



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

PÄIVI LIEJUMÄKI  
ENERGIATEHOKKUUDEN MITTAAMINEN KUNNASSA

Kandidaatintyö

Tarkastaja: Seppo Syrjälä

## TIIVISTELMÄ

**Päivi Liejumäki:** Energiatehokkuuden mittaaminen kunnassa  
Tampereen teknillinen yliopisto  
Kandidaatintyö, 24 sivua  
Joulukuu 2017  
Tekniikan ja luonnontieteiden kandidatin tutkinto-ohjelma  
Pääaine: Energia- ja prosessiteknikka  
Tarkastaja: Seppo Syrjälä

**Avainsanat:** energiatehokkuus, energiatehokkuussopimus, energiatehokkuusindikaattorit, kunta-ala, yhdyskunnat, palvelurakennukset, vesihuolto, katuvalaistus

Tutkimuskysymyksinä tässä työssä on energiatehokkuuden mittaamisen nykyinen toteutus eri toimialoilla ja miten sitä voidaan kehittää, jotta voidaan mitata tarkemmin suoritteen tai palvelun suhdetta energiapanokseen. Työ on tehty kirjallisuustutkimuksena.

Kunnassa energiaa käyttävät useat tahot ja kunta voi myös vaikuttaa niin kunnan asukkaiden kuin yritystenkin energiankäyttöön. Energiatehokkuus on määritelty Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivissä 2012/27/EU ”energiatehokkuus on suoritteen, palvelun, tavaran tai energian tuotoksen ja energiapanoksen välinen suhde”. Energiatehokkuutta on mitattu rakennuksissa lähinnä ominaiskulutusten, joissa energiapanosta verrataan rakennuksen alaan tai tilavuuteen, avulla.

Työssä käsitellään kunnan omien palvelurakennusten, vesihuollon, katu- ja ulkovalaistuksen sekä yhdyskuntasuunnittelun energiatehokkuuden mittaamista. Eri toimialoilla tarvitaan erilaisia mittareita. Samalla toimialalla tarvitaan rinnakkaisia mittareita. Mittareissa on erilaisia tasoja riippuen mittareiden käyttötarkoituksesta. Strategisia tunnusluvut ovat karkean tason mittareita, joita tarvitaan esimerkiksi johtamiseen ja raportointiin. Tällaisia ovat esimerkiksi kokonaiskulutukset vuodessa sekä erilaiset energia- ja ympäristöluokitukset. Taktisia tunnuslukuja tarvitaan yksittäisten toimien vaikutusten arviointiin ja seuraamiseen. Operatiiviset tunnusluvut ovat tarkempia niin ajallisesti kuin tasoltaan. Näillä mitataan yksittäisten rakennusten, järjestelmien tai käyttäjien energiankulutuksia. Ajallisesti voidaan mitata esimerkiksi vuosi-, kuukausi- tai tuntitasolla. Operatiivisia tunnuslukuja tarvitaan esimerkiksi ohjukseen ja säätöön.

Rakennusten suurempi käyttöaste ja käyttöaika lisäävät kokonaisenergiankulutusta ja ominaisenergiankulutusta suhteessa rakennustilavuuteen, mutta lisäävät energiatehokkuutta suhteessa saatuun suoritteeseen tai palveluun. Tästä syystä käyttötiedon liittäminen kulutustietoihin on tärkeää. Haasteena on käyttötiedon saaminen ja saatavan tiedon laatu. Käyttötietoa kerätään erilaisiin sähköisiin järjestelmiin. Tästä esimerkkinä päähoidon sähköiset ilmoittautumiset ja kirjautumiset sekä neuvotteluhuoneiden varausjärjestelmät. Kehitettävää on tiedon siirrossa eri järjestelmien välillä.

Eri mittareilla saadaan kattava tieto energiatehokkuudesta. Tieto sinällään ei lisää energiatehokkuutta, vaan tieto tulee analysoida. Tiedon analysointi on aikaa vaativaa. Tulevaisuudessa tuleekin kehittää automaattista tiedon analysointia.

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
2.	ENERGIATEHOKKUUDEN MONIULOITTEISUUS.....	3
2.1	Ilmastonmuutoksen hidastaminen sopimusten avulla.....	3
2.2	Kulutuksen vähentäminen.....	4
2.3	Käytön tehostaminen.....	5
2.4	Primäärienergian käytön tehostaminen.....	5
2.5	Verkostojen tehokas käyttö.....	6
3.	ENERGIANKULUTUS KUNNASSA.....	7
3.1	Energian käyttö kunnassa.....	7
3.2	Energiatase koko kunnan alueella.....	8
4.	ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISEN MAHDOLLISUUDET KUNNASSA.....	10
4.1	Energiatehokkuuden parantaminen rakennuksissa.....	10
4.2	Vesihuollon energiatehokkuustoimet.....	12
4.3	Katuvalaistuksen energiatehokkuuden parantaminen.....	12
4.4	Yhdyskunnan energiatehokkuuden parantaminen.....	13
5.	ENERGIANKÄYTÖN JA SEN TEHOSTAMISEN MITTAAMINEN.....	14
5.1	Tunnusluvut ja luokitukset apuna energiatehokkuuden vertailussa.....	15
5.2	Rakennukset.....	16
5.3	Vesihuolto, tievalaistus ja liikkuminen.....	17
5.4	Muu kulutus, johon kunta voi vaikuttaa.....	18
6.	PÄÄTELMÄT JA YHTEENVETO .....	20
	LÄHTEET.....	23

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

EED	Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivi
CHP	Kaukolämmön ja sähkön yhteistuotanto
ESCO-palvelu	Palvelu, jonka tavoite on energiansäästö ja jonka kustannukset mukaan lukien investointikustannukset maksetaan energiansäästöllä. ESCO-lyhenne tulee sanoista Energy Service Company
KETS	Kunta-alan energiatehokkuussopimus
Mittaaminen	Termiä mittaaminen on tässä työssä merkityksessä mittaaminen, seuranta ja arviontia
Ominaiskulutus	Kulutus suhteessa tuotoksen tai palvelun määrään
SPOT-hinta	Pohjoismaisen sähköpörssin tuntitasoinen hinta sähköenergialle

# 1. JOHDANTO

Ilmastonmuutosta yritetään hidastaa kansainvälisin sopimuksin. 2015 Pariisissa pidettiin YK:n ilmastopimoksen 21. osapuolikokous, jonka saavutuksena solmittiin Pariisin ilmastopimus. Pariisin ilmastopimukseen ovat liittyneet lähes kaikki maailman maat. Vain Yhdysvallat ja Syyria ovat sopimuksen ulkopuolella. Euroopan unionin ilmasto- ja energiapolitiikka ja sen toteuttamiseksi annetut direktiivit ovat jatkumoa kansainvälisille sopimuksille. Yleensä direktiivien toteuttaminen jäsenmaissa toteutetaan lakeja säätämällä. Energiatehokkuusdirektiivin (EED) toimeenpano Suomessa on kuitenkin toteutettu vapaaehtoisilla energiaterhokkuussopimuksilla, joista on ollut hyviä kokemuksia ja kattavuus on saatu hyväksi. Energiaterhokkuussopimuksia on eri toimialoille. Kunnille on olemassa oma kunta-alan energiaterhokkuussopimus (KETS).

Nyt voimassa olevan energiaterhokkuussopimuskauden 2017-2025 aikana sopimukseen sitoutuneiden kuntien tulee tehostaa energian käyttöänsä 7,5 %. Energiaterhokkuuden parantaminen ja sitä kautta tapahtuva turhan kulutuksen väheneminen saavat aikaan myös talouden tehostumista ja säästöjä kunnissa. Tästä on hyötyä sekä kuntaorganisaatiolle että kuntalaisille.

Energiaterhokkuus on määritelty Euroopan unionin energiaterhokkuusdirektiivissä 2012/27/EU ”energiaterhokkuus on suoritteen, palvelun, tavarain tai energian tuotoksen ja energiapanoksen välinen suhde”. Energiaterhokkuus ei ole helposti yhdellä mittarilla mitattavissa oleva asia. Energiaterhokkuuden raportoinnissa käytetään laskennallisia säästöjä. Usein energiaterhokkuutta mitataan ominaiskulutuksilla esimerkiksi rakennuksessa energiankulutus per ala tai tilavuus. Tämä tapa ei ota huomioon esimerkiksi käyttöastetta, käyttöaikaä tai laatua.

Erilaisia tunnuslukuja tarvitaan työkaluiksi johtamiseen, tavoitteiden asetantaan, seurantaan ja viestintään sekä teknisten järjestelmien ja toiminnon ohjaukseen. Energiaa kunnassa käytetään palvelurakennuksissa, kunnan omistamissa asuinrakennuksissa, vesihuollossa ja katuvalaistuksessa. Lisäksi liikkuminen ja työkonet tarvitsevat energiaa. Kunta voi vaikuttaa myös niin sanotun kolmannen osapuolen energiaterhokkuuteen esimerkiksi kaavoituksen, joukkoliikenteen järjestämisen ja neuvonnan kautta. Energiaterhokkuuden näkökulmasta myös energiantuotanto on oleellinen osa kokonaisuutta. Tässä työssä rajataan tarkastelu kuntien energiaterhokkuussopimuksessa määritellyille aloille. Energiantuotanto ja asuinrakennukset rajataan tarkastelun ulkopuolelle, koska näillä on omat alakohtaiset energiaterhokkuussopimuksensa. Myös joukkoliikenne ja jätehuolto rajataan pois, koska nämä esimerkikikunnan tapauksessa järjestetään yhteisesti muiden kuntien kanssa.

Tutkimusmetodeina käytetään aikaisempien tutkimusten selvitystä, haastatteluja sekä kerättyä energiankulutustietoa. Energiankulutuksesta on kerättyä tietoa saatavissa esimerkiksi osalta kulutusseurantaohjelmistosta ja raporteista. Valtakunnallisesti energiankulutustietoa kerätään energiatehokkuusraportoinnin yhteydessä ja raportoidaan vuosittain energiatehokkuussopimuksen raportoinnissa.

