



Miikka Oksanen

Laitesuojan energiatehokkuuden optimointi käyttötarkoituksen muuttuessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

4.3.2024

Tiivistelmä

| | |
|-----------------------|---|
| Tekijä: | Miikka Oksanen |
| Otsikko: | Laitesuojan energiatehokkuuden optimointi käyttötarkoituksen muuttuessa |
| Sivumäärä: | 31 sivua |
| Aika: | 4.3.2024 |
| Tutkinto: | Insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma: | Talotekniikka |
| Ammatillinen pääaine: | Kiinteistöjohtaminen |
| Ohjaajat: | Lehtori Tommi Mäntykoski Energiamanageri Niina Luostarinen |

Insinööriyön tarkastelun kohteena oli 1971 valmistunut laitesuoja, jonka kokonaispinta-ala on noin 3000 m². Insinööriyössä selvitettiin nykyisen laitesuojan energian käyttöä kolmen eri käyttötarkoitusta skenaarion avulla. Työ tehtiin Leijonaverkot Oy:lle.

Tavoitteena oli antaa toimeksiantajalle ehdotuksia tilojen energiatehokkaaseen käyttöön nykyisiä määräyksiä noudattaen. Eri skenaariot olivat tilojen tyhjilleen jääminen, tilojen muuttaminen toimistokäyttöön sekä tilojen muuttaminen palvelinkeskukseksi. Työssä selvitettiin eri skenaarioiden tärkeimmäksi valitut energian säästöön vaikuttavat ratkaisut, ja näitä vertailtiin nykytilanteeseen.

Insinööriyössä edettiin skenaario kerrallaan, ja toimeksiantajan kanssa yhdessä sovittiin eri skenaarioiden yhteydessä käsiteltävät aihealueet. Työssä tunnistettiin nykyisten taloteknisten laitteiden energiansäästöpotentiaali sekä laitteiden uusimistarpeet.

Insinööriyön toivottiin antavan toimeksiantajalle ideoita tilojen jatkokehityksen kannalta. Työn loppuvaiheessa toimeksiantajalla käynnistyi projekti, joka koski yhtä tutkittua skenaariota.

Avainsanat: laitesuoja, energiatehokkuus, hukkalämpö

Abstract

Author: Miikka Oksanen
Title: Optimization of Energy Efficiency of Server Room Shelter
When Changing Purpose of Use
Number of Pages: 31 pages
Date: 4 March 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: Property Management
Supervisors: Tommi Mäntykoski, Senior Lecturer
Niina Luostarinen, Energy Manager

The purpose of the thesis was to study a server room shelter energy efficiency at three different scenarios: were to not use the shelter for anything, to renovate it for office usage and to rebuild it to data centre use. The scenarios were made up together with a client, and the thesis was to give ideas about how to make right choices at energy usage.

The thesis aimed at identifying the best instruments to maintain the condition of the facility condition and establishing ways to make the facility more energy efficient. If the shelter was left unused, the most important question was moisture handling, if it were to be used as an office space, the question was indoor climate, and if it was to be a data centre, the question was waste heat utilization.

The thesis resulted in information about the condition of the devices in the space, and list of devices to renew in the future. Furthermore, the thesis listed available technical solutions to save energy at different scenarios.

The project increased the client's knowledge of energy efficiency, and technical choices for different scenarios compares the future energy usage to the current energy usage.

Keywords: server room shelter, energy efficiency, waste heat

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-------|-------------------------------------|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Energiatehokkuus | 2 |
| 3 | Leijonaverkot Oy | 2 |
| 4 | Väestönsuoja | 3 |
| 5 | Uusiutuva energia | 5 |
| 5.1 | Lämpöpumput | 6 |
| 5.2 | Hukkalämpö | 8 |
| 6 | Energiaverotus | 9 |
| 6.1 | ERE- ja PUE-luvut | 10 |
| 7 | Tutkimusmenetelmät | 11 |
| 8 | Skenaariot | 12 |
| 8.1 | Lähtötilanne | 12 |
| 8.2 | Skenaario 1 | 14 |
| 8.2.1 | Ilmankosteuden hallinta | 15 |
| 8.2.2 | Skenaario 1:n toimenpide-ehdotukset | 16 |
| 8.3 | Skenaario 2 | 16 |
| 8.3.1 | Sisäilmasto | 17 |
| 8.3.2 | Tarpeenmukainen käyttö | 22 |
| 8.3.3 | Skenaario 2:n toimenpide-ehdotukset | 23 |
| 8.4 | Skenaario 3 | 23 |
| 8.4.1 | Hukkalämmön hyödyntäminen | 24 |
| 8.4.2 | Skenaario 3:n toimenpide-ehdotukset | 27 |
| 9 | Yhteenveto | 27 |
| | Lähteet | 29 |

Lyhenteet

COP: *Coefficient of Performance*. Lämpöpumpun lämpökerroin.

ERE: *Energy Reuse Effectiveness*. Kuvaa miten hyvin konesalin hukkalämpö hyötykäytetään.

PUE: *Power Usage Effectiveness*. Kuvaa konesalien kokonaisenergian kulutusta suhteessa palvelinlaitteiden energiankulutukseen.

RH: Ilman suhteellinen kosteus, ilmaisee ilmassa olevaa vesihöyryn pitoisuutta.

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on tarkastella laitesuojan energian kulutusta tilojen käyttötarkoituksen muuttuessa. Tavoitteena on tehdä ehdotuksia, joiden avulla laitesuojan energiatehokkuutta voidaan kasvattaa ja energiankulutusta pienentää. Laitesuoja on kalliosuoja ja kiinteistön tilat sijaitsevat maan alla. Laitesuoja on tällä hetkellä vuokralaisena matkapuhelinoperaattoreita.

Laitesuojan käyttötarkoitus tulee mahdollisesti muuttumaan tulevaisuudessa, ja toimeksiantaja on halunnut tutkia kolmea erilaista laitesuojan mahdollista käyttötarkoitusta. Ensimmäisessä skenaariossa laitesuoja ei ole tuotannollista käyttöä, mutta tilat haluttaisiin pitää käyttökunnossa. Toisessa skenaariossa laitesuoja muutettaisiin toimistokäyttöön ja toimiston kapasiteetiksi määritettäisiin 100 henkilöä. Kolmannessa skenaariossa laitesuoja muutettaisiin palvelinkeskukseksi, jonka kapasiteetti olisi 200 kW.

Insinööriyö tehdään Leijonaverkot Oy:lle, ja työ antaa yritykselle ehdotuksia laitesuojan tulevaisuuden energiatehokkaaseen käyttöön. Työssä on tarkoitus selvittää, minkälaisia uusimistarpeita järjestelmiin kohdistuu erilaisissa käyttöskenaarioissa ja antaa ehdotuksia järjestelmien energiatehokkuuden parantamiseen. Insinööriyössä pohditaan erilaisia taloteknisiä ratkaisuja, joilla eri käyttöskenaarioiden energiatehokkuus voidaan optimoida.

Insinööriyön teoriaosuuteen on valittu kohteen käyttötarkoitusta parhaiten soivia teknisiä ratkaisuja, ja nämä ovat toimeksiantajan kanssa yhdessä valittuja aihealueita. Insinööriyön tietoperustaa varten haastatellaan ISS:n energia-manageria. Lisäksi käydään keskustelu ISS:n palveluohjaajan kanssa, jolla on tietoa insinööriyön kohdetta vastaavan luolakohteen teknisistä ratkaisuista. Insinööriyön tutkimuksen luonne on laadullinen eli kvalitatiivinen.

2 Energiatehokkuus

Energiatehokkuuden keskeisenä tavoitteena on kasvihuonepäästöjen kustannustehokas vähentäminen. Energiaa on tärkeä säästää myös energian saatavuuden turvaamiseksi, tuontienergian vähentämiseksi, energiakustannusten alentamiseksi sekä ympäristösyistä. Energiatehokkuus edistää uusiutuvan energian osuuden kasvattamista. Esimerkkejä tuloksellisista keinoista säästää energiaa ovat sähkön ja lämmön yhteistuotanto, energiakatselmusten järjestelmällinen toteuttaminen sekä vapaaehtoisten energiatehokkuussopimusten tekeminen. (1.)

Euroopan Unionin antama energiatehokkuusdirektiivi (2) varmistaa EU:n energiatehokkuutta koskevat tavoitteet. Tavoitteen mukaan EU:n kokonaisenergiankulutuksen tulisi olla vuonna 2020 vähintään 20 prosenttia alempi kuin se vuonna 2007 julkaistun perusuran mukaan olisi kehittynyt. (3, s. 7.) Euroopan komissio on uudistanut energiantehokkuusdirektiiviä ja se on tullut voimaan lokakuussa 2023. Työ- ja elinkeinoministeriö on asettanut työryhmän valmistelemaan direktiivin kansallista toimeenpanoa. (2.)

3 Leijonaverkot Oy

Toimeksiantajana insinööriyölle on Leijonaverkot Oy, ja se on osa Suomen Erillisverkot Oy -konsernia. Yritys on valtion kokonaan omistama erityistehtäväyhtiö, joka turvaa yhteiskunnan toimintaa ja kriittistä viestintää kaikissa oloissa vuorokauden, viikon ja vuoden ympäri. Yhteiskunnan kannalta kriittiset tietoliikenne- ja tietotekniikkapalvelut ovat yrityksen osaamisen ydintä. (4.)

Leijonaverkot tarjoavat asiakkaiden palvelin- ja viestintäjärjestelmille turvalliset ja varmennetut laitetilat sekä kokonaisvaltaisen ylläpitopalvelun. Laitetilat on suunniteltu toimimaan niin normaali- kuin poikkeusoloissa. Laitetilaverkosto kattaa koko Suomen. Hallinnoitujen laitetilojen kokonaispinta-ala on 80 000 neliötä, ja toimistojen kokonaispinta-ala 20 000 neliötä. Laitetilat ovat pääosin

maanalaisia suojatiloja ja sijaitsevat valtakunnallisten tiedonsiirron runkoverkon solmukohdissa. (5.)

Yrityksen asiakkaita ovat muun muassa puolustusvoimat, pelastuslaitos, poliisi, sosiaali- ja terveystoimijat, rajavartiolaitos, tulli sekä monet huoltovarmuus kriittiset toimijat.

