

Kiinteistöjen kustannustehokkaat energiatohokkuustoimet sekä uudet teknologiat

Kiinteistöjen kustannustehokkaat energiatehokkuustoimet sekä uudet teknologiat

Julkaisijat:

Motiva Oy

Tilaaajan edustajat:

Harri Heinaro, Motiva Oy
Jaakko Ketomäki, Motiva Oy

Laatijat:

Jukka Huttunen, Granlund Oy
Timo Karvinen, Granlund Oy
Markus Kurkinen, Granlund Oy
Petri Piironen, Granlund Oy
Pasi Poikonen, Granlund Oy
Vili Tuomisaari, Granlund Oy

Copyright Motiva Oy, Helsinki, 31.12.2024

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo	3
1 Johdanto	5
2 Yleistä	6
3 Lämmitys, jäähdytys ja ilmanvaihto	8
3.1 Ilmanvaihto	8
3.1.1 Ilmanvaihdon hallinta	8
3.1.2 Lämmöntalteenoton jäätymiseneston ehkäisy esilämmityksellä	9
3.2 Lämmitys	9
3.2.1 Patteriventtiilien liittäminen rakennusautomaatiojärjestelmään	9
3.2.2 Dynaamiset patteriventtiilit	10
3.2.3 Etäohjattavat langattomat termostaatit	11
4 Ulkovaippa	12
4.1 Lämpökuvaus	12
4.2 U-arvon mittaus	12
4.3 Ilmatiiveyden mittaus	12
4.4 Dynaaminen ulkovaippa	13
5 Valaistus	15
6 Seuranta ja ohjaus	17
6.1 Tarpeenmukaisuus	17
6.1.1 Läsnaoloseuranta ja ihmismäärälaskenta	18
6.1.2 Sääolosuhteet ja -ennusteet	20
6.1.3 Seuranta ja analytiikka	21
6.1.4 Käytönaikainen optimointi	22
6.2 Datan saatavuus ja hyödynnettävyys	23
6.2.1 Tiedonvakiointi, harmonisointi ja strukturointi	24
6.2.2 Tietomallit ja digitaaliset kaksoiset	26
6.2.3 Tiedonkeruu	26
6.2.4 Integraatiot ja tietoturva	27
7 Kulutusjousto	29
7.1 Joustokyvyn käyttökohteet	29

7.2	Valaistus	30
7.3	Ilmanvaihtokoneet	31
7.4	Varavoimakoneet	32
7.5	Akkujärjestelmät	32
7.6	Sähkökattilat	33
7.7	Lämpöpumput ja vedenjäähdytyskoneet	33
7.8	Sähköautot ja sähköautojen lataus	33
7.9	Kaukoenergia	34
7.10	Kulutusjouaston kannattavuus	34
8	Muita energiatehokkuustoimenpiteitä	37
8.1	Kiinteistökohtainen tuulivoima	37
8.2	Polttokennot	38
8.3	Kaksisuuntainen kaukolämpö	38
9	Älyvalmiusindikaattori	39
10	Yhteenveto	41

Tämä raportti on laadittu Motiva Oy:n toimeksiannosta ja käsittelee kiinteistöjen kustannustehokkaiden energiatehokkuustoimien sekä uusien teknologioiden selvitystä. Selvitystyön ovat rahoittaneet Energiavirasto ja ympäristöministeriö osana kiinteistöalan energiatehokkuussopimuksen toimeenpanon tukea sekä rakennusten energiatehokkuusdirektiivin mukaisen rakennusten älyvalmiusindikaattorin valmistelua.

Energiatehokkuusdirektiivin muutos lokakuulta 2023 tuo mukanaan entistä tiukempia vaatimuksia energiatehokkuustavoitteiden osalta. Tämä edellyttää järjestelmällisempää työtä ja uusien, vähemmän tunnettujen keinojen hyödyntämistä energiatehokkuustoimissa. Kiinteistöalalla on jo toteutettu monia kannattavia ja tuttuja energiansäästötoimia ja nämä ovatkin näkyneet erittäin hyvinä tuloksina kiinteistöalan energiatehokkuussopimuksissa.

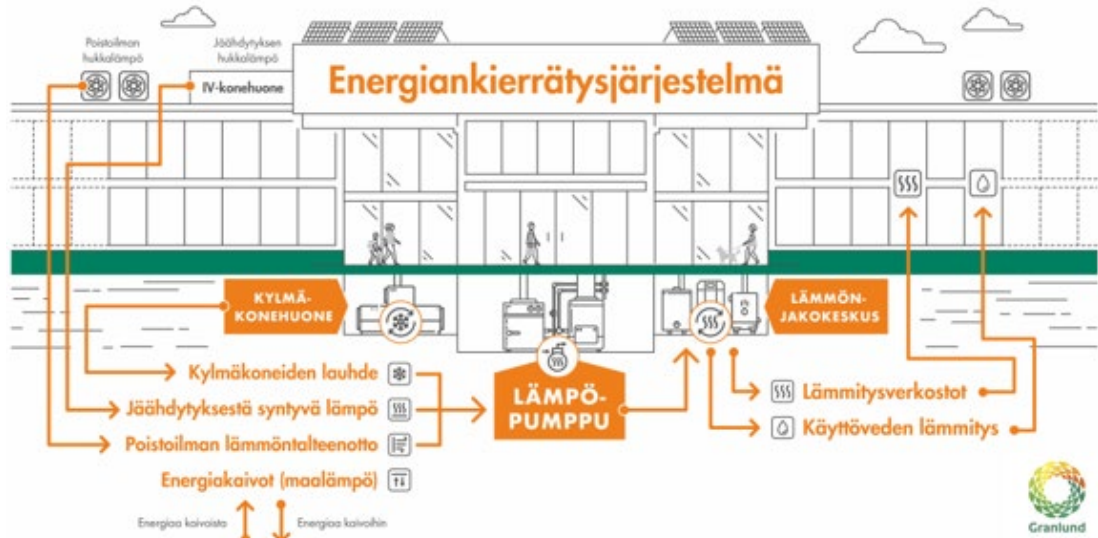
Selvityksen tavoitteena on tarjota kattava näkymä Suomen toimitilakiinteistöihin toteutettavista energiatehokkuusratkaisuista tällä hetkellä ja tulevaisuudessa. Selvityksessä kartoitetaan uusia kustannustehokkaita keinoja kiinteistöjen energiatehokkuuden parantamiseksi, arvioidaan niiden käyttöastetta ja kypsyydestä sekä arvioidaan niiden säästöpotentiaalia ja kannattavuutta. Lisäksi tarkastellaan, miten nykyiset rakennusten talotekniset järjestelmät vastaavat älyindikaattorin (Smart Readiness Indicator, SRI) vaatimukseen ja mitkä uudet järjestelmät voivat parantaa rakennusten älyvalmiuksia tulevaisuudessa.

Selvitystyössä hyödynnetään monipuolisia tietolähteitä, kuten Granlundin aiemmin tekemiä selvityksiä ja kehitysprojekteja, sekä asiantuntijahaastatteluja. Raportti sisältää myös esimerkkejä toteutetuista energiatehokkuustoimista ja niiden vaikutuksista. Työn tulokset esitetään sekä kirjallisessa raportissa että tiivistetyssä PowerPoint-esityksessä.

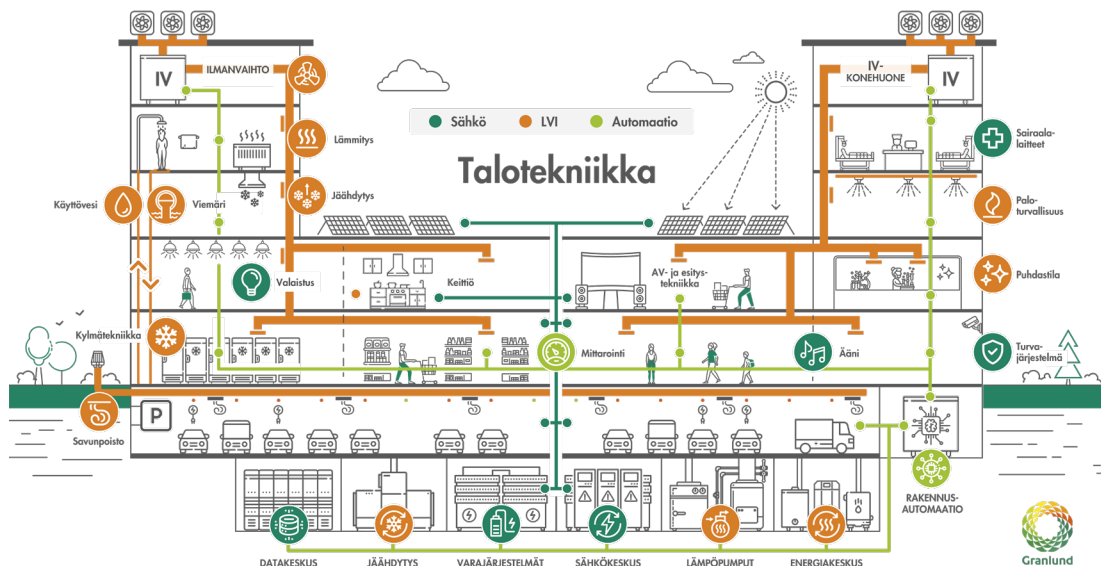
Energiatehokkuus on keskeinen tekijä kestäväen kehityksen ja ilmastonmuutoksen torjunnan kannalta. Kiinteistöjen energiatehokkuuden parantaminen tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia vähentää energiankulutusta ja hiilidioksidipäästöjä. Tämä raportti tarkastelee uusimpia teknologioita ja mahdollisuuksia, jotka voivat edistää kiinteistöjen energiatehokkuutta.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU asettaa yhteisen kehysten energiatehokkuuden edistämiseksi EU:ssa. Direktiivi sisältää säännöksiä julkisten rakennusten korjaamisesta, energiatehokkaiden tuotteiden ja palvelujen hankinnasta sekä energiansäästövelvoitteista. Lisäksi se korostaa energiatehokkuuden parantamista lämmityksen ja jäähdytyksen osalta sekä energiatehokkuuskatselmusten merkitystä.

Rakennussektori vastaa merkittävästä osasta energiaperäisistä CO₂-päästöistä, ja nykyisten rakennusten päivittäminen on välttämätöntä hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamiseksi. Keskeisiä ratkaisuja energiatehokkuuden parantamiseen ovat muun muassa puhtaan sähkön hankinta, polttoprosessien sähköistäminen, energiatehokkuusinvestoinnit ja operatiiviset parannukset. Näistä kolme ensimmäistä on jo melko tuttuja Suomen rakennusmarkkinassa, joskin näissäkin riittää vielä tekemistä. Jälkimmäinen kuitenkin tarjoaa edelleen merkittäviä mahdollisuuksia kiinteistöjen omistajille, jotka ovat onnistuneet jo leikkaamaan merkittävimmät energiahukat toiminnastaan ja siirtymään uusiutuvien energiamuotojen käyttöön (ks. Kuva 1). Seuraava etappi on talotekniikan kokonaisoptimointi, jossa on vielä huomattavasti kehittämisen varaa. Taloteknisiä järjestelmiä, jotka tavalla tai toisella vaikuttavat kiinteistön toimintaan ja energiatehokkuuteen, on erittäin monta (ks. Kuva 2) ja hankkeet, jotka huomioivat kaikkien tarpeenmukaisen yhteistoiminnan, ovat vielä harvinaisia. Uusia energiatehokkuutta parantavia teknologioita ja laiteversioita tulee myös säännöllisesti markkinoille, mutta uusia kustannustehokkaita yhden teknologian ratkaisuja on enää vähän tarjolla. Lämpöpumput kokonaisuudessaan katsottiin tässä raportissa jo vakiintuneeksi tekniikaksi, joten niitä ei ole tarkasteltu erikseen energiatehokkuuden näkökulmasta, mutta kulutusjouston osalta niissä nähtiin vielä mahdollisuuksia.



Kuva 1. Energiankierrätysjärjestelmät ovat jo melko tuttuja kokonaisuuksia (Kuva: Granlund Oy).



Kuva 2. Talotekniikassa on paljon optimoitavaa kokonaisuutena (Kuva: Granlund Oy).

Digitaalinen kypsyyt ja tekoälyyn perustuvat ratkaisut voivat merkittävästi parantaa rakennusten energiatehokkuutta. Digitaalisesti kypsät rakennukset voivat optimoida toimintaansa reaaliajassa, mikä johtaa suurempiin päästövähennyksiin ja kustannussäästöihin. Tulevaisuudessa, ja jossain määrin jo nyt, pilvipohjainen analytiikka, ennakoiva kunnossapito ja digitaaliset kaksoiset tulevat olemaan keskeisessä roolissa energiatehokkuuden parantamisessa. Pilvipohjaiset työkalut mahdollistavat energian ja hiilidioksidin käytön seurannan reaaliajassa, kun taas tekoälyyn perustuva ennakoiva toiminnan optimointi ja järjestelmien kunnossapito parantaa laitteiden suorituskykyä ja vähentää käyttökatkoksia. Digitaaliset kaksoiset puolestaan mahdollistavat uusien rakennusten paremman suunnittelun ja optimoinnin alusta alkaen.

3 Lämmitys, jäähdytys ja ilmanvaihto

Toimistorakennusten lämmitys ja jäähdytys tapahtuu tyypillisesti ilmanvaihtokoneilla yhdistettynä radiaattoreihin ja jäähdytyslaitteisiin. Uudemmissa kohteissa voi olla lisäksi käytössä säteilypaneeleita, jotka voivat toteuttaa sekä lämmityksen että jäähdytyksen. Näiden toimintojen yhdistäminen energiankierrätysjärjestelmiin on jo tavallista toimintaa. Kokonaisoptimointi, tarpeenmukaisuus ja esimerkiksi päällekkäisen lämmityksen ja jäähdytyksen ohjelmallinen estäminen on kuitenkin vielä paikoittain puutteellista. Lisäksi energiatehokkuutta voi vielä parantaa uudemmilla teknologioilla ja toteutusratkaisuilla.

Lämmitykseen ja jäähdytykseen pätevät samat tarpeenmukaisuus- ja säädettävyyshuomiot. Tässä kuvataan näitä toimenpiteitä vain lämmityksen kannalta.

3.1 Ilmanvaihto

3.1.1 Ilmanvaihdon hallinta

Toimistorakennuksissa, joissa on keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä ja tehokas lämmöntalteenotto, energiankäytön optimoinnissa on paljon haasteita. Suunnitteluvaiheessa on usein mahdotonta ennustaa kunkin tilan tarkkaa käyttöä, mikä johtaa oletuksiin, jotka perustuvat maksimaaliseen käyttöasteeseen ja käyttöön sen varmistamiseksi, että järjestelmä pystyy käsittelemään huippukuormia. Tämä lähestymistapa voi johtaa yliarvioituihin lämmitys- ja jäähdytystarpeisiin sekä ilmanvaihtotarpeeseen, mikäli toimintaa ei käyttöönoton jälkeen mukauteta todelliseen tarpeeseen.

Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla voidaan vähentää energiankulutusta merkittävästi. Järjestelmä säättää ilmapirta reaaliaikaisten mittausten, kuten käyttöasteen, lämpötilan ja CO₂-pitoisuuden perusteella. Ilmanvaihtokoneiden modernisointi taajuusmuuttajilla tai EC-moottoreilla varustettuihin puhaltimiin mahdollistaa puhaltimen nopeuden ja ilmavirran tarkan hallinnan. Tarpeenmukaistamisella voidaan saada merkittäviä säästöjä puhaltimien sähkönkäytöstä ja ilmavirran kokonaisvähennys on myös usein huomattava ja vaikuttaa merkittävästi lämmönkulutukseen. Pienempi ilmapirta voi johtaa jopa 25 %:n energiasäästöihin joissakin toimistorakennuksissa, jopa 9 %:n säästöön ilmanvaihtolämmityksessä ja vastaavaan vähennykseen jäähdytys-sähkössä. Ilmanvaihdon palvelualueiden tarkastelu on tärkeää, jotta kutakin vyöhykettä mitataan ja säädetään asianmukaisesti. Rakennusautomaatiojärjestelmän asetusarvoihin reagoivilla toimilaitteilla varustetut säätöpellit varmistavat, että ilmapirta säädetään reaaliaikaisen tarpeen mukaan vyöhyke- tai jopa tilakohtaisesti.

Tulo- ja poistoilmamäärien tasapainotus on myös erittäin tärkeää ilmanvaihdon energiatehokkuuden kannalta. Yli- tai alipaine johtaa helposti tehottomuuksiin. Kiinteistön käytön aikana tasapaino voi helposti horjua, mikäli esimerkiksi yksittäisen puhaltimen ilmamäärää muokataan ilman, että vastaava tulo- tai poistoilmamäärä kompensoidaan muualla. Tähän auttaa usein samaa palvelualueetta palvelevien puhaltimien esittäminen samassa säätö- ja prosessikaaviossa, mikä voi etenkin vanhoissa kiinteistöissä olla puutteellista. Ilmamäärien tasapainotuksen kannattavuus riippuu lähtötilanteesta, mutta on silti syytä tehdä aina vähintään

muutosten yhteydessä, koska epätasapainoa ei välttämättä havaita käytön aikana. Lisäämällä paine-eromittauksia kiinteistön vaipan yli voidaan pyrkiä havainnoimaan vallitsevia yli- tai alipainetiloja, mutta täysin kattava seuranta vaatii paljon antureita, mikä tekee toimenpiteestä helposti kannattamattoman. Muutaman suuntaa antavan mittauksen toteutus voi kuitenkin olla kannattavaa suurempien epäkohtien havaitsemiseksi. Toisaalta kattavan seurannan toteuttaminen lisää tietoa rakennuksen toiminnasta eri tilanteissa, millä voi olla myös muuta arvoa kuin vain energiansäästöllä saavutettava kustannussäästö, mikä voi parantaa toteutuksen kannattavuutta. Ks. myös kappale 4 Ulkovaippa.

