



Karelia-ammattikorkeakoulu

Tutkintonimike, energia- ja ympäristötekniikka (AMK)

Paiholan energiatarkastelu ja energiatehokkuuden kehittämissuunnitelma

Tenho Mönkkönen

Opinnäytetyö, huhtikuu 2023

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2023
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Tenho Mönkkönen

Nimeke
Paiholan energiatarkastelu ja energiantehokkuuden kehittämissuunnitelma

Toimeksiantaja
Master Yhtiöt Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä tarkasteltiin entisen Paiholan sairaala-alueen sähkö- ja lämpöenergian kulutuksia. Sähköenergian osalta selvitettiin kokonaiskulutus ja kulutuksen jakautuminen eri rakennuksille. Lisäksi tarkasteltiin yhden rakennuksen osalta sähköenergian kulutusta yksityiskohtaisesti.

Lämmitysenergian osalta selvitettiin kokonaiskulutus ja kulutuksen jakautuminen eri rakennuksille. Lisäksi tarkasteltiin muutaman rakennuksen kohdalla yläpohjan lämpöhäviöitä sekä yhden ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton toiminnan tehokkuutta.

Saatujen mittaustuloksien perusteella suunniteltiin potentiaalisia energiansäästökohteita, ja sen jälkeen näistä laadittiin energiansäästö- ja investointien kannattavuuslaskemia. Laskelmat kohdistuivat yleisesti tiedossa olevien vanhoissa rakennuksissa suurimman energiansäästöpotentiaalin omaaviin kohteisiin, joita ovat yläpohjan lisäeristys, ilmanvaihdon energiatehokkuuden parantaminen sekä valaistuksen muuttaminen LED-tekniikalle.

Kieli
suomi

Sivuja 47
Liitteet 11
Liitesivumäärä 14

Asiasanat
energiatehokkuus, energia, lämmöntalteenotto, energiansäästö



THESIS
April 2023
Degree Programme in Energy and Environmental Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Tenho Mönkkönen

Title
Energy Review and Energy Efficiency Development Plan in Paihola

Commissioned by
Master Yhtiöt Ltd

Abstract

The thesis examined the electricity and heat energy consumption of the former Paihola hospital area. In terms of electrical energy, the total consumption and the distribution of consumption for different buildings were determined. In addition, the consumption of electrical energy was examined concerning one building in detail

In terms of heating energy, the total consumption and the distribution of consumption for different buildings were determined. In addition, for a few buildings, the heat losses of the upper floor and the efficiency of the heat recovery operation of one ventilation machine were examined.

Based on the obtained measurement results, potential energy saving targets were planned, and after which energy saving and investment profitability calculations were prepared. The calculations focused on the commonly known items with the greatest energy saving potential in old buildings which are additional insulation of the upper floor, improving the energy efficiency of ventilation and changing the lighting to LED technology.

Language
Finnish

Pages 47
Appendices 11
Pages of Appendices 14

Keywords

energy efficiency, energy, heat recovery, energy saving

Sisältö

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 7 |
| 2 | Tietoperusta | 8 |
| 2.1 | Suomen sähköjärjestelmä | 8 |
| 2.2 | Aurinkosähkö | 8 |
| 2.3 | Kauko- ja aluelämpö | 9 |
| 2.4 | Rakennusten energiantarve | 10 |
| 2.5 | Energiakatselmustoiminta | 11 |
| 2.5.1 | Vapaaehtoiset energiakatselmuks | 11 |
| 2.5.2 | Pakolliset energiatehokkuuslain mukaiset katselmuks | 11 |
| 2.5.3 | Kiinteistön energiakatsastus | 12 |
| 2.5.4 | Kiinteistön energiakatselmus | 12 |
| 2.5.5 | Täsmäkatselmus | 13 |
| 2.6 | Rakennusautomaatio | 13 |
| 2.7 | Tulo- ja poistoilmakoneet | 14 |
| 2.8 | Poistoilman lämpötilahyötysuhteen laskenta | 15 |
| 2.9 | Taajuusmuuttajat ja EC-moottorit | 15 |
| 2.10 | Puhaltimen sähköenergian kulutus | 17 |
| 2.11 | Lämmöntalteenotto | 17 |
| 3 | Tavoitteet ja menetelmät | 19 |
| 4 | Kohteen esittely | 20 |
| 4.1 | Sähköjärjestelmä | 21 |
| 4.2 | Lämpöjärjestelmä | 21 |
| 4.3 | Kiinteistöautomaatio | 23 |
| 5 | Tutkimus ja mittausmenetelmät | 24 |
| 5.1 | Sähköenergia | 24 |
| 5.2 | Lämpöenergia | 25 |
| 5.3 | Ilmanvaihto | 25 |
| 6 | Mittaustulokset sähköenergian osalta | 27 |
| 6.1 | Sähköenergian kokonaiskulutuksen jakautuminen | 27 |
| 6.2 | Paiholan Linna yksilöity sähköenergian kulutus | 28 |
| 6.3 | Sähkön kesäajan kulutusprofiili | 30 |
| 7 | Mittaustulokset lämpöenergian osalta | 30 |
| 7.1 | Lämpöenergian jakautuminen eri kohteisiin | 30 |
| 7.2 | Yläpohjan lämpöhäviöt | 31 |
| 8 | Ilmanvaihtokoneen mittaustulokset | 32 |
| 8.1 | Puhallinkäytön kokonaishyötysuhteet | 32 |
| 8.2 | Poistoilman lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde | 33 |
| 9 | Energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä | 33 |
| 9.1 | Valaistuksen muuttaminen LED tekniikalle | 34 |
| 9.1.1 | Porrasvalaistuksen muutokset | 35 |
| 9.1.2 | Katu- ja pihavalaistus muutokset | 35 |
| 9.1.3 | Tunneli- ja kellarivalaistuksien muutokset | 36 |
| 9.2 | Ilmanvaihdon energiatehokkuuden parantaminen | 37 |
| 9.2.1 | Lämmöntalteenoton liuoksen laimentaminen | 37 |
| 9.2.2 | Käytöstä poistetun kanavalauhduttimen poistaminen | 37 |
| 9.2.3 | IV-suodattimien muutokset ja LTO:n puhdistaminen | 39 |
| 9.2.4 | IV-puhaltimien uudistaminen EC-moottorikäyttöisiksi | 39 |

| | | |
|-------|--|----|
| 9.2.5 | Lämmöntalteenottopiirin pumpun uudistaminen | 40 |
| 9.2.6 | Uuden IV-koneen hankkiminen..... | 40 |
| 9.2.7 | Vanhan IV-koneen modernisointi vrt. uusi IV-kone | 42 |
| 9.3 | Yläpohjan lämpöeristys..... | 42 |
| 9.4 | Investointilaskelman yhteenveto | 43 |
| 10 | Pohdinta..... | 44 |
| | Lähteet..... | 46 |

Liitteet

| | |
|----------|---|
| Liite 1 | Porrasvalaistus muutokset investointilaskelma |
| Liite 2 | Katu- ja pihavalaistus muutokset investointilaskelma |
| Liite 3 | Tunneli- ja käytävävalaistus muutokset investointilaskelma |
| Liite 4 | Vanhojen IV-puhaltimien korvaaminen uusilla EC-puhaltimilla |
| Liite 5 | EC-puhaltimet lisätietoja |
| Liite 6 | Lämmöntalteenotonpumpun uusinta investointilaskelma |
| Liite 7 | Lämmöntalteenotonpumpun lisätietoja |
| Liite 8 | Uuden IV-koneen investointilaskelma |
| Liite 9 | Vertailulaskenta IV-koneen modernisointi vrt. koneen uusiminen |
| Liite 10 | Yläpohjan lisälämmöneristys investointilaskelma |
| Liite 11 | Kuuden pienkerrostalon yläpohjan U-arvojen laskenta ja yläpohjan lisäeristyksen energiansäästö-laskelma |

Sanasto

| | |
|------------------------|---|
| MWh | megawattitunti, käytetään lämpö- ja sähköenergian yksikkönä |
| kWh | kilowattitunti, käytetään lämpö- ja sähköenergian yksikkönä |
| I | sähkövirta, yksikkö ampeeri, A |
| U | jännite, yksikkö voltti, V |
| R | resistanssi, yksikkö ohmi, Ω |
| P | teho, yksikkö watti, W |
| $\cos \varphi$ | vaihtosähköjärjestelmän tehokerroin |
| J | joule; 3 600 000 J = 1 kWh |
| kJ | kilojoule |
| MJ | megajoule |
| Pa | pascal, paineen yksikkö |
| kPa | kilopascal, paineen yksikkö |
| $\eta_{p, mit}$ | lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilasuhde mitoitustilanteessa, - |
| T_s | sisäilman lämpötila, °C |
| T_{up} | ulospuhallusilman lämpötila, °C |
| $T_{u, mit}$ | ulkoilman lämpötila mitoitustilanteessa, °C |
| $W_{puhallin}$ | puhaltimen sähköenergian kulutus, kWh |
| $\Delta p_{puhallin}$ | puhaltimen paineen korotus, Pa |
| q_v | puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m ³ /s |
| $\eta_{puhallin, kok}$ | puhaltimen kokonaishyötysuhde, |
| Δt | ajanjakson pituus, h. |
| ρ_i | ilman tiheys 20°C asteen lämpötilassa, 1,2 kg/m ³ |
| c_{pi} | ilman ominaislämpökapasiteetti, 1,0 kJ/(kg K) |
| LTO | lämmöntalteenotto |

1 Johdanto

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä entiselle Paiholan sairaala-alueelle energiantarkastelu ja energiatehokkuuden kehittämissuunnitelma. Tavoitteisiin kuuluu osoittaa, millä toimilla on mahdollista saada kustannussäästöjä sekä vähentää ympäristön kuormitusta alentuneiden CO₂-päästöjen kautta. Alueen ja suurimman osan alueen kiinteistöistä omistaa Master Yhtiöt Oy. Rakennukset on rakennettu pääosin 50–80-luvulla, jolloin energia oli halpaa, eikä energiatehokkuuteen kiinnitetty kovin paljon huomiota. Aiheen valinta perustuu yritykselle tarpeellisen tiedon keräämiseen ja suunnitelmien luomiseen. Aihe rajataan sähkö- ja lämpöenergian kokonaiskulutuksen kattavaan selvittämiseen ja tilastointiin sekä näiden pohjalta laadittavaan energiatehokkuussuunnitelmaan. Suunnitelmassa tarkastellaan tarkemmin Paiholan Linna nimistä rakennusta, jonka tuloksia voidaan myöhemmin soveltaa muissa rakennuksissa. Taloudelliset laskelmat ovat myös tärkeänä osana tutkimusta.

Opinnäytetyön lähtökohdat ovat tutkimuksen kannalta otolliset, koska alue on yhden omistajan hallinnassa. Rakennukset sijaitsevat n. 43 ha:n alueella. Rakennuksien yhteenlaskettu pinta-ala on n. 27 000 k-m². Lämpöenergia tuotetaan omassa aluelämpölaitoksessa, josta se jaetaan aluelämpöverkon kautta rakennuksiin. Lämmitysenergian kulutus on vaihdellut vuosittain hieman rakennuksien käyttöasteen mukaan. Viime vuosina kulutus on ollut n. 5 000 MWh tuotettua energiaa.

Alueen sähköverkko on tavanomaisesta poikkeava, sillä se koostuu yhdestä suuresta sähköliittymästä, joka jakaantuu useisiin eri käyttöpisteisiin oman sähköverkon kautta. Tämä mahdollistaisi mm. tehokkaan aurinkoenergian käytön. Sähköenergiankulutus on ollut n. 850 000 kWh vuodessa.

2 Tietoperusta

2.1 Suomen sähköjärjestelmä

Suomen sähköjärjestelmä koostuu, voimalaitoksista, kantaverkosta, suurjännitteisistä jakeluverkoista, jakeluverkoista sekä sähkön kuluttajista. Järjestelmä on liitetty Ruotsin, Norjan ja Itä-Tanskan järjestelmiin sekä tasavirta yhteydellä Venäjän ja Baltian voimajärjestelmiin. Fingrid on yritys, joka vastaa kantaverkon toimivuudesta. Kantaverkko on sähkönsiirron runkoverkko, johon suuret voimalaitokset ja tehtaot on liitetty. (Fingrid 2023.)

Kantaverkkoon kuuluu (1.1.2020)

- 5100 km 400 kV voimajohtoa
- 1300 km 220 kV voimajohtoa
- 7300 km 110 kV voimajohtoa
- Korkeajännite tasavirtakaapelit 269 km
- 116 sähköasemaa

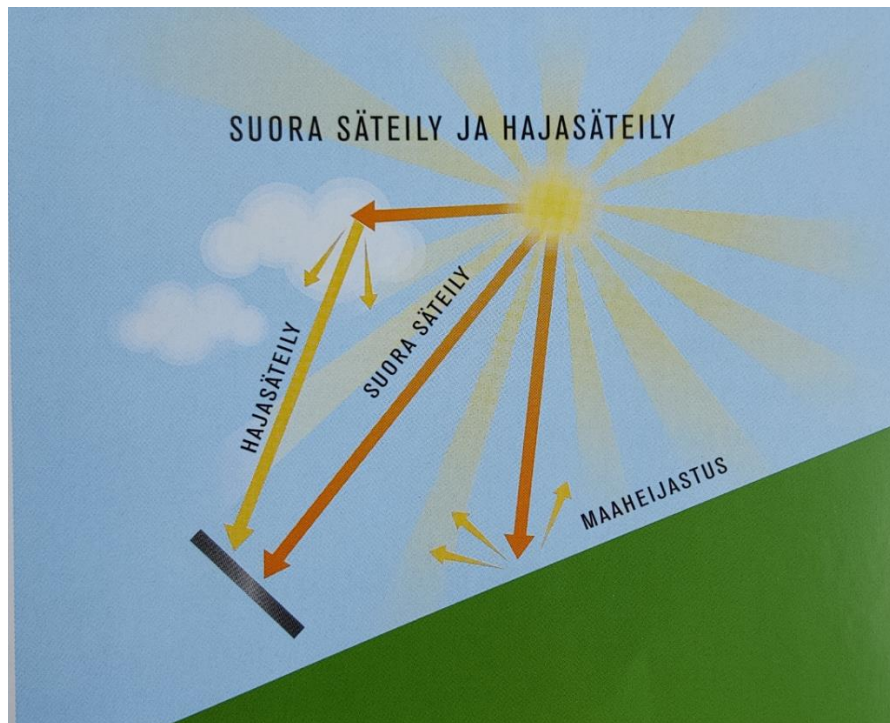
Valtaosa Suomessa käytetystä sähköstä siirretään kantaverkon kautta (Fingrid 2023.)

Kantaverkon jälkeen sähkö siirretään joko suoraan kantaverkosta tai alueverkkoyhtiöiden (110 kV) kautta paikallisille verkkoyhtiöille. Paikallisten verkkoyhtiöiden johdoissa kulkeva sähkö (20 kV) siirretään lähemmäksi kulutuspaikkoja, jossa se muunnetaan sitten matalajännitteiseksi (0,4 kV). (Suomen sähköverkko 2023.)

2.2 Aurinkosähkö

Aurinkoenergialla tarkoitetaan auringon säteilyä hyödyntämällä tuotettua energiaa. Aurinkopaneeleilla tuotettu sähkö on aurinkoenergian suoraa käyttöä.

Aurinkoenergian epäsuoraa käyttöä on käytännössä kaikki muu paitsi ydinenergia ja suora aurinkoenergia. Aurinkopaneeli tuottaa sähköä muuntamalla auringonsäteilyn aurinkokennossa sähköenergiaksi. (Siikanen 2014.) Alapuolella olevan kuvan 1 mukaisesti maahan tulee suoraa säteilyä ja hajasäteilyä.



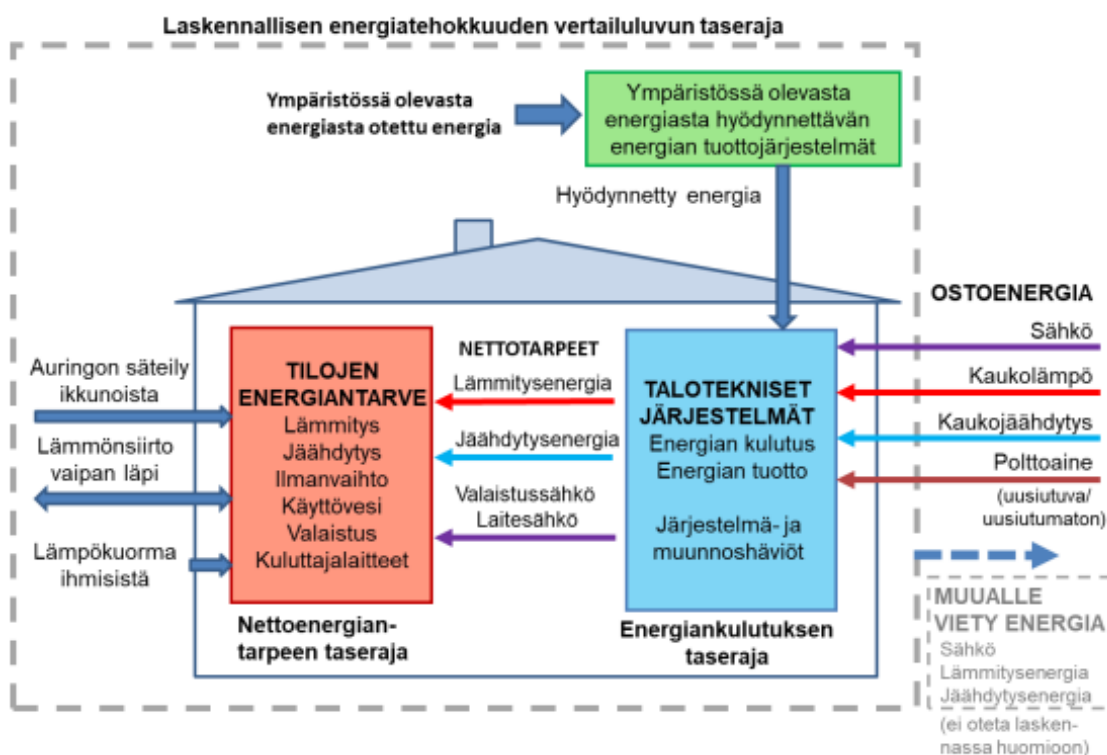
Kuva 1. Auringonsäteily maahan. (Tahkokorpi 2016.)

