



Juha Ågren

Toimistorakennuksen sähkötehojen suunnittelu, ohjaus ja toteutus kysyntäjoustossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

1.12.2021

Tiivistelmä

Tekijä:	Juha Ågren
Otsikko:	Toimistorakennuksen sähkötehojen suunnittelu, ohjaus ja toteutus kysyntäjoustopissa
Sivumäärä:	38 sivua
Aika:	1.12.2021
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine:	Energiatekniikka
Ohjaajat:	talotekniikkajohtaja Kimmo Liljeström lehtori Tomi Hämäläinen

Tämän insinöörityön tarkoituksena oli esittää vaihtoehtoja rakennusyhtiö NCC Oy:lle uuden toimistorakennuksen sähkötehojen tarpeen suunnittelussa, tehojen ohjauksessa sekä niiden toteutuksessa sähkön kysynnän joustossa.

Työn tavoitteena oli tutkia ja selvittää toimistorakennukseen asennettavien eri laiteryhmiä tarvitsemaa sähkötehoa ja näiden tehojen mahdollista vapauttamista kysyntäjoustopille. Työn toinen tavoite oli havainnollistaa toimistorakennukseen mahdollisesti hankittavan oman tuotantojärjestelmän investoinnin kannattavuutta. Tämän energiainvestoinnin kannattavuuslaskelmat oli rajattu koskemaan aurinkosähköjärjestelmää.

Työstä käy ilmi, mitä asioita on otettava huomioon suunniteltaessa toimistorakennuksen sähkötehotarvetta. Työssä esitetään myös vaihtoehtoja eri sähkökuormien ohjausmahdollisuuksille.

Sähkötehojen ja investointien laskennallisessa tarkastelussa saatiin hyvin karkeita arvioita sähkötehojen sekä investointien kokonaisuuksista. Toisaalta työssä esitetyt selvitykset ja laskelmat antavat havainnollistavan katsauksen niistä huomioonotettavista näkökulmista, joilla mahdollistetaan toimistorakennuksen sähkötehojen suunnittelu, ohjaus ja toteutus kysyntäjoustopissa.

Avainsanat: kysyntäjoustopi, kuormanohjaus, sähköteho, kiinteistöautomaatio

Abstract

Author: Juha Ågren
Title: Planning, Instruction, and Implementation of Office Building's Electrical Power in the Context of Demand-Side Management
Number of Pages: 38 pages
Date: 1 December 2021

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Energy and Environmental Engineering
Professional Major: Energy Engineering
Supervisors: Kimmo Liljeström, Head of Building Engineering
Tomi Hämäläinen, Senior Lecturer

The purpose of this thesis was to provide the construction company NCC with an alternative for the planning, controlling and implementation of electrical power in an office building in terms of demand-side management.

The goal of this thesis was not only to research and clarify electrical power needs for different installed device groups but also to find possibilities to release electrical power for demand-side management. The second target was to demonstrate a profitability for possible energy production system to be acquired. Profitability calculations were defined to concern solar power systems.

The thesis presents the issues that must be considered when planning the electrical power needs of an office building. Possibilities for alternative control methods for different electrical loads are also presented in the thesis.

The electrical power and investment calculations yielded only rough estimates. On the other hand, they indicate the aspects to consider, which enables electrical power planning, controlling, and implementation for office buildings in the demand-side management.

Keywords: alternative planning, demand-side management, load control, electrical power, building automation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kysyntäjousto	2
2.1	Kasvava jouston tarve	2
2.2	Jousta hyötyjät	3
2.3	Tehoreservit	3
2.4	Kysyntäjouston ansaintamallit	4
3	Toimistorakennuksen valmius kysyntäjoustopissa	6
3.1	Toimistorakennuksen sähkötehon tarve	8
3.1.1	Ilmanvaihto	9
3.1.2	Valaistus	10
3.1.3	Lämmitys	11
3.1.4	Jäähdytys	12
3.1.5	Sähköautot	12
3.1.6	Pistorasiakuormat	14
3.1.7	Muut sähkökuormat	14
3.2	Oma tuotanto ja sähkövarasto	15
4	Ohjauksen suunnittelu	17
4.1	Kuormien todentaminen	19
4.2	Sähköliittymän mitoittaminen	19
4.3	Kuormien priorisointi	20
5	Toimistorakennuksen sähkötehojen ohjaus	20
5.1	Ilmanvaihto	22
5.2	Valaistus	23
5.3	Jäähdytys	24
5.4	Lämmitys	24
5.5	Sähköautot	24
5.6	Muut sähkökuormat	25
6	Toimistorakennuksen sähkötehojen tarkastelu	26

7	Esimerkkikohteen taloudellinen tarkastelu	28
7.1	Oma tuotanto	29
7.2	Oman tuotannon vaikutus rakennuksen arvoon	30
7.3	Käyttöreservin tuotto	31
7.4	Sähköautojen latauspaikat	32
8	Päätelmät	33
	Lähteet	35

Lyhenteet

A:	Ampeeri. Sähkövirran yksikkö
DC:	Sähkön tasavirran lyhenne
FCR:	<i>Frequency Containment Reserve</i> . Taajuusohjattu reservi
FCR-D:	Taajuusohjattu häiriöreservi
FCR-N:	Taajuusohjattu käyttöreservi
FFR:	<i>Fast Frequency Reserve</i> . Nopea taajuusreservi
Hz:	Hertsi. Taajuuden yksikkö.
kW:	Kilowatti
kWh:	Kilowattitunti
kWp:	Kilowattipiikki
MW:	Megawatti
MWh:	Megawattitunti
PR:	<i>Performance ratio</i> . Aurinkojärjestelmän laatumittari
W:	Watti

1 Johdanto

Tavoitteet hiilineutraalisuuden saavuttamiseksi ovat ajaneet energiatuotannon siirtymään kohti hiilivapaampaa järjestelmää. Käynnissä oleva energiajärjestelmän murros on ajanut energiantuotannon muuttamaan toimintatapojaan. Uusiutuville tuotantomuodoilla tuotetun sähkön määrän lisääntyminen sähköverkossa tuo osaltaan vaatimuksia myös sähkönkuluttajille. Rakennuksilta odotetaan yhä enenevässä määrin mahdollisuutta joustavaan kulutukseen.

Tämä insinööri työ tarkastelee kysyntäjoustopon mahdollisuuksia sekä haasteita toimistorakennuksen näkökulmasta. Työn tarkoituksena on avata erinäisten taloteknisten järjestelmien sähkötehon tarvetta sekä sitä kuinka paljon sähkötehoa tarvitaan, mistä, miten sähkökuormia voidaan ohjata ja millaisilla kokonaisuuksilla. Työ toteutetaan rakennusyhtiö NCC:lle. Insinööri työ sisältää laskennallista pohdintaa toimistorakennuksen sähkötehon tarpeesta taloudellista näkökulmaa unohtamatta. Laskennallisen osuuden on tarkoitus selkeyttää tarvittavia sähkötehon määriä eri osa-alueilla ja luoda käsitys toimistorakennuksen kuormanohjauspotentialista.

NCC on pohjoismainen rakennusalan yritys. Yritys työllistää 14 500 henkilöä. Koko konsernin liikevaihto oli vuonna 2020 noin 5,1 miljardia euroa. Pohjoismaat yhdessä muodostavat NCC:n markkina-alueen. [1.]

Yritys on mukana rakennus- ja infrastruktuurihankkeissa, sekä kiinteistöjen kehityksessä. Liiketoiminta pitää sisällään myös asfaltti- ja kiviainestuotantoa. Näin se tarjoaa rakentamisen ohella teiden päällystys- ja kunnossapitopalveluita. Organisaation toiminta jakautuu viidelle eri toiminta-alueelle. [1; 2.] Kuva 1 havainnollistaa konsernin toimintaa.



Kuva 1. NCC-konsernin toiminta-alueet [2].

2 Kysyntäjousto

Kysyntäjoustolla tarkoitetaan tuotantoon mukautuvaan sähkönkulutusta. Ihanteellisessa tilanteessa sähkönkulutusta pystytään vähentämään tai kasvattamaan sähköverkon vaatimalla tavalla. [3.] Parhaassa tapauksessa se on käytössä olevien resurssien optimointia sekä yhteensovittamista. Erinäiset toimenpiteet, ohjaukset ja sähkön tuotannon sekä kulutuksen hinnoittelumallit yhdessä ovat olennainen osa kysyntäjouston toimivuutta. [4, s. 9.]

2.1 Kasvava jouston tarve

Ilmastonlämpeneminen on globaali huolenaihe. Suomen ilmasto- ja energiastrategiassa on asetettu tavoitteeksi hiilineutraalisuus viimeistään vuonna 2035 [5]. Kiinnostus hiilineutraaliutta kohtaan sekä yhteiset poliittiset tavoitteet ovat saaneet monet toimijat vähentämään, kehittämään ja kompensoimaan päästöjään [6, s. 7]. Päästöjen kompensointi, uusiutuvien energiaratkaisujen lisääminen, passiivisen energian hyödyntäminen, älykkäiden ja energiatehokkaiden kiinteistöjen kehittäminen ovat kaikki merkittäviä tekijöitä hiilineutraaliuutta tavoiteltaessa. [7.]

Hiilidioksidipäästöjen vähentämistarve on käynnistänyt muutoksen Suomen energiajärjestelmässä. Yhä useammin saatavilla oleva sähkö on tuotettu uusiutuvien menetelmin. Uusiutuvien tuotantomuotojen määrä onkin kasvanut merkittävästi viimeisten vuosien aikana ja samalla tuotantovaihteluiden määrä on lisääntynyt. Tuotantovaihteluista johtuen jouston mahdollisuus vähenee tuotannon puolella. Tulevaisuudessa sähköverkon toimivaan tasapainottamiseksi tarvitaan useita eri tehonlähteitä, sähkövarastoja sekä kysyntäjoustoon kykeneviä kohteita. [8.]

Sähköverkon oikea tehotasapaino edellyttää kulutuksen ja tuotannon kohtaamista. Suomessa sähköverkko on tasapainossa 50 Hz:n taajuudella. Sähköpula aiheuttaa taajuuden alenemista, kun taas ylituotanto aiheuttaa taajuuden kasvua. Tasapainottomassa tilassa syntyy sähköstä joko ylitarjontaa tai alitarjontaa. Jos tilanteelle ei tehdä mitään, sähköverkon kaatuminen on mahdollinen. [9.] Sähkön saatavuus ja sen hinnoittelu kulkevat pitkälti käsikädessä, joten tulevaisuudessa varautuminen tuotannon ja kulutuksen suhteeseen on entistä merkittävämpää. [8.]

2.2 Joustosta hyötyjät

Toimivasta kulutusjoustosta hyötyvät kaikki sähköverkon käyttäjät. Kantaverkkoyhtiöt saavat vaihtoehtoja tehotasapainon hallintaan. Jakeluverkkoyhtiöille kulutusjousto avaa vaihtoehtoja pitkällä aikavälillä muun muassa verkkojen suunnittelussa. Sähkömyyjät saavat hyötyä sähkön hankinnan suunnittelussa. Asiakkaan hyödyt kysyntäjoustossa nähdään mahdollisuutena optimoida sähkönkäyttöä edullisen hankintahinnan ajankohtaan sekä sähkönkulutuksesta aiheutuvien huipputehojen pienentämisessä. [10, s. 24.]

2.3 Tehoreservit

Lakiasetuksen 117/2011 *sähköntuotannon ja -kulutuksen välistä tasapainoa varmistavasta tehoreservistä* tarkoituksena on turvata sähköverkon toimintavarmuus tilanteessa, jossa kulutuksen ja tuotannon tehotarpeet eivät kohtaa.

Sähköreserveinä toimivat yleisesti sähkön kysyntäjoustopotentialiin kykenevät kohteet ja reservikäyttöön valjastetut voimalaitokset. [11.] Kulutuksen säätely on toiminut tehotasapainon ylläpidossa vuosia mutta on keskittynyt lähinnä teollisuudesta käytetyn sähkön joustopotentialiin [12].

Tehoreservit mahdollistavat sähköverkon vakauden. Näin ollen verkkotaajuuden säilyttämiseksi reservitoimijoille maksetaan kulutuksen säätelystä. Sähköverkon saatavilla on useita eri tehoreservejä. Rakennusten kannalta keskiössä ovat FCR (*Frequency Containment Reserve*) -reservit. FCR-D ja FCR-N ovat taajuusohjattuja reservejä. FCR-D on häiriöreservi, joka tarpeen vaatiessa aktivoituu ja katkaisee automaattisesti sähkön kulutuksen muutamaksi minuutiksi, jos verkkotaajuus laskee alle 49,9 Hz:n. Jatkuvasti toiminnassa oleva FCR-N on käyttöreservi, jonka tehtävänä on pitää sähköverkon verkkotaajuus sallituissa rajoissa 49,9–50,1 Hz:ssä. Käyttöreservin tehtävä on käsitellä jatkuvalla syötöllä pienempikokoisia häiriöitä. [9.]

