jamk

Sähköenergian kustannusten optimointi

Petri Koikkalainen

Opinnäytetyö, ylempi AMK
11/2023
Elinkaaren hallinnan YAMK

jamk | Jyväskylän ammattikorkeakoulu
University of Applied Sciences

jamk

Kuvailulehti

Koikkalainen Petri

Sähköenergian kustannusten optimointi

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Marraskuu 2023, 95 sivua.

Elinkaaren hallinnan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö YAMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Sähköenergian hinnan nousun myötä sähköenergian kulutuksen optimoiminen työnantajan kiinteistössä oli ajankohtaista. Sähköenergian kulutuksen optimoimiseksi tutkittiin kiinteistön taloteknisistä järjestelmistä valaistusta, ilmanvaihtoa, paineilmajärjestelmää, aurinkosähkön mitoitusta ja rakennusautomaatiota sekä loistehon kompensointia.
Tutkimus toteutettiin paikan päällä kiinteistön tiloissa tutkimalla järjestelmiä. Tutkimusta varten tietoa kerättiin kiinteistöpalvelulta, kiinteistön sähkökuvista, -kaavioista ja ohjeista. Myös muutamia virtamittauksia tehtiin ja tuloksia laskettiin tarjouspyyntöhintojen ja jälleenmyyjien hinnastojen avulla.
Tuloksena saatiin optimointiehdotuksia valaistuksen, ilmanvaihdon, paineilmajärjestelmän ja aurinkosähköjärjestelmien osalta. Myös rakennusautomaatiojärjestelmään ja loistehon kompensointiin tehtiin ehdotuksia sähkönkulutuksen optimoinnin kannalta.
Lähes 20 vuotta vanha sähköjärjestelmä tarvitsee monilta osin jo laitteiston uusimista, päivitystä ja huoltoa/säätöä, jotta sähköenergian kulutukseen voidaan vaikuttaa merkittävästi. Säästötoimenpiteet vaativat investointeja, joita joudutaan ainakin osittain tekemään jo pelkästään järjestelmien elinkaarien tullessa loppuun, joko vikaantumisen tai yleisesti varaosien heikon saatavuuden vuoksi.

Avainsanat (asiasanat)

Sähköenergia, Sähköteho, Sähköjärjestelmä, Energiatehokkuus, Elinkaari, Investointi

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

jamk

Description

Koikkalainen Petri

Optimization of electrical energy costs

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, November 2023, 95

Degree Program in life cycle management. Bachelor´s thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

With the increase in the price of electricity, optimizing the consumption of electricity in the employer's property was topical. In order to optimize the consumption of electrical energy, the lighting, ventilation, compressed air system, sizing of solar electricity and building automation, as well as reactive power compensation, were studied from the property's building technical systems.
The research was carried out on site in the premises of the property by examining the systems. For the research, information was collected from the real estate service, electrical pictures, diagrams and instructions of the property. A few current measurements were also made and the results were calculated with the help of bid prices and retailers' price lists.
The result was optimization suggestions for lighting, ventilation, compressed air system and solar power systems. Proposals were also made for the building automation system and reactive power compensation in terms of optimizing electricity consumption.
The almost 20-year-old electrical system already needs equipment renewal, updating and maintenance/adjustment in many respects, so that the consumption of electrical energy can be significantly affected. Savings measures require investments, which have to be made at least partially when the life cycles of the systems come to an end, either due to failure or generally poor availability of spare parts.

Keywords/tags (subjects)

Electrical energy, Electrical power, Electrical system, Energy efficiency, Life cycle, Investment

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

1 Johdanto 5
2 Tutkimusasetelma 7
2.1 Tutkimuskysymys ja työn tavoite 7
2.2 Aineiston keruu ja analyysi 8
2.3 Tietoperusta 9
2.4 Työn luotettavuus 10
3 Sähköjärjestelmä kiinteistössä 12
3.1 Sähköliittymä 12
3.2 Sähkön pääjakelujärjestelmä 13
3.3 Sähköjärjestelmän maadoittaminen 14
3.4 Loistehon kompensointi kiinteistössä 16
3.5 Sähköjärjestelmien kuntoarvio ja -tutkimus 18
3.6 Julkisten rakennusten sähköenergian kulutus 19
4 Rakennusten sähköjärjestelmien elinkaari ja elinkaarikustannukset 21
4.1 Rakennusten sähköjärjestelmien elinkaari ja niihin vaikuttavat tekijät 21
4.2 Sähköjärjestelmien tekninen ja taloudellinen elinkaari 23
5 Kiinteistön sähkönkulutuksen muodostuminen 25
5.1 Valaistus 25
5.2 Ilmanvaihto 26
5.3 Lämmitys ja jäähdytys 27
5.4 Laitteet ja muut järjestelmät 27
5.5 Huoltoresurssit 31
6 Sähköenergian kulutuksen hallintajärjestelmät 31
6.1 Sähköenergian mittarointi 31
6.2 Energian optimointityökalut 32
6.3 Kiinteistöautomaatio 33
6.4 Sähkön hintatiedon hyödyntäminen sähkön kulutusta ohjaavana tekijänä 35
6.5 Sähkötehon hallinta 36
6.6 Älykkäät energianhallinnan ratkaisut 37
7 Sähköjärjestelmien saneeraus 38
7.1 Sähköjärjestelmien suunnittelu saneerauskohteissa 38
7.2 Sähköjärjestelmien saneeraustyöt 39
7.3 Investointilaskelmat sähkösaneerauspäätösten tukena 40

7.3.1 Investoinnin kassavirta 41
7.3.2 Nettonykyarvo ja nykyarvoindeksi 41
7.3.3 Sisäinen korkokanta (IRR) ja takaisinmaksuaika 43
8 Työssä tutkittava kiinteistö 45
9 Tutkittavan kiinteistön sähköjärjestelmien sähkönkulutuksen optimointi 46
9.1 Valaistus 46
9.2 Ilmanvaihto 47
9.3 Aurinkovoimala 49
9.4 Paineilmajärjestelmä 51
9.5 Muut järjestelmät 54
10 Tulokset 54
10.1 Valaistus 54
10.2 Ilmanvaihtojärjestelmä 57
10.3 Aurinkosähköjärjestelmä 65
10.4 Paineilmajärjestelmä 68
10.5 Rakennusautomaatio 69
10.6 Loistehon kompensointi 71
11 Pohdinta 71
Lähteet 77
Liitteet 83

Kuviot

Kuvio 1. Sähkönjakelujärjestelmä 14
Kuvio 2. Elinkaarivaihemalli 24
Kuvio 3. Energiatehokkaan valaistuksen suunnittelu 25
Kuvio 4. Ensirekisteröidyt henkilöautot Suomessa käyttövoimittain tammi-syyskuussa 2022 . 30
Kuvio 5. Esimerkki MOBO:lla tehdystä optimoinnista investointien ja vuosittaisen lämmitysenergian välillä 33
Kuvio 6. Energiatehokkaan rakentamisen painoarvotasot (Kioto-pyramidi) ja esimerkkejä automaatiotoiminnoista eri tasoilla 34
Kuvio 7. Rakennuksen automaatiotason vaikutus energiatehokkuuteen 34
Kuvio 8. Pörssisähkö ohjausrele 36
Kuvio 9. Investoinnin nettokassavirta 41
Kuvio 10. Nettonykyarvon laskentakaava 42
Kuvio 11. Nykyarvoindeksin laskentakaava 43

Kuvio 12. Laskentakaava, josta sisäinen korkokanta (IRR) ratkaistaan 44

Kuvio 13. Eri valonlähteiden valotehokkuuden kehittyminen 46

Kuvio 14. Standardin IEC 60034-30 mukaiset IE-moottorien hyötysuhdeluokat 4-napaisille moottoreille (50Hz) 48

Kuvio 15. Energiatehokkuusvaatimukset uusille moottori- ja taajuusmuuttaja-asennuksille ... 49

Kuvio 16. EG Enerkey energianhallintaohjelman kuvankaappaus kiinteistön sähkönkulutuksesta 50

Kuvio 17. Aurinkosähköjärjestelmän arvioitu sähköenergian tuottolaskelma 20 kW:n järjestelmälle Imatralla 51

Kuvio 18. Energiankulutus suhteessa paineilman tarpeeseen käytettäessä kiinteänopeuksista kuormitus/kevennys kompressoria ja muuttuvanopeuksista kompressoria. 52

Kuvio 19. Paineilmaverkoston ilmavuotojen kustannuksia 53

Kuvio 20. Nopeusohjattujen puhaltimien (1000 W:iin saakka) tehontarve eri kierroslukunopeuksilla 58

Kuvio 21. IE energiatehokkuusluokat 4-napaisille 50 Hz:n moottoreille 62

Kuvio 22. 20 kW:n aurinkovoimalan tuoton vertaaminen kiinteistön sähkönkulutukseen 65

Taulukot

Taulukko 1. Kompensointitarpeen (kVar/kW) määrittäminen, kun tehokerroin nostetaan cos φ_1:stä cos φ_2:seen 17

Taulukko 2. Rakennusten standardikäyttö 20

Taulukko 3. Sähköenergian vuosikulutus/m^3 eri rakennustyypeissä 21

Taulukko 4. Määräaikaistarkastusten tarkastusvälit eri sähkölaitteistoluokissa 22

Taulukko 5. Latauspistelain (733/2020) vaatimukset sähköautojen latauspisteille rakennuksissa 29

Taulukko 6. Lasketut tehot ja sähköenergian kulutus sekä hinnat ja niiden vertailu vanhojen ja uusien valaisimien välillä 55

Taulukko 7. Valaisininvestoinnin nettonykyarvolaskelma 56

Taulukko 8. Budjettitarjous EC-puhaltimista 57

Taulukko 9. Vuosittainen arviolaskelma sähköenergian säästöstä EC-puhaltimilla 59

Taulukko 10. Nettonykyarvolaskelma ilmanvaihtosaneerauksen toteuttamisesta ec-puhaltimilla 60

Taulukko 11. VEM IE3-energiansäästömoottoreiden (W4-sarja) hinnasto 2023 (alv 0 %) 63

Taulukko 12. Esimerkkilaskelma sähköenergian kulutuksen muutoksesta puhallinmoottoreiden IE1- ja IE3-hyötysuhdeluokkien välillä 63

Taulukko 13. IE3-energiatehokkuusluokan oikosulkumoottoreiden investoinnin kannattavuus nettonykyarvomenetelmällä laskettuna 64

Taulukko 14. Aurinkosähköjärjestelmän investoinnin kannattavuus nettonykyarvomenetelmällä laskettuna……67

Taulukko 15. Muuttuvatuottoisen paineilmakompressorin nettonykyarvolaskelma 69

Taulukko 16. Rakennusautomaatiojärjestelmän eri osien elinkaaren arvioitu aika vuosissa 70

Kaava 1. ……16

1 Johdanto

Sähköenergian hinta oli korkealla vuoden 2022 aikana. Sähkön hintaan vaikutti vuonna 2022 erityisesti kaasun tuontirajoitukset Eurooppaan. Euroopassa tuotetaan paljon sähköä kaasulla, jonka vuoksi sen vaikutus sähkön hintaan on suuri. Sää vaikuttaa myös keskeisesti sähköntuotantoon ja sen välityksellä hintaan. Vesivoiman tuotantoon vaikuttaa vesivarastojen täyttöaste, joka on riippuvainen sateisuudesta, kuten tuulisuus taas vaikuttaa tuulivoiman tuotantoon. Sähkön hintaan vaikuttaa Suomessa myös Euroopan sähkömarkkinoiden hintakehitys, koska Suomi on osa eurooppalaista sähkömarkkinaa. Päästöoikeuksien hinta, siirtoyhteyksien toiminta, sähkön tuotanto ja sen viennin sekä tuonnin tilanne vaikuttavat myös sähkön hintaan. (Energiavirasto.)

Koska sähkön hinta riippuu monista tekijöistä, on sen hinnan kehittymistä vaikea ennustaa. Suomessa Olkiluoto kolmosen tuottaman sähkön ansioista sekä voimakkaasti kasvava tuulivoiman rakentaminen auttavat saavuttamaan sähköntuotannon omavaraisuuden. Näillä asioilla on vaikutus sähkön hinnan muodostumiseen kuluttajien kannalta positiivisesti. EU:n päästökauppa ja sen aiheuttamat lisäkustannukset sähkön tuottajille kannustavat siirtymään enemmän puhtaampiin sähköntuotannon keinoihin, jotka myös vaikuttavat lopulta kuluttajien sähkön hintaan suotuisasti. (Energiavirasto.)

Työn toimeksiantajan Etelä-Karjalan koulutuskuntayhtymän strategian yhtenä osana on kestävän tulevaisuuden varmistaminen, johon mm. kuntayhtymän kiinteistöjen energiatehokkuus kuuluu tärkeänä osana tulevaisuuden toimintaa. Energiatehokkuuden tehostamisella pyritään taloudellisten säästöjen lisäksi pienentämään yrityksen hiilijalanjälkeä ja ympäristövaikutuksia. Kuntayhtymällä on käynnissä olevia ja tulevia koulurakennusprojekteja Lappeenrannassa ja Imatralla, jotka sisältävät uudisrakentamista ja laajoja saneeraustöitä sekä purkutöitä. Tähän asetelmaan liittyen sähköenergian kulutuksen tarkastelu ja sen optimointi oli ajankohtainen aihe. Kiinteistöteknisten sähkö- ja automaatiojärjestelmien hyötysuhteet ja käytettävyys kehittyvät jatkuvasti ja olikin perusteltua selvittää saneerauskohteen eri järjestelmien uusimisien kannattavuutta, vaikka niiden teknistä elinkaarta olisi vielä paljonkin jäljellä.

Sähköjärjestelmillä on tekninen elinkaari, jonka toteutuminen on riippuvainen kunnossapidosta. Kunnossapidon eri keinoin sähköjärjestelmä pidetään toimivana ja turvallisena ja hyvin suunnitellulla kunnossapidolla sähköjärjestelmien elinkaarta voidaan pidentää. Usein joudutaan kuitenkin

myös tilanteisiin, joissa sähköjärjestelmä tai sen osia joudutaan uusimaan jo ennen teknisen laskennallisen käyttöiän saavuttamista. Raskaat käyttöolosuhteet, asennusvirheet, käyttötarpeen muuttuminen tai taloudellinen näkökulma vaikuttavat sähköjärjestelmien uusintatarpeisiin. Monesti onkin järkevää uusia vanha sähköjärjestelmä taloudellisista syistä esimerkiksi energiatehokkuuden kehittymisen vuoksi, jos uudella sähköjärjestelmällä säästetään rahaa ja sen takaisinmaksuaika on kohtuullisen pituinen sen odotettavaan elinkaareen verrattaessa.

Sähkön hintakehityksen vuoksi tavoitteena oli tutkia sähkönenergian käytön tehostamista Etelä-Karjalan koulutuskuntayhtymän omistamassa kiinteistössä. Teoriaosuudessa esitellään sähköjärjestelmiä, niiden elinkaarta sekä kiinteistön sähkönkulutuksen optimoinnin erilaisia keinoja. Teoriaosuuden alussa esitellään yleisesti sähköjärjestelmien rakennetta, jonka jälkeen teoriaosassa keskitytään aiheisiin, jotka tukivat työssä tutkittujen sähköenergian kulutuksen optimoinnin keinojen löytämistä ja arviointia. Teoriaosuudessa esitellään myös erilaisia investointilaskelmamenetelmiä. Investointilaskelmamenetelmiä käytettiin sähköjärjestelmien saneerausehdotuksien ja sähköenergian tehostamiskeinoihin liittyvien hankintaehdotusten tukena.

Tutkimusosassa kartoitettiin kiinteistön sähköenergian säästämisen kannalta tärkeimmät kohteet. Kartoituksessa laskettiin sähkötehoja dokumenttien ja eri mittaustulosten avulla. Laskelmien avulla saatiin selvitettyä sähköenergian kustannukset tarkasteluun valittujen sähköjärjestelmien osien osalta. Kiinteistön sähköenergian mittauspisteitä ei ole eri järjestelmille asennettu, joten niiden sähköenergian kustannuksien osuudet eivät erotu sähköenergian käytön historiatiedoista suoraan. Kiinteistössä tehtiin erilaisia tutkimuksia, kuten mittauksia ja aistinvaraisia tarkastuksia, joiden perusteella arvioitiin mahdollisia uusinta tarpeita eri sähköjärjestelmien osissa. Erilaisten korvaavien ja energiatehokkaampien järjestelmien etsiminen kuului osana tutkimusta ja niistä tehtiin kustannus-, kannattavuus- ja investointilaskelmia. Kiinteistön elinkaari otettiin huomioon kannattavuuslaskelmissa eli takaisinmaksuaika huomioitiin hankintaehdotuksissa. Lopputuloksena esitellään vaihtoehtoja sähköenergian kulutuksen tehostamiseksi.

2 Tutkimusasetelma

2.1 Tutkimuskysymys ja työn tavoite

Tutkimuksen tai tutkimusprojektin avulla pyrittiin vastaamaan tutkimuskysymykseen. Tutkimuksen johtopäätöksessä vastattiin tutkimuskysymykseen, johon saatiin vastaus aineiston analysoinnin ja tulkinnan avulla.

Laajasta aihealueesta saatiin rajattua tietty tutkimusalue tutkimuskysymyksen oikeanlaisen muotoilun keinoin. Tutkimuksen ohjaavana viitekehyksenä toimivat hypoteesit tutkimuskysymyksien ohella ja nämä kysymykset toivat esiin tutkimuksen rajoja ja asettivat ne. Tutkimuskysymykset vaikuttivat oleellisesti tiedonkeruuseen, otoskokoon, tutkimusmetodologiaan ja data-analyysiin. (Bouchrika, I.)

Opinnäytetyössä tutkittiin sähköenergian hinnan korotuksien vuoksi erilaisia ratkaisuja kohdekiinteistön sähköjärjestelmien sähkönkulutuksen optimoimiseksi. Tutkimuskysymyksenä oli: Kuinka tehostetaan kiinteistön sähköenergian käyttöä kiinteistötekniikkaan kuuluvien sähköjärjestelmien osalta? Jatkokysymyksinä esitettiin: Mitkä sähköjärjestelmien osat ovat tärkeitä sähkönkulutuksen tehostamisen kannalta ja mitä vaihtoehtoja sähköjärjestelmien eri osien sähkönkulutuksen tehostamiselle on?

Tarkoituksena oli keskittyä sähkönkulutuksen pohjakuorman hallintaan kiinteistössä. Kiinteistö on hankittu Etelä-Karjalan koulutuskuntayhtymälle vuonna 2022 ja sen käyttötarkoituksena on toimia prosessi- ja laboratoriotekniikan sekä prosessiautomaatiotekniikan opetustilana. Opetustoiminta on tarkoitus aloittaa kiinteistössä vuoden 2024 aikana. Tutkimuksessa huomioitiin vain sähkönkulutuksen suuruusluokaltaan merkittävät sähköjärjestelmän osat. Kiinteistön opetuskäytössä olevia koneita ja laitteita ei tutkimuksessa huomioitu. Tavoite työlle oli muodostaa selvitys erilaisista mahdollisuuksista sähköenergian käytön tehostamiseksi kiinteistötekniikan osalta. Lisäksi työn tuloksia voidaan käyttää tukena päätösten teossa Etelä-Karjalan koulutuskuntayhtymän tulevia saneerausprojekteja varten ja osaa työn materiaaleista voidaan myös jatkossa käyttää sähkö- ja automaatioalan perustutkinnon opetuksessa hyödyksi.

Tuloksena syntyi raportti, jossa eritellään kiinteistön sähköjärjestelmien sähköenergian käytön tehostamisen kannalta oleelliset osat. Näiden sähköjärjestelmien osien sähköä säästävien toimenpiteiden selvitys ja keinot käydään raportissa läpi. Raportti sisältää sähköjärjestelmien osien laskennallisen elinkaaritiedon, energiatehokkuuden, laskennallisen sähkönkulutuksen, aikaisempien vuosien sähkönkulutustiedot, uusien korvaavien sähköjärjestelmien eri vaihtoehtoja ja niiden investointiehdotusten takaisinmaksulaskentaa. Raportti sisältää myös ohjeistusta käytännön keinoista sähkönkulutuksen tehostamiseksi ja ottaa kantaa siihen, kuka kiinteistössä voi vaikuttaa tai toteuttaa sähköä säästäviä toimenpiteitä.

Tutkimuksen tuloksena muodostui raportti, joka kirjoitettiin sellaiseen muotoon, että lukija saa selkeän käsityksen sähköjärjestelmien energiankulutuksen tehostamisesta, vaikka ei olisikaan sähköalan ammattilainen. Lisäksi työn teoriaosuus käsittelee sähköenergian säästämisen näkökulmasta kiinteistön sähköjärjestelmiä ja luo mahdollisuuden saada hyvän kokonaiskäsityksen sähköenergian kulutuksen optimoinnista teoriatasolla.

2.2 Aineiston keruu ja analyysi

Tämän opinnäytetyön aineistonkeruu ei sisällä kyselylomakkeita, haastatteluja eikä videointia. Tiedonkeruu suoritettiin sähköjärjestelmien dokumenteista ja paikan päällä kohteen tarkastuksilla aistin varaisesti ja mittaamalla mittalaitteilla.

Kerättävän aineiston dokumentoinnissa oli tärkeää pitää dokumentaatiota ajan tasalla. Eri aineistokonaisuuksille luotiin omat selkeät kansiot ja tiedostojen nimeämisessä käytettiin yhtenäistä käytäntöä. Dokumentaatiossa suosittiin avoimia tiedostoformaatteja, joilla varmistettiin tietojen helpompi saavutettavuus.

Kerättävän aineiston laatuun täytyi kiinnittää huomiota aineiston oikeanlaisen käsittelyn ja säilytyksen keinoin. Aineiston laatua ja eheyttä voitiin varmistaa mm. käyttämällä alan standardoituja laitteita ja menetelmiä sekä huomioimalla mittausvälineiden kunto (esim. kalibrointi). Versionhallinta oli myös yksi hyvä tapa hallita dokumentaatiota. (Jyväskylän yliopisto.)

Valmiiden aineistojen kerääminen sisälsi sähköenergian kustannusten optimointiin liittyviä opinnäytetöitä ja niissä käytettyjä lähteitä. Aineistoa kerättiin myös Jyväskylän verkkokirjaston palveluista, Sähköinfo Severin palvelusta, eri sähkölaite- ja järjestelmätoimittajien verkkosivuilta ja sähköistysalan eri tahojen verkkosivuilta (laki, työehtosopimukset ym.).

Tutkimusaineiston keskeisin materiaali muodostui kiinteistön dokumenttien kartoittamisesta ja sähköjärjestelmien kenttätutkimusosuudesta, joka sisälsi aistinvaraisia tarkastuksia ja mittalaitteilla tehtyjä mittauksia. Tutkimusaineiston mittareina olivat sähköjärjestelmien eri osien elinkaari ja energiatehokkuus. Sähköjärjestelmien eri osien elinkaaritietojen ja energiatehokkuuden avulla tehtiin laskelmia, joilla tutkittiin vaihtoehtoja sähköenergian käyttökustannusten vähentämiseksi.

Sähköjärjestelmien eri osien elinkaarien analysointiin käytettiin pääasiassa taulukkoarvoja ja valmistajien omia elinkaaritietoja. Sähköjärjestelmien normaalista poikkeavat elinkaariodotukset selvisivät mittausten ja aistinvaraisten tarkastusten perusteella. Elinkaariajattelussa otettiin huomioon teknisen käyttöiän lisäksi myös taloudellinen käyttöikä, jota ohjaa energiatehokkuus ja takaisinmaksuaika.

Kerätty tieto dokumenteista, mittauksista ja sähköjärjestelmien valmistajien verkkosivuilta yhdistettiin ja niiden avulla tehtiin laskelmia. Kiinteistön sähköjärjestelmistä tehdyistä mittauksista valittiin sähkönkulutuksen kannalta merkittävät tulokset. Sähköjärjestelmien tai niiden osien uusimistarpeen ja niiden kannattavuuden laskentaan tarvittiin hinnat mm. komponenteista, kaapelireiteistä, asennuskustannuksista ja käyttökustannuksista.

Tämän lisäksi kyseisen hankkeen rahoitus täytyi ottaa huomioon sekä koko kiinteistön odotettavissa oleva elinkaari. Lopulta laskelmien tulosten avulla muodostettiin erilaisia kehittämisvaihtoehtoja kiinteistön sähköenergian kulutuksen tehostamiseksi.

2.3 Tietoperusta

Tietoperustan kerääminen alkoi opinnäytetyön aiheen rajauksesta ja keskeisimpien käsitteiden listaamisesta. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kohdekiinteistön sähköjärjestelmien energian kulutuksen tehostamisen eri mahdollisuuksia. Huomioon otettiin sähkön kulutuksen kannalta oleelliset sähköjärjestelmien osat ja niiden elinkaari, energiatehokkuus ja kustannukset. Tutkimusta tehtiin

kiinteistön pohjakuormalle, eikä siinä otettu huomioon kiinteistön opetuskäytössä olevaa laitteistoa.

Tämän työn tietoperusta (lähdeluettelo) sisälsi ammatillisia tietolähteitä, virallistietolähteitä, yleistajuisia tietolähteitä, tutkittavan kiinteistön sähkösuunnitelmadokumentteja sekä siitä käytännössä tutkimuksilla kerättyä tietoa. Lisäksi aiheeseen liittyvää erilaista tutkimustietoa käytettiin hyödyksi työssä.

2.4 Työn luotettavuus

Tutkimusprosessin kuluessa tuli alusta asti arvioida tutkimuksen luotettavuutta, sen tasoa ja johtopäätösten pätevyyttä. Käyttämällä tutkimuksessa erilaisia aineistotyyppejä, näkökulmia, teorioita ja analyysimenetelmiä, voitiin parantaa tutkimuksen luotettavuutta. Kun tällä tavoin toimittaessa saatiin erilaisilla lähestymistavoilla samanlaisia tuloksia, voitiin nähdä, että tutkimustulos ei ole sattumanvarainen.

Määrällisessä tutkimuksessa voitiin arvioida tutkimuksen pätevyyttä reliabiliteetin ja validiteetin avulla. Validiteetilla tarkoitetaan pätevää aineiston analyysimittaria tutkimuksessa. Tarkoituksena oli mitata oikeita asioita tutkimuksen kannalta. Reliabiliteetilla tarkoitetaan mittaustulosten toistettavuutta ja analyysin johdonmukaisuutta.

Laadullisessa tutkimuksessa sovellettiin osittain validiteetin ja reliabiliteetin käsitteitä. Laadullisen tutkimuksen keskiössä olivat tutkimuksen luotettavuuden ja uskottavuuden arviointi. Tulokset eivät saaneet esimerkiksi olla laadullisessa tutkimuksessa sattumanvaraisia. Menetelmillä, joita käytettiin, oli tarkoitus tutkia juuri sitä, mitä oli tarkoitus tutkia. Tutkimusongelman ja aineiston sisältöjen täytyi sopia yhteen käytettyjen käsitteiden kanssa. Laadullisen tutkimuksen luotettavuutta voitiin arvioida monin eri tavoin. Esimerkiksi laadullisen tutkimuksen näkökulmat, jotka liittyivät luotettavuuteen, olivat siirrettävyys ja yleistettävyys. Luotettavuuden mittarina voitiin ajatella, että olivatko tutkimuksen tulokset siirrettävissä tai yleistettävissä myös muihin tilanteisiin tai kohteisiin. (Jyväskylän yliopisto. Koppa.)

Valmiita aineistoja kerättiin luotettavista lähteistä mutta niiden käytössä täytyi olla kriittinen. Työn rajaus määritteli kerättävän materiaalin, sen määrän ja materiaalia kerättiin vain sen verran, kun

se tarjosi uutta tietoa. Aineistojen ajantasaisuus täytyi huomioida, sillä esimerkiksi sähköalan standardeihin (SFS 6000) tulee keskimäärin viiden vuoden välein uudistuksia ja muutoksia. Sähköjärjestelmien rakennusajankohta määrittelee käytetyt standardit, jotka täytyi ottaa huomioon tutkimuksessa.

Työn teoriaosuuteen käytettävät tietolähteet olivat luotettavia pääasiassa ammattilaisille tarkoitettuja kirjallisuutta ja verkkopalveluja sekä virallistietolähteitä. Tutkimusosuuden luotettavuudessa täytyi tarkastaa kiinteistön tutkittavien dokumenttien ajantasaisuus vertaamalla niitä fyysiseen ympäristöön. Aistinvarainen sähköjärjestelmän tutkiminen ja sen luotettavuus perustuivat standardin määrittelemien menetelmien käyttöön ja ammattitaitoon. Sähköjärjestelmissä suoritetut mittaukset tehtiin ammattitason mittalaitteilla. Tarvittavien mittausten määrät suunniteltiin niin, että tulosten luotettavuus opinnäytetyön tavoitteiden puitteissa saatiin varmistettua.

Opinnäytetyön sähköjärjestelmien ja niiden osien elinkaaritiedot ja hintatiedot, joita käytettiin tulosten laskennassa hyödyksi, olivat yrityksien verkkosivuilta kerättyjä valmistajien ja jälleenmyyjien ilmoittamia tietoja. Lisäksi laskennassa käytettiin kehitysehdotusten työmäärien laskennassa sähköistys- ja sähköasennusalan urakkahinnoitteluohjetta hyödyksi, jotta päästiin työmäärien laskennassa luotettavaan tulokseen. Sähköasennusalalla saavutettu käytännön kokemus erilaisista sähköasennustöistä auttoi lisäksi työmäärien laskennassa.

Opinnäytetyössä suoritettavan tutkimuksen luotettavuus perustui seuraavanlaiseen kokemukseen ja pätevyyteen:

- SETI Oy:n myöntämä sähköpätevyys 2
- Sähköalan ammatillinen opettaja
- Sähkö- ja automaatioinsinööri
- Sähkö- ja automaatioalan perustutkinto
- 8 vuotta sähköalan työkokemusta sähköasennustöistä.

Opinnäytetyö on luonteeltaan tutkivaa kehittämistoimintaa. Toikon ja Rantasen (2009, 122) mukaan kehittämistoiminnassa käyttökelpoisuus rinnastetaan luotettavuuteen, eli kehittämistoiminnassa syntyneen tiedon täytyy olla tiedon todenmukaisuuden lisäksi hyödyllistä.

3 Sähköjärjestelmä kiinteistössä

3.1 Sähköliittymä

Kiinteistön sähköliittymän mitoittaminen on tärkeä osa sähkösuunnittelua. Kiinteistön sähköverkon ja sen liittymän alimitoittaminen rajoittaa rakennuksen käyttöä. Liittymän ylimitoittaminen taas aiheuttaa ylimääräisiä kuluja rakennusvaiheessa ja myöhemmin se nostaa myös käyttökuluja. Rakennuksen elinkaaren aikana sen käyttöaste voi vaihdella paljonkin, jonka vuoksi sen kuormitus- ja käyttöastetta kannattaa seurata. Esimerkiksi rakennuksen käyttömenoja voidaan vähentää vaihtamalla rakennuksen pääsulakekokoa pienemmäksi, jos rakennuksen sähköjärjestelmän todellinen käyttöaste sen sallii. (ST 13.31.)

Energiavirasto valvoo sähkömarkkinalaissa asetettuja ehtoja, joissa on määritelty sähkön myyjille ja sähköverkonhaltioille velvoitteet, joilla kuluttajan asemaa parannetaan. Asiakkaalla on oikeus sähköverkkoon liittymiseen sekä sähkön siirtopalveluun kohtuullisella hinnalla. (ST 13.31.)

Käytännössä sähköliittymiskohtana toimii yleensä tontin raja ja/tai rajalla sijaitseva jakeluverkonhaltijan pylväs tai jakokaappi. Asiakas hankkii omalla kustannuksellaan liittymiskohdasta eteenpäin sähkösuunnittelijan määrittelemän liittymiskaapelin. Liittymiskaapeli kytketään sähköurakoitsijan toimesta jakeluverkon haltijan ohjeiden mukaisesti sijoitettuun pääkeskukseen. Kiinteistön sähköenergian mittaus voidaan toteuttaa suoralla mittauksella 3 x 63 A pääsulakekokoon saakka. Tätä suuremmilla pääsulakkeilla varustettujen liittymien sähköpääkeskuksien energianmittaus toteutetaan epäsuoralla mittauksella virtamuuntajien kautta. (ST 13.31.)

Rakennuksen sähköliittymä mitoitetaan huipputehon määrittelyn avulla. Huipputehon laskennalle on valmiita laskentamalleja eri käyttötarkoitukseen oleville rakennuksille. Esimerkiksi, toimistorakennuksen huipputeho lasketaan siten, että sähköjärjestelmän eri osien tehot lasketaan yhteen ja kerrotaan tasauskertoimilla. Näin saadaan mitoittava teho selville jokaisesta sähköjärjestelmän eri laitteistosta. Lopuksi kaikki eri laitteistojen mitoittavat tehot lasketaan yhteen. Tähän lopputulokseen huomioidaan sähköjärjestelmän laajennusvaraus (esim. 10 %), loisteho ja särövirta. (ST 13.31.)

Lisäksi mitoituksessa huomioidaan jakeluverkko ja liittymisjohdon pituus sekä sen kuormitettavuuteen vaikuttavat tekijät, joita ovat liittymisjohdon asennustapa, johdinmateriaali, poikkipinta-ala, eristemateriaali, ympäristön lämpötila ja rinnankytketyt johtimet. Lopulta näiden tietojen avulla saadaan määriteltyä rakennuksen liittymisjohdon ja sähköliittymän pääsulakkeiden koko. Liitteessä 1 esitetään toimistorakennuksen pienjänniteliittymän mitoittamisen esimerkki. (ST 13.31.)

3.2 Sähkön pääjakelujärjestelmä

Kiinteistön sähkön pääjakelujärjestelmän tehtävänä on siirtää sähköenergiaa ja jakaa sitä liittymästä käyttöalueille. Järjestelmään kuuluu myös laskutusmittaus ja sähkön laadun valvonta ja parantaminen. Sähkön pääjakelujärjestelmä sisältää seuraavat pääosat:

- pääkeskuksen syöttöjärjestelmän
- pääkeskukset ja muut keskukset
- pääjohdot ja nousujohdot
- pääjakelukiskot ja niiden virranottimet (mittaus-, suoja- ja erotuslaitteineen)
- maadoituskiskot ja maadoituselektrodit
- maadoitus- ja potentiaalintasausjohtimet
- yliaaltojen suodatuslaitteet
- loistehon kompensointilaitteet
- sähkön laskutusmittaukset ja muut mittaukset
- ylijännitesuojat. (ST 70.31.03.)