2.3 Kauko- ja aluelämpö

Kyseessä on kauko- tai aluelämpö, kun rakennuksen tai käyttöveden lämmittämiseen käytettävä lämpö tuotetaan kauempana ja se tuodaan rakennukseen erillisen lämpöverkon kautta. Lämmön siirtoaineena on tyypillisesti vesi tai joissakin tapauksissa höyry. Kaukolämmön alkuperä voi olla mm. tehtaan hukkalämpö, yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto tai pelkkä lämmöntuotanto. (Kaukolämmönkäsikirja 2006.)

2.4 Rakennusten energiantarve

Rakennuksen energiantarve koostuu tilojen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämmitystarpeesta, tilojen ja ilmanvaihdon jäähdytystarpeesta sekä valaistuksen ja laitteiden sähkönkulutuksesta. Lämmitysenergian nettotarve kuvaa energian määrää, joka tuodaan rakennukseen lämmitysjärjestelmien kautta. Jäähdytysenergian nettotarve kuvaa energian määrää, joka tuodaan rakennukseen jäähdytysjärjestelmien kautta. (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018.)



Kuva 2. Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018.

Rakennuksien erilaisista käyttötarkoituksista ja käyttäjämääristä johtuen energiankulutuksen jakautuminen vaihtelee rakennustyypeittäin. Käyttäjien kulutustottumuksilla on myös merkittävä vaikutus lopulliseen energiankulutukseen. (Heiskanen 2018.)

2.5 Energiakatselmustoiminta

Energiakatselmusten tavoitteena on analysoida katselmuskohteen energiankäyttöä, selvittää energiansäästöpotentiaali ja esittää kustannustehokkaita toimenpide-ehdotuksia energiatehokkuuden parantamiseksi. (Energiavirasto 2023.)

Energiakatselmus tuo esille todellisen energiankäytön ja energiakustannusten säästömahdollisuudet, jotka perustuvat todellisiin mittauksiin ja laskelmiin. Kiinteistön käyttöhenkilökunta saa myös arvokasta materiaalia energiankulutuksen seurantaan. Katselmointi on yleensä kannattava investointi, ja se maksaa itsensä takaisin jopa muutamassa kuukaudessa. (Lahtinen 2012.) Energiakatselmointi jakaantuu vapaaehtoiisiin, tuettuihin ja energiatehokkuuslain velvoittamiin energiakatselmuksiin. (Energiavirasto 2023.)

2.5.1 Vapaaehtoiset energiakatselmuks

Vapaaehtoiset tuetut energiakatselmuks on tarkoitettu pienille ja keskisuurille yrityksille, kunnille, seurakunnille ja säätiöille. Ne ovat erillisten ohjeiden mukaisesti toteutettuja ja raportoituja energiankäytön ja energiansäästömahdollisuuksien kohdekartoituksia. (Motiva 2023.)

Lisäksi voidaan tehdä energiakatselmuksia kokonaan omarahoitteisesti, näistä katselmuksista Motiva ei vastaa.

2.5.2 Pakolliset energiatehokkuuslain mukaiset katselmuks

Energiatehokkuuslaki velvoittaa suuret yritykset tekemään virallisen energiakatselmuksen neljän vuoden väliajoin. Katselmuksessa selvitetään yrityksen tai konsernin kaikkien toimipaikkojen energiankulutusprofiili. Lisäksi tarkemmilla kohdekatselmuksilla tunnistetaan energiansäästömahdollisuuksia tarkemmin. Pakollisiin energiakatselmuksiin ei voi saada katselmustukea.

Pakollisia energiakatselmuksia hallinnoi ja toimeenpanee Energiavirasto. (Motiva 2023.)

2.5.3 Kiinteistön energiakatsastus

Vapaaehtoinen Kiinteistön energiakatsastus on tarkoitettu pienempien kiinteistöjen tarkasteluun. Palvelusektorin rakennuksissa rakennusentilävuus energiakatsastuskohteissa on yleensä alle 5 000 r-m³. Kohteissa, joissa rakennuksen tilavuus on 5 000–10 000 r-m³ voidaan käyttää, joko Kiinteistön energiakatsastusta tai -katselmusta. (Motiva 2023.)

Teollisuussektorin rakennuksissa katselmusmalli määräytyy vastaavasti katselmuskohteen energian ja veden vuosikustannuksien mukaan seuraavasti. Alle 15 000 €/a kustannuksilla käytetään Kiinteistön energiakatsastus katselmusmallia. 15 000–35 000 €/a valitaan joko Kiinteistön energiakatsastus, Teollisuuden energiakatselmus tai Teollisuuden energia-analyysi. Energiakatsastuksessa on nimettyä kaksi Motivan hyväksymää vastuuhenkilöä, joista toinen on sähkötekniikan ja toinen LVI-tekniikan asiantuntija. (Motiva 2023.)

2.5.4 Kiinteistön energiakatselmus

Kiinteistön energiakatselmus on tavanomaisella tai vaativalla talotekniikalla varustettujen palvelusektorin rakennusten energiakatselmus, jossa kartoitetaan LVIS-järjestelmien ja rakenteiden energiansäästöpotentiaali. (Motiva 2023.)

Palvelurakennuksissa rakennustilavuuden ylittäessä 10 000 r-m³ katselmus malli on aina Kiinteistön energiakatselmus. Vastaavasti teollisuuskohteissa katselmus malli määräytyy energian ja veden vuosikustannusten sekä tuotannon energiankäytön ominaispiirteiden perusteella alla olevan taulukon 1 mukaan. (Motiva 2023.)

| Energian ja veden arvonlisäveroton vuosikustannus EUR/a | Kiinteistön energia-katsastus | Teollisuuden 2-vaiheinen energia-katselmus | Teollisuuden 2-vaiheinen energia-analyysi | Teollisuuden energia-katselmus | Teollisuuden energia-analyysi | Prosessi-teollisuuden energia-analyysi |
|---|-------------------------------|--|---|--------------------------------|-------------------------------|--|
| < 15 000 | X | | | | | |
| 15 000– 55 000 | X | X | | X | | |
| 55 000– 1 400 000 | | X | X | X | X | |
| 1 400 000– 3 000 000 | | | | | X | |
| > 3 000 000 | | | | | X | X |

Taulukko 1. Taulukko katselmusmallin määräytymiselle. (Motiva 2023.)

2.5.5 Täsmäkatselmus

Täsmäkatselmus on halutun osa-alueen katselmus, joka poikkeaa merkittävästi energiakatselmuksesta ja energiakatsastuksesta. Täsmäkatselmuksen raportointi ja työn suoritustapa ovat tekijän itse valittavissa. (Motiva 2023.)

Täsmäkatselmuksessa valitaan tarkasteltava osa-alue, jonka energiankäyttöä selvitetään ja analysoidaan. Täsmäkatselmuksen tulee tähdätä energiatehokkuuden parantamiseen, uusituvan energian käytön kasvattamiseen tai vähähiilisuuden tehostamiseen. Täsmäkatselmukseen voi hakea tukea jopa 50 %. (Motiva 2023.)

2.6 Rakennusautomaatio

Energiatehokkuusvaatimusten kiristyminen on rakennusteknisten ominaisuuksien lisäksi muuttanut merkittävästi LVIAS-suunnittelua sekä toteutuksia. Energiakuluissa säästäminen asettaa rakennusautomaatiolle tarkempia säätötavoitteita, sen lisäksi prosessien tulee mukautua erilaisiin käyttö- ja häiriötilanteisiin. Rakennusautomaation kautta tämä kaikki

tehostaminen on mahdollista kohteeseen oikein sovitelluilla ohjelmistoilla. (Piikkilä 2012).

Rakennusautomaation rooli energiatehokkuudessa voidaan jakaa kolmeen osaluueeseen:

1. Automaatiota voidaan käyttää hyväksi prosessien suunnittelussa niin, että energiatehokkuus on optimaalista.
2. Automaatiojärjestelmä valvoo jatkuvasti ja hälyttää vikatilanteista, tämän ansiosta vika- ja häiriötilanteet jäävät mahdollisimman lyhyiksi, eikä energiaa hukkaannu.
3. Rakennusautomaation tuottaman informaation avulla voidaan ymmärtää paremmin ja kehittää rakennuksen toimintaa. (Piikkilä 2012.)

Automaatiolla on tärkeä merkitys LVI-järjestelmien energiatehokkaalle toiminnalle. Säätojärjestelmät edesauttavat hyvien sisäilmaolosuhteiden luomisessa. Sääto tekniikan perusteet ja prosessit tulee olla hallinnassa toimivia säätojä tehdessä. (Piikkilä 2012.)

Rakennusautomaation kautta aktiivisella kulutusseurannalla on olennainen rooli rakennuksien energiatehokkaassa käytössä. Kulutuksia tulee verrata asetettuihin tavoitearvoihin, mikäli poikkeamia ilmaantuu, niihin on reagoitava nopeasti. (Sähkötieto ry 2017.)

2.7 Tulo- ja poistoilmakoneet

Tuloilmakoneen tehtävänä on käsitellä tuloilma halutunlaiseksi ja luoda tuloilmakanavistoon tarvittava paine ja ilman virtaus. (Korkiala & Laksola 2009.) Poistoilmakoneen tehtävänä on luoda poistoilma kanavaan tarvittava alipaine ja ilman virtaus.

2.8 Poistoilman lämpötilahyötysuhteen laskenta

Poistoilman lämmöntalteenotossa lämpöä siirtyy lämpimästä poistoilmasta kylmempään tuloilmaan. Poistoilman lämpötilahyötysuhteen laskennassa tarvitaan poistoilman lämpötila ennen lämmöntalteenottoa, poistoilmanlämpötila lämmöntalteenoton jälkeen sekä ulkoilman lämpötila.

Lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilasuhde mitoitustilanteessa lasketaan alla olevalla kaavalla.

$$\eta_{p,mit} = \frac{T_s - T_{up}}{T_s - T_{u,mit}}$$

jossa

$\eta_{p,mit}$ lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilasuhde mitoitustilanteessa, -

T_s sisäilman lämpötila, °C

T_{up} ulospuhallusilman lämpötila, °C

$T_{u,mit}$ ulkoilman lämpötila mitoitustilanteessa, °C.

(Ympäristöministeriö 2018.)

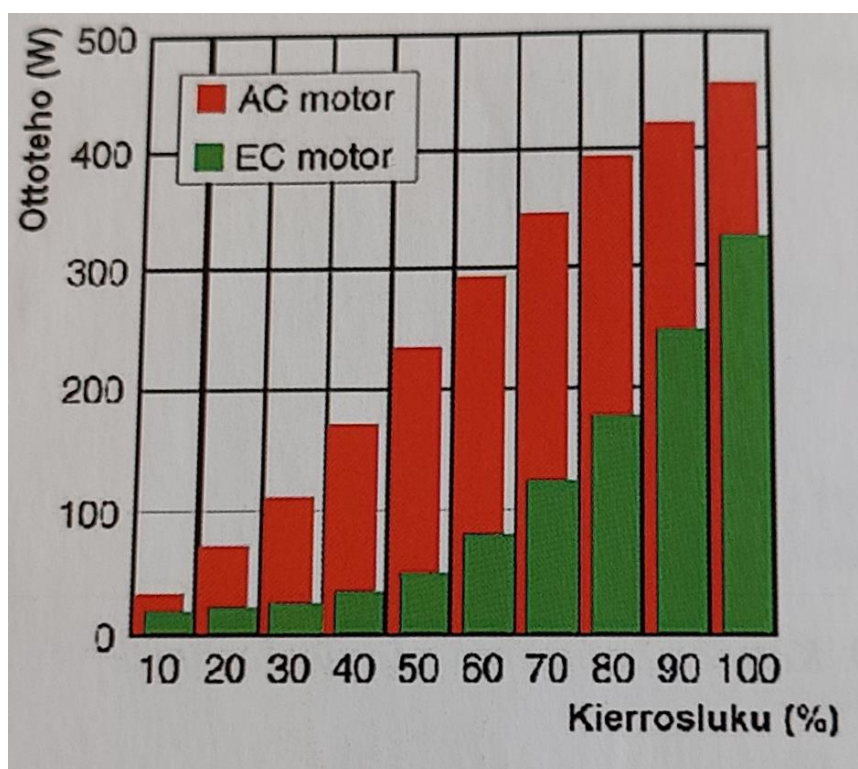
2.9 Taajuusmuuttajat ja EC-moottorit

Taajuusmuuttajalla voi säätää vaihtovirtaa käyttävän oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta. Nimensä mukaisesti taajuusmuuttaja säätää vaihtovirran taajuutta. Taajuusmuuttajien hinnat ovat pudonneet ja niiden käyttö on lisääntynyt pumppu ja puhallin käytössä. Taajuusmuuttajat aiheuttavat EMC-häiriöitä, minkä takia moottoreille menevät kaapelit tulee olla häiriösuojattuja. (Piikkilä 2012.)

EC-moottori (Electronically Commutated D.C. motor) on elektronisesti kommutoitu tasavirtamoottori. EC-moottorin nopeuden säätö toimii yleensä 0–10 V DC:n jänniteviestillä tai väyläohjauksella. Moottorin säätöalue on kattava 0–100 %. Varsinkin pienen koko luokan moottoreissa EC-moottorit ovat

huomattavasti energiatehokkaampia kuin taajuusmuuttaja säätöiset vaihtovirta oikosulkumoottorit. Osateholla taajuusmuuttaja käytössä tulee huonon hyötysuhteen lisäksi ongelma, jossa moottorilla pitäisi olla erillinen jäähdytys ylikuumenemisen ehkäisemiseksi taajuuden ollessa alle 20 Hz. (Piikkilä 2012.)

EC-moottorin energiatehokkuus verrattuna taajuusmuuttaja oikosulkumoottori yhdistelmään korostuu etenkin osateholla käytössä. Alla olevasta kuviosta 1 ero näkyy selkeästi. (Piikkilä 2012.)



Kuvio 1. EC- ja AC-moottorin ottotehojen vertailu. (Piikkilä 2012.)

Vanhoja hihnavälitteisiä vaihtovirta oikosulkumoottoreilla olevia ilmanvaihtokoneita muutetaan suoravetoisiksi EC-puhallin käyttöisiksi. Tällöin ilmanvaihtokoneen ilmavirtoja pystytään säätämään tarpeen mukaan. Taajuusmuuttajan asennus on toinen vaihtoehto. Tässä tilanteessa hankinta ja asennuskustannukset ovat suurinpiirtein samansuuruiset, mutta EC-moottori on energiatehokkaampi. (Piikkilä 2012.)

2.10 Puhaltimen sähköenergian kulutus

Ilmanvaihtokoneen puhallin aiheuttaa sähkömoottorin pyörittämänä paine-eron. Fysiikan lakien mukaan paine pyrkii tasaantumaan ja näin ollen ilma lähtee liikkumaan kohti pienempää painetta. Puhaltimen sähköenergiankulutus voidaan laskea, kun tiedossa on puhaltimen aiheuttama paine-ero, puhaltimen ilmavirta sekä puhaltimen kokonaishyötysuhde. Tämän lisäksi tulee valita ajanjakso, jolta sähköenergiankulutus halutaan laskea.

Puhaltimen sähköenergiankulutus voidaan laskea alla olevalla kaavalla.

$$W_{\text{puhallin}} = \frac{\Delta p_{\text{puhallin}} q_v}{\eta_{\text{puhallin, kok}} \times 1000} \Delta t$$

jossa

W_{puhallin} puhaltimen sähköenergian kulutus, kWh

$\Delta p_{\text{puhallin}}$ puhaltimen paineen korotus, Pa

q_v puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m³/s

$\eta_{\text{puhallin, kok}}$ puhaltimen kokonaishyötysuhde,

Δt ajanjakson pituus, h.

(Ympäristöministeriö 2018).

2.11 Lämmöntalteenotto

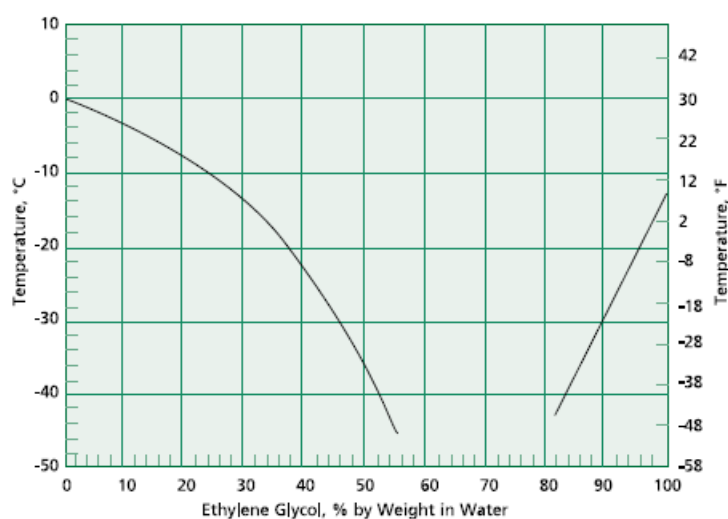
Lämmöntalteenoton oton avulla on mahdollista uudelleen käyttää merkittävä osa poistoilman sisältämästä lämpöenergiasta. Rakennusten ilmastoinneissa poistoilmaa käytetään yleensä tuloilman lämmittämiseen. (Korkala & Laksola 2009.)

Levylämmönsiirrin on yksi lämmöntalteenoton toteutus, siinä on alumiinilevyistä valmistettu kuutio. Toisessa levyvälissä virtaa poistoilma ja toisessa tuloilma. Lämpö siirtyy lämpimästä poistoilmasta alumiinilevyjen välityksellä kylmään

tuloilmaan. (Korkala & Laksola 2009.) Lämmöntalteenottoa voi hyödyntää myös toisinpäin, jos halutaan viilentää tuloilmaa ulkoilman lämpötilan ollessa korkeampi kuin poistoilman lämpötila.

Nestekiertoisessa lämmöntalteenotossa poistoilmakanavassa ja tuloilmakanavassa on nestetäytteiset patterit. Näiden pattereiden välillä kiertää pumpun pyörittämänä neste, joka siirtää lämpöenergiaa kanavasta toiseen. (Piikkilä 2012.) Yleisimmin lämmönsiirto tapahtuu poistoilmasta tuloilmaan, mutta lämpöä voi siirtää myös tuloilmasta poistoilmaan, jos ulkoilman lämpötila on korkeampi kuin poistoilman lämpötila.