Suomessa on tehty laaja 4-vuotinen tutkimushanke energiatehokkuuden mittauksesta ja potentiaaleista (Tuomaala et al. 2012). Tässä tutkimuksessa on käsitelty yhdyskunnan, rakennusten, teollisuuden, liikenteen ja energiantuotannon energiatehokkuutta ja tarkasteltu näiden sektoreiden välisiä riippuvuuksia. Lisäksi opetusrakennusten energiatehokkuuden arvioinnista on tehty Aalto yliopistossa väitöstutkimus, joka on julkaistu vuonna 2017 (Sekki 2017).

Tässä työssä tarkastellaan energiatehokkuuden mittaamista kunnassa. Mittaamisella tässä tarkastelussa tarkoitetaan mittaamista, seuranta ja arviointia. Työssä selvitetään energiatehokkuuden moniulotteisuutta sekä kulutuksen vähentämisen että käytön tehostamisen kannalta. Seuraavaksi selvitetään energiankulutus esimerkkikunnassa. Tarkoituksena on tuoda esille energiankäytön suuruusluokat eri toiminnoissa ja niiden suhteellisuus toisiinsa. Näin saadaan esille se, missä kohdin on myös eniten vaikutusmahdollisuuksia energiatehokkuuden parantamiseen. Tämän jälkeen vielä käydään lyhyesti läpi eri sektoreiden energiankäytön parantamisen mahdollisuuksia.

Näiden jälkeen tarkastellaan energiankäytön ja sen tehostamisen mittaamista eri toiminnoissa. Nykytilan kartoittamisen lisäksi käydään läpi, mitä muita mittareita on käytössä, niiden etuja ja haasteita. Päätelmissä ehdotetaan uusia mahdollisuuksia mittaamiseen huomioiden myös nykyisin eri aloilla käytössä olevien digitaalisten järjestelmien tuottama tieto.

## 2. ENERGIATEHOKKUUDEN MONIULOITTEISUUS

Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivin 2012/27/EU mukaan energiatehokkuudella tarkoitetaan ”suoritteen, palvelun, tavaran tai energian tuotoksen ja energiapanoksen välistä suhdetta”. Energiapanos riippuu tarkastelun taserajasta. Energiapanoksella voidaan tarkoittaa joko hankittavaa ostoenergiaa tai laajemmalla taserajalla ostoenergian tuotantoon tarvittavaa energiapanosta eli primäärienergiaa.

Useimmiten energiatehokkuutta mitataan ominaiskulutusten avulla. Esimerkiksi rakennuksissa energiankulutusta verrataan rakennuksen tilavuuteen tai alaan. Tämä on helpoin tapa mitata energiatehokkuutta. Kunnan toiminnoissa tuotos ei kuitenkaan ole rakennuksen tilavuus tai ala, vaan yleisimmin palvelu esimerkiksi tarjottu opetus, päivähoito, kirjasto- tai liikuntapalvelu. Yhdyskuntarakenteen kohdalla tuotos on esimerkiksi asuntojen, asukkaiden, työpaikkojen määrä ja ympäristön laatu. (Tuomaala et al. 2012)

### 2.1 Ilmastonmuutoksen hidastaminen sopimusten avulla

Maailmassa tehdään yhdessä työtä ilmastonmuutoksen hidastamiseksi ja sen aiheuttamien ongelmiin varautumiseksi. Ilmastonmuutosta hillitsemään on solmittu jo vuonna 1992 YK:n ilmastonmuutosta koskeva puitesopimus. Sitä täydentämään on pidetty useita maailmanlaajuisia kokouksia, josta ehkä merkittävin on ollut Pariisissa pidetty YK:n ilmastopöytäkirjan 21. osapuolikokous vuonna 2015. Sopimuksessa on tavoitteena löytää keinot, joilla maapallon lämpeneminen saadaan rajattua alle 1,5 asteen. Euroopan unioni ja Suomi ovat ratifioineet Pariisin ilmastopöytäkirjan marraskuussa 2016.

Euroopan unionissa on tehty ilmasto- ja energiapolitiikkaa, jolla kansainvälisten ilmastopöytäkirjojen velvoitteet toteutetaan. Tärkeimmät direktiivit päästökaupan ulkopuolelle jäävän energiankäytön kannalta ovat energiatehokkuusdirektiivi EED, rakennusten energiatehokkuusdirektiivi EPBD, uusiutuvan energian direktiivi RED II sekä sähkömarkkinadirektiivi.

Suomessa on valittu vapaaehtoiset energiatehokkuussopimukset keinoksi energiatehokkuusdirektiivin mukaisten tavoitteiden saavuttamiseen. Yli puolet Suomen päästökaupan ulkopuolisesta energiansäästöavoitteesta on tarkoitus täyttää näiden energiatehokkuussopimusten avulla. Vapaaehtoisilla ja kattavilla sopimuksilla vältetään pakottavan lainsäädännön tekeminen ja sitä kautta yleensä saavutetaan energiatehokkuuden parantaminen taloudellisesti kestävämmällä tavalla. Energiatehokkuussopimuksia on neljälle eri alalle elinkeinoelämälle, kiinteistöalalle, kunta-alalle ja lämmityspolttonesteiden jake-

luun. Sopimuskausi 2008-2016 on päättynyt ja uusi kausi on alkanut. Uusi energiatehokkuuskausi käsittää vuodet 2017-2025. Viime vuonna päättäneellä sopimuskaudella 2008-2016 kaikkien sopimusalojen yhteinen raportoitu vuotuinen energiasäästö ylitti tavoitteet ja oli noin 16 TWh. Vähennys CO<sub>2</sub>-päästöihin oli 4,8 miljoonaa tonnia vuodessa (Outinen 2017).

Kunnilla on siis oma kuntien energiatehokkuussopimus (KETS), joka on solmittu kunta-liiton, työ- ja elinkeinoministeriön ja Energiaviraston kesken. Jokainen kunta, kaupunki ja kuntayhtymä päättää itsenäisesti KETS-sopimukseen liittymisestä ja allekirjoittaa Energiaviraston kanssa liittymissopimuksen. Kuntien tavoitteena oli ensimmäisellä 2016 loppuneella kaudella tehostaa energiankäyttöä 9 % 2005 tasosta. Uudella kaudella tavoite on vähintään 7,5 % tehostaminen energiankäytössä 2017-2025.

Tässä työssä tarkastellaan esimerkkinä Lempäälän kunnan energiankulutusta. Lempäälän kunta on liittynyt kuntien energiatehokkuussopimukseen vuonna 2009 ja on mukana myös uudessa 2017 alkaneessa sopimuskaudessa. Ensimmäisellä kaudella energiansäästötavoite ylitettiin.

## 2.2 Kulutuksen vähentäminen

Energiankulutusta voidaan vähentää sekä investoinneilla että käyttöteknisillä toimilla. Investointeja ovat esimerkiksi uudet LED-katuvalot, uusi ohjausjärjestelmä, ilmanvaihtoon lisätty lämmöntalteenotto tai rakennukseen asennetut uudet ikkunat. Käyttötekniisiä energiansäästötoimia ovat sellaiset toimet, jotka voidaan tehdä olemassa olevia laitteita ja järjestelmiä käyttäen. (Energiavirasto & Motiva, 2017) Esimerkkejä käyttöteknisistä toimista ovat ilmanvaihdon tehostettujen käyttöaikojen pienentäminen, lämmitysjärjestelmää ohjaavan säätökäyrän laskeminen ja katuvalojen yösammutukset tai ohjaukset pienemmälle valaistusteholle.

Kulutusta vähentävät toimet tulisi tehdä aina niin, että vähennetään hukkaan menevän energian määrää tai energiankäyttöä, josta ei ole hyötyä. Esimerkiksi valaistusta ja ilmanvaihtoa pienennetään silloin kun käyttöä ei ole tai käyttö on vähäisempää tai lämmitystä ohjataan ennakoivaksi niin, että vältetään yllämmitystä. Tavoitteena on, että olosuhteita ei heikennetä energiansäästön vuoksi.

Energia-asioihin tulee erityisesti kiinnittää huomiota jo hankesuunnitteluvaiheesta lähtien niin vanhan korjauksessa kuin uudisrakentamisessa. Hankkeiden yhteydessä tulisi kiinnittää investointikustannusten lisäksi huomio elinkaarikustannuksiin eli käyttö- ja huoltokustannuksiin sekä investoinnin käyttöaikaan. Suunnitteluvaiheessa tehtävillä valinnoilla on suuri merkitys elinkaaren aikaiseen energiankäyttöön. (Kuittinen & le Roux 2017)



Usein energiansäästöön tähtäävä korjausinvestoinnin suunnittelu alkaakin olosuhteiden parantamisen tarpeesta. Samalla kun tehdään ilmanvaihdon remontteja, saadaan ilmanvaihtoon lämmöntalteenotto ja myös kiinteistöautomaatio kannattaa usein uusia samassa yhteydessä. Kiinteistöautomaation uudistamisen yhteydessä voidaan tehdä käytönaikaiset tarpeenmukaiset ohjaukset mahdollisiksi.

### **2.3 Käytön tehostaminen**

Käytön tehostamisella tarkoitetaan esimerkiksi tilojen pidempiä käyttöaikoja tai suurempia käyttöasteita. Rakennuksen käyttöasteella tarkoitetaan ihmisten keskimääräistä läsnäoloa rakennuksessa käyttöaikana (Rakentamismääräyskokoelma D5 2013). Kunnan tasolla käytön tehostamisesta on kyse myös kaavoituksen avulla tehtävästä yhdyskuntarakenteen tiivistämisessä, joka välillisesti vaikuttaa myös esimerkiksi liikenteen määrään, matkojen pituuteen ja sitä kautta energiankulutukseen. Kuntien energiatehokkuuden raportoinnissa Motivalle kerätyn aineiston mukaisesti käytön tehostamisesta johtuvaa energiatehokkuuden paranemista ei joko systemaattisesti mitata kunnissa tai mittauksesta ei raportoida (Elväs 2017, Motiva 2017).