4 Väestönsuoja

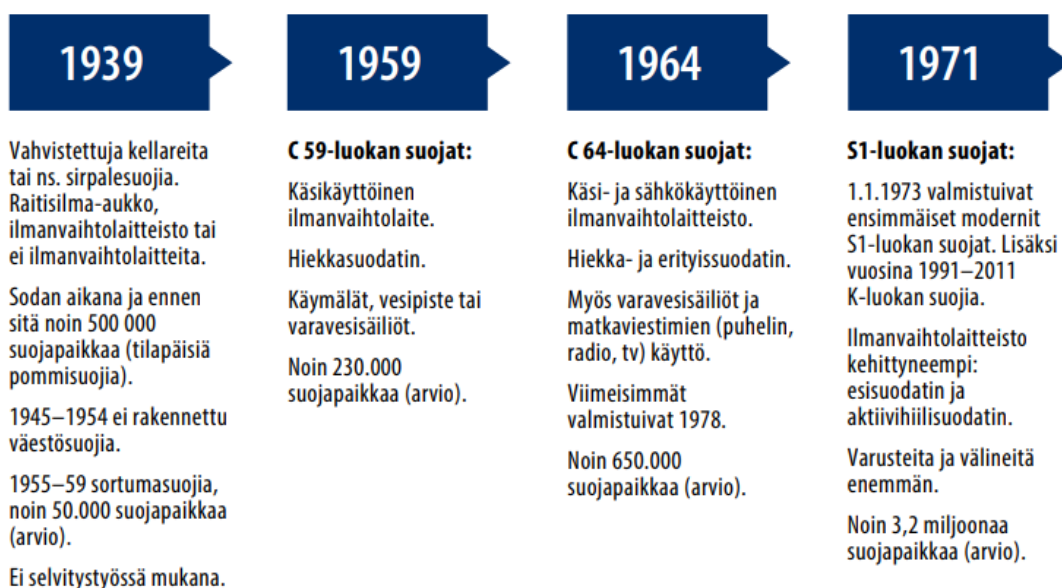
Suomen väestönsuojelun alkuunpanijoina 1920-luvulla toimivat kemistit, jotka pitivät taistelukaasuja uhkana siviileille. Tuolloin aloitettiin suunnittelemaan kaasuja vastaan sopivia suojia, ja näitä kutsuttiin kaasuojiksi tai suojakammioiksi. Ensimmäiset väestönsuojelusäädökset tulivat voimaan vuonna 1939. Vuonna 1940 päätettiin, että väestönsuojia tulisi rakentaa 18 kuntaan, jotka sijaitsivat silloisen Uudenmaan läänin alueella. Rakentaminen piti toteuttaa vuoden 1945 loppuun mennessä, mutta sodan takia tähän tavoitteeseen ei päästy. Tästä syystä sodan aikana päädyttiin rakentamaan tilapäissuojia, jotka antoivat suojaa vain sirpaleita vastaan. Sodan loputtua Suomessa oli noin 5000 väestönsuojaa, johon mahtui noin 500 000 ihmistä. (6, s. 12.)

Vuosina 1945–1954 ei väestönsuojia rakennettu käytännössä lainkaan. Vuonna 1954 valtioneuvoston päätöksellä väestönsuojien rakentaminen käynnistyi uudestaan, jolloin veloitettiin rakentamaan väestönsuojia yleissuunnitelmassa määriteltäviin rakennuksiin, joiden rakentaminen oli aloitettu vuoden 1955 jälkeen. Vuonna 1957 väestönsuojien rakentaminen oli ulotettava koskemaan koko maata. Vuonna 1959 annettiin päätös B- ja C-luokan väestönsuojien rakentamisesta. B- ja C-luokkien eroavaisuudet ovat paineenkestossa sekä ympärysseiniä ja katon paksuudessa. (6, s. 13.)

Nykyaikaisia väestönsuojia alettiin rakentamaan vuonna 1971, ja tällöin asetettiin päätös S1-luokan väestönsuojista. Vuonna 1990 väestönsuojelulain muuttaminen mahdollisti myös kevyiden eli K-luokan väestönsuojien rakentamisen. K-luokan väestönsuojia rakennettiin vuosien 1991–2011 aikana. Väestönsuojan

mitoituspusteruste on pelastustoimenasetuksella vakiintunut 0,75 neliötä henkilöä kohti. (6, s. 14.)

Eri vuosikymmeninä Suomessa on ollut suojuille erilaisia luokituksia (kuva 1), joissa on määritelty väestönsuojien varusteet.



Kuva 1. Väestönsuojien ja niiden varusteiden kehittyminen (6, s. 15.).

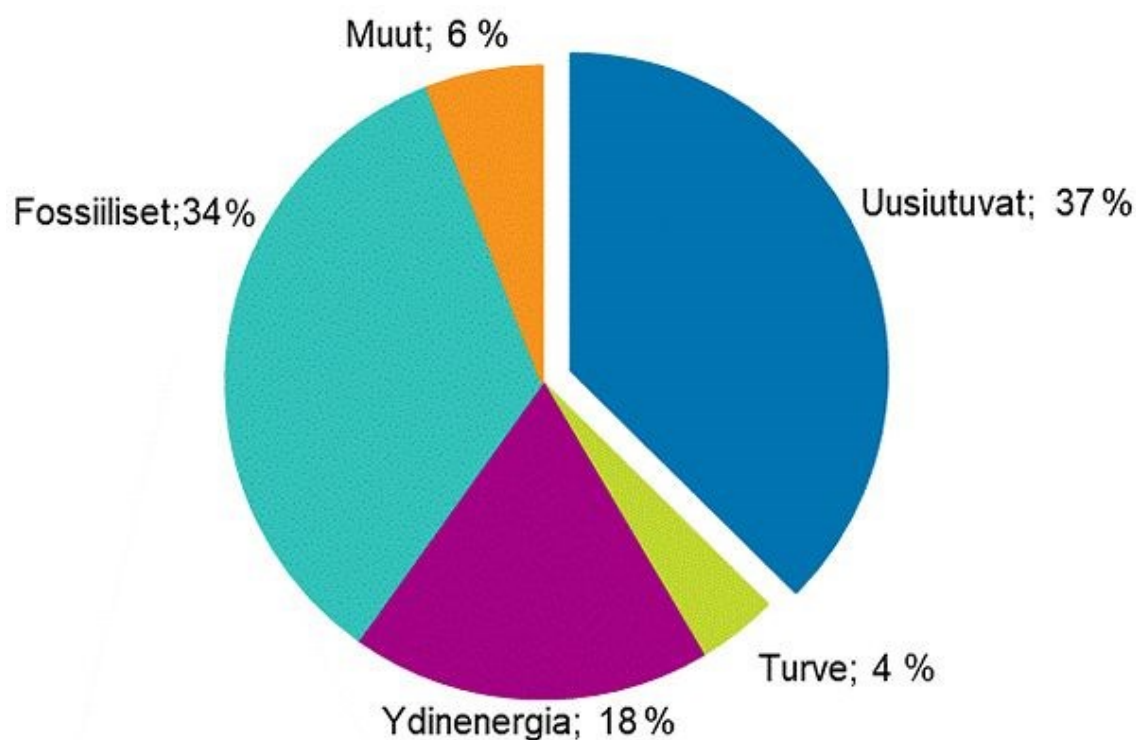
Nykyisessä pelastuslaissa väestönsuojan rakentamisvelvollisuus koskee rakennusta tai rakennusryhmää, jonka kerrosala on vähintään 1200 neliötä ja jonka tiloissa asutaan tai oleskellaan muuten pysyvästi. Teollisuus-, tuotanto-, varasto- ja kokoontumisrakennuksissa kerrosalan on oltava vähintään 1500 neliötä. Rakentamisvelvollisuutta ei kuitenkaan ole, jos tontilla tai rakennuspaikalla tai yhteisessä väestönsuojassa on vaatimukset täyttävä määrä suojapaikkoja. Kriisiajan ulkopuolella väestönsuojia käytetään usein urheilutiloina, parkkihallina, metrotunneleina tai harrastustiloina. Suoja tulee voida tyhjentää ja laittaa käyttökuntoon 72 tunnissa. (7.)

Nykyisin väestönsuojat jaetaan neljään pääluokkaan, jotka ovat K, S1, S3 ja S6. Luokituksissa eroavaisuuksia on seinämärakenteiden paksuudessa, rakennusmateriaaleissa sekä räjähdessuojauksessa. K-luokan suojuet ovat rakenteeltaan

muita kevyempiä ja niiden rakennusmateriaali voi olla teräs tai teräsbetoni. Rivitalojen väestönsuojat ovat tyypillisesti K-luokan suoja. S1-luokan suojien rakennusmateriaali on teräsbetoni, ja ne ovat yleisesti kerrostalon väestönsuojia. S3-luokan suoja on joko raskas teräsbetoninen väestönsuoja tai kevytrakenteinen kalliosuoja. S6-luokan väestönsuojat ovat suuria kalliosuojia, ja esimerkkinä nämä ovat usein normaalikäytössä maanalaisina parkkitiloina. (8.)

5 Uusiutuva energia

Uusiutuva energia on muista kuin fossiilisista lähteistä lähtöisin olevaa energiaa. Näistä tutuimpia ovat tuuli-, vesi-, aurinko- ja bioenergia. Myös geotermiäinen energia ja ympäristön energia kuuluvat tähän kategoriaan. Suomessa jo reilu kolmannes tuotetusta energiasta (kuva 2) on uusiutuvaa energiaa. Suomi kuuluu uusiutuvan energian käytössä EU-maiden kärkijoukkoon. (9.)

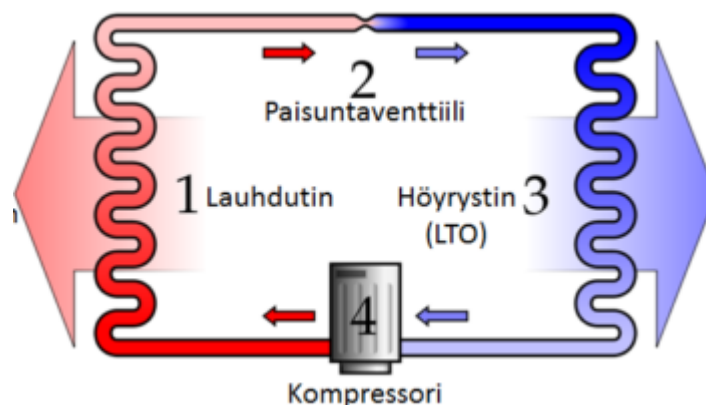


Kuva 2. Energian tuotantomuodot vuonna 2019 (9).

5.1 Lämpöpumput

Lämpöpumput hyödyntävät uusiutuvaa energiaa. Lämpöpumppuratkaisut ovat viime vuosina kasvattaneet suosiotaan lämpöpumpputeknologian sekä tehokkaampien kylmäaineiden kehittymisen myötä. Lämpöpumpun tyypin mukaan lämpöenergiaa voidaan ottaa ulkoilmasta, kiinteistön poistoilmasta, vedestä, maasta tai kalliosta. Lämpöpumppuratkaisuilla saavutetaan ympäristöhyötyjä, jotka vaikuttavat hiilidioksidipäästöjen ja pienhiukkaspäästöjen vähenemiseen. Niillä saadaan myös taloudellisia säästöjä, jotka asuinkiinteistöissä johtavat yhtiövästikkeiden pienenemiseen ja jälleenmyyntiarvon kasvuun. Tulevaisuudessa lämpöpumppujen merkitys kasvaa kysyntäjoustotarpeen kasvaessa. Lämpöpumppuja voidaan käyttää energian varastointiin silloin, kun uusiutuvan energian tuotantoa on paljon. (10.)

Lämpöpumppujen toimintaperiaate on kaikissa tyypeissä samanlainen, vaikka lämmönlähteitä on erilaisia. Lämmönlähteen mukaan lämpöpumppujen hyötysuhteet vaihtelevat, ja onkin tärkeä osata valita kiinteistöön soveltuva lämpöpumpputyyppi. Pääkomponentit lämpöpumpussa (kuva 3) ovat kompressori, paisuntaventtiili, lauhdutin ja höyrystin.

