



Jarno Kuokkanen

Energiatehokkuuden toimenpiteet energia-avustuksen saavutta- miseksi rivitaloyhtiössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

23.5.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Jarno Kuokkanen
Otsikko:	Energiatehokkuuden toimenpiteet energia-avustuksen saavuttamiseksi rivitaloyhtiössä
Sivumäärä:	66 sivua, 10 liitettä
Aika:	23.5.2022
Tutkinto:	insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma:	talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	LVI-tekniikka
Ohjaajat:	projektipäällikkö Herkko Suhonen yliopettaja Rauno Holopainen

Insinöörityön tarkoituksena oli selvittää, millaisia energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä voidaan kustannustehokkaasti tehdä olemassa olevaan rivitaloyhtiöön. Tavoitteena oli myös tutkia eri taloteknisiä järjestelmiä ja niiden investointien kannattavuutta kaukolämmitteisessä rakennuksessa. Insinöörityössä tutustuttiin rakennusten energiankulutukseen ja kulutustietojen perusteella laskettavaan lämmitystehontarpeeseen. Kulutustietoja verrattiin IDA ICE -ohjelmistolla laskettuun energiantarpeeseen.

Insinöörityössä vertailtiin eri mahdollisuuksia, joilla ostoenergian kulutusta kaukolämpölämmitteisessä rivitalossa voitaisiin pienentää. Kyseisessä rivitaloyhtiössä tällaisia vaihtoehtoja ovat esimerkiksi maalämpöpumppu, koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla, ilmalämpöpumppu ja aurinkopaneelit. Työssä tarkasteltiin myös näiden vaihtoehtojen vaikutusta taloyhtiön hiilidioksidipäästöihin.

Lämpöpumppujärjestelmiä tarkasteltiin kaukolämmön rinnalle kytkettäväksi, jolloin lämmitys tapahtuisi pääosin lämpöpumpulla. Laskelmat osoittivat, että pelkkä kaukolämmön korvaaminen lämpöpumpulla ei riitä energia-avustuksen myöntämisen perusteeksi, vaan on tehtävä muitakin toimenpiteitä, joilla energiatehokkuutta voidaan parantaa.

Työssä saatujen tulosten perusteella kustannus- ja energiatehokkain vaihtoehto on asentaa taloyhtiöön maalämpöpumppu, noin 180 m² aurinkopaneeleita sekä asentaa jokaiseen huoneistoon koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto sekä ilmalämpöpumppu. Näillä toimenpiteillä yhtiö saisi täysimääräisen energia-avustuksen. Tällä tavoin ostoenergiakustannusten säästöksi laskettiin noin 45 % ja lämmityksestä koituvia hiilidioksidipäästöjä saatiin vähennettyä 55 % nykyiseen järjestelmään verrattuna.

Työssä laadittujen elinkaarilaskelmien avulla esitettiin yllä mainittujen investointien taloudellinen kannattavuus nykyarvon laskentaperiaatteella. Insinöörityön lopputuloksena syntyi tutkimus elinkaarilaskelman laatimisesta sekä tulokset vertailevana E-lukuna.

Avainsanat: energiatehokkuus, energiankulutus, energia-avustus, elinkaarilaskelma, E-luku, IDA ICE

Abstract

Author: Jarno Kuokkanen
Title: Energy-efficiency Measures to Ensure Energy Subsidy for Terraced House Company
Number of Pages: 66 pages + 10 appendices
Date: 23 May 2022

Degree: Master of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering

Supervisors: Herkko Suhonen, Project Manager
Rauno Holopainen, Principal Lecturer

The purpose of this Master's thesis was to establish ways to improve energy efficiency in a cost-efficient manner in a terraced house. The objective was also to investigate building services engineering and the cost-efficiency of different systems for a building using district heating. The project examined the energy consumption of the buildings, and compared the information with the energy requirement calculated with the IDA ICE programme.

The project compared various options for decreasing the portion of bought energy in a terraced house that uses district heating. Furthermore, the effect of the options on the CO₂ emissions of the house were studied.

The results of the project showed that the most energy-efficient and cost-efficient option would be to install a ground source heat pump and approximately 180 m² solar panels for the building, together with mechanical ventilation and an air source heat pump in every apartment. With these measures, the housing company could apply for an energy subsidy.

The thesis provides essential information on life cycle cost analysis and energy use intensity (EUI).

Key words: Energy efficiency, energy consumption, energy subsidy, life cycle cost analysis, energy use intensity (EUI), IDA ICE

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tutkimusmenetelmät	2
3	Rakennusten energiatehokkuus ja vähähiilisyys	2
3.1	Energian käytön historiaa	2
3.2	Energiatehokkuutta ohjaavat asetukset, säädökset ja ohjeet	3
3.3	Suomen kasvihuonepäästöjen vähentämisen tavoitteet ja suunnitelmat	5
3.4	Rivitalojen osuus lämmitysenergiankulutuksessa ja päästöjen vähentämisen tavoitteissa	5
3.5	Kaukolämpöenergia ja kustannukset	7
3.6	Rakennusten vedenkulutus ja jätevesi	10
3.7	Vedenkäyttö ja käyttövesiverkoston perussäätö	12
3.8	Rakennusten sähkönkulutus	15
3.9	Vuodot	16
3.10	Sähköenergia	19
3.11	Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen	20
4	Energiatehokas korjaaminen	22
4.1	Kiinteistönhoito	22
4.2	Korjauksien ja parannusten ajoittaminen	23
4.3	Hiilijalanjälki	24
4.4	Hiilikädenjälki	27
4.5	Kannattavuuslaskelmat	27
5	Kohdekiinteistö	34
5.1	Kohteen perustiedot	34
5.2	Kohteen järjestelmäkuvaus	38
5.3	Kohteen kulutustiedot	40
5.4	Kohteen lämmityksen ohjaus, ylläpito ja sisälämpötila	43
5.5	Kohteen ilmanvaihto	43
5.6	Kohteen tekninen kiinteistönhoito	44
5.7	Kohteen energiatehokas korjaaminen	44

5.7.1	Aurinkopaneelit	44
5.7.2	Huoneistokohtainen ilmanvaihto	45
5.7.3	Ilmalämpöpumput huoneistoittain	46
5.7.4	Maalämpöpumppu	47
5.7.5	Huoneistokohtaiset vesimittarit	50
6	Kohdekiinteistön E-luku ja energia-avustus	51
6.1	Energia-avustuskelpoisuus ja avustuksen määrä	52
6.2	Kohteen E-luku	53
6.3	Kohteen simulointitulosten kustannukset	56
6.4	Kohteen simulointitulosten takaismaksuajat	57
6.5	Energia-avustuslaskenta lähes nollaenergia tasoa tavoitellessa	59
6.6	Toimenpiteiden vaikutus hiilidioksidipäästöihin	60
7	Yhteenveto	61
	Lähteet	64
	Liitteet	
	Liite 1: Högfors-merkkiset radiaattorit ja konvektorit	
	Liite 2: Huippuimurit ja ILMO-talotuulettimen mallien vastaavuus nykypäivän laitteisiin	
	Liite 3: Esimerkki huoneiston painehäviön mitoituksesta	
	Liite 4: Ilmanvaihtokoneiden mitoitus huoneistotyyppittäin	
	Liite 5: Huoneistokohtaisten ilmanvaihtokoneiden ostoenergiakulutuksen säästö simulointuna IDA ICE -ohjelmalla	
	Liite 6: Ostoenergian säästö maalämpöpumpun asentamisen jälkeen simulointuna IDA ICE -ohjelmalla	
	Liite 7: Ote energia-avustushakemuksen lomakkeesta ARA3221	
	Liite 8: Nykyarvon, sisäisen koron, vuotuisen säästön ja takaisinmaksuajan laskenta ja sen eri vaiheet	
	Liite 9: IDA ICE -simulointiraportti, jossa simuloitu yhdistetyt toimenpiteet	
	Liite 10: IDA ICE -simulointiraportti / lähtötilanne	

Lyhenteet

E-luku: Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku energiamuotojen kertoimella painotettuna

EU: Euroopan unioni

LTO: Lämmöntalteenotto

PTS: Pitkän aikavälin suunnitelma

PV-paneeli: Aurinkopaneeli (photovoltaic panel)

U-arvo: Lämmönläpäisykerroin

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia vuonna 1986 rakennetussa rivitaloyhtiössä sen energiankulutus sekä selvittää, minkälaisia vaihtoehtoja taloyhtiöllä on parantaa sen energiatehokkuutta korjaus- ja muutostöiden yhteydessä. Työn tavoitteena oli myös selvittää, millaisilla toimenpiteillä taloyhtiö voi hakea energia-avustusta ja kuinka paljon avustuksia on mahdollista myöntää insinööriyön kohteena olevalle taloyhtiölle. Insinööriyössä laskettiin, mikä olisi näiden vaihtoehtoisten energiatehokkuuden parantamisinvestointien takaisinmaksuaika. Insinööriyössä selvitettiin lisäksi keinoja yhtiön hiilijalanjäljen pienentämiseksi.

Insinööriyössä perehdyttiin lisäksi siihen, minkälaisilla laeilla, direktiiveillä, säädöksillä ja asetuksilla rakentamisen energiatehokkuutta ohjataan. Näiden EU:sta sekä kansalliselta tasolta tulevien vaatimusten tavoitteena ja tarkoituksena on parantaa rakennusten energiatehokkuutta, lisätä uusiutuvan energian käyttöä, pienentää energiakulutusta ja vähentää hiilidioksidipäästöjä. Nämä vaatimukset on otettava huomioon sekä uudisrakentamisessa että rakennusten muutos- ja korjausrakentamisessa.

Rakennusten ikääntyessä ja asumismukavuuden lisääntyessä myös asumiseen liittyvät tarpeet kasvavat. Lisäksi yhdyskuntarakenteen tiivistäminen, palveluiden tehostaminen, energiatehokkuus, päästöjen pienentäminen ja taloudellisuus asumisessa velvoittavat kehittämään keinoja olemassa olevan rakennuskannan kokonaistaloudelliseen kustannustehokkaaseen korjaamiseen tilanteessa, jossa energiakustannukset globaalisti nousevat. Nämä seikat luovat painetta kehitykseen niin yksityisellä kuin yhteiskunnallisella sektorilla. (1.)

Tämän insinööriyön osana on mallinnettu ja simuloitu IDA ICE -ohjelmalla rivitaloyhtiön kaikki 28 huoneistoa ja rakennusta vuodelta 1986 olemassa olevia paperisia piirustuksia ja suunnitelmia hyväksikäyttäen. Taloyhtiö saa digitaalisena käyttöönsä IDA ICE -ohjelmistolla tehdyt mallinnukset sekä CADMATIC-ohjelmistolla dokumentoidut lämmitys- ja vesijohtosuunnitelmat insinööriyön valmistuttua.

2 Tutkimusmenetelmät

Insinööriyön tutkimusaineistona on käytetty energiaa käsittelevää kirjallisuutta, yliopistojen ja teknillisten korkeakoulujen tekemiä tutkimuksia, tilastoja EU:n päästötavoitteiksi, Suomen valtion laatimaa pitkänaikavälin strategiaa, Motivan ohjeita sekä valmistajien tietoja.

Kohteeseen liittyvät tutkimusaineistot on hankittu kiinteistön arkistoista, sähkö- ja kaukolämmönkulutustiedot isännöitsijältä sekä tehty paikallisesti mittauksia olemassa olevien asiakirjojen tiedon oikeellisuuden varmistamiseksi.

IDA ICE -simuloinnit tehtiin olemassa olevia skannattuja pohjapiirustuksia hyödyntäen.

3 Rakennusten energiatehokkuus ja vähähiilisyys

3.1 Energian käytön historiaa

Lämmön tuotantoon ja ruoan valmistukseen käytetyn tulen tarkkaa historiallista ajankohtaa on mahdoton selvittää. Kiistatonta on kuitenkin se, että sitä käytettiin ruoanvalmistukseen 30 000–20 000 vuotta sitten Euroopassa. Ruoan kypsentämällä ja valmistamisella uskotaan olleen tärkeä vaikutus evoluutioon, sillä se laajensi merkittävästi ravintovaihtoehtoja. Kypsentämisen omaksuminen johti fyysisiin muutoksiin ja käyttäytymiseen ja lopulta toimi porttina monimutkaiseen sosiaalistumiseen. Esihistoriassa kaikki ruoan kypsentäminen perustui avotulen käyttämiseen. On mahdotonta arvioida polttoaineen, esimerkiksi puun tyypillistä käytön hyötysuhdetta, kun tulta voitiin käyttää ruoan valmistuksessa lukuisin eri tavoin erilaisissa tilanteissa. ”Kokeet osoittavat, että 2–10 % puun energiasta päätyy hyödylliseksi ruoan valmistuksen lämmöksi, ja uskovat oletukset viittaavat siihen, että vuotuinen puunkulutus oli maksimissaan 100–150 kg henkeä kohden.” (2, s. 38.) Tämä tarkoittaa sitä, että osittain tuoretta ja osittain kuivaa puuta käytettäessä ruoan valmistukseen kului energiaa päivässä 4–6 MJ, mikäli

päivittäinen pelkästään lihasta saatu energiatarve olisi ollut noin 8 MJ. (2, s. 38–39.) Voidaan ajatella, että näistä lähtökohdista sivilisaatio alkoi kehittymään.

Energiantuotantomuotojen kannalta kehitys on ollut varsin järkevää ja hidasta. Kun puun käyttäminen energian lähteenä keksittiin jo varsin varhaisessa vaiheessa, teollistumisen aikakaudella kivihiili ohitti puun energiakulutuksella mitaten vasta 1900-luvun ensimmäisinä vuosina. Kivihiilen aikakausi puuhun verrattuna oli varsin lyhyt. Kivihiihtä energiatiheämpi, helposti säilytettävä ja kuljetettava öljy ohitti kivihiilen energiakulutuksella mitaten 1970-luvulla. Öljyn tilastoitu käyttö alkoi kuitenkin 1870-luvulla, joten öljyllä meni noin 100 vuotta ohittaa kivihiili energiakulutuksessa. (3, s. 318.)

Öljy mahdollisti polttomoottorin kehityksen, kemikaaliteollisuuden laajentumisen, maatalouden koneellistamisen, massaturismin ja paljon muuta. Maakaasu ja ydinvoima alkoivat korvata öljyä sähköntuotannossa 1970-luvun öljykriisien jälkeen. 1990-luvulla ydinvoiman ja maakaasun osuus oli kasvanut kolmesta prosentista 26 %:iin. Jokaisen uuden energialähteen kasvu on ollut prosentuaalisesti suuri ja tasoittunut myöhemmin. 1990-luvulla eli 32 vuotta sitten 90 % kaikesta energiasta tuotettiin fossiilisilla polttoaineilla. Tällä hetkellä fossiilisten polttoaineiden osuus on yli 80 %. (3, s. 319.)

3.2 Energiatehokkuutta ohjaavat asetukset, säädökset ja ohjeet

Rakentamista ohjaavat erilaiset säädökset ja ohjeet, joita asettavat muun muassa Euroopan unioni sekä kansallisella tasolla ympäristöministeriö (4). Lain-säädännön tavoitteena on parantaa rakennusten energiatehokkuutta, lisätä uusiutuvan energian käyttöä, pienentää energiakulutusta ja vähentää hiilidioksidipäästöjä. (5.)

Euroopan unionin säädöksistä vahvin ovat asetukset. Ne ovat sitovia säädöksiä, joita on sovellettava kaikilta osin kaikkialla Euroopan unionin jäsenvaltiossa niiden voimaantulohetkestä alkaen. Direktiiveissä puolestaan määritellään ne

tavoitteet, joihin jäsenmaiden tulee päästä. Jäsenvaltiot saavat kuitenkin päättää itse laeista, joilla direktiivit toteutetaan. Jäsenvaltiot päättävät itse direktiivin täytäntöönpanemisesta. Euroopan unionin päätökset puolestaan muistuttavat asetuksia, mutta ne sitovat niitä tahoja, joille ne on osoitettu, ja ne asetetaan koskemaan vain tiettyä organisaatiota tai jäsenvaltiota. Asetuksia sovelletaan sellaisenaan. Euroopan unionin lausunnolla toimielimet voivat ilmaista kantansa, mutta niillä ei ole oikeudellista velvoitetta jäsenvaltioille. Lausuntoja hyödyntäen unionin toimielimet voivat ilmaista kantansa ja suosituksen aiheista. (4.)

Teknisiä velvoitteita on harvoin määritelty laissa, vaan teknisissä velvoitteissa viitataan standardeihin. Lain muuttaminen on hidasta ja raskasta, joten standardia on helpompi muuttaa ajantasaiseksi.

Suomessa energiatehokkuusdirektiivillä säädetään EU-tason ja kansallisen tason energiatehokkuustavoitteista, kansallisista energiansäästövelvoitteesta ja energiatehokkuuden edistämisen toimenpiteistä. Energiatehokkuusdirektiivi ohjaa mittaamaan rakennusten energiatehokkuutta primääripohjaisesti ja vaatii lähes nollaenergiarakentamista uusien rakennusten osalta. Koska uudet rakennukset täyttävät jo aiemman 2010/31/EU energiatehokkuusdirektiivin, muutettuna direktiivillä 2018/844/EU, artikla 2a keskittyy direktiivi ennen vuotta 2020 valmistuneisiin asuinrakennuksiin. (6; 7.)

Yhteiskunnallisella sektorilla Suomi Euroopan unionin jäsenmaana on sitoutunut parantamaan energiatehokkuutta. Euroopan unionilla on tavoitteena vähentää kasvihuonepäästöjä 80–95 % vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoteen 1990. Suomi on laatinut pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategian vuosille 2020–2050, joka kohdistuu vuoteen 2020 mennessä valmistuneeseen asuin- ja palvelurakennuskantaan. ”Strategian laatiminen oli osa vuonna 2018 voimaan tullutta uudistettua EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiiviä” (7, s. 2) ja strategian tavoitteena on erittäin energiatehokas ja lähes hiilivapaa rakennuskanta vuoteen 2050 mennessä. (7, s. 5.)

Lisäksi EU-maiden ilmastopoliittista kehitystä säädellään monin eri tavoin muun muassa erilaisilla kansainvälisillä sopimuksilla, yhteisillä tavoitteilla ja strategioilla (8, s. 12).

3.3 Suomen kasvihuonepäästöjen vähentämisen tavoitteet ja suunnitelmat

Euroopan unionilla on tavoitteena vähentää kasvihuonepäästöjä 80–95 % vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoteen 1990 (7, s. 2). EU:n tiekartta COM/2018/773 tavoittelee, että vuoteen 2050 mennessä asuinrakennusten lämmitysenergian kulutuksen tulisi laskea 53–69 % vuoteen 2005 verrattuna. Kun laskua verrataan vuoden 2005 rakennusten lämmitysenergian kulutukseen, saadaan Suomen etenemissuunnitelman energiankulutuksen laskuksi 55 %. (7, s. 2.)

Suomen etenemissuunnitelman mukaan lämmitysenergian kulutus (brutto) laskee vuodesta 2020 vuoteen 2050 mennessä noin 50 %. Ostoenergian kulutus vähenee samana ajankohtana noin 60 %. Vuonna 2020 Suomen CO₂-päästöistä (46 MtCO₂) asuin- ja ei-asuinrakennusten lämmityksen osuus on 7,8 MtCO₂ (17 %). Rakennuskannan lämmitysenergian kulutuksesta johtuvat hiilidioksidipäästöt laskevat noin 92 % vuosina 2020–2050. (7, s. 2.)

3.4 Rivitalojen osuus lämmitysenergiankulutuksessa ja päästöjen vähentämisen tavoitteissa

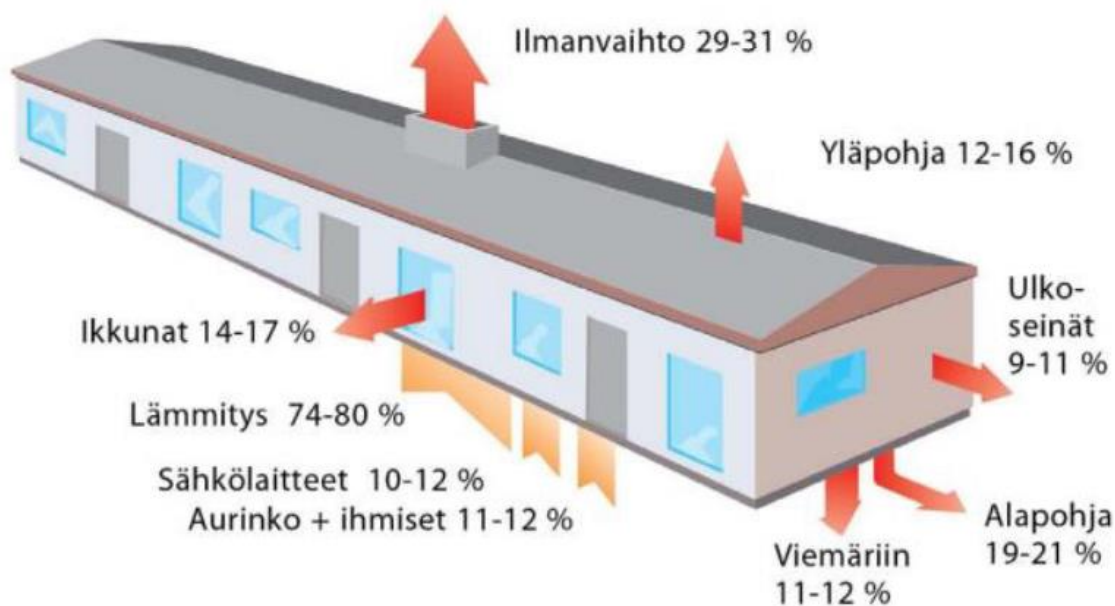
Energiatodistuksen laatiminen tuli Suomessa pakolliseksi EU:n direktiivin myötä vuonna 2008.

Vanhat rakennusmääräyskokoelmat tiukensivat vuosina 2010–2012 välisenä aikana rakennusten energiatehokkuusvaatimuksia. Lisäksi kokonaisenergiakulutuksen tarkastelussa siirryttiin käyttämään laskennallista energiatehokkuuden vertailulukua eli E-lukua vuonna 2008. E-luvulla tarkoitetaan energiamuotojen kertoimilla painotettua rakennusten vuotuista ostoenergian kulutusta rakennustyyppin normaalilla käytöllä lämmitettyä nettoalaa kohti. (9.)

Ympäristöministeriö antoi asetuksen rakennuksen energiatodistuksesta vuonna 2018. Asetuksen taustalla on rakennusten energiatehokkuutta koskeva EU-direktiivi, jonka myötä maankäyttö- ja rakennuslakia muutettiin siten, että 1.1.2018 alkaen uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia. (6.)

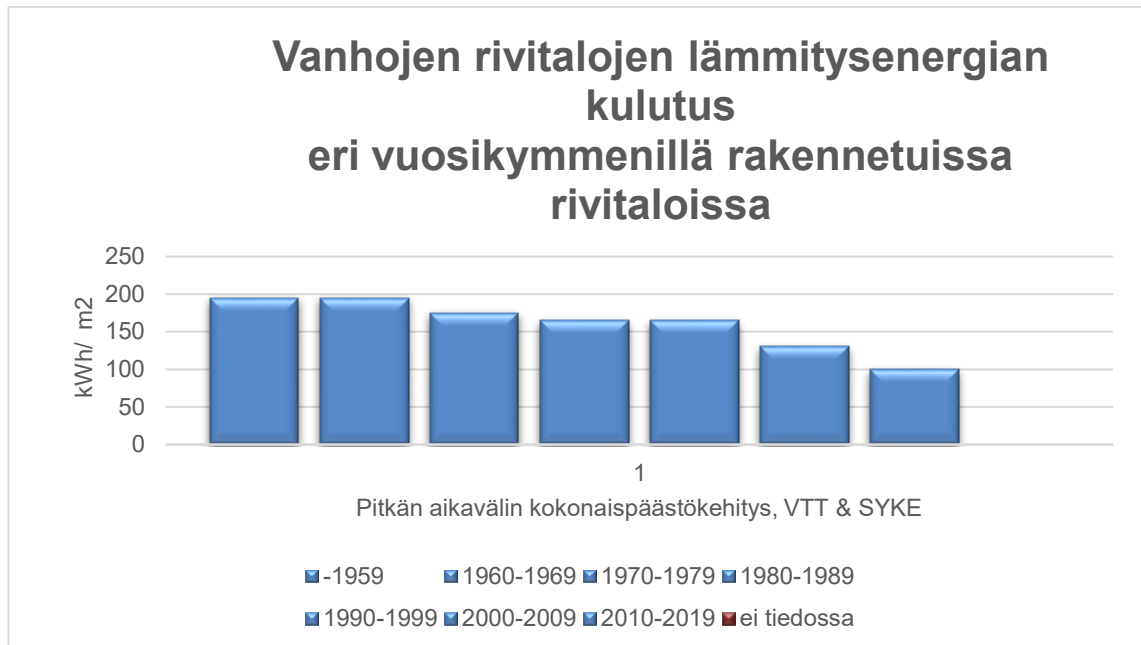
Tilastokeskuksen mukaan Suomen kaikissa rivitaloissa on yhteensä noin 400 000 asuntoa 82 000 rakennuksessa, joista 89 % on vakituisesti asuttuja. Energiatodistusten perusteella energiatehokkuudeltaan heikkokuntoisia rivitalorakennuksia on noin 4 %. Rivitalojen osuus koko Suomen rakennuskannan lämmityksen päästöistä on vajaa 10 %. Noin 0,6 MtCO₂ on hiilidioksidipäästöjä. (7, s. 12–15.)

Rivitaloihin kohdistuvaa lämmitysenergian kulutusta ja lämpöhäviöitä voidaan tarkastella lämpöenergiataseella. Kuvasta 1 ilmenee, että suurimmat lämpöhäviöt vuonna 1960–1990 rakennetuissa rivitaloissa aiheutuvat ilmanvaihdosta, alapohjasta, ikkunoista ja lämpimästä käyttövedestä. Kuvasta käy ilmi, että tiloihin tulee lämpökuormaa lämmityksen (74–80 %) lisäksi sähkölaitteista sekä auringon säteilystä ja ihmisistä. (10.)



Kuva 1. Rivitalon lämpötase 60–90-luvun rivitaloissa (10, s. 19).

Kuvassa 2 on esitetty Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia vuosina 2020–2050 -tutkimuksen tutkimustulokset rivitaloista kWh/m²-muodossa.



Kuva 2. Eri vuosikymmenillä valmistuneiden rivitalojen lämmitysenergian kulutus (8, s. 3).

Koko Suomen rivitalojen rakennuskannasta noin 60 % lämpenee kaukolämmöllä, noin 25 % ja loput muilla kuten lämpöpumpuilla tai öljyllä. (7, s. 16.)

3.5 Kaukolämpöenergia ja kustannukset

Kaukolämmön hinnoittelussa energialaitoksilla on usein kolmiosainen kustannusrakenne. Se koostuu liittymismaksusta, perus- tai tehomaksusta ja energiamaksusta. Jotta kaukolämpö lämmitysmuotona olisi kilpailukykyinen, sen tulisi olla kohtuullinen muihin lämmitysmuotoihin verrattuna. Liittymismaksun tulisi kattaa miltei kokonaan investointikustannukset. Liittymismaksuun sisältyy oikeus liittyä energialaitoksen kaukolämpöverkkoon ja liitosputkiston runkohaarasta mittauskeskukseen saakka. (11, s. 470–471.)

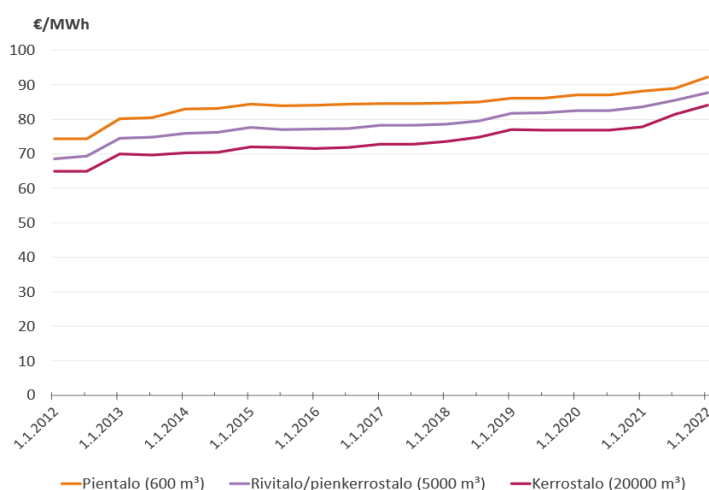
Energiamaksu on energian hinta, jonka hinnoittelee energialaitos. Energiamaksun hinnalla katetaan energialaitoksen jakelukustannuksia, kuten polttoaine- ja pumppauskustannukset, jotka nekin ovat riippuvaisia monista eri seikoista. Energiamaksut ovat kuitenkin miltei aina korkeammat kuin sille aiheutuneet jakelukustannukset. Energialaitos on osakeyhtiö, jonka tarkoituksena osakeyhtiölainkin mukaan tuottaa voittoa osakkeenomistajille. Toinen syy energiamaksun korkeampaan hintaan voi olla se, että sillä pyritään ohjaamaan asiakkaita järkevään lämmönkulutukseen. (11, s. 470–471.)

Energian perusmaksu on muodoltaan kiinteä, ja se määräytyy asiakkaan tarvitseman lämmitystehon mukaan. Perusmaksua kutsutaan myös tehomaksuksi. Perusmaksun määräytymisperusteet ovat huipputeho ja tilausvesivirta. Loppukäyttäjän on aina maksettava perusmaksu, vaikka energiaa ei käytettäisi lainkaan. (11.)

Kuvassa 3 esitetään kaukolämmön hintakehitys vuosina 2012–2022. Hintaan on sisällytetty energia- ja tehomaksu sekä verot. Tyypirakennukset on ominaisuuksiltaan määritetty vastaamaan 2000-luvulla rakennettavien tyypillisten asuinrakennusten ominaisuuksia. (12.)

Kaukolämmön hinta uudisrakennuksissa (€/MWh)

Teho- ja energiamaksu, sis. verot



- Hinta sisältää kaikki verot, teho- ja energiamaksut ja mahdolliset muut vuotuiset kaukolämpömaksut. Ei sisällä liittymismaksuja.

Kuva 3. Kaukolämmön keskimääräinen hintakehitys Suomessa vuosina 2012–2022 (12, s. 2).