Sähköverkon kannalta tärkeitä ovat myös FFR (*Fast Frequency Reserve*) -reservit. Näillä reserveillä pyritään hallitsemaan sähköverkoissa tapahtuvaa inertiaa. Nämä nopeat taajuusreservit on otettu käyttöön pohjoismaalaisella tasolla keväällä 2020. Automaattisesti tai manuaalisesti toimivat FFR (*Frequency Restoration Reserve*) -taajuudenhallintareservit mahdollistavat taajuuden palauttamisen 50 Hz:iin. [9.]

2.4 Kysyntäjoustopotentialin ansaintamallit

Joustopotentialiin kykenevän rakennuksen näkökulmasta kysyntäjoustopotentialin mahdollinen ansaintamalli on lähtökohtaisesti taajuusohjattu käyttöreservi. Käyttöreserviin osallistuminen edellyttää kohteen mahdollista kykyä joustaa sähkötehon käytössä useita kertoja tunnissa, mikä tarkoittaa sähkönkäytön kasvattamista tai vähentämistä. Häiriöreserviin osallistuminen taas edellyttää kohteelta myös omaa sähkön tuotantoa. Tuotannon mahdollinen kasvattaminen sekä kulutuksen nopea leikkaaminen ovat edellytyksiä kohteelle, joka on mukana häiriöreservijärjestelmässä. [13.]

Reserveillä on mahdollista osallistua tunti- tai vuosimarkkinoille. Molemmilla ansaintamalleilla on omat markkinansa. Suomessa Fingrid maksaa reservin ylläpidosta korvauksen. Vuosimarkkinassa hinta pysyy koko vuoden samana ja kaikki reserviin osallistujat saavat saman korvauksen. Hinnan määräytymiseen vaikuttavat markkinahinta sekä saatavilla olevan reservin määrä. Tuntimarkkinassa mukana oleville maksetaan myös sama hinta reservin ylläpidosta. Maksettava korvaus perustuu kalleimpaan maksettuun tarjoushintaan. Sopimus tuntimarkkinoille osallistumisesta tehdään Fingridin kanssa. [14.] Taulukossa 1 on esitetty reservihinnoittelua.

Taulukko 1. Fingridin hankkimien taajuusohjattujen reservien vuosimarkkinahinnat ja toteutuneet tuntikaupat

	Käyttöreservi, vuosimarkkinahinta	Käyttöreservi	Häiriöreservi, volyymipainotettu keskihinta	Häiriöreservi
Vuosi	FCR-N €/MW,h	FCR-N (MW)	FCR-D €/MW,h	FCR-D (MW)
2021	12,50	105,8	1,80	425
2020	13,20	87,1	1,90	458,3
2019	13,50	79	2,40	445,6
2018	14,00	72,6	2,80	435

Reserveille osallistuvien kohteiden ansaintamallit ovat usein sopimuskohtaisia ja sopimusten hinnoittelu on sidoksissa markkinapaikkaan. Tuntimarkkinoilla toimiminen takaa reservin ylläpitäjälle usein suuremmat tuotot megawattia kohden kuin vuosimarkkinat. [13.] Alla on esitetty laskentakaava korvauksesta reservimarkkinoille osallistumisesta. Kaava 1 perustuu Fingridin antamiin ansaintamalli esimerkkeihin.

$$\text{reservimäärä (MW)} * \text{hinta (€/MW, h)} * \text{pysyvyys (h)} \quad (1)$$

Toimistorakennuksen käyttöajan arvioidaan asettuvan kello 7–18, viitenä päivänä viikossa. Reservikohteena olevan toimistorakennuksen pysyvyys vuositasolla olisi siis noin 2800 tuntia vuodessa. [15, s. 4.]

3 Toimistorakennuksen valmius kysyntäjoustopuolella

Rakennuksen älykkyys ja ajan tasalla oleva kiinteistöautomaatio mahdollistavat toiminnan kysyntäjoustopuolella. Älykkäälle kiinteistölle ominaista on sen mukautuminen toimintaympäristön perusteella ja täyttää rakennuksen vaatimat tarpeet. Älykkäänkiinteistön energian hallinta ja sen käyttö ovat kokonaisuudessaan järkevällä tasolla. Toimivan kiinteistöautomaation avulla älykäskiinteistö pystyy reaaliaikaiseen olosuhteiden seurantaan, raportointiin ja tulkintaan. Kattava mittausanturointi mahdollistaa myös eri järjestelmien ohjauksen mittaustulosten perusteella. Parhaassa tapauksessa älykäskiinteistö pystyy tuottamaan, varastoi- maan tai myymään energiaa markkinoiden tarpeisiin. [17.]

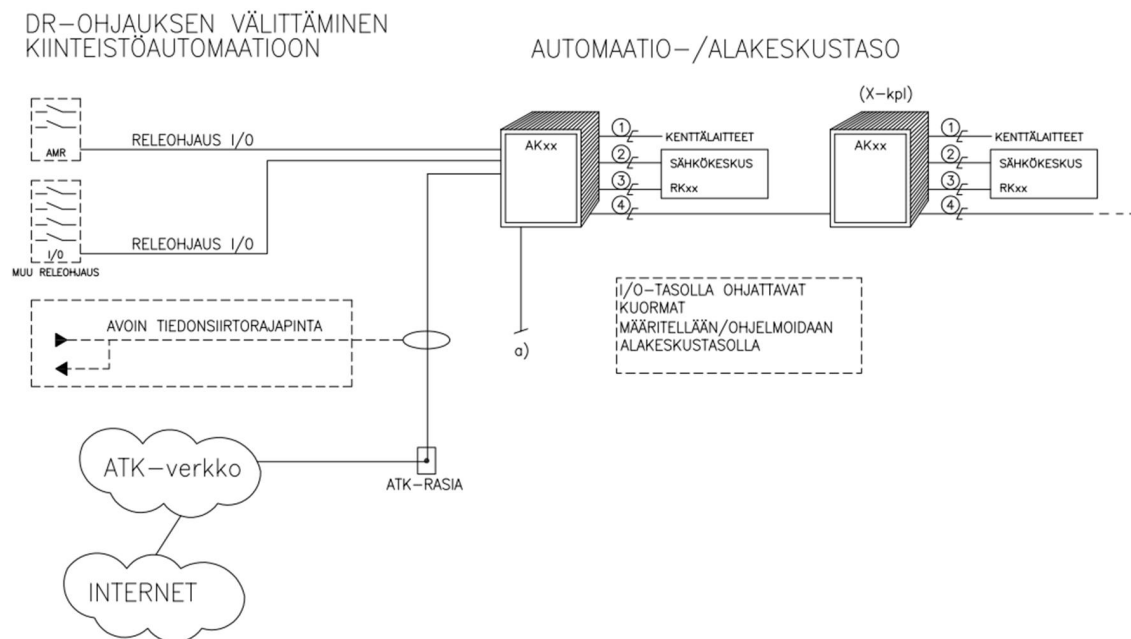
Kiinteistöautomaatio tarjoaa mahdollisuuden kysyntäjoustopuolelle toteutukseen. Pelkkä automaatio ei kuitenkaan takaa rakennuksen mahdollisuutta kysyntäjoustopuolelle. Rakennuksessa olevien laitteiden on oltava myös säädettäviä. [10, s. 146.] Vaatimuksena kiinteistöautomaatiojärjestelmien käyttöönotolle on kuormien reaaliaikainen todennettavuus, sekä tehon ja ajan mittaustulosten tarkkailu. Rakennusten on myös pystyttävä huomioimaan muut kysyntäjoustopuolelle osapuolet. [18, s. 21.]

Kiinteistöautomaatiolla pyritään energiankäytön tehokkuuteen. Mittausanturit mahdollistavat toimivan automaation ja tilakohtaisen ohjauksen. Keskitettyautomaation tunnistetaan olevan kolmetasoisista. Nämä tasot ovat:

- hallintataso
- automaatiotaso
- kenttätaso.

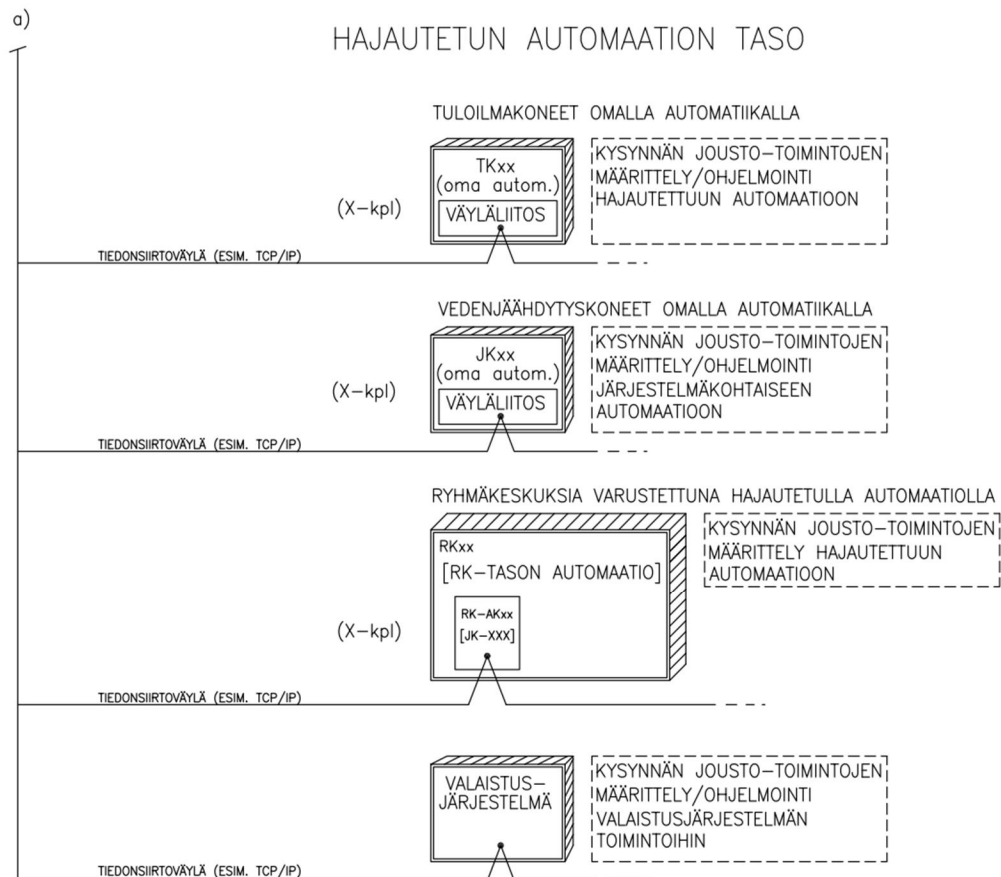
Hallintataso on kaikkien muiden tasojen yläpuolella ja sen avulla tapahtuu käyttöliittymän ohjaus. Automaatiotaso yhdessä kenttätason kanssa mahdollistavat

hallintatason ohjauksen. Automaatiotasolla sisältyvät kaikki yhdistävät alakeskukset sekä I/O-moduulit. Automaatiotasolle tuotavat tiedot on kerätty kenttätasolta. Kenttätaso toimii tilojen tiedonvälittäjänä ja sisältää kaikki mittausanturit ja muut toimintalaitteet. [18, s. 20.] Kuvassa 2 on esimerkki keskitetystä kiinteistöautomaatiosta.



Kuva 2. Keskitetysti toteutettu kiinteistöautomaatiojärjestelmä [10, s. 157.]

Hajautettu kiinteistöautomaatio on yleistyvä automaatiomuoto. Se mahdollistaa sähkökuormien selkeämmän mittauksen sekä ohjauksen ryhmäkeskustasolla. Kysyntäjoustop näkökulmasta hajautettu automaatio ja järjestelmän älykkyys tulee suunnitella kattamaan koko järjestelmäkokonaisuutta. [10, s. 151,154.] Kuvassa 3 on esimerkki hajautetusta kiinteistöautomaatiosta.



Kuva 3. Hajautetusti toteutettu kiinteistöautomaatio [10, s. 158.]