Käytön tehostamisessa on myös tarkastelun taserajalla huomattavasti merkitystä. Taserajan merkityksestä yksi esimerkki on etätyön tekemisen lisääminen silloin, kun työntekijällä on oma nimetty ja vain omassa käytössä oleva työpiste työpaikalla. Rakennuksen tehokkaan käytön kannalta etätyön tekeminen heikentää energiatehokkuutta. Rakennuksessa tehdyt työtunnit vähenevät suhteessa rakennuksen alaan ja käytettyyn energiaan. Jos taserajan sisäpuolelle jää myös työmatkat, etätyön tekeminen parantaa energiatehokkuutta, koska liikkuminen kodin ja työpaikan välillä jää pois ja siten energiaa säästyy. Myös pidemmällä aikavälillä tarkasteltuna etätyö vähentää tarvetta kiinteille omille työpisteille ja näin myös tilatehokkuutta on järkevää kehittää.

### **2.4 Primäärienergian käytön tehostaminen**

Sähkö kuluttajalle tulee valmiiksi polttoaineesta tai muusta energianlähteestä jalostettuna energiamuotona. Polttoaineen sisältämän energian muuttaminen sähköenergiaksi ja siirtäminen käyttökohteeseen kuluttaa osan energiasta. Polttoaineesta paikan päällä lämmön tekeminen taas jättää energianmuodon muutoksessa syntyvän hukkan rakennuksen taserajan sisäpuolelle. Jos käytetään suoraan ostoenergiaa ja sen megawattitunteja mittarina, ei huomioida tätä niin sanottua primäärienergiavaikutusta. Primäärienergiatarkastelua jollakin mittakaavalla tarvitaan.

Rakennuksien energiatehokkuuden laskemisessa käytettävät primäärienergiakertoimet on määriteltävä rakentamismääräyksissä. Jos halutaan todellisia primäärienergiavaikutuksia tarkastella, tulisi käyttää todellisia kertoimia eikä vakioita. Vakio kertoimet suosivat tehotomia tuotantolaitoksia. Esimerkiksi kaukolämmön tuottaminen sähköntuotannon rinnalla CHP-laitoksessa saa tuotannon hyötysuhteen korkeammalle tasolle ja siksi todelliset

primäärienergiakertoimet ovat tällöin pienempiä kuin pelkän lämpölaitoksen tapauksessa. (Tuomaala et al. 2012)

Uusiutuvilla energialähteillä on pienemmät primäärienergiakertoimet. Primäärienergiatarkastelulla saadaan siksi esille uusiutuvien energialähteiden osuutta käytetystä energiasta. Uusiutuvan energian käyttö on keskeisellä sijalla usean kunnan strategiassa ja energiatehokkuussopimuksessa.

## 2.5 Verkostojen tehokas käyttö

Energiamarkkinat muuttuvat tulevaisuudessa paljon esimerkiksi aurinko- ja tuulienergian sekä kaksisuuntaisten verkostojen kehittymisen vuoksi. Tämä koskee niin sähkö- kuin kaukolämpöverkostoja. Pientuotannon energiantuotto on yleensä vähäisintä silloin kun energian tarve on suurimmillaan. Tämä lisää hetkittäisiä tehopiikkejä energiaverkostoihin syötettävän energian määrässä ja energiantuotannon tarpeeseen. Tuotannon ja kulutuksen välinen suhde ei ole niin hyvin ennustettavissa kuin nykyisin. Tämän vuoksi megawattitunti kesällä ei ole saman arvoinen kuin megawattitunti talvella.

Sähkömarkkinoilla käytetään pörssissä hetkellistä SPOT-hinnoittelua, joka ohjaa käyttämään sähköä silloin, kun sähköä on eniten tarjolla. SPOT-hinta on pohjoismaisen sähköpörssin tuntitasoinen hinta sähköenergialle. SPOT-hinnoittelu koskee sähköenergian hankinnan osuutta, ei sähköverkkoyhtiön perusmaksuja. Ainakin Helsingissä ja Lahdessa sähköverkkoyhtiöt ovat ottaneet käyttöön sähkön hetkellisten huipputehontarpeiden mukaan määräytyviä siirtomaksuja. Helsingissä Helen sähköverkon tehomaksu määräytyy kuluttajan vuoden suurimman tuntitehon mukaan (Helen sähköverkko 2017).

On myös huomattava, että huipputehoihin varautuminen suurentaa myös yksittäisen rakennuksen investointeja. Liittymät ja sisäiset verkot tulee mitoittaa aina suurimpien tehojen mukaan. Käyttäen hyväksi ohjausjärjestelmiä voidaan investointeja pienentää yksittäisissä rakennuksissa kuin myös verkkoyhtiön puolelta. Tämä alentaa kustannuksia.

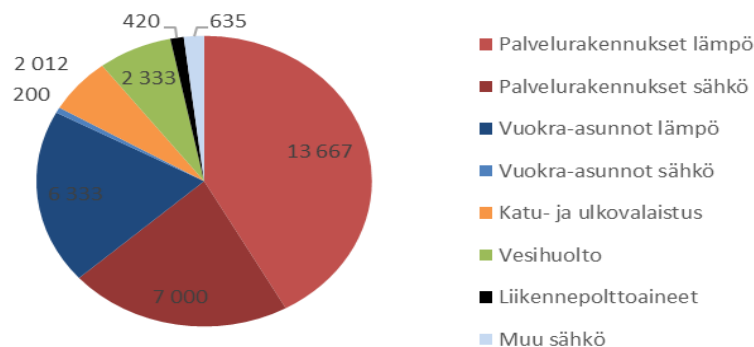
### 3. ENERGIANKULUTUS KUNNASSA

Tässä luvussa käsitellään kunnan energiankäyttöä. Tarkasteluissa on käytetty Lempäälän kunnan kulutustietoja ja tilastoja. Tarkoituksena on tuoda esille kunnan organisaation oma energiankäyttö jaoteltuina eri toimialoihin.

Lisäksi käsitellään kunnan oman energiankäytön suhdetta koko kunnassa käytettävään energiaan. Tällä tarkastelulla saadaan esille se osa energiankäytöstä, johon kunta voi vaikuttaa välillisesti.

#### 3.1 Energian käyttö kunnassa

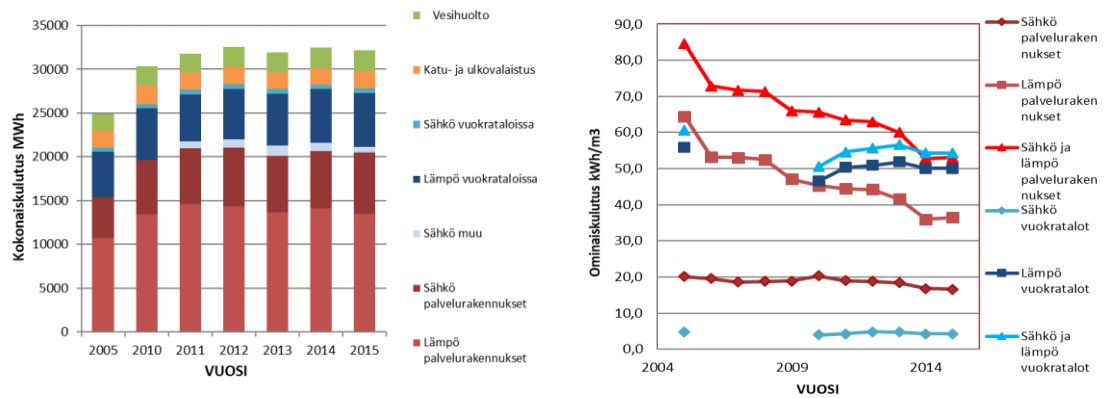
Lempäälän kuntaorganisaatio, mukaan lukien vuokra-asunnot ja vesihuolto, käyttivät energiaa yhteensä 32 GWh vuonna 2015. Suurin osa energiasta kului palvelurakennuksissa. Palvelurakennusten osuus on lähes kolmannes energiankäytöstä. Vuokrataloissa kuluu noin viidennes energiasta. Vesihuollon sekä katu- ja ulkovalaistuksen osuudet ovat lähes saman suuruisia noin 2 GWh vuodessa kumpikin. (Lempäälän kunnan energiatehokkuuden raportti 2015, 2016) Kuvassa 1 on esitettynä energiankäytön jakautuminen kunnan eri toimialojen ja kunnan omistamien vuokratalojen ja vesihuoltolaitoksen kesken. Tämän työn muista tarkasteluista on rajattu pois vuokratalojen energiatehokkuustoimet, koska vuokratalot eivät kuulu kunnan energiatehokkuussopimuksen piiriin.



**Kuva 1.** Energiankäytön jakauma Lempäälän kunnan omassa energiankäytössä vuonna 2015. Kuvaajassa lämpöenergiankulutuksissa käytetään normeerattuja eli sääkorjattuja kulutuksia.

Lempäälä on kasvukunta, jonka vuoksi kunnassa on rakennettu paljon uutta palvelurakennuskantaa. Kokonaisenergiankulutus on kasvanut voimakkaasti tämän vuosikymmenen alkuun saakka. Sen jälkeen kokonaisenergiankulutuksen kasvu on taittunut. Ominaiskulutukset suhteessa rakennustilavuuteen ovat laskeneet lämmön osalta vuosikymmenessä noin kolmasosan. Sähköenergian ominaiskulutus on laskenut vain alle 10 % samassa ajassa. Lämmönkulutuksen laskuun syynä on lisääntynyt automatiikka ja sitä

kautta parempi säädettävyys, uusi rakennuskanta sekä tehdyt energiatehokkuusinvestoinnit. Sähkönkäyttöön vaikuttaa edellisten lisäksi uusien sähköä käyttävien laitteiden yleistyminen, josta syystä sähköenergian käytössä ei ole päästy samanlaisiin energiankulutuksen vähenemiseen kuin lämpöenergian osalta. Kokonaisenergiankulutus ja ominaisenergiankulutukset on esitetty alla kuvassa 2.