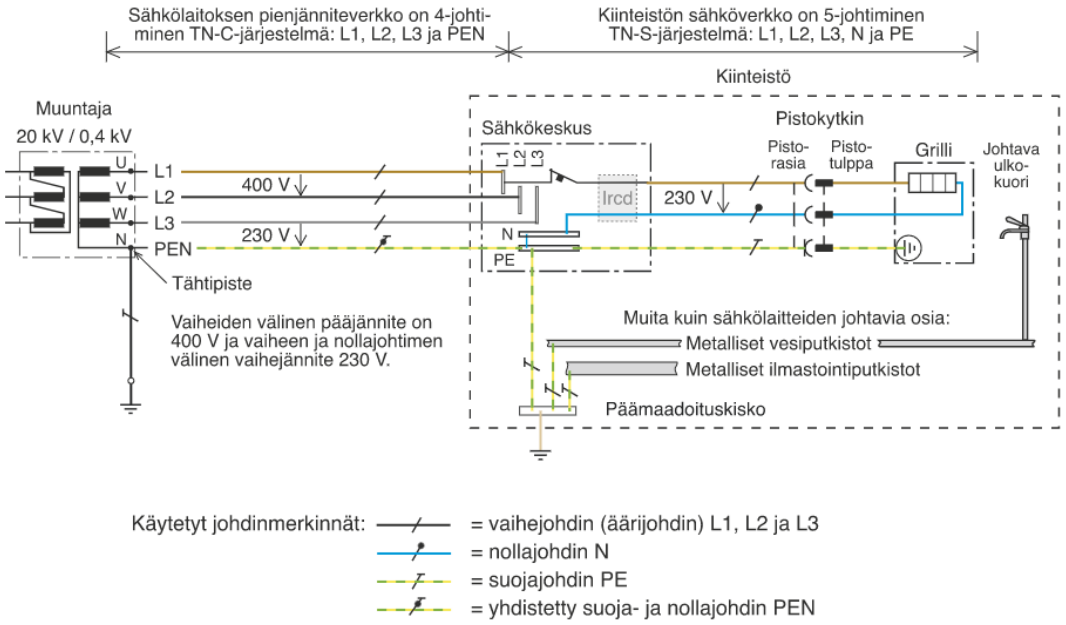
Sähköenergian pääjakelujärjestelmä voidaan toteuttaa esimerkiksi kiinteärakenteisena tai muunneltavana. Pääjakelujärjestelmän ylimitoitus tulevia tarpeita varten voi olla esimerkiksi 10 %, 30 % tai 50 %. Liittymiskaapeleita pitkin tulevia ylijännitteitä vastaan (esim. salamanisku) suojaudutaan sähköpääkeskukseen asennettavilla ylijännitesuojauksilla. (ST 70.31.03.)

Kiinteistön sähköenergian laatusuureita ja kulutusta mitataan yhtenä kokonaisuutena. Tämän lisäksi sähkönkulutusta mitataan käyttäjäkohtaisesti ja erillismittauksina, joita ovat:

- kiinteistön sähkönkulutus
- käyttäjien sähkönkulutus (jokainen erikseen)
- LVI-laitteistot
- jäähdytyskoneet
- sähköajoneuvojen latauspisteet
- ajoneuvojen lämmityspisteet

- tuotantolaitteet (jokainen erikseen). (ST 70.31.03.)

Esimerkki sähkönjakelujärjestelmän rakenteesta esitetään kuviossa 1. Suomessa käytetään yleisimmin rakennusten sähköasennuksissa 4-johdinjärjestelmää (TN-C) ja 5-johdinjärjestelmää (TN-S).



Kuvio 1. Sähkönjakelujärjestelmä (Ahoranta, J. 2020, 209.)

Sähkönjakelujärjestelmän ja sen laitteiden häiriöiden minimointi sekä vikatapauksissa vaarallisten kosketusjännitteiden ehkäiseminen toteutetaan rakennuksen maadoitusjärjestelmän ja vikavirtavalvonnan avulla.

3.3 Sähköjärjestelmän maadoittaminen

Maadoitusjärjestelmän tarkoituksena on mahdollistaa sähköasennuksen luotettava ja turvallinen toiminta. Maadoitusjärjestelmällä luodaan johtava yhteys maahan, jota käytetään häiriösuojaukseen ja sähköiskulta suojaamiseen. Kun käytetään syötön automaattista poiskytkentää, toteutetaan sähköiskulta suojaus maadoitusjärjestelmään liittyvien suojajohtimien avulla. Suojaustarkoituksessa ja häiriöiden välttämiseen käytettävässä maadoituksessa suojauksen täytyy olla aina etusijalla. (ST 53.21.)

Suojajohtimina toimivat suojamaadoitusjohtimet, sähköiskulta suojaamiseen käytettävät johtimet, potentiaalintasausjohtimet ja PEN-johdinta (nolla- ja suojajohdintoiminto samassa johtimessa) voidaan myös pitää suojajohtimena. Suojamaadoitusjärjestelmän suojamaadoitusjohtimet kytketään jännitteelle alttiisiin osiin. Jännitteelle altis osa on sähköä johtava osa, kuten sähkölaitteen metallirunko. Jännitteelle altis osa ei ole normaalitilanteessa jännitteinen mutta se voi tulla jännitteiseksi, jos esimerkiksi metallirunkoisen laitteen perussuojaukseen käytetty peruseristys rikkoutuu. (ST 53.21.)

Potentiaalin tasauksella tarkoitetaan esimerkiksi rakennuksen kaikkien johtavien osien (muita, kuin sähkölaitteiden johtavia osia, esim. metalliset vesiputket ja ilmanvaihtoputket) liittämistä yhteen pisteeseen potentiaalintasausjohtimien avulla. Tällä tavoin estetään vaarallisten potentiaalierojen syntyminen rakennuksen johtavien osien välille. Potentiaalintasausjohtimet ja potentiaalintasauskiskot yhdistyvät lopulta päämaadoituskiskoon.

Maadoitusperiaatteet eri sähkönjakelujärjestelmissä SFS 6000 standardin mukaan pienjännitejakelujärjestelmissä ovat TN-järjestelmä, TT-järjestelmä ja IT-järjestelmä. Normaaleissa asennuksissa Suomessa käytetään yleensä TN-järjestelmää. TN-järjestelmää ovat esimerkiksi kuluttajille sähkön toimittamiseen käytettävät jakeluverkot. Erikoisjärjestelmissä, kuten sairaaloiden lääkintätiloissa ja prosessiteollisuudessa käytetään IT-järjestelmää. TT-järjestelmä on yleinen Etelä-Euroopan jakeluverkoissa, mutta Suomessa sitä ei käytetä. (ST 53.21.)

Jakelujärjestelmän tähtipiste on TN-järjestelmässä maadoitettu suoraan teholähteessä ja tähän pisteeseen on yhdistetty suojajohtimilla sähkölaitteiston jännitteelle alttiit osat. TN-järjestelmä voidaan jakaa kolmeen eri järjestelmään nolla- ja suojajohtimen keskinäisen järjestelyn perusteella:

- TN-C-järjestelmässä (4-johdin järjestelmä) nolla- ja suojajohdintoiminnot ovat samassa johtimessa koko järjestelmässä (PEN-johdin)
- TN-S-järjestelmässä (5-johdin järjestelmä) nolla- ja suojajohdin ovat erillisiä johtimia koko järjestelmässä
- TN-C-S-järjestelmässä käytetään osittain molempia edellä mainittuja järjestelmiä. (ST 53.21.)

TN-järjestelmiä voidaan kytkeä yhteen niin, että TN-C- järjestelmä voidaan kytkeä jatkumaan TN-S-järjestelmänä mutta TN-S-järjestelmästä ei voida enää palata TN-C-järjestelmään takaisin. TN-C-S-järjestelmä muodostuu TN-C järjestelmästä, johon on liitetty TN-S-järjestelmä mukaan. Tyypillisesti jakeluverkko muodostuu TN-C-järjestelmästä, johon liitettävän rakennuksen sähköjärjestelmä muodostuu TN-S-järjestelmästä (Kuvio 1.). (ST 53.21.)

3.4 Loistehon kompensointi kiinteistössä

Sähköjärjestelmissä on laitteita, jotka tarvitsevat loistehoa toimiakseen. Esimerkiksi sähkömoottorit, muuntajat ja vanhat loisteputkivalaisimet tarvitsevat loistehoa. Loistehoa voidaan tuottaa voimalaitoksilla ja loistehon kompensointilaitteilla. Loistehoa runsaasti käyttävistä kulutuspisteistä peritään loistehomaksuja, koska loistehon siirto aiheuttaa häviöitä kuormittaen sähköverkkoa ja lisää sitä kautta sähkön siirtokustannuksia. Tiedon kiinteistössä kuluvan loistehon määrästä saa sähkölaitokselta. Sen voi myös määrittää laskennallisesti tai mittaamalla kiinteistössä sähkönlaadun analysaattorilla. Loistehon määrän tiedon avulla voidaan määritellä kompensoinnin tarve. Kompensointilaitteiston hankkimisen kannattavuus lasketaan laitteiston hankintahinnan ja sähköä toimittavan verkkoyhtiön loistehomaksun hinnaston avulla. Kompensoinnin mitoituksessa on tärkeää mahdollisimman optimaalinen kompensointi, koska sekä ali- että ylikompensointi aiheuttavat kustannuksia kiinteistön omistajalle.

Loistehon tarvetta kuvaa tehokerroin cos φ. Muita loistehon laskennassa käytettäviä suureita ovat: Pätöteho P (kW), näennäisteho S (kVA) ja loisteho Q (kVar). Esimerkkinä kiinteistön moottoreiden loistehon tarve laskennallisesti määriteltynä, kun moottoreiden kuormituksen tarvitsema tehonkulutus verkosta on (näennäisteho S) 138,6 kVA ja tehokerroin cos φ = 0,7. Näillä lähtöarvoilla tehdään seuraavat laskutoimitukset: (ST 52.15)

Pätöteho $P = S \times \cos\varphi = 138{,}6\ \text{kVA} \times 0{,}7 = 97{,}0\ \text{kW}$ Kaava 1.

Tehokerroin ($\cos\varphi_1$) 0,7 halutaan nostaa kompensoinnin avulla kertoimeen 0,97 ($\cos\varphi_2$). Taulukosta 1 saadaan kertoimeksi 0,77, jonka avulla lasketaan tarve kiinteistön moottoreiden loisteholle (Q). Q = 0,77 x 97,0 kW = <u>74,7 kVar</u>

Taulukko 1. Kompensointitarpeen (kVar/kW) määrittäminen, kun tehokerroin nostetaan cos φ_1:stä cos φ_2:seen. (ST 52.15)

cos φ_1	cos φ_2							
	1	0,99	0,98	0,97	0,95	0,90	0,85	0,80
0,50	1,73	1,59	1,53	1,48	1,40	1,25	1,11	0,98
0,53	1,60	1,46	1,40	1,35	1,27	1,12	0,98	0,85
0,55	1,52	1,38	1,32	1,27	1,19	1,03	0,90	0,77
0,58	1,40	1,26	1,20	1,15	1,08	0,92	0,78	0,65
0,60	1,33	1,19	1,13	1,08	1,00	0,85	0,71	0,58
0,63	1,23	1,09	1,03	0,98	0,90	0,75	0,61	0,48
0,65	1,17	1,03	0,97	0,92	0,84	0,68	0,55	0,42
0,68	1,08	0,94	0,88	0,83	0,75	0,59	0,46	0,33
0,70	1,02	0,88	0,82	0,77	0,69	0,54	0,40	0,27
0,73	0,94	0,79	0,73	0,69	0,61	0,45	0,32	0,19
0,75	0,88	0,74	0,68	0,63	0,55	0,40	0,26	0,13
0,78	0,80	0,66	0,60	0,55	0,47	0,32	0,18	0,05
0,80	0,75	0,61	0,55	0,50	0,42	0,27	0,13	
0,83	0,67	0,53	0,47	0,42	0,34	0,19	0,05	
0,85	0,62	0,48	0,42	0,37	0,29	0,14		
0,86	0,59	0,45	0,39	0,34	0,26	0,11		
0,87	0,57	0,42	0,36	0,32	0,24	0,08		
0,88	0,54	0,40	0,34	0,29	0,21	0,06		
0,89	0,51	0,37	0,31	0,26	0,18	0,03		
0,90	0,48	0,34	0,28	0,23	0,16			
0,91	0,46	0,31	0,25	0,20	0,13			
0,92	0,43	0,28	0,22	0,18	0,10			
0,93	0,40	0,25	0,19	0,14	0,07			
0,94	0,36	0,22	0,16	0,11	0,03			
0,95	0,33	0,19	0,13	0,08				
0,96	0,29	0,15	0,09	0,04				
0,97	0,25	0,11	0,05					
0,98	0,20	0,06						
0,99	0,14							

Loistehon kompensointilaitteiston sijoittaminen sähköverkkoon voidaan tehdä laite- tai ryhmäkohtaisesti sekä keskitetysti. Laitekohtaisessa kompensoinnissa esimerkiksi oikosulkumoottori varustetaan kondensaattorilla. Vanhoissa laitteistoissa tällaisia ratkaisuja on käytössä mutta uusissa asennuksissa niitä ei tulisi enää käyttää hankalan ylläpidon vuoksi. Sama käytäntö koskee myös ryhmäkohtaista kompensointia. Keskitetty kompensointi tarkoittaa esimerkiksi kiinteistön sähköpääkeskukseen sijoitettua kompensointiparistoa, joka kytketään 3-vaiheisesti. Jos sähköverkossa ei esiinny yliaaltoja (mm. tehoelektroniikka aiheuttaa) niin kompensointi voidaan toteuttaa kompensointiparistolla mutta käytännössä yliaaltoja esiintyy kaikissa kohteissa joissakin määrin. Tällöin joudutaan toteuttamaan loistehon kompensointi estokelaparistoilla. (ST 52.15.)

Loistehon kompensoinnilla saatavan taloudellisen hyödyn lisäksi häviöiden pienenemisen vuoksi sähköjärjestelmien lämpötila alenee, joka lisää järjestelmän käyttöikää ja vähentää mm. keskustilojen ilmanvaihdon ja jäähdytyksen tarvetta. Loistehon kompensointilaitteistolle suositellaan yhden vuoden huoltoväliä. (ST 52.15.)

3.5 Sähköjärjestelmien kuntoarvio ja -tutkimus

Elinkaaren vaihe, jossa sähköjärjestelmä on menossa, voidaan selvittää kuntoarvion ja -tutkimuksen avulla. Tutkimuksella kartoitetaan sähköjärjestelmän turvallisuutta, toimivuutta ja kuntoa sekä nykyvaatimusten mukaisuutta. Kuntotutkimusraportissa selvitetään tutkimuksessa tehdyt havainnot ja annetaan perusta kiinteistön sähköjärjestelmien ylläpito- ja korjaussuunnitelmien laatimiselle. Sähkölaitteistojen tutkimisen osalta niiden elinkaarta arvioidaan mm. varaosien saatavuuden ja päivitettävyyden perusteella. Tärkeänä osana kuntotutkimusta on energiatehokkuuden arviointi ja sen parantamiseen liittyvät mahdollisuudet. Kuntotutkimuksia suorittavat rekisteröidyt kuntotutkijat, joilla on esimerkiksi Seti Oy:n myöntämä kuntotutkijan pätevyys. (ST 97.20.)

Kuntotutkimus aloitetaan kokoamalla tutkittavan kiinteistön lähtötiedot:

- kohteen yhteyshenkilö ja sijainti
- tutkittavan kiinteistön tilavuus- ja osoitetiedot
- piirustukset kohteesta
- huoltopäiväkirjat, vikalistat, huoltokansiot yms.
- sähköenergian toimittaja (kulutustiedot, tariffi)
- isännöitsijän, sähkötöiden johtajan ja käytönjohtajan yhteystiedot
- tiedot aikaisemmista tutkimuksista ja tarkastuksista
- kuntotutkimuksen sopimus. (ST-esimerkit 07 2016.)

Kuntotutkimuksessa mittauksia tehdään, jos niiden tekemiselle on selkeä tarve, kuten toiminnalliset häiriöt. Mittauksia siis tehdään, jotta saadaan kohteen ongelmista tarpeellista tietoa tai mittaustuloksien antama tieto on muuten hyödyllistä. Mittauksia tehdään sähkön perussuureista, kuten jännite ja virta. Turvallisuusmittaukset tehdään mm. käyttöönottomittauksien ja lämpökuvauksien avulla. Sähkön laatua voidaan mitata sähkönlaadun analysaattorilla, jos esimerkiksi kiinteistön sähköjärjestelmässä on havaittu häiriöitä. Lisäksi voidaan tehdä tarpeen mukaan valaistusteknisiä mittauksia, kuten valaistuksen voimakkuuden mittauksia. Kuntotutkimuksen tiettyjä osa-alueita voidaan selvittää myös laskennallisin menetelmin. (ST-esimerkit 07.)

Kuntotutkimuksen tulosten raportointi sisältää tutkitun kohteen yleiseen turvallisuuteen ja järjestelmien kuntoon liittyviä asioita sekä terveydellisiä näkökohtia. Tällainen raportti sisältää hyvin kattavasti koko sähköjärjestelmän (esimerkki sisällysluettelosta liitteessä 4). Raportissa korostetaan työturvallisuuteen ja terveydellisiin seikkoihin liittyviä korjaustarpeita ja parannusehdotuksia.

Lisäksi otetaan kantaa parannusehdotusten energiatehokkuuteen. Eri vaihtoehdoista tehdään karkea kustannustarkastelu tunnuslukujen ja yksikköhintojen avulla. Tarkempia kustannuksia saadaan vasta suunnittelun, jatkoselvitysten ja urakkatarjousten yhteydessä. Kustannustarkastelun sisältö voi olla esimerkiksi seuraavanlainen (ST-esimerkit 07 2016.):

1. Arvioidaan muut ehdotuksen merkittävät vaikutukset, kuten energian tarpeen muutos, olosuhdevaikutukset, huoltokustannukset, korjauskustannukset, laitekustannukset ja jätekustannukset. Nämä vaikutukset otetaan huomioon ehdotuksen perusteluissa ja kannattavuusarvioissa.
2. Toimenpiteiden muutos- ja investointikustannukset selvitetään karkealla tasolla.
3. Taloudellisia säästöjä tuovien toimenpide-ehdotusten investoinneille lasketaan takaisinmaksuaika. (ST-esimerkit 07 2016.)

Varsinainen energiakatselmus on erillinen tutkimus ja se ei yleensä liity kuntotutkimukseen. Energiakatselmuksissa sähkönkulutuksen optimoinnin kannalta merkittävimmät kehitysehdotukset liittyvät ilmanvaihtoon, valaistukseen ja muihin sähkölaitteisiin sekä loistehon kompensointiin. Kehitysehdotukset keskittyvät pääasiassa energiatehokkaampien laitteiden ja erilaisten säätötoimenpiteiden ratkaisuihin (liite 5). Kokonaisuudessaan energiakatselmuksissa otetaan huomioon sähköjärjestelmien ja ilmanvaihtojärjestelmien lisäksi lämmitysjärjestelmä, käyttövesijärjestelmä, jäähdytysjärjestelmä ja paineilmajärjestelmä sekä kiinteistön rakenteet. (Energiakatselmuksissa ehdotetut toimenpiteet 2022.)

3.6 Julkisten rakennusten sähköenergian kulutus

Sähköenergian kulutus julkisissa rakennuksissa koostuu monista eri asioista. Kiinteistötekniikan osalta sähköenergiaa eniten kuluttavat sähköjärjestelmän osat ovat lämmitys (sähkölämmitys), jäähdytys, ilmanvaihto ja valaistus. Rakennuksissa käytössä olevien sähkölaitteistojen sähköenergian kulutus on yksilöllistä rakennuskohtaisesti. Esimerkiksi laitteistojen käyttöasteet ja -tottumukset liittyvät siihen keskeisesti. Sähköenergian kulutukseen vaikuttaa oleellisesti myös vuoden aika. Muun muassa lämmityksen, jäähdytyksen ja valaistuksen tarpeeseen vuoden aika vaikuttaa mer-

kittävästi. Vuoden aikojen lisäksi voidaan tarkastella viikonpäiviä ja vuorokauden aikoja sähköenergian kulutuksen suhteen, joka kannattaa myös huomioida kiinteistöautomaation suunnittelussa. Taulukossa 2 on kuvattu rakennusten standardikäyttöä. (Kurnitski. J. 2009.)

Taulukko 2. Rakennusten standardikäyttö (Kurnitski. J. 2009)

Rakennustyyppi	Käyttöaika			Käyttö-aste, -
	kellonaika	h/24h	d/7d	
Pientalo	00:00-24:00	24	7	0,6
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	24	7	0,6
Toimistorakennus	07:30-18:30	11	5	0,65
Myymälärakennus	08:00-21:00	13	6	1
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3
Opetusrakennus	08:00-16:00	8	5	0,6
Liikuntasali	08:00-22:00	14	5	0,6
Liikuntahalli	08:00-22:00	14	7	0,5
Päiväkoti	07:00-18:00	11	5	0,4
Terveyskeskus	08:00-18:00	10	6	0,6
Sairaala	00:00-24:00	24	7	0,6

Tietyn tyyppisten rakennusten sähköenergian kulutusta on tutkittu ja tuloksia on kerätty vuodesta 1994 alkaen Motivan energiakatselmustietokantaan. Taulukossa 3 esitetään Motivan energiakatselmustietokannasta kerätyt palvelusektorin sähkön ominaiskulutustiedot. Taulukossa esitettyjen ominaiskulutuksien tilastovertailusta ei voida tehdä suoraan johtopäätöksiä, sillä kohteet ovat kuitenkin teknisiltä ratkaisuiltaan yksilöllisiä energiatehokkuuden näkökulmasta. Taulukon kohteet ovat ajanjaksolta 2013–2021 kerättyjä tilastoja eri ikäisistä ja eri kokoisista rakennuksista, joihin ei ole otettu mukaan sähkölämmityskohteita.

Taulukko 3. Sähköenergian vuosikulutus/m^3 eri rakennustyypeissä (Ominaiskulutukset palvelusektorilla 2023)

Sähkö - ominaiskulutus (kWh/r-m3)

Tyyppi TK 1994	Kohteita, kpl	Tilavuus, 1000 r-m3	Min	5 %	10 %	Alakv	Mediaani	Yläkv	90 %	95 %	Max
51 Yleissivistävien oppilaitosten rakennukset	201	5413	5,1	8,7	9,7	11,9	15,1	17,3	25,2	30,7	81,7
15 Toimistorakennukset	127	5795	0,1	8,7	10,0	13,3	20,4	23,9	56,3	91,6	653,3
23 Muut sosiaalitoimen rakennukset	98	558	3,6	12,8	13,8	17,3	23,8	26,8	46,4	62,5	105,8
11 Myymälärakennukset	45	3148	5,6	9,7	12,3	19,2	33,3	91,7	173,3	185,7	264,1
69 Muut teollisuuden tuotantorakennukset	44	5931	13,5	18,7	22,8	41,2	61,4	107,6	281,2	516,7	1 386,3
21 Terveydenhoitorakennukset	36	1961	15,0	15,8	16,7	21,2	28,0	31,2	48,4	54,0	62,2
22 Huoltolaitosrakennukset	23	355	16,1	18,9	19,1	20,9	26,7	31,1	42,8	74,9	86,9
64 Elintarviketeollisuuden rakennukset	22	5267	18,1	19,6	28,7	43,2	98,9	155,4	218,2	256,0	286,6
72 Palo- ja pelastustoimen rakennukset	18	205	4,5	5,5	6,5	9,6	16,1	20,9	24,0	25,6	33,7
32 Kirjasto-, museo-, ja näyttelyhallirakennukset	16	230	9,2	9,9	10,3	11,5	15,0	21,1	29,3	72,9	197,1
52 Ammatillisten oppilaitosten rakennukset	16	740	6,6	10,4	12,7	16,9	22,0	28,7	31,9	32,6	33,5
35 Urheilu- ja kuntoilurakennukset	15	506	2,5	4,6	6,0	7,5	11,6	12,5	18,8	19,5	19,7
65 Puuteollisuuden rakennukset	15	3200	7,3	24,5	40,4	75,7	152,7	229,3	447,8	497,2	588,8
66 Lasi-, savi- ja kiviteollisuuden rakennukset	14	2022	33,2	46,1	53,6	81,1	135,6	96,2	193,3	260,8	360,3
33 Seura- ja kerhorakennukset yms.	13	82	3,7	4,6	5,3	6,6	10,5	12,5	28,4	45,8	69,6
63 Metalliteollisuuden rakennukset	13	3956	2,8	5,8	9,0	14,3	33,7	78,2	246,5	1 650,8	3 724,4

Taulukkoa voi käyttää suuntaa antavassa vertailussa samantyyppisiin rakennuksiin nähden. Suuria poikkeamia on syytä tutkia tarkemmin, kun kiinteistön sähköenergian kulutuksen optimointi on ajankohtaista.

4 Rakennusten sähköjärjestelmien elinkaari ja elinkaarikustannukset

4.1 Rakennusten sähköjärjestelmien elinkaari ja niihin vaikuttavat tekijät

Sähköjärjestelmien eri osien elinkaarille on määritelty pituus ja esimerkiksi Sähköinfo Severin ST-kortissa 97.00 on määritelty rakennusten sähköjärjestelmien eri osien elinkaaren odotusajat (noin vuotta). Elinkaaren odotusajoista voidaan mainita esimerkkinä sähkökeskukset (30–40 vuotta) ja kaapeloinnit sekä pistorasiat (20–40 vuotta). Taulukot sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien elinkaarista on esitetty liitteessä 6.

Sähköjärjestelmien elinkaareen vaikuttavat monet tekijät aina suunnitteluvaiheesta järjestelmän käytöstä poistoon asti. Suunnitteluvaiheessa määritellään esimerkiksi järjestelmän kuormitettavuus ja järjestelmän rakentamiseen valittavat tarvikkeet. Suunnitellun sähköjärjestelmän mitoittaminen, järjestelmän käyttöolosuhteiden huomioiminen, tarvikkeiden laatu yms. vaikuttavat lopullisen elinkaaren pituuteen ja keskeisesti myös elinkaarikustannuksiin.

Suunnittelun jälkeen tulevan rakennusvaiheen toteutuksen laatu vaikuttaa osaltaan elinkaaren pituuteen. Esimerkiksi rakennusprojektin johtaminen, hallinta (esim. aikataulutus) ja asentajien ammattitaito vaikuttavat merkittävästi lopputuloksen laatuun. Laadukkaasti suoritetut sähköjärjestelmien käyttöönottomittaukset ja rakennuttajan lopputarkastus auttavat pääsemään laadukkaaseen ja elinkaaritavoitteen mukaiseen lopputulokseen. Lainsäädännöllä ohjataan myös sähköjärjestelmien rakentamisen laatua, kuten esimerkiksi sähköturvallisuuslain (1135/2016) avulla.

Kun sähköjärjestelmä on otettu käyttöön, vaikuttavat sen elinkaareen keskeisesti käyttöaste, huolto ja kunnossapito. Sähköjärjestelmän käyttöaste vaikuttaa elinkaareen, jossa vaikuttavia asioita ovat esimerkiksi käyttöolosuhteet, valaisimien tai muiden laitteiden sytytys- tai käynnistyskerrat, käyttötunnit, kuormituksista johtuvat lämpövaikutukset eri komponentteihin ja niiden aiheuttama sähköjärjestelmien nopeampi vanheneminen.

Kiinteistön sähköjärjestelmä vaatii jatkuvaa kunnontarkkailua ja säännöllisiä huoltotoimenpiteitä. Huonossa kunnossa tai jo rikkoutuneet sähköjärjestelmän osat vaihdetaan uusiin osiin mahdollisimman nopeasti, kun tarve havaitaan. Löystyneitä liitoksia voidaan tarkkailla tehokkaasti lämpökamerakuvauksilla ja esimerkiksi paloturvallisuuden kannalta katsottuna pölyn keräytymistä kaapelihyllyille tai muihin sähköjärjestelmien osiin voidaan ehkäistä säännöllisillä puhdistustoimenpiteillä. Sähköjärjestelmien kuntoa tarkastellaan myös lakisääteisien määräaikaistarkastuksien puitteissa. Määräaikaisia tarkastuksia suorittavat valtuutetut tarkastuslaitokset ja valtuutetut tarkastajat. Määräaikaistarkastuksen tarkastusväli määräytyy sähkölaitteiston luokituksen mukaan (Taulukko 4). (Sähkölaitteiston lakisääteiset määräaikaistarkastukset).

Taulukko 4. Määräaikaistarkastusten tarkastusvälit eri sähkölaitteistoluokissa (Sähkölaitteiston lakisääteiset määräaikaistarkastukset)

Laitteistoluokka	Laitteisto	Tarkastusväli
Luokka 3	verkkoyhtiöiden sähköverkot	5v
Luokka 2	yli 1000V osia sisältävät laitteistot, liittymisteholtaan yli 1600kVA:n pienjännitelaitteistot	10v
Luokka 1	pääsulakkeiltaan yli 35A:n sähkölaitteistot (liike-, julkiset ja teollisuusrakennukset, maatalousrakennukset, yleisten paikkojen asennukset)	10v

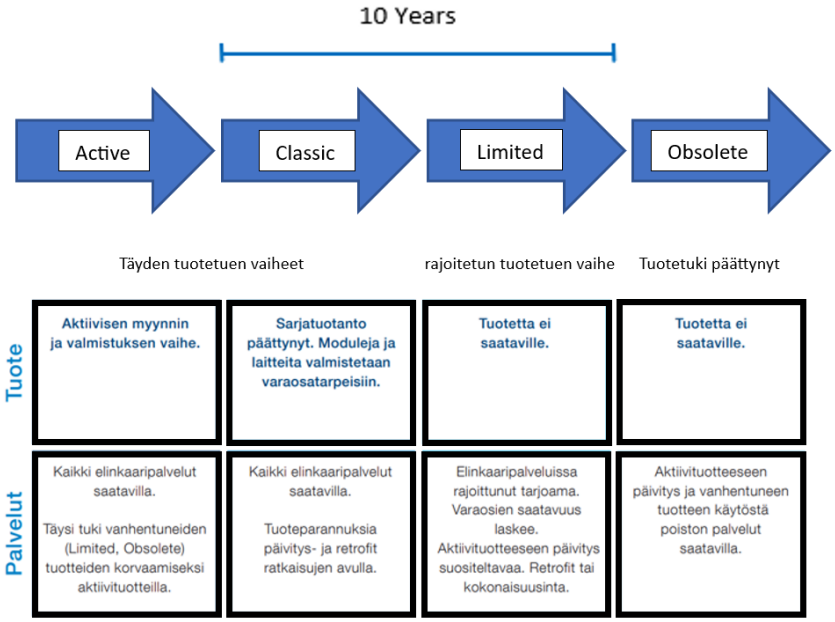
Sähkölaitteiston haltijan vastuulla on huolehtia, että kiinteistön sähkölaitteiston määräaikaistarkastukset suoritetaan tarkastusvälien mukaisesti, kuten taulukossa 4 on esitetty. Tarkastuksen pöytäkirja ja siinä mahdollisesti esitettyjen puutteiden korjausten dokumentointi on säilytettävä laitteiston haltijan toimesta. Dokumentit on säilytettävä vähintään seuraavaan määräaikaistarkastukseen saakka.

4.2 Sähköjärjestelmien tekninen ja taloudellinen elinkaari

Sähköjärjestelmien elinkaarta arvioidaan pääsääntöisesti teknisestä ja taloudellisesta näkökulmassa kiinteistössä. Nämä näkökulmat liittyvät yleisesti turvallisuuteen, energiatehokkuuteen ja toiminnallisuuteen. Sähköjärjestelmien elinkaaren vaihetta voidaan esimerkiksi selvittää kuntotutkimuksilla ja -arvioilla.

Sähköjärjestelmien tekninen elinkaari on määritelty, kuten jo edellä mainittu, Sähköinfo Severin ST-kortissa 97.00 (liite 7.). Elinkaariodotukset ja niiden toteutuminen vaativat säännöllistä huoltoa ja kunnossapitoa. Esimerkiksi kaapelointien maksimaalinen tekninen ikä saavutetaan oikeilla asennustavoilla, kaapelivalinnoilla ja säännöllisillä huoltotoimilla, kuten pölyjen puhdistamisella kaapelireittien päältä.

Eri laitevalmistajilla on omia elinkaaren hallintamalleja, jotka lopulta määrittävät todellisen elinkaaren pituuden. Laitteen huolto-ohjelman noudattamisella voidaan saavuttaa tavoiteltu elinkaari. Esimerkiksi ABB:n elinkaarivaihemalli tuotteilleen on jaettu neljään vaiheeseen: aktiivinen-, klassinen-, ja rajoitettu vaihe sekä vanhentuneen tuotteen vaihe (Kuvio 2.). (ABB Drive Services.)



Kuvio 2. Elinkaarivaihemalli (ABB Drive Services 2016)

Tuotteen aktiivisen vaiheen pituus riippuu markkinaolosuhteista ja teknologian kehityksestä sekä laite- ja ohjelmistokomponenttien saatavuudesta. Kyseessä on uusi tuote, jota valmistetaan, markkinoidaan ja myydään aktiivisesti. Tuote sisältää kaikki elinkaaripalvelut. Kun tuote siirtyy klassiseen vaiheeseen, niin sille annetaan 10 vuoden varaosien tuki, tämän jälkeen varaosien saatavuutta ei voida taata. Klassinen vaihe sisältää ABB:n kaikki elinkaaripalvelut ja tässä vaiheessa tuotteille on saatavilla päivityksiä ja täydennyksiä suorituskyvyn lisäämiseksi, jolloin tuotteen käyttöikää voidaan kasvattaa. Klassinen vaihe päättyy, kun tuotteen myynti lopetetaan. Rajoitetussa vaiheessa tuotteelle tarjotaan kenttä- ja korjaamopalveluja sekä kunnostettuja varaosia. Tuotteen käyttäjien kannattaa aloittaa suunnittelemaan tämän vaiheen aikana siirtymistä uudempaan tekniikkaan. Viimeinen vaihe eli vanhentuneen tuotteen vaihe alkaa, kun tukea ei kannata enää tarjota tuotteelle teknisistä tai taloudellisista syistä johtuen. (ABB 2016.)

Monissa sähköjärjestelmien osissa taloudellinen elinkaari päättyy usein ennen teknistä elinkaarta. Kehittyvä säätötekniikka ja automaatio sekä energiatehokkaammat ja elinkaareltaan kehittyneet sähkölaitteet mahdollistavat sähköenergian kulutuksessa säästöä taloudellisesti järkevällä takaisinmaksuajalla. Esimerkiksi loisteputkien korvaaminen energiatehokkaammilla led-putkilla tai julkisessa kiinteistössä yli 20 vuotta vanha mutta teknisesti täysin toimiva ilmanvaihtolaitteisto kannattaa monesti uusia kehittyneen säätötekniikan, hyötysuhteeltaan parempien puhallinmoottoreiden

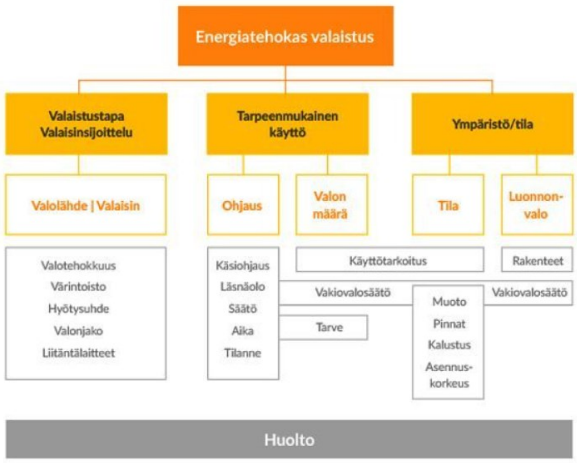
ja lämmöntalteenottolaitteistojen vuoksi. Esimerkiksi itse kiinteistön odotettavan elinkaaren ollessa riittävä, sähköjärjestelmän päivittäminen voi olla takaisinmaksuaikansa puolesta taloudellisesti hyvinkin kannattava ratkaisu.

5 Kiinteistön sähkönkulutuksen muodostuminen

5.1 Valaistus

Valaistuksen suunnittelun lähtökohtana on tilan käyttötarkoitus ja sen mukainen valaistustehokkuus. Viranomaismääräykset ja valaistusstandardit ohjaavat valaistuksen minimivaatimuksia. Kaikesta Suomessa käytetystä sähköstä kuluu valaistukseen noin kymmenen prosenttia ja esimerkiksi koulurakennuksen valaistuksen osuus on keskimäärin noin 20 prosenttia koko rakennuksen sähkön kulutuksesta. Laadukkaassa valaistuksen toteutuksessa otetaan huomioon energiatehokkuus, ympäristöystävällisyys ja valaistuksen muunneltavuus. (Julkinen sektori. Valaistus 2022.)