Tuloilman lämpötilan alentaminen yhdellä asteella lämmityskaudella ja sen nostaminen yhdellä asteella jäähdytyskaudella on tehokas tapa säästää energiaa. Nämä säädöt voidaan usein tehdä vaikuttamatta merkittävästi sisätilojen lämpömukavuuteen käytettyjen päätelaitteiden tyyppin mukaan. Nykyaikainen rakennusautomaatio pystyy seuraamaan ja ennustamaan uudelleenlämmityksen vasteaikoja historiallisten käyttöastetietojen sekä CO₂-pitoisuuden ja ilman lämpötilan reaaliaikaisten mittausten perusteella. Rakennusautomaatiojärjestelmä voi lisäksi säätää tuloilman lämpötiloja dynaamisesti lämmityksen ja jäähdytyksen kuormitushuippujen välttämiseksi ja siten vähentää energiankulutusta ja kustannuksia.

Edellä esitetyt toimenpiteet vaativat usein lisäanturointia sekä ohjelmointimuutoksia automaatiojärjestelmään, mutta ovat tyypillisesti investointikustannuksiltaan alhaisia. Asetusarvojen ja ohjausten muutokset maksavat usein itsensä takaisin jopa alle vuodessa, riippuen lähtötilanteesta.

3.1.2 Lämmöntalteenoton jäätymiseneston ehkäisy esilämmityksellä

Ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenottoyksiköihin voi muodostua jäätä, kun ulkolämpötila laskee pakkasen puolelle. Tämä heikentää merkittävästi järjestelmän tehokkuutta ja voi johtaa vaurioihin. Nykyisin yleinen ratkaisu on seurata LTO-yksikön poistokanavapuolen paine-eroa ja sen perusteella ohjata LTO:ta huurteenestolle ennen pahempaa jäätymistä. Tämä on yleensä kustannustehokas toimenpide toteuttaa, mikäli se puuttuu ilmanvaihtokoneesta.

Tuloilman esilämmitys on myös osoittautunut tehokkaaksi ratkaisuksi ongelmaan. Ilman esilämmityksen perusajatuksena on nostaa lämmöntalteenotto-osalle tulevan ilman lämpötila huurteen muodostuspisteen yläpuolelle ennen kuin se virtaa lämmönsiirtimeen. Vaikka esilämmitys vaatii lisää energiaa, se voi johtaa nettoenergiansäästöihin ylläpitämällä lämmöntalteenotto-prosessin korkeaa hyötysuhdetta, lyhentämällä sulatusjaksojen tiheyttä ja kestoa sekä pidentämällä lämmönsiirtimen käyttöikää. Ratkaisu on erityisen hyödyllinen jälkiasennettaessa ilmanvaihtokoneeseen, jossa on levylämmönsiirrin tai roottori. Suunnittelussa tulee huomioida kiinteistön hukkalämpöjen hyödyntäminen tähän esilämmitystarkoitukseen, mikäli mahdollista, mutta ratkaisu on usein kannattava, vaikkei hukkalämpöä olisikaan käytettävissä.

3.2 Lämmitys

3.2.1 Patteriventtiilien liittäminen rakennusautomaatiojärjestelmään

Toimistorakennusten vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä on suunniteltu pitämään sisäilman lämpötila vähintään noin 18°C koko lämmityskauden ajan mukaan lukien normaalin käyttöajan

ulkopuolella, kuten viikonloppuisin ja juhlapyhinä. Tarkoituksena on minimoida uudelleenlämmitysaika sammutuspäivien jälkeen.

Varustamalla myös patteriventtiilit rakennusautomaatiojärjestelmään liitetyillä toimilaitteilla ja säätämällä niitä tarpeenmukaisesti voidaan tehostaa toimintaa. Lämmityksessä saavutettava energiansäästö on maltillista (noin 4–5 % luokkaa), mutta tiloissa, joissa on myös jäähdystystä, voidaan joissain tapauksissa saavuttaa merkittäviä säästöjä varmistamalla, ettei tilassa tapahdu päällekkäistä lämmitystä ja jäähdystystä. Päällekkäisyyttä syntyy helposti kiinteistön käyttövaiheessa, kun lämmityksen tai jäähdytyksen asetuksia muokataan muuttamatta vastaavasti toisen prosessin asetuksia. Ohjelmallisella säädöllä voidaan saavuttaa seuraavia tehostuksia:

- Lämpötilan säätö käyttöasteen perusteella.
- Lämpötilan säätö ulkolämpötilan perusteella.
- Matalammat sisälämpötilat lämmityspiikkien aikana.
- Lämmitysenergian kulutuksen aleneminen ja painehäviöiden pieneneminen, mikä johtaa pumpun energiansäästöön.
- Tarkempi säätö asetusarvojen mukaan, eliminoiden käytännössä lämpötilan vaihtelut parantaen käyttäjien mukavuutta.

Etenkin vanhoissa rakennuksissa on vielä tyypillistä, että on käytössä perinteisillä termostaattisilla venttiileillä varustettuja radiaattoreita ja muita lämmityslaitteita. Uudisrakennuksissa on jo melko yleistä, että kaikki venttiilit liitetään rakennusautomaatiojärjestelmän säätöön ja tämän tulisikin olla aina uudisrakennusten, mutta myös korjaushankkeiden, suunnittelun lähtökohta. Perinteisten termostaattiventtiilien uusiminen yksinään ei kuitenkaan ole lähtökohtaisesti kustannustehokas toimenpide, mutta tehtynä osana laajempaa saneerausta voi olla kannattava. Uusinta voi vaikuttaa myös käyttömukavuuteen, minkä lisäksi se mahdollistaa tarkemman toiminnan optimoinnin, mikä on välttämätöntä hiilineutraaliutta tavoiteltaessa.

3.2.2 Dynaamiset patteriventtiilit

Perinteiset termostaattisilla venttiileillä varustetut radiaattorit säätävät virtausnopeutta paikallisten lämpötilojen perusteella, mikä edellyttää, että järjestelmän tasapainotus toimii suunnitellulla tavalla. Perinteisten venttiilien korvaaminen dynaamisilla patteriventtiileillä tuo useita etuja:

- Tasainen virtaus: Dynaamiset venttiilit ylläpitävät tasaista virtausta järjestelmän paineenvaihteluista riippumatta, mikä takaa tarkemman lämpötilan säädön.
- Vähemmän manuaalista tasapainotusta: Dynaamiset venttiilit yksinkertaistavat tasapainotusprosessia ja vähentävät ylimääräisten linjasäätöventtiilien tarvetta.
- Tarpeenmukaisuus: Myös dynaamiset venttiilit perinteisten venttiilien tapaan voidaan integroida rakennuksen hallintajärjestelmiin, mikä mahdollistaa lisäksi kappaleessa 3.2.1 kuvatut hyödyt.

Erään laitevalmistajan tutkimusten mukaan järjestelmällä on 20–50 %:n energiansäästöpotentiaali ja takaisinmaksuaika on alle kolme vuotta. Toki laitevalmistajan antamiin lupauksiin on suhtauduttava kriittisesti.

3.2.3 Etäohjattavat langattomat termostaatit

Markkinoilta löytyy järjestelmiä, joissa asennetaan jokaiseen radiaattoriin oma etäohjattava termostaatti, joka säättää radiaattorin läpi menevää virtausta huoneen lämpötilaan perustuen. Termostaatissa on keskitettyyn järjestelmään verrattuna samanlaisia säätöominaisuuksia, kuten sääennusteisiin ja huoneistojen opittuun lämpödynamiikkaan perustuvaa säätöä. Huonekohtainen järjestelmä säättää jokaisen huoneen lämmityspatteria erikseen. Huonekohtainen säätö on tarkempaa kuin keskitetty säätö, eikä se ole niin riippuvainen verkoston tasapainotuksesta. Huonekohtaisen järjestelmän termostaatit vaativat WLAN-tukiasemat rakennukseen, koska niiden säätö tapahtuu pilvipalvelun kautta. Järjestelmään voidaan lisätä myös kauko-ohjattava linjasäätöventtiili sekä ohjattava kiertovesipumppu.

Muutamilta laitevalmistajilta löytyy edellä kuvatun kaltaisia järjestelmiä, jotka ovat alun perin kehitetty asuinkerrostaloihin, mutta soveltuvat rajoitetusti myös toimistokiinteistöihin, mikäli esimerkiksi rakennusautomaatiojärjestelmä ei mahdollista radiaattoriventtiilien säätöä yhtä kustannustehokkaasti. Käytettäessä erillisjärjestelmää tulisi kuitenkin huomioida yhteistoiminta rakennusautomaatiojärjestelmän kanssa, mikäli tällainen löytyy kiinteistöstä.

Rakennuksen ulkovaipan energiatehokkuuteen vaikuttaa merkittävästi asennuksen laatu, mikä usein aliarvioidaan rakennuksen energiatehokkuudesta käytävissä keskusteluissa. Vaikka rakennusmääräykset asettavat perustandardit yksittäisille rakennusosille, tuloksena oleva lämpötekninen toimivuus voi vaihdella huomattavasti kohteesta toiseen. Esimerkiksi seuraavissa tutkimuksissa on tuotu esiin lasketun ja mitatun energiatehokkuuden välinen ero:

- BRE Report: In-situ measurements of wall U-values in English housing // Prepared for: Alex Boss, DECC 4th July 2014.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). (2019). Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen.

Perinteiset arviointimenetelmät perustuvat usein teoreettisiin arvoihin ja oletuksiin, mikä voi johtaa merkittäviin eroihin todellisiin mittauksiin verrattuna. Ulkovaipan ongelmat voivat vaikuttaa merkittävästi tehtyjen energiatehokkuustoimenpiteiden tehokkuuteen ja takaisinmaksu-aikaan.

Seuraavaksi käydään läpi mittausmenetelmiä ulkovaipan ongelmakohtien kartoittamiseksi. Mittaustekniset yksityiskohdat on jätetty tämän selvityksen ulkopuolelle.

4.1 Lämpökuvaus

Lämpökuvauksella saadaan selville lämpötilaerot rakennusten pintojen välillä. Tunnistamalla merkittävän lämpöhäviön alueet lämpökuvaus voi paikantaa puutteet eristyksessä, lämpösillat ja ilmavuotokohdat. Nämä tiedot ovat erityisen hyödyllisiä jälkiasennustoimenpiteiden priorisoinnissa ja eristysparannusten tehokkuuden osoittamisessa.

4.2 U-arvon mittaus

U-arvon mittaukset ovat ratkaisevan tärkeitä seinien, kattojen, ikkunoiden ja alapohjan energiatehokkuuden arvioinnissa. Vertaamalla mitattuja U-arvoja rakentamismääräysten mukaisiin arvoihin voidaan varmistaa energiatehokkuusvaatimusten täyttyminen ja tunnistaa parannusmahdollisuudet. Tarkat U-arvojen tiedot mahdollistavat tarkemman energiamallinnuksen olemassa olevissa rakennuksissa, mikä johtaa parempiin päätöksiin lisälämmöneristyksen suhteen ja energiansäästötoimenpiteiden tehokkaampaan kohdentamiseen. Markkinoilta löytyy toimijoita, jotka pystyvät mittaamaan eri rakennusosien U-arvot.

4.3 Ilmatiiveyden mittaus

Ilmatiiveyden mittauksella arvioidaan rakennuksen ilmanläpäisevyyttä. Menetelmällä voidaan tunnistaa hallitsemattomat ilmavuodot, mikä voi aiheuttaa merkittävän osan rakennuksen lämpöhäviöistä. Menetelmässä rakennukseen luodaan joko yli- tai alipaine ja mitataan tietyn paine-eron ylläpitämiseen tarvittava vaipan vuotoilmavirta. Mittaus voidaan tehdä koko rakennuksen vaipan tai yksittäisen tilan osalta.

Vaipan ilmatiiveys on tärkeä ominaisuus energiatehokkuuden parantamiseksi, koska liialliset ilmapuodot voivat heikentää eristyksen tehokkuutta ja lisätä lämmitys- ja jäähdytyskustannuksia. Ilmatiiveysmittauksiin tulisi myös yhdistää vuotojen paikantaminen lämpökamerakuvauksella, jotta ne voidaan korjata ja näin saadaan parannettua vaipan energiatehokkuutta.

Ilmapuotoluville q50 on asetettu uudisrakentamisen määräyksissä seuraavat tavoitearvot:

- $4 \text{ m}^3 / (\text{h m}^2)$, suurin sallittu ilmapuotoluku
- $2 \text{ m}^3 / (\text{h m}^2)$, energiatehokkaan rakennuksen tavoite
- $1 \text{ m}^3 / (\text{h m}^2)$, kosteusteknisesti pitkäikäisen rakennuksen tavoite.

Energiatodistuksissa käytettävät taulukkoarvot ilmanvuotoluville ovat tyypillisesti vanhoille toimistorakennuksille jopa yli 20. Kun tällaisiin toimistorakennuksiin on tehty tiiveysmittaus, tulokset ovat olleet tyypillisesti suuruusluokkaa $2\text{--}3 \text{ m}^3 / (\text{h m}^2)$ kirjoittajien kokemusten mukaan. Mikäli energiamallinnuksessa käytettäisiin energiatodistuksen arvoja, energiankulutus olisi useimmissa tapauksissa liian korkea todelliseen kulutukseen nähden. Ilmatiiveyden mittauksen kustannukset toimistorakennuksissa ovat muutamasta tuhannesta eurosta ylöspäin, riippuen laajuudesta.

4.4 Dynaaminen ulkovaippa

Dynaaminen ulkovaippa viittaa rakennuksen ulkovaipan, kuten ikkunoiden ja aurinkosuojien, automaattiseen ohjaukseen, mikä optimoi energiatehokkuutta ja sisäolosuhteita. Seuraavilla ratkaisuilla ja toimenpiteillä voidaan vaikuttaa kiinteistön energiatehokkuuteen:

- Moottoroidut rullaverhot, sälekaihtimet ja markiisit, joita ohjataan automaattisesti auringon säteilyn perusteella.
 - Hyödyt: Vähentää jäähdytystarvetta kesällä ja lämmitystarvetta talvella. Parantaa sisäilman laatua ja mukavuutta.
 - Säästöpotentiaali: Lämmitysenergian kulutus voi vähentyä jopa 10 %, mutta jäähdytystarve voi kasvaa hieman.
- Aurinkosuojien automaattinen ohjaus, joka perustuu ulkoisiin auringon säteilyä mittaaviin antureihin.
 - Hyödyt: Vähentää jäähdytystarvetta ja parantaa energiatehokkuutta. Voi myös vähentää häikäisyä ja parantaa työskentelyolosuhteita.
 - Säästöpotentiaali: Säästöpotentiaali vaihtelee, mutta automaattinen ohjaus voi vähentää energiankulutusta merkittävästi.
- Aurinkosuojien, valaistuksen ja LVI-järjestelmän yhdistetty ohjaus, joka optimoi sisäolosuhteet ja energiatehokkuuden.
 - Hyödyt: Maksimoi auringonvalon ja lämmön hyödyntämisen sekä minimoi jäähdytyksen tarpeen. Parantaa sisäilman laatua ja mukavuutta.
 - Säästöpotentiaali: Merkittävä energiansäästöpotentiaali, mutta investointikustannukset voivat olla korkeat.
- Ennakoiva kaihtimien ja aurinkosuojien ohjaus, jossa ohjaus perustuu sääennusteisiin ja sisäisiin antureihin, jotka mittaavat lämpötilaa ja valaistusolosuhteita.
 - Hyödyt: Parantaa energiatehokkuutta ja sisäolosuhteita ennakoimalla tulevat sääolosuhteet ja säätämällä kaihtimia ja aurinkosuojuja sen mukaisesti.

- Säästöpotentiaali: Voi vähentää energiankulutusta merkittävästi, mutta vaatii kehittyneitä ohjausjärjestelmiä, minkä lisäksi investointikustannukset voivat olla korkeat.

Dynaaminen rakennusvaippa tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia energiatehokkuuden parantamiseen ja sisäolosuhteiden optimointiin. Kuitenkin sen toteuttaminen vaatii huolellista suunnittelua ja usein suuria investointeja, ja sen hyödyt voivat vaihdella rakennuksen tyyppin ja sijainnin mukaan, jolloin kustannustehokkuutta voi olla vaikea saavuttaa pelkän energiatehokkuuden näkökulmasta. Ratkaisu kuitenkin parantaa myös käyttömukavuutta, jolloin yhteisvaikutus voi tehdä investoinnista kannattavamman.

Suomen kylmä ilmasto käytännössä estää automaattisen ikkunoiden avaamisen kiinteistön sisäolosuhteiden hallinnassa.

Valaistuksen energiatehokkuuden parantaminen edellyttää sen optimointia siten, että valaisimet mukautuvat käyttötilanteiden ja käyttäjien tarpeisiin. Perinteinen päälle/pois -ohjaus ei riitä täyttämään kaikkia energiatehokkuusvaatimuksia, erityisesti tiloissa, joissa käyttöaste vaihtelee huomattavasti. Monipuolisempi ratkaisu on hyödyntää himmennettäviä valaisimia sekä kohtalaisen tiheästi sijoitettuja tai jopa valaisinkohtaisia antureita, joissa on sekä läsnäolotunnistus että päivänvalomittaus.