Kiinteistöautomaatiojärjestelmän keskeinen ja tärkein idea on laitteiden keskinäinen oikeaan tietoon perustuva kommunikointi. Tähän päästäkseen tiedonsiirron tulee olla molemmin puoleista ja toimivaa järjestelmän eritasoilla. [18, s. 21.]

3.1 Toimistorakennuksen sähkötehon tarve

Toimistorakennuksen erilainen käyttö ja laitekanta aiheuttavat suuria tehonvaihteluja jopa samankokoisten toimistorakennusten välillä. Rakennettavan kiinteistön sähkötehon tarpeen ymmärtämiseksi tarvitaan kommunikaatiota ennen suunnittelua ja suunnittelun aikana. Suunnittelijan on tärkeää tiedostaa tulevan rakennuksen käyttöaste sekä mahdolliset varaukset tulevaisuuden tehon kasvattamiseen. Tuleva käyttäjä osaa parhaiten arvioida laitteiden tarvitseman tehon samanaikaisuutta. Laajamittainen kommunikointi tilaajan, käyttäjän ja

suunnittelijan on välillä mahdollistaa laiteryhmiä oikean suuruisen tehon tarpeen arvioinnin. Kiinteistön eri laiteryhmiä tarvitsema sähköteho määrittelee rakennuksen tarvitseman liittymistehon. [21, s.7–8, 11.] Tehon tarpeen oikealla arvioinnilla toimistorakennuksen mahdollisuudet kysyntäjoustoprojektioilla selkeytyvät. Kaavalla 2 voidaan laskea toimistorakennukselle mitoitettavaa sähkötehoa.

$$P_M = P_x * (P_{LVIA} + P_{valaistus} + P_{sähköautot} + P_{pistorasiakuormat} + P_{muut}) \quad (2)$$

Kaavassa P_M on mitoitettava sähköteho (W). P_{LVIA} on ilmanvaihdon, lämmityksen sekä jäähdytyksen yhteenlaskettu sähköteho. $P_{valaistus}$ on valaistuksen tarvitsema sähköteho. $P_{sähköautot}$ on sähköautojen latauspisteiden tarvitsema sähköteho. $P_{pistorasiakuormat}$ on käyttäjälähtöisten pistorasiakuormien tarvitsema sähköteho. P_{muut} sisältää muut suuren sähkötehon omaavat kuormat, kuten keittiölaitteet ja hissit. P_x on laskussa käytettävä tehokerroin, jolla varaudutaan sähkötehon kasvuun, esimerkiksi 20 % on laskussa 1,20. [21, s. 8.]

3.1.1 Ilmanvaihto

Yleisesti toimistorakennuksen käyttöasteen oletetaan vaihtelevan suuresti. Avotyöpisteiden yleistymisen tarkoittaa ilmanvaihdon mitoittamista rakennuksen arvioidulla käyttäjämäärällä. Alkuvuodesta 2018 voimaan tullut ympäristöministeriön asetus 1009/2017 *uudenrakennuksen sisäilmastosta- ja ilmanvaihdosta* määrittelee rakennuksen ilmanvaihdon mitoitusperusteet. [16, s. 8.]

Ilmanvaihtojärjestelmän lasketaan lähtökohtaisesti olevan jatkuvassa toiminnassa. Kiinteistössä tapahtuvaa ilmanvaihdon tehokkuutta voidaan kuitenkin säätää käytön ja tarpeen mukaan. Olennaista on, että ilmanvaihto on toiminnassa riittävällä teholla rakennuksen huippukäyttöaikoina. [21, s. 8.] Ilmanvaihdon ollessa liian vähäistä rakennukseen syntyy terveydelle vaarallisia epäpuhauksia. Suurin osa ilmanvaihdon tarpeesta menee rakennukseen syntyvän kosteuden poistoon. [19.]

Kiinteistön ilmanvaihtojärjestelmän määrittely on mahdollista joko kojeluettelon tai sähkötehokkuuden tarpeen perusteella. Tehontarpeen näkökulmasta kojeluetteloa käytettäessä on mahdollista saada yksinkertaisesti hyvin tarkka arvio tarvittavasta sähkötehosta. [21, s. 8.]

Tehontarvetta määritellessä ominaissähköteholla käytetään kaavaa 3. Kaavassa kiinteistön yhteenlaskettu sähköteho sisältää kaikki rakennuksessa olevat puhaltimet, taajuusmuuntajat sekä muut tehonsäätämiseen liittyvät laitteet, jotka tarvitsevat sähkötehoa sähköverkosta. Ominaissähköteho saadaan jakamalla yhteenlaskettu sähköteho suuremmalla ilmavirralla. [20, s. 1.]

$$SFP = \frac{P_{verkko}}{q_{max}} \quad (3)$$

SFP kertoo kiinteistöissä olevien puhaltimien ominaissähkötehon $\left(\frac{kW}{m^3/s}\right)$. P_{verkko} on kiinteistössä olevien puhaltimien yhteenlaskettu sähköteho (kW). q_{max} on kiinteistön ilmavirroista suurempi, poisto- tai tuloilma (m^3/s). [21, s. 8.]

Suomen ympäristöministeriön asetuksesta 1010/2017 uuden rakennuksen energiatehokkuudesta käy ilmi raja-arvot ilmanvaihdon ominaissähköteholle. Asetuksessa on määritetty ilmanvaihdon enimmäisarvot poisto- ja tuloilmalle. Määritetyt tehoarvot on kuitenkin mahdollista ylittää, jos rakennuksen käyttötarkoitus edellyttää sitä. [21, s. 8.] Esimerkiksi yleisesti toimistorakennuksen tuloilmavirrat ovat usein suurempia kuin on määritelty vähimmäisarvoiksi. Tällä varaudutaan muun muassa riittävään sisäilman laatuun, jos rakennuksen tiloissa tapahtuu suuria henkilömäärän vaihteluja. [16, s. 8.]

3.1.2 Valaistus

Kuten ilmanvaihto myös valaistus on mahdollista mitoittaa toimistorakennukseen luetteloarvoilla tai valaistuksen neliökohtaisella tehotiheydellä. Valaisinluettelosta käy ilmi valaisimille vaadittu kokonaisteho. Valaistuksen mitoittaminen luetteloarvoilla vaatii tuekseen myös oikean ohjaustavan valitsemista.

Ohjaustapoja voivat olla muun muassa läsnäolotunnistin, päivävalosäädin, huonekohtainen kytkin tai keskitettyohjaus. [21, s.9.]

Sähkötehokkuudella laskettaessa käytetään valaistuksen tehottiheyttä. Tehottiheydet eri tiloille on määritelty Euroopan unionin säädöksissä. Säädöksistä ilmenee tehotarpeen vaatimus käytössä olevalle perusvalaistukselle. Esimerkkinä toimistorakennukselle on määritellyt enimmäistehottiheydet ovat 11–13 wattia neliötä kohden. Tavoiteltavan tehontarpeen määrittelevät suunnittelijat yhdessä tilaajan, rakennuttajan ja rakentajan kanssa. Suunnittelussa on huomioitava myös rakennuksen julkisivun ja pihan valaistus. [21, s. 9–10.]

3.1.3 Lämmitys

Rakennusten lämmitystehon tarve koskee muun muassa tilojen, ilmanvaihdon, ja käyttövedenlämmitystä. Tehontarvetta laskettaessa rakennuksessa tapahtuvat lämpöhäviöt on otettava huomioon. [31, s. 26.]

Koko kiinteistön lämmitystehon tarpeeseen mitoitettu maalämpöjärjestelmä pysyy lämmittämään kiinteistön viileimpinäkin päivinä. Osateholla toimiva järjestelmä tarvitsee tuekseen usein lisälämmitystä kuten esimerkiksi märkätiloihin asennettavan mukavuuslattia- ja seinälämmityksen. Jos maalämmöstä saatava teho ei riitä rakennuksen lämmittämiseen saattaa järjestelmä olla alimitoitettu kiinteistön tehontarpeeseen nähden. Alimitoitettu järjestelmä joutuu pakottamaan lämpöpumpun lisäämään sähkötehoa, jotta tarvittava lisäenergia saadaan tuotettua. Tämä vaikuttaa koko järjestelmän hyötysuhteeseen. [31, s. 15, 26.]

Lämmitystehon tarvetta voidaan tarkastella tilakohtaisesti, jolloin lämmityslaitteiden valinta ja neliökohtainen tehontarve on helpompi havainnollistaa. Huomioitavaa lämmityksen tehontarpeen suunnittelussa on myös rakennuksen sijainti. Paikkakuntien keskimääräisissä lämpötiloissa on eroja mikä vaikuttaa lämmityksen tehon tarpeeseen. Lämmitysjärjestelmä on mitoitettava niin tehokkaaksi, että rakennuksen lämmitys pystytään toteuttamaan sijainnista riippumatta. [32,

s. 27.] Suomen säävyöhykkeet ja mitoittavat ulkolämpötilat on esitetty ympäristöministeriön asetuksessa *1009/2017*.

3.1.4 Jäähdytys

Jäähdytyksen tehontarpeen mitoituksessa huomioitavaa on sen eriaikainen käyttö lämmitysjärjestelmän kanssa. Jäähdytyksen mitoituksessa olennaista on rakennuksen lämmitysmuoto sekä siihen käytettävä teho. Jäähdytyksen ja lämmityksen sähkötehon tarpeen ollessa suunnilleen sama erinäiselle mitoitukselle ei ole tarvetta, koska niiden käytön oletetaan olevan suurilta osin eriaikaista. Huomioitavaa mitoituksessa kuitenkin on rakennuksessa mahdollisesti sijaitsevat kriittiset palvelimet, joiden viilennykseen on varattava tehoja ympärivuoden. [21, s. 9.]

3.1.5 Sähköautot

Euroopan unionin direktiivi *2018/844/EU* määrittelee sähköautojen latauspaikkoihin varautumisen [21, s. 11]. Aikataulullisesti 31.12.2024 mennessä rakennuksiin on rakennettava vähintään yksi latauspiste 20:tä pysäköintipaikkaa kohden. [22, s. 2.] Kuva 4 havainnollistaa asennettavien latauspisteiden määrää.

Uudet ja laajamittaisesti korjattavat muut kuin asuinkiinteistöt		
11-30 paikkaa	1 suuritehoinen tai 1 normaalitehoinen latauspiste	Latauspistevalmius $\geq 50\%$ pysäköintipaikoista
31-50 paikkaa		<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border-left: 1px dashed black; border-right: 1px dashed black; width: 20px; height: 100%;"></div> <div style="margin: 0 10px;">15 kpl</div> <div style="border-left: 1px dashed black; border-right: 1px dashed black; width: 20px; height: 100%;"></div> </div>
51-75 paikkaa	1 suuritehoinen tai 2 normaalitehoista latauspistettä	
76-100 paikkaa		
Yli 100 paikkaa	1 suuritehoinen tai 3 normaalitehoista latauspistettä	

Kuva 4. Latauspisteiden tulevaisuuden vähimmäismitoitus [22, s. 2].

Sähköautojen yleistyminen tarkoittaa varautumista kasvavaan latauspaikkojen määrään. Latausjärjestelmän mitoittamisessa ensisijaisen tärkeää on tiedostaa lataukseen käytettävä latausaika sekä -teho. Huomioon otettavaa on myös latausta tarvitsevien autojen määrä. Mitoitettaessa latausjärjestelmää latausjärjestelmältä odotetaan älykkyyttä eli kykyä rajoittaa sekä ohjata tehoa ja kommunikointia muiden latauspisteiden kanssa. [21, s. 11.] Latauspisteistä jokainen on suunniteltava omaksi virtapiiriksi ja oman ylivirtasuojan sekä vikavirtasuojan taakse. Tällä taataan, etteivät yksittäisen latauspisteen häiriöt vaikuta muihin pisteisiin. [22, s. 3,7.] Kaavaa 4 käyttämällä saadaan selville sähköautojen tarvitsemaan sähkötehon määrä.

$$P_{lataus} = \frac{\text{haluttu toimintasäde (km)} * 0,20(\text{kWh/km}) * n_{auto}}{\text{latausaika (h)}} \quad (4)$$

Kaavassa P_{lataus} on latauspisteen tarvitsema sähkötehon määrä. Halutun toimintasäteen määrittelee tilaaja. Yleinen sähköauton keskipulutus on 0,20 kWh/km. Laskussa käytettävä autojen lukumäärä on n_{auto} . Latausaika (h) on aika, jonka auto voi olla latauksessa. [22, s. 7.]