Lämmönsiirtonesteenä yleisesti käytettävän etyleeniglykoli-vesiseoksen vahvuus vaikuttaa merkittävästi lämmönsiirron tehokkuuteen. Veden ominaislämpökapasiteetti on korkeampi, kuin glykolin ominaislämpökapasiteetti. Tästä syystä liian vahvan glykoli-vesiseoksen lämmönsiirtokapasiteetti on pienempi, kuin optimaalisesti kohteeseen mitoitettun seoksen. (Piikkilä 2012.) Lisäksi seoksen viskositeetti kasvaa merkittävästi liian vahvalla seoksella. Tämä aiheuttaa lisääntyneitä painehäviöitä, joka huonontaa omalta osaltaan lämmönsiirtoa. Alla olevassa kuviossa 2 glykoli-vesiseoksen jäätymispiste eri vahvuuksilla.



Kuvio 2. Glykolivesiseoksen jäätymispiste. (MEGlobal 2023.)

3 Tavoitteet ja menetelmät

Opinnäytetyön tavoitteena on saada selkeä kokonaiskuva sähkö- ja lämpöenergian kulutuksesta ja löytää kannattavia investointikohteita taloudellisen kannattavuuslaskennan avulla. Tavoitteisiin päästään nykyisiä mittaustietoja hyödyntämällä, ja tämän lisäksi tehdään yksityiskohtaisia tarkentavia mittauksia ja laskelmia. Opinnäytetyössä painotetaan monipuolisia kannattavuuslaskelmia.

Sähköenergian kulutuksen yksityiskohtainen selvittäminen on olennainen osa opinnäytetyötä, ja se antaa hyvän pohjan investointilaskelmille. Sähköenergian kulutus yksilöidään rakennuskohtaisesti. Yhden rakennuksen kohdalla tarkastellaan sähköenergian kulutusta tarkemmin, jolloin saadaan selkeä kuva, missä olisi kannattavimmat säästökohteet. Kulutustietojen keräämisessä käytetään hyödyksi aikaisempia sähkömittarilukemia. Tarkentavat mittaukset suoritetaan energia-analysaattorilla, joka näyttää laitteen kuluttaman todellisen tehon. Mitattu teho kerrotaan kyseisen laitteen vuoden aikaisella käyttötuntimäärällä.

Kohteen kesäaikaisia tuntitehotilastoja tarkastelemalla esitetään kohteeseen sopivan tehoinen aurinkosähköjärjestelmä. Tuntitehotilastot saadaan PKS:n yritys extra palvelusta.

Lämpöenergian kulutuksen osalta opinnäytetyössä tarkastellaan rakennuksien kokonaislämpöenergian kulutusta, lisäksi otetaan tarkempaan tarkasteluun yläpohjan lisälämmöneristäminen ja lämmöntalteenoton hyötysuhteen mittaukset. Yläpohjan lisälämpöeristäminen on yleensä yksi kannattavimpia energiansäästötoimenpiteitä, tästä syystä kuuden kerrostalon kohdalla lasketaan yläpohjan lisälämpöeristykseen energiasäästö ja investoinnin taloudellinen kannattavuus.

Lämmöntalteenoton hyötysuhdemittauksia tehdään yhdessä rakennuksessa. Mittaukset tehdään mittaamalla poistoilman lämpötilat ennen

lämmöntalteenottoa ja lämmöntalteenoton jälkeen. Kattavamman aineiston saamiseksi hyötysuhteita mitataan useammalla ulkoilman lämpötilatasolla. Kohteen lämmöntalteenotto on toteutettu nestekiertoisella järjestelmällä, jonka lämmönsiirtoaineena toimii glykoli-vesiseos. Lämmönsiirtoaineen pitoisuudet määritetään mittauksien yhteydessä.

Ilmanvaihtojärjestelmän painehäviöillä on suora yhteys ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutukseen, tästä syystä suoritetaan myös paine-eromittauksia. Ilmanvaihdon sähkö- ja lämpöenergian kulutuksien laskentaa varten kohteen ilmanvaihdon ilmamäärät tulee olla tiedossa. Ilmamäärämittaukset tehdään paine-eromittarilla pitot-putkea apuna käyttäen.

4 Kohteen esittely

Kohde sijaitsee Kontiolahden kunnan alueella Pielisjoen rannalla. Rakennukset sijaitsevat n. 43 ha:n alueella. Rakennuksien yhteenlaskettu pinta-ala on n. 27 000 k-m². Alla olevassa kuvassa 3 alueen kokonaisnäkyä.



Kuva 3. Aluekuva kohteesta

4.1 Sähköjärjestelmä

Kohteen kokonaissähkön kulutus on ollut vuosi tasolla n. 850 000 kWh. Sähköjärjestelmän rakenne muodostuu seuraavalla tavalla. Piha-alueelle tulee 20 kV syöttökaapeli puistomuuntamoon, joka on paikallisen verkkoyhtiön omistuksessa. Muuntamossa sähkö muunnetaan matalajännitteiseksi ja siinä sijaitsee myös ainoa sähköverkkoyhtiön sähkömittari. Tästä eteenpäin kaikki alueen sähköjärjestelmät ovat Master Yhtiöiden omistuksessa.

4.2 Lämpöjärjestelmä

Lämpöenergian osalta lähtötietoina on lämpöenergian kokonaiskulutus n. 5 000 MWh vuodessa. Lämpöenergia tuotetaan alueella sijaitsevassa aluelämpölaitoksessa. Lämmöntuotannon hoitavat yrityksen omat työntekijät. Lämpö tuotetaan 99-prosenttisesti metsähaketta polttamalla, häiriötilanteissa ja kulutushuippupiikkien aikana lämpöä tuotetaan myös kevyellä polttoöljyllä. Lämpölaitoksessa tuotettu lämpö jaetaan aluelämpöverkoston kautta kohderakennuksiin, josta se jaetaan lämmönjakokeskuksien kautta kiinteistöjen lämmitysjärjestelmiin.

Kaukolämpöverkoston yhteispituus on n. 1,6 km. Putkiston ikä on melko korkea, mutta silti vuotoja on ollut hyvin vähän. Kaukolämpöverkosto on rakennettu teräsputkesta. Osassa vanhemmista putkistoista putki kulkee betonikourussa villaeristeen sisällä. Vastaavasti uudemmat putkilinjat on tehty lämpökanaaleista, jotka koostuvat teräsputkesta ja sitä ympäröivästä uretaanieristeestä, sekä päällä olevasta muoviputkesta. Alla olevassa kuvassa 4 näkyvät lämpökanaaliputkien sijainnit kartalla.



Kuva 4. Aluelämpöverkoston sijainti ja rakenne sekä lämmönjakokeskuksien paikat.

Aluelämpöverkostossa on yhteensä 17 lämmönjakokeskusta.

Lämmönjakokeskuksen tekninen käyttöikä on n. 25 v. (Motiva 2023.)

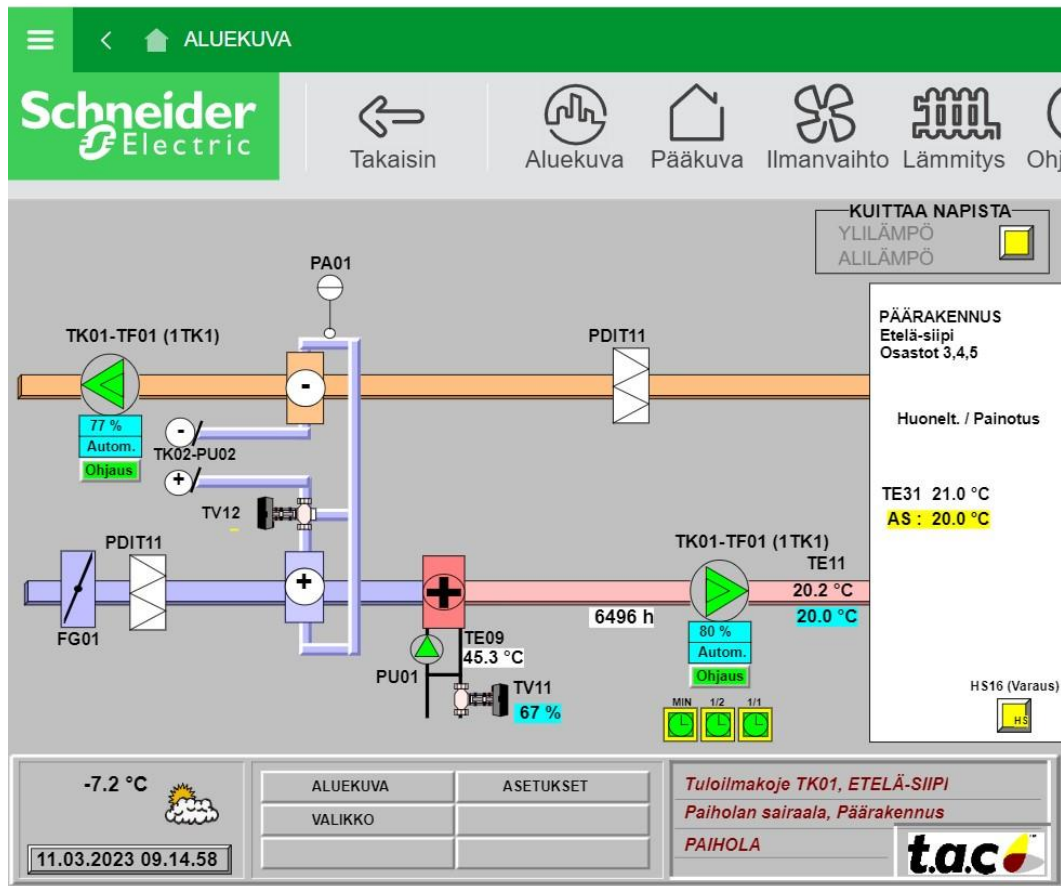
Aluelämpöverkostossa on suunnitteilla usean lämmönjakokeskuksien uusiminen. Alla olevassa taulukossa 2 lämmönjakokeskuksien tiedot.

| Missä | Mikä | Valmistunut (v) | Teho (kW) |
|-----------------------|-------------------|-----------------|-----------|
| Lämpökeskus | KV | 1990 | 90 |
| | L | 1990 | 20 |
| | Öljyn esilämmitys | 1990 | 40 |
| Paiholan Linna pohj. | KV | 2003 | 320 |
| | L | 2003 | 215 |
| | I | 2003 | 250 |
| Paiholan Linna etelä | KV | 2001 | 320 |
| | L | 2001 | 230 |
| | I | 2001 | 230 |
| Sosiaalirakennus | KV | 2004 | 150 |
| | L | 2004 | 90 |
| Kanavaranta | KV | 2019 | 150 |
| | L | 2019 | 250 |
| | I | 2019 | 190 |
| Omakotitalot (kaikki) | KV | 2003 | 90 |
| | L | 2003 | 38 |
| Kuurna | KV | 1964 | 340 |
| | L | 1989 | 300 |
| | L | 1989 | 190 |
| | I | 1989 | 350 |
| G-talo | KV | 1990 | 285 |
| | L | 1990 | 84 |
| D-talo | KV | 1990 | 420 |
| | L | 1990 | 130 |
| Sauna | KV | 1983 | 95 |
| | L | 1983 | 32 |
| Paiholankoski | KV | 1994 | 270 |
| | L | 1994 | 140 |
| Lukkarila | KV | 2006 | 120 |
| | L | 2006 | 40 |
| B-talo | KV | 1990 | 450 |
| | L | 1990 | 175 |

Taulukko 2. Lämmönjakokeskuksien tietoja.

4.3 Kiinteistöautomaatio

Osassa alueen rakennuksia on Schneider Electricin kiinteistöautomaatiojärjestelmä, josta saadaan tietoa mm. lämpötilatasoista, IV-koneiden käyntiajoista ja lämmöntalteenottojen hyötysuhteista. Alla olevassa kuvassa 5 valvomonäkymää IV-koneesta.



Kuva 5. Schneider Electric kiinteistöautomaatio ohjelman valvomonäkymää.

5 Tutkimus ja mittausmenetelmät

5.1 Sähköenergia

Sähköenergian kulutustietojen keräyksessä hyödynnettiin olemassa olevia mittarilukemia. Siirryttäessä tarkempiin yksityiskohtaisiin kulutustietoihin mukaan otettiin Tuya:n valmistama energiamittari. Mittari näyttää energiamittauksen lisäksi hetkellisen tehon, vaihdekohtaiset jännitteet ja virrat sekä tehokertoimet. Tärkeää on huomioida, että mittarin käyttäminen vaatii sähköalan ammattitaidon. Alla olevassa kuvassa 6 mittausnäkömää.



Kuva 6. Tuya sovelluksen mittausnäkömää.

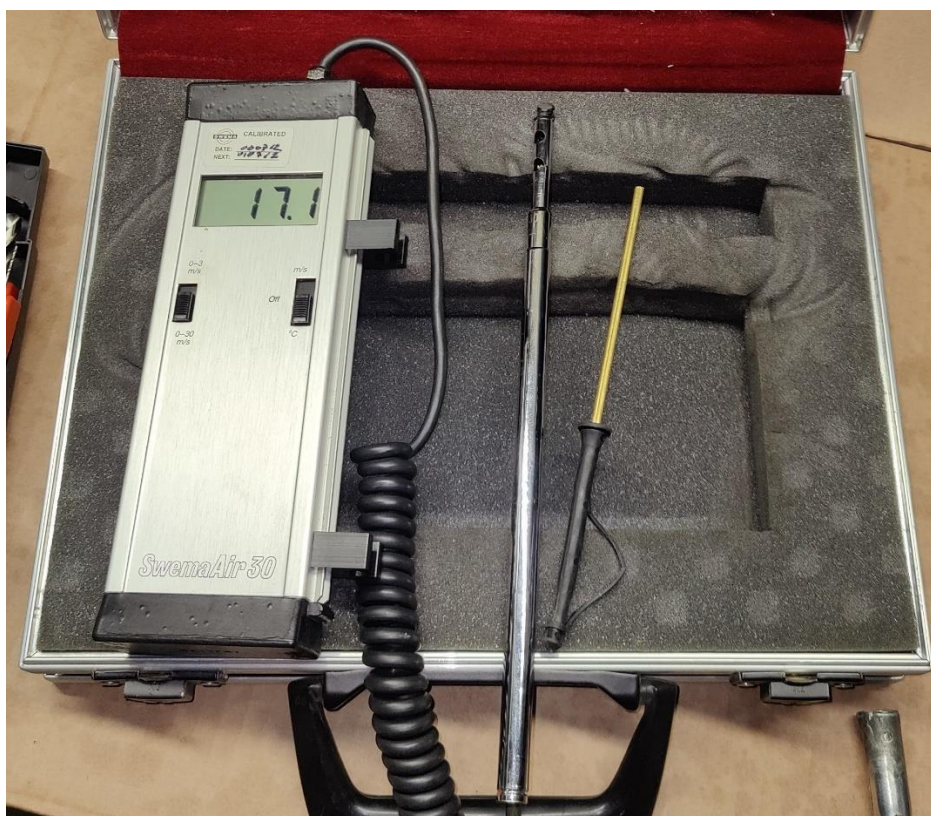
5.2 Lämpöenergia

Lämpöenergian kulutukset saatiin pääosin rakennuskohtaisesti mittarilukemien perusteella sekä osittain laskemalla arvioituja kulutuksia. Yläpohjan lämpöhäviö laskentaa tehtiin kuuden kaksi kerroksisen kerrostalon kohdalla. Näistä laskettiin lämpöhäviö ennen lisäeristämistä ja lisäeristämisen jälkeen.

5.3 Ilmanvaihto

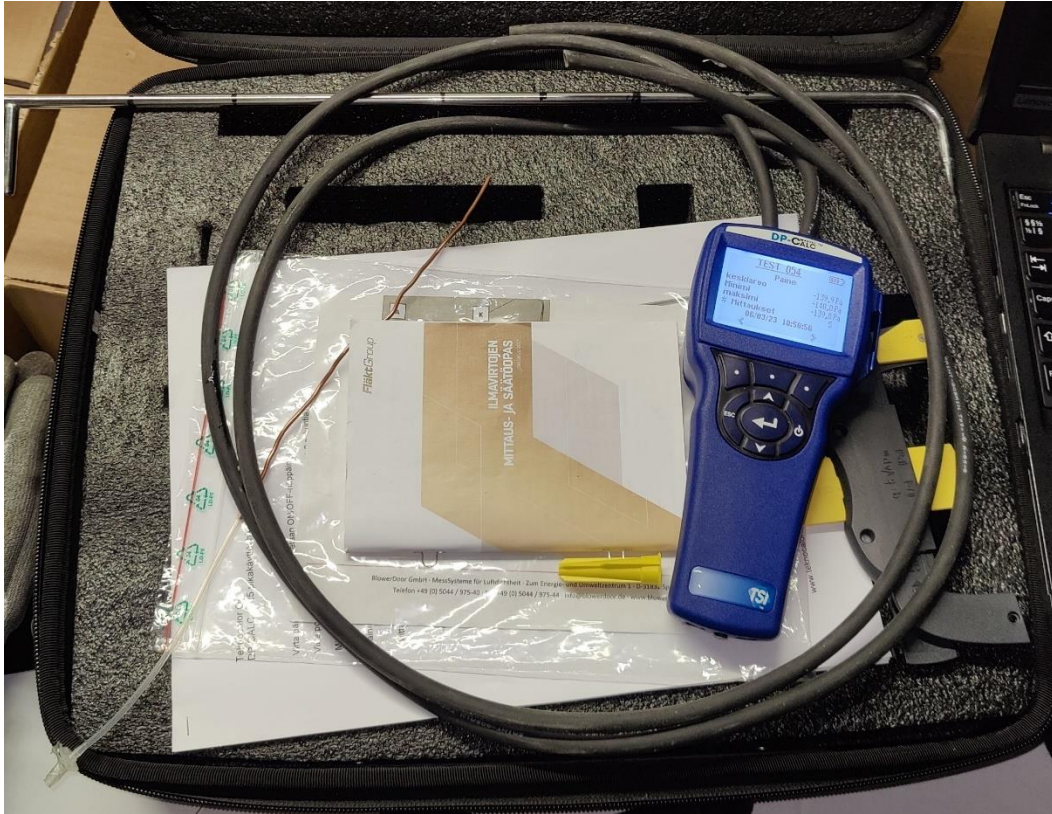
Kohteessa on useita IV-koneita, tutkimuksessa keskityttiin yhden lämmöntalteenotolla varustetun IV-koneen mittauksiin. Lämpötilamittauksia tehtiin eri lämpötila-alueilta sekä erilaisilla ulkoilman lämpötiloilla. Ilmanvaihtokoneesta mitattiin myös ilmavirrat sekä kanavapaineet. Lämmöntalteenotto on toteutettu LTO-pattereiden avulla, lämmönsiirtoaineena

toimii glykoli-vesiseos, jonka seossuhteet mitattiin myös. Alla olevassa kuvassa 7 esiteltynä mittausvälineitä.



Kuva 7. SwemaAir 30 -ilmamäärä ja -lämpötilamittari.

Ilmamäärämittaukset tehtiin paine-eromittarilla pitot-putken avulla. Mittauksissa käytettiin alla olevassa kuvassa 8 olevaa paine-eromittaria.



Kuva 8. DP-CALC 5825 paine-eromittari.

6 Mittaustulokset sähköenergian osalta

6.1 Sähköenergian kokonaiskulutuksen jakautuminen

Sähköenergian kokonaiskulutus v. 2022 oli 813 094 kWh, tämä koostuu 15 eri käyttökohteen kulutuksesta. Kohteiden kulutus on taulukoitu alla olevassa taulukossa 3.

| Kohde | Kulutus [kWh/a] | Kohde | Kulutus [kWh/a] |
|--------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| Paiholan linna | 256 110 | G-talo | 21 311 |
| Kanavaranta | 145 806 | Kesäkahvila | 12 201 |
| Kuurna | 103 850 | Parkkialue ja tievalot | 9 319 |
| Hoiva KK | 73 639 | Puhelinkeskus | 7 541 |
| C, D, E ja F-talot | 57 284 | Okt Pe | 5 509 |
| Rantasauna | 21 189 | Niemenkartano | 4 585 |
| Lämpökeskus | 49 960 | Caravan | 3 526 |
| A ja B talot | 41 264 | Kaikki yhteensä | 813 094 |

Taulukko 3. Sähköenergian kulutukset kohteittain.

6.2 Paiholan Linna yksilöity sähköenergian kulutus

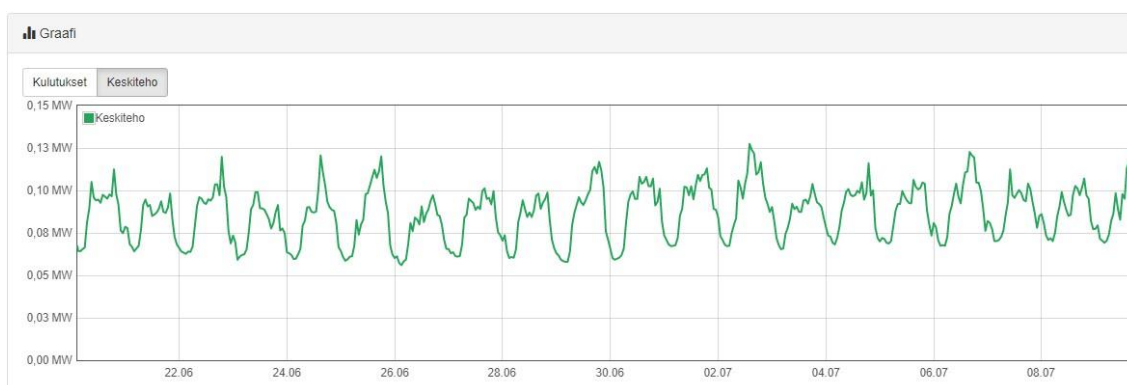
Tarkemman tarkastelun kohteena oli Paiholan Linna niminen rakennus, josta tutkittiin erillisen mittauksen ulkopuolella olevaa kulutusta. Tästä rakennuksesta mitattiin kaikkiaan 40:n eri kulutuspisteen hetkelliset tehot, jotka kerrottiin vuosittaisella käyttötuntimäärällä. Suurimmat yksittäiset kulutukset tulevat IV-koneiden puhaltimia ja lämmöntalteenoton pumppua pyörittävistä sähkömoottoreista. Valaistuksen osalta tutkittiin vain rakennuksen omistajan sähkömittauksen takana olevaa aluetta, joka koostuu porraskäytävistä ja maanalaisista tunnelikäytävistä sekä ulkovalaistuksesta. Kohteessa on vuokralla toimijoita, joiden sähkönkäyttö jatkolaskutetaan, heidän sähköenergian kulutukset ovat mukana yksittäisenä käyttöpisteenä taulukossa, mutta kulutuksen energiansäästöpotentiaalia ei tarkasteltu tarkemmin. Alla olevassa taulukossa 4 Paiholan Linnan kulutuksen erittely.

| Paiholan Linna | Käyttötunnit [h/a] | Teho [kW] | Kulutus [kWh/a] |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------|--------------------|
| Kanavaranta varavoiman kautta | 8 760 | 1,90 | 16 644 |
| TK-1 puhallinmoottori | 8 760 | 4,48 | 39 245 |
| PK-1 puhallinmoottori | 8 760 | 1,87 | 16 381 |
| Lämpöjohtopumppu | 8 760 | 0,05 | 403 |
| Huippuimuri 1hi4 | 8 760 | 0,13 | 1 139 |
| Huippimuri 1hi2 | 8 760 | 0,08 | 657 |
| TK-2 puhallinmoottori | 8 760 | 0,57 | 5 028 |
| PK-2 puhallinmoottori | 8 760 | 0,49 | 4 327 |
| LTO-pumppu | 8 009 | 1,47 | 11 773 |
| Lämpöjohtopumppu | 8 760 | 0,05 | 403 |
| TK-3 puhallinmoottori | 8 760 | 0,16 | 1 402 |
| PK-3 puhallinmoottori | 8 760 | 0,03 | 263 |
| Lämpöjohtopumppu | 8 760 | 0,02 | 175 |
| TK-5 puhallinmoottori | 8 760 | 0,25 | 2 710 |
| Huippuimuri 5hi1 | 8 760 | 0,08 | 805 |
| Huippuimuri 5hi2 | 8 760 | 0,11 | 1 043 |
| Huippuimuri 4hi3 | 8 760 | 0,05 | 438 |
| Lämpöjohtopumppu | 8 760 | 0,04 | 315 |
| TK-6 puhallinmoottori | 52 | 1,65 | 86 |
| PK-6 puhallinmoottori | 52 | 1,34 | 70 |
| Lämpöjohtopumppu | 8 760 | 0,03 | 289 |
| TK-7 puhallinmoottori | 8 760 | 0,50 | 4 380 |
| PK-7 puhallinmoottori | 8 760 | 0,64 | 5 606 |
| Huippuimuri 7hi3 | 8 760 | 0,03 | 263 |
| LTO-pumppu | 8 760 | 1,23 | 10 775 |
| Lämpöjohtopumppu | 8 760 | 0,03 | 289 |
| Lämpöjohtopumppu TK-8 | 8 760 | 0,10 | 832 |
| Lämmönjakokeskus | 8 760 | 0,23 | 2 015 |
| Lämpöjohtopumppu IV | 8 760 | 0,19 | 1 664 |
| Lämpöjohtopumppu LKV | 8 760 | 0,09 | 788 |
| Lämpöjohtopumppu lämmitys | 8 760 | 0,24 | 2 059 |
| Lämpöjohtopumppu IV | 8 760 | 0,33 | 2 891 |
| Lämpöjohtopumppu LKV | 8 760 | 0,13 | 1 139 |
| Lämpöjohtopumppu lämmitys | 8 760 | 0,33 | 2 891 |
| Ulkovalaistus | 3 800 | 1,44 | 5 472 |
| Kellari hissialue valaistus | 3 600 | 0,80 | 2 880 |
| Henkilökuntaporrasvalot keskus | 8 760 | 0,76 | 6 640 |
| Varavalot etelä | 8 760 | 0,07 | 578 |
| Varavalot pohjonen | 8 760 | 0,11 | 964 |
| Automaatio sähköt | 8 760 | 0,06 | 526 |
| Tukiasema 1 | | | 22 961 |
| Tukiasema 2 | | | 12 685 |
| Metalliverstas | | | 2 445 |
| Vuokralainen 1 | | | 51 103 |
| Kokonaiskulutus | | | 245 441 |

Taulukko 4. Paiholan Linna yksilöity sähköenergian kulutus.

6.3 Sähkön kesäajan kulutusprofiili

Kohteessa on ympäri vuoden hyvin tasainen kulutusprofiili. Tämä mahdollistaisi todella hyvin aurinkoenergian hyödyntämisen. Alla olevasta kuviosta 3 kesäaikaista kulutusprofiilia tarkastelemalla huomaamme keskiverto kesäpäivän kulutustehon olevan n. 100 kW.

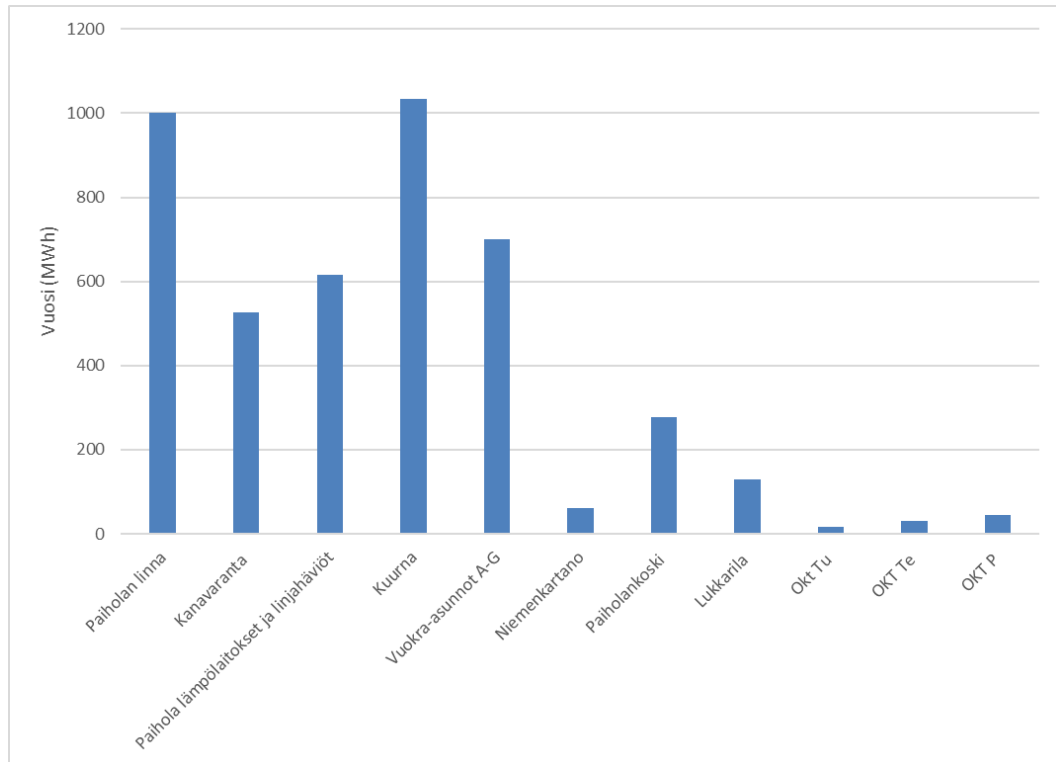


Kuvio 3. Kesäajan sähköenergian kulutusprofiili (PKS Extra 2023.)

7 Mittaustulokset lämpöenergian osalta

7.1 Lämpöenergian jakautuminen eri kohteisiin

Aluelämpölaitoksessa tuotettu lämpöenergia, joka oli vuonna 2022 yhteensä 4433 MWh jakautui yhdentoista käyttöpäivän kohdalle alla olevan kuvion 4 mukaisesti.



Kuvio 4. Lämpöenergian jakautuminen eri käyttökohteisiin.

7.2 Yläpohjan lämpöhäviöt

Kuuden kerrostalon kohdalla tehtiin laskelma yläpohjan lisälämpöeristyksen osalta. Yläpohjan rakenne ylhäältä alaspäin on seuraavanlainen: Ylimpänä

20 mm betonivalu



70 mm Tojax-levy



50 mm mineraalivillalevy



120 mm betonivalu

Yläpohjan laskennallinen U-arvo ennen lisäeristystä on 0,384 W/m²K.

Yläpohjan laskennallinen U-arvo 300 mm:n Termex puhallusvilla lisäeristyksen jälkeen on 0,095 W/m²K. Suoritettu lisäeristäminen parantaa energiatehokkuutta merkittävästi. Lisäksi tällä toimenpiteellä saadaan

vähennettyä yläpohjan kosteuskuormaa ja painejään muodostumista peltikatolle. Laskelmista lisätietoa liitteessä (liite 11.)

8 Ilmanvaihtokoneen mittaustulokset

8.1 Puhallinkäytön kokonaishyötysuhteet

Ilmanvaihtokoneen virtausmäärät mitattiin pitot-putkella paine-eromittauksella. Ilmanvaihtokoneen virtausvastuksia mitattiin paine-eromittauksilla. Koneen pyöriessä täydellä teholla ilmamäärät olivat tuloilmauksessa 2 569 l/s ja poistokoneessa 2 573 l/s. Tuloilmakoneen virtausvastukset olivat seuraavat: Tuloilmakammio ja pelti 35 Pa → Esisuodatin 103 Pa → Pääsuodatin 85 Pa → LTO-kenno ja käytöstä poistettu kanavalauhdutin 245 Pa → Jälkilämmityspatteri 40 Pa. Tuloilmakoneen imupuolella oli yhteensä 508 Pa painehäviöt. Tuloilmakanavan lähtöpaine oli 200 Pa.

Alla olevalla kaavalla laskemalla tuloilman puhalluksen laskennallinen kokonaishyötysuhde oli 0.41.

$$\frac{2,569 \frac{m^3}{s} * 708 Pa}{4480 W} = 0.41$$

Laskennassa käytetty alla olevaa kaavaa.

$$P_E = \frac{q_v \cdot \Delta p_F}{\eta_{kok}} \Rightarrow \eta_{kok} = \frac{q_v \cdot \Delta p_F}{P_E}$$

missä

P_E = puhallinmoottorin ottama sähköteho

η_{kok} = puhallinkäytön kokonaishyötysuhde

q_v = puhaltimen ilmavirta

Δp_F = puhaltimen paineenkorotus

Poistoilmakoneen imupuolen virtausvastukset olivat seuraavat:
 Poistoilmakanavisto 194 Pa → Suodatin 21 Pa → LTO-kenno 115 Pa.
 Poistoilman puhalluksen laskennallinen kokonaishyötysuhde oli 0.45.

8.2 Poistoilman lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde

Lämmönsiirtonesteenä toimivasta glykoli-vesiseoksesta otettiin tiheysnäyte, joka oli mittauksissa 52/48. Tässä suhteessa olevan liuoksen jäätymispiste on -39 °C. Ennen varsinaisia lämpötilamittauksia glykoli-vesiseos laimennettiin, niin että seoksen jäätymispisteeksi muodostui -19 °C.

Tämän jälkeen suoritettiin lämpötilamittauksia useammalla eri ulkolämpötilalla. Alla olevassa taulukossa 5 näkyvät mittaustulokset.

| Ulkolämpötila | Poistoilma-kanavan lämpötila ennen LTO:ta | Poistoilma-kanavan lämpötila LTO:n jälkeen | Mitattu poistoilman lämpötilahyötysuhde |
|---------------|---|--|---|
| 2,3 | 21,6 | 10,8 | 56 % |
| 0,4 | 20,7 | 9,5 | 55 % |
| -2,7 | 20,6 | 7,7 | 55 % |
| -6,5 | 20,6 | 5,3 | 56 % |
| -13,5 | 20,9 | 1,1 | 58 % |

Taulukko 5. Poistoilman lämmöntalteenoton mittaustulokset.

9 Energiategokkuutta parantavia toimenpiteitä

Seuraavissa investointilaskemissa esitetään erilaisia energian säästökohteita. Laskelmissa näytetään eri toimenpiteiden energiansäästöpotentiaali sekä taloudellinen kannattavuus. Sähköenergian hinta on heitellyt paljon viime aikoina. Tutkittavan kohteen vuoden 2022 sähköenergian arvonlisäveroton keskihinta siirtomaksun ja sähköveron kanssa oli 0,19 €/kWh. Odotettavissa on kuitenkin, että sähköenergian hinta laskee hieman tulevaisuudessa, mutta

toisaalta inflaatio on viime aikoina kuitenkin ollut korkea ja tämä taas omalta osaltaan nostaa sähköenergian ja siirtomaksujen hintaa. Näitä tekijöitä arvioimalla investointilaskemissa on päädytty käyttämään sähköenergian osalta 0,13 €/kWh arvonlisäverotonta kokonaishintaa, joka sisältää siirtomaksun ja sähköveron. Lisäksi on arvioitu, että kaikki hinnat korottuvat 3-prosenttia vuosittain.

Lämpöenergian osalta hakkeen raaka-aineen hankintahinta on noussut vuoden 2022 aikana paljon. Venäjältä puun ja hakkeen tuonti loppui helmikuussa 2022, tämä on nostanut puun ja hakkeen hintaa Suomessa. Q1/2022 rankapuun arvonlisäveroton hankintahinta Savo-Karjalan alueella oli 22 €/m³, kun se loppuvuodesta Q4/2022 oli jo 34 €/m³ (Metsälehti 2023.) Tämä on jo nostanut hakkeen hintaa ja tulee nostamaan sitä jatkossakin. Lämpöenergian osalta investointi laskelmissa käytetään arvonlisäverotonta 50 €/MWh hintaa. Lisäksi on arvioitu, että hinta korottuu vuosittain 3 %.

Master Yhtiöiden strategiassa on linjattu, että omalla pääomalla tehtävien investointien laskentakorkona käytetään 15 %. Tämä korko on käytössä myös investointilaskelmissa.

9.1 Valaistuksen muuttaminen LED tekniikalle

Kohteessa on vielä paljon loisteputkivalaisimia ja näiden muuttaminen LED-valoiksi on ajankohtaista. Seuraavissa kohdissa on tarkasteltu muutamien kohteiden muutoksia energiatehokkuuden ja taloudellisen kannattavuuden kautta. Näitä samoja laskelmia voi hyödyntää myöhemmin kohteen muissakin rakennuksissa.

9.1.1 Porrasvalaistuksen muutokset

Vuokralaisen vaatimuksesta kahdessa rappukäytävässä pitää olla valaistus päällä jatkuvasti ympäri vuoden. Porraskäytävien valaistus on toteutettu valaisimilla, joissa on kaksi 36 W:n loisteputkea yhdessä valaisimessa. Jatkuvasti päällä olevia valaisimia on yhteensä 39, ja näiden yhteenlaskettu jatkuva sähköteho on $36 \text{ W} * 2 * 39 = 2\,808 \text{ W}$. Valot kuluttavat vuodessa sähköenergiaa $2,8 \text{ kW} * 8760 \text{ h} = 24\,528 \text{ kWh}$. Valojen tilalle asennetaan automaattisesti himmenevät mikroaaltotunnistimella varustetut 1 200 mm pitkät 33 W:n LED-valaisimet. Valot ohjelmoidaan palamaan jatkuvasti 10%:n teholla. Valaisimien mikroaaltotunnistimien havaitessa porraskäytävässä liikettä valot kirkastuvat täydelle teholle.