**Kuva 2.** Vasemmassa kuvassa energian kokonaiskulutus Lempäälän kunnassa. Oikealla olevassa kuvassa on esitetty ominaiskulutukset lämmitettyä tilavuutta kohden Lempäälän kunnan rakennuksissa. Tarkastelujaksona on vuodet 2005 ja 2010-2015. Lämpöenergiankulutukset on normeerattu eli sääkorjattu. (Lempäälän kunnan energiatehokkuustoimien raportti 2015, 2016)

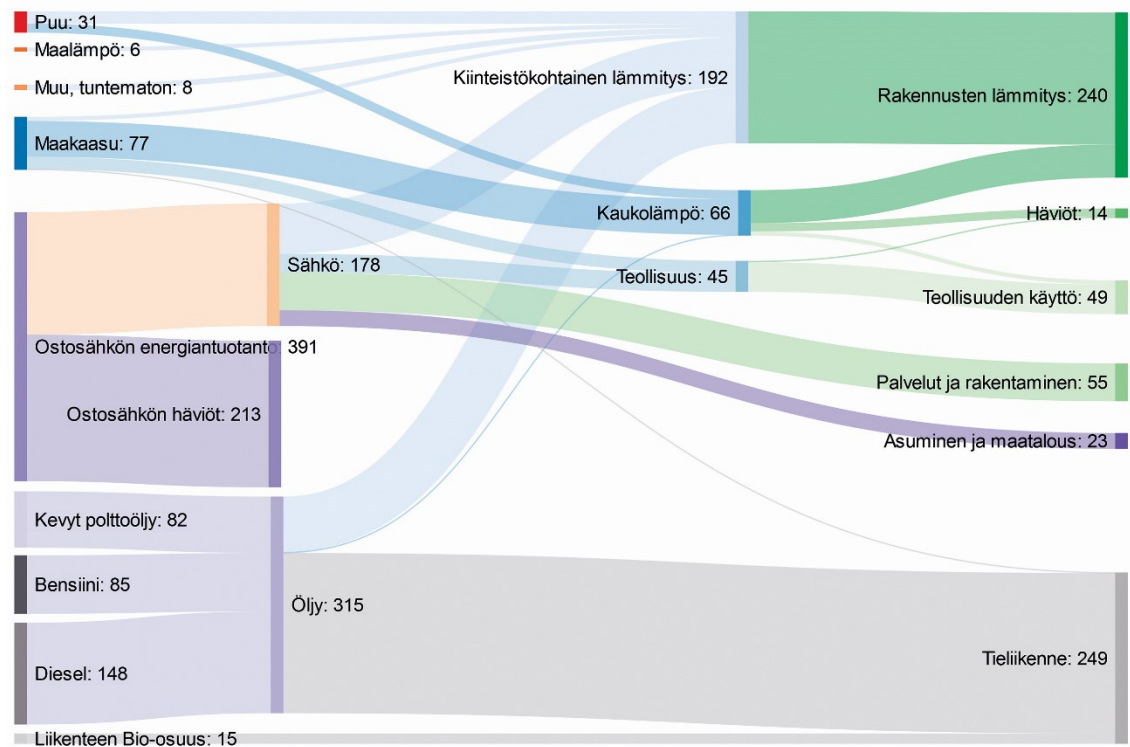
Vanhemmissa rakennuksissa lämmityskustannukset ovat yleensä sähkökustannuksia suurempia. Uudemmissa ero lämpöön ja sähköön kuluviissa kustannuksissa on lähempänä toisiaan. Espoon kaupungin koulujen muuttuvista käyttökustannuksista kouluissa 45 % ja päiväkodeissa 39 % on energiakustannuksia. Eri rakennusten välillä on suurta hajontaa, jota ei aina voi selittää erilaisilla käyttöasteilla. (Sekki 2017)

Kunnan omien työkoneiden ja autojen energiankulutusta seurataan sekä kilometrien osalta että kokonaispolttoaineostojen avulla. Koska Lempäälän kunnassa ei ole käytössä juurikaan kunnan omia autoja, seurataan energiatehokkuuden raportoinnin yhteydessä kunnan maksamia kilometrikorvauksia. Niiden määrä on seuranta-aikana vähentynyt. Liikkumisen tarvetta vähentää esimerkiksi etäyhteyksien kautta käytävien kokousten yleistyminen.

### 3.2 Energiatase koko kunnan alueella

Kuten aiemmassa luvussa 3.1 kävi ilmi, Lempäälän kuntaorganisaation energiankulutus on kokonaisuudessaan 32 GWh vuodessa. Uusiutuvan energian kuntakatselmuksen yhteydessä selvitettiin koko kunnan alueen energiataase, joka on esitetty kuvassa 3. Energia-

taseessa on huomioitu sekä se mistä lähteistä energia on peräisin että energian käyttökohdet. Tämän selvityksen mukaan energiankulutus Lempäälässä on 630 GWh vuodessa. Liikenteen energiankulutus on rakennusten lämmityksen ohella suurimmat energiankäyttökohdet. Kummankin osuus on vähän alle 40%. Lempäälän kunnan osalta liikenteen osuutta nostaa ohikulkuliikenne moottoritien vuoksi. (Lempäälän kunnan uusiutuvan energian kuntakatselmus 2016)



**Kuva 3.** Lempäälän kunnan kokonaisenergiatase 2014 (GWh). Kuvassa vasemmalla on primäärienergianlähteet ja oikealla energian käyttö (Lempäälän kunnan uusiutuvan energian kuntakatselmus 2016)

Rakennusten lämmitykseen käytetään koko kunnan alueella 240 GWh, josta kunnan palvelurakennuksissa noin 14 GWh. Kunnan rakennusten lämmitysenergian kulutus nousee 20 GWh, jos mukaan otetaan kunnan vuokra-asunnot. Kuntaorganisaation sähkön käyttö noin 12 GWh, koko kunnan alueella sähköä käytetään 178 GWh. Kunnan osuus sähköenergiankäytöstä on noin 7 % ja lämmössä noin 8 %, kun myös kunnan omistamat vuokra-asunnot lasketaan mukaan kulutuksiin.

Kuntaorganisaation ulkopuolella käytetään yli 90 % kunnan energiankäytöstä. Tähän energiankulutukseen kunta voi osaltaan vaikuttaa yhdyskuntasuunnittelun sekä neuvonnan ja opastuksen sekä erilaisten sopimusten kautta.

## **4. ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISEN MAHDOLLISUUDET KUNNASSA**

Kuten jo edellä luvussa 2 käytiin läpi, energiatehokkuuteen vaikuttaa sekä varsinainen energiansäästö että energiankäytön tehostaminen. Luvussa 3 käsiteltiin energiankulutusta kunnassa. Kuten siitä ilmeni, suurin osa kuntaorganisaation energiankulutuksesta käytetään kunnan omissa palvelurakennuksissa. Tämän lisäksi energiaa kuluu huomattavia määriä myös vesihuollossa ja katuvaloissa.

Kuntaorganisaation sisäisen kulutuksen lisäksi kunta pystyy vaikuttamaan myös kuntaorganisaation ulkopuoliseen energiankäyttöön. Suuri vaikutus yhdyskunnan energiankäyttöön on kuntarakenteen tiiviydellä ja liikkumisen vähäpäästöisyydellä (Tuomaala et al. 2012). Kuntarakenteen eheyteen vaikuttaa kaavoituksen aikana tehtävät valinnat.

Kunta voi vaikuttaa kuntalaisten energiankäyttöön myös neuvonnalla. Tästä hyvänä esimerkkinä on Oulun kaupunki. Oulun rakennusvalvonta on kehittänyt määrätietoisesti neuvontaa uudisrakentajille rakentamisen laadun parantamiseksi. Neuvonnassa pääpainopisteet ovat kosteudenhallinta ja energiatehokkuus. Oulun kaupunki on raportoinut neuvontatyön säästöt Motivalle KETS-raportoinnin yhteydessä 5,3 GWh vuotuista säästöä. (Motiva 2017, Oulun seudun ympäristötoimi 2017)

### **4.1 Energiatehokkuuden parantaminen rakennuksissa**

Hankesuunnittelun ja suunnittelun aikana tehdään tärkeimmät päätökset rakennuksen energiatehokkuuden suhteen. Suunnittelussa energiatehokkuutta voidaan parantaa tulevan energiankäytön vähentämisellä, tilojen tehokkaalla suunnittelulla sekä muuntojoustavuudella, joka tarkoittaa varautumista rakenteissa ja talotekniikassa rakennuksen muuttuviin käyttötarkoituksiin. Energiatehokkaammat ja muuntojoustavammat ratkaisut eivät välttämättä ole juurikaan kalliimpia silloin, kun ratkaisut tehdään kyllin aikaisessa vaiheessa suunnittelua. Mutta on tiedostettava, että ratkaisuiden löytäminen vaatii strategiaa ja resurssia, sekä henkilöresurssia että ajallista resurssia. (Kuittinen & le Roux 2017)

Palvelurakennusten energian käyttöä tehostavia investointeja kannattaa harkita sekä laskea kannattavuudet aina, kun tehdään muuta korjausta, pientä remonttia tai suurempaa peruskorjausta taikka käyttötarkoituksen muutosta. Usein suhteellisen pienillä lisäpanostuksilla saadaan energiatehokkuutta lisättyä esimerkiksi lisäeristyksellä, valaistuksen tai automaation tarkemmalla suunnittelulla. Varsinaisia erillisiä energiainvestointeja, missä tarkoituksena on vain pelkkä energiatehokkuuden parantaminen, tehdään kunnassa vähän. Tällaisia erillisiä energiainvestointeja on jonkin verran tehty esimerkiksi LED-lampuihin siirtymisissä. Usein kuitenkin myös LED-valaistusmuutokset tehdään valaistuksen

uusimisen yhteydessä. Energiatehokkuussopimukseen liittyneet kunnat voivat hakea energiankäyttöä tehostaviin investointeihin työ- ja elinkeinoministeriön energiatukea Teke-siltä (Työ ja elinkeinoministeriö 2017).

Palvelurakennuksissa jo käytössä olevissa kohteissa voidaan tehdä käyttötekniisiä toimia, joista tehokkaimpia ovat ilmanvaihdon käyntiaikoihin ja tehostuksiin liittyvät toimenpiteet. Nämä tehdään rakennusautomaatiota virittämällä ja säätämällä. Käyttötapoihin voidaan myös vaikuttaa käyttäjiä neuvomalla ja opastamalla.

