



## **TOIMITILOJEN ENERGIASANEERAUKSET JA -TUET**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan koulutusohjelma

2022

Tommi Karhu

Tarkastajat: Tutkijaopettaja Ahti Jaatinen-Värri

Nuorempi tutkija Mirika Knuutila

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Energiatekniikka

Tommi Karhu

### **Toimitilojen energiasaneeraukset ja -tuet**

Diplomityö

2022

86 sivua, 29 kuvaa, 24 taulukkoa ja 1 liite.

Tarkastajat: Tutkijaopettaja Ahti Jaatinen-Värri, nuorempi tutkija Mirika Knuutila

Avainsanat: Energiasaneeraus, energiatehokkuus, investointilaskelma, energiatuki

Diplomityön tavoitteena oli tutkia toimitilojen tyypillisimpiä LVI-tekniikan energiasäästö-potentiaaleja ja selvittää energiatehokkuusprojektien investointi- ja takaisinmaksulaskelman toteuttamista sekä mahdollisia tukia projekteille.

Työn kirjallisuusosuudessa tutkittiin LVI-tekniikan eri järjestelmiä ja niiden komponenttien valintojen vaikutuksia rakennuksen energiankulutukseen. Kirjallisuusosuudessa selvitettiin myös investointilaskelmien perusteita ja niiden riskejä sekä Business Finlandin energiatuen avustushakemukseen tarvittavia liitteitä ja niihin liittyviä laskelmia.

Työssä käsitellään todellinen energiatehokkuusprojekti Case toimistotalo ja sen hakuprosessi sekä urakkalaskentamateriaali. Case toimistotalon energiatehokkuusprojekti käsittää IV-laitteiston uusimista sekä LTO-järjestelmän lisäämistä IV-laitteiston yhteyteen.

Energiatehokkuusprojektien laskennan kehittämistä varten työssä on käsitelty eri LVI-tekniikan järjestelmiä sekä niihin liittyviä asetuksia ja ohjeistuksia sekä eri laskentatapoja energiankulutuksen sekä investointilaskelman tekemiseksi.

Työn kirjallisuusosuuden ja todellisen energiatehokkuusprojektin avulla selvisi, että parhaat energiasäästöpotentiaalit ovat tyypillisesti kiinteistöjen ilmastointijärjestelmän LTO-laitteistoissa, etenkin jos LTO-laitteisto puuttuu kokonaan. Suurimmaksi riskiksi investointilaskelmissa nousi kustannusarvion tekeminen ennen varsinaista suunnittelua.

## ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Energy Technology

Tommi Karhu

### **Energy modernizations and subsidies**

Master's thesis

2022

86 pages, 29 figures, 24 tables and 1 appendix.

Examiners: Associate professor Ahti Jaatinen-Värri, junior researcher Mirika Knuutila

Keywords: Energy modernizations, energy efficiency, investment calculations, energy subsidies

The goal of this thesis was to investigate the most typical energy saving potentials of HVAC systems in commercial premises and to find out the implementation of the investment and repayment calculation of energy efficiency projects, as well as possible subsidies for the projects.

In the literature part of the work, different HVAC systems and the effects of their component choices on the building's energy consumption were studied. The literature section also explained the basics of investment calculations and their risks, as well as the appendices needed for Business Finland's energy support subsidies application and related calculations.

The work deals with the real energy efficiency project Case office building and its application process, as well as the contract calculation material. The energy efficiency project of the Case office building includes renewing the ventilation machines and adding a heat recovery system to the ventilation machines.

In order to develop the calculation of energy efficiency projects, the work has dealt with different HVAC systems and related regulations and guidelines, as well as different calculation methods for making energy consumption and investment calculations.

With the help of the literature part of the work and the real energy efficiency project, it became clear that the best energy saving potentials are typically in the heat recovery equipment of the building's air conditioning system, especially if the building is not equipped with a heat recovery system. Making a cost estimate before the actual planning turned out to be the biggest risk in the investment calculations.

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

### Roomalaiset

$a_v$	venttiilin auktoriteetti	[-]
$a_{tak}$	takaisinmaksuaika	[v]
$c_{air}$	ilman ominaislämpökapasiteetti	[kWh/(m <sup>3</sup> /K)]
$CTRL$	ilmanvaihdon ohjauskerroin	[-]
EER	Hetkellinen kylmäkerroin (Energy efficiency ratio)	[-]
ESEER	Vuosikylmäkerroin (European seasonal energy efficiency ratio)	[-]
H	huoltokustannukset	[€]
$H_{€,nyk}$	huoltokustannuksien nykyarvo	[€]
$i$	laskentakorko (reaalikorkokanta)	[%/100]
$J$	jäännösarvokustannus	[€]
$J_{€,nyk}$	jäännöskustannuksien nykyarvo	[€]
$l$	laitteen poistoaika	[v]
$m$	huoltoväli	[v]
$MISC$	yhteenlaskettu kerroin ilmanvaihdon tehokkuudelle, kanavavuodoille ja vuotoilmavaihdolle	[-]
$n$	laskentajakson pituus	[v]
$p$	odotettavissa oleva energian vuotuinen hinnan nousu	[%/100]
$P_{apulaitteet}$	taajuusmuuntajien ja muiden säätölaitteiden sekä mahdollisten LTO-pumppujen ja -moottoreiden ottama sähköteho	[kW]
$p_{ef}$	sähköntuotannon ja jakelun primäärienergiakerroin	[-]
$P_{poisto}$	poistoilmapuhaltimen ottama sähköteho	[kW]
$P_s$	pumpun vaatima sähköteho	[W]
$P_{tulo}$	tuloilmapuhaltimen ottama sähköteho	[kW]

$Q$	vuotuinen energian kulutus	[MWh/a]
$q$	nykyinen energian hinta	[€/MWh]
$Q_0$	höyrystimen sitoma lämpö	[kW]
$Q_{defr}$	säätövastuslämmitykseen perustavaan sulatukseen tarvittava vuotuinen lämmitysenergia lämmitetyn lattia-alan neliometriä kohden	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]
$Q_{IV}$	ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia	[kWh]
$Q_{jk}$	vuotuinen jäähdytysenergia	[kWh/a]
$Q_{LTO}$	talteenotettu lämpöenergia	[kWh]
$q_{max}$	koneen ilmanvirroista suurempi ilmavirta	[m <sup>3</sup> /s]
$q_{net}$	nettoilmanvaihtotarve lämmitetyn lattia-alan neliometriä kohden	[m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]
$q_{ref}$	painovoimaisen ilmanvaihdon vertailuarvo lämmitetyn lattia-alan neliometriä kohden	[m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]
$q_v$	pumpattavan nesteen tilavuusvirtaus	[m <sup>3</sup> /s]
$Q_{€,nyk}$	nykyarvo	[€]
RH	Suhteellinen kosteus	[%]
$R_{T,i}$	tuloilmavirran ja poistoilmavirtojen suhde	[-]
SEC	Ilmanvaihdon ominaisenergiankulutus lämmitettyä lattia-alaa kohden	[kWh/m <sup>2</sup> a]
SEER	Vuosikylmäkerroin (Seasonal energy efficiency)	[-]
SFP	Ominais sähköteho	[kW/(m <sup>3</sup> /s)]
SPF	Lämpöpumppujen vuoden keskimääräisen lämpökerroin	[-]
SPI	Ominais sähköteho	[W/(m <sup>3</sup> /h)]
$S_S$	huonelämpötilan ja ulkolämpötilan välinen lämmitystarveluku	[Kd]

$S_{T,i}$	tuloilman lämpötilan LTO:n jälkeen ja ulkoilman välinen lämmitystarveluku	[Kd]
$SFP_{int}$	Ilmanvaihtokomponenttien sisäisen painehäviön ja puhaltimen suhde	[W/(m <sup>3</sup> /s)]
$SFP_{int\_limit}$	Ilmanvaihtokoneiden $SFP_{int}$ -luvun ominaissähkötehon vaatimus	[W/(m <sup>3</sup> /s)]
$t_1'$	tilasta poistuvan ja LTO:hon saapuvan poistoilman lämpötila	[°C]
$t_2'$	ulkoilman lämpötila	[°C]
$t_2''$	LTO:sta poistuvan ja tilaan saapuvan tuloilman lämpötila	[°C]
$t_a$	vuotuiset käyttötunnit	[h/a]
$t_h$	lämmityskauden kokonaistuntimäärä	[h]
$t_j$	LTO:lta lähteävän jäteilman lämpötila	[°C]
$t_s$	sisälämpötila eli LTO:lle tulevan poistoilman lämpötila	[°C]
$t_u$	ulkolämpötila	[°C]
$W$	kompressorin tekemä työ	[kW]
$W_{jäähdytys}$	vuotuinen sähköenergian kulutus	[kWh/a]
$W_{jäähd,apu}$	apulaitteiden sähkönkulutus	[kWh/a]
$x$	lämpöenergian ja sähkösäästön epälineaarisuus	[-]
$€_{inv}$	investoinnin määrä	[€]
$€_{sääs}$	vuosittaisen säästöjen määrä	[€/v]

### Kreikkalaiset

$\Delta p_{100}$	säädettävän verkoston painehäviö	[bar]
$\Delta p_{ilm,mit}$	käytettävissä oleva paine-ero	[bar]
$\Delta p_{sv}$	valitun säätöventtiilin painehäviö	[bar]
$\Delta p_t$	pumpun kokonaispaine	[Pa]
$\Delta p_{v100}$	venttiilin painehäviö täysin auki-asennossa	[bar]
$\Delta T_h$	sisä- ja ulkolämpötilan ero lämmityskaudelle korjattuna 3 Kelvinillä	[K]

$\eta$	pumpun kokonaishyötysuhde	[-]
$\eta_a$	lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	[-]
$\eta_h$	keskimääräinen tilalämmityksen hyötysuhde	[-]
$\eta_p$	LTO:n lämpötilasuhde	[-]
$\eta_t$	LTO:n lämpötilahyötysuhde asuinrakennuksissa	[-]
$\eta_{t,nrvu}$	lämmöntalteenottojärjestelmän lämpötilahyötysuhde	[-]
$\beta$	säätöventtiilin auktoriteetti	[-]
$\varepsilon$	kylmäkerroin	[-]
$\varepsilon_E$	vuotuinen kylmäkerroin	[-]

#### Lyhenteet

AI	Analogitulo (Analog input)
AO	Analogilähtö (Analog output)
CO2	Hiilidioksidi
DI	Digitaalitulo (Digital input)
DO	Digitaalilähtö (Digital output)
EC	Elektronisesti kommutoitu (Electronically commutated)
LCC	Elinkaarikustannukset (Life cycle cost)
LTO	Lämmöntalteenotto (-järjestelmä)
LVI	Lämpö, vesi ja ilma
PM	Kestomagneettimoottori

## Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Symboli- ja lyhenneluettelo

1	Johdanto.....	10
2	Energiantuotanto ja -kulutus Suomessa.....	11
2.1	Energian kulutus.....	12
2.2	Energian päästöt.....	13
2.3	Energian hinta.....	14
2.4	Energia- ja ilmastopolitiikka.....	17
3	Talotekniikka toimitiloissa.....	19
3.1	Lämmitysjärjestelmät.....	19
3.2	Jäähdytysjärjestelmät.....	22
3.3	Käyttövesijärjestelmät.....	27
3.4	Ilmanvaihtojärjestelmät.....	28
3.4.1	LTO-järjestelmät.....	29
3.4.1	Puhaltimet.....	33
3.5	Automaatiojärjestelmät.....	35
3.6	Sähköjärjestelmät.....	37
4	Tyypillisimmät parannukset ja niiden vaikutukset.....	38
4.1	Lähtöarvojen arviointi.....	38
4.2	Lämmitysjärjestelmät.....	41
4.3	Jäähdytysjärjestelmät.....	44
4.4	Käyttövesijärjestelmät.....	46
4.5	Ilmanvaihtojärjestelmät.....	46
4.5.1	Puhaltimet.....	47
4.5.1	LTO-järjestelmät.....	48
4.6	Automaatiojärjestelmät.....	50
5	Investointilaskelma.....	51
5.1	Kustannusarvio.....	53



5.2	Takaisinmaksuaikamenetelmä .....	54
5.3	Elinkaarikustannuslaskenta ja nykyarvomenetelmä .....	55
5.4	Laskenta käytännössä .....	57
5.5	Jälkiseuranta .....	58
6	Energiatuki .....	60
6.1	Kirjanpito ja hyväksyttävät kulut .....	62
6.2	Investointihakemuksien liitteet .....	65
6.3	Jälkiraportointi ja muutokset projektin aikana .....	66
7	Case toimistotalo .....	68
7.1	Lähtötiedot ja suunnittelu energiatukea varten .....	68
7.2	Energiankulutuksen arviointi .....	70
7.3	Kustannuserittely .....	71
7.4	Takaisinmaksulaskelma .....	72
7.5	Hakemuksen liitteet .....	73
7.6	Urakkalaskentasuunnitelmat .....	73
7.7	Urakkatarjoukset ja kustannuseuranta .....	76
7.8	Hakemuksen muutokset .....	77
7.9	Jälkiseuranta .....	78
8	Johtopäätökset .....	79
8.1	Energiatehokkuuspotentiaalit, investointilaskelma ja energiatuki .....	79
8.2	Case toimistotalo .....	80
8.3	Yhteenveto .....	81
	Lähteet .....	82

Liite 1. Säätiötiedot kuukausittain säävyöhykkeellä 1...4 (1009/2017, Liite 1. 2-5)

# 1 Johdanto

Tässä työssä tutkitaan toimitilojen, kuten toimisto- ja tuotantotilojen, LVI-taloteknisiä energiasaneerauksia sekä niihin liittyviä energia-avustuksia. Työstä on rajattu pois muun tyyppiset kiinteistöt kuten asuin-, majoitusliike- ja opetusrakennukset. Työssä käsiteltäviä asioita voidaan kuitenkin soveltaa edellä mainittuihin kiinteistöihin, koska talotekniset ratkaisut voivat olla hyvinkin samanlaisia. Työssä tarkastellaan kiinteistöjen energiansäästöpotentiaaleja esimerkkien ja todellisen energiatehokkuusprojektin Case Toimistotalo avulla. Työssä keskitytään toimitilojen lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien tutkimiseen, takaisinmaksuajan arvioimiseen sekä nykyisten energiatukien mahdollisuuksiin taloteknisissä energiasaneerauksissa. Sähkö- ja automaatiojärjestelmiin ei perehdytä tarkemmin tässä työssä, mutta niihin vaikuttavat muutokset, kuten LVI-järjestelmien liittyminen sähkö- ja automaatiojärjestelmiin, huomioidaan työssä.

Vastaavien tutkimuksien mukaan kuten Jradi et al. 2018 Tanskalaisissa kohteissa energiansäästö oli keskimääräisesti 50 % ja Knuutila et al. 2022 Suomalaisissa kohteissa energiatehokkuuspotentiaali oli keskimääräisesti 35 %. Kuitenkin jokaisen energiatehokkuusprojektin ollessa enemmän tai vähemmän erilainen, eroaa tämänkin tutkimuksen varsinainen energiatehokkuusprojekti Case Toimistotalo muista tutkimuksista. Tässä työssä tutkitaan myös saatavia energia-avustuksia, joiden hakemisprosessista ei ole saatavilla paljoa tietoa.

Kiinteistöjen energiasaneerauksilla on mahdollista säästää kiinteistön energiankustannuksia samalla pienentäen kiinteistön CO<sub>2</sub>-päästöjä. Näin mahdollistetaan esimerkiksi yrityksen tai kiinteistöyhtiön parempi taloudellinen tuotto sekä samalla voidaan nostaa organisaation imagoa. Energiatehokkuutta parantavien muutosten toteuttaminen kiinteistöön tulee ottaa harkintaa viimeistään siinä vaiheessa, kun järjestelmien laitteiden tekninen käyttöikä on kulunut loppuun. Energiansäästötoimenpiteet ovat nousseet erityisen merkitykselliseksi ottaen huomioon nykyisen maailmantilanteen.

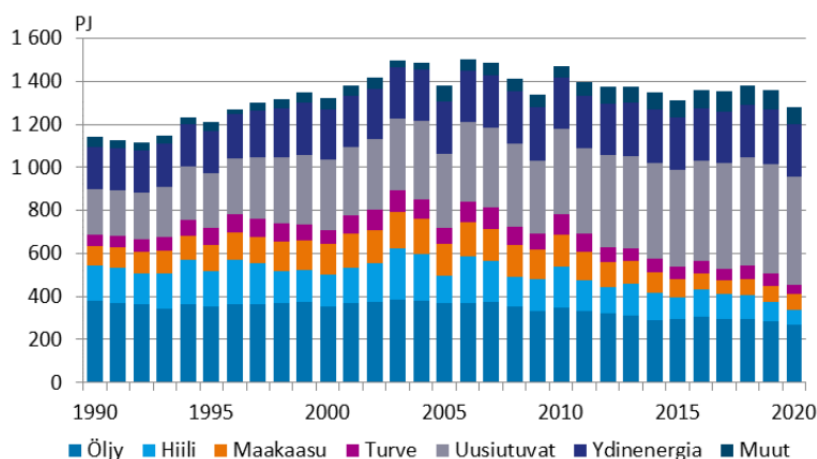
Tämä diplomityö on tehty ALL-Talotekniikka Oy:lle, jossa diplomityön tekijä on toiminut LVI-suunnittelijana. Työn tarkoituksena oli selvittää toimitilojen LVI-tekniikan kannalta merkittävimpiä energiaparannuksia, niiden takaisinmaksuajan laskemista sekä nykyisten energiatukien hakuprosessia ja siihen vaadittavia dokumentteja.

## 2 Energiantuotanto ja -kulutus Suomessa

Suomessa energiaa tuotetaan erilaisilla uusiutuvilla energianlähteillä, fossiilisilla polttoaineilla ja ydinvoimalla. Uusiutuvia energianlähteitä ovat mm vesi, biomassa, tuuli, aurinko ja erilaiset hukkalämmönlähteet. Suomen energiantuotannossa uusiutuvien energialähteiden osuus on kasvamassa. Sähköntuotannosta vuonna 2020 85 % tuotetusta energiasta oli jo puhdasta energiaa. Yleisin lämmitysmuoto Suomessa on kaukolämpö. Kaukolämpö tuotetaan voimalaitoksissa ja lämpökeskuksissa, josta se siirretään kaukolämpöputkien avulla kiinteistöihin. (Energiamailma, 2022)

Suomen kokonaisenergiankulutus vuonna 2020 oli 1,28 miljoonaa TJ. Vuoteen 2019 verrattuna kulutus laski 6 %. Kulutuksen laskuun ovat vaikuttaneet etenkin koronaepidemia ja lämmin sää. Kulutuksen laskun ja uusiutuvan energian osuuden kasvamisen myötä polttoaineiden käytön hiilidioksidipäästöt vähenivät 11 %. (Tilastokeskus, 2021)

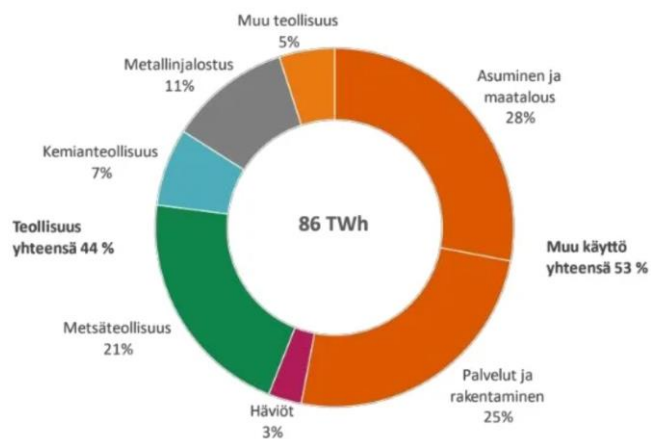
Kuvassa 1 on esitetty Suomen energiankokonaiskulutus vuodesta 1990 vuoteen 2020. Kuvasta voidaan nähdä, kuinka uusiutuvan energian osuus on kasvanut 44,6 prosenttiyksikköön kokonaisloppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. Fossiilisten polttoaineiden, mukaan lukien turpeen, kulutus on laskenut vuonna 2020 10 % verrattuna vuoteen 2019. (Tilastokeskus, 2021)



Kuva 1. Energian kokonaiskulutus 1990-2020 (Tilastokeskus, 2021)

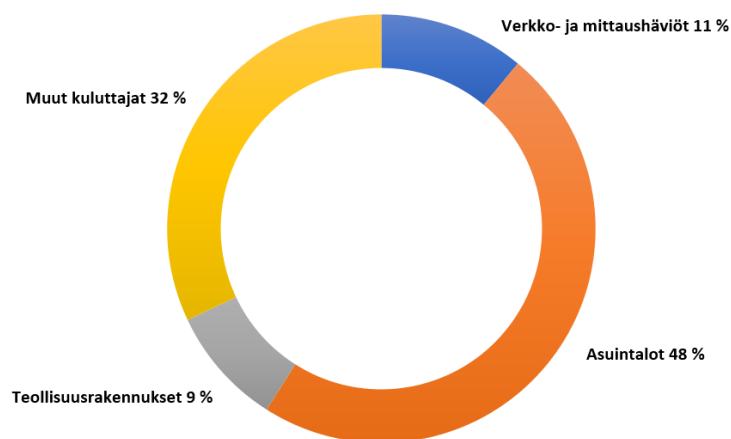
## 2.1 Energian kulutus

Sähkön kokonaiskäytön osuus vuonna 2021 eri sektoreille nähdään kuvasta 2. Teollisuus on suurin yksittäinen kokonaiskäyttäjä 44 % osuudella kokonaiskäytöstä. Vaikka asuminen ja maatalous ei ole suurin kokonaiskäyttäjä on sen osuus 28 % silti merkittävä osuus kokonaiskäytöstä. (Energiavuosi 2021 Sähkö, 2022)



Kuva 2. Sähkön kokonaiskäyttö 2021 (Energiavuosi 2021 Sähkö, 2022)

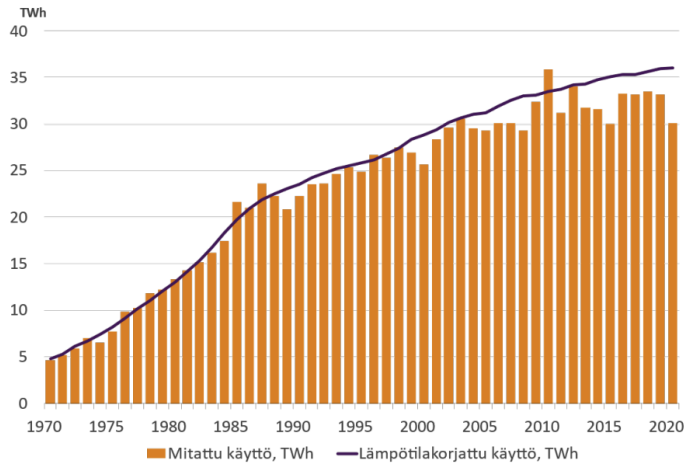
Kaukolämmön kulutuksen osuus vuonna 2021 eri sektoreille nähdään kuvasta 3. Asuintalot on suurin yksittäinen kokonaiskuluttaja 48 % osuudella kokonaiskulutuksella. (Energia 2021-taulukkopalvelu T4.1, 2022)



Kuva 3. Kaukolämmön kulutus 2020 (Energia 2021-taulukkopalvelu, 2022)

Kuvasta 4 nähdään kaukolämmön käytön kasvavan vuosien 1970...2020 välillä. Kaukolämmön tarve on kasvanut, vaikka kaukolämpölämmitteisten asuntojen ominaislämmönkulutus

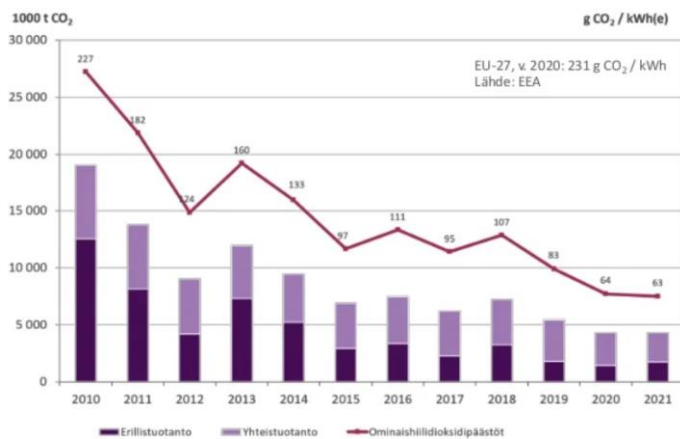
on pienentynyt. Tämä johtuu kaukolämpöverkoston liitetyn rakennuskannan kasvusta. (Kaukolämpötilasto 2020, 2022)



Kuva 4. Kaukolämmön mitattu ja lämpötilakorjattu käyttö (Kaukolämpötilasto 2020, 2022)

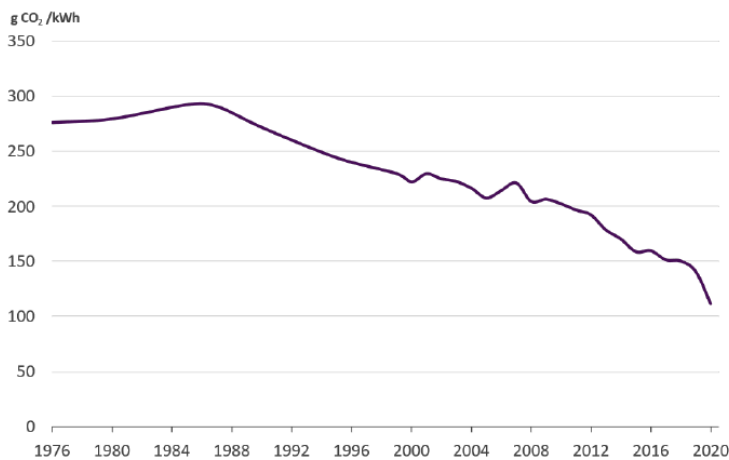
## 2.2 Energian päästöt

Uusiutuvan ja puhtaan energian lisääntyessä sähkö- ja lämpöenergian tuotannossa energian tuottamat hiilidioksidipäästöt ovat pienentyneet tuotettua kWh:ia kohden. Kuvasta 5 voidaan nähdä sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt tuotettua energiamäärää kohden. Vuoden 2020 ja 2021 päästöt ovat pysyneet samalla tasolla (63...64 gCO<sub>2</sub>/kWh), mutta käyrän suunta kokonaisuudessaan on laskeva. Viimeisen 10 vuoden aikana päästöt ovat laskeneet 69 % ja viimeisen 5 vuoden aikana 31 %. Uusiutuvan sähkön tuotannon osuus oli vuonna 2021 54 %, hiilidioksidineutraalin 87 % ja kotimaisen 56 %. (Energiavuosi 2021, 2022)



Kuva 5. Sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt 2010-2021 (Energiavuosi 2021, 2022)

Kuvasta 6 voidaan nähdä kaukolämpötuotannon hiilidioksidipäästöt tuotettua energiamäärää kohden. Vuoden 2020 ominaispäästöt olivat 110 gCO<sub>2</sub>/kWh. Laskua vuodesta 2019 vuoteen 2020 on ollut 20,7 %. Hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämmön lähteenä on kolminkertaistunut vuosien 2010...2020 välillä. Hukkalämmön hyödyntäminen vähentää polttoaineiden tarvetta. 75 % kunnista, jotka käyttävät kaukolämpöä tuottavat lämmön pääsääntöisesti uusiutuvilla polttoaineilla, ympäristöstä otetusta lämmöstä tai hukkalämmöllä. (Kaukolämpötilasto 2020, 2022)



Kuva 6. Kaukolämmön hankinnan ominaispäästöt 1976-2020 (Kaukolämpötilasto 2020, 2022)

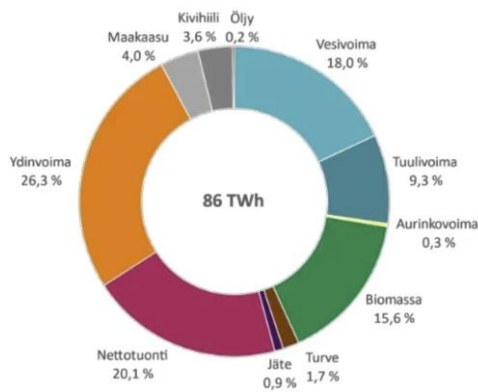
Keuyen polttoöljyn CO<sub>2</sub> oletuspäästökerroin alemman lämpöarvon mukaisesti on 70,2 t/TJ (Tilastokeskus, 2022). Uusissa rakennuksissa on epätodennäköistä, että lämmitysjärjestelmä on tehty öljyllä, mutta joissakin vanhoissa rakennuksissa ja teollisuuslaitoksissa tähän voi vielä törmätä.

### 2.3 Energian hinta

Sähkön hinta koostuu siirtomaksusta, sähköenergian hinnasta sekä sähk- ja arvonlisäverosta. Sähkön siirtomaksuun eikä verojen osuuteen sähkön kokonaishinnassa voi vaikuttaa. Sähköenergian hinnan voi kilpailuttaa. (Energia 2022 b)

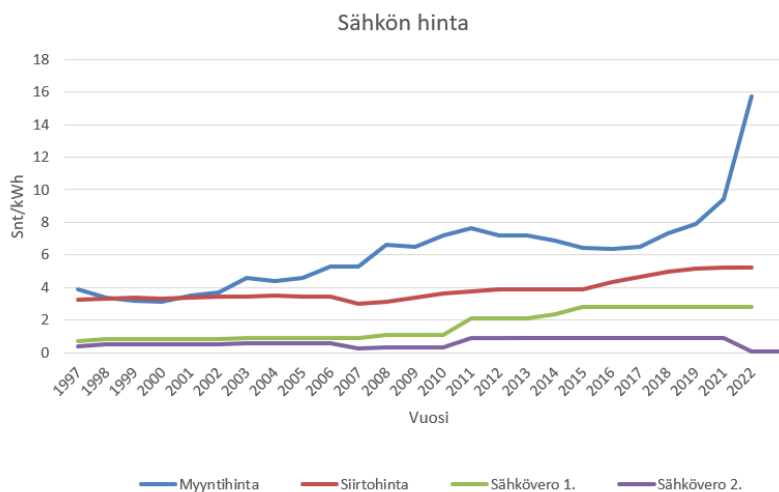
Kuvasta 7 nähdään sähkön tuotanto energialähteittäin vuonna 2021. Uusiutuvan energian osuus on ollut kasvussa ja esimerkiksi tuulivoiman kapasiteetti kasvoi 26 % ja tuotanto 1,5

% vuonna 2021 verrattuna vuoteen 2020. Nettotuonnin osuus vuonna 2021 oli 20,1 %. Tuonti on tullut Venäjältä, Ruotsista, Norjasta ja Virosta. (Energiavuosi 2021 Sähkö, 2022)



Kuva 7. Sähköntuotanto energialähteittäin ja nettotuonti 2021 (Energiavuosi 2021 Sähkö, 2022)

Alla olevaan kuvaan 8 on koottu kuvaaja sähkön hintojen kehityksestä vuosien 1997 ja 2022 välillä. Kuvaajassa on käytetty energiaviraston (Energiavirasto, 2022) sähkön hintatilastotietoja, joissa ei ollut saatavilla 2020 tilastoja. Myyntihinta on asuintalojen ja maatilatalouksien keskiarvo vuoden lopussa, siirtohinta asuintalojen ja maatilatalouksien keskiarvo vuoden lopussa vuoteen 2006 asti, vuodesta 2007 eteenpäin keskiarvoon on laskettu mukaan myös teollisuuden siirtohinnat. Alennettua 2. luokan sähköveroa maksetaan mm. teollisuudessa ja konesaleissa (vero, 2022). Tilastoista voidaan nähdä, että sähkön myyntihinta vuoden 2022 lopussa on ollut noin 160 €/MWh.

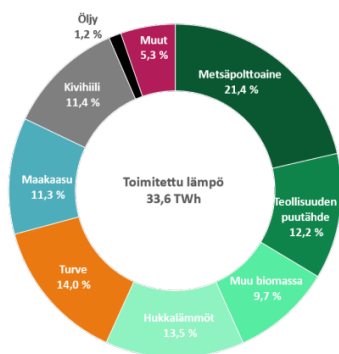


Kuva 8. Sähkön hinta (Energiavirasto, 2022)

Sähköenergian keskihinta oli vuonna 2021 72,34 €/MWh. Sähköenergian keskihinta oli vuonna 2020 alle 30 €/MWh, joten sähköenergian keskihinta on noussut merkittävästi verrattaessa 2020 ja 2021 vuosia. Vuosien 2002 ja 2020 välisenä aikana sähkön keskihinta on liikkunut 25...60 €/MWh välillä, edellisen sähkön keskihinnan piikin olleen vuonna 2010 noin 57 €/MWh. Sähköenergian keskihinnan nousu on johtunut useista markkinailmiöistä. (Energiavuosi 2021 Sähkö, 2022)

Kaukolämmön hinta koostuu tehomaksusta ja energiamaksusta. Tehomaksu on liittymisvaiheessa määritellyn sopimusvesivirran mukainen, joten rakennuksen energiatehokkuuden parantuessa sekin voi pienentyä. Energiamaksu on rakennuksen kulutukseen perustuva. (Energia 2022 a)

Kaukolämmön tuotanto oli vuonna 2020 33,6 TWh. Kuvassa 9 on esitetty kaukolämmön hankinnan energialähteet. 29,1 TWh on tuotettu polttoaineilla ja 4,5 TWh on tuotettu lämmöntalteenotto- ja lämpöpumppujärjestelmillä. Näiden järjestelmien tuottama lämpöenergian määrä on kasvanut 103 % viimeisen viiden vuoden aikana. Uusiutuvan energian osuus on ollut kasvussa. Niiden osuus on noussut vuodesta 2011 vuoteen 2022 19 prosenttiyksikköä. (Kaukolämpötilasto 2020, 2022)

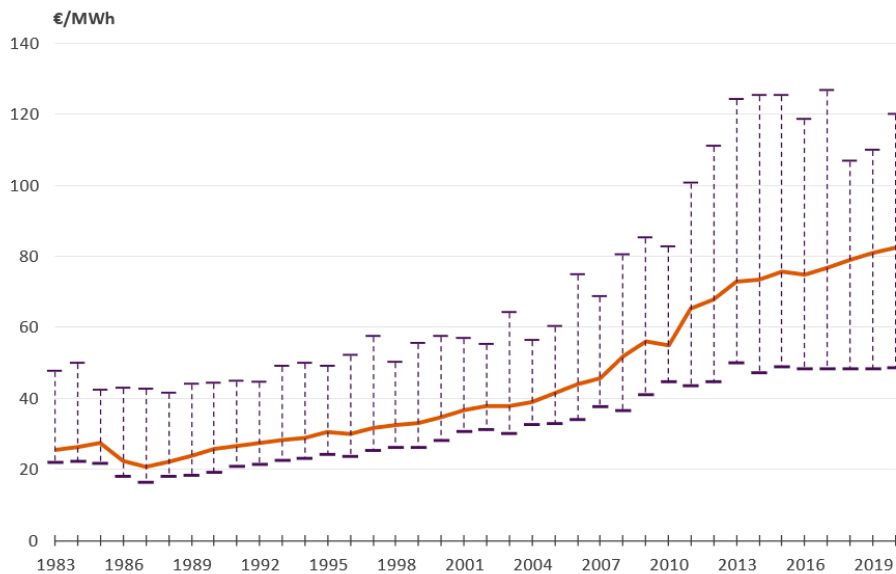


Kuva 9. Kaukolämmön hankinnan energialähteet 2020 (Kaukolämpötilasto 2020, 2022)

Kaukolämmön lämmön myynnillä painotettu hinnan keskiarvo oli vuonna 2020 82,23 €/MWh. Vuoteen 2019 verrattuna kasvua hintaan oli 1,7 prosenttiyksikköä. Vuonna 2020 kaukolämmön hinta vaihteli 45...110 €/MWh välillä riippuen kaukolämpötoimittajasta. Suurimalla osalla toimittajista (noin 25 %) kaukolämmön hinta oli 85...90 €/MWh välillä. (Kaukolämpötilasto 2020, 2022)



Alla olevassa kuvassa 10 on esitetty kuvaaja kaukolämmön keskihinta sekä minimi- ja maksimi-arvot vuosien 1983 ja 2019 välillä. Hintaan on sisällytetty kaikki verot, energia- ja tehomaksut sekä mahdolliset muut vuotuiset maksut. Liittymiskustannuksia ei ole sisällytetty hintaan. (Kaukolämpö 2020 graafeina, 2022)



Kuva 10. Kaukolämmön keskihinta (Kaukolämpö 2020 graafeina, 2022)

## 2.4 Energia- ja ilmastopoliittikka

Suomen hiilineutraalisuus vuoteen 2035 mennessä on yksi vuoden 2019 hallitusohjelman tavoitteista. Jotta tämä saavutetaan, tarvitaan kaikkien eri toimialojen päästövähennyksiä. Hallituksen tavoittelemia keinoja ovat uudet ilmastopoliittiset päätökset, lähes päästötön sähkön- ja lämmöntuotanto, rakentamisen hiilijalanjäljen pienentäminen, kiertotalouden edistäminen ja ilmastoystävällinen ruokapolitiikka. (Ympäristöministeriö, 2022)

Energian tuotanto ja kulutus vastaa ilmaston lämpenemistä edistävästä kasvihuonepäästöistä noin 80 %. Energian tuotantoon ja kulutukseen lasketaan mukaan liikenteestä tulevat kasvihuonepäästöt. Näistä syistä energiatavoitteet ja ilmastopoliittikka liittyvät toisiinsa vahvasti. Energian kulutuksen laskulla on siis aina suora vaikutus haitallisiin päästöihin, jotka vaikuttavat ilmaston lämpenemiseen. (Työ- ja elinkeinoministeriö a, 2022)

Vuonna 2022 hallituksen ilmastosuunnitelmien ja niiden vaikutuksien arvioimiseksi on tehty Hiilineutraali Suomi 2035 (HIISI) -jatkoselvitys. Jatkoselvitys oli tarpeellinen, jotta vuonna

2021 uusien ilmastokirjauksien arviointi oli mahdollista. Selvityksessä arvioitiin Suomen 2035 hiilineutraalisuustavoitteeseen vaadittavat laskennalliset ja laadulliset vaikutusarvot. Selvityksen avulla voitiin myös arvioida kuinka Suomen ilmasto- ja energiapäätökset vastaavat EU:n FitFor55-säädöspakettia ja sen tavoitteita. (Työ- ja elinkeinoministeriö b, 2022)

EU:n FitFor55-säädöspaketti, suomeksi 55-valmiuspaketti, tavoitteena on EU:n ilmasto- neutraalisuus vuoteen 2050 mennessä sekä kasvihuonekaasujen nettopäästöjen vähentäminen 55%:lla vuoden 1990 tasoihin verrattuna vuoteen 2030 mennessä. Valmiuspaketti on joukko ehdotuksia, joiden avulla voidaan tarkistaa ja päivittää EU:n lainsäädäntöä. (Eurooppa-neuvosto, 2022)

Suomen rakennuksien energiankulutuksen osuuden ollessa noin 40 % kokonaisenergiakulutuksesta on rakennuskannan energiansäästötoimenpiteillä mahdollista saada merkittäviä hyötyjä edellä mainittuihin tavoitteiden saavuttamiseksi. Olemassa olevan rakennuskannan energiasäästöpotentiaalit ovat suuremmat kuin uudisrakennuksien. Olemassa olevan rakennuskannan energiansäästötoimenpiteet näkyvät myös lyhyemmällä aikajänteellä. (Motiva, 2022)

### 3 Talotekniikka toimitiloissa

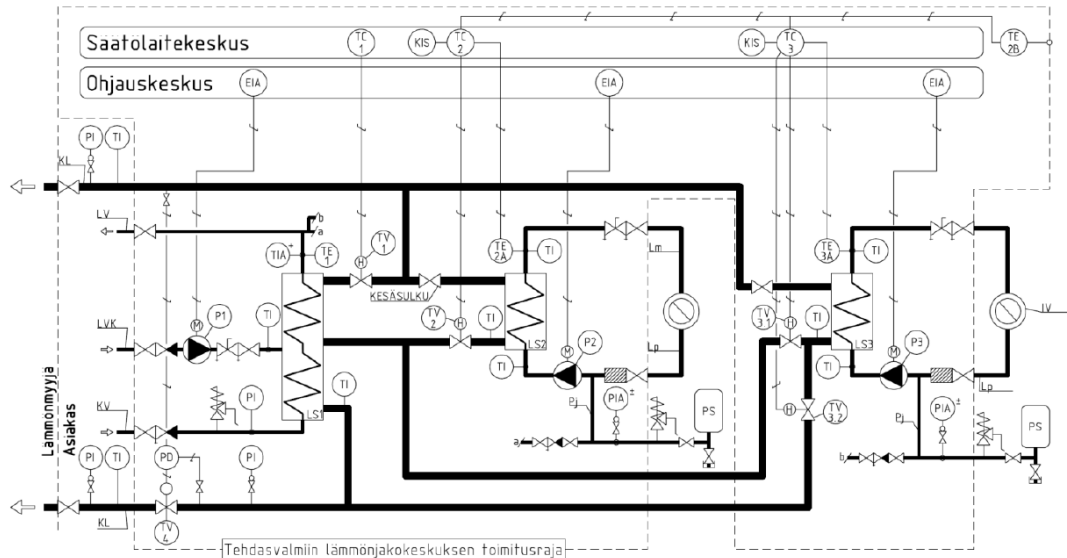
Tässä luvussa tarkastellaan toimitilojen talotekniikkaa. Tarkastelu keskittyy toimitilojen talotekniikkaan, joissa on isoimmat energiansäästöpotentiaalit. Tarkastelun piiristä on rajattu pois uudisrakennukset, koska niiden suunnittelussa ja toteutuksessa on noudatettu ympäristöministeriön asetusta uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017). Täten uudisrakennuksien energiatehokkuus on riittävällä tasolla ja niiden energiasäästöpotentiaali on pienempi kuin vanhemmassa rakennuskannassa. Mutta on silti muistettava, että ympäristöministeriön asetus määrittää uuden rakennuksen minimiarvot energiatehokkuudelle, joten rakennuksen energiatehokkuudesta voi silti löytyä parannettavaa. Uusien rakennuksien energiatehokkuusvaatimukset ovat myös hyviä vertailuun, kun pohditaan olemassa olevan rakennuksen energiatehokkuusparannuksien mahdollisuuksia ja tavoiteltavia arvoja esimerkiksi ilmanvaihtokoneiden SFP-lukujen ja LTO-järjestelmien hyötysuhteen osalta.

#### 3.1 Lämmitysjärjestelmät

Rakennuksen lämmitysjärjestelmä voidaan jakaa kolmeen osaan: Lämmönlähde, lämmönsiirtoverkosto ja lämmönlvovuttimet. Lämmönlähde voi siirtää lämpöenergiaa järjestelmää joko sähkön tai nesteen avulla, nesteen ollessa keskisuurissa ja isoissa toimitiloissa tyypillisin vaihtoehto. On myös mahdollista, että osa lämpöenergiasta siirretään nesteen avulla ja osa sähkön avulla lämmönlvovuttimille tai että lämpö siirretään ilmanvaihtokoneen lämmityspatterille sähkön tai nesteen avulla ja koko rakennuksen tarvitsema lämpöenergia siirretään ilmanvaihtokoneen avulla rakennuksen tiloihin. (Seppänen 2001, 3-4)

Toimitilojen lämmönlähteenä löytyy tyypillisesti kaukolämmityksen alajakokeskus. Kuvassa 11 on esitetty kaukolämmityksen alajakokeskuksen esimerkkikytkentä kolmella lämmönvaihtimella. Kuvan esimerkkikytkentä on esitetty vuoden 2021 ohjeistuksen mukaan, joten vanhemman rakennuskannan kytkennät voivat vaihdella esimerkistä, mutta alajakokeskuksen pääkomponentit ovat silti samoja, ja energiankulutukseen vaikuttavat komponentit voidaan havainnollistaa tämän esimerkin avulla. Energiatehokkuuden kannalta merkittävimmät kuvassa 11 nähtävät alajakokeskuksen komponentit ovat kiertovesipumput (P1, P2

ja P3), säätöventtiilit (TV1, TV2, TV3.1 ja TV3.2), lämmönvaihtimet (LS1, LS2 ja LS3) sekä paine-erosäädin (PD / TV4). (Rakennusten kaukolämmitys 2021, 90)



Kuva 11. Kaukolämmityksen alajakokeskuksen esimerkkikytkentä (Rakennusten kaukolämmitys 2021, 90)

Kiertovesipumput toimivat hyötysuhteella, joka voidaan määrittää yhtälön 1 avulla.

$$\eta = \frac{q_v \cdot \Delta p_t}{P_s} \quad (1)$$

Mitä parempi hyötysuhde sitä vähemmän pumppu vie sähköenergiaa käyttökänsä aikana. Yhtälössä 1  $\eta$  pumpun kokonaishyötysuhde,  $q_v$  pumpattavan nesteen tilavuusvirtaus ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $\Delta p_t$  pumpun kokonaispaine (Pa) ja  $P_s$  pumpun vaatima sähköteho (W). Yleensä pumpattavan nesteen virtaus, pumpun kokonaispaine ja pumpun vaatima sähköteho ovat tiedossa, jos kohteen vanhat LVIS-suunnitelmat ovat tallessa tai pumput ovat merkattu asianmukaisin laitekilvin. Kiertovesipumppujen käyntiaikojen ollessa suuria, on pumppujen sähkötehojen merkitys iso pumpun elinkaarikustannuksien kannalta. Täten pumppuja valittaessa on huomioitava pumpun hyötysuhde ja sen merkitys pumpun elinkaarikustannuksiin. (Seppänen 2001, 234)

Auktoriteetti, kutsutaan myös vaikutusasteeksi, ilmaisee venttiilin vaikutusta säädettävään verkostoon. Kaukolämmön auktoriteetti mitoitetaan yhtälön 2 avulla.

$$\beta = \frac{\Delta p_{sv}}{\Delta p_{ilm,mit}} \quad (2)$$

Venttiili valitaan siten, että auktoriteetti on suurempi kuin 0,5. Yhtälössä 2  $\beta$  säätöventtiilin auktoriteetti (-),  $\Delta p_{sv}$  valitun säätöventtiilin painehäviö (bar) ja  $\Delta p_{ilm,mit}$  energialaitoksen ilmoittama verkostossa käytettävissä oleva paine-ero (bar). (Rakennusten kaukolämmitys 2021, 16)

Muissa osissa lämmitysjärjestelmää tai muun tyyppisissä lämmitysjärjestelmissä säätöventtiilin auktoriteetti mitoitetaan yhtälön 3 avulla.

$$a_v = \frac{\Delta p_{v100}}{\Delta p_{v100} + \Delta p_{100}} \quad (3)$$

Tällöinkin venttiili valitaan siten, että auktoriteetti on suurempi kuin 0,5. Yhtälössä 3  $a_v$  venttiilin auktoriteetti,  $\Delta p_{v100}$  venttiilin painehäviö täysin auki-asennossa (bar) ja  $\Delta p_{100}$  säädettävän verkoston painehäviö (bar). (LVI 12-10126 1989, 3)

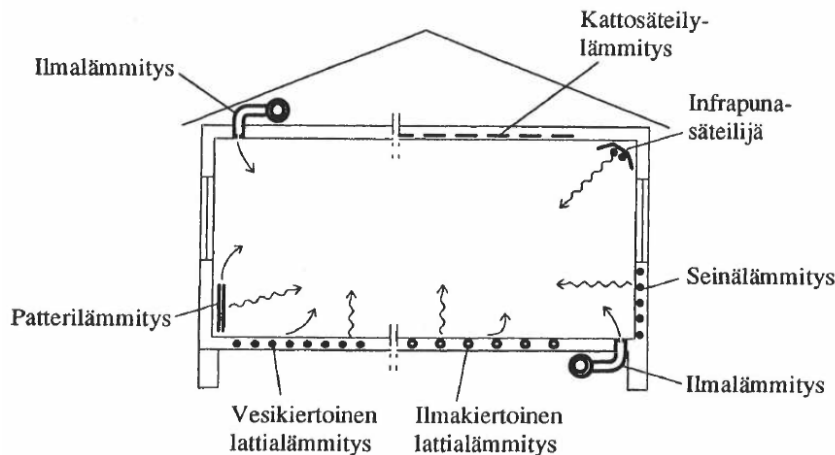
Säätöventtiiliin mitoitus vaikuttaa kiertovesipumpun paineenkorotukseen ja säädettävään virtaukseen. Liian suuri auktoriteetti aiheuttaa kiertovesipumpulle kohtuutonta paineenkorotusta ja liian pieni auktoriteetti aiheuttaa säädettävässä virtauksessa huojuntaa, joka voi lisätä lämpöenergiankulutusta ylisäädön vuoksi. Näin ollen säätöventtiilin oikealla mitoituksella ja valinnalla voidaan vaikuttaa järjestelmän energiatehokkuuteen.

Kukin lämmityspiiri, jolla on eroavat mitoitus- ja toimintalämpötilat tai käyttöajat, toteutetaan tyypillisesti omalla lämmönvaihtimelle kuten kuvasta 11 voidaan nähdä (Rakennusten kaukolämmitys 2021, 13). Poikkeuksia voi kuitenkin olla, esimerkkinä pienitehoinen lattialämmityspiiri, joka voidaan toteuttaa ns. shunttipiirinä toisesta lämmityspiiristä.

Kaukolämmön alajakokeskuksesta löytyviä komponentteja löytyy myös muista nestekiertoisten lämmitysjärjestelmien lämmönlähteistä. Näiden komponenttien valintaan ja energiänsäätöpotentiaaliin pätee samat lainalaisuudet kuin kaukolämmön alajakokeskuksen komponentteihin.

Nestekiertoinen lämmönsiirtoverkosto koostuu putkistosta ja siihen liittyvistä laitteista, kuten erilaisista venttiileistä. Nestekiertoisella lämmönsiirtoverkostolla lämpöenergiaa voidaan siirtää esimerkiksi pattereille, vesikiertoiselle lattialämmitykselle tai kattosäteilylämmitykselle. Nestekiertoinen lämmönsiirtoverkosto voi toimia myös ilmalämmitysjärjestelmän osana, tuoden lämpöenergian ilmanvaihtokoneelle, josta lämpöenergia siirtyy

ilmavirran mukana ilmanvaihtokanavia pitkin lämmitettävään tilaan. Tällöin ilmanvaihtoverkosto toimii lämmönsiirtoverkoston osana, eikä erillisiä lämmönluovuttimia tarvita. Yksinkertaiseen ilmanvaihtoverkostoon kuuluu kanaviston lisäksi erilaisia säätöpeltejä ja pääteilmalaitteita. Kuvassa 12 on esitetty erilaisia lämmönluovuttimia huonetilassa. (Seppänen 2001, 4)



Kuva 12. Lämmönluovutustapojen vaihtoehtoja (Seppänen 2001, 4)

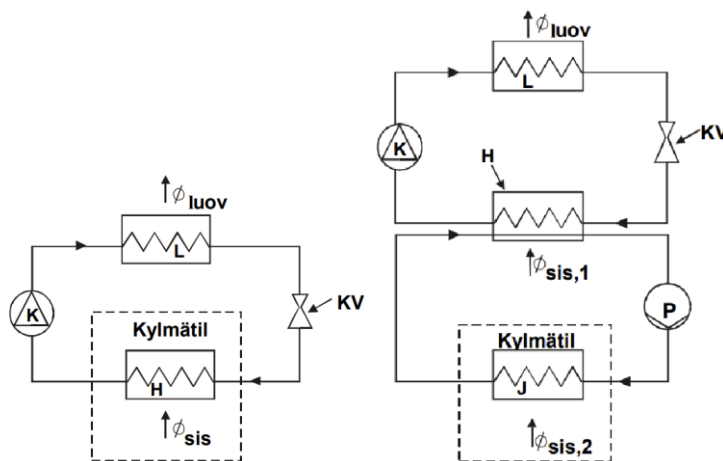
Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä (4/13), ja kyseisen asetuksen muutos asetuksen (2/17), mukaan rakennuksen lämmöntuottojärjestelmän ja lämmönjakojärjestelmän hyötysuhteiden välisen vuosihyötysuhteen on oltava vähintään 0,8. Tämä vuosihyötysuhde kertoo järjestelmässä tapahtuvien häviöiden suhteen käytettyyn energiaan. Järjestelmin häviöihin kuuluu esimerkiksi lämmöntuottoyksikön varaajan häviöt. Poikkeus tästä on lämmöntuottojärjestelmät, joiden pääasiallisena lämmöntuottotapana toimii lämpöpumppu. Tällöin vuosihyötysuhteen on oltava vähintään 0,73. Lämpöpumppujen vuoden keskimääräisen lämpökertoimen, eli SPF-luvun, ja lämmönjakojärjestelmän suhteen on oltava vähintään 2,4. Uusittujen lämmönjakojärjestelmien apulaitteiden ominaiskulutuksen raja on 2,5 kWh/netto-m<sup>2</sup>.

### 3.2 Jäähdytysjärjestelmät

Koneelliset jäähdytysjärjestelmät voidaan jaotella paikallisiin ja keskitettyihin jäähdytysjärjestelmiin. Paikallisten jäähdytysjärjestelmien jäähdytyslaitteet sijaitsevat tyypillisesti jäähdytettävässä tilassa. Paikallinen jäähdytysjärjestelmä voi olla esimerkiksi puhallinkonvektori, joka kierrättää tilassa olevaa ilmaa jäähdytyspatterin läpi ja näin jäähdyttää tilaa.

Paikallinen jäähdytysjärjestelmä voi myös olla suoraan yhteydessä tilaan tulevaan tuloilmaan, ja näin jäädyttää tilaa. Keskitetty jäähdytysjärjestelmä jäädyttää tiloja nimensä mukaisesti keskitetysti. Keskitetty järjestelmä voi palvella koko rakennusta tai tiettyä osaa rakennuksesta. Keskitetty jäähdytysjärjestelmä voi olla esimerkiksi ilmanvaihtokoneeseen yhdistetty jäähdytyspatteri, joka jäädyttää ilmanvaihtokoneen tuloilmaa haluttuun arvoon. (Heinonen et al. 2014, 243)

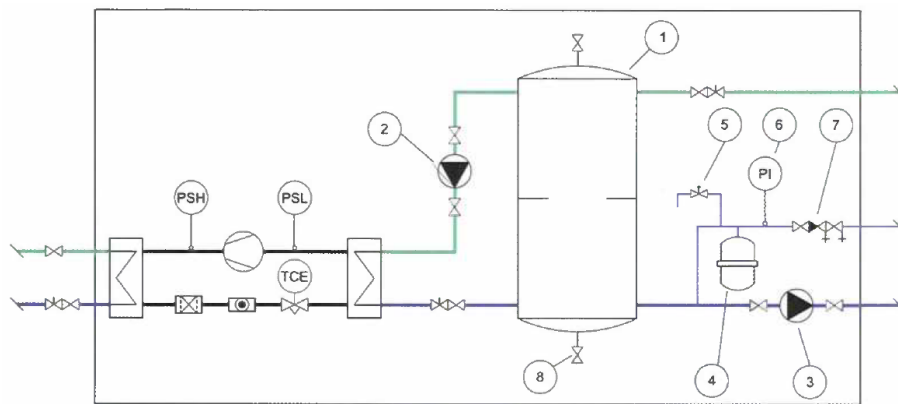
Paikallinen ja keskitetty jäähdytysjärjestelmä voi olla suora tai välillinen jäähdytysjärjestelmä. Suora jäähdytysjärjestelmä siirtää lämpöä höyrystimen kautta suoraan kylmäaineeseen, kun taas välillinen jäähdytysjärjestelmä siirtää lämpöä lämmönvaihtimen avulla väliaineeseen, jonka jälkeen se siirtyy kylmäaineeseen. Alla olevassa kuvassa 13 on esitetty suora ja välillinen jäähdytysjärjestelmä. Jäähdytysjärjestelmän höyrystin ja/tai lauhdutin voi olla toteutettu välillisellä järjestelmällä. (Hakala & Kaapola 2013, 51)



Kuva 13. Suora ja välillinen jäähdytysjärjestelmä (vasemmalta oikealle) (Oinonen & Soimakallio 2001, 29 & 31)

Suora jäähdytysjärjestelmää käytetään, kun jäähdytysjärjestelmä on yksinkertainen ja järjestelmän tilavuus on kohtuullinen. Tällöin ei tarvitse huolehtia kylmäainetäytön suuruudesta. Jos kylmäaineen vuotoriski halutaan minimoida, on välillinen jäähdytysjärjestelmä parempi ratkaisu. Suora jäähdytysjärjestelmä on edullisempi verrattuna välilliseen jäähdytysjärjestelmään. Välillistä jäähdytysjärjestelmää käytetään, kun jäähdytysjärjestelmä on monimutkaisempi ja järjestelmän tilavuus on suurempi. Välilliseen jäähdytysjärjestelmään saadaan parempi säädettävyys ja muuntojoustavuus verrattuna suoraan jäähdytysjärjestelmään. Välillisessä jäähdytysjärjestelmässä on myös mahdollista hyödyntää vapaajäähdytystä. (Hakala & Kaapola 2013, 51)

Jäähdytysjärjestelmien kylmäntuottoa voi toteuttaa monella eri tavalla riippuen aina kohteen ominaispiirteistä. Kuvassa 14 on esitetty yksi vedenjäähdytyskone, jonka höyrystys ja lauhdutus on toteutettu välillisesti. Kylmävesiasema sisältää kuvassa 14 näkyvät komponentit 1...7, kuten kiertovesipumpun ja varaajan. Vedenjäähdytyskoneita on myös sellaisia, joissa ei tule kyseisiä komponentteja laitteen toimituksessa ja tällöin nämä komponentit on tilattava sekä asennettava tarpeen mukaan erikseen jäähdytysjärjestelmään. Lauhduttaminen jäähdytysjärjestelmissä voi tapahtua suoraan ilmaan, veteen ja liuoksen välityksellä ilmaan tai maaperään. (Heinonen et al. 2014, 252-258)



Kuva 14. Kylmävesiasema (Heinonen et al. 2014, 252)

Laitoksen kylmäkerroin vaikuttaa suuresti kylmäntuotannon energiatehokkuuteen laitoksissa, joissa kylmä tuotetaan kompressorien avulla. Kylmäkerroin kertoo kylmäprosessin hyötysuhteen ja se voidaan laskea yhtälöllä 4.

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{W} \quad (4)$$

Yhtälössä 4  $\varepsilon$  kylmäkerroin (-),  $Q_0$  höyrystimen sitoma lämpö (kW) ja  $W$  kompressorin tekemä työ (kW). (Hakala & Kaappola 2013, 10)

Kylmänkerrointa voidaan parantaa pienentämällä höyrystymislämpötilan ja lauhtumislämpötilan eroa, eli nostamalla höyrystymislämpötilaa ja laskemalla lauhtumislämpötilaa. Höyrystymislämpötilan nostaminen 1 K parantaa kylmäkerrointa noin 3 %:lla ja lauhtumislämpötilan laskeminen parantaa kylmäkerrointa noin 3 %. Suurin energiankuluttaja kompressorilaitoksissa on itse kompressor, joka tekee suurimman työn koko järjestelmässä. Tämän takia kompressorin tehonsäätö sekä ohjaus on huomioitava laitteistoa suunniteltaessa, jotta saavutetaan mahdollisimman energiatehokas järjestelmä. (Hakala & Kaappola 2013, 250-251)



Vuotuista jäähdytysjärjestelmän käyttämää energiaa voidaan laskea yhtälöllä 5.

$$W_{\text{jäähdytys}} = \frac{Q_{jk}}{\varepsilon_E} + W_{\text{jäähd,apu}} \quad (5)$$

Yhtälössä 5  $W_{\text{jäähdytys}}$  vuotuinen sähköenergian kulutus (kWh/a),  $Q_{jk}$  vuotuinen jäähdytysenergia (kWh/a),  $\varepsilon_E$  vuotuinen kylmäkerroin ja  $W_{\text{jäähd,apu}}$  apulaitteiden sähkönkulutus (kWh/a). (LVI RakMK-00524 2015, 26)

Kylmäntuotto jäähdytysjärjestelmään voidaan tehdä myös kaukojäähdytyksellä tai maaperästä saatavalla jäähdytyslämmöllä. Kaukojäähdytystä on saatavilla Suomessa isoimmissa kaupungeissa kuten Helsingissä, Tampereella ja Turussa. Verkostojen kattavuus on kuitenkin rajallinen ja verkostojen lämpötilat voivat estää esimerkiksi ilman kuivaamisen, sekä vaikuttaa jäähdytyslaitteiden mitoittamiseen. Maaperästä saatava jäähdytyslämpö voidaan toteuttaa vapaajäähdytyksellä, jolloin jäähdytyslämmön kustannukset jäävät alhaiseksi. Vapaa jäähdytyskäytössä olevien energiakaivojen jäähdytyslämmön saanti on kuitenkin yleensä vähäistä verrattuna energiakaivon lämmön saantiin. Tämä johtuu siitä, että jäähdytysverkosto erotetaan yleensä maaliuospiiristä lämmönsiirtimellä, jossa lämpötilasta menetetään 1...2 K verkostojen välillä. (Heinonen et al. 2014, 260 & 277)

Alla olevassa taulukossa 1 on esitetty eri jäähdytysenergian tuotto prosessien vuotuisia kylmäkertoimia.

Taulukko 1. Jäähdytysenergian tuotto prosessin vuotuisia kylmäkertoimia (Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas 2011, 6)

Jäähdytysjärjestelmä	Vuotuinen kylmäkerroin
Kompressori-kylmälaitos, ilmalauhdutteinen	2,5
Kompressori-kylmälaitos, vesilauhdutteinen	3
Vapaajäähdytys, liuosjäähdytin (kuiva)	5
Vapaajäähdytys, jäähdytystorni (märkä)	7
Vapaajäähdytys, maaputkisto (vaakasuota)	30
Split-laitteet	3
Kaukojäähdytys (lämmönsiirrin)	1
Absorptiojäähdytys	0,7

Eri laitevalmistajat voivat ilmoittaa kylmälaitteiden hyötysuhteita eri tavoilla. Alla olevassa taulukossa 2 on esitetty joitakin eri tapoja ilmoittaa hyötysuhteita.

Taulukko 2. Kylmälaitteiden hyötysuhteet (Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas 2011, 10-11)

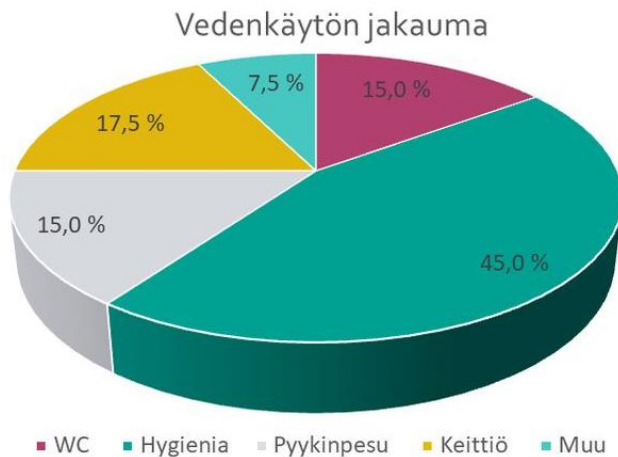
Hyötysuhde	Selite
EER	Energy efficiency Ratio Hetkellinen kylmäkerroin
SEER	Seasonal energy efficiency Vuosikylmäkerroin
ESEER	European seasonal energy efficiency ratio Vuosikylmäkerroin

Tuntitason ostoenergiankulutuksen laskentaa suorittaessa on otettava huomioon minkäläisessä toimintalämpötiloissa kylmälaite käy. Joissain tapauksissa hetkellinen kylmäkerroin voi kuvata paremmin laitteen ostoenergiankulutusta kuin vuosikylmäkerroin.

### 3.3 Käyttövesijärjestelmät

Tyypillisesti toimitilojen käyttövesijärjestelmä on yhdistetty kunnan verkostoon. Tonttijohdon jälkeen käyttövesijärjestelmään kuuluu päävesimittari, lämpimän käyttöveden vaihdin (esitetty kuvassa 11), käyttövesiputkisto ja vesikalusteet. Järjestelmään voi kuulua myös muita laitteita kuten paikallisia vedenmittauksia, joilla mitataan toimitilan vuokralaisten vedenkulutusta.

Toimitilojen vedenkulutusta voidaan arvioida vertaamalla toimitilojen tyypillisiä tiloja asuinrakennuksien tilojen vedenkulutukseen. Kuvassa 15 on esitetty kerros- ja rivitalossa asuvien vuoden 2019 vedenkulutuksen osuudet. Keskimääräinen vuorokautinen kulutus talouksissa, joissa vedestä laskutettiin käytön mukaan, oli 119 litraa / henkilö. Kuvasta 15 nähdään, että suurin osa kerros- ja rivitalon vedenkulutuksesta koostuu hygienia, pyykinpesu ja keittiön kulutuksesta. Näiden osuus on yhteensä 77,5 % kokonaiskulutuksesta. (Motiva, 2021)



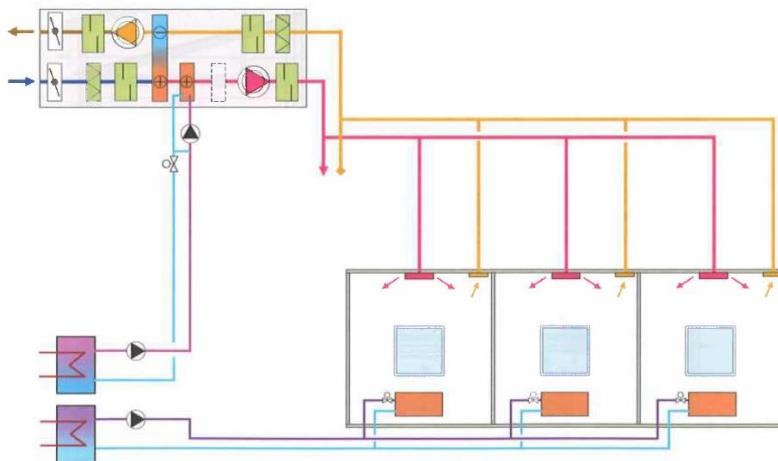
Kuva 15. Vedenkäytön jakauma kerros- ja rivitaloissa 2019 (Motiva, 2021)

Vedenkulutus toimitiloissa ei ole suurta. Tämä voidaan päätellä asuintaloissa olevien tilojen kulutuksen suhteesta. Toimitiloissa vedenkulutusta tapahtuu tyypillisesti suurimmaksi osaksi WC-tiloissa ja mahdollisissa taukokeittiötiloissa, joten vedenkulutus on hyvin pientä verrattuna asuinrakennuksiin. Tietysti jos toimitilassa olevan yrityksen toimintaa kuuluu prosesseja, jotka kuluttavat paljon vettä, kuten esimerkiksi pesulatoimintaa, niin vedenkulutus voi olla huomattavasti suurempaa.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä (4/13), ja kyseisen asetuksen muutos asetuksen (2/17), mukaan rakennuksen vesi- ja viemärijärjestelmien uusimissa käytetään soveltavasti uudisrakentamisen säädöksiä.

### 3.4 Ilmanvaihtojärjestelmät

Kuvassa 16 (Heinonen et al. 2014, 126) on esitetty ilmanvaihtojärjestelmä lämmöntalteenotolla sekä patteri- ja ilmanvaihdonlämmityspiiri. Ilmanvaihtojärjestelmään kuuluu ilmanvaihtokone, kanavisto ja päätelaitteet. Kuvassa 16 näkyvässä IV-koneessa on esitetty IV-koneen peruskomponentit, kuten sulkupellit, suodattimet, äänenvaimentimet, lämmöntalteenottojärjestelmä, jälkilämmityspatteri ja puhaltimet.



Kuva 16. Ilmanvaihtojärjestelmä LTO:lla ja patterilämmitys (Heinonen et al. 2014 a, 126)

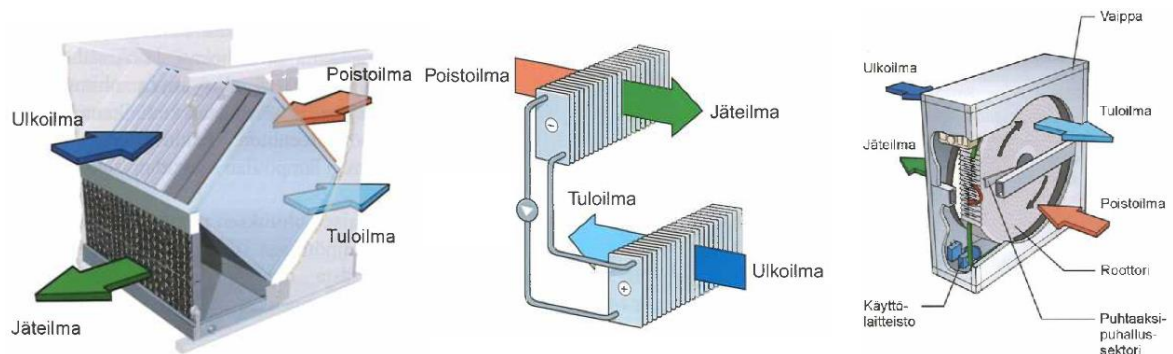
Tuloilman lämmittämiseen kuluu noin 30...50 % koko rakennuksen lämmitysenergiasta Suomessa. LTO:n avulla tästä lämmitysenergiasta voidaan, LTO:n hyötysuhteesta riippuen, kattaa noin 50...80 %. LTO-laitteisto ei ole kuitenkaan ollut pakollinen aina. Vasta vuodesta 2003 lähtien Suomessa on edellytetty LTO:ta ilmanvaihtojärjestelmässä. Tällöinkin oli mahdollista suunnitella rakennus ilman LTO-järjestelmää, jos rakennuksen lämpöhäviöt tasataan ja todennetaan asianmukaisilla laskelmilla. Vuonna 2003 LTO:n vuosisuhteen vähimmäisarvo oli 30 % ja vuonna 2010 45 %. (LVI 38-10454 2010, 1)

Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä (4/13), ja kyseisen asetuksen muutos asetuksen (2/17), mukaan rakennuksen LTO:n vuosihyötysuhteen korjaus- ja saneeraustöissä on oltava vähintään 45 %, SFP-luvun,

eli ominaissähkötehon, tulo- ja poistoilmajärjestelmässä  $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$  sekä poistoilmajärjestelmässä  $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$  laitoksen kokonais-SFP-luvun ollessa enintään  $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ .

### 3.4.1 LTO-järjestelmät

Ilmanvaihdon LTO-tyypit voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: levy-, nestekiertoisiin sekä roottori (pyörivä) lämmönsiirtimiin. Kuvassa 17 on esitetty eri LTO-tyyppien toimintaperiaatteet ja ilmavirtojen suunnat. LTO-tyypin valinta riippuu IV-koneen palvelemista tiloista ja niiden poistoilmaluokista.



Kuva 17. Levy-, neste- ja roottorilämmönsiirrin (vasemmalta oikealle) (Heinonen et al. 2014 a, 178-184)

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (1009/2017) mukaan poistoilmaluokat jaetaan 4 kategoriaan alla olevan taulukon 3 mukaisesti. Käytännössä poistoilmaluokituksen luokat vastaavat seuraavia tiloja: Luokka 1: toimisto-, opetus- ja liiketilat joissa ei ole hajukuormitusta, luokka 2: asuintilat, pukuhuoneet ja ravintolatilat, luokka 3: wc- ja pesutilat sekä pienet keittiöt ja luokka 4: ammattikeittiöt, autosuojat ja muut tilat. (Talotekniikkainfo 2021, kappale 13)

Taulukko 3. Poistoilmaluokat (1009/2017)

<b>Luokka 1</b>	Poistoilma sisältää vain vähän epäpuhtauksia ja epäpuhtaudet ovat pääasiallisesti lähtöisin ihmisistä ja rakenteista.
<b>Luokka 2</b>	Poistoilma sisältää jonkin verran epäpuhtauksia.
<b>Luokka 3</b>	Poistoilma sisältää epäpuhtauksia, kosteutta, kemikaaleja tai hajuja, jotka oleellisesti huonontavat poistoilman laatua.
<b>Luokka 4</b>	Poistoilma sisältää huomattavasti pahanhajuisia tai epäterveellisiä epäpuhtauksia tai kemikaaleja.

LTO-tyyppiä valittaessa edellä mainitut poistoilmaluokat aiheuttavat tiettyjä rajoituksia. LTO:n kautta ei saa levitä haitallisia epäpuhtauksia tai hajuja. LTO-tyyppiä valittaessa lähtökohtana on poistoilmaluokka ja sen aiheuttamat rajoitukset. Muitakin rajoituksia voi olla, etenkin saneerauskohteissa LTO-tyypin tilantarve voi olla rajoittava tekijä. Haitallisten epäpuhtauksien ja hajujen leviäminen estetään varmistamalla LTO:n ilmavirtauksien väliset painesuhteet eli varmistamalla että poistoilmasta ei tule virtauksia tuloilmaan. Suositukset eri poistoilmaluokkien mukaan ovat seuraavat: Luokka 1: Ei ole rajoituksia LTO:n painesuhteille, luokka 2: Tuloilma-osan tulee olla pääosin ylipaineinen, luokka 3: Tuloilma-osan tulee olla kokonaan ylipaineinen ja luokka 4: Suosituksena epäsuora LTO-järjestelmä. (Talotekniikkainfo 2021, kappale 16)

Käytännön tasolla edellä mainitut suositukset toteutuvat ja haitallisia epäpuhtauksia tai hajuja ei leviä LTO:ssa, kun LTO:n tyyppi valitaan seuraavalla tavalla poistoilmaluokan mukaan: Luokka 1: Roottorilämmönsiirrin, luokka 2 ja 3: levylämmönsiirrin ja luokka 4: nestelämmönsiirrin. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (1009/2017) mukaan voidaan LTO:n tyyppi valita kuitenkin vapaasti, jos IV-kone palvelee vain yhtä tilaa tai yhtä asuinhuoneistoa. Lisäksi voidaan aina valita vähemmän ilmavirtoja sekoittava LTO-tyyppi puhtaamman poistoilmaluokan järjestelmää, esimerkiksi luokan 1 järjestelmässä voidaan käyttää nestelämmönsiirrintä. Tämä ei kuitenkaan ole energiakulutuksen kannalta kannattava valinta.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudessa (1010/2017) mukaan poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen vertailuarvo on 65 %. Kun taas EU:n komission asetuksen ilmanvaihtokoneiden ekologisen suunnittelun vaatimusten osalta N:o 1253/2014 mukaan 1.1.2018 alkaen asuntoilmanvaihdon SEC-arvon maksimi arvo on -

20 kWh/m<sup>2</sup>a, sekä muita tiloja palvelevien IV-koneiden LTO:n lämpötilahyötysuhteen minimi arvo 73 %, pois lukien nestekiertoiset LTO:t joiden lämpötilahyötysuhteen minimi arvo on 68 %.

SEC-arvolla (kWh/m<sup>2</sup>a) voidaan laskea yhtälöllä 6.

$$SEC = t_a * pef * q_{net} * MISC * CTRL^x * SPI - t_h * \Delta T_h * \eta_h^{-1} * c_{air} * \quad (6)$$

$$(q_{ref} - q_{net} * CTRL * MISC * ((1 - \eta_t)) + Q_{defr}$$

SEC-arvolla tarkoitetaan ilmanvaihdon ominaisenergiankulutusta tilan lämmitettyä lattia-alaa kohden. SEC-arvo lasketaan alla olevalla yhtälöllä 6, jossa  $t_a$  vuotuiset käyttötunnit (h/a),  $pef$  sähköntuotannon ja jakelun primäärienergiakerroin (-),  $q_{net}$  nettoilmanvaihtotarve lämmitetyn lattia-alan neliometriä kohden (m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>),  $MISC$  yhteenlaskettu kerroin ilmanvaihdon tehokkuudelle, kanavavuodoille ja vuotoilmavaihdolle (-),  $CTRL$  ilmanvaihdon ohjauskerroin,  $x$  lämpöenergian ja sähkönsäästön epälineaarisuus (-),  $SPI$  ominaissähköteho (kW/(m<sup>3</sup>/h)),  $t_h$  lämmityskauden kokonaistuntimäärä (h),  $\Delta T_h$  sisä- ja ulkolämpötilan ero lämmityskaudelle korjattuna 3 Kelvinillä (K),  $\eta_h$  keskimääräinen tilalämmityksen hyötysuhde (-),  $c_{air}$  ilman ominaislämpökapasiteetti (kWh/(m<sup>3</sup>/K)),  $q_{ref}$  painovoimaisen ilmanvaihdon vertailuarvo lämmitetyn lattia-alan neliometriä kohden (m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>),  $\eta_t$  LTO:n lämpötilahyötysuhde asuinrakennuksissa,  $Q_{defr}$  säätövastuslämmitykseen perustuvaan sulatukseen tarvittava vuotuinen lämmitysenergia lämmitetyn lattia-alan neliometriä kohden (kWh/(m<sup>2</sup>a)).

EU:n asetuksen 1253/2014 mukaan lämmöntalteenottojärjestelmän lämpötilahyötysuhde lasketaan eri sisä- ja ulkolämpötilan eron arvoilla asuinrakennuksissa ja muissa kuin asuinrakennuksissa. Sisä- ja ulkolämpötilan erotuksen arvon ollessa 13 Kelviniä asuinrakennuksissa ja 20 Kelviniä muissa kuin asuinrakennuksissa. Tämä on hyvä pitää mielessä vertaillessa eri IV-koneiden lämpötilahyötysuhteita. Muihin kuin asuinrakennuksiin tarkoitettun lämmöntalteenottojärjestelmän lämpötilahyötysuhde lasketaan alla olevalla yhtälöllä 7.

$$\eta_{t\_nrvu} = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_2'} \quad (7)$$

Yhtälössä 7  $\eta_{t\_nrvu}$  lämmöntalteenottojärjestelmän lämpötilahyötysuhde,  $t_2''$  LTO:sta poistuvan ja tilaan saapuvan tuloilman lämpötila (°C),  $t_2'$  ulkoilman lämpötila (°C),  $t_1'$  tilasta poistuvan ja LTO:hon saapuvan poistoilman lämpötila.

EU:n asetuksen mukaan laskettavaa lämmöntalteenottojärjestelmän lämpötilahyötysuhdetta ei pidä sekoittaa LVI 38-10515 ohjekortin ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta mukaan laskettavaa LTO:n lämpötilasuhteeseen. LTO:n lämpötilasuhte lasketaan alla olevalla yhtälöllä 8.

$$\eta_p = \frac{(t_s - t_j)}{(t_s - t_u)} \quad (8)$$

Yhtälössä 8  $\eta_p$  LTO:n lämpötilasuhte,  $t_s$  sisälämpötila eli LTO:lle tulevan poistoilman lämpötila (°C),  $t_j$  LTO:lta lähteävän jäteilman lämpötila (°C) ja  $t_u$  ulkolämpötila (°C).

LVI 38-10515 ohjekortin ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta mukaan lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde lasketaan alla olevalla yhtälöllä 9.

$$\eta_a = \frac{Q_{LTO}}{Q_{IV}} = \frac{\sum_i R_{T,i} * S_{T,i}}{S_S} \quad (9)$$

Yhtälössä 9  $\eta_a$  lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde,  $Q_{LTO}$  talteenotettu lämpöenergia (kWh),  $Q_{IV}$  ilmanvaihdon tarvitsema lämmitysenergia (kWh),  $R_{T,i}$  tuloilmavirran ja poistoilmavirtojen suhde,  $S_{T,i}$  tuloilman lämpötilan LTO:n jälkeen ja ulkoilman välinen lämmitystarveluku (Kd),  $S_S$  huonelämpötilan ja ulkolämpötilan välinen lämmitystarveluku (Kd).

Tuloilman lämpötilasuhte ilmaisee tuloilman lämpenemisen suhdetta poistoilman ja ulkoilman lämpötilaerotukseen. Tähän lämpötilasuhteeseen vaikuttaa LTO-järjestelmän tyyppi sekä tulo- ja poistoilmavirtauksien suhde. Alla olevassa taulukossa 4 on esitetty erityyppisten LTO-järjestelmien tuloilman lämpötilasuhteita. Taulukon tiedot ovat vuodelta 2012 ja LTO-järjestelmien hyötysuhteet ovat voineet hieman parantuneet tästä, mutta taulukosta saadaan havainnollistavat vertailuarvot eri LTO-järjestelmien välillä. (LVI 38-10515 2012, 3)



Taulukko 4. Eri LTO-järjestelmien tuloilman lämpötilasuhde (LVI 38-10515 2012, 3)

<b>Nestelämmönsiirrin</b>	40...60 %
<b>Ristivirtalevyllämmönsiirtimet</b>	50...70 %
<b>Vastavirtalevyllämmönsiirtimet</b>	60...80 %
<b>Regeneratiiviset (roottori-) lämmönsiirtimet</b>	60...80 %

LVI-suunnittelijan näkökulmasta edellä esitettyjä hyötysuhteita ei tarvitse tyypillisesti itse laskea vaan hyötysuhteet saa laitevalmistajan koneajoista. On kuitenkin tärkeää, että suunnittelija tietää miten eri hyötysuhteet lasketaan ja miten ne eroavat toisistaan. Tämän lisäksi suunnittelijan on tiedettävä eri hyötysuhteiden minimiarvot ja käsitettävä kuinka paljon hyötysuhde voi vaikuttaa energiankulutukseen.

### 3.4.1 Puhaltimet

Ilmanvaihtojärjestelmien puhaltimien uusimisen yhteydessä voi tulla ongelmaksi puhaltimien fyysinen koko ja puhaltimen soveltuminen taajuusmuuttajakäyttöön. Puhaltimen uusimisen myötä voidaan haluta tavoittaa säästöjä puhaltimen ohjauksen avulla, joten puhaltimen malli voidaan joutua päivittämään joko elektronisesti kommutoituun EC-malliseen tai taajuusohjattuun puhaltimeen. Tällöin laitoksen sähköliitynnät ja automaatio-ohjaukset on otettava myös huomioon ja tarvittaessa päivitettävä. (Heinonen et al. 2014 a, 204)

Puhaltimien sähkönkulutusta kuvaa parhaiten SFP-luku, jota kutsutaan myös ominaissähkötehoksi. Yksittäisen IV-koneen tai puhaltimen SFP-luku (kW/(m<sup>3</sup>/s)) lasketaan alla olevalla yhtälöllä 10.

$$SFP = \frac{P_{tulo} + P_{poisto} + P_{apulaitteet}}{q_{max}} \quad (10)$$

Yhtälössä 10  $P_{tulo}$  tuloilmapuhaltimen ottama sähköteho (kW),  $P_{poisto}$  poistoilmapuhaltimen ottama sähköteho (kW),  $P_{apulaitteet}$  taajuusmuuntajien ja muiden säätölaitteiden sekä mahdollisten LTO-pumppujen ja -moottoreiden ottama sähköteho (kW) ja  $q_{max}$  koneen ilmanvirroista suurempi ilmavirta (m<sup>3</sup>/s). (LVI 30-10529 2013, 2)

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudessa (1010/2017) mukaan ilmanvaihtojärjestelmän tulo- ja poistoilmakoneiden SFP-luku saa olla enintään 1,8

$\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$  ja poistoilmakoneiden SFP-luku  $0,9 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ . SFP-luvun vaatimukset ovat tiukentuneet vuosien varrella. Esimerkiksi vuonna 2002 D2 suomen rakentamismääräyskoelman ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta mukaan SFP-luvun vaatimukset tulo- ja poistoilmajärjestelmälle  $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$  ja poistoilmajärjestelmälle  $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ . Eli 15 vuoden aikana puhaltimien SFP-luvun vaatimus on tiukentunut 28 %, joka vaikuttaa suoraan alentavasti puhaltimien sähkönkulutukseen 28 %.

EU:n komission asetuksen ilmanvaihtokoneiden ekologisen suunnittelun vaatimusten osalta N:o 1253/2014 SFP-luvusta puhutaan nimellä SPI-lukuna ja sen yksikkö on  $\text{W}/(\text{m}^3/\text{h})$ . Asetuksessa määritellään myös  $\text{SFP}_{\text{int}}$ -luku, joka on ilmanvaihtokomponenttien sisäisen painehäviön ja puhaltimen välistä suhdetta ja sen yksikkö on  $\text{W}/(\text{m}^3/\text{s})$  sekä  $\text{SFP}_{\text{int\_limit}}$ -luku, joka on ilmanvaihtokoneiden  $\text{SFP}_{\text{int}}$ -luvun ominaissähkötehon vaatimus. Asetuksen mukaan  $\text{SFP}_{\text{int}}$ -luvun viitearvo on muissa kuin asuinrakennuksiin tarkoitetuilla IV-koneilla yli  $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$  ilmavirroilla alle  $150 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$  ja yli  $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$  ilmavirroilla alle  $250 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$ .

Puhaltimien moottorit voivat olla kolmivaiheoikosulku-, kestopagneetti- eli PM- tai EC-moottoreita. Puhaltimien pyörimisnopeutta voidaan ohjata myös taajuusmuuttajalla, jos puhaltimessa ei ole itsessään mahdollista ohjata pyörimisnopeutta, kuten EC-moottoreissa on. Pyörimisnopeuden portaaton ohjaus mahdollistaa puhaltimen toimintapisteen tarkan valinnan, mikä parantaa puhaltimen energiatehokkuutta. Tällöin puhallinta ei jouduta käyttämään toimintapisteessä, jossa ilmanvaihtojärjestelmää joudutaan kuristamaan tarpeettomasti. (Heinonen et al. 2014 b, 172-173)

Taajuusmuuttajat vaikuttavat puhaltimien SFP-lukuun, kuten yhtälöstä 10 voidaan nähdä. Taajuusmuuttajien hyötysuhteet ovat optimitilanteessa kuitenkin yli 95 %, joten niiden energiankulutus ei ole suurta. Uusien puhallinteknologioiden myötä, kuten PM- ja EC-moottoreiden sekä taajuusmuuttajien, avulla puhaltimien energiatehokkuus on kasvanut. (Heinonen et al. 2014 b, 173)

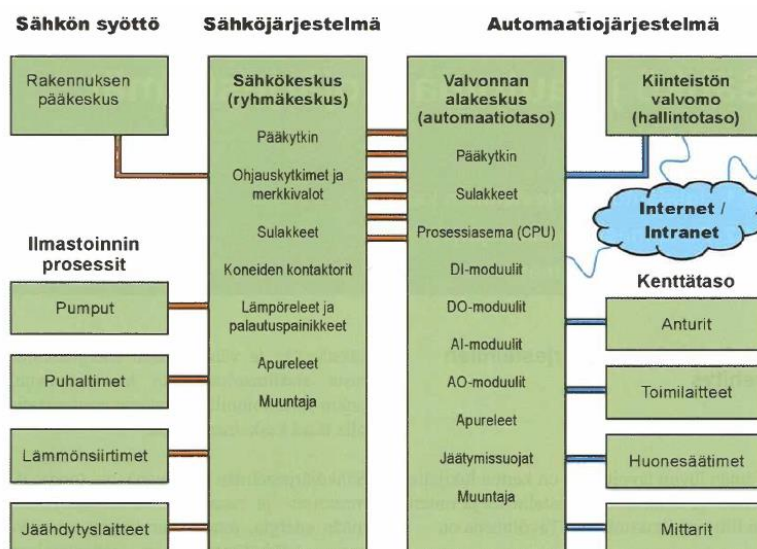
Ympäristöministeriön asetuksen 1010/2017 SFP-lukua ei voi vertailla suoraan EU:n asetuksen 1253/2014  $\text{SFP}_{\text{int}}$ -luvun kanssa, koska luvut lasketaan eri tavalla. LVI-suunnittelijan näkökulmasta edellä esitettyjä SFP-lukuja ei tarvitse tyypillisesti itse laskea vaan hyötysuhteet saa laitevalmistajan koneajoista. On kuitenkin tärkeää, että suunnittelija tietää miten eri SFP-luvut lasketaan ja miten ne eroavat toisistaan. Tämän lisäksi suunnittelijan on tiedettävä eri SFP-lukujen minimiarvot ja käsitettävä kuinka paljon SFP-luku voi vaikuttaa

energiankulutukseen. EU:n asetukset voivat olla hankalia seurata sekä tulkita, mutta kotimaiseen suunnitteluun keskittyvä henkilö pärjää pääasiassa hyvin SFP-lukujen kanssa, kun seuraa suomalaisia asetuksia ja määräyksiä.

### 3.5 Automaatiojärjestelmät

Rakennusautomaatiojärjestelmän laajuus ja toteutustapa riippuu rakennuksen valmistumisvuodesta ja onko rakennuksen eliniän aikana rakennusautomaatiota päivitetty nykyaikaisemmaksi. Automaatiojärjestelmien kehitys 2000-luvulla on ollut voimakasta, mikä on mahdollistanut suuremmat hyödyt energiansäästössä automaatiojärjestelmien avulla. Jo rakennuksessa rakennuskannassa onkin mahdollista parantaa rakennuksien energiatehokkuutta uusimalla rakennuksien automaatiojärjestelmiä. (Heinonen et al. 2014 a, 290-292)

Kuvassa 18 on esitetty rakennusautomaatiojärjestelmän kolmetasoinen hierarkkinen rakenne, jonka päätasot ovat hallintataso, automaatiotaso ja kenttätaso (Heinonen et al. 2014 a, 288 & 294). Kuvassa esitetty hallintatasolla näkyvä kiinteistön valvomoa ei kuitenkaan nykyaikaisissa asuinrakennuksissa tai toimitiloissa ole vaan automaatiojärjestelmän valvonta tapahtuu internetpohjaisella valvontaohjelmistolla etänä. Myös kuvasta poiketen ilmastoinnin prosesseihin ja muihin LVIS-laitteisiin liittyvät laitteet, kuten pumput ja puhaltimet, voivat olla liitettynä suoraan valvonnan alakeskukseen mittausta ja säätöä varten.



Kuva 18. Ilmastoinnin prosessit sekä sähkö- ja rakennusautomaatiojärjestelmien kokonaisuus (Heinonen et al. 2014 a, 288)

Kuvassa 18 esitetyssä valvonnan alakeskuksessa on esitetty alakeskuksen tärkeimmät laitteet kuten DI- (Digital Input), DO- (Digital Output), AI- (Analog Input), AO- (Analog Output) moduulit. Pisteet ja niiden käyttötarkoitusta on tarkennettu alla olevassa taulukossa 5. Näiden lisäksi automaatiojärjestelmän laitteita voidaan seurata pulssilaskentatulolla. Pulssilaskentatulolla seurataan esimerkiksi eri kulutusmittauksia, kuten lämmön tai sähkön kulu- tusta. (Heinonen et al. 2014 a, 297)

Taulukko 5. DI-, DO-, AI-, AO-pisteet (Heinonen et al. 2014 a, 296-297)

<b>DI</b>	<b>Digitaalitulo</b>	Hälytys- ja tilatieto, yleensä kosketintieto
<b>DO</b>	<b>Digitaalilähtö</b>	Ohjaus, pois - päälle
<b>AI</b>	<b>Analogitulo</b>	Mittaus, yleensä passiivisilta antureilta
<b>AO</b>	<b>Analogilähtö</b>	Säätö, 0-100 %

Edellä mainittujen seurantapisteen lisäksi laitteita, antureita ja säätimiä voidaan liittää ns. väylään. Väylä voidaan liittää valvonnan alakeskukseen tai esimerkiksi säätimet voidaan väylän avulla liittää toisiinsa. Tällöin säätimet toimivat itsenäisesti ja siirtävät tietoa säätimeltä säätimelle ilman valvonnan alakeskusta. (Heinonen et al. 2014 a, 301)

Rakennusautomaatiojärjestelmiin liittyvää lainsäädäntöä on vähän. Automaatiojärjestelmiä käsitellään esimerkiksi seuraavissa: Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä 733/2020, Ympäristöministeriön asetus eräiden rakennuksen teknisten järjestelmien energiatehokkuuden vaatimuksista 718/2020 sekä Energiatehokkuuslaki 2014/1429 lainsäädännöissä. Nämä säädökset käsittelevät pääasiassa automaatio- ja ohjausjärjestelmien asennusta rakennuksiin ja niiden asiamukaista ohjausta ja käyttöönottoa. Eli lainsäädännöt eivät tarkasti määrittele automaatiojärjestelmän vaatimuksia.

Automaatiojärjestelmiin liittyviä ohjeita kuitenkin löytyy. Esimerkiksi SFS-EN 15232 Rakennusten energiatehokkuus standardin avulla voidaan tarkastella rakennusten energiatehokkuutta automaatiojärjestelmien näkökulmasta.

### 3.6 Sähköjärjestelmät

Työssä käsiteltävät sähköjärjestelmien energiansäästöt liittyvät pääasiassa LVI-laitteiden sähkönkulutukseen kuten IV-puhaltimiin. Kuitenkin sähköjärjestelmien yhteensopivuus on otettava huomioon etenkin, jos rakennuksen LVIA-tekniikkaa uusitaan uusimatta rakennuksen sähköjärjestelmää. Kuvassa 18 on esitetty keskeisemmät sähköjärjestelmän osat. Kuvan avulla voidaan hyvin todeta kuinka eri LVIA-järjestelmien laitteet, anturit ja mittarit voivat olla yhteydessä rakennuksen sähköjärjestelmää. Etenkin laitteiden ohjaukset, jotka on toteutettu sähkökeskuksen kautta, eikä suoraan valvonnan alakeskukselta, on huomioitava suunnittelussa.

## 4 Tyypillisimmät parannukset ja niiden vaikutukset

Järjestelmien energiatehokkuusparannuksien tai esimerkiksi uusiutuvien energioiden ratkaisujen, kuten joidenkin lämpöpumppujärjestelmien, lisäyksen myötä rakennus kuluttaa vähemmän ostoenergiaa. Pienempi ostoenergiankulutus tarkoittaa rahallista säästöä energiamaksuissa sekä pienempiä hiilidioksidipäästöjä. Näiden vaikutuksen arvioimiseen tarvitaan rakennuksen käyttöaikojen lisäksi ostetun energian hinta ja käytetyn energian hiilidioksidipäästöt. Koska nämä arvot voivat vaihdella kunnittain, voidaan tarkimman arvion saavuttamiseksi varmistaa paikalliselta energiayhtiöltä energian hinnat ja ominaishiilidioksidipäästöt tuotettua kWh:a kohden.

### 4.1 Lähtöarvojen arviointi

Jotta saadaan mahdollisimman tarkat arviot LVIA-järjestelmien muutoksien ja päivityksien vaikutuksesta rakennuksen energiankulutukseen, on tiedettävä rakennuksen käyttöajat. Optimitilanteessa suunnittelijalla on käytössään rakennuksen todellisen käytön aikataulu rakennuksen automaatiojärjestelmästä. Mutta jos kyseisiä tietoja ei ole saatavilla, voidaan arvioimiseen käyttää esimerkiksi ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 11 § rakennuksen vakioitu käyttö taulukkoa tai LVI 05-10629 Sisäilmastoluokitus 2018 taulukkoa 2.4.1. Edellä mainittujen taulukoiden tiedot on esitetty alla olevassa taulukossa 6. Taulukosta nähdään, että kummastakin lähteestä saatavat käyttöajat ovat hyvin samankaltaiset. Eroavaisuuksia löytyy vain liike-, ja liikuntatilojen osalta. Kummastakaan lähteestä ei ole esimerkki käyttöaikoja varastorakennuksille, joten niiden käyttöajat joudutaan arvioimaan tapauskohtaisesti.

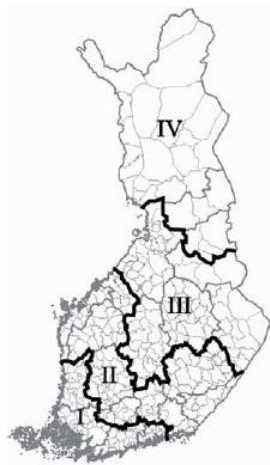
Taulukko 6. Rakennuksen käyttöajat (1010/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta, 2017 & LVI 05-10629 Sisäilmastoluokitus 2018, 2018)

<b>Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017</b>			
<b>Rakennuksen tyyppi</b>	<b>Kellonaika</b>	<b>Käyttöaika (h/24h)</b>	<b>Käyttöaste (d/7d)</b>
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	24	7
Toimistorakennus	07:00-18:00	11	5
Liikerakennus	08:00-21:00	13	6
Opetusrakennus	08:00-16:00	8	5
Liikuntahalli	08:00-22:00	14	7
Varastorakennus	-	-	-
<b>Sisäilmastoluokitus 2018</b>			
<b>Rakennuksen tyyppi</b>	<b>Kellonaika</b>	<b>Käyttöaika (h/24h)</b>	<b>Käyttöaste (d/7d)</b>
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	24	7
Toimistorakennus	07:00-18:00	11	5
Liikerakennus	07:00-21:00	14	7
Opetusrakennus	08:00-16:00	8	5
Liikuntahalli	07:00-23:00	16	7
Varastorakennus	-	-	-

Arvioidessa esimerkiksi ilmanvaihdon LTO-järjestelmän hyötysuhteen vaikutusta energiankulutukseen on tiedettävä eri säävyöhykkeiden kuukausittaiset säätiedot. Tässä voidaan käyttää esimerkiksi Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (1009/2017) liitteen 1 mukaisia säätietoja, joita on esitetty alla olevassa taulukossa 7. Taulukossa 7 on esitetty myös mitoittava minimi ulkolämpötila. Taulukon alapuolella kuvassa 19 on esitetty eri säävyöhykkeet. Tämän työn liitteessä 1. (1009/2017, Liite 1. 2-5) on esitetty tarkemmat säätiedot kuukausittain eri säävyöhykkeillä.

Taulukko 7. Vuoden keskimääräiset ulkolämpötilat (1009/2017, Liite 1)

Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila (°C)	Vuoden keskimääräinen ulkolämpötila (°C)
I	-26	5,57
II	-29	5,57
III	-32	3,43
IV	-38	0,05



Kuva 19. Säävyöhykkeet (1009/2017, Liite 1)

Kuukausittaiset säätiedot ovat tarpeeksi tarkkoja tehdessä arvioita esimerkiksi LTO:sta saatavasta hyödystä vuosittaisiin lämmitysenergiakustannuksiin. Arvioinnissa on hyvä myös ottaa huomioon, että tuloilman lämpötilan asetusarvo voi olla eri kesä- ja lämmityskausilla. Tämä vaikuttaa tuloilman lämmitysenergian tarpeeseen.

Seuraavissa kappaleissa esiintyvät kaukolämmön sekä sähkön hinta ja päästöt perustuvat aikaisemmissa luvuissa esitettyihin arvoihin. Kaukolämmön hinta on laskelmissa 80 €/MWh ja CO<sub>2</sub>-päästöt 110 gCO<sub>2</sub>/kWh. Sähkön hinta on laskelmissa 185 €/MWh ja CO<sub>2</sub>-päästöt 60 gCO<sub>2</sub>/kWh.



## 4.2 Lämmitysjärjestelmät

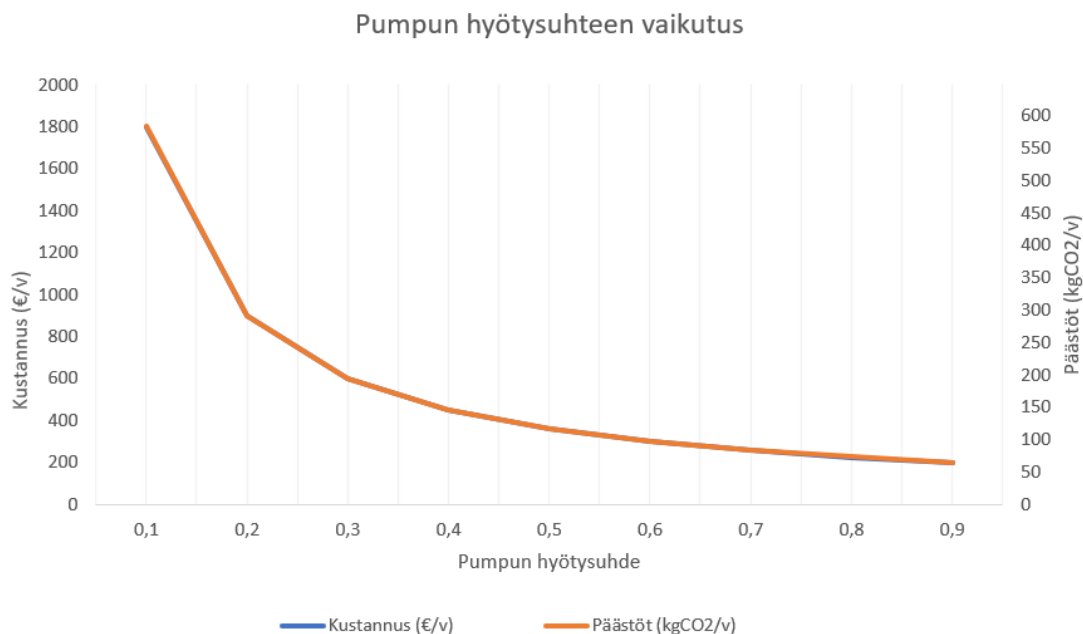
Lämmitysjärjestelmän laitteiden teknisiä käyttöikä on esitetty alla olevassa taulukossa 8. Lämmitysjärjestelmän lämmönlähde, kuten kaukolämmön alajakokeskus, koostuu useasta laitteesta. Tämän takia alajakokeskuksen kuntoa arvioitaessa on arvioitava koko alajakokeskuksen kuntoa, eikä vain yksittäisen laitteen kuntoa.

Taulukko 8. Lämmitysjärjestelmien laitteiden teknisiä käyttöikä (RT 18-10922 2008, 13-18)

Laite	Käyttöikä (v)
Lämmönsiirtimet	10...30
Maalämpöpumput	25...30
Pumput	20...25
Säätöventtiilit	20...25
Paisunta- ja varolaitteet	20...25

Lämmityksen kiertovesipumput käyvät jatkuvasti lämmityskaudelle, joten pumpun hyötysuhteella on iso merkitys energiankulutuksen kannalta. Vertaillen rakennuksen olemassa olevia pumppuja uusiin pumppuihin, olemassa olevien pumppujen kokonaishyötysuhdetta voidaan arvioida yhtälön 1 avulla, jos vanhoja hyötysuhteita ei ole saatavissa. Keskipakopumppujen hyötysuhteet ovat tyypillisesti 20...90 % välillä (Energiatehokkaat pumput 2011, 16). Alla olevassa kuvan 20 kuvaajassa on esitetty kokonaishyötysuhteen vaikutus vuosittaisiin pumppauskustannuksiin ja päästöihin. Kuvaajassa käytetyssä esimerkissä pumpun virtauksen keskiarvo on 2,5 l/s, paineenkorotus 60 kPa ja vuotuinen käyttöaika 6480 h. Vuotuisessa käyttöajassa on arvioitu lämmityskauden pituuden olevan 9 kuukautta ja pumpun käyntiaika 24 h/vuorokausi. Kuvaajassa kustannukset ja päästöt pienenevät samassa suhteessa, joten käyrät ovat päällekkäin. Kuvan yläpuolella yhtälössä 11 on esitetty 0,5 kokonaishyötysuhteella olevan pumpun sähkönkulutus.

$$\eta = \frac{0,0025 \frac{m^3}{s} * 60000 \frac{N}{m^2}}{0,5} = 300 W \quad (11)$$



Kuva 20. Pumpun hyötysuhteen vaikutus

Kuvasta 20 voidaan nähdä, että esimerkiksi kokonaishyötysuhteen 0,4 ja 0,6 välillä vuosittaisten pumppauskustannuksien ero on 150 €, joka pumpun teknisen eliniän aikana on 3000...3750 €. Tässä kokoluokassa lämmitysjärjestelmän kiertovesipumppuna voidaan pitää esimerkiksi Grundfos MAGNA3 32-120 F -pumppua, jonka listahinta on 2107 € ja kokonaishyötysuhde 0,64 (Grundfos 2022). Tästä voidaan todeta, että pumpun elinkaaren aikana pumpun kokonaishyötysuhde on merkittävä tekijä pumpun kustannuksissa ja valinnassa.

Edellä mainituilla arvoilla tehty tarkastelu pumpun kokonaishyötysuhteen vaikutuksesta pumppauksen CO<sub>2</sub>-päästöihin on esitetty myös kuvan 20 kuvaajassa. Kuvaajassa kustannukset ja päästöt pienenevät samassa suhteessa, joten käyrät ovat päällekkäin. Kuvaajasta voidaan nähdä, että esimerkiksi kokonaishyötysuhteen 0,4 ja 0,6 välillä vuosittaisten CO<sub>2</sub>-päästöjen ero on 49 kgCO<sub>2</sub>, joka pumpun teknisen eliniän aikana on 980...1225 kgCO<sub>2</sub>.

Jos ilmanvaihtojärjestelmään lisätään LTO-laitteisto, on tarkistettava lämmitysjärjestelmän säätöventtiilien mitoitus, jotta järjestelmän säädettävyys säilyy hyvänä. Lämmitysjärjestelmän lämmitystehojen, täten myös virtauksien, pienentyessä venttiilien auktoriteetti, eli venttiilin vaikutusaste säädettävään verkoston osaan, pienenee ja tämä voi aiheuttaa esimerkiksi venttiilin säädön huojuntaa. Alla olevassa taulukossa 9 on esitetty LTO-laitteiston, jonka vuosihyötysuhde on 68 %, vaikutus 115 kW:n IV-koneen lämmityspatterin säätöventtiilien

auktoriteetteihin. 115 kW lämmitysteho vastaa noin 2 m<sup>3</sup>/s ilmavirran lämmitystarvetta ilman LTO-laitteistoa -29 °C:sta +18 °C:een. Taulukon yläpuolella yhtälössä 12 on esitetty venttiilin auktoriteetin laskeminen lähtötilanteessa yhtälön 3 mukaan.

$$a_v = \frac{28,24 \text{ kPa}}{28,24 \text{ kPa} + 25 \text{ kPa}} = 0,53 \quad (12)$$

Taulukko 9. LTO-laitteiston vaikutus IV-koneen lämmityspatterin säätöventtiiliin

Lämmitys- teho (kW)	Virtaama (l/s)	Verkoston painehäviö $\Delta p_{100}$ (kPa)	Venttiilin $k_{vs}$ arvo (-)	Venttiilin painehäviö $\Delta p_{v100}$ (kPa)	Venttiilin auktoriteetti $a_v$ (-)
115	0,93	25	6,3	28,24	0,53
37	0,30	25	6,3	2,94	0,11
37	0,30	25	2,5	18,66	0,43

Taulukosta voidaan tulkita, että virtauksien pienentyessä säätöventtiili on vaihdettava pienempään, jotta venttiilin auktoriteetti pysyy suosituksen, auktoriteetti yli 0,5, rajoissa ja tarpeettomalta huojunnalta välttyttäisiin.

Virtauksien muutos toisiopuolen säätöventtiileihin on hieman monimutkaisempi, koska Rakennusten kaukolämmitys K1/2021 mukaan ensiöpuolen menoveden lämpötila lasketaan nykyisestä 115 °C:sta 90 °C:een. Tämä itsessään vaikuttaa jo säätöventtiilien mitoitukseen uudessa lämmönjakokeskusta. Alla olevassa taulukossa 10 on esitetty virtaaman muutoksien vaikutus ensiöpuolen säätöventtiilien auktoriteetteihin. Taulukon yläpuolella on esitetty venttiilin auktoriteetin laskeminen lähtötilanteessa yhtälön 2 mukaan yhtälössä 13.

$$\beta = \frac{24,30 \text{ kPa}}{60 \text{ kPa}} = 0,40 \quad (13)$$

Taulukko 10. LTO-laitteiston vaikutus ensiöpuolen säätöventtiiliin

Lämmitysteho (kW)	Virtaama (l/s)	Käytettävä paine-ero $\Delta p_{ilm,m\ddot{u}} \text{ (kPa)}$	Venttiilin $k_{vs}$ arvo (-)	Venttiilin painehäviö $\Delta p_{sv} \text{ (kPa)}$	Venttiilin auktoriteetti $a_v$ (-)
115 menovesi 115 °C	0,34	60	2,5	24,30	0,40
37 menovesi 115 °C	0,110	60	2,5	2,52	0,04
37 menovesi 90 °C	0,60	60	2,5	5,16	0,09

Käytännössä kaukolämpöverkoston menoveden lämpötilaa ei vielä muuteta lähitulevaisuudessa, mutta muutos on jo nyt huomioitava alajakokeskuksien suunnitelmissa. Taulukosta voidaan tulkita, että virtauksien pienentyessä säätöventtiili on vaihdettava pienempään, jotta venttiilin auktoriteetti pysyy suositusten rajoissa ja tarpeettomalta huojunnalta välttyttäisiin. Ensiöpuolen venttiilien vaihto voi olla kuitenkin kannattavampaa tehdä vasta kaukolämmön alajakokeskuksen uusimisen yhteydessä.

### 4.3 Jäähdytysjärjestelmät

Jäähdytysjärjestelmän laitteiden teknisiä käyttöikä on esitetty alla olevassa taulukossa 11. Jäähdytysjärjestelmä koostuu useasta laitteesta. Tämän takia jäähdytysjärjestelmän kuntoa arvioidessa on arvioitava koko jäähdytysjärjestelmän kuntoa, eikä vain yksittäisen laitteen kuntoa.

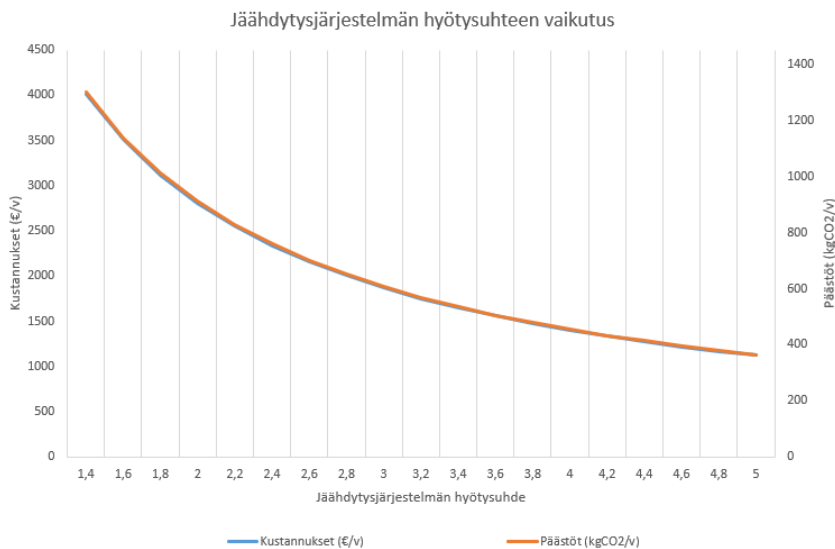
Taulukko 11. Jäähdytysjärjestelmien laitteiden teknisiä käyttöikä (RT 18-10922 2008, 26-27)

Laite	Käyttöikä (v)	
	Jatkuva käyttö	Kesäaikainen tai lyhyt käyttö
Kylmäkoneistot	10...15	20
Lauhduttimet ja höyrystimet	10...15	20
Nestejäähdyttimet	10...15	20
Vedenjäähdytyskoneet	10...15	20
Suorahöyrysteiset jäähdytyslaitteet	10...15	20
Lämpöpumput	-	25...30

Jäähdytyksen hyötysuhteella on iso merkitys jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksen kannalta. Vertaillessa rakennuksen olemassa olevaa jäähdytysjärjestelmää uuteen järjestelmään tarkinta on, jos rakennuksen automaatiojärjestelmästä löytyy jäähdytyksen energiamittaus tai käyttöaikojen seuranta. Jos näitä ei löydy voidaan jäähdytyksen energiankulutusta arvioida edellisissä kappaleissa esitetyillä kaavoilla, arvoilla ja käyntiajoilla. Alla olevassa kuvan 21 kuvaajassa on esitetty vuotuisen hyötysuhteen vaikutus vuosittaisiin jäähdytyskustannuksiin ja päästöihin. Kuvaajassa käytetyssä esimerkissä ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirta on 2,0 m<sup>3</sup>/s ja tarvittava jäähdytysteho 42,16 kW, joka vastaa 27 °C / RH 0,5 ilman

jähdyttämistä 16 °C:een 10 °C:en jähdytyspatterin pintalämpötilalla. Käyntiaika on ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 mukainen laskennallisen kesäajan huonelämpötilan tarkastelun 3 kuukautta, jossa on oletettu päivittäisen käyntiajan keskiarvon täydellä teholla olevan 8 tuntia. Kuvaajassa kustannukset ja päästöt pienenevät samassa suhteessa, joten käyrät ovat päällekkäin. Kuvan yläpuolella yhtälössä 14 on esitetty 2,6 vuotuisella kylmäkertoimella toimivan prosessin sähkönkulutus yhtälön 5 mukaan. Laskelmissa  $W_{jähhd,apu}$  on oletettu olevan vakio eri kylmäkertoimissa, joten se on oletettu 0 kWh:ksi.

$$W_{jähdytys} = \frac{42,16 \text{ kW} \cdot 720 \text{ h/a}}{2,6} + 0 \text{ kWh/a} = 11674 \text{ kWh/a} \quad (14)$$



Kuva 21. Jähdytysjärjestelmän hyötysuhteen vaikutus

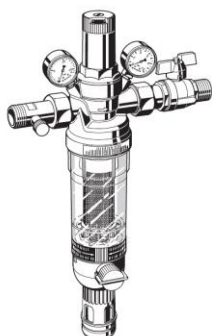
Kuvasta 21 voidaan nähdä, että esimerkiksi vuotuisen kylmäkertoimen 2,2 ja 2,8 välillä vuosittaisten jähdytyskustannuksien ero on 547 €, joka jähdytysjärjestelmän teknisen eliniän aikana on noin 10940 €. Vuotuisia kylmäkertoimia vertaillaessa on aina hyvä varmistaa millä tavalla ja arvoilla kylmäkerroin on laskettu järjestelmälle, jotta todellinen ero järjestelmien vuotuisilla kylmäkertoimilla on tiedossa.

Edellä mainituilla arvoilla tehty tarkastelu jähdytysjärjestelmän vuotuisen kylmäkertoimen vaikutuksesta jähdytyksen CO<sub>2</sub>-päästöihin on esitetty myös kuvassa 21. Kuvaajasta voidaan nähdä, että esimerkiksi kokonaishyötysuhteen 2,2 ja 2,8 välillä vuosittaisten CO<sub>2</sub>-päästöjen ero on 178 kgCO<sub>2</sub>, joka järjestelmän teknisen eliniän aikana on noin 3560 kgCO<sub>2</sub>.

#### 4.4 Käyttövesijärjestelmät

Käyttövesijärjestelmän energiankulutukseen, pois lukien vedenkulutukseen liittyvät tekniikat, liittyvät pääasiassa kiertovesipumput. Pumpujen energiankulutukseen liittyvät asiat on käsitelty lämmitysjärjestelmiä käsittelevässä kappaleessa. Vedenkulutuksen ollessa toimitiloissa pientä, pois lukien yrityksen toimintaan kuuluvat paljon vettä kuluttavat prosessit, ei niihin liittyviä säästöjä käsitellä tässä työssä laajemmin.

Rakennuksien energiatodistuksen laatimiseen ja rakennuksen lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeen laskentaan liittyen mainittakoon kuitenkin, että ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 12 § mukaan lämmitysenergian nettotarpeen laskennassa voidaan käyttää 15 % pienempiä arvoja, jos rakennuksesta löytyy painetasoa säättävää tekniikkaa. Rakennuksen painetasoa voidaan säätää esimerkiksi kuvassa 22 näkyvällä vakiopaineventtiilillä tai paineenkorotusasemalla.



Kuva 22. Paineenalennusventtiili-suodatinyhdistelmä (Honeywell 2009, 1)

#### 4.5 Ilmanvaihtojärjestelmät

Ilmanvaihtojärjestelmän laitteiden teknisiä käyttöiä on esitetty alla olevassa taulukossa 12. Ilmanvaihtojärjestelmän ilmanvaihtokone koostuu useasta laitteesta. Tämän takia ilmanvaihtokoneen kuntoa arvioidessa on arvioitava koko ilmanvaihtokoneen kuntoa, eikä vain yksittäisen laitteen kuntoa.

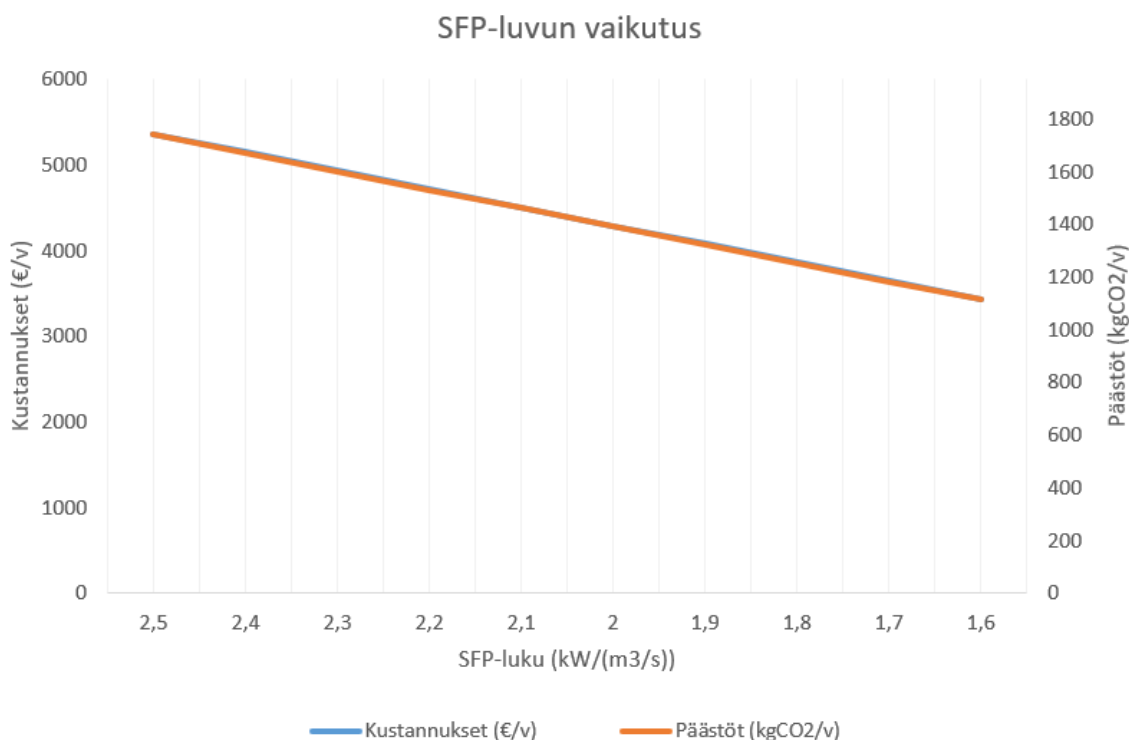
Taulukko 12. Ilmanvaihtojärjestelmien laitteiden teknisiä käyttöikä (RT 18-10922 2008, 23)

Laite	Käyttöikä (v)	
	Jatkuva käyttö	50 h/vko käyttö
Puhaltimet	10...15	20...25
Suodattimet	10...15	20...25
Lämmitys- ja jäähdytyspatterit	10...15	20...25
Lämmöntalteenotto	10...15	20...25
Sulku-, säätö-, ja mittauslaitteet	5...15	20...25

#### 4.5.1 Puhaltimet

Ilmanvaihdon puhaltimet käyvät aikaohjelmansa mukaisesti. Jos aikaohjelmaa ei ole tiedossa, niin puhaltimien energiankulutusta voidaan arvioida edellisissä kappaleissa esitettyjen käyntiaikojen mukaisesti. Alla olevassa kuvan 23 kuvaajassa on esitetty puhaltimen SFP-luvun vaikutus vuosittaisiin puhallinkustannuksiin ja päästöihin. Kuvaajassa käytetyn esimerkin puhaltimen virtaus on  $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$  ja vuotuinen käyttöaika on toimistorakennuksen käyntiaika taulukon 6 mukaisesti. Käyttöajan ulkopuolinen puhaltimen teho on arvioitu olevan 50 % puhaltimen käyttöajan tehosta. Kuvaajassa kustannukset ja päästöt pienenevät samassa suhteessa, joten käyrät ovat päällekkäin. Kuvan yläpuolella yhtälössä 15 on esitetty  $1,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$  SFP-luvulla olevan puhaltimen sähkönkulutus yhtälön 5 mukaan.

$$SFP = \frac{3,6 \text{ kW}}{2,0 \text{ m}^3/\text{s}} = 1,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s}) \quad (15)$$



Kuva 23. SFP-luvun vaikutus

Kuvasta 23 voidaan nähdä, että esimerkiksi SFP-luvun 1,8 kW/(m<sup>3</sup>/s) ja 2,5 kW/(m<sup>3</sup>/s) välillä vuosittaisten puhallinkustannuksien ero on 1502 €, joka puhaltimen teknisen eliniän aikana on 30040...37550 €. Tyypillisesti SFP-luvun laskeminen on selkeää vähäisten muuttujien johdosta ja luku on ilmoitettu selkeästi valmistajien laitetiedoissa.

Edellä mainituilla arvoilla tehty tarkastelu SFP-luvun vaikutuksesta CO<sub>2</sub>-päästöihin on esitetty myös kuvassa 23. Kuvaajasta voidaan nähdä, että esimerkiksi SFP-luvun 1,8 kW/(m<sup>3</sup>/s) ja 2,5 kW/(m<sup>3</sup>/s) välillä vuosittaisten CO<sub>2</sub>-päästöjen ero on 487 kgCO<sub>2</sub>, joka puhaltimen teknisen eliniän aikana on 9740...12175 kg/CO<sub>2</sub>.

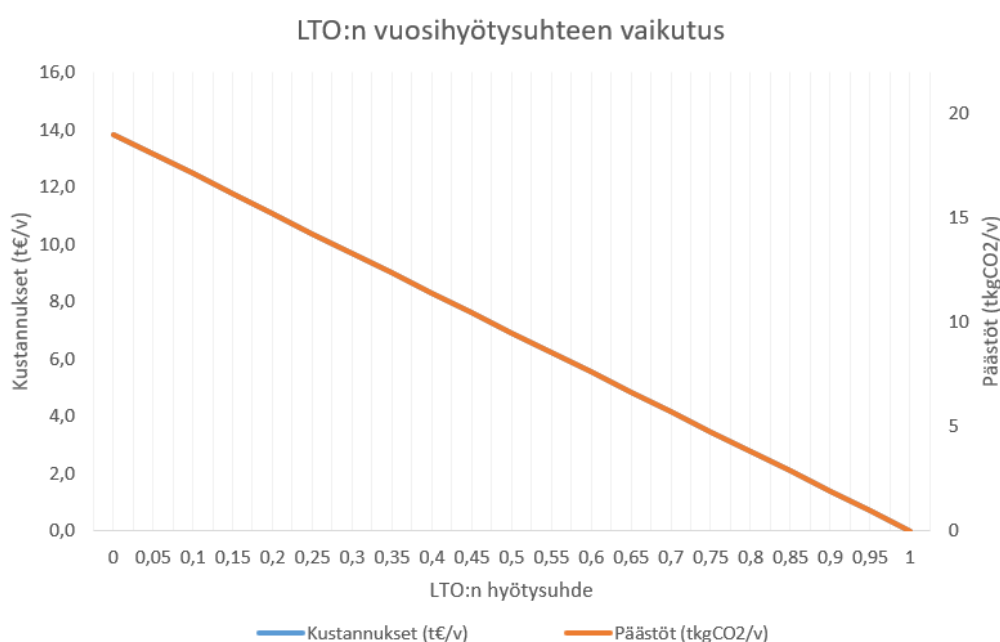
#### 4.5.1 LTO-järjestelmät

Kuvan 24 kuvaajassa on esitetty IV-koneen LTO:n vuosihyötysuhteen vaikutus järjestelmän lämmitysenergian kustannuksiin ja päästöihin jälkilämmityspatterin ollessa nestekiertoinen ja lämmönlähteenä on kaukolämpö. Vuotuinen käyttöaika ja ilmamäärä kuten SFP-luvun tarkastelussa, ilmamäärän ollessa 50 % käyntiajan ulkopuolella. Ulkolämpötilan keskiarvona on käytetty säävyöhykkeen II keskiarvoa 5,57 °C. LTO:n hyötysuhteen vaikutusta



voidaan arvioida myös lämpötilasuhteen avulla. Tällöin arviointiin on hyvä käyttää lämpötilasuhdetta, joka on laskettu keskiarvoisen ulkolämpötilan arvolla tai lähellä sitä arvoa. Näinkin voidaan päästä tarpeeksi tarkkoihin tuloksiin. Kuvaajassa kustannukset ja päästöt pienenevät samassa suhteessa, joten käyrät ovat päällekkäin. Kuvaajan yläpuolella yhtälössä 16 on esitetty 0,6 vuosihyötysuhteen omaavan LTO-järjestelmän laskenta yhtälön 9 mukaan.

$$\eta_a = \frac{103780 \text{ kWh}}{172966 \text{ kWh}} = 0,6 \quad (16)$$



Kuva 24. LTO:n vuosihyötysuhteen vaikutus

Kuvasta 24 voidaan nähdä, että verrattaessa järjestelmää jossa ei ole LTO:ta, järjestelmään jossa LTO:n vuosihyötysuhde on 0,7, on vuosittaisten lämmitysenergiakustannuksien ero 9600 €, joka laitteiston teknisen eliniän aikana on 192000...240000 €. Verrattaessa eri LTO-järjestelmien välillä esimerkiksi 0,6 ja 0,7 vuosihyötysuhteen omaavia laitteistoja on vuosittaisen lämmitysenergiakustannuksien ero pienempi, 1300 €, mutta laitteiston teknisen eliniän aikana tämäkin ero on jo 26000...32500 €.

Edellä mainituilla arvoilla tarkastelu vuosihyötysuhteen vaikutuksesta CO<sub>2</sub>-päästöihin on esitetty myös kuvassa 24. Kuvaajasta voidaan nähdä, että esimerkiksi järjestelmän jossa ei ole LTO:ta ja järjestelmän jossa LTO:n vuosihyötysuhde on 0,7 välillä vuosittaisten CO<sub>2</sub>-päästöjen ero on 13300 kg/CO<sub>2</sub>, joka järjestelmän eliniän aikana on 266000...332500 kg/CO<sub>2</sub>. Verrattaessa eri LTO-järjestelmien välillä esimerkiksi 0,6 ja 0,7 vuosihyötysuhteen

omaavia laitteistoja on vuosittaisen CO<sub>2</sub>-päästöjen ero pienempi, 1900 kg/CO<sub>2</sub>, mutta laitteiston teknisen eliniän aikana tämäkin ero on jo 38000...47500 kg/CO<sub>2</sub>.

#### 4.6 Automaatiojärjestelmät

Automaatiojärjestelmän laitteiden teknisiä käyttöikä on esitetty alla olevassa taulukossa 13. Automaatiojärjestelmä koostuu useasta laitteesta. Tämän takia järjestelmän kuntoa arvioi-  
dessa täytyy arvioida koko järjestelmän kuntoa, eikä vain yksittäisen laitteen kuntoa.

Taulukko 13. Ilmanvaihtojärjestelmien laitteiden teknisiä käyttöikä (RT 18-10922 2008, 32)

<b>Laite</b>	<b>Käyttöikä (v)</b>
Valvomolaitteet	3...5
Ohjelmistot	3...5
Kenttälaitteet	15

Automaatiojärjestelmän laitteilla ja ohjelmistoilla ohjataan edellisissä luvuissa mainittuja LVI-laitteita, joten niiden merkitys energiasäästöön voi olla merkittävä. Mutta yksittäisen automaatiolaitteen, kuten lämmönjakokeskuksen säätöventtiilin, vaikutusta energiankulutukseen voi olla vaikeampi arvioida. Tarpeenmukaisella ohjauksella, kuten tilan käytön mukaan ohjautuvilla laitteilla, voidaan säästää merkittäviä määriä energiaa. Kyseiset laitteet ja ohjaukset voivat kuitenkin olla monimutkaisia ja hankala toteuttaa saneerattavaan kiinteistöön, ilman mittavia muutoksia muihin LVI-järjestelmiin. Tämän työn tarkasteluista tarkempien automaatiojärjestelmien muutoksien vaikutus rakennuksen energiankulutukseen on jätetty pois. Automaatiojärjestelmä on kuitenkin aina huomioitava LVI-muutoksia tehtäessä kiinteistöön ja automaatiojärjestelmää on syytä päivittää tarpeen mukaan LVI-muutoksien yhteydessä.

## 5 Investointilaskelma

Energiatehokkuushankkeen investointilaskelma koostuu hankkeen kustannusarviosta, ostoenergian säästöistä ja takaisinmaksuajasta. Laskenta-aika voidaan määrittää hankkeen takaisinmaksuajan mukaan tai muun tarkasteltavan ajanjakson, kuten laitteen teknisen käyttöön mukaan. Laskelmiin voidaan myös liittää herkkyysanalyysia, jolla voidaan arvioida hankkeeseen ja sen lähtötietoihin liittyviä riskejä. (Neilimo ja Uusi-Rauva 2012, 206)

Koska energiatehokkuushankkeiden lähtötilanteet ovat erilaisia ja kohteiden ratkaisut vaihtelevat, on tarkan kustannusarvion tekeminen haastavaa ja siihen liittyy paljon epävarmuustekijöitä. Myös ostoenergian säästöjen pitkäkö laskenta-aika aiheuttaa epävarmuutta muuttuvien tekijöiden, kuten energianhinnan, suhteen. Epäonnistuneiden investointien syinä on löydetty virheitä investoinnin joka vaiheista. Alla olevaan taulukkoon 14 on koottu investoinnin suunnittelun pääpiirteitä sekä esitetty esimerkkejä energiatehokkuushankkeiden vastikkeista niille. (Neilimo ja Uusi-Rauva 2012, 207-208)

Taulukko 14. Investoinnin suunnittelu (Neilimo ja Uusi-Rauva 2012, 207-208)

	<b>Investoinnin suunnittelun pääpiirteet</b>	<b>Energiatehokkuushankkeiden vastike</b>
<b>1.</b>	Heräte investointiin syntyy.	Energiatehokkuuden parantaminen.
<b>2.</b>	Todetaan investointiongelma- ja tarve. Mihin haetaan muutosta?	Ostoenergian vähentäminen ja CO <sub>2</sub> -päästöjen laskeminen.
<b>3.</b>	Täsmennetään tavoitteet.	Takaisinmaksuajan tavoitteet.
<b>4.</b>	Etsitään investointi-ideoita.	Kiinteistön talotekninen tarkastelu.
<b>5.</b>	Kehitetään ideoita investointivaihtoehtoiksi.	Energiatehokkuutta parantavien ratkaisujen tarkastelu.
<b>6.</b>	Laaditaan vaihtoehtolaskelmia.	Parannuksien vaikutus energiankulutukseen.
<b>7.</b>	Suunnitellaan investoinnin pääomatarve ja rahoitus.	Kustannuslaskelman laatiminen.
<b>8.</b>	Tarkastellaan riskejä.	Herkkyysanalyysi.
<b>9.</b>	Tehdään päätös.	Hankkeen tavoitteiden täyttyminen.
<b>10.</b>	Käynnistetään hanke ja valvotaan sen etenemistä.	Suunnittelun loppuun saattaminen, hankkeen käynnistäminen ja valvonta.
<b>11.</b>		Jälkiseuranta.

Hankkeen kannattavuutta voidaan arvioida monella eri investointilaskentamenetelmällä, joita on esitetty alla olevassa taulukossa 15. Laskentamenetelmien tulokset voivat poiketa huomattavasti toisistaan, joten tarpeenmukaisen menetelmän valitseminen on tärkeää. Takaisinmaksuaika, sisäinen korkokanta ja nykyarvo ovat yleisimpiä investoinnin arvioinnissa käytettyjä laskentamenetelmiä Suomessa sekä kansainvälisissä yrityksissä. Tässä työssä tarkastellaan takaisinmaksu- ja nykyarvomenetelmää investointilaskelman osana. (Ikäheimo et al 2019, 183)

Taulukko 15. Investointilaskentamenetelmiä (Ikäheimo et al 2019, 183-186)

<b>Investointilaskentamenetelmä</b>	<b>Selite</b>
Takaisinmaksuaikamenetelmä	Ajanjakso, jonka kuluessa investointi maksaa itsensä takaisin. Ei huomioida laskentakorkoa.
Laskennallinen pääoman tuotto	Kuinka paljon sijoitettu pääoma tuottaa.
Sisäisen korkokannan menetelmä	Rahoituskustannukset, joilla investointi kannattaa toteuttaa.
Nykyarvomenetelmä	Kaikki maksut diskontataan laskentahetkeen.

Tämän työn investointilaskelmissa ei huomioida pankki- tai rahoituskuluja, jotka kasvattaisivat takaisinmaksuaikaa. Toisaalta esimerkiksi Business Finlandin energiatuki ei hyväksy projektin kustannuksiin kyseisiä kuluja, joten kulut pitää etenkin kyseistä energiatukea haettaessa jättää huomioimatta (Business Finland, 2022).

Investointilaskelmiin liittyy paljon arvioitavia lähtötietoja ja tulevaisuuden ennusteita, joihin liittyviä epävarmuuksien vaikutusta voidaan arvioida herkkyysanalyysien avulla. Herkkyysanalyysi voidaan toteuttaa esimerkiksi laskemalla mekaanisesti eri tekijöiden arvon, kuten vuosittaisten säästöjen tai kustannusarvion, muuttumisen vaikutusta laskennan lopputulokseen. Analyysissä voidaan käyttää esimerkiksi 5...15 % arvon muutosta kumpaakin suuntaan ja tulos voidaan havainnollistaa esimerkiksi erilaisten kuvaajien avulla. (Ikäheimo et al 2019, 189)

Investointilaskelmiin liittyvien epävarmuustekijöiden, kuten kustannusarvion ja energian hintakehityksen, vuoksi laskelmat ja niistä saatavat tulokset on esitettävä mahdollisimman avoimesti. Tämä onnistuu parhaiten esittämällä käytetyt lähtöarvot, laskentaperiaatteet ja tulokset selkeästi investointilaskelmien yhteydessä. (Aho et al 2001, 58)

## 5.1 Kustannusarvio

Koska kustannuksia arvioidaan jo hankkeen alkuvaiheessa, liittyy siihen paljon epävarmuustekijöitä. Kustannusarvion toteutumista onkin hyvä valvoa ja tarpeen mukaan tarkentaa hankkeen edetessä, jotta hankkeen tavoitteet täyttyvät. Kustannusarvion kulujen arvioinnissa voidaan käyttää esimerkiksi Business Finlandin energiatukiavustuksessa hyväksyttäviä kuluja, kuten taulukossa 16 on esitetty (Business Finland, 2022).

Taulukko 16. Kustannusarvio (Business Finland, 2022).

	<b>Arvioita kulu</b>	<b>Selite</b>
1.	Rahapalkat	Projektiin osallistuneiden palkat (Tukea hakeva yritys)
2.	Henkilösivukustannukset	Projektiin sivukustannus palkat, maksimi 50 % (Tukea hakeva yritys)
3.	Matkakustannukset	Vain selvityshankkeissa
4.	Aine- ja tarvikekustannukset	Ulkopuolelta ostettavat aineet ja tarvikkeet
5.	Laitehankinnat	Ostetut laitteet ja/tai muutos- ja korjaustyöt
6.	Ostetut palvelut	Mm. valmistelu- ja suunnittelukustannukset

Edellä esitetyssä taulukossa kohta 5. laitehankinnat on tyypillisesti rahallisesti suurin kustannusarvion kohta. Kohta 5 on myös haastavin arvioida siihen liittyvien muuttujien vuoksi, kuten edelläkin mainittujen hankkeiden lähtötilanteiden ja sovellettavien ratkaisujen vuoksi. Ostettavien laitteiden kustannukset voidaan arvioida vielä kohtuullisen tarkasti, joko toteutuneiden kohteiden mukaan tai pyytämällä laitevalmistajilta ns. budjettihintoja kohteeseen uusittaville laitteille. Mutta muutos- ja korjaustöiden arviointi on haastavaa ja se vaatiikin kokemusperäistä arviointikykyä, tai urakointiin perehtynyttä asiantuntijaa. Kun hanke etenee taulukon 14 mukaiseen 10 vaiheeseen, hankkeen käynnistäminen ja valvonta, onkin hyvä tarkistaa alkuperäiset investointilaskelmat saatujen urakkatarjouksien mukaan, sekä varautua vielä yllättäviin lisäkuluihin, joita etenkin saneerauskohteissa tyypillisesti on.

## 5.2 Takaisinmaksuaikamenetelmä

Takaisinmaksuajan  $a_{tak}$  (v) laskenta on esitetty yhtälössä 17, jossa  $\epsilon_{inv}$  investoinnin määrä (€) ja  $\epsilon_{sääs}$  vuosittaisen säästöjen määrä (€/v). Jos vuotuiset säästöt eivät ole vakio, on laskettava kuinka monen vuoden säästöt vastaavat investoinnin määrää. (Ikäheimo et al 2019, 183)

$$a_{tak} = \frac{\epsilon_{inv}}{\epsilon_{sääs}} \quad (17)$$

Takaisinmaksuajan laskennassa on vain kaksi tekijää, joten sen herkkyysanalyysi on helppo tehdä ja havainnollistaa esimerkiksi kuvaajan tai takaisinmaksuajan lopputuloksen vaihtelun avulla. Herkkyysanalyysi voidaan tehdä esimerkiksi vaihtamalla investointikustannuksien ja vuotuisien säästöjen arvoja  $\pm 5 \dots 15 \%$ .

Takaisinmaksuaikamenetelmä on hyvin yksinkertaistettu tapa laskea hankkeen kannattavuutta ja siinä ei otetakaan huomioon esimerkiksi investoinnin tuottojen nykyarvoa reaalkorkokannan avulla. Menetelmässä voidaan huomioida energianhinnan nousua, mutta sekin voidaan yksinkertaistaa käyttämällä esimerkiksi laskenta-ajan keskiarvohintaan. Herkkyysanalyysi auttaa hallitsemaan laskentatavan yksinkertaisuudesta johtuvia epävarmuuksia ja niistä aiheutuvia muuttujia.

### 5.3 Elinkaarikustannuslaskenta ja nykyarvomenetelmä

Elinkaarikustannuslaskenta, käytetään myös lyhennettä LCC (Life Cycle Cost), käytetään määrittäessä laitteen tai järjestelmän koko elinkaaren kustannuksia. Elinkaarikustannukset käsittävät ajanjakson laitteen tai järjestelmän valmistuksesta teknisen eliniän loppuun asti. Elinkaarikustannukset sisältävät siis laitteen tai järjestelmän huolto-, uusimis-, ja käyttökustannukset. Elinkaarilaskennassa kustannuksien arvo voidaan laskea nykyarvomenetelmällä, joka mahdollistaa eri laitteiden tai järjestelmien investointi- ja käyttökustannuksien vertailun vuositasolla huomioiden investoinnin säästöjen nykyarvon. (Aho et al 2001, 57)

Elinkaarikustannuksia tarkastellessa investointikustannukset lasketaan kuten edellä olevassa kustannusarvio kappaleessa. Investointikustannukset aiheutuvat heti hankkeen alkaessa, toisin sanoen laskentahetkellä, joten niiden nykyarvoa ei tarvitse diskontata. (Neilimo ja Uusi-Rauva 2012, 218)

Energia-, huolto- ja jäännöskustannukset aiheutuvat vasta tulevaisuudessa laitteen teknisen eliniän aikana, joten niiden nykyarvo täytyy selvittää diskonttaamalla. Alla olevissa kaavoissa on esitetty energiakustannuksien nykyarvo  $Q_{\epsilon,nyk}$  (yhtälö 18), huoltokustannuksien nykyarvo  $H_{\epsilon,nyk}$  (yhtälö 19) ja jäännöskustannuksien nykyarvo  $J_{\epsilon,nyk}$  (yhtälö 20). Joissa  $Q$  vuotuinen energian kulutus (MWh/a),  $q$  nykyinen energian hinta (€/MWh),  $p$  odotettavissa oleva energian vuotuinen hinnan nousu (%/100),  $i$  laskentakorko (reaalikorkokanta) (%/100),  $n$  laskentajakson pituus (v),  $H$  huoltokustannukset (€),  $m$  huoltoväli (v),  $J$

jäännösarvokustannus (€),  $l$  laitteen poistoaika (v). (Aho et al 2001, 58-60 ; Neilimo ja Uusi-Rauva 2012, 364-365)

Energiakustannuksien nykyarvo voidaan laskea myös jaksollisen maksujen nykyarvon tekijän mukaan yhtenä summana, eikä vuosittaisella tasolla kuten alla olevassa yhtälössä 18 on esitetty. Nykyarvo on kuitenkin parempi laskea vuotuisella tasolla verrattuna jaksollisen maksuajan nykyarvotekijällä koko tarkasteltavan ajanjakson summana, jotta tuloksien vertailu eri järjestelmävaihtoehtojen välillä vuositasolla esimerkiksi kuvaajan avulla on helpompaa.

$$Q_{\epsilon,nyk} = Q * q * \frac{1}{(1+(i-p))^n} \quad (18)$$

Jos vertaillaan kahden järjestelmän välisiä kustannuksia keskenään ja niiden vuosittaiset huoltokustannukset ovat yhtä suuret, tai jos laskentaa halutaan yksinkertaistaa, voidaan huoltokustannuksien nykyarvon laskeminen jättää huomioimatta vertailussa olettamalla huoltokulujen olevan 0 €/v. Jos taas lasketaan yksittäisen järjestelmän kokonaiskustannuksia sen elinkaaren aikana, on huoltokustannukset tarpeellista huomioida laskelmissa.

$$H_{\epsilon,nyk} = \sum_m \frac{1}{(1+i)^m} \quad (19)$$

Jäännösarvokustannuksien nykyarvo voidaan jättää huomioimatta laskelmissa, jos oletetaan jäännösarvokustannuksien siirtyvän seuraaviin laiteinvestointeihin ja niihin liittyviin muutostöihin. Jos jäännöskustannukset ovat mittavat, esimerkiksi haitallisten jätteiden osalta, on jäännöskustannukset tarpeellista huomioida laskelmissa. Tämä on perinteisissä taloteknisissä järjestelmissä kuitenkin harvinaista ja jäännöskustannuksien voidaan olettaa olevan 0 €.

$$J_{\epsilon,nyk} = J \frac{1}{(1+i)^t} \quad (20)$$

Nykyarvomenetelmän diskonttaus voi olla vaikea käsittää. Yksinkertaistettuna se on käänteistä korkoa säästöille. Esimerkkinä jos talletat pankkiin summan  $X$  10 % vuosikorolla on sen arvo vuoden päästä  $1,1X$ . Diskonttaamalla saamme selville mikä on vuoden päästä saatavan  $1,1X$  arvo nykyhetkessä käyttämällä esimerkiksi 10 % vuosikorkoa. (Neilimo ja Uusi-Rauva 2012, 216)

Jos laskentakorkona käytetään 0 %:ia on diskonttaustekijä 1 ja tällöin laskenta muuttuu takaisinmaksumenetelmän mukaiseksi. Jos energiakustannuksien energianhinnan vuotuisena



nousuna käytetään samaa arvoa kuin laskentakorossa on diskonttaustekijä 1 ja tällöin laskenta muuttuu jälleen takaisinmaksumenetelmän mukaiseksi.

Nykyarvomenetelmässä herkkyyksianalyysia voidaan tehdä kuten takaisinmaksumenetelmässä muuttamalla esimerkiksi kustannuksia  $\pm 0 \dots 15$  % tai muuttamalla laskentakorkoa. Mitä suurempi laskentakorko sitä pienempi laskennallinen nykyarvo investoinnin säästöillä on. Tällöin kahden järjestelmän vertailussa takaisinmaksuaika kasvaa. Käytettävän laskentakoron suuruus riippuu kohteesta ja etenkin käyttäjän haluamasta tuotosta projektille. Joissakin tapauksissa, esimerkiksi haettaessa projektille energiatukea, on parempi käyttää 0 % laskentakorkoa, jotta takaisinmaksuaika saadaan projektille suotuisaksi. Tapauksissa, joissa investoinnille haetaan tuottoa, esimerkiksi yrityksen tai sijoittajan strategian mukaisesti, on laskelmissa käytettävä laskentakorkoa.

#### 5.4 Laskenta käytännössä

Edellä mainitut takaisinmaksumenetelmä ja nykyarvomenetelmä laskelmat on helpoin suorittaa esimerkiksi excel-pohjaisella laskentatyökalulla. Taulukossa 17 on esitetty pohja, jonka avulla voidaan laskea nykyarvomenetelmän mukainen elinkaarikustannuslaskelma. (Neilimo ja Uusi-Rauva 2012, 219)

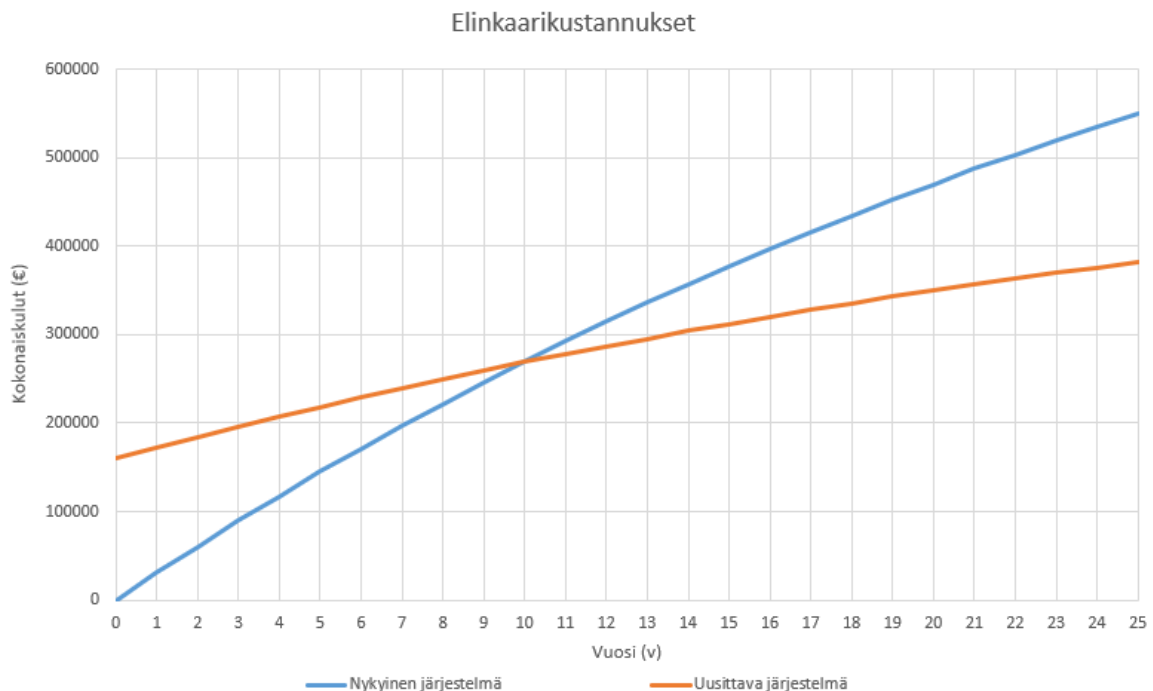
Taulukko 17. Nykyarvomenetelmän laskentataulukko

Aika (v)	Investointi (€)	Nettotulo (€)	Diskonttaustekijä (-)	Nykyarvo (€)	Kokonaiskulut (€)
0	30 000	0	0	0	30 000
1		10 000	0,97	9 700	39 700
2		10 000	0,94	9 400	49 100
3		10 000	0,92	9 200	58 300

Aika on esimerkiksi laitteen tekninen käyttöikä, investointi tapahtuu kustannusarvion mukaisesti vuonna 0, nettotulo on ostoenergian vuosittainen määrä, diskonttaustekijä on edellä olevan luvun mukainen käänteinen korko (arvo  $< 1$ , jos laskentakorko isompi kuin

energianhinnan oletettu nousu), nykyarvo diskonttaustekijän ja nettotulon tulo, kokonaiskulut kyseisen laskentavuoden ja sitä edeltävien vuosien summa.

Vertaamalla kahta eri järjestelmää keskenään, esimerkiksi kiinteistön nykyistä IV-järjestelmää ja uutta järjestelmää, nykyarvomenetelmällä saadaan laskettua energiatehokkaamman järjestelmän takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuaikaa voidaan havainnollistaa esimerkiksi kuvaajan avulla. Kuvaajassa kahden käyrän leikkauspiste on uusittavan järjestelmän takaisinmaksuaika. Kuvaajan käyrien ollessa kaarevia alaspäin on yhteen laskettu korko  $>0\%$  ja käyrien ollessa kaarevia ylöspäin on yhteen laskettu korko  $<0\%$ . Kuvassa 25 on esitetty esimerkki elinkaarilaskennan tuloksista kuvaajan muodossa. Kuvaajassa takaisinmaksuaika on käyrien risteyskohta, joka kuvan 25 tapauksessa on 10 vuotta.



Kuva 25. Elinkaarikustannukset

## 5.5 Jälkiseuranta

Hankkeen jälkiseuranta on tärkeää sen takia että jatkossa laskelmat pitävät paremmin paikkaansa ja niitä voidaan paremmin käyttää tukena päätöksenteossa. Pienetkin hankkeet voivat olla monimutkaisia ja jälkiseurannan avulla voidaan jatkossa arvioida paremmin hankkeissa tyypillisesti esiintyviä yllätyksiä. Taulukossa 18 on esitetty kysymyksiä, joihin

jälkiseurannassa pyritään löytämään vastaukset. Taulukossa on esitetty myös kysymyksiä, jotka kuvaavat energiatehokkuushankkeita paremmin. (Neilimo ja Uusi-Rauva 2012, 225)

Taulukko 18 . Jälkiseuranta (Neilimo ja Uusi-Rauva 2012, 225)

<b>Kysymys</b>	<b>Energiatehokkuushanke</b>
Tuliko yllättäviä kustannuksia?	Pitikö kustannusarvio paikkaansa?
Oliko investointi kannattava?	Toteutuiko takaisinmaksulaskelma?
Missä kohdin laskelmien perusoletukset pettivät?	Toteutuiko kustannusarvio ja energiansäästöavoitteet?
Muuttuivatko ulkoiset olosuhteet?	Muuttuiko hankkeen kustannukset, laitteiden hyötysuhteet tai esimerkiksi sääolosuhteet?
Mitkä syyt selittävät virheitä?	Missä kohtaa laskennan oletuksia on tehty virheitä?

Energiatehokkuushankkeiden jälkiseurannassa erityisen tärkeitä ovat kustannusarvion ja energiansäästöjen seuranta. Kustannusarvioita voidaan seurata hankkeen edetessä ensimmäisen kerran urakkalaskentavaiheessa ja siitä eteenpäin hankkeen edetessä odottamattomien kulujen seurannan muodossa. Kustannusarviossa on hyvä huomioida jo joitakin odottamattomia kuluja, mutta silti niiden seuranta hankkeen työvaiheessa ei pidä unohtaa. Energiasäästöjä voidaan tarkkailla vasta hankkeen valmistuttua, esimerkiksi kaukolämmön kulutuksen vähentymisen muodossa.

Todellisista energiansäästöistä saadaan tuloksia ensimmäisen lämmityskauden jälkeen. Tämän jälkeen seurantatuloksia voidaan kerätä vuosittain. Energiansäästöihin liittyy myös energianhinnan kehitys. Energianhinnan odottamaton nousupiikki parantaa energiaa säästävän investoinnin takaisinmaksuaikaa, mutta lisää vuosittaisia kuluja.

## 6 Energiatuki

Tässä työssä keskitytään Business Finlandin rahoittamiin energiatukiin. Kyseinen tuki soveltuu hyvin yksityisille toimijoille, jotka pyrkivät parantamaan kiinteistöjensä energiatehokkuutta. Hakevan organisaation koolla ei ole merkitystä tukea hakiessa, mutta organisaatio ei saa olla maatila, kalastusorganisaatio, vesiviljelyorganisaatio tai asuinkiinteistö. Organisaation toiminnan rahoitus ei saa myöskään tulla valtion talousarviosta. Business Finland tarjoaa myös muunlaisia tukia ja palveluita. (Business Finland, 2022)

Valtioneuvoston asetus energiaturun myöntämisen yleisistä ehdoista vuosina 2018-2022 (1098/2017) säättää energiaturukien myöntämisestä, maksamisesta ja käytöstä. Asetuksessa määritellään mm. tuettavat hankkeet, yleiset edellytykset, turun saajan edellytykset sekä energiaturukihakemuksen vähimmäisedellytykset. Kuten asetuksen nimestä on pääteltävissä asetus on uudistumassa vuoden 2022 ja 2023 taitteessa. Tällöin selviää tulevaisuuden energiaturukien jatko, mutta oletuksena on että nykyisen maailmantilanteen vuoksi energiaturuet eivät ainaakaan mittavasti pienene. Tukien hakijoiden on kuitenkin hyvä seurata Business Finlandin nettisivuja aiheeseen liittyen.

Energiaturun tarkoituksena on auttaa organisaatioita kehittämään energiajärjestelmiensä tehokkuutta pienentämällä niiden hiilidioksidipäästöjä ja pienentämällä ostoenergiankulutusta. Tukea voi hakea projekteihin, jotka lisäävät uusiutuvan energian tuotantoa ja käyttöä, energiansäästöä, energian tuotannon tai käytön tehostamista tai pienentävät muuten hiilidioksidipäästöjä pitkän aikavälin tarkastelulla. Jos tuki ei vaikuta projektin käynnistämiseen, niin tukea ei myönnetä. (Business Finland, 2022)

Energiaturuki maksetaan organisaatiolle todellisten toteutuneiden kustannuksien mukaan. Projektin kustannuksien täytyy olla vähintään 10 000 €, mutta projektin kustannuksille ei ole määritelty ylärajaa. Projektia ei saa käynnistää ennen hyväksyttyä tukipäätöstä ja tukea myönnetään rahoituspäätöspäivän jälkeen tuleviin kustannuksiin. (Business Finland, 2022)

Projektille kannattaa hakea tukea aina kun se on mahdollista. Tukea kannattaa hakea jos organisaatio haluaa säästää energiakustannuksissaan tai vähentää hiilidioksidipäästöjä lisäämällä uusiutuvan energian käyttöä tai edistämällä esimerkiksi kiinteistöjensä

energiatehokkuutta. Projektissa voidaan esimerkiksi investoida uuteen teknologiaan tai laitteeseen, joka pienentää ostoenergian määrää. (Business Finland, 2022)

Energiatukea voi saada uusiutuvan energian investoinnin osalta seuraaviin hankkeisiin:

- Investointihankkeet:
  - o Esimerkiksi lämpöpumppu- ja aurinkolämpöhankkeet
- Lämmöntuotanto
  - o Esimerkiksi lämpökeskushankkeet
- Sähköntuotanto
  - o Esimerkiksi sähköakkuhankkeet
- Polttoaineiden tuotanto
  - o Esimerkiksi biopolttoainehankkeet (Business Finland, 2022)

Tämän työn tarkastelun kannalta olennaisin tuki on energiansäästöä ja energiatehokkuutta edistävät investoinnit tavanomaisella teknologialla. Tuki jakautuu selvitys ja investointihankkeisiin. Selvityshankkeet pitävät sisällään energiakatselmukset ja -analyysit. Investointihankkeet pitävät sisällään konkreettiset energiatehokkuutta parantavat projektit tavanomaisella teknologialla. Näistä hyvänä esimerkkinä voidaan pitää esimerkiksi ilmanvaihdon lämmöntalteenottoprojekteja. Investointihankkeiden tuki on 15...25 % hankkeen kokonaiskustannuksista. (Business Finland, 2022)

Koska tukea myönnetään rahoituspäätöspäivän jälkeisiin kustannuksiin, on projektin esisuunnitteluvaiheen suunnitelmien oltava mahdollisimman kevyesti laadittuja, jotta hakeva organisaatio välttyy turhilta kuluilta, jotka ei ole avustushakemuksen piirissä. Tämä aiheuttaa haasteita projektin kulujen arvioinnissa ja vaatiiikin ammattitaitoista kokemukseen perustavaa arviointikykyä. Tässä vaiheessa virheen riski on suuri, joten projektin kuluja on parempi arvioida yläkanttiin, jotta varattu rahoitus ja tuki projektille on riittävä.

## 6.1 Kirjanpito ja hyväksyttävät kulut

Ennen hakemusta, projektin esisuunnittelun ja takaisinmaksulaskelmien jälkeen, on varmistettava organisaation riittävä oma rahoitus. Vaikka organisaatio saa tukea projektille, on organisaation maksettava projekti kokonaisuudessaan ennen tuen saamista. Tukea ei voi saada, jos organisaatiolla ei ole maksukykyä tai se on menettänyt puolet tai enemmän osakepääomastaan, organisaatiolla on verovelkaa tai rästejä tai organisaatiolla ei ole tarpeellista omaa tai vierasta rahoitusta projektille. (Business Finland, 2022)

Rahoituksen saajan tiedot ja rahoituksen määrä ovat julkisia tietoja. Rahoituksen saajan on projektia koskevissa tiedotteissa kerrottava, että projekti on saanut osan rahoituksesta Business Finlandilta. (Rahoitusehdot 2022, 1)

Projektille on nimettävä projektin vastuullinen johtaja, joka on palvelusuhteessa organisaatioon joka hakee rahoitusta tai joka työskentelee organisaatiossa vastuuasemassa. Vastuullisen johtajan tehtävänä on valvoa projektin toteuttamista, huolehtia projektikirjanpidosta, asiointipalvelun hallinnointi sekä kustannuksien kirjanpito ja valvonta. (Rahoitusehdot 2022, 2)

Projektin vastuullinen johtaja vastaa myös projektin raportoinnista Business Finlandille. Projektin lopuksi projektista toimitetaan energiatuen vaikuttavuuden liite ja tilintarkastajan tarkastusraportti. Nämä liitteet ovat valmiita lomakepohjia, jotka löytyvät Business Finlandin sivuilta. Projektin kustannukset raportoidaan joko väliraporteissa ja loppuraportissa tai pelkästään loppuraportissa. Loppuraportin hyväksymisen jälkeen projektille ei hyväksytä lisäkustannuksia. Loppuraporttia ei voida hyväksyä ilman tilintarkastajan raporttia. (Rahoitusehdot 2022, 2)

Investointihankkeissa väli- ja loppuraporttien yhteydessä esitetään lausunto hankkeen edistymisestä. Projektin ensimmäisessä raportissa esitetään myös projektin kokonaisrahoituksen selvitys. Leasing- tai osamaksuja sisältävissä projekteissa esitetään leasing- tai osamaksusopimus. Jos projektista ei toimiteta tilintarkastajan tarkastusraporttia, on tuen saajan esitettävä rahoitusyhtiön selvitys investoinnin kattamisesta. (Rahoitusehdot 2022, 2)

Projektin tuki maksetaan edellä mainittujen raporttien ja tilityksien perusteella. Ensimmäinen maksuerä maksetaan sitovien laitetilauksien ja rakentamisen aloituksen jälkeen, kun projektin kokonaiskustannuksista on maksettu minimissään 20 %. Investointihankkeiden

tuen viimeinen erä maksetaan projektin lopuksi, kun investoinnin kohde on vakuutettu ja raportoitu asianmukaisesti. (Rahoitusehdot 2022, 3)

Projektin kirjanpito on toteutettava siten, että kustannuksien yksilöinti on mahdollista. Kirjanpidosta on selvittävä ostolaskut, joista näkyy ostettu tuote tai palvelu euromääräisenä. Tilintarkastajan osuus raportoinnin kustannuksista voidaan maksaa varsinaisen projektin jälkeen. (Rahoitusehdot 2022, 4)

Työajanseuranta on toteutettava kuukausittain tuntitasoisena. Työtunnit on raportoitava kuukausittaisella tasolla siten, että tuntiseurantajärjestelmään jää merkintä. Seurantajärjestelmän on oltava todettavissa luotettavaksi. (Rahoitusehdot 2022, 4)

Investointi- ja selvityshankkeiden kustannukset saavat sisältää vain menoja, jotka ovat aiheutuneet projektin rahoituspäivän ja projektin lopun välisenä aikana, jotka ovat merkitty kirjanpitoon sekä ovat nettomääräisiä ilman arvonlisäveroa. Projektisuunnitelma ja kustannusarvio on päivitettävä ennen projektien tuen hyväksymistä. Kaikki projektille määräytyneet kustannukset raportoidaan. Projektin investoinnit ja niiden aikaansaamat tulokset pitää pystyä perustelemaan. (Rahoitusehdot 2022, 5)

Rahapalkkoja ja henkilösivukustannuksia voidaan tilittää projektin kuluihin. Rahapalkat maksetaan tehollisen työajan ennakkopidätykseen kuuluvan palkan mukaan. Henkilösivukustannuksiin kuuluu muun muassa loma- ja sosiaaliturvan kustannukset. (Rahoitusehdot 2022, 5-6)

Investointihankkeissa matkustamisesta aiheutuvia kustannuksia ei hyväksytä tuen piiriin. Selvityshankkeista on mahdollista sisällyttää matkakustannuksia tuen piiriin. Tällöin kustannuksien korvaukset on oltava verohallinnon määräyksien mukaisia. (Rahoitusehdot 2022, 7)

Projektiin sisältyvät aineet- ja tarvikkeet voidaan hyväksyä toimittajan laskituksen mukaisena. Jos projektiin sisältyy organisaation omia sisäisiä aine- ja tarvikekuluja, hyväksytään niistä vain omakustannushinta. (Rahoitusehdot 2022, 7)

Investointihankkeiden laiteostokustannuksissa hyväksytään koneiden ja laitteiden hankinta- ja asennuskustannukset, rakennustöiden kustannukset, maa-alueiden hankintakustannukset (maksimissaan 10 % kokonaisinvestoinnista), sähköverkon liittymiskustannukset sekä kaukolämpöjärjestelmän ensiöpuolen kustannukset. Kustannukset hyväksytään ilman

hallinnollisia, rahoituksellisia, vakuutus-, korjaus- tai huoltokuluja. Selvityshankkeissa hyväksyttävät laiteostokustannuksiin kuuluvat vain laitteiden ja koneiden vuokrauskustannukset, mutta ne eivät saa ylittää 10 % kokonaisinvestoinnista. (Rahoitusehdot 2022, 7-8)

Ostopalveluiden hyväksyttäviä kustannuksia investointihankkeissa ovat suunnitteluvaiheen kustannukset (maksimissaan 20 % kokonaisinvestoinnista), valvontakustannukset, metsä- ja maanrakennuskustannukset, käyttöönoton, koulutuksen ja seurannan (maksimissaan vuoden ajalta) kustannukset sekä tilintarkastuskustannukset. Selvityshankkeiden kustannuksiksi ostopalveluiden osalta hyväksytään asiantuntijakustannukset ja tilintarkastuskustannukset. (Rahoitusehdot 2022, 8)

Intressirytyksen, eli yrityksen joihin tuen hakija voi vaikuttaa yritys- tai henkilötasolla, kustannukset hyväksytään ostopalvelun kautta ilman katetta. Kustannukset pitää tässä tapauksessa ilmoittaa kirjanpitoon erillisen tilityksen kautta. (Rahoitusehdot 2022, 10)

Seuraavia kustannuksia ei hyväksytä tuen piiriin; yleis-, edustus- ja pankki ja rahoituskustannukset, henkilökustannukset, jotka perustuvat vapaaehtoisuuteen, julkisen tai palkkatuen alaiset kustannukset ja palvelut, osamaksujen kulut, kestokulutushyödykekustannukset, kuten toimistolaitteet ja autot. Lisäksi investointihankkeissa ei hyväksytä matkustuskustannuksia tai korkoja. (Rahoitusehdot 2022, 10)

Jos projektille on myönnetty muuta julkista rahoitusta, on se ilmoitettava hakemuksessa. Julkisen rahoituksen määrä ei saa ylittää sallittua 75 % enimmäismäärää. Eli projektiin ryhtyvän on rahoitettava 25 % projektista omilla varoillaan. Näitä ehtoja ei huomioida kunnan myöntämiin rahoituksiin kunnan omistuksessa olevissa yhtiöissä. (Rahoitusehdot 2022, 11)

Projektin seurantaan kuuluu projektin vaikutuksien raportointi kahden vuoden sisään, laskien viimeisestä rahoituserän maksupäivämäärästä. Projektista täytyy pyydettäessä raportoida kaikki suunnitelmat ja ennusteet mitä virallisessa tukihakemuksessa on esitetty. Projektiin ryhtyvän tilitiedot on oltava tarkistettavissa Patentti- ja rekisterihallituksen tietokannan kautta. (Rahoitusehdot 2022, 11)

Jos projektille halutaan tehdä merkittäviä muutoksia alkuperäiseen projektisuunnitelmaan verrattuna, on ne hyväksyttävä rahoituksen myöntäjällä ennen muutoksien toteuttamista. Merkittäviin muutoksiin kuuluvat; Projektisuunnitelmaan kohdistuvat merkittävät



muutokset, kustannusmuutokset, aikataulumuutokset, raportointipäivän muutokset ja vastuullisen henkilön muutos. (Rahoitusehdot 2022, 11)

Jo myönnetty rahoitus voidaan peruuttaa tai periä takaisin, jos rahoittajalle ei tarjota tarpeellisia tietoja tai muutoksia ei ilmoiteta ennen niiden toteuttamista. Takaisinperinnästä veloitetaan asianmukainen korko. (Rahoitusehdot 2022, 13-14)

Projektin asiakirjojen ristiriitatapauksissa rahoituspäätös ja sen erityisehdot ovat määräävin asiakirja. Seuraavina asiakirjoina tulevat mainitussa järjestyksessä: Rahoitusehdot, kustannusarvio, projektisuunnitelma, rahoitushakemus ja liitteet sekä viimeisenä muut oleelliset dokumentit. (Rahoitusehdot 2022, 15)

## 6.2 Investointihakemusten liitteet

Hakemusten tueksi on hyvä luoda liitteitä joiden avulla esitetään tuen myöntäjälle projekti ja sen vaikutukset sekä jotka avustavat itse hakemuksen tekemistä. Energiansäästöä ja energiatehokkuutta parantavissa hankkeissa esimerkit liitteistä on esitetty taulukossa 19. Liitteiden tarkempi sisältö ja määrä voi vaihdella projekteittain.

Taulukko 19. Investointihakemusten liitteet

<b>Liite 1.</b>	Projektin toteutus
<b>Liite 2.</b>	Arvioi energiatuen vaikutuksista
<b>Liite 3.</b>	Projektisuunnitelma
<b>Liite 4.</b>	Toimenpideselvitys
<b>Liite 5.</b>	Selvitys laskentaperusteista
<b>Liite 6.</b>	Kannattavuuslaskelma
<b>Liite 7.</b>	Kustannuserittely
<b>Liite 8.</b>	Energiatukihakemus investointiin

Liite 1. on hyvä luoda projektin varsinaisen hakemuksen täyttöä varten. Liitteessä käydään tiivistetysti läpi projektin nykytilanne, toteutus ja tavoitteet. Liitteet 2. ja 8. ovat Työ- ja elinkeinoministeriön valmiita pohjia, jotka täytetään hankkeen mukaan. Liitteet ovat saatavilla Business Finlandin sivuilta.

Liitteessä 3. käydään läpi energiatukea hakevan yrityksen tiedot ja toimiala, projektin vastuhenkilö sekä projektin yleiskatsaus. Liitteessä 3. on tarkoitus kuvata projekti ja sen tarkoitus lyhyesti, eli miksi energiatehokkuutta on parannettava lähtötilanteesta ja mitä hyötyjä sillä saavutetaan.

Liitteessä 4. käydään läpi projektin tarkempi toteutus. Liitteessä määritellään uusittava tekniikka ja verrataan sitä nykytilanteeseen. Liitteessä voidaan esimerkiksi määrittää uusittavien ilmanvaihtokoneiden SFP-luku ja LTO-vuosihyötysuhde sekä muut tarvittavat työt. Liitteeseen 4. voidaan tehdä myös järjestelmäperiaatteita kuvaavat kaaviot mitkä helpottavat hankkeen muutoksien kuvaamista. Järjestelmäperiaatteissa voidaan kuvata esimerkiksi kiinteistön nykytilanne ja muutoksien jälkeinen tilanne.

Liitteessä 5. esitetään käytetyt laskentaperiaatteet ja lähtötiedot. Näitä voivat olla esimerkiksi LTO-järjestelmien hyötysuhteet, SFP-luvut, tuloilman lämpötilat sekä energian hinnat ja CO<sub>2</sub>-päästöt. Liitteessä 5. kannattaa esittää laskentaperiaatteet ja lähtötiedot mahdollisimman tarkasti, jotta tuen hakijalle ja tuen myöntäjälle on selvää millä oletuksilla ja arvoilla laskennalliset säästöt on saavutettu.

Liitteessä 6. esitetään kannattavuuslaskelman tulokset. Näihin sisältyvät kokonaisenergian kulutukset nykyhetkessä ja muutoksien jälkeen, säästetty energia muutoksien jälkeen, CO<sub>2</sub>-päästövertailu ja takaisinmaksuaika investoinnille ilman tukea sekä tuen kanssa.

Liitteessä 7. esitetään kustannuserittely hankkeelle. Kustannuserittelyssä esitetään arvioidut projektin kustannukset eriteltynä tuen ehtojen ja investoinnin kohtien mukaisesti.

### 6.3 Jälkiraportointi ja muutokset projektin aikana

Projektin aikana on seurattava ja kirjattava projektin etenemistä sekä kustannuksia, jotta jälkiraportointi olisi mahdollisimman vaivatonta. Jälkiraportoinnissa ilmoitetaan projektin todelliset toteutuneet muutokset ja kustannukset. Pyydytyt lisätiedot on esitettävä raportissa. (Business Finland, 2022)

Investointihankkeissa täydennettäviä liitteitä ovat liite 2. Arvio energiatuen vaikutuksista, jossa ilmoitetaan hankkeen valmistuminen ja kuvaus sekä energiavaikutukset. Päivitettäviä liitteitä voivat olla esimerkiksi liite 3. Projektisuunnitelma sekä liitteet 4.

Kannattavuuslaskema ja liite 7. kustannuserittely. Liitteitä voi olla tarpeen päivittää myös projektin aikana, jos niissä tapahtuu merkittäviä muutoksia projektin hakuvaiheen liitteisiin nähden.

Muutoksia projektin aikana voivat olla esimerkiksi muutokset projektin toteutuksessa, vastuuhenkilön vaihdos, tilinumeron muutos tai muu liiketoimintajärjestelyiden muutos. Muutokset projektin toteutukseen ja vastuuhenkilön vaihdos tehdään rahoituksen myöntäjän asiointipalvelun kautta. Tarvittaessa liitteet päivitetään asianmukaisesti. Tilinumeron vaihtuminen sekä muut liiketoimintajärjestelyiden muutokset ilmoitetaan erillisellä lomakkeella ja suojatulla sähköpostilla rahoituksen myöntäjälle. (Business Finland, 2022)

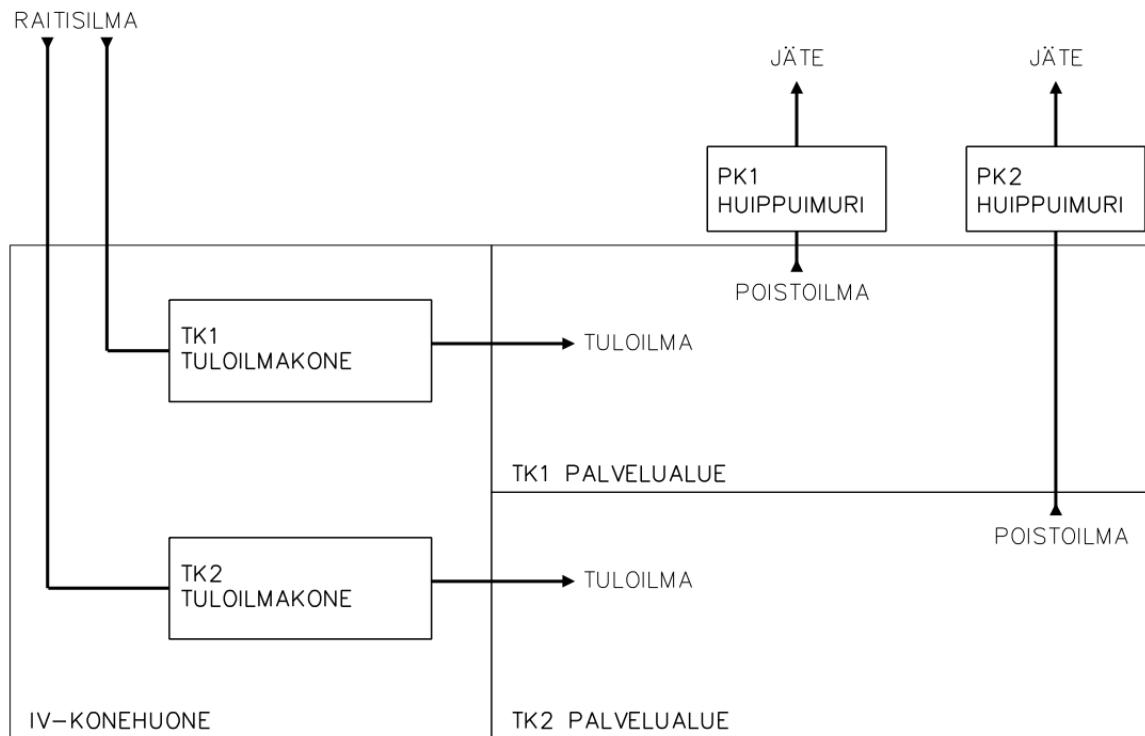
## 7 Case toimistotalo

Case toimistotalo on kellarikerros mukaan lukien 4 kerroksinen kiinteistö, jonka IV-konehuone sijaitsee ullakkotilassa. Kiinteistön kokonaispinta-ala on noin 2500 m<sup>2</sup>. Kiinteistön kellarikerroksessa on varasto- ja teknisiä tiloja, maantasokerroksessa liiketiloja ja muissa kerroksissa toimistotiloja.

Kiinteistön lämmitysmuotona toimii kaukolämpö. Ilmanvaihtojärjestelmä koostuu pääasiassa kahdesta tuloilmakoneesta ja kahdesta huippuimurista ilman lämmöntalteenottoa. Tuloilmakoneessa TK1 on jäähdytyspatteri. Tuloilmakoneessa TK2 ei ole jäähdytyspatteria. Joidenkin erityistilojen, kuten hissikonehuoneen ja sähköpääkeskuksen, ilmanvaihto on toteutettu painovoimaisella ilmanvaihdolla tai erillispuhaltimin. Näiden tilojen osuus, ja ilma-  
virrat, ovat kuitenkin pieniä verrattuna koko kiinteistön ilmanvaihtoon.

### 7.1 Lähtötiedot ja suunnittelu energiatukea varten

Projektin tarkoituksena oli parantaa kiinteistön lämpötaloutta muuttamalla liiketiloja ja toimistotiloja palvelevat ilmanvaihtolaitteet lämmöntalteenottolaitteistolla varustetuksi järjestelmäksi. Pieniä erillispoistoja ja painovoimaisia ilmanvaihtojärjestelmiä ei liitettäisi uuteen LTO-järjestelmään. Tavoitteena on saada talteen mahdollisimman paljon energiaa ilmanvaihtojärjestelmistä, pitämällä hankkeen kustannukset järjellisellä tasolla. Alla olevassa kuvassa 26 on esitetty projektin lähtötilanne. Kuvassa ei ole esitetty järjestelmiä, joihin ei ole tarkoitus tehdä muutoksia.

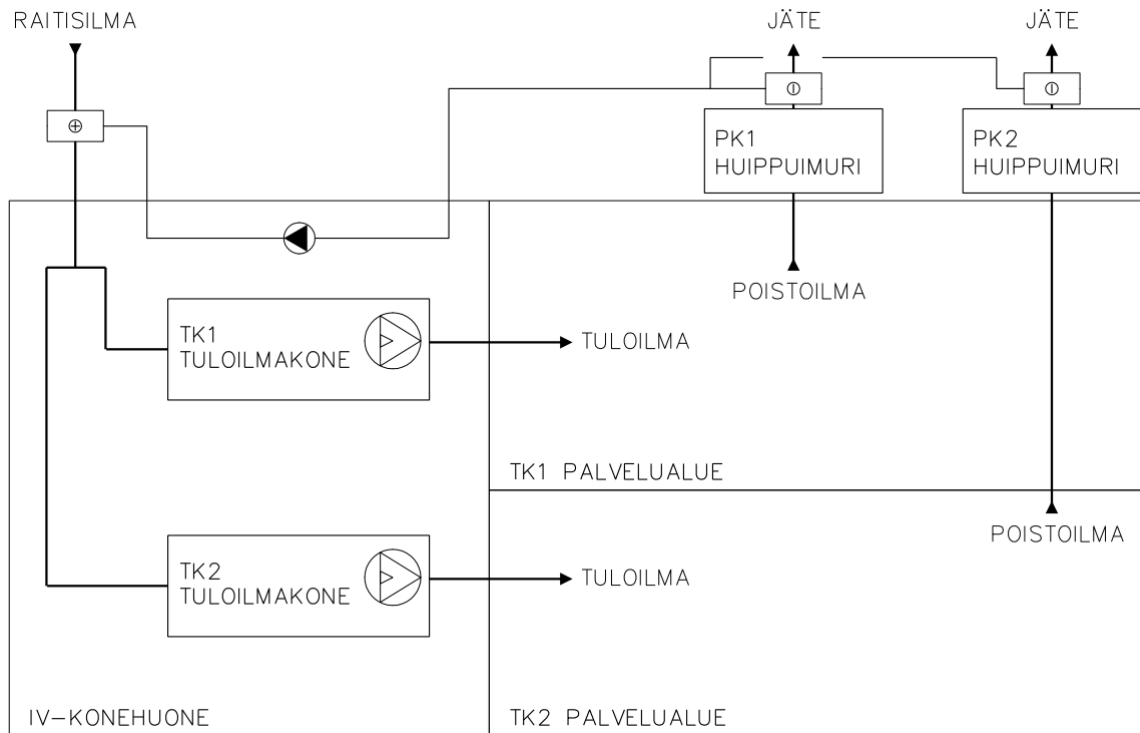


Kuva 26. Lähtötilanne

Hankkeen ilmanvaihtojärjestelmien tiedot selvitettiin vanhojen IV-suunnitelmien perusteella. Näistä suunnitelmista selvisi mm. ilmamäärät sekä tuloilmojen ja huippuimureiden mitoitustiedot. Ilmanvaihdon käyttöajat arvioitiin ympäristöministeriön 1010/2017 asetuksen mukaan käyttöaikaisen ilmanvaihdon oletettiin toimivan 100 % ja käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon 50 % ilmavirroilla.

Kaukolämmön hinta määriteltiin paikallisen energialaitoksen mukaan 3 % vuotuisella hinnannousulla laskenta-ajan ollessa 10 vuotta. Energian hinnassa huomioitiin vain kulutus, ei kiinteitä maksuja. Kaukolämmön CO<sub>2</sub> päästökerroin määriteltiin myös paikallisen energialaitoksen mukaan. Kaukolämmön energianhinta oli 72,5 €/MWh ja CO<sub>2</sub>-päästöt 118 g/kWh.

Alustava suunnitelma hakemusvaiheessa oli vaihtaa vanhat huippuimurit LTO-huippuimureiksi sekä yhdistää tuloilmojen raitisilmakammiot yhdeksi kammioksi ja lisätä raitisilmasäleikköön LTO-patteri. Muut LTO-laitteet, kuten LTO-pumppuryhmä sijoitettaisiin IV-konehuoneeseen. Lisäksi tuloilmojen puhaltimet vaihdettaisiin EC-moottorilla varustettuihin puhaltimiin ja IV-koneiden sähkökeskukset ja automaation valvonta-alakeskus uusittaisiin. Tuloilmojen pysyisivät muuten olemassa olevina. Alla olevassa kuvassa 27 on esitetty projektin esisuunnitteluvaiheen muutokset. Kuvassa ei ole esitetty järjestelmiä, joihin ei ole tarkoitus tehdä muutoksia.



Kuva 27. Muutokset

## 7.2 Energiankulutuksen arviointi

Projektin ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutuksen arviointiin kerättiin ensin lähtötiedot alla olevan taulukon 20 mukaisesti.

Taulukko 20. Lähtötiedot

<b>TK01 / PK01 ilmavirta</b>	+ 2950 l/s / - 3100 l/s
<b>TK01 / PK02 ilmavirta</b>	+ 1600 l/s / -1800 l/s
<b>Koneiden käyntiajat</b>	55 h/viikko 100 %, 113 h/viikko 50 %
<b>LTO-hyötysuhde</b>	67,8 %
<b>Vuoden keskilämpötila</b>	4,6 °C
<b>Tuloilman lämpötila</b>	18 °C
<b>Poistoilman lämpötila</b>	21 °C
<b>Jäteilman lämpötila (LTO)</b>	9,9 °C

Nykyisen tilanteen tuloilmojen lämmittämiseen kuluva energia arvioitiin keskimääräisen tehon ja käyntiaikojen avulla. Näiden arvioiden ja muiden lähtötietojen avulla vuotuinen käytetty energia tuloilman lämmittämiseen arvioitiin olevan 439 MWh vuodessa. Poistoilmasta saatavan energia arvioitiin LTO:n hyötysuhteen avulla olevan 289 MWh vuodessa.

Alla olevaan taulukkoon 21 on koottu tulokset ilmanvaihtokoneiden lämpöenergian määrästä ja kustannuksista vuodessa. Laskennallinen energiansäästö vuodessa on 289 MWh, joka vastaa 21 000 €:a. 289 MWh säästö kaukolämmössä vähentää kiinteistön CO<sub>2</sub> päästöjä 34 tonnia vuodessa. Laskennallinen energiansäästö sisältää kummankin tuloilmakoneen ja poistoilmakoneen LTO-järjestelmän energiansäästön.

Taulukko 21. Energian säästö

Nykytilanne		LTO:n kanssa	
Kaukolämpö	Kustannus	Kaukolämpö	Kustannus
439 MWh/v	31 800 €/v	150 MWh/v	10 800 €/v

### 7.3 Kustannuserittely

Kustannuserittely laadittiin laitevalmistajien antamien ns. budjettihintojen ja kokemusperäisen arvioinnin mukaan. Alla olevassa taulukossa 22 on esitetty kustannuserittely. Taulukossa on avattu laiteostojen ja palveluiden kustannukset tarkemmin.

Taulukko 22. Kustannuserittely

Selite	Kustannus (€, alv 0 %)
<b>Laiteostot yhteensä</b>	<b>177 000</b>
LTO-laitteisto TK01/TK02	78 000
LTO-laitteiston asennus TK01/TK02	36 000
Tuloilmapuhaltimet TK01/TK02	5 000
Tuloilmapuhaltimien asennus TK01/TK02	5 000
IV-järjestelmien mittaustyöt TK01/TK02	2 000
Rakenteelliset työt	20 000
Sähkökeskus	10 000
Automaation alakeskus	12 000
Sähkötyöt	5 000
IV-eristyksen korjaukset	4 000
<b>Palvelut kotimaisilta PK-yrityksiltä</b>	<b>20 000</b>
LVI-suunnittelu	14 000
Sähkösuunnittelu	4 000
Rakennesuunnittelu	2 000
<b>Rahapalkat</b>	<b>2 000</b>
<b>Henkilösivukustannukset</b>	<b>1 000</b>
<b>Yhteensä</b>	<b>200 000</b>

Kustannuserittelyn tekeminen ennen varsinaista suunnittelua on haastavaa ja tässäkin tapauksessa jouduttiin kustannuksia vertaamaan saman tyyppisten projektien kustannuksiin ja takaisinmaksuaikaan. Kustannuserittely haluttiin arvioida hieman todellista suuremmaksi, jotta tukihakemuksen yhteydessä projektille varataan riittävästi varoja.

#### 7.4 Takaisinmaksulaskelma

Projektin takaisinmaksulaskelma tehtiin yksinkertaisella takaisinmaksuaikamenetelmällä jakamalla arvioidut energiansäästön hyöty kannattavuuslaskelman kokonaissummalla alla olevan yhtälön 25 mukaisesti.



$$a_{tak} = \frac{200\,000\ \text{€}}{21\,000\ \text{€/v}} = 9,5\ \text{vuotta} \quad (25)$$

Ilman avustusta hankkeen takaisinmaksuaika on 9,5 vuotta. 20 % avustuksella hankkeen kustannukset tilaajalle vähenee 160 000 €:on ja takaisinmaksuaika on vain 7,5 vuotta.

## 7.5 Hakemuksen liitteet

Business Finlandin energiatukihakemuksen liitteiksi ja tilaajaan avuksi hakemuksen täyttämistä varten laadittiin seuraavat asiakirjat:

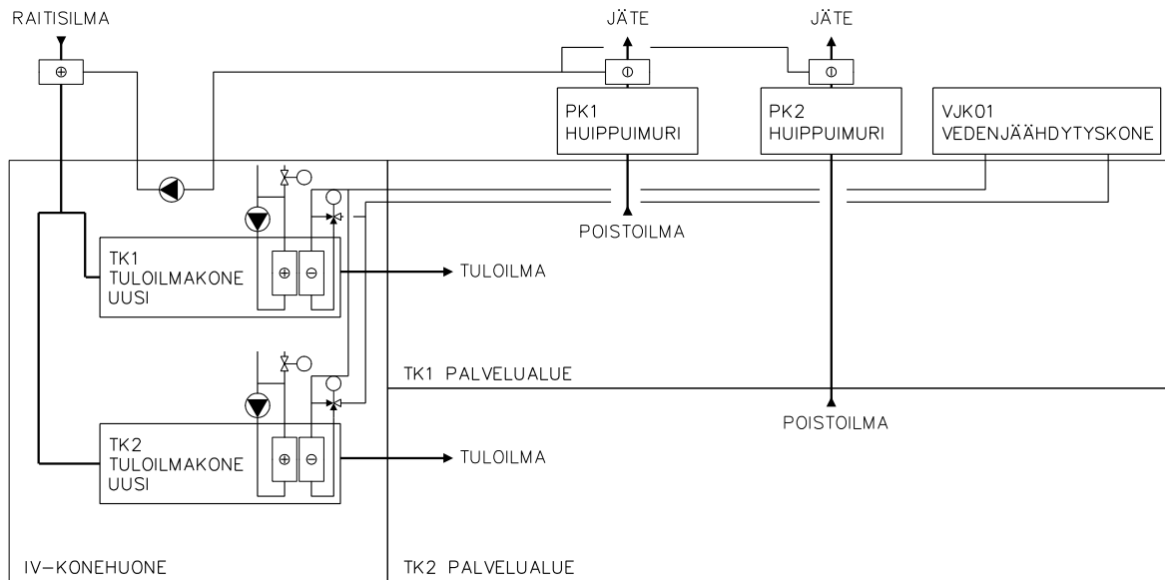
1. Arvio energiatuen vaikutuksista
2. Energiatukihakemus investointiin
3. Projektin toteutus
4. Projektisuunnitelma
5. Toimenpideselvitys
6. Selvitys laskentaperusteista
7. Kustannuserittely
8. Kannattavuuslaskelma

Liitteet 1. ja 2. ovat työ- ja elinkeinoministeriön laatimat asiakirjat, jotka täytetään asiakirjoissa olevan ohjeistuksen mukaan. Liitteet 3.-8. laadittiin itse hanketta varten. Liitteessä 3. laadittiin tilaajan avuksi varsinaisen hakemuksen täyttöä varten. Liitteessä oli tiivistetty muiden liitteiden tarkemmat kuvaukset yhteen asiakirjaan. Liitteessä 4. kuvailtiin energiatukea hakevan yrityksen toiminta ja organisaatio sekä projektin lähtötilanne ja tarkoitus. Liitteessä 5. kuvailtiin tarkemmin kiinteistön lähtötilanne ja muutokset laitekohtaisesti. Liitteessä 6. avattiin energiankulutukseen liittyvien laskelmien lähtötiedot sekä laskentaperusteet ja tulokset. Liitteessä 7. esitettiin projektin kustannuserittely. Liitteessä 8. esitettiin takaisinmaksulaskelma avustuksen kanssa ja ilman.

## 7.6 Urakkalaskentasuunnitelmat

Kun Business Finland hyväksyi energiatukihakemuksen, siirryttiin varsinaiseen suunnitteluun ja urakkalaskentasuunnitelmien valmistukseen. Tässä vaiheessa projektia oli tullut

tietoon kiinteistön ilmanvaihdon ongelmia ja automaatiolaitteiden päivityksen tarvetta, joten alkuperäisiä suunnitelmia jouduttiin hieman muuttamaan. Alla olevassa kuvassa 28 on esitetty projektin urakkalaskentasuunnitelmien muutokset. Sähkökeskuksen uusiminen todettiin tarpeettomaksi suunnitteluvaiheessa, joten se jätettiin ennalleen. Automaation alakeskus suunniteltiin silti uusittavaksi.



Kuva 28. Urakkalaskenta

Poiketen esisuunnitteluvaiheen suunnitelmista kummatkin tuloilmakoneet ja jälkilämmityspattereiden säätöryhmät päätettiin uusia. Säätöryhmien 2-tie säätöventtiilit uusittiin säädön parantamiseksi vastaamaan todellisempaa virtamaa jälkilämmityspatterille. Säätöventtiilien painehäviö valittiin vastaamaan vanhojen säätöventtiilien painehäviöitä uudella virtaamalla. Alla olevassa taulukossa 23 on esitetty säätöventtiilien muutokset. Säätöventtiilien painehäviötä ei haluttu kasvattaa, jotta järjestelmän kiertovesipumpulta ei loppuisi paineenkorotus.

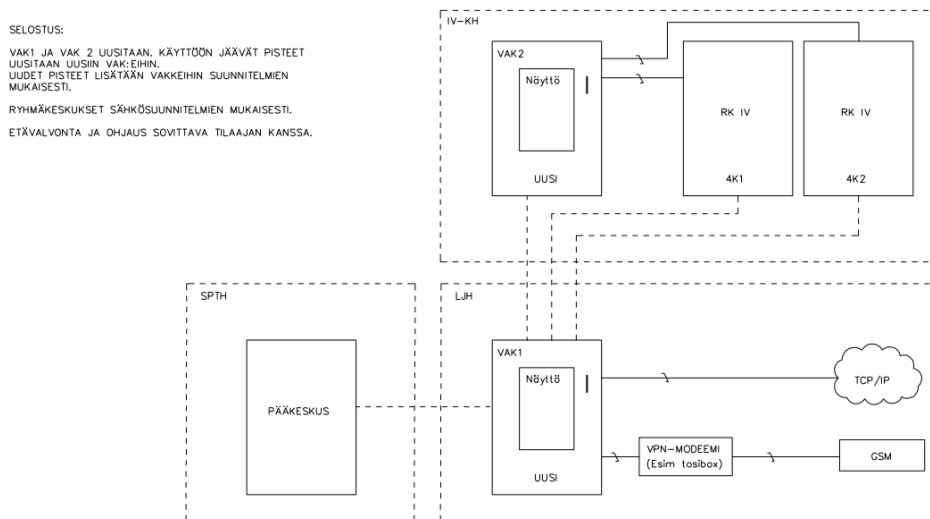
Taulukko 23. 2-tie säätöventtiilit

	Olemassa oleva	Uusi
TK01 LP Säätöventtiili	1,15 l/s / 15 kPa	0,8 l/s / 12,9 kPa
TK01 LP Säätöventtiili	0,53 l/s / 15 kPa	0,53 l/s / 9,17 kPa

Lisäksi kiinteistön jäähdytysjärjestelmä päätettiin uusia. Samalla lisättiin tuloilmakoneelle TK2 jäähdytyspatteri. Tuloilmakoneella TK1 oli jo ennestään jäähdytyspatteri.

Jäähdytysjärjestelmän uusimiseen ei saa energiatukea, mutta se oli järkevä usua samalla muita kiinteistön järjestelmiä uusittaessa.

Esisuunnitelmista poiketen IV-konehuoneessa sijaitsevat sähkökeskukset jätettiin ennalleen, mutta kiinteistön kummatkin automaation valvonta-alakeskukset uusittiin kiinteistön automaatiojärjestelmien uusimisen yhteydessä. Vanhoihin sähkökeskuksiin lisättiin tarvittavat automaatio-ohjaukset olemassa oleviin kytkimiin. Alla olevassa kuvassa 29 on esitetty projektin urakkalaskentasuunnitelmien muutokset sähkö- ja automaatiojärjestelmiin.



Kuva 29. Automaation valvonta-alakeskukset

Uusiin VAK:hin uusittiin kaikki vanhojen VAK:ien pisteet, sekä lisättiin uudet pisteet. Olemassa olevat pistelistat saatiin urakoitsijalta, joka hoitaa kiinteistön automaatiota. Uudet pisteet olivat pääasiassa uusien IV- ja LTO-laitteiden pisteitä. Automaatiolaitteiden uusimisen yhteydessä päivitettiin kiinteistön automaation epäkohtia vastaamaan todellisuutta sekä uusittiin lämmönjakokeskuksen ilmanvaihtopiirin säätöventtiili, koska sen säätö ei toiminut halutulla tavalla.

Urakkalaskentasuunnitelmien LVIA-kokonaisuus on esitetty alla olevassa taulukossa 24. Näiden lisäksi laadittiin toisen suunnittelijan toimesta sähkösuunnitelmat. Sähkömuutoksien osuus oli pieni verrattuna LVIA muutoksiin. Urakkasuunnitelmia ei esitetä tarkemmalla tasolla tässä työssä.

Taulukko 24. LVIA urakkalaskentasuunnitelmat

Nro	Suunnitelma	Sisältö
01	LVIA-Työselitys	Työselitys
02	LVI-Laiteluettelo	Uudet laitteet
03	IV-Koneajot	IV- ja VJK koneajot
04	Kyt Kentädetaljit	Lämmityspattereiden kyt Kentädetaljit
301	Ullakkokerros	IV-konehuoneen LVI tasokuva
700	Järjestelmäkaavio	RAU järjestelmäkaavio
701	LTO & Ilmanvaihtojärjestelmä	Järjestelmän automaatio- ja putkikaavio
702	Vedenjäähdytyskone	Järjestelmän automaatio- ja putkikaavio
703	IV-Erillispisteet	Erillispisteiden automaatiokaavio
704	Erillispisteet	Muut automaatiopisteet
-	Olemassa olevat IV-laitteet	Vanhat IV-suunnitelmat

### 7.7 Urakkatarjoukset ja kustannusseuranta

Urakkatarjouksia kohteeseen saatiin vain kahdelta urakoitsijalta. Urakoitsija A:n tarjous oli 355 800 € (ALV 0 %) ja urakoitsija B:n tarjous oli 258 100 € (ALV 0 %). Urakkatarjoukset eivät olleet täysin verrattavissa toisiinsa, koska urakoitsijan B:n tarjous ei sisältänyt muita pieniä LVIA-töitä, jotka eivät liittyneet kiinteistön energia-avustukseen, joita oli määritetty urakkalaskentamateriaaleihin. Näiden työn arvioitu rahallinen osuus oli kuitenkin niin pieni, että urakoitsijan B:n tarjous jäi silti huomattavasti edullisemmaksi kuin urakoitsijan A:n tarjous. Näin olleen hankkeeseen valikoitiin urakoitsija B.

Urakoitsija B:n tarjouksessa käytettävät LTO- ja IV-laitteistot olivat eri kuin urakkalaskentasuunnitelmissa määritellyt, mutta niiden toimintaperiaatteet ja hyötysuhteet olivat samaa luokkaa kuin suunnitelmissa määritellyt. Täten laitteiston vaihdolla ei ollut vaikutusta hankkeen energiatehokkuuteen. Tarjous sisälsi myös jäähdytysjärjestelmän uusimisen, josta ei ollut mahdollista saada energia-avustusta. Jäähdytysjärjestelmän osuus tarjouksesta oli 69 900 € (ALV 0 %), joten energia-avustuksen piiriin jäävän urakan osuus oli 188 200 € (ALV 0 %).

Urakkatarjoukseen ei sisällynyt sähkö-, automaatio- tai rakennustöitä. Nämä työt oli sovittu hoidettavan erillisurakkana tuntitöinä tilaajan hankintana. Edellä mainittujen töiden osuus on pieni verrattuna IV- ja LTO-laitteiston uusimiseen. Mutta koska kyseisiä töitä ei kilpailutettu kiinteähintaisina urakkoina niiden osuus oli arvioitava tässä vaiheessa projektia, jotta projektin kustannuksia voitaisiin seurata.

Projektin kokonaiskustannuksiksi oltiin arvioitu 200 000 €, josta 188 200 €:n urakkatarjouksen jälkeen tästä jäi vain 11 800 € jäljelle. Vaikka edellä mainitut tuntityönä suoritettavat työt ovat vähäisiä kokonaisurakkaan nähden on oletettavaa, että töiden osuus kasvaa yli 11 800 €:n. Alkuperäisessä kustannuserittelyssä sähkö-, automaatio- ja rakennustöiden osuus oli yhteensä 37 000 € (ALV 0 %), joten projektin kustannukset ylittyisi arviolta 25 200 €:lla (ALV 0 %). Arvioitujen kustannuksien ylitys selittyy kustannuksien arvioiden vaikeudesta epävarmojen esitietojen vuoksi ja materiaalikustannuksien nousulla.

## 7.8 Hakemuksen muutokset

Koska projektin kustannusarvio ylittyi urakkalaskentavaiheessa, oli hakemukseen tehtävä muutoksia, jotta avustuksella saataisiin tilaajan kustannuksia pienennettyä. Hakemukseen alkuperäisistä liitteistä seuraavat päivitettiin:

3. Projektin toteutus
5. Toimenpideselvitys
6. Selvitys laskentaperusteista
7. Kustannuserittely
8. Kannattavuuslaskelma

Liitteeseen 3. päivitettiin projektiin toteutukseen liittyvät muutokset ja investoinnin takaisinmaksuaika. Liite 3. toimii tilaajan apuna hakemuksen täyttämässä, joten siihen on koottu liitteisiin 5. ja 8. päivitetty toimenpideselvitys ja kannattavuuslaskelman tulokset. Liitteeseen 6. päivitettiin kustannuksien nousujen syyt sekä laitteiston arvioitu vuosihyöty-suhte. Liitteeseen 7. päivitettiin projektin uudet arvioidut kustannukset.

Kokonaiskustannukset arvioitiin nousevan 200 000 €:sta 260 000 €:on. Kustannukset arvioitiin niin suureksi kuin mahdollista takaisinmaksuajan pysyessä avustuksen kanssa alle 10

vuodessa. Näin mahdollistettiin muihin yllättäviin muutoksiin, kuten rakenteellisten muutoksien yllätyksiin, varautuminen. Avustuksen osuus nousi täten 40 000 €:sta 52 000 €:oon.

Muutoshakemuksen päivitettyt liitteet ladattiin Business Finlandin asiointipalveluun. Tämän diplomityön toteuttamisaikataulun puitteissa Business Finlandin hyväksyntää tai hylkäystä muutoshakemukseen ei kuulu.

## 7.9 Jälkiseuranta

Tämän diplomityön toteuttamisaikataulun puitteissa ei projektin jälkiseurantaa ollut mahdollista tehdä urakkatarjouksia pidemmälle. Projektin kustannuksien seuranta jatketään kuitenkin projektin edetessä pidemmälle.

Suurin jälkiseurannan kohta, eli kiinteähintaiset urakkatarjoukset IV- ja LTO-järjestelmälle, saavutettiin kuitenkin diplomityön toteuttamisaikataulun aikana. Seuraavaksi suurin riskitekijä kustannuksille on mahdolliset rakenteelliset yllätykset hankkeessa, joiden kustannuksia on seurattava tarkemmin. Projektin muutoshakemuksen kustannusarvioissa oltiin kuitenkin jätetty näillekin muutoksille varaa.

## 8 Johtopäätökset

Työn tarkoituksena oli selvittää toimitilojen tyypillisiä LVI-taloteknisiä järjestelmiä, niiden energiatehokkuusparannuksien potentiaaleja, parannuksien takaisinmaksuajan laskemista sekä nykyisten energiatukien hakemusprosesseja. Työ jakautui kirjallisuusosuuteen, jossa käsiteltiin energian hintaa, toimitilojen talotekniikkaa ja niiden tyypillisimpiä energiatehokkuusparannuksien kohteita, investointilaskelmaan sekä Business Finlandin energiatukeen, ja tehtäväosaan, jossa käsiteltiin Case toimistotalo energiatehokkuusprojekti.

### 8.1 Energiatehokkuuspotentiaalit, investointilaskelma ja energiatuki

Kirjallisuusosuudessa käsiteltiin laajasti LVI-talotekniikkaa energiakäytön näkökulmasta sekä energiatehokkuuteen liittyviä asetuksia ja säädöksiä. Jokaisen tulevaisuuden energiatehokkuusprojektin ollessa erilainen ei aluetta voitu rajata liikaa keskittymällä pelkästään tiettytyypisiin ratkaisuihin tai tekniikoihin. Isoimmaksi säästöpotentiaalin kohteeksi nousi kuitenkin ilmanvaihdon lämmöntalteenoton ratkaisut. Kaikissa järjestelmissä kuitenkin löytyi merkittäviä säästöpotentiaalin kohteita, kun huomioidaan laitteiden tekniset käyttöiät, jotka vaihtelivat yleensä 20...25 vuoden välillä. Säästöpotentiaalit täytyy huomioida niin uudis- kuin saneerausprojekteissa.

Kirjallisuusosuudessa käsiteltiin myös investointilaskelmaa ja Business Finlandin energiatukea. Jo työn kirjallisuusvaiheessa investointilaskelman kustannusarvio havaittiin isoimmaksi riskitekijäksi takaisinmaksua laskettaessa. Kustannusarvion tekeminen on erittäin haastavaa, jos tiedossa ei ole aikaisempien vastaavien projektien toteutuneita kustannuksia tiedossa tai, jos projektissa ei ole mukana urakoinnin asiantuntijaa. Jokainen projekti on kuitenkin erilainen, joten vaikka käytössä olisi aikaisempien projektien kustannukset tai urakoinnin asiantuntija, piilee projektien kustannusarviossa silti suuri riski.

Etenkin Business Finlandin avustushakemuksia tehdessä riski on suuri, koska avustushakemus on tehtävä ennen varsinaista suunnittelua, joten muutokset avustushakemuksen jälkeen projektisuunnitelmassa ja investointilaskelmassa on mahdollisia. Business Finlandin tuki mahdollistaa kuitenkin muutokset, kunhan ne tehdään ennen projektin varsinaisia

investointeja. Kaikkia muutoksia, etenkin kustannusarvioin osalta ei kuitenkaan myönnetä, joten investoinnin kustannusarvio on parempi arvioida mahdollisimman suureksi huomioiden kuitenkin, että takaisinmaksuajan on pysyttävä kohtuuden rajoissa. Tarkoittaen käytännössä, että takaisinmaksuaika ei saa ylittää 10 vuotta avustuksen kanssa. Takaisinmaksuaikaa laskettaessa on hyvä myös huomioida, että reaalikoron lisääminen laskentaa suurentaa takaisinmaksuaikaa. Toisin sanoen, kun avustuksia haetaan, on reaalikorko parempi jättää huomioimatta, jotta avustuksen osuus pysyy mahdollisimman suurena.

Joissakin tapauksissa energiatehokkuusprojekti voi olla taloudellisesti kannattava ilman avustusta. Näissä tapauksissa on kuitenkin pidettävä mielessä, että Business Finland ei myönnä avustusta, jos hanke on mahdollista tehdä ilman avustusta. Eli avustuksen saannin edellytyksenä on se, että hanketta ei ole mahdollista käynnistää ilman avustusta.

## 8.2 Case toimistotalo

Case toimistalon energiatehokkuusprojekti käsitti kiinteistön IV-koneiden uusimisen ja niiden LTO-järjestelmän lisäämisen, sekä Business Finlandin avustushakemuksen liitteiden luomisen. Lähtötietojen suhteen projektin energiakulutuksen laskentaa yksinkertaistettiin käyttöaikojen ja energian hinnan arvioinnin suhteen. Kaikki laskelmat esitettiin kuitenkin avoimesti Business Finlandin avustuksen liitteissä, jotta hakemuksen jälkiseurantavaiheessa ei nousisi odottamattomia yllätyksiä.

Projektin kustannuserittely nousi haasteeksi projektin edetessä suunnitteluvaiheesta urakkatarjouksiin. Alkuperäinen 200 000 € (ALV 0 %) kustannusarvio oli liian pieni urakkatarjouksiin nähden. Edullisimman urakkatarjouksen energiatukeen kuuluva osuus oli 188 200 € (ALV 0 %). Tämä ei sisältänyt sähkö-, automaatio ja rakennustöitä, joten oli oletettavissa, että kustannukset nousisivat yli 200 000 €:n.

Alkuperäisissä laskelmissa takaisinmaksuaika ilman tukea oli 9,5 vuotta ja tuen kanssa 7,5 vuotta. Tämä takia kustannusarvioita päätettiin nostaa 200 000 €:sta 260 000 €:oon, jolloin takaisinmaksuaika ilman tukea oli 12,4 vuotta ja tuen kanssa 9,9 vuotta. Näin takaisinmaksuaika pysyi vielä alle 10 vuodessa tuen kanssa, ja kustannusarvioon jäi vielä hyvin puskuria muihin muutoksiin sekä mahdollisiin yllätyksiin. Business Finlandin asiointipalveluun päivitettiin tarvittavat liitteet, mutta hyväksyntää muutoksiin ei tämän työn aikataulun puitteissa



saatu. Projektin taloudellista seuranta ei myöskään voitu tehdä urakkalaskentatarjouksia pidemmälle. Projektin seuranta, etenkin kustannuksien ja aikataulun osalta, jatkuu kuitenkin projektin edetessä.

Case toimistotalon energiakulutuksien ja takaisinmaksuajan laskelmien ja Business Finlandin hakemuksen liitteiden avulla voitiin kehittää eteenpäin kyseisiä laskelmia ja liitteitä seuraavia projekteja varten. Projekti toimikin hyvänä ensikosketuksena energiasaneerauksien arviointiin ja sen avulla havaittiin isoimmat riskit energiaprojekteissa sekä saatiin luotua hyvät laskenta- sekä avustushakemuksien liitepohjat tulevaisuutta varten.

### 8.3 Yhteenveto

Tämä työ toimii hyvänä materiaalina henkilölle tai yritykselle, jolla ei ole kokemusta energiasaneerauksista. Työn laajuuden puitteissa ei voitu käsitellä kaikkia mahdollisia tapauksia eri projekteissa, mutta työn avulla pääsee hyvin käsiksi taloteknisten energiasaneerauksien ja niiden avustuksien pääperiaatteisiin.

Energiatehokkuuden ja LVI-tekniikan ratkaisujen kulkiessa käsikädessä ei toisesta voida puhua ilman toista. Energiasäästöjä tavoitellessa on olemassa riski, että LVI-tekniikkaa muutetaan siten, että se ei enää täytä olemassa olevia asetuksia tai ohjeita. Tämän takia energiasaneerauksia tekevän henkilön tai projektiryhmän on oltava tietoinen niin energiasäästöjen mahdollisuuksista kuin LVI-tekniikan vaatimuksista.

Jatkotutkimuksen ja -kehityksen aiheena työn tutkimuksesta talotekniikkaan liittyen jäi automaatio- ja sähköjärjestelmien vaikutukset rakennuksen energiankulutukseen. Työn merkittävyys laajemmassa mittakaavassa on nyky maailman tilanteeseen peilattuna merkittävä, energiahintojen noustessa ja ympäristöarvojen merkittävyyden kasvaessa yhteiskunnassa. Työn vaikuttavuus apumateriaalina energiasaneerauksien käytännön toteutuksessa, avustuksien hakemisessa ja niiden liitteiden luomisessa sekä energiasäästöpotentiaalien vaikutuksessa on mittava.

## Lähteet

1009/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta, 2017

1010/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta, 2017

1098/2017 Valtioneuvoston asetus energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista vuosina 2018-2022, 2017

1253/2014 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/125/EY täytäntöönpanosta ilmanvaihtokoneiden ekologisen suunnittelun vaatimusten osalta, 2014

2/17 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta, 2017

2014/1429 Energiatehokkuuslaki, 2014

4/13 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä, 2013

718/2020 Ympäristöministeriön asetus eräiden rakennuksen teknisten järjestelmien energiatehokkuuden vaatimuksista, 2020

733/2020 Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä, 2020

Aho Ilari, Klementti Esa, Hyvärinen Kalevi, Reinikainen Erja, Hara-Lindström Eeva, Sainia Sakari, Tattari Kai, Tähti Esko, Tähti Jussi, Talotekniikan Elinkaaritarkastelut, Forssan Kirjapaino, 2001, ISBN 952-5411-07-09.

Business Finland. [verkkoaineisto]. [viitattu 29.9.2022]. Saatavissa: <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>

Energia, Kaukolämmön hinta. [verkkoaineisto]. [viitattu 2022-06-13 a] Saatavissa: [https://energia.fi/energiasta/asiakkaat/kaukolammon\\_asiakkuus/kaukolammon\\_hinta](https://energia.fi/energiasta/asiakkaat/kaukolammon_asiakkuus/kaukolammon_hinta)

Energia, Sähkön hinta. [verkkoaineisto]. [viitattu 2022-06-13 b]. Saatavissa: [https://energia.fi/energiasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon\\_hinta](https://energia.fi/energiasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon_hinta)

Energia 2021-taulukkopalvelu, taulukko 4.1. [verkkoaineisto]. [viitattu 3.6.2022]. Saatavissa: [https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset\\_julkaisut/energia2021/html/suom0003.htm](https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2021/html/suom0003.htm)

Energiamailma. [verkkoaineisto]. [viitattu 3.6.2022]. Saatavissa: <https://energiamaailma.fi/energiasta/energiantuotanto/>

Energiatehokkaat pumput, Motiva, 2011, Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ajankoh-taista/julkaisut/kaikki\\_julkaisut/energiatehokkaat\\_pumput.9236.shtml](https://www.motiva.fi/ajankoh-taista/julkaisut/kaikki_julkaisut/energiatehokkaat_pumput.9236.shtml)

Energiavirasto. [verkkoaineisto]. [päivitetty 1.9.2022]. [viitattu 19.9.2022]. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>

Energiavuosi 2021 Sähkö. [verkkoaineisto]. [päivitetty 12.1.2022]. [viitattu 3.6.2022]. Saatavissa: <https://energia.fi/tilastot/sahkotilastot>

Eurooppa-neuvosto. [verkkoaineisto]. [päivitetty 3.6.2022] [viitattu 3.6.2022]. Saatavissa: <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>

Grundfos. [verkkoaineisto]. [viitattu 2022-06-14]. Saatavissa: <https://product-selection.grundfos.com/fi/products/magna/magna3/magna3-32-120-f-97924259?tab=variant-curves>

Hakala Petri, Kaappola Esko, Kylmälaitoksen suunnittelu, 3. painos, Opetushallitus, 2013, ISBN 978-952-13-5360-4.

Heinonen Jarkko, Holmberg Rolf, Hyvärinen Kalevi, Hänninen Reijo, Jokinen Liisa, Kauppila Kari, Keinonen Pauli, Koivula Urpo, Koskela Hannu, Koskinen Erkki, Kosonen Risto, Laine Tuomas, Liljeström Kimmo, Lönnström Jyrki, Mustakallio Panu, Mäkinen Pekka, Nykvist Ari, Paasio Ilkka, Pessi Pekka, Pettersson Henrik, Pihlajamaa Pirkko, Railio Jorma, Rantama Markku, Ripatti Harri, Sahlsten Toivo, Sandberg Esa, Silvan Jari, Sundman Tom L., Säteri Jorma, Tammivaara Heikki, Valkeapää Aki, Vuolle Mika, Sandberg Esa. Ilmastointiteknikka Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Talotekniikka-Julkaisut Oy, 2014, ISBN 978-952-99770-6-2.

Heinonen Jarkko, Holmberg Rolf, Hyvärinen Kalevi, Hänninen Reijo, Jokinen Liisa, Kaupila Kari, Keinonen Pauli, Koivula Urpo, Koskela Hannu, Koskinen Erkki, Kosonen Risto, Laine Tuomas, Liljeström Kimmo, Lönnström Jyrki, Mustakallio Panu, Mäkinen Pekka, Nykvist Ari, Paasio Ilkka, Pessi Pekka, Pettersson Henrik, Pihlajamaa Pirkko, Railio Jorma, Rantama Markku, Ripatti Harri, Sahlsten Toivo, Sandberg Esa, Silvan Jari, Sundman Tom L., Säteri Jorma, Tammivaara Heikki, Valkeapää Aki, Vuolle Mika, Sandberg Esa. Ilmastointitekniikka 2: Ilmastointilaitoksen mitoitus, Talotekniikka-Julkaisut Oy, 2014 b, ISBN 978-952-99770-7-9.

Honeywell, HS10S paineenalennusventtiili-suodatinyhdistelmä-esite, Honeywell, 2009.

Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas, Motiva, 2011, Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatodistusneuvonta/energiatodistusten\\_laajitus/energiatodistusten\\_laskentaohjeet\\_2018](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatodistusneuvonta/energiatodistusten_laajitus/energiatodistusten_laskentaohjeet_2018)

Jradi, M., Veje, C.T., Jørgensen, B.N. A dynamic energy performance-driven approach for assessment of buildings energy Renovation—Danish case studies. *Energy and buildings* 158, 62-76, 2018.

Kaukolämpö 2020 graafeina [verkkoaineisto]. [päivitetty 3.1.2022]. [viitattu 19.9.2022]. Saatavissa: <https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukolampotilasto.html#material-view>

Kaukolämpötilasto 2020, Energiateollisuus ry, 2022 ISSN 0786-4809. Saatavissa: <https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukolampotilasto.html#material-view>

Knuutila, M., Kosonen, A., Jaatinen-Värri, Petteri Laaksonen. Profitability comparison of active and passive energy efficiency improvements in public buildings. *Energy Efficiency* 15, 38, 2022.

LVI 05-10629 Sisäilmastoluokitus 2018, Rakennustietosäätiö, 2018.

LVI 12-10126 Lämmitysverkoston säätöventtiilin mitoitus, Rakennustietosäätiö, 1989.

LVI 30-10529 Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP, Rakennustietosäätiö, 2013.

LVI 38-10454 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto, Rakennustietosäätiö, 2010.

LVI 38-10515 ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta, Rakennustietosäätiö, 2012.

LVI RakMK Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Rakennustietosäätiö, 2015.

Motiva. [verkkoaineisto]. [päivitetty 1.11.2022]. [viitattu 26.11.2022]. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kestavat\\_julkiset\\_hankinnat/tietopankki/rakentaminen\\_ja\\_rakennukset](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/rakentaminen_ja_rakennukset)

Motiva. [verkkoaineisto]. [päivitetty 10.11.2021]. [viitattu 7.6.2022]. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/hyva\\_arki\\_kotona/vedenkulutus](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/vedenkulutus)

Neilimo Kari, Uusi-Rauva Erkki, Johdon laskentatoimi, 6.-11. painos, Edita Publishing Oy, 2012, ISBN 978-951-37-4109-9.

Oinonen Teemu, Soimakallio Sampo, HFC- ja PFC-yhdisteiden sekä SF<sub>6</sub>:n päästöjen tekniset vähentämiskeinot ja niiden kustannukset suomessa, Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), 2001, ISBN: 951-38-5900-1.

Seppänen Olli, Rakennusten lämmitys, 2. painos, Suomen LVI-liitto ry, 2001, ISBN-951-98811-0-7.

Rahoitusehdot, Business Finland, 1.1.2022, Saatavissa: <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>

Rakennusten kaukolämmitys 2021, Määräykset ja ohjeet, Julkaisu K1/2021, Energiateollisuus ry, 2021.

RT 18-10922 Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot, Rakennustietosäätiö, 2008.

SFS-EN 15232 Rakennusten energiatehokkuus. Osa 1: Kiinteistöautomaation, ohjauksen ja kiinteistönhallinnan vaikutus, 2017

Talotekniikkainfo. Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas, päivitetty 11.6.2021. Talotekninen teollisuus ja kauppa ry. Saatavilla: <https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas>

Tilastokeskus. [verkkoaineisto]. [päivitetty 16.12.2021]. [viitattu 3.6.2022]. Saatavissa: [https://tilastokeskus.fi/til/ehk/2020/ehk\\_2020\\_2021-12-16\\_tie\\_001\\_fi.html](https://tilastokeskus.fi/til/ehk/2020/ehk_2020_2021-12-16_tie_001_fi.html)

Tilastokeskus. [verkkoaineisto]. [viitattu 28.11.2022]. Saatavissa: [https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus.html](https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html)

Työ- ja elinkeinoministeriö a. [verkkoaineisto]. [viitattu 3.6.2022]. Saatavissa: <https://tem.fi/energia-ja-ilmastostrategia>

Työ- ja elinkeinoministeriö b. [verkkoaineisto]. [päivitetty 18.2.2022] [viitattu 3.6.2022]. Saatavissa: <https://tem.fi/-/hiisi-jatkoselvitys-antaa-vankan-tietopohjan-hallituksen-ilmasto-suunnitelmille-ja-niiden-vaikutusarvioille>

Vero. [verkkoaineisto]. [päivitetty 1.7.2022]. [viitattu 19.9.2022]. Saatavissa: <https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/valmisteverotus/sahkovero/>

Ympäristöministeriö. [verkkoaineisto]. [viitattu 3.6.2022]. Saatavissa: <https://ym.fi/hiili-neutraalisuomi2035>

## Liite 1. Säättiedot kuukausittain säävyöhykkeellä 1...4 (1009,2017, Liite 1 2-5)

*Taulukko L1.2. Säättiedot kuukausittain säävyöhykkeellä I ja II. Helsinki-Vantaa.*

Kuukausi	Ulkoilman keskilämpötila, $T_u$ , °C	Auringon kokonaissätei- lyenergia vaakatasolle, $G_{\text{säteily, vaakapinta}}$ , kWh/m <sup>2</sup>
Tammikuu	-3,97	6,2
Helmikuu	-4,50	22,4
Maaliskuu	-2,58	64,3
Huhtikuu	4,50	119,9
Toukokuu	10,76	165,5
Kesäkuu	14,23	168,6
Heinäkuu	17,30	180,9
Elokuu	16,05	126,7
Syyskuu	10,53	82,0
Lokakuu	6,20	26,2
Marraskuu	0,50	8,1
Joulukuu	-2,19	4,4
Koko vuosi	5,57	975

*Taulukko L1.3. Säättiedot kuukausittain säävyöhykkeellä III. Jyväskylä.*

Kuukausi	Ulkoilman keskilämpötila, $T_u$ , °C	Auringon kokonaissätei- lyenergia vaakatasolle, $G_{\text{säteily, vaakapinta}}$ , kWh/m <sup>2</sup>
Tammikuu	-8,00	5,4
Helmikuu	-7,10	20,1
Maaliskuu	-3,53	51,9
Huhtikuu	2,42	102,9
Toukokuu	8,84	171,4
Kesäkuu	13,39	159,1
Heinäkuu	15,76	158,2
Elokuu	13,76	113,9
Syyskuu	9,18	71,1
Lokakuu	4,07	25,3
Marraskuu	-1,76	7,3
Joulukuu	-5,92	3,2
Koko vuosi	3,43	890

*Taulukko L1.4. Säättiedot kuukausittain säävyöhykkeellä IV. Sodankylä.*

Kuukausi	Ulkoilman keskilämpötila, $T_u$ , °C	Auringon kokonaissätei- lyenergia vaakatasolle, $G_{\text{säteily, vaakapinta}}$ , kWh/m <sup>2</sup>
Tammikuu	-13,06	1,4
Helmikuu	-12,62	13,6
Maaliskuu	-6,88	48,0
Huhtikuu	-1,56	121,0
Toukokuu	5,40	128,1
Kesäkuu	13,03	154,2
Heinäkuu	14,36	146,4
Elokuu	12,06	94,5
Syyskuu	6,60	63,7
Lokakuu	0,15	16,6
Marraskuu	-6,78	3,0
Joulukuu	-10,08	0,2
Koko vuosi	0,05	791