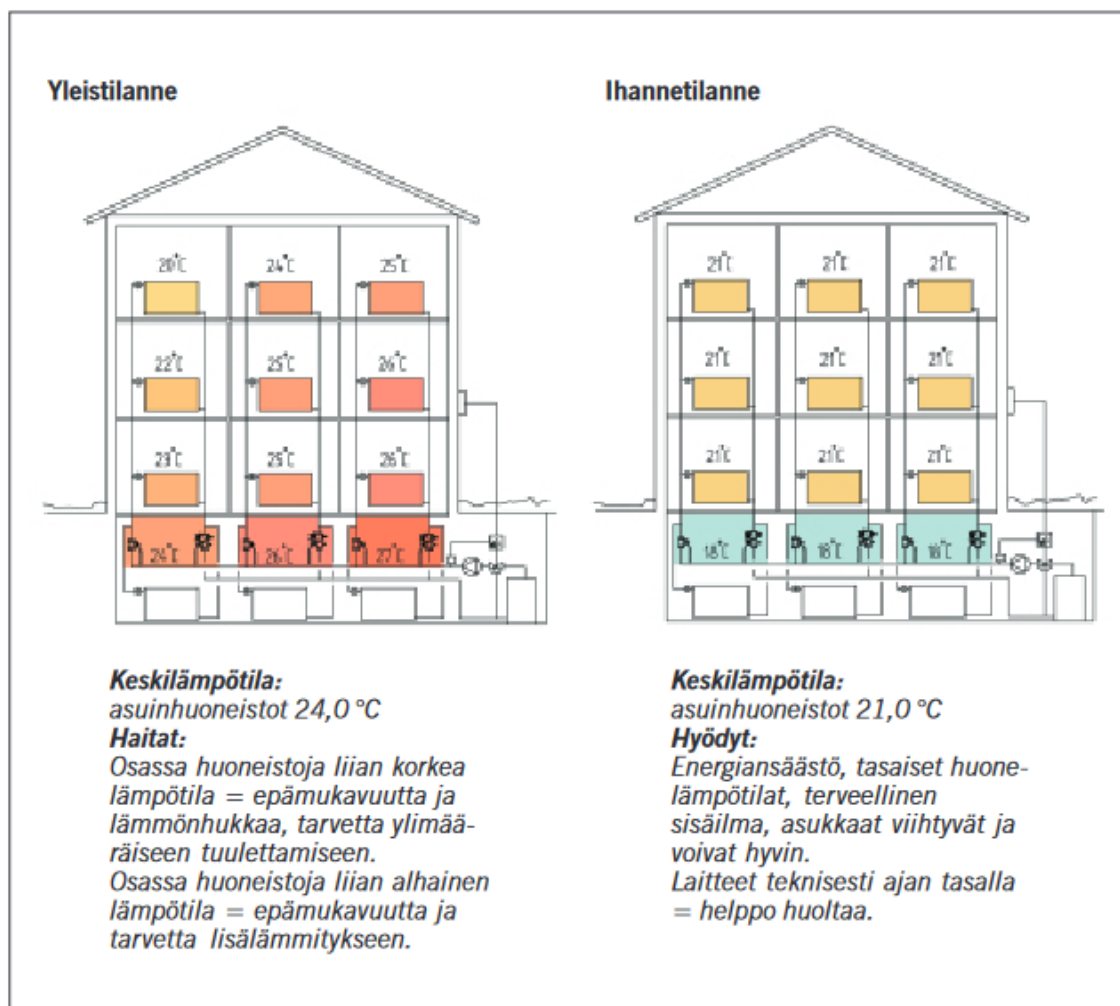
Energialaitos toimii kaukolämmön tuottajana ja toimittajana. Lämpöenergiaa siirretään kaukolämmöstä kiinteistön lämmitysjärjestelmään lämmönsiirtimien avulla. Kun kaukolämpöverkoston kuuma vesi virtaa lämmönsiirtimen läpi, johdetaan lämpöenergia lämpimästä vedestä kylmempään veteen eli kiinteistön lämmitysjärjestelmässä kiertävään veteen.

Kiinteistön lämmitysjärjestelmää on säädettävä ja huollettava säännöllisesti, jotta sen toimintavarmuus säilyy. Lämmitysverkoston perussäädöllä hienosäädetään järjestelmän tarkoituksenmukainen toiminta siten, että kaikilla lämmitysjärjestelmän palvelualueilla on suunnitellut lämpötilat. Perussäädöllä varmistetaan myös se, että lämmönjakelu jakautuu tasaisesti kaikkiin huoneistoihin. Parhaan perussäätötuloksen saavuttamiseksi on uusittava myös paluutulpat, linjasäätöventtiilit sekä termostaatit sekä asetetaan patteriventtiileihin suunnitellut esisäätöarvot. Perussäädön yhteydessä varmistetaan, että asukkaan kalustus ei aiheuta ongelmia termostaatin toiminnan kannalta. Tarvittaessa voidaan asentaa irtoanturit. (13.)

Radiaattorin tai konvektorin termostaatti pyrkii ylläpitämään huonelämpötilaa sisäänrakennetun anturin ja säätömekanismin avulla. Jos termostaatti on peitetty esimerkiksi verhoilla tai käyttäjä on kalustanut huoneen siten, ettei anturi ole yhteydessä kunnolla huoneen ilmatilaan, se säätää silloin huoneen lämpötilaa väärin. Asukas kokee operatiivisen lämpötilan sopivaksi sen ollessa 20–22 °C. Operatiiviseen lämpötilaan vaikuttaa myös sisäilman lämpötilan lisäksi ilmavirtaukset ja ympäröivien pintojen lämpötila. Operatiivinen lämpötila vaikuttaa myös energiankulutukseen, koska kylmien pintojen takia on huonetta lämmitettävä enemmän, jotta vedon tunne voidaan poistaa. (14.)

Motivan arvion mukaan 75 % Suomen asuinrakennuskannasta on puutteellisesti säädetty. Arvion mukaan perussäätämättömissä kiinteistöissä lämpötilaerot huoneistoiden välillä ovat keskimäärin enemmän kuin 3 °C, eivätkä 6 °C:n

lämpötilaerot ole harvinaisia. Oheinen kuva 4 havainnollistaa ongelmatilanteen, jossa verkostoa ei ole säädetty. (13.)



Kuva 4. Periaatekuva patteriverkoston tilanteesta ennen perussäätöä ja sen jälkeen (13).

3.6 Rakennusten vedenkulutus ja jätevesi

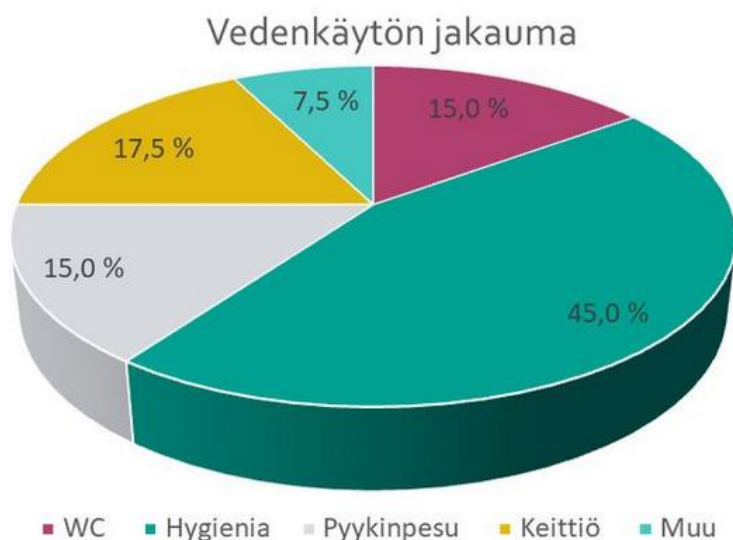
Vesihuoltolaitosten verkostot koostuvat vesijohto-, jätevesiviemäri- ja hulevesiviemäriverkostosta sekä pumppaamoista. Vesihuoltolaitos pitää huolen, että sen vesijohtoverkoston liittyneet kiinteistöt saavat käyttöövettä tarpeidensa mukaisesti ja että kiinteistöissä tuotetut jäte- ja hulevedet käsitellään siten, että tämä on yhteiskunnallisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä. (15.)

Kiinteistöjen vedenkulutuksissa on suuria vaihteluja. Vesihuoltolaitoksen maksut jakautuvat energialaitoksen maksujen mukaisesti kolmeen osaan: liittymismaksuihin, perusmaksuihin ja käyttömaksuihin. Vesihuoltolaitos perii liittymismaksut, kun kiinteistö liittyy tonttivesijohdolla tai viemärillä vesihuoltolaitoksen runkojohtoihin. Käyttömaksut perustuvat kiinteistön päävesimittarin mittaustulokseen. Mitatusta mittaustuloksesta lasketaan myös jätevesimaksu, vaikka käyttövedellä kasteltaisiin puutarhan kukkia ja vedet eivät menisi jätevesiviemäriin. Jokaisesta liittymästä peritään myös perusmaksu, jonka suuruus määräytyy kiinteistötyypin, palvelukertoimen ja kerrosalan perusteella. Vaikka kiinteistössä ei käytettäisi yhtään vettä, perusmaksu on silti maksettava. (16.)

Motivan vuonna 2009 sekä vuosina 2019–2020 tekemät tutkimukset osoittavat, että suomalaisten vedenkulutus on viimeisen kymmenen vuoden aikana laskenut. Vuonna 2009 tehdyn tutkimuksen mukaan suomalainen henkilö kuluttaa tyypillisesti vettä 60–270 dm³ asukasta kohden vuorokaudessa. Tämän vuonna 2009 tehdyn tutkimuksen mukaan, mikäli huoneistoon on asennettu huoneistokohtainen vedenmittaus, kulutus on ollut keskimääräisesti 130 dm³/vrk/asukas. Ilman huoneistokohtaista vesimittaria vedenkulutus on ollut 150 dm³/vrk/asukas. (17.) 10 vuotta myöhemmin keskimääräinen vedenkulutus oli 119 dm³/vrk huoneistoissa, joihin oli asennettu vesimittarit. Niissä huoneistoissa, joissa ei ollut huoneistokohtaista vesimittaria, laskutettiin kulutuksen perusteella 129 dm³/vrk (17; 18.)

Vedenkulutus jakautuu tutkimustulosten perusteella kuvan 5 osoittamalla tavalla (18). Tutkimus osoittaa, että vedenkulutuksella on suuria eroja kotitalouksien välillä. Vaihteluväli tutkimuksen perusteella oli noin 50–300 dm³/vrk (17). Käytetystä vedestä 60–65 % on kylmää vettä ja 35–40 % lämmintä vettä. Tutkimuksessa huomattiin, että hygienian osuus vedenkulutuksesta oli suurin, mikä selittynee hyvin suihkussa käymisellä. (18.)

Kuvasta 5 ilmenee, että peseytymiseen vettä kuluu 45 %, keittiössä 17,5 %, WC:ssä 15 % ja pyykinpesussa 15 %, lisäksi muuta vedenkulutusta on noin 7,5 % (18).



Kuva 5. Vuoden 2020 vedenkäyttötutkimuksen mukainen vedenkäytön jakauma (18).

3.7 Vedenkäyttö ja käyttövesiverkoston perussäätö

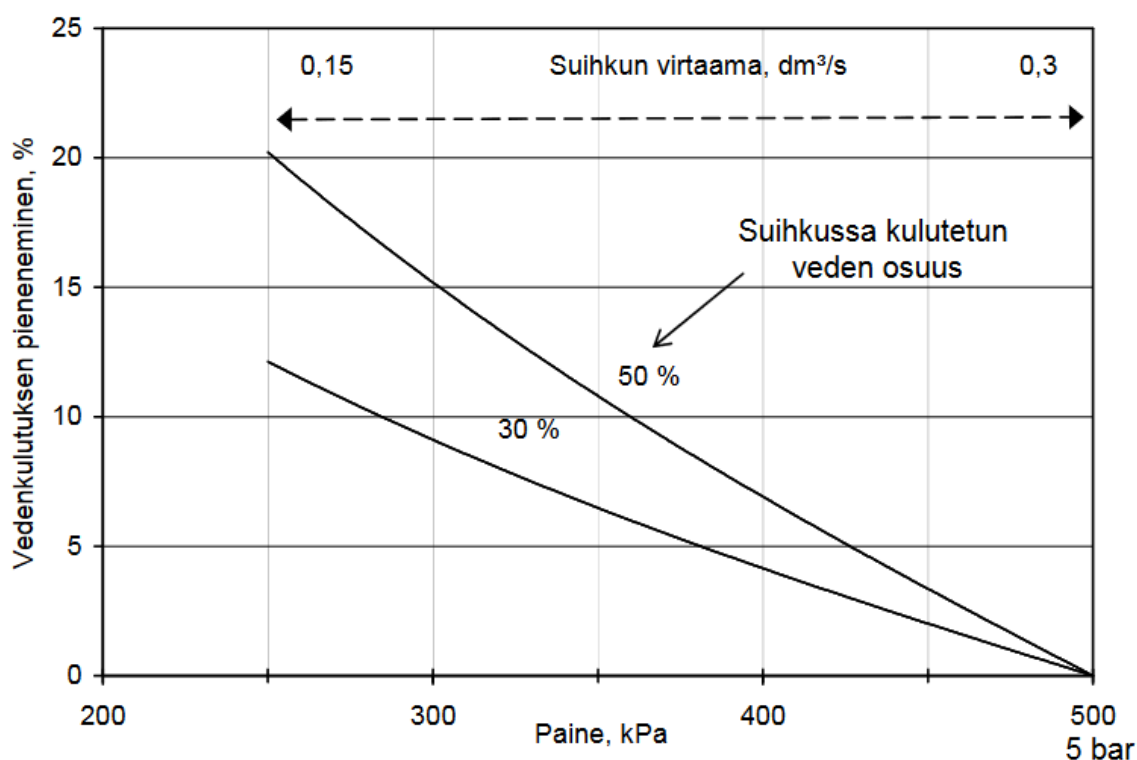
Toimiva ja tiivis käyttövesiverkosto ei vuoda, ja energiansäästö vesikustannuksissa perustuu veden kulutuksen pienentämiseen. Veden säästöön voidaan vaikuttaa kulutustottumuksia muuttamalla ja vettä säästäviä vesikalusteita suosimalla. Liian suuret kulutustasot ja massiiviset vuodot todetaan kulutusseuranalla. Näiden takia vesimittarilukemia on tarkkailtava ja huolehdittava valvonnasta ja epäkohtiin on puututtava välittömästi.

Rakennusten talousveden kulutukseen ja lämpimän käyttöveden energiakulutukseen voidaan vaikuttaa merkittävästi sekä laitevalinnoilla että käyttötottumuksilla. Eri keinojen yhteisvaikutus esimerkiksi korjauskohteissa on suuri eikä yksittäisten toimenpiteiden vaikutusta, kuten huoneistokohtaisen vedenkulutuksen mittauksen ja laskutuksen osuutta, voi selkeästi erotella. Sekä veden että lämmitysenergian säästöön vaikuttavia keinoja ovat esimerkiksi

- vesijohtoverkoston oikea mitoitus ja toteutus
- vesilaitteiston paineen ja vesikalusteiden virtaamien säätö

- kiinteistökohtaisen vakiopaineventtiin käyttö tarvittaessa
- lämpimän käyttöveden lämpötilan asetus ja kiertojohdon virtaaman mitoitus
- lämpimän käyttövesijärjestelmän lämmöneristys
- vesilaitteiston vesitiiviys ja vuotojen havaittavuus
- WC-laitteiden ja muiden vesikalusteiden huolto
- vedenkulutuksen seuranta ja analysointi
- toistuva asukastiedotus
- huoneistokohtainen vedenkulutuksen mittaus ja laskutus. (17.)

Paineenalennusventtiilillä (ns. vakiopaineventtiili) voidaan saada aikaan merkittävää säästöä vedenkulutuksessa, jos käyttövesiverkoston paine on liian suuri. Esimerkiksi 200 kPa:n paineenalennuksella saadaan pienennettyä kulutusta noin 10–15 % verrattuna sellaiseen tilanteeseen, jossa painetaso olisi 500–600 kPa (kuva 6). Käyttömukavuus ei saa kuitenkaan heiketä paineenalennuksen johdosta. (17.)



Kuva 6. Vesijohtoverkoston paineen vaikutus veden kokonaiskulutukseen, kun parametrina on suihkussa kulutetun veden osuus kokonaiskulutuksesta (17).

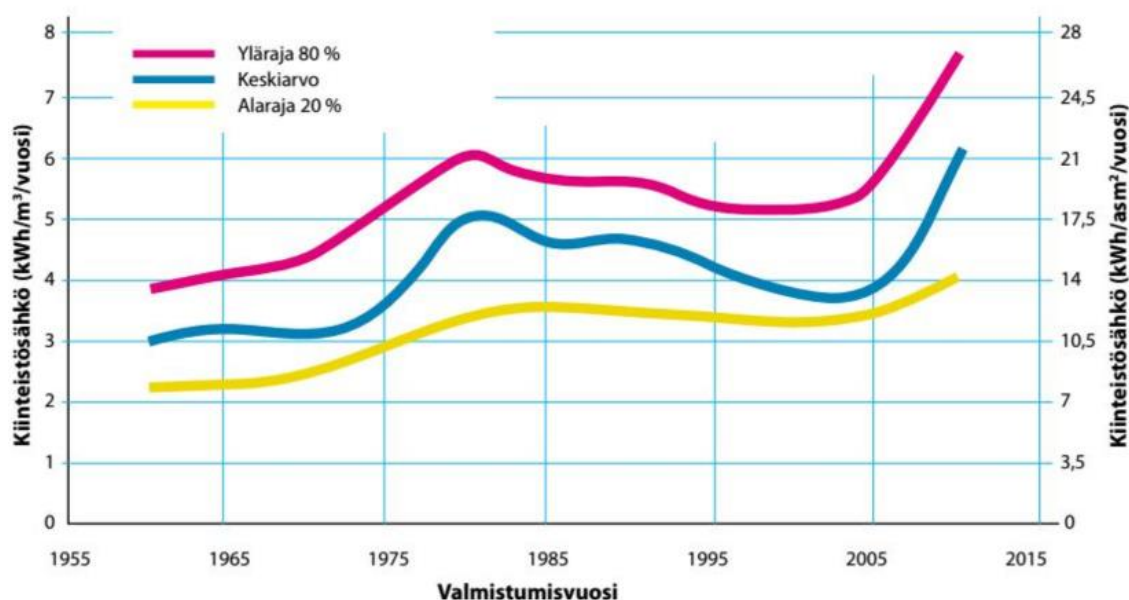
Lämpimän käyttöveden kierron on tarkoitus ylläpitää lämpimän käyttöveden saantia vesijohtoverkosta. Tämä lyhentää lämpimän käyttöveden odotusaikaa ja ehkäisee bakteerien muodostumista, kun lämmin vesi kiertää verkostossa ja on jatkuvasti riittävän kuumaa, vähintään 55 °C. Lämpimän käyttöveden odotusajan olisi käytännössä hyvä olla noin 10 sekuntia. Asetuksen mukaan lämpimälle käyttövedelle sallitaan 20 sekunnin odotusaika. (19.)

Rakennuksen kaukolämmitysmääräykset ja -ohjeet -julkaisu K1 määrää, että lämpimän käyttöveden lämpötilan tulee olla vähintään 55 °C ja enintään 65 °C.

Asetuksen mukaan uudisrakennuksiin ei saa asentaa lämmönluovuttimia, jotka on kytketty lämpimän käyttöveden vesijohtoverkoston.

3.8 Rakennusten sähkönkulutus

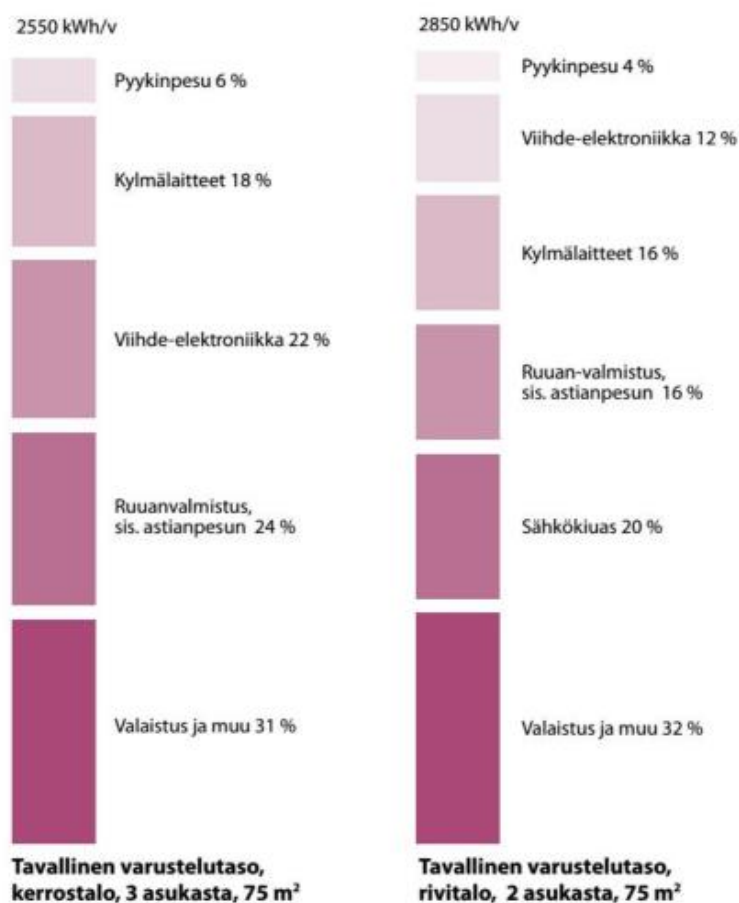
Kiinteistön ja huoneistojen sähkönkulutus muodostuu perusmaksusta ja kulutusmittaukseen perustuvasta energia- ja siirtomaksusta. Sähkönkulutus voidaan jakaa kahteen ryhmään: kiinteistösähkön kulutukseen ja huoneistosähkön kulutukseen. Kiinteistösähköä kulutetaan yleisissä tiloissa, ja tämä ei näy esimerkiksi asukkaan sähkölaskussa, vaan se maksetaan yhtiövastikkeessa tai vuokrassa. Tällaisia ovat esimerkiksi katuvalaistus, lämmityksen pumpput, ajoneuvosuojan sähkölämmitystolpat ja räystässlutukset. Huoneistosähkö on taas sitä, mikä kuluu huoneiston sisällä. Näitä ovat esimerkiksi huoneistos sauna, sähköinen lattialämmitys, viihde-elektroniikka ja ruoanlaittoon liittyvä sähkönkulutus. (10, s. 22.) Kuvassa 7 on esitetty rivitalojen kiinteistösähkön kulutus valmistusvuosien mukaan.



Kuva 7. Rivitalojen kiinteistösähkön kulutus (7, s. 23).

Tyypillisen rivitalohuoneiston huoneistosähkön kulutuksesta valaistus ja muu vievät noin kolmasosan koko huoneiston sähkönkulutuksesta (kuva 8). Kuvassa

esitettyihin kulutustietoihin asukas pystyy itse vaikuttamaan laitevalinnoillaan sekä omilla toimintatavoillaan.



Kuva 8. Huoneistosähkön jakauma tyypillisissä kotitalouksissa asuinkerros- ja rivitaloissa (10, s. 25).

3.9 Vuodot

Rakennuksen ilmanvaihtokerroin kertoo, kuinka monta kertaa rakennuksen ilma vaihtuu tunnissa. Esimerkiksi 0,5 1/h kertoo, että puolet rakennuksen ilmasta vaihtuu yhdessä tunnissa. Vallitsevien asetusten mukaisesti koko huoneiston ulkoilmavirran pitäisi täyttää vähimmäisvaatimukset, kun koko asuinpinta-alaa kohden laskettu ulkoilmavirta olisi vähintään 0,35 dm³/s, m². Tämä vastaa ilmanvaihtokerrointa 0,5 1/h tilassa, jonka huonekorkeus on 2,5 m.

Ilmanvuotoluku q_{50} tarkoittaa rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa:n paine-erolla kokonaissisämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. Yksikkönä käytetään $m^3 / (h m^2)$. (20.)

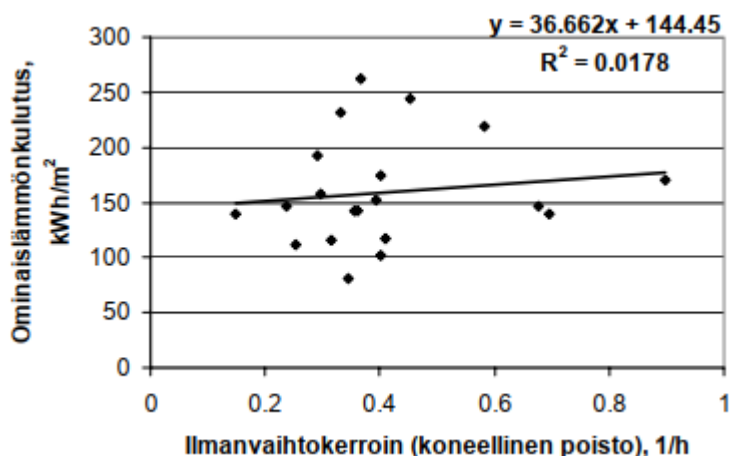
Ilmanvuotoluku n_{50} kertoo, montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa:n (pascal) paine-ero ulkoilmaan nähden. Rakennuksen sisätilavuus mitataan ulkovaipan sisäpintojen mukaan, välipohjia ei lasketa ilmatilavuuteen. Yksikkönä käytetään 1/h. Rakennuksen tyypilliset n_{50} luvut vaihtelevat välillä 1–7 1/h. (21, s. 103.)

Asetuksessa 1048/2017 liitteessä 1 (kuva 9) on säädetty, että mikäli olemassa olevan rakennuksen ilmanpitävyyttä q_{50} ei pystytä selvittämään laskemalla energiatehokkuusasetuksen 1010/2017 mukaisesti eikä mittaamalla rakennuksen ajantasaisista suunnitelmista, käytetään liitteen 1 taulukon 4 mukaisia arvoja rakennusluvan vireilletulovuoden perusteella (22).

Rakennusluvan vireilletulovuosi	- 1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-2018-
Rakennuksen ilmanvuotoluku n_{50}	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	4,0	4,0	4,0	
Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50}									4,0

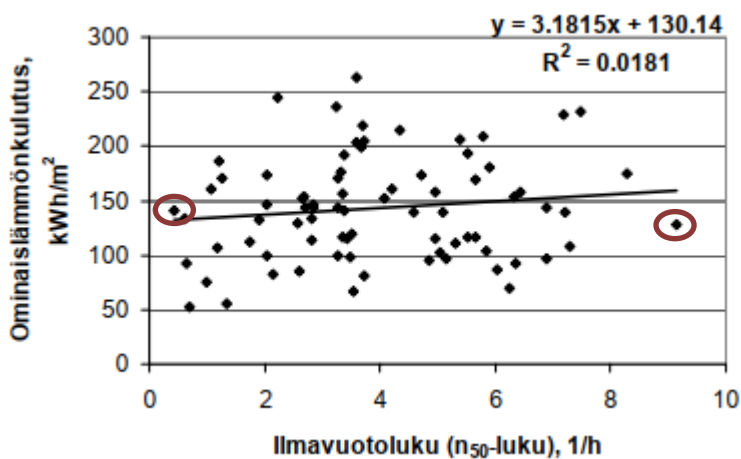
Kuva 9. Rakennusvaipan ja rakennuksen ilmavuotoluku (22).

Tampereen teknillisen yliopiston tutkimusraportti osoittaa, että vähimmäisilmanvaihtokerroin 0,5 1/h ei toteudu olemassa olevassa rakennuskannassa. Kuvassa 10 on esitetty ilmanvaihtokerroin kohteissa, joissa oli koneellinen poistoilmanvaihto. Koneellisten poistolaitosten ilmanvaihtokertoimen mediaani oli 0,34–0,36 1/h (vuotoilma laskettu mukaan). (23.)



Kuva 10. Ominaislämmönkulutus käyttöilmanvaihtoa vastaavalla ilmanvaihtokertoimella (23, s. 90).

Tampereen yliopiston tutkimuksessa puurunkoisten pientalojen (100 kpl) n₅₀-lukkujen keskiarvo oli 3,9 1/h. Kuvasta 11 huomataan suuria vaihteluita 50 Pa:n paine-erolla – tulokset vaihtelivat 0,5–8,9 1/h välillä. (23. s. 95, ympyröidyt kohdat työn laatijan.)

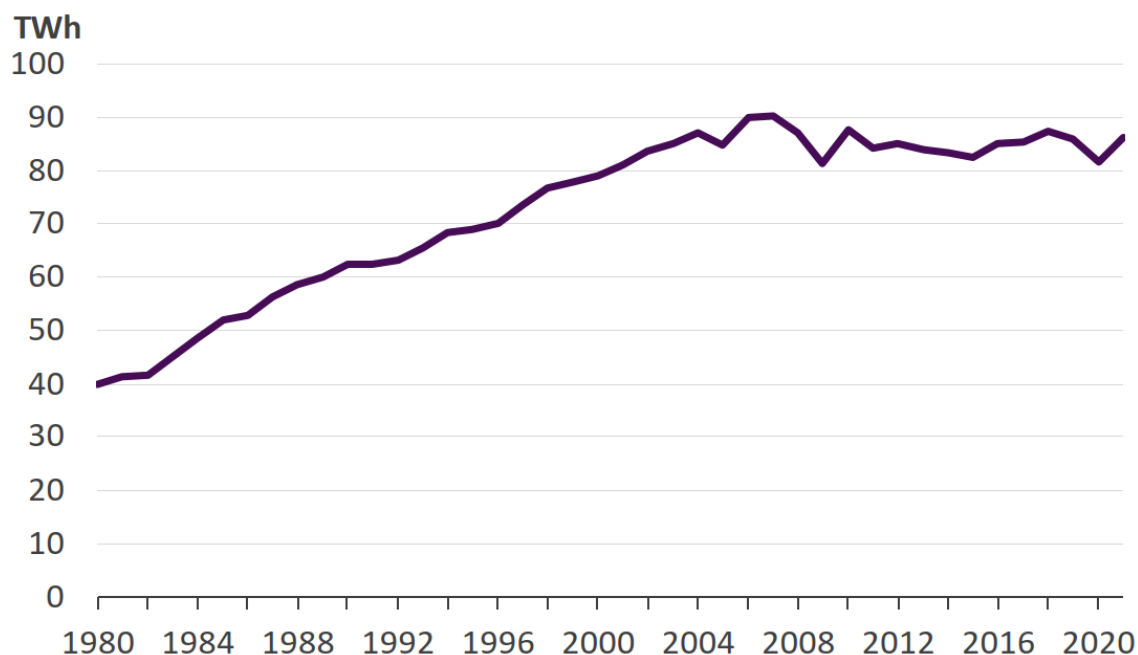


Kuva 11. Asunnon ilmavuotoluvun n₅₀ vaikutus ominaislämmönkulutuksen [kWh/m²] arvoon (23, s. 88).

Tutkimus osoitti, että ilmatiiviydessä ei ollut merkittävää eroa uudempien ja vanhempien rakennusten välillä. Elementtirakenteiset talot olivat paikallaan rakennettuja taloja tiiviimpiä. Tilastollisesti merkittäviä eroja ei ollut eristemateriaalin valinnalla, vaikka mineraalivillaeristeiset ja muovihöyrysululliset talot olivat hie-man puukuitueristeisiä ja paperi-ilmasulullisia taloja tiiviimpiä. (23, s. 96.)

3.10 Sähköenergia

Kiinteistösähköenergia jakautuu yleisesti valaistukseen ja taloteknisiin laitteisiin. Asukassähkö liittyy kuluttajalaitteisiin ja valaistukseen sekä tietyissä tapauksissa taloteknisiin laitteisiin. Rakennusten sähköä käyttävien laitteiden määrä on lisääntynyt niin asukassähkön kuin kiinteistösähkön osalta. Vuosikymmenien ajan sähkönkulutus kasvoi miltei lineaarisesti (kuva 12). Viimeisten vuosikymmenien nousu on taantunut ja sähkön ominaiskulutukset ovat pysyneet 80–90 TWh:n välissä. (24.) Tämä johtuu monista osatekijästä, muun muassa valaisimien ja muiden sähköä käyttävien laitteiden paremmasta hyötysuhteesta sekä lepokäytön pienestä sähköntarpeesta. Yhä useampi sähkölaite on saanut ympäristöluokituksen, ja ihmisten käyttötottumukset sekä ympäristömyönteisyys ovat muuttuneet.



Kuva 12. Sähkön kokonaiskäyttö Suomessa (24).