Jo olemassa olevassa rakennuskannassa voidaan energiatehokkuutta parantaa myös käyttöastetta parantamalla. Esimerkiksi koulujen lukuvuosi kestää vain 190 päivää ja varsinkin pienemmät koululaiset voivat olla aika lyhyitä koulupäiviä koulussa. Luokkahuoneet voivat olla tyhjiillään myös keskellä päivää, kun oppilaat ovat esimerkiksi liikunta- ja käsityötunneilla tai retkillä.

Käyttöastetta voidaan parantaa lisäämällä käyttäjiä tiloihin käytön aikana, esimerkiksi käyttämällä toimistotilaa tehokkaammin luopumalla kiinteistä henkilökohtaisista työpisteistä tai lisäämällä luokkien oppilaiden määrää. On myös mahdollista tehostaa tilojen käyttöä esimerkiksi nostamalla kokoustilojen käyttöasteita, suunnittelemalla tehokkaammin lukujärjestykset niin, että tiloja ei ole tyhjiillä keskellä päivää. Mahdollisuuksia tähän antaa kulunvalvonnan, tilavarausjärjestelmien ja muiden sovellutusten kehittyminen. Näiden järjestelmien liittäminen rakennusautomaatiojärjestelmään on tarpeen. Erilaiset sovellutukset ja niiden toisiinsa yhdistäminen rajapintojen kautta on vielä haasteellista.

Rakennuksen käyttöastetta voidaan nostaa myös lisäämällä normaalin käyttöajan ulkopuolista käyttöä. Käyttö voi olla samanlaista kuin päivällä. Esimerkiksi hammashoitola voi toimia ilta- ja viikonloppuaikaan yksityisenä vastaanottona, johon kunta vuokraa tilat. Tai sitten käyttö voi olla erilaista kuin päiväkäyttö, esimerkiksi harrasteryhmät voivat käyttää koulun tai päiväkodin tiloja.

Espoon kaupungin päiväkotien ja koulujen käyttöaikoja ja käyttöprofiileita on tutkittu. Päiväkodeissa on suhteellisen samanlainen käyttäjäprofiili ja niissä keskimääräinen käyttöaika on 2600 tuntia vuodessa, joka vastaa noin 32 % vuoden tunneista. Kouluissa käyttöprofiilit poikkeavat enemmän toisistaan. Koulujen keskimääräinen käyttöaika on 2200 tuntia vuodessa, mutta 45 % kouluista käyttöaika oli yli 3000 tuntia vuodessa. Uusissa rakennuksissa on hieman pidemmät käyttöajat. Yhden päivittäisen käyttötunnin lisääminen lisäsi energiakustannuksia noin 5 % päiväkodeissa ja noin 5,3 % kouluissa. (Sekki 2017).

Käyttötuntien lisääminen ei aina paranna rakennuksen energiatehokkuutta. Usein käyttötunnit lisääntyvät vain osassa rakennusta ja siksi käyttöaste voi jäädä pieneksi näinä lisääntyneinä käyttötunteina. Rakennusautomaatiolla ja tarpeenmukaisella ilmanvaihdon säädöllä parannetaan energiatehokkuutta käytön suhteen. Rakennuksiin, varsinkin uu-

dempisiin rakennuksiin, on usein suunniteltu käyttövyöhykkeitä, jotka mahdollistavat rakennuksen jonkin osan käytön muiden osien ollessa käyttöajan ulkopuolisissa säädoissä. Tilojen käytön suunnittelu on tärkeää. Tämä vaatii yhteistyötä eri sektorien välillä, pa-nostusta talotekniikan ja automaatiojärjestelmien päivitykseen.

Kulunvalvontatietoa kerätään kunnissa erilaisilla ohjelmilla. Esimerkiksi työpaikoilla käytetään leimauslaitteita, joilla tiedetään työntekijöiden määrän vaihtelut. Myös päivä-kodeissa on käytössä ohjelmia, joilla voidaan varata hoitajaksoja ja joiden kautta tehdään niin työntekijöiden kuin lasten läsnäolokirjaukset. Erilaisten kalenterivarausohjelmien avulla tiedetään, milloin varattavat tilat ovat käytössä. Näitä tietoja voidaan tulevaisuu-  
dessa käyttää hyväksi myös rakennusautomaatioissa talotekniikan ja esimerkiksi lukitus-  
ten ohjaamiseksi. Tiedonsiirron rajapinnat näiden järjestelmien välillä ovat vielä nykyisin  
osin haasteellisia.

## 4.2 Vesihuollon energiatehokkuustoimet

Vesihuollossa energiaa kuluu raakaveden tuottamiseen, veden ja jäteveden pumppaami-  
seen sekä jäteveden käsittelyyn vedenpuhdistamolla. Energiaa kuluu eniten pumppuihin  
pumppaamoilla sekä kompressoreihin jätevedenpuhdistamolla. Ylimääräistä kulutusta li-  
sää vuotovedet, joita tulee jätevesiverkostoon vuotokohdista varsinkin hyvin sateisina ai-  
koina sekä lumien sulaessa.

Energiatehokkuutta vesihuollossa voidaan parantaa sekä pumppaamojen pumppujen  
energiatehokkuuden parantamisella että vuotovesien määrän minimoinnilla. Suuri yksit-  
täinen energiankuluttaja on jätevedenkäsittelyn ilmauksen kompressorit. Näiden hankin-  
nassa energiatehokkuusnäkökohdat on erityisesti otettu huomioon. (Lempäälän kunnan  
energiatehokkuustyön toteutuksen raportti 2015, 2016)

## 4.3 Katuvalaistuksen energiatehokkuuden parantaminen

Katu- ja puistovalaistuksessa energian kulutukseen vaikuttaa valaisimien lukumäärä ja  
laatu sekä valaistuksen käyttöaika ja valaistuksen tarvitsema teho. Myös katu- ja puisto-  
valaistuksen osalta määritellään suunnitteluvaiheessa pitkälti mahdollisuudet energiate-  
hokkaaseen käyttöön. Tavoitteena on valaista oikeat paikat oikeaan aikaan. Eri alueilla  
on erilaiset tarpeet valaistustehosta ja esimerkiksi asuntokatuja valaistaan vähemmän te-  
hokkaasti kuin keskusta-alueita. Energiatehokkuuden kannalta on tärkeää määritellä alu-  
eet eri vyöhykkeisiin, jolloin ei myöskään valaista liian tehokkaasti joitain alueita.

Suunnittelussa määritellään myös käytettävät valaisimet ja ohjausjärjestelmät. LED-va-  
laisimet kuluttavat vähemmän sähköä, mutta eivät välttämättä suuremman liikennöinnin  
alueella ole energiaa vähiten käyttävä vaihtoehto. Toki valaisinvalinnassa painavat myös  
elinkaaritavoitteet, esimerkiksi vähäinen huollon tarve ja pitkä kestoikä. Ohjausjärjestel-  
mät mahdollistavat pitkään käytössä olleen valaistustaso-ohjauksen lisäksi esimerkiksi



valojen käytön osateholla hiljaisempina aikoina tai esimerkiksi joka kolmannen valaisimen sammutuksen.

#### **4.4 Yhdyskunnan energiatehokkuuden parantaminen**

Yhdyskunnan energiatehokkuutta mitataan yleensä alueidenkäytön suunnittelun yhteydessä. Alueidenkäytön suunnittelua tehdään kunnissa kaavoituksen avulla.

Yhdyskunnan energiatehokkuutta tarkastellessa taserajan määrittäminen, se mitä huomioidaan ja mitä ei huomioida, on oleellista tulosten kannalta. Yksi esimerkki taserajasta on liikenne, jossa taserajasta riippuen huomioidaan tai jätetään huomiotta alueelta pois suuntautuva liikenne, esimerkiksi työmatkaliikenne. Myös elinkaari ja sen pituuden määrittely ovat oleellisia energiatehokkuustarkasteluissa. Yleensä tarkastelujaksona käytetään 50 vuotta. (Tuomaala et al. 2012) Eri sektorit vaikuttavat toisiinsa esimerkiksi energiaverkostojen osalta. Rakennuksen lämmitystavan valintaan vaikuttaa alueen energiaverkostot ja toisaalta alueen energiaverkostojen kannattavuuteen vaikuttavat rakennusten lämmitystavan valinnat. Kaukolämpöverkostot eivät ole kannattavia, ellei niillä ole kylliksi asiakkaita.

Yksittäisten rakennusten osalla energiatehokkuuden parantaminen yleensä lisää investointikustannuksia. Yhdyskuntarakenteet poikkeavat tästä, koska energiatehokkaat rakenteet ovat yleensä myös taloudellisia. Energiatehokkuuteen vaikuttaa asumisen väljyys, verkostojen määrä ja liikenne. Yhdyskuntarakenteen laatuun vaikuttavat monet eri tekijät ja laatuun liittyviä tekijöitä on vaikea mitata. (Tuomaala et al. 2012)

## 5. ENERGIANKÄYTÖN JA SEN TEHOSTAMISEN MITTAAMINEN

Aiemmissa kappaleissa on käsitelty energiatehokkuuden määritelmää, energiankäyttöä kunnassa sekä energiatehokkuuden parantamisen mahdollisuuksia. Tässä osassa paneudutaan varsinaisesti mittaamiseen. Energiatehokkuutta voidaan arvioida etukäteen laskemilla sekä jälkikäteen mittaamalla. Energiatehokkuuden seuraamiseksi on tärkeää mitata energiatehokkuuteen vaikuttavat suureet. On myös mietittävä, mitkä suureet ja millä tavalla ovat merkityksellisiä. Eri mitattavissa asioissa tarkkuus ja aikavälit vaihtelevat.

Mittausalue voi olla laaja tai suppea. Laaja mittausalue voidaan jakaa osiin. Yhdyskunnassa voidaan mittaus jakaa alueisiin, rakennuksissa eri käyttötarkoituksen tiloihin tai eri järjestelmiin. Erilaisia rakennuksen järjestelmiä voivat olla esimerkiksi lämmitys, ilmanvaihto, valaistus ja jäähdytys. Laajan mittausalueen mittaustulokset ovat karkeita, strategisia tuloksia, joita ei voida käyttää yksittäisten rakennusten tai alueiden energiatehokkuuden arvioinnissa.

Energiatehokkuutta tulisi tarkastella energiankulutusta kuvaavien lukujen avulla. Täydentävänä ja tukevana menetelmänä voidaan tarkastella lisäksi hiilidioksidi- ja kasvihuonepäästöjä. (Tuomaala et al. 2012)

Energiatehokkuussopimukseen liittyneet kunnat laskevat ja raportoivat Motivalle yksittäisten energiansäästötoimien vaikutukset. Säästöjen laskennasta ja säästöjen eliniästä sekä dokumentoinnista on tehty energiatehokkuussopimukseen liittyjille yhteiset pelisäännöt (Energiavirasto & Motiva 2017). Raporttiin laskeminen huomioi yksittäiset energian käytön tehostamistoimet, esimerkiksi ikkunoiden paremman U-arvon tai lämmöntalteenoton paremman hyötysuhteen. Kunnankin kannalta on hyvä, että erilaiset säästötoimet tulevat näkyviksi raportoinnin kautta. Raportoitujen säästöjen todellista toteutumista ei kuitenkaan systemaattisesti seurata energiatehokkuussopimuksen mukaisessa raportoinnissa Motivalle. Raportoinnissa ei huomioida muuttuneita kulutuksia eikä analysoida niiden syitä.

Uudessa 2017-2025 voimassa olevassa KETS-sopimuksessa on painotettu myös kulutuksen seurantatietojen aktiivista hyödyntämistä sekä toiminnallisten muutosten seurannan suunnittelua ja organisointia. Tavoitteena on siirtyä kulutuksen seurannasta energiatehokkuuden seurantaan. (Kunta-alan energiatehokkuussopimus 2017-2025, kohta 6.7)

Jo kustannustenkin vuoksi kunnissa on tarkoituksenmukaista seurata energiansäästövaikutuksia. On olemassa myös rahoitus- ja leasingratkaisuja, joissa säästöjen toteutuminen on osa sopimusta. Tällaisia ovat esimerkiksi ESCO (Energy Service Company) -palvelut.

ESCO-toimittaja on sitoutunut sovittuun energiansäästötavoitteeseen ja investointi maksetaan takaisin saavutetuilla energiansäästöillä. ESCO- ja muut säästötakuujärjestelmät ohjaavat säästyneen energian seurantaan. Sopimuksessa sovitaan sekä saavutettujen säästöjen taso että sanktiot, ellei sovittuja säästöjä synny. Myös energiatehokkuussopimukset ja energiatuet ohjaavat käyttämään ESCO-palveluja. ESCO-palveluihin myönnetty energiatuki on 5 %-yksikköä suurempi kuin omarahoitteisiin energiansäästön investointeihin saatavat tuet ja muista kunnille myönnetyistä investointituista poiketen ESCO-hankkeiden tukea voidaan myöntää myös energiatehokkuussopimukseen liittymättömille kunnille (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017). ESCO-sopimuksissa ongelmallista on rakennusten käytön muuttuminen ja sen energiavaikutusten huomiointi sopimuksissa.

## 5.1 Tunnusluvut ja luokitukset apuna energiatehokkuuden vertailussa

Energiatehokkuussopimus ja sen raportoinnin tarve on vain yksi syy mittaamiseen. Eri-laiset tunnusluvut ovat tärkeitä työkaluja johtamisessa, tavoitteiden asetannassa, seurannassa ja viestinnässä, eri osapuolien välisen yhteistyön ohjaamisessa sekä teknisten järjestelmien ja toiminnan ohjauksessa.

Tunnuslukuja tarvitaan erilaisia eri käyttötarkoituksiin. Tarvitaan karkean linjan viitekehäksi varten strategiset tunnusluvut, esimerkiksi kokonaisenergiankulutus koko vuonna. Esimerkkinä strategisesta tunnusluvusta Lempäälän kunnan talousarviossa seurataan kaikkien rakennusten keskimääräistä sähkö- ja lämpöenergian ominaiskulutusta. Taktisilla tunnusluvuilla mitataan tietyn toimenpiteen tai päätöksen vaikutusta. Operatiiviset tunnusluvut tarkentavat edellisiä tunnuslukuja. (Kaleva et al. 2011)

Normiohjaus on keskeistä energiankäytön saralla. Normiohjauksella tarkoitetaan esimerkiksi lainsäädäntöä, verotusta, kaavoitusta ja rakentamismääräyksiä. Rakentamismääräyskokoelman osassa D3 rakennusten energiatehokkuus kohdassa 2.8. annetaan määräys energiankäytön mittaukselle tai vähintään mittausvalmiudelle. Lisäksi rakentamisen määräysten mukaisuuden osoittamista, rakennusten vertaamista ja energiatodistuksen tekoa varten lasketaan rakennukselle E-luku. E-luku lasketaan eri käyttötarkoituksiluokille määräyksissä ja ohjeissa määritellyn standardikäytön mukaan. (Rakentamismääräyskokoelma D3 2012). E-lukulaskentaa voidaan käyttää luokitukseen, mutta ei yksittäisen rakennuksen tavoitekulutuksen laskentana.

Eri-laiset energialuokitukset ja -sertifikaatit auttavat tuotteiden, palveluiden ja rakennusten vertailussa. Lainsäädännöllisesti veloitetaan tekemään energialuokitukset useille eri laitteille ja myös rakennuksille. Rakennusten energialuokitus todennetaan energiatodistuksella. Lisäksi on olemassa vapaaehtoisuuteen perustuvia ympäristöluokituksia, kuten kotimainen RTS Ympäristöluokitus sekä kansainvälisesti käytössä olevat LEED ja BREEAM. Ympäristöluokitukset ottavat huomioon laajemmin elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia, ei pelkästään energiankäyttöä. Sekä LEED että BREEAM sertifiointeja

tehdään niin yksittäisille rakennuksille kuin alueille. LEED ja BREEAM -luokitukset ovat yleistyneet kiinteistösijoittajien sijoittaessa kohteisiin. Suomessa oli marraskuussa 2017 163 BREEAM-luokiteltua kohdetta (BREEAM 2017) ja LEED-luokiteltuja 244 (U.S Green Building Council 2017). Lisäksi Suomeen on valmistunut yksi pohjoismaisen Joutsenmerkinnän saanut päiväkot.

Kunnissa rakennusten ja alueiden ympäristösertifioinnit ovat vielä harvinaisia. Vertailtavuuden lisäksi erilaisilla sertifioinneilla voidaan viestiä tavoitteellisesta toiminnasta ympäristö- ja energia-asioissa sekä parantaa kunnan ja alueiden imagoa.

Rakennukset ja alueet tulee luokitella, jotta voidaan vertailla keskenään. Yhdyskunnat on jaettava erilaisiin ympäristöihin esimerkiksi keskustat, lähiöt, haja-asutusalueet, perusrakenne ja rakennukset. Rakennukset luokitellaan käyttötarkoituksen mukaan. Saman toimijan, esimerkiksi kunnan, rakennuksia voi helpommin vertailla keskenään. Ulkopuolisten toimijoiden kesken vertailu edellyttää yhteisesti määriteltyjä tunnuslukuja. (Kaleva H. et al. 2011)

## 5.2 Rakennukset

Palvelurakennusten energiatehokkuutta seurataan kunnissa yleisesti ominaiskulutuksilla (Tuomaala M. et al. 2012, Sekki 2017, Motiva 2017). Koska ominaiskulutus ei anna tietoa rakennuksen käytöstä ja käytön tehokkuudesta, tarvitaan myös muunlaisia mittareita. Sekki on väitöskirjassaan esittänyt erilaisia tunnuslukuja mitata opetusrakennusten energiankultusta. Työssä päädytään esittämään useamman mittarin rinnakkaista käyttöä. (Sekki 2017)

Energiatehokkuutta voidaan mitata

- ominaiskulutuksella (brutto)alaa kohti (SEC) kWh/m<sup>2</sup>.
- energiankäytöllä verrattuna käyttäjälukumäärään (EIU) kWh/ käyttäjälukumäärä
- energiankäytöllä verrattuna vuotuisiin käyttötunteihin (EIU) kWh/ vuotuiset käyttötunnit.
- ominaiskulutuksella verrattuna käyttöastetta kohti kWh/m<sup>2</sup><sub>o</sub>
- ominaiskulutuksella todellista käyttöä ja tilatehokkuutta kohti (SEC<sub>u,s</sub>) kWh/m<sup>2</sup><sub>u</sub>
- ominaiskulutuksella suunniteltua käyttöä ja tilatehokkuutta kohti (SEC<sub>u,s</sub>) kWh/m<sup>2</sup><sub>u</sub>

Ominaiskulutus on perinteisin tapa mitata energiatehokkuutta. Sen käyttö on suhteellisen helppoa, tiedot ovat saatavilla ja ovat vertailtavissa. Kaksi alinta eli ominaiskulutus joko suunniteltua tai todellista käyttöä ja tilatehokkuutta kohti antaa parhaimman kuvan energiatehokkuudesta. (Sekki 2017)

Rakennuksen suunnittelun ja rakentamisen aikana on hyvä laskea rakennukselle tavoitekulutukset suunnitelluilla käyttöajoilla ja käyttöasteilla. Tavoitekulutuksen avulla voidaan energiankulutusta seurata ja mahdollisissa poikkeamissa löytää syyt poikkeamiin. Jotta syyt poikkeamiin voidaan löytää, tulee tavoitekulutuksen laskennan lähtöarvot dokumentoida hyvin.

Lempäälän kunnan palvelurakennusten kulutusseurantaan käytetään erityistä kulutuksen seurantaan kehitettyä nettipohjaista Enerkey-ohjelmistoa. Sähkökulutukset saadaan tunnitaisoisena datana kulutusseurantaohjelmaan suoraan sähköverkkoyhtiöltä. Muiden energijakeiden kulutukset kiinteistönhoitajat syöttävät kuukausittain suoraan internetin kautta ohjelmaan. Uudemmissa rakennuksissa on mittaroitu kiinteistön päämittarin lisäksi erilaisia alamittauksia. Esimerkiksi energiamittauksia on lattialämmitys-, ilmanvaihto- ja sulanapidon lämpöverkostoissa, sähköenergia mitataan erikseen valaistuksesta, ilmanvaihtokoneilta, jäähdytyksestä ja autolämmityksestä. Eri käyttötarkoitukset esimerkiksi keittiö ja päiväkotit mitataan erikseen. Mittaroinnista on kehitetty Tampereen alueen palvelurakennukset energiatehokkaiksi –kehityshankkeen (TAPRE) yhteydessä ohjeistus ”Energiahallinnan mittaukset”, jonka mukaisesti mittaroinnit tehdään Lempäälän kunnan uudisrakennuksissa. (TAPRE 2014).

Kunnan omien palvelurakennusten energiatehokkuutta seurataan sekä absoluuttisella kulutuksella että ominaiskulutuksella. Yksittäisessä rakennuksessa seurataan kulutuksen muutoksia vertaamalla vastaavan ajankohdan kulutukseen aiempina vuonna tai aikaisempina vuosina. Muutoksiin reagoidaan ja etsitään syyt. Omassa seurannassa käytetään ominaiskulutusta lämmitettyä rakennustilavuutta kohti. Lämpöenergiankulutus normeerataan. Energiankäyttöä verrataan saman käyttötarkoitustyyppien rakennuksiin. Eli opetusrakennuksia verrataan keskenään, päiväkotirakennuksia keskenään ja niin edelleen. Usein vertailuja tehdään vain esimerkiksi 2000-luvulla valmistuneista saman käyttöluokan rakennuksista tai vuokrattuja siirtokelpoisia rakennuksia verrataan toisiinsa.

### **5.3 Vesihuolto, tievalaistus ja liikkuminen**

Vesihuollossa kuluu sekä sähkö- että lämpöenergiaa. Sähköenergiasta suurin osa menee pumppaukseen sekä käyttöveden että jäteveden osalta. Lämpöenergiaa käytetään esim. jätevedenpuhdistamo- ja toimistorakennusten lämmittämiseen.

Sähkön käyttöä seurataan kuukausittain. Sähkön kulutusseurannassa käytetään hyväksi verkkoyhtiön tietokantoja. Kulutusseurannan avulla löydetään esimerkiksi viallisia laitteita. Energiatehokkuuden raportointiin kerätään tietoa käsitellyistä vesi- ja jätevesimääristä sekä pumppaamoiden määristä. Näistä saatuja ominaiskulutuksia voidaan käyttää eri toimijoiden väliseen vertailuun.

Vuotovesien määrä lisää pumppujen käyttöä ja sitä kautta energiankulutusta ja kustannuksia. Vuotovesien määrää mitataan laskuttamattoman veden osuudella verkostoon pumpatusta vedestä.

Katu- ja ulkovalaistuksessa käytetään energiana vain sähköenergiaa. Energiatehokkuuden raporttiin mittareina ovat tievalaistuksen sähkönkulutus, valaistu tiepituus ja lampujen määrä. Katu- ja ulkovalaistuksen osalta käytössä energiankulutusseurantaan on verkkoyhtiön tietokannat.

Liikkumisen energiankulutusta seurataan Motivan raportoinnissa polttoaineiden kulutuksilla, ajetuilla kilometreillä ja työkoneiden käyttötunneilla. Lempäälän kunnassa on otettu energiatehokkuuden seurantaan myös henkilökunnan omilla autoilla ajamat työajot. Näitä seurataan kilometrikorvausten avulla. Seurannassa mittarina käytetään koko kuntaorganisaation maksamia korvauksia. Mittari on siten tasoltaan karkea ylätasoinen mittari.

## 5.4 Muu kulutus, johon kunta voi vaikuttaa

Yhdyskuntasuunnittelussa voidaan tarkastella energiatehokkuutta esimerkkilaskelmilla, joissa vertaillaan erilaisia vaihtoehtoja. Energiatehokkuutta vertailtaessa tulee ottaa huomioon yhteiskuntarakenteellinen ja liikenteellinen sijainti sekä alueen sisäiset ratkaisut. Alueen sisäisiä ratkaisuja ovat esimerkiksi asumisväljyys, aluetehokkuus, rakennusten energiatehokkuus ja lämmitysjärjestelmät. Lämmitysjärjestelmässä energiatehokkuuteen vaikuttavat sekä mitoitus että käytetty polttoaine. (Tuomaala et al. 2012)

Mittareina voidaan yhdyskunnissa käyttää joko energian käyttöä tai päästöjä kerrosneliometriä kohden tai asukas- ja työpaikkaluvun suhteen. Laajemmalla näkökulmalla voidaan tarkastella palveluja, tuotteita ja elämän laatua suhteutettuna energian käyttöön tai päästöihin. Jotta energiantuotanto huomioidaan energiatehokkuutta mitattaessa, tulisi kaikki energiajakeet muuttaa primäärienergiaksi. Energiatehokkuuden mittarit ja potentiaalit (EPO) –hankkeessa tehtyjen case-tarkastelujen mukaan alle 10 % energiankulutuksesta syntyy rakennusten ja rakennetun ympäristön tuotantovaiheessa. Käyttövaiheella on suuri merkitys energiankulutuksessa. Käyttövaiheen energiankulutus määritellään pitkälti suunnitteluvaiheen valinnoilla. Case-tarkasteluissa todettiin, että alueen sijainnista riippuen liikenne voi nousta erittäin merkitykselliseksi energian kuluttajaksi. Case-laskennan mukaan tiiviisti rakennetulla passiivirakennusten alueella on mahdollisuus tehokkaaseen kaukolämpöverkkoon. Kaukolämpöverkon pysyvyyskäyrä on muuten suhteellisen tasainen, mutta käyrän huippu mitoituslämpötiloissa kovimmilla pakkasilla on erittäin jyrkkä. Varautuminen huipputehoihin vaatii uudenlaisia verkoston käyttöön liittyviä joustoja ja hinnoittelurakenteen muutosta. (Tuomaala et al. 2012)

Tiedotuksen, opastuksen ja neuvonnan vaikutus energiatehokkuuteen ei ole helposti mitattavissa. Kuitenkin tiedotuksella voidaan saada suuria vaikutuksia energiankulutukseen. Oulun rakennusvalvonta on laskenut rakentajille suunnatun ennakoivan laadunohjauksen

vaikutuksen energiatehokkuuden parantumiseen olevan vuositasolla 5,3 GWh (Oulun seudun ympäristötoimi 2017). Laadunohjauksen vaikutuksen mittaamista ei ole tulosten yhteydessä raportoitu.

## 6. PÄÄTELMÄT JA YHTEENVETO

Energiatehokkuuden mittaamisen tavoitteena on saada strategiset, taktiset ja operatiiviset tunnusluvut käytettäväksi. Strategiset tunnusluvut ovat ylätasoa tunnuslukuja, joita käytetään johtamiseen, raportointiin ja suurempien kokonaisuuksien hallitsemiseen. Taktiset tunnusluvut ovat yksittäisen toimenpiteen aiheuttamien muutosten mittaamista. Operatiiviset tunnusluvut ovat sekä ajallisesti että tasoltaan tarkempia. Esimerkiksi alamittaukset ja tuntitasoa mittaukset ovat operatiivisia. Näistä mittauksista saatavaa tietoa käytetään säättöön ja ohjaukseen. Tarvitaan rinnakkaisia mittareita, joilla voidaan tuottaa tarvittavaa tietoa erilaisiin käyttötarkoituksiin. Useamman rinnakkaisen mittarin käyttö on tarpeen. Mittarit ovat erilaisia myös eri toimialueilla. Taulukossa 6.1 on esitetty esimerkkejä käytetyistä ja suositelluista mittareista rakennusten osalta.

*Taulukko 1. Esimerkkejä energiatehokkuuden mittaamisen tavoista rakennusten osalta*

	Strategiset tunnusluvut	yksikkö	Taktiset tunnusluvut	yksikkö	Operatiiviset tunnusluvut / mittaukset	yksikkö
<b>Rakennukset</b>	Kokonaiskulutus energia	MWh/vuosi	Tavoite-kulutus	MWh/ajanjakso	Järjestelmän (lämmitys, iv-lämmitys, valaistus jne) energiankulutus	MWh/ajanjakso
	Kaikki rakennukset ominaiskulutus energia	kWh/m <sup>2</sup> /vuosi	Tavoite-kulutus sähköenergia	MWh/ajanjakso	Yksittäisen laitteen energiakulutus	MWh/ajanjakso
	Kaikki rakennukset ominaiskulutus sähkö	kWh/m <sup>2</sup> /vuosi	Tavoite-kulutus lämpö-energia	MWh/ajanjakso	Ilmanvaihdon ominaisenergiankulutus (sfp-luku)	kWh/m <sup>3</sup> /s
	Kaikki rakennukset ominaiskulutus energia	kWh/m <sup>2</sup> /vuosi	Vertailevat laskennat suunnittelu-vaiheessa	-	Sisäolosuhde-mittaukset (lämpötila, CO <sub>2</sub> )	°C, ppm
	Rakennustyyppi ominaiskulutus energia	kWh/m <sup>2</sup> /vuosi				
	Opetus-rakennukset ominaiskulutus	kWh/oppilas/vuosi				
	Päiväkoti-rakennukset ominaiskulutus	kWh/hoitopäivä				
	Energiatodistus	luokitus A-G				
	Ympäristö-sertifikaatti	luokitus				

Vesihuollossa käytetään enimmäkseen sähköenergiaa, jota tarvitaan pumppuihin sekä puhtaan veden että jäteveden osalla. Yksittäinen iso sähköenergiankäyttäjä on jäteveden-



puhdistamon ilmastuskompressorit. Puhdistamoilla voidaan käyttää lisäksi lämpöenergiaa. Katu- ja ulkovalaistuksessa käytetään vain sähköenergiaa. Yhdyskuntasuunnittelussa energiatehokkuus toteutuu myöhemmin alueiden asukkaiden ja yritysten hyväksi. Yhdyskuntasuunnittelussa käytetään yleensä eri vaihtoehtojen vertailua energiatehokkuuden arvioinnissa. Taulukossa 6.2 on esitetty esimerkkejä energiatehokkuuden mittaamisesta ja tunnusluvuista vesihuollossa, katu- ja ulkovalaistuksessa sekä yhdyskuntasuunnittelussa.

**Taulukko 2.** Esimerkkejä energiatehokkuuden mittaamisen tavoista vesihuollossa, katu- ja ulkovalaistuksessa sekä yhdyskuntasuunnittelussa

<b>Vesihuolto</b>	Kokonaiskulutus energia	MWh	Investoinnin vaihtoehtolaskelmat		Pumppaamo-kohtaiset energiankulutukset	MWh/ajanjakso
	Ominaiskulutus talousvesi	kWh/m <sup>3</sup>				
	Ominaiskulutus jätevesi	kWh/m <sup>3</sup>				
	Laskuttamattoman veden osuus jätevedestä	%				
<b>Katu- ja ulkovalaistus</b>	Kokonaiskulutus sähkö	MWh/vuosi	Investoinnin vaihtoehtolaskelmat		Ohjauskeskkohtaiset sähkönkulutukset	MWh/ajanjakso
	Ominaiskulutus	MWh/km/vuosi				
	Ominaiskulutus	MWh/valaisin/vuosi				
<b>Yhdyskuntasuunnittelu</b>	Vaihtoehtolaskelmat eri kaavoitusvaiheissa		Vaihtoehtolaskelmat		Vaihtoehtolaskelmat	
	Ympäristösertifikaatti	luokitus				

Vertailua eri toimijoiden rakennuskannan ja yhdyskuntarakenteen välillä voidaan tehdä erilaisten luokitusten avulla. Luokituksia tehdään energiatodistuksilla ja ympäristösertifikaateilla. Näissä yleensä käsitellään standardikäyttöä. Jos halutaan vertailla todellista käyttöä ja sen energiankulutusta eri toimijoiden kesken, tarvitaan lisää yhteisiä mittareita, jotka ottavat huomioon myös käyttöasteet.

Käyttötietojen liittäminen energianmittaukseen olisi tärkeää, jotta voidaan paremmin seurata energiatehokkuuden parantumisesta verrattuna tuotettuun palveluun. Jotta tällaista tietoa voidaan tuottaa, tarvitaan tietoa käytöstä. Käytöstä tarvitaan tietoa käyttöasteesta sekä käyttöajoista. Käyttäjätietoa kerätään jo nyt erilaisiin järjestelmiin, esimerkiksi päivähoitolla on käytössä sähköiset järjestelmät, joihin merkitään sekä etukäteen suunnitellut hoitoajat että merkitään saapumiset ja poistumiset päiväkodista. Eli tästä järjestelmästä saa-

daan tietoa käyttöajoista ja -asteista. Myös eri tilojen ajanvarausjärjestelmät tuottavat tietoa käyttöajoista. Lukujärjestysten teko ja luokkien varauksetkin ovat osin sähköisiä. Avoimissa julkisissa tiloissa kuten kirjastoissa voidaan käyttää käyttäjämäärälaskijoita sijoitettuna sisääntuloon. Myös läsnäolotunnistusta käyttävät erilaiset valaistuksen ja ilmanvaihdon säätöjärjestelmät. Tiedot näistä järjestelmistä tarvitaan sekä energiankulutuksen seurantajärjestelmiin että rakennusautomaatiojärjestelmään, jos halutaan kehittää energiatehokkuuden mittaamista. Saatava tiedon ongelmana on tietosisällön saamisen lisäksi tiedon oikea-aikaisuus ja tiedon laatu. Tiedon siirtämisen ongelmana ovat rajapinnat eri järjestelmien välillä. Jos tietoa halutaan siirtää järjestelmistä toisiin, on jo hankintavaiheessa rajapinnat huomioitava.

Jos ei ole käytössä suoraan sähköisistä järjestelmistä saatavaa käyttäjätietoa, käyttäjätietoa voidaan kerätä vuosittain manuaalisesti käyttäjiltä. Näin saadaan käytön energiatehokkuutta mittaamaan ominaiskulutuksia, joita voidaan käyttää strategisina tunnusluokina. Näiden tunnuslukujen lisääminen nykyään enimmäkseen käytössä oleviin tunnuslukuihin, jotka mittaavat energiankäyttöä suhteessa tilavuuteen tai alaan, olisi suhteellisen helppoa.

Erilaisten alakulutusten mittaaminen parantaa käytön aikaisten ongelmien selvittämistä ja mahdollistaa reagoinnin väärin säätötapoihin. Alamittausten avulla voidaan myös vertailla paremmin toteutuneita kulutuksia tavoitekulutuksiin. Olemassa olevissa kiinteistöissä alamittausten lisääminen ei yleensä ole mahdollista. Siksi alamittausten lisääminen on tärkeää jo rakennusvaiheessa. Näin saadaan mitattua esimerkiksi valaistuksen, iv-koneiden, sulatusjärjestelmien ja keittiöiden sähkönkulutukset erikseen.

Mittauksista saadaan paljon hyödyllistä tietoa. Tieto itsessään ei lisää energiatehokkuutta, vaan tieto on myös analysoitava. Tiedon analysointi valitettavasti vaatii vielä paljon työtä ja siksi tietoa ei ehditä kylliksi analysoimaan. Siksi saatavan mittautustiedon analysointia varten tulee kehittää tiedon automatisoitua analysointia.

## LÄHTEET

BREEAM statistics verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.11.2017): <http://www.green-booklive.com/search/buildingsearch.jsp?id=202&sectionid=0&partid=10023&project-Type=&certNo=&productName=&companyName=&developer=&buildingRating=&certBody=&assessorAuditor=&addressPostcode=&countryId=2&post-code=&scale=7.5>.

Elväs, S. Asiantuntija, Motiva Oy, Helsinki. Haastattelu 9.11.2017.

Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivi 2012/27/EU (EED).

Energiavirasto, Motiva Oy. (2017) Energiatehokkuussopimukset 2017-2025 Säästövaikutusten laskenta ja dokumentointi - Yleisiä pelisääntöjä 9/2017. Saatavissa <http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/wp-content/uploads/Säästöjen-laskenta-ja-dokumentointi.pdf>

Helen sähköverkko internet-sivu. Saatavissa (viitattu 18.11.2017) <https://www.helensahkoverkko.fi/uutiset/2017/siirtohinna-muuttuvat/#miten-teho-maksu-maaraytyy>.

Kaleva, H., Lahtinen, R., Sundbäck, L., Niemi, J. (2011). Kiinteistöjen eko- ja energiatehokkuuden mittarit ja tunnusluvut. KTI Kiinteistötieto Oy. Saatavissa <https://kti.fi/wp-content/uploads/Kiinteist%C3%B6jen-eko-ja-energiatehokkuuden-mittarit-ja-tunnusluvut.pdf>,

Kuittinen, M., le Roux, S. (2017). Vihreä julkinen rakentaminen - Hankintaopas, Ympäristöopas, Ympäristöministeriö, Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4744-9>.

Kunta-alan energiatehokkuussopimus 2017-2025 (2016). Saatavissa: <http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/wp-content/uploads/Kunta-ala.pdf>.

Lempäälän kunnan energiatehokkuustyön toteutuksen raportti 2015 (2016). Lempäälän kunta, Saatavissa: <http://www.lempaala.fi/palvelut/asuminen-rakentaminen-ja-ymparisto/kestava-kehitys/energiatehokkuus-ja-ilmasto/>.

Motiva Oy (2017) Kuntien energiatehokkuussopimuksen ja energiaohjelman vuosiraportti 2016. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/13453/Kuntien\\_energiatehokkuussopimuksen\\_ja\\_energiaohjelman\\_vuosiraportti\\_2016.pdf](https://www.motiva.fi/files/13453/Kuntien_energiatehokkuussopimuksen_ja_energiaohjelman_vuosiraportti_2016.pdf).

Oulun seudun ympäristötoimi (2017) Ilmastostrategiasta käytännön toimiin 1/2017 Saatavissa (viitattu 21.11.2017): [https://www.ouka.fi/documents/173447/249643/Ilmasto-katsaus+1\\_2017.pdf/b966c044-d345-4ec3-a4d9-8e28910abb1e](https://www.ouka.fi/documents/173447/249643/Ilmasto-katsaus+1_2017.pdf/b966c044-d345-4ec3-a4d9-8e28910abb1e)

Outinen, P., Energiavirasto (2017) Esitelmä KETS-yhdyshenkilöpäivät 8.11.2017

Rakentamismääräyskokoelma D3 Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012 (2011). Ympäristöministeriö

Rakentamismääräyskokoelma D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon-  
tarpeen laskenta, ohjeet 2012 (2013). Ympäristöministeriö

Sekki, T. (2017). Evaluation of energy efficiency in educational buildings, Aalto-yli-  
opiston insinööritieteiden korkeakoulu, rakennetun ympäristön laitos, väitöstudium,  
Saatavissa <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-7358-3>

TAPRE-ohje 12 Energianhallinnan mittaukset (2014). Saatavissa: [http://www.tampere.fi/tilakeskus/material/uusikansio/BZ0ARaYnG/Ohje\\_12\\_Energianhall\\_mittaukset.pdf](http://www.tampere.fi/tilakeskus/material/uusikansio/BZ0ARaYnG/Ohje_12_Energianhall_mittaukset.pdf), Tampereen alueen palvelurakennukset energiatehokkaiksi -hanke,

Tuomaala, M., Ahtila, P., Haikonen, T., Kalenoja, H., Kallionpää, E., Rantala, J., Tuominen, P., Shemeikka, J., Rämä, M., Sipilä, K., Pursiheimo, E., Forsström, J., Wahlgren, I. & Lahti, P. (2012). Energiatehokkuuden mittarit ja potentiaalit. Aalto-yliopisto Insinööritieteiden korkeakoulu. Saatavissa [http://lib.tkk.fi/TIEDE\\_TEKNOLOGIA/2012/isbn9789526045047.pdf](http://lib.tkk.fi/TIEDE_TEKNOLOGIA/2012/isbn9789526045047.pdf),

Työ- ja elinkeinoministeriön internet-sivu <http://tem.fi/energiatuki> (viitattu 12.11.2017).

U.S Green Building Council internet-sivut. Saatavissa (viitattu 19.11.2017):  
<https://www.usgbc.org/projects?keys=finland>.