Valaisinkohtaiset anturit, jotka tunnistavat läsnäolon ja päivänvalon määrän, mahdollistavat valon tarkan kohdentamisen ja automaattisen säädön seuraavasti:

- **Läsnäolotunnistus:** Valaisimet syttyvät, kun tilassa on henkilöitä. Kun anturit eivät enää havaitse läsnäoloa, säätyvät valaisimet energiansäästötasolle määritetyn viiveen ajaksi, jonka jälkeen ne lopulta sammuvat. Tämä vähentää merkittävästi valaistuksen turhaa energiankulutusta. Tarpeenmukaisella läsnäoloon perustuvalla valaistushajauksella voidaan saavuttaa jopa 20–35 % säästöt valaistuksen sähköenergian kulutuksessa, mikä tosin riippuu monesta kiinteistökohtaisesta tekijästä.
- **Päivänvalo-ohjaus:** Anturit mittaavat luonnonvalon määrää ja säätävät keinovalaistusta luonnonvalon mukaan siten, että tavoitevalotaso pysyy yllä. Tämä pienentää energiankulutusta erityisesti tiloissa, joissa on paljon ikkunoita. Lisäksi anturit mittaavat myös valaisimien itsensä tuottamaa valoa ja mukauttavat valaistusta sen perusteella miten paljon valaisimia on lähiympäristössä päällä ottaen huomioon myös LEDien ikääntymisestä johtuvan valovirran alentumisen. Toisaalta anturit myös kirkastavat valaistusta, jos viereisiä valaisimia ympäriltä himmentyy tai sammuu. Mikäli anturit on sijoitettu suhteessa työpöytien sijainteihin, ne automaattisesti säätävät valaistusta oikealla tasolle, kun työpisteiden sähköpöytien korkeutta muutetaan. Nämä ominaisuudet mahdollistavat valaistuksen tarkan optimoinnin, vähentää energiankulutusta ja ylläpitää miellyttävää valaistusympäristöä käyttäjille. Päivänvaloon perustuvalla himmennyksellä voidaan saavuttaa jopa 25–60 % säästöjä valaistuksen sähköenergian kulutuksessa, mutta jälleen säästöt riippuvat kiinteistökohtaisista tekijöistä.

Tilaneohjauspainikkeiden, QR-koodien tai vastaavien avulla voidaan mukauttaa valaistusta tarpeen mukaan sopivan kokoisissa laajuuksissa tai jopa valaisinkohtaisesti, ilman että valaistus toimii täysin automaattisesti. Tämä mahdollistaa entistä paremman käyttömukavuuden ja huomioi yksilölliset tarpeet valaistushajauksissa.

Valaistushajausjärjestelmä on keskeinen osa energiatehokkaiden ja käyttäjäystävällisten valaistusratkaisujen toteuttamista. Järjestelmä yhdistää valaisimet, ohjauslaitteet, anturit, painikkeet ja muuta laitteet keskitettyyn tai hajautettuun ohjausjärjestelmään, joka mahdollistaa valaistuksen automaattisen ja tarpeenmukaisen hallinnan. Tämä voidaan toteuttaa väyläpohjaisilla, langattomilla tai näiden yhdistelmään perustuvilla teknologioilla. Jokaisella lähestymistavalla on omat vahvuutensa ja soveltuvuutensa eri käyttökohteisiin. Skaalautuva ratkaisu mahdollistaa valaistuksen hallinnan tilatarpeiden mukaan ilman suuria lisäinvestointeja,

ja käyttäjät voivat muokata järjestelmän asetuksia ja laajentaa valaistusratkaisua tarpeiden muuttuessa. Usein valaistusuusinta kattaa pelkästään vanhojen valaisimien korvaamisen LEDeillä, mutta laajamittaisessa valaistusuusinnassa olisi usein kannattavaa uusia myös ohjausjärjestelmä sellaiseksi, joka paremmin mahdollistaa tarpeenmukaisen ohjauksen ja säädön.

Valaistusjärjestelmät voidaan liittää osaksi laajempaa energianhallintajärjestelmää, mistä kerrotaan lisää kappaleissa 6 ja 7.

Valaistukseen liittyvien energiatehokkuusinvestointien kustannustehokkuutta voidaan parantaa antureista ja valaisimien liitäntälaitteista kerätyn datan avulla, jota voidaan hyödyntää muuhunkin säästöjä tuottavaan toimintaan, esimerkiksi:

- Tilankäytön ja -tarpeiden, siivouksen sekä huoltotöiden optimointi ja ennakointi läsnäolotiedon ja sen historian mukaan sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä.
- Ennakoiva valaisimien kunnossapito vikatietojen ja käyttötuntimäärien mukaan.
- Kerätyn datan hyödyntäminen muihin järjestelmiin, kuten varausjärjestelmät, automaattinen raportointi tilojen käyttöasteesta, energiasta, tehokkuudesta yms.
- Ilmanlaatutietojen ja sisäolosuhteiden hallinta sekä työolosuhteiden parantaminen antureista mitatun valotasojen sekä mahdollisen lämpötilan, kosteuden, hiilidioksidi- ja VOC-pitoisuuksien sekä äänitason mukaan (anturivalintaan kiinnitettävä huomioita).
- Turvallisuuden ja valvonnan parantaminen epätyypillisen liikehdinnän havaitsemisesta tai yllättävän korkeista mittaustietomuutoksista.

Energiatehokkuuden ja kustannuksien lisäksi ympäristönäkökulmia on hyvä ottaa huomioon hankkeissa esimerkiksi:

- Elinkaarivaikutukset: Valaisimien ja valaistusjärjestelmien käytön lisäksi myös valmistuksessa, kuljetuksessa, ja kierrätyksessä syntyy hiilipäästöjä. Valitsemalla kestäviä ja pitkäikäisiä ratkaisuja voidaan vähentää näitä vaikutuksia.
- Materiaalivalinnat ja kierrätettävyydet: Valaisimien valmistuksessa käytetyt materiaalit, kuten kierrätetty metalli ja biomuovit, voivat vähentää luonnonvarojen kulutusta. Lisäksi valaistuksen suunnittelussa voidaan suosia järjestelmiä, jotka on helppo purkaa ja kierrättää sekä kunnostaa käyttöönsä päättyessä.
- Valosaasteen vähentäminen: Ulkovalaistuksen suunnittelussa voidaan ottaa huomioon valosaasteen minimointi sekä yöaikaisen valon spektri mitkä suojaavat ympäristöä, eläimiä ja ihmisten terveyttä.
- Vaaleiden pintojen hyödyntäminen: Käyttämällä pinnoissa, erityisesti katoissa, maaleja ja materiaaleja, joilla on korkea heijastavuus, voidaan optimoida valaistuksen tehokkuutta.

Laki rakennusten varustamisesta automaatio- ja ohjausjärjestelmillä (733/2020) vaatii omistajia varustamaan toimistokiinteistöt, joiden yhdistetyn lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien nimellisteho on yli 290 kW, kiinteistö automaatio- ja ohjausjärjestelmällä, joka kykenee jatkuvasti seuraamaan, kirjaamaan ja analysoimaan energian käyttöä, tekemään vertailevaa analyysia rakennuksen energiatehokkuudesta, havaitsemaan teknisten järjestelmien tehokkuuden heikkenemisen, ilmoittamaan mahdollisuuksista parantaa energiatehokkuutta, sekä mahdollistamaan viestintä ja yhteen toimivuus eri valmistajien teknologioiden välillä. Valtaosa pienemmistäkin toimistorakennuksista on tyyppillisesti varustettu automaatiojärjestelmällä. Ominaisuudet ja vaatimusten tulkinta kuitenkin vielä eroaa kiinteistöstä toiseen ja tyyppillisesti parantamisen varaa on kokonaisuudenhallinnassa.

6.1 Tarpeenmukaisuus

Tarpeenmukainen ohjaus ja säätö luo merkittävät säästömahdollisuudet kiinteistöjen energiankäytössä. Vaikka raskaat järjestelmäsaneeraukset ovat välttämättömiä energiatehokkuuden parantamiseksi, yksittäiset järjestelmäuusinnat eivät vielä tarjoa parasta mahdollista energiatehokkuutta kiinteistöille, mikäli järjestelmien toimintaa ei integroida osaksi kokonaisuutta.

Kaikessa lämmityksen, jäähdytyksen, valaistuksen, sulatusten, ilmanvaihdon ja ilmastoinnin ohjauksessa ja säädössä tulisi huomioida tarpeenmukaisuus. Tarpeenmukaisuuteen voi kiinteistöissä vaikuttaa ainakin seuraavat tekijät:

- Läsnäolo; onko tilassa ihmisiä.
- Ihmismäärä / täyttöaste; miten monta ihmistä tilassa on.
- Sääolosuhteet; vaativatko vallitsevat ulko-olosuhteet toimenpiteitä tai voidaan niistä hyötyä.
- Sääennusteet; onko odotettavissa ulko-olosuhteita, joihin voitaisiin varautua ennakkoon.
- Seuranta ja analytiikka; varmistetaan hyvien sisäolosuhteiden pysyvyys ja tunnistetaan epäkohtia.
- Energiaverkkojen tarpeet ja kulutuspiikkien leikkaus; onko verkossa yli- tai alitarjontaa tai kiinteistössä korkean kulutuksen jakso.

Huomioimalla kaikki tekijät voidaan periaatteessa optimoida järjestelmien toimintaa täysin tarpeenmukaiseksi. Optimointi tosin edellyttää, että kiinteistön järjestelmiä on mahdollista säätää vähintään moniportaisesti, mutta ensisijaisesti portaattomasti. Kaikkien järjestelmä- ja laitesaneerausten tulisi tähdätä parempaan säädettävyyteen ja seurattavuuteen, vaikkei näitä ominaisuuksia vielä saneeraushetkellä kyettäisi täysin hyödyntämään. Tämä kannustaa siihen, ettei järjestelmä- ja laiteuusintoja tehtäisi vanhoilla suunnitelmilla, vaan olisi pyrittävä toiminnan parantamiseen suunnitteluttamisen kautta.

6.1.1 Läsnaoloseuranta ja ihmismäärälaskenta

Läsnaoloa ja täyttöastetta seurattaessa tulee ensin määrittää, mikä on tarpeellinen taso seurannalle. Läsnaoloseuranta voi usein olla riittävä, kun kyse on esimerkiksi yksittäisen tilan valaistuksesta tai olosuhdesäädöstä. Kun tila ei ole käytössä, ei tarvita valaistusta, eikä olosuhteiden välttämättä tarvitse pysyä tiukasti mukavuusrajojen sisällä. Toisaalta, jos halutaan esimerkiksi säätää ilmamäärää tilassa täysin tarpeenmukaisesti niin, että sisäilmastoluokituksen vaatimukset täyttyvät, voidaan harkita ihmismäärän seuranta. Luonnollisesti tällöin edellytyksenä on, että ilmamäärää pystytään tilakohtaisesti hienosäätämään, esimerkiksi ilmamääräsäätimien avulla. Valittavaan seurantatasoon voi vaikuttaa myös energiatehokkuuden lisäksi muita tekijöitä; usein toimitilakiinteistöissä halutaan esimerkiksi seurata, käytetäänkö tiloja suunnitellusti. Tiukin tarve määrittää valittavan seurantatason.

Läsnaolotieto on usein hyvin kustannustehokkaasti saatavilla valaistusjärjestelmästä, kun kyseessä on moderni väyläpohjainen järjestelmä. Valaistusjärjestelmä toimii usein vähintään osittain läsnaolotunnistuksen perusteella, joten samaa anturitietoa voidaan hyödyntää muidenkin järjestelmien käyttöön ja, vaikka järjestelmä ei toimitilakiinteistön perusteella, väyläpohjaiseen järjestelmään on usein helposti lisättävissä edullisia passiivisia infrapunatunnistimia. Kustannustehokkuus riippuu järjestelmän laajuudesta ja tiedon hyödyntämisen kattavuudesta, mutta tyypillisesti hyvin määriteltynä tilakohtainen läsnaolotieto on luettavissa valaistusjärjestelmästä esimerkiksi rakennusautomaatiojärjestelmään maltillisin lisäkustannuksin. Ratkaisua ei tästä huolimatta ole vielä lähtökohtaisesti hyödynnetty toimitilakiinteistöissä, mutta on yleistynyt viime vuosina. Läsnaolotiedon seuranta valaistusjärjestelmän kautta on syytä harkita aina uudisrakentamisessa sekä valaistusjärjestelmäusintojen yhteydessä. Tällöin kannattaa myös harkita muutoksia rakennusautomaatiojärjestelmään ja muihin mahdollisiin läsnaolotietoa hyödyntäviin järjestelmiin, jotta hyödyt saadaan heti käyttöön. Valaistusjärjestelmän toteutuksessa ja uusinnassa kannattaa lisäksi huomioida järjestelmän säädettävyyden, seurattavuuden ja mukautettavuuden. Kun esimerkiksi kiinteistön ylläpito-organisaatiolla on mahdollisuudet järjestelmän toiminnan ja energiankulutuksen seurantaan ja säätöön, voidaan saavuttaa valaistuksen energiankulutuksessa merkittäviä säästöjä, kunhan käyttäjät ovat koulutettuja ja ymmärtävät muutosten vaikutukset. Seurattavuuden ja säädettävyyden lisäämiseen voi usein liittyä kuukausimaksullinen palvelu, mutta aktiivisella käytöllä saavutettavissa olevat säästöt ja muut hyödyt kattavat nopeasti palvelumaksut.

Läsnaoloseurannan olemassa olevaan järjestelmään lisäämisen kustannustehokkuus riippuu monista kiinteistökohtaisista tekijöistä ja voi muodostua kalliiksi, jos samalla halutaan muokata kaikki olosuhdesäädöt huomioimaan myös läsnaolo. Kuitenkin, mikäli nykyiset järjestelmät tukevat integraatiota ja uudelleen ohjelmointi on helposti toteutettavissa, toimenpide on toteutettavissa kannattavasti.

Vaihtoehtoisia toteutuksia läsnaolon seurannalle on ainakin:

- Tunnistimet liitettynä toiseen järjestelmään, esimerkiksi rakennusautomaatiojärjestelmään. Tämä on harvoin yhtä kustannustehokasta, koska anturit tarvitsevat tyypillisesti enemmän lisäkaapelointia, kun taas valaistusjärjestelmän kaapelointi kulkee valmiina ympäri kiinteistöä. Tämä vaihtoehto on kuitenkin varteenotettava, mikäli kiinteistön valaistusjärjestelmä ei tue läsnaolotunnistimien

liittämistä tai tiedon jakamista toisiin järjestelmiin, eikä järjestelmäusinta ole vielä ajankohtainen. Rakennusautomaatiojärjestelmään kerättyä läsnäolotieto on suoraan hyödynnettävissä rakennusautomaation prosesseissa, mikä säästää integraatiokustannuksissa. Kustannustehokkuutta voi parantaa käyttämällä langattomia antureita, mikäli järjestelmä tukee tätä.

- Erillinen järjestelmä läsnäolon seurantaan. Tällöin puhutaan usein niin sanotuista IoT-järjestelmistä (Internet of Things), joiden ominaispiirteenä on täysin muista järjestelmistä irrallisten tunnistimien asentaminen kiinteistöön. Usein näihin liittyy myös erilaisia olosuhdeantureita, minkä lisäksi järjestelmät vaativat omaa kaapelointia ja tiedonsiirtolaitteita, vaikka usein valtaosa laitteista ovat langattomia, eli paristokäyttöisiä. Ratkaisuihin liittyy usein myös kuukausittainen tai vuosittainen palvelumaksu, johon toisaalta tyypillisesti sisältyy valmiit raportointi- ja analytiikkapalvelut. Läsnäolotiedon siirto kiinteistön omien järjestelmien käyttöön edellyttää tyypillisesti vielä räätälöitävää integraatiotyötä, mikä voi nostaa ratkaisun kustannuksia kohtuuttomasti, mutta tässä on ollut havaittavissa kehitystä ja osa toimijoista pystyy rajapintojen kautta tuomaan tietoa kiinteistön järjestelmien käyttöön, kunhan niiltä löytyy vastaanottavat rajapinnat. Tämä vaihtoehto on varteenotettava esimerkiksi, mikäli ei haluta tai pystytä tekemään fyysisiä muutoksia kiinteistön järjestelmiin tai kaapelointiin, tai erillisjärjestelmä palvelee muitakin käyttäjän tarpeita, jolloin läsnäoloseuranta tulisi osana pakettia. Erillisjärjestelmiä on lukuisia markkinoilla ja eri toimijat tarjoavat erilaisia ominaisuuksia, kyvykkyyksiä ja hinnoittelumalleja. Erillisjärjestelmä pelkän läsnäolotiedon seurantaan ei ole kustannustehokas vaihtoehto.
- Läsnäolon päättely muista järjestelmistä, esimerkiksi tukiasemista tai kulunvalvontajärjestelmistä. Ratkaisu ei usein ole yhtä luotettava, kuin läsnäolotunnistimet, minkä lisäksi tähän liittyy integraatioita tiedon päättelyyn ja siirtoon. Ratkaisu voi kuitenkin tarjota vaihtoehdon, jossa ei välttämättä tarvitse tuoda tiloihin yhtään lisälaitteita tai -kaapelointia, vaan ohjelmallisilla muutoksilla voidaan tuoda suuntaa antavaa tietoa läsnäolosta tiloissa. Mahdolliset kompromissit on kuitenkin hyvä tiedostaa ennen toteutusta (esimerkiksi tiloissa liikkuminen ilman tukiasemien käyttöä, tai usean ihmisen kulku kulunvalvotusta ovesta samalla avauksella).