3.11 Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen

Energiatehokkuuden parantamissuunnitelma voi olla osa taloyhtiön pitkän aikavälin suunnitelmaa (PTS) tai vastaavaa korjaussuunnittelua. Tällöin asunto-osa-
keyhtiöllä on parempi valmius päättää siitä, millä tavoin energiaa käytetään tehokkaasti ja taloudellisesti. Suunnitelmassa pyritään esittämään sellaisia muutostyö-, peruskorjaus-, ylläpito- ja suunnitteluehdotuksia, joiden avulla sähköä käytettäisiin mahdollisimman korkealla hyötysuhteella, jotta EU:n ja Suomen asettamat energiansäästö- ja hiilidioksidipäästötavoitteet täyttyvät.

Lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttaa moni asia, eikä ole olemassa vain yhtä ja oikeaa vastausta. Rivitalojen energiatehokkuuden parantamisesta olisi tehtävä oma suunnitelma, joka on tehty juuri arvioitavana olevan kiinteistön tarpeisiin sen erityispiirteet huomioiden. Keskitetyt järjestelmät ovat usein kustannustehokkaita, mutta esimerkiksi lämmönsiirtomatkan kasvaessa kasvavat myös lämpöhäviöt. Erilliset yksiköt vievät tilaa, aiheuttavat ääntä ja lisäävät huoltokustannuksia, kun huollettavia kohteita on monta.

Varsinaisen energianhallintajärjestelmän laatimista rivitaloyhtiölle voidaan perustellusti pitää turhan raskaana pienelle yhtiölle. Kiinteistön pitkän aikavälin suunnitelma eli PTS puolestaan toimii taloyhtiön laatujärjestelmänä, ja johtamisjärjestelmästä vastaa taloyhtiön hallitus yhdessä isännöitsijän ja yhtiön osakkaiden kanssa. Taloyhtiön hallituksella saattaa olla yhteisiä ympäristöintressejä talousintressien lisäksi. Viime aikoina paljon puhuttu hiilijalanjälki onkin monen taloyhtiön yksi arvotekijöistä.

Esimerkiksi Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelmassa energiatehokkuuden parantamiseksi ja hiilijalanjäljen pienentämiseksi on mainittu seuraavia toimenpiteitä:

- lämmön kokonaiskulutuksen vähentäminen
- paikallisesti tuotetun lämmön osuuden lisääminen
- paikallisesti tuotetun sähkön osuuden lisääminen
- sähköautojen osuuden kasvu
- lämmön kysyntäjoustopienentäminen
- öljyn osuuden vähentäminen erillislämmityksessä
- kulutussähkön määrän vähentäminen
- sähkön kysyntäjoustopienentäminen
- tiivistyvä maankäyttö ja
- ulko- ja julkisen valaistuksen vähentäminen. (25.)

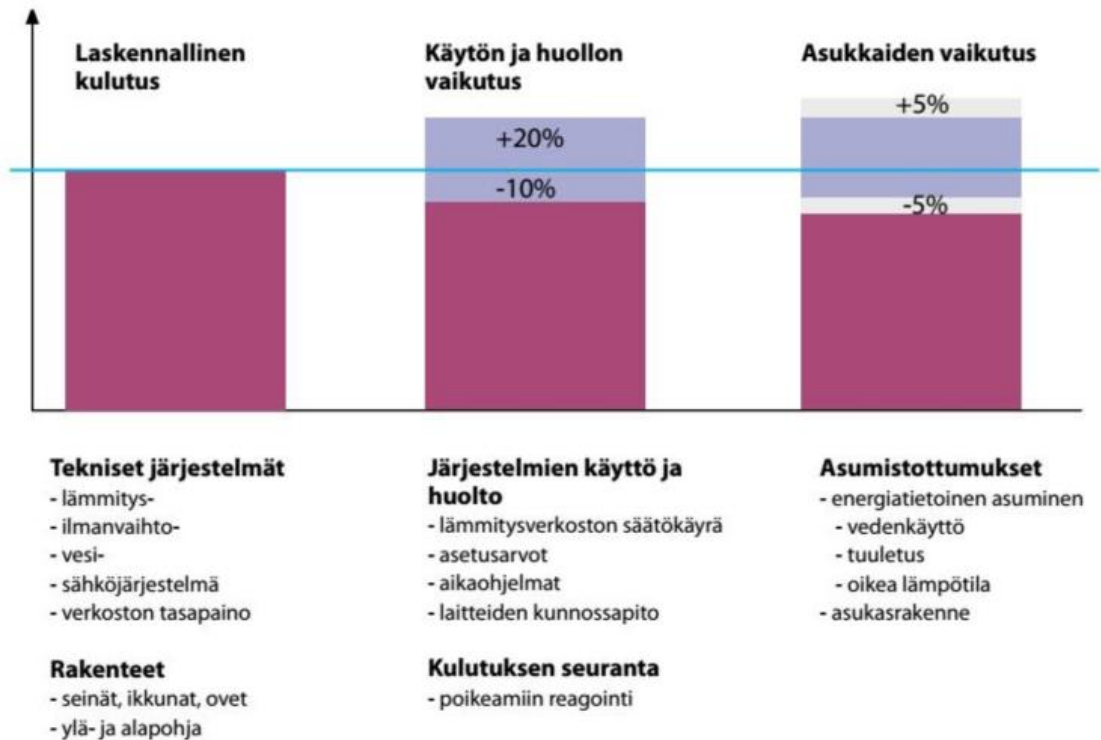
4 Energiatehokas korjaaminen

4.1 Kiinteistöhoito

Kiinteistönhoidon tulee olla säännöllistä toimintaa, jolla seurataan ja ylläpidetään kiinteistöä. Kiinteistönhoidon puutteet talotekniikassa voivat heikentää energiataloudelliseksi rakennetun kiinteistön epätaloudellisesti toimivaksi. Laiminlyödyt tai virheellisesti tehdyt ylläpitotehtävät saattavat heikentää kiinteistön energiankulutusta jopa 20 %. Turhien korjaus- ja kunnostustoimenpiteiden välttämiseksi on selvitettävä, että kiinteistöä käytetään oikein ja suunnitellulla tavalla. (14.)

Rakennusautomaatiota käytetään kiinteistöhuollon apuna kiinteistön ylläpidon tehtävissä. Olosuhteiden ja energiataloudesta huolehtiminen kuuluu olennaisesti kiinteistön hoitoon. Rakennusautomaation grafiikasta tarkastaminen ei ole kuitenkaan riittävä toimenpide kiinteistön tarkastamiseen. Jotta kiinteistön voidaan todeta toimivan suunnitellulla tavalla, on kiinteistöön suoritettava tarkastuskierroksia sekä tehtävä erinäisiä mittauksia. Tällaisia mittauksia ovat esimerkiksi rakennusvaipan painekokeet, energiamittaukset ja ilmavirtamittaukset. (14.)

Kiinteistönhoidon tarkoituksena on myös ennaltaehkäistä kiinteistön toimintahäiriöitä, välttyä tarpeettomilta korjauskustannuksilta ja ylläpitää hyvää energiataloutta (10). Kuvassa 13 on näytetty graafisesti, kuinka suuri vaikutus laskennalliseen kulutustasoon on huollolla sekä asukkaiden totumuksilla.



Kuva 13. Kulutustason muodostuminen (10, s. 13).

4.2 Korjauksien ja parannusten ajoittaminen

Nykyisen rakennuskannan korjaamisella saavutetaan merkittäviä energiasäästöjä. Rakennuksia kuitenkin korjataan pääsääntöisesti vain korjaustarpeen ilmetessä, eikä yksinään energiatehokkuuden parantaminen välttämättä ole taloudellisesti järkevää, varsinkin jos olemassa olevalla laitteistolla on runsaasti teknistä käyttöikää jäljellä. Rakennusten korjauksia ja korjausvelan ottamista ei kannata venyttää kuitenkaan liian pitkälle, sillä ennakoivilla toimenpiteillä voidaan välttyä ajan myötä suureksi kasvavilta korjaustarpeilta ja -kustannuksilta. (26.)

Kiinteistön kunnossapitoon kuuluu viallisten ja kuluneiden osien uusiminen ja korjaus ilman, että rakennuksen suhteellinen laatutaso olennaisesti muuttuu. Kunnossapidon tavoitteena on säilyttää kiinteistön laatu sellaisena kuin se oli

alun perin valmistuessaan. Tähän ei kuitenkaan ole tarkoitus pyrkiä, vaan uudemmat tekniset ratkaisut voivat olla energiatehokkaampia ja taloudellisempia kuin rakennuksen rakentamisen ajankohtana. (26.)

Energiansäästökorjauksia kannattaa tehdä silloin, kun korjaushankkeen taustalla on jonkin muu syy kuin taloudelliset säästöt. Esimerkiksi kaksi vuotta vanhaa kaukolämmön siirrinpakettia ei kannata korvata vesi-ilmalämpöpumpulla, mutta se voidaan tietyissä tapauksissa asentaa jälkeinpäin kaukolämmön rinnalle. Energiatehokkuuden parantaminen korjausrakentamisessa on järkevää ajoittaa laitteen teknisen käyttöikänsä lopussa. Tällöin energiatehokkuutta parantavien toimenpiteiden kustannukset jäävät pieniksi, kun ne suoritetaan joka tapauksessa suoritettavan korjauksen tai uusimisen yhteydessä. (26.)

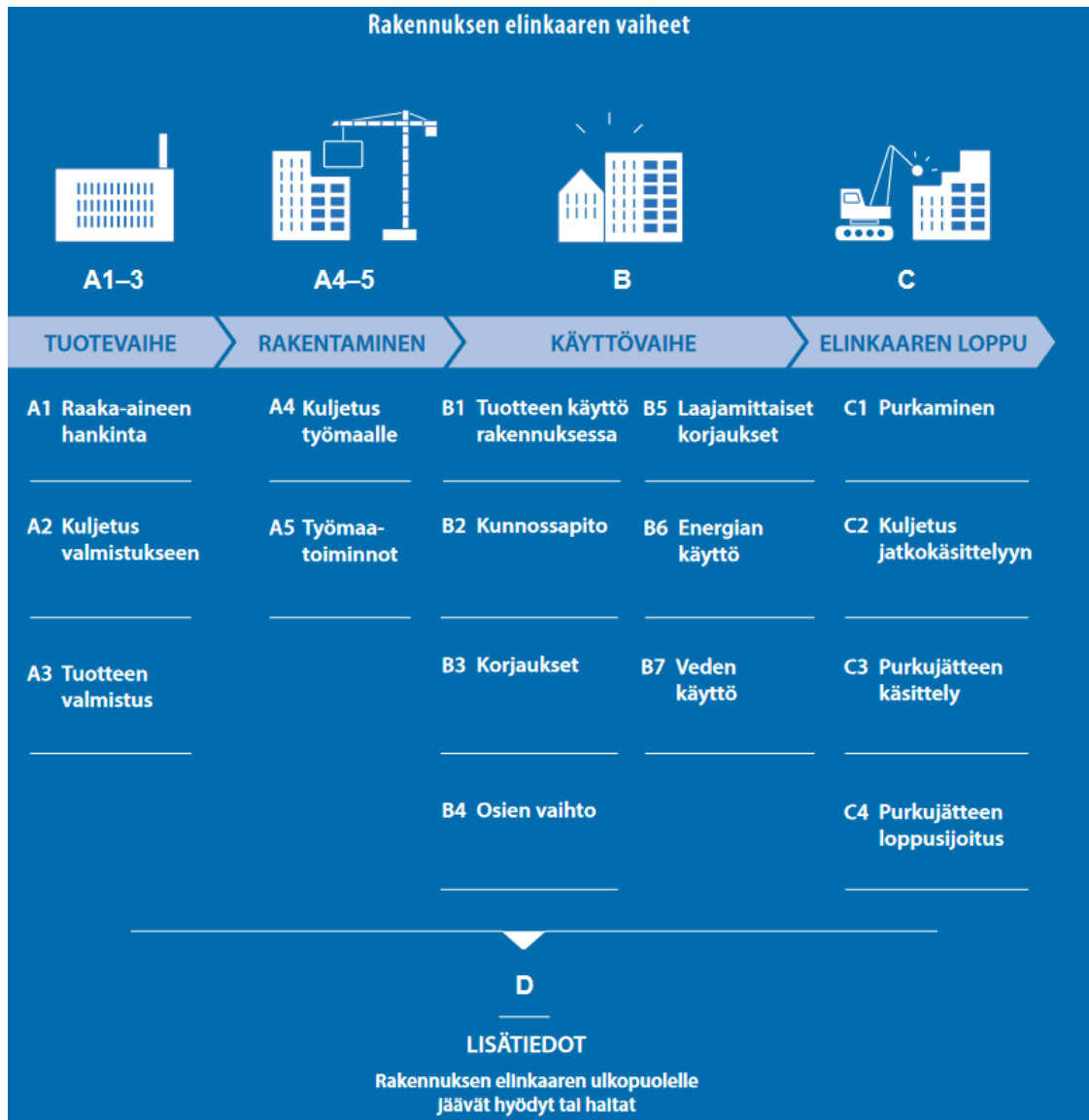
Kiinteistölle laadittava korjausohjelma täytyy laatia yksilöidysti kohteena olevalle rakennukselle tai kiinteistölle. Korjausohjelman sisällön laatimiseen käytetään erilaisia apuvälineitä, joita ovat esimerkiksi kuntoarvio, energiakatselmus ja sisäilmatutkimus. Kuntotutkimuksessa arvioidaan pääsääntöisesti aistinvaraisesti ja kokemusperäisesti kiinteistön kuntoa rakenteita rikkomatta, ja sen lopputuloksena saadaan yksityiskohtainen raportti järjestelmien ja rakenteiden elinkaaren vaiheista korjaustarpeiden määrittelemiseksi. (26.)

4.3 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki tarkoittaa palvelun tai tuotteen elinkaarenaikana syntyvien kasvi-huonekaasujen summaa. Maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistuksen myötä valmistellaan siirtymistä vähähiilisempään rakentamiseen, ja tämä tulee tulevaisuudessa ottaa huomioon koko rakennuksen elinkaareissa (27).

Olemassa olevan rakennuskannan osalta ilmastotavoitteet edellyttävät rakennuksen energiatehokkuuden parantamista ja siirtymistä vähähiilisempään energiaan, mutta myös nykyisten rakennusten tilatehokkuutta, käyttöiän pidentämistä ja materiaalitehokkuutta. Hiilijalanjälki tulee ottaa huomioon koko rakennuksen elinkaaren ajalta. Tämä tarkoittaa kaikkia rakentamisen vaiheita aina

raaka-aineiden hankinnasta rakennuksen purkuun ja purkujätteen käsittelyyn saakka. (27.) Kuva 14 kuvaa rakennuksen elinkaaren vaiheita.



Kuva 14. Rakennuksen elinkaaren vaiheet (27).

Energian hiilijalanjälki lasketaan kertomalla laskennallinen ostoenergian kulutus eri energiamuotojen päästökertoimilla. Laskennallinen ostoenergian kulutus tarkoittaa ympäristöministeriön uuden rakennuksen energiatehokkuudesta annetun asetuksen 1010/2017 (22) mukaan laskettua vertailukelpoista ostoenergiankulutusta. Mikäli rakennukselle ei ole laadittu asetuksen mukaista energiaselvi-

tystä, ostoenergian kulutus arvioidaan asetuksessa annetun laskentamenetelmän mukaan. Hiilijalanjäljen laskentaan ei sisällytetä laitesähköä tai sellaista teknistä järjestelmää, jota ei ole mainittu energiatehokkuusasetuksessa. (27, s. 29.)

Hiilijalanjäljen laskentaan käytetään ympäristöministeriön laatimia vakioituja päästökertoimia. Päästökertoimissa on huomioitu, että arviointijakson aikana energian päästöjen odotetaan laskevan Suomen energia- ja ilmastostrategian toimenpiteiden mukaisesti. Kaukolämmön osalta voidaan lisäksi ilmoittaa erillisenä lähtötietona tuottajakohtaisella päästökertoimilla tehdyt energian hiilijalanjälkilaskelmat. (27.)

Kuvassa 15 esitettyjen energiamuotojen päästökertoimet on määritelty kotimaisen polttoaineiden poltosta syntyvien CO₂-päästöjen ja kulutukseen siirretyn energian avulla (27).

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	2110	2120
Sähkö	121	57	30	18	14	7	4	2	1	1	0
Kaukolämpö	130	93	63	37	33	22	15	10	7	4	3
Kaukojäähdytys	130	93	63	37	33	22	15	10	7	4	3
Fossiiliset polttoaineet	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
Uusiutuvat polttoaineet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Kuva 15. Energiamuotojen päästökertoimet (g CO₂/kWh) (27).

Kuvasta 15 ilmenee, että laadittujen päästökertoimien laskennassa on huomioitu fossiilisten polttoaineiden ja turpeen poltosta syntyvät CO₂-päästöt. Biomassan CO₂-päästöt on laskettu nolaksi EU:n uusiutuvien energialähteiden edistämisdirektiivin kestävyyskriteeristön laskentatarpeiden mukaisesti. CO₂-päästöjä ei ole huomioitu polttoaineiden tuotannossa eikä infrastruktuurin rakentamisessa. Kaukojäähdytyksen CO₂-päästöjä ei ole eritelty, vaan kaukolämmityksen CO₂-päästöjen oletetaan olevan samat kuin kaukolämpöä kuluttaessa. (27.)

Sähkön CO₂-päästöt on pienemmät kaukolämpöön verrattuna, koska sähköä tuotetaan kaukolämmönyhteistuotannolla ja siinä on laskettu kertoimelle tietty hyötysuhde (27).

4.4 Hiilikädenjälki

Hiilikädenjäljellä tarkoitetaan palvelun ja tuotteen elinkaaren aikana syntyvien absoluuttisten ilmastohyötyjen summaa muutettuina hiilidioksiekvivalenteiksi (CO_{2e}). Hiilikädenjäljen laskennalla on tarkoitus kuvata sellaisia ilmastohyötyjä, joita rakennuksen elinkaaren aikana voidaan saavuttaa ja joita ei syntyisi ilman rakennushanketta. Energian kohdalla tällä tarkoitetaan esimerkiksi kiinteistössä tuotettua ylimääräistä uusiutuvaa energiaa. (27.)

Ylijäävä uusiutuva energia lasketaan vuosittain (kWh/a) ja kerrotaan kuvan 14 mukaisilla päästökertoimilla ja ilmoitetaan hiilidioksidikiloina (kgCO₂). Tämä esitetään laskennassa erillisenä lisätietona ja ilmoitetaan hiilidioksiekvivalentin painona jaettuna rakennuksen lämmitetyllä nettopinta-alalla ja arviointijakson pituudella. (kgCO_{2e}/m²/a). Hiilikädenjälki esitetään negatiivisena kokonaislukuna. (27.)

4.5 Kannattavuuslaskelmat

Elinkaaritaloudellisten laskelmien välineenä käytetään investointikustannusmenetelmiä. Investointilaskelma toimii päätöksenteon apuvälineenä ja yrittää vastata kysymykseen onko investointi taloudellisesti järkevää. Laskelmilla joko vertaillaan vaihtoehtoja tai lasketaan yhden investoinnin kannattavuutta. (21, s. 391–393.)

Investointilaskelmien perusteena on tunnettava korkoa korolle -ilmiö, jossa alkupääoma kasvaa korkotekijän eli vakion mukaan muodostaen geometrisen jonon tiettyinä ajanjaksona (28). Tämä lasketaan kaavalla (1).

$$a_n = (1 + i)^n a \quad (1)$$

jossa

a on alkupääoma, €

$(1 + i)$ on korkotekijä

n on pitoaika, a

Diskonttaustekijä on korkoa korolle -ilmiö käänteisesti, eli mikä alkupääoma on tänään investoitava, että ajanjakson kuluttua alkupääoma olisi kasvanut tiettyyn arvoon (28). Tämä lasketaan kaavalla (2).

$$d = \frac{1}{(1+i)^n}$$

$$da_n = \frac{1}{(1+i)^n} a_n = \frac{1}{(1+i)^n} (1+i)^n a = a \quad (2)$$

jossa

a_n on loppupääoma, €

a on alkupääoma, €

n on pitoaika, a

$(1 + i)$ on korkotekijä, $(1 + \%)$

Investoinnin takaisinmaksuaikaa laskettaessa saadaan säästöä tietty summa jokaisen vuoden lopussa. Tällöin sitä säästettyä summaa voidaan pitää vakiona, vaikka se ei sitä aina ole. Diskonttauskertoimella voidaan laskea, paljonko jaksollisten säästöjen arvo on nykyarvossa. (28.) Tämä lasketaan kaavalla (3).

$$S_{disk} = dS = \frac{1}{(1+i)^n} S = \frac{1}{(1+i)^n} a \frac{(1+i)^n - 1}{i} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} a = ka \quad (3)$$

jossa

a on alkupääoma tai jaksollinen säästö, €

n on pitoaika, a

$(1 + i)$ on korkotekijä, $(1 + \%)$

Näin ollen jälkeinpäin suoritettujen toistuvien maksujen tai säästöjen diskonttaus kerroin on k , joka lasketaan kaavalla (4).

$$k = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (4)$$

Kun halutaan tietää nykyarvossa ilmaistuna, paljonko vuosittain on säästettävä tai talletettava, jotta tietty summa saadaan kerättyä tai kuoletettua käytetään annuiteettikerrointa (28). Tämä lasketaan kaavalla (5).

$$p = \frac{1}{k} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (5)$$

Kaavaa käytetään yleensä tasaerälainojen lainan takaisinmaksuun, jolloin annuiteettikerroimella kerrotaan lainan määrä ja tulos kertoo tasaerän sisältäen lyhennyksen ja koron (28).

Investointilaskelmissa tuotot ja säästöt ajatellaan yleensä syntyvän kerran vuodessa, kunkin vuoden lopussa, mutta rahoitusta tai lainaa lyhennetään yleisesti kerran kuukaudessa tai kvartaaleittain. Tällöin hyödynnetään kaavaa (6). (28.)

$$p = \frac{\frac{i}{m}(1+\frac{i}{m})^{mn}}{(1+\frac{i}{m})^{mn} - 1} \quad (6)$$

jossa

m on maksukertojen määrä vuodessa.

Tässä tapauksessa kuukaudelle on tietty korko, ja se johtaa tulokseen, jossa todellinen vuosikorko on suurempi kuin nimelliskorko. Tällä tavalla laskettaessa korkokulut pienenevät verrattuna kerran vuodessa lyhennettävään lainaan tai rahoitukseen, koska laina lyhenee jonkin verran nopeammin. (28.)

Tasalyhenteinen laina taas lyhentää lainaa tasasuuruisin erin koko sovitun laina-ajan, mutta varsinainen maksuerä muuttuu, koska kokonaiskorkoa maksetaan alussa enemmän. Merkittävin ero on siis se, että lainan ottamisen alkupuolella maksettava summa on suurempi ja ajan kuluessa maksettava summa pienenee kokonaiskoron pienentyessä. Tasalyhennyksissä ja tasaerissä maksuerä reagoi viitekoron muutoksiin eri tavalla, mutta aihetta ei käsitellä tässä työssä. Tasalyhenteinen laina tulee yleensä kokonaiskustannuksiltaan edullisemmaksi kuin tasaeräinen. (28.)

Teknisen investoinnin takaisinmaksu aika on aina riippuvainen teknisen laitteen teknisestä käyttöiästä. Investointi yleisesti on pitkän aikavälin meno tai sijoitus, jonka odotusarvo on tuotto tulevaisuudessa. (28.)

Korjausrakentamisen energiansäästöasetuksen mukaan energiansäästötoimenpide on kannattava, mikäli asuinrakennusten takaisinmaksuaika on alle 30 vuotta, ellei laitteen käyttöikä ole tätä lyhyempi. Tarkasteluaikana laskelmissa käytetään laitteiden tai järjestelmien teknistä käyttöikää tai asetuksen mukaista 30:a vuotta, mikäli tekninen käyttöikä on tätä pidempi. (28.)

Takaisinmaksuajat lasketaan ottaen huomioon lainojen korkokustannukset sekä inflaatio. Mikäli järjestelmään kohdistuu suurempia huoltokustannuksia tarkastelujakson (30 vuotta) aikana, otetaan nämä myös huomioon laskelmissa.

Nykyarvomenetelmää käytetään usein investoinnin kannattavuuden arvioimisessa. Nykyarvomenetelmällä diskontataan kaikki tuotot, investoinnit ja muut kulut nykyhetkeen ja lasketaan ne yhteen. Tämä voidaan kirjoittaa kaavan (7) muotoon (28.)

$$N = \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t} T_t + \frac{1}{(1+i)^n} J - \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t} M_t - \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t} U_t - H \quad (7)$$

jossa

N on nykyarvo, €

T on tuotto, €/a

M= meno, €/a

J on jäännösarvo, €

U= uusintainvestointi, €

H= hankintahinta, €

Mikäli $N > 0$, on investointi kannattava annetulla korolla ja laskentajaksonpituu-
della.

Nykyarvomenetelmä voidaan esittää myös jaksollisten, samansuuruisien suori-
tusten diskonttaustekijöitä käyttäen kaavaa (8). Tällaisia ovat taloteknisissä in-
vestoinneissa esimerkiksi huoltokustannukset, suodattimien vaihdot tai mikä ta-
hansa vuoden välein suoritettava toimenpide. (28.)

Mikäli investointilaskentaa ei tehdä koko laitteen teknisen käyttöiän ajalle, ei sil-
loin tarvitse huomioida uusintainvestointeja, vaan oletetaan tuottojen ja menojen
olevan vakioita. Tällöin ei tarvitse vuotuisia tuottoja ja menoja diskontata yksitel-
len, vaan voidaan laskea näiden erotus ja diskontata nettotuotto nykyarvoon
kaavalla (8). (28.)

$$N = kT + dJ - H = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} T + \frac{1}{(1+i)^n} J - H \quad (8)$$

jossa

T on vuotuiset vakionettotuotot (tuotot-menot), €/a

k on jälkeinpäin suoritettujen jaksollisten maksujen diskonttauskerroin

J on jäännösarvo, €/a

d on diskonttauskerroin

H on hankintahinta, €

Investoinnin sisäistä korkokantaa käytetään silloin, kun halutaan saada selville investoinnin tuotto prosentteina tietyllä pääomalla. Kannattavin vaihtoehdoista on siis se, jolla sisäinen korkokanta on suurin. Analyttisesti laskettaessa tämä edellyttää n :nnen asteen polynomien ratkaisua, joten se kannattaa laskea taulukkolaskennan Tavoitteen haku -toiminnolla. Taskulaskimella sisäinen korkokantaa ratkaistaessa johdetaan se kaavasta (8) laskettavan muotoon merkitsemällä N ensin nolaksi. (28.)

$$H = \frac{(1+i)^{n-1}}{i(1+i)^n} T + \frac{1}{(1+i)^n} J \quad \Rightarrow \quad H(1+i)^n = (1+i)^n \frac{T}{i} - \frac{T}{i} + J \quad \Rightarrow$$

$$(1+i)^n \left(H - \frac{T}{i} \right) = J - \frac{T}{i} \quad \Rightarrow \quad (1+i)^n = \frac{J - \frac{T}{i}}{H - \frac{T}{i}} = \frac{T - Ji}{T - Hi} \quad \Rightarrow$$

$$\sqrt[n]{\frac{T - Ji}{T - Hi}} - 1 = i \quad (9)$$

Korollinen takaisinmaksuaika saadaan myös johtamalla kaavasta (9) asettamalla N nolaksi ja sekä J nolaksi ja ratkaisemalla n (28).

$$H = \frac{(1+i)^{n-1}}{i(1+i)^n} T \quad \Rightarrow \quad H(1+i)^n = (1+i)^n \frac{T}{i} - \frac{T}{i} \quad \Rightarrow$$

$$(1+i)^n \left(\frac{T}{i} - H \right) = \frac{T}{i} \Rightarrow \ln(1+i)^n = \ln \frac{T/i}{T/i-H} \Rightarrow$$

$$n \ln(1+i) = \ln \frac{T}{T-Hi} \Rightarrow$$

$$n = \frac{\ln \frac{T}{T-Hi}}{\ln(1+i)} \quad (10)$$

Investoinnin tuottomenetelmässä nettotuottoja verrataan investoinnin sitoman pääoman määrään. Tästä menetelmästä käytetään myös lyhennettä ROI (=return on investment). Tätä menetelmää käytettäessä se muistuttaa yksinkertaistettua sisäisen koron menetelmää. (28.) Laskennassa käytetään kaavaa (11).

$$ROI = \frac{\text{Nettotuotot}}{\text{Hankintamenot}} * 100 \quad (11)$$

Nimelliskorko tarkoittaa korkoa, josta ei ole poistettu inflaation tai deflaation vaikutusta. Nimelliskorkoa kuvataan lainan korolla ja inflaatiolla yleisen hintatason nousua. Mikäli laskelmissa käytetään nimelliskorkoa, täytyy se mainita laskelmissa. Jos nimelliskorosta vähennetään inflaatio, saadaan reaalikorko. Inflaation voi siis ottaa huomioon kaavalla (12), jossa r on reaalikorko. Hyvän tavan mukaista on ilmoittaa laskelmissa, mitä korkoa laskelmissa on käytetty. (28.)

$$r = \frac{i-f}{1+f} \quad (12)$$

jossa

r on reaalikorko, %

f on inflaatio, %

i on nimelliskorko, %

Energiakustannukset eivät välttämättä muutu samalla tavalla kuin yleinen kustannustaso. Vähentämällä energian hinnannousu nimelliskorosta voidaan tämä ottaa huomioon tarkemmin kaavalla (13). Kaava ottaa huomioon siis energian hinnan inflaation. (28.)

$$r_e = \frac{i-e}{1+e} \quad (13)$$

jossa

r_e = energiakustannusten reaalikorko, %

i on nimelliskorko, %

e on energian nimellinen hinnannousu (eskalaatio), %

Energian reaalin hinnannousu tarkoittaa kuitenkin eri asiaa kuin energiakustannusten reaalikorko. Nimellisiä ja reaalisia kustannustekijöitä ei saa käyttää laskelmissa sekaisin. (28.)

Eskalaatio tarkoittaa energian hinnan inflaatiota, mutta kaavoilla voidaan laskea myös esimerkiksi veden tai sähkön hinnan reaalikorkoa, mikäli se eroaa inflaatiosta (28).

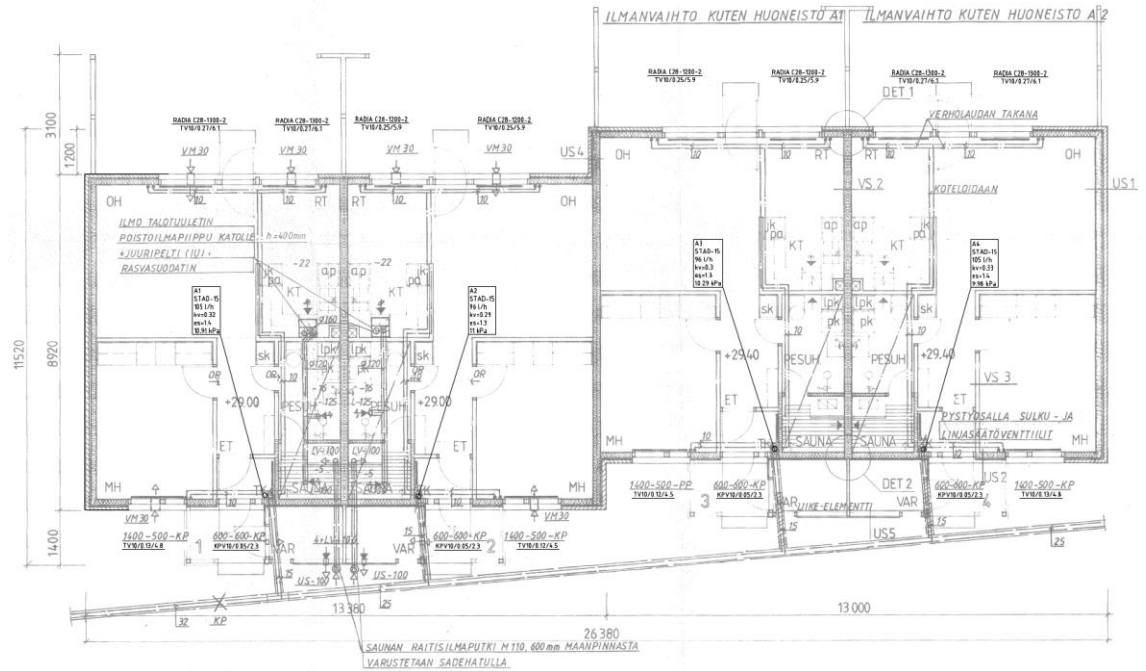
5 Kohdekiinteistö

5.1 Kohteen perustiedot

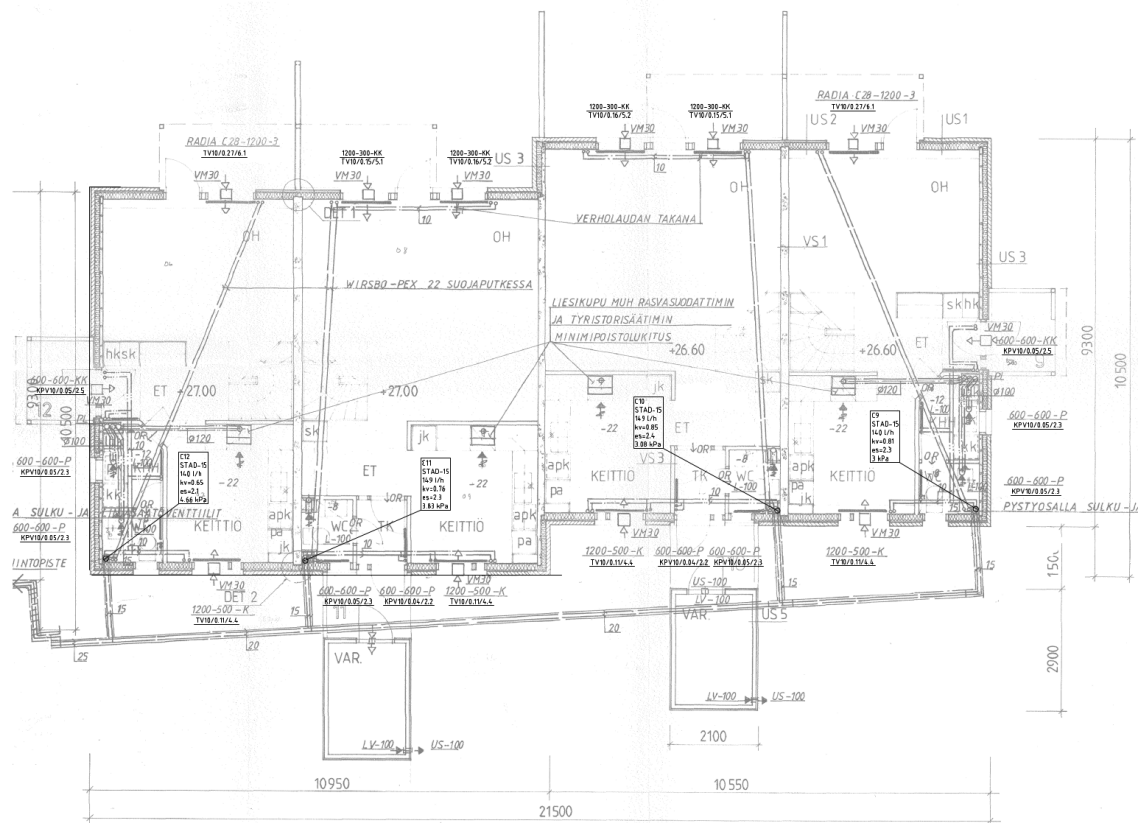
Työssä tarkasteltavaksi kohteeksi valittiin vuonna 1986 rakennettu rivitaloyhtiö, joka on pääosin tiiliverhoiltu. Työssä tarkastellaan vain rakennusten asuintiloja. Yleiset tilat, kuten lämmittämättömät varastot ja lämmönjakuhuone, sekä muut tekniset tilat jätettiin insinööriyön ulkopuolelle.

Huoneistot ovat osittain samanlaiset ja vaihtelevat kaksiosista (2 h+k+s) neljään asuinhuoneeseen (4 h+k+s). Taloyhtiössä on yhteensä 28 huoneistoa.

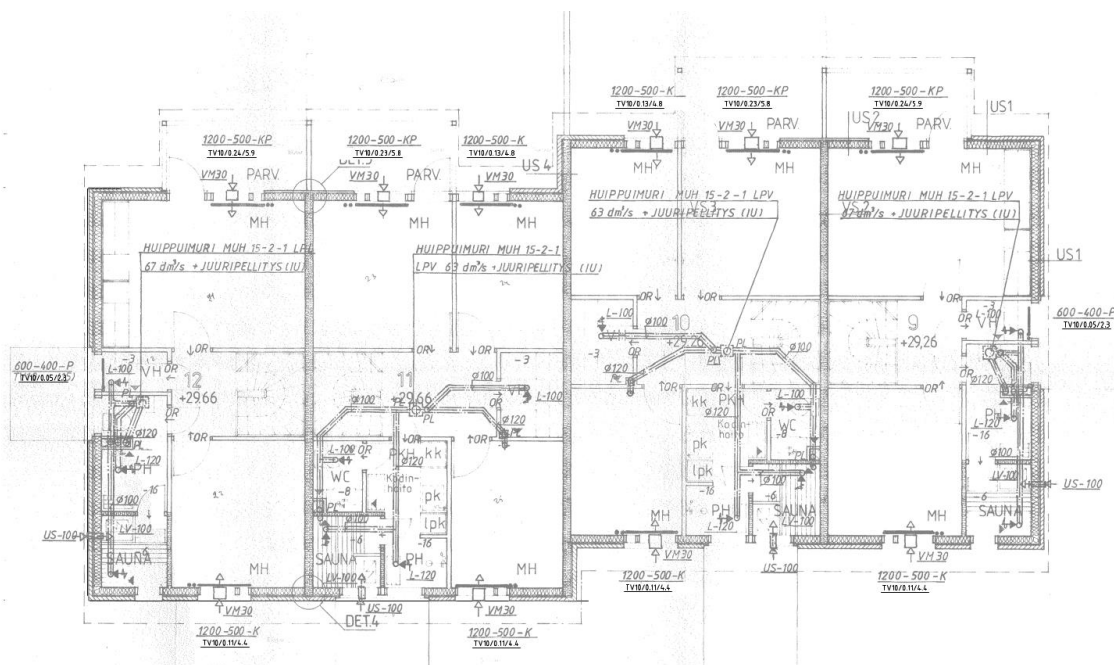
Huoneistoissa on hyvin selkeät ja saman tyyppiset pohjaratkaisut. Huoneistot ovat toistensa peilikuvia ja mukailevat toistensa seinäpintoja. Rivitaloyhtiön pohjapiirustukset on esitetty kuvissa 16–20.



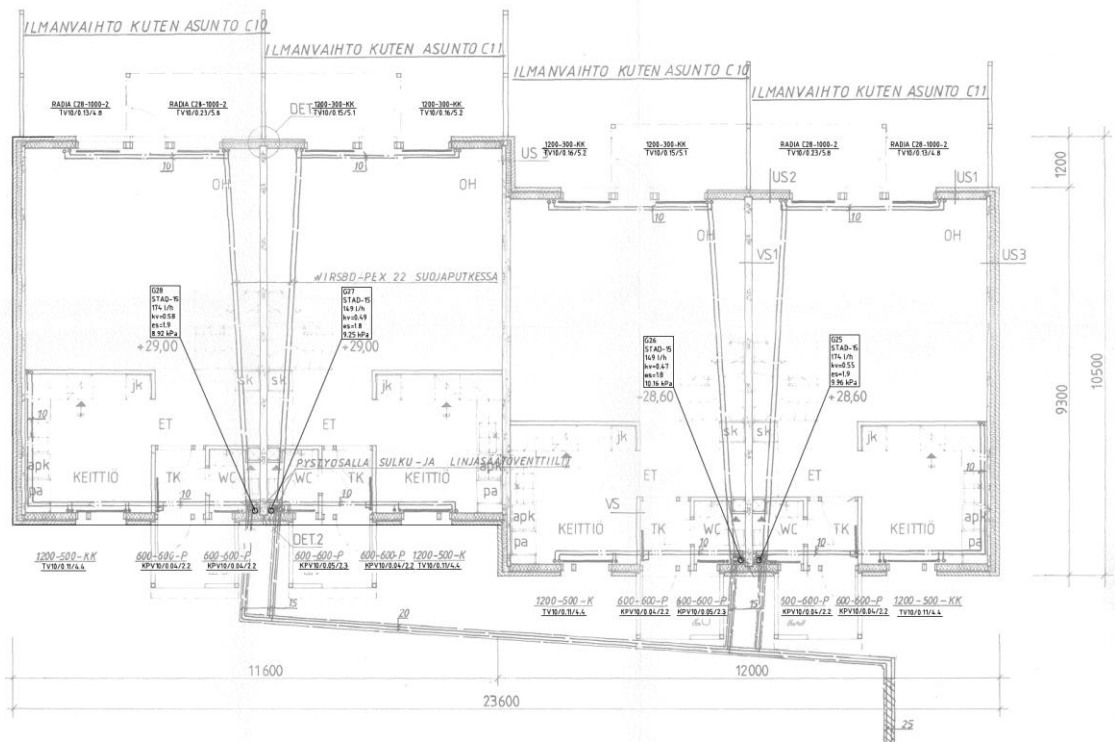
Kuva 16. A- ja B-talojen pohjapiirustus.



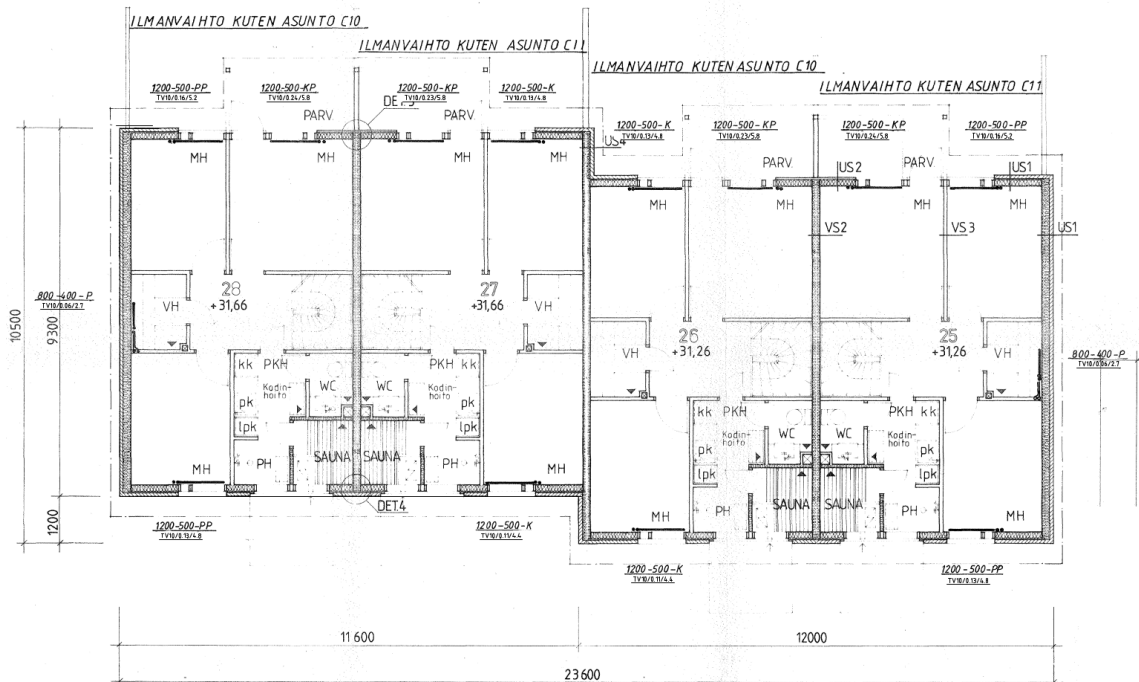
Kuva 17. C-, D- ja E-talojen 1. kerros.



Kuva 18. C-, D- ja E-talojen 2. kerros.



Kuva 19. F- ja G-talojen 1. kerros.



Kuva 20. F- ja G-talojen 2. kerros.

Yhtiön huoneistoala on yhteensä 2 192 m², ja lämmitettävä tilavuus on 7 459 m³. Asukaslukumäärä on ollut 10 vuoden ajan keskimäärin 65 henkilöä. Rivitalon mitattu kaukolämmön energiankulutus on ollut viimeisen 10 vuoden aikana keskimäärin 164,5 kWh/m²/vuosi.

Rakennuksissa on puurunko ja tiiliverhous, mikä on rakentamisajankohtana ollut yleinen rivitalojen rakenneratkaisu. Huoneistoista 20 on kaksikerroksisia 3–4 h+k+s ja 8 huoneistoa on yksikerroksisia 2 h+k+s. Huoneistojen lämmönjakelu on toteutettu vesikiertoisella patteriverkostolla ja ilmanvaihto on toteutettu poistoilmanvaihdolla. Korvausilmaventtiilit on sijoitettu ikkunan karmiin.

Yhtiön energiankulutus on keskitasoa muiden samalla vuosikymmenellä rakennettujen rivitaloyhtiön kanssa (8). Yhtiöön ei ole vielä uusittu käyttövesiputkia, lämmitysputkia tai sähköjakelujärjestelmää.

5.2 Kohteen järjestelmäkuvaus

Talotekniset järjestelmät kuvastavat yleisiä 1980-luvun ratkaisuja.

Lämmitysmuotona on kaukolämpö ja lämmitysjärjestelmänä vesikiertoinen radiaattoriverkosto (70/40 °C).

Radiaattoreina on käytetty Högforsin malleja P, K, KP ja KK. Liitteessä 1 on esitetty, miten mallit eroavat toisistaan. Högforsin radiaattorit on valmistettu kylmävalssatusta teräslevystä muotopuristamalla ja hitsaamalla. Kaikki radiaattorit on kiinnitetty seinäkannakkeilla. Nurkkahuoneistossa on käytetty Högfors Radia -konvektoreita, joiden malleina on käytetty pääsääntöisesti C28-mallia ja kertaisuutena on käytetty 2 tai 3. Radia-konvektorin kertaisuus tarkoittaa sitä, että siinä on kertaisuusmäärä konvektiopintoja. Jokaisessa huoneiston kylpyhuoneessa on sähköinen lattialämmitys ja lämpimään käyttöveteen liitetty kiertovesipatteri. Kiertovesipattereita on erilaisia huoneistoremonteista johtuen.

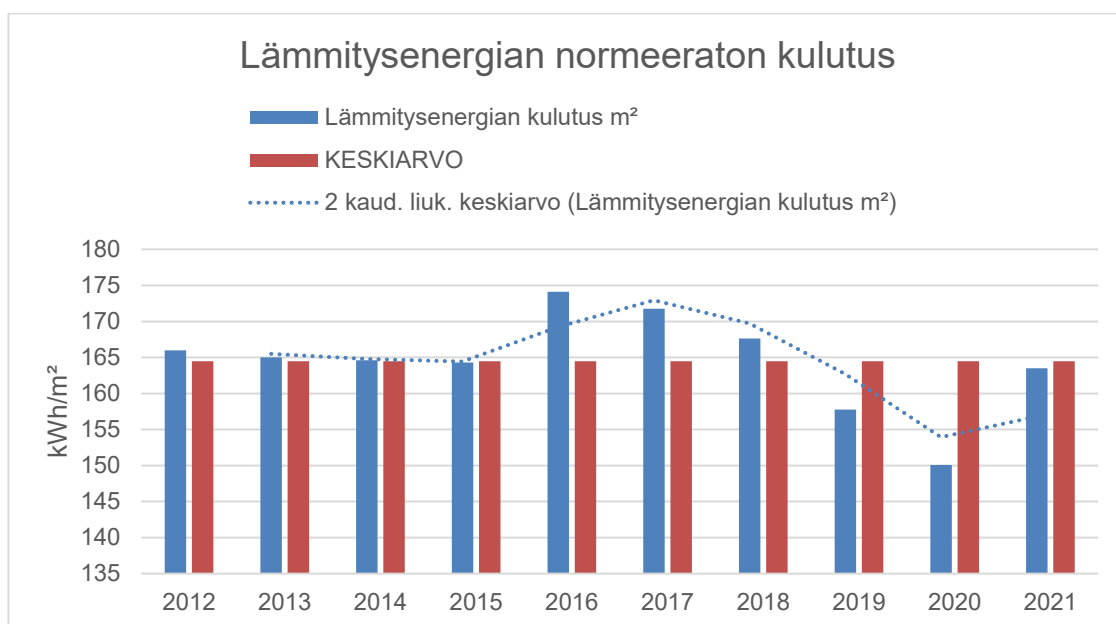
Lämmitysverkoston kokonaisvirtaus on 4 074 dm³/h ja radiaattoreiden yhteisteho on 147,3 kW. Alkuperäisen lämmityspiirin kaukolämmönsiirrinpaketin mitoitusteho oli 141 kW. Kaksi vuotta sitten uusittu patteriverkoston lämmönsiirtimen mitoitusteho on 127 kW.

Ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä. Jokaisessa 3h+k+s- ja 4h+k+s -huoneistossa on oma huippuimuri, jota ohjataan keittiön liesikuvusta. Asukas ei voi pysäyttää liesikuvun huippuimuria, mutta pystyy tehostamaan poistoilmavirtaa. Alkuperäinen liesikupu on ollut malliltaan MUH varustettuna rasvasuodattimella, tyristorisäätimellä ja minimipoistolukituksella. Huippuimurit ovat MUH1S-2-1, joiden ilmavirrat ovat asunnon koosta riippuen 63–67 dm³/s. 2h+k+s-kokoisissa huoneistoissa poistoilmanvaihto on toteutettu ILMO-talotuulettimella, joka poistaa ilmaa keittiöstä sekä märkätiloista ja puhaltaa ulospuhallusilman vesikatolla olevan poistoilmapiipun kautta ulkoilmaan. Poistoilmapiippujen läpiviennissä on käytetty juuripeltiä. Poistoilman mitoitusilmavirta on 43 dm³/s. Poistoilmaventtiilit on sijoitettu kylpyhuoneisiin, WC-tiloihin, vaatehuoneisiin ja keittiöihin. Ulkoilma otetaan ikkunaventtiileiden kautta asuinhuoneisiin suoraan ulkoilmasta. Huippuimurit ja ILMO-talotuulettimen mallien vastaavuus nykypäivän laitteisiin on esitetty liitteessä 2.

Lämmönjakokeskus on teknisessä tilassa, joka sijaitsee yhtiön parkkipaikalla. Vesijohdot ja lämmitysjohtot lähtevät lämmönjakokeskuksen kautta samassa putkikaivannossa jakaen lämmitysveden ja käyttöveden huoneistoihin. Lämmitysputket ja käyttövesiputket nousevat huoneistoon maan alta ulkoseinän välittömässä läheisyydessä. Tämä nousukohta on koteloitu, varustettu huoltoluukulla ja putkiin on asennettu huoneistokohtaiset sulut huoltoluukun kohdalle.

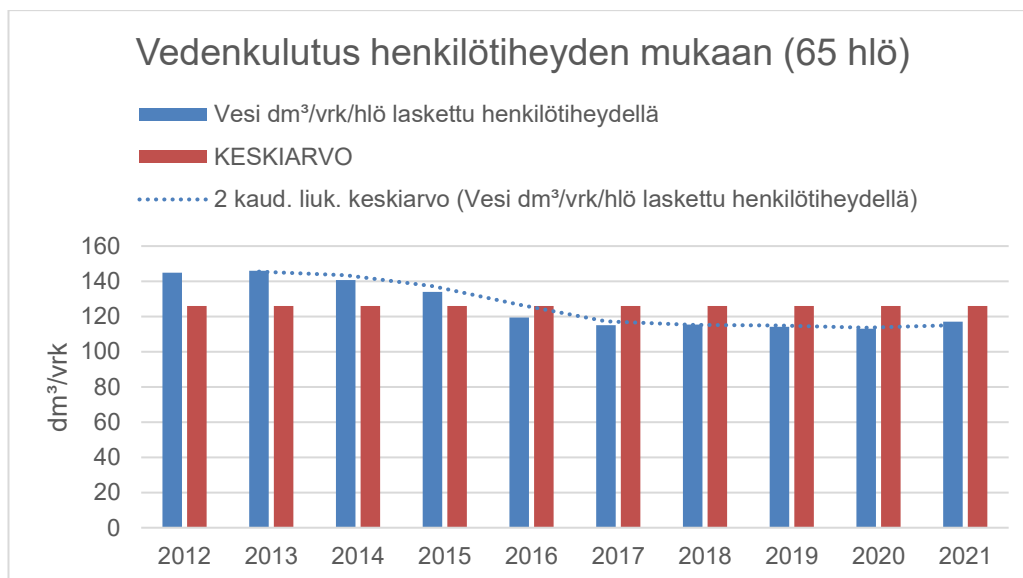
5.3 Kohteen kulutustiedot

Kohdeyhtiön keskimääräinen lämmitysenergian kulutus (kuva 21) on samaa luokkaa (150–174 kWh/m²) kuin Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy ja Suomen ympäristökeskus SYKE sekä Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020–2050 -tutkimusryhmät ovat tutkimuksissaan todenneet (vrt. myös Kuva 2. Eri vuosikymmenillä valmistuneiden rivitalojen lämmitysenergian kulutus) (8).



Kuva 21. Kohteen 10 vuoden lämmitysenergiankulutus (kWh/m²).

Rivitalon mitattu vedenkulutus on ollut viimeisen 10 vuoden aikana keskimäärin 2 989 m³/vuosi. Kohteessa ei ole huoneistokohtaisia vesimittareita, jotka Motivan tutkimusten mukaan alentavat vedenkulutusta noin 5–10 %. Kuvasta 22 ilmenee kohteen vedenkulutus henkilöä kohti vuorokaudessa.



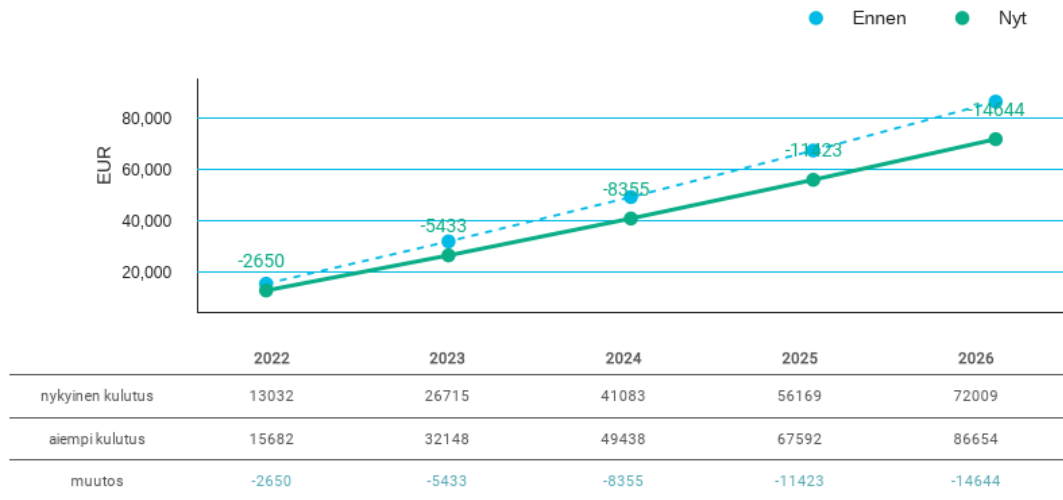
Kuva 22. Kohteen vedenkulutus dm³/vrk laskettuna henkilöä kohti vuorokaudessa.

Kohteen jokaisessa huoneistossa on kylpyhuoneessa lämpimään käyttövedeen kytketty lämmönluovutin. Ympäristöministeriön asetuksessa 1047/2017 rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista säädetään vesi- ja viemärlaitteistojen suunnittelusta ja rakentamisesta (9). Asetuksen mukaan korjaus- ja muutostyössä lämpimän käyttöveden kiertojohtoon liitetyt lämmönluovuttimet voidaan uusida, mutta olemassa olevia lämmönluovuttimia ei asetuksen johdosta tarvitse poistaa, ja niitä saa vaihtaa, mikäli olemassa oleva lämmönluovutin menee rikki tai vaurioituu.

Lämmin käyttövesiverkosto on säädettävä samasta syystä kuin lämmitysvesiverkostokin. Jokaiseen huoneistoon on saatava tarpeen mukainen virtaama, jotta kierto on tasaista koko järjestelmässä.

Kohteeseen on asennettu Smartvatten-järjestelmä (29). Kuukausittain toimitettujen raporttien perusteella vedenkulutus on järjestelmän käyttöönoton myötä laskenut. Smartvatten-järjestelmä laskee oletuksina vesi- jätevesimaksun 3,42 €/m³, energian hinnalla 56,51 €/MWh ja siten, että lämmintä käyttövettä kulutetaan 40 % päävesimittarin lukemasta. Seuraavan viiden vuoden arvioitu Smartvatten-järjestelmän kustannusvaikutus ilmenee kuvasta 23. (29; 30.)

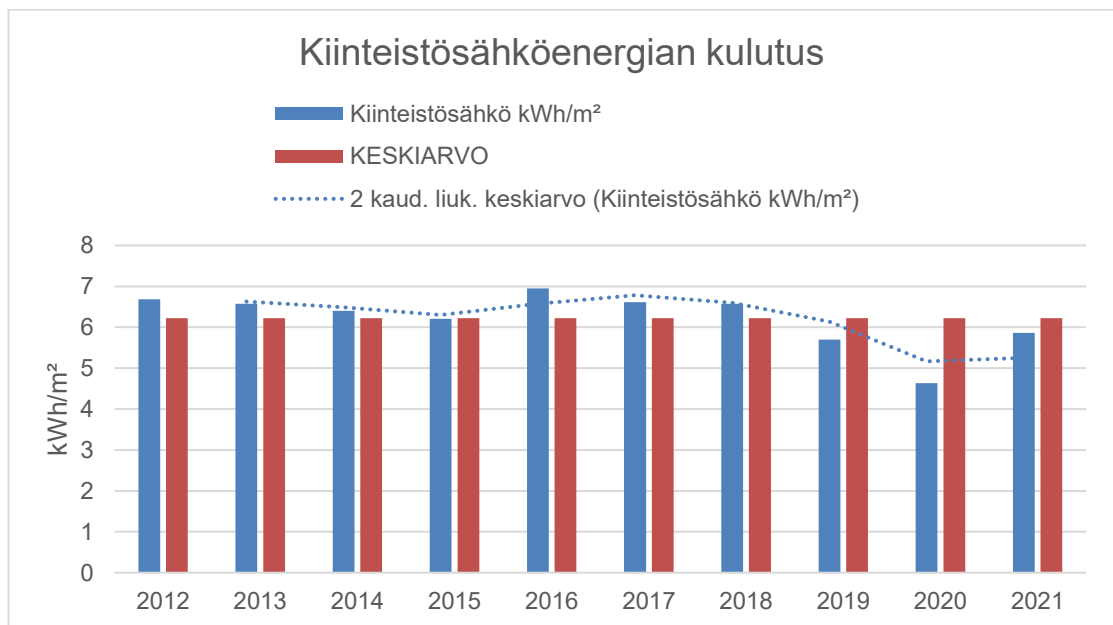
Arvioitu kustannusvaikutus viidessä vuodessa (€)



Laskettu energiakustannusten 5 %:n vuosittaisella nousulla

Kuva 23. Smartvatten-järjestelmän arvioitu kustannusvaikutus viidessä vuodessa (30).

Kuvassa 24 on esitetty tarkastelukohteen mitattu kiinteistösähköenergian kulutus 10 vuoden ajalta.



Kuva 24. Kohteen kiinteistösähköenergian kulutus 10 vuoden ajalta.

5.4 Kohteen lämmityksen ohjaus, ylläpito ja sisälämpötila

Kiinteistöllä ei ole erillistä rakennusautomaatiojärjestelmää, jolla pystyttäisiin reaaliaikaiseen sisälämpötilojen seuraamiseen, vaan havainnointi perustuu asukkaiden omiin tuntemuksiin. Asukkaat antavat isännöitsijälle useammin palautetta liian matalasta lämpötilasta ja vedon tunteesta, mutta harvemmin liian korkeasta lämpötilasta. Mikäli huoneistossa on liian korkea lämpötila, asukkaat yrittävät korjata ongelmaa avaamalla ikkunan, mikä ei ole energiatehokas ratkaisu.

Kohdeyhtiön lämmönjakokeskuksessa on säädin, joka säätää radiaattoriverkoston menoveden lämpötilaa ulkoilmanlämpötilan mukaan. Säädin ei korvaa asukkaan tuntemuksia, eikä esimerkiksi havainnoi sitä, jos verkoston tai linjasäätöventtiilissä on tukos tai verkostossa on ilmaa.

5.5 Kohteen ilmanvaihto

Kohteen ilmanvaihto on toteutettu koneellisella poistoilmanvaihdolla. Koneellisen poistoilmanvaihdon ongelmana on, että sisätiloissa lämmitetty ilma puhalletaan ulos eikä siitä oteta lämpöä talteen. Korvausilma tuodaan tiloihin korvausilmaventtiileiden kautta, jonka huoltaminen on usein asukkaan vastuulla. Puutteellinen ilmanvaihto voi aiheuttaa terveyshaittoja kuten kroonista nuhaa, yskää ja väsymystä (31). Huonosti toimiva ilmanvaihto lisää asukkaiden tyytymättömyyttä ja saattaa aiheuttaa kosteus- sekä homevaurioita (32). Näistä syistä ilmanvaihdon toimintaa on tarkasteltava ja huollettava säännöllisin välein. Koneellinen poistoilmanvaihto aiheuttaa pääsääntöisesti vetoa talvipakkasilla, kun kylmää ilmaa tulee korvausilmaventtiileiden kautta huoneeseen. Asukkaat saattavat ratkaista vedontunnetta teippaamalla korvausilma-aukkoja umpeen, jolloin korvausilman suunniteltu reitti muuttuu. Korvausilma-aukkojen tukkiminen johtaa liian suureen alipaineisuuteen, ja tällöin sisäilman laatu voi huonontua. (33.)

Kohdekiinteistön ilmavuotoa ei ole mitattu, eikä rakenteen liitosten vuotokohtia ole kuvattu lämpökameralla. Voidaan olettaa Tampereen teknillisen yliopiston tutkimuksen perusteella, että ilmavuotoluku n_{50} on noin 4 1/h (23).

5.6 Kohteen tekninen kiinteistöhoito

Kohteella ei ole varsinaista teknistä isännöitsijää eikä huoltoyhtiötä. Isännöitsijä hankkii hallituksen ohjeistamana tarvittavat konsultit niihin tarkoituksiin, joihin toimintasuunnitelma tai huolto-ohje ohjeistaa. Pienimuotoiset huoltotyöt, kuten sadevesikaivojen tyhjennykset, rännien puhdistamiset, mutapussien tyhjentäminen sekä lämmitysverkostopaineen tarkastus hoidetaan talkoovoimin. Kaikki sellaiset kiinteistöhoidolliset asiat, joissa ei tarvita erityistyökaluja tai erityisosaamista, hoidetaan talkoilla. Erityisosaamista ja erikoistyökaluja vaativia teknisiä toimenpiteitä ovat esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmän, käyttövesiverkoston ja patteriverkoston perussäätö. Talkoilla tehtäviä teknisiä toimenpiteitä ovat esimerkiksi ovi- ja ikkunatiivisteiden vaihto sekä kiinteistön lamppujen vaihtaminen energiatehokkaampiin lamppuihin.

5.7 Kohteen energiatehokas korjaaminen

Tässä luvussa tarkastellaan IDA ICE -ohjelmistolla simuloituja skenaarioita osatoenergian pienentämiseksi.

5.7.1 Aurinkopaneelit

Avonaisella tontilla sijaitsevat rakennukset houkuttelevat investoimaan aurinkopaneeleihin. Rakennusten suuntaus on myös otollinen aurinkopaneeleiden sijoittamiseen kaakko-lounaissuuntaan kaltevuuskulmalle 30° . Kiinteistösähkön kulutus oli mittausten mukaisesti 10 vuoden keskiarvolla laskettuna 13,6 MWh/a. Asukassähkön kulutus kolmehenkilöisessä perheessä, joka asuu rivitalossa, on 4 MWh/a (34). Kohteen kiinteistösähkön ja asukassähkön yhteenlaskettu ja mitattu kulutus olisi kohdekiinteistössä 125,6 MWh/a. IDA ICE

-simuloinnilla asukassähkönkulutuksen, kiinteistösähkönkulutuksen ja kylpyhuoneiden sähkölämmityksen kulutuksen summa on 109,3 MWh/a.

Simuloinnista saatujen tulosten perusteella asentamalla 90 m² aurinkopaneeleita kaakon suuntaan 0 %:n varjostuksella ja 30°:n kaltevuuskulmalla saadaan tulokseksi noin 10 MWh/a hyödynnettyä aurinkosähköä. Mikäli aurinkopaneeleita asennetaan 90 m² lisää lounaan suuntaan, jolloin aurinkopaneeleita on yhteensä 180 m², saadaan tulokseksi yhteensä noin 18 MWh/a hyödynnettyä aurinkosähköä.

Edellä mainittu määrä aurinkopaneeleita vastaa noin 30 kW:n aurinkopaneelitehoa. Tällä teholla inverttereiden määräksi riittäisi yksi.

5.7.2 Huoneistokohtainen ilmanvaihto

Kohdekiinteistön huoneistokohtainen ilmanvaihto pystyttäisiin toteuttamaan C-G-taloissa (kuvat 18 ja 19) sijoittamalla ilmanvaihtokone vaatehuoneeseen. Ilmanvaihtokanavat lävistäisivät yläpohjan eristekerroksen ja kanavat asennettaisiin kylmään ullakkotilaan, jossa suurin osa olemassa olevista poistoilmanvaihtokanavista on jo valmiiksi eritettyinä. Ullakkotilaan sijoitettaisiin tulo- ja poistokanavistoon äänenvaimentimet vaimentamaan häiritsevää ääntä. Poistoilmakanavistossa hyödynnettäisiin olemassa olevaa kanavistoa mahdollisimman paljon ja olemassa oleva keittiön liesikupu kytkettäisiin olemassa olevaan huippuimuriin. Eristetty tuloilmakanavisto asennettaisiin ullakkotilaan, josta tuloilmaa tuodaan makuuhuoneen kattoon asennetun päätelaitteen kautta ja yksi tuloilmakanava tuotaisiin koteloituna vaatehuoneessa alas 1. kerrokseen, jolloin tuloilman päätelaite sijaitisi keskellä olohuoneen kattoa.

Yksikerroksisiin taloihin A ja B (kuva 16) tuloilmakone sijoitettaisiin eritettynä kylmään ullakkotilaan tai kylpyhuoneeseen. Kanavistot sijoitettaisiin eritettynä kylmään ullakkotilaan. Ulkoilma- ja ulospuhallusilman päätelaitteet sijoitettaisiin vesikatolle.

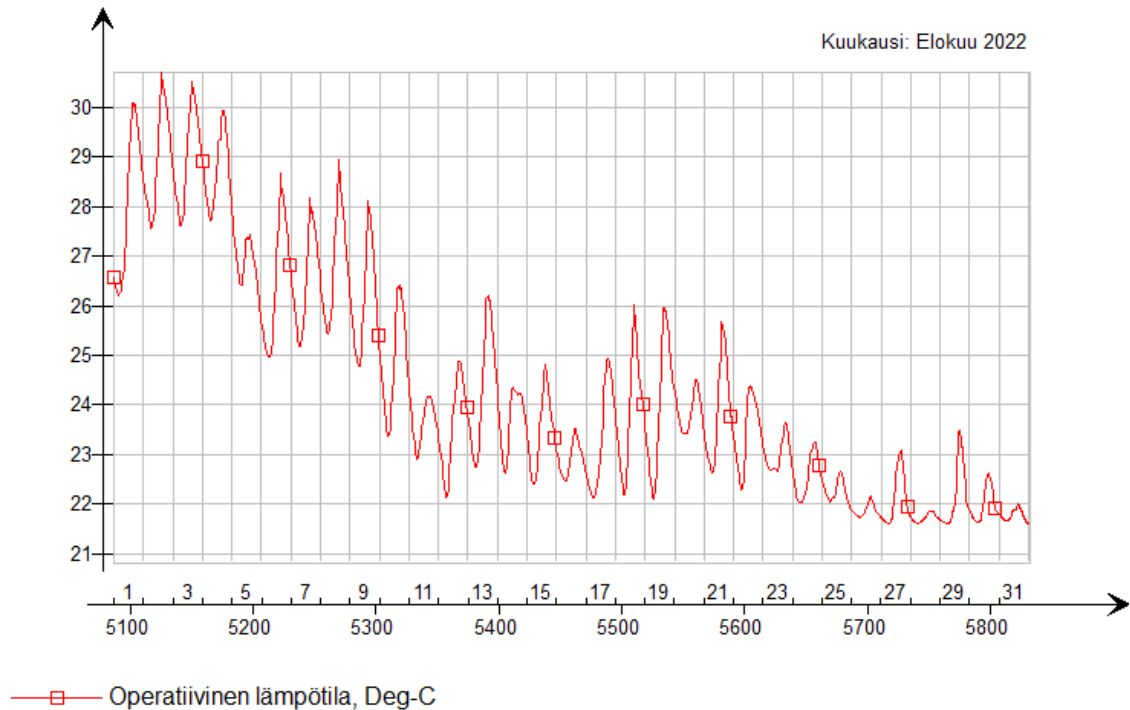
Tuloilmakoneet varusteltaisiin omalla sähkönsyötöllä eteisen ryhmäkeskuksesta, ja niissä olisi sähköinen lämmityspatteri. Ilmanvaihtokoneissa olisi vastavirtalevyllämmöntalteenotto, jonka tuloilman lämpötilahyötysuhde olisi $> 73 \%$, SFP-luku olisi $< 1,5 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ ja ne toimisivat ilman tehostusta ilmavirta alueella $40\text{--}70 \text{ dm}^3/\text{s}$. Ilmanvaihtokoneista olisi mahdollisuus tehostaa huoneistokohtaista ilmavirtaa 30% .

Ilmavaihtokanaviston mitoituksessa tuloilmakanaviston painehäviö oli $53\text{--}59 \text{ Pa}$ riippuen huoneistosta, ja poistoilmakanaviston painehäviö oli $62\text{--}68 \text{ Pa}$. Esimerkkihuneiston painehäviön mitoituksesta on esitetty liitteessä 3. Liitteessä 4 puolestaan on esitetty ilmanvaihtokoneiden mitoitus huoneistotyypeittäin.

Huoneistokohtaisen ilmanvaihtokoneen asentaminen laski merkittävästi os-toenergian kulutusta. Huoneistokohtaisen ilmanvaihtokoneen simulointi laski os-toenergiankulutusta noin 160 MWh/a . Tarkemmat tulokset on esitetty liitteessä 5.

5.7.3 Ilmalämpöpumput huoneistoittain

Ilmalämpöpumpun asentaminen huoneistoihin on ennemminkin viihtyvyysnäkökulmasta tärkeä asia sen jäähdytystoiminnon kannalta. IDA ICE -simuloinnin tuloksena saatiin, että operatiivinen lämpötila oli korkeimmillaan taloissa C–E, joissa se kohosi jopa 31 °C :seen elokuun alussa testivuoden 2012 dataa käyttäen (kuva 25) (22).



Kuva 25. E 18 -huoneiston olohuoneen operatiivinen lämpötila.

Ilmalämpöpumpujen sisäyksiköt asennettaisiin joko portaikon seinälle tai 1. kerroksen olohuoneeseen. Vaihtoehtoina on myös asentaa kaksi sisäyksikköä portaikkoon ja olohuoneeseen. Simuloinnin tuloksena oli parempi asentaa sisäyksikkö olohuoneeseen, jolloin operatiivinen lämpötila kesällä laskee enemmän.

Simulointitulokset energiansäästöissä ostoenergian kulutus laskee n. 5 MWh/a. Ilmalämpöpumppu jäähdyttää simuloinnissa, jolloin sähköenergian kulutus vastavuoroisesti nousi, kun lämmitysenergian kulutus laskee.

5.7.4 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppua mitoittaessa on huomioitava lämmitysverkoston meno- ja paluuvien lämpötilat. Kohdekiinteistön lämmitysverkoston radiaattorit ja konvektorit on mitoitettu lämpötiloille 70°C / 40°C. Lämpöpumpun hyötysuhdetta saadaan paremmaksi, mikäli menolämpötilaa voidaan laskea. Kohdekiinteistössä on eniten Högforsin radiaattorimallia KK -300-1200. Kirjainyhdistelmä KK

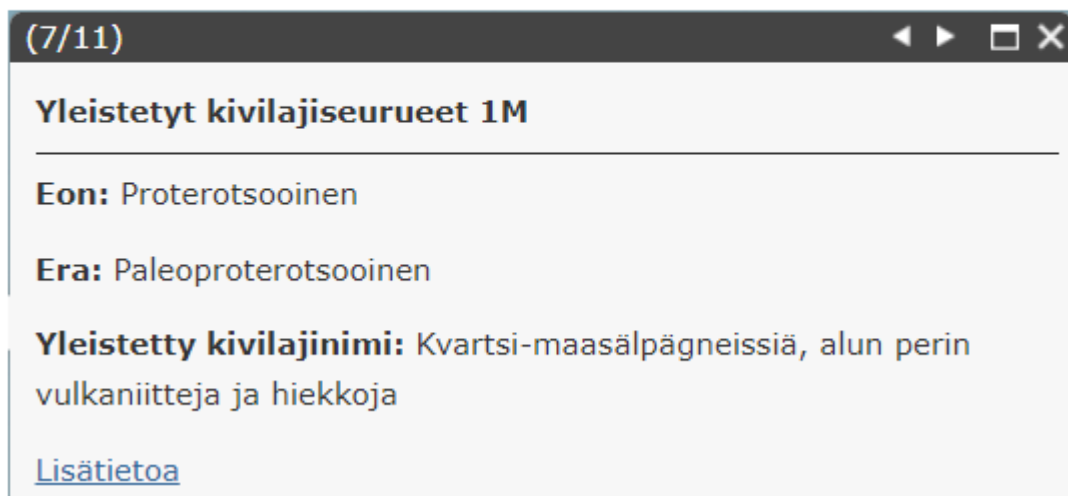
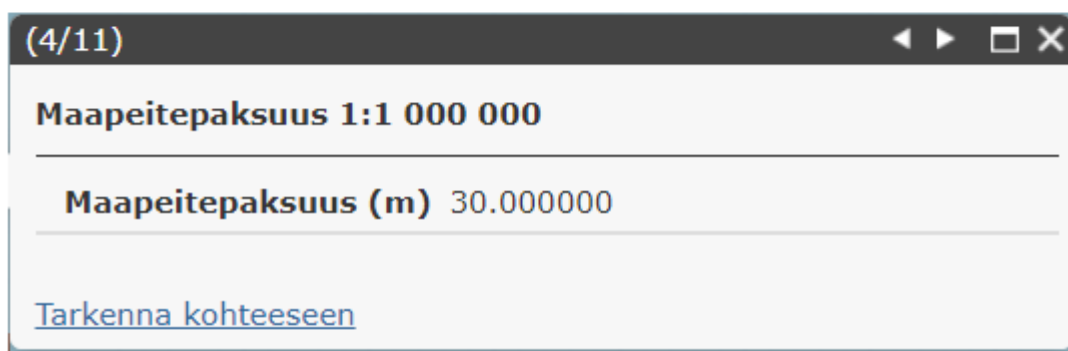
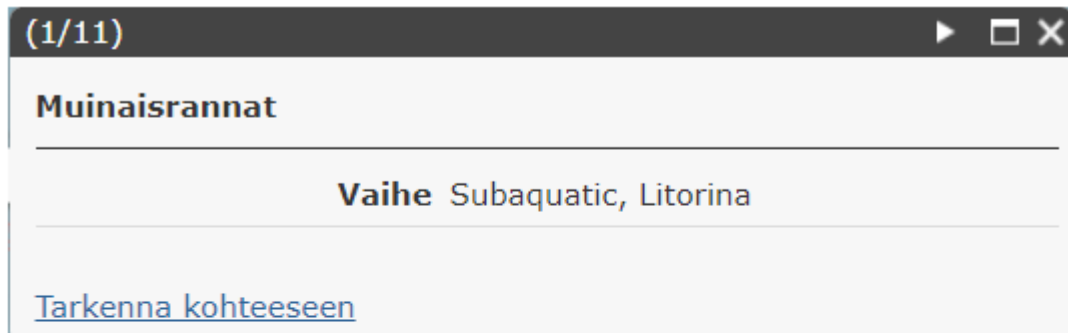
tarkoittaa mallia, 300 tarkoittaa radiaattorin korkeutta ja 1200 tarkoittaa sen pituutta. Tämän radiaattorin lämmönluovutustehot on esitetty taulukossa 2. Maalämpöpumpun mitoitus tehtiin oletuksella, että sen asentamisen yhteydessä uusitaan myös putkikanaalissa olevat lämmitys- ja käyttövesiputket, kun kiinteistössä tehtäisiin muutenkin maanrakennustöitä ja putket olisivat teknisen käyttökänsä päässä. Pienemmällä lämpötilaerolla putkiston virtaama kasvaa, ja tämänhetkiset putkikoot ovat liian pieniä, ja niistä aiheutuisi tarpeettoman suuri painehäviö, joka pienentää niiden teknistä käyttöikä. Mitoitukseen valitut lämpötilat on esitetty taulukossa 1 keltaisella värillä. Näillä mitoituslämpötiloilla radiaattoreita ei tarvitsisi vaihtaa, mutta menoveden lämpötilaa saataisiin laskettua. Runkoputket suurenevat keskimäärin noin 2 dimensiota suuremmiksi ja huoneistokohtainen haaraputki 1 dimension.

Taulukko 1. Högfors-radiaattorin lämmönluovutustehot verkoston eri lämpötiloilla.

Högfors KK-300-1200				
Mitoitus ulkolämpötila °C	Menovedenlämpötila °C	Sisälämpötila °C	Paluuvedenlämpötila °C	Lämmönluovutus-teho W
-26	70	21	40	737
-26	60	21	40	599
-26	50	21	40	469
-26	65	21	50	808
-26	60	21	45	667
-26	50	21	35	406

Kohdekiinteistö sijaitsee Geologian tutkimuskeskuksen maankamarakartan mukaan alueella, jossa on 30 metriä savea ja kallioperä olisi yleistetyltä kivila-

jinimeltään kvartsi-maasälpägneisiä (kuva 26). Kohdekiinteistön tontti ei sijaitse kartta-aineiston mukaan pohjavesialueella (35).



Kuva 26. GTK:n maankamaran maaperätietoja (35).

IDA ICE -simuloinnin lähtötietoina käytettiin laitevalmistajan energialaskelmaa, jossa energiakaivoja oli laskettu 9 kappaletta syvyydeltään 290 metriä. Kaivojen tulisi olla 20 metrin päässä toisistaan. Kaivot pystytään sijoittamaan tontille siten, että ne ovat 20 metrin päässä toisistaan yli 8 metriä tontin rajasta ja yli 6

metriä asuinrakennuksista. Suurin etäisyys kaivon ja lämpöpumpun välillä olisi noin 70 metriä.

Simuloinnissa käytettiin teholtaan 99,7 kW:n lämpöpumppua, jonka COP oli 3,4, sekä energiavaraajaa, jonka tilavuus olisi 1 m³. Optimaalisempi varaajan koko olisi 1,8 m³, mutta olemassa olevaan lämmönjakokeskukseen ei näin suurta kapasiteettiä mahtuisi.

Edellä mainitulla laitteistolla tehopeitto olisi noin 80 %, energiapeitto vastaavasti 95 % ja ostoenergiankulutus laskisi lähtötilanteesta 404 MWh/a. Tarkemmat arvot on esitetty liitteessä 6.

5.7.5 Huoneistokohtaiset vesimittarit

Huoneistokohtainen vedenmittaus olisi toteutettavissa huoneistoissa, kun putkikanaalin haaraputket on nostettu kotelossa eteisen alakattoihin. Huoneistoissa kiertovesipatterin sijainti aiheuttaa huoneistokohtaisen vesimittarin asentamiselle enemmän putkitöitä kuin varsinainen vesimittarin asennus. Vaihtoehtoina on poistaa lämpimän käyttövedenkiertoon kytketty vesipatteri tai tehdä käyttövesien putkimuutokset siten, ettei lämpimän käyttöveden vesimittari mittaa kiertovettä. Useamman kuin kahden huoneistokohtaisen vesimittarin asentaminen ei ole taloudellisesti järkevää.

Putkimuutoksilla lämpimän veden odotusaika kasvaa laskennallisesti seitsemästä sekunnista 11 sekuntiin.

Mikäli huoneistokohtainen vesimittareiden asennus laskisi käyttöveden kuluusta Motivan tutkimuksen mukaisesti 5–20 % (17), saataisiin vesimittareiden asennuksesta käyttöveden lämmitysenergiassa säästöä 9–35 MWh/a.

6 Kohdekiinteistön E-luku ja energia-avustus

Rakennuksen laskennallista kokonaisenergian kulutusta kuvaa E-luku. E-luku on standardikäytöllä lasketun rakennustyyppin ja energiamuotojen kertoimilla painotettu vuotuinen ostoenergiankulutus suhteessa lämmitettyyn nettoalaan ($\text{kWh}_E/\text{m}^2/\text{a}$). Se ei ole vertailukelpoinen energiankulutusmittari muualla kuin Etelä-Suomessa, koska siinä painotetaan energiamuotojen kertoimia ja sen laskennassa käytetään ympäristöministeriön asetuksessa 1010/2017 määrittelemiä Helsinki-Vantaan 2012 vuoden säätietoja. (36.)

E-luvun laskennassa käytetyt energiamuotojen kertoimet 1.1.2018 alkaen ovat

sähkö 1,2

kaukolämpö 0,5

kaukojäähdytys 0,28

fossiiliset polttoaineet 1,0

rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet 0,5 (36, liite 1).

E-luku ilmoitetaan rakennuksen energiatodistuksessa. Energiatodistuksen laatijana voi toimia ainoastaan pätevästiynyt henkilö, joka on suorittanut virallisen pätevyystentin. Energiatodistus laaditaan Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA:n tietojärjestelmän avulla. ARA ylläpitää laatijarekisteriä ja energiatodistusrekisteriä. (36; 37.)

Kohdekiinteistössä on 7 rakennusta, joille pitää laatia kullekin oma energiatodistuksensa (36).

6.1 Energia-avustuskelpoisuus ja avustuksen määrä

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus Ara myöntää energia-avustuksia taloyhtiölle pohjautuen E-luvun pienentämiseen korjaushankkeissa. Avustusjärjestelmän tarkoitus on myöntää tukea suhteessa saavutettuihin energiatehokkuushyötyihin. Avustuksen määrä riippuu siitä, kuinka paljon rakennuksen E-luku pienenee korjaushankkeen jälkeen verrattuna E-luvun lähtötasoon. Avustuksen myöntämisen ehtona on, ettei samaan kohteeseen ole myönnetty muuta julkista avustusta. Mikäli hankkeeseen saadaan energia-avustusta, siihen ei voi saada kotitalousvähennystä. (37; 38.)

Avustuksen saaminen edellyttää, että jokin seuraavista energiatehokkuutta parantavista toimenpiteistä toteutuu:

1. Parantamalla energiatehokkuutta prosentuaalisesti, mikä rivitalojen kohdalla tarkoittaa 36 %:n parannusta lähtötason E-lukuun.
2. Parantamalla energiatehokkuutta lähes nollaenergiatasolle, mikä rivitalojen kohdalla tarkoittaa E-lukua 105 kWh/m²/a.
3. Parantamalla energiatehokkuutta lähes nollaenergiatasoisissa rivitaloissa ympäristöministeriön asetuksessa 4/13, 7 §:ssä säädetyn 20 %:n vähimmäistasoon. (5; 38.)

Avustettavan toimenpiteen osuus on 20–100 % riippuen toimenpiteestä. Avustusta maksetaan kuitenkin enintään 50 % avustettaviksi hyväksyttävistä kustannuksista. Kustannukset lasketaan toimenpiteittäin ja rakennuskohtaisesti. Avustuksen enimmäismäärä on 4 000 euroa tai 6 000 euroa asuntoa kohti riippuen siitä, mikä kolmesta edellä mainitusta vaihtoehdosta toteutuu. (36.)

Avustusta haetaan sähköisesti Aran verkkoasioinnissa tai paperilomakkeilla. Hakemuksessa on ilmoitettava laskelma E-luvusta rakennusajankohtana ja korjausten vaikutuksista. Lisäksi on esitettävä asiantuntijan selvitys toimenpiteistä

sekä kustannusarvio, joilla vaadittu energiatehokkuus saavutetaan. Selvityksessä on myös osoitettava, ettei toimenpiteistä aiheudu vaaraa tai haittaa rakennukselle, naapurustolle tai ympäristölle. (38.)

Hakija maksaa ensin avustushakemukseen tarvittavat suunnitelmat, todistukset ja mahdolliset luvat sekä energiatehokkuutta parantavat kohteessa tehtävät toimenpiteet. Avustus maksetaan jälkikäteen hankkeen valmistuttua yhdessä erässä. Avustusta haetaan hyväksytyt päätöksen liitteenä olevalla maksatushakemuksella. Avustus maksetaan avustuksen saajalle myöhästämivuoden ja kahden seuraavan kalenterivuoden aikana. Viimeisenä maksuvuonna avustushakemus pitää toimittaa viimeistään 31.10. mennessä. Maksatushakemuksessa tulee olla liitteenä korjausten jälkeinen energiatodistus, avustuksen saajan allekirjoittama selvitys toteutuneista kustannuksista sekä toteutusta vastaavat allekirjoitetut suunnitelmat. ARA voi edellyttää väli- ja lopputarkastuksia pidettäväksi kohteen tiloihin, tai se voi valtuuttaa kunnan tekemään tarkastukset. (37.)

6.2 Kohteen E-luku

Kohdekiinteistön E-luku laskettiin IDA ICE -simulointiohjelmalla olemassa olevien dokumentteja hyväksikäyttäen siten, että kohdekiinteistölle saatiin lähtötaso.

Taulukon 2 mukaisilla lähtötiedoilla määriteltiin IDA ICE -simuloinnilla kohdekiinteistön tämänhetkinen E-luku. E-lukua hieman vääristää se, että tässä tuloksessa ovat mukana koko kiinteistön kaikki rakennukset, eikä niin sanottu rakennuskohtainen E-luku.

Taulukko 2. Kohdekiinteistön lähtötiedot.

KV/LV:	
Normaalipaine	650 kPa
Staattinen painehäviö vesimittarille	266 kPa
Tonttivesijohto+vesimittarin painehäviö	25 kPa
Käytettävissä oleva paine vesimittarin jälkeen	359 kPa
Mitoitusvirtaama	1,37 l/s
Kalusteiden normivirtaamien summa KV	23,6 l/s
Kalusteiden normivirtaamien summa LV	16 l/s
70 % virtaamalla tarvittava painetaso vesimittarin jälkeen	269 kPa
KV-verkoston suurin painehäviö 100 % virtaamalla	293 kPa
LV-verkoston suurin painehäviö 100 % virtaamalla	358 kPa
LVK- verkoston putkien yhteispituus (sis. LV)	1050 m
LVK-verkoston virtaus	0,89 l/s

Lämmitys:	
Lämpöhäviöt	146 kW
Lämmitysverkoston virtaama	1,13 l/s
Lämmitysverkoston kokonaispainehäviö	29,4 kPa
Lämmitysverkoston siirtimenpainehäviö	10 kPa
Kokonaispainehäviö	39,4 kPa
Nesteen mitoituslämpötilat	70/40 °C

Rakenteet:	U-arvo
Ulkoseinä 1	0,28 W/m ² K
Ulkoseinä 2	0,28 W/m ² K
Yläpohja	0,17 W/m ² K
Alapohja	0,24 W/m ² K
Ikkunat	0,21 W/m ² K
Ulko-ovi 1	2,2 W/m ² K
Ulko-ovi	1,48 W/m ² K

Ilmanvaihto:	
Poistoilmavirta	1,628 m ³ /s
Tuloilmavirta	

Energiatohokkuuden vertailuluku on näillä lähtötiedoilla 178 kWh_E /m²/a.

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA on tehnyt taulukkolaskentatyökä-
lun, jolla voidaan arvioida energiatehokkuuskorjauksien tavoitetason avulla E-
luvun muutostarve (37).

Mikäli kohdekiinteistö tavoittelisi normaalia tasoa, pitäisi energiatehokkuutta pa-
ranta 36 %, mikä tarkoittaa E-luvun muutostarvetta siten, että energiatehok-
kuuskorjauksen jälkeen rakennusten E-luku olisi 114 kWh_E /m²/a.

(- 64 kWh_E /m²/a.)

Jos taas haetaan energiatehokkuuskorjauksilla tavoitetasoksi lähes nollaener-
giatasoa, vaatii tämä E-luvun muutosta luvusta 178 kWh_E /m²/a lukuun
105 kWh_E /m²/a. (- 73 kWh_E /m²/a.)

Kohdekiinteistön päätös siitä, mitä tasoa haetaan, on myös taloudellisesti mietit-
tävä harkiten. Lähes nollaenergiatehokkuustasoa haettaessa myönnettävä
avustus voi olla enintään 168 000 € ja normaalia tavoitetasoa haettaessa
112 000 €.

E-lukua simuloitaessa IDA ICE -ohjelmistolla pelkkä maalämpöpumpun lisäämi-
nen ei riitä saavuttamaan sellaista energiatehokkuuden parannusta, jolla ener-
gia-avustuksen myöntämisen kriteerit täytyisivät. Aurinkopaneeleilla ja maaläm-
pöpumpulla E-lukua saatiin pienennettyä arvoon 125 kWh_E /m²/a, mikä ei riitä
avustuksen myöntämisen kriteeriksi.

Taulukosta 3 ilmenee, että simuloimalla kaikki energiatehokkuutta parantavat
toimenpiteet ei päästä normaaliin tasoon vaan jo lähes nollaenergia-tasoon.

Taulukko 3. Kohdekiinteistön E-luku-simuloinnit (kWh_E/m²/a).

Simuloidut skenaariot	E-luku	Normaalitaso	Lähes nol- lataso
Lähtötilanne	177	114	105
PV-paneelit	168	114	105
PV-paneelit+ILP	166	114	105
PV-paneelit+ILP+huoneistokohtainen IV	132	114	105
PV-paneelit+MLP	125	114	105
PV-paneelit+MLP+ILP+huoneistokohtainen IV	103	114	105

Pienemmällä tehoiteilla olevalla maalämpöpumpulla päästäisiin normaalitason, mutta sellaisen järjestelmän hankintaa kannattaa harkita tarkoin.

6.3 Kohteen simulointitulosten kustannukset

Simulointiskenaarioista pyydettiin tarjouspyynnöt laitetoimittajilta ja urakoitsijoilta mainiten, että hintoja käytetään insinööryön kustannustarkasteluissa. Kustannuksissa on huomioitu rakennusaputyöt, mutta ei ole tarkastettu esimerkiksi sähköliittymän riittävyttä maalämpöpumpun asentamisen kannalta. Lisäksi huoneistokohtaisen ilmanvaihtokoneen sähköistystä ei ole huomioitu laskennassa, koska hinnat saatiin ilmanvaihtourakoitsijoilta, jotka eivät tee sähkötyitä. Ilmalämpöpumpun investointikustannuksissa on huomioitu sähkötyöt, mutta ei ole huomioitu sitä, tarvitseeko huoneistojen ryhmäkeskus uusia ilmalämpöpumpun sähköistyksen takia.

Näillä rajauksilla skenaarioiden hankintahinnat on esitetty taulukossa 4. Huoneistokohtaisen ilmanvaihtokoneen lisääminen oli hankintahinnaltaan kallein investointi ja aurinkopaneeleiden lisääminen halvin.

Taulukko 4. Kohteen E-luku-muutokset (kWh_E/m²/a) ja hankintahinnat (€).

Simuloidut skenaariot	E-luku	Hankintahinta
Lähtötilanne	177	0
PV-paneelit	168	47120
PV-paneelit+ILP	166	153520
PV-paneelit+ILP+huoneistokohtainen IV	132	353520
PV-paneelit+MLP	125	197120
PV-paneelit+MLP+ILP+huoneistokohtainen IV	103	503520

Huoneistokohtaisten vesimittareiden asentaminen ei ole suoraan energia-avustushakemuksessa mainittu toimenpide, vaan se vaatisi erillisen selvityksen siitä, että sillä parannetaan laskennallista energiatehokkuutta (37).

6.4 Kohteen simulointitulosten takaisimaksuajat

Takaisimaksuajat laskettiin 10 vuoden mitatulla kaukolämmön energiakulutuksen keskiarvolla ja sähkönkulutuksella (kiinteistösähkön ja lasketun asukassähkön summa).

Insinööriyön tekohetkellä kuluttajahintaindeksin kautta laskettuna inflaatio oli vuoden 2022 helmikuussa 4,5 %, teollisuuden tuottajahintaindeksi 22,4 % ja rakennuskustannusindeksi 7,5 % vuodentakaiseen nähden. Laskennassa arvioidaan kuitenkin 2 % inflaatiota, koska laskentajaksona käytetään 20:tä vuotta. (39.)

Tämän insinööriyön laatimisen hetkellä sähkön ja kaukolämmön hinnat ovat huipussaan. Vuonna 2022 helmi-maaliskuussa sähkön keskihinta on kuluttajalle siirtoineen ollut noin 190 €/MWh. Laskennassa käytetään sähkön hintaa 130 €/MWh ja kaukolämmön hintaa 78 €/MWh. (12.)

Taulukossa 5 on esitetty elinkaarikustannuslaskennan lähtötiedot, joilla laskut on suoritettu.

Taulukko 5. Elinkaarikustannuslaskennan lähtötiedot.