SFS-EN 61851-1 standardissa määritellään neljä lataustapaa, joista lataustapa 3 ja lataustapa 4 ovat soveltuvia toimistorakennuksen tarpeisiin ja näitä suositellaan Suomessa rakennettaviin kohteisiin. Lataustapa 3 on kolmivaiheinen ja sopii erityisesti sähköautojen lataamiseen. Saatava virta asettuu $6 A - 63 A$:iin välille ja latausteho $1,4-43 kW$:iin välille. Lataustapa 4 on suoraa DC-virralla tapahtuvaa latausta $22-118 kW$:n teholla. Tätä latauspiste toteutusta voidaan kutsua teholataukseksi. [22, s. 8.]

3.1.6 Pistorasiakuormat

Toimistorakennuksessa suurimmat pistorasiakuormat tulevat tietotekniikasta ja ovat suurilta osin käyttäjälähtöisiä. Laitteiden sähkötehon tarve on mahdollista saada selville arvioimalla laitteiden määrä. Määrän arviointi toteutetaan suunnitteluvaiheessa. Määrällinen arviointi on kuitenkin hyvin karkeaa, joten suunnitteluvaiheessa neliökohtainen tehoarvio on yleisesti käytetty menetelmä. [21, s. 10.]

3.1.7 Muut sähkökuormat

Muita toimistorakennuksen sähkötehon mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa keittiön, sulanapidon ja muiden laitteiden, kuten hissien tehontarve. Keittiölaitteiden sähkötehon mitoitus tapahtuu laitesuunnitelman avulla. Laitesuunnitelmasta voidaan arvioida sähkötehon tarve neliökohtaisesti ja käyttää sitä tehon tarpeen arvioinnissa. Lähtökohtaisesti keittiössä käytettävien laitteiden tehomitoitus on haastavaa. Yhteenlaskettuna kaikkien laitteiden teho voi olla hyvin suuri mutta suunniteltaessa otetaan usein huomioon laitteiden eriaikainen käyttö. Keittiölaitteiden käyttöä täytyy tarkastella kiinteistökohtaisesti. Keittiötyypin käyttöprofiili vaikuttaa olennaisesti mitoittettavaan sähkötehoon. Tehontarvearviointi on mahdollista myös toteuttaa annoskohtaisesti, mutta tätä pidetään kuitenkin hyvin suurpiirteisenä arviona. [21, s. 9–10.]

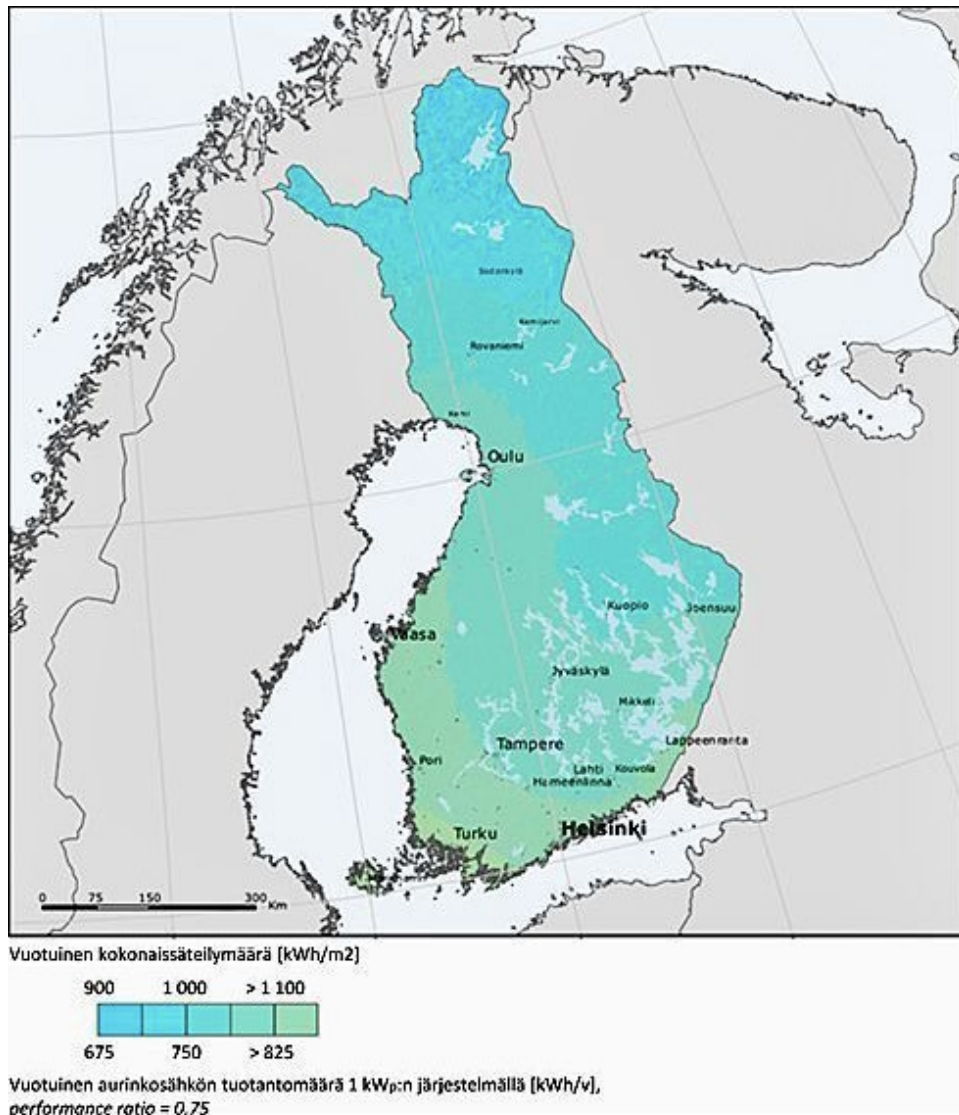
Sulanapidon osalta tehonmitoituksessa käytetään hyvin suurpiirteistä laskutapa, joka perustuu lämmityskaapelin pituuteen ja metrikohtaiseen tehoon. Mitoituksessa huomioitavaa on tarpeen painottuminen talviaikaan. [21, s. 10.]

Hissien tehontarve vaihtelee määrästä, mallista ja käyttöasteesta riippuen. Toimistorakennukset sisältävät usein henkilöhissin lisäksi tavarahissin. [21, s. 15.] Rakennustyypin, kerrostenlukumäärän, kuljetettavien henkilöiden määrä sekä suorituskäytännölliset vaatimukset on huomioitava mitoituksessa [33, s. 2].

3.2 Oma tuotanto ja sähkövarasto

Aurinkosähköllä on mahdollista täyttää osa rakennuksen sähköntarpeesta. Oma tuotanto suunniteltaessa on syytä muistaa tuotannon painottuminen kevät- ja kesäkuukausille. Aurinkopaneeleista saatavaa sähkötehoa tarkastellessa tuotannon vaihtelu on otettava huomioon. Aurinkosähköjärjestelmällä tuotettua sähköä voidaan johtaa suoraan kulutukseen tai varastoitavaksi, mutta varastointi edellyttää rakennukseen asennettavaa sähköakkujärjestelmää. [23.]

Kuva 5 esittää aurinkosähkön tuotantopotentiaalia, kun kennot on kohdistettu optimaalisesti kohti aurinkoa. Kuvasta ilmenee auringonsäteilyn kokonaismäärä Suomessa sekä vuotuinen tuotantomäärä, aurinkojärjestelmän tehokkuuden ollessa 1 kWp . [24.]



Kuva 5. Auringon vuotuinen kokonaissäteily määrä [24.]

Kuvassa esitetty *performance ratio* (*PR*) on sijainnista riippumaton aurinkosähkölaitteiston laatumittari. Se kuvaa aurinkosähkölaitteiston toteutuneen tuoton ja tavoitetuoton välistä suhdetta. Mitä lähempänä luku on yhtä, sitä tehokkaammin järjestelmä toimii. [34.] Kaava 5 *performance ration* laskemiseen.

$$PR = \frac{\text{toteutunut tuotanto}}{\text{arvioitu tuotanto}} = \frac{\text{tuotanto kWh}}{(\text{aurinkosäteily kWh/m}^2 \cdot \text{kapasiteetti kW}) \cdot (1 + (\alpha \cdot \text{kennonlämpö } ^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}))} \quad (5)$$

Laskussa käytettävä lämpötilakerroin α on arvoltaan $-0,4\%/^\circ\text{C}$. [34].

Rakennuksen omaa sähköntuotantoa on mahdollista tasapainottaa sähkövaraston avulla. Sähköenergian laaja varastointi tarvitsee tehokkaan akkujärjestelmän, joka taloudellisesta näkökulmasta on arvokas hankinta. Esimerkkinä akuston koosta ja hinnasta voidaan käyttää Helenin, Helsingin Suvilahdessa sijaitsevaa sähköakustoa. Merikontin kokoisen akuston investointikustannus oli noin 2 miljoonaa euroa, teholtaan se on 1,2 MW ja energiakapasiteetiltaan 600 kWh. [26.]

Sähkövarastoa suunniteltaessa suuren investoinnin lisäksi huomioitavaa on myös akuston tilantarve. Erityisesti huomiota täytyy kiinnittää akkujärjestelmän huoltomahdollisuuteen. Toinen huomion kohde on akuston lämpösäteily, ja tähän on osattava varautua rakennuksen jäähdytystehon mitoituksessa. [25.]

4 Ohjauksen suunnittelu

Kuormienohjauksen suunnittelussa haasteita tuovat rakennuksien sähkökuormien määrällinen sekä ajallinen arviointi. Rakennuksen käyttäjälle ei saa ilmetä haittoja kuormien mahdollisesta ohjaamisesta. [10, s. 104.]

Sähkökuormien suunnittelussa on yleisesti käytetty IDA ICE *indoor climate and energy* -simulointijärjestelmää. Järjestelmä mahdollistaa suunniteltavana olevan kohteen virtuaalisen mallintamisen. Ohjelmalla mallinnettaessa voidaan ottaa tarkkailuun rakennuksen eri järjestelmät, tarvittavat säätölaitteet sekä huomioida sisäilman olosuhteet. Simulointi edellyttää rakennuksen tehon tarpeen tunnistamista ja tämä edellyttää jo olemassa olevien rakennusten sähkön kulutustiedon saamista. [27, s. 52–53.]

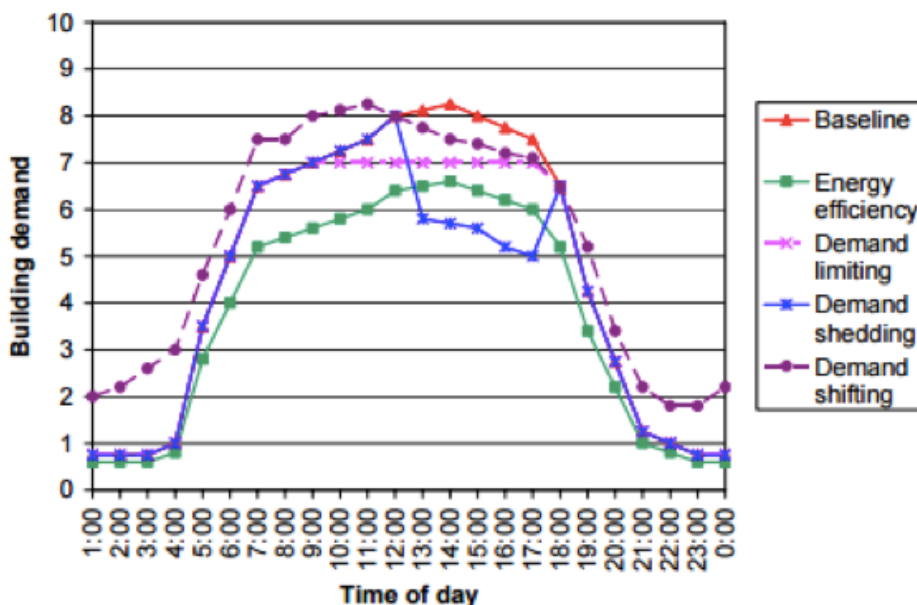
Haasteita kuormienohjauksen simulointiin tuo nykyinen lainsäädäntö, joka edellyttää verkkoyhtiöiltä asiakkaan suostumusta tietojen jakamiseen. Toinen ongelma liittyy tehojen seurantaan: verkkoyhtiöiden tehoseurannan haitari vaihtelee 15 minuutista jopa tuntiin, kun taas esimerkiksi toimistorakennuksen sähkötehon kulutusta voi tarkkailla jopa sekuntien tarkkuudella. Hetkellisten kulutuspiikkien seuranta verkkoyhtiöiden datan perusteella on näin ollen haastavaa.

Tehopiikkien havaitsemattomuus tuo haasteita sähköjärjestelmän mitoitukseen. Hetkelliset tehopiikit voivat olla moninkertaisia yleisen tehontarpeen keskiarvoon nähden. Tämä heijastuu haasteina järjestelmän mitoituksessa. Liian pieneksi mitoitettu järjestelmä kuormittaa pääsulakkeita ja ylikuormituksen seurauksena rakennuksen sähköjärjestelmä voi kaatua. [21, s. 11.]

Sähkötalon perustason määrittäminen on ensisijaisen tärkeää suunnittelua aloitettaessa. Sitä pidetään raja-arvona, josta voidaan lähteä joustamaan suuntaan tai toiseen. Perustason määrittämisen jälkeen voidaan arvioida kysyntäjouston suuruutta ja kuormanohjauksen tarvetta. Ohjaukselle on neljä erilaista mallia. [27, s. 52–53.]

- sähkökuorman rajoittaminen
- sähkökuorman poistaminen
- sähkökuorman siirto
- sähkökuorman kasvattaminen.

Kuva 6 havainnollistaa kuormanhallintaa eri kellonaikoina.



Kuva 6. Rakennuksen kuormaprofiilit eri kysynnän jouston ohjauksilla [27, s. 52.]

Suunnittelussa sähkötehon kasvattamisen sekä leikkaamisen vaikutukset on syytä ottaa huomioon. Riskien ennaltaehkäisy, automaatio suunnittelijoiden käyttö sekä ohjaustarpeiden selkeä määrittely ovat osa suunnitteluprosessia. Suunnittelussa määritellään kuormatyytit, kuormien soveltuvuus sekä ohjattavuus. Huomioon otettavaa on myös kuormien priorisointi ja automaatiojärjestelmän laajuus. [10, s. 159, 165–166.]

4.1 Kuormien todentaminen

Ennen kysyntäjoustop käyttöönottoa rakennuksen sähkökuormien kokonaisuus on hyvä ymmärtää. Normaalin tuntikohtaisen tehon käytön seurannan lisäksi tarvitaan reaaliaikaista tehojen todentamista. Esimerkiksi jäähdytyskoneiden ja taajuusmuuntajien välittämä tehotieto väyläliittymään on saatavilla reaaliaikaisesti. Sähkötehon tarve vaihtelee suuresti etenkin isojen kiinteistöjen välillä. Sähkökuormien mittaaminen voi tapahtua laitekohtaisesti tai ryhmäkohtaisesti. Kiinteistöautomaation ollessa hajautettua tehojen tarkastelu on mahdollista ryhmäkohtaisella tasolla. [10, s. 135, 157.]

Sähkötehojen mittaus tapahtuu pääkeskuksesta käsin. Rakennuksen oma sähköpääkeskus liittyy kiinteistön pienjänniteverkkoon. Pääkeskus on yhteydessä kiinteistöautomaatioon ja yhdistää myös useat rakennuksessa olevat sähköjakokeskukset yhteen. Uusien rakennusten suunnitteluvaiheessa voidaan vaikuttaa pääkeskuksen ja jakokeskusten selkeyteen. [10, s.137.] Tämä osaltaan selkeyttää tehonmittauksen mahdollisuutta.

4.2 Sähköliittymän mitoittaminen

Sähköliittymän mitoittaminen tapahtuu rakennuksen tehontarpeen perusteella. Tulevaisuuden tehontarpeen kasvuun on mahdollista varautua valitsemalla rakennukseen isompi sähköliittymä. Suurempi liittymisjohto ja sähköpääkeskus mahdollistavat sulakekoon kasvattamisen. Pelkästään suuremman pääkeskuksen mitoittaminen on myös mahdollista mutta tässä tapauksessa on syytä varautua mahdollisten uusien isompien kaapeleiden asentamiseen. Mahdollisista

tulevaisuuden varauksista on hyvä käydä keskustelua verkkoyhtiön kanssa. Pääsulakkeiden kasvattaminen saattaa vaatia myös virtamuuntajien vaihdon. [21, s. 12.]

Toimistorakennuksen tehon tarve riippuu sen käyttäjien käyttötarpeista ja -ajankohdista. Voimakkaat vaihtelut kiinteistön sähkön käytössä vuorokausitasolla eivät ole toivottuja sähköverkon kannalta. Rakennuksen liittäminen sähköverkkoon tarvitsee arvion tuntikohtaisesta huipputehoista sekä mahdollisista merkittävistä yksittäisistä sähkökuormista. Rakennuksen pääsulakkeet mitoitetaan huipputehojen perusteella. Pääsulakkeet osaltaan rajoittavat kiinteistön huipputehoja. Huipputeholla tarkoitetaan suurinta samanaikaisesti rakennuksessa esiintyvää sähkötehoa, joka on yhdistettynä sähköverkkoon. Laittekokonaisuuksien yhteenlaskettu sähköteho on kuitenkin usein suurempi kuin mitoitettava huipputeho. Tämä johtuu siitä, että kaikki laitteet eivät lähtökohtaisesti ole käytössä saman aikaisesti. [29, 30.]

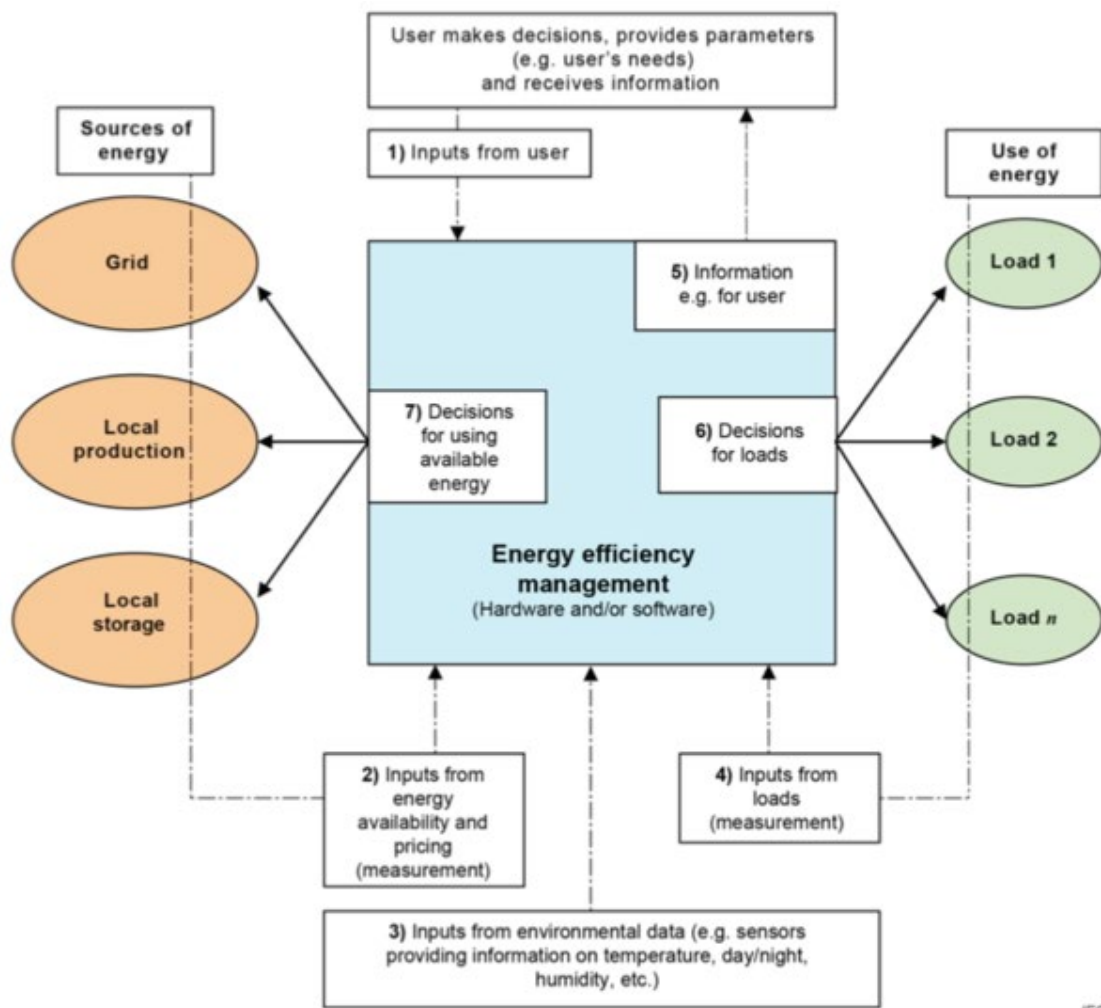
4.3 Kuormien priorisointi

Kysyntäjousto on vain yksi osa rakennusten sähkökuormien ohjausta. Ohjauskokonaisuus voi sisältää useita eri ohjaustoimintoja. Näitä voivat olla muun muassa rakennuksen normaalit käyttötoiminnot ja käyttäjien toiminnot. Rajoitukset kuormien ohjauksessa liittyvät olosuhteisiin ja turvallisuuteen. Turvallisuus menee aina muiden ohjaustoimintojen edelle ja taloudellinen näkökulma jää aina rakennuksen olosuhteiden taakse. Rakennuksen kysyntäjoustoon liittyvät ohjaukset voidaan hetkellisesti laittaa olosuhteiden, kuten lämpötilan, ilmanlaadun tai valaistuksen edelle, jos sähköverkon toiminta niin vaatii. Ohjausmenetelmien tulee olla määriteltyjä edellä mainitun tilanteen sattuessa. [10, s. 155–156.]

5 Toimistorakennuksen sähkötehojen ohjaus

Sähkökuormienohjauksella pyritään rakennuksen sähkötehojen hallintaan. Kuormienhallinta, kysyntäjousto, kohteen omatuotanto sekä varastointi yhdessä mahdollistavat huipputehojen rajoittamisen niiden siirtämisen suotuisampaan

ajankohtaan. Huipputehojen rajoittamisella mahdollistetaan pienemmän sähköliittymän ja muuntajien mitoittaminen. Huipputehojen leikkaaminen ei kuitenkaan tarkoita kokonaiskulutuksen supistumista eli käytännössä tehot vain pyritään jakamaan tasaisemmin. Kuormanhallinnan avulla sähköliittymän mitoitus onnistuu ilman turhaa ylimitoittamista. Laitekannan tasainen ryhmittely edesauttaa kuormien säätelyä. [21, s. 11.] Kuvassa 7 on havainnollistettu, kuinka rakennuksen energian hallintajärjestelmä ohjaa ja seuraa teholähteiden sekä kuormien tasapainoa.



IEC

Kuva 7. Rakennuksen kuormanhallinta [35, s. 25.]

Olennaista kysyntäjoustossa toimimiselle on rakennuksen halu osallistua kysyntäjoustojärjestelmään. Huomioitavaa on myös, että kaikki kuormat eivät ole

soveltuvia kysyntäjoustopotentialien käyttöön. Suunnittelu vaiheessa on selvitettävä, mitkä sähkökuormat ovat ohjattavissa kysyntäjoustopotentialille. [35, s. 25].

5.1 Ilmanvaihto

Pääsääntöisesti ilmanvaihdon ohjaus on helppoa. Kehittynyt kiinteistöautomaatiotekniikka mahdollistaa suuretkin muutokset ilmanvaihdon tehonohjaukseen. Lakiasetusten mukaan rakennettavissa kiinteistöissä on oltava ilmanvaihtojärjestelmä, joka voi olla toteutettu painovoimaisesti tai koneellisesti. Rakennukseen mahdollisesti asennettavan koneellisen ilmanvaihdon onnistunut hallinta luo mahdollisuuksia kiinteistölle osallistua sähkön kysyntäjoustopotentialiin. [10, s. 138, 141.]

Ilmanvaihdon sähkötehon kulutus muodostuu pitkälti puhallinmoottoreista, joiden tehoa on helppo säätää muun muassa taajuusmoottoreilla. Automaatiojärjestelmältä tuleva ohjauskäsky määrittelee säädön tarpeen määrän. Aikataulutettu ilmanvaihdon ohjaus on perinteinen tapa säätää sähkötehon tarvetta toimistorakennuksessa. Näihin lukeutuva aikataulutettu ohjaus sekä yleensä uusiin rakennuksiin asennettavat mittausanturit. Anturit kertovat tilankäytöstä ja näin voidaan toteuttaa tehon säätöä käytönperusteella. [10, s. 141.]