Valaistusteknologia on kehittynyt suurin harppauksin niin valonlähteiden, kuin valaistuksen ohjausratkaisujenkin suhteen. Energiatehokkaan valaistuksen lähtökohtana on valaistuksen tarkka suunnittelu ja toteutus, energiatehokkaat kohteeseen sopivat valaisimet, kohteeseen sopiva valaistuksen ohjaustapa, valaistuksen huolto-ohjelma ja käyttäjien opastus. Energiatehokkuuden kannalta valaistusta suunnitellessa on tärkeää myös välttää valaistuksen ylimitoitusta. Kuviossa 3 esitetään energiatehokkaan valaistuksen suunnittelussa huomioitavia asioita. (Julkinen sektori. Valaistustieto 2022.)



Kuvio 3. Energiatehokkaan valaistuksen suunnittelu (Julkinen sektori. Valaistustieto 2022.)

Led-valonlähteillä toteutettu valaistus on energiatehokas mutta aiheuttaa myös ongelmia, jotka täytyy huomioida varsinkin suurissa valaistuskohteissa. Merkittävä ongelma suurissa led-valaistuskohteissa on led-valonlähteiden aiheuttamat yliaallot ja loisteho sekä valojen sytytyksen aiheuttamat virtapiikit. Yliaaltojen aiheuttamien ongelmien (sähköjärjestelmien häiriöt, lämpeneminen ym.) vähentämiseksi ja loistehon kompensoimiseksi voidaan käyttää puolijohdetekniikkaan perustuvaa aktiivista suodatinta. Led-valojen kytkentävirtapiikkejä voidaan pienentää lisälaitteella, jonka avulla valaistus kytketään siniaallon nollakohdassa, eikä esimerkiksi siniaallon huippukohdassa. Esimerkiksi tällainen lisälaite voisi ohjata relettä, johon valaisinkuorma kytketty. Tällaisella ratkaisulla vältetään esimerkiksi valaistusta syöttävien sulakkeiden palaminen. (Sähköinfo. 2018)

5.2 Ilmanvaihto

Rakennuksen käyttöaika määrittelee Ilmanvaihdon käyttöasteen. Esimerkiksi sairaaloiden käyttö on jatkuvaa, joten ilmanvaihto on sairaaloissa jatkuvasti päällä, kun taas oppilaitoksissa käyttö on vähäisempää palveluaikaan sidottuna. Päivä- ja iltakäytössä (esim. oppilaitokset) olevissa rakennuksissa ilmanvaihto toimii vakioilmavirtajärjestelmänä tai muuttuvailmavirtaisena järjestelmänä. Vakioilmavirtajärjestelmässä huoneeseen syötetään pinta-alaan tai henkilömäärään perustuva mitoitusilmavirta. Muuttuvailmavirtajärjestelmässä ilmavirta säätyy hiilidioksidipitoisuuden tai läsnäolon perusteella sekä lämpötilan perusteella. Rakentamismääräyksen (YMa 1010/2017, 30 §) mukaan koneellisen ilmanvaihdon (tulo- ja poistoilma) ominaissähkötehoksi suositellaan maksimissaan 1,8 kW/ (m^3/s). (Kuntien sisäilmaverkoston palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön ohje ja perustelumuistio. 2019.). Ilmanvaihdon osuus julkisten rakennuksien kokonaissähkönkulutuksesta on noin 30–50 prosenttia ja lämpöenergian kokonaiskulutuksesta 20–50 prosenttia. (Tuomainen, M. 2019.)

Ilmanvaihdolla täytyy saavuttaa rakentamismääräysten mukaan (YMa 1009/2017, 8 §) viihtyisä, turvallinen ja terveellinen sisäilman laatu. Tämän asian toteutuminen edellyttää riittävän määrän ulkoilmavirtaa rakennukseen ja riittävästi poistoilmavirtaa rakennuksesta. Sähköenergian kulutus koneellisessa ilmanvaihdossa muodostuu ilmavirroista, ominaissähkötehoista ja käyntiajoista. Koska ilmanvaihto sisältää julkisissa rakennuksissa suurimman osan kiinteistösähkön kulutuksesta, kannattaa sen sähkönkulutusta seurata. Ilmanvaihdon säätöjen ja säännöllisen huollon lisäksi on tärkeää käyttää puhallinmoottoreina hyötysuhdeluokituksiltaan mahdollisimman hyviä moottoreita, jotka ovat myös elinkaarikustannuksiltaan parempia vanhempaan tekniikkaan verrattuna.

Esimerkiksi kestomagneettimoottori ja EC-moottori ovat hyötysuhteeltaan parempia, kuin perinteinen oikosulkumoottori. EC-moottorin toiminta tosin rajoittuu tiettyyn tehoalueeseen (n. 7,5 kW:n tehoon asti), joka rajoittaa sen käyttöä. (ST 21.32 2020.)

5.3 Lämmitys ja jäähdytys

Kaukolämpö on Suomessa yleisin lämmitysmuoto. Sen vaikutus kiinteistön sähkönkulutukseen ei ole merkittävä ja itse kaukolämmön energian kulutusta voidaan esimerkiksi optimoida järjestelmän kunnossapidolla ja päivityksillä/uudistuksilla. Kaukolämmityskiinteistöissä on usein myös sähköllä toimivia lämmityksiä, kuten autonlämmityspisteet, kosteiden tilojen lattialämmitykset, aluelämmitykset ja erilaiset saattolämmitykset putkien suojaamiseksi jäätymiseltä sekä vesirännien lämmitykset. Näiden lämmitysten sähkön kulutusta voidaan optimoida mm. automaation avulla, esimerkiksi sähköllä toimiviin lattialämmityksiin voidaan ohjelmoida lämpötilan pudotuksia yön ajaksi. Sähköllä lämmitettävissä kiinteistöissä lämmitykseen kuluva sähköenergia oli esimerkiksi Tilastokeskuksen mukaan Suomessa vuonna 2018 48 prosenttia kiinteistön kokonaissähkönkulutuksesta (Asumisen energiankulutus 2019). Sähkölämmitteisissä kiinteistöissä korostuvat sähkönkulutuksen kannalta käyttötottumukset, kiinteistöautomaation säädöt ja kiinteistön kunnossapito.

Kiinteistön jäähdyttäminen vie paljon sähköä ja kulutus on riippuvainen kiinteistön käyttötarkoituksesta ja jäähdytystavasta. Jäähdytyksen tavoite ja sen tarpeen mukaisuus ovat myös ratkaisevassa asemassa sähkönkulutuksen suhteen. Jäähdytyksen energiatehokkuuteen vaikuttavat laitteistoratkaisut ja säännöllinen kunnossapito mutta energiatehokkuutta voidaan parantaa muutenkin kuin jäähdytyslaitteistoihin investoimalla. Esimerkiksi auringon lämmöltä suojaavilla ratkaisuilla voidaan saada merkittäviä säästöjä kiinteistön jäähdytyksessä. Automaation avulla kannattaa myös varmistaa, että kiinteistössä ei lämmitetä ja jäähdytetä samanaikaisesti. (Viihtyisä työympäristö 2016.)

5.4 Laitteet ja muut järjestelmät

Kiinteistöjen sähkönkulutus voi muodostua hyvinkin erilaisista laitteista ja järjestelmistä. Kiinteistösähkön kulutus muodostuu pääasiassa valaistuksesta, ilmanvaihdosta, lämmityksestä ja jäähdytyksestä. Tämän lisäksi sähköä kuluttavat kiinteistön käyttötarkoitukseen liittyvät sähkölaitteet ja -

järjestelmät, joiden energiatehokkuus ja elinkaaren vaihe vaikuttavat merkittävästi sähkönkulutukseen. Parantuneella energiatehokkuudella vähennetään energiankulutusta ja sen kustannuksia sekä hiilidioksidipäästöjä. (ST 13.31 2021.)

Taloyhtiöissä kiinteistösähköä kuluu edellä mainittujen lisäksi autolämmityksiin, taloyhtiön saunaan, hissiin, pesutupaan, kylmäkellariin ja kattokaivo- ja räystäslämmityksiin. Esimerkiksi oppilaitoksissa taas vastaavia muita kiinteistösähkön kulutukseen liittyviä kohteita ovat tietokoneet ja muut toimistolaitteet, keittiölaitteet ja hissit sekä autolämmityspaikat, jotka muodostavat merkittäviä kuormia sähkönkulutuksen kannalta. (Taloyhtiöt yhdessä energiatehokkaasti 2023.)

Sähkön kulutuksen optimointi esimerkiksi tietokoneiden osalta vaatii tietyin aikavälein investointia energiatehokkaampiin laitteisiin ja suosimalla mahdollisuuksien mukaan pöytäkoneita pienemmällä sähköteholla toimivia kannettavia koneita, voidaan saada sähkönkulutuksessa merkittäviä säästöjä pöytäkoneiden käyttöön verrattuna. Vaikuttamalla kiinteistön käyttäjien kulutustottumuksiin, voidaan myös saada sähkönkulutuksen säästöjä aikaiseksi huomattaviakin määriä. Tärkeää sähkönkulutuksen optimoinnin kannalta on laitteiden tarpeen mukainen käyttö. (Taloyhtiöt yhdessä energiatehokkaasti 2023.)

Edellä mainittujen sähköä kuluttavien laitteiden ja järjestelmien lisäksi kiinteistöissä ovat alkaneet yleistyä sähköautojen latausratkaisut. Latauspistelaki eli laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä (733/2020) määrittelee latauspisteiden määrän, kuten taulukossa 5 on esitetty. (ST 51.92 2022.)

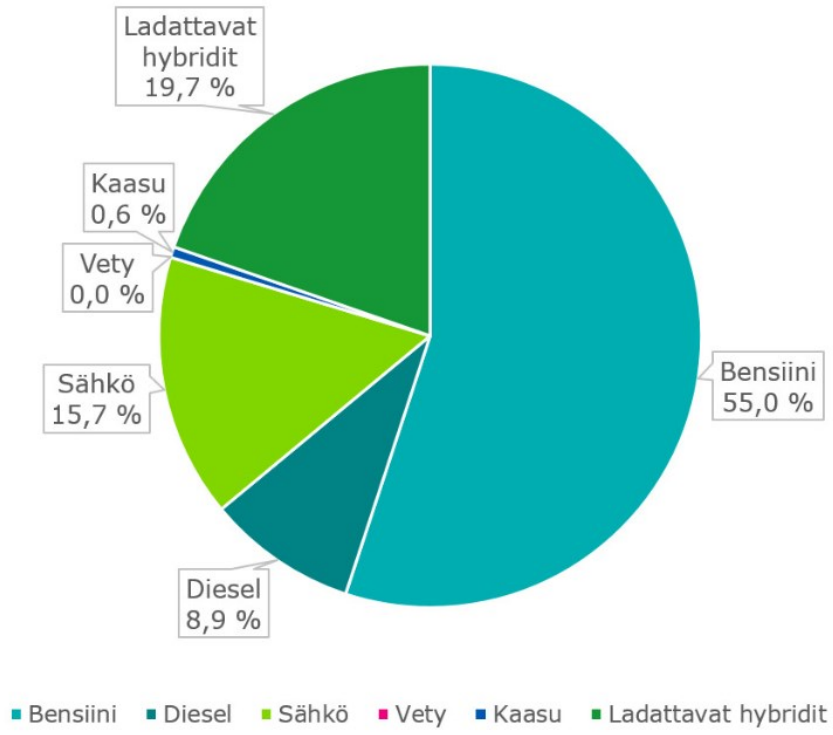
Taulukko 5. Latauspistelain (733/2020) vaatimukset sähköautojen latauspisteille rakennuksissa (ST 51.92 2022)

Asuinrakennukset (uudet ja laajasti korjattavat)		
Pysäköintipaikkojen lukumäärä	Vaatimus latauspisteille	Vaatimus latauspistevalmiudelle
1…4 kpl	-	-
5 kpl tai enemmän	-	100 % paikoista
Muut kuin asuinrakennukset (uudet ja laajasti korjattavat)		
Pysäköintipaikkojen lukumäärä	Vaatimus latauspisteille	Vaatimus latauspistevalmiudelle
1…10 kpl	-	-
11…30 kpl	1 kpl normaalitehoinen tai 1 kpl suuritehoinen	Latauspistevalmius 50 %paikoista
31…50 kpl		Latauspistevalmius 20 % paikoista, kuitenkin min. 15 paikkaa.
51…100 kpl	1 kpl suuritehoinen tai 2 kpl normaalitehoista	
101 kpl tai enemmän	1 kpl suuritehoinen tai 3 kpl normaalitehoista	
Muut kuin asuinrakennukset (olemassa olevat 31.12.2024 mennessä)		
Pysäköintipaikkojen lukumäärä	Vaatimus latauspisteille	Vaatimus latauspistevalmiudelle
1…20 kpl	-	-
21 kpl tai enemmän	1 kpl (normaalitehoinen tai suuritehoinen)	-

Sähköautojen latauspisteiden tarve lisääntyy kiinteistöissä jatkuvasti ja niiden lisääminen vaatii tiettyjen asioiden huomioimista. Vanhoissa kiinteistöissä täytyy tutkia kiinteistön sähköliittymän riittävyys uusille sähköauton latauspisteille. Kun latauspisteiden määrä kasvaa, niin on todennäköisempää, että lataustehoa joudutaan rajoittamaan kiinteistössä. Kiinteistön tyyppi ja pysäköintipaikkojen lukumäärä sekä kiinteistön käyttäjien sähköautot määrittelevät sähköenergian kulutuksen sähköautojen latauspisteissä. Sähköautojen latauspisteiden valmiuksia laki velvoittaakin lisäämään kiinteistöihin jo monissa eri tapauksissa, kuten edellä esitetystä taulukosta viisi voidaan nähdä (ST 51.92 2022). Latauspisteen valmiuden toteuttaminen ei tarkoita vielä latauspisteen asennuksen toteuttamista. Ennen toteutusta esimerkiksi taloyhtiöissä kannattaa kartoittaa osakkailta/asukkailta tarpeet latauspisteiden määrille.

Sähköautojen latausinfrastruktuurin lisääntymiseen on vaikuttanut lainsäädännön lisäksi sähköautojen lisääntynyt myynti Suomessa. Liikenne- ja viestintäviraston (Julkinen latausinfrastruktuuri laajentuu hyvää vauhtia Suomessa 2022) laatimassa muistiossa latausinfrastruktuuri on laajentunut viime vuosina runsaasti. Laajentuminen perustuu ensirekisteröityjen autojen käyttövoiman tyyppiin Suomessa. Sähköautojen ja ladattavien hybridien määrä vuonna 2022 on ollut noin kol-

masosa kaikkien ensirekisteröityjen autojen määrästä (Julkinen latausinfrastruktuuri laajentuu hyvää vauhtia Suomessa 2022). Esimerkkinä kuviossa 4 on kuvattu vuoden 2022 (tammi-syyskuu) aikana ensirekisteröityjen autojen käyttövoimajakauma.



Kuvio 4. Ensirekisteröidyt henkilöautot Suomessa käyttövoimittain tammi-syyskuussa 2022 (Julkinen latausinfrastruktuuri laajentuu hyvää vauhtia Suomessa 2022)

Sähköenergian kulutuksen ja sähköjärjestelmien toiminnan kannalta kiinteistöissä sähköautojen latausten kesto ja tarve sekä erilaiset kuorman hallintamenetelmät on määriteltävä. Kuorman hallintatapoja ovat mm. staattinen- ja dynaaminen kuormanhallinta. Kuormanhallinta-menetelmistä kerrotaan tarkemmin tämän opinnäytetyön kappaleessa 6.5 (Sähkötehon hallinta). Suunnitteluvaiheessa olevien uudisrakennusten sähköliittymätehojen mitoituksessa sähköautojen latauspisteiden tarve on otettava huomioon (ST 51.92 2022). Kuten edellä mainittiin, latauspistelaki määritteli nämä vaatimukset vuonna 2020.

5.5 Huoltoresurssit

Sähköjärjestelmien huoltaminen vaikuttaa järjestelmien turvallisuuteen, toiminnallisuuteen ja elinkaareen sekä sähköenergian kulutukseen. Riittävien huoltoresurssien avulla kiinteistön sähköjärjestelmiä valvotaan ja niihin liittyviä kunnossapito- ja huoltotöitä tehdään säännöllisesti, minkä ansiosta järjestelmät toimivat optimaalisesti ja energiatehokkaasti. Hajonneiden osien vaihtaminen, erilaiset puhdistukset, suodattimien vaihtaminen, käyttötarpeen seuranta ja niihin liittyvät kiinteistötekniikan säädöt ovat yleisimpiä ja helpoimpia keinoja energiatehokkuuteen. (ST 98.50 2016.)

Huolto- ja kunnossapitohenkilöstön osaamisella on suuri merkitys sähköjärjestelmien optimaalisen energiatehokkuuden saavuttamiseen. Huolto- ja kunnossapitotoimenpiteisiin on tarjottava riittävä koulutus ja aikaa tarpeeksi tarvittavien työtehtävien hoitamiseksi. Henkilöstön osaamisen lisäksi on tärkeää, että käytössä on riittävät työkalut ja valvontajärjestelmät energiatehokkuuden hallintaan. Lisäksi kiinteistöllä täytyy olla ajan tasalla oleva kattava ja selkeästi aikataulutettu huolto-ohjelma eri järjestelmille, jonka avulla huolto- ja kunnossapitotyötä tehdään. (ST 98.50 2016.)

6 Sähköenergian kulutuksen hallintajärjestelmät

6.1 Sähköenergian mittarointi

Sähköenergian mittaamisen päällimmäinen syy on energiantoimittajan kulutuksenmukainen laskutustarve. Mittauspisteiden erittelyn laajuus määräytyy yleensä kiinteistön käyttötarkoituksen ja kiinteistön omistajan tarpeiden ja tavoitteiden mukaisesti. Mittauskohteiden määrien suunnittelussa on tärkeää kohdentaa mittaukset asioihin, joihin on mahdollista vaikuttaa. Tämän lisäksi huomioon on otettava mittareiden mittausväli- ja tarkkuus, että ne riittävät kiinteistön sähköenergian kulutuksen seurannan tarpeisiin. (ST 21.34 2022.)

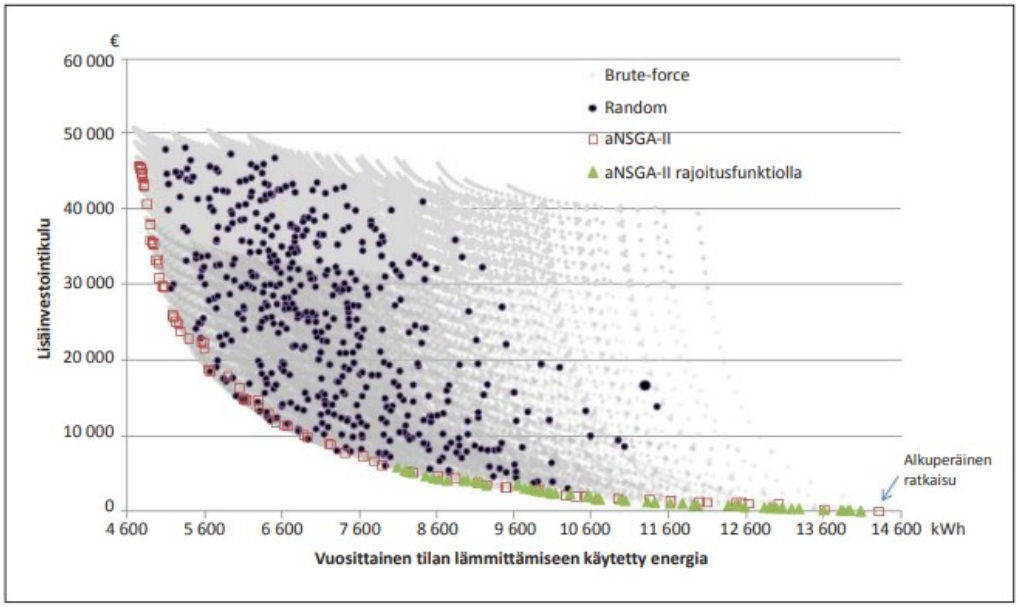
Kun kiinteistössä halutaan seurata energiatehokkuutta, niin pelkkä sähköenergian päämittaus ei riitä. Sähköenergian kulutuksen seurantaa kannattaa kohdentaa kiinteistön koosta ja tarpeista riippuen tarpeeksi kattavalla mittalaitteistolla, jotta energiatehokkuutta pystytään seuraamaan ja analysoimaan sekä siihen liittyviä parantavia toimenpiteitä voidaan tehdä. Esimerkiksi kookkaassa opetusrakennuksessa erillisiä sähköenergian mittauksia kannattaa tehdä päämittauksen lisäksi ai-

nakin valaistukselle, ilmanvaihdolle, jäähdytykselle ja keittiötiloille. Jos kiinteistössä on aurinkosähköjärjestelmä, kannattaa se varustaa myös omalla mittauksella. Ympäristöministeriön asetuksen 718/2020 mukaan kiinteistön omistajan on pystyttävä esittämään tarvittaessa tuotettu sähköenergian määrä. (ST 21.34 2022.)

6.2 Energian optimointityökalut

Energian optimoinnissa saadaan parhaita tuloksia aikaan, kun se huomioidaan jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Energianlaskennassa on kyse aina arviosta, joka riippuu kohteen lähtötiedoista, laskentamallista ja laskijan ammattitaidosta. BIM tietomallinnus on yleistymässä rakennuksien suunnittelussa ja sen myötä rakennussuunnitteluun liittyvä tieto on yksiselitteistä ja helposti saatavilla. Mallinnuksessa rakennus kuvataan digitaalisessa muodossa kolmiulotteisesti. Mallinnus sisältää rakennuksen ominaisuustiedot ja siihen voidaan lisätä aina tarpeen mukaan dataa. Näiden tietojen avulla voidaan suorittaa rakennuksen energiasimulointia, jonka yhteydessä kannattaa ottaa huomioon myös sähköjärjestelmien huipputehot, kustannukset ja olosuhteet. Esimerkiksi energiasimuloinnin avulla voidaan saada laskettua tarvittavia sähköjärjestelmän eri osien huipputehoja ja saada sitä kautta sähköenergian kulutuksessa säästöjä. (ST-ohjeisto 15 2017.)

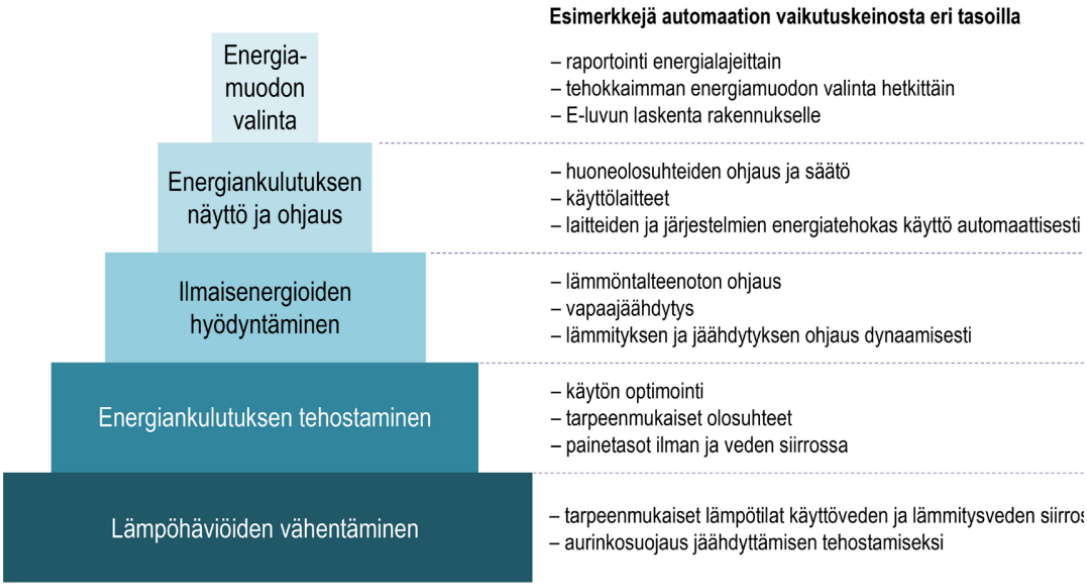
Kun halutaan tehdä energiasimulointia, jossa optimoidaan ominaisuuksia ja järjestelmiä sekä tehdään herkkyys- ja epävarmuustarkasteluja, voidaan energiasimulointiohjelman lisäksi ottaa käyttöön erillinen optimointialgoritmityökalu. Yleisimpiä energianoptimointiohjelmia maailmalla ovat TRNSYS ja EnergyPlus. Optimointityökaluista suosituimpia ovat Matlab ja GenOpt. Edellä mainittujen lisäksi Suomessa ovat yleisesti käytössä energianoptimointiohjelmat RIUSKA ja IDA-ICE sekä optimointityökalu MOBO, jonka on kehittänyt VTT ja Aalto-yliopisto. Optimointityökalut (-algoritmit) ovat usein erillisiä, muiden ohjelmien kanssa yhdessä käytettäviä paketteja. Esimerkiksi optimointityökalua MOBO:a (Multi-Objective Building Performance Optimization) voidaan käyttää energiankulutuksen, investointien ja elinkaarikustannusten minimointiin. Ohjelma sopii käytettäväksi optimoinnin apuna niin uudisrakentamiskohteissa kuin saneerauskohteissakin. Esimerkkioptimointi MOBO-työkalun avulla on esitetty kuviossa 5. (Forstén, E. 2015. ST-ohjeisto 15 2017.)



Kuvio 5. Esimerkki MOBO:lla tehdystä optimoinnista investointien ja vuosittaisen lämmitysenergian välillä (ST-ohjeisto 15 2017.)

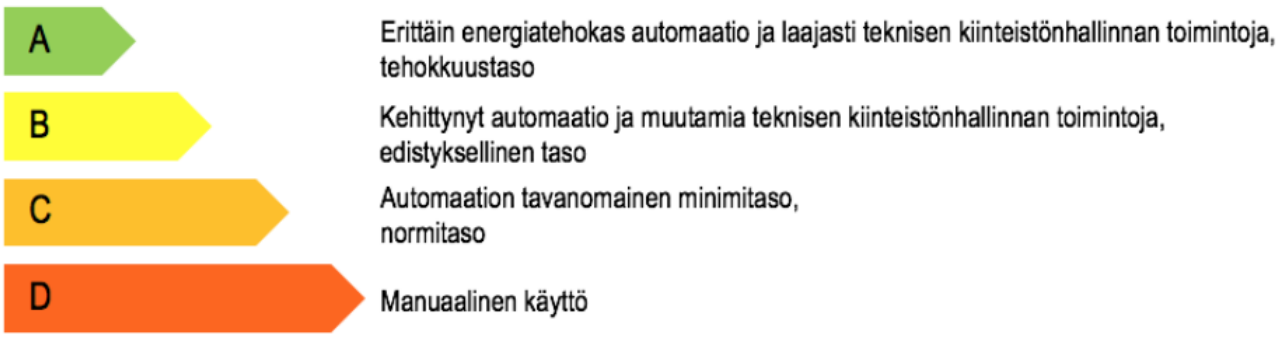
6.3 Kiinteistöautomaatio

Kiinteistön talotekniset järjestelmät kuten valaistus, ilmanvaihto, lämmitys ja jäähdytys tarvitsevat optimaalisen energiankulutuksen saavuttamiseksi automaatiojärjestelmän ohjaamaan niiden toimintaa. Kokonaisuuden hallinta on tärkeää, jotta kiinteistön taloteknisten järjestelmien energiatehokkuus ja sopivat sisäilmanolosuhteet saavutetaan. Automaation avulla energiatehokkuutta lisäävien keinojen erilaisia lähtökohtia kuvataan kuviossa 6 (Kioto-pyramidi). Kuviossa eri keinot on esitetty pyramidin muodossa siten, että painoarvoltaan tärkein keino löytyy pyramidin pohjalta. (ST-ohjeisto 20 2020.)



Kuvio 6. Energiatehokkaan rakentamisen painoarvotasot (Kioto-pyramidi) ja esimerkkejä automaatiotoiminnoista eri tasoilla (ST-ohjeisto 20 2020.)

Eurooppalainen energiatehokkuusstandardi SFS-EN 15232 käsittelee automaation vaikutusta rakennusten energiatehokkuuteen. Standardissa esitetään erilaisia toimintoja, joiden avulla voidaan tarkastella automaation hyötyjä ja määrittää rakennuksen automaation taso. Automaation tasot (tehokkuusluokat) standardi jakaa neljään luokkaan, joita ovat luokat A, B, C ja D. Näiden automaation tasojen pääpiirteet esitetään kuviossa 7. Automaatiotason paras luokka on A-luokka, joka sisältää laajan määrän kiinteistön hallinnan toimintoja. Tällaisessa järjestelmässä käytetään esimerkiksi tarpeen mukaista säätöä rakennuksen ilmanvaihtoon ja lämmitykseen. Järjestelmä ottaa huomioon laajasti rakennuksen eri järjestelmien väliset riippuvuussuhteet. (ST-ohjeisto 20 2020.)



Kuvio 7. Rakennuksen automaatiotason vaikutus energiatehokkuuteen (ST-ohjeisto 20 2020.)

Rakennusautomaatiojärjestelmä muuttuu rakennuksen mukana. Kun rakennukseen tehdään esimerkiksi saneerausta käyttötarpeiden muutoksien tai energiatehokkuustoimien myötä, niin myös automaatiojärjestelmään täytyy tehdä tarvittavia muutoksia. Tyypillisesti tämä tarkoittaa muutoksia erilaisten mittauspisteiden, hälytyksien, laitteiden käyntitietojen tai ohjauksien suhteen. Myös rakennusautomaatiojärjestelmän keskusyksiköiden uusiminen ja ohjelmistopäivitykset ovat ajoittain tarpeen ja niiden tuomat uudet ominaisuudet sekä mahdollisuudet voidaan samalla hyödyntää. Rakennusautomaation ylläpito vaatii järjestelmällistä seurantaa, testauksia ja ennakoivia huoltotoimenpiteitä, jotta se toimii energiatehokkaasti, luotettavasti ja automaattisesti. (ST-käsikirja 17 2018.)

6.4 Sähkön hintatiedon hyödyntäminen sähkön kulutusta ohjaavana tekijänä

Sähkön hintatietoja voidaan käyttää hyödyksi sähkön kulutuksen optimoinnissa valitsemalla kiinteistöön pörssisähkösopimus. Sähköpörssissä hinta vaihtelee tunneittain markkinahinnan mukaan. Nord Pool on pohjoismainen sähköpörssi, jossa sähkön hinta perustuu tarjontaan ja kysyntään. Sähkömarkkinoilla keskeisimpiä toimijoita ovat tarjontaa edustavat sähköä tuottavat voimalaitokset sekä ostajapuolella suuret teollisuuslaitokset ja sähköyhtiöt, jotka käyvät kauppaa keskenään seuraavan päivän tuntihinnoista (Spot-hinnoista). Seuraamalla ja hyödyntämällä tehokkaasti sähkön hinnan halvat hetket mahdollistavat asiakkaalle halvimman mahdollisen sähköenergian saannin. (ST-esimerkit 13 2021.)

Viime vuosina markkinoille on ilmestynyt paljon erilaisia pörssisähkön tuntihintoja seuraavia sovelluksia ja erilaisia sähkökuormia ohjaavia laitteita, jotka seuraavat pörssisähkön hintaa. Hintoja voi toki seurata myös itse ja tehdä tietojen avulla omia ratkaisuja sähkönkäytön suhteen tai voi antaa sovelluksien ja laitteistojen hoitaa hintaseuranta sekä laitteiden ohjaus automaattisesti. Esimerkiksi sähköauton latauksen, sähkölattialämmitysten, lämminvesivaraajien ja ilmanvaihdon käytössä saadaan pörssisähkösopimuksen ja hintaan perustuvan ohjauksen avulla helposti säästöjä aikaiseksi. Hintatietoihin perustuvat ohjaukset voidaan ohjelmoida huonekohtaisesti ja järjestelmä optimoi sähkönkäytön halpoihin tunteihin mahdollisimman paljon käyttämällä kalliita sähkön hinnan tunteja vain välttämättömän määrän. Esimerkiksi sähköistä lattialämmitystä voidaan ohjata älytermostaatilla, joka seuraa sähkön tuntihintoja tai voidaan käyttää sähkökeskukseen asennettavaa varaavien sähkölämmitysjärjestelmien pörssisähkön ohjausrelettä (Kuvio 8.). Ohjausreleen avulla pystytään toteuttamaan kulutusohjaus, jonka kriteereitä ovat:

- Lämmitysjaksojen välillä oleva tauko (sisältää kylmenemisen eston)
- Kallein hyväksyttävä sähkönhinta
- Vuorokauden edullisimpien tuntien määrä, joita halutaan käyttää. (Themo din pörssisähkö rele.)

Kuvio 8. Pörssisähkö ohjausrele (Themo din pörssisähkö rele.)

6.5 Sähkötehon hallinta

Sähkötehon hallinta kiinteistössä on tärkeää sähköjärjestelmien optimaalisen toiminnallisuuden kannalta. Sähkötehon hallinta vaikuttaa energiatehokkuuteen mutta tärkeintä on välttää mahdolliset haittavaikutukset niin käyttäjälle, kuin itse sähköjärjestelmille. Sähköjärjestelmien eri osat kuten kaapelointi kuormittuvat korkeilla sähkötehoilla ja voivat pahimmassa tapauksessa vahingoittua ja aiheuttaa vaaratilanteita (esim. tulipalo). Tehon hallintaa voidaankin toteuttaa erilaisilla ohjauksilla, tehovahdeilla, laitevalinnoilla ja niiden vuorottelukytkennöillä sekä tehon mitoituksilla (ST-esimerkit 12 2021). Erilaiset keinot tehojen rajoitukseen voidaan luokitella virran mittaukseen perustuvaan tehonhallintaan, portaittaiseen tehonrajoitukseen ohjaustietojen avulla sekä kiinteään tehonrajoitukseen.

Kiinteä tehonrajoitus toteutetaan rajoittamalla laitteen tehoa niin, että sähköliittymälle määritelty huipputeho ei ylity. Laitteen toiminta ei ole riippuvainen kiinteistön muista tehokuormista tai vuorokauden ajoista, vaan toimii määritellyllä tehoalueella niistä riippumatta. Kiinteä tehonrajoitus voidaan toteuttaa helposti myös jälkiasennettuna, eikä se vaadi ohjausmahdollisuuksia laitteelta. Esimerkiksi kaksipaikkaisessa sähköauton latauspisteessä voidaan käyttää kiinteää (staattista) tehon hallintaa, jossa kahdelle samanaikaisesti ladattavalle sähköautolle jakautuu latausteho tasai-

sesti niiden kesken. Tehonrajoitus ohjausten avulla toteutetaan esimerkiksi omakotitalon sähkökiukaan ja talon sähkölämmityksen tai jonkin muun suuren sähkökuorman kesken vuorottelulla. Esimerkiksi, kun saunan kiuas laitetaan päälle, niin kiukaan tehoa vastaavalla tehon määrällä ohjataan sähkölämmitystä pois päältä. Virran mittaukseen perustuvaa tehon hallintaa käytetään esimerkiksi sähköautojen latausasemissa kiinteistöissä. Virran mittaus toteutetaan virtamuuntajilla (virtavahdeilla), jotka mittaavat kiinteistön virrankulutusta ja säätävät sen mukaisesti latausaseman tehoa sähköauton latauksen yhteydessä. Tällaista tapaa kutsutaan dynaamiseksi kuormanhallinnaksi. Dynaamisen kuormanhallinnan toteuttamiseksi on myös mahdollista käyttää uusien älykkäiden sähkömittarien kotiautomaatioliitäntää eli HAN-porttia. Tällaisen portin kautta on mahdollista saada mittaustietoa kotiautomaatiojärjestelmän tai vaikka sähköauton latauspisteen ohjauskäyttöön. (Kotiautomaatioliitäntä eli HAN-portti.)