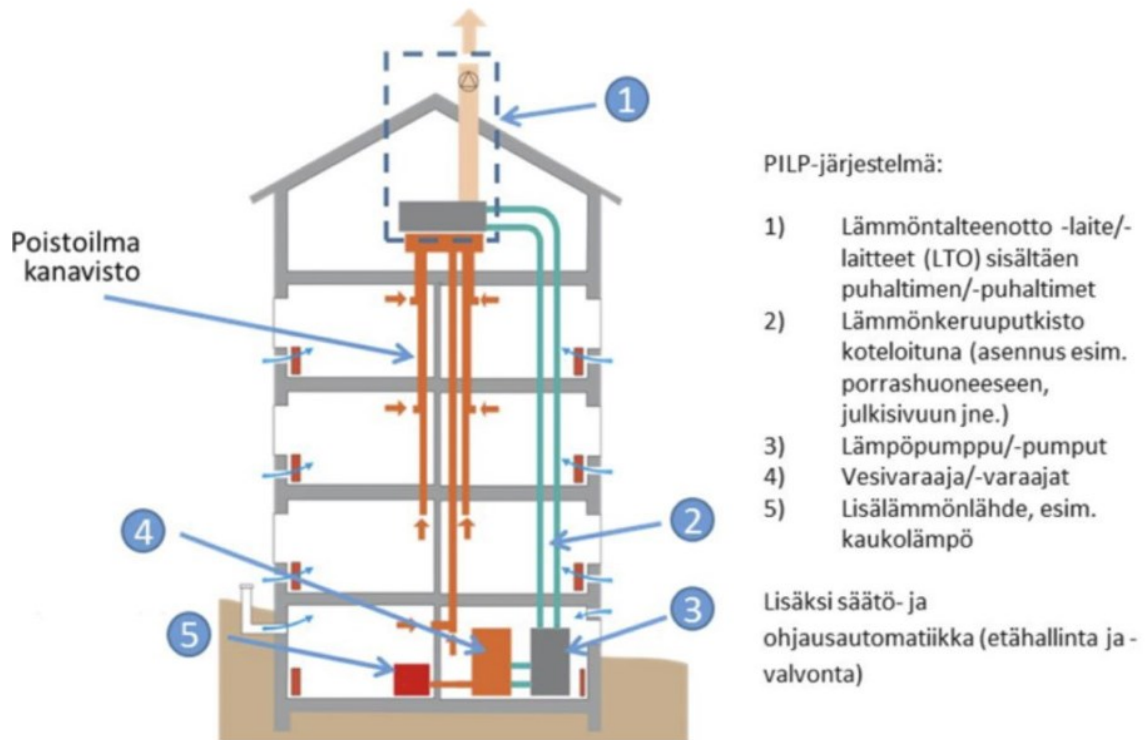


Kuva 3. Lämpöpumpun toimintaperiaate (11.).

Höyrystimen tehtävänä on kerätä lämpöenergiaa lämmönlähteestä kylmäaineeseen. Höyrystimessä kylmäaine lämmitessään höyrystyy, minkä jälkeen kylmäainehöyryn paine nostetaan kompressorilla. Tällöin kylmäaine lämpenee ja

virtaa lauhduttimelle. Lauhdutin luovuttaa kylmäaineesta lämpöenergiaa, jolloin kylmäaine muuttuu nesteeksi. Paisuntaventtiili muuttaa korkeapaineisen kylmäaine nesteen höyrystyneeksi, osittain matalapaineiseksi nesteeksi, ja kylmäainekiertoalprosessi alkaa uudestaan. (11.)

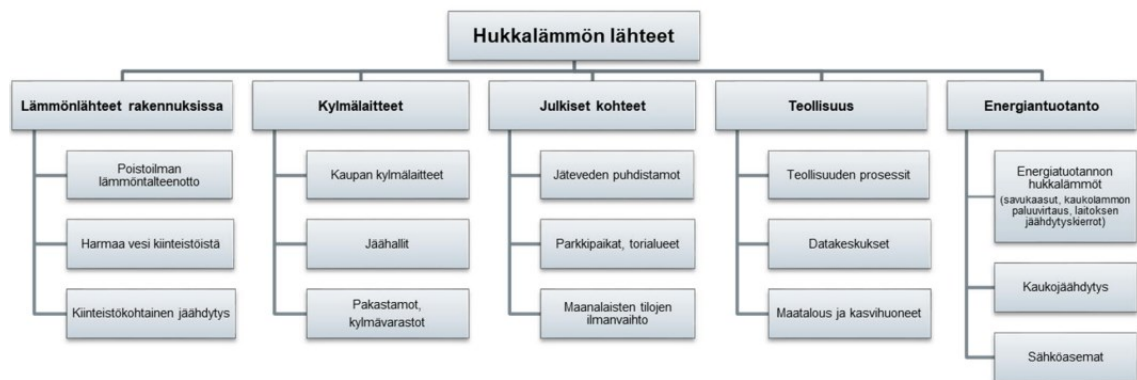
Poistoilmalämpöpumpulla kiinteistön poistettavasta ilmasta otetaan talteen lämmitysenergiaa, ja pumpulla voidaan lämpö siirtää tarpeen mukaan tuloilmaan, käyttöveteen tai lämmitysjärjestelmään (kuva 4). Kiinteistöstä poistettava ilma on yleisesti 21–25-asteista sisäilmaa, jolloin poistoilmalämpöpumpun hyötysuhde on lähes vakio ympäri vuoden. Mitä enemmän kiinteistössä on lämpökuormaa, sitä enemmän lämpöenergiaa voidaan ottaa talteen.



Kuva 4. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate (12, s. 124.).

5.2 Hukkalämpö

Hukkalämmöllä tarkoitetaan teollisuuslaitoksissa sivutuotteena syntyvää lämpöä, joka käyttämättömänä katoaa ilmaan tai veteen, koska sitä ei ole voitu käyttää osana yhteistuotantoprosessia. Tunnistettuja hukkalämmönlähteitä (kuva 5) ovat rakennusten lämmönlähteet, kylmälaitteet, julkiset kiinteistöt, teollisuus sekä energiantuotanto.



Kuva 5. Hukkalämmön eri lähteet (13, s. 10.).

Lämmönlähteen hyödyntämisen ratkaisee lämpötilataso sekä kohteen potentiaali. Teknistaloudellisesti tämä tarkoittaa, että mitä tasaisemmin lämmönlähde on käytettävissä ja mitä korkeampi lämpötilataso on, sitä suurempi hyödyntämispotentiaali lämmönlähteellä on. Esimerkiksi jätevedenpuhdistamoilla on suuri potentiaali, ympäri vuoden lämpöenergiaa ja riittävä lämpötilataso. (13.)

Datakeskukset edustavat potentiaalista hukkalämmönlähdettä, koska ne vaativat jäähdytystä. Datakeskuksen hukkalämmön määrä on noin 46 % datakeskuksen kuluttamasta sähköenergiasta. Datakeskusten yleisin jäähdytystapa on ilmajäähdytys, ja hukkalämmön lämpötilan vaihteluväli on 22–80 °C. Nestejäähdytyksen omaavan datakeskuksen hukkalämpö on hyödynnettävissä suoraan kaukolämpöjärjestelmässä. Kuvassa 6 on esitetty eri lämmönlähteiden hukkalämmön lämpötilatasoja.

| Lämmönlähde | Luokittelu | Lämpötilataso | Suuruusluokka | Ajallinen vaihtelu |
|---------------------------|-------------|---|----------------------------------|--|
| Teollisuuden prosessit | Hukkalämpö. | Metalliteollisuus 30-1650 °C, kemianteollisuus 90-300 °C, tekstiiliteollisuus 40-160 °C, elintarviketeollisuus 30-150 °C, puu- ja paperiteollisuus 70-120 °C. (Brückner et al., 2015) | 100 kW - 100 MW | Riippuvainen teollisuuden käyttöasteesta, voi vaihdella prosessisyklin mukana. Kuitenkin suhteellisen tasainen vuoden ympäri. Säädettyvyys liittyy prosessiin. |
| Datakeskukset | Hukkalämpö. | 25-45 °C (ilmajäähdytys), 22-65 °C (yksifaasinen nestejäähdytys), 62-80 °C (kaksifaasinen nestejäähdytys) (Vuorinen, 2019) | 10 kW - 100 MW, yleisimmin 10 MW | Suhteellisen tasainen vuoden ja vuorokauden ympäri. Ei säädettävissä ellei jäähdytykselle ole vaihtoehtoja ratkaisua. |
| Maatalous ja kasvihuoneet | Hukkalämpö. | 20-30 °C (ilma, vesi) | 10-100 kW | Painottuu kesäaikaan, kun yllilämpöä on eniten saatavilla. Säädettyvyys. |

Kuva 6. Teollisuuden hukkalämmön lähteitä (13, s. 14.).

Kylmäjärjestelmien tuottama hukkalämpö on jäähdytyskäytön seurauksena syntyvää lauhdelämpöä, joka normaalisti johdetaan lauhduttimien kautta ulkoilmaan. Suurin osa kylmäjärjestelmien tuottamasta hukkalämmöstä on matalassa lämpötilatasossa ja vaatii näin ollen lämpöpumpun kaukolämpöjärjestelmissä hyödyntämiseen. Yleisesti suurten lämpöpumppujen lämmönlähteinä ovat teollisuuden prosessit, datakeskukset, jätevedenkäsittelylaitokset sekä kaukojäähdytyslaitokset. Pienemmissä järjestelmissä tuotettu lämpö on usein parhaiten hyödynnettävissä itse kohteessa, ja ajoittain se voi tuottaa lämpöä kaukolämpöverkkoon. Kiinteistön omistajan näkökulmasta pienen järjestelmän rooli kaukolämpöjärjestelmän tulonlähteenä ei ole merkittävä. (13.)

6 Energiaverotus

Vuodesta 2022 asti kaukolämpöverkkoon vähintään 0,5 megawattia tuottavat lämpöpumput tai niiden muodostamat kokonaisuudet ovat oikeutettua alempaan veroluokan II sähköveroon. Myös konesalit, joiden palvelinteho on vähintään 0,5 megawattia ja jotka täyttävät laissa säädetyt energiatehokkuuskriteerit ovat oikeutettuja veroluokan II sähköveroon. Konesalit käsittävät laitetilaa, jossa yritys harjoittaa tietojenkäsittelyä, tietopalvelutoimintaa tai palvelintilan vuokrausta pääasiallisena elinkeinona. Konesaleiksi ei lueta liiketoimintaan nähden vain tukitoimintoja, esimerkiksi kaupanalan ja rahoituspalveluiden palvelintiloja. Konesalin teho määräytyy käytössä olevan vuotuisen keskitehon mukaan, joka lasketaan kalenterivuoden palvelinlaitte-energian määrästä. (14.)

6.1 ERE- ja PUE-luvut

ERE-luku tarkoittaa konesalin hukkalämpö hyödynnettävyyttä, ja se kuvaa konesalin energian uudelleenkäytön tehokkuutta. ERE-luvun laskukaava on seuraava:

$$\text{ERE} = \frac{\text{kokonaisenergia} - \text{hyötykäytetty hukkalämpö}}{\text{palvelinlaite-energia}}$$

PUE-luku tarkoittaa kokonaisenergiankäytön suhdetta varsinaisten palvelinlaitteiden kuluttamaa energiaa, ja se kuvaa konesalin energiatehokkuutta. PUE-luvun laskukaava on seuraava:

$$\text{PUE} = \frac{\text{kokonaisenergia}}{\text{palvelinlaite-energia}}$$

Kokonaisenergialla tarkoitetaan jäähdytyksen, sähkönjakelun, valaistuksen, palvelinlaite ja muiden laitteiden energiankulutusta.

