



Tehohallinnan haasteet 2000-luvun pientaloissa

Kari Kallioharju,^a Pirkko Harsia,^a Aki Kortetmäki,^a Matti Kojo,^b Pertti Järventausta^b

a = Tampereen ammattikorkeakoulu

b = Tampereen yliopisto

ISBN: 978-952-03-1384-5

1. Tiivistelmä

Sähkön tuotannon ja kulutuksen muutokset, sähkön riittävyys ja kysyntäjousto ovat globaalisti ajankohtaisia aiheita. Myös Suomessa sähköenergian tuotantomuodot muuttuvat ja hajautuvat sekä tuotannon epävarmuus kasvaa. Samalla kulutuspäässä hetkittäiset sähkötehohiput kasvavat, kun lämmitysmuodot muuttuvat enemmän sähköä hyödyntäviksi, jäähdytyslaitteistot lisääntyvät ja myös sähköautot ovat murtautumassa markkinoille. Edellä mainittujen syiden vuoksi sähkötehojen tarkempi mitoittaminen, ohjaaminen ja seuranta ovat tulevaisuudessa yhä tärkeämmässä roolissa osana toimivaa sähköenergiajärjestelmää.

Tässä julkaisussa selvitetään 2000-luvun pientalojen sähkötehojen suunnitteluun ja hallintaan liittyvää problematiikkaa. Kokonaisuudessaan pientalokanta muodostaa yhden merkittävän osan sähköenergiajärjestelmän muutoksessa. Pientalojen merkitys Suomen koko sähkönkäytön tehoprofiilissa tunnetaan melko huonosti. Kuitenkin vuoden 2016 sähkönkäytön huipputehon (n. 15 000 MW) ajankohtana pientalojen osuus oli arviolta yli neljäsosa. Asumisen koko energian kulutuksesta sähkön osuus on 34 % ja siitä käytetään tilojen ja käyttöveden lämmittämiseen yli 80 %.

Pienkohteissa sähköenergian osto on perustunut energian kokonaismäärän mittaukseen (kWh) sekä mahdollisesti liittymän kokoon, joka määräytyy pääsulakkeiden mukaan. Suuremmissa sähkön käyttöpaikossa - teollisuudessa ja liikerakennuksissa - verkkopalvelumaksuissa on mukana myös tehomaksu sekä pätöteholle että loisteholle. Myös pienkohteiden sähkön hinnoittelussa on lisääntymässä kustannusmallit, joissa energian kulutusmäärän lisäksi maksuperusteena on kohteen tarvitseman sähkötehon suuruus. Mitatun sähkötehon suuruuteen vaikuttaa merkittävästi käytetyn mittausjakson pituus. Kuluttajan sähköenergiankulutuksen laskutus perustuu tällä hetkellä tunneittaiseen energian kulutusmittaukseen. Energiaviraston mukaan Suomessa oltaisiin siirtymässä 15 minuutin tasejaksoon EU:n suuntaaviivojen mukaisesti 18.12.2020 mennessä, jolloin siis 15 minuutin mittausjakso muodostaa sähköenergian mittauksen kaupallisen yksikön. Tämä tulee entisestään korostamaan tehojen suunnittelun ja hallinnan merkitystä.

Tutkimuksien mukaan pientalojen energiankulutus on laskenut, mutta sähkötehovaihtelut ovat kasvaneet laitetehojen kasvaessa ja erityisesti lämmitystapojen muuttumisen vuoksi. Suorasta sähkölämmityksestä ja muista lämmönlähteistä on siirrytty erilaisia lämpöpumppuja suosiviin lämmitysratkaisuihin. Lämpöpumppuihin perustuvien lämmitysjärjestelmien sähköteho vaikutuksen hallinta on sisällytetty myös Antti Rinteen hallitusohjelmaan. On tärkeä ymmärtää, että pientalon pieni energiankulutus ja tehokäyttäytyminen eivät ole tyypillisesti verrannollisia keskenään, vaan vuositasolla vähän energiaa kuluttava pientalo voi aiheuttaa suurempia tehohippuja kuin enemmän kuluttava talo - varsinkin, jos lämmitys perustuu yhteen lämmityslaitteeseen, jolloin risteilyä lämmityslaitteiden välillä ei tapahdu. Haasteita pientalojen tehojen hallinnassa syntyy erityisesti suunnittelijavastuiden ja -prosessien puutteista määräystasolla, suuritehoisten kuluttajalaitteiden suosimisesta (esimerkiksi saunojen muuttuessa kiuastehot ovat kasvaneet), puutteellisilla lähtötiedoilla tehdyistä laite- ja järjestelmävalinnoista ja tehojen ohjauksen puuttumisesta.

Pientalojen sähkötehojen hallinta tulevaisuudessa vaatii, että energiatehokkuuden sijaan tulee alkaa suunnitella kohteiden resurssitehokkuutta, joka huomioi energian kokonaiskulutuksen lisäksi rakennuksen tehontarpeen ja tehokäyttäytymisen. Energiatehokkuuslainsäädäntö ja selvitys tulisikin uudistaa sellaiseksi, että se huomioisi koko kiinteistön tekniset laitteet ja laitteistot ja niiden sähkötehot sekä ohjattavuuden osana laskentaa. Myös talotekniikan suunnittelun ja suunnittelijoiden vaatimuksia tulisi säädöksissä yhdenmukaistaa, ja vahvistaa rakennusvalvontojen osaamista, käytänteitä ja valmiutta valvoa vaatimuksien toteutumista. Lisäksi taloteknisten järjestelmien suunnittelun tueksi tulisi luoda mittauksiin ja tutkimuksiin perustuvat yhtenäiset mitoitus- ja suunnitteluohjeistukset.

2. Ongelma

2.1 Tausta

Maailman ja myös Suomen sähköenergian tuotantomuodot muuttuvat ja hajautuvat ja tuotannon epävarmuus kasvaa. Tuotannon muuttuessa myös sähkön kulutus ja kulutuskäyttäytyminen muuttuvat. Kokonaisenergiankäyttö yksittäisissä kulutuskohteissa pienenee, mutta verkon sähkötehovaihtelut kasvavat. Sähkötehojen tarkempi mitoittaminen, ohjaaminen ja seuranta ovatkin tulevaisuudessa yhä tärkeämmässä roolissa osana toimivaa, luotettavaa ja resurssiviisasta sähköenergiajärjestelmää. Sähkötehojen huomiointi korostuu tulevaisuudessa myös muuttuvien sähkön laskutustapojen johdosta, kun energiaperusteisen tuntilaskutuksen rinnalle tulee tehoon perustuvia kustannuskomponentteja.