Energia-, aika-, kustannus- ja korkotekijät		
Kaukolämmön kulutus	$Q_{\text{lämmitys, KL}}$	360,5 MWh/a
Sähkön kokonaiskulutus	$Q_{\text{sähkö kok.}}$	125,4 MWh/a
Kaukolämmön hinta	H_{KL}	78 €/MWh
Sähkön hinta	$H_{\text{sähkö}}$	130 €/MWh
Tarkastelu-aika	n	20 a
Nimelliskorko	i	5 %
Inflaatio	f	2 %
Energian hinnan inflaatio (eskalaatio)	f_e	4 %
Reaalikorko	$r = (i - f)/(1 + f)$	2,941 %
Energian hinnan reaalikorko	$r_e = (i - f_e)/(1 + f_e)$	0,962 %
Energian reaalin hintakehitys	$e_r = (f_e - f)/(1 + f)$	1,961 %

Yksittäisten energiatehokkuutta parantavien parannusten suorat takaisimaksuajat ja nykyarvot on esitetty taulukossa 6. Taulukosta käy ilmi, ettei ilmalämpöpumpun asentaminen ole taloudellisesti järkevää ja laitteiston tekninen käyttöikä on lyhyempi kuin takaisinmaksuaika. Tarjouspyyntöjen perusteella saatu hankintahinta on myös suhteellisen korkea, tosin tarjouksia saatiin vain yksi.

Taulukko 6. Elinkaarikustannuslaskennan tulokset.

Energiatehokkuustoimenpide	Hankintahinta (€)	TMA (vuosi)	LCC (nykyarvo €)
PV-paneelit	47 120	20,8	-7 956
Ilmalämpöpumput huoneistoittain	106 400	38,8	-55 778
Huoneistokohtainen ilmanvaihtokone	200 000	10,0	159 753
Maalämpöpumppu	150 000	10,6	86 929
Vesimittareiden asentaminen	19 065	9,7	21 029

Kohteen energiatehokkuuden parantamisen toimenpiteet pitää yhdistää, mikäli energia-avustusta halutaan hakea. Yksittäisiä toimenpiteitä ei voida vain laskea yhteen, sillä tällä tavoin saadaan enemmän energian säästöä kuin kohdekiinteistö tällä hetkellä kuluttaa. Yhteisvaikutuksen mukaisen takaisinmaksuajan apuna käytettiin IDA ICE -simulointia. Kaikkien toimenpiteiden yhdistämisellä päästiin lopputulokseen, jossa kaukolämmön ostoenergian kulutus oli enää

1 MWh/a ja vastaavasti sähköenergiankulutus nousi noin 97 MWh/a. Yhteisvai-
kutuksen takaismaksuajaksi laskettiin noin 30 vuotta ilman energia-avustusta ja
energia-avustus huomioiden noin 22 vuotta. Tarkemmat laskennat on esitetty
liitteessä 8.

6.5 Energia-avustuslaskenta lähes nollaenergia tasoa tavoitellessa

Energia-avustuslaskennassa suunnittelukustannukset ovat 100 % avustettavaa
kuluja ja suurin osa esitetyistä toimenpiteistä on 50 % avustettavaa kuluja. Tar-
jouspyynnöistä saadut hankintahinnat asetetaan ARA:n tekemään taulukkolas-
kentatyökaluun kuvan 27 osoittamalla tavalla.

ara Asuimen rahoitus- ja kehittämiskeskus

RAKENNUKSEN TIEDOT			
Asuinhuoneistojen lukumäärä:	28	Rakennustyyppi:	Rivitalo
Lämmitetty nettoala:	2192,00	Käyttötarkoitusluokka:	1d
Energiatehokkuuskorjauksien tavoitetaso		E-luvun muutostarve	
	nolla	Lähtötilanteen E-luku	178,00
		E-luvun muutostarve	73
		Tavoite E-luku	105

KUSTANNUSLASKURI			
Avustusprosentti	Kokonaiskustannus	%	Hyväksyttävät
Syötä 20 % avustettavaa kuluja sisältävien summa:	144 400 €	20 %	28 880 €
Syötä 50 % avustettavaa kuluja sisältävien summa:	354 000 €	50 %	177 000 €
Syötä 100 % avustettavaa kuluja sisältävien summa:	27 600 €	100 %	27 600 €
Muu:	19 060 €	35 %	6 671 €
Muu:		56 %	- €
Yhteensä:	545 060 €	44 %	240 151 €

AVUSTUSLASKURI	
Myönnettävä avustus enint.	120 076 €
Avustusprosentti kaikista kuluista	22 %
Avustusprosentti tukielpoisista kuluista	50 %

Kuva 27. Avustuslaskurin tulokset kohdekiinteistön esimerkkitoimenpiteillä (37).

Mikäli ARA myöntäisi kohdekiinteistölle 120 076 euron avustuksen, lyhentäisi tämä takaisinmaksuaikaa 8 vuotta.

Liitteessä 7 on esitetty, mikä kustannus on avustettavaa kulua milläkin prosentiosuudella. Tämän laskurin tulokset on liitetty liitteessä 8 esitettyyn elinkaari-kustannuslaskentaan. Liitteessä 9 on esitetty eri IDA ICE -simulointiraportti, josta ilmenee, kuinka paljon kokonaisuudessaan energia kuluu aurinkopaneelien, maalämpöpumpun ja huoneistokohtaisen koneellisen ilmanvaihdon sekä ilmalämpöpumpun lisäämisen jälkeen. Liitteessä 10 on esitetty kohteen tämänhetkinen ostoenergian kulutus IDA ICE -simuloinnilla.

6.6 Toimenpiteiden vaikutus hiilidioksidipäästöihin

Energiankulutuksen hiilijalanjälki laskettiin 30 vuodelle taulukon 7 osoittamalla tavalla. Toimenpiteillä saatiin hiilidioksidipäästöjen vähentyminen 55 %:lla lähtötasoon verrattuna, kun käytetään rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmän päästökertoimia. Hiilikädenjälkeä ei laskettu tässä työssä.

Taulukko 7. Toimenpiteiden vaikutus hiilidioksidipäästöihin.

Vaikutus CO ₂ -päästöihin		2020	2030	2040	2050	
Kaukolämmön CO ₂ -päästökerroin	CO ₂ -päästökerroin _{KL}	130	93	63	37	kg CO ₂ /MWh
Sähkön CO ₂ -päästökerroin	CO ₂ -päästökerroin _{sähkö}	121	57	30	18	kg CO ₂ /MWh
CO₂-päästöt ilman muutoksia						
Kaukolämmön kulutuksen CO ₂ -päästöt	CO ₂ -päästöt _{KL}	46 865	33 527	22 712	13 339	kg CO ₂ /a
Sähkön kulutuksen CO ₂ -päästöt	CO ₂ -päästöt _{sähkö}	15 173	7 148	3 762	2 257	kg CO ₂ /a
Päästöt yhteensä		62 038	40 674	26 474	15 596	kg CO ₂ /a
CO₂-päästöt muutoksien kanssa						
Kaukolämmön kulutuksen CO ₂ -päästöt	CO ₂ -päästöt _{KL}	141	101	68	40	kg CO ₂ /a
Sähkön kulutuksen CO ₂ -päästöt	CO ₂ -päästöt _{sähkö}	27 964	13 173	6 933	4 160	kg CO ₂ /a
Päästöt yhteensä		28 105	13 274	7 001	4 200	kg CO ₂ /a
CO ₂ -päästöjen muutos		-46 724	-33 426	-22 643	-13 298	kg CO ₂ /a
Päästöjen väheneminen vuodessa		-21,3	-15,2	-10,3	-6,1	kg CO ₂ /am ²
Päästöjen väheneminen 10 vuoden aikana		-213,2	-152,5	-103,3	-60,7	kg CO ₂ /m ²
Päästöjen väheneminen prosentuaalisesti		-55 %	-67 %	-74 %	-73 %	%/a

7 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä tutkittiin, millaisia energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä on rivitaloyhtiössä tehtävä, jotta se saisi ARA:n määrittelemän energiaavustuksen, ja mitkä toimenpiteet ovat toteutettavissa siten, että takaisinmaksuaikaa voidaan pitää järkevänä. Insinööriyössä vertailtiin eri toimenpiteiden

säästöpotentiaaleja, niiden vaikutusta E-lukuun ja takaismaksuaikaan sekä nykyarvoa.

Päätös energiasäästötoimenpiteistä on aina taloyhtiön, mutta mikäli yhtiö on uusimassa taloteknisiä järjestelmiä, tulee kiinnittää erityistä huomiota energiasäästöratkaisuihin. Ympäristöministeriön asetus 4/13 rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä ohjaa yhtiötä energiatehokkaisiin ratkaisuihin, mutta energiatehokkuuden parantamiseksi on olemassa myös muita ratkaisuja – asukkaiden tarpeeton energiankäyttö on karsittava ja tarpeellista optimoitava.

Elinkaarilaskelmissa on paljon laskentaparametrejä, joita on arvioitava laskelmia tehdessä. Elinkaarilaskelmissa on syytä tehdä useampi tarkastelu, jossa muutetaan laskelmien laskentaparametrejä esimerkiksi reaalikorkoa tai energianhintojen reaalista nousua. Korkokantaa muuttamalla päästään monesti erilaisiin laskentatuloksiin.

IDA ICE -simuloinnilla ostoenergian kulutus oli paljon suurempi kuin kiinteistössä mitattu ostoenergian kulutus. Tähän vaikuttaa luultavasti asukkaiden märkätilojen sähköisen lattialämmityksen käyttö ja ilmanvaihdon sähkönkulutus, jotka laskutetaan asukkaalta. Asukkaan sähkönkulutuksen mittauksen puuttuminen laskelmista ei olennaisesti vaikuttanut lopputulokseen. Kiinteistön normeerattu lämmitysenergiankulutukseen ei päässyt lähelle IDA ICE -ohjelmalla simuloitua kaukolämmön energiankulutusta.

Energiatehokkuuden parantamisen ajoittaminen on haastava ja hyvin harkittava päätös. Hintatietojen saaminen urakoitsijoilta ja laitevalmistajilta oli työtä tehdessä mutkikkaampaa kuin osasin odottaa, koska ajankohtaisimmat puheenaiheet olivat insinööriä tehtäessä materiaalien hinnannousu ja viivästyneet toimitusajat.

Kohteen energiatehokkuuden parantamisen suunnittelu kannattaa aloittaa hyvissä ajoin, ja sen toteuttaminen kannattaa ajoittaa linjasaneerauksen yhtey-

teen. Energia-avustuksen saamiseksi kohteessa on investoitava sekä maalämpöpumppuun että huoneistojen koneelliseen ilmanvaihtoon lämmöntalteenotolla. Kohteessa toteutettavan sähköremontin yhteydessä huoneistoihin tulisi asentaa ilmalämpöpumppu sekä aurinkosähköpaneelit. Ilman energia-avustusta energiansäästötoimenpiteet eivät ole kustannustehokkaita ratkaisuja.

Lähteet

- 1 Tutkimus: Yhdyskuntarakenteen tiivistäminen vähentäisi kasvihuonepäästöjä. 2010. Verkkoaineisto. Rakennuslehti 18.8.2010. <<https://www.rakennuslehti.fi/2010/08/tutkimus-yhdyskuntarakenteen-tiivistaminen-vahentaisi-kasvihuonepaastoja/>>. Luettu 22.3.2022.
- 2 Smil Vaclav. 2019. Energia ja sivilisaatio: historia. Helsinki: Terra Cognita Oy.
- 3 Suokkonen, Aki ja Partanen, Sauli. 2017. Energian aika: avain talouskasvuun, hyvinvointiin ja ilmastomuutokseen. Helsinki: WSOY.
- 4 Asetukset, direktiivit ja muut säädökset. Verkkoaineisto. Euroopan unioni. <https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/law/types-legislation_fi>. Luettu 1.12.2021.
- 5 Ympäristöministeriö: 4/13 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 27.2.2013. Verkkoaineisto. Luettu 8.12.2021.
- 6 Ympäristöministeriö: 2/17 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta 12.5.2017. Verkkoaineisto. <<https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/700001/43242>>. Luettu 8.12.2021.
- 7 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (2010/31/EU), muutettuna direktiivillä 2018/844/EU, artiklan 2a mukainen ilmoitus. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/files/17067/Pitkan_aikavalin_korjausrakentamisen_strategia_2020-2050.pdf>. Päivitetty 10.3.2020. Luettu: 12.2.2022.
- 8 Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020-2050: Tiekartta ja toimeenpanosuunnitelma 2021-2030. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://ym.fi/documents/1410903/33891761/Korjausrakentamisen+strategia_Tiekartta+ja+toimeenpanosuunnitelma.pdf/d215ff41-f2e6-44da-b371-65f3f1047333/Korjausrakentamisen+strategia_Tiekartta+ja+toimeenpanosuunnitelma.pdf?t=1623307901674>. Päivitetty: 5.2022 Luettu: 20.2.2022.
- 9 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU, annettu 25. päivänä lokakuuta 2012, energiatehokkuudesta, direktiivien 2009/125/EY ja 2010/30/EU muuttamisesta sekä direktiivien 2004/8/EY ja 2006/32/EY kumoamisesta. Verkkoaineisto. Euroopan unionin virallinen lehti 14.11.2012.

- 10 Virta, Jari ja Pylsy, Petri. 2011. Taloyhtiön energiakirja. Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitran julkaisusarja (Sitra 295). Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy.
- 11 Koskelainen, Lasse; Saarela, Rauli & Sipilä, Kari. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Energiateollisuus ry Kaukolämpö.
- 12 Kaukolämmön hintagraafit. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukolammon_hintagraafit.html#material-view>. Päivitetty 24.02.2022. Luettu 3.3.2022.
- 13 Lämmitysverkoston perussäätö säästää rahaa ja luo terveellisen sisäilmaston. 2002. Verkkoaineisto. Motiva. <<http://www.motiva.fi/files/781/perussaaotesite.pdf>>. Luettu: 26.2.2022.
- 14 Myyryläinen, Leevi. 2019. Rakennusten elinkaari, energia ja kunto. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 15 Vesilaki. 2011. 587/27.5.2011.
- 16 Vesilaitosyhdistyksen julkaisusarja nro 70. 2018. Verkkoaineisto. Vesilaitosyhdistys ry. <https://www.vvy.fi/site/assets/files/2196/kiinteistojen_tonttivesijohtojen_ja_viemareiden_saneeraus_hankeraportti.pdf>. Luettu 19.2.2022.
- 17 Huoneistokohtaisten vesimittareiden käyttö ja vaikutukset rakennusten energiankulutukseen. 2009. Työryhmämuistio. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <www.motiva.fi/files/5725/Tyoryhmamuistio_Huoneistokohtaisten_vesimittareiden_kaytto_ja_vaikutukset_rakennusten_energiankulutukseen.pdf>. Luettu 2.2.2022.
- 18 Vedenkulutus. 2021. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/vedenkulutus>. Luettu 2.2.2022.
- 19 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen vesi- ja viemärlaitteistoista 2017. 1047/2017.
- 20 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 2017. 1009/2017.
- 21 Seppänen, Olli; Hausen, Alvar; Hyvärinen, Kalevi; Heikkilä, Pekka; Kaappola, Esko; Kosonen, Risto; Oksanen, Risto; Railio, Jorma; Ripatti, Harri; Saari, Arto; Tarvainen, Kaija & Vuolle, Mika. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy ja Suomen LVI-liitto.

- 22 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 2017. 1010/2017.
- 23 Vinha, Juha; Korpi, Minna; Kalamees, Targo; Eskola, Lari; Palonen, Jari, Kurnitski, Jarek; Valovirta, Ilkka; Mikkilä, Antti & Jokisalo, Juha. 2005. Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatii viys. Tutkimusraportti 131. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
- 24 Energianvuosi 2021 – Sähkö. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/files/4428/Sahkovuosi_2021_netti.pdf>. 12.1.2022. Luettu 20.3.2022.
- 25 Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelma. Verkkoaineisto. Helsingin kaupunki. <<https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/HNH-2035-toimenpideohjelma.pdf>>. Päivitetty: 24.12.2018. Luettu: 14.2.2022.
- 26 Erander, Jari. 2022. Suunnittelu- ja valvontavastaava, Insinööritoimisto Linera Oy. Suullinen tiedoksianto. 15.1.2022.
- 27 Kuittinen, Matti. 2019. Rakennusten vähähiilisuuden arviointimenetelmä. 2019. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisuuden_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. 30.8.2019. Luettu: 20.3.2022.
- 28 Yrjölä, Jukka. 2018. Investointilaskelmat. Luentomoniste 16.5.2018. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 29 Smartvatten-järjestelmäkuvaus.2021. Verkkoaineisto. Envera Oy. <<https://smartvatten.com/fi/palvelut/>>. Luettu 10.4.2022.
- 30 Kohdekiinteistön 1/4 kulutusraportti. Smartvatten Oy. 30.3.2022. Luettu 1.4.2022.
- 31 Hyvä ilmanvaihto. 2021. Verkkoaineisto. Motiva Oy. < https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/hyva_ilmanvaihto>. Luettu 2.2.2022.
- 32 Homevaurioiden ehkäisy ja tunnistaminen. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys ry. < <https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Homevaurioiden-ehkaisy-ja-tunnistaminen>>. Luettu 3.3.2022.
- 33 Tii viiden asuinrakennusten ilmanvaihdon suunnitteluohje paine-erojen hallintaan. Talotekniikkainfo. Verkkoaineisto. 2021. A-insinöörit Oy.

- <https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/tiiviiden_asuinrakennusten_ilmanvaihdon_suunnitteluohje_paine-erojen_hallintaan_19.3.2021.pdf>. Luettu 29.2.2022.
- 34 Kodin sähkönkulutus. 2020. Verkkoaineisto. Vattenfall Oy. <<https://www.vattenfall.fi/energianeuvonta/sahkonkulutus>>. Luettu 2.3.2022.
- 35 Maankamara kartta-aineisto. Verkkoaineisto. Geodeettinen tutkimuskeskus. <<https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>>. 28.2.2022.
- 36 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 2017. 1048/2017.
- 37 Energia-avustusohje taloyhtiöt. Verkkoaineisto. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (Ara). <https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ja_avustukset/Energiaavustus/Taloyhtiot> Luettu. 4.4.2022
- 38 Valtioneuvoston asetus asuinrakennusten energia-avustuksista vuosille 2020–2022. 2019. 1341/2019.
- 39 Indeksit. 2022. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://tilastokoulu.stat.fi/verkkokoulu_v2.xql?course_id=tkoulu_inde&lesson_id=4&page_type=sisalto&subject_id=1>. Päivitetty 14.03.2022. Luettu 9.4.2022.
- 40 Vuolle, Mika. 2022. Toimitusjohtaja. Equa Simulation Finland Oy. Helsinki. Sähköpostikeskustelu 2.2.2022–4.4.2022.

Högfors-merkkiset radiaattorit ja konvektorit



RETTIG METALLI
HEINOLAN TEHDAS
Vanha Lahdentie 18100 Heinola

S

Reb

Högfors-radiaattorit

Radiaattorit valmistetaan kylmävalaistusta
berylliväyriä muotopuristamalla ja hitsamalla.
Rakennepaine on 6 bar.
Rakennemallit P, K, PP, KP, KK.
Rakennemitat: Korkeudet 300, 400, 500 ja
600 mm.

Pituudet 600...3000 mm, 200 mm jaolla.
Lämmönluovutus: tehot perustuvat lämpö-
laboratorionne sekä ESRIA:n suorittamiin
koesjoihin.

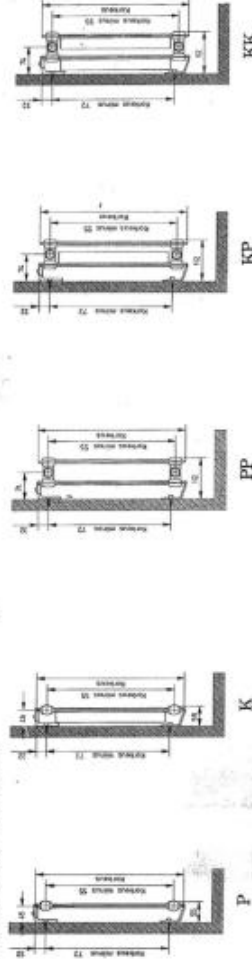
Rakennemallit ja asennusmitat.

Liittämät: normaalisti DN 10 tai tilauksen
mukaan DN 13, ilmavuvi DN 6.
Liittämöjen sijoitusmerkintä



Pintäksittely: normaalisti valmiiksi-
maalauus (VM) tilauksesta pohjamaalaus (PM).
Kannakkeiden määrät: pituus 600...1400 mm, 2 paria.
1800...3000 mm, 3 paria.

Merkittämistapa:
Esim.: 1400 - 500 - P - AB 10 - VM
pituus mm
korkeus mm
malli
liittämät
pintäksittely



Tekniset tiedot

Tekniset arvot pituusmitta korkeus	Korkeus ja malli																				
	300			400			500			600											
	P	K	PP	KK	P	K	PP	KK	P	K	PP	KK	P	K	PP	KK					
Teho W, Δt 60	488	664	786	1048	1284	598	863	1018	1348	1631	736	1057	1246	1635	1063	872	1248	1465	1916	2383	
Vesivirta kg/h	19,7	28,5	33,8	45,1	55,2	25,7	37,1	43,8	57,9	70,1	31,6	45,4	53,5	70,8	84,4	37,5	53,7	63,0	82,4	96,3	
Taloudellinen lämpöteho m ²	0,73	0,90	1,06	1,46	1,83	0,87	1,09	1,74	1,96	2,16	1,10	1,36	2,30	2,46	2,72	1,58	1,70	2,76	3,08	3,40	
Vesiliavuus dm ³ /h	1,84	1,84	3,68	3,68	2,21	2,21	4,42	4,42	4,42	4,42	2,64	2,64	5,28	5,28	5,28	3,01	3,01	6,02	6,02	6,02	6,02
Paino kg	5,8	7,2	12,2	13,2	14,5	7,8	9,7	15,4	17,5	19,3	9,5	12,0	19,0	21,8	24,3	11,5	14,6	23,6	25,4	29,4	29,4

Högfors-radiaattorit

Lämmönluovutus W Δt 35 (esim. 70...40/20)

Δt = radiaattorin keski-lämpötilan ja huonelämpötilan ero.

PITUUS mm	Korkeus ja malli																							
	300						400						500						600					
	P	K	PP	KP	KK	KK	P	K	PP	KP	KK	KK	P	K	PP	KP	KK	KK	P	K	PP	KP	KK	KK
600	140	200	240	320	380	180	260	310	410	490	230	320	370	490	580	270	380	440	580	680				
800	190	270	320	420	510	240	350	410	540	650	300	430	500	660	780	360	500	590	770	910				
1000	230	330	390	530	640	300	440	510	680	810	350	530	620	820	970	440	630	740	960	1130				
1200	280	400	470	630	760	370	520	610	810	970	450	640	750	980	1170	530	760	880	1150	1360				
1400	330	470	550	740	890	430	610	710	950	1130	530	750	870	1150	1360	620	880	1030	1350	1590				
1600	370	540	630	840	1020	490	700	820	1080	1290	600	850	1000	1310	1560	710	1010	1180	1540	1810				
1800	420	600	710	950	1150	550	780	920	1220	1460	680	960	1120	1480	1750	800	1130	1320	1720	2040				
2000	470	670	790	1050	1270	610	870	1020	1350	1620	750	1070	1250	1640	1950	890	1260	1470	1920	2270				
2200	510	740	870	1160	1400	670	960	1120	1480	1780	830	1170	1370	1800	2140	980	1380	1620	2110	2490				
2400	560	800	950	1260	1530	730	1040	1230	1620	1940	900	1280	1500	1970	2340	1070	1510	1770	2310	2720				
2600	610	870	1020	1370	1660	790	1130	1330	1760	2100	980	1390	1620	2130	2530	1160	1640	1910	2500	2950				
2800	650	940	1100	1470	1780	850	1220	1430	1890	2270	1050	1490	1750	2300	2780	1250	1760	2060	2680	3170				
3000	700	1000	1180	1580	1910	910	1310	1530	2030	2430	1130	1600	1870	2460	2920	1330	1890	2210	2880	3400				

Högfors-radiaattorit
Lämmönluovutus W Δt 40 (esim. 70...50/20)

Δt = radiattorin keski-
lämpötilan ja huonelämpötilan
ero.

PITUUS mm	Korkeus ja malli																							
	300						400						500						600					
	P	K	PP	KP	KK	P	P	K	PP	KP	KK	P	P	K	PP	KP	KK	P	P	K	PP	KP	KK	
600	170	240	280	370	450	220	310	360	480	580	270	380	440	580	700	320	450	520	680	810				
800	220	320	370	500	610	290	410	480	640	770	350	510	590	780	930	420	600	700	910	1080				
1000	280	400	470	620	760	360	520	610	800	960	440	630	740	970	1160	530	750	870	1140	1350				
1200	330	480	560	750	910	430	620	730	960	1160	530	760	890	1170	1390	630	890	1050	1370	1620				
1400	390	560	650	870	1060	500	720	850	1120	1350	620	880	1040	1360	1620	740	1040	1220	1600	1890				
1600	440	630	750	1000	1210	580	820	970	1280	1540	710	1010	1190	1560	1850	840	1190	1400	1820	2160				
1800	500	710	840	1120	1360	650	930	1090	1440	1730	800	1140	1330	1750	2090	950	1340	1570	2050	2430				
2000	550	790	940	1250	1520	720	1030	1210	1600	1925	890	1260	1480	1950	2320	1050	1490	1750	2250	2700				
2200	610	870	1030	1370	1670	790	1130	1330	1760	2120	980	1390	1630	2140	2550	1160	1640	1920	2510	2970				
2400	660	950	1120	1500	1820	860	1240	1450	1920	2310	1050	1520	1780	2330	2780	1260	1790	2090	2740	3230				
2600	720	1030	1220	1620	1970	940	1340	1580	2080	2500	1150	1640	1930	2530	3010	1370	1940	2270	2960	3500				
2800	770	1110	1310	1750	2120	1010	1440	1700	2240	2700	1240	1770	2070	2720	3240	1470	2090	2440	3190	3770				
3000	830	1190	1400	1870	2270	1080	1550	1820	2400	2890	1330	1900	2220	2920	3480	1580	2240	2620	3420	4040				

Högfors-radiaattorit Lämmönluovutus $W \Delta t 45$ (esim. 80...50/20)

Δt = radiaattorin keski-
lämpötilan ja huoneilämpötilan
ero.

PITUUS mm	Korkitus ja malli																	
	300			400			500			600								
	P	K	PP	P	K	PP	P	K	PP	P	K	PP	P	K	PP	P	K	PP
600	190	280	330	440	530	580	670	760	810	860	950	1000	1090	1180	1230	1320	1410	1460
800	240	370	440	580	710	830	900	1000	1100	1180	1280	1380	1460	1560	1660	1740	1840	1940
1000	320	460	540	730	880	1000	1120	1240	1360	1480	1600	1720	1840	1960	2080	2200	2320	2440
1200	380	550	650	870	1060	1200	1340	1480	1620	1760	1900	2040	2180	2320	2460	2600	2740	2880
1400	450	650	760	1020	1240	1400	1570	1740	1900	2070	2240	2400	2570	2740	2900	3070	3240	3400
1600	510	740	870	1160	1410	1600	1800	2000	2200	2340	2540	2740	2940	3140	3340	3540	3740	3940
1800	580	830	980	1310	1590	1800	2020	2240	2460	2660	2860	3060	3260	3460	3660	3860	4060	4260
2000	640	920	1090	1450	1770	2000	2240	2480	2720	2920	3120	3320	3520	3720	3920	4120	4320	4520
2200	700	1030	1200	1600	1940	2200	2470	2720	2970	3170	3370	3570	3770	3970	4170	4370	4570	4770
2400	770	1110	1310	1740	2120	2400	2700	2920	3140	3340	3540	3740	3940	4140	4340	4540	4740	4940
2600	830	1200	1410	1880	2300	2600	2920	3160	3400	3600	3800	4000	4200	4400	4600	4800	5000	5200
2800	890	1290	1520	2030	2470	2780	3140	3380	3620	3820	4020	4220	4420	4620	4820	5020	5220	5420
3000	950	1380	1630	2180	2650	3000	3370	3620	3870	4070	4270	4470	4670	4870	5070	5270	5470	5670

Radia C-konvektorit

Konvektorit valmistetaan kylmävalssatusta teräslevystä. Runkorakenne on lattaputkea, johon muotopuristettu konvektiolämpöpinta pistehitsataan.

Rakennepaine: 6 bar.

Rakennemitat: C7, C14, C21 ja C28 I...V-kertaisina.

Rakennemitat: korkeudet 70, 140, 210, 280 mm. Pituudet 500...3000 mm, 100 mm jaolla.

Litännät: normaalisti DN 10 tai tilauksen mukaan DN 15. Ilmaruuvi DN 6.

Sijoitukset kaavion mukaan, mallissa C7 aina AE (FB).

Pintakäsittely: pohjamaalaus (PM) tai valmiiksi maalaus (VM) suoja-pakattuna sekä sinkitys (SI).

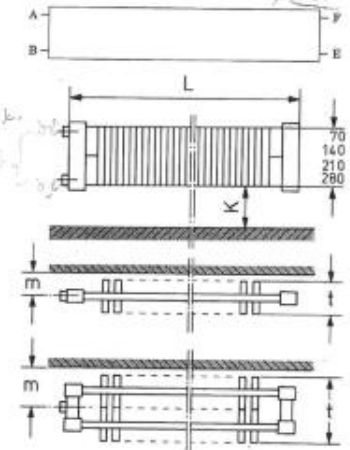
Kannakkeet: Mallit seinä- tai lattia-asennusta varten.

Merkitsemistapa:

Esim: 2800 - C21 - II - AB 10 - PM

pituus mm
malli
kertaisuus
liitäntä
pintakäsittely

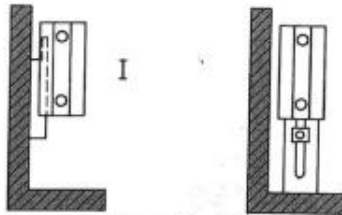
Liitäntöjen sijoitus



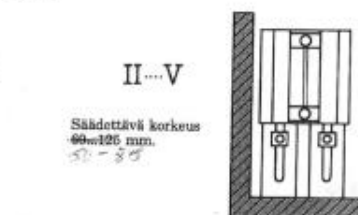
Kannakkeiden määrä

Asennus	Kert.	Pit. 500...1500	Pit. 1600...3000
Seinä	I	2	3
Lattia	L...V	3	4

Seinä



Lattia



Asennusmitat ja tekniset tiedot

Malli →	C7					C14					C21					C28				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
h mm	70	140	210	280	370	70	140	210	280	370	70	140	210	280	370	70	140	210	280	370
m mm	40	80	120	160	195	40	80	120	150	195	40	80	120	130	195	40	80	120	130	195
l mm	80	85	120	120	120	80	85	120	120	120	80	85	120	120	120	80	85	120	120	120
m/m	0,86	1,96	2,04	3,08	4,90	2,1	4,2	6,3	8,4	10,5	3,12	6,24	9,36	12,48	15,60	4,89	9,78	14,67	19,56	24,45
dm ³ /m	0,63	1,26	1,89	2,52	3,15	1,26	2,52	3,78	5,04	6,30	1,89	3,78	5,67	7,56	9,44	2,59	5,18	7,77	10,36	12,95
kg/m	3,07	4,14	4,97	12,28	15,35	8,14	12,21	16,27	24,40	32,53	6,21	12,42	18,63	24,84	31,05	12,28	24,56	36,84	49,12	61,40

Radia C-konvektorit

Lämmönluovutus W Δt 35, 40, 45

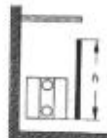
I-kertaisille

II...V-kertaisille talukkoarvot 2...5 kertaisina.

Vakiokoot

Pituus mm	C 7			C 14			C 21			C 28		
	Δt			Δt			Δt			Δt		
	35	40	45	35	40	45	35	40	45	35	40	45
1000	179	208	242	309	359	417	496	472	549	505	587	683
1100	197	229	266	340	395	459	447	519	604	556	646	751
1200	215	250	290	371	431	500	487	566	659	606	704	820
1300	233	270	315	402	467	542	528	614	714	657	763	888
1400	251	291	339	433	503	584	568	661	769	707	822	956
1500	269	312	363	464	539	626	609	705	824	758	881	1025
1600	286	333	387	494	574	667	650	755	878	808	939	1093
1700	304	354	411	525	610	709	690	802	933	859	998	1161
1800	322	374	436	556	646	751	731	850	988	909	1057	1229
1900	340	395	460	587	682	792	771	897	1043	960	1115	1298
2000	358	416	484	618	718	834	812	944	1098	1010	1179	1366
2100	376	437	508	649	754	876	853	991	1153	1061	1233	1434
2200	394	458	532	680	790	917	893	1038	1208	1111	1291	1503
2300	412	478	557	711	826	959	934	1086	1263	1162	1350	1571
2400	430	499	581	742	862	1001	974	1133	1318	1212	1409	1639
2500	448	520	605	773	898	1043	1015	1180	1373	1263	1468	1708
2600	465	541	629	803	933	1084	1056	1227	1427	1313	1526	1776
2700	483	562	653	834	969	1126	1096	1274	1482	1364	1585	1844
2800	501	582	678	865	1005	1168	1137	1322	1537	1414	1644	1912
2900	519	603	702	896	1041	1209	1177	1369	1592	1465	1702	1981
3000	537	624	726	927	1077	1251	1218	1416	1647	1515	1761	2049

Etulevyn korkeudesta h johtuva lämmönluovutuksen lisäys %



h - mm	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
C7	14	20	26	30	33	36	39	41	46	50	-
C14	-	8	12	15	19	22	25	28	32	35	38
C21	-	-	2	6	9	12	16	17	21	24	27
C28	-	-	-	-	3	6	9	11	14	18	21

Radia-radiaattorit

Radiaattorit valmistetaan kylmävalssatuista lattateräsputkista hitsaamalla.

Rakennepaine 6 bar.

Rakennemallit: V vaakasuora rakenne.
H pystysuora rakenne.
I ja II kertaisina.

Rakennemitat: Malli V, korkeudet 140...770 mm, 70 mm jaolla, pituudet 500...3000 mm, 100 mm jaolla.
Malli H, korkeudet 500...3000 mm, 100 mm jaolla, leveydet 140...770 mm, 70 mm jaolla.

Litännät: normaalisti DN 10 tai tilauksen mukaan DN 15; ilmaruuvi DN 6.

Pintakäsittely: pohjamaalaus (PM), valmiiksi maalaus (VM).

Kannakkeet: seinäsennusta varten.

Kannakkeiden määrä:

Malli V pituus 500...1600 mm 2 paria

Malli V " 1700...3000 mm 3 "

Malli H " aina 2 "

Mitat ja kannakkeet

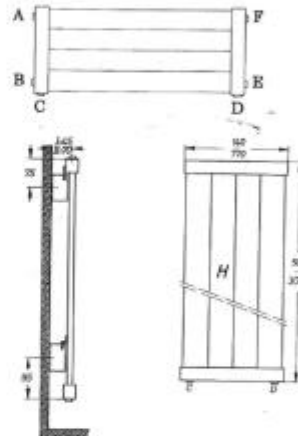
Merkitsemistapa:

Esim.: 3000 - V49 - II - AB10 - PM



Sijoituskaavio

H-mallissa sijoitukset aina CD.



Lämmönluovutus $W \Delta t$ 35, 40, 45.

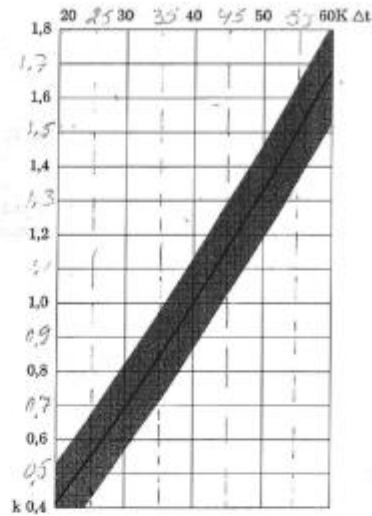
V ja H-radiaattorit

Korkeus cm	W/jm						Tekn. tietoja I kert.		
	I-kert.			II-kert.			Lämpö- pinta m ² /jm	Vedon- luovutus dm ³ /jm	Paino kg/m
	Δt			Δt					
35	40	45	35	40	45				
14	130	151	176	221	256	298	0.30	1.26	4.2
21	181	210	244	319	371	431	0.44	1.89	6.2
28	238	276	321	433	503	585	0.61	2.50	8.5
35	292	339	394	529	615	715	0.75	3.13	10.5
42	345	401	466	622	723	841	0.90	3.76	12.5
49	392	456	530	713	828	963	1.04	4.39	14.6
56	442	513	597	799	929	1080	1.19	5.02	16.6
63	491	571	664	892	1037	1206	1.33	5.65	18.6
70	534	621	722	980	1139	1324	1.48	6.28	20.7
77	586	681	792	1063	1236	1437	1.62	6.91	22.7

Muuntokerroin

Lämmönluovutustaulukoista poikkeaville lämpötilaeroille Δt , saadaan käytännön tarkkuudella muuntokerroin oheisesta käyrästä.
Halutun Δt :n lämmönluovutus saadaan kertomalla Δt :n taulukkoarvo kertoimella k .
Esim.: radiaattorin 1200-400-K lämmönluovutus Δt 50.
Taulukosta Δt 40 = 620 W.
Käyrästä kerroin k Δt 50:lle = 1,32.
Saadaan $620 \times 1,32 = 818$ W.

$\Delta 35 = 0,56$
 $\Delta 35 = 0,84$
 $\Delta 45 = 1,16$
 $\Delta 55 = 1,5$
 $\Delta 60 = 1,66$



Laskentaohje konelaskentaa varten radiaattorimalleille

P, K, PP, KP ja KK.

$$Q = A \cdot L \cdot H^c \cdot \Delta t^n$$

Q = lämmönluovutus W

A = mallin tehokerroin; P = 8.40, K = 10.96, PP = 12.30, KP = 15.823, KK = 17.026.

L = pituus m

H = korkeus m

c = korkeuden eksponentti, mallille P = 0.93, K = 0.91, PP = 0.90, KP = 0.87, KK = 0.83.

Δt = radiaattorin keskilämpötilan ja huonelämpötilan ero

n = lämpötilaeron eksponentti, mallille P = 1.25, K = 1.27, PP = 1.28, KP = 1.28, KK = 1.30.



HÖGFORS

2.66. 2000 Kouvola Kuppala

RETTIG  METALLI
HEINOLAN TEHDAS
Vanha Lahdantie 18100 Heinola

Huippuimurit ja ILMO-talotuulettimen mallien vastaavuus nykypäivän laitteisiin

Vanha kupu	Korvaava Vallox X-Line -kupu	Korvaava Vallox Delico -kupu
<p>TT, TTX, TTXR, TTC ja ILMO -talotuulettimet</p> <p>Näissä malleissa on liedien päällä oleva puhallin, joka toimii liedien kärnpoiston lisäksi koko asunnon poistoilmanvaihtolaitteena tai esim. erillisen puulieden kärnpoistona. Talotuulettimen päällä on kolme lähtökaulusta joista keskimmäisestä jätte ilma puhalletaan katolle ja reunimmaisiiin on yhdistetty poistoilmakanavat esim. pesuhuoneesta ja WC:stä.</p>	 <p>Vallox X-Line TTX -talotuuletin</p> <p>TTX-talotuulettimessa on kiinteä lasi, puhallinnopeuden säätö, AC-puhallin ja sulkuläppä. Mikäli vanha talotuuletin on pakkotoiminen, eli siinä ei ole On/Off-kytkintä, se voidaan korvata X-Line TTXP-mallilla. Talotuulettimen poistolähtökau-luksista toinen voidaan jättää tulpatuksi.</p> <p>LVI-numerot: 7911310 TTX 500 Valkoinen 7911312 TTX 600 Valkoinen 7911314 TTXP 500 Valkoinen 7911316 TTXP 600 Valkoinen</p>	 <p>Vallox Delico PTD EC -liesikupu ja Vallox Kanavatuuletin</p> <p>PTD EC -liesikuvussa on sisälle työnnettävä höyrynkeräysosa, puhallinnopeuden säätö, ajastintoiminen sulkuläppä ja lämpövahti. On/Off-kytkin otetaan käyttöön vain tarvittaessa. Kanavatuulettimessa on EC-puhallin ja se voidaan asentaa liesikuvun yläpuolelle tai esim. keittiön tai pesuhuoneen alakattoon. Kanavatuuletti-men lähtökau-luksista toinen voidaan jättää tulpatuksi.</p> <p>LVI-numerot: 7911287 PTD EC 500 valkoinen 7911288 PTD EC 600 valkoinen 7911289 PTD EC 500 musta 7911290 PTD EC 600 musta 7911305 Kanavatuuletin</p>

MUUNTOTAULUKKO

Vanha AC-imuri	I/s 150 pa	Uusi EC-imuri	I/s 150 pa	Tehoero	Huom!	LVI-numero Huippuimuri	LVI-numero Asennuskehys
20P-4, 20P-4/8, 20P-4/6	105	20P-EC	157	50 %		7815005	
25P-4, 25P-4/8, 25P-4/6	370	25P-EC	622	68 %		7815049	
31P-6, 31P-6/12, 31P-6/8	300	23P-EC	335	11 %	Vaatii asennuskehysten Vallox AK 25 (23)	7815033	7815172
31P-4, 31P-4/8, 31P-4/6	870	40P-EC	1 220	40 %	Vaatii asennuskehysten Vallox AK 40	7815051	7815176
35P-6, 35P-6/12, 35P-6/8	510	31P-EC	718	41 %	Vaatii asennuskehysten Vallox AK 31	7815050	7815174
35P-4, 35P-4/8, 35P-4/6	1 200	40P-EC	1 220	2 %		7815051	
40P-6, 40P-6/12, 40P-6/8	900	40P-EC	1 220	36 %		7815051	
45P-6, 45P-6/12, 45P-6/8	1 300	50P-EC	1 910	47 %		7815013	
45P-4, 45P-4/8, 45P-4/6	2 300	56P-EC	2 350	2 %	Vaatii asennuskehysten Vallox AK 56	7815014	7815180
50P-6, 50P-6/12, 50P-6/8	2 100	56P-EC	2 350	12 %		7815014	
63P-8, 63P-8/16, 63P-8/12	2 800	>56P-EC	2 350	-16 %	Vaatii asennuskehysten Vallox AK 56	7815014	7815180

Kaksinopeushuippuimurin, esim. 20P-4/8, korvaaminen vaatii lisäksi Vallox EC-kaksinopeusmuuntimen 7815009. Tasavirtapuhaltimilla varustettua EC-huippuimuria ei voi ohjata taajuusmuuttajalla. Kaikkia Vallox EC-huippuimureita voi ohjata jänniteviestillä 0-10 VDC. Kaikkia Vallox EC-huippuimureita voi ohjata neliportaisella Vallox SC-ohjaimella 7911405.

Esimerkki huoneiston painehäviön mitoituksesta

Esimerkkiverkosto poistoilmakanaviston painehäviöistä

Osa	Virtaus (l/s)	(m/s)	Painetaso (Pa)	Painehäviö (Pa)
Päätelaite KSO-100	22	2,8	31,82	31,82
Nousu \varnothing 100	22	2,8	31,97	0,15
T-kappale \varnothing 125/ \varnothing 100	22	1,8	36,6	4,63
Kanava \varnothing 125	22	1,8	37,43	0,83
T-kappale \varnothing 160/ \varnothing 125	42	2,1	39,19	1,76
Kanava \varnothing 160	42	2,1	39,89	0,7
Käyrä \varnothing 160/90°	42	2,1	41	1,11
Nousu \varnothing 160	42	2,1	41,12	0,12
Nousu \varnothing 160	42	2,1	42,31	1,19
Käyrä \varnothing 160/90°	42	2,1	43,42	1,11
Kanava \varnothing 160	42	2,1	43,65	0,23
T-kappale \varnothing 160/ \varnothing 125	46	2,3	44,09	0,44
Kanava \varnothing 160	46	2,3	44,25	0,16
Käyrä \varnothing 160/90°	46	2,3	45,55	1,3
Kanava \varnothing 160	46	2,3	45,57	0,02
Käyrä \varnothing 160/90°	46	2,3	46,87	1,3
Nousu \varnothing 160	46	2,3	47,06	0,19
T-kappale \varnothing 160/ \varnothing 160	67	3,4	48,08	1,01
Kanava \varnothing 160	67	3,4	48,75	0,67
Käyrä \varnothing 160/90°	67	3,4	51,29	2,54
Kanava \varnothing 160	67	3,4	51,52	0,23
Käyrä \varnothing 160/90°	67	3,4	54,06	2,54
Nousu \varnothing 160	67	3,4	54,97	0,91
ÄV KVDPX-160-1000-4	67	3,4	66,53	11,56
Nousu \varnothing 160	67	3,4	67,01	0,48
Yhteensä				67

Esimerkkiverkosto tuloilmakanaviston painehäviöistä

Osa	Virtaus (l/s)	(m/s)	Painetaso (Pa)	Painehäviö (Pa)
Päätelaite KTS-100-S	6	0,8	30	30
Nousu \varnothing 125	6	0,5	30,02	0,02
T-kappale \varnothing 125/ \varnothing 125	6	0,5	32,45	2,43
Kanava \varnothing 125	6	0,5	32,52	0,07
Käyrä \varnothing 125/90°	6	0,5	32,64	0,12
Kanava \varnothing 125	6	0,5	32,7	0,07
T-kappale \varnothing 125/ \varnothing 125	18	1,5	35,14	2,43
Kanava \varnothing 125	18	1,5	35,49	0,36
Kanava \varnothing 160	18	0,9	35,73	0,24
T-kappale \varnothing 160/ \varnothing 160	30	1,5	35,84	0,11
Kanava \varnothing 160	30	1,5	35,98	0,14
T-kappale \varnothing 160/ \varnothing 160	42	2,1	39,07	3,09
Kanava \varnothing 160	42	2,1	39,64	0,56
T-kappale \varnothing 160/ \varnothing 160	67	3,3	40,2	0,56
Kanava \varnothing 160	67	3,3	40,86	0,67
Käyrä \varnothing 160/90°	67	3,3	43,34	2,48
Nousu \varnothing 160	67	3,3	43,91	0,57
ÄV KVDPX-160-1000-4	67	3,3	55,13	11,22
Nousu \varnothing 160	67	3,3	55,44	0,31
Yhteensä				55,45

Ilmanvaihtokoneiden mitoitus huoneistotyypeittäin

Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta

Laskenta YM:n Monisteen 122 mukaisesti

Kohde: 2 h+k+s IV-koneen mitoitus

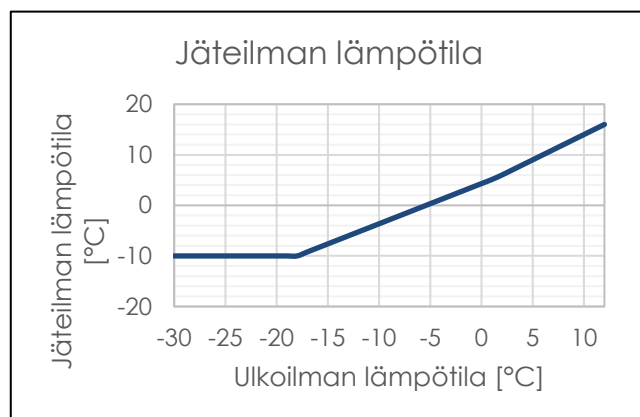
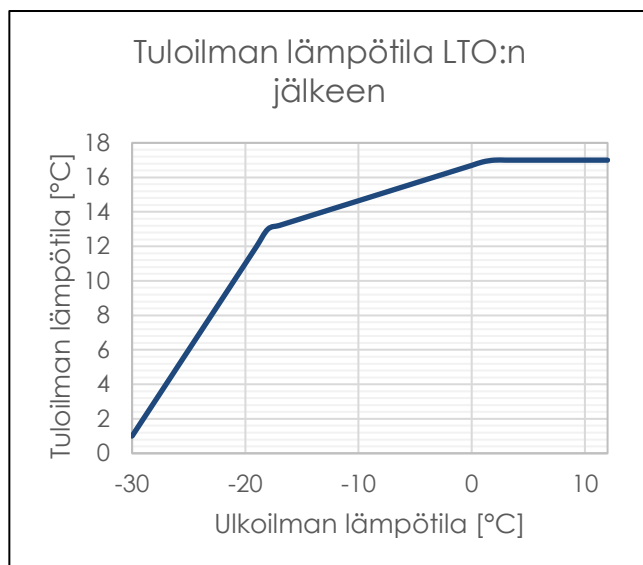
Suunnittelija: JK

= syötettävä solu

Laskennan lähtöarvot:			
Tuloilmavirta, LTO:n läpi virtaava	q_{LTO}	43,0	dm ³ /s
Poistoilmavirta, LTO:n läpi virtaava	q_{pLTO}	43,0	dm ³ /s
LTO:n läpi virtaavan tulo- ja poistoilmavirran suhde	R_{LTO}	1,00	
LTO-vaatimuksen piiriin kuuluva erillispoistoilmavirta	q_{ep1}	17,0	dm ³ /s
Em. erillispoistoilman käyttöaika	T_{qep1}	2,0	h / vrk
Koko IV:n tulo- ja poistoilmavirtojen suhde	R_T	0,97	
Tuloilman lämpötilahyötysuhde yhtä suurilla ilmavirroilla	$\eta_{f(RLTO=1)}$	79,5 %	
Tuloilman lämpötilahyötysuhde	$\eta_{f(RLTO)}$	79,5 %	
I (Helsinki) ▼			
Säävyöhyke			
Sisälämpötila	t_s	21,0	°C
Minimi jäteilmän lämpötila	$t_{j,min}$	-10	°C
Maksimi tuloilman lämpötila	$t_{t,max}$	17,0	°C
Vuosihyötysuhde	η_a	74,0 %	
Jälkilämmityspatterin tehontarve (mitoitusolosuhteissa)		619	W

Ulkoilman lämpötila	Aika vuodessa	Jäteilmän lämpötila	Tuloilman lämpötila	$S_{S,Kd}$	$S_{T,Kd}$	$S_{J,Kd}$
-32 °C	0,00 %	-10,0 °C	-1,0 °C	0	0	0
-31 °C	0,00 %	-10,0 °C	0,0 °C	0	0	0
-30 °C	0,00 %	-10,0 °C	1,0 °C	0	0	0
-29 °C	0,00 %	-10,0 °C	2,0 °C	0	0	0
-28 °C	0,00 %	-10,0 °C	3,0 °C	0	0	0
-27 °C	0,00 %	-10,0 °C	4,0 °C	0	0	0
-26 °C	0,00 %	-10,0 °C	5,0 °C	0	0	0
-25 °C	0,00 %	-10,0 °C	6,0 °C	0	0	0
-24 °C	0,00 %	-10,0 °C	7,0 °C	0	0	0
-23 °C	0,00 %	-10,0 °C	8,0 °C	0	0	0
-22 °C	0,00 %	-10,0 °C	9,0 °C	0	0	0
-21 °C	0,00 %	-10,0 °C	10,0 °C	0	0	0
-20 °C	0,08 %	-10,0 °C	11,0 °C	12	9	9
-19 °C	0,33 %	-10,0 °C	12,0 °C	37	28	28
-18 °C	0,56 %	-10,0 °C	13,0 °C	32	26	26
-17 °C	0,83 %	-9,2 °C	13,2 °C	38	30	30
-16 °C	1,20 %	-8,4 °C	13,4 °C	49	39	39
-15 °C	1,87 %	-7,6 °C	13,6 °C	88	70	70
-14 °C	2,76 %	-6,8 °C	13,8 °C	114	90	90
-13 °C	3,55 %	-6,0 °C	14,0 °C	98	78	78
-12 °C	4,35 %	-5,2 °C	14,2 °C	96	77	77
-11 °C	4,93 %	-4,4 °C	14,4 °C	68	54	54
-10 °C	5,45 %	-3,6 °C	14,6 °C	58	46	46
-9 °C	6,05 %	-2,9 °C	14,9 °C	66	53	53

Ilmanvaihdon kokonaisenergian- tarve	6292 kWh
Talteenotettu lämmitysenergia	4809 kWh



-8 °C	7,03 %	-2,1 °C	15,1 °C	104	83	83
-7 °C	8,46 %	-1,3 °C	15,3 °C	146	116	116
-6 °C	10,11 %	-0,5 °C	15,5 °C	163	129	129
-5 °C	12,00 %	0,3 °C	15,7 °C	179	143	143
-4 °C	14,12 %	1,1 °C	15,9 °C	193	154	154
-3 °C	16,29 %	1,9 °C	16,1 °C	190	151	151
-2 °C	18,76 %	2,7 °C	16,3 °C	207	165	165
-1 °C	21,45 %	3,5 °C	16,5 °C	216	172	172
0 °C	25,03 %	4,3 °C	16,7 °C	274	218	218
1 °C	31,24 %	5,1 °C	16,9 °C	453	360	360
2 °C	36,80 %	6,0 °C	17,0 °C	386	304	304
3 °C	41,97 %	7,0 °C	17,0 °C	340	264	264
4 °C	45,86 %	8,0 °C	17,0 °C	241	185	185
5 °C	49,08 %	9,0 °C	17,0 °C	188	141	141
6 °C	52,36 %	10,0 °C	17,0 °C	180	132	132
7 °C	55,71 %	11,0 °C	17,0 °C	171	122	122
8 °C	59,01 %	12,0 °C	17,0 °C	157	108	108
9 °C	62,24 %	13,0 °C	17,0 °C	141	94	94
10 °C	65,56 %	14,0 °C	17,0 °C	133	85	85
11 °C	68,80 %	15,0 °C	17,0 °C	118	71	71
12 °C	72,20 %	16,0 °C	17,0 °C	112	62	62
Yhteensä				5050	3860	3860

$S_{s,Kd}$ = sisä- ja ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku, Kd

$S_{T,Kd}$ = tulo- ja ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku, Kd

$S_{J,Kd}$ = jäte- ja ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku, Kd

Tuloilma**(syötä arvot):**

Ilman tilavuusvirta:	43	dm ³ /s
Paine-ero:	58	Pa

Tulopuhallin:

Ohjausjännite:	4,9	V
Puhalltimen ottoteho:	20,7	W

Poistoilma**(syötä arvot):**

Ilman tilavuusvirta:	43	dm ³ /s
Paine-ero:	68	Pa

Poistopuhallin:

Ohjausjännite:	4,5	V
Puhalltimen ottoteho:	18,8	W

Kokonaisteho: 43,9 W**SFP:** 1,02 kW/m³/s**Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta**

Laskenta YM:n Monisteen 122 mukaisesti

Kohde: 4 h+k+s

Suunnittelija: JK

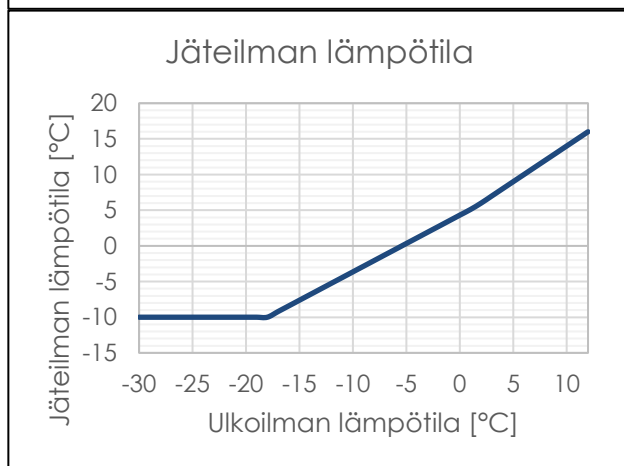
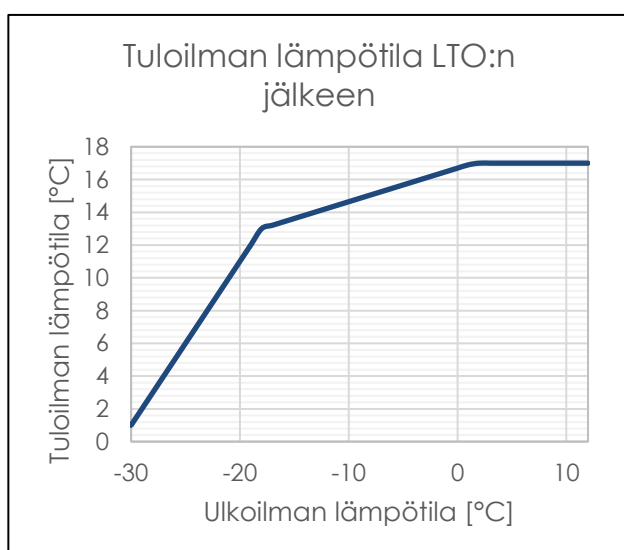
	= syötettävä solu
--	-------------------

Laskennan lähtöarvot:		
Tuloilmavirta, LTO:n läpi virtaava	q_{LTO}	63,0 dm ³ /s
Poistoilmavirta, LTO:n läpi virtaava	q_{pLTO}	63,0 dm ³ /s
LTO:n läpi virtaavan tulo- ja poistoilmavirran suhde	R_{LTO}	1,00
LTO-vaatimuksen piiriin kuuluva erillispoistoilmavirta	q_{ep1}	17,0 dm ³ /s
Em. erillispoistoilman käyttöaika	T_{qep1}	2,0 h / vrk
Koko IV:n tulo- ja poistoilmavirtojen suhde	R_T	0,98
Tuloilman lämpötilahyötysuhde yhtä suurilla ilmavirroilla	$\eta_{H(RLTO=1)}$	79,5 %
Tuloilman lämpötilahyötysuhde	$\eta_{H(RLTO)}$	79,5 %

Ulkoilman lämpötila	Aika vuodessa	Jäteilman lämpötila	Tuloilman lämpötila	$S_{S,Kd}$	$S_{T,Kd}$	$S_{J,Kd}$
-32 °C	0,00 %	-10,0 °C	-1,0 °C	0	0	0
-31 °C	0,00 %	-10,0 °C	0,0 °C	0	0	0
-30 °C	0,00 %	-10,0 °C	1,0 °C	0	0	0
-29 °C	0,00 %	-10,0 °C	2,0 °C	0	0	0
-28 °C	0,00 %	-10,0 °C	3,0 °C	0	0	0
-27 °C	0,00 %	-10,0 °C	4,0 °C	0	0	0
-26 °C	0,00 %	-10,0 °C	5,0 °C	0	0	0
-25 °C	0,00 %	-10,0 °C	6,0 °C	0	0	0
-24 °C	0,00 %	-10,0 °C	7,0 °C	0	0	0
-23 °C	0,00 %	-10,0 °C	8,0 °C	0	0	0
-22 °C	0,00 %	-10,0 °C	9,0 °C	0	0	0
-21 °C	0,00 %	-10,0 °C	10,0 °C	0	0	0
-20 °C	0,08 %	-10,0 °C	11,0 °C	12	9	9
-19 °C	0,33 %	-10,0 °C	12,0 °C	37	28	28

Säävyöhyke			I (Helsinki)
Sisälämpötila	t_s	21,0	°C
Minimi jäteilman lämpötila	$t_{t,min}$	-10	°C
Maksimi tuloilman lämpötila	$t_{t,max}$	17,0	°C

Vuosihyötysuhde	η_a	74,7 %
Jälkilämmityspatterin tehontarve (mitoitusolosuhteissa)		907 W
Ilmanvaihdon kokonaisenergian-tarve		9218 kWh
Talteenotettu lämmitysenergia		7046 kWh



-18 °C	0,56 %	-10,0 °C	13,0 °C	32	26	26
-17 °C	0,83 %	-9,2 °C	13,2 °C	38	30	30
-16 °C	1,20 %	-8,4 °C	13,4 °C	49	39	39
-15 °C	1,87 %	-7,6 °C	13,6 °C	88	70	70
-14 °C	2,76 %	-6,8 °C	13,8 °C	114	90	90
-13 °C	3,55 %	-6,0 °C	14,0 °C	98	78	78
-12 °C	4,35 %	-5,2 °C	14,2 °C	96	77	77
-11 °C	4,93 %	-4,4 °C	14,4 °C	68	54	54
-10 °C	5,45 %	-3,6 °C	14,6 °C	58	46	46
-9 °C	6,05 %	-2,9 °C	14,9 °C	66	53	53
-8 °C	7,03 %	-2,1 °C	15,1 °C	104	83	83
-7 °C	8,46 %	-1,3 °C	15,3 °C	146	116	116
-6 °C	10,11 %	-0,5 °C	15,5 °C	163	129	129
-5 °C	12,00 %	0,3 °C	15,7 °C	179	143	143
-4 °C	14,12 %	1,1 °C	15,9 °C	193	154	154
-3 °C	16,29 %	1,9 °C	16,1 °C	190	151	151
-2 °C	18,76 %	2,7 °C	16,3 °C	207	165	165
-1 °C	21,45 %	3,5 °C	16,5 °C	216	172	172
0 °C	25,03 %	4,3 °C	16,7 °C	274	218	218
1 °C	31,24 %	5,1 °C	16,9 °C	453	360	360
2 °C	36,80 %	6,0 °C	17,0 °C	386	304	304
3 °C	41,97 %	7,0 °C	17,0 °C	340	264	264
4 °C	45,86 %	8,0 °C	17,0 °C	241	185	185
5 °C	49,08 %	9,0 °C	17,0 °C	188	141	141
6 °C	52,36 %	10,0 °C	17,0 °C	180	132	132
7 °C	55,71 %	11,0 °C	17,0 °C	171	122	122
8 °C	59,01 %	12,0 °C	17,0 °C	157	108	108
9 °C	62,24 %	13,0 °C	17,0 °C	141	94	94
10 °C	65,56 %	14,0 °C	17,0 °C	133	85	85
11 °C	68,80 %	15,0 °C	17,0 °C	118	71	71
12 °C	72,20 %	16,0 °C	17,0 °C	112	62	62
Yhteensä				5050	3860	3860

$S_{s,Kd}$ = sisä- ja ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku, Kd

$S_{t,Kd}$ = tulo- ja ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku, Kd

$S_{j,Kd}$ = jäte- ja ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku, Kd

Tuloilma (syötä arvot):

Ilman tilavuusvirta:	63	dm ³ /s
Paine-ero:	58	Pa

Tulopuhallin:

Ohjaujännite:	5,9	V
Puhaltimen otto-teho:	40,2	W

Poistoilma (syötä arvot):

Ilman tilavuusvirta:	63	dm ³ /s
Paine-ero:	68	Pa

Poistopuhallin:

Ohjaujännite:	5,3	V
Puhaltimen otto-teho:	35,4	W

Kokonaisteho: 80,0 W

SFP: 1,27 kW/m³/s

Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta

Laskenta YM:n Monisteen 122 mukaisesti

Kohde: 3 h+k+s

Suunnittelija: JK

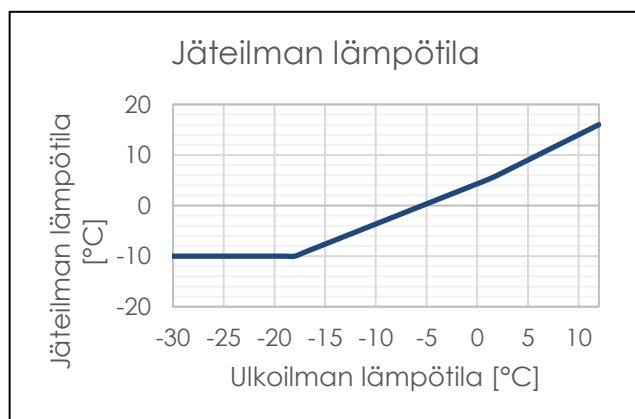
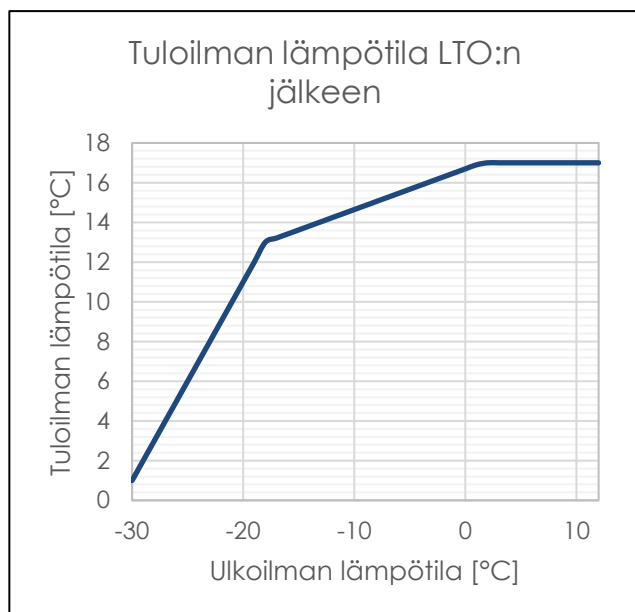
= syötettävä solu

Laskennan lähtöarvot:		
Tuloilmavirta, LTO:n läpi virtaava	q_{LTO}	67,0 dm ³ /s
Poistoilmavirta, LTO:n läpi virtaava	q_{pLTO}	67,0 dm ³ /s
LTO:n läpi virtaavan tulo- ja poistoilmavirran suhde	R_{LTO}	1,00
LTO-vaatimuksen piiriin kuuluva erillispoistoilmavirta	q_{ep1}	17,0 dm ³ /s
Em. erillispoistoilman käyttöaika	T_{qep1}	2,0 h / vrk
Koko IV:n tulo- ja poistoilmavirtojen suhde	R_T	0,98
Tuloilman lämpötilahyötysuhde yhtä suurilla ilmavirroilla	$\eta_{H(RLTO=1)}$	79,5 %
Tuloilman lämpötilahyötysuhde	$\eta_{H(RLTO)}$	79,5 %
I (Helsinki) ▼		
Sävyöhyke		
Sisälämpötila	t_s	21,0 °C
Minimi jäteilman lämpötila	$t_{j,min}$	-10 °C

Ulkoilman lämpötila	Aika vuodessa	Jäteilman lämpötila	Tuloilman lämpötila	$S_{S,Kd}$	$S_{T,Kd}$	$S_{J,Kd}$
-32 °C	0,00 %	-10,0 °C	-1,0 °C	0	0	0
-31 °C	0,00 %	-10,0 °C	0,0 °C	0	0	0
-30 °C	0,00 %	-10,0 °C	1,0 °C	0	0	0
-29 °C	0,00 %	-10,0 °C	2,0 °C	0	0	0
-28 °C	0,00 %	-10,0 °C	3,0 °C	0	0	0
-27 °C	0,00 %	-10,0 °C	4,0 °C	0	0	0
-26 °C	0,00 %	-10,0 °C	5,0 °C	0	0	0
-25 °C	0,00 %	-10,0 °C	6,0 °C	0	0	0
-24 °C	0,00 %	-10,0 °C	7,0 °C	0	0	0
-23 °C	0,00 %	-10,0 °C	8,0 °C	0	0	0
-22 °C	0,00 %	-10,0 °C	9,0 °C	0	0	0
-21 °C	0,00 %	-10,0 °C	10,0 °C	0	0	0
-20 °C	0,08 %	-10,0 °C	11,0 °C	12	9	9
-19 °C	0,33 %	-10,0 °C	12,0 °C	37	28	28
-18 °C	0,56 %	-10,0 °C	13,0 °C	32	26	26
-17 °C	0,83 %	-9,2 °C	13,2 °C	38	30	30
-16 °C	1,20 %	-8,4 °C	13,4 °C	49	39	39
-15 °C	1,87 %	-7,6 °C	13,6 °C	88	70	70

Maksimi tuloilman lämpötila	$t_{t,max}$	17,0 °C
-----------------------------	-------------	---------

Vuoshiyötysuhde	η_a	74,8 %
Jälkilämmityspatterin tehontarve (mitoitusolosuhteissa)		965 W
Ilmanvaihdon kokonaisenergian-tarve		9804 kWh
Talteenotettu lämmitysenergia		7493 kWh



-14 °C	2,76 %	-6,8 °C	13,8 °C	114	90	90
-13 °C	3,55 %	-6,0 °C	14,0 °C	98	78	78
-12 °C	4,35 %	-5,2 °C	14,2 °C	96	77	77
-11 °C	4,93 %	-4,4 °C	14,4 °C	68	54	54
-10 °C	5,45 %	-3,6 °C	14,6 °C	58	46	46
-9 °C	6,05 %	-2,9 °C	14,9 °C	66	53	53
-8 °C	7,03 %	-2,1 °C	15,1 °C	104	83	83
-7 °C	8,46 %	-1,3 °C	15,3 °C	146	116	116
-6 °C	10,11 %	-0,5 °C	15,5 °C	163	129	129
-5 °C	12,00 %	0,3 °C	15,7 °C	179	143	143
-4 °C	14,12 %	1,1 °C	15,9 °C	193	154	154
-3 °C	16,29 %	1,9 °C	16,1 °C	190	151	151
-2 °C	18,76 %	2,7 °C	16,3 °C	207	165	165
-1 °C	21,45 %	3,5 °C	16,5 °C	216	172	172
0 °C	25,03 %	4,3 °C	16,7 °C	274	218	218
1 °C	31,24 %	5,1 °C	16,9 °C	453	360	360
2 °C	36,80 %	6,0 °C	17,0 °C	386	304	304
3 °C	41,97 %	7,0 °C	17,0 °C	340	264	264
4 °C	45,86 %	8,0 °C	17,0 °C	241	185	185
5 °C	49,08 %	9,0 °C	17,0 °C	188	141	141
6 °C	52,36 %	10,0 °C	17,0 °C	180	132	132
7 °C	55,71 %	11,0 °C	17,0 °C	171	122	122
8 °C	59,01 %	12,0 °C	17,0 °C	157	108	108
9 °C	62,24 %	13,0 °C	17,0 °C	141	94	94
10 °C	65,56 %	14,0 °C	17,0 °C	133	85	85
11 °C	68,80 %	15,0 °C	17,0 °C	118	71	71
12 °C	72,20 %	16,0 °C	17,0 °C	112	62	62
Yhteensä				5050	3860	3860

$S_{s,Kd}$ = sisä- ja ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku, Kd

$S_{t,Kd}$ = tulo- ja ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku, Kd

$S_{j,Kd}$ = jäte- ja ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku, Kd

Liite 4

7 (7)

Tuloilma (syötä arvot):

Ilman tilavuusvirta:	67	dm ³ /s
Paine-ero:	55,5	Pa

Tulopuhallin:

Ohjausjännite:	6,1	V
Puhaltimen otto-teho:	44,8	W

Poistoilma (syötä arvot):

Ilman tilavuusvirta:	67	dm ³ /s
Paine-ero:	65	Pa

Poistopuhallin:

Ohjausjännite:	5,4	V
Puhaltimen otto-teho:	39,1	W

Kokonaisteho: 88,3 W

SFP: 1,32 kW/m³/s

Huoneistokohtaisten ilmanvaihtokoneiden ostoenergiakulutuksen säästö simuloituna IDA ICE -ohjelmalla

Ilmanvaihtokoneet

IV-kone	Lämmitys, sähköpat., kWh	LTO, kWh	Lähtötilanne Huippumurit puhaltimet, kWh	Huippumurit ruoanlaitto 2 h vuodessa, kWh	Huon. koht. IV kone puhaltimet, kWh	Puhaltimien sähköenergian nousu, kWh	Säästö yhteensä, kWh
Huoneistokohtaiset							
IV-koneet	15704,1	181736	9922,1	835,4	24138		
Yhteensä	15704,1	181736	9922,1	835,4	24138	15051,3	166684,7

Ostoenergian säästö maalämpöpumpun asentamisen jälkeen simuloituna IDA ICE -ohjelmalla

Ostoenergia lähtötilanne		Ostoenergia maalämpöpumpulla		
	Yhteensä, kWh		Yhteensä, kWh	Erotus, kWh
Valaistus, kiinteistö	19591	Valaistus, kiinteistö	17337	2254
LVI sähkö	15476	LVI sähkö	14138,3	1337,7
Sähkölämmitys, kiinteistö	41370	Sähkölämmitys, kiinteistö	159678	-118308
Lämmitys, kaukolämpö	532559	Lämmitys, kaukolämpö	19389,7	513169,3
Laitteet, asukas	52243	Laitteet, asukas	46230	6013
Yhteensä	661239	Yhteensä	256773	404466

Ote energia-avustushakemuksen lomakkeesta ARA3221

Kustannustiedot	Toimenpide	Kustannukset	Avustettavaksi laskeaan % ilman erillistä selvitystä	Muu %, mikä	Erillinen selvitys liitteenä
	Suunnittelukustannukset, myös E-luku laskennasta ja energiatodistuksen laatimisesta aiheutuneet.	0	100 %		
	Merkittävä (väh. asetuksen 4/13 taso) lisälämmöneristys julkisivun uusimisen yhteydessä.	0	20 %		
	Ikkunoiden ja ulko-ovien uusiminen vähintään asetuksen 4/13 velvoittamaan tasoon.	0	20 %		
	Ikkunoiden ja ulko-ovien uusiminen vähintään 30 % asetuksen 4/13 vaatimuksia parempaan tasoon.	0	50 %		
	Aurinkoenergiapaneelit, jotka ovat aurinkopaneelien tavoin toimivia aurinkosähköntuottajia.	0	50 %		
	Aurinkosuojaus, kaihtimilla, markiiseilla, ikkunan g-arvolla jne.	0	50 %		
	Jäähdytysjärjestelmä	0	20 %		
	Tulisijan vaihtaminen varaavaan tulisijaan.	0	50 %		
	Rakennuksen tiivistäminen siten, että se osoitetaan ennen ja jälkeen tehdyllä tiiveysmittaukselle.	0	100 %		
	Lämpöpumppu- ja lämmöntalteenottojärjestelmien sekä aurinkoenergian hyödyntämiseen käytettävät laitteistot, tarvittavine kaapeli ja putkivetoineen.	0	50 %		
	Poistoilmapuhaltimien tai suurissa yksiköissä niiden moottorien vaihto nykyikäisiin.	0	50 %		
	Ilmanvaihtojärjestelmän uusiminen lämmöntalteenotolla, ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lisääminen (ml. poistoilmalämpöpumppu), muun lämmöntalteenoton lisääminen (ml. jäteveden lämmöntalteenotto).	0			

			50 %		
	Öljylämmityksestä luopuminen, kun kokonaisratkaisulla saavutetaan tuen saamisen edellyttämä taso.	0	100 %		
	Paineenalennus ja vettä säästävät kalusteet sekä putkien eristys alkuperäistä parempaan tasoon linjasaneerauksen yhteydessä.	0	20 %		
	Merkittävä (vähintään asetuksen 4/13 taso) lisälämmöneristys tai aurinkoenergiajärjestelmän lisäys vesikatolle vesikatkon uusimisen yhteydessä.	0	20 %		
	Pintojen ja kalusteiden uusiminen kun ne uusitaan energiatehokkuutta merkittävästi (esimerkiksi lisälämmöneristys, vähintään asetuksen 4/13 taso) parantaneiden korjausten yhteydessä.	0	20 %		
	Lisälämmöneristys alapohjan uusimisen yhteydessä.	0	20 %		
	Sisäseinän merkittävä (vähintään asetuksen 4/13 taso) lisälämmöneristys lämpimän ja puolilämpimän tilan välillä.	0	50 %		
	Kiinteistönhallintajärjestelmät energian käytön tehostamiseen, sisäilmasto-olosuhteiden parantamiseen sekä järjestelmän säätöön, tasapainotukseen ja ohjaukseen sekä järjestelmän oikean toiminnan varmistamiseen liittyvä toiminta sekä niiden tarvitsevat rakennukseen tulevat kaapeliasennukset ja tietoverkot.	0	50 %		
	Automaatio- ja ohjaus- sekä seuranta- ja säätöjärjestelmien lisääminen sekä järjestelmien tasapainotus sekä lämpötilan säätölaitteiston uusiminen ja säätö koko rakennuksessa.	0	50 %		
	Sokkeleiden lisäeristys, routaeristeiden lisäys, kaapeli tai putkikanaalien lisääminen energiatehokkuutta parantavien laitteistojen ja järjestelmien vuoksi.	0	20 %		
	Innovatiiviset ja muut ratkaisut joilla on energian käytön tehostamiseen, kulutusjoustoihin tai energiatehokkuuteen luettavaa merkitystä kokonaisuuteen tai rakennuksen toimintaan kokonaisuutena tai ovat muuten hyödyllisiä rakennuksen omistajalle energiameielessä.	0	50 %		

Nykyarvon, sisäisen koron, vuotuisen säästön ja takaisinmaksuajan laskenta ja sen eri vaiheet

Energiatehokkuuden parantamisen toimenpiteet lähes nollaenergiatasoon		
Yhdistetty osuus lämmitysenergian tarpeesta	$Q_{LP}/Q_{LP,lämmitys}$	0,997 -
Tuotettu lämmitysenergia	$Q_{LP,lämmitys,tilat,IV,LKV,ILP}$	359,42 MWh/a
Lisälämmitys sähköllä	$Q_{lisälämmitys,sähkö}$	0 MWh/a
Lisälämmitys kaukolämmöllä	$Q_{lisälämmitys,KL}$	1,08 MWh/a
Vuoden keskimääräinen lämpökerroin	SPF	3,4 -
Sähköenergiankulutus	$W_{LP,sähkö} = Q_{LP,lämmitys,tilat,LKV} / SPF_{tilat,IV,LKV}$	105,711 MWh/a
Lähtötilanteen kiinteistösähköenergiankulutus	$W_{sähkö,IV-puhallin} = SFP \cdot q_v \cdot t$	-14,3 MWh/a
Sähköenergiakustannus	$K_{energia} = W_{sähkö} \cdot H_{sähkö}$	742,5 €/a
Tuotettu sähköenergia	$K_{energia,sähkö}$	-2470,0 €/a
Sähköenergian kok. kustannus	$K_{energia,sähkö}$	11 272 €/a
KL:n energiakustannus	$K_{energia,KL}$	84,4 €/a
Σ	K_{KOK}	11 357 €/a

Investointikustannukset		
Investointi = hankintahinta	I	503 520 €
Huolto- ja korjauskustannukset	$K_{huolto,a}$	1180 €/a
Kertaluonteinen huolto- tai korjauskustannus	$K_{huolto,y}$	39 800 €
Huolto- ja korjauskustannusten toteutusvuosi	n_y	15 a
Jäännösarvo	J	0 €

Energiatuki		
Energia-avustus	$K_{avustus}$	120076 €

Aika- ja korkotekijät		
------------------------------	--	--

Tarkasteluaika	n	20 a
Nimelliskorko	i	0,05
Inflaatio	f	0,02
Energian hinnan inflaatio (eskalaatio)	f_e	0,04
Reaalikorko	$r = (i - f)/(1 + f)$	2,941 % $1+r$
Energian hinnan reaalikorko	$r_e = (i - f_e)/(1 + f_e)$	0,962 % $1+r_e$
Energian reaalin hintakehitys	$e_r = (f_e - f)/(1 + f)$	1,961 % $1+e_r$

Diskonttaustekijät

Yksittäinen toimenpide	$a_y = 1/(1+r)^n$	0,6474
Jaksottainen toimenpide	$a_{n,huolto} = [(1+r)^n - 1]/[r \cdot (1+r)^n]$	14,9587
Jaksottainen toimenpide	$a_{n,energia} = [(1+r_e)^n - 1]/[r_e \cdot (1+r_e)^n]$	18,1156

Laskentatulokset

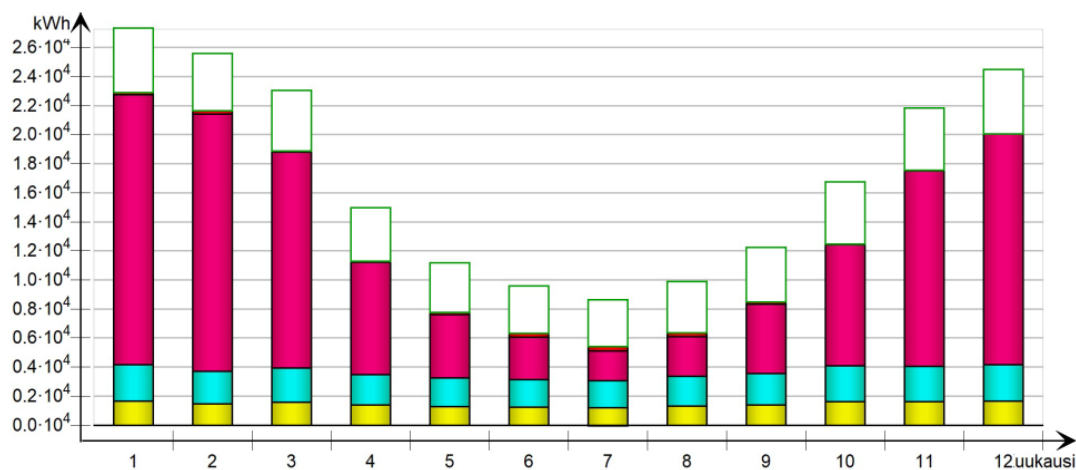
Energia- ja vesikustannusten säästö	$K_{säästö,a} = K_{lähtötilanne,a} - K_{loppu}$	18 616 €/a
Investoinnin nettosäästö	$K_{nettosäästö,a} = K_{säästö,a} - K_{huolto,a}$	17 436 €/a
Suora takaisinmaksuaika	$TMA = (I - K_{avustus})/K_{nettosäästö,a}$	22,0 a
Nykyarvo	NA	-89 618 €
Sisäinen korko	i	2,306 %
	$r = (i - f)/(1 + f)$	0,3 %
	NA = 0	-89618 €

IDA ICE -simulointiraportti, jossa simuloitu yhdistetyt toimenpiteet

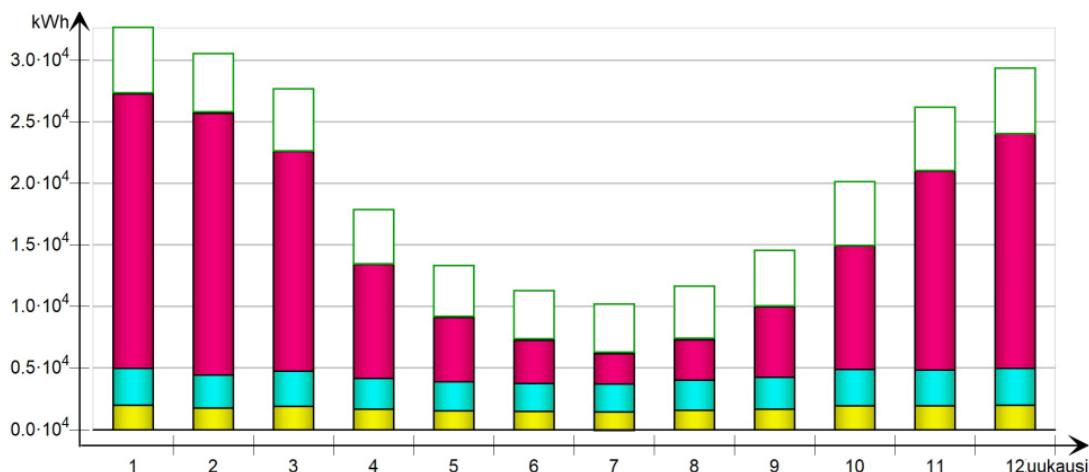
Ostoenergiankulutusraportti

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
Valaistus, kiinteistö	19591	8.2	17344	7.3	2.24	20813	8.8
LVI sähkö	29747	12.5	26299	11.1	3.54	31559	13.3
Sähkölämmitys, kiinteistö	119765	50.4	113278	47.7	60.63	135934	57.2
Yhteensä, Kiinteistösähkö	169103	71.2	156921	66.1		188306	79.3
Lämmitys, kaukolämpö	1493	0.6	1493	0.6	8.42	747	0.3
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	1493	0.6	1493	0.6		747	0.3
Yhteensä	170596	71.8	158414	66.7		189053	79.6
Laitteet, asukas	52243	22.0	46248	19.5	5.96	55498	23.4
Yhteensä, Asukkaan sähkö	52243	22.0	46248	19.5		55498	23.4
	Tuotettu energia		Myyty energia		Tuotettu		
Aurinkosähkön tuotanto	-18296	-7.7	-115	-0.0	-18.52	-139	-0.1
CHP tuotto	0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Tuotettu sähkö	-18296	-7.7	-115	-0.0		-139	-0.1
Yhteensä	204543	86.1	204547	86.1		244412	102.9

Kuukausittainen ostoenergiankulutus



Kuukausittainen kokonaisenergia



Kuukausi	Kiinteistö sähkö						Kiinteistö kaukolämpö		Asukkaan sähkö		Tuotettu sähkö	
	Valaistus, kiinteistö		LVI sähkö		Sähkölämmitys, kiinteistö		Lämmitys, kaukolämpö		Laitteet, asukas		Aurinkosähkön tuotanto	
	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)
1	1655.0	1986.0	2491.0	2989.2	18584.0	22300.8	123.4	61.7	4414.0	5296.8	0.0	0.0
2	1470.0	1764.0	2214.0	2656.8	17697.0	21236.4	204.8	102.4	3921.0	4705.2	0.0	0.0
3	1563.0	1875.6	2348.0	2817.6	14858.0	17829.6	42.5	21.3	4169.0	5002.8	0.0	0.0
4	1371.0	1645.2	2071.0	2485.2	7719.0	9262.8	40.3	20.1	3655.0	4386.0	0.0	0.0
5	1281.0	1537.2	1952.0	2342.4	4347.0	5216.4	151.1	75.5	3415.0	4098.0	-9.9	-11.8
6	1219.0	1462.8	1867.0	2240.4	2896.0	3475.2	239.9	120.0	3249.0	3898.8	-31.7	-38.0
7	1209.0	1450.8	1859.0	2230.8	2043.0	2451.6	272.9	136.4	3223.0	3867.6	-56.6	-67.9
8	1317.0	1580.4	2024.0	2428.8	2699.0	3238.8	256.9	128.4	3511.0	4213.2	-17.3	-20.8
9	1398.0	1677.6	2133.0	2559.6	4760.0	5712.0	133.8	66.9	3729.0	4474.8	0.0	0.0
10	1608.0	1929.6	2439.0	2926.8	9349.0	10018.8	11.4	5.7	4287.0	5144.4	0.0	0.0
11	1597.0	1916.4	2411.0	2893.2	13451.0	16141.2	16.0	8.0	4259.0	5110.8	0.0	0.0
12	1656.0	1987.2	2490.0	2988.0	15875.0	19050.0	0.0	0.0	4416.0	5299.2	0.0	0.0
Yhteensä	17344.0	20812.8	26299.0	31558.8	113278.0	135933.6	1493.0	746.5	46248.0	55497.6	-115.4	-138.5

Kuukausi	Tuotettu sähkö	
	CHP tuotto	
	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)
1	0.0	0.0
2	0.0	0.0
3	0.0	0.0
4	0.0	0.0
5	0.0	0.0
6	0.0	0.0
7	0.0	0.0
8	0.0	0.0
9	0.0	0.0
10	0.0	0.0
11	0.0	0.0
12	0.0	0.0
Yhteensä	0.0	0.0

IDA Indoor Climate and Energy

Versio: 4.802

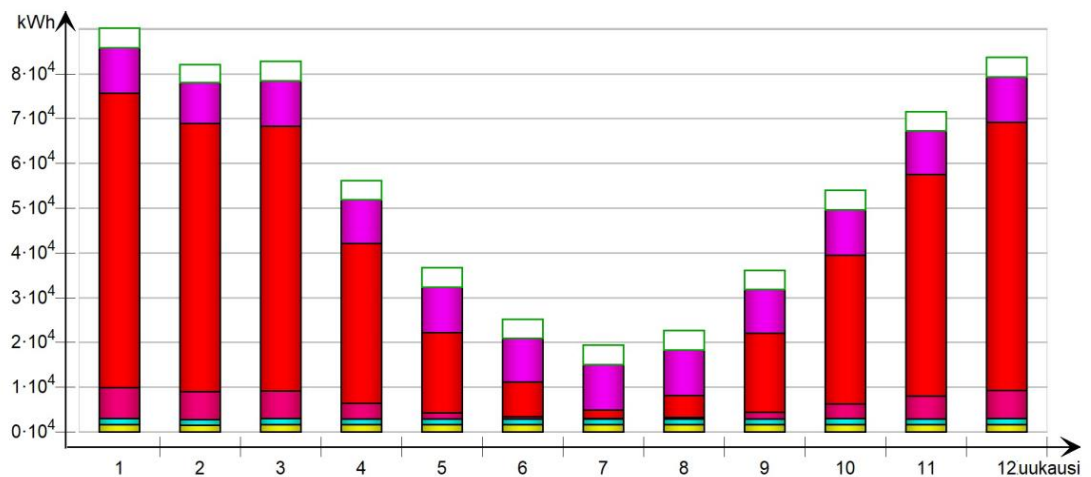
Käyttöoikeus: IDA40:ICE40XL:22MAY/F0P9N (Koelisenssi)

IDA ICE -simulointiraportti / lähtötilanne

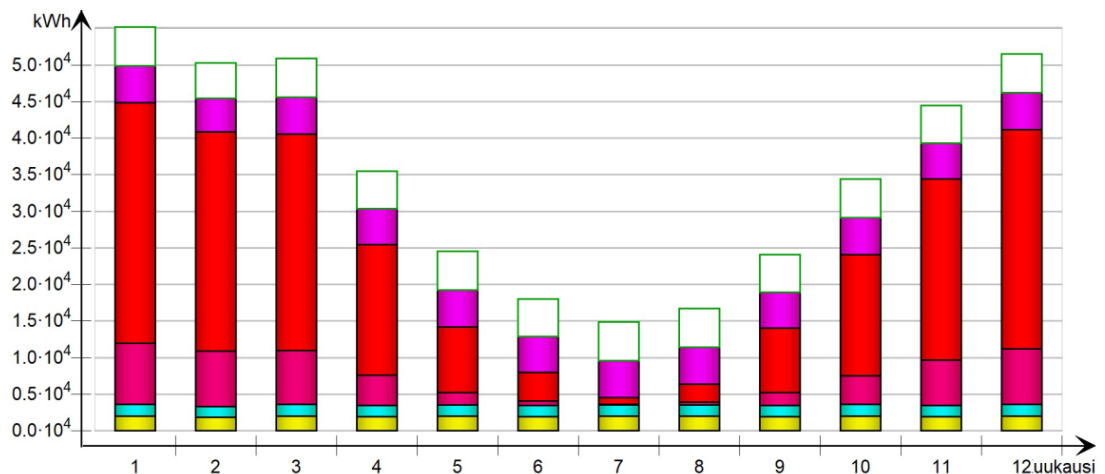
Ostoenergiankulutusraportti

	Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
■ Valaistus, kiinteistö	19591	8.2	2.24	23509	9.9
■ Jäähdytys	0	0.0	0.0	0	0.0
■ LVI sähkö	15476	6.5	1.79	18571	7.8
■ Sähkölämmitys, kiinteistö	41370	17.4	16.36	49645	20.9
Yhteensä, Kiinteistösähkö	76437	32.2		91725	38.6
■ Lämmitys, kaukolämpö	413323	174.0	147.5	206662	87.0
■ LKV, kaukolämpö	119236	50.2	13.61	59618	25.1
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	532559	224.2		266280	112.1
Yhteensä	608996	256.4		358005	150.7
□ Laitteet, asukas	52243	22.0	5.96	62692	26.4
Yhteensä, Asukkaan sähkö	52243	22.0		62692	26.4
Yhteensä	661239	278.4		420697	177.1

Kuukausittainen ostoenergiankulutus



Kuukausittainen kokonaisenergia



Kuukausi	Kiinteistösähkö						Kiinteistökaukolämpö					
	Valaistus, kiinteistö		Jäähdytys		LVI sähkö		Sähkölämmitys, kiinteistö		Lämmitys, kaukolämpö		LKV, kaukolämpö	
	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)
1	1664.0	1996.8	0.0	0.0	1327.0	1592.4	6942.0	8330.4	65736.0	32868.0	10127.0	5063.5
2	1503.0	1803.6	0.0	0.0	1198.0	1437.6	6301.0	7561.2	59945.0	29972.5	9147.0	4573.5
3	1664.0	1996.8	0.0	0.0	1324.0	1588.8	6134.0	7360.8	59141.0	29570.5	10127.0	5063.5
4	1610.0	1932.0	0.0	0.0	1275.0	1530.0	3450.0	4140.0	35751.0	17875.5	9800.0	4900.0
5	1664.0	1996.8	0.0	0.0	1309.0	1570.8	1411.0	1693.2	17926.0	8963.0	10127.0	5063.5
6	1610.0	1932.0	0.0	0.0	1260.0	1512.0	503.5	604.2	7789.0	3894.5	9800.0	4900.0
7	1664.0	1996.8	0.0	0.0	1296.0	1555.2	84.1	100.9	1836.0	918.0	10127.0	5063.5
8	1664.0	1996.8	0.0	0.0	1299.0	1558.8	329.9	395.9	4932.0	2466.0	10127.0	5063.5
9	1610.0	1932.0	0.0	0.0	1267.0	1520.4	1470.0	1764.0	17622.0	8811.0	9800.0	4900.0
10	1664.0	1996.8	0.0	0.0	1316.0	1579.2	3268.0	3921.6	33174.0	16587.0	10127.0	5063.5
11	1610.0	1932.0	0.0	0.0	1280.0	1536.0	5164.0	6196.8	49509.0	24754.5	9800.0	4900.0
12	1664.0	1996.8	0.0	0.0	1325.0	1590.0	6313.0	7575.6	59962.0	29981.0	10127.0	5063.5
Yhteensä	19591.0	23509.2	0.0	0.0	15476.0	18571.2	41370.5	49644.6	413323.0	206661.5	119236.0	59618.0

Kuukausi	Asukkaan sähkö	
	Laitteet, asukas	
	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)
1	4437.0	5324.4
2	4008.0	4809.6
3	4437.0	5324.4
4	4294.0	5152.8
5	4437.0	5324.4
6	4294.0	5152.8
7	4437.0	5324.4
8	4437.0	5324.4
9	4294.0	5152.8
10	4437.0	5324.4
11	4294.0	5152.8
12	4437.0	5324.4
Yhteensä	52243.0	62691.6

IDA Indoor Climate and Energy

Versio: 4.802

Käyttöoikeus: IDA40:8888