Yleinen tapa kuormien ohjaukselle on laitteiston pysäyttäminen sekä tehon leikkaaminen, mutta nämä ratkaisut vaativat lyhyttä ohjausjaksoa. Tehontarpeen mukaisella ohjauksella ilmanvaihtoa kohdistetaan tietyille sektoreille, ja tämän toteuttaminen edellyttää kattavaa anturointia. Rakennuksessa tapahtuva tarpeenmukainen ohjaus vähentää ilmanvaihdon tehon tarvetta itsessään. Tämä toisaalta vähentää kuormapotentialia kysyntäjoustopotentialin näkökulmasta. [10, s. 141–142.]

Sisäilmasäädösten tiukkalinja tuo haasteita ilmanvaihdon liittämistä kysyntäjoustopotentialiin. Lainsäädännöllisesti ilmanvaihdon varo ja lukitustoiminnot menevät kysyntäjoustopotentialin edelle. Ilmanvaihdon toimiminen esimerkiksi sähköreservinä tarkoittaisi käytännössä ilmanvaihdon mahdollista nopeaa

poiskytkentää. Lähtökohtaisesti ilmastoinnin oikeaoppinen säätäminen tapahtuu rauhallisesti. Nopea poiskytkentä tarkoittaisi myös tarvittavia muutoksia automaatiojärjestelmään. [10, s. 143.]

5.2 Valaistus

Kysyntäjoustop näkökulmasta valaistus tarvitsee tarpeenmukaisen ohjauksen. Ohjaukseen tarvittavat mittausanturit on helppo asentaa uuteen rakennukseen jo rakennusvaiheessa. Kokonaisuudessaan toimistorakennuksen valaistus vie mainittavan osan rakennuksen sähkökuormasta. [10, s. 139,143.] Kuitenkin ainoastaan valaistuksen totaalinen sammuttaminen voi saada aikaa tarvittavan kuormapotentiaalin kysyntäjoustop käyttöön. Valaistuksen täydellinen sammuttaminen kuormanohjaukselle ei ole kuitenkaan mahdollista ilman valaistuksen poiskytkennästä aiheutuvia haittoja. [28, s. 35.]

Portaaton valaistuksen tehon pudotus on mahdollista toteuttaa väyläohjauksen kautta. Tämä tarkoittaisi valaistuksen tehon leikkaamista tai nostamista, kytkennästä tai sijainnista riippumatta. [10, s. 139,143.] Kuormanohjauksen potentiaali valaistuksen näkökulmasta on hankala määritellä, jos valaistavan tilan käyttöasetusta ei tiedetä. Standardi *SFS-EN 12464-1* määrittelee valaistuksen näkömukavuuden, näkötehokkuuden ja turvallisuuden. [28, s. 35.]

Yksinkertaisesti tehdyissä valaistusjärjestelmissä päälle- ja poiskytkentä on mahdollista häiriötilanteiden kuormanohjauksessa. Häiriötilanteiden kannalta valaisimien järkevä ryhmittely on olennaista. Esimerkiksi joka toisen tai kolmannen valaisimen kuormapotentiaalin vapauttaminen mahdollisessa häiriötilanteessa on syytä ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa. Toimistorakennuksissa on usein, joiden jatkuva täysimittainen valaistus ei ole tarpeen. Näihin luetaan muun muassa yleiset käytävät ja varastot. Huomioitavaa kuitenkin on, että turvallisen liikkumisen ja toiminnan kannalta koko valaistusta ei voi ikinä ohjata kokonaan kysyntäjoustop mahdolliseen käyttöön. Valaistusta on mahdollista ohjata myös taloudellinen näkökulma edellä. Taloudellisen joustop näkökulmasta

valojen 10–15 %:n tehon alentaminen voidaan suorittaa rakennuksen käyttäjän sitä huomaamatta. [10, s. 143.]

5.3 Jäähdytys

Jäähdytykseen kuluva kokonaisteho on suurta isoissa rakennuksissa etenkin kesäaikaan. Jäähdytyksen käyttämään tehokuormaa voidaan rajoittaa laske-
malla jäähdytyskompressorin pyörimisnopeutta. Tämä onnistuu säädettävillä
taajuusmuuntajilla. Taajuusmuuntajan ohella toinen mahdollisuus jäähdytyksen
sähkötehon vähentämiseen on hetkellinen jäähdytyksen pois kytkentä. Tehopu-
dotuksen suuruuteen vaikuttaa suurin sallittu sisälämpötila. [28, s. 36.] Sallittu-
jen lämpötila arvojen sisällä pysyminen tuo haasteita jäähdytyksen tarvitseman
tehojen vapauttamiseen. Yhtenä mahdollisuutena sähkötehojen ohjaamiselle on
tilakohtainen jäähdytys. Tilakohtaisella jäähdytyksellä tehontarvetta voidaan sel-
keämmin optimoida eri tilojen jäähdytystarpeen mukaan. [10, s. 138, 144.]

5.4 Lämmitys

Lämmitysteho on kuormanohjauksen kannalta hyvin soveltuva ja varteen otet-
tava vaihtoehto. Maalämmössä tehot ovat suuria talviaikaan ja kuormienohjaa-
minen helppoa. Rakennuksen ollessa kaukolämpöverkon piirissä sähköteho-
kuormat eivät kuitenkaan ole niin merkittäviä. Näissä kohteissa tehonohjausta
voidaan suorittaa lämmityspatterien virtaamaa supistamalla, mikä vähentää vir-
taamaan käytettävien kiertovesipumppujen tehontarvetta. Pumppujen tehon
tarve on kuitenkin pienempää kuin maalämmön tehontarve, joten pumpuista
saatava kuormapotentiaali ei ole niin merkittävä kuin mahdollisesta maaläm-
möstä saatava kuorma. [28, s. 36.]

5.5 Sähköautot

Sähköautojen latausjärjestelmä on hyvä sijoittaa ryhmäkeskuksien taakse,
mistä syöttö tapahtuu latauspisteille. Oikean tyyppiset järjestelmävalinnat mah-
dollistavat latauspisteiden välisen kommunikoinnin ja tehokkaan

kuormienhallinnan. Kuormanhallinnan kannalta sähköautojen latausjärjestelmät on hyvä erottaa muusta sähköjakelusta. Tämä mahdollistaa helpommin toteutettavan järjestelmän mittaroinnin ja sitä kautta kuormanhallinnan. Latausjärjestelmän erottamisella pyritään järjestelmän tehon rajoittamiseen ja tämä tapahtuu latausvirtaa rajoittamalla. Rajoittamisella vältetään liittymän tai keskuksen nimellisvirran ylittyminen. [22, s. 5.]

Kuormanohjaukseen on useita eri vaihtoehtoja, virtamittari, pilvipalvelu, releohjaus sekä dynaaminen ohjaus. Ohjauksen näkökulmasta edellä mainittujen vaihtoehtojen yhdistäminen on myös mahdollista. Kuormanohjauksessa johtojen kuormituksen ja virran seuranta on oleellista. [22, s. 8.]

Latauspisteenkäyttäjältä saadut tiedot, kuten milloin ja kuinka pitkälle ollaan ajamassa seuraavalla kerralla ovat tärkeitä tehontarvetta mitoitettaessa. Näiden tietojen pohjalta latausjärjestelmä osaa säädellä lataustarpeen siten, että tarvittavaa virtaa auton lataamiseen on riittävästi. Latausjärjestelmää suunniteltaessa on myös huomioitava latauksen oikea-aikainen ajoittaminen, vaikka käyttäjältä ei saataisikaan tietoa. Etenkin toimistorakennuksessa käyttäjien tarpeet voivat olla erilaisia ja autoa saatetaan tarvita työpäivän aikana. Rakennuksen kuormanohjauksesta ei saa syntyä haittaa latauspisteiden käyttäjille vaan autojen akkujen pitää olla toimintavalmiudessa silloin, kun autoa tarvitaan. [28, s. 38.]

5.6 Muut sähkökuormat

Muiden sähkökuormien ohjaus vaatii laajempia ryhmäkohtaisia ohjauksia. Etenkin pistorasioiden ja keittiölaitteiden kuormat voivat olla suuria ja ovat lähtökohdaisesti käyttäjälähtöisiä. Kuormanohjauksen kannalta edellä mainittujen kuormien ohjauspotentiaalin voidaan kuitenkin olettaa asettuvan toimistorakennuksen käyttöajan sisälle. Käytön ajoittaminen tiettyyn ajankohtaan mahdollistaa laitteiden periaatteellisen osallistamisen kysyntäjouksoon. [10, s. 139.]

Pienempiä kuormia ei yleensä suunnitella kysyntäjoukoston näkökulmasta mutta tulevaisuutta ajatellen kaikkien sähkökuormien potentiaali vaatii tarkastelua.

Ryhmäkeskusautomaation hajautuksella muiden laitteiden sähkökuormien hyödyntäminen ja niiden tehonseuranta olisi mahdollista toteuttaa hyvin vaivattomasti. Kasvavan kysyntäjoukon kannalta ryhmäkeskusautomaation hajautus on yleistyvä ja jossain määrin jo toiminnassa oleva malli. Näiden toimintojen yleistyminen edellyttää suunnittelun ja toteutuskäytäntöjen muuttamista. [10, s. 140, 144.]

6 Toimistorakennuksen sähkötehojen tarkastelu

Tämä luku esittelee laskentamahdollisuuksia toimistorakennuksen sähkötehojen tarkasteluun. Kaavat ovat soveltuvia myös muihin saman tyylisiin rakennuskohteisiin. Sähkötehojen laskentaan on käytetty apuna ST 13.31 *Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen* -kortista löytyviä laskentamenetelmiä. Tehojen tarkastelussa on mahdollista käyttää kaavoja 4, 6, 7, 8, 9 ja 10.

Valaistuksen sähkötehon arvioinnissa voidaan käyttää valaistuksen tarvitsemaa tehotiheyttä ja rakennuksen kokonaispinta-alaa.

$$P_{\text{valaistus}} = m_{\text{kokonaispinta-ala}}^2 * W/m^2 \quad (6)$$

Ilmanvaihdon sähkötehon tarve saadaan laskettua rakennuksessa olevien puhaltimeiden ominaissähkötehon ja suuremman tulo- tai poistoilman avulla. Ominaissähkötehon laskemiseen tarvittavat tiedot löytyvät luvusta 4.2.1.

$$P_{\text{ilmanvaihto}} = SFP * q_{\text{max}} \quad (7)$$

Jäähdytyksen sekä lämmityksen alustava tehontarpeen arviointi tehdään kohteen neliömäärään ja arvioidun neliökohtaisen tehontarpeen mukaan. Tarkennettu laskenta voidaan tehdä kohteen LVIA-suunnittelijalta saadun tiedon perusteella.

$$P_{\text{jäähdytys}} = m^2 * W/m^2 \quad (8)$$

$$P_{\text{lämmitys}} = m^2 * W/m^2 \quad (9)$$

Pistorasiakuormien arviointi voidaan toteuttaa myös neliökohtaisen tehontarpeen mukaan.

$$P_{\text{pistorasiakuormat}} = m^2 * W/m^2 \quad (10)$$

Sähköautojen latauspisteiden sähkötehon laskemisessa on olennaista toimintasäde, latausteho, autojen lukumäärä sekä latausaika.

$$P_{\text{lataus}} = \frac{\text{haluttu toimintasäde (km)} * 0,20 \text{ kWh/km} * n_{\text{auto}}}{\text{latausaika h}} \quad (4)$$

Muita tehontarpeen laskuissa huomioonotettavia asioita ovat muun muassa, rakennukseen asennettavat keittiölaitteet, hissit ja sulanapito. Keittiölaitteiden tehon tarve arvioidaan neliökohtaisesti, hissien lukumäärällisesti ja sulanapidon metrikohtaisesti.

Rakennuksen mitoitettava sähköteho muodostuu laiteryhmiä yhteenlasketuista nimellistehosta ja tasauskertoimien tulosta. Rakennuksen mitoitettava sähköteho lasketaan, jokaisen laiteryhmän kohdalla erikseen, ja kokonaistehon tarve saadaan summaamalla laiteryhmiä tehontarve yhteen. Edellä esitetyillä kaavoilla saadaan suuntaa antava arvio rakennuksen laitteiden tarvitsemasta sähkötehosta. Mitoitettaessa rakennuksen tarvitsemaa sähkötehoa laskuissa täytyy huomioida tasauskertoimet. Rakennuksen käyttöprofiili ja eri tarpeet määrittävät laskennassa käytettävät tasauskertoimet. Tasauskertoimien määrittelystä vastaavat suunnittelijat. Kuvassa 8 suuntaa antava esimerkkilaskelma sähkötehojen tarkastelusta.

Muutettavat arvot		Laiteryhmän nimellistehon		Ryhmien keskinäinen tasauskerroin			
Laiteryhmä	kpl	Nimellisteho kW	Tasauskerroin	huipputehon mitoitusuhetkellä	Mitoitettava teho kW	HUOM!	
Valaistus		160,0	0,7	0,2	22,4	mitoitettu m ² * W/m ²	
Ilmanvaihto		60	0,7	1	42	SFP = 2,0 ja ilmamäärä 30 m ³ /s	
Jäähdytys		1200	0,4	1	480	mitoitettu m ² * W/m ²	
Keittiölaitteet		190,9	0,5	0,7	66,8	mitoitettu m ² * W/m ²	
Lämmitys		200	0,8	0	0	mitoitettu m ² * W/m ²	
Sähköautot	196	653,3	0,65	1	424,7	Toimintasäde 100km	
Pistorasiakuormat	0	987,5	0,4	0,7	276,5	mitoitettu m ² * W/m ²	
Ulkovalaistus		10	1	0	0		
Hissi (henkilö)	2	20	0,5	1	10		
Hissi (tavara)	1	5	0,5	1	2,5		
Sulanapito		9,6	0,9	0	0	mitoitettu m * W/m	
Yhteensä		3496			1324,9		66,2 W/m ²
Mitoitettava sähköteho					1590	Laajennus varaus 20%	

Kuva 8. Laskelma toimistorakennuksen sähkötehon tarpeesta

Huomioitavaa kuvan laskennassa on 20 %:n varautuminen sähkötehon tarpeen kasvuun. Varautuminen toimistorakennuksen tehontarpeen kasvuun on hyvä huomioida mutta toisaalta se saattaa lisätä rakennuskustannuksia merkittävästi. [21, s. 12.]

7 Esimerkkikohteen taloudellinen tarkastelu

Kohteen taloudellisessa tarkastelussa pohditaan toimistorakennuksen mahdollisten investointien kustannuksia ja niiden takaisinmaksuaikaa. Tarkastelussa ovat sähköautojen latauspisteet, energiainvestoinnit sekä rakennuksen mahdollinen reservitoiminta.

Toimistorakennuksilla on usein tuottovaatimuksia. Rakennuksen käyttötarkoitus ja sijainti määrittelevät suurilta osin tavoiteltavan tuoton. Suomessa nettotuottovaatimukset vaihtelevat paikkakunnittain, esimerkiksi vuonna 2019 keskusta-alueille rakennettujen toimistorakennusten tuottovaatimusprosentit asettuivat 4–7,5 %:iin. Helsingissä tuottovaatimus on alhaisin. Tuottovaatimus kuvastaa kiinteistösijoituksen riskiä tuottaa kassavirtaa sijoittajille. Pienempi tuottovaatimus pienentää kiinteistösijoituksen riskiä. [36, s. 6]

7.1 Oma tuotanto

Tässä luvussa tarkastellaan toimistorakennukseen asennettavan aurinkosähköjärjestelmän kustannuksia ja investoinnin takaisinmaksuaikaa. Laskuissa käytetään aurinkosähkön huipputuotantoa, joka Suomessa on 982 tuntia [37, s. 9.] Asennettava tuotantokapasiteetti on määrältään 100 *kWp*. Yhden asennetun kilowattipiikin hinta vuonna 2020 on noin 1040 € [38, s. 10.] Kaava 11 esittää oletetun tuotannon vuodessa.

$$\text{tuotanto määrä (kWh)} = \text{kapasiteetti (kW)} * \text{huipputuotanto (h)} \quad (11)$$

Oletetuksi huipputuotanto määräksi saadaan 98 200 kWh vuodessa. Kaava 12 esittää omalla järjestelmällä tuotetun säästön sähkön hinnassa. Sähköhinnaksi on oletettu 12 snt/kWh, sisältäen myös sähkönsiirron.

$$\text{säästö vuodessa} = \text{tuotanto määrä (kWh)} * \text{sähkönhinta (€/kWh)} \quad (12)$$

Arvioiduksi vuotuiseksi säästökseksi edellä mainitulla sähkön hinnalla saadaan 11 784 € vuodessa. Aurinkosähköjärjestelmän vuosittaiseksi tuotoksi saadaan 11,3 %. Tuoton tarkastelu onnistuu kaavan 13 avulla.

$$\text{tuotto (\%)} = \frac{\text{säästö vuodessa (€)}}{\text{investointi (€)}} \quad (13)$$

$$(\text{asennettukapasiteetti (kWp)} * 1040 \text{ (€/kWp)})$$

Rakennukseen asennettavien aurinkopaneelien arvioitua takaisin maksuaikaa voidaan tarkastella 14 kaavalla. Esimerkkilaskun aurinkopaneelien takaisinmaksuajaksi saadaan noin 9 vuotta.

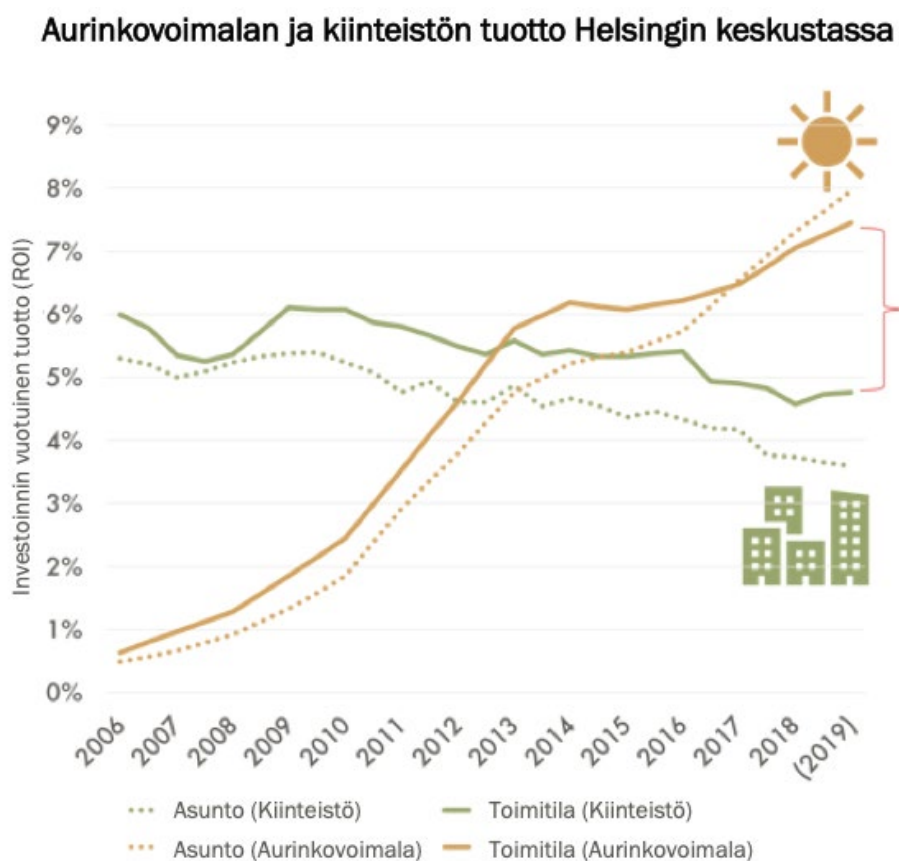
$$\text{maksuaika (a)} = \frac{\text{investointi (€)}}{\text{säästö vuodessa (€)}} \quad (14)$$

Aurinkosähköjärjestelmän tarkastelussa huomioitavaa kuitenkin on aurinkopaneelien tehontuotannon lasku. Aurinkopaneelien eliniäksi arvioitu 20 vuotta ja vuosittaisen tuotantotehon laskuksi 0,5 %. Aurinkopaneelien elinkaaren lopussa sähköntuotanto arviolta noin 10 % pienempää vuodessa kuin uuden

järjestelmän. [39, s. 25]. Vuotuinen tuotanto määrä saattaa myös vaihdella yhdessä sähkön markkinahinnan kanssa. Nämä muuttujat on otettava huomioon pohdittaessa investointien taloudellista näkökulmaa.

7.2 Oman tuotannon vaikutus rakennuksen arvoon

Kuva 9 esittää aurinkosähköjärjestelmien tuoton kehitystä Helsingin alueella. Kuvasta nähdään, kuinka rakennukseen asennettavien aurinkosähköjärjestelmien tuotto on ollut kasvavaa verrattuna rakennuksen tuottoon. Suurimpana tekijänä voidaan pitää investointikulujen ja rakennusten tuottovaatimuksen laske-
mista. [36, s. 8].



Kuva 9. Vuotuisen tuoton kehitys [26, s. 8.]

Kaavassa 15 on esitetty menetelmä rakennuksen arvon tarkasteluun. Hoitokuluista 30–50 % koostuu energiakustannuksista. Rakennukseen mahdollisesti

tehtävän energiainvestoinnin tuotto laskee kokonaishoitokuluja ja samalla kasvattaa kiinteistön arvoa.

$$kiinteistön\ arvo = \frac{\overset{nettovuokratuotto}{(bruttovuokratuotto - hoitokulut)}}{tuottovaatimus} \quad (15)$$

Energiainvestoinnin merkitystä rakennuksen arvon nousussa voidaan tarkastella luvuissa 7 ja 7.1 esitetyillä arvoilla. Luvuissa on esitetty aurinko sähköjärjestelmän vuosittaiseksi tuotoksi 11 784 € ja Helsingissä sijaitsevan toimistorakennuksen tuottovaatimukseksi 4 %. Edellä esitetyillä arvoilla kiinteistön arvo nousisi noin 295 000 €. Edellä esitetty arvon nousu menetelmä perustuu teoreettiseen kiinteistön arvioinnin logiikkaan. Todellisuudessa kiinteistön arvon kehittyminen voi olla toisenlainen. [36, s. 8].

7.3 Käyttöreservin tuotto

Luvussa 2.7 esiteltiin kysyntäjoustoon osallistumisen ansaintamalleja. Toimistorakennuksen sähkön käytön määrän arvioidaan olevan noin 2800 tuntia vuodessa. Reservin mahdollinen määrä saadaan rakennuksen tarvitsemasta sähkötehosta. Hinta määräytyy kantaverkko yhtiö Fingridin mallin mukaisesti. Kaikkea rakennuksessa olevaa tehopotentialia ei kuitenkaan ole mahdollista vapauttaa reservikäyttöön. Kaava 16 esittää laskentatavan mahdolliselle tuotolle reservinä toimimisesta.

$$reservimäärä\ (MW) * hinta\ (€/MW, h) * pysyvyys\ (h) \quad (16)$$

Edellä esitettyä kaavaa voidaan käyttää myös laskettaessa tuottoa häiriöreservinä toimimisesta. Huomioitavaa kuitenkin on, että häiriöreserviin osallistuminen taas edellyttää kohteelta myös omaa sähkön tuotantoa ja tuotannon mahdollista kasvattamista.

7.4 Sähköautojen latauspaikat

Sähköautojen latauspisteiden tuotto-odotusta on tarkasteltu autojen tarvitseman sähkötarpeen, autojen lukumäärän, oletettujen latauspäivien ja lataushinnan perusteella. Toimistorakennuksen omistajan maksama hinta lataukseen tarvittavasta sähköstä on oletettu olevan 12 snt/kWh . Laskuissa oletetaan, että rakennuksen omistaja maksaa verkkoyhtiölle latauksesta markkinahinnan ja että yhden auton tarvitsema sähköenergian määrä on 20 kWh latausta kohden. Laskuissa tuottotarkastelua on tehty vuosikohtaisella tasolla. Toimistorakennuksen käyttöasteella latauspäiviä on vuodessa 240. Kaavassa 17 esitetty latauksesta syntyvä kustannus kiinteistölle on 576 € vuodessa.

$$\text{auto (kpl)} * \text{auton tarvitsema sähkö (kWh)} * \text{päivät (d)} * \text{hintaa (€/kWh)} \quad (17)$$

Tarkastelussa toimistorakennuksen oletetaan ostavan sähköautojen lataukseen tarvittavan järjestelmän palveluna. Palveluun kuuluu latauslaitteet ja laitteiden ylläpito. Palvelun hinnaksi on arvioitu 55 €/kk yhtä latauspistettä kohden. Paikkakohtaisen latausvalmiuden hinnaksi on oletettu 1000 €, latausvalmius suoritetaan kertainvestointina. Latausvalmiuden takaisinmaksuajaksi on laskettu 10 vuotta.

