämittareilla. Mikäli niiden käyttö ei ole teknisesti mahdollista tai taloudellisesti kannattavaa, voidaan niiden sijasta käyttää myös muita todelliseen kulutukseen perustuvia kustannustenjakomenetelmiä. Direktiivin mukaisesti energiamittaus pyritään ensisijaisesti toteuttamaan juuri lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän putkistoon asennettavilla lämpömäärämittareilla. Tornitalon asuntoihin suunniteltu huoneistokohtaiseen jakotukkiin perustuva lämmönjako antaakin tälle hyvät edellytykset, samoin kuin jäähdytysjärjestelmän putkiston toteutustapa asuinkerroksissa. Kun tähän yhdistetään sisälämpötilan mittaus jo olemassa olevilla antureilla, luodaan mahdollisuus korjata kulutuslukemia tarvittaessa huoneistojen välisten energiavirtojen vaikutuksen minimoimiseksi.

Joissakin tilanteissa, kuten päiväkodin lämmitysenergiankulutuksen mittaamisessa, tarvittavien mittauspisteiden määrä kasvaa kuitenkin niin suureksi, ettei energiamittaus lämpömäärämittareilla ole enää taloudellisesti järkevää. Tällöin voidaan perustellusti käyttää edullisempaa mittausratkaisua ja määrittää päiväkodin kulutusosuus lämmityskustannusten jakolaitteilla. Tornitalon energiamittausjärjestelmässä on päädytty yhdistelemään eri mittausmenetelmiä, joilla pyritään toteuttamaan paras ratkaisu kuhunkin mittauksen kohteena olevaan tilaan ja luomaan edellytykset

mahdollisimman luotettaville mittaustuloksille. Yhteenveto tornitalossa käytettävistä mittaustekniikoista on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Tornitalon energiamittauksessa käytettävät menetelmät.

Energiamittauksen kohde	Sovellettavat mittausmenetelmät	
	Lämmitys	Jäähdytys
Asunnot	Energiamittaus lämpömittareilla ja huoneistojen välisten energiavirtojen huomioiminen sisälämpötilan mittauksen avulla	Energiamittaus lämpömittareilla ja huoneistojen välisten energiavirtojen huomioiminen sisälämpötilan mittauksen avulla
Yhteiset tilat	Kerhotiloissa ja talosaunan oleskelutilassa energiamittaus lämpömittareilla ja huoneistojen välisten energiavirtojen huomioiminen sisälämpötilan mittauksen avulla. Kerroskäytävän yksittäisissä lämmityspattereissa lämmityskustannusten jakolaitteet.	22. kerroksen kerhotilassa energiamittaus lämpömittareilla ja huoneistojen välisten energiavirtojen huomioiminen sisälämpötilan mittauksen avulla. Muissa yhteistiloissa ei ole koneellista jäähdytystä.
Taloyhtiön varastot	Lämpömittarit	-
Tekniset tilat	Lämpömittarit	-
Ilmanvaihto	Energiamittaus lämpömittareilla vesikiertoista lämmitystä käyttävissä ilmanvaihtokoneissa	Energiamittaus lämpömittareilla vesikiertoista jäähdytyspatteria käyttävissä ilmanvaihtokoneissa
Päiväkoti	Lämmityskustannusten jakolaitteet. Oviverhohuoneissa lämpömittarit.	Lämpömittarit

Aiemmissä tutkimuksissa kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen yhtenä merkittävimmistä ongelmista on nostettu esiin ilmanvaihdon kuluttaman energian kustannusten jakaminen tilojen käyttäjien kesken. Tornitalossa kunkin ilmanvaihtokoneen vaikutusalue rajoittuu hyvin tarkasti yksittäisten tahojen hallinnoimiin tiloihin. Vesikiertoista lämmityspatteria käyttävät ilmanvaihtokoneet palvelevat taloyhtiön yhteisiä tiloja, kuten kerroskäytäviä, varastoja, kerhotiloja ja neljännen kerroksen teknisiä tiloja. Energia on helposti mitattavissa ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereita syöttävästä putkistosta. Päiväkodin ilmanvaihto toteutetaan sen omalla koneella, jonka energiankulutus on myös mitattavissa erikseen. Asuntojen ilmanvaihto on puolestaan toteutettu hajautetusti pienillä huoneistokohtaisilla koneilla, joissa tuloilma lämmitetään

sähköllä. Syntyvä energiakustannus sisältyy huoneistokohtaiseen sähkölaskuun jo ennestään. Useimpiin rakennuksiin verrattuna mahdollisuudet ilmanvaihdon lämmitys- ja jäähdytyskustannusten jakamiseen eri käyttäjien kesken ovat tornitalossa hyvät.