Konesalien on täytettävä ERE- tai PUE-luku seuraavasti, jotta käytettävä sähkö voidaan verottaa veroluokan II mukaisesti.

- 0,5–5 MW palvelinlaiteteho ERE-luku saa olla korkeintaan 0,90
- 5–10 MW palvelinlaiteteho ERE-luku saa olla korkeintaan 1,00
- Yli 10MW palvelinlaitetehoisella konesalilla ei ole talteenottovelvoitetta

Jos ERE-luvun määrittäminen on mahdotonta, niin vuosina 2022–2026 PUE-luvun on oltava alle 1,25 ja vuodesta 2027 lähtien 1,20. (14.)

7 Tutkimusmenetelmät

Insinööriyön tutkimusmenetelmäksi valikoitui laadullinen eli kvalitatiivinen tutkimus, joka perustuu teoria-aineistoihin ja niiden analysointiin. Kvalitatiivinen tutkimus on luonteeltaan kuvailevaa, diagnosoivaa ja arvioivaa. Kvalitatiivista tutkimusta käytetään yleisesti esiselvityksessä, jonka pohjalta voidaan tutkimusta syventää. (15.) Tutkimuskohde oli insinööriyön tekijälle tuttu perustuen työsuhteeseen.

Tietoa insinööriyötä varten hankittiin haastattelemalla ISS:n energiamanageria energiansäästöön liittyvistä ratkaisuista. Haastateltava toimii energiamanagerina ISS Palveluilla, ja hän tekee sähköalan energiakatselmuksia työssään. Haastattelu tapahtui etäyhteyden välityksellä, ja haastateltavalle oli lähetetty ennakoon kymmenen kysymystä aiheeseen liittyen. Haastateltavalle lähetetyt kysymykset olivat:

- Mitä ratkaisuja kiinteistöissä voidaan suorittaa säästääkseen energiaa?
- Mitkä ovat suurimpia sähkönkuluttajia kiinteistöissä?
- Mitä hyötyjä saavutetaan energiankulutuksen seurannasta?
- Mitä tarkoittaa tarpeen mukainen käyttö?
- Mitä hyötyjä taajuusmuuttajista on?
- Voiko valaistuksella säästää energiaa?
- Miten kiinteistöautomaatiota voidaan hyödyntää energian säästössä?
- Voidaanko laitevalinnoilla vaikuttaa energiansäästöön?
- Mitä uusiutuvan energian ratkaisuja on käytössä?
- Voiko energian varastoinnilla säästää?

Kysymykset olivat valittu insinööriyön kohteena olevan kiinteistön teknisten laitteiden uusimistarpeita ajatellen. Haastattelusta saatiin paljon tietoa sähkön energiasäästökohteista, ja haastattelu vahvisti tietoperustasta hankittua tietoa.

Insinööriyötä varten keskusteltiin lisäksi ISS:n palveluohjaajan kanssa, ja keskustelun avulla hankittiin tietoa laitesuojan jäämisestä ilman käyttötarkoitusta.

Hän on toiminut aiemmin laitesuojaa vastaavan kohteen vastuuhenkilönä, ja hänellä on kokemusta vastaavan kalliosuoja kohteen jäämisestä ilman käyttötarkoitusta. Keskustelussa saatiin myös tietoa erilaisista ilmanvaihtolaitteistojen teknisistä ratkaisuista, jolla kalliosuojan sisäilman kosteuteen voidaan vaikuttaa.

8 Skenaariot

Insinööriyössä tehdään toimeksiantajalle ehdotuksia laitesuojan energiatehokkaaseen käyttöön kolmessa eri hypoteettisessa skenaariossa. Nämä skenaariot ovat toimeksiantajalta tulleita mahdollisia tulevaisuuden käyttötarkoituksia laitesuojalle.

Ensimmäisessä skenaariossa laitesuoja jää ilman käyttötarkoitusta, mutta kiinteistö ja laitteisto halutaan pitää käyttökuntoisena. Tässä skenaariossa laitesuojan tilojen kosteuden hallinta on suuressa roolissa. Skenaariossa tutkitaan, miten kosteudenhallinta voitaisiin toteuttaa mahdollisimman kustannustehokkaasti.

Toisessa skenaariossa laitesuoja muutetaan toimistokäyttöön, jolloin tiloihin tulisi toimistotiloja 100 henkilölle. Tässä skenaariossa toimistojen sisäilma ja ilmanvaihto ohjaavat ratkaisuja suuresti.

Viimeisessä skenaariossa laitesuojaan rakennetaan palvelinkeskus, jonka mahdollinen kapasiteetti on 200 kW. Skenaariossa selvitetään konesalien hukkalämmön hyödyntämistä kaukolämpöverkon tarpeisiin.

8.1 Lähtötilanne

Nykyisin laitesuojassa toimii matkapuhelin operaattoreita, jotka ovat vuokralaisina tiloissa. Tiloissa ei ole vakituista henkilöstöä. Laitesuoja on kalliosuoja, joka on rakennettu maan alle. Laitesuoja on rakennettu 1970-luvun alussa, ja tilojen kokonaispinta-ala on noin 3000 m². Suurin osa teknisistä laitteista on alkuperäisiä, esimerkiksi tilojen ilmanvaihtolaitteistot. Ilmanvaihtolaitteissa lämmöntalteenotto toimii kiertoilmaperiaatteella. Laitesuojan poistoilmasta otetaan

nestekiertoisella talteenottojärjestelmällä lämpöä talteen ja siirretään sitä nesteen välityksellä tuloilmaan.

Laitesuojassa ympäri vuoden suurin energiaa vievä prosessi on jäähdytysprosessi, koska telelaitteet tuottavat lämpöä, ja tiloja täytyy jäähdyttää. Kohteessa ei ole vapaajäähdytysjärjestelmää, ja vain pienen osan vuodesta ilmanvaihto it sessään riittää tilojen jäähdytykseen. Jäähdytysprosessissa syntyvää lauhdelämpöä ei hyödynnetä esimerkiksi lämmityksessä. Prosessissa käytetään suuria määriä kaupungin vesijohtoverkoston vettä.

Laitesuojan valaistus on suurimmaksi osaksi toteutettu loisteputkivalaisimin, jotka alkavat olemaan elinkaarensa lopussa. Sähkömoottoreiden taajuusmuuttajakäyttöjä on vähäisissä määrin. Valaistuskeskukset ovat osin vanhoja tulppasulakekeskuksia.

Kaukolämpö lämmittää laitesuojan ilmanvaihto- ja radiaattoriverkoston, sekä käyttövesiverkoston. Laitesuojan lämmityskustannukset ovat kiinteistön pintaalaan nähden pienet. Suurimmaksi osaksi tilat ovat maanalaisia, ja ulkolämpötilan vaikutus lämmitystarpeeseen on pieni.

Insinööriyötä varten laitesuojan energiankulutusta tarkasteltiin viimeisen kahden vuoden ajalta. Vuosittainen sähkönkulutus on keskimäärin ollut 880 000 kWh, ja suurin osa sähköenergian kulutuksesta on mennyt vuokralaisten palvelinlaitteisiin. Kiinteistötekniisten laitteiden sähkönkulutus vuodessa on keskimäärin 265 000 kWh. Lämpöenergiankulutus laitesuojassa on keskimäärin vuodessa ollut 200 MWh, mikä tekee noin 14 MWh neliötä kohden. Laitesuojan vedenkulutus on tarkastelujaksolla ollut keskimäärin 650 m³ vuodessa. Suuren vedenkulutuksen syynä on laitesuojan jäähdytysprosessi, joka käyttää vettä suurina määrinä.

8.2 Skenaario 1

Ensimmäisessä skenaariossa laitesuojan tuotannollinen käyttö loppuu ja vuokralaisten palvelinlaitteet poistuvat. Tällöin nykyinen lämpökuorma laitesuojassa vähenee ja tilojen jäähdytystarve poistuu. Nykyhetken energiankulutukseen verrattuna sähkönkulutus vähenee, koska suurimpana sähkönkuluttajana palvelinlaitteistoja ei ole eikä jäähdytysprosessia ei tarvita. Ilmanvaihdon tarve vähenee jäähdytystarpeen vähentyessä, ja ilmanvaihtokoneiden käyntiä aikatauluttamalla voidaan ilmanvaihtolaitteistosta saada sähkönkulutuksen säästöjä. Ilmanvaihtolaitteistoa ei kuitenkaan kokonaan voida sammuttaa, jotta laitesuojan käyttökunto pystytään ylläpitämään. Kokonaan ilmanvaihdon sammuttamisella on vaarana tilojen kosteuden hallitsematon nousu, joka pahimmillaan voi johtaa tiloissa sisäilmaongelmiin ja homekasvuston muodostumiseen. Maanalaisissa tiloissa radon on otettava huomioon ilmanvaihtoa vähennettäessä, eikä sisäilman radonpitoisuus saa ylittää toimenpide rajaa 300 Bg/m^3 (16).

Palvelinlaitteiden poistuessa tilojen lämpökuorma vähenee, mikä lisää laitesuojan lämmitystarvetta. Nykyisin hukkalämpöä otetaan poistoilmasta talteen nestekiertoisella lämmöntalteenottojärjestelmällä. Nykytilanteeseen verrattuna poistoilman lämpötila laskee skenaariossa 1, joten nestekiertoisen lämmöntalteenottoista hyötysuhde huononee. Tällöin lämpöpumppuratkaisulla saataisiin tehokkaammin poistoilmasta lämpöä talteen. Lämpöpumppua voitaisiin käyttää myös tuloilman kosteuden poistoon. Lämmitysenergian tarvetta voidaan vähentää tilojen lämpötilaa laskemalla, vaikkakaan tilojen ilmankosteus ei saa nousta liian suureksi.

Jäähdytysprosessin poistuessa vedenkulutus pienenee huomattavasti, mistä saadaan säästöjä. Skenaariossa laitesuojassa ei ole vakituista henkilöstöä ja vedenkulutus on vähäistä.

8.2.1 Ilmankosteuden hallinta

Laitesuojan jäädessä ilman selkeää käyttötarkoitusta tärkein tilojen käyttökunnon kannalta on kosteuden hallinta. Ilmanvaihdolla pyritään kuljettamaan rakennuksessa syntyvä liiallinen kosteus pois ja muuttamaan rakennuksen paine-eroa, jottei kostea ilma pääse rakenteisiin. Sisäilman kosteus ei saa olla jatkuvasti haitallisen korkea, eikä kosteus saa tiivistyä rakenteisiin, niiden pinnoille tai ilmanvaihtojärjestelmään. Ilmanvaihtolaitteiston puhtaus, toiminta ja kunto on tarkastettava huolto-ohjeiden mukaisesti, jotta varmistetaan laitteiden oikea toiminta. (17, s. 75.)