Ihmismäärälaskenta ei ole vielä usein tarkasti toteutettavissa laajasti käytettävillä antureilla tai tunnistimilla, vaan edellyttää tyypillisesti erityislaitteita, kuten optisia antureita tai kameroita, jotka ovat myös toistaiseksi suhteellisen kalliita verrattuna tyypillisempiin antureihin. Ihmismäärälaskentaa harvoin toteutetaan pelkästään, tai ylipäätään, energiatehokkuuden vuoksi, vaan usein syynä on tilojen käytön tarkempi seuranta. Tämä johtuu esimerkiksi siitä, ettei kiinteistön järjestelmät mahdollista ihmismäärään perustuvaa säätöä tai säätö on mahdollistettu vain pienemmissä tiloissa, kuten neuvotteluhuoneissa, joissa vaikutukset energiankäyttöön ovat verrattain pieniä. Ihmismäärälaskennan yleistyessä tilakäytön seurantaan voidaan jatkossa mahdollistaa myös ihmismääräperusteinen säätö, mikä voi esimerkiksi avotoimistokerroksissa tuoda merkittäviäkin säästöjä, mikäli kerrokseen on toteutettuna vyöhykeilmamääräsäätimet. Kannattavuus riippuu paljon ihmismäärän vaihtelusta, mutta toistaiseksi energiatehokkuustoimenpiteenä ratkaisua on vaikea saada kannattavaksi.

Ihmismäärälaskennan kustannustehokkuutta voidaan huomattavasti parantaa hyödyntämällä kiinteistöön joka tapauksessa toteutettavia järjestelmiä; lähinnä kulunvalvonta- ja kameravalvontajärjestelmiä. Näistä molempiin liittyy yksityisyydensuojaa koskevia haasteita, mutta nämä ovat ratkaistavissa hyvällä suunnittelulla ja tietoturvalla. Molemmista järjestelmistä on siirrettävissä pelkät määrätiedot ilman henkilötietoja tai videokuvaa. Kuluvalvontajärjestelmästä tarkan ihmismäärätiedon saaminen edellyttää toteutusta, jossa varmistetaan, että kukin henkilö kirjautuu sisään ja ulos; esimerkiksi useampi henkilö ei saisi päästä sisään tai ulos samalla oven avauksella ilman kirjautumista. Kameravalvontajärjestelmän hyödyntäminen puolestaan voi edellyttää lisäkameroiden asentamista paikkoihin, joissa ihmismäärälaskenta on tarpeellista, mutta kameravalvonta ei. Myös kameroiden suuntaukseen tulee kiinnittää huomiota. Kameravalvontajärjestelmissä on toisaalta huomioitava sekin, että käyttäjät voivat suhtautua niihin varauksella, vaikka heitä tiedottaisi, että kameroita käytetään vain laskentaan toimistotiloissa.

Ihmismäärälaskennan teknologiat kehittyvät vauhdilla kysynnän kasvaessa ja osa rakennusautomaatiojärjestelmätoimittajistakin tarjoavat jo antureita laskennan toteuttamiseksi. Hinnoissa ja laskennan tarkkuudessa on kuitenkin vielä merkittäviä eroja.

6.1.2 Sääolosuhteet ja -ennusteet

Vallitsevien sääolosuhteiden tarkka seuranta voi vaikuttaa energiankulutukseen merkittävästi. Ulkolämpötilaa käytetään jo säännöllisesti rakennusautomaatiojärjestelmien toiminnassa, mutta myös muut sääolosuhteet voivat vaikuttaa kiinteistön sisäolosuhteisiin tai esimerkiksi kiinteistön ympäristön sulatustarpeisiin. Kiinteistön energiankäyttöön vaikuttavia sää- ja ulko-olosuhteita ovat lämpötilan lisäksi ainakin:

- Ulkoilman kosteus ja tähän liittyvät suureet, kuten kastepiste ja entalpia.
- Auringonpaiste.
- Vesi- ja lumisade.

Paikallisten olosuhteiden seurantaan löytyy erilaisia antureita. Antureita valittaessa on huomioitava asennuspaikka ja mittaustarkkuus, huomioiden myös yleistyvät ilmastonmuutoksen aiheuttamat ääriolosuhteet. Tyypillisesti paikalliseen ilmaan liittyviä olosuhteita (lämpötila, kosteus, epäpuhtaudet, valoisuus) on luotettavinta seurata suoraan esimerkiksi rakennusautomaatiojärjestelmään liitettyjen antureiden avulla, jolloin tiedot ovat suoraan käytettävissä prosessien ohjaukseen ja säätöön. Myös vesi- ja lumisateen havaitsemiseen on tarjolla luotettavia antureita. Auringonpaisteen mittaaminen on harvinaisempaa, joskin valoisuusantureita voi hyödyntää suuntaa antavasti, kunhan mitta-asteikko on riittävä. Kalliimmilla ratkaisuilla, kuten pyranometrejä hyödyntämällä, voidaan saada tarkkaa mittaustietoa, mutta tämä on hyvin harvinaista toimistokiinteistöissä. Mittauksia pitäisi lähtökohtaisesti löytyä jokaiselta julkisivulta. Auringonpaisteen vaikutus sisälämpötilaan on usein niin nopea, että reaaliaikaisella havainnoinnilla ollaan usein jo myöhässä lämmityksen- ja jäädytyksen säädöissä, joten tietoa käytetään ensisijaisesti aurinkosuojauksen, kuten verhojen, ohjaukseen (ks. kappale 4). Paikalliset sääasemat voivat havaita tarkasti vallitsevia olosuhteita, mutta nämä ovat erittäin kalliita verrattuna muihin vaihtoehtoihin.

Ulkoilman kosteuden ja siihen liittyvien suureiden seuranta on edullisesti toteutettavissa ja seuranta tukee taloteknisten järjestelmien toiminnan optimointia, kun tietoja vertaamalla sisäolosuhteisiin. Mikäli esimerkiksi ilmanvaihtokoneet on varustettu pyörivällä

lämmönsiirtimellä ja/tai palautusilmalla, voidaan olosuhdeseurannalla valita käytettäväksi ilmaa, jota on energiatehokkainta lämmittää tai jäähdyttää.

Vesi- ja lumisadeantureita käytetään tyypillisesti sulanapitoratkaisuissa, joita esiintyy vaihtelevasti toimitilakiinteistöissä. Mikäli kiinteistöillä kuitenkin on paljon sulatettavaa pinta-alaa, voidaan sadeantureilla saavuttaa energiansäästöjä kustannustehokkaasti toiminnan tarpeenmukaistamisen kautta.

Säätieto- ja -ennustepalveluiden käyttö tuo kustannustehokkaan täydennyksen paikallisille antureille. Tiedot eivät välttämättä ole aina täysin paikkaansa pitäviä, mutta yleensä kuitenkin riittävän, jotta kiinteistön toimintaa voidaan mukauttaa energiatehokkuuden parantamiseksi. Yleisimmät rakennusautomaatiotoimijat tarjoavat jo mahdollisuuden säätieto- ja -ennustepalveluiden hyödyntämisen järjestelmiensä toiminnassa. Palvelut otetaan käyttöön rajapintojen kautta. Tiedoilla voidaan vähentää lämmitystä ja jäähdytystä hyödyntämällä vallitsevien ja tulevien olosuhteiden tarjoamaa passiivista vaikutusta. Lisäksi toimintaa ennakoimalla voidaan leikata kulutushuippuja niin lämmityksessä, jäähdytyksessä kuin sähkönkulutuksessa. Ennakointia hyödynnetään toistaiseksi eniten ulkoalueiden sulanapidoissa, joissa tosin usein ensisijaisena ajurina on henkilö- ja omaisuusturvallisuus, mutta myös energiankäyttöön voidaan vaikuttaa oleellisesti. Ennusteita on myös alettu hyödyntämään lämmitys- ja jäähdytystoiminnoissa, joissa on myös saavutettavissa merkittäviä säästöjä oikein toteutettuna. Säätietoja voidaan lisäksi hyödyntää esimerkiksi verhojen tai markiisien ohjaukseen kuten edellä on kuvattu. Tämä on kuitenkin Suomessa vielä melko harvinainen ratkaisu, mutta tulee varmasti yleistymään ilmastonlämpenemisen ja äärisääilmiöiden yleistymisen myötä.

Ulko-olosuhteiden seuranta tuo paljon kustannustehokkaita mahdollisuuksia energiankulutuksen leikkaukseen, mutta ratkaisut ovat yleisesti vielä melko harvinaisia johtuen ainakin osittain niiden tuomasta lisäkompleksisuudesta järjestelmien toimintalogiikoihin. Toiminnan suunnittelu maksaa tyypillisesti enemmän, kuin itse ratkaisun toteuttaminen, mutta ei siinä määrin, etteikö tehostetulla toiminnalla saavutetut energiasäästöt maksaisi tätäkin takaisin hyvin nopeasti.

6.1.3 Seuranta ja analytiikka

Kattavalla olosuhteiden seurannalla voidaan tarkemmin määrittää olosuhteiden hallinnan todellinen tarve. Kattavalla kulutusseurannalla puolestaan voidaan paremmin puuttua kiinteistön toimintaan liittyviin epäkohtiin. Sen lisäksi, että kumpaakin voidaan hyödyntää kiinteistön energiatehokkuuden parantamiseen, kumpikin tuottaa kiinteistön loppukäyttäjii ja ylläpitoa kiinnostavaa sekä vastuullisuusraportointia tukevaa tietoa. Näistä syistä kattava olosuhde- ja kulutusseuranta on yleistynyt ja suositeltavaa.

Kattavalla olosuhdeseurannalla voidaan varmistua, ettei kiinteistöä yllämmitetä tai -jäähdytetä, mutta samalla varmistetaan, että olosuhteet pysyvät hyvällä tasolla. Vastaavasti ilmastointia voidaan tarpeenmukaistaa kattavalla seurannalla, varmistamalla, että ilmanlaatu pysyy vaaditun mukaisena ilman ylityksiä. Seurattavia olosuhteita on tyypillisesti vähintään lämpötila, hiilidioksidipitoisuus ja suhteellinen kosteus, mutta lisäksi usein seurataan esimerkiksi haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC, volatile organic compound), hääpitoisuutta (pysäköintitiloissa) sekä kosteuteen liittyviä arvoja, kuten entalpiaa ja kastepistettä.

Toteuttamalla seurannan rakennusautomaatiojärjestelmällä tiedot ovat suoraan järjestelmän käytettävissä prosessien toiminnan mukauttamiseen. Jälkiasenteisena seurannan

laajentaminen rakennusautomaatioon, varsinkin kaapeloituna, voi kuitenkin olla kallista. Langattomien ratkaisuiden hyödyntäminen voi tuoda helpotusta, kunhan järjestelmä tukee langattomia teknologioita (varsinkaan vanhemmissa järjestelmissä ei ole itseisarvo). Seurannan laajentaminen muiden saneeraustöiden yhteydessä on usein kustannustehokasta, kun samalla suunnitellaan toimintaa uudelleen niin, että laajennettu seuranta tulee hyödynnetyksi.

Olosuhdeseurantaa voi laajentaa myös valaistusjärjestelmää hyödyntäen tai erillisillä IoT-järjestelmillä. Tällöin toteutus on usein edullisempaa, mutta tiedon saattaminen säätöprosessien hyödynnettäväksi voi aiheuttaa merkittäviä lisäkustannuksia. Väyläpohjaisiin valaistusjärjestelmiin on tyypillisesti mahdollista lisätä myös kattavaa olosuhdeseurantaa ja siirto rakennusautomaatioon on mahdollista adapterien/protokollamuuntimien välityksellä. Toimivuudessa on ollut vielä haasteita, mutta kokemusten myötä näihin pystytään varautumaan, jolloin yllättäviä lisäkustannuksia ei pitäisi syntyä. Laajamittainen valaistusjärjestelmän ja rakennusautomaatiojärjestelmän integrointi voi kuitenkin olla erittäin kallista, joten käyttö- ja tiedonsiirtotarpeet tulee olla hyvin kartoitettuna ennen integraatiotyön hinnoittelua.

Sen lisäksi, että seurannalla mahdollistetaan energiatehokkaampi toiminta, seuranta auttaa toiminnanvarmistuksessa. Kiinteistöjen toimintaa ei kohtuullisuuden puitteissa ole mahdollista varmistaa kaikilta osin valmistumisen (uudisrakennuksen tai saneerauksen) yhteydessä, jolloin järjestelmiin jää helposti havaitsemattomia puutteita ja tehottomuuksia. Seurannan ja analytiikan avulla näitä voidaan havaita takuuajana, jolloin korjaukset saadaan tehtyä ilman lisäkustannuksia. Seuranta- ja analytiikkapalveluita on tarjolla useita, mutta on tiedostettava, että palvelun laatu riippuu kiinteistöstä kerättävän datan määrästä ja laadusta. Tavoitteena tietysti on, että palveluiden tuottama hyöty tehostuksissa ja vältetyissä kustannuksissa ylittää palveluiden hinnan, mutta tämän osoittaminen vaatii oikeita seurattavia KPI-mittaristoja, mikä edellyttää kattavaa kulutus- ja olosuhdeseurantaa.

Käytönaikaisella seurannalla ja analytiikalla kyetään havaitsemaan laite- ja järjestelmävikoja ennen, kuin ne aiheuttavat hälytyksiä ja poikkeustiloja. Aikaisella havainnalla ja oikea-aikaisella kunnostamisella voidaan säästää merkittävästi energiaa ja kustannuksia. Hyvin toimivat laitteet ovat energiatehokkaampia, minkä lisäksi voidaan välttyä tarpeettomilta ylläpitotoimenpiteiltä. Vaikka edellä kuvatuissa on mukana yksittäin kustannustehokkaita ratkaisuita, täysin kattavan seurannan toteuttaminen voi olla erittäin kallista, joten on tunnistettava ja priorisoitava merkittävimmät seurannan kohteet. Hintaa lisää niin laitehankinnat kuin datapisteiden ohjelmointi. Markkinoille on alkanut nousta ratkaisuita, jotka eivät pakota kerätyn datamäärän karsimiseen kustannusten vuoksi, mutta perinteisillä taloteknisillä järjestelmillä, kuten rakennusautomaatiojärjestelmillä, hinnoittelu perustuu vielä tyypillisesti seurattavien suureiden pistemäärään, mikä usein tekee kattavasta seurannasta epähoukuttelevaa.

Kustannustehokkuutta voidaan parantaa hyödyntämällä olosuhde-, kulutus- ja muuta seurantatietoa myös muihin toimintoihin, esimerkiksi huolto- ja ylläpitotoimintaan, joiden kuluista voidaan ennakkoinnilla karsia huomattavia summia, jopa 10 %. Lisäksi vuokralaisten ja muiden tilojen käyttäjien kiinnostus tiloja koskevaa tietoa kohtaan on lisääntynyt merkittävästi viime vuosina.

6.1.4 Käytönaikainen optimointi

Seurannasta ja analytiikasta seuraava askel on dynaaminen käytönaikainen optimointi. Rakennusautomaatiojärjestelmä ja muut talotekniset järjestelmät ohjaavat ja säätävät toimintaa

tiettyjen aseteltujen toimintalogiikoiden mukaisesti, mutta niille ei usein ole tehokasta tai edes mahdollista suunnitella ja ohjelmoida kaikenkattavia ja itseoppivia ohjaus- ja säätöalgoritmeja. Lisäksi järjestelmät ovat monimutkaistuneet siinä määrin, ettei hallittu manuaalinen asetusrvojen ja parametrien muokkaus ole enää mahdollista kohtuullisella työmäärällä ja vasteajalla, eikä se tuota energiatehokkainta lopputulosta. Kehittyneemmät toiminnan optimointipalvelut, jotka automaattisesti mukauttavat taloteknisten järjestelmien toimintaa, tuovat näihin haasteisiin ratkaisun.

Palvelut hyödyntävät tekoälyä ja/tai koneoppimista, millä ohjelmisto oppii kiinteistön käyttäytymistä eri tilanteissa ja mukauttaa järjestelmien toimintaa tämän mukaisesti. Lopputuloksena on lähtökohtaisesti energiatehokkaampi toiminta, ja vähintään kustannustehokkaampi toiminta, kun kulutuspiikkejä saadaan tyypillisesti loivennettua. Palveluiden kustannustehokkuus riippuu kiinteistön lähtötilanteesta ja on parhaimmillaan erittäin hyvä, ainakin ensimmäiset kuukaudet ja jopa vuodet, kun tehottomuuksia on usein paljon. Saavutetut säästöt energiankulutuksessa voivat riippuen kiinteistöstä olla esimerkiksi 10–20 % ja jopa enemmän. On kuitenkin tiedostettava, ettei palveluita voi välttämättä ottaa käyttöön vanhemmissa rakennusautomaatiojärjestelmissä, eikä palvelut voi saavuttaa täyttä hyötyään ilman kattavasti ohjattavaa, säädettävää ja valvottavaa talotekniikkaa.

Optimointipalvelut voivat tuottaa parhaat tulokset heti rakennuksen tai laajan saneerauksen valmistuttua, koska kiinteistöt ei käytännössä koskaan toimi täysin suunnitellusti heti käyttöönotettaessa. Kustannustehokkuuden mittaaminen on toisaalta haastavaa, koska tällöin ei ole vertailukelpoista lähtötilannetta, vaan säästöt tulevat vältetyistä kustannuksista, joita tulisi kyetä arvioimaan takaisinmaksuajan määrittämiseksi.

Nykyisin optimointipalvelut tuovat usein omia antureitaan kiinteistöön, mutta edellä kuvattuja käytäntöjä (ks. kappale 6.1.3) noudattamalla palveluita on mahdollista toteuttaa ilman lisälaitteita pelkillä ohjelmallisilla muutoksilla. Optimointi edellyttää kattavaa olosuhdeseurantaa myös sen takia, että voidaan varmistua, ettei optimointia toteuteta olosuhteiden kustannuksella. Optimointipalveluiden prioriteetteja on usein mahdollista sopia palveluntarjoajan kanssa. Tällöin on hyvä tiedostaa, ettei optimointi aina tarkoita energiatehokkaampaa toimintaa, mikäli prioriteetiksi asetetaan esimerkiksi kiinteistön käyttömukavuus.