Tässä julkaisussa käsitellään 2000-luvun pientalojen sähkötehojen suunnitteluun ja hallintaan liittyvää problematiikkaa. Pientalokanta muodostaa yhden merkittävän osan sähköenergiajärjestelmän muutoksessa. Pientalojen merkitys Suomen koko sähkönkäytön tehoprofiilissa tunnetaan melko huonosti. Kuitenkin vuoden 2016 sähkönkäytön huipputehon (n. 15 000 MW) ajankohtana pientalojen osuus oli arviolta yli neljäsosa (Heljo et al. 2016). Asumisen koko energiankulutuksesta sähkön osuus on 34 % ja kulutuksesta käytetään tilojen ja käyttöveden lämmittämiseen yli 80 % (Tilastokeskus 2017).

Pienkohteissa sähköenergian osto on perustunut energian kokonaismäärän mittaukseen (kWh) sekä mahdollisesti liittymän kokoon, joka määräytyy pääsulakkeiden mukaan. Suuremmissa sähkön käyttöpaikossa - teollisuudessa ja liikerakennuksissa - verkkopalvelumaksuissa on mukana myös tehomaksu sekä pätöteholle että loisteholle. Myös pienkohteiden sähkön hinnoittelussa on lisääntymässä kustannusmallit, joissa energian kulutusmäärän lisäksi maksuperusteena on kohteen tarvitseman sähkötehon suuruus. Mitatun sähkötehon suuruuteen vaikuttaa merkittävästi käytetyn mittausjakson pituus. Kuluttajan sähköenergian kulutuksen laskutus perustuu tällä hetkellä tuntienenergioiden mittaukseen. Energiaviraston (Energiavirasto 2018) mukaan Suomessa oltaisiin siirtymässä 15 minuutin tasejaksoon EU:n suuntaviivojen mukaisesti 18.12.2020 mennessä, jolloin 15 minuutin mittausjakso muodostaa myös sähköenergian mittauksen kaupallisen yksikön. Tämä tulee entisestään korostamaan tehojen suunnittelun ja hallinnan merkitystä.

Kiinteistön sähkötehontarve ja tehon käyttöprofiili muodostuvat monen valinnan ja mitoituksen yhteisvaikutuksena. Näistä suurin osa tehdään rakennuksen suunnittelu- ja toteutusvaiheessa. Tässä vaiheessa tehdyt ratkaisut vaikuttavat pitkälle tulevaisuuteen. Valinnoilla saattaa olla käyttäjälle merkittäviä taloudellisia vaikutuksia sähkön hinnan ja hinnoitteluperiaatteiden muuttuessa. Rakennuksen tilaajan asettamat tavoitteet tilojen koolle, toiminnalle ja varustelutasolle ovat eri osaratkaisujen lähtökohtana. Niin säädökset, kuin tilaajan tavoitteet vaikuttavat erityisesti lämmitystarpeeseen ja lämmitysratkaisuihin. Suunnitteluratkaisuihin vaikuttavia tavoitteita ovat myös esimerkiksi omatuotannon hankinta tai sähköauton latausmahdollisuus. Tehojen hallinta erilaisin mittauksin ja ohjauksin edellyttää tilaajalta myös automaation tavoitteiden määrittelyä ja järjestelmähankintaa. Tilaaja on vastuussa siitä, miten kohteen kokonaissuunnittelu ja eri osaratkaisujen yhteensovittaminen toteutetaan. Rakentamisvaiheessa tehdään vielä erillishankintoja, laitemuutoksia tai asennustapamuutoksia, joilla voi olla vaikutusta kokonaistrakaisuun, eri laitteiden ohjattavuuteen tai yhteensopivuuteen. Näiden

muutosten merkityksen arviointi on haasteellista ja edellyttäisi kaikilta osapuolilta kokonaisuuden tuntemusta.

Tehoja voidaan ohjata kiinteistön sisäisesti tai ulkoisilla ohjaustiedoilla. Tehojen ohjauksen edellytykset syntyvät ohjausratkaisujen avulla. Eri laiteryhmiä, erityisesti lämmityksen, osalta perusohjausratkaisut ja säätötavat vaikuttavat siihen, miten eri laitetehot kytkeytyvät ajallisesti tai käyttötarpeen mukaan käyttöön. Tehojen risteilyllä tai tehovahdeilla voidaan estää laitteiden samanaikainen päälle kytkeytyminen. Tästä esimerkkinä on sähköyhtiöiden yleisesti ennen 2000-lukua edellyttämä sähkökiukaan ja sähkölämmityksen vuorottelukytkeä. Siitä luovuttiin, kun sähkölain muutokset poistivat kannustimet ohjata sähkötehoja. Laitteiden päälle kytkeytymistä voidaan ohjata myös hintatiedolla tai tehorajoitusohjauksella. Näistä yleisimmin on ollut käytössä sähkön kaksiaikahinnoittelu, verkkoyhtiön tehorajoitusohjaus (aiemmin verkkokäsyohtaus) ja tuntihinnoiteltu sähkö.

2.2. Miten energiatehokkuuslainsäädäntö tukee tehojen suunnittelua?

Lähtökohtaisesti energiatehokkuuslainsäädäntö ohjaa pääosin vuositason energiankäyttöä, mutta myös tehokäyttäytymisestä on mainintoja. Rakentamisen keskeisenä lainsäädäntönä toimii maankäyttö- ja rakennuslaki (135/1999), joka sisältää vaatimuksen energiankulutukselle ja tehontarpeelle:

“Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan siten, että energiaa ja luonnonvaroja kuluu säästeliäästi. ...

... Rakennuksessa käytettävien rakennustuotteiden ja taloteknisten järjestelmien sekä niiden säätö- ja mittausjärjestelmien on oltava sellaisia, että energiankulutus ja tehontarve rakennusta ja sen järjestelmiä käyttötarkoituksensa mukaisesti käytettäessä jää vähäiseksi ja että energiankulutusta voidaan seurata.”

Maankäyttö- ja rakennuslain pohjalta ympäristöministeriö antaa asetuksia. Ympäristöministeriön

asetus uuden rakennusten energiatehokkuudesta (1010/2017) 3 § edellyttää, että uudisrakennus suunnitellaan niin, että se käyttötarkoituksensa mukaisesti on:

1) energiatehokkuudeltaan joko laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun) tai rakenteellisen energiatehokkuuden mukainen;

2) on rakennuksen lämpöhäviöltään vähäiselle energiantarpeelle edellytykset luova;

3) on energiatehokas laskennalliselta kesäajan huonelämpötilaltaan, energiankäytön mittaamiseltaan, lämmön ja sähkön tehon tarpeeltaan sekä käytettäessä koneellista ilmanvaihtojärjestelmää myös ilmanvaihtojärjestelmän ominais-sähkäteholtaan.”