Normaalisti asuinrakennusten suhteellinen ilmankosteus pyritään pitämään välillä 30–40 % RH, ja jos sisäilman suhteellinen kosteus nousee yli 75 % RH ja sisäilman lämpötila on välillä 5–55 °C, homesienten kasvu on mahdollista. Jotta homeitiöiden kasvua tapahtuu, kosteustason tulee olla pidemmän aikaa korkea. Myös rakennusmateriaalien vastustuskyky homeetta vastaan vaihtelee. Kuvan 7 taulukossa on esitetty eri rakennusmateriaalien homehtumisherkkyysluokat. (18.)

| Homehtumisherkkyysluokka | | Rakennusmateriaalit* |
|--------------------------|--------------------|--|
| HHL1 | Hyvin herkkä | Karkeasahattu ja mitallistettu puutavara (mänty, kuusi ja lehtipuut), höylätty mänty, koivuvaneri, käsittelemätön huokoinen puukuitulevy, kartonkipintainen kipsilevy |
| HHL2 | Herkkä | Höylätty kuusi, paperipohjaiset bitumoidut/käsitellyt tuotteet ja kalvot, puupohjaiset liimatut levyt, havuvaneri, bitumoitu/käsitelty huokoinen kuitulevy |
| HHL3 | Kohtalaisen herkkä | Mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiilet, kuitusementtilevy, lasikuitupintainen kipsilevy |
| HHL4 | Kestävä | Lasi ja metalli, alkalinen uusi betoni, tehokkaita homeensuoja-aineita sisältävät materiaalit |

Kuva 7. Homehtumisherkkyys eri materiaaleilla (18, s. 87.).

Sisäilman kosteuteen voidaan vaikuttaa myös eri teknisin ratkaisuin. Ilmanvaihdon kosteusmittausten pohjalta voidaan ilmanvaihtolaitteisiin rakentaa erilaisia kuivatustoimintoja, joilla kiinteistön rakennusautomaatio järjestelmä ohjaa ilmanvaihtolaitteiston peltejä ennalta ohjelmoidulla tavalla. Poistoilman kosteuden saavuttaessa ennalta sovittu raja-arvo ohjataan peltejä ohjelmoidun mukaisesti sekä jäähdytys- tai lämmityspatterilla saadaan kuivattua kosteaa tuloilmaa. (19.)

Ilmankosteutta voidaan paikallisesti kuivattaa erilaisin kuivaimin, joista yleisemmin käytössä oleva on adsorptiotyyppinen kuivain. Tällaiset kuivaimet ovat usein tarkoitettu lyhytaikaiseen kuivaustarpeeseen, ja vaativat huoltoa toimiakseen suunnitellulla tavalla.

8.2.2 Skenaario 1:n toimenpide-ehdotukset

Skenaario 1:n toimenpide-ehdotuksiin lukeutuu se, että laitesuojan nykyiseen ilmanvaihtolaitteistoon lisättäisiin kosteusmittaus pisteitä, sekä huonetilojen kosteusmittauksia. Tämän mittausdatan perusteella voitaisiin tilojen mahdollinen suhteellisen ilmankosteuden nousu havaita, ja tehdä tarvittavia korjaavia ilmanvaihdon ohjauksia. Nämä voisivat olla ohjelmallisia toimintoja ilmanvaihtolaitteistoon ilmankosteuden pienentämiseksi. Ilmanvaihtolaitteiston käyttämän sähköenergian vähentämiseksi koneisiin olisi suositeltavaa laittaa taajuusmuuttajakäyttöjä. Tällä saadaan tarkemmin säädettyä myös ilmavirtoja ja painesuhteita. Nykyinen nestekiertoinen lämmöntalteenottojärjestelmä suositellaan uusittavaksi poistoilmalämpöpumpuksi, jolloin pienentyneestä hukkalämmöstä saadaan tehokkaammin lämpöä talteen.

8.3 Skenaario 2

Toisessa skenaariossa laitesuoja muutetaan toimistotiloiksi ja laitesuojaan tehdään työpiste sadalla henkilölle. Nykyinen laitesuojan ilmanvaihto on pääosin rakennettu 1970-luvulla, eikä se vastaa nykyisiä rakennusalan säännöksiä. Nykytilanteeseen verrattuna ilmanvaihtoa on kasvatettava, ja tämä lisää ilmanvaihdon lämmitystarvetta, sekä ilmanvaihtolaitteiden sähkönkulutusta.

Ilmanvaihtolaitteiston sähkönkulutukseen voidaan vaikuttaa taajuusmuuttaja käytöillä sekä toimistokäyttöä ajatellen tarpeen mukaisilla ilmanvaihtolaitteiden käyntiajoilla (19). Ilmanvaihdon lämmitystarvetta voidaan vähentää nykyaikaisilla lämmöntalteenottojärjestelmillä. Lämpimän käyttöveden kulutus lisääntyy nykytilanteeseen verrattuna, sillä tällä hetkellä laitesuojassa ei ole vakituista henkilöstöä.

Toimistotilojen keskimääräinen sähkönkulutus vuodessa on 20,4 kWh/m³ (20). Laitesuojakäyttöön verrattuna skenaariossa 2 vuosittainen sähkönkulutus pysyy samansuuruisena. Toimistotilojen suurimpia sähkönkuluttajia ovat valaistus, toimiston äylaitteet sekä toimistojen keittiölaitteet. Toimistotilojen sähkönkulutusta voidaan vähentää tarpeenmukaisella käytöllä, älykkäillä valaistuksen ohjauksilla, energiatehokkailla laitteilla, optimoimalla tietokoneiden energiansäästöasetukset ja sammuttamalla laitteet, kun niitä ei käytetä. (20.)

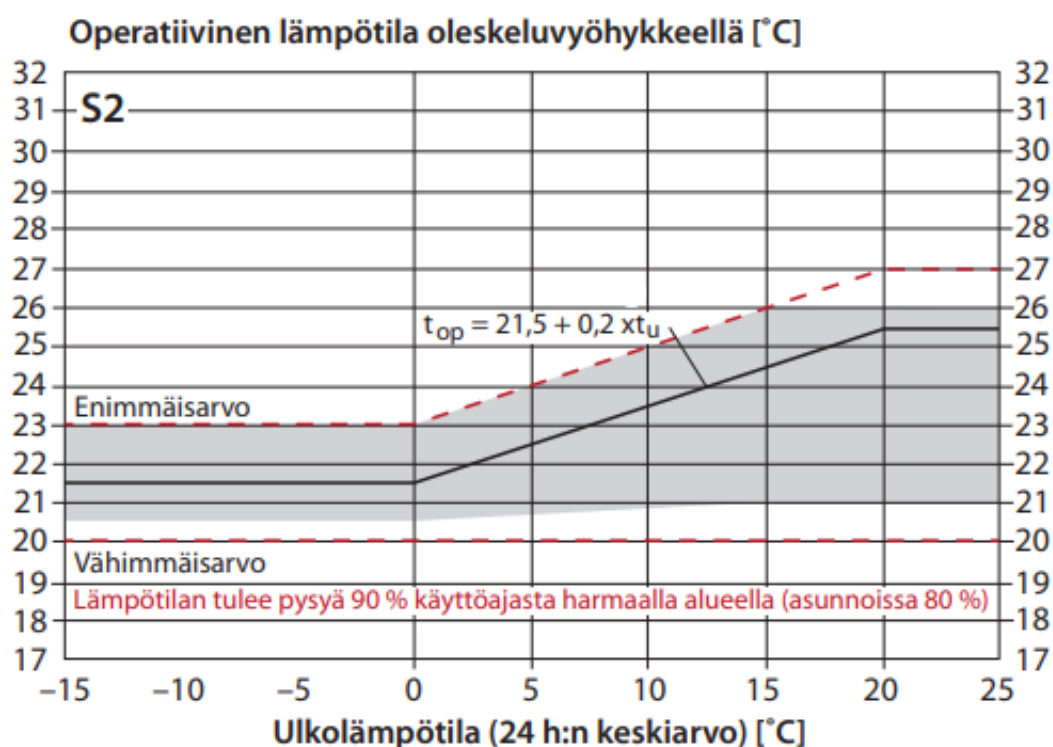
Toimistotiloissa on yleisesti myös tilojen jäähdytys käytössä, joten nykyisen jäähdytysprosessin osalta vedenkulutus pysyy samana. Jäähdytysprosessia olisi syytä muuttaa, jotta prosessissa syntyvä hukkalämpö pystyttäisiin ottamaan käyttöön lämmitysverkostoissa, ja prosessi ei tarvitsisi toimiakseen vesijohtovettä.

8.3.1 Sisäilmasto

Sisäilmastoon vaikuttavia tekijöitä ovat lämpöolot, ilmavirtaukset, kosteus ja epäpuhtaudet. Sisäilmastolle on kolme tavoiteluokkaa: S1, S2 ja S3. Laatu-luokka S1 tarkoittaa yksilöllistä sisäilmastoa, ja tässä luokassa tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä, lämpöolot ovat viihtyisät, ääniolosuhteet ovat erittäin hyvät ja valaistusolosuhteet ovat hyvät. Tällaisissa tiloissa käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpötila- ja valaistusolosuhteita, ja tämä toteutuu parhaiten yhden hengen huonetiloissa. S2-laatu-luokassa sisäilmanlaatu on hyvä, lämpöolot ovat hyvät ja tiloissa on käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet. Yliämpeneminen on mahdollista kesäpäivinä. Tämä luokitus on eniten käytetty vaatimustaso työtilojen suunnittelutavoitteena. Laatu-luokassa S3

pyritään tyydyttävään sisäilmastoon, ja tilan sisäilmasto täyttää rakennusmääräysten vähimmäisvaatimukset. (22, s. 5.)

Laatuluokassa S2 sisäilman lämpöolosuhteille on määritelty tavoitearvot (kuva 8) oleskeluvyöhykkeellä. Kuvassa 8 optimilämpötilaa kuvaa musta viiva, mutta lämpötila voi poiketa tavoitteesta, jota kuvaa harmaa alue. Toimitiloissa lämpötilan tulee pysyä 90 % käyttöajasta harmaalla alueella. (asunnoissa 80 %)



Kuva 8. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot (22, s. 6.).

Luokituksessa S2 on määritelty oleskeluvyöhykkeen ilman liikenopeudelle tavoitearvot (kuva 9) eri liikkuvan ilman lämpötilan mukaisesti.

| | S1 | S2 | S3 |
|--|---------|---------|-------------|
| Vetoa aistivien osuus, draft rate (DR) [%] | 10 | 15 | |
| Ilman liikenopeus [m/s] | | | |
| $t_{ilma} = 21\text{ °C}$ | < 0,15 | < 0,15 | 0,2 (talvi) |
| $t_{ilma} = 23\text{ °C}$ | < 0,15 | < 0,20 | |
| $t_{ilma} = 25\text{ °C}$ | < 0,20* | < 0,25* | 0,3 (kesä)* |

*Paikallisesti voidaan hyväksyä korkeampia ilmannopeuksia termisen viihtyvyyden lisäämiseksi, kun käytössä ei ole koneellista jäähdytystä.

Kuva 9. Ilman liikenopeuden tavoitearvot (22, s. 7.).