6.6 Älykkäät energianhallinnan ratkaisut

Uusiutuvat energian lähteet ja energian varastointi liittyvät tärkeänä osana älykkäiden energianhallinnan ratkaisujen kehitykseen. Sähköenergian kulutuksen optimointi älykkäiden ohjauksien avulla kehittyy myös jatkuvasti. Pörssisähkön ja sen hintavaihteluiden avulla kiinteistön ohjaaminen tuo säästöjä, kun ohjataan kulutusta halvoille tunneille ja myydään kalliiden tuntien aikana esimerkiksi itse tuotettua aurinkosähköä. Älykkäiden ohjauksien avulla voidaan ennakoida lämmitykseen kuluvan sähkön käytön tarvetta, esimerkiksi sääennusteisiin perustuen.

Rakennusautomaation valvomolla voidaan seurata, valvoa ja ohjata rakennuksen järjestelmiä. Rakennusautomaatioon voidaan liittää erillinen analytiikkaohjelmisto, jolla voidaan valvoa esimerkiksi energiankulutuksen kannalta tärkeitä järjestelmiä. Järjestelmien toiminnan reaaliaikainen valvonta ja niiden toiminta yleisesti ja myös toisiinsa nähden voidaan analytiikan avulla optimoida tehokkaasti. Esimerkiksi rakennusautomaatioon liitetyille järjestelmien kokonaisuuksille voidaan luoda digitaalinen kaksonen, jonka avulla luodaan koko järjestelmälle täydellinen malli optimaalisimmalle toiminnalle. Analytiikan avulla reaaliaikaista dataa verrataan digitaalisen kaksosen malliin ja sen avulla tehdään havaintoja vikatilanteisiin ja ehdotuksia niiden korjaamiseksi sekä parannusehdotuksia energiatehokkaammalle toiminnalle. Muutokset ehdotuksiin perustuen suorittaa esimerkiksi kiinteistönhuoltopalvelut. Palveluntuottajan analytiikkaraporteista tai web-pohjaisesta käyttöliittymästä voidaan seurata havaintoja, joita analytiikka tekee. (ST-käsikirja 22 2023, 80.)

Tulevaisuudessa tekoälypohjaisia sovelluksia käytetään yhä enemmän tukemaan rakennusautomaation optimaalista käyttöä. Kun analytiikka antaa ehdotuksia kiinteistön järjestelmistä vastaaville henkilöille optimoinnin tarpeista, niin tekoälyn avulla järjestelmän optimointi saadaan automaattisemmaksi. Tekoälyn tehokas toiminta vaatii kiinteistön eri järjestelmille riittävästi mittalaitteita (antureita), joiden avulla saadaan riittävä määrä dataa, jonka avulla tekoäly voi ohjata järjestelmän asetusarvoja. Rakennusautomaatiojärjestelmästä saadun datan lisäksi tekoäly voidaan asettaa käyttämään erilaisia tietolähteitä, jotka vaikuttavat kiinteistön energiankulutukseen, kuten vaikka sosiaalisia tietoja tai säätietoja/-ennusteita. (ST-käsikirja 22 2023.)

Tekoälyohjatut energian optimointijärjestelmät mahdollistavat energiankulutuksen reaaliaikaisen seurannan. Esimerkiksi järjestelmä oppii eri tilojen lämpökäyttäytymisen ja ohjaa lämmitystä tilakohtaisesti määritettyjen algoritmien avulla ennakoiden. Tekoälyn avulla voidaan laskea lämmitystarve huomioimalla ulkolämpötila, sääennuste ja kiinteistön lämmittämisen käyttötarpeet jopa tunnin tarkkuudella. Esimerkiksi majoituskohteissa, voidaan liittää digitaaliseen varauskalenteriin automatisoitu lämmityksen ohjaus. Kun tilassa ei oleskella, niin lämmitystä pienennetään. (Energiatehokkuutta älykkäästi optimoiden.)

7 Sähköjärjestelmien saneeraus

Kun sähköjärjestelmän toiminnallisuus ei vastaa enää tarpeita tai järjestelmä on muuten elinkaarensa päässä esimerkiksi energiatehokkuuden tai turvallisuuden näkökulmasta katsottuna, tarvitaan toimenpiteitä. Jos kiinteistön jäljellä oleva elinkaari on riittävä, kannattaa sen sähköjärjestelmän saneerausta aloittaa suunnittelemaan ja toteuttamaan tarpeen mukaisessa laajuudessa. Sähköjärjestelmä tutkitaan ja sen saneerauksesta tehdään ehdotukset toimenpiteille, laaditaan kustannusarvio ja selvitetään saneeraussuunnitelman turvallisuuteen liittyvät vaikutukset. Onnistunut suunnittelu ja toteutus vaativat voimassa olevien standardien (SFS 6000) ja vanhaan sähköjärjestelmään liittyvien aikaisempien standardien sekä säädösten tuntemusta. (ST 51.40.)

7.1 Sähköjärjestelmien suunnittelu saneerauskohteissa

Kun kiinteistön sähköjärjestelmän saneeraus on ajankohtainen, täytyy saneerauksen toteutusta varten tehdä sähkösuunnitelma. Sähköjärjestelmän nykytilanne kartoitetaan dokumenttien ja tarvittaessa paikan päällä tutkimuksien avulla. Suunnittelussa otetaan tarkasti huomioon asiakkaan

toiveet ja sähköjärjestelmän teknilliset tarpeet. Ammattitaitoisella sähkösuunnittelijalla on tarjota asiakkaalle aina ajankohtaisin ja paras mahdollinen ratkaisu sähkösuunnitelman muodossa. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sähkösaneeraussuunnitelmaa, jonka avulla saadaan toteutettua elinkaareltaan pitkäikäinen, energiatehokas ja käytettävyydeltään sekä huollettavuudeltaan optimaalinen kokonaisuus. (ST 13.28 2020.)

Saneerauskohteiden suunnittelun alkaessa, kerätyn tiedon määrä ja sen oikeellisuus varmistetaan, koska niihin tietoihin saneerauksen suunnitelma pohjautuu. Saneerattavan kiinteistön sähkökuvien ajantasaisuus täytyy varmistaa, ennen kuin suunnitelmaa aloitetaan tekemään. Joskus vanhojen kiinteistöjen sähkökuvat eivät ole ajan tasalla ja niiden tutkiminen sekä korjaaminen voi olla hankalaa ja työlästä. Tällaisessa tapauksessa asiakkaan ja suunnittelijan sekä toteutusvaiheessa sähköurakoitsijan toimiva yhteistyö on hyvin tärkeää. Sähkösaneerauksen suunnittelussa usein vanhat ja uudet sähköjärjestelmät sulautetaan toimimaan keskenään, joka vaatii eri aikakausien standardien ja säädösten huomioon ottamista suunnittelussa.

7.2 Sähköjärjestelmien saneeraustyöt

Saneeraustöitä ovat tyypillisesti muutos-, laajennus- ja korjaustyöt. Puhuttaessa sähköjärjestelmien saneerauksista tässä luvussa käsitellään pienjännitealueella (alle 1000 volttia) suoritettavia sähkösaneeraustöitä. Uusin SFS 6000 pienjännitesähköasennusten standardisarja on tullut voimaan syksyllä 2022, joka ohjaa sähköasennusten suoritusta. Vanhat standardit ja säädökset eroavat uudesta standardista osittain hyvinkin paljon ja uuden standardin noudattaminen voi aiheuttaa saneerauskohteen sähköjärjestelmässä kohtuuttoman suuria taloudellisia kustannuksia tai teknisiä muutoksia. SFS 6000 standardisarja sisältää tämän vuoksi kansallisen osan SFS 6000-8-802, jossa on annettu vaihtoehtoisia keinoja sähköasennusten saneerauksia varten. Tällaisessa tapauksessa täytyy kuitenkin huomioida, että näillä vaihtoehtoisilla suoritustavoilla ei ylletä samalle tasolle, kuin käyttämällä koko SFS 6000 standardisarjaa. Kyseistä standardin osaa ei saa soveltaa uudisasennuksissa eikä täysin peruskorjattavassa sähköasennuskokonaisuudessa. (ST 51.40 2022.)

Vaatimukset sähköasennuksille määräytyvät työn luonteen mukaisesti eli onko kyseessä muutos-, laajennus- vai korjaustyö. Muutos- ja laajennustöissä noudatetaan SFS 6000 standardisarjaa. Vanhaan sähköjärjestelmään, joka on tehty sen aikaisien standardien ja säännösten mukaan voidaan alkuperäisessä tilassaan käyttää muutetun tai laajennetun uuden asennuksen osana harkiten.

Usein käyttöön jäävän vanhan sähköjärjestelmän osaan kannattaa tehdä päivityksiä, jotta saavutetaan riittävä turvallisuustaso. Esimerkiksi maadoitusten ja potentiaalintasausten sekä vikavirtasuojauksien lisääminen ja korjaaminen tai paremman suojausluokan laitteiden käytöllä saadaan vanhan järjestelmän turvallisuutta parannettua. Kun tilan käyttötarkoitus muuttuu alkuperäisen sähköjärjestelmän rakentamisajankohdan aikaisesta käyttötarkoituksesta, täytyy sähköjärjestelmä rakentaa muuttuneen tilan vaatimuksia vastaaviksi. Muutoksia täytyy tehdä myös ympärillä olevien tilojen sähköjärjestelmiin, jos edellä mainitun tilan muutokset vaikuttavat myös niihin. Muutos- ja laajennustöiden osana olevien vanhojen sähköjärjestelmän osien johtimia, jotka ovat aikaisempien merkintäsäännösten mukaisia, voidaan käyttää, jos ne ovat kunnossa ja käytössä edelleen turvallisia. (ST 51.40 2022.)

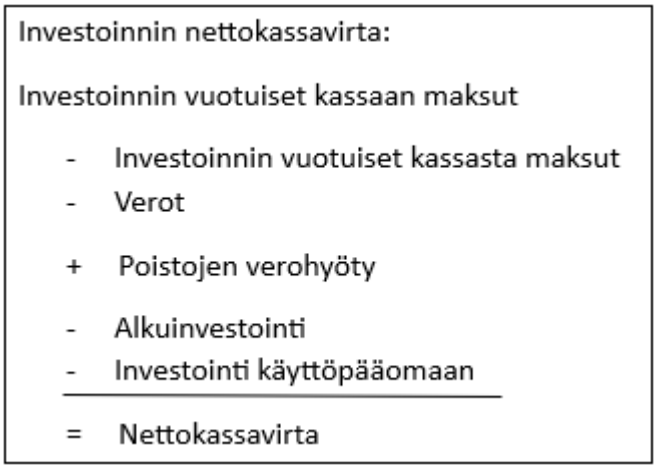
Korjaustyötä on olemassa oleviin sähköasennuksiin kohdistuva toimenpide, jossa esimerkiksi vaihdetaan asennukseen kuuluva laite tai laitteiston osa. Korjaustyössä saa käyttää pääsääntöisesti alkuperäisen järjestelmän rakentamisajankohdan aikaisia vaatimuksia, eli rikkoutuneen osan tilalle saa vaihtaa vastaavanlaisen osan. Korjauksen yhteydessä on kuitenkin suositeltavaa pyrkiä vaihtamaan 0-luokan peruseristetyt laitteet 1-luokan suojamaadoitettuihin laitteisiin, koska maadoitettu järjestelmä on turvallisempi. Esimerkiksi vuoden alusta 2023 on tullut pistorasioiden asentamisessa voimaan määräys, jonka mukaan maadoittamattomia 0-luokan pistorasioita ei saa enää lisätä vanhojen asennusten osaksi, vaan pelkästään rikkoutuneen tilalle. Kaapeleiden korjauksien yhteydessä on myös suositeltavaa lisätä suojamaadoitusjohdin, jos sitä ei aikaisemmin ole sähköasennusten johdinjärjestelmässä ollut. (ST 51.40 2022.)

7.3 Investointilaskelmat sähkösaneerauspäätösten tukena

Investointilaskelmien avulla tehdään päätöksiä, joiden vaikutukset ulottuvat pitkälle tulevaisuuteen. Investoinnin tavoitteena on saada yritykselle hyötyä ja riippuen investoinnin luonteesta sen odotetaan myös maksavan itsensä takaisin jollakin aikavälillä (Ikäheimo, Malmi & Walden 2016). Kun investoinnin kannattavuutta arvioidaan, on otettava huomioon investoinnin pitoaika, hankintameno, laskentakorko, arvioidut tulevat kassamaksut ja tulevat kassasta maksut sekä jäännösarvo (Jormakka, Koivusalo, Lappalainen & Niskanen 2021, 243, 244). Tämän lisäksi lisää tukea investointipäätöksen tekemiseksi saadaan ottamalla huomioon investoinnit käyttöpääomaan tai tekemällä herkkyysanalyysi investoinnin kannattavuudesta. (Jormakka ym., 255, 256.)

7.3.1 Investoinnin kassavirta

Investointilaskelmamenetelmiin liittyy nettokassavirta (NCF), joka on selvitettävä ennen investoinnin kannattavuuden laskentaa. Kuviossa 9 on esitetty investoinnin nettokassavirran laskutapa, joka lasketaan investoinnista saatavien vuosittaisten kassaan maksujen ja kassasta maksujen erotuksena. (Jormakka ym., 252.)



Kuvio 9. Investoinnin nettokassavirta (Jormakka ym., 252)

Investoinnin kassaan maksut voivat olla esimerkiksi kustannussäästöjä tai tuloja lisääntyneestä myynnistä. Investointiin liittyvät kassasta maksut ovat esimerkiksi erilaisia kiinteitä kuluja, palkkoja ja materiaalien tai raaka-aineiden hankintaan liittyviä maksuja. Verot otetaan huomioon siten, että vero lasketaan kassaan maksujen ja kassasta maksujen erotuksesta. Saatua summaa korjataan verohyödyn verran, joka saadaan poistoista.

7.3.2 Nettonykyarvo ja nykyarvoindeksi

Investointilaskentamenetelmänä nettonykyarvo on suositeltavin menetelmä teoreettisesti. Menetelmässä ennakoidut investoinnin kassaan ja kassasta maksut diskontataan yleensä investoinnin aloitushetkeen. Diskonttauksella tarkoitetaan tulevien vuosien kassavirtojen muuttamista nykyhetken arvoon. Kuviossa 10 on esitetty nettonykyarvon laskentakaava, jonka avulla saadaan laskettua investoinnin kannattavuus. (Jormakka ym., 248.)

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{NCF_t}{(1+r)^t} + \frac{I_n}{(1+r)^n} - I_0$$

missä

NPV = nettonykyarvo

NCF = nettokassavirta

I_0 = investoinnin hankintameno eli alkuinvestointi

I_n = Investoinnin jäännösarvo

n = investoinnin pitoaika vuosina

t = aika

r = diskonttauskorko

Nettonykyarvo = Tulevien kassavirtojen nykyarvo – Investoinnin hankintameno

$$\text{Nettonykyarvo} = \frac{\text{ensimmäisen vuoden nettokassavirta}}{(1 + \text{Korkokanta})} + \frac{\text{toisen vuoden nettokassavirta}}{(1 + \text{Korkokanta})^2} + \ldots + \frac{\text{n. vuoden nettokassavirta}}{(1 + \text{Korkokanta})^n} - \text{Investoinnin hankintameno}$$

Kuvio 10. Nettonykyarvon laskentakaava (Jormakka ym., 248)

Laskennan avulla nähdään investoinnin kannattavuus siten, että investointi on kannattava, kun tulevien kassavirtojen nykyarvo on suurempi kuin investoinnin hankintameno. Nettonykyarvomenetelmä sopii hyvin myös sellaisiin investointilaskelmiin, joissa investoinnin kassavirrat vaihtelevat vuosittain. (Jormakka ym., 248, 249.)

Nykyarvoindeksi on investointilaskelmamenetelmä, joka eroaa nettonykyarvomenetelmästä siten, että sillä saadaan tulos suhdelukuna. Nykyarvoindeksin laskentakaavalla (Kuvio 11) lasketaan tulevien kassavirtojen nykyarvo, joka jaetaan alkuinvestoinnilla. (Jormakka ym., 250.)

$$\text{Nykyarvoindeksi} = \frac{\text{Tulevien kassavirtojen nykyarvo}}{\text{Alkuinvestointi}}$$

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{NCF_t}{(1+r)^t} + \frac{I_n}{(1+r)^n}}{I_0}$$

missä

PI = nykyarvoindeksi

NCF = nettokassavirta

I_0 = investoinnin hankintameno

I_n = investoinnin jäännösarvo

n = investoinnin pitoaika vuosina

t = aika

r = diskonttauskorko

Kuvio 11. Nykyarvoindeksin laskentakaava (Jormakka ym., 250)

Kun kaavan avulla tuloksena saatu suhdeluku on suurempi kuin 1, niin investointi on kannattava. Investointi on sitä kannattavampi, mitä suurempi suhdeluku on. (Jormakka ym., 250.)

7.3.3 Sisäinen korkokanta (IRR) ja takaisinmaksuaika

Sisäinen korkokanta laskentamenetelmä antaa investoinnin kannattavuuden tuloksen prosenttilukuna. Kuviossa 12 on esitetty laskentamenetelmän kaava, jossa sovelletaan nettonykyarvon kaavaa asettamalla nollaksi nettonykyarvotavoite. (Jormakka ym., 251.)

IRR ratkaistaan kaavasta:

$$\frac{\text{ensimmäisen vuoden nettokassavirta}}{(1 + IRR)} + \frac{\text{toisen vuoden nettokassavirta}}{(1 + IRR)^2} + \ldots$$

$$+ \frac{\text{n. vuoden nettokassavirta}}{(1 + IRR)^n} - \text{Investoinnin hankintameno} = 0$$

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{NCF_t}{(1+IRR)^t} + \frac{I_n}{(1+IRR)^n} - I_0 = 0$$

missä

NCF = nettokassavirta

I_0 = investoinnin hankintameno eli alkuinvestointi

I_n = investoinnin jäännösarvo

n = investoinnin pitoaika vuosina

t = aika

r = diskonttauskorko

Kuvio 12. Laskentakaava, josta sisäinen korkokanta (IRR) ratkaistaan (Jormakka ym., 251)

Sisäinen korkokanta saadaan ratkaistua kuvion 12 kaavasta mutta helpoiten se voidaan ratkaista esimerkiksi Excel-laskentaohjelmalla. Tuloksena laskelmalla saadaan prosentteina investoinnista saatava tuotto. Kun sisäinen korko on vähintään yhtä suuri, kuin investoinnille asetettu tuottovaatimus, on investointi kannattava. Eri investointivaihtoehtojen välisessä vertailussa suurimman sisäisen korkokannan omaava vaihtoehto on kannattavin. (Jormakka ym., 251.)

Takaisinmaksuaika on laskentamenetelmänä suosittu, koska se on helppo ja yksinkertainen laskea. Menetelmän avulla selvitetään vuotuisten nettokassavirtojen avulla investoinnin takaisinmaksuaika vuosissa. Laskenta suoritetaan jakamalla alkuinvestointi vuotuisella nettokassavirralla. Takaisinmaksuaikamenetelmä yksinkertaisimmillaan suoritettuna ei ole kovinkaan tarkka lopputuloksel-taan, koska laskennassa ei huomioida korkoa, rahan aika-arvoa, takaisinmaksuajan jälkeisiä kassavirtoja eikä investoinnin jäännösarvoa. Takaisinmaksuaikamenetelmän yksinkertaisimmassa

laskentatavassa oletetaan myös, että kassavirrat ovat samansuuruisia vuosittain. Menetelmään voidaan lisätä korko mukaan, jolloin saadaan tarkempi laskennan lopputulos. (Jormakka ym., 251.)

8 Työssä tutkittava kiinteistö

Etelä-Karjalan koulutuskuntayhtymän (Saimaan ammattiopisto Sampo) Imatralla omistaman prosessitekniikan laboratoriorakennuksen pääkeskuksen tasattu teho on 190 kVA. Kiinteistössä sähköenergian mittausta suoritetaan liittymän kulutusmittarilla. Lisäksi loisteholle on oma mittaus, säädin (Nokia A12) sekä kaksi kappaletta estokelaparistoja (100 KVar) loistehon kompensointiin. Prosessilaboratorion sähkönkulutuksen pohjakuorma muodostuu sähköjärjestelmien osista, joista merkittävimpiä ovat valaistus ja ilmanvaihto. Erilaiset koneet ja laitteet sähköjärjestelmien osina, joita opetuksessa käytetään, eivät ole sähkönkulutuksen kannalta merkittävässä asemassa, eikä niitä näin ollen tässä opinnäytetyössä huomioida.

Prosessilaboratoriorakennus on valmistunut alkuvuodesta 2006 ja sen sähköjärjestelmän sähkönkulutuksen pohjakuorman muodostavat järjestelmien osat ovat alkuperäistä tekniikkaa pääasiassa. Kiinteistön bruttopinta-ala on 1744 brm^2. Kiinteistössä on aloitettu vuoden 2023 aikana saneerausprojekti, jonka myötä sen sähköjärjestelmiin tulee myös muutoksia. Erilaisten tilaratkaisujen/opetusympäristöjen luomisen yhteydessä on myös tarkoituksena parantaa sähköjärjestelmien energiatehokkuutta. Kiinteistön saneeraus valmistuu vuoden 2024 aikana.

Imatralla Kuntayhtymällä on pienjännitetehosähkösopimus (Imatran seudun sähkö Oy), joka sisältää sähkön siirron, tehomaksun ja loistehomaksun (veroluokka 1). Lisäksi kulutussähkö ostetaan erikseen Keravan energialta. Tutkimuksessa tehtyihin laskelmiin otettiin kaikki edellä mainitut sähkön kokonaishinnan muodostavat asiat huomioon ja niiden avulla muodostettiin sähkön kokonaishinnaksi arviolukema 15 snt/kWh. Tätä hintaa käytettiin laskennassa, joiden avulla arvioitiin investointien kannattavuutta.

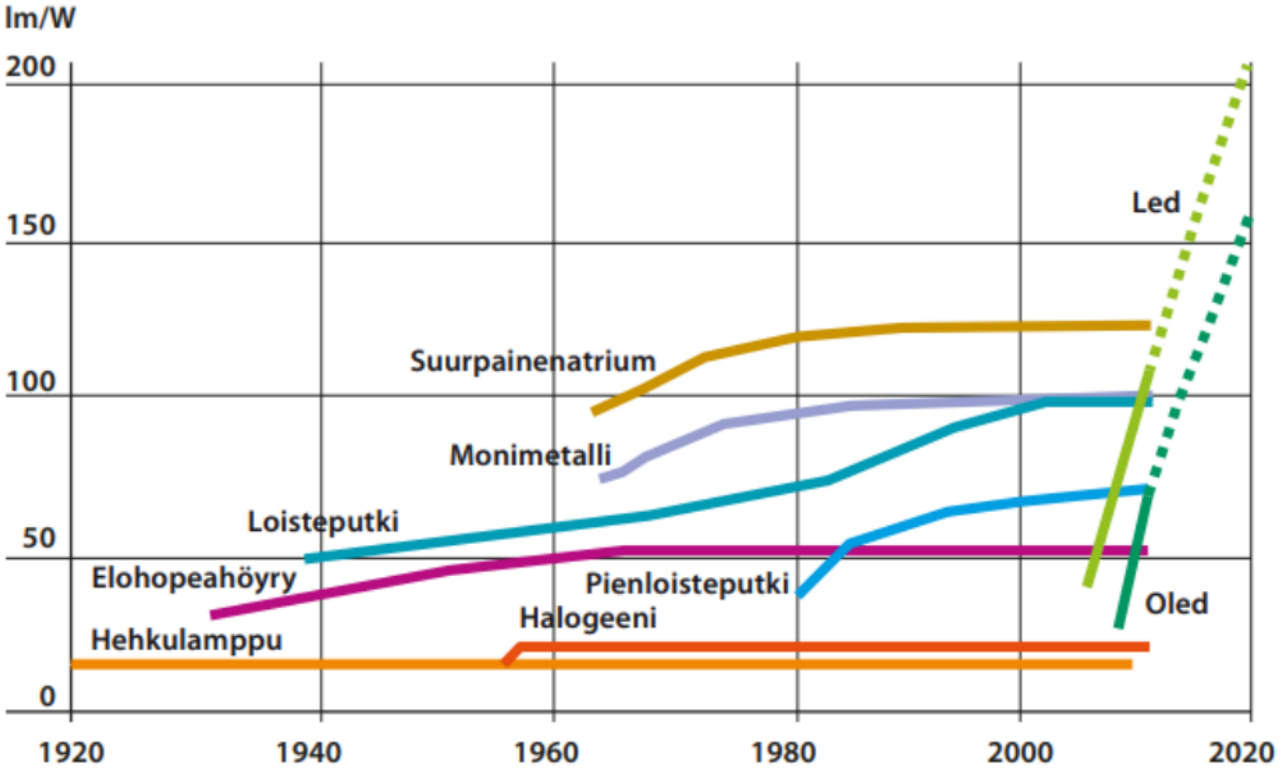
Tarkkaa kilowattituntihintaa ei voitu määrittää, koska sähkön kokonaishinta elää kulutushuippujen mukaan. Sähkön hinta muodostuu monesta eri osa-alueesta ja esimerkiksi tehomaksu määräytyy liukuvasti 12 kuukauden kahden suurimman kuukauden pätötehohuipun keskiarvon mukaan ja loistehomaksu määräytyy kuukausittain loistehohuipun mukaan. Lisäksi hintaan kuuluu vero ja siir-

tomaksu, joka eri vuoden aikoina vaihtelee ja määräytyy kulutetun sähköenergian määrän mukaan. Lisäksi tulee kuukausittainen kiinteä kuluttajamaksu sekä tietysti kulutetun sähköenergian maksu.

9 Tutkittavan kiinteistön sähköjärjestelmien sähkönkulutuksen optimointi

9.1 Valaistus

Prosessilaboratoriokiinteistön valonlähteitä ovat loistelamput, halogeenilamput, elohopealamput ja monimetallilamput. Nämä valonlähteet edustavat vanhaa tekniikkaa ja niiden korvaaminen led-valonlähteillä on ajankohtaista nyt kiinteistön saneerauksen yhteydessä. Osa valonlähteistä on jo vaihdettu led-valonlähteiksi. Vanhat valonlähteet eivät ole energiatehokkaita, kuten kuvioista 13 voidaan nähdä. Kuviossa esitetään valonlähteen tuottama valonvoimakkuus luumenina yhtä wattia kohden ja kuinka valonlähteet ovat vuosikymmenten aikana kehittyneet.



Kuvio 13. Eri valonlähteiden valotehokkuuden kehittyminen (ST 58.08, s. 2)

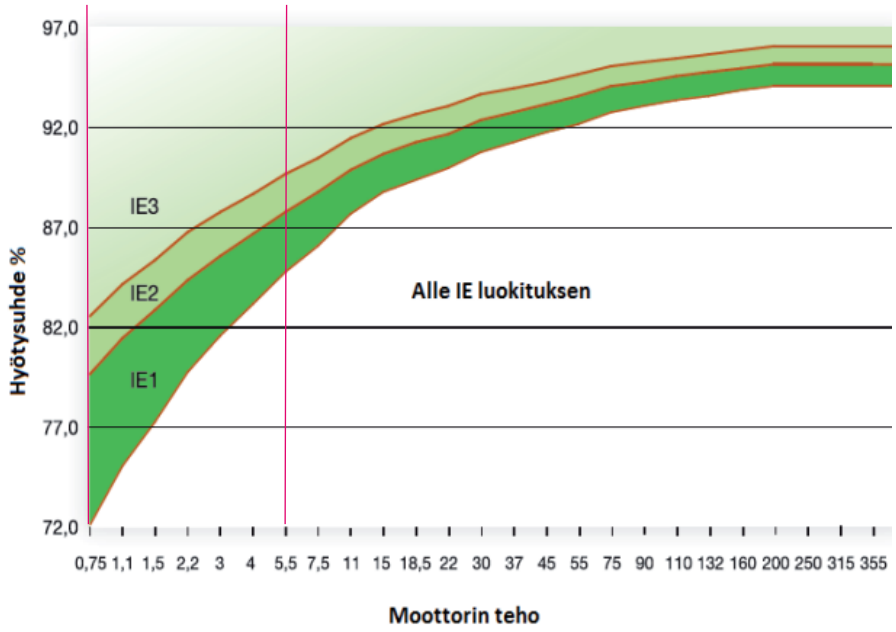
Käytännössä Euroopan unionin ROHS-direktiivi ohjaa muuttamaan valonlähteet led-valonlähteiksi. Direktiivin tarkistuksen myötä vuonna 2022 suurpaineisien purkauslamppujen käyttölupaa jatkettiin vielä 3–5 vuodella mutta muut vanhat valonlähteet kiellettiin Euroopan markkinoilta. Tuorein muutos koskee T5- ja T8-loistelamppuja, joiden tuominen Euroopan markkinoille kiellettiin 25.8.2023 alkaen. (ST 58.08 s.5).

Led-valonlähteen valontuoton energiatehokkuuden ansiosta kiinteistön valaisimien vaihtaminen led-valaisimiksi vähentää merkittävästi valaistuksen sähkön kulutusta. Led-valot pyritään valitsemaan valontuotoltaan vanhoja valaisimia vastaaviksi. Osa kiinteistön tiloista oli mitoitettu alun perin valontuotoltaan korkeammaksi, kuin tilan käyttötarve nykyisin vaatii. Tällaisessa tapauksessa voidaan vielä vähentää uusien led-valaisimien määrää ja saavuttaa silti riittävä valaistustaso. Lisäksi kiinteistön valaistuksen ohjausta päivittämällä automaatiojärjestelmään kuuluvaksi, voidaan turhaa valaistuksen päällä pitämistä ehkäistä. Tällä hetkellä alkuperäinen sisävalaistuksen ohjaus ei ole automaatiojärjestelmässä mukana.

9.2 Ilmanvaihto

Prosessilaboratoriokiinteistön ilmanvaihtokoneet ovat (rakennus on otettu alkuvuonna 2006 käyttöön) alkuperäisiä kammiopuhaltimia, joita ohjaavat taajuusmuuttajat. Ilmanvaihto on säädetty siten, että klo 7–17 välillä ilmanvaihto on 100 % käytöllä ja muuna aikana 50 % käytöllä. Puhaltimien moottorit ovat oikosulkumoottoreita, joiden energiatehokkuusluokka on IE1 (entinen luokitus eff2). Oikosulkumoottori on vaihtovirtamoottori, joka on yleisin käytössä oleva sähkömoottori moottorikäyttöisissä sovelluksissa (ST 21.33). Taajuusmuuttajan avulla voidaan säätää oikosulkumoottorin nopeutta portaattomasti. Nopeudesta riippumatta moottori säilyttää nimellismomenttinsa taajuusmuuttajan ohjauksessa. Taajuusmuuttajan toiminta perustuu moottorin syötön jännitteen ja taajuuden muuttamiseen samassa suhteessa (nimellisjännitteeseen saakka).

Ilmanvaihdon sähkönkulutusta voidaan optimoida vaihtamalla energiatehokkaampia puhallinmoottoreita vanhojen tilalle, kuten IE3 energiatehokkuusluokan oikosulkumoottoreita tai EC-puhallinmoottoreita. Kuviossa 14 on esitetty IE-moottorien hyötysuhdeluokat IE3:een saakka. Kiinteistön puhaltimet, jotka optimoinnin tarkastelussa on otettu huomioon ovat kokoluokkaa 0,75–5,5 kW.



Kuvio 14. Standardin IEC 60034-30 mukaiset IE-moottorien hyötysuhdeluokat 4-napaisille moottoreille (50Hz) (ST 21.33.)

IE3 energiatehokkuusluokan moottorit ovat edullisia ja maksavat itsensä takaisin muutamissa vuosissa kokoluokassa 0,75–5,5 kW, jos moottori vaihdetaan IE1 energiatehokkuusluokan moottorin tilalle. Takaisinmaksuajan toteutuminen edellyttää moottorin jatkuvaa käyttöä (ST 21.33, s. 4). Energiatehokkaamman moottorin hankinta kannattaa, koska merkittävä osa moottorin elinkaaren aikaisista kustannuksista (sähköenergian kustannus) muodostuu käytön aikana.

Euroopan unionin ekologista suunnittelua koskevan asetuksen (EN 60034-30-1) mukaan sähkömoottorien ja taajuusmuuttajien energiatehokkuusvaatimukset ovat kuvion 15 mukaiset. Uusia moottoreita asennettaessa IE4 energiatehokkuusluokan moottorit ovat tulleet vaatimuksiin mukaan kokoluokkaan 75–200 kW.

Year introduced	Minimum Efficiency Performance Standard in Europe			
	Motors [1], [2]		Drives	
	Class	Power range	Class	Power range
2017	IE3/IE2 and VSD[3]	3~ 0.75-375 kW	No requirement	0.12-1000 kW
2021	IE2 IE3	3~ 0.12-0.75 kW 3-phase: 0.75-1000 kW	IE2	0.12-1000 kW
2023	IE2	single-phase: ≥0.12 kW	IE2	0.12-1000 kW
	IE3	3-phase: 0.75-75 kW and 200-1000 kW		
	IE4	3~ 75-200 kW		

Kuvio 15. Energiatehokkuusvaatimukset uusille moottori- ja taajuusmuuttaja-asennuksille (Ecodesign and energy efficiency intelligently combined.)

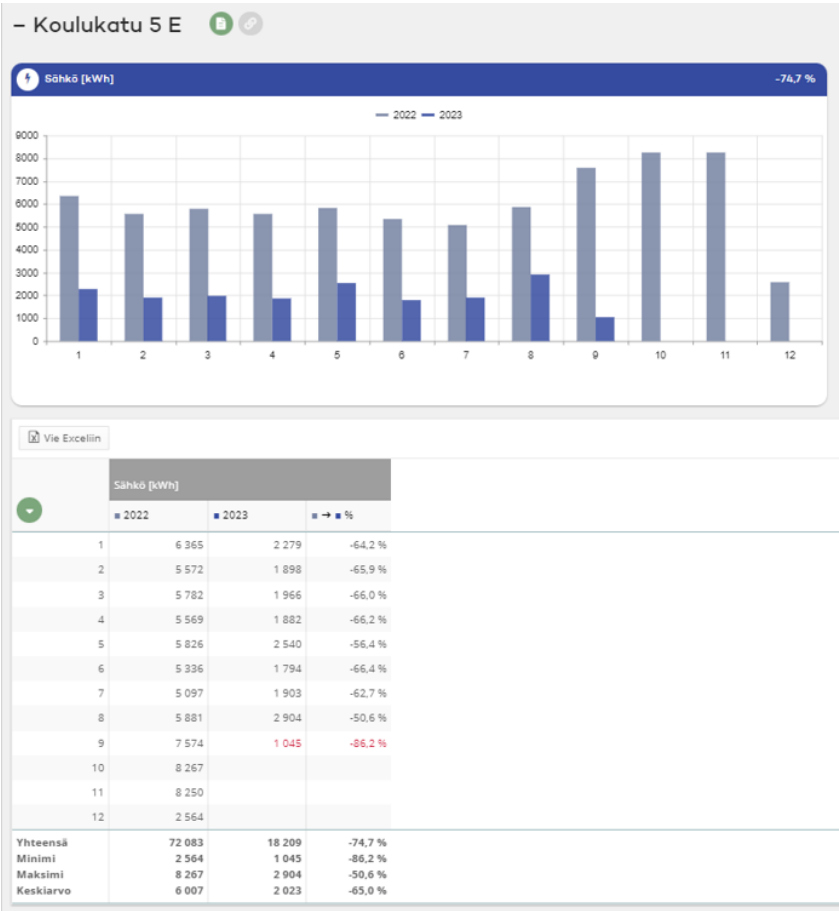
Energiatehokkuusvaatimusten myötä kiinteistön ilmanvaihtokoneen puhaltimen 3-vaiheinen vioittunut IE1-hyötysuhteen oikosulkumoottori kokoluokassa 0,75–75 kW täytyy vaihtaa vähintään IE3-hyötysuhteen oikosulkumoottoriksi. Tällä toimenpiteellä saadaan pienempi sähkönkulutus ja pidempi elinkaari moottorille aikaisempaan verrattuna. Korkeamman hyötysuhteen moottori lämpenee vähemmän käytössä antaen pidemmän elinkaaren moottorin laakeroinnille ja käämitykselle.