Lisäksi asetuksen 32 § määrittää rakennuksen lämmön ja tehontarpeesta:

“Rakennuksen lämmitysjärjestelmän lämmitysteho on mitoitettava siten, että rakennuksen tilojen suunnitellut lämpöolot ja ilmanvaihto voidaan ylläpitää rakennuksen sijaintipaikkakunnan mukaisen säävyöhykkeen mitoittavilla ulkolämpötiloilla.

Suunnittelussa on otettava huomioon mahdollisuuksia sähkön huipputehon tarpeen pienentämiseksi ja sähkötehon ohjattavuuden parantamiseksi.”

Ennen vuotta 2017 ei asetuksissa ole ollut viittauksia sähkön huipputehosta tai sen hallinnasta, eikä asetuksen kohtia ole vielä otettu laajasti käyttöön uusia pientaloja suunniteltaessa ja toteutettaessa.

Energiatehokkuusvaatimusten täytyminen tulee esittää rakennuslupavaiheessa energiaselvityksellä. Energiaselvitys sisältää arviot vuosien energiankulutuksesta, rakennuksen lämmitystehontarpeesta, ilmanvaihtojärjestelmän ominais-sähkätehosta ja kesäaikaisesta huonelämpötilasta. Energiaselvityksen keskeisenä osana on energiatodistus. Sitä on päivitettävä ennen rakennuksen käyttöönottoa, jos lupavaiheen energiaselvityksen perusteena oleviin suunnitelmiin on tullut muutok-

sia. Energiaselvityksen laskelmat perustuvat rakennuksen vakioituun käyttöön, jossa lähtökohana on laskennalliset tehotarpeet ja vakioidut käyttöajat. Laskenta tarkastelee ainoastaan rakennusten sisäpuolista kulutusta eikä siinä ole mukana asuinrakennuksissa merkittäviä laiteryhmiä, kuten kiukaita, autolämmitystä tai sähköauton latausta. Energiatehokkuuslaskenta ei myöskään suoraan anna tietoa siitä, millainen sähköteho tarve kiinteistössä on. Lisäksi E-lukua määrittäessä painotetaan eri energiamuodot energiamuotokertoimella, jolloin E-luvusta ei suoraan voi päätellä rakennuksen tehotarpeita tai energian käytön ajoitusta. Nykyisessä muodossaan energiatehokkuustavoitteet ja -ohjaus voivat siis johtaa jopa aiempaa suurempiin tehotarpeisiin ja heikentää näin järjestelmän kokonaisresurssitehokkuutta.

2.3 Miten suunnittelu- ja suunnittelijavaatimukset vaikuttavat tehojen ja teho-ohjauksien suunnitteluun?

Taloteknisten järjestelmien suunnittelu on määritelty maankäyttö- ja rakennuslaissa (135/1999) ja sitä on tarkennettu valtioneuvoston asetuksella (214/2015). Maankäyttö- ja rakennuslain perusteella annetuissa tarkentavissa asetuksissa määritellään vaatimuksia kiinteistön suunnitelmille ja suunnittelijoille. Teknisten järjestelmien suunnitelmat laativat erityissuunnittelijat, joista yksi on nimettävä kunkin erityisalan kokonaisuudesta vastaavaksi erityissuunnittelijaksi. Vastaavan erityissuunnittelijan on huolehdittava, että erillistehtävinä laaditut suunnitelman osat muodostavat keskenään toimivan kokonaisuuden. Talotekniikkaa ei näissä säädöksissä ole käsitelty kokonaisuutena, jolloin sille ei myöskään nimetä vastaavaa erityissuunnittelijaa eikä *taloteknisten järjestelmien kokonaisuudesta tai yhteensovittamisesta ole kenelläkään suunnittelijalla vastuuta.*

Erytisjärjestelmien suunnittelijoiden ja -suunnittelun pätevyysvaatimuksia on asetettu ilmanvaihdon sekä vesi- ja viemäri-laitteiston suunnittelijalle. Nämä suunnitelmat myös vaaditaan esimerkiksi rakennusvalvojien toimesta. *Myös lämmitysjärjestelmän suunnittelu vaaditaan, mutta koska lämmitysjärjestelmän suunnittelijalle ei ole ase-*

tettu pätevyysvaatimuksia, ei lämmitysjärjestelmälle nimetä vastuullista suunnittelijaa ja vain harvat kuntien rakennusvalvonnat vaativat lämmityksestä mitään suunnitelmia.

Sähkösuunnittelu oli 1990-luvun lopulle asti sähkötyötä, jolla piti olla nimettynä sähkötöiden johtaja. Samoin silloiset sähköyhtiöt olivat viranomaisasemassa ja ne asettivat vaatimuksia suunnitelmille ja asennusten dokumentoinnille. Sähkölain uudistus sähköturvallisuuslaiksi ja sähkömarkkinalaiksi poisti sähkösuunnittelun sähkötöiden määrittelystä, jonka jälkeen ei sähkö- ja automaatiojärjestelmien suunnittelulle ja suunnittelijalle ole asetettu säädöksissä vaatimuksia tai teknisiä tavoitteita. Sähköasennuksien turvallisuudesta vastaa sähköturvallisuuslain perusteella edelleen sähkötöiden johtaja. *Ongelma siis on, että sähkö- ja automaatiojärjestelmille ei säädösten perusteella tarvitse nimetä suunnittelijaa eikä myöskään suunnitelmia vaadita.*

2.4 Miten sähköalan määräykset ja ohjeistukset ohjaavat tehojen suunnittelua?

Suomen sähkösuunnittelun perustana toimii sähköturvallisuuslaki (1135/2016). Sähköturvallisuuslain perusteella TUKES vahvistaa velvoittavat asennusstandardit "SFS6000 Pienjännitesähköasennukset" -sarjana. Lähtökohtaisesti asennusstandardit käsittelevät tehoa ainoastaan suojausten ja laite- ja kaapelimitoitusten kautta. Sähkölaitteiden ja -asennusten huipputehot ja niitä vastaavat virtojen suuruudet vaikuttavat sähköverkon johtimien ja suojalaitteiden mitoittamiseen. SFS6000:51:2017 kohta 2.1.4 määrittää tehosta:

"Sähkölaitteiden tehon on sovittava normaaleihin käyttötilanteisiin, kun otetaan huomioon tasoituskerroin. "HUOM. Tasoituskertoimella tarkoitetaan numeerisena tai prosenttiarvona ilmaistua sähkölaitteiden tai sähkönkuluttajien ryhmän yhteistä huipputehoa määrättynä ajanjaksona verrattuna niiden yksittäisten huipputehojen summaan samana ajanjaksona.""

Yksittäisen laitteen osalta käytetään mitoittavan tehona laitteen nimellistehoa. Laiteryhmän osalta joudutaan arvioimaan esimerkiksi keskiteho. Standardi ei ota suoraan kantaa, kuinka pitkä on keskitehon arvioitu ajanjakso.

Kiinteistön liittymistehon mitoittaa sähkösuunnittelija, jos sellainen on valittu. Koska velvoittavissa asennusstandardeissa ei käsitellä tarkemmin tehojen mitoitusta, on liittymän huipputehon mitoitukseen olemassa ohje, Sähköinfon ST-kortti 13.31 (Sähköinfo Oy 2018). Kortti määrittelee pientalon sähkötehon mitoitukseen kaksi menetelmää, joiden käyttö ja käytettävyys on kuitenkin hankalaa. Ensimmäinen vaihtoehto on käyttää mitoitukseen kokemusperäisiä kaavoja, jotka ovat viime vuosituhalta eivätkä sen vuoksi ole uusien kohteiden mitoituksessa kovin käyttökelpoisia. Toinen kortin antama vaihtoehto on laskea yksitellen kohteen laitetehot ja arvioida sen jälkeen laitteiden käyttöasteita suunnittelijan määrittelemässä huippukuormitustilanteessa omien kokemusten perusteella. Koska uusien pientalojen seurantamittauksia on hyvin vähän olemassa, voi mitoittaminen johtaa täysin väärään liittymistehoon.

Liittymän alimitoitus ja teho-ohjauksien puuttuminen voi aiheuttaa huippukuormitustilanteissa pahimmillaan pääsulakkeiden palamisen ja sähkönsyötön katkeamisen. Jos tämä tapahtuu esimerkiksi saunoessa, voi sähkönsyötön katkeaminen aiheuttaa jopa turvallisuusriskin, varsinkin kun pientalojen pääkeskus sijaitsee nykyään hyvin usein ulkona tai esimerkiksi autotallin seinässä. Liittymän ylimitoitus johtaa puolestaan aina suurempaan liittymiskustannukseen ja kasvattaa myös sähkölaskua.

2.5 Mistä 2000-luvun pientalon huipputeho muodostuu?

Tutkimusten perusteella (Kallioharju et al. 2015; Harsia et al. 2019) suurimmat sähkötehohuiput 2000-luvulla rakennetuissa pientaloissa aiheutuvat erityisesti lämmityksestä, käyttöveden lämmityksestä ja sähkökiukaista. Muilla tehoilla ei juurikaan ole merkitystä, jos kohteessa on sähköön perustuva lämmitysmuoto ja sähkökiuas. Sähkötehojen hallitsemiseksi olisi siis erityisen tärkeää suunnitella lämmitysjärjestelmä ja sähköjärjestelmä huolellisesti. Järjestelmien yhteistoiminta ja sähkötehojen ohjattavuus ja tulevaisuuden muutokset tulisi myös suunnitella kokonaisuutena. On myös tärkeää ymmärtää, että pientalon

pieni energiankulutus ja tehokäyttäytyminen eivät ole verrannollisia keskenään, vaan vuositasolla vähän energiaa kuluttava pientalo voi aiheuttaa suurempia tehohuippuja kuin enemmän kuluttava talo - varsinkin, jos lämmitys perustuu yhteen lämmityslaitteeseen, jolloin risteilyä lämmityslaitteiden välillä ei tapahdu. Lisäksi pienet tuntikeskitehot eivät varsinkaan lämpöpumppukohteissa kerro vielä paljoakaan hetkittäisestä tehokäyttäytymisestä. "SÄTE-opas" -tutkimuksen tutkimuskohteiden mittauksissa (Harsia et al. 2019) pientalon 15 minuutin keskiteho oli jopa 26 % ja yhden minuutin keskiteho jopa 51 % suurempi kuin saman ajankohdan tuntikeskiteho.

Jos lämpöpumppu tai sähkökattila toimii pientalon päälämmityslaitteena, on se suuri yksittäinen sähkötehohuippujen aiheuttaja. Vaikka vuositasolla lämpöpumppukohteen energiankäyttö on suorasähkölämmitteistä kohdetta pienempi, ovat tehohuiput suhteessa pientalon keskitehoon suurempia kuin suorasähkölämmityskohteessa. Lisäksi tehohuippuja syntyy usein tilanteessa, jossa sähkönkäyttö Suomessa on muutoinkin suurta, esimerkiksi pitkien pakkasjaksojen aikana. Lämpöpumppuihin perustuvien lämmitysjärjestelmien sähköteho vaikutuksien hallinta on sisällytetty myös Antti Rinteen hallitusohjelmaan. (Valtioneuvosto 2019).

Päälämmityslaitteina käytetään maalämpöpumppuja (MLP), ilma-vesilämpöpumppuja (VILP, UILP) tai poistoilmalämpöpumppuja (PILP). Maalämpöpumppujen suosio on pudonnut viimeisten vuosien aikana pientalojen lämmitysratkaisuna, jolloin yhä useammin päädytään poistoilmalämpöpumppuun tai ilma-vesilämpöpumppuun (SULPU 2019). Suurimmat syyt muutokselle ovat lämpöhäviöiden pieneminen, pienempien valmistalojen yleistymisen ja maalämpöpumppujen huomattavasti korkeammat hankintakustannukset verrattuna muihin lämpöpumppuihin.

Lämpöpumppujen mitoituksessa voidaan maalämpöpumppujen (MLP) kohdalla käyttää niin sanottua täystehomitoitusta tai osatehomitoitusta. Osatehomitoitetussa ratkaisussa osa lämmitysenergiasta tuotetaan muulla lämmöntuototavalla, pientaloissa yleensä aina sähkövastuksilla.

Poistoilmalämpöpumppujen (PILP) tai Ilma-vesi-lämpöpumppujen (VILP tai UILP) kohdalla täystehomitoittaminen ei ole käytännössä mahdollista, vaan ne ovat aina osatehomitoitettuja. Täystehomitoitettu maalämpöpumppujärjestelmä on elinkaarikustannuksiltaan nykyisillä kustannusmalleilla kalliimpi ratkaisu kuin osatehomitoitettu, joka saattaa johtaa osatehomitoitettuun ratkaisuun.

Lämpöpumput ovat tehokäyttäytymiseltään suurelta osin 2000-luvulla toteutetuissa pientaloissa päälle/pois-tyyppisiä sähkökuormia sekä kompressoreiden että sähkövastusten osalta. Kompressoreiden sähkötehot ovat tyypillisesti pumpusta riippuen 0,5 – 5,0 kW välillä ja sähkövastukset 6 – 12 kW välillä. Osassa käytössä olevia lämpöpumppuja sähkövastukset voivat kytkeytyä käyttöön portaittain, esimerkiksi kolmessa tehoportaassa. Lisäksi lämpöpumppujen invertteriohjatut kompressorikäytöt ovat yleistymään päin, jolloin kompressorin sähkötehoa säädetään portaattomasti. Kustannusten vuoksi tällaiset lämpöpumput ovat kuitenkin vielä harvinaisia.

Yhden haasteen pientalojen lämpöpumppujen mitoittamiseen aiheuttaa vielä suuret portaat laitteiden nimellislämpötehojen välillä. Jos esimerkiksi kohteeseen halutaan valita päälämmityslaitteeksi maalämpöpumppu ja kohteen lämpöhäviöt ovat mitoituslämpötilassa 7,5 kW, voi ongelmaksi tulla, että haluttua lämmityslaitetta ei saa kuin 6 kW tai 9 kW teholla. Valitaanko siis tässä tilanteessa maalämpöpumppu 80 % osateholla ja tuotetaan osa tehosta sähkövastuksilla vai 20 % ylittehoiseksi, jolloin lämpöpumppu on kalliimpi ja sen hyötysuhde ei ole välttämättä paras mahdollinen, mutta sähkövastuksia ei välttämättä jouduta käyttämään.

Lämpöpumppujen suurimmat sähkötehohuiput muodostuvat tyypillisesti tilanteissa, jossa lämmityksen lisäksi tarvitaan lämmintä käyttövedettä. Vaikka lämpöpumppu olisi pyritty mitoittamaan ns. täystehopumpuksi, joudutaan hyvin usein käyttöveden lämmitykseen käyttämään lämpöpumpun kompressorin lisäksi sen sisäisiä sähkövastuksia. Ongelma liittyy mitoittustapaan, joka ei

tyypillisesti sisällä käyttöveden tehontarpeen mitoitusta, vaan ainoastaan lämmitystehontarpeen. Lämpimän käyttöveden käyttö tapahtuu usein myös samaan aikaan, kun kohteessa käytetään muutenkin paljon sähkötehoa synnyttäviä laitteita, kuten sähkökiuasta, pesukoneita tai liettä.

Kallioharju et al. (2015) ja Harsia et al. (2019) ovat havainneet, että merkittävimmät sähkötehohuiput suhteessa kohteen keskitehoon muodostuvat sähkökiukaalla varustetuissa lämpöpumppukohteissa saunomisen aikana. Suoraan sähkölämmitykseen tai sähkökattilalämmitykseen perustuvissa kohteissa sähkötehot saattoivat olla keskimäärin suurempia kuin lämpöpumppukohteissa, mutta tehojen vaihtelu on pienempää johtuen suuremmista lämminvesivaraajista ja lämmityslaitteiden risteilystä. Suuremman lämminvesivaraaja suunnittelu kohteeseen olisi käytännössä aina järkevää sähkötehojen hallintaa ajatellen. Kuitenkin energiatehokkuus selvityksen laskennassa suurempi lämminvesivaraaja huonontaa yleensä E-lukua, koska varaajan lämpöhäviöt kasvavat.

Pientalon lämmitysjärjestelmän suunnittelu on myös prosessi, joka ei nykyisellään ole optimaalinen järjestelmän energia- ja tehokäyttäytymisen kannalta. Suorasähkölämmitysjärjestelmän suunnittelee yleensä sähkösuunnittelija, jolloin kokonaisvastuu järjestelmästä on yhdellä taholla. Lämpöpumppu- tai sähkökattilajärjestelmän kohdalla tilanne on toinen. Koska talotekniikan erikoisjärjestelmien vastuusuunnittelijaa ei pientaloissa nimetä ja lämmitysjärjestelmän vastuusuunnittelijaa ei vaadita, ei LVI-suunnittelija suunnittele lämmitysjärjestelmää, ellei suunnittelua tilata erikseen. Vastuusuunnittelijan puuttuminen aiheuttaa sen, että eri järjestelmäosien suunnittelu on hajautunut tyypillisesti tilaajan ja laite- ja järjestelmätoimittajien kesken. Tyypillinen tilanne esimerkiksi lämpöpumppujärjestelmää suunniteltaessa on, että lämmitysmuodon (esim. maalämpö, poistoilmalämpöpumppu, tms.) valitsee tilaaja ja valinta tapahtuu pahimmassa tapauksessa vain mielikuvien ja hankintakustannusten perusteella. Lämmityslaitteen valitsee tarjouspyyntöön perustuen laitetuottaja, joka mitoittaa laitteen ja

mahdolliset keruupiirit, esimerkiksi kaivot. Mitoitus perustuu tyypillisesti rakennuksen lämpöhäviöihin, mutta pahimmillaan lämmityslaitteita suunnitellaan vain rakennuksen pinta-alaan tai tilavuuteen perustuen ja mitoituksessa käytetään laitevalmistajien mitoitusohjelmia. Lämpimän käyttöveden tarve huomioidaan mitoituksessa vain harvoin, jolloin täystehomitoitettu laitekin jää usein osatehomitoitetuksi tilanteessa, jossa tarvitaan lämpöä tilojen lämmitykseen ja käyttöveteen. Maalämpökaivoja mitoittaessa oleellinen asia olisi myös tietää tontin maaperän lämpökapasiteetti, mutta sitä ei pientalokohteissa selvitetä. Lämmönjakojärjestelmän (vesikiertoinen lattialämmitys) suunnittelee käytännössä aina järjestelmätoimittaja joko LVI-suunnittelijan tai asiakkaan pyynnöstä. Mitoitusneliöteho on tyypillisesti vakio kohteesta riippumatta.

Edellä kuvattu hajanainen suunnittelu ja puutteelliset ja ristiriitaiset lähtötiedot johtavat helposti lämmityslaitteen väärään mitoitukseen, jolloin sähköenergiankäyttö ja sähkötehot saattavat kasvaa välittömästi tai pitkän ajan kuluessa. Yksi esimerkki pitkän ajan kuluessa tapahtuvasta sähköenergian ja tehonkäytön kasvusta voi tapahtua maalämpöjärjestelmässä, johon on mitoitettu liian pieni maalämpökaivo. Kun kaivo alkaa vuosien saatossa viilentyä, ei maasta saada enää riittävästi energiaa ja sähkönkäyttö kasvaa lämpöpumpun hyötysuhteen heikentyessä ja sähkövastusten käytön lisääntyessä.

Sähkökiuas on lämpöpumpun ohella pientalon suurin kulutuslaite, kun tarkastellaan yksittäisiä sähkötehoja. Sähkökiukaan toiminta on päälle/pois-tyyppistä ja sähkökiukaiden teho on kasvanut vuosien varrella ihmisten mieltymysten, suurempien saunojen ja saunojen lisääntyneiden lasi- ja kiviseiniä vuoksi. Kun ennen tyypillinen kiuasteho oli 6 kW, suositaan nyt suurempia, 7-9 kW tai jopa yli 10 kW kiukaita (Kallioharju 2019). Sähkökiukaan mitoitus on sähkösuunnittelijan tehtävä, mutta lopullisen hankintapäätöksen tekee tilaaja. Usein päädytään suurempaan kiukaaseen, koska hintaerot eivät ole suuria ja asukas kokee, että suuressa kiukaassa ainakin teho riittää. E-luku ei myöskään huomioi sähkökiuasta osana rakennuksen energiankulutusta, jolloin

saunan koolla ja rakenteella ja sähkökiukaan teholla ei ole merkitystä rakennuslupaa haettaessa.

2.6 Miten tehojen ohjaukseen on varauduttu?

Sähkötehoja on ennen 2000-luvun taitetta ohjattu ja rajoitettu sähköyhtiöiden toimesta. Tehojen sisäinen ja ulkoinen ohjaus koski sähkölämmitteisiä asuinrakennuksia. Vuoteen 1986 asti sähköyhtiöillä oli käytössä jokaisella omat ohjeet kiinteistön tehojenohjauksesta. Vuonna 1986 Sähkölaitosyhdistys julkaisi SLY-kytkentäsuosituksen, joka uudistettiin vuonna 1992. Sähkölämmityksen kytkentäsuositus (SLY 7/92) on käytössä edelleen hyvin laajasti sähkölämmitteisissä pientaloissa. Vakiokytkentä on antanut yhteisen pohjan kytkennän periaatteille ja merkinnöille. Se on osaltaan mahdollistanut myös sen, että sähkölämmityskohteisiin on saatavilla vakiokeskuksia. Edelleen useilla verkkoyhtiöillä on ohjeita, joissa sähkölämmityskohteisiin ohjeistetaan suunnittelemaan SLY-kytkennän mukainen rakenne. Koska sähköyhtiöiden ansaintalogiikat muuttuivat, ei sähkömittarin kautta tulevaa ulkoista tehojenohjausta enää juurikaan hyödynnetä ja suuri osa tehokytkennöistä on myös tällä hetkellä pois käytöstä, koska uusien AMR-mittareiden vaihdon yhteydessä osa johdotuksista jätettiin monen verkkoyhtiön alueella tekemättä. Uusissakin sähkölämmityskohteissa on kuitenkin SLY-kytkennän johdosta esimerkiksi sähkökiukaan ja lämmityslaitteiden välinen rakennuksen sisäinen vuorotte-lukytkentä käytössä. Tämä tarkoittaa, että sähkökiukaan ollessa päällä osa sähkölämmityksistä on hetkellisesti sammutettu. (Järventausta et al. 2015)

2000-luvulla tehdyissä pientaloissa lämmitysjärjestelmien ohjattavuudessa on suuria eroja riippuen lämmöntuottotavasta tai lämmityslaitteesta. Suoraan sähkölämmitykseen tai sähkökattilaan perustuvissa kohteissa sähkötehojen ohjattavuus on toteutettu huomioiden ulkoiset ohjaukset ja sisäiset risteilyt (SLY-kytkentä) tai suurien tehojen sisäinen risteily on toteutettu (esimerkiksi sähkökattila ja kiuas). Jos sähkölämmityskohteissa ei ohjauksia ole toteutettu, on niihin kuitenkin pääsääntöisesti varauduttu ainakin kaapeloinnein (esim. kiuasristeily), kun taas lämpö-

pumppukohteissa varautumista ei ole tehty. Lämpöpumppukohteissa myöskään tehojen ulkoista ohjausta ei ole otettu huomioon. Joissain kohteissa lämpöpumpulta on kuitenkin saatettu kaapeloida ns. tehovahdit mittaamaan liittymän tai lähimmän ryhmäkeskuksen virtaa, jotta keskusta syöttävät sulakkeet eivät pala. (Harsia et al. 2019.)

Lämpöpumppulaitteiden ohjattavuus vaihtelee merkittävästi valmistajasta ja mallista riippuen. Ohjaustavat vaihtelevat myös paljon ei-ohjattavista kattavasti automaatiolla ohjattaviin. Suurimassa osassa lämpöpumppuja on ainakin joitain ohjausmahdollisuuksia, mutta merkittävimmät ongelmat liittyvät siihen, että ohjattavuuden tarvetta ei ole mietitty laitetta valittaessa, jolloin ohjattavuus ei välttämättä sovellu kohteen tarpeisiin tai ohjauskaapelointeja tai muuta varautumista lämmityslaitteen ohjaamiselle ei ole kiinteistössä tehty. Lämpöpumppulaitteen ohjausmahdollisuuksiin voi esimerkiksi kuulua sähkövastuksien tai kompressorin toiminnan ohjaus tai molemmat. Sähkökiukaiden rakenne on sellainen, että niistä saadaan käytännössä aina päällä-olotieto, jolla voidaan esimerkiksi ohjata muita laitteita pois päältä.

Ohjattavuuden lisääminen pientalojen järjestelmiin on jälkikäteen hankalaa tai mahdotonta, koska kaapelointeja ei välttämättä saada enää jälkikäteen toteutettua tai lämmityslaitetta ei voida lainkaan ohjata. Lisäksi lämmityslaitteiden ohjattavuuteen liittyvien ohjeistuksien hankkiminen voi jälkikäteen olla hankalaa ja ohjeistukset voivat olla ammattilaisillekin hyvin vaikeita tulkita. SÄTE-oppaan tutkimuksissa (Harsia et al. 2019) kuitenkin havaittiin, että ohjauksilla (esim. kiuasristeily) voitaisiin sähkötehohippuja leikata merkittävästi myös lämpöpumppukohteissa olosuhteisiin ja käyttömukavuuteen vaikuttamatta. Muuhun tulevaisuuden varautumiseen pientaloissa kuuluisi myös varautuminen sähköautojen lataamiseen tai aurinkosähköjärjestelmien lisäämiseen. Tällaisia varautumisia ei pientaloissa ole tehty. Vähimmillään varautuminen tarkoittaisi syöttökaapelointien ja ohjauskaapelointien tai kaapelireittien toteutusta rakennusvaiheessa sekä riittävien tilavausten jättämistä keskuksiin ja teknisiin tiloihin.

3. Ratkaisut

3.1 Lainsäädännön ja määräysten tarkentaminen energia- ja tehonäkökulmasta

Energiatehokkuuslainsäädännössä on mainintoja tehojen huomioinnista, mutta kohteen kokonais-sähkötehojen laskentaa ei tehdä ja tehojen ja ohjauksien määrittely laskennassa ja suunnittelussa on puutteellista. Lakisäätteistä rakennuksen energiaselvitystä tulisi kehittää suuntaan, jossa energian lisäksi huomioitaisiin myös rakennuksen tehokäyttäytyminen ja sähkötehot. Kyseessä olisi-kin siis ennemminkin rakennuksen resurssitehokkuusselvitys. Selvitystä pitäisi myös kehittää siten, että siinä huomioitaisiin koko kiinteistö kaikkine kulutuslaitteineen, tai ainakin suurimpien tällä hetkellä puuttuvien laitteiden osalta (esimerkiksi sähkökiuas). Tehojen ohjauksen toteutus kohteessa olisi hyvä myös huomioida laskennassa, koska ohjauksella tehokäyttäytymistä saataisiin tasoitettua ja hallittua. Yksi vaihtoehto olisi ottaa osaksi energiaselvitystä esimerkiksi EU-tasolla määrittelyssä oleva rakennuksen SRI-indikaattori (Smart Readiness Index), joka huomioi tehojen ohjauksen lisäksi rakennuksen muun ohjauksen ja ohjauksiin varautumisen. Tämä mahdollistaisi osaltaan myös rakennuksen sähkö- ja automaatiojärjestelmien perustavoitteiden määrittelyn, jota ei nykyisissä asetuksissa ole tehty. Lisäksi energialaskentaa tulisi tarkentaa lämpöpumppujärjestelmien mitoituksen osalta (esimerkiksi maalämmön osa- tai täystehomitoitus), jotta mitoitus ohjautuisi myös tehojen hallinnan kannalta haluttuun suuntaan. Lämminvesivaraajan huomiointi energialaskennassa tulisi myös toteuttaa eritavalla, jotta tehokäyttäytymistä tasaavasta suuremmasta varaajasta ei rankaistaisi E-lukua laskettaessa.

Lainsäädännössä olisi hyvä ottaa kantaa myös laitevalmistajien teknisen dokumentoinnin tasosta, jotta laitetehojen ja tehojen hallinnan suunnittelu ja toteutus olisi helpompaa. Uusien laitteiden lisäksi tulisi varmistaa vanhojen laitteiden dokumentoinnin saatavuus, jos tehojen ohjausta halutaan suunnitella ja toteuttaa kohteessa rakennuksen käyttöönoton jälkeen.

3.2 Lainsäädännön ja määräysten tarkentaminen suunnittelijoita, suunnittelua ja toteutusta koskien

Säädökset määrittelevät tällä hetkellä talotekniikan suunnittelun ja suunnittelijoiden vaatimukset vain osittain. Lainsäädäntöä tulisi tarkentaa siten, että koko talotekniikan suunnittelun vaatimukset yhdenmukaistettaisiin vähintään suunnittelijapätevyyksien ja dokumenttien osalta. Myös erikoisjärjestelmien vastuusuunnittelijan vaatiminen tulisi tuoda esiin korostetummin. Yksi vaihtoehto olisi esimerkiksi, että talotekniikan vastuusuunnittelijan nimeäminen ja tiedot vaadittaisiin kirjaamaan erikseen kaikkiin dokumentteihin tai tiedot toimitettaisiin muulla tavoin rakennusvalvontaan.

3.3 Suunnitteluprosessien, ohjeistusten ja yhteisten toimintamallien kehittäminen

Sähkötehojen mitoituksessa on nykyisen ohjeistuksen vuoksi liikaa epävarmuutta eikä pientalojen todellista sähkötehokäyttäytymistä tunneta riittävän hyvin. Sähkötehojen mitoituksen tueksi tulisi luoda käytännön mittauksiin ja tutkimuksiin perustuvat tehoprofiilit ja mitoitusohjeet, joilla voitaisiin suunnitella sähkötehot ja sähkötehoikäyttäytyminen nykyistä luotettavammin. Energiatehokkuudelle asetettavat tavoitteet ja niiden toteutuminen edellyttävät huolellista suunnittelua ja suunnittelun ohjaamista sekä eri järjestelmien yhteensopivuuden ja yhteistoiminnan varmistamista. Talotekniikan järjestelmäkokonaisuuksien suunnitteluun ja hallintaan tulisikin kehittää yhtenäiset, ei järjestelmäkohtaiset suunnitteluohjeistukset. Ohjeistuksissa tulisi kuvata suunnittelu- ja toteutusprosessien lisäksi esimerkiksi kokonaisjärjestelmän dokumentointi, laitevalintojen merkitys ja yleisimmät ohjausmahdollisuudet tai niihin varautuminen. Tällaisilla ohjeistuksilla varmistettaisiin järkevien ja resurssiviisaisten taloteknisten kokonaisjärjestelmien suunnittelu ja toteutus, ja voitaisiin myös varmistaa, että järjestelmissä on valmius myös tulevaisuudessa tehtäviin järjestelmä- ja ohjausmuutoksiin.

4. Päätelmät ja suositukset päätöksentekijöille

1. Energiatehokkuus tulisi nähdä energian kokonaiskulutuksen lisäksi myös resurssitehokkuutena, jolloin tehotarve tulee olla mukana tarkasteluissa.
2. Energiatehokkuuslainsäädäntö- ja selvitys tulisi uudistaa sellaisiksi, että ne huomioivat koko kiinteistön tekniset laitteet, laitteistot ja niiden sähkötehot osana laskentaa. Myös kiinteistön järjestelmien ohjattavuus tulisi huomioida laskennassa. Selvityksen tulisi painottua nykyistä enemmän pelkän energian sijaan myös tehojen arviointiin, jolloin kyseessä olisi energiaselvityksen sijaan resurssitehokkuusselvitys.
3. Säädöksen talotekniikan suunnittelua koskevat vaatimukset tulisi yhdenmukaistaa sekä suunnittelijapätevyyksien että vaadittujen dokumenttien osalta. Talotekniikka tulisi nähdä erikoisjärjestelmäkokonaisuutena, jolle tulisi määritellä kokonaisuudesta vastaava vastuusuunnittelija osana suunnitteluprosessia.
4. Kuntien rakennusvalvonnan käytänteitä ja valmiutta sekä osaamista vaatia ja arvioida lain- ja asetusten määrittelemiä erityisjärjestelmien suunnittelijoita ja suunnitelmia tulisi valtakunnallisesti tutkia ja kehittää.
5. Sähkötehojen suunnittelun tueksi tulisi luoda mittauksiin ja tutkimuksiin perustuvia mitoitusohjeita. Taloteknisille järjestelmille tulisi luoda myös yhteneväiset, kattavat suunnitteluohjeistukset.

Lähteet

Energiavirasto. 2018. Ei perusteita poikkeukseen 15 minuutin taseselvitysjaksoon siirtymisen aikataulussa (29. 10 2018). Noudettu osoitteesta <https://www.energiavirasto.fi> (20.9.2019)

Harsia, P., Järventausta, P., Hilden, A., Kallioharju, K., Kortetmäki, A., Koskela, J., Mutanen, A., Rautiainen, A., Supponen, A., Uusitalo, S. ja Heljo, J. 2019. SÄTE-opas. Opas pientalojen suunnitteluun: Sähkötehojen hallinta osana rakennuksen energiatehokkuutta. Tampereen yliopisto. Noudettu osoitteesta <https://projects.tuni.fi/sate/julkaisut/> (20.9.2019)

Heljo, J., Harsia P., Holttinen H., Aalto, P., Björkqvist T., Järventausta P., Kaivo-oja J., Kojo, M., Korpela T., Rautiainen, A., Repo, S., Ruostetsaari, I. ja Sorri, J. 2016. EL-TRAN analyysi. Tammikuun tehopiikki – mitä tapahtui 7.1.2016?. EL-TRAN konsortio. Noudettu osoitteesta <https://el-tran.fi/analyysit/> (20.9.2019)

Järventausta, P., Repo, S., Trygg, P., Rautiainen, A., Mutanen, A., Lummi, K., Supponen, A., Heljo, J., Sorri, J., Harsia, P., Honkiniemi, M., Kallioharju, K., Piikkilä, V., Luoma, J., Partanen, J., Honkapuro, S., Valtonen, P., Tuunanen, J. ja Belonogova, N. 2015. Kysynnän jousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli): Loppuraportti. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Noudettavissa osoitteesta https://tutcris.tut.fi/portal/files/4776899/kysynnän_jousto_loppuraportti.pdf

Kallioharju, K. 2019. Sähkökiuaskysely kiuastoimittajille ja -valmistajille 8.4.2019.

Kallioharju, K., Honkiniemi, M., Juvela, J-P., Lipsanen, E. & Uusitalo, S. 2015. Vuoreksen energiaseuranta- ja olosuhdehanke. Loppuportti. Noudettu osoitteesta <http://tate.blogs.tamk.fi/vuores/vuores-hanke/vuoreksen-seurantahankkeen-julkaisuja/> (20.9.2019)

Maankäyttö- ja rakennuslaki 135/1999. (20.9.2019)

SFS. 2017. SFS 6000:51:2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-51: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Yleiset säännöt. (20.9.2019)

SULPU ry. 2019. Suomen lämpöpumpputilastot. Noudettu osoitteesta <https://www.sulpu.fi/tilastot> (20.9.2019)

Sähköinfo Oy. 2018. Sähkötietokortisto. ST 13.31 Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen. (20.9.2019)

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2016. Sähköturvallisuuslaki 1135/2016 (16. 12 2016). (20.9.2019)

Tilastokeskus. 2018. Asumisen energiakulutus energialähteittäin vuonna 2017. Noudettu osoitteesta https://www.stat.fi/til/asen/2017/asen_2017_2018-11-22_kuv_001_fi.html (20.9.2019)

Valtioneuvosto. 2015. Valtioneuvoston asetus rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokkien määräytymisestä VN214/2015. (20.9.2019)

Valtioneuvosto 2019. Valtioneuvoston julkaisu 2019:23. Pääministeri Antti Rinteen hallituksen ohjelma 6.6.2019: Osallistava ja osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto. Noudettu osoitteesta http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161662/Osallistava_ja_osaava_Suomi_2019_WEB.pdf?sequence=1&isAllowed=y (18.11.2019)

Ympäristöministeriö. 2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017. (20.9.2019)

EL-TRAN -konsortio tutkii, mitä resurssitehokas sähköjärjestelmä tarkoittaa, miten se toteutetaan, millaisia politiikkaongelmia sen toteutuksessa kohtaamme ja kuinka lopulta ratkomme niitä. Hanketta koordinoi Tampereen yliopisto, ja siinä ovat mukana Itä-Suomen yliopisto, Turun yliopisto, VTT ja Tampereen ammattikorkeakoulu.

Aiemmat EL-TRAN -analyysit

| | |
|--------|--|
| 1/2016 | Miten toteutetaan resurssitehokkaampi ja ilmastoneutraali sähköenergiajärjestelmä? |
| 2/2016 | Miten sähkön siirtohintoja voidaan korottaa? Kansainvälisen investointioikeuden näkökulma |
| 3/2016 | Yksilö energiapolitiikan keskiössä – aurinkoenergian sääntelystä Suomessa |
| 4/2016 | Pohjoismaiden energiapolitiikka 2030: hiileneutraalimpaan energiajärjestelmään osin yhdessä, osin eri polkuja pitkin |
| 5/2016 | Resurssitehokkaampi ja ilmastoneutraalimpi energiajärjestelmä, mutta miten? Suomalaiset avaintoimijat vastaavat |
| 6/2016 | Suomalaiset eivät lämpene sähköautoille – miten kiinnostus sytytetään? |
| 7/2016 | Tammikuun tehopiikki – mitä tapahtui 7.1.2016? Miten tehoa hallitaan paremmin jatkossa? |

- 1/2017 Edellytykset kysyntäjoustop toteutumiselle kiinteistöissä
- 2/2017 Energy Union, renewable energy and the 'Winter Package'
- 1/2018 EL-TRAN – konsortion yhteiskunnallinen vaikuttavuus 2015–2017
- 2/2018 Miten sähköautopolitiikalla edistetään joustavampaa sähköjärjestelmää?
- 3/2018 Mikroverkkojen vaikutuksesta sähkön toimituksen luotettavuuden parantajana
- 4/2018 Suomalaiset sähkön käyttäjinä ja tuottajina: valmius kysyntäjoustopon ja omakohtaiseen sähköntuotantoon
- 5/2018 Sähköautopolitiikat Pohjoismaissa – mitä keinoja Suomi voi hyödyntää?
- 6/2018 Voiko raskas tieliikenne siirtyä biokaasuun?
- 1/2019 Bioenergia ilmastonmuutoksen torjunnassa – suomalaisten avaintoimijoiden näkemyksiä
- 2/2019 Sähkön varastointi edistää aurinkosähkön pientuotantoa