Luokituksessa S2 on sisäilman hiilidioksidi-, radon- ja pienhiukkaspitoisuuksille määritetty seuraavat tavoitearvot (kuva 10).

| | S1 | S2 | S3 |
|--|-------|-------|-------|
| Hiilidioksidipitoisuuslisä* [ppm] | < 350 | < 550 | < 800 |
| Radonpitoisuus [Bq/m ³] | < 100 | < 100 | < 200 |
| PM _{2,5} [µg/m ³] | < 10 | < 10 | < 25 |
| PM _{2,5} sisällä/ulkona | < 0,5 | < 0,7 | - |
| Ilman suhteellinen kosteus [% RH] | - | - | - |
| Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjasta] | | | |
| toimi- ja opetustilat | 90 % | 90 % | - |
| asunnot | 90 % | 80 % | - |

*suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus.

Kuva 10. Sisäympäristön laadun tavoitearvot (22, s. 7.).

Rakennusten äniolosuhteet suunnitellaan standardin SFS 5907 mukaisesti. A-luokka vastaa korkeinta tavoitetasoa ja C-luokka vähimmäistasoa. Sisäilmasto-luokassa S2 pyritään vähintään tavoitetasoon C. Kuvan 11 taulukossa on esimerkkejä S1-, S2- ja S3-luokkien vastaavista tavoitearvoista.

| Tila ja suure | Merkintä | yksikkö | S1 | S2 | S3 |
|--|----------------------------|---------|--------|--------|--------|
| 1–2 hengen toimistuhuone | | | | | |
| Äänitasoeroluku työhuoneiden välillä | $D_{nT,w}$ | dB | ≥ 44 | ≥ 40 | ≥ 35 |
| Äänitasoeroluku käytävälle | $D_{nT,w}$ | dB | ≥ 30 | ≥ 25 | - |
| Askeläänitasoluku ympäröivistä tiloista | $L'_{nT,w} + C_{L50-2500}$ | dB | ≤ 63 | ≤ 63 | ≤ 63 |
| Jälkikaiunta-aika ¹⁾ | T | s | ≤ 0,5 | ≤ 0,6 | ≤ 0,7 |
| LVIS-laitteiden äänitaso | L_{Aeq} | dB | ≤ 35 | ≤ 35 | ≤ 40 |
| Rakennuksen ulkopuolisten lähteiden äänitaso | $L_{Aeq,07-22}$ | dB | ≤ 40 | ≤ 40 | ≤ 40 |
| Neuvotteluhuone | | | | | |
| Äänitasoeroluku naapurihuoneeseen | $D_{nT,w}$ | dB | ≥ 48 | ≥ 44 | ≥ 40 |
| Äänitasoeroluku käytävälle | $D_{nT,w}$ | dB | ≥ 35 | ≥ 30 | ≥ 30 |
| Askeläänitasoluku ympäröivistä tiloista | $L'_{nT,w} + C_{L50-2500}$ | dB | ≤ 58 | ≤ 63 | ≤ 63 |
| Jälkikaiunta-aika ¹⁾ | T | s | ≤ 0,5 | ≤ 0,6 | ≤ 0,7 |
| Puheensiirtoindeksi ³⁾ | STI | - | ≥ 0,8 | ≥ 0,7 | ≥ 0,7 |
| LVIS-laitteiden äänitaso | L_{Aeq} | dB | ≤ 35 | ≤ 35 | ≤ 35 |
| Rakennuksen ulkopuolisten lähteiden äänitaso | $L_{Aeq,07-22}$ | dB | ≤ 35 | ≤ 35 | ≤ 40 |
| Avotilatoimisto⁴⁾ | | | | | |
| Äänitasoeroluku työhuoneeseen | $D_{nT,w}$ | dB | ≥ 30 | ≥ 25 | ≥ 25 |
| Äänitasoeroluku neuvotteluhuoneeseen | $D_{nT,w}$ | dB | ≥ 35 | ≥ 30 | ≥ 30 |
| Askeläänitasoluku ympäröivistä tiloista | $L'_{nT,w} + C_{L50-2500}$ | dB | ≤ 63 | ≤ 63 | ≤ 63 |
| Häiritsevyysetäisyys ²⁾ | r_D | m | ≤ 4 | ≤ 6 | ≤ 8 |
| Puheensiirtoindeksi ³⁾ | STI | - | ≤ 0,5 | ≤ 0,5 | ≤ 0,5 |
| Jälkikaiunta-aika ¹⁾ | T | s | ≤ 0,40 | ≤ 0,50 | ≤ 0,60 |
| LVIS-laitteiden äänitaso | L_{Aeq} | dB | 35 | 35 | 40 |
| Rakennuksen ulkopuolisten lähteiden äänitaso | $L_{Aeq,07-22}$ | dB | ≤ 40 | ≤ 40 | ≤ 45 |

Kuva 11. Esimerkkejä akustisten suureiden tavoitearvoista (22, s. 8).

Työkohteiden valaistus suunnitellaan standardin SFS-EN 12464-1 mukaisesti, ja standardissa on esitetty vähimmäisvaatimustaso (kuva 12). Sisäilmaluokituksissa S1 ja S2 valaistussuunnittelulle tavoitearvot ovat samat. S1 luokassa käyttäjän tulee voida säätää työpistevalaistusta itse. (22, s. 9.)

| | S1 | S2 | S3 |
|------------------------------------|-------|-------|----|
| Valaistusvoimakkuus, työalue [lx] | > 500 | > 500 | – |
| Valaistusvoimakkuus, lähialue [lx] | > 300 | > 300 | – |
| Häikäisyindeksi UGR_L | < 19 | < 19 | – |
| Värintoistoindeksi R_a | > 80 | > 80 | – |

Kuva 12. Esimerkkejä valaistussuunnittelun tavoitearvoista (22, s. 9).

Toimistotilojen ilmanvaihdolla poistetaan kosteutta, ja ihmisten aiheuttamia epäpuhtauksia. Eri sisäilmaluokituksille on määritelty omat tilakohtaiset mitoitusarvot (kuva 13). Jos tilat sisältävät erityisiä epäpuhtauslähteitä, ilmanvaihdon tarve on tarkasteltava tapauskohtaisesti. Ilmanvaihto tulee mitoittaa mahdollisimman tarkasti vastaamaan todellista henkilökuormitusta. Suunnittelu vaiheessa, jos tilojen käyttäjämäärää ei tunneta, kanavisto ja ilmanvaihtokone tulee valita suurimman todennäköisen käyttötarpeen mukaisesti. Tässä voidaan käyttää tilatehokkuuksia hyödyksi. Jos tilojen käyttötarkoitus muuttuu, ilmavirtoja on voitava säätää. (21, s.15.)

| Tila | Lattia-ala m ² /hlö | S1-luokka | | S2-luokka | | S3-luokka | |
|--|-----------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| | | dm ³ /s, hlö | dm ³ /s, m ² | dm ³ /s, hlö | dm ³ /s, m ² | dm ³ /s, hlö | dm ³ /s, m ² |
| Toimitila, normaali tilatehokkuus | 10–12 | 16 | 1,5 | 11 | 1,0 | 6 | 1,0 |
| Toimitila, suuri tilatehokkuus | 6–8 | 14 | 2,0 | 9 | 1,5 | 6 | 1,5 |
| Neuvotteluhuone | 3 | 12 | 4,0 | 8 | 3,5 | 6 | 3,0 |
| Taukotila, kahvio | 1,5 | 11 | 5,0 | 8 | 4,0 | 6 | 2,0 |
| Hotellihuone | | 10 | | 8 | | 6 | |
| Opetustila tai muu oleskelutila | 2 | 11 | 5,5 | 8 | 4,0 | 6 | 3,0 |
| Luentosali | | 10 | | 8 | | 6 | |
| Päiväkodin ryhmätilat | 3 | 12 | 4,0 | 8 | 3,0 | 6 | 3,0 |
| Käytävä ja porrashuone | | | 1,0 | | 0,5 | | 0,5 |
| Käytävä, aula | | | 1,5 | | 1,0 | | 1,0 |
| Ruokala ja kahvila | 2 | 11 | 5,5 | 8 | 4,0 | 6 | 3,0 |
| Kuumennus- ja jakelukeitin ¹⁾ | | | 10 | | 10 | | 5–10 |
| Valmistuskeitin ¹⁾ | | | 15–40 | | 15–40 | | 15–25 |
| Astianpesuhuone ¹⁾ | | | 12–20 | | 10–15 | | 10 |
| Liiketila, myymälä ¹⁾ | | 10 | 1–3 | 8 | 1–3 | 6 | 1–3 |
| Näyttelytila | | | 3 | | 3 | | 2 |
| Kirjasto | | | 3 | | 2 | | 2 |
| Salit (konsertti-, teatteri-, elokuva-, koulun sali) | | 10 | | 8 | | 6 | |
| Lämpö | | | 5 | | 5 | | 5 |
| Kuntosali | | | 6 | | 6 | | 6 |
| Liikuntahalli, urheilijat | | | 2,5 | | 2 | | 2 |
| Liikuntahalli, katsojat | | 10 | | 8 | | 6 | |
| Potilashuone ²⁾ | | 15 | 3,5 | 12 | 3 | 10 | 2,5 |
| Varasto, arkisto (poisto) | | | 0,5 | | 0,5 | | 0,35 |

¹⁾ Prosessin aiheuttama ilmanvaihdon tarve tai yllämmön poistaminen tulee suunnitella tapauskohtaisesti.

²⁾ Sairaalatiilojen sisäilmaston suunnittelusta ja ilmavirroista on tietoja raportissa Sairaalailmanvaihdon suunnitteluohjeita (Ryynänen 2007).

Kuva 13. Ulkoilmavirtojen normaalin käyttötilanteen mitoitusarvot (22, s. 16.).

Normaalijän ulkopuolella vähimmäisilmanvaihdon on toimittava siten, että ilma vaihtuu kaikissa huonetiloissa eikä paine-ero sisä- ja ulkoilman välillä saa muuttua. Vähimmäisilmanvaihdolle on määritelty mitoitusarvot eri luokille (kuva 14). Ilmanvaihtoa on käytettävä normaaliteholla 2 tuntia ennen tilojen normaalia käyttöä. (22, s. 16.)

| Käyttötilanne | Yksikkö | S1 | S2 | S3 |
|---|-----------------------------------|-----|-----|------|
| Normaali käyttö ¹⁾ | dm ³ /s,hlö | 10 | 8 | 6 |
| Tehostustilanne, asuntokohtainen suurenusmahdollisuus ²⁾ | % | 30 | 30 | 30 |
| Käyttäjän ulkopuolinen perusilmanvaihto ^{1,3)} | dm ³ /s,m ² | 0,2 | 0,2 | 0,15 |

Kuva 14. Ulkoilmavirtojen mitoitusarvot eri käyttötilanteissa (22, s. 17.).

Energiasäästöä tavoitellessa näiden sisäilmaston mitoitusarvojen sisässä kuitenkin täytyy pystyä toimimaan, jotta hyvän sisäilmaston tavoitteet saavutetaan. Liiallinen ilmanvaihdon pienentäminen huonontaa sisäilmaa ja aiheuttaa terveyshaittoja.