6.2 Datan saatavuus ja hyödynnettävyys

Vaikka perinteiset datan mahdollistamat toimenpiteet, kuten läsnäolotiedon hyödyntäminen tarpeenmukaisessa ohjauksessa, tuottavat merkittäviä energiansäästöjä, datan rooli energiatehokkuuden parantamisessa, sekä muussa kiinteistöön liittyvässä toiminnassa, on edelleen keskeinen ja jatkuvasti kehittyvä. Edistyneempi datan analysointi ja tekoälypohjaiset ratkaisut tarjoavat uusia mahdollisuuksia optimoida kiinteistöjen energiankäyttöä entistä tarkemmin ja tehokkaammin:

- Reaaliaikainen datan kerääminen ja analysointi mahdollistavat energian kulutuksen jatkuvan seurannan ja optimoinnin. Tämä tarkoittaa, että kiinteistöjen energiankäyttöä voidaan säätää dynaamisesti vastaamaan todellista tarvetta, mikä vähentää energiahukkaa ja parantaa tehokkuutta. Esimerkiksi, lämpötilan ja valaistuksen säätö voidaan automatisoida reaaliaikaisen datan perusteella, mikä varmistaa optimaalisen energiankäytön eri olosuhteissa.

- Tekoäly ja koneoppiminen voivat hyödyntää suuria datamääriä ennakoivaan analytiikkaan ja toiminnan optimointiin. Tämä mahdollistaa esimerkiksi laitteiden ennakoivan kunnossapidon, jossa potentiaaliset viat ja huoltotarpeet tunnistetaan ennen kuin ne aiheuttavat energiankulutuksen nousua tai laitteiden rikkoutumista. Ennakoiva kunnossapito ei ainoastaan paranna energiatehokkuutta, vaan myös pidentää laitteiden käyttöikää ja vähentää ylläpitokustannuksia. Ennakoivat säädöt ja ohjaukset ovat myös tyyppillisesti paremmin toteutettavissa, kun hyödynnetään koneoppimista kiinteistön käyttäytymisen tunnistamiseen eri tilanteissa.
- Datan avulla voidaan luoda digitaalisia kaksosia kiinteistöistä. Digitaaliset kaksoset ovat virtuaalisia malleja, jotka voivat simuloida kiinteistön toimintaa ja energiankäyttöä. Näiden mallien avulla voidaan testata erilaisia energiatehokkuustoimenpiteitä ja optimoida kiinteistön toimintaa ennen niiden toteuttamista fyysisessä ympäristössä. Tämä vähentää riskejä ja varmistaa, että toteutetut toimenpiteet tuottavat odotettuja tuloksia.
- Datan integrointi eri järjestelmien välillä mahdollistaa kokonaisvaltaisen lähestymistavan energiatehokkuuden parantamiseen. Esimerkiksi, yhdistämällä kiinteistönhallintajärjestelmän datan energianhallintajärjestelmän ja sääennusteiden kanssa, voidaan ennakoida ja optimoida energiankäyttöä entistä tarkemmin. Tämä integroitu lähestymistapa varmistaa, että kaikki kiinteistön osat toimivat yhdessä energiatehokkuuden maksimoimiseksi.

Datan keruuseen, hallintaan ja hyödynnettävyyteen on kiinteistöissä panostettava huomattavasti enemmän. Haasteet kumpuavat paljolti siitä, että kiinteistöalalla ja taloteknisiin järjestelmiin liittyy jo niin paljon tietotekniikkaa, että alalle on tullut valtava osaamisvajae. Seuraavissa on kuvattu keskeisiä aiheita, joita kiinteistöalalla tulisi alkaa huomioimaan paremmin, mutta aiheiden ollessa alalla vielä uusia, näiden ratkaisumalleja tai takaisinmaksuaikoja ei pystytä vielä esittämään. Toisaalta, saavutettavat hyödyt ja niiden realisoiminen riippuu myös paljon kiinteistön omistajasta ja käyttäjistä sekä siitä, miten dataa hyödynnetään kiinteistön operoinnissa.

6.2.1 Tiedonvakiointi, harmonisointi ja strukturointi

Tiedon vakiointia ei harrasteta kiinteistöalalla vielä riittävästi. Laite- ja järjestelmätunnusten kansallinen vakiointi (<http://www.rava3pro.fi/>) on hyvä ensiaskel, mutta ei tuo vielä kattavaa ratkaisua kiinteistötiedon parempaan käytettävyyteen. Data tarvitsee koneluettavan ja kontekstuaalisesti relevantin muodon.

Toistaiseksi eri suunnittelutoimistot määrittävät laitteille ja järjestelmille erilaisia ja erimuotoisia tunnuksia. Eri laitetoimittajien laitteet tuottavat erilaista ja erimuotoista dataa hyödyntäen erilaisia protokollia. Eri urakoitsijat ohjelmoivat dataa järjestelmiinsä eri tavalla hyödyntäen jälleen erilaisia protokollia. Lopulta, kun kiinteistön omistaja tai muu sidosryhmä haluaisi hyödyntää kiinteistöä kerättyä dataa, se ei olekaan hyödynnettävissä edellä mainittujen takia. Ainoa tapa varmistaa tiedon hyödynnettävyys lopputilanteessa on ohjeistaa, vaatia ja dokumentoida tiedon muodostumisen eri vaiheet suunnittelusta toteutukseen. Tällaiset ohjeistukset ovat vielä Suomessa harvinaisia, mutta yleistymässä. Ohjeistus ei kuitenkaan vielä riitä, vaan tarvitaan valvontaa ja validointia hankkeen eri vaiheisiin. Näistä aiheutuvat kustannukset, vieraammat tehtäväsällöt ja vaikeasti kvantifioitavat taloudelliset hyödyt tekevät

toiminnasta usein vielä epähoukuttelevan, mutta ilman tätä on erittäin haastavaa, ellei mahdotonta, ylläpitää kiinteistön taloteknistä dataa hallitusti koko elinkaaren ajan.



Kuva 3. Hyvällä tiedonhallinnalla datasta on saatavilla enemmän irti (Kuva: Granlund Oy).

Tiedon nimeämiseen ei ole yhtä oikeaa tapaa, mikä tekee aiheesta vielä vaikeammin lähestyttävää. Kiinteistönomistajat ja suunnittelutoimistot voivat laatia omia ehdotuksiaan, jotka voivat kaikki olla yhtä päteviä keskenään. Lähtökohdaksi usein riittää, että kaikki kiinteistöön liittyvä tieto olisi yhdenmukaisesti nimetty ja mahdollisimman vakioitu. Riippumatta siitä, miten vakiointi on toteutettu, kun nimeämiseen liittyy logiikka, tieto on huomattavasti helpommin hyödynnettävissä ja tarpeen mukaan muutettavissa toiseen muotoon myöhemmin, mikäli esimerkiksi alalle määräytyy jokin standardi.

Tiedon ohjelmallisen hyödynnettävyyden parantamiseen löytyy useampi paljon käytetty malli. Näiden tavoitteena on tehdä tiedosta koneluettavaa antamalla tiedolle kontekstia metadatan avulla. Puhutaan usein semanttisista ontologioista, tai pelkästään ontologioista. Eri malleja on muun muassa, ei erityisessä järjestyksessä: Project Haystack, Brick Schema, Real Estate Core, Digital Buildings Ontology. Eri malleilla on hieman eri ominaisuuksia, joten ennen valintaa on syytä määrittää, mitkä ovat perimmäiset tarpeet tiedolle. Eri mallien välistä harmonisointityötä on käynnissä, joten on oletettavaa, että ainakin osa malleista tulee olemaan keskenään yhteensopivia tulevaisuudessa, osa on jo nyt. Ontologiat periaatteessa poistavat tarpeen tiedonnimeämisen vakioinnille, koska kullekin tietopisteelle määritetään lisätietoja, jotka määrittävät tiedon kontekstin, joka on koneluettavissa. Ihmislukijoita varten on kuitenkin syytä pyrkiä myös tiedonnimeämisen vakiointiin, mikä toisaalta auttaa myös lisätietojen määrittelyssä. Ontologioihin pätee sama, kuin tiedon nimeämisen ohjeistukseen; periaatteessa voi valita minkä vain ontologiamallin ja päästään jo hyvään asetelmaan.

Lähes kaikki talotekniset järjestelmät tuottavat jotain dataa. Alalle ei kuitenkaan ole määräytynyt mitään yleisesti vallitsevia standardeja, jotka velvoittaisivat kaikki järjestelmät tuottamaan yhdenmukaista dataa, jolloin datan keruussa ja hyödynnettävyydessä on vielä usein haasteita. Data täytyy tyypillisesti lukea ja muuntaa jonkin järjestelmän toimesta, usein

rakennusautomaatiojärjestelmän, minkä jälkeen data on paremmin hyödynnettävissä siinä määrin kuin dataa päätetään kerätä talteen. Monissa tapauksissa tämä on jo vakiintunutta käytäntöä, mutta datan tarpeen kasvaessa ja muuttuessa, dataa tarvitaan yhä useammista laitteista ja järjestelmistä, jolloin tutut protokollamuunnokset eivät enää ole helposti toteutettavissa tai riittäviä. Tämä on tuonut alalle uusien roolien tarpeen. Toteutuspuolelle tarvitaan toimijoita, jotka pystyvät tulkitsemaan ja muuntamaan minkä tahansa protokollan mukaisen tiedon yhteen määritettyyn muotoon ja kykenevät integroimaan mitkä tahansa järjestelmät toisiinsa kustannustehokkaasti. Tilaajan/valvonnan puolelle tarvitaan tahoja, jotka kykenevät valvomaan ja varmistamaan, että lopputulos on sovituksen mukainen ja asianmukaisesti dokumentoitu. Molempiin rooleihin löytyy jo toimijoita, mutta ovat hankkeissa vielä harvoin mukana oikea-aikaisesti.

Tiedonvakiointiin ja hyödynnettävyyteen liittyvä työ on syytä aloittaa hankkeissa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta suunnittelutyö alkaa hyödyntämään yhteistä toimintatapaa alusta alkaen ja vaatimukset tulevat urakoitsijoille myös jo hankintavaiheessa ilmi.

6.2.2 Tietomallit ja digitaaliset kaksoset

Uusi rakentamislaki vaatii rakennushankkeilta tietomallit rakennusvalvontaan toimitettaviksi. Tietomalleja kuitenkin hyvin harvoin vielä hyödynnetään käyttövaiheessa, vaikka niillä voisi olla saavutettavissa merkittäviä hyötyjä. Hyötyjen saavuttaminen edellyttää kuitenkin toimintatapamuutoksia huolto- ja ylläpitotoiminnassa, mikä on ainakin osittain jarruttanut tätä kehitysaskelta. Tietomalli voi toimia tehokkaana käyttöliittymänä huolto- ja ylläpitotoiminnalle, mutta myös kiinteistön muille käyttäjille.

Tietomalli perustuu lähtökohtaisesti todelliseen tietoon, joten mallin ylläpito ajantasaisena on ensiarvoisen tärkeää. Nykyisin on vielä normaalia, että pieniä muutoksia tehdään kiinteistössä ilman suunnittelua ja dokumentointia. Tästä olisi päästä muutenkin eroon, mutta etenkin, mikäli halutaan saavuttaa toimiva ylläpidon tietomalli. Tietomallista löytyy lähtökohtaisesti kunkin laitteen ja järjestelmäosan tiedot ja niihin tehdyt toimenpiteet. Lisäksi mallissa voidaan visualisoida olosuhteita eri tiloissa ja esittää laiteviat tarkkojen sijaintitietojen kera. Tällä kaikella voidaan tehostaa kiinteistössä toimimista, mikä lopulta usein vaikuttaa myös kiinteistön energiatehokkuuteen.

Tietomallin ja digitaalisen kaksosen voi määritellä eritasoisesti, joten on jälleen syytä ennen hankkeen alkua määrittää, mikä on riittävä mallintamisen taso, jotta mallilla saavutetaan toivottu hyöty, mutta mallin ylläpito ei vaadi tarpeettoman paljon työtä.

6.2.3 Tiedonkeruu

Kuten edellä on kuvattu, tiedonkeruu on noussut kiinteistöjen energiatehokkuuden optimoinnissa ja muissa käyttötarkoituksissa erittäin tärkeään rooliin. Tietoa on erittäin paljon saatavilla jo nykyisistä taloteknisistä järjestelmistä, mutta sitä hyödynnetään vielä verrattain vähän. Osittain syynä on ollut ymmärryksen puute siitä, mihin kaikkeen mitäkin tietoa voidaan hyödyntää, ja osittain tiedon verrattain kallis kerääminen suhteutettuna tietotekniikkaan muilla kuin kiinteistöalalla. Tämä tyypillisesti johtaa kerättävän tiedon karsimiseen niin, että kerätään vain vähimmäismäärä tietoa, jolla järjestelmät saadaan toimimaan hyvin. Näissä kuitenkin harvoin vielä huomioidaan esimerkiksi tarpeenmukaiseen ja ennakoivaan huoltoon ja vastuullisuusraportointiin liittyviä tarpeita.

Tiedonkeruuseen liittyen kiinteistöissä tulisi kiinnittää huomiota seuraaviin seikkoihin:

- Kaikissa laite- ja järjestelmävalinnoissa tulisi varmistaa, että niistä on tietoa kattavasti saatavilla ja, että laitteita ja järjestelmiä voidaan ohjata ja säätää tarpeenmukaisesti (kuitenkin harkinnan mukaan). Lisäksi toimitussisältöön tulee vaatia asianmukainen dokumentaatio saatavilla olevasta tiedosta ja siitä, miten tieto on luettavissa, sekä miten ohjaukset ja säädöt on toteutettavissa. Lopuksi tulee varmistaa, mitä mahdollisia kustannuksia tiedon luentaan sekä ohjaukseen ja säätöön mahdollisesti liittyy. Usein luenta ja ohjaukset ovat toteutettavissa paikallisesti, mutta voi usein vaatia myös erillisten rajapintojen käyttöönottoa ja ylläpitoa, mihin voi liittyä kustannuksia.
- Tulevaisuudenkestävyys. Tiedon tarpeen ja tärkeyden voi olettaa lisääntyvän tulevaisuudessa muun muassa tiukentuvien raportointivaatimusten ja käyttäjävaatimusten myötä. Tämän takia kiinteistöissä tulisi varautua ratkaisuille, infrastruktuurilla ja järjestelmäarkkitehtuurilla, jotka pystyvät kustannustehokkaasti keräämään tietoa kiinteistön järjestelmistä ja tuomaan tiedon helposti käytettäväksi, sekä kykenee myös tiedonsiirtoon toiseen suuntaan, jolloin järjestelmien ulkopuolinen ohjaus on myös mahdollista tulevaisuuden ratkaisuille. Teknologia ja palvelut kehittyvät kovaa vauhtia, joten kunkin ajan hetkellä tehtävät ratkaisut ja valinnat tulisi tehdä sillä tavoitteella, ettei rajata pois mahdollisuutta ottaa käyttöön uusia ratkaisuita niiden ilmestyessä markkinoille.
- Tiedonhallinta. Jotta tieto olisi helposti hyödynnettävissä järjestelmien välillä ja erilaisiin käyttäjien tarpeisiin, tulee tiedonhallintaan kiinnittää huomiota. Usein ratkaisuksi mietitään niin sanottua data-/integraatioalustaa (myös IDL, Independent Data Layer) tai tietokantaa, johon tietoa kootaan hallitusti ja tietoturvallisesti. Alustoja voi hankkia palveluna tai, mikäli löytyy asianmukaista osaamista, toteuttaa itse. Täysin tuotteistettuja ratkaisuita, jotka täyttäisivät kaikki kiinteistöjen tiedonsiirron tarpeet, on vielä melko vähän, mutta vaihtoehtojen määrä on kasvanut ja voidaan olettaa kasvavan ja vakiintuvan edelleen.

6.2.4 Integraatiot ja tietoturva

Moni tässä raportissa kuvatuista ratkaisuista edellyttää integraatioita eri järjestelmien välillä. Suuri osa on perinteisiä piste- ja kenttäväyläintegraatioita, mutta mukana alkaa olla useita alalle vieraampia ja monimutkaisempia integraatioita. Alan integraatio-osaaminen on vielä hyvin vaihtelevaa, joten integraatiotarpeet tulisi olla hyvin tunnistettuna ennen urakoitsijavalintoja, millä pyritään varmistamaan, että valitut toimijat kykenevät toteuttamaan halutut kokonaisuudet ja hinnoittelemaan työn.

Integraatioita on paikoittain myös mahdollista abstrahoida hyödyntämällä integraatioalustoja, jotka erikoistuvat järjestelmien tiedon tulkintaan ja harmonisointiin. Näillä ratkaisuille on oma toteutus- ja käyttökustannuksensa, mutta etenkin monimutkaisissa kokonaisuuksissa ja tietoa aktiivisesti hyödyntämällä kokonaisuudesta on mahdollista saada hyvin kustannustehokas kiinteistön elinkaaren aikana.