Olettaen, että palvelusta maksetaan 55 €/kk latauspaikkaa kohden, vuosittaiset palvelumaksukulut yhdelle latauspisteelle ovat 660 €. Vuosittaiset kulut yhteensä latauspaikkaa kohden ovat 1336 €, sisältäen palvelumaksun, latausvalmiuden investoinnin ja latauksesta syntyvän kustannuksen kiinteistölle. Kaava 18 esittää yhden latauspisteen kulujen arvioinnin, kun investoinnin takaisinmaksu ajaksi on asetettu 10 vuotta.

$$\text{palvelumaksu (€/a)} + \text{latauksen kustannus (€/a)} + \frac{\text{latausvalmius (€)}}{\text{maksuaika (a)}} \quad (18)$$

Kaava 19 esittää asiakkaalta veloittavaa vähimmäismaksua kilowattia kohden, jotta edellä esitetyt kulut pystytään kattamaan. Toimistorakennuksen vähimmäislatausveloitus asiakkaalta kilowattia kohden on noin 0,28 €/kWh ilman

tuotto-odotusta. Edellä mainitulla hinnalla investointi saadaan maksettua 10 vuodessa olettaen, että latauspiste myy sähköä vähintään 20 kWh päivässä.

$$\text{€/kWh}_{\text{asiakas}} = \frac{\text{latauspisteen kulut (€/a)}}{\text{auto (kpl)} * \text{sähkön määrä (kWh)} * 240 (d)} \quad (19)$$

Toimistorakennuksen omistajan haluama tuotto-prosentti määrittelee, lataukselle asetettavan hinnan kilowattia kohden. Sähkön markkinahinnan vaihtelu ja omantuotannon käyttö vaikuttavat investoinnin takaisinmaksu-aikaan.

8 Päätelmät

Tässä insinööriyössä esiteltiin sähkön kysyntäjoustoperäisyys ja käsiteltiin joustoperäisyyden kasvavaa tarvetta. Työ tarkasteli erityisesti toimistorakennusten valmistusvaihtelua sähkön kysyntäjoustoperäisyydelle, sitä miten rakennus voi saada taloudellista hyötyä osallistumalla kysyntäjoustoperäisyyden markkinoille.

Sähköverkon toiminnasta vastuussa olevan verkkoyhtiön tavoitteet ovat sähkön kysyntäjoustoperäisyyden kattava kehittäminen. Tulevaisuudessa sähköverkon haavoittuvuus kasvaa uusiutuvien tuotantomenetelmien yleistymisen myötä. Maksamalla korvauksen sähköreservinä toimimisesta kantaverkkoyhtiö Fingrid tarjoaa asiakkailleen taloudellisen intressin osallistua kysyntäjoustoperäisyyden markkinoille. Kysyntämarkkinoille pääsy edellyttää kuitenkin rakennukseen tehtäviä lisäinvestointeja, jotka välttämättä eivät ole kannattavia taloudellisesta näkökulmasta. Sähkönhinnan nousujohteinen kasvu sekä vahvasti ohjeistava lainsäädäntö olisivat mahdollisia keinoja saada rakennuttajia investoimaan järjestelmiin, jotka mahdollistavat rakennuksen kysyntäjoustoperäisyyden toimimisen.

Työssä on esitelty laskentakaavoja toimistorakennuksen sähkötehojen ja erilaisien investointien taloudellisen hyödyn tarkasteluun. Esimerkkien lähtökohtainen tarkoitus on tuottaa yleisesti ymmärrettävä näkemys toimistorakennuksen sähkötehon tarpeesta. Toimistorakennuksen ansaintamallien tarkastelussa huomio kiinnittyi mahdollisesti asennettavan aurinkosähköjärjestelmän taloudelliseen kannattavuuteen sekä sähköautojen latauspisteiden investointien

takaisinmaksuun. Työn laskennallinen sekä teoriaosuus pohjautuvat kirjallisuustietoon sekä verkkolähteisiin.

Insinööriyössä esitettyjä tuloksia voidaan tarkastella suuntaa antavalla tasolla. Tulosten pohjalta on mahdollista ymmärtää toimistorakennuksen sähkötehojen tarve. Sähkötehon tarpeen laskentaa suoritettaessa suunnittelijan on tärkeää tiedostaa tulevan rakennuksen käyttöaste sekä -profiili. Mitoitettavan tehon määrittely tapahtuu näiden tietojen pohjalta.

Työn perusteella voidaan todeta, että kysyntäjoustoon osallistuminen edellyttää sähkökuormien ymmärtämistä sekä yhteensovittamista kiinteistöautomaation kanssa. Sähkökuormien ohjauksensuunnittelu pohjautuu kuormien todentamiseen sekä niiden priorisointiin. Kiinteistöautomaation oikeaoppisella ohjelmoinnilla sähkötehojen joustopotentiali on mahdollista saada tehokkaalle tasolle. Automaation ohjelmoinnin edellytyksenä on kiinteistöautomaatiojärjestelmien mahdollisuuksien ymmärtäminen. Lainsäädännöllisistä syistä johtuen, kehittyneimmäkään kiinteistöautomaatiojärjestelmät eivät takaa kaikkien sähkökuormien soveltumista kysyntäjoustolle.

Lähteet

- 1 NCC-konserni. Verkkoaineisto. NCC. <<https://www.ncc.fi/tietoa-nccsta/ncc-konserni/>>. Luettu 20.8.2021.
- 2 Tietoa NCC:stä. Verkkoaineisto. NCC. <<https://www.ncc.fi/tietoa-nccsta/ncc-konserni/organisaatio/>>. Luettu 20.8.2021.
- 3 Sähkön kulutusjousto – Joustavaa ja älykästä sähkönkäyttöä. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/sahkon_kulutusjousto>. Luettu 8.9.2021.
- 4 Harsia, Pirkko; Järventausta, Pertti; Hilden, Antti; Kallioharju, Kari; Kortemäki, Aki; Koskela, Juha; Mutanen, Antti; Rautiainen, Antti; Supponen, Antti; Uusitalo, Sakari & Heljo, Juhani. 2019. SÄTE-opas: Sähkötehojen hallinta osana rakennuksen energiatehokkuutta. Tampere: Tampereen yliopisto.
- 5 Hallituksen ilmastopolitiikka: kohti hiilineutraalia Suomea 2035. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/hiilineutraalisuomi2035>>. Luettu 4.8.2021.
- 6 Alhola, Katriina; Judl, Jáchym; Norris, Gregory A. & Seppälä, Jyri. 2015. Carbon Game is On! Companies on the move to be carbon neutral. Helsinki: Finnish Environment Institute (SYKE).
- 7 Kohti hiilineutraalia rakentamista. Verkkoaineisto. Ramboll. <<https://fi.ramboll.com/media/artikkelit/rakentaminen-ja-kiinteistot/hiilineutraalisuus>>. Luettu 4.8.2021.
- 8 Sähköä kannattaa käyttää joustavasti. Verkkoaineisto. <<https://energia.fi/energiasta/energiamarkkinat/sahkomarkkinat/kulutusjousto>>. Luettu 9.8.2021.
- 9 Tehotasapaino. Verkkoaineista. Vattenfall. <<https://energyplaza.vattenfall.fi/fi-fi/tehotasapaino>>. Luettu 5.8.2021.
- 10 Järventausta, P; Repo, S; Trygg, P; Rautiainen, A; Mutanen, A; Lummi, K & Belongova, N. 2015. Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli): Loppuraportti. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
- 11 Tehoreservipalvelu. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/tehoreservi/>>. Luettu 20.8.2021.

- 12 Kysyntäjousto. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/pilottihankkeita/kysyntajousto/#kysyntajouston-projektit>>. Luettu 20.8.2021.
- 13 Ansaintamallit. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/kuinka-osallistua-reservimarkkinoille/ansaintamallit/>>. Luettu 1.9.2021.
- 14 Taajuusohjattu käyttö- ja häiriöreservi (FCR-N ja FCR-D), vuosimarkkina-hankinta ja toteutuneet tuntikaupat. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinainformaatio/reservimarkkinainformaatio/Taajuusohjattu-kaytto-ja-hairioreservi-vuosimarkkina-hankinta-ja-toteutuneet-tuntikaupat/>>. Luettu 1.9.2021.
- 15 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2018. Suomen säädöskokoelma 1010/2017. Ympäristöministeriö.
- 16 Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. 2019. Helsinki: FINVAC ry.
- 17 Älykkäät rakennukset. Verkkoaineisto. VTT Oy. <<https://www.vttresearch.com/fi/palvelut/alykkaat-rakennukset>>. Luettu 12.8.2021.
- 18 Rantalainen, Antti. 2019. Rakennusautomaation liittäminen kysynnän jousto- on BACnet/WS-rajapinnalla. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 19 Ilmanvaihdon perusteet. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys ry. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet>>. Luettu 12.10.2021.
- 20 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. Suomen säädöskokoelma 1009/2017. Ympäristöministeriö.
- 21 Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen. 2020. ST 13.31. Sähkötieto ry.
- 22 Sähköauton lataaminen ja latauspisteiden toteutus. 2021. ST 51.90. Sähkötieto ry.
- 23 Auringosta lämpöä ja sähköä. Lämmitys/sähköjärjestelmät aurinkoenergia. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/files/13518/Auringosta_lam-poa_ja_sahkoa_2016.pdf>. Luettu 17.8.2021.

- 24 Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa>. Päivitetty 20.8.2021. Luettu 13.10.2021.
- 25 Sähköenergian varastointi. Verkkoaineisto. Sähkötekniikan ja energiatehokkuuden edistämiskeskus STEK ry. <<https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/sahkoenergian-varastointi/>>. Luettu 17.8.2021.
- 26 Pohjoismaiden suurin sähkövarasto käyttöön Suvilahdessa. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <<https://www.uuttahelsinki.fi/fi/uutiset/2016-06-09/pohjoismaiden-suurin-sahkovarasto-kayttoon-suvilahdessa>>. Luettu 27.9.2021
- 27 Manninen, Kreetta. Rakennuksen kysyntäjoustomallinnuksen vaatimusten määrittäminen. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, LUT Energiatekniikka. LUTPub-tietokanta.
- 28 Markkanen, Elias. Toimistorakennuksen ilmanvaihto kysyntäjoustomarkkinoilla – tekninen toteutus. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Sähkötekniikka. LUTPub-tietokanta.
- 29 Liittymän mitoittaminen. Verkkoaineisto. Tampereen ammattikorkeakoulu. <<https://tate.blogs.tamk.fi/sahkoinen-talotekniikka/sahkoverkko/kiinteiston-sahkoverkko/liittymän-mitoittaminen/>>. Luettu 2.9.2021.
- 30 Liike- tai palvelurakennuksen tehojen määrittely. Verkkoaineisto. Tampereen ammattikorkeakoulu. <<https://tate.blogs.tamk.fi/sahkoinen-talotekniikka/sahkoverkko/kiinteiston-sahkoverkko/liittymän-mitoittaminen/3/>>. Luettu 2.9.2021.
- 31 Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Energiakaivo. 2013.
- 32 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta. 2017. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 33 Hissit, valintaohje. 2011. Rakennussäätiö RTS.
- 34 System monitoring. Verkkoaineisto. SMA Solar Technology AG. <<https://manuals.sma.de/SPortal/en-US/1073615883.html>>. Luettu 13.10.2021.
- 35 Saarela, Joonas. 2020. Energiatehokkuus ja sen toteuttaminen rakennuksien sähkösuunnittelussa ja -asennuksissa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu. Aaltodoc-tietokanta.

- 36 Kontu, Kaisa & Vimpari, Jussi. 2020. Kaukolämmön kilpailukyky kiinteistökohtaisten energiaratkaisujen kanssa – kiinteistönomistajan näkökulma. Verkkoaineisto. <https://energia.fi/files/4583/KL_kilpailukyky_kiinteistokoh- taisten_energiaratkaisujen_kanssa.pdf>. Luettu 1.10.2021.
- 37 Vakkilainen, Esa & Kivistö, Aija. Sähkön tuotantokustannustenvertailu. Tutkimusraportti. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiatekniikka. LUTPub-tietokanta
- 38 Photovoltaics report. 2021. Verkkoaineisto. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. <<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>>. Luettu 4.10.2021.
- 39 Dr Wirth, Harry. 2021. Recent Facts about Photovoltaics in Germany. Germany. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE.