

Riku Korhonen

**KAJAANIN SEURAKUNNAN RAKENNUSKANNAN ENERGIATEHOKKUUDEN
PARANTAMINEN JA ÖLJYLÄMMITYKSESTÄ IRTAUTUMINEN**

**KAJAANIN SEURAKUNNAN RAKENNUSKANNAN ENERGIATEHOKKUUDEN
PARANTAMINEN JA ÖLJYLÄMMITYKSESTÄ IRTAUTUMINEN**

Riku Korhonen
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Talotekniikan tutkinto-ohjelma (ylempi
AMK)
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Tekniikan ylempi ammattikorkeakoulututkinto, talotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t): Riku Korhonen

Opinnäytetyön nimi: Kajaanin seurakunnan rakennuskannan energiatehokkuuden parantaminen ja öljylämmityksestä irtautuminen

Työn ohjaaja(t): Vesa Pitsinki

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: Syksy 2024

Sivumäärä: 46 + 15 liitettä

Suomen rakennuskanta vastaa noin 40 prosenttia Suomen energian loppukäytöstä. Nousevat osatoenergian kustannukset tekevät energian säästämisen ja sen tehokkaan käytön ajankohtaiseksi asiaksi kaikille kiinteistön omistajille. Lisäksi kiristyvät energia-asetukset tuovat oman paineensa energiatehokkuuden parantamiseen. Tämä tilanne on havaittu myös Kajaanin seurakunnan kiinteistöjen osalta.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli löytää kustannustehokkaita ratkaisuja seurakunnan kiinteistöjen energiatehokkuuden parantamiseen energiasimulaation avulla kahdessa seurakunnan omistamassa kohteessa. Energiasimulaatiolla pyritään käsittämään paremmin kohteiden energiankulutusta ja saamaan selkeä käsitys energiankulutuksen jakautuminen kohteissa niiden todellinen käyttö huomioiden. Työssä tarkasteltavat energiatehokkuustoimenpiteet rajattiin LVI-tekniikkaan erityisesti siksi, että osassa rakennuskantaa on käytössä vielä öljylämmitys, josta pitäisi päästä irtautumaan mahdollisimman kustannustehokkaasti.

Työn tuloksena saatiin energiasimulaation kautta käsitys rakennusten lämmitysenergiankulutuksen jakautumisesta rakenteiden kautta johtuvaan lämpöhäviöön ja tuloilman lämmittämiseen kuluneeseen energiaan. Lisäksi saatiin hyvä käsitys siitä, miten ilmanvaihdon aikaohjaus ja erilaiset lämmöntalteenottomuodot vaikuttava lämmitystarpeeseen. Tulosten pohjalta saatiin rajattua ratkaisujen etsiminen toimenpiteisiin, joilla olisi suurin vaikutus rakennuksen energiankulutukseen sekä laskettua erilaisille toimenpiteille takaisinmaksuaikoja.

Asiasanat: energiatehokkuus, energiankulutus, ilmanvaihto, korjausrakentaminen, kustannustehokkuus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Master of Engineering, Degree Programme in Building Services

Author(s): Riku Korhonen

Title of thesis:

Supervisor(s): Vesa Pitsinki

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2024

Number of pages: 46 + 15 appendices

Finland's building stock accounts for about 40 % of Finland's energy end use. The rising costs of purchasing energy make saving energy and its efficient use a topical issue for all property owners. In addition, tightening energy regulations bring their own pressure to improve energy efficiency. The situation has been observed regarding the properties of the Evangelical Lutheran Church in Kajaani.

The goal of this thesis is to find cost-effective solutions for improving the energy efficiency of the church's properties using energy simulation in two properties chosen to be examples. Energy simulation aims to better understand the energy consumption of properties and to get a clear understanding of the distribution of energy consumption in said properties, considering their real-life usage. The energy efficiency measures considered in the work were limited to HVAC technology, especially because part of the building stock still uses oil heating, which should be phased out as cost-effectively as possible.

As a result of the work, through energy simulation, an understanding of the distribution of the heating energy consumption of buildings was obtained. Results did show clearly how energy was lost through structures and how it was used to heat the supply air. In addition, a good understanding was gained of how ventilations schedule and different forms of heat recovery affect the heating demand. Based on the results, it was possible to focus on the measures that would have the greatest impact on the building's energy consumption and calculate the payback times for various measures.

Keywords: energy efficiency, energy consumption, ventilation, building maintenance, cost effectiveness

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	RAKENTAMISEN ENERGIATEHOKKUUS	8
2.1	Rakennusten energiatehokkuus	8
2.2	Rakennuksen energiatodistus	8
2.3	Energialaskennan testivuodet	9
2.4	Rakenteen lämmönläpäisykerroin	10
2.5	Olosuhde- ja energiasimulointi	11
3	LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT	13
3.1	Lämpöpumput	13
3.1.1	Vesi-ilmalämpöpumppu.....	13
3.1.2	Maalämpö	13
3.2	Öljylämmitys	14
3.3	Kaukolämpö	15
4	ILMANVAIHTO	16
4.1	Ulkoilmavirrat.....	16
4.2	Ilmanvaihtojärjestelmät.....	17
4.3	Lämmöntalteenottojärjestelmät	17
5	ESIMERKKIKOhteet	19
5.1	Kajaanin seurakunnan kiinteistöt.....	19
5.2	Kohde 1, Valon kappeli	20
5.3	Kohde 2, Nakertajan seurakuntakoti	20
5.4	Energiasimulointi	21
5.5	Kaukolämpö energian lähteenä.....	24
5.6	Vesi-ilmalämpöpumppu rakennuksen energianlähteenä	25
5.7	Maalämpöpumppu energian lähteenä	25
5.8	Verkoston lämpötilan pudottaminen lämpöpumppujärjestelmässä	26
6	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	27
6.1	Valon kappeli.....	27
6.1.1	Vesi-ilmalämpöpumppu.....	28
6.1.2	Maalämpö	29
6.1.3	Lämmitysverkoston hyötysuhteen parantaminen	30

6.1.4	Kaukolämpö.....	31
6.1.5	Ilmanvaihto.....	32
6.2	Nakertajan seurakuntakoti.....	33
6.2.1	Vesi-ilmalämpöpumppu.....	35
6.2.2	Maalämpö.....	36
6.2.3	Lämmitysverkoston hyötysuhteen parantaminen	37
6.2.4	Kaukolämpö.....	38
6.2.5	Ilmanvaihto.....	40
6.3	Johtopäätökset.....	40
7	POHDINTA.....	41
	LÄHTEET.....	42
	LIITTEET	46

1 JOHDANTO

Kajaanin seurakunta omistaa suuren määrän erilaisia kiinteistöjä, jotka mahdollistavat seurakunnan toiminnan ja hallinnon. Kiinteistöt muodostavat myös suuren menoerän energia- ja huoltokustannuksina. Osassa rakennuksista on lämmitysmuotona öljy, josta luopuminen on ajankohtaista kaikissa julkisissa rakennuksissa.

Kun rakennuksen lämmitysjärjestelmää saneerataan, on nykyään tarjolla useita erilaisia lämmitysmuotoja ja niiden yhdistelmiä perinteisten kattilalaitosten tai kaukolämmön lisäksi. Merkittävistä näistä on erilaiset lämpöpumppuratkaisut. Lämpöpumput ovat kuitenkin suhteellisen kalliita hankintahinnaltaan ja takaisinmaksuaika riippuu suuresti lämpöpumpulla saavutettavasta hyötysuhteesta.

Työn tarkoituksena on kahden esimerkkikohteen avulla kartoittaa erilaisten energiamuotojen hankinta- ja käyttökustannuksia sekä niiden muodostamaa takaisinmaksuaikaa. Samalla kartoitetaan myös muita energiansäästömahdollisuuksia. Työ keskittyy LVI-tekniisiin ratkaisuihin. Esimerkkikohteista laaditaan energiasimulointi Riuska-ohjelmalla ja simuloinnin tulos tasapainotetaan toteutuneen energiankulutuksen perusteella vastaamaan todellisuutta. Ensimmäisessä kohteessa on tällä hetkellä käytössä öljylämmitys ja sille tarkastellaan vaihtoehtoja. Toiseen kohteesta on tehty aikaisemmin energiaremontti ja öljylämmitys vaihdettu vesi-ilmalämpöpumppuun, joten kohdetta käytetään tarkistamaan energiasimuloinnin ja laitetoimittajan lupaamien energiankulutusten toteutumista. Ensimmäisen kohteen energiatehokkuuden parannusehdotuksille laaditaan kustannusarviot ja takaisinmaksuajat. Toisen kohteen toteutuneita kustannuksia tarkastellaan saatuun kustannussäästöön verrattuna.

2 RAKENTAMISEN ENERGIATEHOKKUUS

2.1 Rakennusten energiatehokkuus

Suomen rakennuskanta vastaa noin 40 prosenttia kaikesta energiasta, jonka käytämme. Näin ollen rakennusten energiatehokkuudella on huomattava vaikutus kansalliseen energiankulutukseen sekä yksittäisen rakennuksen käyttökustannuksiin. Euroopan unionin tasolla rakennuskannan energiatehokkuutta pyritään sääntelemään vuonna 2013 voimaan tulleen EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiivin ja vuonna 2018 siihen tulleiden muutosten avulla. (Ympäristöministeriö, 2024.)

Rakennuskannalla on suora vaikutus myös hiilidioksidipäästöihin niin Suomessa kuin maailmalla. Hiilidioksidipäästöjen hillitseminen on suuressa osassa ilmastonmuutoksen kiihtymisen estämisessä ja siten myös olemassa olevan ja tulevaisuudessa rakennettavan rakennuskannan energiatehokkuudella on merkitystä myös muuten kuin rahallisesti. (Ympäristöministeriö 2018, 4.)

2.2 Rakennuksen energiatodistus

Rakennuksen energiatodistus on keino vertailla rakennusten energiatehokkuutta muihin vastaaviin rakennuksiin. Vaatimus rakennuksen energiatodistuksesta on ollut käytössä Suomessa vuodesta 2008 lähtien, ja siihen on tehty uudistuksia useaan otteeseen voimassaolonsa aikana. Viimeisin päivitys vaatimukseen on tehty 2018. Energiatodistus jakaa rakennukset energialuokkiin laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun eli E-luvun avulla. (Ympäristöministeriö 2018, 4.)

Uusissa rakennuksissa energiatehokkuuden vertailulukua käytetään määrittämään, täyttääkö rakennus rakennusmääräyskokoelman asettaman minimitason rakennuksen energiatehokkuudelle. Uudisrakentamisessa energiatodistuksen tavoite on ohjata suunnittelua ja rakentamista kokonaisuudessaan energiatehokkaampaan suuntaan huomioimalla esimerkiksi omavaraisenergian tuotanto rakennuksen ilmansuunnissa. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2012, 21–27.)

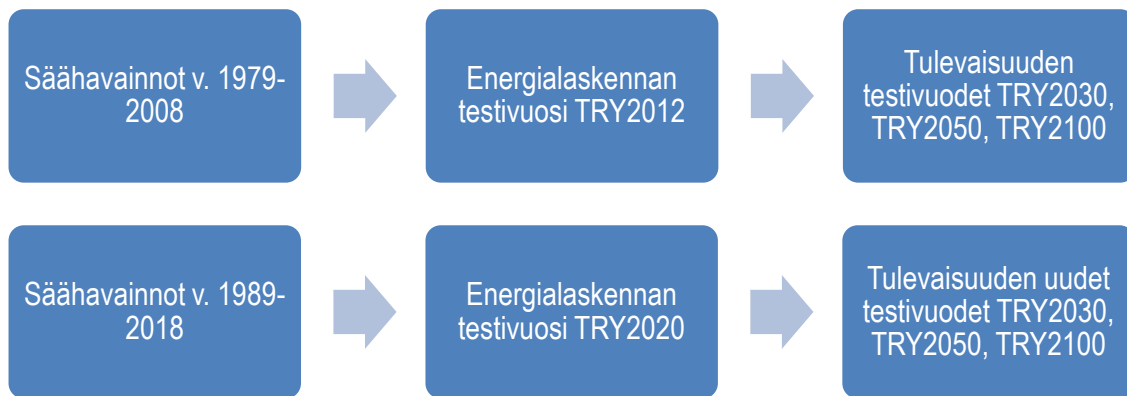
Korjausrakentamisessa on määritetty erikseen energiatehokkuusvaatimukset, joiden tulee täytyä luvanvaraisissa hankkeissa, joissa parannetaan rakennuksen energiatehokkuutta. Myös näiden

osoittamiseen käytetään rakennuksen energiatodistusta ja siinä käytettävää rakennuksen standardikäyttöön perustuvaa kokonaisenergiankulutusta. Tämän työn kannalta huomioitavaa on Ympäristöministeriön asetuksen rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 1 §, joka jättää asetuksen ulkopuolelle rakennukset, joita käytetään hartauden harjoittamiseen ja uskonnolliseen toimintaan. (Ympäristöministeriön asetus 4/13, 1 §.)

2.3 Energialaskennan testivuodet

Rakennusten energialaskentaa nykyilmastossa ja tulevaisuudessa on kehitetty testivuodet TRY2012, TRY2030, TRY2050 ja TRY2100. Näitä testivuosia käytetään rakennusten lämmitys- ja jäähdytysenergiatarpeen arvioimiseen nykyhetkellä ja tulevan vuosisadan aikana. Testivuosia varten Suomi on jaettu neljään eri lämpötilavyöhykkeeseen, joista jokaista kuvataan alueen sääasemalta kerätyllä datalla. Aineisto on kerätty Vantaan lentoaseman (I), Jokioisten observatorion (II), Jyväskylän lentoaseman (III) ja Sodankylän observatorion sääasemilta (IV). Vyöhykkeiden I ja II säädata on niin lähellä toisiaan, että vyöhykkeille käytetään molemmille Vantaan dataan perustuvaa testivuotta. Testivuosia käytetään sekä lämmitysjärjestelmien mitoittamiseen että rakennusten määräystenmukaisuuden osoittamiseen. Määräystenmukaisuus osoitetaan Vantaan eli lämpötilavyöhyke I:n olosuhteissa. Valinta pohjautuu siihen, että suurin osa Suomen rakennuskannasta sijaitsee vyöhykkeillä I ja II. (Sandberg 2016, 456.)

Nykyisin käytössä olevan testivuoden TRY2012 lisäksi kehitetty uudempi TRY2020, joka on pyrkinyt huomioimaan ilmastonmuutoksen tuomat vaikutukset Suomen ilmastoon. Päivitetty testivuosi on 0,17–0,36 °C lämpimämpi edelliseen, käytössä olevaan testivuoteen TRY2012 verrattuna. Kuitenkaan ei ole nähty vielä tarpeelliseksi nostaa lämmitysjärjestelmien mitoituslämpötiloja. Uuden testivuoden materiaali on koottu 30 vuoden ajalta, kuten aikaisemmankin, mutta 10 vuotta uudemasta aineistosta vuosilta 1989–2018. Uutta testivuotta varten on myös kehitetty tuntisateiden muodostamista. Kuvassa 1. on esitetty kaavio aiemmin laaditun energialaskennan ilmastollisen testiaineiston TRY2012 (ylärivi) ja TRY2020-aineiston (alarivi) tuottamisesta. (Jylhä ym. 2020, 39–40.)



KUVA 1: Testivuosiaineistojen TRY2012 (ylärivi) ja TRY2020 (alarivi) tuottaminen. (Jylhä ym. 2020, mukaillen kuvaa 1.1)

2.4 Rakenteen lämmönläpäisykerroin

Lämmönläpäisykerroin kertoo, kuinka paljon lämpöenergiaa siirtyy rakenteen läpi neliömetrin koiselta alalta, kun lämpötilaero rakenteen molemmin puolin on yhden Celsius-asteen verran. Lämmönläpäisykerroimesta käytetään myös nimitystä U-arvo. Arvoon huomioidaan rakenteen sisällä olevien erilaisten materiaalien lämmönvastuskertoimet, rakennekerrosten paksuudet ja rakenneosan pintavastus, joka riippuu lämpövirran suunnasta sekä mahdollisesti rakenteessa olevat ilmavälit, jotka eivät ole yhteydessä ulkoilmaan. Näiden lisäksi todellisten rakenteiden lämmönläpäisykerrointa määrittäessä on huomioitava rakenteessa olevat mekaaniset kiinnikkeet, eristeen mahdolliset ilmaraot ja käännettyjen kattojen aiheuttama vaikutus erilaisilla korjauskertoimilla. Taulukossa 1 on esitetty vanhojen rakenteiden yleisesti käytössä olleita U-arvoja. (Ympäristöministeriö 2020, 10, 14, 16, 28)

TAULUKKO 1: Vanhojen rakenteiden U-arvoja, lämmin tila (Suomen Kalenterit Oy 2024, 37)

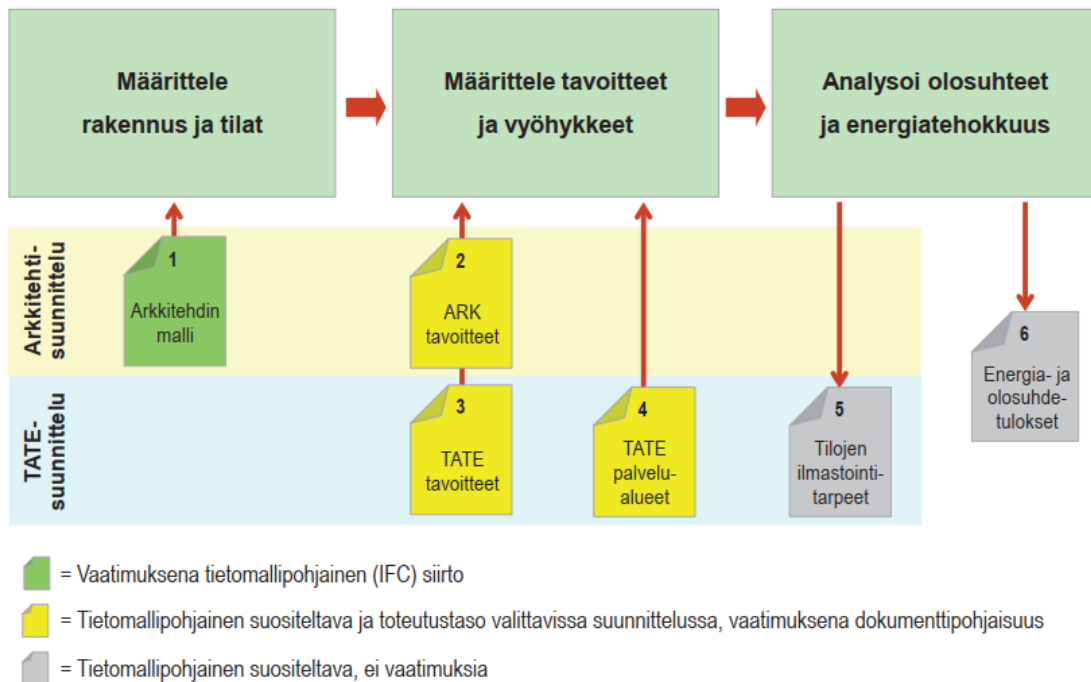
Rakenne	C3(2010)	C3 (2007)	C3(2002)	C3(1985)	C3(1978)	C3(1976)
Ulkoseinä	0,17	0,24	0,25	0,28	0,35	0,40
Yläpohja	0,09	0,15	0,16	0,22	0,29	0,35
Alapohja						
-maahan	0,16	0,24	0,25	0,36	0,40	0,40
-ryömintätilaan	0,17	0,19	0,20	0,22	0,40	0,40
-ulkoilmaan	0,09	0,15	0,16	0,22	0,29	0,35
Ikkuna	1,00	1,40	1,40	2,10	0,70	2,10
Ulko-ovi	1,00	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40

2.5 Olosuhde- ja energiasimulointi

Nykyaikaisilla tietokoneohjelmilla voidaan rakennuksen huonetiloja mallintaa monen eri muuttujan perusteella, kuten lämpötilan, epäpuhtauksien, kosteuspitoisuuden ja ilmavirran. Tiloja voidaan simuloida joko tasapainotilanteessa tai aikariippuvana simulaationa. Mallinnukseen voidaan käyttää esimerkiksi rakennussimulointiohjelmaa, joka on erikoistunut olosuhteiden ja energiantarpeen mallintamiseen, virtauslaskentaohjelmaa tai ilmanjakolaitteiden virtauskuvioiden mallinnusohjelmaa. Koska nykyaikaiset mallinnusohjelmat tarjoavat monipuoliset mahdollisuudet erilaisiin simulaatioihin, tulee mallin tekijän hahmottaa tarkasti mallin käyttötarkoitus ja tarvittavat lähtötiedot ennen mallinnusohjelman valintaa ja mallinnuksen tekemistä. (Sandberg 2016, 383.)

Energiasimuloinnilla voidaan jo aikaisessa vaiheessa päästä vaikuttamaan rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttaviin ratkaisuihin ja voidaan tarkastella erilaisten arkkitehtonisten ja teknisten ratkaisujen vaikutusta kokonaisuuteen. Tämä vaatii kuitenkin eri suunnittelualoilta hyvää yhteistyötä ja sitoutumista rakennuksen olosuhde- ja energiatehokkuustavoitteiden saavuttamiseen. Kuvassa 2 on esitetty mahdollisia tiedonsiirtotarpeita prosessin eri vaiheissa. Esimerkki suunnittelualojen haasteesta on energiasimulointiohjelman käyttämä tietomalli, jolle luodut yksiselitteiset vaatimukset on julkaistu, mutta usein arkkitehtimallien tiedot ovat vajavaisia, eikä niitä voida suoraan hyödyntää simulointipohjana. Itse energiasimulointia tekevän ohjelmiston tulisi pystyä tukemaan IFC-tiedoston lukua ja tekemään dynaamista laskentaa, joka huomioi rakenteiden varastoiman

lämpöenergian, käyttää koko vuoden säädataa maksimissaan tunnin mittaisina jaksoina sekä pystyy huomioimaan rakennuksen sisäiset kuormat, kuten valaistuksen ja käyttäjät. (Rakennustietosäätiö RTS 2012, 2, 6.)



KUVA 2: Energia-analyysiprosessi ja siihen liittyvät tiedonsiirtotarpeet ja -vaatimukset. (Rakennustietosäätiö RTS 2012, 7.)

Tämä työ keskittyy rakennussimulointiin, jota käytetään tilojen energiatarpeen määrittämiseen. Perinteisesti rakennusten lämmitystehontarpeet on määritetty tasapainotilanteen mukaan kaavoilla laskemalla, mutta vuosituhanen vaihtumisen jälkeen ovat erilaiset simulointiohjelmat yleistyneet suunnittelijoiden käytössä. Näillä simulointiohjelmilla voidaan laskea kokonaisen rakennuksen tilojen jäähdytys- ja lämmitystehontarpeet kerralla. Lisäksi rakennussimulointi voidaan tehdä aikariippuvana, jolloin otetaan huomioon myös tilojen käyttökuormien muuttuminen, rakenteiden massan aiheuttama hitaus lämpötilojen muutokseen, auringonsäteilyn tuoma kuorma ja paljon muuta. (Sandberg 2016, 384–385.)

3 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT

3.1 Lämpöpumput

Lämpöpumppujärjestelmä on laitteisto, jolla voidaan lämmittää tai jäähdyttää rakennusta laitteistossa kiertävän kylmäaineen välityksellä. Laitteistossa kylmäainetta kierrätetään suljetussa järjestelmässä kompressorin avulla lauhduttimen ja höyrystimen välillä. Lauhduttimessa järjestelmän kylmäaine muuttuu kaasusta nesteeksi ja samalla luovuttaa sitomaansa lämpöenergiaa esimerkiksi veteen tai ilmaan. Höyrystimessä kylmäaine muuttuu nesteestä höyryksi ja samalla sitoo energiaa. Lämpöpumppujen tehokkuutta kuvataan lämpökertoimella, joka ilmoittaa lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian määrän suhteessa kompressorin käyttämään energiaan. (Rakennustieto ry 2002, 2.)

3.1.1 Vesi-ilmalämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumpussa lämpöpumpun periaatteita sovelletaan siten että lämpöä kerätään höyrystimellä ulkoilmasta ja siirretään lauhduttimella rakennuksen lämmitysjärjestelmään. Kompressorilla nostetaan kerätty lämpöenergia lämmityspiirin vaatimalle tasolle. Ilma-vesilämpöpumppujen vuosilämpökertoimeen vaikuttaa lämmityspiirin lämpötilan lisäksi suuresti ulkoilman lämpötila. Hetkellinen lämpökerroin vaihtelee merkittävästi vuoden aikana. Ulkoyksikön sijoittamisessa tontille tulisi huomioida erityisesti laitevalmistajan ilmoittamat suojaetäisyydet rakenteisiin, jotta voidaan varmistaa laitteen huolto ja ilman kiertäminen vapaasti. On syytä huomioida myös, ettei esimerkiksi katolta putoava lumi vaurioita laitetta. Lisäksi kojeen tuottama ääni ei saa aiheuttaa haittaa kiinteistön käyttäjille tai naapureille. (Rakennustieto ry 2023, 1, 2, 6.)

3.1.2 Maalämpö

Maalämpöjärjestelmässä lämpöpumpun periaatteita sovelletaan siten että lämpöä kerätään höyrystimellä lämmönkeruuliuospiiristä, joka kiertää esimerkiksi pintamaassa tai energiakaivossa. Energiakaivo on näistä yleisempi, koska sen vaatima tila on huomattavasti pintamaahan sijoitettavaa piiriä pienempi. Lisäksi energiakaivosta saadaan enemmän energiaa putkimetriä kohden kuin

pintamaahan sijoitetusta piiristä. Energiakaivoa voidaan käyttää myös jäähdytykseen. Energiakavossa on kuitenkin suuremmat investointikustannukset kuin pintamaahan sijoitettavassa piirissä. Maalämpöpumppujen valmistajien ilmoittamat vuosilämpötilakertoimet (SCOP) voivat olla jopa yli 5. Tähän vaikuttaa kuitenkin suuresti lämpöpumpulla lämmitettävän lämmityspiirin lämpötila sekä keruupiirin lämpötila. (Rakennustieto ry 2018 a, 1, 3, 7.)

Suuremmissa kiinteistöissä maalämpöpumppuja voidaan kytkeä rinnan siten että saavutetaan jopa 1 000 kW kokonaisteho. Tässä kokoluokassa lämmönlähteenä on yleisimmin kallioperään porattu energiakaivo. Suuria järjestelmiä varten joudutaan poraamaan yleensä useita energiakaivoja, jotka muodostavat energiakentän. Tämän tyyppisten järjestelmien energiakaivojen mitoittaminen tulisi tehdä siihen erikseen tarkoitettulla ohjelmalla, kuten EED tai IDA-ICE Boreholes, jotka pystyvät mallintamaan energiakentän toimintaa pitkällä aikavälillä ja huomioimaan energiakaivojen etäisyydet toisiinsa sekä kallioperän energianluovutuksen heikkenemisen ja kaivojen palautumisen sinne mahdollisesti ladattavan energian avulla. (Rakennustieto ry 2018 b, 1, 5.)

Maalämpöjärjestelmän asentaminen on aina luvanvaraista rakentamista riippumatta siitä, sijaitseeko kohde asemakaava-alueella tai sen ulkopuolella. Lisäksi Kajaanin rakennusjärjestyksessä on kielletty maalämpökaivon keruuputkiston asentaminen pohjavedenottamon lähialueelle, joka on alue, jolla pohjaveden viipymä vedenottamolle on alle 60 vuorokautta. Jos pohjaveden viipymä ei ole tiedossa, käytettävä suojaetäisyys on vähintään 500 metriä vedenottamosta. Kajaanissa ei myöskään sallita vesistöön asennettavaa lämmönkeruuputkistoa asemakaava-alueeseen rajoittuviin vesistöihin. (Kajaanin kaupunki 2022, 6–7.)

3.2 Öljylämmitys

Öljy on erityisesti omakoti- ja paritaloissa käytetty lämmitysmuoto. Lämmitysöljyn polttamiseen pohjautuva lämmitysjärjestelmä soveltuu erityisen hyvin tehokasta ja korkealämpöistä lämmitysjärjestelmää vaativaan kohteeseen. Öljylämmitysjärjestelmässä öljyn sisältämä energia siirretään kattilan tulipesästä kattilaveteen, jota käytetään lämmitysverkoston ja käyttöveden lämmittämiseen. Yleisimmin öljylämmityskattiloiden kattilaveden lämpötila on alle +100 °C. Öljykattilan käyttämä öljy varastoidaan rakennuksen yhteydessä joko sisä- tai ulkoasenteiseen öljysäiliöön. (Rakennustieto ry 2005, 1, 4, 5.)

Suomessa on vuonna 2022 ollut Suomen tilastokeskuksen mukaan 209 240 rakennusta, joiden lämmitysmuotona on öljy tai kaasu. Näistä 232 980 on ollut omakoti- tai paritaloja. Öljyllä tai kaasulla lämmitettäviä rivi- ja kerrostaloja on ollut vain 21 470. (Tilastokeskus 2023, 24.)

Euroopan unionin neuvosto tiedotti joulukuussa 2023 EU:n neuvoston ja parlamentin päässeen alustavaan yhteisymmärrykseen rakennusten energiatehokkuusdirektiivin tarkistamista koskevasta ehdotuksesta, jonka tavoitteena on olemassa olevan rakennuskannan muuttaminen päästötömäksi vuoteen 2050 mennessä sekä uusien rakennusten 2030 mennessä. Ehdotukseen sisältyy kansallisiin rakennusten perusparannussuunnitelmiin sisällytettävän etenemissuunnitelma, jolla luovuttaisiin fossiilisia polttoaineita käyttävistä kattiloista vuoteen 2040 mennessä. (Euroopan unionin neuvosto 2023.)

3.3 Kaukolämpö

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto. Suurin osa kaikista julkisista rakennuksista, liikerakennuksista sekä asuinkerrostaloista on liitetty kaukolämpöverkkoon, minkä lisäksi noin puolet rivitaloista on valinnut lämmitysmuodokseen kaukolämmön. Noin puolet koko Suomen rakennuskannasta on liitetty kaukolämpöverkkoon. Kaukolämpö tuotetaan keskitetysti lämpölaitoksella joko pelkästään kaukolämpöverkoston käyttöön tai yhdistettynä sähköntuotantoon hyötysuhteen parantamiseksi. Lämmitysenergia siirretään loppukäyttäjälle suljetussa kaukolämpöverkossa, josta energia siirretään lämmönjakokeskuksen kautta asiakkaan verkostoon. Kaukolämpölaitteiston tekninen käyttöikä on noin 20–25 vuotta. (Rakennustieto Oy 2006, 2–6.)

Kaukolämpölaitteiston sijoittamisessa rakennukseen on huomioitava mittauskeskuksen ja lämmönsiirtimen vaatima huoltotila. Lisäksi laitetilän sisälämpötila ei saa nousta yli 35 °C:een. Uudisrakennuksissa tekninen tila on varustettava lattiakaivolla ja vesipisteellä ja samaa suositellaan myös korjausrakentamisessa. Lattiakaivo edellyttää lattian vesieristämistä. Kaukolämpöverkkoon palaavan veden lämpötila tulisi olla mahdollisimman matalalämpöistä, joten lämmönsiirtimen asentamisen tai uusimisen yhteydessä olisi hyvä tarkastella olemassa olevan rakennuksen lämmitysjärjestelmän mahdollista ylimitoitusta ja verkoston tarvitsemia todellisia lämpötiloja. (Energiateollisuus ry 2021, 5, 8, 58.)

4 ILMANVAIHTO

Ilmanvaihdolla on tavoitteena hallita rakennuksen sisäilman laatua siten että oleskelutiloissa ilma on terveellistä, turvallista ja olosuhteet pysyvät viihtyisinä. Ilmanvaihdolla poistetaan sisäilmasta terveydelle haitallisia aineita, kosteutta, hajuja ja rakennuksen sisältä lähtöisin olevia epäpuhtauksia. Ympäristöministeriön asetuksessa veloitetaan uuden rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä suunniteltavaksi siten että järjestelmän keskeisiä toimintoja voidaan mitata, ohjata ja seurata. Järjestelmän tulee asetuksen mukaan myös kestää oikein käytettynä ja huollettuna koko järjestelmän suunnitellun käyttöiän ja järjestelmä tulee olla pysäytettävissä kokonaisuudessaan, tai painovoimaisessa järjestelmässä venttiilien on oltava helposti suljettavissa. (Ympäristöministeriön asetus 1009/2017, 3:8 §.)

4.1 Ulkoilmavirrat

Ympäristöministeriön asetuksessa määritetään uusien rakennusten oleskelutilojen ulkoilmavirraksi vähintään 6 dm³/s henkilöä kohden suunniteltuna käyttöaikana. Tämän lisäksi tulee ottaa huomioon tilojen käyttötarkoituksesta syntyvä lisäilmavirran tarve. Koko rakennuksen ulkoilmavirran tulee olla suunnitellulla käyttöajalla kuitenkin vähintään 0,35 (dm³/s)/m² lattian pinta-alaa kohden. Suunnitellun käyttöajan ulkopuolisen ilmavirran tulisi olla muissa kuin asuinrakennuksissa 0,15 (dm³/s)/m² lattian pinta-alaa kohden. (Ympäristöministeriön asetus 1009/2017, 3:9–10§.)

Vaikka ulkoilmavirralla on annettu henkilömäärään ja pinta-alaan perustuvia ohjearvoja, tulisi ilmamäärät siitä huolimatta tarkastella aina tilojen ja niiden käyttötarkoituksen mukaan, jotta vältetään esimerkiksi korkeissa tiloissa liian alhainen ilman vaihtuvuus. (Talotekniikkateollisuus 2024.)

Käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto voidaan toteuttaa joko jaksottaisella tai jatkuvalla ilmanvaihdolla. Jaksottaisessa käytössä ilmanvaihtoa käytetään 1–2 tuntia tilojen käytön jälkeen ja käynnistetään tarpeeksi aikaisin ennen käyttöaikaa, jotta käyttöajan ulkopuolinen vaihto saavutetaan. Jatkuvassa käytössä ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirtoja pienennetään mitoitusilmavirtoihin nähden määräysten mukaisen ulkoilmamäärän saavuttamiseksi. (Sisäilmayhdistys 2019, 2.)

Koulu- ja päiväkotirakennuksissa käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon jaksottaisella toteutuksella on saatu noin 26 %:n säästö lämmitysenergian kulutuksessa ilman että sisäilman laatu käyttöajalla olisi kärsinyt. (Kuurola ym. 2023, 6.)

4.2 Ilmanvaihtojärjestelmät

Yleisimmät käytössä olevat ilmanvaihtojärjestelmät ovat painovoimainen ilmanvaihto, koneellinen poistoilmanvaihto ja koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä perustuu ilman liikkeeseen lämpötilaerojen ja tuulen voimalla. Järjestelmän toimintaa voidaan tehostaa esimerkiksi ikkunoita avaamalla tai lämmitystä lisäämällä. Kyseinen järjestelmä on ollut hallitseva järjestelmä 1950-luvulle asti. 1950-luvun jälkeen alkoivat yleistymään koneelliset poistoilmajärjestelmät, joissa ilman liike varmistetaan poistoilmapuhaltimella. Korvausilma rakennukseen otetaan ulkoilmasta joko rakenteiden epätiiviysskohdista tai erillisistä tuloilmaventtiileistä. 2000-luvulle siirryttäessä ovat yleistyneet koneelliset tulo- ja poistoilmajärjestelmät, jotka varustetaan yleisesti lämmöntalteenottojärjestelmällä. (Alanne ym. 2024, 116–118.)

4.3 Lämmöntalteenottojärjestelmät

Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottojärjestelmällä siirretään poistoilman lämpöä tuloilmaan, jolloin säästetään tuloilman lämmityskustannuksissa ja parannetaan järjestelmän energiatehokkuutta. Lämmöntalteenottojärjestelmät jakautuvat pyöriviin lämmönsiirtimiin, nestekiertoisiin lämmöntalteenottoihin ja levylämmönsiirtimiin. Levylämmönsiirtimet jakautuvat ristivirta- ja vastavirta-kennoihin. (Sandberg 2022, 178–187.)

Pyörivässä lämmönsiirtimessä tulo- ja poistoilmavirran välissä pyörii kiekkomainen roottori, jonka suuren lämmönsiirtopinta-alan kautta lämpö siirtyy poistoilmasta tuloilmaan. Ratkaisun lämpötilasuhde on korkea, yleensä 75–85 %, mutta ratkaisussa on mahdollisuus epäpuhtauksien siirtymisestä poistoilmasta tuloilmaan. Yleisesti ratkaisua käytetään vain silloin, kun poistoilman poistoilmaluokka on 1 tai 2. Keskitetyssä ilmanvaihtojärjestelmässä voidaan pyörivään lämmöntalteenoton kautta siirtää maksimissaan 5 % poistoilmaluokan 3 ilmaa. Jos kone palvelee vain yhtä tilaa, voidaan ratkaisua käyttää myös likaisten tilojen ilmanvaihdossa. (Sandberg 2022, 178–179.)

Levylämmönsiirrinratkaisut ovat lukumääräisesti yleisin lämmöntalteenottoratkaisu. Levylämmönsiirrin koostuu levyistä, joissa ilma kulkee ristikkäin levyjen välissä ja lämpö siirtyy poistoilmasta tuloilmaan levyjen läpi. Levylämmönsiirtimet ovat hyvin tiiviitä, joten niitä voidaan käyttää keskite-tyissä järjestelmissä myös likaisen ilman talteenotossa. Levylämmönsiirtimet jakautuvat ristivirta-kennoihin ja vastavirtakennoihin, jotka poikkeavat toisistaan talteenottokeinojen geometriassa. Ristivirtakennolla voidaan saavuttaa noin 60–65 %:n hyötysuhde, kun taas vastavirtakennoissa parhailla laitteilla saavutetaan jopa yli 80 %:n hyötysuhde. (Sandberg 2022, 180–183.)

Nestekiertoisessa lämmöntalteenotossa lämmön siirtyminen poistoilmasta tuloilmaan tapahtuu vä-
liaineen avulla. Väliaineena käytetään veden ja jäätymisenestoaineen seosta. Ratkaisua käytetään silloin kun ilmavirrat eivät saa sekoittua keskenään missään olosuhteissa tai kun tulo- ja poistoil-
makojeet joudutaan sijoittamaan eri tiloihin esimerkiksi saneerauskohteessa. Tyypillisesti neste-
kiertoisella lämmöntalteenottojärjestelmällä saavutetaan noin 50 %:n lämpötilasuhde. Nestekierto-
iseen lämmöntalteenottojärjestelmään voidaan integroida myös tuloilman lämmitys- ja jäähdytysjär-
jestelmä. Integroidusta lämmöntalteenotosta käytetään yleisesti erään valmistajan tuotenimeä
Econet. Ratkaisun avulla saavutetaan noin 65 %:n lämpötilasuhde. (Sandberg 2022, 184–187.)

5 ESIMERKKIKOhteet

5.1 Kajaanin seurakunnan kiinteistöt

Kajaanin seurakunta omistaa työn kirjoittamishetkellä noin 12 000 m² erilaisia kiinteistöjä. Kohteet sijoittuvat laajasti koko Kajaanin alueelle, johon kuuluu kuntaliitosten myötä myös Vuolijoki ja Otanmäki. Suuri osa kiinteistöistä on erilaisia hartauden harjoittamiseen tarkoitettuja rakennuksia, kuten siunauskappeleita ja kirkkoja. Osa kiinteistöistä sijaitsee kaukolämpöalueen ulkopuolella, mikä aiheuttaa omia rajoituksiaan rakennusten lämmittämiseksi. Koska energiatodistusasetuksessa tehdään poikkeus uskonnollisen toiminnan ja hartauden harjoittamiseen käytetyistä rakennuksista, ei tässä työssä laadittu rakennuksille energiatodistuksia. Seurakunnalle kuuluvat asunto-osakkeet ovat yksittäisiä osakkeita erinäisistä taloyhtiöistä, joiden energiatehokkuustoimista vastaa taloyhtiön hallitus. Seurakunnan omistamat erityyppiset kiinteistöt on kuvattu taulukossa 2.

TAULUKKO 2: Luettelo Kajaanin seurakunnan kiinteistöistä (Heikkinen 2023.)

		lkm.	m ²	m ³
Toimitilat	kirkot	2	1 463,5	9067,0
	seurakuntatalot	4	2 243,0	10 446,0
	leirikeskukset	22	2 553,5	8 257,5
	kerhuhuoneistot	4	646,5	1 796,0
	seurakuntakeskus	1	2 096,0	7 831,0
Muut tilat	asunto-osakkeet	3	202,0	560,0
	autotalliosake	1	19,0	50,0
	huoltorakennus	7	844,5	2 838,0
	ruumishuone	1	25,0	88,0
	siunauskappelit	2	1 036,0	5 520,0
	Muita tiloja (varastot, tekniset, huolto)	14	832,0	2 393,0
Yhteensä			11 961	48 846,5

5.2 Kohde 1, Valon kappeli

Ensimmäinen kohde on Kajaanissa sijaitseva Valon kappeli (Kuva 3). Kohde on valmistunut vuonna 1995. Rakennuksen pinta-ala on 866 m² ja sen tilavuus on 4 870 m³. Rakennuksessa sijaitsee myös krematorio ja sitä palvelevat kylmiöt. Kappeli sijaitsee Paltaniemen hautausmaan yhteydessä. Rakennuksen lämmitysmuotona on öljylämmitys, jonka öljysäiliöt palvelevat myös krematorion uunia. Rakennuksen ulkoseinämaterialina on käytetty Siporex-harkkoa ja rakennuksen julkisivussa korostuu suuri määrä ikkunapintaa. Myöhemmässä luvussa on rakenteet ja niille arvioidut U-arvot tarkemmin. Rakennuksessa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, mutta ei kuitenkaan lämmöntalteenottoa ilmavirtojen välillä. Pääasiassa ilmanvaihto tapahtuu ns. likaisten tilojen poistoilla, jotka on johdettu vesikatolle. Rakennuksen ilmanvaihtoa tehostetaan käytön mukaan erillisellä tuloilmakojeella ja huippuimurilla. Kojeen käyttöajat ovat kuitenkin lyhyet.



KUVA3. Valon kappeli

5.3 Kohde 2, Nakertajan seurakuntakoti

Toinen kohde sijaitsee myös Kajaanissa, kuten ensimmäinen kohde. Nakertajan seurakuntakoti (KUVA 3) on rakennettu vuonna 1965 ja peruskorjattu 2002. Rakennuksen pinta-ala on 464 m² ja tilavuus 1 430 m³. Rakennus on yhdessä kerroksessa ja huonekorkeus on pääsääntöisesti alle kolme metriä. Ulkoseinät ovat puurunkoisia ja villaeristeisiä. Vuoden 2002 peruskorjauksessa vanhojen seinien eristystä on parannettu. Rakennuksessa toimii päiväkotikoti ja sitä käytetään myös eri-

laisten seurakunnan tilaisuuksien järjestämiseen. Ilmanvaihto on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, joka on varustettu lämmöntalteenotolla. WC-tilojen poistoilma on toteutettu poistoilmapuhaltimeilla. Ilmanvaihtokoneita käytetään tarpeen mukaan rakennuksen käyttöaikana ja käyttöajan ulkopuolella koneet ovat pysähdyksissä WC-tilojen poistopuhallinta lukuun ottamatta. WC-tilojen poistopuhallin on kaksinopeuspuhallin, joka rakennuksen käyttöaikana käy täydellä teholla ja käyttöajan ulkopuolella puolituksella.

Rakennuksen alkuperäinen lämmitysmuoto on ollut öljylämmitys, joka on vaihdettu vesi-ilmalämpöpumppuun vuonna 2021. Kohde valittiin työhön, koska se antaa mahdollisuuden tarkastella suhteellisen tuoreen saneerauksen vastaavuutta laitevalmistajan mitoituksiin ja energiasimuloinnin tuloksiin. Samalla tarkasteltiin, olisiko tarkemmalla energiasimuloinnilla päädytty yhä vesi-ilmalämpöpumppuun ja löydetäänkö rakennuksesta mahdollisesti muita energiansäästökohteita.



KUVA 3: Nakertajan seurakuntakoti

5.4 Energiasimulointi

Kohteista ei ollut käytettävissä nykyaikaisia arkkitehdin luomia IFC-tilamalleja, joita olisi voitu hyödyntää energiasimulointia varten suoraan Riuska-ohjelmassa, vaan energiasimulointeja varten kohteista luotiin tilamallit AutoCAD-pohjaisella MagiCAD Room -työkalulla. Kohteista ei tehty tarkempia tilakohtaisia olosuhdesimulointeja, joten yksittäisten tilojen mallintamiseen ei keskitytty

vaan pyrittiin rajaamaan alueet käyttötavan, ilmanvaihdon palvelualueiden tai muuten toisistaan poikkeavien ominaisuuksien perusteella. Tilamalli vietiin IFC-muotoon, jota Riuska pystyy käyttämään lähtötietona. Tilamalleja muokattiin lisää Riuskassa, jossa lisättiin esimerkiksi korkeisiin tiloihin ulkoseinärakenteita sekä ikkunapintoja. Yksikerroksisten ja suhteellisen tasakorkuisten rakennusten tapauksessa ei tilamallin muokkaaminen Riuskassa ole yleensä tarpeen.

Riuskalla luotiin molempien kohteiden rakennekirjastoihin rakenteet, jotka vastasivat U-arvoiltaan alkuperäisistä suunnitelmista saatuja rakennetietoja. Erityisesti Nakertajan seurakuntakodista oli saatavilla tarkat tiedot rakenteista siellä tehdyn peruskorjauksen ajalta ja arkkitehdiltä saadun työselostuksen perusteella saatiin tarkka kuva rakennukseen tehdyistä korjauksista. Kun rakenteet oli luotu, päivitettiin ne tilamallin rakenteisiin simulointia varten. Ikkunoiden U-arvona käytettiin rakennusajankohdan rakennusmääräyksiä vastaavaa arvoa. Molempien kohteiden tarkat U-arvot on lisätty alla oleviin taulukkoihin. Valon kappelin arvot on esitetty taulukossa 3 ja Nakertajan seurakuntakodin arvot taulukossa 4TAULUKKO 4. Vuotoilmakertoimeksi q50 arvioitiin molemmissa rakennuksissa 4.0

TAULUKKO 3: Käytetyt ulkovaipan rakenteiden U-arvot, Valon kappeli

Tyyppi	Tunnus	Nimi	U-arvo
Ulkoseinä	US 01	Ulkoseinärakenne	0,21
Ulkoseinä	US 15	Maanvarainen ulkoseinä	0,25
Yläpohja	YP 01	Yläpohjarakenne	0,22
Alapohja	AP 01	Maanvarainen alapohja	0,16
Ulko-ovi	UO 01	Ulko-ovi	1,00
Ikkuna	I 01	Ikkuna	1,40

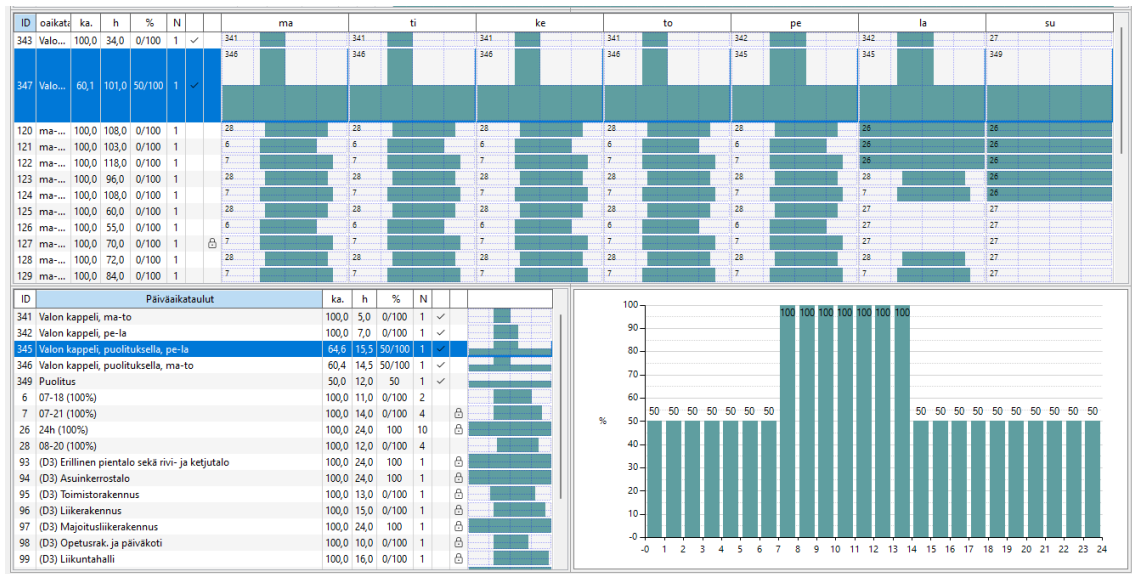
TAULUKKO 4: Käytetyt ulkovaipan rakenteiden U-arvot, Nakertajan seurakuntakoti

Tyyppi	Tunnus	Nimi	U-arvo
Ulkoseinä	US 01	Peruskorjauksessa lisätty ulkoseinä	0,26
Ulkoseinä	US 2	Saneerattu ulkoseinä	0,28
Yläpohja	YP 01	Yläpohjarakenne	0,16
Alapohja	AP 01	Maanvarainen alapohja	0,26

Ulko-ovi	UO 01	Ulko-ovi	1,00
Ikkuna	I 01	Ikkuna	1,00

Tämän jälkeen luotiin simulointia varten molempien rakennusten ilmanvaihdon palvelualueet ja aikataulut Riuskan kirjastoon. Aikataulut luotiin kohteiden rakennusautomaatiosta saatujen tietojen perusteella vastaamaan mahdollisimman hyvin todellisuutta. Molemmissa kohteissa oli ns. likaisten tilojen ilmanvaihto toteutettu erillisellä huippuimurilla, joka kävi rakennuksen käyttöaikana täydellä teholla ja käyttöajan ulkopuolella puoliteholla. Kajaanin seurakunnan kiinteistöissä on ilmanvaihto asetettu toimimaan vain rakennusten käyttöaikana, jonka ulkopuolella koneet ovat pysähdyksissä.

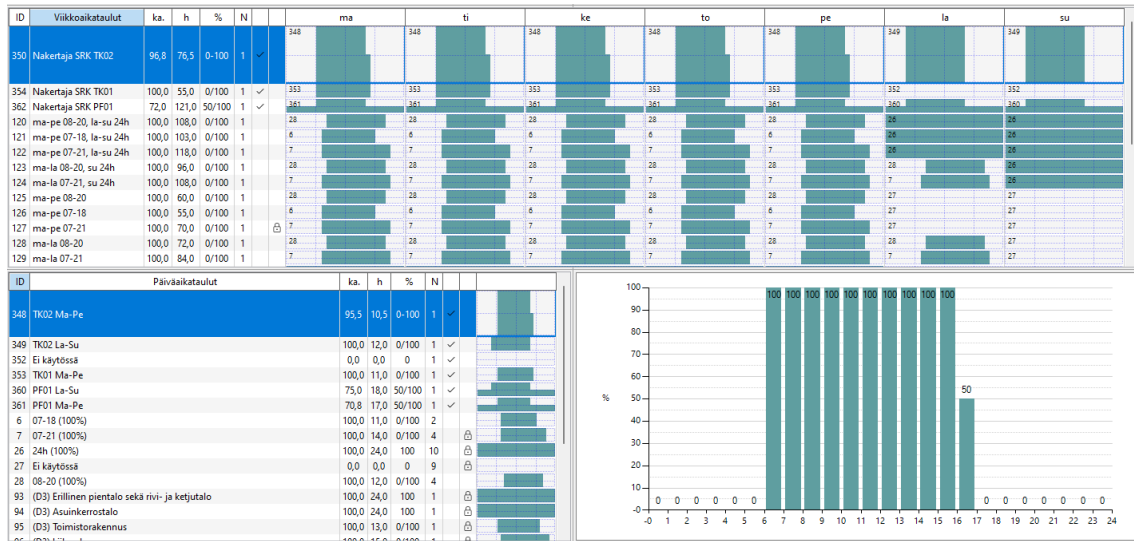
Valon kappelia käytetään keskimäärin maanantaista torstaihin viisi tuntia päivässä ja perjantaista lauantaihin seitsemän tuntia päivässä. Ilmanvaihdon ei ole lämmöntalteenottoa, joten sitä ei tarvinnut huomioida simuloinnin ilmanvaihtokoneissa. Ilmanvaihtokoneille aseteltiin todellisia ilmamääriä vastaavat ilmamäärät. Energiasimuloinnin tulokset on käyty läpi myöhemmin. Alla kuvassa 5 on osa kohteen aikataulukirjastosta.



KUVA 4: Näkymä Valon kappelin aikataulukirjaston viikko- ja päiväaikatauluista

Nakertajan seurakuntakotia käytetään maanantaista torstaihin viisi tuntia päivässä ja perjantaista lauantaihin seitsemän tuntia päivässä. Kohteessa on kaksi erillistä lämmöntalteenotolla varustettua ilmanvaihtokonetta sekä likaisten tilojen huippuimuri. Sekä IV-koneille että huippuimurille tehtiin omat aikaohjelmansa rakennusautomaation tietojen perusteella. Kohteen aikataulukirjasto näkyy

kuvassa 6. Ilmanvaihdonkoneita vastaaville palvelualueille asetettiin ilmamäärät koneiden todellisia arvoja vastaavaksi.



KUVA 5: Näkymä Nakertajan seurakuntakodin aikataulukirjaston viikko- ja päiväaikatauluista

5.5 Kaukolämpö energian lähteenä

Kajaanin alueella kaukolämmön jakelijana toimii Loiste Lämpö. Loiste Lämmön jakeleman kaukolämmön hinta muodostuu itse energian hinnasta ja tilaustehoon perustuvasta perusmaksusta (TAULUKKO 5). Loisteen energiamaksu kaukolämmöstä on työn tekohetkellä jouluihelmikuulta 90,3 €/MWh ja maalimarraskuulta 64,1 €/MWh. (Loiste Lämpö 2024)

TAULUKKO 5: Loiste Lämmön perusmaksut 15.4.2023 alkaen. Hinnat sisältävät arvonlisäveron 24 %

Tilausteho P (kW)	Perusmaksu €/vuosi
Alle 10	695
10–40	66,2 x P + 33
40–100	54,3 x P + 509
100–400	39,3 x P + 2009
400–1000	32,6 x P + 4689
1000–4000	25,5 x P + 11 789
Yli 4000	20,5 x P + 31 789

Tilausteho laskettiin molemmille kohteille rakenteiden vaatiman lämmitystehon ja ilmanvaihtokoneiden jälkilämmityspatterin tehon perusteella mitoituslämpötilassa.

5.6 Vesi-ilmalämpöpumppu rakennuksen energianlähteenä

Valon kappelin vesi-ilmalämpöpumpun tarkastelua varten pyydettiin eräältä laitevalmistajalta laitemitoitus kohteen energiankulutuksen tiedoilla. Energiankulutuksena mitoituksessa käytettiin rakennuksessa olevan lämpöenergiamittarin tietoja. Mitoituksessa huomioitiin rakennuksen sijaintipaikkakunta ja käytettiin asianmukaista säädataa. Mitoituksen lisäksi laitevalmistajalta saatiin kustannusarvio laitteista ja arvio lämpöpumppuratkaisulla rakennuksen lämmittämiseen kuluva energiasta.

Nakertajan seurakuntakodin mitoitus tehtiin NIBE Energy Systems Oy:n Nibe DIM -ohjelmalla. Myös tässä kohteessa on ollut energiamittaus, jonka tietoja voitiin käyttää mitoitusperustana. Kuten aikaisemmin, mitoitukseen huomioitiin rakennuksen sijaintipaikkakunta ja käytettiin ilmastoalueen säädataa. Mitoitusohjelmalla voitiin vertailla erilaisia lämpöpumppuratkaisuja kohteessa ja erilaisten ratkaisujen käyttämää ostoenergian määrää. Vesi-ilmalämpöpumppuratkaisun kustannusarvio tehtiin yhteistyössä paikallisen LVI-suunnittelutoimiston kanssa toteutuneiden kohteiden kustannusten perusteella. Kohteeseen on tehty lämmitystavan muutos vuonna 2021, jolloin kohteeseen vaihdettiin vesi-ilmalämpöpumppu. Uudesta mitoituksesta saatuja tietoja verrattiin toteutuneisiin energiankulutuksiin ja kustannusarviota verrattiin toteutuneisiin kustannuksiin.

5.7 Maalämpöpumppu energian lähteenä

Maalämpöpumppujen tarkastelua varten tehtiin molempien kohteiden laitemitoitus NIBE Energy Systems Oy:n Nibe DIM -ohjelmalla. Energiakulutuksena käytettiin rakennuksen mitattua energiankulutusta, kuten vesi-ilmalämpöpumpun tapauksessa. Myös paikkakunnan mitoituslämpötilat huomioitiin. Liuoksen lämpötilanmuutoksena 3,0 K ja liuoksen kesilämpötilana 0°C.

Molemmat esimerkkikohteet sijaitsevat lähellä toisiaan ja niiden alla oleva kallioperä on samanlainen kummassakin. Kallioperän tiedot haettiin Geologian tutkimuskeskuksen Mineral Deposits and Exploration (MDaE) palvelusta (Geologian tutkimuskeskus 2024). Alueella esiintyy kiillegneissiä,

kuten kohteessa 1, joten käytettiin kallioperän lämmönjohtavuutena kiillegneissin kirja-arvoa 3,0 W/mK (Huusko 2014, 9).

5.8 Verkoston lämpötilan pudottaminen lämpöpumppujärjestelmässä

Koska lämpöpumppuvalmistajat sekä aiheesta kertovat lähteet mainitsevat useaan otteeseen lämpöpumppujärjestelmän hyötysuhteen olevan riippuvainen verkoston lämpötilasta, johon lämpöpumpulla tuotettu energia siirretään, tehtiin esimerkkikohteiden lämpöpumppujärjestelmistä laitemitoitukset myös nykyistä matalammille verkostolämpötiloille. Tavoitteena oli selvittää, saavutaanko matalalla verkostolämpötilalla hyötyä rakennusten energiatehokkuuteen ja olisivatko hyödyt saavutettavissa kustannustehokkaasti.

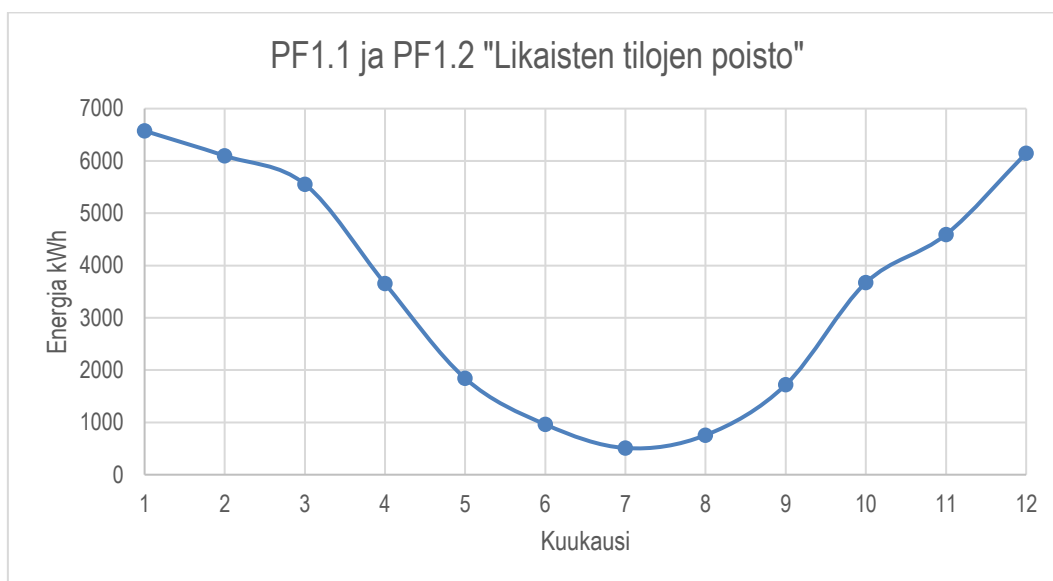
Valon kappelissa teetettiin molemmista lämpöpumppujärjestelmistä laitemitoitukset myös tapauksessa, jossa ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatteri uusittaisiin matalalämpöisempään. Tällöin verkoston uudeksi lämpötilaksi arvioitiin 45/25 °C. Tämä lämpötila riittäisi rakennuksen pääasialliselle lämmitysmuodolle eli lattialämmitykselle hyvin, mutta nykyiseen lämmitysverkoston menolämpötilaan saataisiin huomattavasti pudotusta.

Nakertajan seurakuntakodissa tarkastelu tehtiin alkuperäiselle verkoston lämpötilalle 80/50 °C, lämpötilalle 70/40 °C ja lämpötilalle 60/30 °C. Kohteeseen tehdyn energiamuodon muutoksen yhteydessä verkoston lämpötila oli pudotettu lämpötilaan 70/40 °C ja haluttiin tarkastella pudotuksen vaikutusta. Tarkastelu tehtiin myös 60/30 °C lämpötilalle tavoitteena selvittää verkoston lämpötilan entisestään pudottamisen hyödyt.

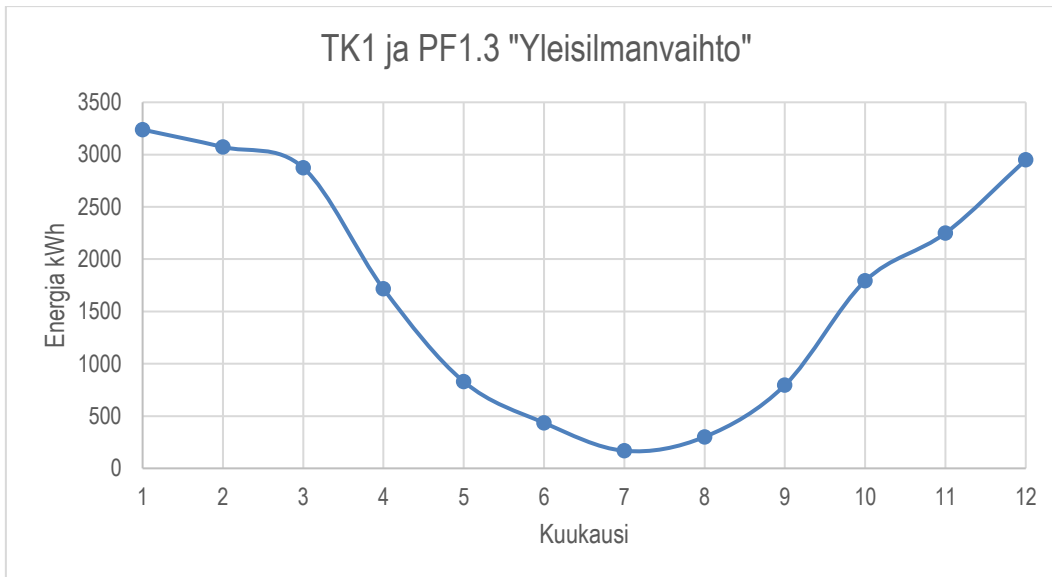
6 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Valon kappeli

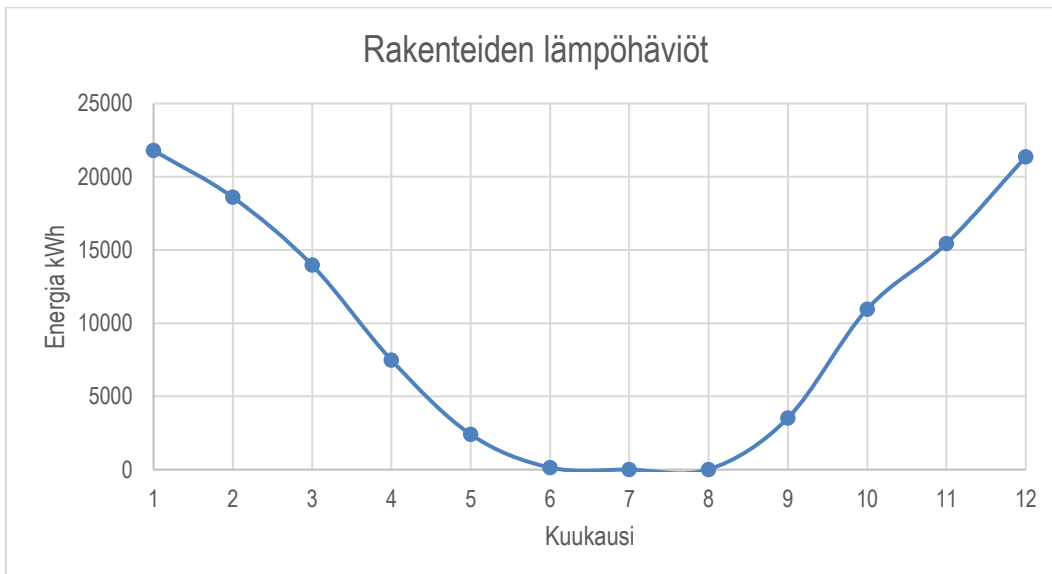
Energiasimuloinnin tuloksena saatiin hyvä käsitys rakennuksen käyttämän lämmitysenergian jakautumisesta ilmanvaihdon, tuloilmakojeen ja yleispoistojen korvausilman vaatimaan energiaan. Simuloinnin perusteella rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta noin 30 % kuluu tuloilman lämmittämiseen tuloilmakoneella sekä kohdepoistojen korvausilman tuomana lisälämmitystarpeena tilojen lämmityksessä. Loput 70 % kuluu rakenteiden lämpöhäviöiden lämmitystarpeeseen. Lämmitystarpeiden suhteeseen vaikuttaa huomattavasti se, että kohteen tuloilmakoje on käytössä vain rakennuksen käyttöaikana. Jos rakennuksen käyttö lisääntyy ja sitä kautta tuloilmakojeen käyttöaika kasvaa, nousee myös energiankulutus nopeasti ja paino siirtyy kohti ilmavaihtoa. Tarkemmat luvut esitetty ilmanvaihdon palvelualueittain liitteissä 1 ja 2.



KUVA 6: Yleispoistojen korvausilman lämmittämiseen kulunut energia kWh, TRY2012



KUVA 7: Tuloilmakojeen käyttämä energiamäärä ulkoilman lämmittämiseen kWh, TRY2012



KUVA 8: Rakenteiden läpi johtuva energia kWh, TRY2012

6.1.1 Vesi-ilmalämpöpumppu

Ensimmäisenä vaihtoehtona tarkasteltiin vesi-ilmalämpöpumppua mahdollisena lämmitysjärjestelmänä. Pumppumitoitus on tehty NIBE Energy Systems Oy:n Nibe DIM -ohjelmalla. Arvio nykyisen järjestelmän energiankulutuksesta öljykattilan hyötysuhteella 95 %. Lämmitysöljyn hintana on käytetty 1,43907 €/l ja energiasisältönä 10 kWh/l. Sähkön hintana on käytetty vuoden 2023 kuukausit-

taista pörssisähkön hintaa, jota on painotettu lämmitysenergian tarpeen kuukausittaiselle jakautumiselle. Vuoden keskihinnaksi näin laskettuna saadaan 7,9962 snt/kWh. Sähkön siirtohintana on käytetty 8,22 snt/kWh, johon sisältyy siirtomaksu ja sähkövero.

TAULUKKO 6: Vesi-ilmalämpöpumppujärjestelmän takaisinmaksuaika

	Energian kulutus kWh/vuosi	Energian hinta €/MWh	Käytetyn energian hinta €
Nykyinen järjestelmä	189 500	143,91	27 270,38 €
Uusi järjestelmä	68 466	181,35	12 416,51 €
Järjestelmien erotus			14 853,87 €
Uuden järjestelmän hinta			89 280,00 €
Mahdollinen säästö			14 853,87 €
Takaisinmaksuaika (vuotta)			6,0

6.1.2 Maalämpö

Toisena vaihtoehtona tarkasteltiin maalämpöpumppua mahdollisena lämmitysjärjestelmänä. Pumppumitoitus on tehty NIBE Energy Systems Oy:n Nibe DIM -ohjelmalla, kuten vesi-ilmalämpöpumpulle. Arvio nykyisen järjestelmän öljynkulutuksesta on tehty öljykattilan hyötysuhteella 95 %. Lämmitysöljyn hintana on käytetty 1,43907 €/l ja energiasisältönä 10 kWh/l. Sähkön hintana on käytetty vuoden 2023 kuukausittaista pörssisähkön hintaa, jota on painotettu lämmitysenergian tarpeen kuukausittaiselle jakautumiselle. Vuoden keskihinnaksi näin laskettuna saadaan 7,9962 snt/kWh Sähkön siirtohintana on käytetty 8,22 snt/kWh, johon sisältyy siirtomaksu ja sähkövero.

TAULUKKO 7: Maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika

	Energian kulutus kWh/vuosi	Energian hinta €/MWh	Käytetyn energian hinta €
Nykyinen järjestelmä	189 500	143,91	27 270,38 €
Uusi järjestelmä	44 660	181,35	8 099,22 €
Järjestelmien erotus			19 171,16 €
Uuden järjestelmän hinta			163 680,00 €
Mahdollinen säästö			19 171,16 €
Takaisinmaksuaika (vuotta)			8,5

6.1.3 Lämmitysverkoston hyötysuhteen parantaminen

Lämpöpumppujärjestelmien hyötysuhde on parempi, mitä matalalämpöisempään lämmitysverkostoon ne on liitetty. Kohteen lämmönjakojärjestelmä on vesikiertoinen lattialämmitys, joka soveltuu tähän hyvin, mutta kohteen tuloilmakojeen jälkilämmityspatteri vaatii nykyisellään korkealämpöisemmän järjestelmän. Lämpöpumppumitoitukset on tehty vertailun vuoksi myös 45/25-asteiselle lämmitysverkostolle, jolloin voitiin laskea mahdollinen energiansäästö uusimalla ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatteri uuteen, matalalämpöiseen verkostoon soveltuvaksi.

TAULUKKO 8: Matalalämpöisen järjestelmän vertailu vesi-ilmalämpöpumppujärjestelmällä

	Energian kulutus kWh/vuosi	Energian hinta €/MWh	Käytetyn energian hinta €
Järjestelmä 60/30	68 466	181,35	12 416,51 €
Järjestelmä 45/25	67 277	181,35	12 200,88 €
Järjestelmien erotus			215,63 €

TAULUKKO 9: Matalalämpöisen järjestelmän vertailu maalämpöjärjestelmällä

	Energian kulutus kWh/vuosi	Energian hinta €/MWh	Käytetyn energian hinta €
Järjestelmä 60/30	44660	181,35	8 099,22 €
Järjestelmä 45/25	41818	181,35	7 583,81 €
Järjestelmien erotus			515,40 €

Vertailun perusteella järjestelmän lämpötilan pudottamisella ei saataisi kovin suurta hyötyä verrattuna nykyiseen lämmitysjärjestelmään. Maalämpöpumppua käytettäessä järjestelmän lämpötilan laskemisella olisi hieman suurempi vaikutus kuin vesi-ilmalämpöpumpulla. Vaikutus on siltikin pieni. Jotta järjestelmän lämpötilaa voitaisiin laskea, vaatisi se tuloilmakojeen jälkilämmityspatterin uusimisen. Samalla jouduttaisiin uusimaan mahdollisesti venttiileitä ja pumppuja järjestelmään muuttuneen jäähtymän takia ja kustannukset kohoavat niin suuriksi, ettei järjestelmälle saada järkevää takaisinmaksuaikaa. Lämpöpumppujen energialaskelmat lämpötilan pudotuksineen on esitetty liitteissä 3–6.

6.1.4 Kaukolämpö

Kohde ei sijaitse kaukolämpöverkon alueella, mutta vertailu tehtiin myös kaukolämmölle, jotta tulokset olisivat paremmin sovellettavissa rakennuskantaan yleisesti. Taulukossa 10 on esitetty kuukausittainen kokonaisenergian tarve ja sen mukaan laskettu kaukolämmön kustannus. Tätä seuraavassa taulukossa 11 on esitetty arvio perusmaksusta ja vuoden kokonaiskustannukset.

TAULUKKO 10: Ostoenergian kustannukset kaukolämmöllä

kk	Kokonaisenergian kulutus MWh	Kaukolämmön kuu- kausihinta	Ostoenergian hinta €
1	31,61	90,3	2854,33
2	27,77	90,3	2507,19
3	22,39	64,1	1435,22
4	12,85	64,1	823,88
5	5,08	64,1	325,49
6	1,54	64,1	98,75
7	0,68	64,1	43,49
8	1,07	64,1	68,46
9	6,04	64,1	386,94
10	16,43	64,1	1052,92
11	22,28	64,1	1428,10
12	30,46	90,3	2750,69
Ostoenergian hinta koko vuodelta			13775,46 €

TAULUKKO 11: Perusmaksun laskelma ja kokonaiskustannukset

Rakennuksen lämmitysenergian huipputeho (Riuska)	53 kW
Ilmanvaihdon vaatima huipputeho (arvio)	68,64 kW
Yhteensä (tilausteho)	122 kW
Perusmaksu €/vuosi	6789,45 €
Ostoenergian kokonaiskustannukset vuodessa	20564,91 €

6.1.5 Ilmanvaihto

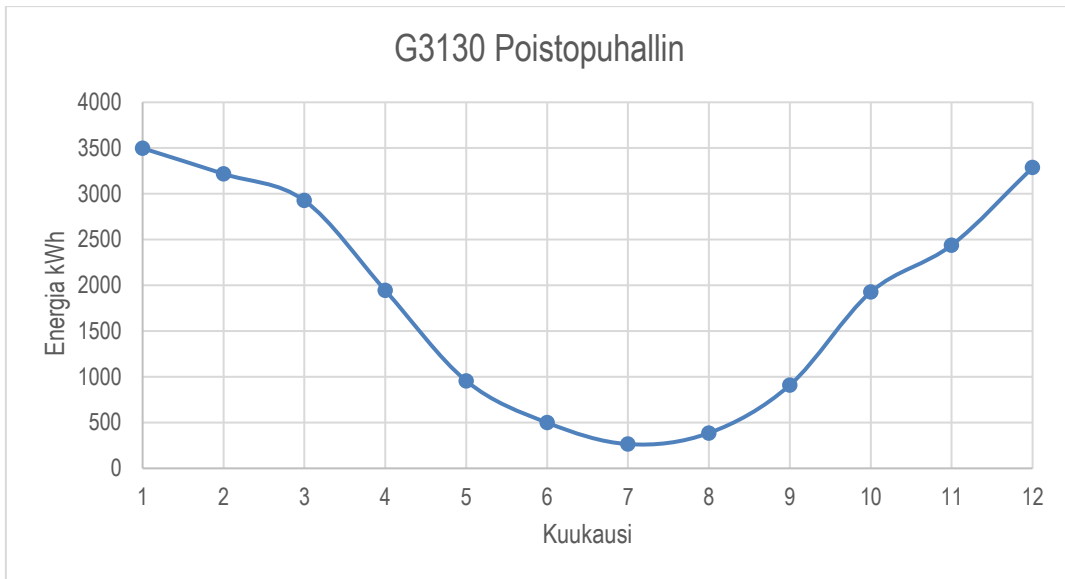
Rakennuksen ilmanvaihto on käyttötarkoitukseen riittävä, eivätkä käyttäjät ole kokeneet sen parantamisen tarvetta. Ilmanvaihtojärjestelmässä ei kuitenkaan ole lämmöntalteenottoa, jolla on suuri vaikutus rakennuksen energiankulutukseen. Ilmanvaihtokoneen uusiminen koneeseen, jossa tal-

teenotto olisi, ei kuitenkaan ole järkevä vaihtoehto ilmanvaihdon nykyisen kanavoinnin takia. Poistoilma jouduttaisiin kanavoimana uudelleen kellarissa olevaan IV-konehuoneeseen, ja tämä tarkoittaisi laajoja rakenteiden avaamista ja uusien läpivientien tekemistä rakenteisiin. Lisäksi nykyinen tuloilmakoje vaikuttaa olevan hyvässä kunnossa.

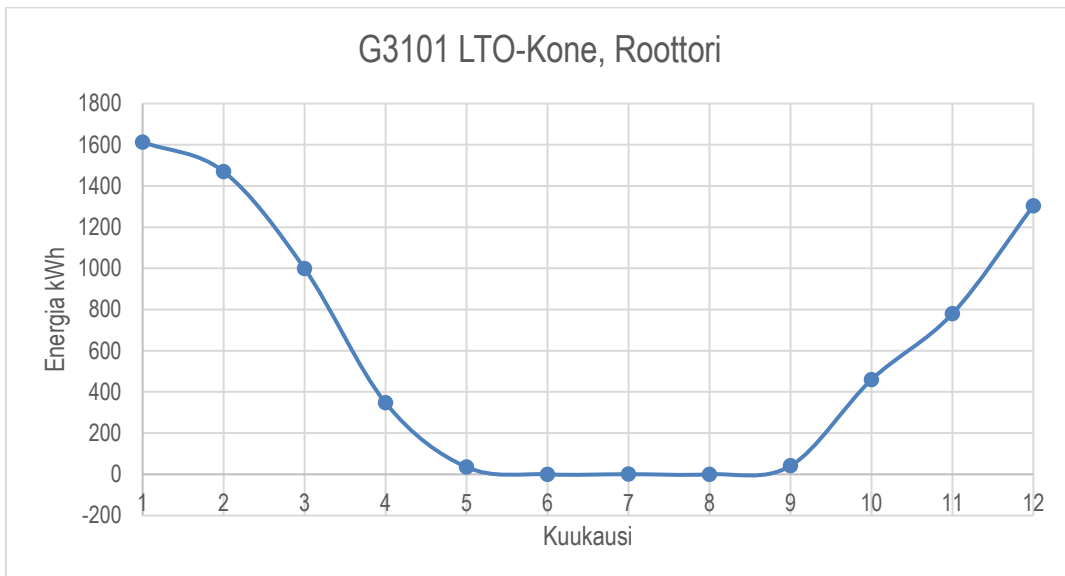
Ilmanvaihtojärjestelmään voidaan kuitenkin asentaa esimerkiksi Retermian LTO-huippuimurit nykyisten tilalle, jolloin rakennuksen sisäpuolella tehtävät rakennustyöt olisivat huomattavasti pienemmät. Lisäksi rakennuksen tasakatto soveltuu järjestelmän asentamiseen hyvin. Tämä pienentäisi rakennuksen tarvitseman lämmitysenergian määrää sekä vaadittua huipputehoa. Ilmanvaihtojärjestelmän sulkeminen käyttöajan ulkopuolella kuitenkin pidentää LTO-huippuimurien takaisinmaksuaikaa huomattavasti. Lisäksi talteen otettua energiaa voitaisiin hyödyntää vain tuloilmakojeessa, jolloin jatkuvasti päällä olevien poistopuhaltimien korvausilma tulisi jatkossakin ulkoa esilämmittämättömänä. Nykyisenkaltaisella käytöllään tuloilman lämmittäminen tuloilmakojeessa vastaa energiasimuloinnin perusteella noin 10 %:a vuotuisesta energiankulutuksesta. Nestekiertoisella lämmöntalteenottoratkaisulla voitaisiin päästä noin 50 % vuosihyötysuhteeseen, jolloin todellinen energiansäästö olisi 5 %. Öljylämmityksen kustannuksilla tämä vastaisi noin 1360 € säästöä vuodessa. Tämä jää niin vähäiseksi summaksi, ettei LTO-järjestelmälle saada järkevää takaisinmaksuaikaa.

6.2 Nakertajan seurakuntakoti

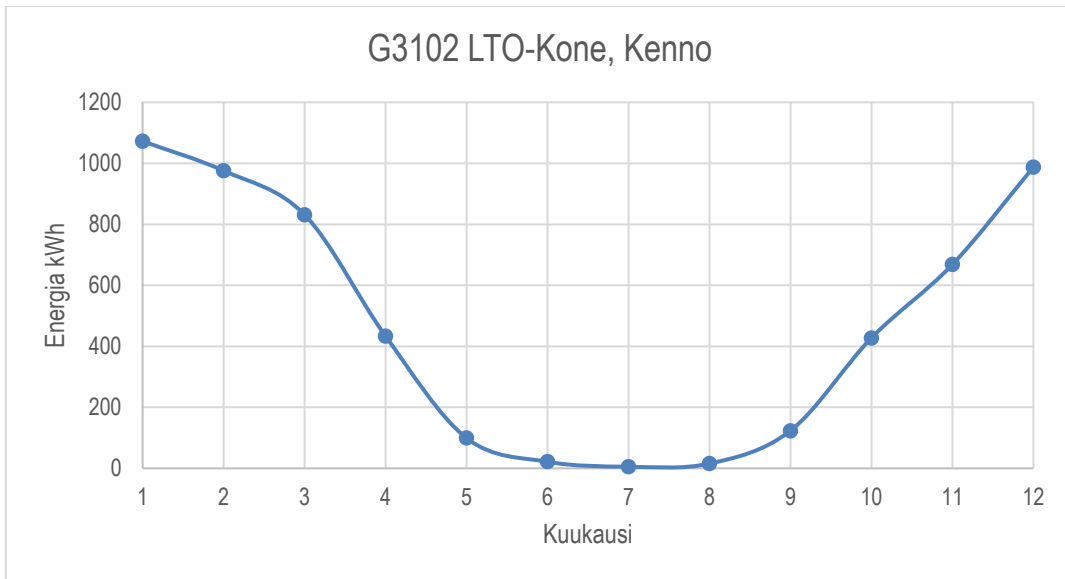
Myös tämän kohteen energiankäytön jakautumisesta saatiin selkeä kuva energiasimuloinnilla. Simuloinnin perusteella rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta 52 % kuluu rakenteiden lämpöhäviöiden lämmitystarpeeseen ja 48 % ilmanvaihdon tarpeeseen mukaan luettuna poistoilmapuhaltimen korvausilman lämmitykseen. Tarkemmin poistoilmapuhaltimen korvausilman lämmittämiseen kuluu 30,7 %, roottori-LTO:lla varustetun ilmanvaihtokoneen tuloilman lämmittämiseen 9,7 % ja kenno-LTO:lla varustetun koneen tuloilman lämmittämiseen 7,8 % koko rakennuksen energiankulutuksesta. Myös tämän kohteen ilmanvaihtokoneet ovat käynnissä rakennuksen käyttöaikojen mukaisesti. Poistopuhallin käy rakennuksen käyttöajan ulkopuolella puoliteholla. Tarkemmat luvut esitetty ilmanvaihdon palvelualueittain liitteissä 8 ja 9.



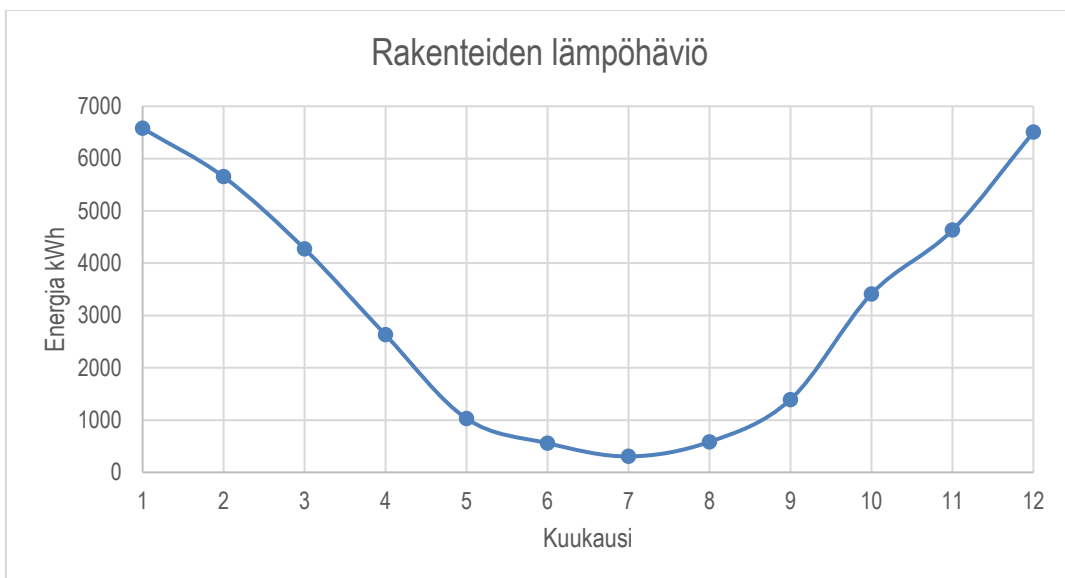
KUVA 9: Poistoilmahuuhtaimen korvausilman lämmittämiseen kulunut energia kWh, TRY 2012



KUVA 10: Tuloilmakojeen G3101 käyttämä energiamäärä tuloilman lämmittämiseen kWh, TRY2012



KUVA 11: Tuloilmakojeen G3102 käyttämä energiamäärä tuloilman lämmittämiseen kWh, TRY2012



KUVA 12: Rakenteiden läpi johtuva energia kWh, TRY2012

6.2.1 Vesi-ilmalämpöpumppu

Ensimmäisenä vaihtoehtona tarkasteltiin vesi-ilmalämpöpumppua mahdollisena lämmitysjärjestelmänä. Pumppumitoitus on tehty NIBE Energy Systems Oy:n Nibe DIM -ohjelmalla. Arvio nykyisen järjestelmän energiankulutuksesta öljykattilan hyötysuhteella 95 %. Lämmitysöljyn hintana on käytetty 1,43907 €/l ja energiasisältönä 10 kWh/l. Sähkön hintana on käytetty vuoden 2023 kuukausit-

taista pörssisähkön hintaa, jota on painotettu lämmitysenergian tarpeen kuukausittaiselle jakautumiselle. Vuoden keskihinnaksi näin laskettuna saadaan 8,343 snt/kWh (Alv 0 %) sähkön siirtohintana on käytetty 8,22 snt/kWh, johon sisältyy siirtomaksu ja sähkövero.

TAULUKKO 12: Vesi-ilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika

	Energian kulutus kWh/vuosi	Energian hinta €/MWh	Käytetyn energian hinta €
Nykyinen järjestelmä	95 219	143,91	13 702,68 €
Uusi järjestelmä	42 383	185,66	7 868,74 €
Järjestelmien erotus			5 833,95 €
Uuden järjestelmän hinta			28 000,00 €
Mahdollinen säästö			5 833,95 €
Takaisinmaksuaika (vuotta)			4,8

6.2.2 Maalämpö

Toisena vaihtoehtona tarkasteltiin maalämpöpumppua mahdollisena lämmitysjärjestelmänä. Pumppumitoitus on tehty NIBE Energy Systems Oy:n Nibe DIM -ohjelmalla, kuten vesi-ilmalämpöpumpulle. Arvio nykyisen järjestelmän energiankulutuksesta on tehty öljykattilan hyötysuhteella 95 %. Lämmitysöljyn hintana on käytetty 1,43907 €/l ja energiasisältönä 10 kWh/l. Sähkön hintana on käytetty vuoden 2023 kuukausittaista pörssisähkön hintaa, jota on painotettu lämmitysenergian tarpeen kuukausittaiselle jakautumiselle. Vuoden keskihinnaksi näin laskettuna saadaan 8,343 snt/kWh (Alv 0 %). Sähkön siirtohintana on käytetty 8,22 snt/kWh, johon sisältyy siirtomaksu ja sähkövero.

TAULUKKO 13: Maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika

	Energian kulutus kWh/vuosi	Energian hinta €/MWh	Käytetyn energian hinta €
Nykyinen järjestelmä	95 219	143,91	13 702,68 €
Uusi järjestelmä	23 940	185,66	4 444,65 €
Järjestelmien erotus			9 258,03 €
Uuden järjestelmän hinta			72 000,00 €
Mahdollinen säästö			9 258,03 €
Takaisinmaksuaika (vuotta)			7,8

6.2.3 Lämmitysverkoston hyötysuhteen parantaminen

Kohteen lämmitysjärjestelmä on vesikiertoinen patterilämmitys. Ilmanvaihtokoneiden jälkilämmityspatterit ovat vesikiertoisia. Lämmitysjärjestelmän alkuperäinen mitoituslämpötila on ollut 80/50 °C, joka on korkea lämpöpumpputjärjestelmiä ajatellen ja osa lämmöstä joudutaan tuottamaan kylmimpinä aikoina sähkövastuksella. Vertailu tehtiin lämpötiloille 70/40 °C ja 60/30 °C. Tätä suurempi lämmitysverkoston lämpötilan pudottaminen vaatisi todennäköisesti kaikkien pattereiden vaihtamisen ja mahdollisesti muutoksia ilmanvaihtokoneiden jälkilämmityspattereihin, joka ei ole kustannustehokas vaihtoehto. Vanhat lämmitysjärjestelmät on yleisesti ylimitoitettu jonkin verran ja verkoston lämpötilan pudotus kymmenellä asteella voidaan yleensä tehdä ilman mitään muutoksia verkostoon. Suuremmat pudotukset tulee tehdä vaiheittain usean lämmityskauden aikana ja tarkkailla sisälämpötilan pysyvyyttä sekä ilmanvaihtokoneiden toimintaa. Seuraavissa taulukoissa 14 ja 15 on esitetty verkostolämpötilan pudottamisen vaikutuksia eri lämpöpumppuratkaisuilla.

TAULUKKO 14: Matalalämpöisen järjestelmän vertailu vesi-ilmalämpöpumppujärjestelmällä

	Energian kulutus kWh/vuosi	Energian hinta €/MWh	Käytetyn energian hinta €
Järjestelmä 80/50	44 791	185,66	8 315,80 €
Järjestelmä 70/40	43 383	185,66	8 054,39 €
Järjestelmä 60/30	41 907	185,66	7 780,36 €
80/50 ja 70/40 ero- tus			261,41 €
80/50 ja 60/30 ero- tus			535,44 €

TAULUKKO 15: Matalalämpöisen järjestelmän vertailu maalämpöjärjestelmällä

	Energian kulutus kWh/vuosi	Energian hinta €/MWh	Käytetyn energian hinta €
Järjestelmä 80/50	27 049	185,66	5 021,86 €
Järjestelmä 70/40	23 940	185,66	4 444,65 €
Järjestelmä 60/30	21 007	185,66	3 900,11 €
80/50 ja 70/40 ero- tus			577,21 €
80/50 ja 60/30 ero- tus			1 121,74 €

Vertailun perusteella järjestelmän lämpötilaa pudottamalla saataisiin pientä säästöä energiakustannuksiin varsinkin maalämpöjärjestelmässä. Jos verkoston lämpötilaa voidaan pudottaa muuttamatta verkostoa, saadaan lyhennettyä järjestelmien takaisinmaksuaikaa hieman. Lämpöpumppujen energialaskelmat lämpötilan pudotuksineen on esitetty liitteissä 10–15.

6.2.4 Kaukolämpö

Kohde ei sijaitse kaukolämpöverkon alueella, mutta vertailu tehtiin myös kaukolämmölle, jotta tulokset olisivat paremmin sovellettavissa rakennuskantaan yleisesti. Alla olevassa taulukossa 16 on

esitetty kuukausittainen kokonaisenergian tarve ja sen mukaan laskettu kaukolämmön kustannus. Tätä seuraavassa taulukossa 17 on esitetty arvio perusmaksusta ja vuoden kokonaiskustannukset.

TAULUKKO 16: Ostoenergian kustannukset kaukolämmöllä

kk	Kokonaisenergian kulutus MWh	Kaukolämmön kuu- kausihinta	Ostoenergian hinta €
1	12,76	90,3	1152,34
2	11,32	90,3	1021,80
3	9,03	64,1	578,89
4	5,35	64,1	343,21
5	2,12	64,1	135,79
6	1,08	64,1	69,11
7	0,58	64,1	36,92
8	0,99	64,1	63,15
9	2,47	64,1	158,07
10	6,22	64,1	398,94
11	8,52	64,1	545,92
12	12,08	90,3	1090,96
Ostoenergian hinta koko vuodelta			5595,10

TAULUKKO 17: Perusmaksun laskelma ja kokonaiskustannukset

Rakennuksen lämmitysenergian huipputeho (Riuska)	17 kW
Ilmanvaihdon vaatima huipputeho (arvio)	37,5 kW
Poistoilmapuhaltimen korvausilman lämmitys (Riuska)	12,48 kW
Yhteensä (tilausteho)	67 kW
Perusmaksu €/vuosi	4146,01 €
Ostoenergian kokonaiskustannukset vuodessa	9741,11 €

6.2.5 Ilmanvaihto

Rakennuksen ilmanvaihto on saneerattu aikaisemman peruskorjauksen yhteydessä. Ilmanvaihtokoneet vastasivat lähelle nykyaikaisia laitteita, eikä niiden saneeraamisella saavutettaisi merkittävää hyötyä. Roottori-LTO:lla varustetun koneen valmistajan mukaan kohteessa olevan koneen talteenoton hyötysuhde vastaa lähes täysin nykyaikaisten koneiden hyötysuhdetta (Ollakka 2024). Ristivirtakennolla varustetuilla koneilla on saneerauksen aikaan tavoiteltu 50–60 % vuosihyötysuhdetta (Laukkanen 2024). Nykyaikaisella vastavirtakennolla varustetulla koneella tulisi päästä vähintään lämpötilahyötysuhteeseen 73 % (Euroopan komissio 2014, 11). Koska kiinteistöissä sammutetaan ilmanvaihto käyttöajan ulkopuolella, tulisi huolehtia aikaohjelmien päivittämisestä käyttöaikojen mahdollisesti muuttuessa.

Ensimmäiseen esimerkkikohteeseen verrattuna Nakertajan seurakuntakodin lämmitysenergian tarpeesta huomattavan suuri osa, 48 %, kuluu ilmanvaihdon tarpeisiin rakennuksen pidempien käyttöaikojen takia. Tämä siitä huolimatta, että rakennuksen ilmanvaihto on varustettu hyvin nykyaikaisella lämmöntalteenotolla. Tämä on hyvä ottaa huomioon, kun työn tuloksia sovelletaan muihin rakennuskantaan.

6.3 Johtopäätökset

Laskelmien tulosten perusteella saatiin selkeä kuva rakennusten energiankulutuksesta ja tehokkaista toimenpiteistä energiatehokkuuden parantamista varten. Energiasimuloinnin avulla pystyttiin keskittymään rakennuksen suurimpiin energiahukan kohteisiin ja siten löytämään kustannustehokkaimmat ongelmakohdat, joihin keskittyä tarkemmin. Erityisesti kohteissa, jotka eivät kuulu suoraan energiatodistusten piiriin ja joiden käyttö poikkeaa esimerkiksi ilmanvaihtokoneiden aikaohjelmien osalta suuresti vakioidun käytön arvoista, korostuu kohteen todelliseen käyttöön perustuvan energia-analyysin merkitys. Esimerkiksi kohteessa 1 olisi helposti päädytty tekemään lämmöntalteenoton saneerausta ilmanvaihtoon, jos ei simuloinnin perusteella tätä olisi voitu rajata pois.

7 POHDINTA

Energiasimulointi ei varsinaisesti tuo teorian tasolla mitään uutta suunnittelijoiden käyttöön. Energiasimulointi on kuitenkin työkalu, jonka avulla olemassa oleva tieto ja osaaminen on helpommin hyödynnettävissä ja muutettavissa asiakkaan ymmärrettäväksi dataksi. Energiasimulointiohjelmissa pystytään myös tekemään suurien kohteiden analyyskejä suhteellisen helposti. Aikaisemmin käytössä olleilla taulukkolaskentaohjelmiin perustuvilla laskennoilla nämä olisivat olleet erittäin aikaa vieviä tehtäviä. Kun tehdään investointipäätöksiä suurempien kohteiden saneerauksista, tulisi laskelmien olla helposti perusteltavissa ja data, johon laskelmat pohjautuvat, esitettävissä. Kun rakennetaan uutta, pitäisi erilaisten ratkaisujen välillä pysytäkseen tekemään vertailua, jotta päästäisiin projektin tavoitteisiin niin sisäilmaolosuhteiden kuin budjetin suhteen.

Rakennuksen simulointia tulee myös pystyä rajaamaan siten, että tulokset vastaavat haluttuun kysymykseen. Nykyaikaisissa simulointiohjelmissa on huomattava määrä erilaisia muuttujia, joiden pohjalta voidaan tavoitella erilaisia vastauksia. Esimerkiksi rakennuksen ulkopuolisiin varjostuksiin ei kannata käyttää aikaa, jos simuloinnin tavoitteena on saada tuloksia lämmitysenergian kulutuksessa rakennuksessa. Jos tavoitteena on selvittää kesäajan sisälämpötiloja, ovat ulkopuoliset varjostukset ehdottoman tärkeitä simuloinnin lähtötietoja. Energiasimulointia tehdessä tulee myös tunnistaa käytetyn ohjelman heikkoudet. Esimerkiksi työssä käytetyssä Riuskassa lämpöpumppujärjestelmälle voidaan syöttää kiinteä vuosilämpökerroin, tai aikataulusta riippuva lämpökerroin. Ohjelmaan ei kuitenkaan ole kirjoittamisen hetkellä mahdollista asettaa lämpöpumpulle ulkolämpötilasta riippuvaa lämpökerrointa, joka voisi tuottaa vesi-ilmalämpöpumppujen tapauksessa tarkempia tuloksia.

Opinnäytteen teoriaa ja tuloksia voidaan myös hyödyntää muissa seurakunnan kohteissa, jotta saataisiin parempi käsitys siitä, mihin energiaa käytetään ja mistä erot kahden eri rakennuksen välillä voivat johtua. Myös lämpöpumppuratkaisujen ja kaukolämmön vertailut noudattavat samaa linjaa molemmissa kohteissa, kuten myös verkostolämpötilojen pudottaminen. Työn tuloksena saatiin myös parempi kuva, miten Kajaanin seurakunnan tyyppinen organisaatio hyötyisi energiasimuloinnista työkaluna kiinteistökannan hoitamisessa.

LÄHTEET

Alanne, Kari, Holopainen, Rauno, Hyvärinen, Juh, Kaappola, Esko, Ketomäki, Jaakko, Kurnitski, Jarek, Könkkö, Samuli, Pylsy, Petri, Railio, Jorma, Seppänen, Olli, Vuolle, Mika, Vuorinen, Pekka, Yrjölä, Jukka 2024. Rakennusten energiatekniikka. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Energiateollisuus ry 2021. Rakennusten kaukolämmitys Määräykset ja ohjeet julkaisu K1/2021. Helsinki: Energiateollisuus ry. Hakupäivä 9.3.2024. https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/08/Julkaisu_K1_2021_Rakennusten_kaukolammitus_Maaraykset_ja_ohjeet_pdf-1.pdf

Euroopan komissio 2014. KOMISSION ASETUS (EU) N:o 1253/2014 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/125/EY täytäntöönpanosta ilmanvaihtokoneiden ekologisen suunnittelun vaatimusten osalta. Euroopan unionin virallinen lehti 25.11.2014. Hakupäivä 2.10.2024. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32014R1253>

Euroopan unionin neuvosto 2023. 55-valmiuspaketti: neuvosto ja parlamentti yhteisymmärrykseen rakennusten energiatehokkuusdirektiivin tarkistamishdotuksesta. Lehdistötiedote 7. joulukuuta 2023. Hakupäivä 9.3.2024. <https://www.consilium.europa.eu/fi/press/press-releases/2023/12/07/fit-for-55-council-and-parliament-reach-deal-on-proposal-to-revise-energy-performance-of-buildings-directive/>

Geologian tutkimuskeskus 2024. Mineral Deposits and Exploration. Hakupäivä 22.1.2024. <https://gtkdata.gtk.fi/mdae/index.html>

Heikkinen, Mikko 2023. Kiinteistöpäällikkö. Kajaanin seurakunta. Sähköposti 7.6.2023.

Huusko, Asmo 2014. Energiakaivokentän mitoituksen periaatteet. Helsinki: Suomen Kylmäyhdistys ry.

Jylhä, Kirsti, Ruosteenoja, Kimmo, Böök, Herman, Lindfors, Anders, Pirinen, Pentti, Laapas, Mikko, Mäkelä, Antti 2020. Nykyisen ja tulevan ilmaston säätietoja rakennusfysikaalisia laskelmia ja

energialaskennan testivuotta 2020 varten. Helsinki: Ilmatieteen laitos. Hakupäivä 5.3.2024.
<https://helda.helsinki.fi/items/ada26311-3017-428b-a26a-2c0cc41a491d>

Kajaanin kaupunki 2022. Kajaanin kaupungin rakennusjärjestys 2022. Kajaani: Kajaanin kaupunki.
Hakupäivä 9.3.2024. <https://www.kajaani.fi/uploads/2022/11/51ad323f-rakennusjarjestys-16.11.2022-liitteineen.pdf>

Kuurola, Pentti, Raunima, Tuomas, Ketko, Joonas, Toyinbo, Oluyemi, Vinha, Juha, Haverinen-Shaughnessy, Ulla 2023. Reduced night ventilation did not impair indoor air quality for occupants in a sample of Finnish school and daycare buildings. Energy and Buildings, Volume 297. Hakupäivä 28.9.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20231018140583>

Laukkanen, Nils 2024. Tuotepäällikkö. Pamon Oy. Sähköposti 18.4.2024.

Loiste Lämpö 2024. Kaukolämpöhinnasto, Loiste Lämpö. Hakupäivä 7.8.2024.
<https://loistelampo.fi/kaukolampohinnasto>

Ollakka, Arto 2024. Myynti-insinööri. Swegon Oy. Sähköposti 18.4.2024.

Rakennustieto Oy 2006. LVI 10-10398 Kaukolämmitys. Helsinki: Rakennustieto Oy. Hakupäivä 9.3.2024. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/LVI%2010-10398>. Vaatii käyttöoikeuden.

Rakennustieto ry 2002. LVI 11-10332 Lämpöpumput. Helsinki: Rakennustieto ry. Hakupäivä 14.3.2024. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/LVI%2011-10332>. Vaatii käyttöoikeuden.

Rakennustieto ry 2005. LVI 11-10394 Kevytöljylämmitys. Helsinki: Rakennustieto ry. Hakupäivä 9.3.2024. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/LVI%2011-10394>. Vaatii käyttöoikeuden.

Rakennustieto ry 2018 a. LVI 11-10623 Maalämpöpumput, Pientalot. Helsinki: Rakennustieto ry. Hakupäivä 15.3.2024. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/LVI%2011-10623>. Vaatii käyttöoikeuden.

Rakennustieto ry 2018 b. LVI 11-10624 Maalämpöpumput, Kiinteistöjärjestelmät. Helsinki: Rakennustieto ry. Hakupäivä 15.3.2024. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/LVI%2011-10624>. Vaatii käyttöoikeuden.

Rakennustieto ry 2023. RT 103598 Ilma-vesilämpöpumput, Pientalot. Helsinki: Rakennustieto ry. Hakupäivä 21.2.2024. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%20103598>. Vaatii käyttöoikeuden.

Rakennustietosäätiö RTS 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012, Osa 10 energia-analyysit. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS. Hakupäivä 4.4.2024. <https://drive.buildingsmart.fi/s/2dyWAbZM7zd9ZnM>

Sandberg, Esa. (Toim.) 2016. Ilmastointilaitosten mitoitus Ilmastointitekniikka osa 2. Toinen painos. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sandberg, Esa (Toim.) 2022. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät Ilmastointitekniikka osa 1. Kolmas painos. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sisäilmayhdistys 2019. Sisäilmayhdistyksen Hyvä sisäilma -suositus 1, Suositus ilmanvaihdosta rakennuksen käyttöajan ulkopuolella (ei koske asuinrakennuksia tai jatkuvakäyttöisiä rakennuksia). Hakupäivä 28.9.2024. <https://sisailmayhdistys.fi/wp-content/uploads/2023/12/Ilmanvaihdon-SIY-suositus-1-03-2019-1.pdf>

Suomen Kalenterit Oy 2024. LVI-Kalenteri 2024. Helsinki: Suomen kalenterit Oy

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2012. Matalaenergiarakentaminen, Toimitilat. (Toim. Pulakka, Sakari). Helsinki, Suomi: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Talotekniikkateollisuus 2024. Talotekniikkainfo Sisäilmastoja ilmanvaihto -opas, päivitetty 11.6.2024, Luku 3 Ilmanvaihto ja ilmanvaihtojärjestelmät, 9 Ulkoilmavirrat. Hakupäivä 28.9.2024. <https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/9-ulkoilmavirrat>

Tilastokeskus 2023. Suomen tilastollinen vuosikirja 2023. (Toim. Hiltunen, Sirkku, Koivula, Nina, Ruuskanen, Tarja.) Helsinki. Hakupäivä 9.3.2024. <https://www.doria.fi/handle/10024/188219>

Ympäristöministeriö 2018. Energiatodistusopas 2018: Rakennuksen energiatodistus ja E-luvun määrittäminen. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Ympäristöministeriö 2020. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinöörille: Lämpö. Raffnet 2020 - oppimateriaalin teoriaosan osio L (Lämpö). Terveet tilat 2028 -ohjelma. Hakupäivä 23.3.2024. https://tilatjaterveys.fi/documents/39510712/102937006/Rakennusfysiikan+oppimateriaali+insinööri+koulutukseen_Lampo.pdf

Ympäristöministeriö 2024. Rakentaminen ja alueidenkäyttö: Rakennusten energiatehokkuus. Hakupäivä 7. 2 2024. <https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuus>

Ympäristöministeriön asetus 1009/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. Hakupäivä 2.10.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>

Ympäristöministeriön asetus 4/13. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13. Hakupäivä 4.3.2023. <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/700001/40799>

LIITTEET

Liite 1 Valon kappeli PF1.1 ja PF1.2 ”Likaisten tilojen poisto”: simuloidut lämmitysenergiantarpeet, kuukauden tunnit

Liite 2 Valon kappeli TK1 ja PF1.3 ”Yleisilmanvaihto: simuloidut lämmitysenergiantarpeet, kuukauden tunnit

Liite 3 Valon kappeli, maalämpöjärjestelmä 60/30 °C energialaskelma

Liite 4 Valon kappeli, maalämpöjärjestelmä 45/25 °C energialaskelma

Liite 5 Valon kappeli, vesi-ilmalämpöjärjestelmä 60/30 °C, energialaskelma

Liite 6 Valon kappeli, vesi-ilmalämpöjärjestelmä 45/25 °C, energialaskelma

Liite 7 Nakertajan seurakuntakoti G3130 Poistopuhallin: simuloidut lämmitysenergiantarpeet, kuukauden tunnit

Liite 8 Nakertajan seurakuntakoti G3101 LTO-kone roottori: simuloidut lämmitysenergiantarpeet, kuukauden tunnit

Liite 9 Nakertajan seurakuntakoti G3102 LTO kone, kenno: simuloidut lämmitysenergiantarpeet, kuukauden tunnit

Liite 10 Nakertajan seurakuntakoti, maalämpöjärjestelmä 80/50 °C energialaskelma

Liite 11 Nakertajan seurakuntakoti, maalämpöjärjestelmä 70/40 °C energialaskelma

Liite 12 Nakertajan seurakuntakoti, maalämpöjärjestelmä 60/30 °C energialaskelma

Liite 13 Nakertajan seurakuntakoti, vesi-ilmalämpöjärjestelmä 80/50 °C, energialaskelma

Liite 14 Nakertajan seurakuntakoti, vesi-ilmalämpöjärjestelmä 70/40 °C, energialaskelma

Liite 15 Nakertajan seurakuntakoti, vesi-ilmalämpöjärjestelmä 60/30 °C, energialaskelma

VALON KAPPELI PF1.1 JA PF1.2 "LIKAISTEN TILOJEN POISTO": SIMULOIDUT LÄMMITYSENERGIANTARPEET, KUUKAUDEN TUNNIT

LIITE 1

	Ulkoilma lämpöt.	Ulkoilma absol. kosteus	Ulkoilm suht. kosteus	Ulkoilma entalpia	Lämmity tilat	Lämmitys IV-kone	Lämmitys IV-kon (ilman LTO:ta)
kk	°C (ka.)	g/kg (ka.)	% (ka.)	kJ/kg (ka.)	Wh	Wh	Wh
1	-6,9	2,4	86,6	-1	1435007	6574861	6574861
2	-7,4	2	83,6	-2,4	1460082	6097888	6097888
3	-3,4	2,5	79,2	2,8	1429671	5554568	5554568
4	2,4	3,4	73,9	10,8	1343261	3654174	3654174
5	9,6	4,6	61,6	21,2	1118042	1842032	1842032
6	13	6,2	67,8	28,7	114549	961196	961196
7	15,7	8,2	73,4	36,5	0	510238	510238
8	14,3	8,5	83,6	35,9	0	756762	756762
9	9,7	6,5	83,7	26	808839	1718796	1718796
10	2,9	4,4	87,6	13,9	927683	3671279	3671279
11	-0,8	3,6	92	8,2	1022457	4592795	4592795
12	-5,6	2,4	87,8	0,3	1366382	6148550	6148550

VALON KAPPELI TK1 JA PF1.3 YLEISILMANVAIHTO: SIMULOIDUT LÄMMITYSENERGIANTARPEET, KUUKAUDEN TUNNIT

LIITE 2

	Ulkoilma lämpöt.	Ulkoilma absol. kosteus	Ulkoilma suht. kosteus	Ulkoilma entalpia	Lämmitys tilat	Lämmitys IV-kone	Lämmitys IV-kone (ilman LTO:ta)
kk	°C (ka.)	g/kg (ka.)	% (ka.)	kJ/kg (ka.)	Wh	Wh	Wh
1	-6,9	2,4	86,6	-1	20360900	3238585	3238585
2	-7,4	2	83,6	-2,4	17134507	3072634	3072634
3	-3,4	2,5	79,2	2,8	12531503	2874626	2874626
4	2,4	3,4	73,9	10,8	6138696	1716979	1716979
5	9,6	4,6	61,6	21,2	1288122	829652	829652
6	13	6,2	67,8	28,7	29334	435464	435464
7	15,7	8,2	73,4	36,5	0	168235	168235
8	14,3	8,5	83,6	35,9	10207	301035	301035
9	9,7	6,5	83,7	26	2713536	795379	795379
10	2,9	4,4	87,6	13,9	10034893	1792291	1792291
11	-0,8	3,6	92	8,2	14414573	2249468	2249468
12	-5,6	2,4	87,8	0,3	19997647	2949103	2949103

KOHTEEN TIEDOT

Tilojen lämmityksen tarve	180030 kWh/vuosi
- josta käyttöveden osuus	0 kWh/vuosi
Nykyinen lämmityksen pumppu	3730 kWh/vuosi
Lämmitystehontarve	71,2 kW

ENNEN LÄMPÖPUMPUN ASENNUSTA

Ostoenergia -Öljy (85%)	211800 kWh/vuosi
-Sähkö	3730 kWh/vuosi

LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

Ostoenergia -Sähkö	43415 kWh/vuosi
-Sähkö Lisälämpö	1245 kWh/vuosi

SÄÄSTÖT

Energiansäästö (Kohteen tiedot)	139099 kWh/vuosi
Reduced energy to purchase	167139 kWh/vuosi
CO2 säästöt	53839 kg/vuosi

SÄÄTIEDOT

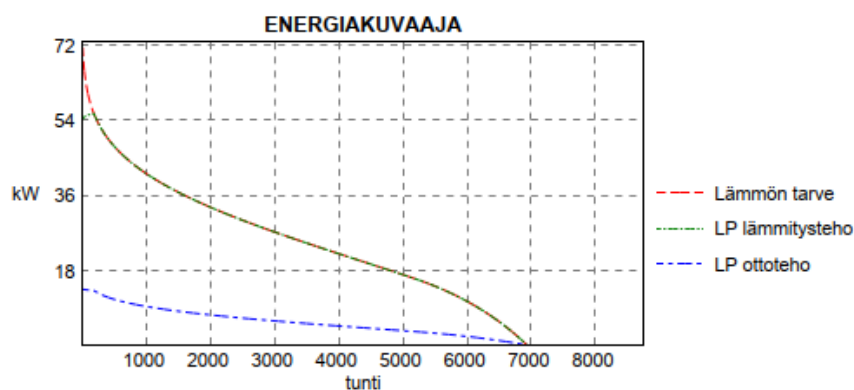
Vuoden keskilämpötila	3,2 °C
Mitoitettava ulkolämpötila, MUT	-32,0 °C

RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

Sisälämpötila	21,0 °C
Tilojen lämmitys pysähtyy	17,0 °C
Lämmitys meno MUT:ssa	60 °C
Lämmitys paluu MUT:ssa	30 °C

ENERGIALASKENNAN TULOKSET**-NIBE F1345-60 med dubbla kompressorer**

LP:n tuottama energia	178785 kWh/vuosi
LP:n kuluttama energia	43022 kWh/vuosi
Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu	1245 kWh/vuosi
Lämmityksen kiertopumppu	393 kWh/vuosi
Energianpeitto	99 %
Vuosilämpökerroin, LP	4,2
Vuosilämpökerroin, järjestelmä	4,0
Kiinteä tai vaihteleva lauhdutus	Vaihteleva
Lämpöpumpun teho MUT:ssa	54,3 kW
Ottoteho MUT:SSA	13,4 kW
Laskennallinen lisäteho	16,8 kW
Tehopeitto	76 %
Tasapainolämpötila	-21,1 °C

**ENERGIKAIVO**

Aktiivinen porausyvyys	1419 m
Energian otto	98 kWh/m
Tehon otto	32 W/m
Lambda kallio	3,0 W/mK
Tulevan keruuliuksen keskilämpötila	0,0 °C

KOHTEEN TIEDOT

Tilojen lämmityksen tarve	180030 kWh/vuosi
- josta käyttöveden osuus	0 kWh/vuosi
Nykyinen lämmityksen pumppu	3730 kWh/vuosi
Lämmitystehontarve	71,2 kW

ENNEN LÄMPÖPUMPUN ASENNUSTA

Ostoenergia -Öljy (85%)	211800 kWh/vuosi
-Sähkö	3730 kWh/vuosi

LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

Ostoenergia -Sähkö	40699 kWh/vuosi
-Sähkö Lisälämpö	1119 kWh/vuosi

SÄÄSTÖT

Energiansäästö (Kohteen tiedot)	141942 kWh/vuosi
Reduced energy to purchase	169982 kWh/vuosi
CO2 säästöt	54446 kg/vuosi

SÄÄTIEDOT

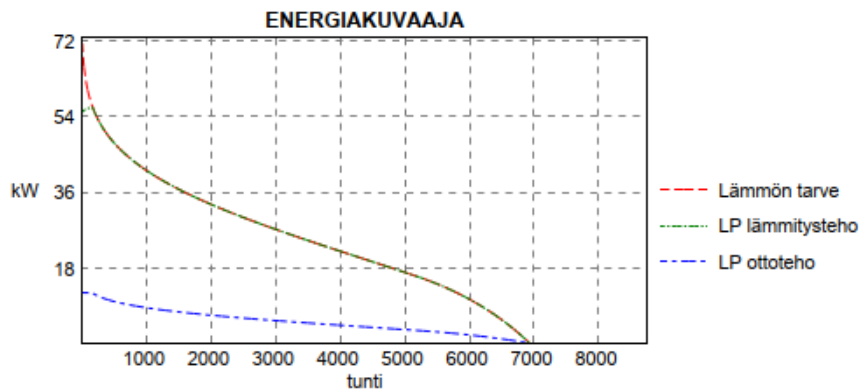
Vuoden keskilämpötila	3,2 °C
Mitoitettava ulkolämpötila, MUT	-32,0 °C

RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

Sisälämpötila	21,0 °C
Tilojen lämmitys pysähtyy	17,0 °C
Lämmitys meno MUT:ssa	45 °C
Lämmitys paluu MUT:ssa	25 °C

ENERGIALASKENNAN TULOKSET**-NIBE F1345-60 med dubbla kompressorer**

LP:n tuottama energia	178911 kWh/vuosi
LP:n kuluttama energia	40115 kWh/vuosi
Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu	1119 kWh/vuosi
Lämmityksen kiertopumppu	584 kWh/vuosi
Energianpeitto	99 %
Vuosilämpökerroin, LP	4,5
Vuosilämpökerroin, järjestelmä	4,3
Kiinteä tai vaihteleva lauhdutus	Vaihteleva
Lämpöpumpun teho MUT:ssa	55,1 kW
Ottoteho MUT:SSA	12,1 kW
Laskennallinen lisäteho	16,1 kW
Tehopeitto	77 %
Tasapainolämpötila	-21,7 °C

**ENERGIKAIVO**

Aktiivinen poraussyvyys	1458 m
Energian otto	98 kWh/m
Tehon otto	32 W/m
Lambda kallio	3,0 W/mK
Tulevan keruuliuksen keskilämpötila	0,0 °C

KOHTEEN TIEDOT

Tilojen lämmityksen tarve	180025 kWh/vuosi
- josta käyttöveden osuus	0 kWh/vuosi
Nykyinen lämmityksen pumppu	3730 kWh/vuosi
Lämmitystehontarve	71,2 kW

ENNEN LÄMPÖPUMPUN ASENNUSTA

Ostoenergia -Öljy (95%)	189500 kWh/vuosi
-Sähkö	3730 kWh/vuosi

LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

Ostoenergia -Sähkö	47935 kWh/vuosi
-Sähkö Lisälämpö	20561 kWh/vuosi

SÄÄSTÖT

Energiansäästö (Kohteen tiedot)	115259 kWh/vuosi
Reduced energy to purchase	121004 kWh/vuosi
CO2 säästöt	50022 kg/vuosi

SÄÄTIEDOT

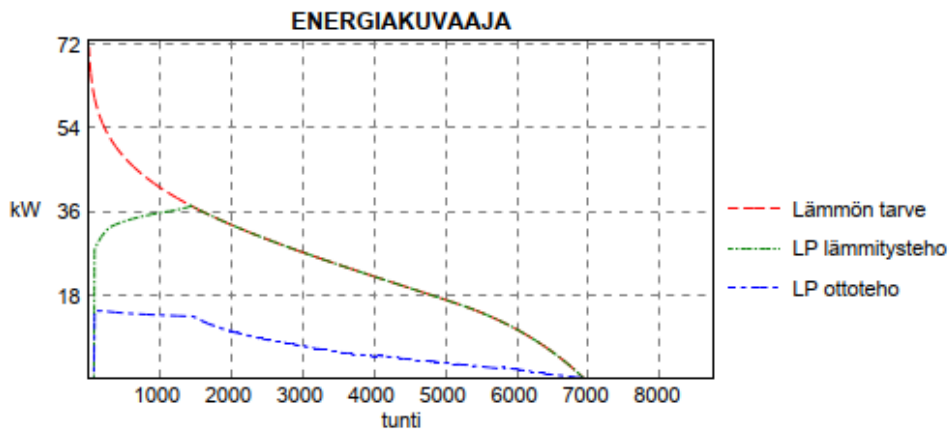
Vuoden keskilämpötila	3,2 °C
Mitoittava ulkolämpötila, MUT	-32,0 °C

RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

Sisälämpötila	21,0 °C
Tilojen lämmitys pysähtyy	17,0 °C
Lämmitys meno MUT:ssa	60 °C
Lämmitys paluu MUT:ssa	30 °C

ENERGIALASKENNAN TULOKSET

-NIBE F2120-20 3*400 V	3 kpl
LP:n tuottama energia	159464 kWh/vuosi
LP:n kuluttama energia	46881 kWh/vuosi
Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu	20561 kWh/vuosi
Lämmityksen kiertopumppu	1054 kWh/vuosi
Energianpeitto	89 %
Vuosilämpökerroin, LP	3,4
Vuosilämpökerroin, järjestelmä	2,6
Kiinteä tai vaihteleva lauhdutus	Vaihteleva
Lämpöpumpun teho MUT:ssa	0,0 kW
Ottoteho MUT:ssa	0,0 kW
Laskennallinen lisäteho	71,2 kW
Tehopeitto	0 %
Tasapainolämpötila	-8,6 °C



KOHTEEN TIEDOT

Tilojen lämmityksen tarve	180025 kWh/vuosi
- josta käyttöveden osuus	0 kWh/vuosi
Nykyinen lämmityksen pumppu	3730 kWh/vuosi
Lämmitystehontarve	71,2 kW

ENNEN LÄMPÖPUMPUN ASENNUSTA

Ostoenergia -Öljy (95%)	189500 kWh/vuosi
-Sähkö	3730 kWh/vuosi

LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

Ostoenergia -Sähkö	44511 kWh/vuosi
-Sähkö Lisälämpö	22766 kWh/vuosi

SÄÄSTÖT

Energiansäästö (Kohteen tiedot)	116478 kWh/vuosi
Reduced energy to purchase	122223 kWh/vuosi
CO2 säästöt	50157 kg/vuosi

SÄÄTIEDOT

Vuoden keskilämpötila	3,2 °C
Mitoitettava ulkolämpötila, MUT	-32,0 °C

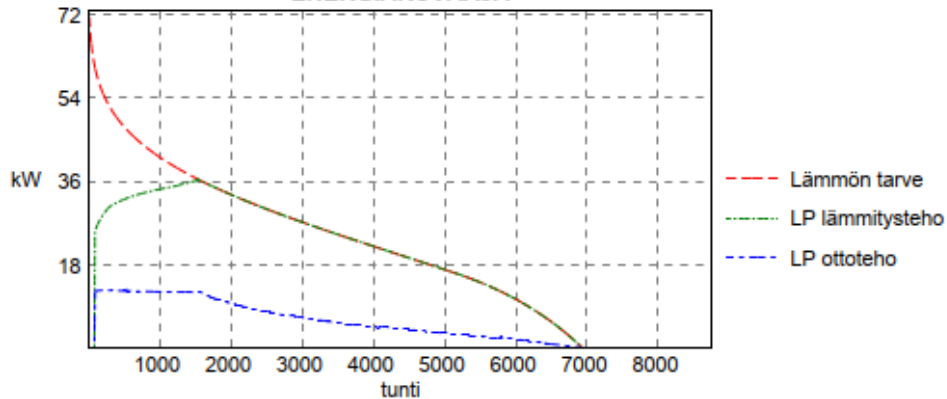
RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

Sisälämpötila	21,0 °C
Tilojen lämmitys pysähtyy	17,0 °C
Lämmitys meno MUT:ssa	45 °C
Lämmitys paluu MUT:ssa	25 °C

ENERGIALASKENNAN TULOKSET

-NIBE F2120-20 3*400 V	3 kpl
LP:n tuottama energia	157259 kWh/vuosi
LP:n kuluttama energia	43177 kWh/vuosi
Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu	22766 kWh/vuosi
Lämmityksen kiertopumppu	1334 kWh/vuosi
Energianpeitto	87 %
Vuosilämpökerroin, LP	3,6
Vuosilämpökerroin, järjestelmä	2,7
Kiinteä tai vaihteleva lauhdutus	Vaihteleva
Lämpöpumpun teho MUT:ssa	0,0 kW
Ottoteho MUT:SSA	0,0 kW
Laskennallinen lisäteho	71,2 kW
Tehopeitto	0 %
Tasapainolämpötila	-8,1 °C

ENERGIAKUVAAJA



NAKERTAJan SEURAKUNTAKOTI G3130 POISTOPUHALLIN: SIMULOIDUT LÄMMITYSENERGIANTARPEET, KUUKAUDEN TUNNIT

LIITE 7

	Ulkoilma lämpöt.	Ulkoilma absol. kosteus	Ulkoilma suht. kosteus	Ulkoilma entalpia	Lämmitys tilat	Lämmitys IV-kone	Lämmitys IV-kone (ilman LTO:ta)
kk	°C (ka.)	g/kg (ka.)	% (ka.)	kJ/kg (ka.)	Wh	Wh	Wh
1	-6,9	2,4	86,6	-1	481173,1	3498125	3498125
2	-7,4	2	83,6	-2,4	463368,2	3218140	3218140
3	-3,4	2,5	79,2	2,8	438893,7	2925945	2925945
4	2,4	3,4	73,9	10,8	390462,2	1944301	1944301
5	9,6	4,6	61,6	21,2	302968,7	956165	956165
6	13	6,2	67,8	28,7	244546,7	499363	499363
7	15,7	8,2	73,4	36,5	169993,9	265041	265041
8	14,3	8,5	83,6	35,9	216680,5	386418	386418
9	9,7	6,5	83,7	26	325185	909818	909818
10	2,9	4,4	87,6	13,9	383329	1925965	1925965
11	-0,8	3,6	92	8,2	406059,5	2439001	2439001
12	-5,6	2,4	87,8	0,3	484082,5	3286559	3286559

NAKERTAJan SEURAKUNTAKOTI G3101 LTO-KONE ROOTTORI: SIMULOIDUT LÄMMITYSENERGIANTARPEET, KUUKAUDEN TUNNIT LIITE 8

	Ulkoilma lämpöt.	Ulkoilma absol. kosteus	Ulkoilma suht. kosteus	Ulkoilma entalpia	Lämmitys tilat	Lämmitys IV-kone	Lämmitys IV-kone (ilman LTO:ta)
kk	°C (ka.)	g/kg (ka.)	% (ka.)	kJ/kg (ka.)	Wh	Wh	Wh
1	-6,9	2,4	86,6	-1	3767814	1612701	7873989
2	-7,4	2	83,6	-2,4	3132619	1469804	7105124
3	-3,4	2,5	79,2	2,8	2240888	999141	6097768
4	2,4	3,4	73,9	10,8	1273696	347460	3708517
5	9,6	4,6	61,6	21,2	383888,5	35324	1693601
6	13	6,2	67,8	28,7	161033,6	0	914810
7	15,7	8,2	73,4	36,5	57747,87	858	407830
8	14,3	8,5	83,6	35,9	180391,4	142	641911
9	9,7	6,5	83,7	26	580549,7	41083	1577365
10	2,9	4,4	87,6	13,9	1827578	459324	4281925
11	-0,8	3,6	92	8,2	2599161	779748	5168469
12	-5,6	2,4	87,8	0,3	3725441	1303796	6603308

NAKERTAJan SEURAKUNTAKOTI G3102 LTO KONE, KENNO: SIMULOIDUT LÄMMITYSENERGIANTARPEET, KUUKAUDEN TUNNIT

LIITE 9

	Ulkoilma lämpöt.	Ulkoilma absol. kosteus	Ulkoilma suht. kosteus	Ulkoilma entalpia	Lämmitys tilat	Lämmitys IV-kone	Lämmitys IV-kone (ilman LTO:ta)
kk	°C (ka.)	g/kg (ka.)	% (ka.)	kJ/kg (ka.)	Wh	Wh	Wh
1	-6,9	2,4	86,6	-1	2328990	1072398	2769843
2	-7,4	2	83,6	-2,4	2055906	975731	2519440
3	-3,4	2,5	79,2	2,8	1594656	831534	2301405
4	2,4	3,4	73,9	10,8	964748,1	433648	1488441
5	9,6	4,6	61,6	21,2	340622,8	99403	671352
6	13	6,2	67,8	28,7	151597,6	21661	353006
7	15,7	8,2	73,4	36,5	76930,27	5423	161874
8	14,3	8,5	83,6	35,9	186029,1	15584	242384
9	9,7	6,5	83,7	26	486087,3	123257	681111
10	2,9	4,4	87,6	13,9	1199899	427568	1467141
11	-0,8	3,6	92	8,2	1624508	668227	1913403
12	-5,6	2,4	87,8	0,3	2294389	987225	2589219

KOHTEEN TIEDOT

Tilojen lämmityksen tarve	85697 kWh/vuosi
- josta käyttöveden osuus	3000 kWh/vuosi
Lämmitystehontarve	33,0 kW

ENNEN LÄMPÖPUMPUN ASENNUSTA

Ostoenergia -Öljy (90%)	95219 kWh/vuosi
-------------------------	-----------------

LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

Ostoenergia -Sähkö	24511 kWh/vuosi
-Sähkö Lisälämpö	2538 kWh/vuosi

SÄÄSTÖT

Energiansäästö (Kohteen tiedot)	58648 kWh/vuosi
Reduced energy to purchase	68170 kWh/vuosi
CO2 säästöt	22817 kg/vuosi

SÄÄTIEDOT

Vuoden keskilämpötila	3,2 °C
Mitoittava ulkolämpötila, MUT	-32,0 °C

RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

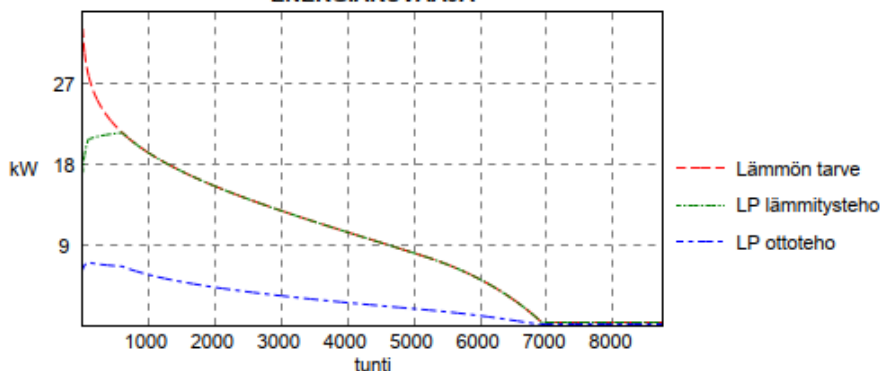
Sisälämpötila	21,0 °C
Tilojen lämmitys pysähtyy	17,0 °C
Lämmitys meno MUT:ssa	80 °C
Lämmitys paluu MUT:ssa	50 °C

ENERGIALASKENNAN TULOKSET

-NIBE F1345-24 med dubbla kompressorer

LP:n tuottama energia	83159 kWh/vuosi
LP:n kuluttama energia	24303 kWh/vuosi
Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu	2538 kWh/vuosi
Lämmityksen kiertopumppu	208 kWh/vuosi
Energianpeitto	97 %
Vuosilämpökerroin, LP	3,4
Vuosilämpökerroin, järjestelmä	3,2
Kiinteä tai vaihteleva lauhdutus	Vaihteleva
Lämpöpumpun teho MUT:ssa	17,1 kW
Ottoteho MUT:ssa	6,3 kW
Laskennallinen lisäteho	15,9 kW
Tehopeitto	52 %
Tasapainolämpötila	-14,7 °C

ENERGIAKUVAAJA



ENERGIAKAIVO

Aktiivinen poraussyvyys	511 m
Energian otto	118 kWh/m
Tehon otto	29 W/m
Lambda kallio	3,0 W/mK
Tulevan keruuliuksen keskilämpötila	0,0 °C

KOHTEEN TIEDOT

Tilojen lämmityksen tarve	85697 kWh/vuosi
- josta käyttöveden osuus	3000 kWh/vuosi
Lämmitystehontarve	33,0 kW

ENNEN LÄMPÖPUMPUN ASENNUSTA

Ostoenergia -Öljy (90%)	95219 kWh/vuosi
-------------------------	-----------------

LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

Ostoenergia -Sähkö	21935 kWh/vuosi
-Sähkö Lisälämpö	2005 kWh/vuosi

SÄÄSTÖT

Energiansäästö (Kohteen tiedot)	61758 kWh/vuosi
Reduced energy to purchase	71280 kWh/vuosi
CO2 säästöt	23439 kg/vuosi

SÄÄTIEDOT

Vuoden keskilämpötila	3,2 °C
Mitoittava ulkolämpötila, MUT	-32,0 °C

RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

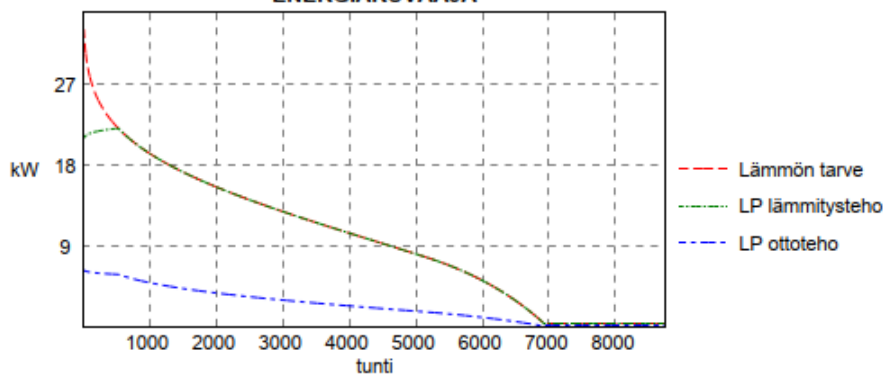
Sisälämpötila	21,0 °C
Tilojen lämmitys pysähtyy	17,0 °C
Lämmitys meno MUT:ssa	70 °C
Lämmitys paluu MUT:ssa	40 °C

ENERGIALASKENNAN TULOKSET

-NIBE F1345-24 med dubbla kompressorer

LP:n tuottama energia	83692 kWh/vuosi
LP:n kuluttama energia	21726 kWh/vuosi
Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu	2005 kWh/vuosi
Lämmityksen kiertopumppu	209 kWh/vuosi
Energianpeitto	98 %
Vuosilämpökerroin, LP	3,9
Vuosilämpökerroin, järjestelmä	3,6
Kiinteä tai vaihteleva lauhdutus	Vaihteleva
Lämpöpumpun teho MUT:ssa	21,0 kW
Ottoteho MUT:SSA	6,3 kW
Laskennallinen lisäteho	12,1 kW
Tehopeitto	63 %
Tasapainolämpötila	-15,6 °C

ENERGIAKUVAAJA



ENERGIKAIVO

Aktiivinen porausvyövyys	543 m
Energian otto	117 kWh/m
Tehon otto	29 W/m
Lambda kallio	3,0 W/mK
Tulevan keruuliuksen keskilämpötila	0,0 °C

KOHTEEN TIEDOT

Tilojen lämmityksen tarve	85697 kWh/vuosi
- josta käyttöveden osuus	3000 kWh/vuosi
Lämmitystehontarve	33,0 kW

ENNEN LÄMPÖPUMPUN ASENNUSTA

Ostoenergia -Öljy (90%)	95219 kWh/vuosi
-------------------------	-----------------

LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

Ostoenergia -Sähkö	19342 kWh/vuosi
-Sähkö Lisälämpö	1665 kWh/vuosi

SÄÄSTÖT

Energiansäästö (Kohteen tiedot)	64690 kWh/vuosi
Reduced energy to purchase	74212 kWh/vuosi
CO2 säästöt	24025 kg/vuosi

SÄÄTIEDOT

Vuoden keskilämpötila	3,2 °C
Mitoitettava ulkolämpötila, MUT	-32,0 °C

RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

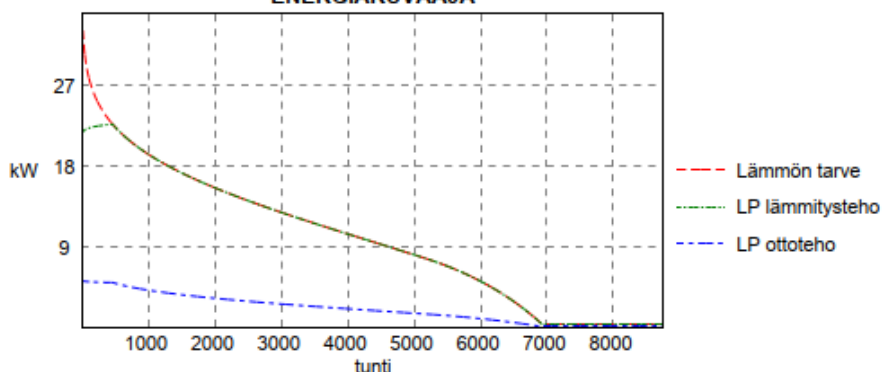
Sisälämpötila	21,0 °C
Tilojen lämmitys pysähtyy	17,0 °C
Lämmitys meno MUT:ssa	60 °C
Lämmitys paluu MUT:ssa	30 °C

ENERGIALASKENNAN TULOKSET

-NIBE F1345-24 med dubbla kompressorer

LP:n tuottama energia	84032 kWh/vuosi
LP:n kuluttama energia	19133 kWh/vuosi
Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu	1665 kWh/vuosi
Lämmityksen kiertopumppu	209 kWh/vuosi
Energianpeitto	98 %
Vuosilämpökerroin, LP	4,4
Vuosilämpökerroin, järjestelmä	4,1
Kiinteä tai vaihteleva lauhdutus	Vaihteleva
Lämpöpumpun teho MUT:ssa	21,8 kW
Ottoteho MUT:ssa	5,2 kW
Laskennallinen lisäteho	11,3 kW
Tehopeitto	66 %
Tasapainolämpötila	-16,5 °C

ENERGIAKUVAAJA



ENERGIKAIVO

Aktiivinen poraussyvyys	574 m
Energian otto	116 kWh/m
Tehon otto	30 W/m
Lambda kallio	3,0 W/mK
Tulevan keruuliuksen keskilämpötila	0,0 °C

NAKERTAJan SEURAKUNTAKOTI, VESI-ILMALÄMPÖJÄRJESTELMÄ 80/50 °C, ENERGIA-
LASKELMA

LIITE 13

KOHTEEN TIEDOT

Tilojen lämmityksen tarve	85697 kWh/vuosi
- josta käyttöveden osuus	3000 kWh/vuosi
Lämmitystehontarve	33,0 kW

ENNEN LÄMPÖPUMPUN ASENNUSTA

Ostoenergia -Öljy (90%)	95219 kWh/vuosi
-------------------------	-----------------

LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

Ostoenergia -Sähkö	25806 kWh/vuosi
-Sähkö Lisälämpö	18985 kWh/vuosi

SÄÄSTÖT

Energiansäästö (Kohteen tiedot)	40907 kWh/vuosi
Reduced energy to purchase	50428 kWh/vuosi
CO2 säästöt	19546 kg/vuosi

SÄÄTIEDOT

Vuoden keskilämpötila	3,2 °C
Mitoittava ulkolämpötila, MUT	-32,0 °C

RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

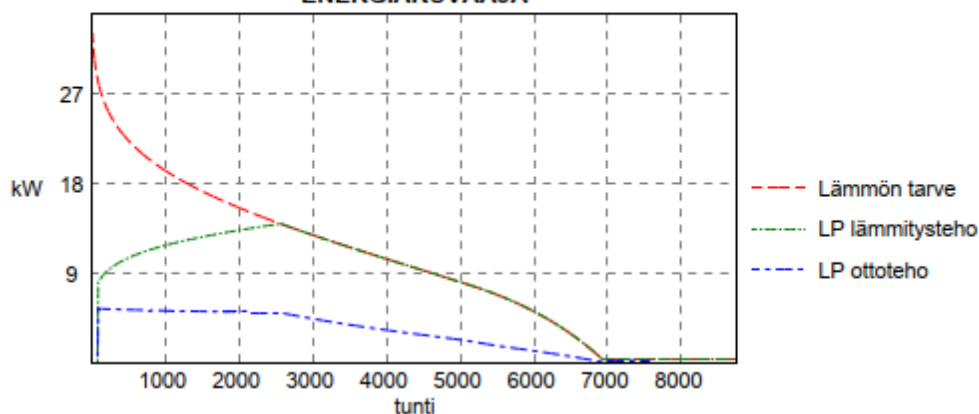
Sisälämpötila	21,0 °C
Tilojen lämmitys pysähtyy	17,0 °C
Lämmitys meno MUT:ssa	80 °C
Lämmitys paluu MUT:ssa	50 °C

ENERGIALASKENNAN TULOKSET

-NIBE F 2300-20

LP:n tuottama energia	66712 kWh/vuosi
LP:n kuluttama energia	24209 kWh/vuosi
Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu	18985 kWh/vuosi
Lämmityksen kiertopumppu	1596 kWh/vuosi
Energianpeitto	78 %
Vuosilämpökerroin, LP	2,8
Vuosilämpökerroin, järjestelmä	1,9
Kiinteä tai vaihteleva lauhdutus	Vaihteleva
Lämpöpumpun teho MUT:ssa	0,0 kW
Ottoteho MUT:SSA	0,0 kW
Laskennallinen lisäteho	33,0 kW
Tehopeitto	0 %
Tasapainolämpötila	-3,5 °C

ENERGIAKUVAAJA



NAKERTAJan SEURAKUNTAKOTI, VESI-ILMALÄMPÖJÄRJESTELMÄ 70/40 °C, ENERGIA-
LASKELMA

LIITE 14

KOHTEEN TIEDOT

Tilojen lämmityksen tarve	85697 kWh/vuosi
- josta käyttöveden osuus	3000 kWh/vuosi
Lämmitystehontarve	33,0 kW

ENNEN LÄMPÖPUMPUN ASENNUSTA

Ostoenergia -Öljy (90%)	95219 kWh/vuosi
-------------------------	-----------------

LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

Ostoenergia -Sähkö	23823 kWh/vuosi
-Sähkö Lisälämpö	19560 kWh/vuosi

SÄÄSTÖT

Energiansäästö (Kohteen tiedot)	42314 kWh/vuosi
Reduced energy to purchase	51836 kWh/vuosi
CO2 säästöt	19825 kg/vuosi

SÄÄTIEDOT

Vuoden keskilämpötila	3,2 °C
Mitoittava ulkolämpötila, MUT	-32,0 °C

RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

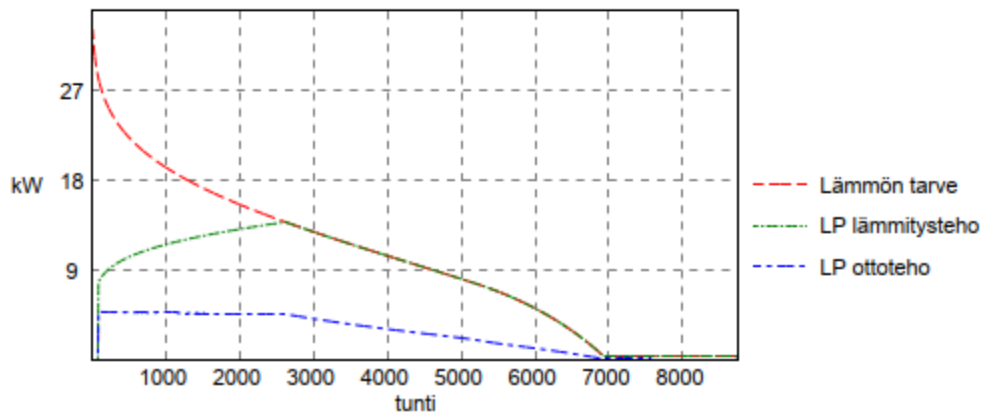
Sisälämpötila	21,0 °C
Tilojen lämmitys pysähtyy	17,0 °C
Lämmitys meno MUT:ssa	70 °C
Lämmitys paluu MUT:ssa	40 °C

ENERGIALASKENNAN TULOKSET

-NIBE F 2300-20

LP:n tuottama energia	66137 kWh/vuosi
LP:n kuluttama energia	22241 kWh/vuosi
Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu	19560 kWh/vuosi
Lämmityksen kiertopumppu	1582 kWh/vuosi
Energianpeitto	77 %
Vuosilämpökerroin, LP	3,0
Vuosilämpökerroin, järjestelmä	2,0
Kiinteä tai vaihteleva lauhdutus	Vaihteleva
Lämpöpumpun teho MUT:ssa	0,0 kW
Ottoteho MUT:ssa	0,0 kW
Laskennallinen lisäteho	33,0 kW
Tehopeitto	0 %
Tasapainolämpötila	-3,2 °C

ENERGIAKUVAAJA



NAKERTAJan SEURAKUNTAKOTI, VESI-ILMALÄMPÖJÄRJESTELMÄ 60/30 °C, ENERGIA-
LASKELMA

LIITE 15

KOHTEEN TIEDOT

Tilojen lämmityksen tarve	85697 kWh/vuosi
- josta käyttöveden osuus	3000 kWh/vuosi
Lämmitystehontarve	33,0 kW

ENNEN LÄMPÖPUMPUN ASENNUSTA

Ostoenergia -Öljy (90%)	95219 kWh/vuosi
-------------------------	-----------------

LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

Ostoenergia -Sähkö	21779 kWh/vuosi
-Sähkö Lisälämpö	20128 kWh/vuosi

SÄÄSTÖT

Energiansäästö (Kohteen tiedot)	43790 kWh/vuosi
Reduced energy to purchase	53312 kWh/vuosi
CO2 säästöt	20117 kg/vuosi

SÄÄTIEDOT

Vuoden keskilämpötila	3,2 °C
Mitoittava ulkolämpötila, MUT	-32,0 °C

RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

Sisälämpötila	21,0 °C
Tilojen lämmitys pysähtyy	17,0 °C
Lämmitys meno MUT:ssa	60 °C
Lämmitys paluu MUT:ssa	30 °C

ENERGIALASKENNAN TULOKSET

-NIBE F 2300-20

LP:n tuottama energia	65569 kWh/vuosi
LP:n kuluttama energia	20210 kWh/vuosi
Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu	20128 kWh/vuosi
Lämmityksen kiertopumppu	1569 kWh/vuosi
Energianpeitto	77 %
Vuosilämpökerroin, LP	3,2
Vuosilämpökerroin, järjestelmä	2,0
Kiinteä tai vaihteleva lauhdutus	Vaihteleva
Lämpöpumpun teho MUT:ssa	0,0 kW
Ottoteho MUT:SSA	0,0 kW
Laskennallinen lisäteho	33,0 kW
Tehopeitto	0 %
Tasapainolämpötila	-3,0 °C

ENERGIAKUVAAJA