Lämpömäärämittareiden käytössä putkireiteillä on merkittävä rooli mittauksen teknisessä toteutettavuudessa ja se voi muodostaa merkittäviä haasteita mittausjärjestelmän suunnittelulle. Mikäli kulutuspaikkakohtainen energiamittaus otetaan jatkossa käyttöön uudisrakennuksissa, sen mahdollistamisen on oltava yksi suunnittelukriteereistä. Tornitalossa putkireitit muodostavat haasteita erityisesti päiväkodissa, jossa jäähdytysenergiankulutuksen mittaaminen energiamittareilla vielä onnistuu, mutta lämmitysenergian osalta se olisi kallista ja teknisesti hankala toteuttaa. Lämpömäärämittareiden käytössä putkireitit muodostavat usein haasteita kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen toteuttamisessa erityisesti olemassa olevissa rakennuksissa (Canale ym. 2019, 7). Tästä syystä on päädytty soveltamaan välillisiä kustannustenjakomenetelmiä. Päiväkodin kulutusosuus kyetään määrittämään lämmityskustannusten jakolaitteilla, joita hyödyntämällä mittausjärjestelmästä saadaan toteutuskelpoinen kohtuullisin kustannuksin. Kohteena päiväkotitoimitus on kuitenkin sellainen, että kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen kannattavuus voidaan kyseenalaistaa. Tilojen talotekniikka on säädetty toimimaan tietyllä tavalla kokonaisuuden kannalta parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi, eikä tilan käyttäjillä ole mahdollisuutta muuttaa vallitsevia lämpöoloja mielensä mukaan. Kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen säästöpotentiaali muodostuu siitä, että tilan käyttäjä on aiempaa tietoisempi omasta energiankulutuksestaan ja pyrkii sen myötä vähentämään sitä vaikuttaen samalla omiin kustannuksiinsa. Päiväkodeissa käyttäjällä ei ole tällaista vaikutusmahdollisuutta, jolloin kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen säästöpotentiaali käytännössä menetetään. Tässä tapauksessa päiväkotitoimitus on kuitenkin osa laajempaa kokonaisuutta, jossa muiden tilojen energiankulutus mitataan erikseen. Vaikka odotettavissa oleva energiansäästö jäänee vähäiseksi, mittausjärjestelmän asentaminen on kuitenkin välttämätöntä, jotta päiväkodin osuus rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta saadaan eroteltua taloyhtiön yhteisten tilojen ja yksittäisten asuntojen muodostamasta kulutuksesta.

Kokonaisuutena tarkasteltuna tornitalon lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien rakenne luo hyvät edellytykset kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen tekniselle toteutukselle päiväkodin hankalasta putkityksestä huolimatta. Rakennuksen käyttäjien

energiankäyttötottumusten muokkaamista energian kulutuspaikkakohtaisen mittaamisen käyttöönotolla ei kuitenkaan tulisi ajatella yksittäisenä tekijänä, vaan se tulisi nähdä osana rakennuksen energiatehokkuuden kokonaisvaltaista parantamista (Canale ym. 2019, 2). Olemassa oleville rakennuksille toteutettavissa korjausrakentamishankkeissa tähän voi kuulua esimerkiksi julkisivujen lisälämmöneristys tai vanhan lämmitysjärjestelmän korvaaminen uudemmalla ja energiatehokkaammalla laitteistokokonaisuudella. Muualla Euroopassa kulutuspaikkakohtainen energiamittaus on otettu käyttöön usein yhdessä termostaattisten patteriventtiileiden asentamisen kanssa, mikä on vaikuttanut muutostyön jälkeen havaittuun kokonaisenergiensäästöön merkittävästi (Canale ym. 2019, 9). Koska energian kulutuspaikkakohtaisen mittaamisen muodostama hyöty ilmenee prosentuaalisena säästönä, vaikutus on pienempi uusissa jo ennestään energiatehokkaissa rakennuksissa (Cholewa ym. 2020, 5). Tarkasteltavan tornitalon ostoenergiankulutus on jo ennestään vähäinen, jolloin myös kulutuspaikkakohtaisella energiamittauksella saavutettava hyöty ei ole enää yhtä merkittävä kuin mitä vanhemmissa rakennuksissa voisi olla odotettavissa.

Mittausjärjestelmän käyttöönoton aikaansaama muutos rakennuksen käyttäjien kulutustottumuksissa varmasti auttaa säästämään energiaa, vaikka vaikutus saattaisikin jäädä uusissa ja energiatehokkaissa rakennuksissa vähäiseksi. On kuitenkin huomioitava, että säästöt energiankulutuksessa eivät automaattisesti takaa myös taloudellisia säästöjä (Siggelsten & Hansson 2010, 2). Varsinkin tarkasteltavan tornitalon kokoisissa rakennuksissa investointi on mittava. Ennen investointipäätöksen tekemistä mittausjärjestelmän mahdollistamasta energiansäästöstä ja sen kustannusvaikutuksista on tehtävä jatkotutkimusta. Teknisen toteutettavuuden arvioinnin lisäksi mittausjärjestelmän suunnittelussa onkin analysoitava odotettavissa oleva taloudellinen hyöty ja investoinnin takaisinmaksuaika, jotta kohteeseen saadaan räätälöityä asiakkaan etua parhaiten palveleva järjestelmäkokonaisuus.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutuspaikkakohtaisen mittaamisen on monissa aiemmissa tutkimuksissa todettu auttavan rakennusten käytönaikaisen energiankulutuksen pienentämisessä. Todelliseen kulutukseen perustuvalla laskutuksella voidaan vaikuttaa tehokkaasti rakennusten käyttäjien kulustottumuksiin ja kannustaa heitä säästeliäämpään energiankäyttöön. On kuitenkin huomioitava, että monissa aiemmin tutkituissa tapauksissa kulutuspaikkakohtainen energiamittaus on otettu käyttöön osana laajempaa LVI-järjestelmien saneeraustyötä, jonka yhteydessä on asennettu muun muassa termostaattiset patteriventtiilit. Patteriventtiilien vaihtamisella on myös ollut vaikutusta havaittuun energiankulutuksen pienenemiseen ja kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen osuutta saavutetusta säästöstä ei ole juuri tutkittu. Tämä on otettava huomioon arvioitaessa kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen säästöpotentiaalia.

Kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen vaikutus rakennuksen energiankulutukseen on huomattu olevan merkittävä etenkin paljon energiaa kuluttavissa rakennuksissa. Saavutettu säästö on prosentuaalinen ja uusissa jo ennestään energiatehokkaissa rakennuksissa mittausjärjestelmän muodostama hyöty pienenee. Tämä nousee esiin esimerkiksi luvussa 5 käsitellyn tornitalon tapauksessa, jossa todelliseen energiankulutukseen perustuvan laskutuksen tuottama lisäarvo saattaa jäädä selvästi vähäisemmäksi kuin vanhoissa runsaasti energiaa kuluttavissa rakennuksissa. Energiaa toki säästyy, mutta taloudellista hyötyä järjestelmällä ei välttämättä saavuteta. Tämä pätee myös moniin muihin suomalaisiin rakennuksiin. Taloudellisten säästöjen on ylitettävä laitteiston hankintakustannukset, jotta menetelmän käyttö nähtäisiin järkevänä rakennusten omistajien keskuudessa. Tässä opinnäytetyössä on keskitytty kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen tekniseen toteuttamiseen, eikä sen taloudellisiin vaikutuksiin oteta kantaa. Lisätutkimusta aiheesta on syytä tehdä juuri taloudellisesta näkökulmasta, jotta menetelmän kannattavuutta suomalaisissa rakennuksissa voidaan mallintaa ja edelleen kehittää. Huomiota on kiinnitettävä saavutettavaan energiansäästöpotentiaaliin sekä järjestelmän taloudelliseen kannattavuuteen ja investoinnin takaisinmaksuaikaan.

Teknisten ominaisuuksiensa ja hyvän mittaustarkkuutensa vuoksi lämmitys- ja jäähdytysenergiaa tulisi mitata ensisijaisesti lämpömäärämittareilla. Niiden käytössä ongelmaksi muodostuvat usein putkireitit erityisesti jo olemassa olevissa rakennuksissa. Jotta kaikki energiavirrat saataisiin mittauksen piiriin, jouduttaisiin lämpömäärämittareita asentamaan useita, jolloin mittauksen tekninen toteuttaminen vaikeutuu ja järjestelmän hankintakustannukset kasvavat. Uudisrakennuksissa kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen toteuttaminen lämpömäärämittareilla on oltava yksi suunnittelukriteereistä. Mittareiden käyttö on mahdollisuuksien mukaan huomioitava putkireittien ja tilavarausten suunnittelussa. Mikäli lämpömäärämittareiden käytölle ei ole mahdollista luoda riittäviä edellytyksiä, järjestelmä voidaan toteuttaa myös välillisillä kustannustenjakomenetelmillä, kuten lämmityskustannusten jakolaitteilla. Kyseessä on optimointitehtävä, jossa järjestelmän ominaisuuksien ja teknisen toteutettavuuden sekä hankintakustannusten välille on löydettävä tasapaino.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua energian kulutuspaikkakohtaisen mittaamisen toiminta-ajatuksen ja sen mahdollistamiin säästöihin energiankulutuksessa sekä sen käyttöä koskeviin määräyksiin EU-direktiivien ja Suomen kansallisen lainsäädännön tasolla. Lisäksi tutkittiin kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen käyttöä Suomessa ja muualla Euroopassa sekä teknisiä menetelmiä, joilla kulutuspaikkakohtainen energiamittaus toteutetaan käytännössä. Teoriatiedon pohjalta esimerkkirakennuksena hyödynnettävässä tornitalossa muodostettiin tekninen ratkaisu, jolla lämmitys- ja jäähdytysenergian mittaus on mahdollista toteuttaa huoneistokohtaisesti. EU:n energiatehokkuusdirektiivin mukaisesti ensisijaisena mittausmenetelmänä käytettiin lämpömäärämittareita, joille rakennuksen talotekniikan toteutustapa ja esimerkiksi huoneistokohtaisiin jakotukkeihin perustuva asuntojen lämmitys luovat hyvät edellytykset. Osissa rakennusta, joissa lämpömäärämittareiden asentamista ei voitu pitää teknisesti tai taloudellisesti mahdollisena, kulutusosuuksien määrittämisessä hyödynnettiin lämmityskustannusten jakolaitteita. Mittausjärjestelmää tuettiin rakennusautomaatioon

yhdistetyllä huonelämpötilamittauksella, joka mahdollistaa huoneistojen välisten lämpövirtojen kompensoinnin laskennallisesti.

Lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutuspaikkakohtainen mittaaminen ja kustannusten jakaminen asukkaiden todellisen kulutuksen perusteella on useissa Euroopan maissa yleistä. Vaikka järjestelmän käytöllä aikaansaaduissa energiansäästösuuksissa on suurta hajontaa eri tutkimusten välillä, tulokset ovat lupaavia. Menetelmän käytössä on yhä monia haasteita, jotka on otettava huomioon mittausjärjestelmien suunnittelussa. Luotettavan mittausjärjestelmän toteuttaminen esimerkiksi edellyttää, että huoneiston olosuhteisiin vaikuttavat lämpövirrat kyetään saattamaan mittauksen piiriin mahdollisimman täydellisesti. Mitattuun kulutukseen perustuvassa laskutuksessa korostuu myös kustannustenjaon oikeudenmukaisuus. Tällöin haasteiksi muodostuvat sijainnista johtuva huoneistojen lämpötekniinen eriarvoisuus ja rakennuksen sisäiset lämpövirrat tilasta toiseen. Näiden vaikutusta on monissa maissa pyritty laskutusvaiheessa kompensoimaan tulosten korjauskertoimilla.

Kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen muodostama säästöpotentiaali perustuu asukkaiden suurempaan tietoisuuteen omasta energiankulutuksestaan ja pyrkimykseen säästää omissa kustannuksissaan. Jotta energian kulutuspaikkakohtaisella mittaamisella voitaisiin saavuttaa toivottu vaikutus energiankulutukseen, tilojen käyttäjillä on oltava riittävä mahdollisuus vaikuttaa ylläpidettävään sisälämpötilaan. Myös useita eri käyttäjien hallinnassa olevia tiloja palvelevien keskusilmanvaihtokoneiden energiankulutuksen mittaaminen on hankalaa. Tulevaisuudessa kehitettävät uudet mittausratkaisut saattavat tuoda tähän vastauksen.

Kulutuspaikkakohtaisesta energiamittauksesta on tehty useita tutkimuksia, mutta monet näistä on toteutettu Keski-Euroopassa. Suomalaisia kulutuspaikkakohtaisen energiamittauksen teknistä toteuttamista sekä mittauksen käyttöönoton mahdollistamaa energiansäästöä ja taloudellista kannattavuutta käsitteleviä tutkimuksia on toistaiseksi tehty vasta vähän. Yksittäisen loppukäyttäjän todelliseen kulutukseen perustuvan kustannustenjaon laajentuminen kattamaan sähkön ja käyttöveden lisäksi myös lämmitys- ja jäähdytysenergian, edellyttää tulevaisuudessa lisää kotimaista tutkimustyötä, jossa on huomioitu suomalaisten ilmasto-olosuhteiden, rakentamistavan ja talotekniikan muodostamat lähtökohdat.

LÄHTEET

Abrahamsson, N. 2012. Individuell mätning och debitering av värme i flerbostadshus: Svenska förutsättningar i jämförelse med erfarenheter från Tyskland och Danmark. Kandidaatintutkielma. Uppsala universitet. Viitattu 6.12.2021
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn%3Anbn%3Ase%3Auu%3Adiva-191661>

Ahmad, M., Mourshed, M., Mundow, D., Sissini, M. & Rezgui, Y. 2016. Building energy metering and environmental monitoring: A state-of-the-art review and directions for future research. *Energy and Buildings* 120, 85-102. Viitattu 10.1.2021.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.059>

Asunto-osakeyhtiölaki 22.12.2009/1599 muutoksineen.

Belimon www-sivut. 2022. Viitattu 2.3.2022. <https://www.belimo.com/>

Boverkets föreskrifter och allmänna råd om energimätning i byggnader 2.6.2020/3. Viitattu 1.2.2022. <https://rinfo.boverket.se/BEB/PDF/BFS2020-3-BEB-1.pdf>

Canale, L., Dell'Isola, M., Ficco, G., Cholewa, T., Siggelsten, S. & Balen, I. 2019. A comprehensive review of heat accounting and cost allocation in residential buildings in EU. *Energy and Buildings* 202, 109398. Viitattu 15.2.2022.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109398>

Celenza, L., Dell'Isola, M., Ficco, G., Greco, M. & Grimaldi, M. 2016. Economic and Technical Feasibility of Metering and Sub-metering Systems for Heat Accounting. *International Journal of Energy Economics and Policy* 6, 581-587. Viitattu 6.12.2021. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/361657>

Cholewa, T., Siggelsten, S., Balen, I. & Ficco, G. 2020. Heat cost allocation in buildings: Possibilities, problems and solutions. *Journal of Building Engineering* 31, 101349. Viitattu 17.2.2022. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101349>

Energiatohokkuuslaki 30.12.2014/1429 muutoksineen.

Euroopan komission www-sivut. 2022. Viitattu 16.2.2022. <https://ec.europa.eu/info/index>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi energiatehokkuudesta, direktiivien 2009/125/EY ja 2010/30/EU muuttamisesta sekä direktiivien 2004/8/EY ja 2006/32/EY kumoamisesta, 25.10.2012, 2012/27/EU, EUVL L 315, 14.11.2012, 1.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi energiatehokkuudesta annetun direktiivin 2012/27/EU muuttamisesta, 11.12.2018, 2018/2002, EUVL L 328, 21.12.2018, 210.

Eurostatin www-sivut. 2022. Viitattu 10.3.2022. <https://ec.europa.eu/eurostat/en/>

Förordning om energimätning i byggnader 1.1.2021/000. Viitattu 1.2.2022. <https://bit.ly/3tvGXkW>

Hedengrenin www-sivut. 2022. Viitattu 9.2.2022. <https://www.hedengren.com/fi/>

Helenin www-sivut. 2022. Viitattu 17.2.2022. <https://www.helen.fi/>

Ilmatieteenlaitoksen www-sivut. 2022. Viitattu 2.2.2022. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/>

International Energy Agency. 2013. Redrawing the energy-climate map: World energy outlook special report. Viitattu 10.1.2021. <https://www.iea.org/reports/redrawing-the-energy-climate-map>

Kaihua, O. 2022. Business Development Manager, Ramboll Finland Oy. Espoo. Microsoft Teams-keskustelut 1.12.2021-5.4.2022

Kansaneläkelaitoksen www-sivut. 2022. Viitattu 13.1.2022. <https://www.kela.fi/>

Koka Oy:n www-sivut. 2021. Viitattu 4.12.2021. <https://koka.fi/>

Kukkonen, P. & Reinikainen, E. 2020. Lämmityksen ja jäähdytyksen käyttäjäkohtainen mittaaminen ja kustannusten jakaminen. Viitattu 11.1.2022. <https://bit.ly/3nhG5y9>

Leino, E. 2019. Energiaviisasta arkkitehtuuria: Arkkitehtisuunnittelun opas rakennusten energiankulutuksen vähentämistä varten. Diplomityö. Tampereen yliopisto. Viitattu 10.1.2022. <https://bit.ly/3hP48kA>

Michnikowski, P. 2017. Allocation of heating costs with consideration to energy transfer from adjacent apartments. *Energy and Buildings* 139, 224–231. Viitattu 11.2.2022. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.020>

Motivan www-sivut. 2022. Viitattu 10.1.2022. <https://www.motiva.fi/>

Möttönen, V., Nissinen, K., Vainio, T. & Kauppinen, T. 2013. Selvitys huoneisto-kohtaisten lämpömittareiden ja lämmityskustannusten jakolaitteiden edellytyksistä Suomessa. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Asiakasraportti No. VTT-CR-07573-13

Nybergh, C. 2014. Hormivaikutuksen hallinta korkeissa asuinkerrosrakennuksissa. Diplomityö. Aalto-yliopisto.

Parviala, A. 2021. Sähkön hinta nousi korkealle, edullisen sopimuksen tekeminen on nyt myöhäistä – puolen vuoden päästä hintoihin odotetaan tuntuvaa muutosta. *Yleisradio* 10.10.2021. Viitattu 17.2.2022. <https://yle.fi/>

Purmon www-sivut. 2022. Viitattu 2.2.2022. <https://www.purmo.com/fi-fi>

Sainio, S. 2022. Polttoaineiden hinnat hipovat pilviä – tästä syystä bensiinin litrahinta on jo monin paikoin yli kaksi euroa. *Aamulehti* 12.1.2022. Viitattu 17.2.2022. <https://www.aamulehti.fi/>

Serocon www-sivut. 2022. Viitattu 9.2.2022. <https://www.seroco.fi/>

SFS-EN 834. Heat cost allocators for the determination of the consumption of room heating radiators. Appliances with electrical energy supply. 2013. Finnish Standards Association SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 4.12.2021. <http://www.sfs.fi/>

SFS-EN 835. Heat cost allocators for the determination of the consumption of room heating radiators. Appliances without an electrical energy supply, based on the evaporation principle. 1996. Finnish Standards Association SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 4.12.2021. <http://www.sfs.fi/>

Siggelsten, S. & Hansson B. 2010. Incentives for individual metering and charging. *Journal of Facilities Management* 8, 299-307. Viitattu 7.1.2022 <https://doi.org/10.1108/14725961011079007>

Siemensin www-sivut. 2021. Viitattu 4.12.2021. <https://www.siemens.com>

Suomen Urheiluilmailuopisto Oy. 2011. Sääoppi. Luento Vaasan lentokerhon MGPL-lupakirjakoulutuksessa 1.2.2013.

Terés-Zubiaga, J., Pérez-Iribarren, E., González-Pino, I. & Sala, J.M. 2018. Effects of individual metering and charging of heating and domestic hot water on energy consumption of buildings in temperate climates. *Energy conversion and management* 171, 491–506. Viitattu 6.12.2021. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.013>

Tilastokeskus. 2019. Asumisen energiankulutus. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 10.1.2022. https://www.stat.fi/til/asen/2019/asen_2019_2020-11-19_tie_001_fi.html

Valtioneuvoston asetus lämmityksen, jäähdytyksen ja veden kulutus- ja laskutustiedoista ja kustannusten jakamisesta 29.3.2021/44

Viljakainen, M., Alppi, A. & Valkama, A. 2005. Avoin puurakennusjärjestelmäsuunnitteluperusteet. Helsinki: Wood Focus Oy. Viitattu 1.2.2022. <https://bit.ly/3HNiooS>

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 20.12.2017/1010.

Åhlander Cevallos, V. & Åström, H. 2014. Individuell mätning av värme och varmvatten i radhusområden - Jämförande studie av två radhusområden i Stockholm. Kandidaatintutkielma. Kungliga Tekniska högskolan. Viitattu 6.12.2021. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn%3Anbn%3Ase%3Aakth%3Adiva-146608>