8.3.2 Tarpeenmukainen käyttö

Kiinteistön tarpeenmukainen käyttö on yksi tärkeimmistä asioista energiatehokkuuteen pyrittäessä. Tarpeenmukaisella käytöllä tarkoitetaan, että ilmanvaihtoa, valaistusta ja sähkölaitteiden käyttöä optimoidaan käyttötarpeen mukaisesti. Jos tiloissa ei ole käyttäjiä, ei sähkölaitteidenkaan pitäisi olla käytössä.

Ilmanvaihtolaitteistoa voidaan ohjata monin eri tavoin. Laitteiston tarpeenmukaisessa suunnittelussa tulee tunnistaa ilmanvaihdon vaikutusalueen tilojen käyttötarkoitus. Ilmanvaihtoa voidaan ohjata aikaohjelmallisesti tai mittausdatan perusteella. Aikaohjelmaohjaus ei tunnista tilan käyttöastetta, jolloin mittausdataan perustavalla ohjauksella energiansäästö on suurempi. Jos tilassa ei ole käyttöä, lasketaan tilan ilmanvaihto mini-ilmavirtaukselle. (20.)

Valaistuksen tarpeenmukaista käyttöä voidaan lisätä liike- ja läsnäolotunnistimin. Kun tiloissa ei ole henkilöitä, valaistuskaan ei ole silloin päällä. Energiatehokas valaistus ottaa huomioon valaistustavan, sijoittelun, ympäristön ja luonnonvalon määrän. Valaistusta jo suunnitellessa on hyvä huomioida nykyvalaisimien teho, ja varsinkin saneerauskohteissa suunnittelun myötä valaisimien lukumäärä pienenee nykyisten LED-valaisimien tehokkuuden myötä. LED-valaisimia valitessa on hyvä käyttää laadukkaita valaisimia, jolloin varaosia on niihin saatavilla, ja valaisimien takuut ovat pitkät. Ulkovalaistuksissa on suositeltavaa käyttää valoisuusohjauksen lisäksi aikaohjausta, jolloin valaisin ei ole päällä, kun liikkuminen on epätodennäköistä. (20.)

Toimistotiloissa on paljon näyttö- ja sähkölaitteita, jotka kuluttavat paljon energiaa. Käyttöajan ulkopuolella ne olisi hyvä sammuttaa, mutta aina sitä ei muisteta tehdä. Toimistojen ATK-laitteisiin voidaan ohjelmoida sähkönsäästöohjelmia, jotka sammuttavat automaattisesti laitteet. Myös toimistolaitteiden energiatehokkuus on hyvä ottaa huomioon, kun toimistotiloja suunnitellaan. Tiloihin voidaan myös rakentaa pistorasiaryhmiin aikaohjelmia, jotka sammuttavat laitteet käyttöajan ulkopuolella. (20.)

8.3.3 Skenaario 2:n toimenpide-ehdotukset

Skenaariossa 2 laitesuojan muuttuessa toimistotiloiksi nykyinen ilmanvaihto tulisi muuttaa nykyaikaiseksi, jossa olisi pyörivät lämmöntalteenottojärjestelmät sekä taajuusmuuttajaohjattavat puhallinmoottorit. Nykyisissä ilmanvaihtokammioiden on käytetty paljon villaa äänieristysmateriaalina, ja näiden on todettu aiheuttavan sisäilmaongelmia kiinteistöissä. Myös kiinteistöautomaation mittauspisteitä tulisi lisätä, jotta ilmanvaihtoa pystytään ohjaamaan tarpeenmukaisesti. Nykyinen jäähdytysprosessi tulisi modernisoida, jotta prosessista saadaan vesijohtovesi poistettua ja lauhdelämpö hyödynnettyä lämmityksessä. Sähkön mittauspisteitä tulisi lisätä sähkökeskuksiin ja mittaukset liittää kiinteistöautomaatiojärjestelmään. Tällöin sähkönkulutusta voidaan seurata ja muutoksiin reagoida nopeasti. Nykyistä valaistutusta uusittaessa tulisi suunnittelu vaiheessa ottaa tilojen käyttötarve huomioon. Uudet valaisimet olisivat laadukkaita LED-valaisimia ja valaistuksenohjaus toteuttaa liike- ja läsnäolotunnistimin. Sähkösuunnitteluvaiheessa ottaa huomioon energian varastointitapojen kehittymisen ja uusiin sähkökeskuksiin olisi hyvä tehdä varaukset näille.

8.4 Skenaario 3

Kolmannessa skenaariossa tutkitaan laitesuojan käyttöä palvelinkeskuksena, ja toimeksiantaja on määritellyt palvelinkeskuksen tehoksi 200 kW. Palvelinkeskuksat vaikuttavat jokapäiväiseen elämäämme ruuan, vaatteiden, asuntojen, liikenteen ja terveydenhuollon välityksellä. Palvelinkeskuksat ovat ensisijaisesti keskittyneet tietojenkäsittelyyn, ja niitä voidaankin kutsua tietovarastoiksi, tietokonehuoneiksi, palvelinhuoneiksi jne. Vuonna 2016 Yhdysvaltojen datakeskuksat kuluttivat sähköä 70 miljardia kWh, mikä vastaa kahdeksan ydinreaktorin sähköntuotantoa vuodessa. Sähkönkulutuksen on odotettu kasvavan edelleen, jolloin energiantehokkuus uusissa palvelinkeskuksissa on syytä huomioida. (23.)

Energiatehokasta palvelinkeskusta suunnitellessa on syytä käyttää jo hyväksi havaittuja käytäntöjä ja nykyaikaisia teknologioita. Näitä ovat esimerkiksi

telinetason nestejäähdytys, palvelimien mittauspisteiden ja säätöjen lisääminen, kuuma- ja kylmäkäytävä palvelinrakenne, vapaajäähdytys, taajuusmuuttaja käytöt puhaltimissa ja hukkalämmön hyötykäyttäminen. Palvelinkeskusten suurimpia energialähteitä käyttäviä toimintoja ovat jäähdytyslaitteet sekä palvelimet itsessään. Palvelinkeskuksen IT-laitteiston on itsessään suositeltavaa olla energiatehokkaita malleja, ja yksi tunnusmerkki näille on Yhdysvaltain ympäristösuojeluviraston käynnistämä Energy Star -ohjelma. Palvelimien komponenttien toimintalämpötilat määrittelevät käyttöolosuhteet, joissa palvelimien toiminta on turvallista. (23.)

Nykytilanteeseen verrattuna tämänhetkinen jäähdytyskapasiteetti ei ole riittävä palvelinkeskuksen jäähdytykseen. Nykyisessä jäähdytysprosessissa hukkalämpöä ei voida hyödyntää. Jäähdytysprosessi toimii pääosin ilmanvaihtokoneisiin asennettuun jäähdytyspatterein, joka palvelinkeskus käytössä ei ole optimaalisin jäähdytystapa. Nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän ilmamäärät olisivat riittävät palvelinkeskuskäyttöön, mutta palvelinkestusta varten laitesuojaan joudutaan tekemään suuria rakennusteknisiä muutoksia, jolloin ilmanvaihtolaitteistokin olisi loogista uusia. Tällä saataisiin tehostettua lämmön talteenottoa talvella, mikä vaikuttaisi lämmitysenergian kulutukseen laskevasti. Nykytilanteeseen verrattuna laitesuojan lämpökuorma kasvaisi, ja tätä myöden lämmitysenergian tarve olisi hyvin pientä. Lämmitysenergia voitaisiin tuottaa omavaraisesti jäähdytysprosessin sivutuotteena.

8.4.1 Hukkalämmön hyödyntäminen

Palvelinkeskuksen hukkalämmön lämpötilaan ja ominaisuuksiin vaikuttaa se, minkälainen jäähdytysjärjestelmä palvelinkeskuksessa on, ja mistä kohtaa jäähdytysprosessia lämpö kerätään talteen. Parhaimpia lämmöntalteenottopaikkoja ilmajäähdytteisessä palvelinkeskuksessa on suoraan palvelimien jälkeen, jolloin palvelimen jäähdytysilmasta kerätään palvelimen hukkalämpö talteen. Tällainen lämmönkeruujärjestelmä on kuitenkin teknisesti vaikeasti toteutettavissa. Helppo paikka hukkalämmön talteen ottamiseksi löytyy jäähdytyslaitteen neste-piirin paluulinjasta tai ilmastointikoneelle palaavasta lämpimästä ilmasta.

Palvelinkeskuksien lämpötiloja vertaillen nestejäähdytteisten palvelinkeskusten hukkalämmöt ovat korkeampia kuin ilmajäähdytteisten palvelinkeskusten, jolloin hukkalämmön hyödyntämispotentiaali on suurempi. Palvelinkeskuksen käyttötarkoitus kuitenkin ratkaisee, mitä jäähdytysmuotoa voidaan käyttää. (24, s. 31–33.)

Palvelinkeskusten hukkalämmölle on useita eri hyödyntämiskohteita: sitä voidaan käyttää rakennusten lämmittämisessä, käyttöveden lämmittämisessä, sähkötuotannossa, absorptiojäähdytyksessä, voimalaitosten kattilaveden esilämmityksessä, biomassojen mädätysreaktorin lämmityksessä ja monissa muissa kohteissa. Lämpöpumppua apuna käyttäen palvelinkeskusten matalalämpöinenkin hukkalämpö saadaan muutettua kaukolämmön tuotannossa käytettäväksi ja taloudellisesti kannattavaksi. (24, s. 34.)

Hukkalämmön hyödyntämiseen kaukolämpöverkkoyhtiön näkökulmasta vaikuttavat monet tekijät. Yrityksien reunaehtoina hukkalämmön hyödynnettävyydelle on usein hukkalämmön tuotannon yhteensopivuus muuhun lämmöntuotantoon nähden, hukkalämmön kustannukset, lämmöntuottajan sijainti, hukkalämmön lämpötila, tuotannon oikea-aikaisuus ja investointien takaisinmaksuaika. Palvelinkeskusten hukkalämpöä hyödyntävät lämpöpumput ovat nopeasti käynnistyviä ja niiden tehoa voidaan säätää kaukolämpöverkon lämmöntarpeen mukaisesti. Tällä voidaan kevät ja syysaikana korvata kaukolämpöverkon yhteystuotantoa, ja parantaa yhdistettyä sähkön- ja lämmöntuotannon kannattavuutta. (24, s. 43–45.)

Nykyisin uusien rakennusten energiatehokkuus on hyvä ja niissä on usein lattialämmitys, jonka mitoituslämpötilat ovat perinteistä radiaattorilämmitystä pienemmät. Tällöin tulevaisuudessa voitaisiin kaukolämpöverkon veden lämpötilaa laskea nykyistä matalampaan lämpötilaan. Tämän etuna olisivat pienemmät lämpöhäviöt ja paremmat mahdollisuudet hyödyntää uusiutuvia energialähteitä. Käyttöveden lämpötila on suomen lainsäädännön mukaan oltava vähintään 55 °C, ja tämän saavuttamiseksi matalalämpöverkon lämpötila ei riitä. Ratkaisu

käyttöveden lämmittämiseen olisi käyttöveden esilämmittäminen kaukolämmöllä ja nostaminen oikeaan lämpötilaan joko sähköllä tai lämpöpumpulla. (24, s.46.)

Palvelinkeskuksen hukkalämmön teho tietyllä hetkellä lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$\Phi_{datakeskus} = P_{it} \cdot u_{it} + \Phi_{muut} - \Phi_{omakäyttö}$$

P_{it} on IT-laitteiden nimellissähköteho (MW)

u_{it} on IT-laitteiden käyttöaste

Φ_{muut} on muiden laitteiden lämpöteho (MW)

$\Phi_{omakäyttö}$ on palvelinkeskuksen oma lämpötehon tarve (MW).

Kun palvelinkeskuksen hukkalämmön lämpötila, lämpöteho ja kaukolämpöverkon lämpötilat tiedetään, näiden perusteella voidaan valita oikean kokoinen lämpöpumppu. Tämän valinnan jälkeen, kun lämpöpumpun hyötysuhde eli COP kerroin on tiedossa, voidaan laskea lämpöpumpun tuottama lämpöteho kaavalla:

$$\Phi_{lämpöpumppu} = \Phi_{datakeskus} \cdot \frac{COP}{COP - 1}$$

$\Phi_{datakeskus}$ on palvelinkeskuksen hukkalämmön teho (MW)

COP on lämpöpumpun lämpökerroin.

Lopulliseen kaukolämpöverkossa hyödynnettävään lämpötehoon vaikuttaa verkoston kyky ottaa lämpöä vastaan sekä se, syötetäänkö hukkalämpöä menovai paluupuolelle kaukolämpöverkostossa. (24, s. 49–51.)

Hukkalämmön myynnille ei ole Suomessa olemassa olevaa lainsäädäntöä, eikä kaukolämpöverkkojen omistajia veloiteta liittämään verkostoonsa ulkopuolisia lämmöntuottajia. Tällöin hukkalämmön tuottaminen kaukolämpöverkoston omistajalle vaatii hyvää yhteistyötä tuottajan ja verkostonhaltijan välillä. Myöskään mitään vakiintuneita sopimuskäytäntöjä tai hinnoittelumalleja ei ole olemassa, ja jokainen tuotantolaitos arvioidaan tapauskohtaisesti. Eriäväisyyksiä voi olla jopa kaukolämpöoperaattorin toimialueen sisällä olevissa eri haaroissa. (25, s. 42.)

8.4.2 Skenaario 3:n toimenpide-ehdotukset

Palvelinkeskuksen suunniteltu koko skenaariossa 3 oli 200 kW. Jos konesalin palvelinlaitetehoa kasvatettaisiin 500 kW ja palvelintilojen hukkalämpöä pystyttäisiin hyötykäyttämään, palvelinkeskuksen sähköveroluokka laskisi luokkaan II. Jos kuitenkin konesalin teho pysyy suunniteltuna, voidaan lämpöpumppuratkaisujen käyttämä sähkö siirtää matalampaan veroluokkaan II. (14.) Nykyinen jäähdytysprosessi, joka käyttää suuria määriä vesijohtoverkoston vettä, olisi hyvä uusida järjestelmällä, josta saataisiin hukkalämpö siirrettyä tarvittaessa kaukolämpöverkkoon hyödynnettäväksi.

Nykyinen ilmanvaihdon kautta tapahtuva tilojen jäähdyttäminen on syytä uusida joko paikallisiin vakioilmastointikoneisiin taikka palvelimien nestejäähdytykseen. Nykyinen ilmanvaihtolaitteisto olisi syytä uusida taajuusmuuttaja ohjatuksi sekä nykyaikaisen lämmöntalteenottolaitteiston omaavaksi. Lämpöpumppuratkaisuja käyttäen palvelinkeskuksen hukkalämmöllä pystytään saavuttamaan omavaraisuus lämmityksessä.

9 Yhteenveto

Insinööriyössä tutkittiin nykyisin laitesuojana toimivan tilan tulevaisuuden käyttötarkoitusta kolmessa erilaisessa mahdollisessa tilanteessa. Nämä eri skenaariot olivat toimeksiantajalta lähtöisin olevia laitesuojan mahdollisia tulevaisuuden käyttötarkoituksia. Skenaarioita vertailtiin nykyiseen käyttöön ja kulutuksiin, ja näiden pohjalta tehtiin ehdotuksia laitteiston uusimisesta. Insinööriyössä tutkittiin eri skenaarioiden tärkeimpiä energian säästöön liittyviä aihealueita. Työssä havaittiin nykyisten laitteistojen olevan elinkaariensa päässä ja nykyisten prosessien olevan paljon energiaa kuluttavia. Laitesuojan jäähdytysprosessin lämpöä ei kerätä talteen, eikä prosessissa ole vapaajäähdytystä.

Insinööriyön toivotaan antavan toimeksiantajalle vinkkejä tilojen käyttöä suunnitellessa sekä erilaisia näkökulmia ja tekniikoita energiankäytön optimointiin. Tilojen muutoksia suunnitellessa ja tehdessä rakennuslaki ohjaa energiatehokkuuteen rakentamiseen. Näin ollen kiinteistöjen kokonaisenergian käyttö tulee tulevaisuudessa vähenemään. Skenaariot olivat hypoteettisia, joten käyttötarkoituksen tarkentuessa tutkimusta voitaisiin jatkaa tarkemmin, ja tällöin voitaisiin keskittyä vain yhteen tiettyyn skenaarioon, jolloin pystyttäisiin vielä syvemmin analysoimaan energiatehokkuutta.

Energiatehokkuus on nykypäivänä ajankohtainen puheenaihe energian hinnan nousun takia, ja nykyisessä kiinteistömassassa on suuri energiansäästöpotentiaali. Insinööriyön aihe on sinällään todella laaja, ja haasteena työssä olikin tunnistaa, mitkä olisivat kohteeseen hyödylliset toiminnot.

Insinööriyön tutkimusmenetelmänä käytetty haastattelua ja keskustelua pystyttiin käyttämään hyödyksi skenaarioita tutkittaessa, ja näistä saatiin niin sanottua hiljaista tietoa, mitä välttämättä ei kirjallisuudessa ole esitetty. Haastattelun kysymykset saattoivat kuitenkin johdatella haastateltavaa, mutta kysymykset olivat laadittu kohteen tekniset laitteet silmällä pitäen.

Lähteet

- 1 Energiatehokkuus. Verkkoaineisto. Työ- ja elinkeinoministeriö. <<https://tem.fi/energiatehokkuus/>>. Luettu 20.12.2023.
- 2 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi energiatehokkuudesta. 2012. Direktiivi 2012/27/EU. Verkkoaineisto. Euroopan unionin virallinen lehti 14.11.2012. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1399375464230&uri=CELEX:32012L0027>>. Luettu 20.12.2023.
- 3 Energiatehokkuusdirektiivin toimeenpääntö. 2014. Verkkoaineisto. Työ- ja elinkeinoministeriö. <<https://tem.fi/documents/1410877/176066306/EED-ty%C3%B6ryhm%C3%A4n+loppuraportti.pdf/2dbc94f5-2bbc-4f30-93b5-6948f23a0c30/EED-ty%C3%B6ryhm%C3%A4n+loppuraportti.pdf?t=1693995099675>>. Luettu 20.12.2023.
- 4 Erillisverkot. Verkkoaineisto. Erillisverkot Oy. <<https://www.erillisverkot.fi/erillisverkot/>>. Luettu 20.12.2023.
- 5 Laitetila- ja toimitilavuokraus. Verkkoaineisto. Erillisverkot Oy. <<https://www.erillisverkot.fi/palvelut/laitetila-ja-toimitilavuokraus/>>. Luettu 20.12.2023.
- 6 Väestönsuojien nykytila Suomessa. Verkkoaineisto. Valtioneuvoston julkaisuja 2023:57. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165109/VN_2023_57.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. Luettu 20.12.2023.
- 7 Pelastuslaki. 2011. 379/29.4.2011.
- 8 Väestönsuoja. Verkkoaineisto. Turvata Oy Ab. <<https://turvanasi.fi/tietopankki/kiinteiston-paloturvallisuus/paloturvallisuuslaitteet-ja-jarjestelmat/vaestonsuoja/>>. Luettu 2.1.2024.
- 9 Uusiutuva energia. 2023. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/>. Luettu 2.1.2024.
- 10 Lämpöpumput. 2022. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput>. Luettu 11.1.2024.
- 11 Poistoilmalämpöpumppu. 2017. Verkkoaineisto. Kymi-Solar Oy. <<https://www.kymisolar.com/teknologia/pilp/>>. Luettu 11.1.2024.

- 12 Virta, Jari & Pylsy, Petri. 2011. Taloyhtiön energiakirja. E-kirja. Kiinteistöalan kustannus.
- 13 Rämä, Miikka & Klobut, Krzysztof. 2020. Hukkalämpö kaukolämpöjärjestelmissä. Verkkoaineisto. Teknologian Tutkimuskeskus VTT. <<https://tem.fi/documents/1410877/2132212/Hukkalampo+kaukolampojarjestelmissa+maarittely+ja+luokittelu+VTT+2020.pdf/10bfab6c-ae5a-8a68-5926-5a98abab062f/Hukkalampo+kaukolampojarjestelmissa+maarittely+ja+luokittelu+VTT+2020.pdf?t=1611821911799>>. Luettu 12.1.2024.
- 14 Jokinen, Mira & Saastamoinen, Antti. 2023. Energiaverotus. Verkkoaineisto. Verohallinto. <https://www.edilex.fi/virallistieto/verohallinnon_ohjeet/2023_0619.html>. Luettu 18.1.2024.
- 15 Puussa, Anu. 2020. Laadullisen tutkimuksen näkökulmat ja menetelmät. E-kirja. Gaudeamus.
- 16 Radon työpaikoilla. Verkkoaineisto. Säteilyturvakeskus. <<https://stuk.fi/radon-tyopaikoilla>>. Luettu 22.1.2024.
- 17 Reijula, Kari; Ahonen, Guy; Alenius, Harri; Holopainen, Rauno; Lappalainen, Sanna; Palomäki, Eero & Reiman, Marjut. 2012. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. Verkkoaineisto. Eduskunta. <https://www.eduskunta.fi/FI/naineduskuntatoimii/julkaisut/Documents/trvj_1+2012.pdf>. Luettu 25.1.2023.
- 18 Palm, Jarmo. 2023. Sisäilmaongelmien hallinta: mikrobit. Opintomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 19 Mäensivu, Niko. 2023. Palveluohjaaja. ISS Palvelut Oy. Kouvola. Keskustelu. 25.1.2023
- 20 Luostarinen, Niina. 2023. Energiamanageri. ISS Palvelut Oy. Lahti. Haastattelu. 18.1.2024.
- 21 Ominaiskulutukset palvelusektorilla. 2023. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tuetut_energiakatselmukset/tilastotietoa_katselmuksista/ominaiskulutukset_palvelusektorilla>. Päivitetty 27.1.2023. Luettu 1.2.2024.
- 22 Sisäilmastoluokitus 2018. 2018. RT 07-11299. Rakennustieto.
- 23 Geng, Hwaiyu. 2021. Data Center Handbook. Toinen painos. E-kirja. Wiley.

- 24 Vuorinen, Laura. 2019. Kannattavuusmalli datakeskuksen hukkalämmön hyödyntämiseen kaukolämpöverkossa. Diplomityö. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. LUTPub-tietokanta.
- 25 Nivala, Pekka. 2021. Datakeskusten hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämpönä. Insinöörityö. Lapin Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.