Integraatioiden lisääntyessä ja monipuolistuessa järjestelmien välillä siirtyvän tiedon määrä ja mahdollistetut toiminallisuudet järjestelmien välillä lisääntyvät. Tämä pakottaa tietoturvan parempaan huomiointiin. Tietoturva yleisesti on taloteknisten järjestelmien osalta vielä monin paikoin puutteellista ja vähemmälle huomiolle jäävää. Tavoiteltaessa kattavasti integroituja

kokonaisuuksia näin ei voi jatkossa enää olla, vaan on oletettava, että ennen pitkää erilaiset palvelunestohyökkäykset ja muut ilkeät väärinkäytökset kiinteistön järjestelmiä kohtaan tai niitä hyödyntäen tulee lisääntymään. Tietoturvan asianmukainen määrittäminen, valvonta ja ylläpito tuovat hankkeille usein uusia kustannuseriä, mikä vaikuttaa integroitujen järjestelmäkokonaisuuksien kustannustehokkuuteen. Toisaalta tietoturva on toistaiseksi liian vähän huomioituna, jolloin voidaan todeta, että näitä kustannuksia tulisi olla hankkeilla huomioituna ilman laajamittaisia integraatioitakin, jolloin kustannustehokkuusvaikutukset integraatioiden lisäämiselle pienenevät. Kuten älypuhelimilla ja muilla henkilökohtaisilla tietoteknisillä laitteilla, myös taloteknisten järjestelmien tietoturvaa tulee ylläpitää elinkaaren yli, mikä myös lisää järjestelmien käyttökustannuksia.

Kulutusjouston käyttöönotto ei ole suoranaisesti energiatehokkuuteen vaikuttava toimenpide, mutta voi parantaa edellä kuvattujen energiatehokkuustoimenpiteiden kannattavuutta tuomalla uuden tulovirran kiinteistön omistajalle. Kun kiinteistön järjestelmiin on toteutettu kokonaisvaltaisen säädettävyyden ja seurattavuuden mahdollistavat toimenpiteet, kulutusjousto on usein myös mahdollista toteuttaa.

Kulutusjousto voidaan määritellä eri tavoin. Monesti kulutusjoustolla tarkoitetaan sähkön, lämmön tai jäähdytyksen kulutuksen tai tuotannon muuttamista normaalista tasosta, jonkun hyödyn saavuttamiseksi. Kulutusjousto voidaan jakaa eksplisiittiseen ja implisiittiseen kulutusjousto. Eksplisiittisessä kulutusjoustossa joustot toteutetaan erillisen hintasignaalin perusteella, ja jouston tarjoamisesta saadaan rahallinen palkkio. Implisiittisessä kulutusjoustossa pyritään saavuttamaan säästöjä esimerkiksi pörssisähkön ostossa tai tehomaksuissa. Kulutusjousto voi olla joko tuotannon lisäämistä tai vähentämistä tai kulutuksen lisäämistä tai vähentämistä.

Kulutusjousto liittyy laajasti eri taloteknisiin järjestelmiin ja sitä kautta myös älyvalmiusindikaattorin (SRI) palvelulistauksen kohtiin. Monet palvelulistauksen kohdat liittyvät suoraan kulutusjousto, kun taas monet kohdat edesauttavat kulutusjousto mahdollistamalla paremman säädettävyyden ja joustokyvyn, seurannan, ennakkoinnin ja raportoinnin.

- Lämmitys: H-1a, H-1b, H-1c, H-1d, H-1f, H-2b, H-2d, H-3, H-4 (kulutusjousto, tuo ohjattavuutta ja joustokykyä lämmitykseen, auttaa seurannassa, raportoinnissa ja ennakkoinnissa).
- Lämmin käyttövesi: DHW-1a, DHW-1b, DHW-2b (tuovat joustokykyä ja auttaa seurannassa).
- Jäähdytys: C-1a-1d, C-1g, C-2a, C-2b, C-3, C-4 (kulutusjousto, tuovat joustovalmiuksia ja auttavat ohjauksessa, ennakkoinnissa ja seurannassa).
- Ilmastointi: V-1, V-2, V-6 (tuovat joustovalmiuksia ja auttavat seurannaa).
- Valaistus: L-1, L-2 (tuovat joustovalmiuksia).
- Sähkö: E-2, E-3, E-4, E-5, E-8, E-11, E-12.
- Sähköajoneuvojen lataus: EV-15 ja EV-17 (edesauttaa), EV-16.
- Seuranta ja valvonta: MC-3 (ennakointi ja ohjaus) MC-13 (synergia), MC-25, MC-28, MC-29 ja MC-30.

7.1 Joustokyvyn käyttökohteet

Joustoja voidaan toteuttaa eri syistä. Tavanomaisin syy on siirtää kulutusta kalleimmilta pörssisähkön hetkiltä halvimmille. Tulevaisuudessa mahdollista voi olla samanlainen säätö kaukolämmön tuntikohtaisen energian hinnan mukaan. Tähän tarkoitukseen toimivat hyvin energiavarastot, varaajat sekä sähköä käyttävä lämmitys.

Lämmitystä, jäähdytystä ja sähkön käyttöä on usein kustannustehokasta ja helppoa ohjata tasaamalla kulutusta huippukulutustunneilta muille tunneille, ja näin vähentää teho- tai jopa liittymämaksuja. Tehon rajoittaminen vaatii mittarointia ja ennusteita. Kaukolämmön tehon ja

tehomaksujen leikkaus voidaan toteuttaa yhteistyössä kaukolämpöyhtiön kanssa. Tällöin kaukolämmön tuotannon tai sääennusteen mukaan voidaan ajoittaa lämmityksen asetusarvojen muutokset tai yllämmittää rakennuksia etukäteen. Samalla tavalla sääennusteiden avulla voidaan vähentää mm. auringonpaisteesta johtuvaa yllämmitystä.

Lämpöä voidaan varastoida toimistokiinteistöissä lyhytaikaisesti olemassa oleviin varaajiin, mutta niiden kapasiteetti on pieni. Tyypillinen toimistokiinteistö vaatisi useamman tunnin lämpövarastoksi varaajaan, jonka tilavuus jopa yli 10 m³. Lämmön lyhytaikaista varastointia koskeva tutkimustyö on aktiivista tällä hetkellä sekä yliopistoissa että yrityksissä ja tarkemmat konseptit ja tulokset eivät ole vielä valmiita.

Hyvän säädettävyyden joustoressurit voidaan tarjota Suomessa Fingridin hallinnoimille reservi- ja säätösähkömarkkinoille, joilta voidaan saada hetkittäin suuriakin tuottoja tai säästöjä. Taajuusohjatuilla reservimarkkinoilla (FFR, FCR-D ja FCR-N) tuottoa saadaan varalle tarjotusta joustokykyisestä kapasiteetista (MW). Fingrid ostaa näiltä markkinoilta ylös- tai alassäätökapasiteettia. FFR ja FCR-D ovat nopeasti aktivoituvia markkinoita, joilla aktivointeja tapahtuu vuoden aikana energiamääräisesti vähän ja lähinnä verkon häiriötilanteissa. FFR on nopeimman vasteajan reservi ja sinne osallistuu sekuntitasolla aktivoituvaa sähkön tuotanto tai kulutuksen vähentäminen. FCR-D:llä on erikseen ylös- ja alassäätömarkkinat, ja se aktivoituu lineaarisesti taajuuspoikkeaman mukaan noin 7,5 s aikana. FCR-N aktivoituu jatkuvasti ja lineaarisesti taajuuden pitämiseksi lähellä 50 Hz:iä. FCR-N:ssä tarjotaan reserviä, joka pystyy sekä ylös- että alassäätöön noin 1 minuutin vasteajan tasolla. Taajuudenpalautusreservit aFRR ja mFRR ovat hitaampia, Fingridin pyynnöstä tai signaalista aktivoituvia reservejä, joilla vapautetaan nopeampia reservejä ja palautetaan poikennut taajuus takaisin 50 Hz:iin. Ne täytyy aktivoida 5–12,5 minuutissa. Näissä reserveissä tarjotaan joustoenergiaa ylös- tai alassäätömarkkinoille erikseen. Markkinoilta Fingrid ostaa ylös- tai alassäätöenergiaa tai myy alassäätöenergiaa. Lisäksi näillä markkinoilla on kapasiteettimarkkina, jolla Fingrid varmistaa, että aFRR- ja mFRR-markkinoille tulee tarpeeksi tarjouksia. Kapasiteettimarkkinalle tarjotaan joustokykyistä tehoa. Markkinoille hyväksytyt tarjoukset velvoittavat tekemään yhtä suuret tarjoukset energiamarkkinoille samalle ajanhetkelle kuin kapasiteettimarkkinalle.

Lisäksi joissain tapauksissa on mahdollista tarjota joustoä päivänsisäisille markkinoille (suuri energiamäärä), käyttää joustoja tasehallinnassa (tasevastaavan tasevirheen ja -maksujen vähentäminen tasaamalla sähkön ostoa ja kulutusta) tai tulevaisuudessa sähköverkkojen pullonkaulojen ja jännitteenhallinnan apuna siirtojenhallinnassa.

7.2 Valaistus

Valaistuksen hyödyntäminen kulutusjoustoissa edellyttää, että kiinteistössä on toteutettuna kappaleessa 5 kuvatun mukainen säädettävä ja seurattava valaistusjärjestelmä. Kulutusjousto mahdollistaa valaistuksen sähkönkulutuksen mukauttamisen esimerkiksi sähkön vuorokausimarkkinahintojen mukaan. Kulutusjousto tarjoaa myös mahdollisuuden osallistua reservi- ja säätösähkömarkkinoille, tai hallita kiinteistön huipputehontarvetta. Kulutusjouston merkittävimmät edut:

- Nopeus ja ylläpidettävyys: Valaistuksen säätö voidaan toteuttaa nopeasti ja joustoä voidaan ylläpitää pitkään ilman merkittävää häiriötä käyttäjille.
- Harvinaiset, suuremmat joustot: Suuremmat joustot ovat mahdollisia, kun niitä toteutetaan harvoin. Tällöinkin näitä voidaan hallita varmistamalla himmennykselle,

toisin sanoen valaistusvoimakkuustasolle minimitaso, jonka alapuolelle ei säädetä valaisimia.

Kulutusjoustop toteuttamisen keskeiset tekijät:

- Joustop suuruus ja esiintymistiheys: Joustop on oltava maltillisia ja harvinaisia, jotta ne eivät häiritse työympäristöä tai aiheuta turvallisuusriskejä. Himmennyksen tulee olla asteittaista ja tarpeeksi hidasta käyttäjäkokemuksen varmistamiseksi.
- Tilojen tarkka määrittely: Kulutusohjattavien tilojen määrittelyssä on myös tunnistettava ja rajattava tilat, joissa kulutusjoustopia ei voida toteuttaa. Näihin tiloihin kuuluvat esimerkiksi kriittiset alueet, joissa valaistuksen on oltava jatkuvasti optimaalista turvallisuuden, työtehtävien tarkkuuden tai käyttäjämukavuuden varmistamiseksi.
- Käyttäjäkokemuksen huomioiminen: Käyttäjäkokemusta voidaan seurata esimerkiksi kyselyillä. Tutkimusten mukaan hitaasti ja asteittain toteutetut joustopit eivät yleensä häiritse käyttäjiä merkittävästi, kun valaistusvoimakkuus pidetään riittävällä tasolla.
- Valaistusohjausjärjestelmän vaatimukset: Järjestelmän määrittelyssä on varmistettava, että se sisältää kaikki teknisesti tarvittavat ominaisuudet kulutusjoustopin toteuttamiseksi. Tämän lisäksi järjestelmän tulee olla liitettävissä rakennuksen hallintajärjestelmiin, ja siihen on voitava liittää tarvittavat komponentit. Järjestelmän on tuettava reaaliaikaista ohjausta, dynaamista himmennystä ja tarvittaessa energiankulutuksen seuranta.
- Optimoitu valaistus säätötarpeisiin: Valaistusjärjestelmän tulee pystyä mukautumaan nopeasti ja tarkasti muuttuvan sähköverkon tilan mukaan. Esimerkiksi päivänvaloanturit, läsnäolotunnistimet ja valaisinkohtaiset säädöt parantavat kulutusjoustopin tarkkuutta ja energiansäästöjä.

Haittana on kulutusjoustopin ohjauksen investointien suuri kustannus verrattuna saatavaan hyötyyn, koska valaistuksen sähkönkulutus on tyypillisesti suhteellisen pientä. Mikäli toimitilassa, jossa valaistusvoimakkuus on 500 luksia ja valaistuksen neliöteho 5 W/m^2 , toteutetaan 20 %:n kulutusjoustop, saadaan valaistusvoimakkuudesta alennettua neliötehoa noin 1 W/m^2 . Tällöin 1000 m^2 toimistoalueelle kulutusjoustopin tuottama säästö olisi $0,1 \text{ €/h}$ jokaista sähkönhinnan $0,1 \text{ €/kWh}$:a kohti. On suositeltavaa, että valaistuksen kulutusjoustopitoiminnot yhdistetään muihin energiatehokkuuden parantamiseen tähtääviin ratkaisuihin, ja että himmennysjärjestelmällä on myös muita toiminnallisia hyötyjä.

Toimistokiinteistöissä himmennysten käyttö kulutusjoustopissa on vielä harvinaista.

7.3 Ilmanvaihtokoneet

Ilmanvaihtokoneita voidaan käyttää kulutusjoustopissa monipuolisesti. IV-koneiden puhaltimet voivat esimerkiksi taajuusmuuttajien tai EC-moottorien kautta joustavasti säätää tehoa ylös tai alas. Tällöin joustopia voidaan tarjota monille reservi- ja säätösähkömarkkinoille tai IV-koneiden kulutusta voidaan optimoida mm. sähkön vuorokausimarkkinahintojen tai kiinteistön huipputehokien perusteella. Hitaammassa joustoposovelluksissa myös päälle/pois -ohjaus tai puoliteholla ajaminen ovat kustannustehokas ratkaisu. Ilmanvaihtokoneiden joustopissa tulee kuitenkin huomioida tilojen olosuhteiden pysyvyys, ja joustopin kesto ja suuruus tuleekin valita niin että olosuhteet pysyvät sallituissa rajoissa. Suuren rakennusmassan ja -tilavuuden avulla olosuhteet voivat heikentyä hyvinkin hitaasti, kun taas täynnä oleva neuvotteluhuone voi

nopeasti lämmentä ja hiilidioksidipitoisuus ilmassa kasvaa. Näitä ongelmia voidaan vähentää joustotesteillä, olosuhdeseurannalla ja käyttäjäkyselyillä. Lisäksi on huomioitava nopeiden ja usein tapahtuvien puhaltimien säätöjen vaikutus mm. äänen muodostumiseen IV-kanavissa.

Ilmanvaihdon puhaltimien käyttöönotto kulutusjoustoan voi parhaimmillaan olla vain ohjelmallinen muutos automaatiojärjestelmään, jolloin ratkaisu on hyvinkin kustannustehokas. Riippuen kiinteistön nykytilanteesta ja IV-koneiden ohjattavuudesta investoinnit voivat myös olla suuret. Investointeihin, kuten sähkömittaukset, olosuhdeanturointi, ohjelmistomuutokset, automaatiojärjestelmän parannukset, taajuusmuuttajat, väyläliitynnät, voi kuluu huomattavia summia suhteessa joustojen hyötyihin. Suositeltavaa onkin toteuttaa kulutusjousto kohteisiin, joissa on ajanmukainen automaatiojärjestelmä.

IV-koneiden puhaltimien hyödyntämistä reservi- ja säätösähkömarkkinoilla on tutkittu toimistokiinteistöissä. Sovellus on harvinainen, mutta on käytössä joissain kohteissa.

7.4 Varavoimakoneet

Varavoimakoneet polttavat yleensä biopohjaisia tai fossiilisia polttoaineita ja tuottavat kiinteistöissä sähköä varavoimalla varmennettuun verkkoon. Varavoimakoneilla voidaan tuottaa sähköä kiinteistöön ja siten vähentää verkosta ostettavaa sähköä, tai suoraan tuottaa sähköä jakeluverkkoon. Tällä tuotannolla voidaan osallistua reservi- ja säätösähkömarkkinoille taajuudenpalautusreserveihin. Yleensä varavoimakoneet eivät kuitenkaan ole tarpeeksi nopeita taajuusohjatuille reservimarkkinoille. Lisäksi sähköä voidaan tuottaa korkean sähkön hinnan aikoina, kulutushuippujen leikkaukseen, tai jopa päivänsäisillä markkinoilla ja sähkötaseen hallinnassa. Varavoiman hyödyntämisessä tulee huomioida tuottoteho, joka ei pitkän tuotannon aikana voi olla 100 %. Joissain tapauksissa myös päästöt ja käyttötunnit voivat ylittää halutun rajan. Myös muu paikallinen uusiutuvan energian tuotanto toimii vastaavalla tavalla. Aurinkopaneelit ovat yksi mahdollinen tulevaisuuden joustoressurssi isommissa järjestelmissä, sillä aurinkopaneelit voivat helposti ohjata tuotettua tehoa pienemmäksi tarpeen mukaan.

Varavoimakoneiden käyttöönotto voi olla hyvinkin helppoa, ja vaaditaan vain ohjelmallinen muutos.

Toimistokiinteistöissä varavoiman käyttö kulutusjoustossa ei ole yleistä, mutta muissa suurissa kiinteistöissä näitä on toteutettu.

7.5 Akkujärjestelmät

Akkujärjestelmät, kuten litium-ioni-akustot ovat mahdollisia tukemaan toimistokiinteistöjen sähkön kulutusta ja tuotantoa. Akustot voivat leikata huippukulutusta, vähentää mitoitustehoa sekä auttaa optimoimaan sähköenergian kulutuksen kustannuksia lataamalla halvan sähkön aikaan ja purkamalla akkua kalliin sähkön aikaan. Akustoilla voidaan myös parantaa paikallisen uusiutuvan energian tuotannon käyttöä, esimerkiksi aurinkosähkön varastoinnissa.

Investoinnit voivat akkujärjestelmään olla suuretkin, ja paloturvallisuuden vuoksi helpoin sijoituspaikka akustoille on ulos. Lisäksi on huomioitava akustojen jäähdystarve. Akustot voivat olla hyvinkin kustannustehokkaita, mutta tämä riippuu olennaisesti olemassa olevasta sähköinfrastruktuurista, sähköenergian ja siirron hinnasta sekä akuston investointikustannuksista, mitkä voivat vaihdella huomattavasti. Aurinkosähkön ja sähkön hinnan

optimointiin kustannustehokkaasti akustojen hinnat eivät ole vielä laskeneet tarpeeksi. Sen sijaan reservimarkkinoilla tuotot voivat olla hyvät suhteessa investointihintaan.

Toimistokiinteistöissä erilliset akkujärjestelmät eivät ole yleisiä, varsinkaan reservimarkkinakäytössä. Akkujärjestelmien toimittajille eri joustotavat ovat tuttua.

7.6 Sähkökattilat

Sähkökattilat ovat yleistymässä lämmöntuotannossa. Sähkökattiloita on mahdollista ohjata tuottamaan sähköä halvan sähkön tunteina, mutta kattiloita on myös mahdollista hyödyntää reservi- ja säätösähkömarkkinoilla alassädössä, esimerkiksi FCR-D-markkinalla. Tällöin on kuitenkin suositeltavaa, että hyödynnetään myös lämmitysvaraajaa, johon sähkökattila voi tuottaa lämpöä milloin vain reservimarkkinoille osallistuakseen.

Sähkökattiloiden investoinnit ovat kohtuullisen pienet ja joustojen toteutus on lähinnä ohjelmallinen muutos. Kuitenkin, jos sähkökattilat, varaaja ja sähköistys investoidaan vain reservimarkkinalle osallistumista varten, voi hyväksyttävän takaisinmaksuajan saavuttaminen olla hankalaa.

Sähkökattilat ovat jonkin verran yleistymässä toimistokiinteistöissä, mutta niiden käyttö reservimarkkinoilla on harvinaista. Tähän on kuitenkin noussut kiinnostusta viime aikoina, ja jotkin laitetoimittajat mainostavat jo tätä mahdollisuutta ja tarjoavat valmiita toiminnallisuuksia.

7.7 Lämpöpumput ja vedenjäähdytyskoneet

Lämpöpumput ja vedenjäähdytyskoneet (kompressorit) ovat yksi toimistokiinteistöjen suurimmista sähkötehon kuluttajista. Näitä laitteita voidaan käyttää sähkön hinnan optimoinnissa, teholeikkauksessa tai reservi- ja säätösähkömarkkinoilla. Nopeimpiin markkinoihin kompressorien vaste ei ole tarpeeksi nopea, mutta hitaammat markkinat ovat mahdollisia. Useiden nopeiden tilamuutosten (tehon nosto ja lasku eri pisteihin) vaikutusta kompressoreihin voidaan vähentää vaiheistamalla joustojen aktivointeja useampien koneiden kesken vuorottelustrategialla. Taajuusmuuttajat helpottavat kompressorien ohjausta, mutta eivät ole kaikissa tapauksissa pakollisia. Esimerkiksi lämpötilan asetusarvojen muutokset vaikuttavat hitaasti, mutta ovat helposti toteutettavissa. Suuret varaajat helpottavat lämpöpumppujen ja vedenjäähdytyskoneiden joustoja.

Tuotot jäävät kuitenkin kohtuullisen pieniksi, joten jos järjestelmään vaaditaan muitakin investointeja ohjelmallisten muutosten lisäksi, ei järkevää takaisinmaksuaikaa välttämättä saavuteta.

Kohteita, joissa lämpöpumput toimivat reservi- ja säätösähkömarkkinoilla on vähän. Yleistä (ja suositeltavaa) on kuitenkin jo lämpöpumppujen ohjaus energian hinnan mukaan.

7.8 Sähköautot ja sähköautojen lataus

Sähköautot toimivat kuten erilliset akkujärjestelmät. Kuormanhallinta on yleinen ja hyvin kustannustehokas ratkaisu. Kuormanhallinnalla sähköautojen latauskentän yhteistä maksimilataustehoa rajoitetaan, jolloin latausjärjestelmän, ja sähköliittymän mitoituksessa säästetään ja tehomaksuja saadaan laskettua. Kuormanhallinnassa voidaan myös huomioida koko kiinteistön sähkön kulutus. Kuormanhallinnassa latauspaikkojen tehoa rajoitetaan niin että kokonaisteho pysyy sallituissa rajoissa. Yleensä kaikkea lataustehoa ei tarvita kerralla, joten

tällainen rajoitus ei juurikaan haittaa sähköautojen latausta. Kaksisuuntainen lataus on yleistymässä latureissa ja sähköautoissa. Tällöin sähköautojen akustoja voidaan myös purkaa sähköverkkoon tai rakennuksen kulutuksen vähentämiseksi. Tämä mahdollistaisi reservimarkkinoilla toimimisen, mutta investointi kaksisuuntaiseen laturiin on kallis verrattuna tuottoihin. Sähköautojen lataustehoa voidaan myös rajoittaa reservimarkkinoilla esimerkiksi FCR-D-ylössäädössä. Tämä ei juurikaan vaikuta itse lataukseen eikä vaadi juurikaan lisäinvestointeja. Tuotot autoa kohden ovat kuitenkin pienet.

Kuormanhallinta on hyvin kustannustehokas ja yleinen ratkaisu. FCR-D:lle osallistuminen on mahdollista pienillä investoinneilla mutta tuotot ovat pieniä.

Kuormanhallinta on yleistä, mutta reservimarkkinakäyttö harvinaista.

7.9 Kaukoenergia

Kaukolämmössä ei ole vielä käytössä tuntihintoja, mutta kaukolämmön (ja -kylmän) osalta voidaan joustoja hyödyntää tehomaksujen leikkauksessa sekä liittymän mitoitustehon vähentämisessä. Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää sähkökattiloita tai ilmanvaihdon ja tilalämmitysverkostojen kulutuksen pienentämistä. Lämmön ja kylmän osalta tämä voidaan tehdä ohjelmallisesti säätämällä ilmanvaihdon puhaltimia tai lämpötilan asetusarvoja. Mahdollista on myös ennustaa lämmityksen kulutus esimerkiksi sääennusteen ja kulutuksen historiatietojen avulla, jolloin voidaan vähentää tilojen yllämmitystä tai yllämmittää tiloja ennen kylmimpiä tunteja kulutushuippujen leikkaamiseksi. Lämmityksen ja jäähdytyksen joustoissa olosuhdeseuranta on tärkeää.

Ratkaisut ovat hyvin kustannustehokkaita yksinkertaisen toteutuksen ansiosta. Perinteisesti kylmimpinä hetkinä on jo voitu pudottaa IV-koneet osateholle, mutta edistyneemmät joustotavat ovat vielä uusia.

Kaukoenergian hyödyntäminen kulutusjoustossa on vielä nykyisin harvinaista. Kaukolämpöyhtiöt ovat alkaneet kehittää omia älykaukolämpöpalveluitaan, ja pilotteja on jo tehty.

7.10 Kulutusjoustopon kannattavuus

Kulutusjoustopon käyttöönotto ja investoinnit riippuvat pitkälti tekniikan nykytilanteesta. Reservimarkkinoilla tärkeää on nopea ohjattavuus ja joustojen todentaminen. Joustojen suuruuden määrittelyyn vaaditaan mittarointia lähellä joustavaa kohdetta tai joustotestettä, raportointia Fingridille ja tarpeen vaatiessa olosuhdeseurantaa, jos joustot vaikuttavat sisäolosuhteisiin. Joustokäskyt välitetään automaatiojärjestelmän kautta esimerkiksi jousto-operaattorin tai aggregaattorin pilvipalvelusta. Reservimarkkinoille vaaditaan myös tarpeeksi suuret tarjouskoot, yleensä 1 MW. Tämän koon saavuttamiseksi vaaditaan usein useampien rakennusten tai kohteiden keräämistä yhdeksi tarjoukseksi aggregaattorin avustuksella. Joustoresurssien kannattavuus ja yleisyys on esitetty yhteenvetotaulukossa alla. Yleisyys ja kannattavuus on pisteytetty asteikolla 1–3, jossa suurempi luku tarkoittaa, että ratkaisu on yleinen / kannattava.

Taulukko 1. Kulutusjoustop yleisyys ja kannattavuus resurssittain.

Joustoreurssi	Kannattavuus	Tuotto/säästö	Yleisyys
Valaistus	1–2	1	1
Ilmanvaihtokoneet	1–3	1–2	1
Varavoimakoneet	3	2–3	1
Akkujärjestelmät	1–3	2	2
Sähkökattilat	2–3	1–2	2
Lämpöpumput	1–2	1–2	2
Sähköautot	3	2	1–3
Kaukoenergia	3	2–3	1

Järjestelmien integraatiosta koituu kustannuksia ja rajapintojen avoimuus on tärkeässä roolissa. Joustopalvelun tarjoaja ottaa palvelusta kiinteän maksun tai osan markkinatuotoista. Joustavien laitteiden ohjattavuudessa ja kompleksisuudessa on myös eroja, eikä vanhoja laitteita ole välttämättä mahdollista ohjata ilman suuria investointeja. Automaatiojärjestelmän ja väyläratkaisujen tuleekin olla ajantasaisia, ja kustannustehokkainta onkin huomioida mahdollinen joustojen käyttöönotto saneeraus- ja uudisrakennuskohteissa suunnittelussa hyvissä ajoin.

Joustojen kannattavuus riippuu pitkälti investointien suuruudesta, sillä tuotot tai säästöt ovat yleensä suhteellisen pieniä. Esimerkiksi valaistusteho on toimistorakennuksissa yleensä pieni ja valaistustehoa ei voida säätää paljoa, jolloin tuotot markkinoilta ovat myös kohtuullisen pieniä. Tällöin takaisinmaksuaika voi olla joko hyvin lyhyt tai hyvin pitkä (1–20 v). Ilmanvaihtokoneiden reservimarkkinoiden valmiuksista ja investoinneista riippuen takaisinmaksuaika on 10–20 vuoden luokkaa. Varavoimakoneet vaativat harvoin suuria investointeja ohjaukseen, jolloin takaisinmaksuaika reservimarkkinoilta voi olla jopa 1–2 vuotta. Päästöt voivat kuitenkin kasvaa, jos varavoimakoneita käynnistetään usein ja poltetaan fossiilisia polttoaineita. Akkujärjestelmät maksavat itsensä takaisin olemassa olevasta infrastruktuurista ja akkuteknologiasta riippuen jopa alle 10 vuodessa. Sähkökattilat ovat halpoja ja näitä on jo useissa kiinteistöissä käytössä, mutta lisäinvestointeja voidaan tarvita varaajiin. Takaisinmaksuaika voi silti olla lyhyt, jopa 5 vuoden luokkaa, mutta tämä riippuu myös sähkökattilan koosta. Lämpöpumppujen säädettävissä oleva teho on yleensä suhteellisen pieni, jolloin suuret investoinnit eivät ole kannattavia. Käytön optimointi sähkön energian hintojen mukaan on kuitenkin suhteellisen helppoa, erityisesti varaajan kanssa, ja myös kannattavaa. Sähköautojen kuormanhallinta on hyvin kannattavaa (noin 1 vuoden takaisinmaksuaika), ja se otetaankin yleisesti huomioon. Reservimarkkinoille lataustehon tarjoaminen on myös kannattavaa, jos järjestelmä ei vaadi lisäinvestointeja. Sähköautojen reservimarkkinakäytössä ongelmana on kuorman epäsäännönmukaisuus, jolloin tarvitaan suuria epävarmuuskertoimia reservimarkkinatarjouksiin. Kaukoenergian tehon leikkaus on monesti hyvin kannattavaa, ja maksaa itsensä takaisin alle 5 vuodessa.

Reservimarkkinoista yleisimmin käytetty on FCR-N sen vasteajan (63 % joustosta aktivoitu 1 minuutin sisällä, 95 % aktivoitu 3 minuutin sisällä) sekä muita pienemmän minimitarjouskoon (0,1 MW) takia. FCR-D on suositeltu, jos vaatimukset, kuten vasteaika (86 % joustosta 7,5 sekunnin kuluessa) ja minimitarjouskoko (1 MW) saadaan täytettyä, sillä reserviä aktivoidaan energiamääräisesti suhteellisen vähän, jolloin vaikutus kiinteistöön on pienempi. FRR-markkinat (aFRR ja mFRR) soveltuvat esimerkiksi varavoimakoneille, joille muut reservit ovat yleensä liian nopeita. Nämä markkinat ovat myös hyviä vaihtoehtoja muihin markkinoihin osallistuville

reserveille, sillä suositeltavaa on mahdollistaa useammalle markkinalle osallistuminen markkinariskin pienentämiseksi ja reservien valinnan optimoinnin mahdollistamiseksi.

Yleisesti reservimarkkinat eivät ole hyödynnettyjä toimistokiinteistöissä muutamia yksittäistapauksia lukuun ottamatta. Sähköautojen kuormanohjaus on suuremmissa latauskentissä jo huomioitu, mutta reservimarkkinoille osallistuu vain yksittäiset kohteet. Käytön optimointi sähkön hintojen mukaan on jo suhteellisen yleistä ja tehomaksujen leikkaaminenkin on pikkuhiljaa yleistymässä.

Kulutusjousto voi tuoda lisätuottoja kiinteistöille, jos toteutus onnistuu pienillä investoinneilla. Kulutusjouston käyttöönotolla on kuitenkin useita hyötyjä ja synergioita datan käytön ja hallinnan kanssa, eri markkinoille osallistumisessa, energiajärjestelmän tukemisessa ja energian käytön optimoinnissa hyödyntämällä mm. akkuja ja varaajia sekä omaa paikallista energiantuotantoa. Kulutusjousto myös parantaa resilienssiä ja sillä on tulevaisuudessa uusia mahdollisia käyttötapoja siirtojenhallinnassa, tuntikohtaisten kaukolämmön hintojen optimoinnissa tai CO₂-päästöjen vähentämisessä tuntitasolla.

8 Muita energiatehokkuustoimenpiteitä

8.1 Kiinteistökohtainen tuulivoima

Viime vuosina on tullut markkinoille kiinteistökohtaisia pientuulivoimajärjestelmiä. Kaupunkikäyttöön soveltuvien tuuliturbiinien teho on tyypillisesti 1–5 kW, halkaisija reilun metrin ja korkeus enintään muutaman metrin. Turbiini asennetaan rakennuksen katolle ja järjestelmässä on sisään rakennettu generaattori, joka tuottaa tasajännitettä. Tuotantoon vaikuttavat merkittävästi paikalliset tuuliolosuhteet. Valmistajien antamien tuottolaskelmien mukaan takaisinmaksuaika on alle 20 vuotta. Kirjoittajien tekemien analyysien perusteella arvio takaisinmaksuajasta ei ole realistinen vaan jopa 100 vuotta nykyisillä sähkön hinnoilla. Investointikustannusten suuruus on tyypillisesti joitakin kymmeniä tuhansia euroja. Lisäksi tulee huomioida vesikaton kantavuus ja mahdollinen rakenteiden vahvistaminen itse tuuliturbiinin massan vuoksi sekä tuulikuorman vaikutus.



Kuva 4. Makemu Eolo tuuliturbiini.



Kuva 5. Windside 2 tuuliturbiini.

8.2 Polttokennot

Polttokennojen hyödyntäminen energiatehokkuuden parantamisessa ja päästöjen vähentämisessä on ajankohtainen aihe, mutta toteutukset vielä harvinaista ja kannattamattomia kustannusnäkökulmasta. Polttokennot ovat energiatehokkaita ja ympäristöystävällisiä ratkaisuja, jotka voivat merkittävästi vähentää toimistorakennusten hiilijalanjälkeä.

Polttokennot muuntavat polttoaineen kemiallisen energian suoraan sähköksi ja lämmöksi, mikä tekee niistä erittäin tehokkaita lämmön ja sähkön yhteistuotannossa. Polttokennot myös tuottavat vähemmän kasvihuonekaasuja verrattuna perinteisiin energialähteisiin, mikä auttaa vähentämään toimistorakennusten ympäristövaikutuksia.

Polttokennot voivat toimia itsenäisesti tai yhdessä muiden energialähteiden kanssa, tarjoten luotettavan energiansaannin myös sähkökatkosten aikana.

Polttokennojen tuottamaa lämpöä voidaan hyödyntää rakennusten lämmityksessä, mikä parantaa energiatehokkuutta entisestään, minkä lisäksi polttokennot voivat tuottaa sähköä suoraan rakennuksen tarpeisiin, vähentäen riippuvuutta ulkoisista sähköverkoista.

Polttokennojen käyttö toimistokiinteistöissä on vielä kehittyvä ala, mutta niiden potentiaali energiatehokkuuden ja ympäristöystävällisyyden parantamisessa on merkittävä.

8.3 Kaksisuuntainen kaukolämpö

Kaksisuuntainen kaukolämpö on uudempi kaukolämmön malli, jossa asiakkaat voivat sekä ostaa että myydä lämpöä kaukolämpöverkkoon. Tämä mahdollistaa esimerkiksi ylijäämälämmön hyödyntämisen ja pientuotannon integroimisen kaukolämpöjärjestelmään.

Kaksisuuntainen kaukolämpö voi parantaa kiinteistön energiatehokkuutta, koska se mahdollistaa lämmön kierrättämisen ja hyödyntämisen tehokkaammin. Samalla järjestelmä vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, kun ylijäämälämpöä ja uusiutuvia energialähteitä voidaan hyödyntää tehokkaammin myös kaukolämpöyhtiöiden toimesta. Lisäksi järjestelmä tuo kiinteistönomistajille uusia mahdollisuuksia, koska he voivat toimia sekä lämmön kuluttajina että tuottajina, mikä lisää joustavuutta ja mahdollisuuksia säästää energiakustannuksissa.

Toteuttamisen kannattavuus edellyttää, että kiinteistössä on merkittäviä hukkalämmöntuottajia, jotta kaukolämpöverkkoon saadaan myytävää energiaa, jota ei tarvita suoraan kiinteistön omaan käyttöön. Jos esimerkiksi kivijalassa on päivittäistavarakauppoja tai kiinteistössä on useita ravintoloita, voi hukkalämpöä hyvinkin olla myytäväksi takaisin verkkoon.

Kaksisuuntaisen kaukolämmön käyttöönotto vaatii investointeja ja muutoksia olemassa oleviin järjestelmiin, mutta se tarjoaa merkittäviä etuja pitkällä aikavälillä, mikäli myytävää lämpöä on paljon. Ratkaisua kannattaa harkita etenkin uudisrakentamisessa ja laajamittaisissa kaukolämpöjärjestelmäsaneerauksissa. Keskustelut energiayhtiöiden kanssa on syytä aloittaa tällöin mahdollisimman aikaisessa vaiheessa.

Älyvalmiusindikaattori (Smart Readiness Indicator, SRI) on EU:n lanseeraama mittari, joka arvioi rakennusten kykyä ja valmiuksia toimia energiatehokkaasti ja joustavasti, mutta myös käyttäjiään palvelevasti. Tämä indikaattori auttaa kiinteistönomistajia ja -hallinnoijia ymmärtämään, kuinka hyvin heidän rakennuksensa ovat valmiita vastaamaan tulevaisuuden tarpeisiin energiatehokkuuteen ja -joustavuuteen sekä käyttäjäystävällisyyteen liittyen.

Yleisesti voidaan todeta, että nykyaikainen suomalainen uudisrakennus on tyypillisesti hyvin varautunut SRI:n kannustamaan tarpeenmukaiseen ohjaukseen ja säätöön, ja ympäristösertifikaattien ja vastuullisuusraportoinnin vaatimat kulutusseurannat tukevat hyvin SRI:n raportointipalveluita. SRI-palvelut, jotka sen sijaan tuottavat haasteita, liittyvät kulutusjousto- ja vuorovaikutukseen energiaverkkojen kanssa, mihin kaikki energiayhtiöt eivät vielä edes tarjoa mahdollisuuksia, lämpöä ja kylmää varaaviin rakenneosiin, energian varastointiin yleisesti sekä dynaamiseen ulkovaippaan. SRI ei nykyisellään huomioi paljon käytettyä kaukolämpöä ja -kylmää, jotka tyypillisesti aiheuttavat lämmön ja kylmän varastoinnin pois jättämisen. Vastaavasti sähköakut eivät ole vielä yleistyneet merkittävästi, joskin jonkin tasoinen murros tuntuu tässä olevan käsillä. Kaikkia SRI-palveluita ei kuitenkaan haluta tai osata vaatia ja suunnitella parhaalle kustannustehokkaasti mahdolliselle toiminnallisuustasolle asti.

Vanhan kiinteistökannan kyvykkyys vastata SRI-vaatimuksiin kustannustehokkaasti riippuu pitkälti toteutetuista ratkaisuista. Petri Piironen diplomityössä (*Benefits and Cost-Effectiveness of Smart Services in Apartment and Office Buildings in Finland*, Diplomityö, Petri Piironen, 2021, Aalto-yliopisto) tutkittiin SRI:n kuvaamien energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutusta ja kannattavuutta esimerkkitoimistorakennuksessa. Tutkimus käytti lähtökohtana vuoden 2000 tyypillisiä ratkaisuita, jotka eivät monilta osin vastaa nykyaikaisessa uudisrakennuksessa käytettyjä. Esimerkiksi huonesäätöjä ei ollut käytössä diplomityön esimerkkikiinteistössä. Tuloksista voidaan todeta, että vaikka esimerkkirakennuksessa oli saavutettavissa noin 15 % säästöt niin lämmön- kuin sähkönkulutuksessa, mitkään toimenpiteet yksittäin toteutettuna eivät ole kustannustehokkaita johtuen suurista investointitarpeista säädettävyyden ja seurattavuuden parantamiseksi. Toimenpiteille tulisi saada lisäarvonluontia energiansäästöjen lisäksi tai suuri osa investoinneista tulisi tehdä pakollisten saneerausten yhteydessä.

Älyvalmiusindikaattorin pakollisuuden ja sen asettamien vaatimusten ollessa vielä määriteltävänä palvelukuvauksia voi kuitenkin jo hyödyntää suunnittelun ohjauksessa sekä osana esimerkiksi kiinteistöjen kuntokartoituksia. Toteuttamalla järjestelmien ja laitteiden laatusoparannuksia pakollisten saneerausten yhteydessä, jolloin parannukset ovat huomattavasti kustannustehokkaampia, voidaan priorisoiden hiljalleen nostaa kiinteistön säädettävyyttä ja seurattavuutta, mikä hiljalleen parantaa kiinteistön energiatehokkuutta ja mahdollistaa uusien ohjelmallisten energiatehokkuusparannusten kustannustehokkaan toteuttamisen.

Toteuttamalla kaikki tässä raportissa esitetyt toimenpiteet täysimääräisinä sekä toteuttamalla toimenpiteiden mahdollistamat ohjelmalliset toiminnallisuudet voidaan saavuttaa älyvalmiusindikaattorin arvoksi jopa 99 %:

		VAIKUTUKSET						SRI
		1		2			3	
		Energiatohokkuus	Huolto ja vikojen ennakkointi	Mukavuus	Sopivuus	Terveys, hyvinvointi ja saavutettavuus	Tiedot käyttäjille	Energian joustavuus ja varastointi
Total		99 %	100 %	95 %	98 %	96 %	100 %	100 %
AIHEALUEET	Lämmitys	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
	Lämmin käyttövesi	100 %	100 %	0 %	100 %	0 %	100 %	100 %
	Jäähdytys	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
	Ilmanvaihto	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0 %
	Valaistus	100 %	0 %	100 %	100 %	100 %	0 %	0 %
	Dynaaminen kiinteistön kuori	60 %	100 %	60 %	67 %	75 %	100 %	0 %
	Sähköistys	100 %	100 %	0 %	100 %	0 %	100 %	100 %
	Sähköajoneuvojen lataus	0 %	0 %	0 %	100 %	0 %	0 %	100 %
	Seuranta ja valvonta	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Kuva 6. SRI-arvo kaikilla esitetyillä toimenpiteillä. Laskelma ja kuva Motivan laskentatyökalusta.

Rajaamalla pois kiinteistön osallistumisen joustoon ulkoisten verkkosignaalien perusteella, mikä ei ole vielä yleistä tavanomaisissa toimitilakiinteistöissä, voidaan saavuttaa älyvalmiusindikaattorin arvoksi 75 %:

		VAIKUTUKSET						SRI
		1		2			3	
		Energiatohokkuus	Huolto ja vikojen ennakkointi	Mukavuus	Sopivuus	Terveys, hyvinvointi ja saavutettavuus	Tiedot käyttäjille	Energian joustavuus ja varastointi
Total		98 %	92 %	90 %	86 %	89 %	87 %	44 %
AIHEALUEET	Lämmitys	100 %	100 %	90 %	88 %	67 %	100 %	45 %
	Lämmin käyttövesi	100 %	100 %	0 %	100 %	0 %	100 %	67 %
	Jäähdytys	100 %	100 %	88 %	88 %	67 %	100 %	45 %
	Ilmanvaihto	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0 %
	Valaistus	100 %	0 %	100 %	100 %	100 %	0 %	0 %
	Dynaaminen kiinteistön kuori	60 %	100 %	60 %	67 %	75 %	100 %	0 %
	Sähköistys	100 %	100 %	0 %	100 %	0 %	100 %	89 %
	Sähköajoneuvojen lataus	0 %	0 %	0 %	100 %	0 %	0 %	33 %
	Seuranta ja valvonta	88 %	82 %	100 %	76 %	100 %	67 %	22 %

Kuva 7. SRI-arvo ilman ulkoisia verkkosignaaleja. Laskelma ja kuva Motivan laskentatyökalusta.

Yksittäiset kustannustehokkaat energiatehokkuustoimet käyvät toimitilakiinteistöissä vähiin, kun nykyiset kannattaviksi tunnistetut toimenpiteet on toteutettu. Seuraava merkittävä harppaus kiinteistöjen energiatehokkuudessa on saavutettavissa kokonaisvaltaisella tarpeenmukaistamisella, jossa useista pienemmistä energiasäästökohteista saadaan muodostettua merkittäviä kokonaisuuksia. Tämän saavuttamiseksi on vielä nykyistä enemmän panostettava taloteknisten järjestelmien säädettävyyteen sekä järjestelmien, olosuhteiden ja kulutuksen seurantaan.

Toimenpiteet ovat harvoin yksinään ja vain energiatehokkuuden näkökulmasta toteutettuna kustannustehokkaita, joten investoinnit ja parannustoimenpiteet on kannattavampaa yhdistää pakollisiin saneerauksiin ja laiteusintoihin. Toimenpiteillä on myös saavutettavissa muuta lisäarvoa energiasäästöjen lisäksi, millä voidaan parantaa investointien kannattavuutta. Toimenpiteillä voidaan muun muassa tukea käyttömukavuutta, vastuullisuusraportointia ja muita käyttäjätarpeita. Laite- ja järjestelmämodernisoinneilla saavutettava data voi lisäksi mahdollistaa kehittyneiden toimintojen, kuten tekoälyavusteisen toiminnan optimoinnin ja analytiikan, kustannustehokkaan käyttöönoton. Datan jatkoehdyntäminen edellyttää kuitenkin investointeja ja toimintamallien kehittämistä, jotta datan laatu saadaan ylläpidettyä läpi kiinteistön elinkaaren.

Taulukossa 2 on listattuna tässä raportissa kuvatut toimenpiteet, niiden kannattavuus ja niihin liittyviä huomioita. Kannattavuuden arvosteluasteikkona on käytetty skaalaa 1–3, jossa 1 on yleensä epäkannattava, 2 voi olla kannattava tai kannattamaton, ja 3 on yleensä kannattava. On kuitenkin huomioitava, että kukin kiinteistö on yksilöllinen, jolloin kannattavuutta on arvioitava kyseisen kiinteistön tiedoilla ja kulloinkin vallitsevasta lähtötilanteesta ja tavoitetilasta.

Lopuksi voidaan todeta, että vaikka tässä raportissa kuvattujen yksittäisten toimenpiteiden kustannustehokkuutta voi paikoittain olla haastavaa saavuttaa perinteisin mallein, ovat monet esitetyistä toimenpiteistä välttämättömiä asetettujen energiatehokkuus- ja päästötavoitteiden saavuttamiseksi.

Taulukko 2. Yhteenveto raportissa kuvatuista toimenpiteistä.

Toimenpide	Kannattavuus	Huomioita
Ilmanvaihdon tarpeenmukainen hallinta	2	Kannattava, jos olemassa olevat laitteet tukevat säätöä. Laajamittaisten saneerausten kannattavuus tapauskohtaista.
Lämmöntalteenoton jäätymiseneston ehkäisy esilämmityksellä	2	Arvioitava tapauskohtaisesti. Kannattavuutta parantaa, jos esilämmityksessä voidaan käyttää hukkalämpöä.

Toimenpide	Kannattavuus	Huomioita
Patteriventtiilien liittäminen rakennusautomaatiojärjestelmään	2	Pitkällä aikajänteellä kannattava, koska ehkäisee päällekkäistä lämmitystä ja jäädytystä, mutta yksittäisenä toimenpiteenä ei kustannustehokas.
Dynaamiset patteriventtiilit	2	Laitevalmistaja lupaa lyhyttä takaisinmaksuaikaa, mutta laajamittainen venttiiliuusinta voi olla kallista.
Etäohjattavat langattomat termostaatit (ei rakennusautomaatio)	1	Varteenotettava, mikäli rakennusautomaatio-ohjaus ei ole mahdollista.
Lämpökuvaus	3	Yksinään ei paranna energiatehokkuutta, mutta auttaa tunnistamaan ongelmakohtia.
U-arvon mittaus	3	Yksinään ei paranna energiatehokkuutta, mutta auttaa tunnistamaan ongelmakohtia.
Ilmatiiveyden mittaus	3	Yksinään ei paranna energiatehokkuutta, mutta auttaa tunnistamaan ongelmakohtia.
Dynaaminen ulkovaippa	2	Yksinään energiatehokkuustoimenpiteenä kannattamaton, mutta osana esimerkiksi käyttömukavuuden parantamista voi olla kannattava.
Valaistuksen läsnäolo-ohjaus	3	Kannattavaa toteuttaa valaistusuusinnan yhteydessä.
Valaistuksen päivänvalo-ohjaus	3	Kannattavaa toteuttaa valaistusuusinnan yhteydessä. Edellyttää valaistusjärjestelmän, joka kykenee päivänvalosäätöön.
Valaistusohjausjärjestelmä	3	Parantaa tarpeenmukaisuutta ja mahdollistaa muita hyötyjä energiatehokkuuden lisäksi. Toteutetaan osana väyläpohjaista valaistusjärjestelmää.
Läsnäoloseuranta ja ihmismäärälaskenta	2	Järjestelmien välillä hyödynnettävä läsnäolotunnistus mahdollistaa paljon tarpeenmukaistusta. Edellyttää, että läsnäolotunnistus voidaan toteuttaa kustannustehokkaasti, esimerkiksi valaistusjärjestelmästä. Ihmismäärälaskenta energiatehokkuustoimenpiteenä kannattamaton, mutta toteutettaessa muuhun tarkoitukseen, voidaan hyödyntää.
Sääolosuhteet ja -ennusteet	3	Parantaa säätöjen tarpeenmukaistusta ja optimointia, mutta hyödyntäminen edellyttää lisäsuunnittelua.

Toimenpide	Kannattavuus	Huomioita
Kattava olosuhdeseuranta	2	Voi mahdollistaa toiminnan tarpeenmukaistamista, mutta toteutus, etenkin jälkiasenteisena, voi olla kallista. Kustannuksia voidaan vähentää langattomilla teknologioilla.
Kattava kulutus seuranta	2	Yksinään ei paranna energiatehokkuutta, mutta auttaa tunnistamaan ongelmakohtia. Usein kallista toteuttaa, mutta lisäarvoa voidaan saada esimerkiksi vastuullisuusraportoinnin helpottamisessa.
Käytönaikainen optimointi	2	Mikäli järjestelmät mahdollistavat kattavan säädettävyyden ja seurattavuuden, on käytönaikaisen optimoinnin toteuttaminen usein kannattavaa. Mahdollistaa järjestelmien suunnitelmien mukaisen toiminnan saavuttamisen ja edelleen siitä tehostamisen.
Kulutusjousto	2	Mikäli järjestelmät mahdollistavat kattavan säädettävyyden ja seurattavuuden, voi kulutusjoustop toteuttaminen olla kannattavaa. Kannattavuus riippuu joustokuormista ja tarjolla olevista joustomarkkinoista.
Valaistus osana kulutusjoustop	2	Helposti otettavissa käyttöön nykyaikaisella valaistusjärjestelmällä, mutta saavutettavat säästöt ovat maltillisia.
Ilmanvaihtokoneet osana kulutusjoustop	1–3	Mikäli olemassa olevat ilmanvaihtokoneet mahdollistavat säädettävyyden ja seurattavuuden, kannattaa hyödyntää kulutusjoustopissa, mutta saneeraukset kulutusjoustopin vuoksi ei ole yksinään kannattavia.
Varavoimakoneet kulutusjoustopissa	3	Helposti otettavissa käyttöön. Huomioitava käytettävä polttoaine.
Akkujärjestelmät kulutusjoustopissa	1–3	Akustojen hinnat ovat vielä melko korkeat, mutta voivat olla jo kannattavia, mikäli kiinteistön sähköinfrastruktuuriin ei tarvitse tehdä merkittäviä muita muutoksia.
Sähkökattilat kulutusjoustopissa	2–3	Mikäli kiinteistö hyödyntää sähkökattiloita lämmöntuotannossa, hyödyntäminen kulutusjoustopissa on helposti toteutettavissa. Sähkökattilan hankkiminen pelkästään kulutusjoustopin vuoksi voi olla kannattamatonta.

Toimenpide	Kannattavuus	Huomioita
Lämpöpumput ja vedenjäähdytyskoneet kulutusjoustossa	1–2	Usein helposti otettavissa käyttöön kulutusjoustossa, mutta saavutettava jousto voi jäädä maltilliseksi. Jos käyttöönotto edellyttää muita kuin ohjelmallisia muutoksia, vaikea saada kannattavaksi.
Sähköautot ja sähköautojen lataus kulutusjoustossa	3	Kuormanhallinta on kannattava toteuttaa ja on pienillä investoinneilla otettavissa käyttöön kulutusjoustossa. Kaksisuuntainen lataus on vielä harvinaista ja kallista saavutettaviin tuottoihin suhteutettuna.
Kaukoenergia kulutusjoustossa	3	Kannattavaa hyödyntää tehomaksujen leikkauksessa, liittymän mitoitustehon vähentämiseksi ja, jos energiayhtiö tarjoaa osallistujalle hyötyjä. Toistaiseksi ei ole vielä käytössä kaukoenergian tuntihintoja ja joustomarkkinoita on vielä vähän tarjolla.
Kiinteistökohtainen tuulivoima	1	Arvioiduissa takaisinmaksuajoissa suurta hajontaa, mutta parhaimmillaankin vielä kannattamatonta.
Polttokennot	1	Vielä kehittyvä ala eikä vielä kustannustehokasta, mutta potentiaalia on.
Kaksisuuntainen kaukolämpö	2	Mikäli kiinteistössä syntyy paljon hukkalämpöä ja energiayhtiö kykenee ottamaan lämpöä vastaan, voi olla kannattava.