Uusien valaisimien sähkönkulutus on valmistajan ilmoittamana seuraavanlainen: Yhden valaisimen teho 10 %:n lepotilassa on 6 W ja täydellä teholla 33 W. Vuorokautinen tehostettu paloaika on arvioitu olevan yhteensä n. 1 h. Tästä saamme laskettua vuosittaiseksi energiankulutukseksi $(0,006 \text{ kW} * 8395 + 0,033 \text{ kW} * 365 \text{ h}) * 39 = 2\,434 \text{ kWh}$. Arvioitu sähköenergian säästö vuodessa on $24\,528 \text{ kWh} - 2\,434 \text{ kWh} = 22\,094 \text{ kWh}$.

Investointilaskennan tarkastelujaksona käytetään kymmentä vuotta.

Investoinnin kokonaiskustannus on 9 121 €, joka sisältää asennuksen.

Investoinnin korollinen takaisinmaksuaika on n. 3,9 v. Kaikki hinnat ovat alv 0 %-hintoja. Lisätietoja investointilaskelmasta löytyy liitteestä. (liite 1.)

9.1.2 Katu- ja pihavalistus muutokset

Katu- ja pihavalaisimet ovat vanhoja valaisimia, joissa on 125 W:n kaasupurkauspolttimet. Pohdinnassa oli vaihdettasiinko polttimet E27-kannalla oleviksi LED-polttimoiksi vai korvattasiinko valaisimet kokonaan uusilla valaisimilla. Valaisimien heijastin pinnat ovat niin kuluneet ja valaisimien ikä niin korkea, että päädyttiin kokonaan uusien valaisimien kannalle.

Laskelmissa on mukana 29 katuvalaisinta ja 36 pihavalaisinta. Alla olevassa kuvassa 10 laskennassa käytetyt valaisimet.



Kuva 10. 23 W Easy LED katuvalaisin ja 29 W Tapio LED pihavalaisin

Valaisimien vuosittainen paloaika on arvioitu olevan 3 800 tuntia. Tällä paloajalla vanhojen valaisimien sähköenergian kulutus on $0,125 \text{ kW} * 3\,800 \text{ h} * 65 = 30\,875 \text{ kWh}$. Uusien valaisimien sähköenergian kulutus on $0,023 \text{ kW} * 3\,800 \text{ h} * 29 + 0,029 \text{ kW} * 3\,800 \text{ h} * 36 = 6\,502 \text{ kWh}$. Sähköenergian säästö on 24 373 kWh vuodessa.

Investointilaskelmassa käytetään tarkastelujaksona kymmentä vuotta. Investoinnin kokonaiskustannus on 15 834 €. Vaihtotyön osuutta ei ole huomioitu laskennassa, kun on ajateltu, että vanhojen valaisimien huoltotyön määrä 10 vuoden ajanjaksolla tulisi olemaan suurin piirtein sama, kuin uusien valaisimien kertaluontoinen vaihtaminen. Investoinnin korollinen takaisinmaksuaika on n. 6,5-vuotta. Kaikki hinnat ovat alv 0 %-hintoja. Lisätietoja investointilaskelmasta löytyy liitteestä. (liite 2.)

9.1.3 Tunneli- ja kellarivalaistuksien muutokset

Tunnelissa palaa ympäri vuoden 58 W:n loisteputkivalaisimia 8 kappaletta sekä kellarissa 2 x 36 W:n loisteputkivalaisimia 10 kappaletta. Vanhojen valaisimien vaihtaminen mikroaaltotunnistimilla oleviin LED-valoihin toisi sähköenergian säästöjä vuodessa n. 9 500 kWh. Investoinnin korollinen takaisinmaksuaika olisi n. 5 v. Lisätietoja investointilaskelmasta löytyy liitteestä. (liite 3.)

9.2 Ilmanvaihdon energiatehokkuuden parantaminen

9.2.1 Lämmöntalteenoton liuoksen laimentaminen

Lämmöntalteenoton liuoksen vahvuudella on suuri merkitys lämmöntalteenoton energiatehokkuuteen. Mittauksissa ilmeni, että lämmöntalteenoton glykoli-vesiseoksen suhde on liian vahva. Lähtötilanteessa glykolipitoisuus oli jäätymispisteellä mitattuna -39 °C tämä on pitoisuutena n. 52 %. Tässä tilanteessa glykoli-vesiseoksen lämmönsiirto-ominaisuus on merkittävästi heikompi, kuin lämmöntalteenottojärjestelmissä yleisesti käytettävässä n. 30%:n glykoli-vesiseoksessa, jonka jäätymispiste on n. -15 °C .

Glykoli-vesiseoksen vahvuutta laimennettiin lisäämällä vettä järjestelmään. Veden lisäyksen jälkeen liuoksen jäätymispiste oli -19 °C . Ennen liuoksen laimentamista poistoilmasta mitattu lämmöntalteenoton hetkellinen hyötysuhde oli 43 %, liuoksen laimentamisen jälkeen hyötysuhde oli 56 %.

9.2.2 Käytöstä poistetun kanavalauhduttimen poistaminen

Rakennuksessa on ollut aikaisemmin käytössä paljon kylmälaitteita. Näistä on syntynyt paljon lauhdelämpöä, joka on hyödynnetty ilmanvaihtokoneen tuloilman lämmityksessä lauhdutus patterin välityksellä. Tämä on ollut energiatehokasta ja vastuullista toimintaa. Kylmäkoneikot ovat kuitenkin poistuneet käytöstä ja lauhdutus patteri on muuttunut ilmanvastuksen kautta energian kulutuskohteeksi. Alla olevassa kuvassa 11 poistettavaksi suunniteltu kanavalauhdutus patteri.



Kuva 11. Lämmöntalteenottopatteri ja kylmäkoneiden kanavalauhdutinpatteri.

Alla olevalla puhaltimen sähköenergian kulutusta esittävällä kaavalla voidaan laskea myös lauhdutinpatterin ilmanvastuksen kautta aiheuttama sähköenergian kulutuksen lisääntyminen.

$$P_E = \frac{q_v \cdot \Delta p_F}{\eta_{\text{kok}}}$$

missä

P_E = puhallinmoottorin ottama sähköteho

η_{kok} = puhallinkäytön kokonaishyötysuhde

q_v = puhaltimen ilmavirta

Δp_F = puhaltimen paineenkorotus.

Kaavaan sijoittamalla ilmanvaihtokoneen kautta kulkeva ilmavirta 2,569 m³/s sekä kanavalauhduttimen aiheuttama virtausvastus 129 Pascalia. Tämä on laskettu kanavalauhduttimen ja lämmöntalteenoton patterin yhteisvastuksen 244 Pa ja lämmöntalteenotonpatterin 115 Pa paine-erojen erotuksesta. Lisäksi kaavaan sijoitetaan aikaisemmin laskettu tuloilman puhalluksen

kokonaishyötysuhde 0.41. Saatu teho kerrotaan vuoden tunneilla, josta päädytään vuosittaiseen 7 080 kWh sähköenergian säästölukemaan.

$$\frac{2,569 \frac{m^3}{s} * 129 Pa}{0,41 * 1000} * 8760 h = 7080 kWh$$

9.2.3 IV-suodattimien muutokset ja LTO:n puhdistaminen

Tuloilmakoneessa on kaksi ilmansuodatinta peräkkäin, ensin on karkea esisuodatin ja sen jälkeen varsinainen ilmansuodatin. Ilmanvaihtosuodattimet aiheuttivat suuren ilmanvastuksen yhteensä 188 Pascalia. Esisuodattimen poistamista käytöstä kannattaisi harkita. Lämmöntalteenottokeinoja ei ole puhdistettu ainakaan edellisen 10 vuoden aikana. Nämä kannattaisi puhdistaa paremman lämmönjohtavuuden saavuttamiseksi sekä samalla ilmanvastus pienentyisi hieman.

9.2.4 IV-puhaltimien uudistaminen EC-moottorikäyttöisiksi

Vanhojen hihnavälitteisien IV-puhaltimien kokonaishyötysuhde on noin 30 % huonompi verrattuna nykyaikaisiin EC-moottorilla varustettuihin puhaltimiin. Liitteessä 5 on näytetty uuden puhaltimen sähköenergiankulutukset samoilla lähtötiedoilla kuin nykyisetkin puhaltimet.

Puhaltimien vaihdolla saavutettaisiin merkittäviä säästöjä nopealla aikataululla. Uuden EC-moottorilla varustetun tuloilmapuhaltimen vuosittainen sähköenergian säästö olisi 14 918 kWh. Vastaavasti poistoilmapuhaltimen sähköenergian säästö olisi 3 863 kWh. Yhteensä sähköenergian säästöjä tulisi 18 781 kWh. Puhallinvaihtojen investoinnin kokonaissumma olisi 6 000 € ja korollinen takaisinmaksuaika olisi n. 3 v. Lisätietoja investointilaskelmasta liitteessä. (liite 4.)

9.2.5 Lämmöntalteenottopiirin pumpun uudistaminen

Lämmöntalteenottopiirin pumppu on melko vanha, tästä syystä pumppauksen energiatehokkuus ei ole yhtä hyvä, kuin nykyaikaisilla taajuusmuuttaja käyttöisillä pumpuilla. Alla olevassa kuvassa 12 lämmöntalteenotonpumppu.



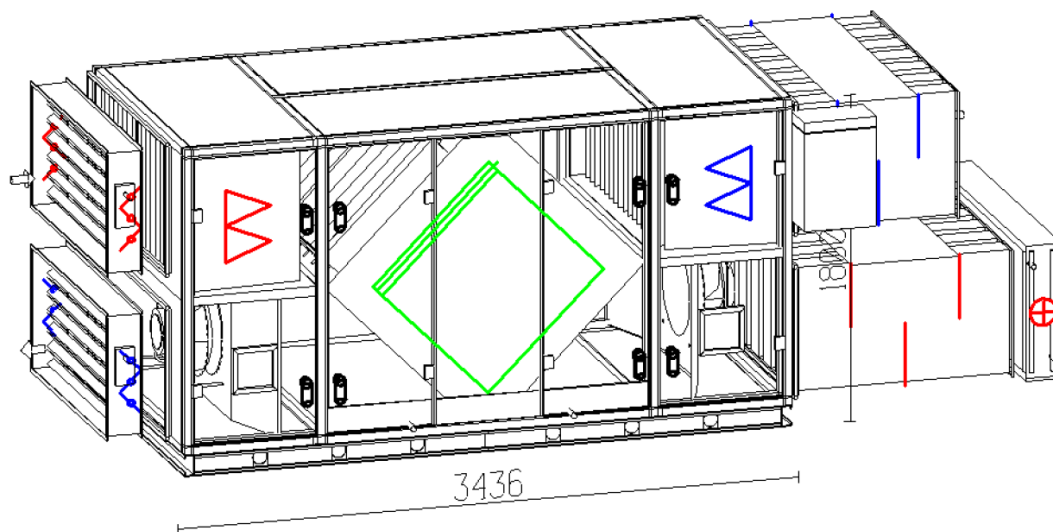
Kuva 12. Lämmöntalteenottopiirin pumppu.

Nykyinen pumppu pyörii koko ajan täydellä teholla aina kun lämpötila on alle +17°C. Lämpötilan ylittäessä +17°C kiinteistöautomaatio-ohjelma sammuttaa pumppun. Mikäli pumppu uusittaisi nykyaikaiseksi pumppun kierrosnopeutta voisi ohjata älykkäästi tarpeen mukaan. Tästä tulisi todellisuudessa suuremmat energiansäästöt, kuin investointilaskelmassa käytetty 2 963 kWh vuodessa. Investointilaskelma on laskettu sen mukaan, että uusi pumppu pyörisi täydellä teholla saman aikajaksoin kuin vanhakin pumppu. Uuden pumppun ja liittimien hankintahinta on 1 600 €. Investoinnin korollinen takaisinmaksuaika on n. 5,8 v. Lisätietoja investointilaskelmasta liitteessä. (liite 6.)

9.2.6 Uuden IV-koneen hankkiminen

Tarkasteltiin myös kokonaan uuden ilmanvaihtokoneen vaihtamista vanhan koneen tilalle. Vanha ilmanvaihtokone korvattaisiin nykyaikaisella

Ilmanvaihtokoneella, jossa on energiatehokas vastavirtalämmönsiirrin. Alla olevassa kuvassa koneen periaatepiirros.



Kuva 13. Havainnekuva uudesta IV-koneesta. (Kuva: IV-kone tarjouksesta.)

Koneen uusimisella saavutettaisiin selkeitä energiansäästöjä sähkö- ja lämpöenergian osalta. Lisäksi sisäilmanlaatu olisi entistä parempi tiiviimmän rakenteen ansiosta sekä hihnapölyn muodostuminen poistuisi kokonaan. Koneen puhallintyyppi on suorakäyttöinen, EC-moottorilla varustettu kammio puhallin.

Uuden ilmanvaihtokoneen vuosittainen energiansäästöpotentiaali olisi merkittävä. Sähköenergian osalta energiansäästö olisi 27 130 kWh ja lämpöenergian osalta 96 MWh. Lisäksi säästöjä tulisi huoltokustannuksien vähentymisen takia.

Investointilaskeman tarkastelujaksona käytetään 25 v. Investoinnin laitekustannus on 27 800 €. Automatiikan, koneen asennustöiden ja kanavamuutoksien arvioitu kustannus on 10 000 €. Investoinnin kokonaishinta on 37 800 €. Investoinnin korollinen takaisinmaksuaika on n. 6,2 v. Kaikki hinnat ovat alv 0 %-hintoja. Lisätietoja investointilaskelmasta löytyy liitteestä. (liite 8.)

9.2.7 Vanhan IV-koneen modernisointi vrt. uusi IV-kone

Vanhasta IV-koneesta saisi modernisoitua sähköenergian puolesta yhtä energiatehokkaan, kuin uusikin IV-kone olisi. Tässä tilanteessa IV-koneeseen vaihdettaisiin EC-moottorilla olevat puhaltimet, käytöstä poistettu kylmälaitteiden kanavalauhdutin poistettaisiin sekä lämmöntalteenotonpumppu uudistettaisiin. Lisäksi ilmanvaihdon esisuodatin poistettaisiin käytöstä.

Vanhaan koneeseen esitettyjen modernisointi toimenpiteiden ja uuden ilmanvaihtokoneen hankinnan välinen hintaero olisi 28 000 €. Uuden ilmanvaihtokoneen lämpöenergiatehokkuus on kuitenkin niin paljon parempi, että lämpöenergian säästöjä tulisi vuodessa 96 MWh. Näillä tiedoilla suoritettu investointien vertailulaskenta uuden koneen investointi verrattuna vanhan koneen modernisointiin näytti seuraavalta. Uuden ilmanvaihtokoneen korollinen takaisinmaksuaika verrattuna vanhan koneen modernisointiin olisi n. 10 v. Lisätietoja investointien vertailulaskelmasta liitteessä. (liite 9.)

9.3 Yläpohjan lämpöeristys

Kuuden pienkerrostalon kohdalla tutkittiin yläpohjan lämpöhäviöitä. Yläpohjan lämpöeristykset on tehty 60-luvulla sen aikaisien asetusten ja määräyksien mukaan. Investointilaskelmassa päädyttiin esittämään 30 cm:n lisäeristystä selluvillalla. Tässä laskelmassa käytettiin arvonlisäverollisia hintoja, koska asuinrakennuksista ei voi tehdä arvonlisäveron vähennyksiä. Investoinnin kokonaiskustannus 6 pienkerrostalon kohdalta on 14 198 €. Energiansäästöjä syntyy vuositasolla 68,9 MWh. Investoinnin korollinen takaisinmaksuaika on n. 4,2 v. Lisätietoja investointilaskelmasta liitteessä 10.

9.4 Investointilaskelman yhteenveto

Tutkituista kannattavimmista energiansäästökohteista laadittiin yhteenvetotaulukko, josta näkyvät toimenpiteiden energiansäästöt sekä taloudelliset säästöt ja investointien takaisinmaksuajat.

| Investointikohte | Säästöpotentiaali sähkö [kWh/a] | Säästöpotentiaali lämpö [MWh/a] | Säästöpotentiaali [€/a] | Koroton takaisinmaksuaika [a] | Korollinen takaisinmaksuaika [a] 15% |
|---|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Porrasvalaistuksen muutostyöt | 22 094 | | 3 055 | 3,0 | 3,9 |
| Katu- ja pihavalaistus muutostyöt | 24 373 | | 3 588 | 4,4 | 6,5 |
| Kellari- ja tunnelivalaistus muutostyöt | 9 500 | | 1 308 | 3,4 | 4,5 |
| Kanavalahduttimen poistaminen | 7 080 | | 920 | 0,8 | 1,0 |
| EC-puhallin saneeraus | 18 781 | | 2 575 | 2,3 | 3,0 |
| Lämmöntalteenottopiirin pumpun uudistaminen | 2 963 | | 409 | 3,9 | 5,8 |
| Vanhan IV-koneen tilalle uusi IV-kone | 27 130 | 96 | 8 630 | 4,4 | 6,2 |
| Yläpohjan lisälämmöneristys | | 68,9 | 4 272 | 3,3 | 4,2 |

Taulukko 6. Keskeisimmät kannattavat investointikohteet.

Selvyydeksi todetaan, että investointilaskelmassa oli mukana vain pieni osa kohteen rakennuksista ja yksi ilmanvaihtokone. Kohteessa on mm. 12 muuta ilmanvaihtokonetta ja sisävalaistusta huomattavasti enemmän kuin investointilaskelmassa mukana olleet valaistusmuutokset. Saatuja tuloksia on tarkoitus soveltaa jatkossa muissakin ilmanvaihtokoneissa ja valaistusmuutoksissa. Näin toimimalla kokonaisenergian säästöt tulevat olemaan huomattavasti suuremmat.

Jos päädytään tekemään investointilaskelmassa esitettyjä vanhan ilmanvaihtokoneen modernisointi toimenpiteitä, tässä tapauksessa ilmanvaihtokoneen tiiveyttä ja käytettyjä sisämateriaaleja tulee tutkia vielä tarkemmin. Koneen sisällä voi olla esimerkiksi mineraalivilla eristeitä, tai muita kuitulähteitä. Mikäli näin on, tässä tapauksessa koko ilmanvaihtokoneen uusiminen on ainoa järkevä ratkaisu.

10 Pohdinta

Opinnäytetyön aihealue on hyvin ajankohtainen. Mediassa puhutaan jatkuvasti energiansäästötarpeista ja etenkin fossiilisen energian käyttöä yritetään vähentää kaikilla osa-alueilla. Tällä hetkellä käsittelyssä olevan EU:n energiatehokkuusdirektiivin tavoitteet ovat päivän puheenaiheena, kuinka Suomi tulee niistä selviämään. Etenkin vanhojen rakennuksien energiatehokkuuteen on suunniteltu todella laajoja toimia.

Opinnäytetyön haasteena oli laaja aihealue. Tämä mahdollisti kuitenkin monipuolisen tutkimuksen ja työssä pääsi hyödyntämään monen eri alan ammattitaitoja. Tutkimuksia oli rajattava vain tiettyihin rakennuksiin, muuten kokonaisuus olisi paisunut näin tarkoissa tutkimuksissa liian mittavaksi. Opinnäytetyön toteutus eteni lähes alkuperäisen suunnitelman mukaan. Opinnäytetyön tulokset tukeutuvat tietoperustaan. Tietoperustan laajuutta olisi voinut kasvattaa vielä paljon, mutta rajallisen ajankäytön takia työssä käytettiin suurempi painoarvo tutkimuksiin ja kannattavuus laskemiin.

Olisin halunnut yhdistää vielä kiinteistöautomaation tehostamisen tähän opinnäytetyöhön, mutta aihe alue olisi kasvanut liian suureksi. Kiinteistöautomaation tehostamisessa olisi merkittävästi kapasiteettia energian kulutuksen laskemiseksi. Tarkempia tilakohtaisia olosuhdemittauksia (lämpötila, kosteus, hiilidioksidi) asentamalla tilojen ilmanvaihtoa ja lämmitystä voisi ohjata energiatehokkaammaksi sisäilmaolosuhteita huonontamatta.

Työn sisältö rakentui tavoitteiden mukaisesti. Aluksi tutkittiin tietoperustaa, seuraavaksi tehtiin varsinaiset mittaukset ja tiedon keräys, minkä jälkeen suoritettiin laskelmat. Saaduilla tuloksilla voidaan saavuttaa merkittäviä energian- ja kustannusten säästöjä. Työn tuloksien luotettavuus on hyvä, koska suurin osa aineistosta perustuu mitattuun dataan.

Opinnäytetyötä tehtiin normaalin päivätyön rinnalla. Tekijä toimii kohteessa kiinteistöpäällikkönä, ja siitä syystä työskentely oli hyvin itsenäistä. Uusia asioita

energiatehokkuudesta tuli etenkin ilmanvaihdon osalta. Opinnäytetyössä yhdistyi lämpö- ja sähköenergian kulutukset, ja tätä kautta muodostui kokonaistaloudellisia laskelmia. Kohteen laskelmat painottuivat yhden rakennuksen osan laskentaa. Saatuja tuloksia on tarkoitus hyödyntää jatkolaskelmissa alueen muissakin rakennuksissa, sillä näin tekemällä saavutettu kokonaishyöty moninkertaistuu.

Kohteen kesäaikaista kulutusprofiilia tarkastelemalla kohde sopisi erinomaisesti aurinkosähkön tuotantoon. Aurinkosähköjärjestelmä kannattaisi mitoittaa n. 100 kW:n tehoiseksi. Käytännön toteutus kannattaisi tehdä usealla erillisellä järjestelmällä. Rakennuksien ullakkotiloissa sijaitseviin ilmanvaihtokonehuoneisiin tulee rakennuksen pääkeskuksesta valmiit sähkön syötöt. Invertterit voisi sijoittaa ilmanvaihtokonehuoneisiin, ja näin toimimalla välttyttäisiin uusien syöttökaapeleiden vetämiseltä korkeiden rakennuksien katoilta kellarissa sijaitsevaan sähköpääkeskukseen.

Aihealueesta löytyy aikaisempia tutkimuksia, joiden tulokset tukevat tämän opinnäytetyön tuloksia. Esimerkiksi EC-puhallinsaneerausta on tutkinut Aivar Polomaa Metropolia-ammattikorkeakoulussa v 2022. Hän on päätenyt tutkimuksissa hyvin samanlaisiin energiansäästölukemiin. Jouko Kuha on tutkinut v 2011 Oulun seudun ammattikorkeakoulussa Ilmavaihtokoneen painehäviöitä ja energiantarpeita. Glykolipiirin vahvuuksien vaikutusta lämmönsiirtoon on tutkinut Samuel Salminen Turun ammattikorkeakoulussa v 2020.

Lähteet

- Energiavirasto. 2023. <https://energiavirasto.fi/energiakatselmukset>. 2.3.2023.
- Fingrid Suomen sähköjärjestelmä. 2023. <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/suomen-sahkojarjestelma/>. 10.1.2023.
- Heiskanen, J. 2018. Kiinteistöjen tavoitteellinen ja toteutunut energiankulutus. Oulun ammattikorkeakoulu. Energiatekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018060712990>.
- Kaukolämmönkäsikirja. 2006. Energiateollisuus ry. Helsinki: Libris Oy.
- Korkala, T. & Laksola, J. 2009. Ilmastointi. 4. uudistettu painos. AS Printtall.
- Kuha, J. 2011. Ilmanvaihtokoneen testaus. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201105035895>.
- Lahtinen, J.-M. 2012. Energiataloudellinen selvitys. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Tekniikka ja liikenne. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201204124384>.
- LVI-talotekniikkateollisuus ry. 2009. SPF-opas ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittämiseen, laskentaan ja mittaamiseen. https://filtech.fi/data/sfpopas3_060709.pdf. 8.3.2023.
- MEGlobal. 2023. <https://www.meglobal.biz/products-and-applications/product-literature/>. 25.3.2023.
- Metsälehti. 2023. <https://www.metsalehti.fi/puunhinta/energiapuun-hinnat/>. 18.3.2023.
- Motiva. 2015. Kiinteistön energiakatsastuksen toteutus- ja raportointiohjeet. https://www.motiva.fi/files/10546/Kiinteiston_energiakatsastuksen_toteutus-_ja_raportointiohjeet.pdf. 4.3.2023.
- Motiva. 2023. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta>. 26.2.2023.
- Onninen verkkokauppa. 2023. <https://www.onninen.fi/>. 25.3.2023.
- Piikkilä, V. & ym. 2012. Rakennusautomaatiojärjestelmät. 3. uudistettu painos. Tampere: Tammerprint Oy.
- Polomaa, A. 2022. EC-puhallin saneeraus. Metropolia ammattikorkeakoulu. Talotekniikka. Insinööriötyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202205057462>.
- Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka perusteet ja sovelluksia. Tampere: Tammerprint Oy.
- Salminen, S. 2020. Poistoilman lämmöntalteenotto. Turun ammattikorkeakoulu. Energia- ja ympäristötekniikka. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202003273989>.
- Suomen sähköverkko. 2023. https://fi.wikipedia.org/wiki/Suomen_s%C3%A4hk%C3%B6verkko. 10.1.2023.
- Sähkötieto ry. 2017. Kiinteistöjen valvomojärjestelmät. ST-käsikirja 22 liitemateriaali.
- Tahkokorpi, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Riika: Dardedze holofrafija.

Ympäristöministeriö Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018.

Energiatehokkuus, rakennuksen energiankulutuksen ja
lämmitystehontarpeen laskenta PDF 18.3.2023.

Ympäristöministeriö Suomen rakentamismääräyskokoelma 2003.

Lämmöneristys, Ympäristöministeriön asetus lämmöneristyksestä.
PDF 13.3.2023.

Porrasvalaistus muutokset investointilaskelma



TOIMENPITEEN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

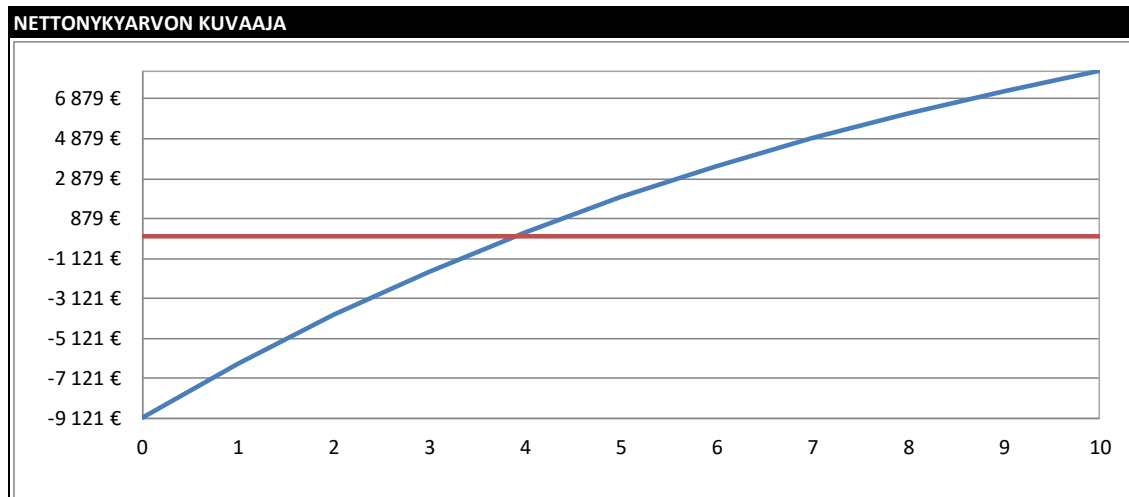
| | |
|--------------------|---|
| TOIMENPIDE: | Loisteputkivalaisimien muutos LED tyyppiseksi |
| PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ: | 11.3.2023 / Tenho Mönkkönen |

| LASKENTA-ARVOT | |
|-------------------------|--------|
| Tarkastelu-aika | 10 a |
| Reaalinen laskentakorko | 15,0 % |

| TOIMENPITEEN SÄÄSTÖVAIKUTUKSET | | | |
|--|-----------------------|-------|-------------------|
| Sähkö | Energian säästö | 22,2 | MWh/a |
| | Yksikköhinta | 130,0 | €/MWh |
| | Energian hinnan nousu | 3,0 | %/a |
| Energialaji 2 | Energian säästö | | MWh/a |
| | Yksikköhinta | | €/MWh |
| | Energianhinnan nousu | | %/a |
| Energialaji 3 | Energian säästö | | MWh/a |
| | Yksikköhinta | | €/MWh |
| | Energianhinnan nousu | | %/a |
| Vesi | Veden säästö | | m ³ /a |
| | Yksikköhinta | | €/m ³ |
| | Veden hinnan nousu | | %/a |
| Muut kuin energiaan liittyvät säästöt vuodessa | Summa | 169 | €/a |

| TOIMENPITEEN KUSTANNUKSET | |
|--|---------|
| Investoinnin suuruus | 9 121 € |
| Huolto- ja korjauskustannukset vuosittain | 0 €/a |
| Kertaluonteinen huolto- ja korjauskustannus | 0 €/a |
| Huolto- ja korjauskustannuksen toteutusvuosi | a |

| TALOUDELLISET TUNNUSLUVUT LASKENNAN TULOSENA | |
|--|-----------|
| Energia- ja vesikustannusten nettosäästöt vuodessa | 2 886 €/a |
| Toimenpiteen nettosäästö vuodessa | 3 055 €/a |
| Suora takaisinmaksuaika | 2,99 a |
| Nettonykyarvo | 8 270 € |
| Sisäinen korkokanta | 35,03 % |



Katu- ja pihavalaistus muutokset investointilaskelma



TOIMENPITEEN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

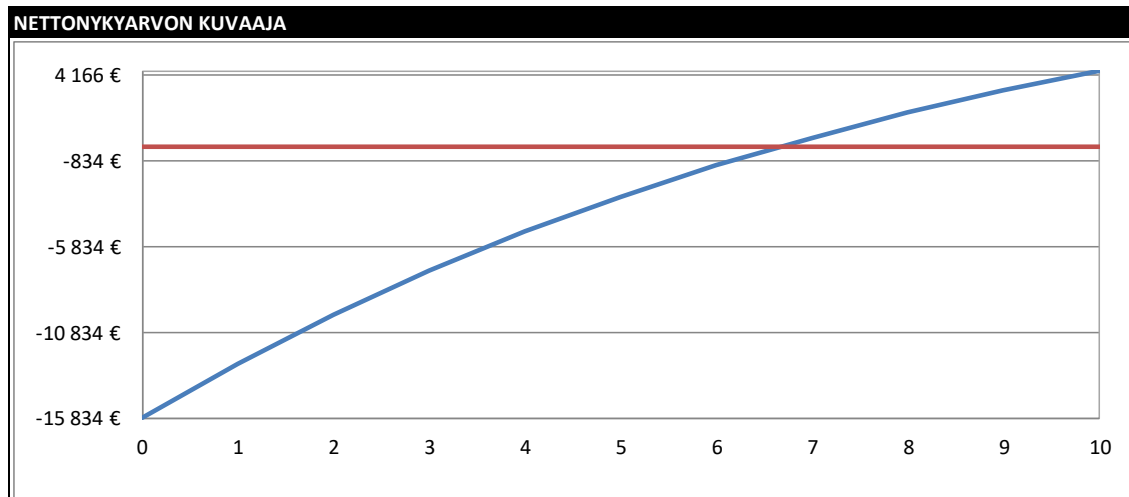
| | |
|--------------------|---|
| TOIMENPIDE: | Katu- ja pihavalaistimien muutos LED-valoiksi |
| PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ: | 11.3.2023 / Tenho Mönkkönen |

| | |
|-------------------------|--------|
| LASKENTA-ARVOT | |
| Tarkastelu-aika | 10 a |
| Reaalinen laskentakorko | 15,0 % |

| | | | |
|--|-----------------------|--|-------------------|
| TOIMENPITEEN SÄÄSTÖVAIKUTUKSET | | | |
| Sähkö | Energian säästö | | 11,2 MWh/a |
| | Yksikköhinta | | 130,0 €/MWh |
| | Energian hinnan nousu | | 3,0 %/a |
| Sähkö | Energian säästö | | 13,1 MWh/a |
| | Yksikköhinta | | 130,0 €/MWh |
| | Energianhinnan nousu | | 3,0 %/a |
| Energialaji 3 | Energian säästö | | MWh/a |
| | Yksikköhinta | | €/MWh |
| | Energianhinnan nousu | | %/a |
| Vesi | Veden säästö | | m ³ /a |
| | Yksikköhinta | | €/m ³ |
| | Veden hinnan nousu | | %/a |
| Muut kuin energiaan liittyvät säästöt vuodessa | Summa | | 429 €/a |

| | |
|--|----------|
| TOIMENPITEEN KUSTANNUKSET | |
| Investoinnin suuruus | 15 834 € |
| Huolto- ja korjauskustannukset vuosittain | 0 €/a |
| Kertaluonteinen huolto- ja korjauskustannus | 0 €/a |
| Huolto- ja korjauskustannuksen toteutusvuosi | a |

| | |
|--|-----------|
| TALOUDELLISET TUNNUSLUVUT LASKENNAN TULOKSENA | |
| Energia- ja vesikustannusten nettosäästöt vuodessa | 3 159 €/a |
| Toimenpiteen nettosäästö vuodessa | 3 588 €/a |
| Suora takaisinmaksuaika | 4,41 a |
| Nettonykyarvo | 4 426 € |
| Sisäinen korkokanta | 21,67 % |



Tunneli- ja kellarivalaistus muutokset investointilaskelma



TOIMENPITEEN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

| | |
|--------------------|---|
| TOIMENPIDE: | Tunneli ja kellarivalaisimien muutos LED-valoiksi |
| PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ: | 11.3.2023 / Tenho Mönkkönen |

LASKENTA-ARVOT

| | |
|-------------------------|--------|
| Tarkasteluaika | 10 a |
| Reaalinen laskentakorko | 15,0 % |

TOIMENPITEEN SÄÄSTÖVAIKUTUKSET

| | | |
|--|-----------------------|-------------------|
| Sähkö | Energian säästö | 3,6 MWh/a |
| | Yksikköhinta | 130,0 €/MWh |
| | Energian hinnan nousu | 3,0 %/a |
| Sähkö | Energian säästö | 5,9 MWh/a |
| | Yksikköhinta | 130,0 €/MWh |
| | Energianhinnan nousu | 3,0 %/a |
| Energialaji 3 | Energian säästö | MWh/a |
| | Yksikköhinta | €/MWh |
| | Energianhinnan nousu | %/a |
| Vesi | Veden säästö | m ³ /a |
| | Yksikköhinta | €/m ³ |
| | Veden hinnan nousu | %/a |
| Muut kuin energiaan liittyvät säästöt vuodessa | Summa | 73 €/a |

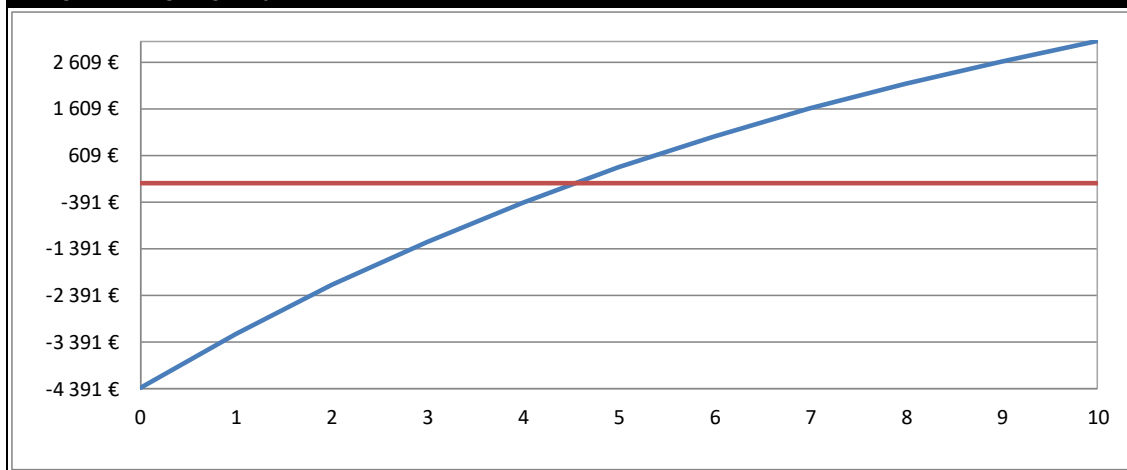
TOIMENPITEEN KUSTANNUKSET

| | |
|--|---------|
| Investoinnin suuruus | 4 391 € |
| Huolto- ja korjauskustannukset vuosittain | 0 €/a |
| Kertaluonteinen huolto- ja korjauskustannus | 0 €/a |
| Huolto- ja korjauskustannuksen toteutusvuosi | a |

TALOUDELLISET TUNNUSLUVUT LASKENNAN TULOKSENA

| | |
|--|-----------|
| Energia- ja vesikustannusten nettosäästöt vuodessa | 1 235 €/a |
| Toimenpiteen nettosäästö vuodessa | 1 308 €/a |
| Suora takaisinmaksuaika | 3,36 a |
| Nettonykyarvo | 3 054 € |
| Sisäinen korkokanta | 30,69 % |

NETTONYKYARVON KUVAAJA



Vanhojen IV-puhaltimien korvaaminen uusilla EC-puhaltimilla



TOIMENPITEEN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

| | |
|--------------------|-----------------------------|
| TOIMENPIDE: | Uudet EC-puhaltimet |
| PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ: | 21.3.2023 / Tenho Mönkkönen |

LASKENTA-ARVOT

| | |
|-------------------------|--------|
| Tarkastelu aika | 25 a |
| Reaalinen laskentakorko | 15,0 % |

TOIMENPITEEN SÄÄSTÖVAIKUTUKSET

| | | |
|--|-----------------------|-------------------|
| Sähkö | Energian säästö | 14,9 MWh/a |
| | Yksikköhinta | 130,0 €/MWh |
| | Energian hinnan nousu | 3,0 %/a |
| Sähkö | Energian säästö | 3,8 MWh/a |
| | Yksikköhinta | 130,0 €/MWh |
| | Energianhinnan nousu | 3,0 %/a |
| Sähkö | Energian säästö | MWh/a |
| | Yksikköhinta | €/MWh |
| | Energianhinnan nousu | 3,0 %/a |
| Vesi | Veden säästö | m ³ /a |
| | Yksikköhinta | €/m ³ |
| | Veden hinnan nousu | %/a |
| Muut kuin energiaan liittyvät säästöt vuodessa | Summa | 144 €/a |

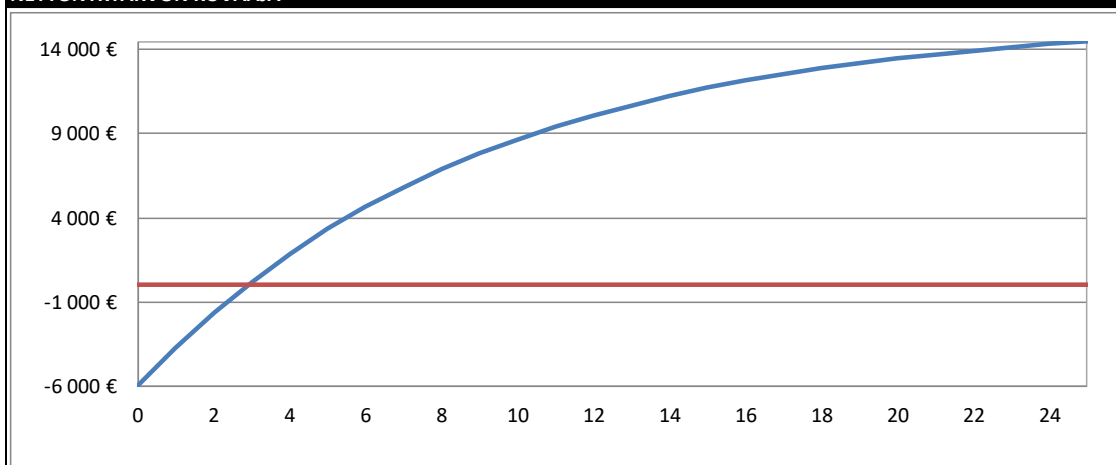
TOIMENPITEEN KUSTANNUKSET

| | |
|--|---------|
| Investoinnin suuruus | 6 000 € |
| Huolto- ja korjauskustannukset vuosittain | 0 €/a |
| Kertaluonteinen huolto- ja korjauskustannus | €/a |
| Huolto- ja korjauskustannuksen toteutusvuosi | 0 a |

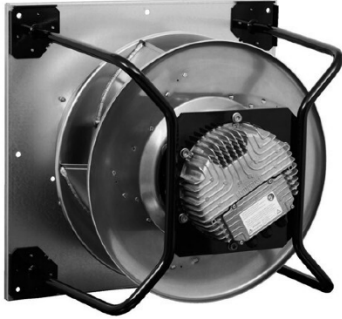
TALOUDELLISET TUNNUSLUVUT LASKENNAN TULOKSENA

| | |
|--|-----------|
| Energia- ja vesikustannusten nettosäästöt vuodessa | 2 431 €/a |
| Toimenpiteen nettosäästö vuodessa | 2 575 €/a |
| Suora takaisinmaksuaika | 2,33 a |
| Nettonykyarvo | 14 470 € |
| Sisäinen korkokanta | 46,97 % |

NETTONYKYARVON KUVAAJA



EC-puhaltimet lisätietoja



K3G560-PB31-83 RadiPac AirFoil

EC-radiaalimoduuli Radipac, Airfoil-siipipyörä

UUTUUS!

EC-radiaalimoduuli taaksepäin kaartuvin siivin, yhdeltä puolelta imevä, kannattimella.

- RadiCal AirFoil -siipipyörän korkea hyötysuhde
- GreenTech EC-moottori integroidulla elektroniikalla
- Optimoitu ilmanvirtaus siipipyörän läpi tekee puhaltimesta erittäin hiljaisen
- Modbus
- Hiljainen käyntiääni
- Kestävä rakenne, pitkä huoltoväli
- Ohjaussignaali 0-10 VDC / PWM
- Lähtö 10 VDC max 10 mA
- Ohjausliitäntä turvallisesti verkosta erotetulla SELV-potentiaailla
- Tilatieto-ominaisuus

Tekniset tiedot

| | |
|---------------------------|---|
| Kuvaus | EC-radiaalimoduuli Radipac, Airfoil-siipipyörä |
| Jännite | 3- 400 VAC |
| Jännitealue | 3- 380 ... 480 VAC |
| Taajuus | 50/60 Hz |
| Teho | 4250 W |
| Nimellisvirta | 6,5 A |
| Maksimivirta | 6,5 A |
| Kierrosluku | 1700 rpm |
| Ilmavirta | 5334.00 l/s |
| Ilmavirta | 19190.0 m3/h |
| Käyttölämpötila-alue | -40...+40 °C |
| Pyörimissuunta | Myötäpäivään roottorin päin katsottuna |
| Moottorin tyyppi | M3G150-IF |
| Moottorin malli | Elektronisesti komutoitu EC-ulkoroottorimoottori integroidulla ohjaustekniikalla |
| Moottorisuoja / Suoja | Elektronikan/moottorin ylikuormenemissuoja, moottorin virran rajoitus, alijännite-/vaihehäiriötunnistus, pehmeäkäynnistys, kondenssivesireiät |
| Suojausluokka | IP55 |
| Moottorin eristysluokka | "F" |
| Laakerit | Kuulalaakerit |
| Materiaali | Elektronikkakotelo alumiinipainevalu |
| Siipipyörä | Alumiinipeltiä, taaksepäin kaartuvat siivet 5 kpl |
| Runko / kaapu | Imukartio galvanoituja teräspeltiä |
| Jalusta | Mustaksi maalattua terästä |
| Sähköinen kytkentä | Kytentärasia |
| Hyväksynnät | EN 61800-5-1; CE; EAC; C22.2 No.77 + CAN/CSA-E60730-1; UL 1004-7 + 60730-1 |
| Koko | 580 mm; imukartio 800 mm |
| Paino | 52.2 kg |
| Korvaa aikaisemmat mallit | K3G560PB3103 |
| Tuotenumero | K3G560PB3183 |

Katso päivitetty tiedot netistä www.ebmpapst.fi

EC-tuloilmapuhallin toimintatiedot



K3G560-PB31-83 RadiPac AirFoil

EC-radiaalimoduuli Radipac, Airfoil-siipipyörä

Toimintapisteen tiedot

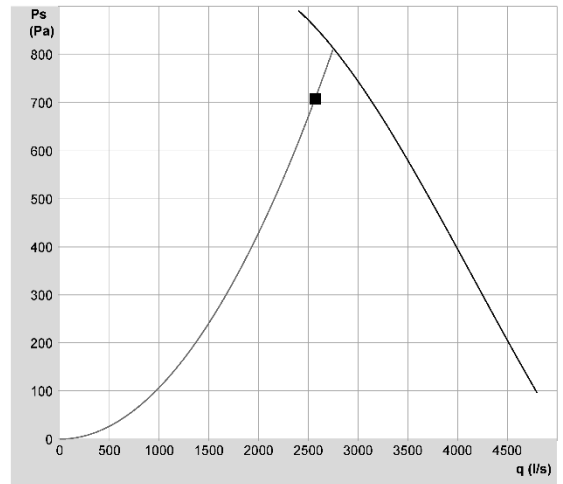
Virtauksella **2568 l/s** paineella **708 Pa**

Toimintapistetiedot

| | |
|------------|---|
| Teho | 2777 W |
| SFP | 1.08 W/(l/s), 1.08 kW/(m ³ /s) |
| Kierrosuku | 1437 rpm (93% max pyörimisnopeudesta) |

Energian kulutus

24326 kWh/vuosi



— Puhallinkäyrä — Laitoskäyrä ■ Toimintapiste

EC-poistoilmapuhallin toimintatiedot



K3G560-PB31-83 RadiPac AirFoil

EC-radiaalimoduuli Radipac, Airfoil-siipipyörä

Toimintapisteen tiedot

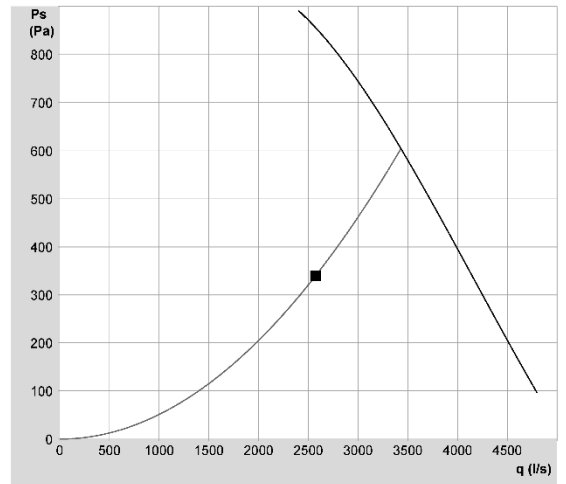
Virtauksella **2573 l/s** paineella **340 Pa**

Toimintapistetiedot

| | |
|-------------|---------------------------------------|
| Teho | 1464 W |
| SFP | 0.57 W/(l/s), 0.57 kW/(m3/s) |
| Kierrosluku | 1155 rpm (75% max pyörimisnopeudesta) |

Energian kulutus

12822 kWh/vuosi



— Puhallinkäyrä — Laitoskäyrä ■ Toimintapiste

Lämmöntalteenotonpumpun uusinta investointilaskelma



TOIMENPITEEN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

| | |
|--------------------|---------------------------------|
| TOIMENPIDE: | Lämmöntalteenotonpumpun uusinta |
| PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ: | 25.3.2023 / Tenho Mönkkönen |

LASKENTA-ARVOT

| | |
|-------------------------|--------|
| Tarkasteluaika | 25 a |
| Reaalinen laskentakorko | 15,0 % |

TOIMENPITEEN SÄÄSTÖVAIKUTUKSET

| | | |
|--|-----------------------|-------------------|
| Sähkö | Energian säästö | 3,0 MWh/a |
| | Yksikköhinta | 130,0 €/MWh |
| | Energian hinnan nousu | 3,0 %/a |
| Energialaji 2 | Energian säästö | MWh/a |
| | Yksikköhinta | €/MWh |
| | Energianhinnan nousu | %/a |
| Energialaji 3 | Energian säästö | MWh/a |
| | Yksikköhinta | €/MWh |
| | Energianhinnan nousu | %/a |
| Vesi | Veden säästö | m ³ /a |
| | Yksikköhinta | €/m ³ |
| | Veden hinnan nousu | %/a |
| Muut kuin energiaan liittyvät säästöt vuodessa | Summa | 24 €/a |

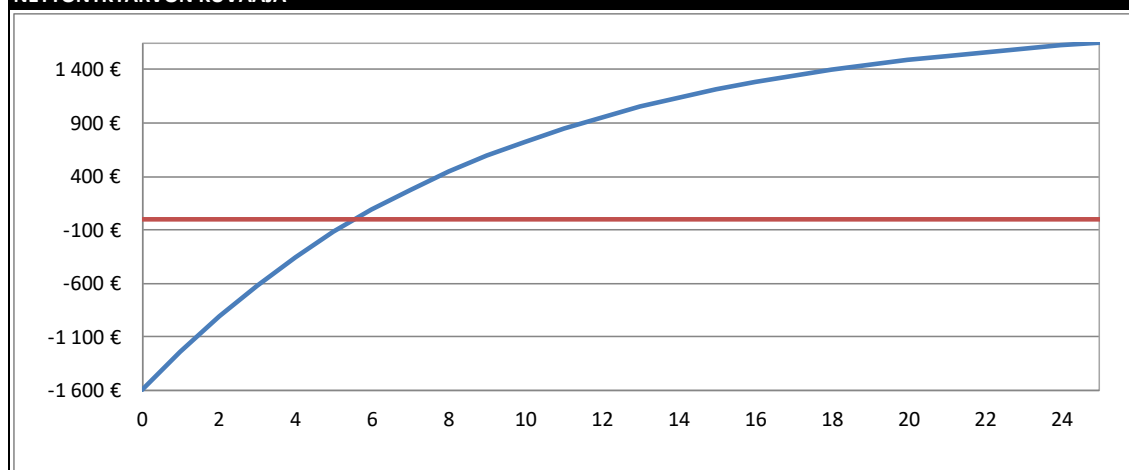
TOIMENPITEEN KUSTANNUKSET

| | |
|--|---------|
| Investoinnin suuruus | 1 600 € |
| Huolto- ja korjauskustannukset vuosittain | 0 €/a |
| Kertaluonteinen huolto- ja korjauskustannus | 0 €/a |
| Huolto- ja korjauskustannuksen toteutusvuosi | a |

TALOUDELLISET TUNNUSLUVUT LASKENNAN TULOKSENA

| | |
|--|---------|
| Energia- ja vesikustannusten nettosäästöt vuodessa | 385 €/a |
| Toimenpiteen nettosäästö vuodessa | 409 €/a |
| Suora takaisinmaksuaika | 3,91 a |
| Nettonykyarvo | 1 648 € |
| Sisäinen korkokanta | 29,03 % |

NETTONYKYARVON KUVAAJA



Lämmöntalteenotonpumpun lisätietoja

PUMPUT LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMIIN

Monijaksoisia paineenkorotuspumppuja integroidulla taajuusmuuttajalla, ilman paine-eroanturia

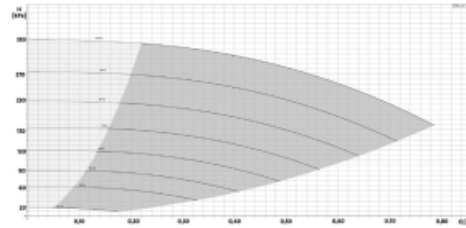
CRE-PAINEENKOROTUSPUMPPU

CRE-sarjan monijaksoiset keskipakopumput on varustettu integroidulla taajuusmuuttajalla. Taajuusmuuttaja on optimoitu kyseiselle pumpulle niin, että se mahdollistaa energiasäästön virtaaman vaihdelta.

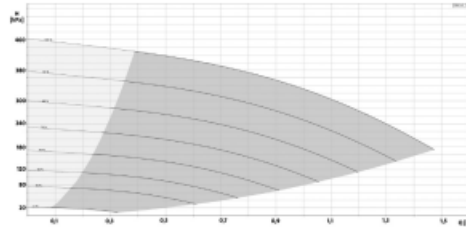
CRE-pumput ovat saatavissa myös integroidulla paineanturilla. CRE-sarjan pumpeissa on Grundfos BlueFlux®-moottori, joka vastaa EU-direktiivin vuodeksi 2017 asetamia hyötysuhdevaatimuksia.



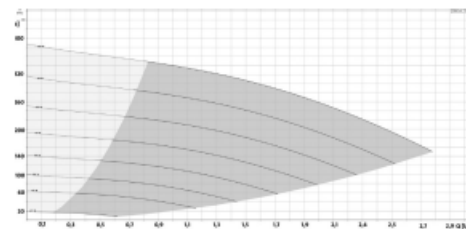
| CRE 1-4 | |
|--------------|-----------|
| LVI-numero | 4925321 |
| Grundfos nro | 98389277 |
| Liitäntä | OVAL/Rp1" |
| Jännite V | 1x230 |
| Teho W | 370W |
| PN | 16 |
| Paino kg | 21,6 |



| CRE 3-5 | |
|--------------|-----------|
| LVI-numero | 4925322 |
| Grundfos nro | 98389686 |
| Liitäntä | OVAL/Rp1" |
| Jännite V | 1x230 |
| Teho W | 750W |
| PN | 16 |
| Paino kg | 22,8 |



| CRE 5-4 | |
|--------------|---------------|
| LVI-numero | 4925323 |
| Grundfos nro | 98390009 |
| Liitäntä | OVAL/Rp1 1/4" |
| Jännite V | 1x230 |
| Teho W | 1100W |
| PN | 16 |
| Paino kg | 23,8 |



Uuden IV-koneen investointilaskelma



TOIMENPITEEN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

| | |
|--------------------|-----------------------------|
| TOIMENPIDE: | Uuden IV-koneen hankinta |
| PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ: | 19.3.2023 / Tenho Mönkkönen |

LASKENTA-ARVOT

| | |
|-------------------------|--------|
| Tarkastelu aika | 25 a |
| Reaalinen laskentakorko | 15,0 % |

TOIMENPITEEN SÄÄSTÖVAIKUTUKSET

| | | |
|--|-----------------------|-------------------|
| Sähkö | Energian säästö | 27,1 MWh/a |
| | Yksikköhinta | 130,0 €/MWh |
| | Energian hinnan nousu | 3,0 %/a |
| Kaukolämpö | Energian säästö | 96,0 MWh/a |
| | Yksikköhinta | 50,0 €/MWh |
| | Energianhinnan nousu | 3,0 %/a |
| Sähkö | Energian säästö | 1,0 MWh/a |
| | Yksikköhinta | 207,0 €/MWh |
| | Energianhinnan nousu | 3,0 %/a |
| Vesi | Veden säästö | m ³ /a |
| | Yksikköhinta | €/m ³ |
| | Veden hinnan nousu | %/a |
| Muut kuin energiaan liittyvät säästöt vuodessa | Summa | 100 €/a |

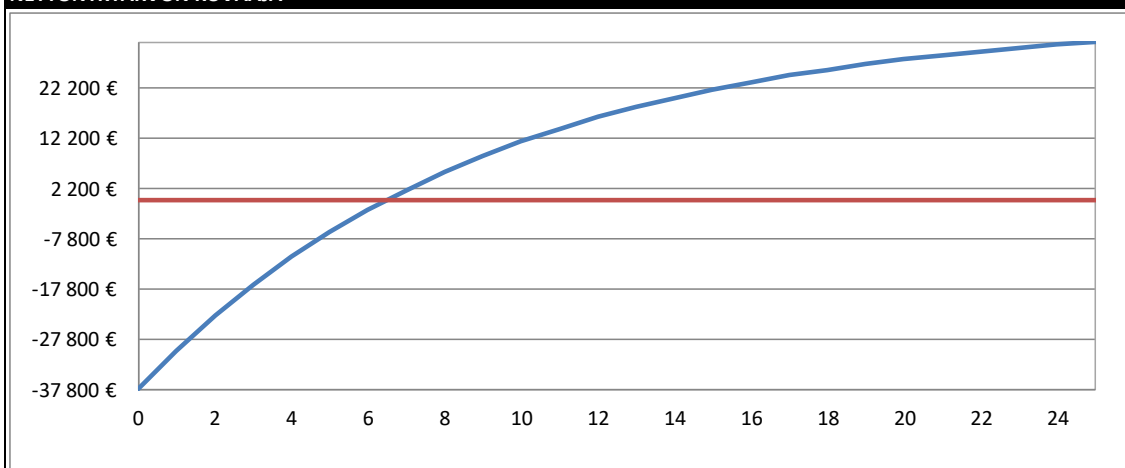
TOIMENPITEEN KUSTANNUKSET

| | |
|--|----------|
| Investoinnin suuruus | 37 800 € |
| Huolto- ja korjauskustannukset vuosittain | 0 €/a |
| Kertaluonteinen huolto- ja korjauskustannus | €/a |
| Huolto- ja korjauskustannuksen toteutusvuosi | 0 a |

TALOUDELLISET TUNNUSLUVUT LASKENNAN TULOKSENA

| | |
|--|-----------|
| Energia- ja vesikustannusten nettosäästöt vuodessa | 8 530 €/a |
| Toimenpiteen nettosäästö vuodessa | 8 630 €/a |
| Suora takaisinmaksuaika | 4,38 a |
| Nettonykyarvo | 31 405 € |
| Sisäinen korkokanta | 26,34 % |

NETTONYKYARVON KUVAAJA



Vertailulaskenta vanhan IV-koneen modernisointi vrt. koko koneen uusiminen



TOIMENPITEEN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

| | |
|--------------------|---|
| TOIMENPIDE: | Vanha IV-uudistettuna vrt. uusi IV-kone |
| PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ: | 25.3.2023 / Tenho Mönkkönen |

LASKENTA-ARVOT

| | |
|-------------------------|--------|
| Tarkastelu aika | 25 a |
| Reaalinen laskentakorko | 15,0 % |

TOIMENPITEEN SÄÄSTÖVAIKUTUKSET

| | | |
|--|-----------------------|-------------------|
| Kaukolämpö | Energian säästö | 96,0 MWh/a |
| | Yksikköhinta | 50,0 €/MWh |
| | Energian hinnan nousu | 3,0 %/a |
| Energialaji 2 | Energian säästö | MWh/a |
| | Yksikköhinta | €/MWh |
| | Energianhinnan nousu | %/a |
| Energialaji 3 | Energian säästö | MWh/a |
| | Yksikköhinta | €/MWh |
| | Energianhinnan nousu | %/a |
| Vesi | Veden säästö | m ³ /a |
| | Yksikköhinta | €/m ³ |
| | Veden hinnan nousu | %/a |
| Muut kuin energiaan liittyvät säästöt vuodessa | Summa | €/a |

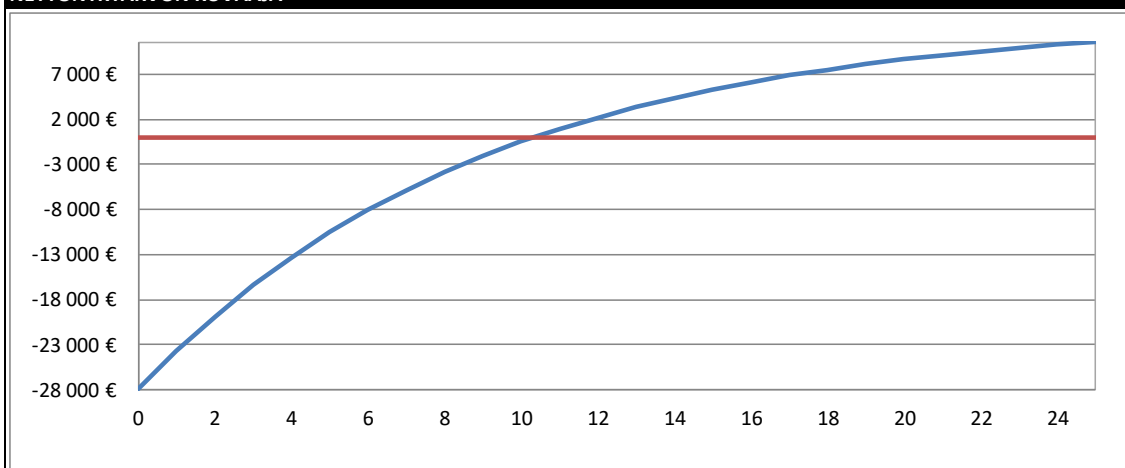
TOIMENPITEEN KUSTANNUKSET

| | |
|--|----------|
| Investoinnin suuruus | 28 000 € |
| Huolto- ja korjauskustannukset vuosittain | 0 €/a |
| Kertaluonteinen huolto- ja korjauskustannus | 0 €/a |
| Huolto- ja korjauskustannuksen toteutusvuosi | a |

TALOUDELLISET TUNNUSLUVUT LASKENNAN TULOKSENA

| | |
|--|-----------|
| Energia- ja vesikustannusten nettosäästöt vuodessa | 4 800 €/a |
| Toimenpiteen nettosäästö vuodessa | 4 800 €/a |
| Suora takaisinmaksuaika | 5,83 a |
| Nettonykyarvo | 10 580 € |
| Sisäinen korkokanta | 20,29 % |

NETTONYKYARVON KUVAAJA



Yläpohjan lisälämmöneristys investointilaskelma



TOIMENPITEEN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

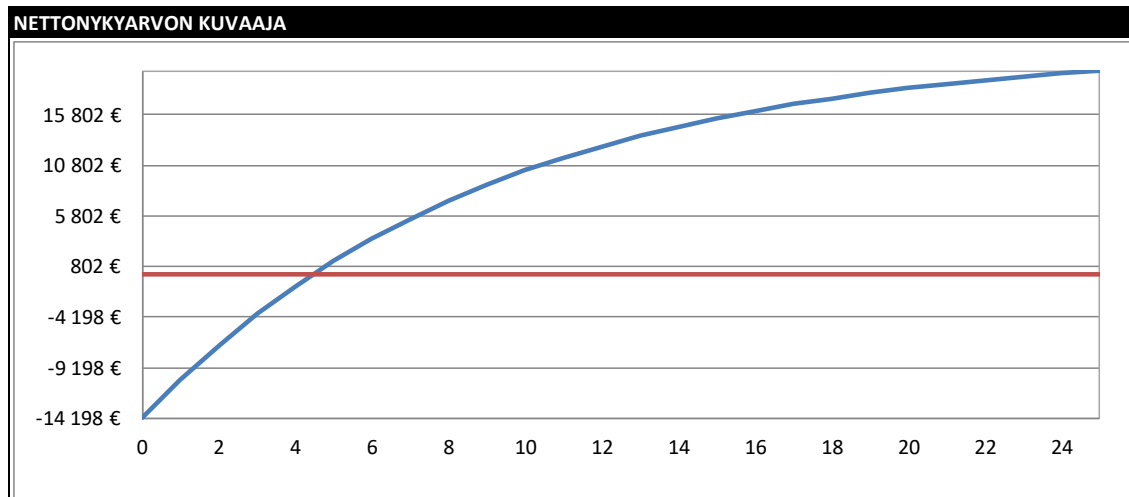
| | |
|--------------------|-----------------------------|
| TOIMENPIDE: | Yläpohjan lisälämmöneristys |
| PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ: | 11.3.2023 / Tenho Mönkkönen |

| LASKENTA-ARVOT | |
|-------------------------|--------|
| Tarkastelu-aika | 25 a |
| Reaalinen laskentakorko | 15,0 % |

| TOIMENPITEEN SÄÄSTÖVAIKUTUKSET | | | |
|--|-----------------------|-------------------|--|
| Kaukolämpö | Energian säästö | 68,9 MWh/a | |
| | Yksikköhinta | 62,0 €/MWh | |
| | Energian hinnan nousu | 3,0 %/a | |
| Energialaji 2 | Energian säästö | MWh/a | |
| | Yksikköhinta | €/MWh | |
| | Energianhinnan nousu | %/a | |
| Energialaji 3 | Energian säästö | MWh/a | |
| | Yksikköhinta | €/MWh | |
| | Energianhinnan nousu | %/a | |
| Vesi | Veden säästö | m ³ /a | |
| | Yksikköhinta | €/m ³ | |
| | Veden hinnan nousu | %/a | |
| Muut kuin energiaan liittyvät säästöt vuodessa | Summa | 0 €/a | |

| TOIMENPITEEN KUSTANNUKSET | |
|--|----------|
| Investoinnin suuruus | 14 198 € |
| Huolto- ja korjauskustannukset vuosittain | 0 €/a |
| Kertaluonteinen huolto- ja korjauskustannus | 0 €/a |
| Huolto- ja korjauskustannuksen toteutusvuosi | a |

| TALOUDELLISET TUNNUSLUVUT LASKENNAN TULOSENA | |
|--|-----------|
| Energia- ja vesikustannusten nettosäästöt vuodessa | 4 272 €/a |
| Toimenpiteen nettosäästö vuodessa | 4 272 €/a |
| Suora takaisinmaksuaika | 3,32 a |
| Nettonykyarvo | 20 136 € |
| Sisäinen korkokanta | 33,95 % |



Kuuden pienkerrostalon yläpohjan U-arvojen laskenta

| | | Lämmönvastukset | | | | | | | |
|------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| | U-arvo W/m ² K | R ₁ | R _A | R _B | R _C | R _E | R _F | R ₂ | |
| Ennen lisäeristystä | 0,384 | 0,13 | 0,070588 | 1,351351 | 1 | 0,011765 | | | 0,04 |
| Lisäeristyksen jälkeen | 0,095 | 0,13 | 0,070588 | 1,351351 | 1 | 0,011765 | 7,894737 | | 0,04 |
| | Rakennekerrroksen paksuus (m) : | | 0,12 | 0,05 | 0,07 | 0,02 | 0,3 | | |
| | Materiaalin lämmönjohtavuus λ W/mK : | | 1,7 | 0,037 | 0,07 | 1,7 | 0,038 | | |
| | Yläpohjan lämmönvastukset | | | | | | | | |
| | R ₁ | Sisäpuolen rajapinnan lämmönvastus | | | | | | | |
| | R _A | Betoni 120 mm | | | | | | | |
| | R _B | Mineraalivilla 50 mm | | | | | | | |
| | R _C | Tojax-levy 70 mm | | | | | | | |
| | R _E | Betoni 20 mm | | | | | | | |
| | R _F | Selluvilla 300 mm | | | | | | | |
| | R ₂ | Ulkopuolen rajapinnan lämmönvastus | | | | | | | |
| | A-talo | 403 | | | | | | | |
| | B-talo | 395 | | | | | | | |
| | C-talo | 197 | | | | | | | |
| | D-talo | 197 | | | | | | | |
| | E-talo | 143 | | | | | | | |
| | F-talo | 179 | | | | | | | |
| | yht m ² : | 1514 | | | | | | | |

Yläpohjan lisäeristyksen energiansäästölaskelma

| Sisä- lämpö- tila | Ulko- lämpö- tila | Lämpö- tilan-kesto h/a | Lämpövirta W/m ² ennen | Energian kulutus kWh/m ² /a | Lämpövirta W/m ² jälkeen | Energian kulutus kWh/m ² /a | Energian säästö kWh | Lisäeri- stettävä pinta-ala m ² | Energian säästö kWh/a | Kustannus 31,26 €/m ³ sis. Alv 24 % |
|-------------------------|-------------------------|------------------------------|---|--|---|--|---------------------------|---|-----------------------------|--|
| 21 | -29 | 0 | 19,2 | 0,0 | 4,8 | 0,0 | 0,0 | 1514 | 68907 | 14 198,29 € |
| 21 | -28 | 6 | 18,8 | 0,1 | 4,7 | 0,0 | 128,6 | | | |
| 21 | -27 | 9 | 18,4 | 0,2 | 4,6 | 0,0 | 188,9 | | | |
| 21 | -26 | 6 | 18,1 | 0,1 | 4,5 | 0,0 | 123,3 | | | |
| 21 | -25 | 14 | 17,7 | 0,2 | 4,4 | 0,1 | 281,6 | | | |
| 21 | -24 | 14 | 17,3 | 0,2 | 4,3 | 0,1 | 275,5 | | | |
| 21 | -23 | 12 | 16,9 | 0,2 | 4,2 | 0,1 | 230,9 | | | |
| 21 | -22 | 15 | 16,5 | 0,2 | 4,1 | 0,1 | 282,0 | | | |
| 21 | -21 | 31 | 16,1 | 0,5 | 4,0 | 0,1 | 569,3 | | | |
| 21 | -20 | 62 | 15,7 | 1,0 | 3,9 | 0,2 | 1111,5 | | | |
| 21 | -19 | 67 | 15,4 | 1,0 | 3,8 | 0,3 | 1171,9 | | | |
| 21 | -18 | 42 | 15,0 | 0,6 | 3,7 | 0,2 | 716,2 | | | |
| 21 | -17 | 32 | 14,6 | 0,5 | 3,6 | 0,1 | 531,7 | | | |
| 21 | -16 | 50 | 14,2 | 0,7 | 3,5 | 0,2 | 808,9 | | | |
| 21 | -15 | 41 | 13,8 | 0,6 | 3,4 | 0,1 | 645,4 | | | |
| 21 | -14 | 38 | 13,4 | 0,5 | 3,3 | 0,1 | 581,6 | | | |
| 21 | -13 | 44 | 13,1 | 0,6 | 3,2 | 0,1 | 654,2 | | | |
| 21 | -12 | 54 | 12,7 | 0,7 | 3,1 | 0,2 | 779,2 | | | |
| 21 | -11 | 76 | 12,3 | 0,9 | 3,0 | 0,2 | 1063,4 | | | |
| 21 | -10 | 120 | 11,9 | 1,4 | 3,0 | 0,4 | 1626,6 | | | |
| 21 | -9 | 140 | 11,5 | 1,6 | 2,9 | 0,4 | 1836,5 | | | |
| 21 | -8 | 241 | 11,1 | 2,7 | 2,8 | 0,7 | 3056,1 | | | |
| 21 | -7 | 186 | 10,8 | 2,0 | 2,7 | 0,5 | 2277,3 | | | |
| 21 | -6 | 255 | 10,4 | 2,6 | 2,6 | 0,7 | 3010,6 | | | |
| 21 | -5 | 263 | 10,0 | 2,6 | 2,5 | 0,7 | 2990,0 | | | |
| 21 | -4 | 329 | 9,6 | 3,2 | 2,4 | 0,8 | 3596,5 | | | |
| 21 | -3 | 375 | 9,2 | 3,5 | 2,3 | 0,9 | 3935,4 | | | |
| 21 | -2 | 370 | 8,8 | 3,3 | 2,2 | 0,8 | 3721,1 | | | |
| 21 | -1 | 343 | 8,4 | 2,9 | 2,1 | 0,7 | 3299,6 | | | |
| 21 | 0 | 470 | 8,1 | 3,8 | 2,0 | 0,9 | 4315,8 | | | |
| 21 | 1 | 357 | 7,7 | 2,7 | 1,9 | 0,7 | 3122,1 | | | |
| 21 | 2 | 277 | 7,3 | 2,0 | 1,8 | 0,5 | 2301,3 | | | |
| 21 | 3 | 299 | 6,9 | 2,1 | 1,7 | 0,5 | 2353,4 | | | |
| 21 | 4 | 248 | 6,5 | 1,6 | 1,6 | 0,4 | 1843,5 | | | |
| 21 | 5 | 335 | 6,1 | 2,1 | 1,5 | 0,5 | 2343,8 | | | |
| 21 | 6 | 298 | 5,8 | 1,7 | 1,4 | 0,4 | 1954,6 | | | |
| 21 | 7 | 262 | 5,4 | 1,4 | 1,3 | 0,3 | 1603,9 | | | |
| 21 | 8 | 257 | 5,0 | 1,3 | 1,2 | 0,3 | 1460,9 | | | |
| 21 | 9 | 243 | 4,6 | 1,1 | 1,1 | 0,3 | 1275,1 | | | |
| 21 | 10 | 295 | 4,2 | 1,2 | 1,0 | 0,3 | 1418,9 | | | |
| 21 | 11 | 270 | 3,8 | 1,0 | 1,0 | 0,3 | 1180,6 | | | |
| 21 | 12 | 257 | 3,5 | 0,9 | 0,9 | 0,2 | 1011,4 | | | |
| 21 | 13 | 268 | 3,1 | 0,8 | 0,8 | 0,2 | 937,5 | | | |
| 21 | 14 | 223 | 2,7 | 0,6 | 0,7 | 0,1 | 682,6 | | | |
| 21 | 15 | 217 | 2,3 | 0,5 | 0,6 | 0,1 | 569,3 | | | |
| 21 | 16 | 202 | 1,9 | 0,4 | 0,5 | 0,1 | 441,6 | | | |
| 21 | 17 | 156 | 1,5 | 0,2 | 0,4 | 0,1 | 272,9 | | | |
| 21 | 18 | 126 | 1,2 | 0,1 | 0,3 | 0,0 | 165,3 | | | |
| 21 | 19 | 115 | 0,8 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 100,6 | | | |
| 21 | 20 | 133 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 58,2 | | | |