Oikosulkumoottorin ja taajuusmuuttajan yhdistelmän tilalle on mahdollista myös vaihtaa ilmanvaihtokoneen puhallinmoottoriksi EC-moottori. EC-moottori on elektronisesti kommutoitu tasavirtamoottori, joka sisältää myös ohjaukseen tarvittavan elektroniikan, eikä näin ollen erillistä taajuusmuuttajaa tarvita moottorin ohjaukseen, kuten oikosulkumoottorin ohjauksessa. EC-moottorin tehon syötön jännitteen tasoa muuttamalla voidaan säätää sen pyörimisnopeutta. Parhaiten EC-moottori sopii muuttuvailmamääräisiin ilmastointikojeisiin. Taajuusmuuttajan ohjaamaan oikosulkumoottoriin verrattuna EC-moottori on energiatehokkaampi kaikilla kierroslukualueilla ja sen energiatehokkuuden ero paranee prosentuaalisesti mitä pienemmillä kierrosluvuilla moottoria käytetään. (ST 21.33 EC- ja PM-moottorit taloteknisissä järjestelmissä.)

9.3 Aurinkovoimala

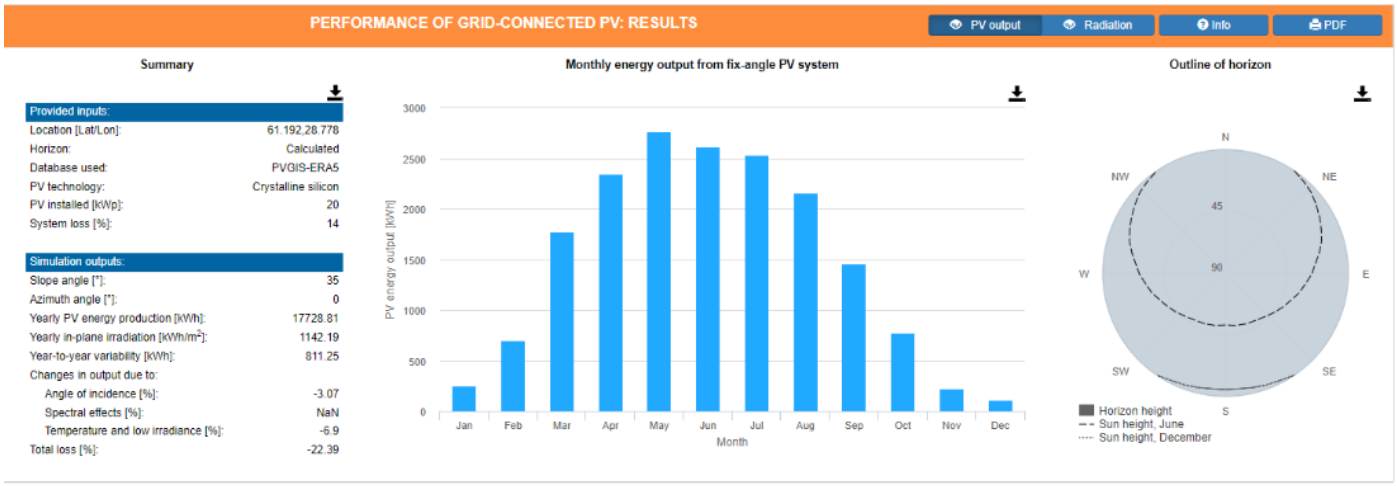
Aurinkovoimalan mitoituksen lähtökohtana tarkasteltiin prosessilaboratoriokiinteistön sähkönkulutusta, joka on tosin vaihdellut viime vuosina runsaasti, johtuen kohtuu suurista käyttöaste-

eroista vuositasoilla. Kun rakennus on ollut kokovuotisessa käytössä vielä vuosina 2019 ja 2020, olivat vastaavat sähkönkulutukset 127498 kWh ja 113796 kWh (Imatran seudun sähkön ilmoittamat kulutuslukemat). Vuosi 2021 kiinteistö oli vain osittaisessa käytössä, jolloin sähkönkulutus oli 83301 kWh. Vuoden 2022 ja 2023 kulutukset on esitetty kuviossa 16. Näinä vuosina kiinteistö ei ole ollut käytössä. Tilojen saneeraus on parasta aikaa käynnissä ja ilmanvaihtokoneet on sammutettu joulukuussa 2022, jotta ilmanvaihtojärjestelmään ei mene rakennuspölyä. Tämän vuoksi vuoden 2023 sähkönkulutus näkyy kuviossa 16 niin paljon pienempänä verrattaessa vuoden 2022 kulutukseen.



Kuvio 16. EG Enerkey energianhallintaohjelman kuvankaappaus kiinteistön sähkönkulutuksesta

Esimerkkinä laskettiin 20 kilowatin aurinkopaneelijärjestelmän tuotto PVGIS-aurinkosähkölaskurilla (kuvio 17). Laskuriin asetettiin auringonsäteilyn alueeksi Imatra ja paneelien suuntaukseksi etelä. Aurinkosähköjärjestelmän suuntauskulma ilmoitetaan niin, että 0° tarkoittaa etelään, –90° itään ja +90° länteen päin. Järjestelmä tarvitsee kattopinta-alaa n. 140m^2.



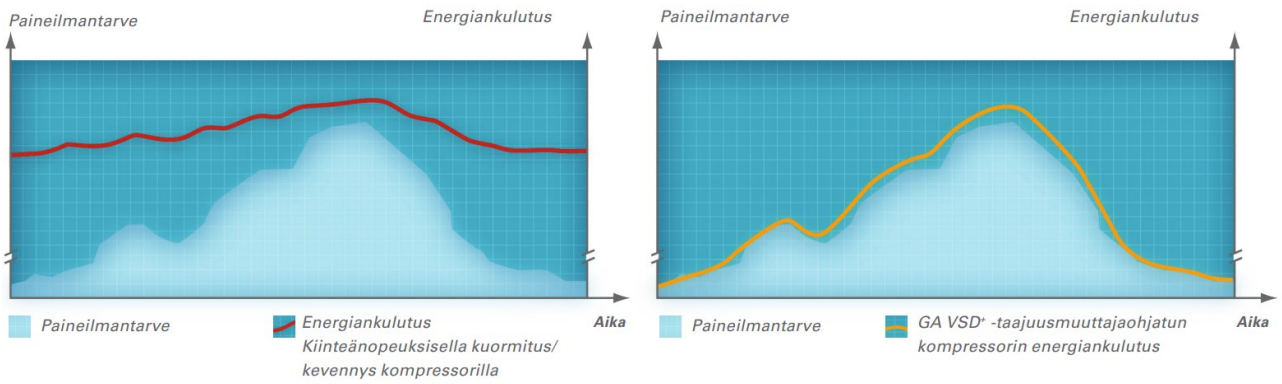
Kuvio 17. Aurinkosähköjärjestelmän arvioitu sähköenergian tuottolaskelma 20 kW:n järjestelmälle Imatralla (Photovoltaic geographical information system.)

Kun tätä laskelmaa vertaa esimerkiksi vuoden 2022 sähköenergian kulutukseen (kuvio 16), niin 20 kW:n aurinkosähköjärjestelmä on siihen verrattaessa järkevä hankinta. Täytyy ottaa huomioon, että sähkönkulutus tulee kuitenkin vielä nousemaan runsaasti vuoden 2022 kulutukseen nähden, kun prosessilaboratorion saneeraus valmistuu ja se otetaan opetuskäyttöön. Kiinteistössä kuluu sähköä runsaimmin päivällä opetustilanteissa (valot, ilmanvaihto, opetuslaitteisto, tietokoneet, paineilmajärjestelmä ym.). Valot sammutetaan työajan päätyttyä ja automaatio on ohjelmoitu lähtökohtaisesti siten, että ilmanvaihto tippuu 50 % käytölle työajan ulkopuolella. Tämän kokoisesta aurinkojärjestelmästä saadaan käytettyä tuotto omaan käyttöön suurimmaksi osaksi. Kuntayhtymän purettavaksi päätyvien rakennusten katoilla on aurinkosähköjärjestelmiä ja niistä kannattaa siirtää tämän kokoisen järjestelmän verran paneeleita prosessilaboratoriokiinteistön katolle. Vaikka 20 kW:n aurinkosähköjärjestelmän kaikki tarvikkeet täytyisi ostaa, on järjestelmän hankinta siltikin taloudellisesti järkevää, koska asennustyö voidaan kokonaisuudessaan toteuttaa joko omien tutkinto-opiskelijoiden asentamana tai työvoimapoliittisen koulutuksen yhteydessä.

9.4 Paineilmajärjestelmä

Prosessilaboratoriokiinteistön paineilmajärjestelmän kompressori on kiinteätuottoinen 15 kW:n tehoinen laite (valmistusvuosi 2005). Kompressori on toimiva mutta sitä ei ole liitetty automaatiojärjestelmään eikä se ole lähes 20 vuotta vanhana laitteena enää kovinkaan energiatehokas. Ainoa ohjaus paineilmakompressorille on aikaohjaus, jonka mukaan kompressori on päällä päivittäin

klo 8–16. Muuttuvatuottoinen kompressori on energiatehokkaampi, koska kompressoria ohjaa taajuusmuuttaja, joka säätää kompressoria käytön tarpeen mukaan. Kuviossa 18 esitetään, kuinka kiinteätuottoinen kompressori keventää kompressorin tehoa, kun paineilman käytön tarve vähenee paineilmaverkossa sekä muuttuvatoimisen kompressorin energiatehokkaampi toiminta.



Kuvio 18. Energiankulutus suhteessa paineilman tarpeeseen käytettäessä kiinteänopeuksista kuormitus/kevennys kompressoria ja muuttuvanopeuksista kompressoria (Paineilmakompressorit.)

Hankintahinnaltaan muuttuvatoiminen kompressori on arvokas verrattuna kiinteätoimiseen kompressoriin ja omiin tarpeisiin oikean laitteen hankinta/valitseminen on energiankulutuksen optimoinnin kannalta tärkeää. Pelkästään sähköenergian säästämisen vuoksi vanhaa toimivaa laitetta ei kannata uusia, vaan sähköenergian säästämiseksi koko paineilmajärjestelmä kannattaa ensin kartoittaa säästötoimenpiteiden toteuttamiseksi. Kun vanha kiinteätuottoinen kompressori on vaihtokunnossa, kannattaa viimeistään siinä vaiheessa paineilman todellinen tarve kartoittaa. On hyvinkin mahdollista, että prosessilaboratorion saneerauksen jälkeen uudet käyttötarpeet eroavat kiinteistön opetuskäyttöön suunnitelluista alkuperäisistä paineilman tarpeista selvästi pienempään suuntaan ja tilalle voidaan hankkia teholtaan pienempi vastaavanlainen kompressori. Jos paineilman tarpeet kasvavat tai pysyvät alkuperäisellä tasolla, voi hyvänä vaihtoehtona miettiä arvokkaampaa muuttuvatuottoista kompressoria, sillä niiden ilmantuotto on huomattavasti energiatehokkaampaa, kuin kiinteätuottoisella kompressorilla. Nousseiden sähkönhintojen vuoksi energiatehokkaampi laite maksaa itsensä takaisin elinkaarensa aikana säästyneen sähköenergian muodossa, riippuen toki vuosittaisesta ilmantuoton tarpeesta.

Prosessilaboratorion saneerauksen myötä paineilman tarve saadaan kiinteistön uuden käyttöasteen myötä selville, jonka jälkeen voidaan miettiä mahdollisia toimenpiteitä paineilman tuoton suhteen. Oikean tehoisella ja tyyppisellä kompressorilla päästään energiatehokkaaseen lopputulokseen. Paineilmaverkoston vuotokohtien tutkiminen ja korjaaminen on edullinen tapa säästää energiaa. Paineilmajärjestelmää täytyy tutkia säännöllisesti vuotokohtien (esim. vuotavat liittimet, reiät putkissa) minimoimiseksi. Kuviosta 19 nähdään vuotorei'istä aiheutuvia ylimääräisiä kustannuksia. Esitetyt laskelmat ovat suuntaa antavia, mutta niistä voidaan nähdä vuotojen tarkkailun taloudelliset hyödyt selvästi.

Vuotoreiän halkaisija mm	Vuotomäärä 8 bar l/min	Kustannukset euroa/vuosi
1	75	290
1,5	150	580
2	260	1 000
3	600	2 320
4	1 100	4 260
5	1 700	6 580

Kuvio 19. Paineilmaverkoston ilmavuotojen kustannuksia (Paineilma-analyysi tuo säästöjä.)

Verkostopaineen todellinen tarve kannattaa myös tutkia, sillä 1 bar:n paineen muutos vaikuttaa energiakulutukseen noin 7 %. Alentamalla verkostopainetta säästetään siis energiaa mutta se täytyy toteuttaa siten, että paineilmaa käyttävien laitteiden toiminnallisuus ei kärsi. Vuotojen aiheuttama energiahukka pienenee myös verkostopainetta laskiessa. Paineilmajärjestelmä kannattaa liittää kiinteistöautomaation osaksi, jotta mahdolliset muutokset ja viat paineilmaverkostossa voidaan huomata nopeammin. Paineilmaverkostossa kannattaa suosia rengasmaista putkistorakennetta, sillä sen painehäviöt ovat pienemmät, kuin oksamaisen paineilmaverkoston rakenteen. Putkien paksuus täytyy myös huomioida, jotta turhia häviöitä voidaan välttää. Ohuemmat putket tarvitsevat korkeamman paineen, joka vaikuttaa energiakulutukseen, kuten edellä on mainittu. Prosessilaboratoriossa kannattaa karsia pois kaikki ylimääräiset paineilmaputkistoverkoston osat, joita ei tulla käyttämään jatkossa. (Paineilmajärjestelmien optimointi.)

Paineilmaverkoston huoltamisella on tärkeä merkitys energiatehokkuuden suhteen ja siksi sen täytyykin olla säännöllistä ja suunnitelmallista. Täytyy huomioida, että putkiston ja kompressorin lisäksi myös kaikki muut järjestelmään kuuluvat laitteet, kuten ilmanlaadun ylläpitoon kuuluva laitteisto pidetään kunnossa. Paineilmajärjestelmien optimointipalveluja on myös tarjolla, joita kannattaa tarvittaessa hyödyntää energiatehokkaiden ratkaisujen etsimisessä. (Miten säästää energiaa paineilmaratkaisuilla?)

9.5 Muut järjestelmät

Prosessilaboratoriokiinteistössä sijaitsee sähköpääkeskushuoneessa loistehon kompensointilaitteisto. Loisteholaitteisto sisältää säätimen (Nokia A12) sekä kaksi kappaletta estokelaparistoja (100 KVar) loistehon kompensointiin. Tarkasti mitoitetulla (riittävällä) kompensoinnilla saadaan tuotettua loisteho oman kiinteistön tarpeisiin, eikä siitä tarvitse maksaa sähkön tuottajalle. Loisteholaitteiston säädin tarkkailee loistehon tuottoa niin, että ylikompensointia ei tapahdu.

Prosessilaboratorion rakennusautomaatiojärjestelmä (Fidelix) on vuonna 2006 käyttöönotettu järjestelmä. Rakennusautomaatiojärjestelmään on liitetty lämmönjakokeskuksen, ulkovalaistuksen, saattolämmityksen ja autolämmitysten ohjaukset. Ohjauksien säädöt ovat valmiiksi riittävän optimaalisella tasolla, eikä niihin tarvitse toistaiseksi tehdä muutoksia. Ilmanvaihtoa automaatiojärjestelmä ohjaa työajan ja sen ulkopuolisen ajan mukaan (100 % ja 50 %). Kiinteistön sisävalaistus ei ole automaatioon liitetty, vaan valaistusta ohjataan paikallisesti valopainikkeista. Paineilmajärjestelmästä tulee hälytys mutta muuten sen ohjausta ei ole liitetty automaatiojärjestelmään. Sähköenergian kulutuksen optimoinnin kannalta automaatiojärjestelmän toiminta on keskeisessä roolissa.

10 Tulokset

10.1 Valaistus

Prosessilaboratoriokiinteistön kaikkien vanhojen valonlähteiden vaihtaminen led-valonlähteiksi laskee valaistuksen aiheuttamaa sähkönkulutusta yli 50 %. Valaistukselle ei ole kiinteistössä erillistä mittausta mutta kiinteistön alkuperäistä valaisinluetteloa ja esimerkkiehdotettujen uusien tilalle vaihdettavien valaisimien tietojen avulla (taulukko 6.) sähkönkulutus voitiin laskea.

Taulukko 6. Lasketut tehot ja sähköenergian kulutus sekä hinnat ja niiden vertailu vanhojen ja uusien valaisimien välillä

Valaisin	Kappalemäärä	Teho/valaisin (kW)	Teho yhteensä (kW)	Käyttötunnit/vrk	€/vrk (0,15 €/kWh sähkö + siirto)	Korvaava valonlähde/huomioita	Valonlähde/valaisin hinta € (ALV 0 %)	
BEGA 6536	3	0,15	0,45	8	0,54	Vanhat valaisimet kompensoinnilla,		
BEGA 6239	25	0,05	1,25	8	1,5	ne eivät tarvitse erillistä kompensointia		
GLAMOX DLT S/P312 258 DL	88	0,116	10,208	8	12,2496			
GLAMOX DLT RL 184 158 BW	20	0,058	1,16	8	1,392			
ENSTO AVR 4.29	9	0,018	0,162	8	0,1944			
GLAMOX TINA KL 258 BW	4	0,116	0,464	8	0,5568			
IDMAN 402 CWH DS SW	6	0,018	0,108	8	0,1296			
GLAMOX TINA KL 236 HF	10	0,072	0,72	8	0,864			
GLAMOX DLT RL 184 158 BW	7	0,058	0,406	8	0,4872			
GLAMOX GPM65 BASIC 258PC	40	0,116	4,64	8	5,568			
GLAMOX DLT S/P312 258 DL	22	0,116	2,552	8	3,0624			
GLAMOX GDS 250F HI/HS	33	0,25	8,25	8	9,9			
GLAMOX ALLE SINGLE125HME	6	0,125	0,75	8	0,9			
GLAMOX MAXZ67 218TWPCP20	2	0,036	0,072	8	0,0864			
YHTEENSÄ	275	1,3	31,2	112	37,4			
Valaisin uusi korvaava	Kappalemäärä	Teho/valaisin (kW)	Teho yhteensä (kW)	Käyttötunnit/vrk	€ /vrk (0,15 €/kWh sähkö + siirto)			
								LED-LAMPPU AIRAM A67 840 2452lm
(BEGA 6536) tilalle Led-valonlähde	3	0,02	0,06	8	0,072	20W Led vastaa 150W (E27) halogeenia valontuotolta	10	E27 SUPER OP
(BEGA 6239) tilalle Led-valonlähde	25	0,017	0,425	8	0,51	Led E27-kannalla	10	LED-LAMPPU AIRAM A67 840 1921lm E
GLAMOX DLT S/P312 258 DL	88	0,058	5,104	8	6,1248	RIPUSTUSVALAISIN OFFICE P 1545 58W/840 DA2 AL MA WH P AIRAM	215	
GLAMOX DLT RL 184 158 BW	20	0,024	0,48	8	0,576	Led putken vaihto (150cm) 24W korvaa 58W loisteputken	10	LED-VALOPUTKI T8 EM 1500 24W/840
ENSTO AVR 4.29	9	0,014	0,126	8	0,1512	Ensto AVR320.114L/DW 14W	116	
GLAMOX TINA KL 258 BW	4	0,054	0,216	8	0,2592	AIRAM Teollisuusvalaisin TRI-PROOF SULJET1500 54W	82	
IDMAN 402 CWH DS SW	6	0,011	0,066	8	0,0792	AIRAM Työpistevalaisin handy 11W	60	
GLAMOX TINA KL 236 HF	10	0,041	0,41	8	0,492	AIRAM Teollisuusvalaisin SULJETTU 41W/840 PCO GR	75	
GLAMOX DLT RL 184 158 BW	7	0,034	0,238	8	0,2856	ENSTO Moduulivalaisin Diana DL3X120 34W	169	
GLAMOX GPM65 BASIC 258PC	40	0,051	2,04	8	2,448	ONNLINE Teollisuusvalaisin SULJ.ONNPROOF. IP66 51W	77	
GLAMOX DLT S/P312 258 DL	22	0,058	1,276	8	1,5312	RIPUSTUSVALAISIN OFFICE P 1545 58W/840 DA2 AL MA WH P AIRAM	215	
GLAMOX GDS 250F HI/HS	18	0,14	2,52	8	3,024	18 kpl 140W Northcliffe Led 1x21000 T840	110	
GLAMOX ALLE SINGLE125HME	6	0,125	0,75	8	0,9	TForce Core LED HPL 36W E27 840 FR	52	TForce Core LED HPL 36W E27 840 FR
GLAMOX MAXZ67 218TWPCP20	2	0,036	0,072	8	0,0864	Atex-valaisimet uusitaan tarvittaessa/käyttöaste hyvin vähäinen		
YHTEENSÄ	260	0,7	13,8	112	16,5		33167	
Rakennuksen käyttö ja valaistuksen tarve 9 kk/vuosi								
JOS vanhat valaisimet korvataan uusilla, säästö €/vu		3760,3						
Laskelmassa oletetaan, että kaikki valot ovat päällä 9 kk ajan arkipäivisin 8 h/pvä								

Investoinnin kannattavuutta laskiessa käytettiin seuraavia ehtoja:

- Oletetaan, että kaikki valaisimet ovat päällä arkipäivisin 8 h/vrk
- Rakennuksen käyttö ja sen myötä valaistuksen tarve on 9kk/vuosi
- Sähkön hinnaksi arvioitu 0,15 €/kWh (sähkö + siirto)
- Kuntayhtymän tavoitteena on suorittaa kiinteistön saneeraus ja myös valaistuksen uusiminen pääasiassa oppilastyönä, joten työkuluja ei valaistuksen uusimisessa huomioida

Näillä ehdoilla vanha valaistus kuluttaa sähköenergiaa lukuvuoden aikana 36 viikkoa x 5 päivää x 249,5 kW (päivän kulutus) = 44 910 kWh

Kulutetun sähköenergian hinta vanhoilla valaisimilla 0,15 €/kWh x 44 910 kWh = 6736,5 €

Uusi valaistus kuluttaa sähköenergiaa lukuvuoden aikana 36 viikkoa x 5 päivää x 110,3 kW (päivän kulutus) = 19 854 kWh

Kulutetun sähköenergian hinta uusilla valaisimilla 0,15 €/kWh x 19 854 kWh = 2978,1 €

Edellä mainituilla ehdoilla led-valaistuksella säästetään lukuvuoden aikana sähköenergiaa 25 056 kWh. 0,15 €/kWh-kustannuksilla laskettuna rahallinen säästö on noin 3760 €/vuosi.

Uusien valaisimien hankintahinta (ALV 0 %) katsottiin eri yritysten verkkokaupoista ja niihin perustuen uusien valaisimien hankintahinta olisi noin 33 200 €. Toki Kuntayhtymä kilpailuttaa valaisinhankinnat, kun sen aika koittaa ja sitä kautta valaisimien hankintahinta lopulta muodostuu.

Asennustyö tehdään oppilastyönä, kuten aiemmin oli mainittu ja valaistuksen vanhan olemassa olevan kaapeloinnin voi käyttää hyödyksi asennuksissa suurimmaksi osaksi. Näin ollen valaistuksen uusimisen hinta muodostuu hyvin pitkälti valaisimien hinnasta. Myös valaistuksen uusimisen suunnittelu tehdään pääasiassa itse (liite 7), esimerkiksi prosessilaboratorion korkea halliosa on saanut jo uuden energiatehokkaan valaistuksen, joka toteutettiin oppilastyönä ja omalla suunnitelmalla. Laskettujen tehojen ja kustannusten perusteella yksinkertaisella takaisinmaksuajalla laskettuna investointi maksaisi itsensä takaisin noin 8,8 vuodessa (33 200 €/ 3760 €/vuosi).

Led-valaisimien elinkaari on kymmeniätuhansia käyttötunteja ja sytytyskertoja. Opetusrakennuksen uuden led-valaistuksen elinkaari voi olla esimerkiksi 15–25 vuotta. Taulukossa 7 esitetään nettonykyarvomenetelmällä tehty laskelma valaisininvestoinnin kannattavuudesta.

Taulukko 7. Valaisininvestoinnin nettonykyarvolaskelma

Sisäinen korko + NNA				Annuiteetti (maksu)
Investoinnin tuotto 4% -korolla			Lainan korko 4 %	
Perushankintakustannus 33 200 €			12 vuoden maksuaika	
Vuosittain 3760 € nettotuotto			Lainaa 33 200 €	
Jäännösarvo 0 €			Vuosittainen erä? (annuiteetti)	
Sisäinen korkokanta laskettuna			Negatiivinen luku (kulu)	
Korko	4 %		Lainan korko	4 %
Perushankinta	- 33 200,00 €		Maksuerät	12
Nettotuotto 1. vuosi	3 760,00 €		Lainan määrä	33 200,00 €
Nettotuotto 2. vuosi	3 760,00 €			
Nettotuotto 3. vuosi	3 760,00 €			
Nettotuotto 4. vuosi	3 760,00 €			
Nettotuotto 5. vuosi	3 760,00 €			
Nettotuotto 6. vuosi	3 760,00 €			
Nettotuotto 7. vuosi	3 760,00 €			
Nettotuotto 8. vuosi	3 760,00 €			
Nettotuotto 9. vuosi	3 760,00 €			
Nettotuotto 10. vuosi	3 760,00 €			
Nettotuotto 11. vuosi	3 760,00 €			
Nettotuotto 12. vuosi	3 760,00 €			
NNA	35 287,88 €		Annuiteetti	-3 537,53 €
SISÄINEN KORKO	5,07 %			
Kannattavuus (NNA-perushankinta)	2 087,88 €			

Nettonykyarvolaskelman mukaan lainarahalla tehty valaisininvestointi neljän prosentin korolla laskettuna maksaisi itsensä säästöjen muodossa takaisin alle kahdessatoista vuodessa. Kun huomioidaan led-valojen pidempi odotettavissa oleva elinkaari, voidaan todeta, että investoiminen uusiin led-valaisimiin olisi taloudellisesti kannattavaa, jos valaisinvalmistajien ilmoittamat elinkaaritiedot toteutuvat. Led-valaistukseen siirtymisessä on taloudellisessa mielessä hyötynä myös valaistuksen huoltotarpeen väheneminen.

Ulkopuolisen urakoitsijan toteuttamana asennuskulut kasvattaisivat takaisinmaksuaikaa muutamalla vuodella. Sähköurakoitsijat käyttävät sähköurakanlaskentaohjelmaa tai käsin laskentaan perustuvia menetelmiä urakkahinnan selvittämiseksi. Sähköistys- ja sähköasennusalan työehtosopimuksessa on esimerkiksi urakkahinnoitteluohje. Jos valaistuksen uusimiseen käytetään sähköurakoitsijaa, saataisiin takaisinmaksuaika selvitettyä vasta urakkatarjousten ja toteutuneen urakan myötä.

10.2 Ilmanvaihtojärjestelmä

Prosessilaboratorion ilmanvaihtojärjestelmän laitteet ovat alkuperäiset. Energiatehokkuus on kehittynyt ja vanhojen ilmanvaihtopuhallinmoottorien (oikosulkumoottori + taajuusmuuttaja) tilalle voi harkita vaihdettavaksi EC-puhaltimia tai vanhojen oikosulkumoottorien tilalle korkeamman hyötysuhteen oikosulkumoottoreita. Esimerkkinä käytettävä EC-puhaltimien vaihdosta saatu budjettitarjous sisältää kahdeksan EC-puhallinta ja on seuraavanlainen:

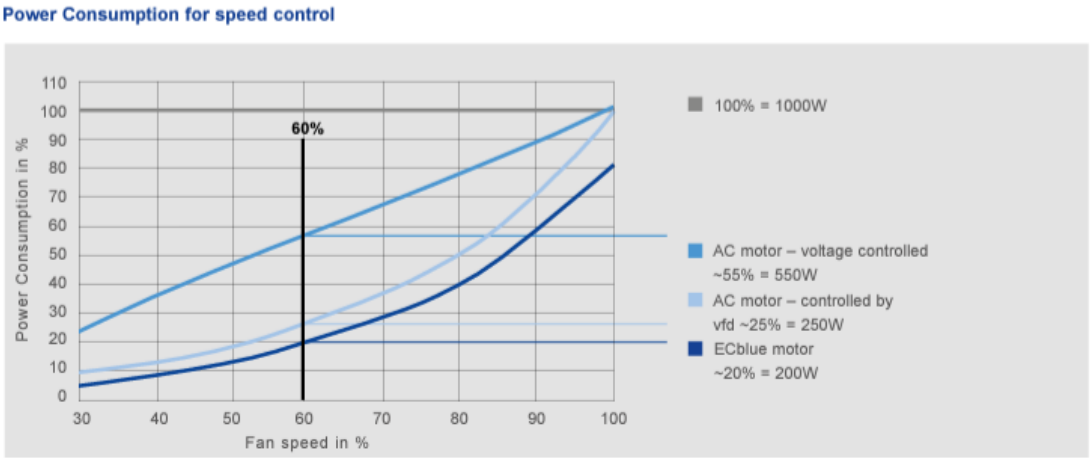
Taulukko 8. Budjettitarjous EC-puhaltimista

Kojeen tunnus	Malli	Määrä	Kojeen nettohinta
A. 1TK1	KS-4	1	€ 3 972,00
B. 1PK1	KS-1	1	€ 1 920,00
C. 1PK2 ja 1PK3	KS-1	2	€ 3 840,00
D. 1PK7	KS-1	1	€ 1 920,00
E. 1PK8	KS-1	1	€ 2 003,00
F. 2TK1	KS-3	1	€ 3 336,00
G. 2PK1	KS-2	1	€ 2 908,00
Kokonaistarjous		8	€ 19 899,00
Arvonlisävero 24%			€ 4.775,76
Tarjoushinta sisältäen arvonlisäveron			€ 24.674,76

- Laitteet (sisältää myös uusien puhaltimien parametroinnin tehtaalla, kaapelit kiepillä ja puhaltimien asennuslevyt)
- Asennustyöt tulevat lisäksi projektin hintaan, joita ovat IV-urakoitsijan ja sähkö- ja automaatioasentajan työt. Ilmanvaihtolaitteiden toimittajan mukaan töihin (vanhan purku ja uuden asentaminen) menevä aika on molemmilta asentajilta yhteensä arviolta noin 4–6 tuntia/puhallin ja koko urakassa noin 32–48 tuntia töitä. Lisäksi tarvitaan automaatiojärjestelmään pieniä muutoksia ja jonkin verran kaapelointia.
- Kustannusarvio koko urakalle oli noin 25 000 € (ALV 0 %), jota käytettiin tässä työssä investointilaskelmassa ilmanvaihtosaneerauksen hintana.

Puhaltimien sähkönkulutuksen esimerkkilaskennassa käytettiin puhaltimien sähkönkulutukseen kahta eri tilannetta, jotka olivat ilmanvaihdon käyttö 100 %:lla ja 50 %:lla. Puhaltimet käyvät 100 %:lla klo 7–17 arkipäivisin ja 50 %:lla loput tunnit arkipäivien vuorokausista sekä viikonloput ja lomakaudet. **100 %:lla** ilmanvaihtopuhaltimet käyvät 200 vrk x 10 h = **2000 h/vuosi** ja **50 %:lla** ilmanvaihtopuhaltimet käyvät ((200 x 14 h) + ((lomakaudet ja viikonloput)165 x 24 h)) = **6760 h/vuosi.** Näiden tuntimäärien perusteella laskettiin suuntaa antava sähköenergian säästö vuodessa, jos nykyiset oikosulkumoottorikäytöt vaihdetaan EC-puhallinmoottoreiksi.

Nämä seuraavan laskennan lähtötiedot saatiin prosessilaboratorion olemassa olevan ilmanvaihtojärjestelmän toimittajalta. Kyseessä olivat puhaltimien ottamat tehot sähköverkosta suunnitelluilla ilmavirroilla puolilikaisen suodattimen mukaan (keskimääräinen tilanne). Lisäksi laskennassa käytettiin hyödyksi Ziehl-Abeggin esitteen kuviota 20. Kuvion tehoalue on pienempi, kuin prosessilaboratorion suurimmat puhaltimet mutta osa kiinteistön pienemmistä puhaltimista on kuviossa esitetyllä tehoalueella.



Kuvio 20. Nopeusohjattujen puhaltimien (1000 Wattiin saakka) tehontarve eri kierroslukunopeuksilla (ECblue high efficiency motors)

Jos vanhat puhallinmoottorit (oikosulkumoottori + taajuusmuuttaja) vaihdetaan EC-puhaltimiin (taulukko 8), saadaan prosessilaboratorion ilmanvaihdossa sähköenergian säästöjä vuositasolla alla olevan taulukon 9 laskennan mukaisesti. 100 % puhallinnopeudella saadut tehoarvot vanhoille ja uusille saneeraukseen ehdotetuille puhaltimille olivat kiinteistön alkuperäisen ilmanvaihtolaitteiston toimittajalta saatuja. 50 % puhallinnopeuden tehoarvot laskettiin jokaisen moottorin mitoitustaajuuden suhteella 50 Hz:n taajuuteen nähden ja suhdeluvun avulla tehon prosentuaalinen osuus täyden nopeuden tehosta arvioitiin kuviosta 20.

Taulukko 9. Vuosittainen arviolaskelma sähköenergian säästöstä EC-puhaltimilla (energian hinta sähkö + siirto)

Prosessilaboratorio, Sampo, Imatra		Tehonkulutus sähköverkosta 100 % käytöllä:	Vanhat AC-puhallinmoottorit ovat hyötysuhdeluokkaa IE1, moottoreita ohjataan taajuusmuuttajilla				
	Alla olevat tehoarvot (100 %:n nopeus) on saatu kiinteistön ilmanvaihtolaitteiston toimittajal		EC-puhallinmoottorien hyötysuhdeluokka on IE5				
Positio	**Teho vanhalla puhaltimella (kW)**	**Teho EC-puhaltimella (kW)**	**Erotus (kW)**	**Käyntiaika vuodessa (h)**	**Energian säästö vuodessa (kWh)**	**Energian hinta (€/kWh)**	**Säästö vuodessa (€)**
1TK1	5,14	4,52	0,62	2000	1240,00	0,15	186,00
1PK1	0,54	0,42	0,12	2000	240,00	0,15	36,00
1PK2	0,52	0,39	0,13	2000	260,00	0,15	39,00
1PK3	0,52	0,39	0,13	2000	260,00	0,15	39,00
1PK7	0,70	0,50	0,2	2000	400,00	0,15	60,00
1PK8	0,88	0,71	0,17	2000	340,00	0,15	51,00
2TK1	2,83	2,29	0,54	2000	1080,00	0,15	162,00
2PK1	1,58	1,38	0,2	2000	400,00	0,15	60,00
Yhteensä	12,71	10,60	2,11		**4220,00**	sähkö + siirto	**633,00**
		Tehonkulutus sähköverkosta 50 % käytöllä:					
AC-puhaltimien tehontarve on laskettu jokaisen moottorin mitoitustaajuuden suhteella 50 Hz:n taajuuteen nähden ja suhdeluvun avulla on tehon prosentuaalinen osuus täyden nopeuden tehosta arvioitu kuviosta 20							
Positio	**Teho vanhalla AC-puhaltimella (kW)**	**EC-puhaltimen arvioitu teho (hyötysuhde 10 % korkeampi (kuvio 21)) (kW)**	**Erotus (kW)**	**Käyntiaika vuodessa (h)**	**Energian säästö vuodessa (kWh)**	**Energian hinta (€/kWh)**	**Säästö vuodessa (€)**
1TK1	0,98	0,88	0,10	6760	660,18	0,15	99,03
1PK1	0,20	0,18	0,02	6760	135,06	0,15	20,26
1PK2	0,19	0,17	0,02	6760	130,06	0,15	19,51
1PK3	0,19	0,17	0,02	6760	130,06	0,15	19,51
1PK7	0,32	0,28	0,03	6760	212,94	0,15	31,94
1PK8	0,33	0,29	0,03	6760	220,11	0,15	33,02
2TK1	0,74	0,66	0,07	6760	497,40	0,15	74,61
2PK1	0,30	0,27	0,03	6760	202,94	0,15	30,44
Yhteensä	3,24	2,91	0,32		**2188,75**	sähkö + siirto	**328,31**
					Kokonaissäästö yhteensä (€)		**961,31**

Yksinkertainen takaisinmaksuaika ilmanvaihdon saneeraukselle EC-puhallinkäyttöiseksi on 25 000 € (budjettitarjous + arvioidut asennuskustannukset) / 961,3 € (sähköenergian säästö vuodessa) = 26 vuotta.

EC-puhaltimien elinkaareksi ilmoittaa esimerkiksi valmistaja Ziehl-Abegg 40 000 tuntia jatkuvassa käytössä täydellä teholla korkeimmassa sallitussa lämpötilassa (Asennusohje ECblue Basic). Prosessilaboratorion ilmanvaihtopuhaltimet käyvät 100 %:n nopeudella (ilmanvaihtojärjestelmän suunniteltuun ilmamäärään verrattaessa) 2000 tuntia vuodessa ja loppuajan 6760 tuntia 50 %:n nopeudella. Tämän perusteella elinkaarta voidaan arvioida, esimerkiksi 40 000 tuntia täydellä teholla ajoa tulee täyteen 20 vuodessa. Usein ilmanvaihtojärjestelmän tarvittaviin maksimi-ilmamääriin ei tarvita kuitenkaan puhaltimen täyttä tehoa, joka vaikuttaa puhaltimen elinkaareen pidentämällä sitä. Taulukossa 10 esitetään nettonykyarvomenetelmällä tehty laskelma ilmanvaihtosaneerauksen investoinnin taloudellisesta kannattavuudesta vaihdettaessa vanhat puhallinmoottorit EC-puhaltimiin.

Taulukko 10. Nettonykyarvolaskelma ilmanvaihtosaneerauksen toteuttamisesta EC-puhaltimilla

Sisäinen korko + NNA			Annuiteetti (maksu)	
Investoinnin tuotto 4% -korolla		Lainan korko 4 %		
Perushankintakustannus 25 000 €		15 vuoden maksuaika		
Vuosittain 960 € nettotuotto		Lainaa 25 000 €		
Jäännösarvo 0 €		Vuosittainen erä? (annuiteetti)		
Sisäinen korkokanta laskettuna		Negatiivinen luku (kulu)		
Korko	4 %	Lainan korko	4 %	
Perushankinta	- 25 000,00 €	Maksuerät	15	
Nettotuotto 1. vuosi	960,00 €	Lainan määrä	25 000,00 €	
Nettotuotto 2. vuosi	960,00 €			
Nettotuotto 3. vuosi	960,00 €			
Nettotuotto 4. vuosi	960,00 €			
Nettotuotto 5. vuosi	960,00 €			
Nettotuotto 6. vuosi	960,00 €			
Nettotuotto 7. vuosi	960,00 €			
Nettotuotto 8. vuosi	960,00 €			
Nettotuotto 9. vuosi	960,00 €			
Nettotuotto 10. vuosi	960,00 €			
Nettotuotto 11. vuosi	960,00 €			
Nettotuotto 12. vuosi	960,00 €			
Nettotuotto 13. vuosi	960,00 €			
Nettotuotto 14. vuosi	960,00 €			
Nettotuotto 15. vuosi	960,00 €			
NNA	10 673,65 €	Annuiteetti	-2 248,53 €	
SISÄINEN KORKO	-6,22 %			
Kannattavuus (NNA-perushankinta)	-14 326,35 €			

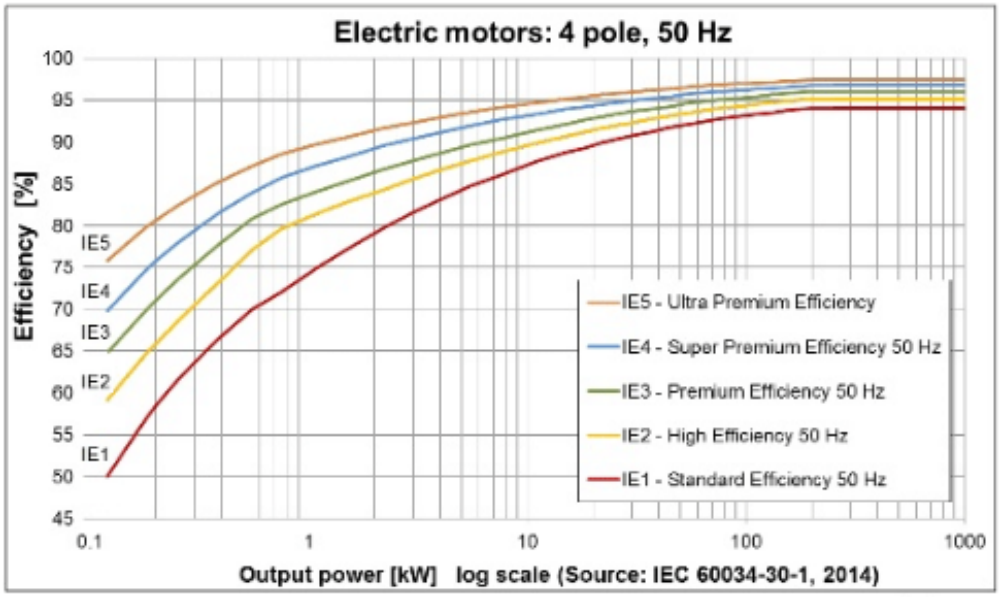
Nettonykyarvolaskelman perusteella 4 %:n lainakorolla laskettuna, investoinnin takaisinmaksuaika muodostuu pitkäksi ja sen perusteella vanhoja toimivia puhaltimia ei kannata vaihtaa pelkän sähköenergian säästön perusteella EC-puhaltimiksi.

Kuvion 20 perusteella puhallinta pyörittävä taajuusmuuttajaohjattu oikosulkumoottori tarvitsee 50 %:n nopeudella noin 19 %:a tehoa maksimitehontarpeeseen verrattaessa. Prosessilaboratorion puhallinmoottorin mittausten perusteella tulos on hiukan vielä parempi. 50 % nopeudella (25 Hz) puhallin 1TK1 vie pihtivirtamittarilla mitattuna vaiheista L1, L2 ja L3: 1,16 A, 1,02 A ja 1,01 A (vaihevirran keskiarvo 1,06 A) virtaa. Puhaltimen verkosta ottamaksi tehoksi 50 % puhaltimen pyörimisnopeudella saadaan näin ollen $P_{(puhallinteho\ verkosta)} = \sqrt{3} \times 400\ V \times 1{,}06\ A \times 0{,}82\ (\cos \varphi) = 602{,}2\ W$

Kyseisen puhaltimen ottama teho verkosta 100 % nopeudella on 5,14 kW (puhallintoimittajan ilmoittama arvo) ja taajuusmuuttaja ohjauksella puhaltimen tehonkulutus on 50 %:n puhallusnopeudella 602,2 W. Prosentuaalisesti puolikkaalla nopeudella puhallin vie tehoa täyteen puhallusnopeuteen verrattuna (602,2 W / 5140 W) x 100 = 11,7 %. Tämän laskelmalla perusteella tässä tapauksessa taajuusmuuttaja ohjattu puhallinmoottori antaa paremman tuloksen energiatehokkuudessa työssä käytettyyn EC-moottorin kuviossa 20 olevaan tehokäyrään verrattaessa. EC-puhaltimen teho 50 %:n nopeudella on noin 14 % maksimitehonkulutuksesta, kun arvo katsotaan kuviosta 20. On kuitenkin huomioitavaa, että kuviossa 20 esitetty tehoalue on huomattavasti pienempi, kuin edellä mainitun puhallinmoottorin teho. Tämän vuoksi tarkkaa päätelmää energiatehokkuuden vertailussa puhaltimen 1TK1 ja EC-moottorin kuvion 20 tehokäyrän välillä ei voitu tehdä.

Prosessilaboratorion ilmavaihtojärjestelmän puhallinmoottorit ja niitä ohjaavat taajuusmuuttajat alkavat olla kuitenkin elinkaarensa loppupuolella. EC-puhallinmoottorien vaihtaminen tilalle on hyvä vaihtoehto, jos kiinteistön odotettavissa oleva elinkaari on tarpeeksi pitkä. Uusi AC-moottori (oikosulkumoottori) ja taajuusmuuttaja sekä niiden asennuskulut verrattuna EC-moottoriin asennuskuluineen ovat kustannuksiltaan lähellä toisiaan, kun tehdään uusia kohteita. Saneerauksessa taas EC-puhallinmoottorin vaihdossa oikosulkupuhallinmoottorin tilalle täytyy tehdä muutostöitä, kun taas vanhan oikosulkupuhallinmoottorin ja vanhan taajuusmuuttajan tilalle uusien vastaavien laitteiden asentaminen on helpompaa, kun voidaan käyttää enemmän mm. vanhaa kaapelointia hyväksi. EC-moottorin hyvä puoli on, että se ei tarvitse erillistä taajuusmuuttajaa, koska sen ohjauselektroniikka on integroitu itse puhallinmoottoriin. Esimerkiksi tuloilmakojeelle 1TK1, EC-moottorin nettohinta on n. 4000 €, kun taas IE3-energiansäästömoottori ja sitä ohjaava uusi taajuusmuuttaja maksaisivat nettohinnaltaan 1200 € + 1300 € = 2500 €.

EC-moottorien vaihtoehtona on vaihtaa vanhat IE1-hyötysuhteen oikosulkumoottorit IE3-hyötysuhteen oikosulkumoottoreihin, jolloin asennus on nopeaa ja hankintakustannukset ovat pienemmät EC-puhaltimiin verrattuna, tosin sillä edellytyksellä, että vanhoja taajuusmuuttajia ei tarvitse vielä vaihtaa uusiin. Esimerkiksi prosessilaboratorion puhaltimen 1TK1 oikosulkumoottori on Brook Cromptonin valmistama T-DA132SA4 (5,5 kW), jonka hyötysuhde on 85,8 % (moottorin akselilta saatava teho jaettuna verkosta otetulla teholla) ja tehokerroin cos φ on 0,82 (virran ja jännitteen välinen vaihe-ero vaihtovirtapiirissä). Sen tilalle voi esimerkiksi vaihtaa IE3-hyötysuhteen moottorin. Esimerkkinä Klee drive T3C-sarjan 132S-4 IE3 hyötysuhdeluokan oikosulkumoottori. Kyseisen sarjan 5,5 kW:n moottorin hyötysuhde on 89,6 % (Sähkömoottorit). Vanhan moottorin ja uuden energiatehokkaamman moottorin hyötysuhteessa on noin 4 %:n ero. Kuviossa 21 esitetään IE-energiatehokkuusluokat ja niiden hyötysuhteet eri tehoisille moottoreille. Kuviosta nähdään, että esimerkiksi prosessilaboratorion ilmanvaihtomoottoreiden tehoalueella (0,1–6 kW) hyötysuhteissa on selkeä ero toisiinsa nähden.



Kuvio 21. IE energiatehokkuusluokat 4-napaisille 50 Hz:n moottoreille (IE efficiency classes for 4 pole motors at 50 Hz)

Taulukossa 11 esitetään esimerkki IE3-energiansäästömoottoreiden hinnastosta. Kyseessä ovat oikosulkumoottorit, jotka tarvitsevat puhallinkäytössä taajuusmuuttajaohjauksen. Vanhat tällä hetkellä käytössä olevat puhallinmoottorit ovat IE1-energiatehokkuusluokan oikosulkumoottoreita.

Taulukko 11. VEM IE3-energiansäästömoottoreiden (W4-sarja) hinnasto 2023 (alv 0 %) (Electric drives)

TEHO kW	TYYPPI	HINTA
3000 min-1		
0,12	IE3 - W41R 56 G2	275,00
0,18	IE3 - W41R 63 K2	282,00
0,25	IE3 - W41R 63 G2	290,00
0,37	IE3 - W42R 71 K2	293,00
0,55	IE3 - W41R 71 GY2	308,00
0,75	IE3 - W42R 80 K2	323,00
1,1	IE3 - W41R 80 GY2	368,00
1,5	IE3 - W42R 90 S2	422,00
2,2	IE3 - W41R 90 LY2	502,00
3	IE3 - W41R 100 LY2	684,00
4	IE3 - W41R 112 MY2	840,00
5,5	IE3 - W41R 132 S2T	1 090,00

TEHO kW	TYYPPI	HINTA
1500 min-1		
0,12	IE3 - W41R 63 K4	286,00
0,18	IE3 - W41R 63 G4	295,00
0,25	IE3 - W41R 71 K4	306,00
0,37	IE3 - W41R 71 GY4	309,00
0,55	IE3 - W41R 80 K4	351,00
0,75	IE3 - W41R 80 G4	390,00
1,1	IE3 - W41R 90 SY4	415,00
1,5	IE3 - W41R 90 LX4	582,00
2,2	IE3 - W41R 100 L4	762,00
3	IE3 - W41R 100 LZ4	873,00
4	IE3 - W42R 112 M4	1 000,00
5,5	IE3 - W43R 132 SY4	1 170,00

Esimerkkilaskelma vanhojen IE1-hyötysuhdeluokan puhallinmoottoreiden sähköenergian kulutuksen muutoksesta, kun ne korvataan IE3-hyötysuhdeluokan puhallinmoottoreiksi, esitetään taulukossa 12. Laskennassa käytettiin moottoreiden hyötysuhteessa ilmoitettua 4 prosentin eroa, jonka avulla tulokset laskettiin.

Taulukko 12. Esimerkkilaskelma sähköenergian kulutuksen muutoksesta puhallinmoottoreiden IE1- ja IE3-hyötysuhdeluokkien välillä

Prosessilaboratorio, Sampo, Imatra		Tehonkulutus sähköverkosta 100 % käytöllä:	Vanhat AC-puhallinmoottorit ovat hyötysuhdeluokkaa IE1, moottoreita ohjataan taajuusmuuttajilla				
	Alla olevat tehoarvot (100 %:n nopeus) on saatu kiinteistön ilmanvaihtolaitteiston toimittajal		EC-puhallinmoottorien hyötysuhdeluokka on IE5				
Positio	Teho vanhalla puhaltimella (kW)	Teho IE3-moottorin ohjaamalla puhaltimella (kW)	Erotus (kW)	Käyntiaika vuodessa (h)	Energian säästö vuodessa (kWh)	Energian hinta (€/kWh)	Säästö vuodessa (€)
1TK1	5,14	4,93	0,21	2000	411,20	0,15	61,68
1PK1	0,54	0,52	0,02	2000	43,20	0,15	6,48
1PK2	0,52	0,50	0,02	2000	41,60	0,15	6,24
1PK3	0,52	0,50	0,02	2000	41,60	0,15	6,24
1PK7	0,70	0,67	0,03	2000	56,00	0,15	8,4
1PK8	0,88	0,84	0,04	2000	70,40	0,15	10,56
2TK1	2,83	2,72	0,11	2000	226,40	0,15	33,96
2PK1	1,58	1,52	0,06	2000	126,40	0,15	18,96
Yhteensä	12,71	12,20	0,51		1016,80	sähkö + siirto	152,52
		Tehonkulutus sähköverkosta 50 % käytöllä:					
AC-puhaltimien tehontarve on laskettu jokaisen moottorin mitoitustaajuuden suhteella 50 Hz:n taajuuteen nähden ja suhdeluvun avulla on tehon prosentuaalinen osuus täyden nopeuden tehosta arvioitu kuviosta 20							
Positio	Teho vanhalla AC-puhaltimella (kW)	IE3-moottorilla ohjatun puhaltimen arvioitu teho (hyötysuhde 4 % korkeampi, tieto valmistajan sivuilta) (kW)	Erotus (kW)	Käyntiaika vuodessa (h)	Energian säästö vuodessa (kWh)	Energian hinta (€/kWh)	Säästö vuodessa (€)
1TK1	0,98	0,94	0,04	6760	264,07	0,15	39,61
1PK1	0,20	0,19	0,01	6760	54,03	0,15	8,10
1PK2	0,19	0,18	0,01	6760	52,02	0,15	7,80
1PK3	0,19	0,18	0,01	6760	52,02	0,15	7,80
1PK7	0,32	0,30	0,01	6760	85,18	0,15	12,78
1PK8	0,33	0,31	0,01	6760	88,04	0,15	13,21
2TK1	0,74	0,71	0,03	6760	198,96	0,15	29,84
2PK1	0,30	0,29	0,01	6760	81,17	0,15	12,18
Yhteensä	3,24	3,11	0,13		875,50	sähkö + siirto	131,33
					Kokonaissäästö yhteensä (€)		283,85

Uudet vastaavat IE3-energiatehokkuusluokan oikosulkumoottorit maksavat noin 4800 € (alv 0 %) ja töiden osuus on noin 1500 €. Lasketaan 6300 €:n kustannuksella investoinnin kannattavuus. Yksinkertainen takaisinmaksuaika on 6300 (€) / 284 (€/vuosi) = 22 vuotta. Nettonykyarvolaskennalla perusteella investoinnissa on sama tilanne, kuin EC-puhaltimienkin kohdalla, eli hankinta ei ole kannattava pelkän energiansäästön vuoksi. Vanhojen puhallinmoottoreiden vaihtoa uusiin esimerkiksi IE3-energiatehokkuusluokan puhallinmoottoreihin kannattaakin harkita vasta, kun vanhojen puhallinmoottoreiden elinkaari alkaa olla lopussa.

Taulukko 13. IE3-energiatehokkuusluokan oikosulkumoottoreiden investoinnin kannattavuus nettonykyarvomenetelmällä laskettuna

Sisäinen korko + NNA				Annuiteetti (maksu)
Investoinnin tuotto 4% -korolla			Lainan korko 4 %	
Perushankintakustannus 6300 €			15 vuoden maksuaika	
Vuosittain 284 € nettotuotto			Lainaa 6300 €	
Jäännösarvo 0 €			Vuosittainen erä? (annuiteetti)	
Sisäinen korkokanta laskettuna			Negatiivinen luku (kulu)	
Korko	4 %		Lainan korko	4 %
Perushankinta	- 6 300,00 €		Maksuerät	15
Nettotuotto 1. vuosi	284,00 €		Lainan määrä	6 300,00 €
Nettotuotto 2. vuosi	284,00 €			
Nettotuotto 3. vuosi	284,00 €			
Nettotuotto 4. vuosi	284,00 €			
Nettotuotto 5. vuosi	284,00 €			
Nettotuotto 6. vuosi	284,00 €			
Nettotuotto 7. vuosi	284,00 €			
Nettotuotto 8. vuosi	284,00 €			
Nettotuotto 9. vuosi	284,00 €			
Nettotuotto 10. vuosi	284,00 €			
Nettotuotto 11. vuosi	284,00 €			
Nettotuotto 12. vuosi	284,00 €			
Nettotuotto 13. vuosi	284,00 €			
Nettotuotto 14. vuosi	284,00 €			
Nettotuotto 15. vuosi	284,00 €			
NNA	3 157,62 €		Annuiteetti	-566,63 €
SISÄINEN KORKO	-4,53 %			
Kannattavuus (NNA-perushankinta)	-3 142,38 €			

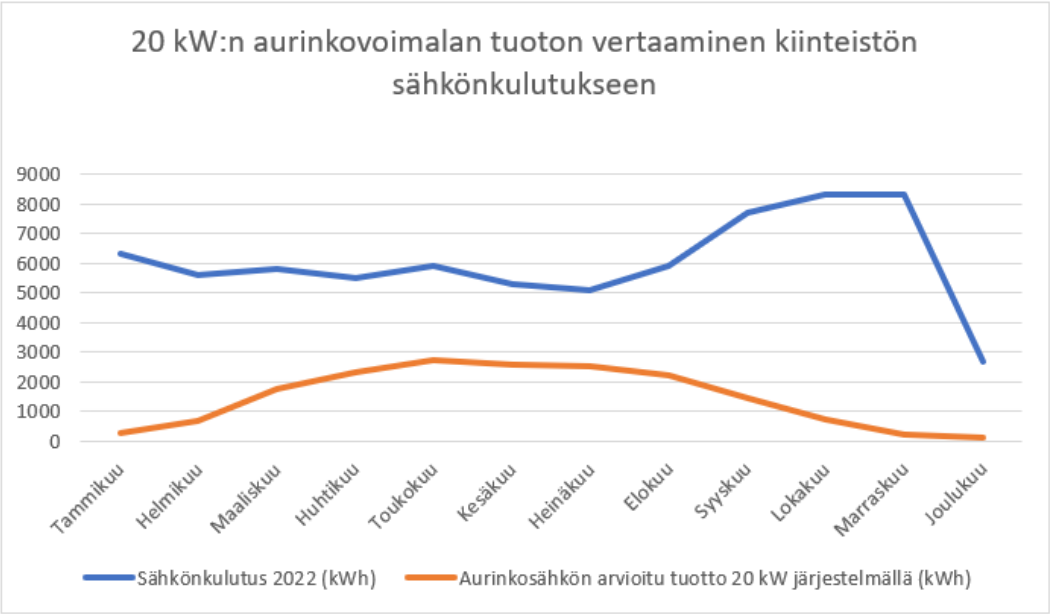
Vanhat taajuusmuuttajaohjatut ilmanvaihtopuhaltimet ovat edelleen suhteellisen energiatehokkaita. Ilmanvaihtojärjestelmä alkaa olla taajuusmuuttajien osalta elinkaarensa loppupuolella ja puhallinmoottoritkin ovat jo ylittäneet elinkaarensa puolivälin. Taajuusmuuttajat ja puhallinmoottorit ovat alkuperäiset alkuvuodesta 2006 käyttöönotettuja laitteita. Oikein huollettuina taajuusmuuttajien elinkaari on noin 15–20 vuotta ja oikosulkumoottorien elinkaari on noin 30 vuotta. Lähivuosina alkaa olla ajankohtaista tehdä prosessilaboratorion ilmanvaihtojärjestelmälle saneeraus, jossa

investointi joko EC-puhaltimiin tai IE3-IE4-energiatehokkusluokan moottoreiden ja uusien taajuusmuuttajien yhdistelmiin kannattaa toteuttaa huomioimalla rakennuksen odotettavissa oleva elinkaari. Jos päädytään IE3-energiatehokkuusluokan oikosulkumoottoreihin ja ne päätetään vaihtaa kaikki kerralla, olisi järkevää uusia vanhat taajuusmuuttajat samalla kertaa.

10.3 Aurinkosähköjärjestelmä

Kuviossa 16 on esitetty prosessilaboratorion sähkönkulutus vuosina 2022 ja 2023. Vuoden 2023 aikana rakennusta on saneerattu ja ilmanvaihto on ollut suurimman osan tätä vuotta pois päältä tai hyvin pienellä teholla. Aurinkosähköjärjestelmän investoinnin kannattavuuden laskemisessa otettiin huomioon tässä esimerkissä sähkönkulutuslukemat vuoden 2022 kulutuksesta (joulukuussa 2022 ilmanvaihto on ollut suurimmaksi osaksi pois päältä) sekä PVGIS aurinkosähkölaskurin avulla lasketun arvioidun vuosituoton perusteella 20 kW:n aurinkosähköjärjestelmällä (kuvio 17).

Suurin osa kiinteistössä käytettävästä sähköstä kuluu päivällä (opetuslaitteet, tietokoneet, valaistus ja ilmanvaihto 100 %). 20 kW:n aurinkosähköjärjestelmän tuotto kulutettaisiin kokonaisuudessaan itse, kuten kuviosta 22 voidaan nähdä. Täytyy ottaa myös huomioon, että prosessilaboratorion sähkönkulutus tulee nousemaan kuvion 22 näyttämään kulutukseen (sininen käyrä) nähden merkittävästi, kun kiinteistö otetaan opetuskäyttöön.



Kuvio 22. 20 kW:n aurinkovoimalan tuoton vertaaminen kiinteistön sähkönkulutukseen

Vuonna 2022 prosessilaboratorion sähkönkulutus oli 70 083 kWh/vuosi ja aikaisempina vuosina, kun rakennus oli ollut täydessä opetuskäytössä, oli sähkönkulutus ollut välillä 110 000 – 140 000 kWh/vuosi. 20 kW:n aurinkojärjestelmälle optimaalinen arvioitu tuotto Imatran alueella on 17 729 kWh/vuosi. Tämän perusteella laskettuna 17 729 kWh/vuosi * 0,15 €/kWh = 2659,4 €/vuosi.

Kuntayhtymän purettaviksi tulevista kiinteistöistä kannattaa purkaa toimivat aurinkosähköjärjestelmät ja asentaa ne prosessilaboratorion katolle. Kiinteistön katolle mahtuu tällainen 20 kW:n järjestelmä (esim. kolmeen riviin asennettuna, 16 paneelia/rivi). Jos tällainen järjestelmä halutaan hankkia kokonaan uudella laitteistolla, on järjestelmän hinta (ALV 0%) ilman asennusta esimerkiksi seuraavanlainen (Verkkokauppa):

- Longi HI-MOS Mono 415 W paneeli (48 kpl x 136 €), PV invertteri Solis S5-GR3P20K 20 kW (1 kpl x 1677 €)
- PV kiinnike Orima Alfa 2.1 kattojalka single (51 kpl x 40 €)
- Alfa suojamatto bitumikermille (102 x 2,35 €)
- tuulensuojapelti Alfa 2.1 (51 x 27,49 €)
- välikiinnike (45 kpl x 1,4 €), päätykiinnike (6 kpl x 2,66 €)
- aurinkopaneelikaapeli 6mm^2 (1,07 €/m x 300 m)
- Maadoitustarvikkeet ja-kaapelit, kaapelointireitit, betonipainot, turvakytkin, mahdolliset keskusmuutokset, muut asennustelineiden tarvikkeet ym. noin 1000 €.

Esimerkkitapauksen aurinkojärjestelmän tarvikkeet (tasakattoasennus) maksaisivat yhteensä noin 13 300 € (ALV 0 %), asennus voidaan tehdä oppilastyönä, joten asennuksen hintaa ei huomioitu investoinnissa.

Yksinkertainen takaisinmaksuaika on 13 300 €/ 2659,4 €/vuosi = 5 vuotta.
Aurinkosähköjärjestelmän investoinnin kannattavuus 0,15 €/kWh:n ostosähkön hinnalla (sähkö + siirto) laskettuna nettonykyarvomenetelmällä on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14. Aurinkosähköjärjestelmän investoinnin kannattavuus nettonykyarvomenetelmällä laskettuna (aurinkojärjestelmän nettotuotto laskettu ostosähkön kokonaishinnalla (sähkö + siirto) 0,15 €/kWh)

Sisäinen korko + NNA				Annuiteetti (maksu)
Investoinnin tuotto 4% -korolla			Lainan korko 4 %	
Perushankintakustannus 13300 €			6 vuoden maksuaika	
Vuosittain 2659 € nettotuotto			Lainaa 13300 €	
Jäännösarvo 0 €			Vuosittainen erä? (annuiteetti)	
Sisäinen korkokanta laskettuna			Negatiivinen luku (kulu)	
Korko	4 %		Lainan korko	4 %
Perushankinta	- 13 300,00 €		Maksuerät	6
Nettotuotto 1. vuosi	2 659,00 €		Lainan määrä	13 300,00 €
Nettotuotto 2. vuosi	2 659,00 €			
Nettotuotto 3. vuosi	2 659,00 €			
Nettotuotto 4. vuosi	2 659,00 €			
Nettotuotto 5. vuosi	2 659,00 €			
Nettotuotto 6. vuosi	2 659,00 €			
NNA	13 938,84 €		Annuiteetti	-2 537,13 €
SISÄINEN KORKO	5,46 %			
Kannattavuus (NNA-perushankinta)	638,84 €			

Tällä laskelmalla nähtiin, että investoiminen edellä mainitun kokoiseen aurinkosähköjärjestelmään olisi taloudellisesti kannattavaa (takaisinmaksu alle 6 vuotta). Tässä laskelmassa oletettiin, että järjestelmä olisi asennettu sähköntuotannon kannalta optimaalisesti ja kaikki sen tuottama sähkö olisi saatu omaan käyttöön. Aurinkosähköjärjestelmien kannattavuuslaskentaan on olemassa erilaisia valmiita laskureita. Esimerkiksi Finsolarin aurinkosähkön kannattavuuslaskurilla laskettaessa (käytetty ostosähkön kokonaishintaa 0,15 €/kWh) saatiin myöskin kohtuullisen hyvä tulos (otettiin huomioon myös huoltokulut ja invertterin vaihto järjestelmän elinkaaren puolessa välissä), jossa takaisinmaksuajaksi 4 %:n lainakorolla saatiin alle 10 vuotta. Laskurilla saadut tarkemmat tulokset ovat liitteessä 8. (Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri.)

Laskurin tulosten perusteella voidaan sanoa, että investointi 20 kW:n aurinkosähköjärjestelmään kannattaa, sillä aurinkosähköjärjestelmän elinkaari voi olla jopa 30 vuotta. Kun saneerattu prosessilaboratorio on ollut vuoden verran vakituisessa käytössä, saadaan koko vuoden sähkönkulutus nykyisessä käytössä selville. Sähkönkulutuksen perusteella voidaan tarkemmin arvioida taloudellisesti kannattavan aurinkosähköjärjestelmän optimaalista kokoa.

10.4 Paineilmajärjestelmä

Prosessilaboratorion lähes 20 vuotta vanha paineilmajärjestelmän kompressori alkaa olla elinkaarensa loppupuolella. Kun vaihtaminen uuteen on ajankohtaista, kannattaa nykyinen saneerauksen ja käyttötarpeiden muuttumisen myötä muuttunut paineilman tarve kartoittaa ja sen perusteella miettiä valitaanko tilalle kiinteätuottoinen vai muuttuvatuottoinen kompressori. Vastaavan uuden kiinteätuottoisen 15 kW:n paineilmakompressorin esimerkkihinta (budjettitarjous Atlas Copco G15FF-7,5) on noin 7600 € (ALV 0 %).

Muuttuvatuottoinen vanhan kompressorin ilmantuottoa vastaava kompressori on kuitenkin selvästi kiinteätuottoista kompressoria energiatehokkaampi, sillä sen vanhaa kompressoria vastaava ilmantuotto saavutetaan 4 kilowattia pienemmällä teholla. Muuttuvatuottoisen kompressorin esimerkkihinta on (budjettitarjous Atlas Copco GA11VSDs FF) 15 200 € (ALV 0 %). Takaisinmaksuaikaa voi laskea esimerkiksi siten, että määritellään tuotannollinen paineilman kulutus vuodessa. Esimerkkilaskelmassa käytettiin paineilman tuotannollisena kulutuksena prosessilaboratoriossa 1000 h/vuosi. Sähkönkulutuksessa voidaan saada säästöä vanhaan kompressoriin verrattaessa 4 kW x 1000 h x 0,15 €/kWh = 600 €. Yksinkertainen takaisinmaksuaika on 15 200 (€) / 600 (€/vuosi) = 25,3 vuotta. Muuttuvatuottoisen paineilmakompressorin investoinnin nettonykyarvolaskelma esitetään taulukossa 15.

Taulukko 15. Muuttuvatuottoisen paineilmakompressorin nettonykyarvolaskelma

Sisäinen korko + NNA				Annuiteetti (maksu)
Investoinnin tuotto 4% -korolla			Lainan korko 4 %	
Perushankintakustannus 15 200 €			15 vuoden maksuaika	
Vuosittain 600 € nettotuotto			Lainaa 15 200 €	
Jäännösarvo 0 €			Vuosittainen erä? (annuiteetti)	
Sisäinen korkokanta laskettuna			Negatiivinen luku (kulu)	
Korko	4 %		Lainan korko	4 %
Perushankinta	- 15 200,00 €		Maksuerät	15
Nettotuotto 1. vuosi	600,00 €		Lainan määrä	15 200,00 €
Nettotuotto 2. vuosi	600,00 €			
Nettotuotto 3. vuosi	600,00 €			
Nettotuotto 4. vuosi	600,00 €			
Nettotuotto 5. vuosi	600,00 €			
Nettotuotto 6. vuosi	600,00 €			
Nettotuotto 7. vuosi	600,00 €			
Nettotuotto 8. vuosi	600,00 €			
Nettotuotto 9. vuosi	600,00 €			
Nettotuotto 10. vuosi	600,00 €			
Nettotuotto 6. vuosi	600,00 €			
Nettotuotto 11. vuosi	600,00 €			
Nettotuotto 12. vuosi	600,00 €			
Nettotuotto 13. vuosi	600,00 €			
Nettotuotto 14. vuosi	600,00 €			
Nettotuotto 15. vuosi	600,00 €			
NNA	6 991,38 €		Annuiteetti	-1 367,10 €
SISÄINEN KORKO	-4,96 %			
Kannattavuus (NNA-perushankinta)	-8 208,62 €			

prosessilaboratorion paineilman tarpeisiin nähden muuttuvatuottoisen paineilmakompressorin hankkiminen ei olisi taloudellisesti kannattavaa. Kiinteätuottoisen kompressorin hankinta olisi tässä tapauksessa vaihtoehtona parempi. Rakennusautomaatioon liitettynä ja virranmittauksella varustettuna kompressorin toimintaa voisi seurata ja häiriötilanteisiin pystyisi reagoimaan nopeasti. Energiataloudellisesti optimaalinen käyttö saavutetaan säännöllisten huoltojen, automaation ja paineilmaputkiston vuotojen tarkkailulla.

10.5 Rakennusautomaatio

Prosessilaboratoriokiinteistön alkuperäisen rakennusautomaatiojärjestelmän on toimittanut Fidelix Oy. Rakennusautomaatiojärjestelmän elinkaari on riippuvainen järjestelmästä ja sen komponenteista. Taulukossa 16 on esitetty Sähköinfo Severin ST-kortin elinkaaritaulukko rakennusautomaatiojärjestelmän eri osille.

Taulukko 16. Rakennusautomaatiojärjestelmän eri osien elinkaaren arvioitu aika vuosissa (ST 97.00.)

Rakennusautomaatiojärjestelmät	
Valvomolaitteet	5–10
Alakeskuslaitteet	10–15
Ohjelmistot	3–8
Kenttälaitteet	10–15
Kaapeloinnit	20–30
Väyläohjaus- ja valvontajärjestelmät	5–15

Prosessilaboratorion rakennusautomaatiojärjestelmä kannattaa nyt saneerauksen yhteydessä tarkistuttaa ja ainakin osittain saneerata/päivittää nykyisten tarpeiden tasolle. Esimerkiksi valvonta-alakeskuksen VAK1 käyttöpaneeli on hajonnut ja se täytyisi vaihtaa uuteen. Kiinteistössä mitataan sähköenergiaa koko kiinteistön osalta ja loistehon kompensointilaitteiston osalta. Kiinteistön sähköjärjestelmiin olisi kannattavaa lisätä virranmittauspisteitä ja liittää niiden mittaustiedot automaatiojärjestelmään, jotta voidaan tarkemmin seurata eri järjestelmien sähkönkulutusta. Ilmanvaihtojärjestelmän ohjausta voisi myös päivittää antureita lisäämällä (esimerkiksi CO_2-mittaus), joiden avulla voi toteuttaa esimerkiksi ilmanvaihdon tarpeenmukaisen käytön ja siten säästettäisiin sähköenergiaa. Kiinteistön sisävalaistukselle voisi myös harkita tarpeenmukaista valaistuksen ohjausta ja sille täytyisi lisätä vähintään aikaohjaus, jotta vältetään työajan ulkopuolinen turha valaistuksen päällä pito, jos henkilökunta ei muista sammuttaa valaistusta työpäivän päätteeksi. Jos kiinteistön katolle asennetaan aurinkosähköjärjestelmä, täytyy sille muistaa myös asentaa oma energianmittaus, sillä ympäristöministeriön asetus sen vaatii.

Esimerkiksi nykyisen rakennusautomaatiojärjestelmän toimittajalla on Retrofit-palvelu, jossa rakennusautomaatiojärjestelmälle tehdään saneeraus pääasiassa kahden eri vaihtoehdon keinoin. Täydessä saneerauksessa alakeskusrauta, kenttälaitteet ja tarvittavissa osin kaapelointi vaihdetaan uusiin järjestelmän osiin. Kevyempi saneerauksen vaihtoehto sisältää alakeskusraudan vaihdon ja olemassa olevien kenttälaitteiden testauksen ja vaihdon vain tarvittaessa. Lisäksi vanha kaapelointi hyödynnetään päivityksessä (Harkitsetko rakennusautomaatiojärjestelmän uusintaa?).

Kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmä alkaa olla monilta osin elinkaarensa loppupuolella ja nyt kiinteistön muun saneerauksen yhteydessä ainakin osittainen saneeraus olisi tarpeellista automaatiojärjestelmälle tehdä. Vanhan kiinteistöautomaatiojärjestelmän varaosien saatavuus heikkenee ajan myötä ja mahdolliset nopeaa reagointia vaativat korjaukset vaikeutuvat. Tällainen tilanne on kiinteistön taloteknisten järjestelmien ylläpidolle kalliimpaa, koska se liittyy suoraan käyttökustannusten ja energiatehokkuuden hallintaan.

10.6 Loistehon kompensointi

Kun kiinteistö otetaan jatkuvaan opetuskäyttöön saneerauksen jälkeen vuoden 2024 aikana, olisi perusteltua mitata sen sähköverkon käyttöä sähköverkkoanalysaattorilla, jotta saadaan tietoa sähkönlaadusta. Riittävän pitkän aikavälin mittauksella (esimerkiksi 1–7 päivää) saadaan loistehon tarve kiinteistössä luotettavasti selville ja tulosten perusteella voidaan arvioida loistehon kompensointilaitteiston sopivuus saneerauksen jälkeiseen tilaan. Saneerauksen yhteydessä sähköjärjestelmiin tehdään muutoksia, jotka vaikuttavat loistehon tarpeeseen. Kompensointilaitteistojen toimittajilla on tarjota erilaisia palveluja, kuten esimerkiksi mittaus, kartoitus ja huoltopalveluja.

Loistehon kompensointilaitteiston elinkaari on noin 20–30 vuotta ja prosessilaboratorion kompensointilaitteisto on alkuperäinen vuonna 2006 käyttöönotettu estokelaparisto, jonka nimellisteho on 200 kvar. Uutena vastaavanlainen laitteisto maksaisi loistehon säätimen kanssa noin 12 000 € (ALV 0 %) + asennuskulut. Olemassa olevaan laitteistoon on myös saatavilla varaosia tarvittaessa, joten laitteen vikaantuessa täysin uuteen laitteistoon investoiminen ei olisi tarpeellista. Prosessilaboratorion kokoisessa kiinteistössä loistehon kompensoiminen on taloudellisesti kannattavaa ja laitteiston asianmukainen huolto olisi tärkeää hoitaa huolto-ohjelman mukaisesti, jotta varmistettaisiin laitteiston turvallisuus ja oikea toiminta mahdollisimman pitkällä elinkaarella.

11 Pohdinta

Tavoite opinnäytetyössä oli tutkia työnantajan omistaman kiinteistön sähköenergian kustannusten optimointimahdollisuuksia. Sähkön hinnan nousun myötä aihe oli ja on yhä ajankohtainen. Energiatehokkuus on kasvanut kaikissa sähköjärjestelmissä vuodesta 2006, jolloin tutkittava kiinteistö otettiin käyttöön. Kiinteistön sähköjärjestelmät ovat pääpiirteittäin alkuperäisiä ja monissa osissa

on saavutettu elinkaaren loppupää joko toiminnallisesta tai taloudellisesta näkökulmasta katsottuna.

Valaistuksen osalta säästötoimien tutkiminen oli helpointa, koska led-valonlähteet ovat vanhoihin valonlähteisiin verrattuna selvästi energiatehokkaampia. Laskennallisesti vaihtamalla vanhat valonlähteet led-valonlähteiksi, saadaan sähkönkulutus puolitettua kiinteistön valaistuksen osalta, jos kaikki vanhat valonlähteet korvataan led-tekniikalla. Vanha valaistus oli esimerkiksi ylimitoitettu kiinteistön korkeassa halliosassa valonmäärän suhteen ja sitä voitiin valaistussuunnitelman yhteydessä helposti laskea kahdella sadalla luxilla ja silti valonmäärä on hyvin riittävä. Valaistukselle on jo aloitettu tekemään laajamittaista saneerausta kiinteistössä ja se pyritään tekemään pääasiassa oppilastyönä.

Ilmanvaihdon tutkiminen perustui suurimmaksi osaksi dokumentteihin ja budjettitarjouksen lukemiin. Suurimman ilmanvaihtopuhaltimen ottamaa virtaa verkosta myös mitattiin ja sitä käytettiin laskennassa hyväksi arvioidessa vanhan puhallinmoottorin energiatehokkuutta uusiin ratkaisuihin nähden. Jos ilmanvaihtopuhaltimien eri ratkaisujen vertailua haluaisi tehdä luotettavammin, se vaatisi testiympäristön rakentamisen ja paljon siitä kerättävää mittaustietoa. Tällaisen testiympäristön rakentaminen ei ollut mahdollista tätä työ varten. Ilmanvaihtopuhaltimien ja eri hyötysuhteilla toimivien moottoreiden vertailusta oli vaikeaa löytää tarkkaa tutkimustietoa. Eri laitevalmistajilla oli toki omia mittaustuloksia esitteissään lähinnä erilaisten kuvaajien muodossa esitettyinä mutta monipuolisia ja tarkkoja vertailutietoja jäin kaipaamaan tutkimuksessani.

Huomattavaa onkin, että laskennan luotettavuus perustuu puhallinvalmistajan tehokäyrään osittain eri tehoalueella laskettuna, joten tulokset ovat lähinnä suuntaa antavia. Tämän työn tulosten perusteella kuitenkin nähdään, että EC-puhaltimet ja korkeamman hyötysuhteen energiansäästömoottorit ovat puhallinkäytöissä parempia sähkön kulutuksen kannalta. Sähkönkulutuksen säästöjen perusteella laskettu takaisinmaksuaika oli kuitenkin pitkä ja pelkän sähköenergian säästön kannalta katsottuna uusiin puhallinmoottoreihin investoiminen ei ole taloudellisesti kovinkaan kannattavaa. Kiinteistön puhaltimien tehot ovat kuitenkin lopulta melko pieniä verrattuna isoihin kiinteistöihin tai teollisuusympäristöihin. Toki energiatehokkaammat laitteet kuormittavat sähköverkkoa vähemmän ja niiden elinkaari on pidempi. EC-puhallinmoottoreiden hyvänä puolena on myös hiljaisempi käyntiääni.

Aurinkojärjestelmän mitoittaminen kiinteistöön sen sähkönkulutuksen perusteella otettiin myös sähkönkulutuksen optimoinnin tutkimukseen mukaan. Kiinteistön sähkönkulutuksen lopullista määrää, mihin se tulee sijoittumaan, ei vielä tiedetä. Prosessilaboratorion saneerauksen ja uuden käyttötarkoituksen myötä ei ole aikaisempaa samanlaista vertailukohtaa. Aikaisempina vuosina, kun kiinteistö on ollut täysimittaisessa opetuskäytössä, oli sähkön vuosikulutus ollut 110 000–140 000 kWh/vuosi. Mitoitus tehtiin kuitenkin vuoden 2022 sähkönkulutuksen mukaan (70 000 kWh), jolloin kiinteistö ei ollut opetuskäytössä.

Kun aurinkosähkön tuotto on korkeimmillaan, niin myös ilmanvaihdon sähkönkulutus on korkeimmillaan, lisäksi sisävalaistus on päällä ja oppilaat käyttävät tietokoneita, opetuslaitteistoa jne. Myös lämmitys ja jäähdytys pidetään päivällä suuremmalla teholla, kun kiinteistössä on toimintaa. Kiinteistön suurin osa sähkönkulutuksesta tapahtuu siis päivällä, kun aurinkojärjestelmä tuottaa sähköä. Esimerkiksi 20 kW:n aurinkosähköjärjestelmän tuoton saa käytettyä suurimmaksi osaksi jo kiinteistön tyhjäkäyntisähkönkulutuksella. Tuloksena saatu laskelma on suuntaa antava ja se on sitä luotettavampi, mitä paremmin aurinkosähköjärjestelmän suuntauksessa etelään päin ja paneelien optimaalisessa asennuskulmassa onnistutaan. Paneelikenttä täytyy myös saada asennettua siten, että siihen ei kohdistuisi mihinkään aikaan päivästä varjoa esimerkiksi puista.

Takaisinmaksuajan perusteella edellä mainitun kokoluokan aurinkosähköjärjestelmä olisi taloudellisesti kannattavaa tehdä. Takaisinmaksuaikaa vähentää asennustyökulujen poisjääminen, koska työ voidaan tehdä oppilastyönä. On myös todennäköistä, että prosessilaboratorion katolle saadaan siirrettyä Kuntayhtymän purettavien kiinteistöjen katoilta vanhoja toimivia aurinkosähköjärjestelmiä. Tämä olisi taloudellisesti optimaalisin ratkaisu aurinkosähköjärjestelmän lisäämiseksi kiinteistöön ja sen pystyisi myös suorittamaan kokonaisuudessaan oppilastyönä.

Paineilmajärjestelmän sähkönkulutuksen optimoinnin tutkiminen perustui budjettitarjouksessa saatuihin hintoihin ja tutustumiseen paineilmajärjestelmätoimittajien tarjoamien optimointipalvelujen sisältöön. Tutkimuksen tuloksena saatiin ehdotukset paineilmajärjestelmän sähkönkulutuksen optimointiin. Edullisin tapa optimoida paineilmajärjestelmän sähkönkulutusta olisi tarkkailla säännöllisesti paineilmajärjestelmän vuotoja ja laitteiston oikeaa toimintaa. Uuden vastaavanlaisen laitteen hankinta (kiinteätuottoinen kompressori) vanhan tilalle, kun sen elinkaari alkaa olla päätepisteessä, olisi kannattavinta tämän kokoisen kiinteistön paineilman tarpeisiin nähden.

Muuttuvatuottoinen kompressori on huomattavasti energiatehokkaampi mutta sen hankintakustannus on puolet korkeampi ja sen takaisinmaksuaika säästetyn sähkön muodossa on todella pitkä kiinteistön paineilmatarpeen kokoluokan vuoksi. Kun uuden kompressorin hankinta on ajankohtaista, kannattaa se siinä vaiheessa liittää rakennusautomaatiojärjestelmään, jolloin laitetta voidaan käyttää energiataloudellisesti optimaalisella tasolla.

Loisteholaitteisto tarvitsee tarkastuksen ja säännöllistä huoltoa, jonka suorittaa kyseiseen tehtävään koulutettu ammattilainen. Esimerkiksi laitteistotoimittajan kautta saa tällaista palvelua. Laitteistoon saa edelleen myös tarvittaessa varaosia, eikä laitteistoa näin ollen tarvitse kokonaan uusia. Laitteisto on kuitenkin prosessilaboratorion kokoisessa kiinteistössä kannattavaa pitää loistehon kompensoinnissa, jotta minimoidaan verkkoyhtiöltä tuleva loistehomaksu. Loistehon kompensointi vähentää myös sähköjärjestelmien eri osien kuormitusta ja lämpenemistä, joka parantaa sähköjärjestelmien toimivuutta, turvallisuutta ja elinkaarta.

Kiinteistön sähköjärjestelmien eri osiin kannattaa harkita virtamittauksia sekä muita anturimittauksia, jotka voidaan liittää rakennusautomaatiojärjestelmään. Mittaustietojen avulla eri järjestelmiä voidaan ohjata toimimaan energiatehokkaammin. Esimerkiksi kiinteistön olemassa olevan rakennusautomaatiojärjestelmän toimittajalla on erilaisia saneerausvaihtoehtopaketteja tarjolla. Kun kiinteistön sähköjärjestelmille päätetään tehdä investointeja, kannattaa silloin ottaa ainakin niiltä osin automaation päivitys mukaan investointiin.

Passiiviset keinot, kuten lisäeristys, ikkunalasien pinnoitus U-arvoa parantavalla aineella ja auringolta suojaus esimerkiksi sälekaihtimilla tai markiiseilla voivat olla harkitsemisen arvoisia keinoja energian säästämiseksi. Sähköenergian kulutuksen optimointi onnistuu kiinteistöteknisillä säätötoimenpiteillä ja henkilökunnan ohjeistuksilla esimerkiksi käyttötottumuksiin tiettyyn pisteeseen saakka, mutta lopulta suurempia säästötoimenpiteitä varten vaaditaan kiinteistön eri järjestelmiin ja rakenteisiin investointeja. Automaation avulla toteutettaviin tarpeen mukaisten olosuhteiden säätötekniikan investoinnit sekä energiatehokkaampien laitteiden investoinnit ovat keskeisiä menetelmiä. Sähköautojen lisääntyminen niin yleisesti kuin Kuntayhtymän henkilökunnankin omistuksessa tulevat myös osaltaan luomaan paineita sähköenergian kulutuksen optimoinnin suunnittelulle. Kun esimerkiksi energianvarastointitekniikka alkaa olla taloudellisesti kannattavaa, voidaan varastoon tuottaa sähköenergiaa aurinkosähköjärjestelmillä tai vaikka edullisella pörssisähköllä.

Työssä tutkitut osa-alueet olivat sähköjärjestelmän suurimmat sähkönkuluttajat, pois lukien opetuskalusto. Vaikka energiatehokkuus on parantunut vuosien varrella monissa sähkölaitteissa ja järjestelmissä runsaastikin, niin ovat nousseet myös hankintahinnat. Uusien laitteiden ja järjestelmien hinnat huomioiden ei toimivia lähes 20 vuotta vanhoja mutta edelleen kohtuullisen energiatehokkaita sähköjärjestelmien osia kannata vaihtaa pelkän sähkön säästämisen vuoksi, koska investointien takaisinmaksuajat ovat pitkiä. Jos pelkästään takaisinmaksuaika otetaan huomioon, olisi led-valaistukseen ja optimaalisesti mitoitettuun aurinkosähköjärjestelmään investointi parhaita hankintoja.

Opinnäytetyön tutkimuksen kohteena oleva kiinteistö on laajan saneerauksen kohteena tällä hetkellä, eikä se siis ole vielä opetuskäytössä. Tämän vuoksi kiinteistössä ei ollut mahdollista tehdä täydessä opetuskäytössä olevia luotettavia sähköenergian kulutuksen mittauksia, vaan eri järjestelmiä tutkittiin pääasiassa laskennallisesti eri dokumenttien ja valmistajien tietojen avulla. Ilmanvaihto- ja paineilmalaitteistojen energiatehokkuudet ja niihin perustuvat laskelmat ovat karkeasti suuntaa antavia. Tämänhetkiset Ilmanvaihtopuhaltimet ovat kaikki mitoitettu eri taajuuksilla pyörimään, jotta vaaditut ilmamäärät on saavutettu. Näiden taajuuksien avulla oli arvioitu puhallinvalmistajien kuvaajien tehokäyristä arvot eli täysin luotettavaa ja tarkkaa dataa ei ollut saatavilla laskelmia varten. Suuntaa antavien laskelmien perusteella kuitenkin huomataan, että vanhat taajuusmuuttajaohjatut oikosulkumoottorit puhallinkäytöissä ovat edelleen kohtuullisen energiatehokkaita verrattaessa uusin puhallinratkaisuihin.

Paineilmalaitteiston laskelmissa tuotetun paineilman tuntimäärä oli lähinnä esimerkki, todellisesta vuosittaisesta paineilmanmäärästä ei ole historiatietoja, koska sen tuottoa ei valvota automaatiojärjestelmällä. Vaikka historiatiedot aikaisemmasta paineilman kulutuksesta olisi, niin paineilman määrän tarve tulee muuttumaan uusien opetusympäristöjen myötä. Aikaisemmassa käytössä paineilmakompressoria oli pidetty päällä 8 tuntia päivässä ja siitä ajasta kompressori oli aina tietyn aikaa kevennetyllä käytöllä eli painetta ylläpitävällä käytöllä ilman kuormitusta. Paineilman tarve tulee olemaan kuitenkin hyvin todennäköisesti kohtuullisen pieni ja lähivuosina tulevassa kompressorin uusimisessa kiinteätuottoinen kompressori olisi jatkossakin hyvä valinta. Ilman paineilman kulutuksen historiatietoja ja sen myötä kevennetyn ja kuormitetun kompressoritehon tarkempi ja luotettava laskenta on hankalaa.

Prosessilaboratoriokiinteistö on rakennusautomaationsa puolesta jo elinkaarensa loppupuolella ja vaatisi lähivuosina saneerausta, jotta kiinteistön energiankäyttöä voidaan kunnolla valvoa ja säätää. Sähköjärjestelmien valvonnan suhteen nykyinen automaatiojärjestelmä ei ole kovin laaja, sillä järjestelmästä puuttuvat virtamittaukset ja kattava anturointi suurimmista sähköjärjestelmistä, jotta niitä voitaisiin luotettavasti tarkkailla ja säätää optimaalisen sähköenergian kulutuksen näkökulmasta. Sisävalaistuksen, ilmanvaihdon ja paineilmajärjestelmän valvonta ja ohjaus olisi kannattavaa päivittää rakennusautomaation osalta nykypäivän tasolle.

Lähteet

1136/2016, 49 §, 51 §. Sähköturvallisuuslaki. Finlex. Viitattu 05.02.2023. https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135#Pidm45843170240064

ABB Drive Services. 2016. ABB Drive Services, Your choice, your future. Viitattu 12.04.2023. https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000189146&LanguageCode=fi&DocumentPartId=&Action=Launch.

ABB. 2023. Hajautettujen ohjausjärjestelmien Lifecycle Policy-ohjelma. Viitattu 13.04.2023. https://new.abb.com/control-systems/fi/palvelut/elinkaaren-hallinta.

Ahoranta, J. 2020. Sähköasennustekniikka. 18. p. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Asennusohje ECblue Basic. Pitkän hyötykäyttöiän kriteerit. 2019. Ziehl-Abegg. Viitattu 06.08.2023. https://www.mastervent.fi/File/kojeet_komponentit/L-BAL-F052D-FIN_Asennusohje_Moottorien_kokoluokat_D_116__G_152_3.1.2019.pdf

Asumisen energiankulutus. Asumisen energiankulutus laski edelleen vuonna 2018. 2019. Tilastokeskus. Viitattu 23.05.2023. https://www.stat.fi/til/asen/2018/asen_2018_2019-11-21_tie_001_fi.html.

Aurinkojärjestelmän komponenttien hinta. Onnisen verkkokauppa. Onninen. Viitattu 26.08.2023. Vaatii asiakkuuden ja kirjautumisen. https://www.onninen.fi/

Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri. Finsolar.Viitattu 03.09.2023. https://docs.google.com/spreadsheets/d/1VEzwSvQAHUVtIhCYhL4-WoBajY5KUXyuC9WRRuuc2VM/edit#gid=279239804

Bouchrica, I. 2022. How to Write a Research Question: Types, Steps, and Examples. Research.com. Viitattu 10.03.2023. https://research.com/research/how-to-write-a-research-question.

ECblue high efficiency motors. Ziehl-Abegg. Viitattu 19.08.2023. https://www.ziehl-abegg.com/fileadmin/Downloadcenter_NEW/00_englisch%28EN%29_MASTER/X01_Brochures_Flyers/Brochure-ECblue-high-efficiency-motors.pdf

Ecodesign and energy efficiency intelligently combined. 2020. Danfoss. Viitattu 08.05.2023. https://files.danfoss.com/download/Drives/DEDDPB418A702_Ecodesign_A4_LR.pdf

Electric drives. Hinnasto 2023. VEM Motors Finland. Viitattu 07.09.2023. https://www.vem.fi/wp-content/uploads/2023/04/VEM-hinnasto-2023.pdf

Energiakatselmuksissa ehdotetut toimenpiteet. 2022. Säästötoimenpiteet koontitaulukko. Motiva. Viitattu 23.06.2023. https://www.motiva.fi/files/15137/Saastotoimenpiteet_koontitaulukko.pdf

Energiatehokkuutta älykkäästi optimoiden. Voimatel. Viitattu 02.07.2023. https://www.voimatel.fi/palvelut/energiapalvelut/energiatehokkuutta-alykkaasti-optimoiden/.

Energiavirasto. Kuluttajat. Usein kysyttyä sähkömarkkinoista. Viitattu 04.07.2023. https://energiavirasto.fi/tietoa-kotitalouksille.

Forstén, E. 2015. Energiatehokkuussuunnittelua simuloinnilla ja optimoinnilla. Sähkömaailma. 2015, 12, 36–38. Sähköinfo Severi. Viitattu 16.06.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/Magazine/Open/5962, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

Harkitsetko rakennusautomaatiojärjestelmän uusintaa? 2020. Fidelix. Viitattu 23.08.2023. https://news.fidelix.fi/ajankohtaista/harkitsetko-rakennusautomaatiojarjestelman-uusintaa

IE efficiency classes for 4 pole motors at 50 Hz. 2014. Researchgate. Viitattu 19.09.2023. https://www.researchgate.net/figure/IE-efficiency-classes-for-4-pole-motors-at-50-Hz-21_fig4_330081729

Ikäheimo, S., Malmi, T. & Walden, R. 2016. Yrityksen laskentatoimi. Helsinki: Talentum Pro

Jormakka, R., Koivusalo, K., Lappalainen, J. & Niskanen, M. 2021. Laskentatoimi. 7. p. Helsinki: Edita Publishing Oy.

Julkinen latausinfrastruktuuri laajentuu hyvää vauhtia Suomessa. 2022. Liikenne ja viestintävirasto Traficom. Viitattu 26.07.2023. https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/julkinen-latausinfrastruktuuri-laajentuu-hyvaa-vauhtia-suomessa.

Julkinen sektori. Kiinteistön energian käyttö. Valaistus. 2022. Motiva. Viitattu 09.07.2023. https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/valaistus

Julkinen sektori. Valaistustieto. Energiatehokas valaistus. 2022. Motiva. Viitattu 24.06.2023. https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/valaistustieto

Jyväskylän yliopisto. 2022. Aineiston keruu ja analyysi. Viitattu 09.02.2023. https://open-science.jyu.fi/fi/tutkimusdata/tutkimusaineistojen-hallinta/aineiston-keruu-ja-analyysi#litterointi.

Jyväskylän yliopisto. Koppa. Tutkimuksen toteuttaminen. Viitattu 11.02.2023. https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/tutkimusprosessi/tutkimuksen-toteuttaminen.

Kotiautomaatioliitäntä eli HAN-portti. Vantaan energia sähköverkot. Viitattu 14.06.2023. https://www.vantaanenergiasahkoverkot.fi/palvelut/tietoa-mittausuudistuksesta/kotiautomaatioliitanta-eli-han-portti/.

Kuntien sisäilmaverkoston palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön ohje ja perustelumuistio. 2019. Sisäilmayhdistys ry. Viitattu 17.05.2023. https://sisailmayhdistys.fi/Julkaisut/Hyva-sisailma-suositukset.

Kurnitski. J. 2009. Rakennusten energiatehokkuuden osoittaminen kiinteistöveron porrastusta varten. Raportti B85. Helsinki University of Technology. Viitattu 03.05.2023. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41435/Raportti_B85_Kurnitski.pdf?sequence=4.

Loistehon kompensointi. Ohje. 2018. Kymenlaakson Sähköverkko. Viitattu 06.07.2023. https://www.ksoy.fi/wp-content/uploads/2021/11/Loistehonkompensointiohje.pdf

Miten säästää energiaa paineilmaratkaisuilla? Atlas Copco. Viitattu 08.08.2023. https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/kompressorit-energiakustannukset

Näin pidennät rakennuksen automaatiojärjestelmän elinkaarta. 2023. Fidelix. Viitattu 04.09.2023. https://news.fidelix.fi/ajankohtaista/nain-pidennat-rakennuksen-automaatiojarjestelman-elinkaarta

Ominaiskulutukset palvelusektorilla. 2023. Sähkön ominaiskulutustaulukko aikaväliltä 2013–2021. Motiva. Viitattu 16.05.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/tilastotietoa_katselmuksista/ominaiskulutukset_palvelusektorilla.

Paineilma-analyysi tuo säästöjä. 2012. Motiva. Viitattu 11.08.2023. https://www.motiva.fi/files/6017/Paineilma-analyysi_tuo_saastoja.pdf

Paineilmajärjestelmien optimointi. Changemakers. Viitattu 07.09.2023.

https://newsub.samk.fi/wp-content/uploads/2020/12/Kortti_Paineilmajarjestelman-optimointi.pdf

Paineilmakompressorit. Atlas Copco. Viitattu 04.08.2023. Atlas Copco GA 7-15 VSD+ruuvikompressori esite.pdf (industriacenter.fi)

Photovoltaic geographical information system. PVGIS online tool. EU science hub. Viitattu 17.09.2023. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

ST 13.28. 2020. Yleisohjeita sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien dokumentoinnista. Sähköinfo Severi. Viitattu 27.04.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/3770?search=13.28, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST 13.31. 2021. Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen. Sähköinfo Severi. Viitattu 26.04.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/420?search=ST%2013.31, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST 13.31. 2021. Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen. Sähköinfo Severi. Viitattu 18.04.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/420?search=13.31, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST 21.32. 2020. Rakennusten energiatehokkuusvaatimusten huomioonottaminen sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien suunnittelussa. Sähköinfo Severi. Viitattu 19.04.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/3975?search=21.32, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST 21.33. 2012. EC- ja PM-moottorit taloteknisissä järjestelmissä. Sähköinfo Severi. Viitattu 20.07.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/4583?search=21.33, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST 21.34. 2022. Ohjeita energiamittausten ja energianhallintajärjestelmien toteutukseen. Sähköinfo Severi. Viitattu 10.06.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/5647?search=21.34, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST 51.40. 2022. Asuntojen sähköasennusten tyypillisimmät korjaus-, muutos- ja laajennustyöt. Sähköinfo Severi. Viitattu 15.06.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/608?search=51.40, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST 51.92. 2022. Sähköajoneuvojen latauspisteet kiinteistöissä. Sähköinfo Severi. Viitattu 05.07.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/8384?search=51.92, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST 52.15. 2016. Loistehon kompensointi ja kompensointilaitteet alle 1000 V:n pienjänniteverkossa. Sähköinfo Severi. Viitattu 08.07.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/537?search=52.15, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST 53.21. 2022. Rakennusten sähköasennusten maadoitukset ja potentiaalintasaukset. Sähköinfo Severi. Viitattu 17.04.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/580?search=ST%2053.21, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST 70.31.03. 2020. Selostusmallipohja, S222 Pääjakelujärjestelmä. Sähköinfo Severi. Viitattu 02.04.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/4118?search=ST%2070.31.03, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST 97.00. 2018. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien kuntoarvio ja -tutkimus. Sähköinfo Severi. Viitattu 23.03.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/293?search=ST%2097.00, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST 97.20. 2018. Sähköteknisten järjestelmien kuntotutkimus. Sähköenergian tuotanto, liittäminen ja pääjakelu. Sähköinfo Severi. Viitattu 18.03.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/299?search=97.20, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST 98.50. 2016. Energiatehokkuusvaatimusten huomioiminen rakennusten sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien käytössä ja kunnossapidossa. Sähköinfo Severi. Viitattu 20.05.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/3994?search=98.50, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST-esimerkit 07. 2016. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien kuntotutkimusraportti. Sähköinfo Severi. Viitattu 22.05.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/348?search=97.00, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST-esimerkit 12. 2021. Keinoja sähkötehohuippujen hallintaan asuinkiinteistöissä. Sähköinfo Severi. Viitattu 05.06.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/7987?search=Keinoja%20sahkotehohuippujen%20hallintaan%20asuinkiinteistoissa, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST-esimerkit 13. 2021. Näkökulmia kulutusjouston toteuttamiseen. Sähköinfo Severi. Viitattu 07.07.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/8096?search=Nakokulmia%20kulutusjouston%20toteuttamiseen, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST-käsikirja 17. 2018. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Sähköinfo Severi. Viitattu 11.06.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/234?search=Rakennusautomaatiojarjestelmat, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST-käsikirja 22. 2023. Rakennusten automaation valvomot. Sähköinfo Severi. Viitattu 14.06.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/3295?search=Rakennusten%20automaation%20valvomot, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST-ohjeisto 15. 2017. Rakennusten energiatehokkuus. Sähköinfo Severi. Viitattu 25.04.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/3175?search=Rakennusten%20energiatehokkuus, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

ST-ohjeisto 20. 2020. Automaation vaikutus rakennusten energiatehokkuuteen, opas standardin SFS-EN 15232 käyttöön. Sähköinfo Severi. Viitattu 23.05.2023. https://severi.sahkoinfo.fi/item/5436?search=Rakennusten%20energiatehokkuus, vaatii maksullisen lisenssin ja kirjautumisen.

Sähköinfo. 2018. Yliaallot ja kompensointi. Toinen uudistettu painos. Espoo: STUL ry.

Sähkölaitteiston lakisääteiset määräaikaistarkastukset. Tukes. Viitattu 07.04.2023. https://tukes.fi/sahko/sahkolaitteistot/maaraaikaistarkastukset

Sähkömoottorit. Klee sähkömoottorit esite. Mastervent. Viitattu 22.08.2023. https://www.mastervent.fi/File/esitteet_varaosat_komponentit/Sahkomoottorit.pdf

Taloyhtiöt yhdessä energiatehokkaasti. Sähkönkulutus ja valaistus. 2023. Motiva. Viitattu 22.4.2023. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot_-_yhdessa_energiatehokkaasti.

Themo din pörssisähkö rele. Omavahti. Viitattu 19.04.2023. https://www.omavahti.fi/tuote/themo-din/.

Toikko, T. & Rantanen, T. 2009. Tutkimuksellinen kehittämistoiminta. Trepo. Viitattu 06.02.2023. https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/100802/Toikko_Rantanen_Tutkimuksellinen_kehittamistoiminta.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Tuomainen, M. 2019. Ilmanvaihdon vaikutus energiankäyttöön. Viitattu 13.07.2023. https://finvac.org/wp-content/uploads/2020/06/12_Tuomainen_Ilmanvaihdon_vaikutus_energiankayttoon_v2_2019_10_08.pdf.

Verkkokauppa. Onninen. Viitattu 15.09.2023. https://www.onninen.fi/?gad=1&gclid=EAIaIQobChMIlfvCi8jjgQMV-E-RBR1KFg59EAAYASAAEgLiPvD_BwE, vaatii asiakkuuden ja kirjautumisen.

Viihtyisä työympäristö. Ilmastointi ja jäähdytys. 2016. Motiva. Viitattu 24.06.2023. https://www.motiva.fi/files/11023/Viihtyisa_tyoymparisto_Ilmastointi_ja_jaahdytys_2016.pdf.

Liitteet

Liite 1. Esimerkki 5000 m2 toimistorakennuksen pienjänniteliittymän mitoittamisesta

Laiteryhmä	Laiteryhmän nimellisteho, kW	Laiteryhmän nimellistehon tasauskerroin (K11)	Laiteryhmien keskinäinen tasauskerroin huipputehon mitoitushetkellä (K12)	Mitoittava teho, PM, kW	Huomiot
Valaistus	29	0,7	0,2	4,0	Valaistuksen kokonaisteho on laskettu neliötehojen mukaan seuraavasti: Kellari 500 m² × 4 W/m² = 2 kW sekä kerrokset 1 ja 2, 4500 m² × 6 W/m² = 27 kW.
Ilmanvaihtopuhaltimet	60,0	0,8	1,0	48,0	SFP = 2,0 kW/m³/s), ilmamäärä 30 m³/s
Lämmitys	50,0	0,8	0,0	0,0	LVI-kojeluettelon mukaan
Koneellinen jäähdytys	70,0	0,8	1,0	56,0	LVI-kojeluettelon mukaan
Muut LVI-laitteet	8,0	0,9	0,0	0,0	Oviverhokojeet, 4 kpl
Pistorasiakuormat, tietotekniikka	14,0	0,8	1,0	11,2	Huonekorttien mukaisesti
Pistorasiakuormat, muut	17,5	0,3	0,2	1,1	Huonekorttien mukaisesti
Keittiölaitteet	122,0	0,5	0,3	18,3	Henkilöstöravintolassa 200 annosta/päivä, 0,61 kWh/annos
Sähkölämmitykset	4,3	0,9	0,0	0,0	Rännien sulanapito, 120 m, 36 W/m
Aluesähköistyksen kuormat	2,1	1,0	0,0	0,0	Pihan ja julkisivun valaistukset
Hissi	2,5	1,0	0,5	1,25	
Autolämmityspaikat	40,0	0,8	0	0,0	20 paikkaa, 2000 W/paikka
Sähköautojen latauspaikat	66,7	1,0	1,0	66,7	10 ”älykästä” latauspaikkaa, 200 km toimintasäde kuuden (6) tunnin kertalatauksella, 200 km 0,20 kWh/km × 10 / 6 h = 66,7 kW
YHTEENSÄ	**498,6**			**206,6**	41 W/m²
Mitoittava sähköteho				227	Huomioidaan laajennusvaraus (tässä kohteessa 10 %) kohdassa 4.4 esitetyllä mitoittavan sähkötehon kaavalla. 1,1 × 206,60 kW = 227 kW

Laiteryhmän sisäinen tasauskertoimen (K11) avulla ilmaistaan, kuinka paljon laiteryhmän laitteista on enimmillään käytössä samanaikaisesti. Esimerkiksi kaikki valaistukset ovat harvoin käytössä samanaikaisesti täydellä tehollaan.

Laiteryhmien keskinäisen tasauskertoimen (K12) avulla ilmaistaan laiteryhmien väliset vuorovaikutussuhteet huipputehon mitoitushetkellä.

Tasauskertoimen K12 arviointiperusteita esimerkissä:

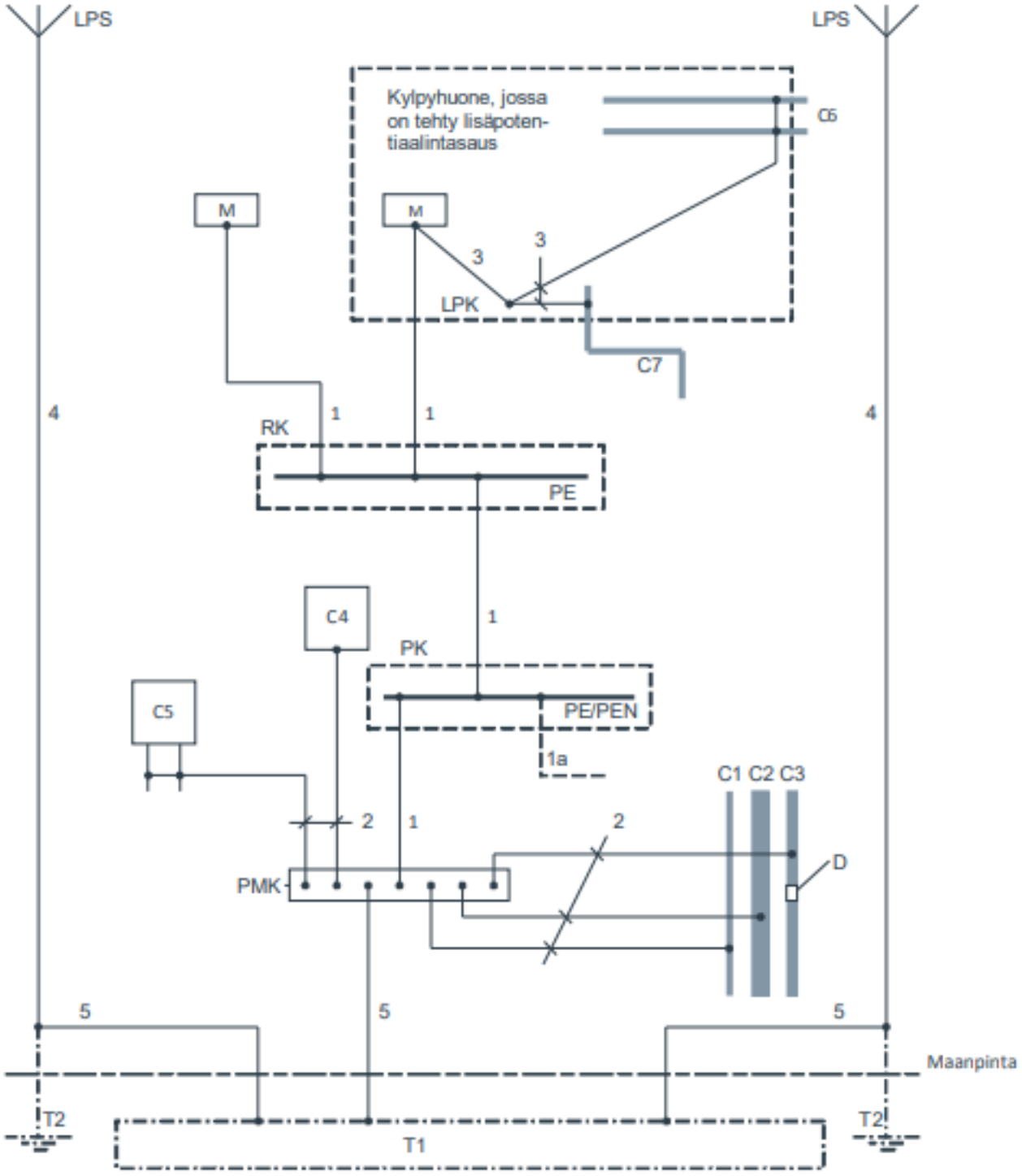
Huipputehon ajankohta saadaan jäähdytyksen ja sähkölämmityksen huipputehoja vertailemalla. Sähkölämmityksen mitoituksessa huomioidaan tehoarvoltaan suurempi.

Esimerkin tapauksessa huipputeho saavutetaan **kesäaikaan** iltapäivällä, jolloin
– jäähdytystehot ovat suurimmillaan ja lämmitykset pienimmillään
– keittiön käyttöaste on aamupäivää pienempi
– valaistustarve on talviaikaa vähäisempi (talvella 0,7, kesällä 0,2)
– autoja ei lämmitetä, mutta sähköautoja ladataan.

HUOM. Suunnittelijan on tasauskertoimia määrittäessään tunnistettava, miten eri laitteet toimivat ja millaisia niiden käyttösyklit ovat.

ST 13.31. Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen, s. 15. Sähköinfo Severi.

Liite 2. Pienjänniteasennuksen maadoitusten ja potentiaalintasausten periaatteellinen kytkentä ja tunnukset (merkintöjen selitykset liitteessä 3).



ST 53.21. Rakennusten sähköasennusten maadoitukset ja potentiaalintasaukset, s. 3. Sähköinfo Severi.

Liite 3. Liitteen 2 merkintöjen selitykset.

Tunnus	Nimi
C	Muu johtava osa
C1	Ulkopuolelta tuleva metallinen vesijohtoputki tai kaukolämpöputki
C2	Ulkopuolelta tuleva metallinen viemäriputki
C3	Ulkopuolelta tuleva kaasuputki, jossa eristävä välikappale
C4	Ilmanvaihto
C5	Lämmitysjärjestelmä
D	Eristävä välikappale
PK	Pääkeskus
RK	Jakokeskus
PMK	Päämaadoituskisko
LPK	Lisäpotentiaalitasauskisko tai -liitin
T1	Betoniin tai maahan upotettu perustusmaadoituselektrodi
T2	Salamasuojausjärjestelmän maadoituselektrodi tarvittaessa
LPS	Salamasuojausjärjestelmä (jos käytetään)
PE	Keskuksen PE-liitin (liittimet)
PE/PEN	Pääkeskuksen PE/PEN-liitin (liittimet)
M	Jännitteelle altis osa
1	Suojamaadoitusjohdin (PE)
1a	Syöttävästä verkosta tuleva suojamaadoitusjohdin tai PEN-johdin
2	Pääpotentiaalintasausjohdin
3	Lisäpotentiaalintasausjohdin
4	Salamasuojausjärjestelmän alastulojohdin, jos sellainen on käytössä
5	Maadoitusjohdin

ST 53.21. Rakennusten sähköasennusten maadoitukset ja potentiaalintasaukset, s. 2. Sähköinfo Severi.

Liite 4. Esimerkki sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien kuntoraportin sisällysluettelosta 1(2)

1 KOHTEEN TUNNISTE- JA YLEISTIEDOT 5
1.1 Kiinteistön perustiedot 5
1.2 Kuntotutkimuksen yleistiedot 5
1.3 Kiinteistön saatavilla olevat sähkötekniset asiakirjat 5

2 KUNTOTUTKIMUKSELLE SOVITUT RAJAT JA TAVOITTEET 6
2.1 Yleistä 6

3 TUTKITTUJEN VAURIOIDEN JA ONGELMIEN ESITTELY 6
3.1 Sähköjärjestelmät 6
3.2 Sähkölämmitysjärjestelmät 6
3.3 Kaukolämpö 6
3.4 Sähköenergian osto 6
3.5 Puhelinjärjestelmä/sisäjohtoverkko 6
3.6 Antennijärjestelmä 7
3.7 Palovaroittimet 7
3.8 Kojeet ja laitteet 7

4 KÄYTETYT TUTKIMUSMENETELMÄT JA NIIDEN TAVOITTEET 7

5 TEHDYT HAVAINNOT JA SAADUT MITTAUS- JA LABORATORIOTULOKSET 8
S SÄHKÖENERGIAN JAKELU- JA KÄYTTÖJÄRJESTELMÄT 8
S01 Käyttöönottotarkastukset 8
S02 Määräaikaistarkastukset 8
S03 Dokumentaatio 8
S04 Huolto- ja kunnossapitosuunnitelma 8
S1 Asennusreitit 8
S110 Kaapelihyllyjärjestelmä 8
S150 Läpiviennit 8
S2 Sähkönjakelu ja siihen liitetyt kuormitukset 9
S21 Sähköenergian tuotanto ja liittäminen 9
S211 Sähköliittymä 9
S22 Sähköenergian pääjakelu 9
S222 Pääjakelujärjestelmä (400V/230V) 9
S2222 Sähköpääkeskus 9
S2223 Maadoitukset 11
S2224 Loistehon kompensointilaitteet 11
S2227 Sähköenergian kulutus-, laatu- yms. mittaukset 11
S2228 Keskusten väliset syöttöjärjestelmät 11
S2229 Sähkön jakokeskukset 11
S23 Laitteiden ja laitteistojen sähköistys 12
S231 Kiinteistön laitteiden ja laitteistojen sähköistys 13
S232 LVI-laitteiden ja laitteistojen sähköistys 13
S233 Käyttäjän laitteiden ja laitteistojen sähköistys 13
S24 Sähkönliitäntäjärjestelmät 14
S241 Pistorasiat 14
S245 Autolämmityspistorasiat 15
S25 Valaistusjärjestelmät 15
S251 Sisävalaisimet 15
S2511 Ohjauslaitteet 16

ST-esimerkit 07. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien kuntotutkimusraportti, s. 19. Sähköinfo Severi.

Liite 4. Esimerkki sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien kuntoraportin sisällysluettelosta 2(2)

S2512 Kaapeloinnit 16
S252 Ulkovalaistusjärjestelmä 16
S253 Aluevalaistusjärjestelmä 16
S26 Sähkölämmitysjärjestelmät 16
S261 Rakennuksen sähkölämmitysjärjestelmä 16
T TIETOTEKNISET JÄRJESTELMÄT 18
T1 Viestintä- ja tietoverkkojärjestelmät 18
T110 Antennijärjestelmä 18
T140 Puhelinjärjestelmä 19
T1402 Talojakamo 19
T1404 Runkokaapeloinnit 19
T1406 Pistekaapeloinnit 19
T6 Paloturvallisuusjärjestelmät 20
T620 Palovaroitinjärjestelmä 20
T8 Automaatio- ja mittausjärjestelmät 20
T810 Rakennusautomaatiojärjestelmä 20
6 JOHTOPÄÄTÖKSET 21
7 HENKILÖTURVALLISUUS 21
8. KORJAUSTOIMENPIDEVAIHTOEHDOT 21
9 LISÄ- JA JATKOTUTKIMUSTARVE 21
10 ALLEKIRJOITUS 21
11 LIITTEET 22
LIITE 1: MITTAUSRAPORTTI 23
LIITE 2: LÄMPÖTILATAULUKKO 24
LIITE 3: SÄHKÖLÄMMITTIMET, TAULUKKO 25
LIITE 4: VIRRAN JA RESISTANSSIN MITTAUKSET, LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ 26
LIITE 5: SÄHKÖ- JA KUNTOTUTKIMUSTOIMENPITEIDEN TOTEUTUSAIKATAULU JA -KUSTANNUKSET 27

ST-esimerkit 07. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien kuntotutkimusraportti, s. 20. Sähköinfo Severi.

Liite 5. Energiakatselmuksissa ehdotetut toimenpiteet

	Toimenpideluokka	Lukumäärä	Säästö-potentiaali	Investointi	TMA
		kpl	1 000 €	1 000 €	a
1	**Lämmitysjärjestelmä**	167	6 088	32 017	6,5
1.1	Lämmöntuotto	276	992	731	0,5
1.2	Sisälämpötilan alentaminen	416	724	494	0,7
1.3	Säädön parantaminen	524	981	2 447	2,8
1.4	Rakenteiden tiiviystason parantaminen	99	178	846	5,4
1.5	Eristykset - putkieristykset, säiliöeristykset	48	296	481	2,8
	Lämmitysjärjestelmä yhteensä	**1 530**	**9 259**	**37 016**	**4,0**
2	**Ilmanvaihtojärjestelmä**	198	1 280	6 316	8,8
2.1	Ilmanvaihdon käyntiajat	1 307	4 777	1 640	0,4
2.2	Ilmavirran puolittaminen tai pienentäminen	283	1 781	2 317	1,8
2.3	Ilmanvaihdon palvelualueiden osittaminen	15	142	388	3,0
2.4	Ilmanvaihdon lämmityksen säätötavat	462	1 228	791	0,7
2.5	Lämmöntalteenottomahdollisuudet	581	7 094	20 925	3,7
2.6	Yötuuletuksen käyttö	40	62	144	1,7
	Ilmanvaihtojärjestelmä yhteensä	**2 886**	**16 363**	**32 520**	**2,0**
3	**Käyttövesijärjestelmä**	38	497	597	2,0
3.1	Vesikalusteiden virtaaman rajoitus	710	514	642	2,5
3.2	Vesikalusteiden vaihto	57	77	212	5,7
3.3	Käyttöveden lämpötilan alentaminen	59	17	43	2,2
3.4	Putkieristykset teknisissä tiloissa	0	0	0	0,0
3.5	WC-huuhtelumäärän pienentäminen	5	2	9	5,4
	Käyttövesijärjestelmä yhteensä	**869**	**1 106**	**1 502**	**1,4**
4	**Sähkö**	7	50	51	0,5
4.1	Tariffin ja jännitetason tarkistus ja loistehon kompensointi	411	896	1 394	1,2
4.2	Kuormitushuippujen tasaus ja kulutuksen ajoitus	7	11	8	1,1
4.3	Valaistus	1 698	3 829	16 519	4,1
4.4	Sähköiset lämmitykset	421	363	447	1,7
4.5	LVI-laitteet	115	534	1 493	3,1
4.6	Muut sähkölaitteet	252	982	3 743	3,9
4.7	Käyttötottumusten muutos	17	28	10	1,1
	Sähköjärjestelmä yhteensä	**2 928**	**6 693**	**23 665**	**3,5**
5	**Jäähdytysjärjestelmä**	50	351	997	2,4
5.1	Veden kulutus	10	31	16	1,0
5.2	Lauhdelämmön talteenotto	59	2 111	4 550	3,5
	Jäähdytysjärjestelmä yhteensä	**119**	**2 493**	**5 563**	**2,2**
6	**Rakenteet**	5	1	13	9,7
6.1	Ikkunat ja ovet	98	139	1 199	10,9
6.2	Ulkovaippa	7	11	82	6,0
6.3	Vesikatto	6	9	191	14,1
	Rakenteet yhteensä	**116**	**160**	**1 485**	**9,3**
7	**Paineilmajärjestelmä**	39	190	624	1,9
7.1	Paineilmajärjestelmän vuotojen korjaus	63	325	176	1,3
	Paineilmajärjestelmä yhteensä	**102**	**514**	**800**	**1,6**
8	**Muut energiansäästömahdollisuudet**	**573**	**15 507**	**56 882**	**3,7**
	Kaikki esitetyt toimenpiteet yhteensä	**9 123**	**52 096**	**159 433**	**3,1**

Motiva. 2022. Energiakatselmuksissa ehdotetut toimenpiteet. Säästötoimenpiteet koontitaulukko.

Liite 6. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien elinkaari 1(4)

Tunnus	Nimike	Elinkaari (noin vuotta)	Huom.
S	**SÄHKÖENERGIAN JAKELU- JA KÄYTTÖJÄRJESTELMÄT**		
S1	**ASENNUSREITIT**		
S110	Kaapelihyllyjärjestelmä	50	
S120	Johtokanavajärjestelmä		
	Johtokanavat, metalli	30	
	Johtokanavat, muovi	20	
	Asennuslistat (muovi)	20–30	
S140	Ripustusjärjestelmä		
S1403	Asennus-, kiinnitys- ja kannatusosat		
	Valaisinkiinnitysten osalta valaisimien elinkaaren mukaan		
S150	Läpiviennit		
S1501	Mekaaniset läpivientiosat		
	– Tarkastetaan tapauskohtaisesti.		
S1502	Paloeristetyt läpivientiosat		
	– Tarkastetaan tapauskohtaisesti.		
S1503	Äänieristetyt läpivientiosat		
	– Tarkastetaan tapauskohtaisesti, tarvittaessa äänimittaus.		
S1505	Vesieristetyt läpivientiosat		
	– Tarvittaessa kosteusmittaus.		
S1506	Vss-tilojen läpivientiosat	30	
S1507	Kaasutiiviit läpivientiosat		
	– Tarkistus toimittajan tarkastusohjeen mukaan.		
S2	**SÄHKÖNJAKELU JA SIIHEN LIITETYT KUORMITUKSET**		
S221	Suurjännitejakelujärjestelmä	50	
S222	Pääjakelujärjestelmä 400/230V		
S2221	Pääkeskuksen syöttöjärjestelmät		
	0,4 kV Liittymisjohdot	50	
	Muuntajien ja pääkeskusten väliset yhteydet	50	
S2222	Sähköpääkeskus	30–40	
S2223	Maadoitukset ja potentiaalintasaukset	50	
S2224	Loistehon kompensointilaitteet	20–30	
S2225	Yliaaltojen suodatuslaitteet	20–30	
S2226	Ylijännitesuojat		
	Venttiilisuojat	20–30	
	Varistosuojilla purkauskertojen määrä ratkaisee elinkaaren pituuden		
S2227	Sähköenergian kulutus-, laatu- yms. mittaukset	n. 10–15	
S2228	Keskusten väliset syöttöjärjestelmät	n. 40	
S2229	Sähkön jakokeskukset	30–40	
S23	Laitteiden ja laitteistojen sähköistys		
S231	Kiinteistön laitteiden ja laitteistojen sähköistys		
	Kiukaat	n. 10–15	
	Lämminvesivaraajat	n. 20–30	
	Kuivaimet	n. 10–15	

ST-97.00. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien kuntoarvio ja tutkimus, liite 6 (1/4). Sähköinfo Severi.

Liite 6. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien elinkaari 2(4)

S232	LVI-laitteiden ja laitteistojen sähköistys		
S2322	Kaapeloinnit	n. 20–40	
S2323	Liitäntäosat		
	Vahinkokäynnistyksen estokytkimet ja liitäntäosat	n. 20–40	
S24	Sähköliitäntäjärjestelmät		
S241	Pistorasiat	20–40	
S242	Kosketinkiskojärjestelmä	20–40	
S243	Jakelukiskojärjestelmä	20–40	
S244	Pistorasiapylväät	20–40	
S245	Autolämmityspistorasiat	n. 30	
S246	Pistorasiakeskukset	n. 20–30	
S247	Liitin- ja johtosarjajärjestelmä	n. 20–45	
S25	Valaistusjärjestelmät		
S251	Sisävalaistusjärjestelmät		
S2511	Ohjauslaitteet		
	valaisimen elinkaarta vastaavasti		
S2512	Kaapeloinnit	n. 20–30	
S2513	Valaisimet	n. 20–30	
	Muovirakenteinen valaisin	n. 10–20	
	Metallirakenteinen valaisin	n. 20–30	
	Loistevalaisin, rautasydänkuristin	n. 20–30	
	Loistevalaisin, elektroninen liitäntälaite	n. 10–15	
	Valonlähteet: valmistajan polttoikätaulun mukaan		
S254	Julkisivuvalaistusjärjestelmä	n. 20–30	
S26	Sähkölämmitysjärjestelmät		
S261	Rakennuksen sähkölämmitysjärjestelmä		
S2611	Lämmityksen ohjauslaitteet	n. 25–30	
S2612	Kaapeloinnit	n. 30–40	
S2613	Lämmityslaitteet	n. 25–30	
S264	Sulanapitojärjestelmät	n. 20–30	
S4	**VARAVOIMAJÄRJESTELMÄ JA SIIHEN LIITETYT KUORMITUKSET**		
S41	Varavoiman tuotanto	15–25	
S5	**UPS-JAKELUJÄRJESTELMÄ JA SIIHEN LIITETYT KUORMITUKSET**		
S5121	Ups-laitteet	10–15	
S6	**TURVAVALAISTUSJÄRJESTELMÄT**	15–25	
S61	Poistumisvalaistus		
S6102	Keskuslaitteet	15–25	
S6103	Kaapeloinnit	20–30	
S6104	Poistumisreittien turvavalaisimet	20–30	
S6106	Ohjauskytkimet	30	

ST-97.00. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien kuntoarvio ja tutkimus, liite 6 (2/4). Sähköinfo Severi.

Liite 6. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien elinkaari 3(4)

S7	**MUUT JÄRJESTELMÄT**		
S710	Salamasuojausjärjestelmä		
	Alastulojohtimet	50	
	Sieppaustangot	50	
	Elektrodit	50	
T	**TIETOTEKNISET JÄRJESTELMÄT**		
T1	**VIESTINTÄ- JA TIETOVERKKOJÄRJESTELMÄT**		
T110	Antennijärjestelmät		
T1102	Antennilaitteet	15–25	
T1103	Keskuslaitteet	10	
T1105	Kaapeloinnit	30–40	
T120	Äänentoistojärjestelmät	20–30	
T130	Yleiskaapelointijärjestelmä		
T1302	Alue- ja talojakamot	20–30	
T1303	Alue- ja nousukaapeloinnit	20	
T1304	Kerros- ja kotijakamot	10–20	
T1305	Kerros- ja kotikaapeloinnit	10–20	
T1306	Liitäntäpisteet	10–20	
T140	Puhelinjärjestelmä		
	Langaton puhelinjärjestelmä	10	
T1401	Puhelinliittymisjohdot	40–50	
T1402	Jakamot	30–40	
T1403	Laitteet	10–15	
T1404	Kaapeloinnit	30–40	
T150	Ovipuhelinjärjestelmä	15–20	
T1501	Keskuslaitteet	15–20	
T1502	Kaapeloinnit	30–40	
T1503	Ovikojeet	15–20	
T1504	Ovipuhelimet	15–20	
T160	Lähiverkkojärjestelmä		
T1603	Kaapeloinnit (liitäntäkaapelit)	5–10	
T1604	Laitteet (kytkimet, reitittimet, langattomat tukiasemat)	3–8	
T3	**MERKINANTO- JA KUTSUJÄRJESTELMÄT**		
T310	Ovikellojärjestelmä	30	
T320	Varattuvalojärjestelmä	30	
T330	Sisäänpyyntöjärjestelmä	30	
T370	Hoitajakutsujärjestelmä	10–20	
T320	Varattuvalojärjestelmät	30	
T4	**TIEDOTUS- JA NÄYTTÖJÄRJESTELMÄT**		
T410	Ajannäyttöjärjestelmä	20–30	

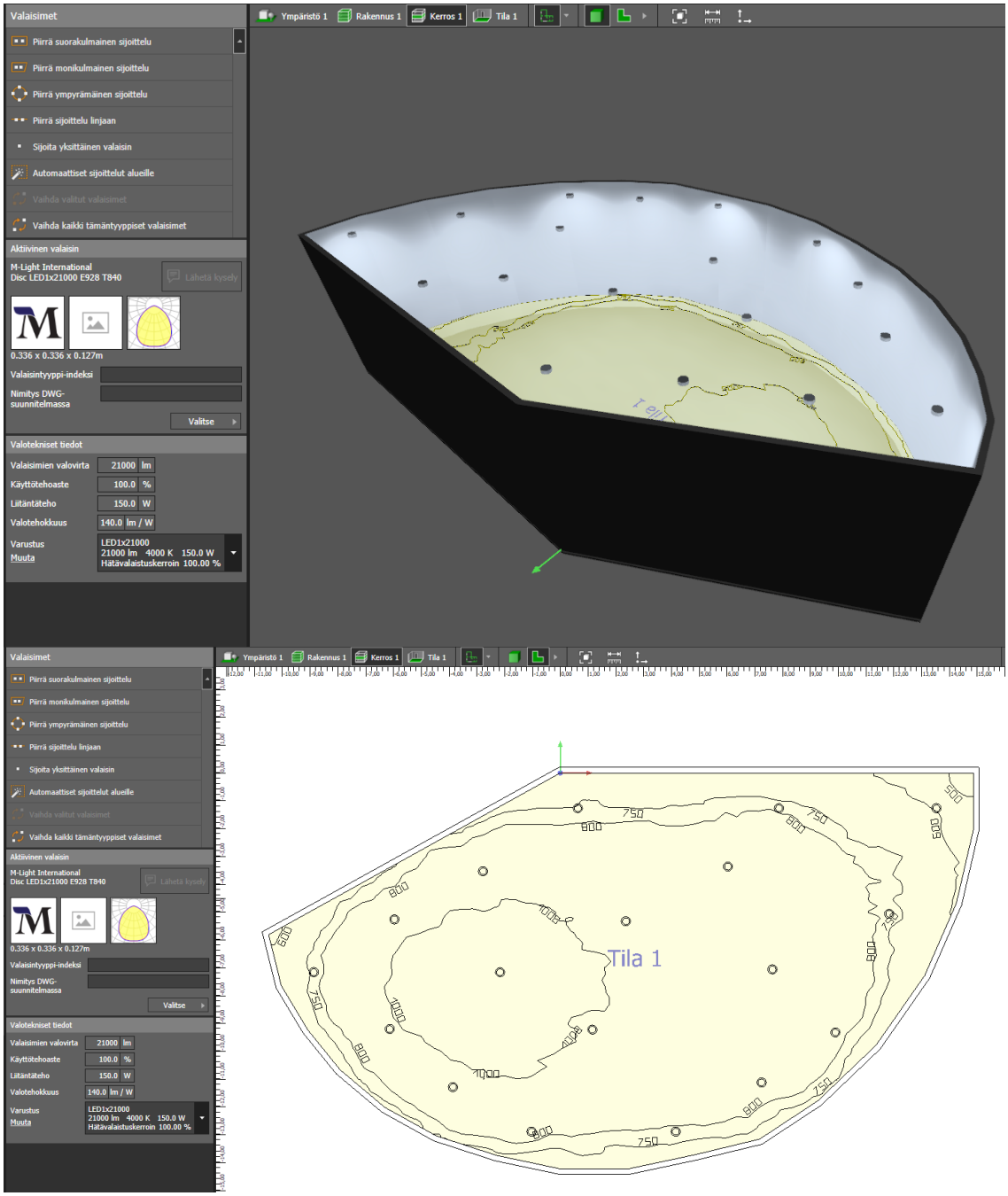
ST-97.00. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien kuntoarvio ja tutkimus, liite 6 (3/4). Sähköinfo Severi.

Liite 6. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien elinkaari 4(4)

T5	**TILATURVALLISUUSJÄRJESTELMÄT**		
T510	Sähkölukitusjärjestelmä	15–20	
T520	Kulunvalvontajärjestelmä	5–15	
	Päätelaitteet	10–15	
	Ohjelmistot	5–10	
T530	Murtoilmaisujärjestelmä	15	
T550	Kameravalvontajärjestelmä	8–15	
T570	Henkilöturvallisuusjärjestelmä	10	
T6	**PALOTURVALLISUUSJÄRJESTELMÄT**		
T610	Paloilmoitinjärjestelmä	20–35	
T620	Palovaroitinjärjestelmä	20–35	
T630	Savunpoiston ohjaus- ja valvontajärjestelmät	20–35	
T640	Palopeltien ohjaus- ja valvontajärjestelmät	20–35	
T650	Savusulkujärjestelmä	20–35	
T660	Palo-ovien ohjaus- ja valvontajärjestelmät	20–35	
T8	**AUTOMAATIO- JA MITTAUSJÄRJESTELMÄT**		
T810	Rakennusautomaatiojärjestelmät		
T8102	Valvomolaitteet	5–10	
T8103	Alakeskuslaitteet	10–15	
	Ohjelmistot	3–8	
T8105	Kenttälaitteet	10–15	
T8104	Kaapeloinnit	20–30	
T860	Väyläohjaus- ja valvontajärjestelmät	5–15	

ST-97.00. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien kuntoarvio ja tutkimus, liite 6 (4/4). Sähköinfo Severi.

Liite 7. Prosessilaboratoriokiinteistön korkean halliosan valaistussuunnitelma (Dialux evo-ohjelma)



(Asentajien/oppilaiden käytössä oli valaisimien sijoittelua varten mittakaavaan 1:50 tulostettu kuva)

Liite 8. Kiinteistön aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskuri (1/2)

Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskurin lähtötiedot

Sähköenergian ostohinta	10,0	snt/kWh
Energiaperusteinen sähkön siirtohinta	3,0	snt/kWh
Sähkövero ja huoltovarmuusmaksu	2,253	snt/kWh
Ostosähkön arvonlisävero	0 %	
Välitulos: aurinkosähkön vertailuhinta eli aurinkosähkön	*15,3*	snt/kWh
Arvio ostosähkön hinnan noususta %/v	2,0%	/vuosi
Tiedot hankittavasta aurinkosähköjärjestelmästä:		
Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona kWp	20,0	kWp
Välitulos: järjestelmän koko paneelien pinta-alana noin m2	*136*	*neliömetriä*
Aurinkosähkön vuosituotto järjestelmän sijainnin mukaan	880	kWh/kWp
Välitulos: aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto alussa	*17600*	*kWh*
Aurinkovoimalan vuosittainen sähköntuotannon vähenemä %/v	-0,5%	%
Aurinkosähkön ylijäämän osuus % vuosituotannosta	0 %	
Aurinkosähkön ylijäämän myyntihinta verkkoon snt/kWh	2,0	snt/kWh
Tiedot aurinkosähköjärjestelmän hankinta-, ylläpito- sekä rahoituskustannuksista:		
Aurinkosähköjärjestelmän avaimet käteen -investointikustannus €	€13 300	euroa
Välitulos: Järjestelmän vertailuhinta ilman tukia	*665 €*	*euroa/kWp*
Mahdollinen investointituki, kotitalousvähennys tms.	0 %	
Oma mainos-, brändi- tai ympäristötuki investoinnille €	€0	euroa
Välitulos: Järjestelmän investointikustannus sisältäen mahdolliset	*13 300 €*	*euroa*
Lainan tai ulkopuolisen rahoituksen määrä	€13 300	
Laina-aika tai rahoitussopimuksen pituus	10	vuotta
Lainan tai rahoituksen korko	4,0%	
Välitulos: Lainan tai ulkopuolisen rahoituksen maksuerät/vuosi	*€1 330,0*	*euroa/vuotta*
Investoinnin tuottovaatimus	0,0%	
Invertterin vaihdon kustannus, osuus alkuinvestoinnista. Oletettu	8 %	
Vuotuiset ylläpitokulut (vakuutukset, huolto tms. kulut)	€200	euroa

(Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri)

Liite 8. Kiinteistön aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskuri (2/2)
Kustannus- ja tuottolaskelmat aurinkosähköjärjestelmän elinkaaren aikana

Aurinkosähköjärjestelmän		Aurinkosähkön		Aurinkosähkön tuotantokustannukset				Aurinkosähkön ylijäämän			Aurinkosähkön tuotto- ja talouslaskelmat			
Järjestelmän pitoaika vuosina	Aurinko-sähkön tuotanto kWh/v	Ostosähkön hankinta-kustannus eur/kWh	Aurinkosähkön tuotantoa vastaavan ostosähkön arvo	Investoinnin kertamaksu tai lainaerät €/v	Rahoituksen korkokulut eur/v	Ylläpito- ja huoltokulut eur/v	Aurinkosähkön kustannukset yhteensä eur/v	Aurinkosähkön ylijäämän myyntihinta eur/kWh	Aurinkosähkön ylijäämän myyntituotot eur/v	Aurinkosähkön tuotannon arvo yhteensä eur/v	Kassavirta eur/v	Investoinnin kumulatiivinen tuotto eur/v	Investoinnin nettonykyarvoja (NPV) laskentakoroll	Takaisinmaksu- vuodet
1	17600	0,15 €	€2 684,5	€1 330	€531,6		€1 861,6	€0,02	€0,0	€2 684,5	€823	€823	**€823**	0
2	17512	0,16 €	€2 724,5	€1 330	€425,6	€200,0	€1 955,6	€0,02	€0,0	€2 724,5	€769	€1 592	**€769**	0
3	17424	0,16 €	€2 765,1	€1 330	€372,4	€200,0	€1 902,4	€0,02	€0,0	€2 765,1	€863	€2 455	**€863**	0
4	17337	0,16 €	€2 806,3	€1 330	€319,2	€200,0	€1 849,2	€0,02	€0,0	€2 806,3	€957	€3 412	**€957**	0
5	17251	0,17 €	€2 848,1	€1 330	€266,0	€200,0	€1 796,0	€0,02	€0,0	€2 848,1	€1 052	€4 464	**€1 052**	0
6	17164	0,17 €	€2 890,6	€1 330	€212,8	€200,0	€1 742,8	€0,02	€0,0	€2 890,6	€1 148	€5 612	**€1 148**	0
7	17079	0,17 €	€2 933,6	€1 330	€159,6	€200,0	€1 689,6	€0,02	€0,0	€2 933,6	€1 244	€6 856	**€1 244**	0
8	16993	0,18 €	€2 977,4	€1 330	€106,4	€200,0	€1 636,4	€0,02	€0,0	€2 977,4	€1 341	€8 197	**€1 341**	0
9	16908	0,18 €	€3 021,7	€1 330	€53,2	€200,0	€1 583,2	€0,02	€0,0	€3 021,7	€1 439	€9 635	**€1 439**	0
10	16824	0,18 €	€3 066,7	€1 330	€0,0	€200,0	€1 530,0	€0,02	€0,0	€3 066,7	€1 537	€11 172	**€1 537**	0
11	16740	0,19 €	€3 112,4		€0,0	€200,0	€200,0	€0,02	€0,0	€3 112,4	€2 912	€14 084	**€2 912**	0
12	16656	0,19 €	€3 158,8		€0,0	€200,0	€200,0	€0,02	€0,0	€3 158,8	€2 959	€17 043	**€2 959**	0
13	16573	0,19 €	€3 205,9		€0,0	€200,0	€200,0	€0,03	€0,0	€3 205,9	€3 006	€20 049	**€3 006**	0
14	16490	0,20 €	€3 253,6		€0,0	€200,0	€200,0	€0,03	€0,0	€3 253,6	€3 054	€23 103	**€3 054**	0
15	16407	0,20 €	€3 302,1		€0,0	€864,0	€864,0	€0,03	€0,0	€3 302,1	€2 438	€25 541	**€2 438**	0
16	16325	0,21 €	€3 351,3		€0,0	€200,0	€200,0	€0,03	€0,0	€3 351,3	€3 151	€28 692	**€3 151**	0
17	16244	0,21 €	€3 401,3		€0,0	€200,0	€200,0	€0,03	€0,0	€3 401,3	€3 201	€31 893	**€3 201**	0
18	16162	0,21 €	€3 451,9		€0,0	€200,0	€200,0	€0,03	€0,0	€3 451,9	€3 252	€35 145	**€3 252**	0
19	16082	0,22 €	€3 503,4		€0,0	€200,0	€200,0	€0,03	€0,0	€3 503,4	€3 303	€38 449	**€3 303**	0
20	16001	0,22 €	€3 555,6		€0,0	€200,0	€200,0	€0,03	€0,0	€3 555,6	€3 356	€41 804	**€3 356**	0
21	15921	0,23 €	€3 608,6		€0,0	€200,0	€200,0	€0,03	€0,0	€3 608,6	€3 409	€45 213	**€3 409**	0
22	15842	0,23 €	€3 662,3		€0,0	€200,0	€200,0	€0,03	€0,0	€3 662,3	€3 462	€48 675	**€3 462**	0
23	15762	0,24 €	€3 716,9		€0,0	€200,0	€200,0	€0,03	€0,0	€3 716,9	€3 517	€52 192	**€3 517**	0
24	15684	0,24 €	€3 772,3		€0,0	€200,0	€200,0	€0,03	€0,0	€3 772,3	€3 572	€55 764	**€3 572**	0
25	15605	0,25 €	€3 828,5		€0,0	€200,0	€200,0	€0,03	€0,0	€3 828,5	€3 628	€59 393	**€3 628**	0
26	15527	0,25 €	€3 885,5		€0,0	€200,0	€200,0	€0,03	€0,0	€3 885,5	€3 686	€63 078	**€3 686**	0
27	15449	0,26 €	€3 943,4		€0,0	€200,0	€200,0	€0,03	€0,0	€3 943,4	€3 743	€66 822	**€3 743**	0
28	15372	0,26 €	€4 002,2		€0,0	€200,0	€200,0	€0,03	€0,0	€4 002,2	€3 802	€70 624	**€3 802**	0
29	15295	0,27 €	€4 061,8		€0,0	€200,0	€200,0	€0,03	€0,0	€4 061,8	€3 862	€74 486	**€3 862**	0
30	15219	0,27 €	€4 122,3		€0,0	€200,0	€200,0	€0,04	€0,0	€4 122,3	€3 922	€78 408	**€3 922**	0
YHTEENSÄ	**491448**		**€100 619**		**€2 446,8**	**€6 464,0**	**€22 210,8**		**€0,0**	**€100 618,8**				**0**

(Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri)