



LVI-tekniisten järjestelmien elinkaarikustannusten vertailu

Laskentatyökalu saneerauskohteisiin

Tuukka Järvenpää

Opinnäytetyö, ylempi AMK

Marraskuu 2022

Rakennustekniikka (YAMK), vähähiilinen rakentaminen

Järvenpää, Tuukka

LVI-tekniisten järjestelmien elinkaarikustannuksien vertailu. Laskentatyökalu saneerauskohteisiin

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Marraskuu 2022, 78 sivua

Tekniikan ala. Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, vähähiilinen rakentaminen. Opinnäytetyö YAMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Suomen hallitus on linjannut, että Suomen tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Tavoitteeseen pääsy edellyttää nopeita päästövähennyksiä kaikilla sektoreilla. Suomessa rakennusten osuus energian loppukäytöstä on noin 40 % ja kasvihuonekaasupäästöistä noin 30 %. Suurin osuus rakennusten päästöistä syntyy käytön aikaisesta energiankulutuksesta. Suomen pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia asettaa tavoitteeksi, että vuoden 2020 alkuun mennessä valmistuneiden asuin- ja palvelurakennusten hiilidioksidipäästöjä vähennetään vuoden 2020 alusta 90 % vuoteen 2050 mennessä. Strategian yksi kolmesta keskeisestä linjauksesta on energiatehokkuuden parannukset korjaustoimien ja kunnossapidon yhteydessä. Rakennusten energiatehokkuus on myös yksi kestävän rakentamisen pääperiaatteista.

Kestävän rakentamisen pääperiaatteiden tuominen osaksi rakennushanketta on tärkeässä osassa ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. Kestävällä rakentaminen vastuullista ja sillä pyritään tuottamaan muun muassa rakennuksia, jotka ovat pitkäikäisiä sekä energia- ja ympäristötehokkaita. Tärkeää on myös ottaa huomioon resurssitehokkuus ja kustannukset rakennuksen koko elinkaaren ajalta. Tavallisesti investointikustannukset ohjaavat rakennushankkeen päätöksentekoa. Investointivaiheen kustannukset ovat kuitenkin vain pieni osa kokonaisuutta, kun tarkastellaan koko kiinteistön elinkaarta. Kustannusten laskennan painopisteen siirtäminen koko kiinteistön elinkaareen on olennainen osa kestävän rakentamisen periaatetta. Kiinteistön energiankäytön kannalta LVI-tekniiset järjestelmät ovat keskiössä korjausrakentamiskohteita suunniteltaessa.

Työn tavoitteena oli luoda Excel-pohjainen elinkaarikustannusvertailutyökalu korjausrakentamiskohteiden LVI-järjestelmien valinnan tueksi. Työkalu suunniteltiin Rejlers Finland Oy:n rakentamisen toimialan LVI-suunnittelijoiden käyttöön. Tavoitteita työkalulle oli, että se on helposti ja nopeasti käytettävä. Työkalun avulla on tarkoitus helpottaa ja nopeuttaa LVI-suunnittelijan suunnitteluprosessissa tehtäviä päätöksiä korjausrakentamiskohteiden hankesuunnitteluvaiheessa.

Laskentaohjelman toteuttamisen tukena opinnäytetyössä tarkasteltiin elinkaarikustannuslaskennan teoriaa, rakennuksien energiankulutuksen laskennan teoriaa, keskeisimpiä korjausrakentamisessa toteutettavia taloteknisiä energiatehokkuuteen vaikuttavia järjestelmiä sekä LVI-tekniisten järjestelmien kustannuksia. Työn tietoperusta pohjautui aikaisempaan tietoon, tutkimuksiin, teoriaan ja haastatteluihin.

Avainsanat (asiasanat)

elinkaari, investoinnit, korjausrakentaminen, lvi-tekniikka

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

Järvenpää, Tuukka

Life cycle cost comparison of HVAC systems. Calculation tool for renovation projects.

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, November 2022, 78 pages.

Engineering and technology. Master's Degree Programme in Civil Engineering. Masters's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The Finnish government has stated that Finland's goal is to be carbon neutral by the end of 2035. Reaching the target requires rapid emission reductions in all sectors. In Finland buildings account for approximately 40% of energy end use and approximately 30% of greenhouse gas emissions. The largest share of emissions from buildings comes from energy consumption during use. Finland's long-term renovation construction strategy sets the goal: the carbon dioxide emissions of residential and service buildings completed by the beginning of 2020 will be reduced by 90% from the beginning of 2020 to 2050. One of the three central lines of the strategy is energy efficiency improvements in connection with repairs and maintenance. The energy efficiency of buildings is also one of the main principles of sustainable construction.

Bringing the main principles of sustainable construction into the construction project is an important part of slowing down the climate change. Sustainable construction is responsible and aims to produce among other things buildings that are long-lasting and energy and environmentally efficient. It is also important to take into account resource efficiency and costs over the entire life cycle of the building. Usually, the investment costs guide the decision-making of the construction project. However the costs of the investment phase are only a small part when looking at the entire life cycle of the property. Changing the focus of cost calculation to the entire life cycle of the property is an essential part of the principle of sustainable construction. In terms of the property's energy use HVAC technical systems are at the center of the design of renovation projects.

The goal of the work was to create an Excel-based life cycle cost comparison tool to support the selection of HVAC systems for renovation projects. The tool was designed for use by HVAC designers in the construction industry of Rejlers Finland Oy. The goals for the tool were that it is easy and quick to use. The purpose of the tool is to facilitate and speed up the decisions made in the HVAC designer's design process during the project planning phase of early planning stage.

To support the implementation of the calculation program, the thesis examined the theory of life cycle costing the theory of calculating the energy consumption of buildings, the most important building technical systems that affect energy efficiency implemented in renovation construction and the costs of HVAC technical systems. The knowledge base of the work was based on previous information, studies, theory and interviews.

Keywords/tags (subjects)

life cycle, investments, renovation building, hvac and plumbing technology

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

1	Johdanto	5
1.1	Opinnäytetyön tausta	5
1.2	Opinnäytetyön toimeksiantaja, tavoitteet ja rajaukset	6
1.3	Opinnäytetyön tutkimus- ja aineistonkeruumenetelmät	7
2	Elinkaarikustannusten laskenta	7
2.1	Elinkaarikustannuslaskennan yleiset periaatteet ja historia	7
2.2	Rakennuksen elinkaaren vaiheet	9
2.3	Rakennuksen LCC-laskelmien kustannusten muodostuminen	11
2.3.1	Investointikustannukset	11
2.3.2	Uusimis-, kunnossapito- ja huoltokustannukset	13
2.3.3	Energiakustannukset	14
2.3.4	Ympäristökustannukset	18
2.3.5	Jäännösarvo	18
2.3.6	Laskentajakson pituus.....	19
2.3.7	Laskennan korkokannat.....	19
2.4	Elinkaarikustannusten investointilaskentamenetelmät	20
2.4.1	Laskentamenetelmät yleisesti	20
2.4.2	Nykyarvomenetelmä	21
2.4.3	Annuiteettimenetelmä	22
2.4.4	Takaisinmaksuajan menetelmä	23
2.4.5	Sisäisen korkokannan menetelmä.....	23
2.5	Herkkyysanalyysi	24
3	Laskentaohjelman toteutus	25
3.1	Laskentaohjelman rakenne	25
3.1.1	Lähtötiedot -välilehti	26
3.1.2	Vaihtoehto 1- ja Vaihtoehto 2 -välilehdet	26
3.1.3	Kannattavuuksien verailu -välilehti	28
3.2	Energiankulutuksen laskennan totuttaminen laskentaohjelmassa	29
3.2.1	Energiankulutuksen laskennan toteuttaminen laskentaohjelmassa.....	29
3.3	Kustannusten laskenta	32
3.3.1	Investointikustannusten laskenta ohjelmassa	32
3.3.2	Uusimis-, kunnossapito- ja huoltokustannusten laskenta ohjelmassa	34
3.3.3	Energiakustannusten laskenta ohjelmassa.....	35

3.3.4	Muiden kustannusten huomiointi ohjelmassa	36
3.4	Laskentaohjelmaan valitut järjestelmät.....	36
3.4.1	Perustelut järjestelmävalinnoille	36
3.4.2	Ohjelmaan valittujen lämmityksentuottojärjestelmien teoriaa.....	40
3.4.3	Ohjelmaan valittujen ilmanvaihtojärjestelmien teoriaa	52
3.4.4	Ohjelmaan valittujen jäähdytyksentuottojärjestelmien teoriaa	57
4	Mallilaskelmat laskentatyökalulla	61
4.1	Kerrostalo vuodelta 1970.....	61
4.1.1	Rakennuksen lähtötiedot kerrostalo	61
4.1.2	Laskelmien lähtötiedot kerrostalo.....	61
4.1.3	Laskelmat ja tulokset kerrostalo.....	63
4.2	Toimistotalo vuodelta 2006	66
4.2.1	Rakennuksen lähtötiedot toimistotalo	66
4.2.2	Laskelmien lähtötiedot toimistotalo	67
4.2.3	Laskelmat ja tulokset toimistotalo	67
5	Pohdinta.....	71
	Lähteet	74
	Liitteet	78
	Liite 1. Laskentaohjelman ”Lähtötiedot” -välilehti	78
 Kuviot		
	Kuvio 1. Rakennuksen elinkaaren tyypilliset vaiheet.....	10
	Kuvio 2. Rakennuksen ikääntymisestä johtuva kunnan heikkeneminen ja toimenpiteet.	11
	Kuvio 3. Esimerkki rakennusosahinnoittelun taulukosta.....	12
	Kuvio 4. Haahtela-tarjoushintaindeksin kehittyminen.	13
	Kuvio 5. Ote talotekniikan käyttöikä ja kunnossapitopakkeista RT-ohjekortista.	14
	Kuvio 5. Ruudunkaappaus laskentaohjelman lähtötiedot -välilehdeltä.	26
	Kuvio 6. Ruudunkaappaus laskentaohjelman Vaihtoehto 1 -välilehdeltä.....	27
	Kuvio 7. Ruudunkaappaus laskentaohjelman vaihtoehto 1 -välilehden kustannustaulukosta..	27
	Kuvio 8. Ruudunkaappaus kannattavuuksien vertailu -välilehden lähtötietotaulukosta.....	28
	Kuvio 9. Ruudunkaappaus laskentaohjelmasta. Laskennan tulokset -taulukko.....	29
	Kuvio 10 Ruudunkaappaus laskentaohjelmasta. Kumulatiiviset kokonaiskustannukset -kaavio.	29
	Kuvio 11. Rakennuksen energiankuutuksen laskennan vaiheet.....	17
	Kuvio 12. Käyttöveden energiankulutus aputaulukko laskentaohjelmasta.	30
	Kuvio 14. Lämmönuoton ohjearvotaulukko laskentaohjelmasta.	31

Kuvio 15. Taulukko laskentaohjelmasta. Kuluttajalaitteiden, valaistuksen ja ihmisten vakioidut käyttöasteet ja lämpökuormat rakennusluokittain.	31
Kuvio 16. Taulukko laskentaohjelmasta. Rakennusosien määräysten mukaiset U-arvot eri rakennusvuosilta.	32
Kuvio 17. Kustannustaulukko ohjelmasta. Ilma-vesilämpöpumpun investointikustannukset - taulukko.	33
Kuvio 18. Taulukko laskentaohjelmasta. Maalämpöpumpun uusimis- ja huoltokustannukset.	34
Kuvio 19. Ruudunkaappaus laskentaohjelmasta. Vaihtoehdon 1 energiakustannusten taulukko.	35
Kuvio 20. Ruudunkaappaus ohjelmasta. Kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen tehomaksun asettaminen.	36
Kuvio 21. Rakennuskannan lämmitystapojen odotettu muutos 2020-2050.	37
Kuvio 22. Kaukolämmön tuotannossa käytettävien energiamuotojen osuudet vuonna 2021.	40
Kuvio 23. Kaukolämmön alajakokeskuksen malli kytkentäkaavio.	41
Kuvio 24. Maalämpöpumpun toimintaperiaate.	43
Kuvio 25 Energiakaivon rakenne.	44
Kuvio 26. Maalämpölaitoksen peruskyltöntä.	45
Kuvio 27. Esimerkki erään uudiskohteen maalämpöjärjestelmän tehomitoituksesta.	46
Kuvio 28. Maalämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergiasta.	47
Kuvio 29. Maalämpöpumpun SPF-lukuja.	48
Kuvio 30. Mitsubishi Electric CAHV-P500 kiinteistölämpöpumppu.	49
Kuvio 31. Ilma-vesilämpöpumpun SPF-lukuja.	50
Kuvio 32. Ilma-vesilämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergiasta.	51
Kuvio 33. Koneellinen ja painovoimainen poistoilmanvaihto.	52
Kuvio 34. Täysin hajautettu ilmanvaihtojärjestelmä.	53
Kuvio 35. Poistoilman lämmön talteenotto lämpöpumpun avulla.	54
Kuvio 36. HiLTO EC.	55
Kuvio 37. Esimerkki poistoilman lämpömäärän laskemisesta.	55
Kuvio 38 PILP-laskentataulukko laskentaohjelmasta.	56
Kuvio 39. Kaukojäähdytyksen alajakokeskuksen kytkentäkaavio.	57
Kuvio 40. Liuosjäähdytteisen jäähdytyskoneen periaatekytkentä.	58
Kuvio 41. Esimerkki lämpöpumppukytkennästä.	60
Kuvio 42. Asuinkerrostalon mallilaskelman rakennusvaipan tiedot.	61
Kuvio 43. Mallilaskennan lähtötiedot.	62
Kuvio 44. Energiankulutuksen jakaantuminen kerrostalon mallilaskelmassa.	63

Kuvio 45. Elinkaarikustannuslaksennan tulokset asuinkerrostalon mallilaskelmassa.....	64
Kuvio 46. Herkkyystarkastelu 1 asuinkerrostalon mallilaskelmassa.....	65
Kuvio 47. Herkkyystarkastelu 2 asuinkerrostalon mallilaskelmassa.....	66
Kuvio 49. Toimistorakennuksen mallilaskelman rakennusvaipan tiedot	67
Kuvio 50. Energiankulutuksen jakaantuminen toimistotalon mallilaskelmassa.....	68
Kuvio 51. Elinkaarikustannuslaksennan tulokset toimistorakennuksen mallilaskelmassa.	69
Kuvio 52. Herkkyystarkastelu 1 toimistorakennuksen mallilaskelmassa.	70
Kuvio 53. Herkkyystarkastelu 2 toimistorakennuksen mallilaskelmassa.	71

Taulukot

Taulukko 1. Laskentaohjelman oikeinlaskennan tarkastus kerrostalon mallilaskelmassa.....	63
Taulukko 2. Laskentaohjelman oikeinlaskennan tarkastus toimistotalon mallilaskelmassa.....	68

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta

Suomen hallitus on linjannut, että Suomen tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Tavoitteeseen pääsy edellyttää nopeita päästövähennyksiä kaikilla sektoreilla. (Hallituksen ilmastopolitiikka: kohti hiilineutraalia Suomea 2035 2021.) Suomessa rakennusten osuus energian loppukäytöstä on noin 40 % ja kasvihuonekaasupäästöistä noin 30 %. Suurin osuus rakennusten päästöistä syntyy käytön aikaisesta energiankulutuksesta. (Rakentaminen ja rakennukset 2020.) Vielä vuonna 2050 Suomen rakennuskannasta puolet on rakennettu ennen vuotta 2010 (Kestävä rakentaminen torjuu ilmastonmuutosta 2010, 11). Tämänhetkisten päästöjen vähentämisen kannalta, nykyisen rakennuskannan energiankäytön vähentäminen on keskeisessä asemassa, jotta Suomen hallituksen tavoitteet voidaan saavuttaa (Rakentaminen ja rakennukset 2020). Rakennusten energiatehokkuus on myös yksi kestävä rakentamisen pääperiaatteista (Kestävä rakentaminen on vastuullista rakentamista n.d.).

Kestävä rakentamisen pääperiaatteiden tuominen osaksi rakennushanketta on tärkeässä osassa ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. Kestävällä rakentamisella tarkoitetaan rakentamista, joka on vastuullista ja sillä pyritään tuottamaan rakennuksia, jotka ovat turvallisia, viihtyisiä, muuntojoustavia, helppohoitoisia, pitkäikäisiä sekä energia- ja ympäristötehokkaita. Tärkeää on myös ottaa huomioon resurssitehokkuus ja kustannukset rakennuksen koko elinkaaren ajalta. (Kestävä rakentaminen torjuu ilmastonmuutosta 2010, 3.) Tavallisesti investointikustannukset ohjaavat rakennushankkeen päätöksentekoa. Investointivaiheen kustannukset ovat kuitenkin vain pieni osa kokonaisuutta, kun tarkastellaan koko kiinteistön elinkaarta. Kustannusten laskennan painopisteen siirtäminen koko kiinteistön elinkaareen on olennainen osa kestävä rakentamisen periaatetta. (Kestävä rakentaminen on vastuullista rakentamista n.d.)

Elinaarikustannuslaskelmilla tarkastellaan järjestelmän tai yksittäisen laitteen koko elinkaarta sen valmistuksesta käytöstä poistamiseen. Laskelmat tehdään yleensä kahden tai useamman vaihtoehdon vertailuna, jotta edullisin toteutusmuoto pystytään määrittämään. Ominaista elinaarikustannuslaskennassa on, että siinä otetaan investointikustannusten ohella huomioon tulevat kustannukset kuten huolto-, uusimis- ja käyttökustannukset. Laskelmien perusteella voidaan valita elinaarikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto. (Lindström 2001, 57.) Merkittävimmät päätökset,

jotka vaikuttavat rakennuksen elinkaaren aikaisiin kustannuksiin, tehdään sen suunnitteluvaiheessa (Rakentamisen elinkaari kestävän rakentamisen lähtökohtana n.d).

Kiinteistön energiankäytön kannalta LVI-tekniset järjestelmät ovat keskiössä korjausrakentamiskohteita suunniteltaessa. Rakennusten suunnitteluvaiheessa työn tilaajaa ja käyttäjää kiinnostaa yleensä keskeisimpien LVI-järjestelmien investointikustannukset sekä tulevat käyttökustannukset. Suunnittelijan pitäisi pystyä näin ollen tehdä selväksi eri suunnitteluvaihtoehtojen kustannusten erot heti hankesuunnitteluvaiheen alussa. Elinkaarikustannuslaskelmia varten tarvitaan kuitenkin paljon tietoa muun muassa järjestelmien käyttöiästä, hankinta- ja huoltokustannuksista sekä järjestelmien energiankulutuksesta. Kaikki tämä tieto on hankalasti saatavissa yhdestä paikasta ja sen yhteen kokoaminen aikaa vievää, jotta suuntaa antavat järjestelmien elinkaarivertailut voitaisiin helposti esittää jo hankesuunnitteluvaiheessa.

1.2 Opinnäytetyön toimeksiantaja, tavoitteet ja rajaukset

Tämän kehittämistyön tavoitteen oli luoda Excel-pohjainen elinkaarikustannusvertailutyökalu korjausrakentamiskohteiden LVI-järjestelmien valinnan tueksi. Työkalu suunniteltiin Rejlers Finland Oy:n rakentamisen toimialan LVI-suunnittelijoiden käyttöön. Rejlers Finland Oy on suunnittelu- ja konsulttialan ja on muun muassa valtakunnallinen toimija kiinteistöjen taloteknisessä suunnittelussa. Toimeksiantajan kanssa sovittuja tavoitteita työkalulle oli ennen kaikkea sen helppokäyttöisyys. Tarkoitus ei ollut tehdä tarkkaa kustannuslaskentaohjelmaa vaan työkalu eri järjestelmien vertailuun. Työkalun avulla on tarkoitus helpottaa ja nopeuttaa LVI-suunnittelijan suunnitteluprosessissa tehtäviä päätöksiä korjausrakentamiskohteiden hankesuunnitteluvaiheessa.

Työkalu rajattiin korjausrakentamiskohteisiin, koska nykyisen rakennuskannan energiankulutuksen vähentäminen on merkittävässä asemassa Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Laskentaohjelman vertailtavat järjestelmät valittiin myös niin, että niillä on vaikutusta koko rakennuksen energian käyttöön ja ne ovat laskennallisesti mahdollista osoittaa. Edellä mainittujen rajausten lisäksi työkalusta jätettiin pois erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot. Pientaloille on jo olemassa vertailulaskureita, kuten esimerkiksi pientalojen lämmitystapojen vertailulaskuri, joka on avoimesti käytettävissä valtion kestävän kehityksen yhtiön Motivan verkkosivuilla. Myös pientalojen osuus Rejlers Finland Oy:n liiketoiminnasta on vähäinen.

Laskentaohjelman toteuttamisen tukena tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin elinkaarikustannuslaskennan teoriaa, rakennuksien energiankulutuksen laskennan teoriaa, keskeisimpiä korjausrakentamisessa toteutettavia taloteknisiä energiatehokkuuteen vaikuttavia järjestelmiä sekä LVI-tekniisten järjestelmien elinkaaren aikaisia kustannuksia.

1.3 Opinnäytetyön tutkimus- ja aineistonkeruumenetelmät

Työn aineiston keräämisessä on käytetty pääasiassa kvantitatiivista eli määrällistä tutkimusmenetelmää. Tulokset perustuvat ammattialan tietopohjalle.

Kehittämistyökaluun tarvittava tieto on kerätty pääasiassa alan kirjallisuudesta, oppaista ja rakennusmääräyskokoelmista. Lähteinä on käytetty riippumattomia ja puolueettomia julkaisuja. Laskentaohjelman kustannuslaskentaan tarvittavia tietoja on osittain täydennetty puhelinhaastatteluin alan toimijoiden kanssa.

2 Elinkaarikustannusten laskenta

2.1 Elinkaarikustannuslaskennan yleiset periaatteet ja historia

LCC on lyhenne, jota yleisesti käytetään elinkaarikustannuksista, se tulee englannin kielen sanoista Life Cycle Cost. LCC-laskelmilla tarkastellaan järjestelmän tai yksittäisen laitteen koko elinkaaren aikaisia kustannuksia sen valmistuksesta käytöstä poistamiseen. Laskelmat tehdään yleensä kahden tai useamman vaihtoehdon vertailuna, jotta eri vaihtoehtoja voidaan vertailla keskenään. (Lindström 2001, 57.)

Elinkaarikustannuslaskenta on saanut alkunsa Yhdysvalloista 1960-luvun puolivälissä. Tuolloin Yhdysvaltain puolustusministeriö rupesi selvittämään sotilasjärjestelmänsä elinkaaren kokonaiskustannuksia kohonneiden asejärjestelmien kustannusten nousun seurauksena. Laskenta kehitettiin yhdeksi päätöksenteon apuvälineeksi tuleville hankinnoille. (Woodward 1997, 335.) 1970-luvulla elinkaarikustannuslaskenta alkoi kehittyä myös sotilasjärjestelmien ulkopuolelle. 1970-luvun lopulla Yhdysvaltain eri osavaltioiden hallinnot ja Yhdysvaltain keskushallinto ottivat elinkaarikustannuslaskennan perusteita osaksi hankesuunnitteluvaihetta mm. julkisissa rakennuksissa ja niiden suunnittelutöissä. (Dhillon 2010, 1.) 1970-luvulla elinkaarilaskenta sisälsi talouden, matematiikan,

tilastotieteen ja tekniikan menetelmiä. Näitä menetelmiä yhdistämällä saatiin muodostettua merkittävä osuus kustannuksista tuotteen elinkaaren ajalta. Monia menetelmiä, jota tuolloin käytettiin, käytetään edelleen elinkaarikustannuslaskennassa kuten diskonttausta, tulevien kassavirtojen ennakoitua, todennäköisyysarviointia ja herkkyystarkastelua. (Okano 2001, 327.) Edellä mainittuja menetelmiä käsitellään työn tulevissa luvuissa tarkemmin.

Elinkaarikustannuslaskelmissa otetaan huomioon kaikki elinkaaren vaiheisiin oleva tieto, jotta kaikki kustannukset elinkaaren ajalta pystytään huomioimaan. Tarkasteltavan investoinnin kohteiden eri toiminnot sen elinkaaren aikana pyritään tunnistamaan mahdollisimman tarkasti. Kohteille määritetyt kustannukset ja tuotot kohdistetaan investoinnin elinkaarelle. (Okano 2001, 318.) Esimerkiksi rakennuksen ominaisia elinkaaren aikaisia kustannuksia investointikustannuksen ohella ovat muun muassa huolto-, uusimis- ja energiakustannukset. Jotta vertailtavien järjestelmien eri aikoina syntyvät käyttö- ja hankintakustannukset olisivat keskenään vertailukelpoisia, täytyy rahan aika-arvon merkitys ottaa huomioon diskonttaamalla kustannukset nykyhetkeen. Diskonttaus perustuu ajatukseen, että euron arvo tänään on arvokkaampi kuin euron arvo vuoden päästä. (Lindström 2001, 57.) Laskennan tulosten perusteella voidaan eri hankintavaihtoehtoja vertailla ja tehdä valinta, esimerkiksi valitsemalla elinkaarikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto. Edullisimman vaihtoehdon määrittämisen lisäksi elinkaarikustannuslaskenta auttaa tunnistamaan elinkaaren aikaisia kustannustekijöitä sekä mahdollisia kustannustehokkaampia ratkaisuja. Jos laskentaa käytetään kaupallisessa mielessä, pyritään investoinnin pääomalle löytämään paras mahdollinen tuotto. (Okano 2001, 318.)

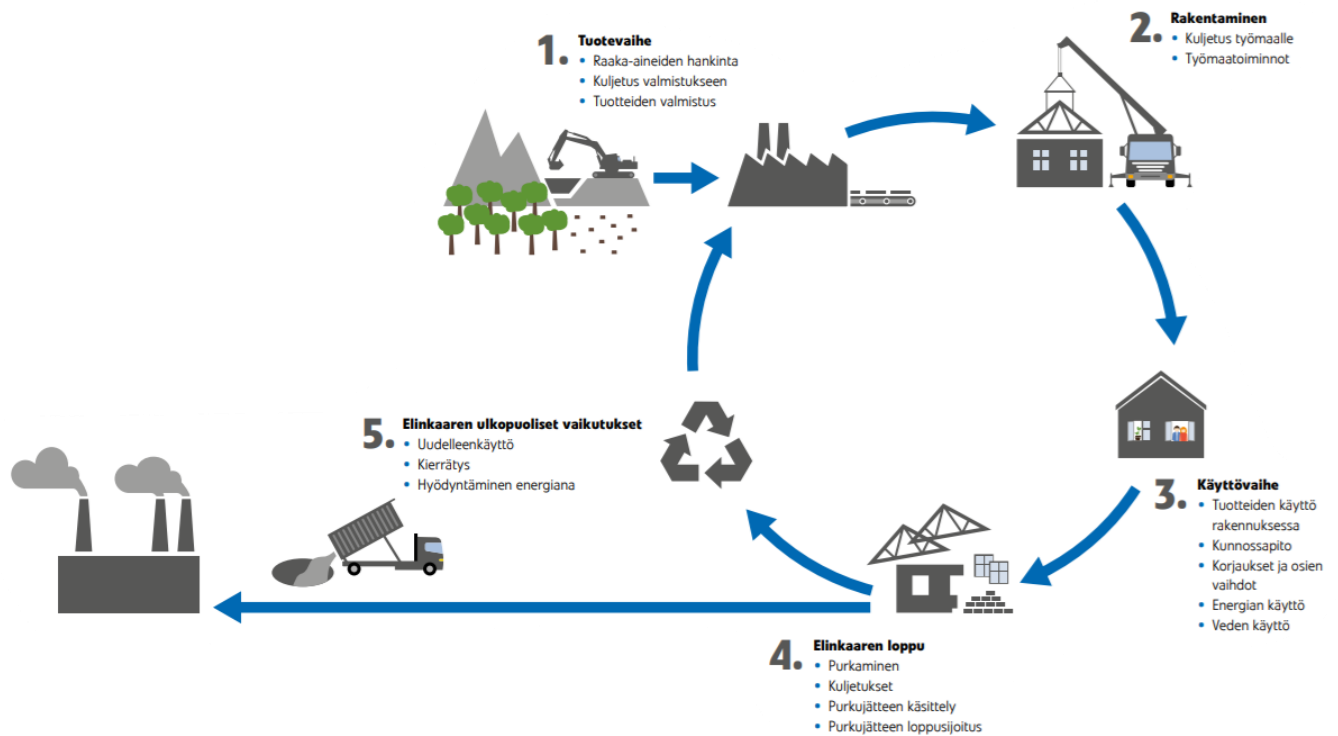
Suomessa rakennusten elinkaarikustannusten laskentaan ei ole yleisesti yhtä käytössä olevaa tapaa (Sahlberg 2016, 4). Vuonna 2013 Green Building Council Finland julkaisi ”Rakennuksen elinkaarimittarit”-julkaisun, joka oli osa isompaa kansallista toimintaohjelmaa ”Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017”. Julkaisun kahdeksasta mittarista yksi käsittelee rakennuksen elinkaarikustannusten laskentaa. Laskentaohjeiden peruseriaatteet pohjautuvat EU:n kestävän rakentamisen standardeihin EN 15643-4 ja WI 017. Laskentaohjeessa lueteltuja periaatteita ovat mm. kustannusten jaksottaminen kiinteistön koko elinkaarelle, kustannusten diskonttaaminen nykyarvoon ja herkkyysanalyysien tekeminen eri laskentakorkokannoilla. (Rakennusten elinkaarimittarit 2013.) Myös vuoden 2012 Rakentajain kalenterin Kurvisen, Viholan ja Heljon (2011) kirjoittamassa artikkelissa esitetään tapa tarkastella rakennusten energiansäästötoimenpiteiden kannattavuutta ja

tulosten havainnollistavaa esittämistä. Esitetty menetelmä perustuu Ruotsissa kehitettyyn tapaan, jota on käytetty toimitilojen energiaremonttien yhteydessä. Myös tämän tavan keskeisimmissä periaatteissa korostuu laskentakorkokantojen, tuottovaatimusten ja rahan aika-arvon huomioiminen sekä elinkaaren aikaisten kustannusten oikeanaikainen kohdistaminen. (Kurvinen, Vihola & Heljo 2011, 158–164.) Suomessa ensimmäisiä menetelmiä ja esimerkkejä rakennusosien sekä järjestelmien elinkaaren kustannuksien laskennasta on julkaistu 1990-luvun alussa Hyarttin ja Saaren kirjoittamassa, (1993) Tekniikan korkeakoulun julkaisemassa kirjassa ”Rakennusosien ja järjestelmien elinkaaren kustannusten laskenta”. Tämäkin menetelmä perustuu kustannusten nykyarvon laskemiseen ja korkokantojen huomioimiseen sekä herkkyytarkastelujen tekemiseen. (Hyartt & Saari 1993.)

2.2 Rakennuksen elinkaaren vaiheet

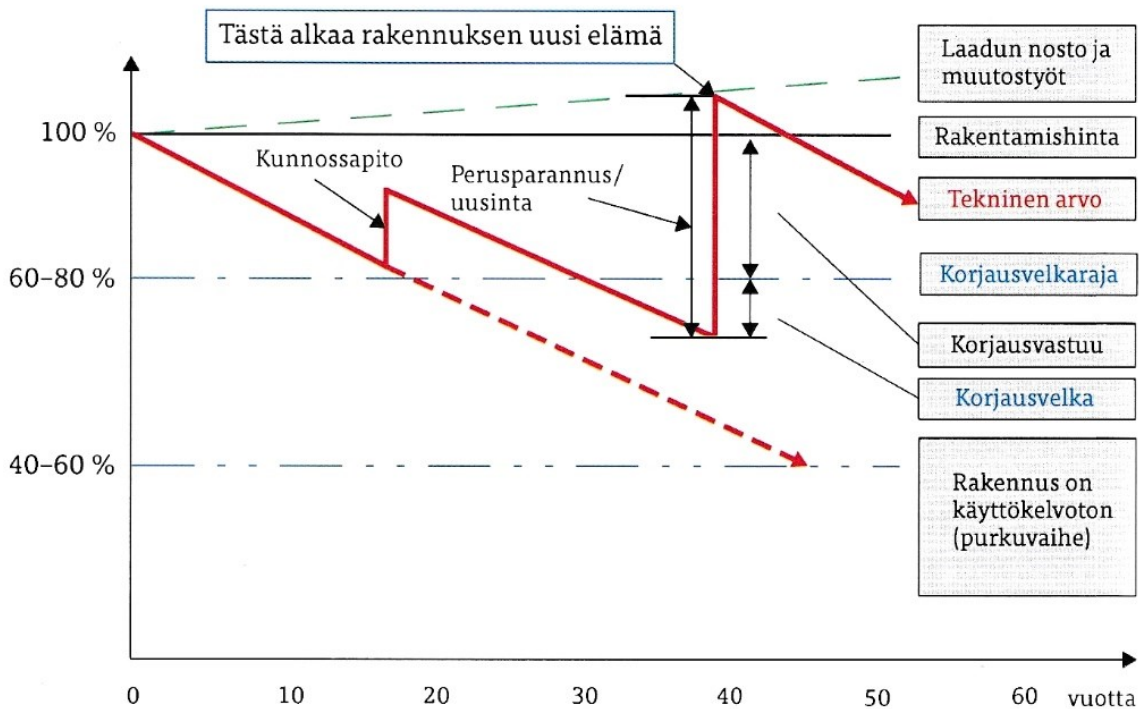
Rakennuksen elinkaari alkaa, kun luonnosta otetaan raaka-aineita, jotka jalostetaan rakennustarvikkeiksi rakennuksen rakentamista varten. Huoltamalla ja korjaamalla rakennus pidetään käyttökelpoisena sen käyttövaiheen ajan. Elinkaari loppuu, kun rakennus puretaan, purkujäte hyödynnetään ja sen käyttöpaikka palautetaan luonnonmukaiseen tilaan. (Myyryläinen 2019, 11.)

Rakennuksen elinkaari voidaan jakaa viiteen vaiheeseen, jotka ovat: Tuotevaihe, rakentamisvaihe, käyttövaihe, elinkaaren loppu ja elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset. Ensimmäisessä ja toisessa vaiheessa tapahtuvat kustannukset ovat helpoiten arvioitavissa, koska ne tapahtuvat lähitulevaisuudessa. Kolmen viimeisen vaiheen arviointi perustuu skenaarioihin ja olettamuksiin rakennuksen käytöstä, ylläpidosta ja purkamisesta. (Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin n.d, 5) Ympäristöministeriön kuviossa (Kuvio 1) on esitetty rakennuksen elinkaaren tyypilliset vaiheet.



Kuvio 1. Rakennuksen elinkaaren tyypilliset vaiheet (Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin n.d, 5).

Rakennus ja sen sisältämät tekniset järjestelmät ovat tekninen tuote, joka kuluu ja vanhenee vuosien saatossa. Keskimääräinen ikä rakennukselle on teknillistaloudellisessa mielessä 50–60 vuotta. Teknisiä järjestelmiä ja rakennusosia uusimalla rakennuksen käyttöikä voidaan jatkaa periaatteessa loputtomasti. Taloteknisten järjestelmien sekä rakennuksen ulko- ja sisäpinnat varusteineen pitää uusia keskimäärin 20–50 vuoden välein. Rakennuksen rungon käyttöikä on pidempi, se vaihtelee 100–1000 vuoden välillä. Rahoitusmielessä rakennus tarvitsee siis rakentaa aina uudelleen noin 70 %: sesti 50–60 vuoden välein, jos sen käyttöä halutaan jatkaa. (Myyryläinen 2019, 11.) Hyvällä rakennusosien hoidolla ja kunnossapitokorjauksilla uusimistarvetta voidaan kuitenkin siirtää myöhemmäksi. Jos rakennusta halutaan kehittää olemassa olevaa laatutasoa paremmaksi, on se mahdollista rakennusosien uusimisen yhteydessä. (Myyryläinen 2019, 14.) Alla olevassa kuvassa (Kuvio2) esitetään, kuinka rakennus voidaan pitää käyttökelpoisena sen ikääntymisestä johtuvan kunnan heikkenemisen aikana.



Kuvio 2. Rakennuksen ikääntymisestä johtuva kunnon heikkeneminen ja toimenpiteet (Myyryläinen 2019, 14).

Kuviosta voidaan päätellä, että kunnossapidon merkitys rakennuksen elinkaaren pituuteen on merkittävä. Uudelle rakennukselle ensimmäiset kunnossapitotoimenpiteet tehdään sen ollessa noin 15 vuoden ikäinen. Isompi perusparannus on ajankohtainen noin 40 vuoden kohdalla, jonka jälkeen rakennus voi vastata teknisesti uudisrakennuksen tasoa. Jos rakennuksen kunnossapito ja perusparannukset laiminlyödään, on se teknisesti käyttökeltoton ennen 50 vuoden ikää.

2.3 Rakennuksen LCC-laskelmien kustannusten muodostuminen

Tässä luvussa selvitetään, mistä eri osista rakennuksen tai sen teknisen järjestelmän elinkaarikustannuslaskelmat muodostuvat.

2.3.1 Investointikustannukset

Investointikustannus on hankintahinta joka järjestelmällä, laitteella tai rakennuksella on sen käytön alkaessa. Investointikustannuksiin sisältyy esimerkiksi hankepalvelut, rakentaminen, tontti, järjestelmien ja laitteiden asennus ja kuljetukset työmaalle. Laskelmissa otetaan myös huomioon välilliset kustannukset, esimerkiksi rahoituskulut. (Lindström 2001, 57.) Rakennuksen osalta

investointikustannukset kattavat rakennuskustannukset, rakennuttajan kustannukset ja rakennuksen luovutuksen kustannukset (Pulakka, Heimonen, Junnonen & Vuolle 2007, 35). Kun vertaillaan kahta eri LCC-laskelmaa, Pulakka ja muut ovat todenneet, että investointikustannuksissa on tärkeää kiinnittää huomioita tekijöihin, jotka aiheuttavat eroja eri vaihtoehtojen välillä. Jos taas kahden vaihtoehdon välillä on tiettyjä samansuuruisia kustannuksia, ei niiden tarkka laskenta ole tarpeen. (Pulakka ym. 2007, 35–36)

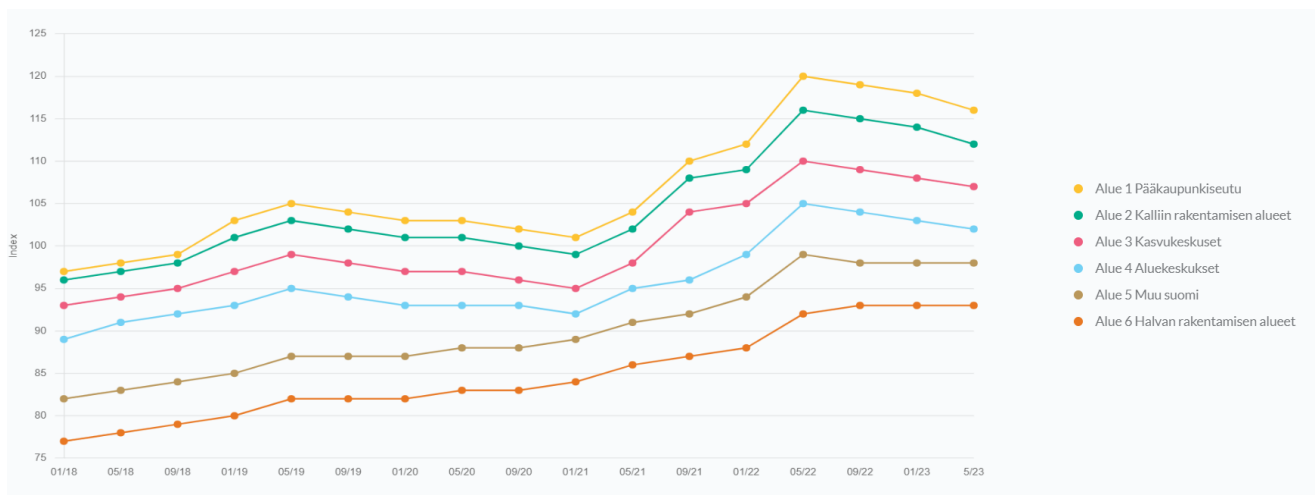
Rakennuskustannusten arviointiin käytetään yleisesti tunnettuja menetelmiä ja lähteitä (Pulakka ym. 2007, 35). Sahlbergin (2016, 1) mukaan rakennusalalla perinteinen kustannuslaskenta pohjautuu Talo 80, Talo 90 ja Talo 2000 nimikkeistömenetelmiin sekä niiden sovelluksiin. Nimikkeistömenetelmään pohjautuva kustannuslaskentamenetelmä on esimerkiksi Haahtela-kehitys Oy:n kehittämä rakennusosa-arviomenetelmä. Menetelmässä rakennus jaetaan pääosin Talo 80- ja Talo2000-nimikkeistön mukaisiin rakennusosiin. Rakennusosien määrien arvioinnissa käytetään apuna rakennusosahinnaston määrämittausohjeita. Nimikkeistön mukaiset rakennusosat hinnoitellaan rakennusosahinnaston mukaisin yksikköhinnoin. Hinnat sisältävät kaikki työ, - aine- ja kalustokulut sekä tekijän katteen. Jos yksikköhintaa ei löydy hinnastosta voidaan käyttää muita menetelmiä, esimerkiksi hankintakyselyjä, ottaen kuitenkin huomioon rakennusosa-arvion laadinnan hintataso ja alueelliset erot. Rakennusosahinnastossa (Kuvio 3) on esitetty hinnat eri indeksialueille. (Haahtela, Kiiras 2015, 105.)

21 Putkiosat

Haahtela / Talo 2000 -nimikkeistö	Yksikkö	Alueellinen hintataso			Mittaus- ja hinnoitteluohjeet
		75	81	85	
2115 ERITYINEN LÄMMITYS					
Erityinen lämmitys	erä				
Vesikiertoiset kattosäätelijät	brm2	11,4	13,0	14,0	
Maalämpökaivot (200 m)	kpl	6 110	6 700	7 070	
Liitosputket kaivoihin	brm2	12,8	15	16	
Lämpöpumppu (suuri)	kW	300	325	340	
Lämpöpumppu (pientalo)	kW	630	680	710	

Kuvio 3. Esimerkki rakennusosahinnoittelun taulukosta (Haahtela, Kiiras 2015, 267).

Haahtela-yhtiöt on julkaissut rakentamisen hintatasoa kuvaavaa tarjoushintaindeksiä 80-luvun loppupuolelta lähtien. Haahtela-yhtiöt julkaisevat päivitetyn indeksin verkkosivuillaan kahdesti vuodessa. Alla olevassa kuviossa (Kuvio 4) on esitetty Haahtela-tarjoushintaindeksi eri alueilla vuosina 2018–2023. Vuoden 2023 osalta indeksin pisteluku on ennuste. (Haahtela-tarjoushintaindeksi 2022.)



Kuvio 4. Haahtela-tarjoushintaindeksin kehittyminen (Haahtela-tarjoushintaindeksi 2022).

2.3.2 Uusimis-, kunnossapito- ja huoltokustannukset

Uusimiskustannuksella tarkoitetaan kustannusta, joka muodostuu järjestelmän tai rakennusosan uusimisesta, kun sen käyttöikä on laskentajaksoa lyhyempi. Kunnossapito- ja huoltokustannukset ovat taas suunnitelmallisen ylläpidon toimenpiteitä. Toiset järjestelmät vaativat usein tapahtuvaa huoltoa, kun taas osa järjestelmistä saattaa toimia pitkiäkin aikoja ilman huoltamista. Huoltokustannuksien laskennan ongelmana on se, että niiden täytyisi perustua todelliseen huoltotarpeeseen. Toiminnan todellisen laadun arvioiminen on vaikeaa, jos se perustuu vain tilastoista saatuihin huoltokustannuksiin. Myös laitteiden käyttöympäristöllä ja kunnossapidon tasolla on iso merkitys kustannusten osalta. (Pulakka ym. 2007, 36).

Tunnus	Nimikkeen otsikko, määritelmä	Tyypillinen rakentamisaika ja muu tarkempi määrittely	Keskimääräinen tekninen käyttöikä			Suunnitelmallisen ylläpidon toimenpiteet		Huomautuksia	
			vuotta (R = rakennuksen ikä, J = järjestelmän ikä)			Tarkastusväli vuotta	Huoltoväli / kunnossapitojakso vuotta		
			Rasitusluokka 1 vaikea	2 normaali	3 kevyt				
	Vesilukot			30			12 kk	1...12 kk puhdistus	
	Kiertovesipatterit			30					Altis pistekorroosiolle
G3	Ilmastointi- ja ilmanvaihtojärjestelmät		Ilmanvaihto toimii jatkuvasti (24 h/d, 7 pv/vko)	Ilmanvaihto toimii arkipäivien päiväkäyttöä (9...10 h/d, 5 pv/vko) vastaavalla käyttöajalla (50 h/vko)	Ilmanvaihto toimii joitakin tunteja vuorokaudessa (10...20 h/vko)	Silmämääräinen tarkastus: tiiviyys, liittokset, ilman esteetön virtaus, äänet, kosteus			
G31	Ilmastointikoneisiin liittyvät osat								Osia uusitaan harvoin yksittäin. Puhallin lyhytikäisin.
G3110	Puhaltimet (aksiaalipuhaltimet, keskipakoispuhaltimet, huippuimurit, savunpoistopuhaltimet, erikoispuhaltimet)		10...15	20...25	30...40	Moottorin kuume-neminen, laakeri-äänet, kiilahinnan kireys, tasapaino, siipipyörän puhtaus	Riippuu käyttöajoista.		
G3120	Suodattimet (kuitusuodattimet, sähkösuodattimet)		10...15	20...25	30...40	Puhtautta seurataan.	6...12 kk suodattimien vaihto/puhdistus, tarvittaessa useammin riippuen rakennuksen sijainnista. Tarkempi vaihtoväli todetaan näköhavainnoin: suodatin on syytä vaihtaa, kun sen taustapuoli on kauttaaltaan tummunut.		
G3130	Ilmastoinnin patterit (vesi- ja liuos-patterit, muut patterit)		10...15	20...25	30...40				
	Lämmityspatterit (vesikiertoiset lamellipatterit, sähköpatterit)		10...15	20...25	30...40				Sähköpattereissa riittämätön jälkihuuhtelu lyhentää käyttöikää.
	Jäähdytyspatterit (vesikiertoiset lamellipatterit, suorahöyrystyspatterit)		10...15	20...25	30...40	12 kk kondenssi-vesiviemäröinnin toiminnan tarkastus			
G3140	Lämmönalteenotto (nestekiertoiset lämmönalteenottolaitteet, pyörivät lämmönalteenottolaitteet, levylämmönsiirtimet, muut lämmönalteenottolaitteet)								
	Lämmönalteenottolaitteet (nestekiertoiset vesi-glykolipatterit, levylämmönsiirtimet, pyörivät lämmönsiirtimet)		10...15	20...25	30...40	12 kk huurtumiseneston tarkastus			Glykoliliuoksen pitoisuus ja mahdolliset kiertonesteen lisäaineet vaikuttavat oleellisesti.

Kuvio 5. Ote talotekniikan käyttöikä ja kunnossapitojaksoista RT-ohjekortista (Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot 2008, 23).

Rakennustietosäätiö julkaisemassa ohjekortissa (Kuvio 5) on esitetty kiinteistön rakenteiden, rakennusosien, aluerakenteiden ja LVIA-järjestelmien ja -laitteiden keskimääräisiä käyttöikä, tarkastusvälejä, huoltovälejä ja kunnossapitojaksoja. Tietoja voidaan käyttää mm. elinkaaren määrittelyssä. (Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot 2008, 1) Kustannusten laskennassa voidaan soveltaa rakennusosahinnastoa tai hankintakyselyjä.

2.3.3 Energiakustannukset

Rakennuksen energiankulutuksen kustannukset jakautuvat lämmitys- ja jäähdytysenergiaan sekä sähköenergiaan. Lämmitys- ja jäähdytysenergian kustannukset aiheutuvat tilojen lämmityksestä ja jäähdytyksestä. Sähköenergiakustannukset sisältävät kiinteistösähkön, käyttäjäsähkön sekä talotekniikan järjestelmistä ja laitteista aiheutuvat energiakustannukset. Jäähdytysenergiakustannukset sekä lämpöpumppujen energiakustannukset sisältyvät yleensä sähköenergiakustannuksiin. Energiankulutus perustuu arvioituihin arvoihin tai todennettuihin kulutustietoihin. (Pulakka ym.

2007, 37.) Energiankulutuksen lisäksi elinkaarikustannusten laskentaan tarvitaan hinnat eri energiamuodoille. Energiayhtiöiden ajantasainen hinnoittelu löytyy yleensä niiden verkkosivuilta.

Rakennuksen energiankulutus voidaan tehdä myös Ympäristöministeriön asetuksen mukaista laskentatapaa käyttäen. Laskenta on monivaiheinen ja tehdään yleensä laskentaohjelmalla. (Myyryläinen 2019, 37–38.)

Suomessa uudisrakentamisen ja korjausrakentamisen energiatehokkuutta ohjaavien asetusten kehys pohjautuu EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiiviin. Direktiivillä tähdätään vähähiiliseen rakennuskantaan ja ilmastonmuutoksen hillintään. Direktiivi luo kehyksen unionin jäsenmaiden paikallisille määräyksille ja säädöksille. (Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi 2020.) Suomen paikalliset rakennuksia koskevat rakennusmääräykset pohjautuvat Maankäyttö- ja rakennuslakiin sekä sitä täydentäviin asetuksiin. Rakennuksen energiatehokkuutta koskevia asetuksia ovat mm. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta, Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta sekä Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. (Suomen rakentamismääräyskokoelma n.d.) Asetuksilla toimeenpannaan rakennusten energiatehokkuusdirektiiviä sekä edistetään Suomen omia rakentamisen energiatehokkuustavoitteita (Sandberg 2014, 447). Jotta energiatehokkuus voidaan laskennallisesti osoittaa, on Ympäristöministeriö julkaissut säädösten soveltamisen tueksi ohjeen rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennasta, jota käsitellään tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

Ympäristöministeriön ohjeessa on esitetty yksinkertaistettu laskentamenetelmä, joka ottaa huomioon oleellimmat rakennuksen energiankulutukseen vaikuttavat tekijät ja rakennuksen ominaisuudet Suomen ilmasto-olosuhteissa. Pääpiirteittäin ohjeen menetelmä perustuu rakennuksen energiatehokkuusstandardin SFS-EN 13790 laskentamenetelmään. (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018,13.)

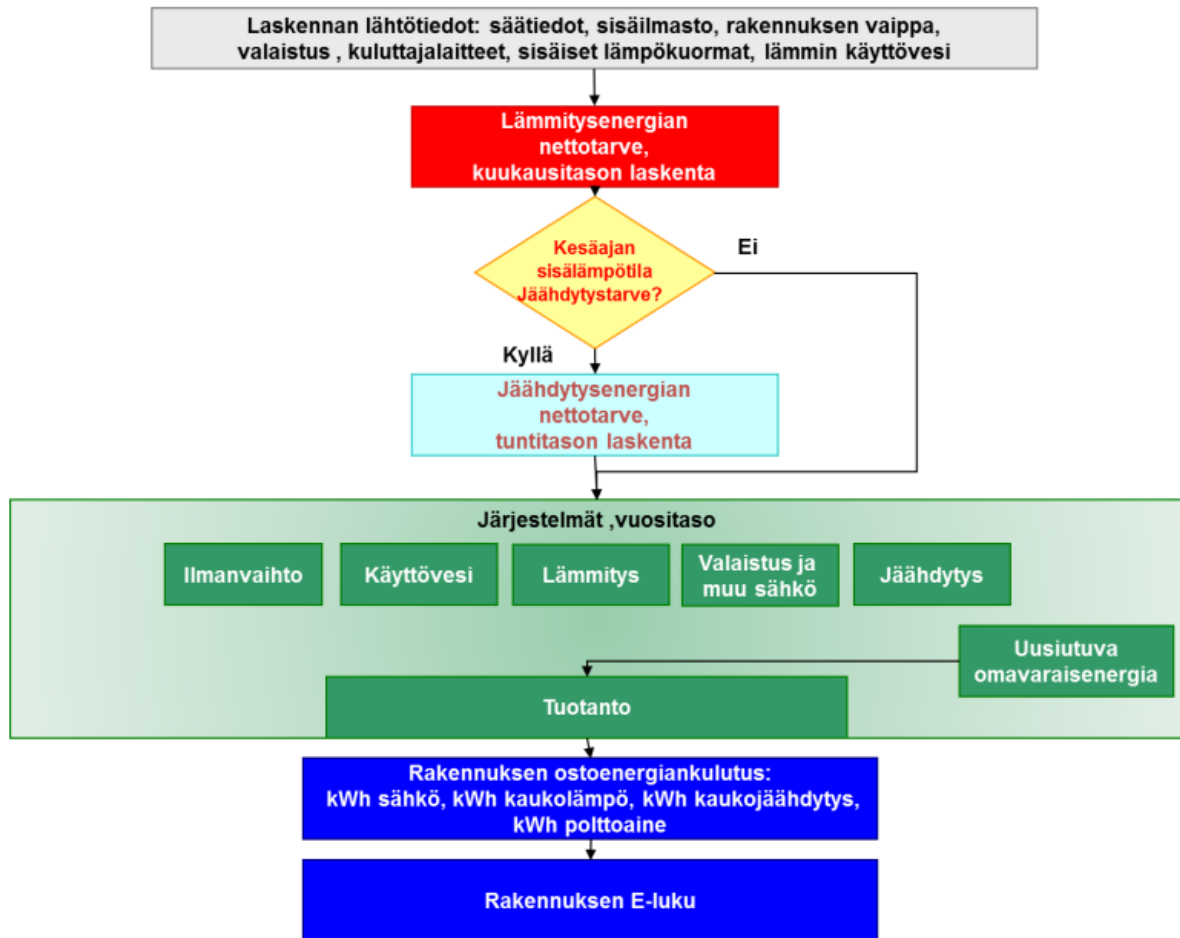
Lähtötietoja, jota laskennassa käytetään, on kolmentyyppisiä: Rakennuskohtaiset tiedot, rakennuksen käyttötiedot ja laskentamenetelmän ohjearvot. Energiatehokkuusasetuksien vaatimuksien mukaisuuksien osoittamisessa tulee käyttää määräyksissä annettuja lähtötietoja, muissa tarkasteleissa voidaan käyttää ohjeen lähtötietoja tai tarkempia tiedossa olevia arvoja. Ohjeessa esitetyssä

menetelmässä lasketaan rakennuksen energian nettotarve kuukausitasolla. Vuosikulutus saadaan kuukausikulutusten summasta. Menetelmää voidaan käyttää rakennuksen lämmitystehontarpeen, ostoenergiankulutuksen, kokonaisenergiankulutuksen ja lämmitystehon laskentaan jäähdyttämättömissä rakennuksissa. Ohje antaa kuitenkin myös mahdollisuuden jäähdytysenergian mukaan ottamisen laskelmiin, jos jäähdytettyjen rakennuksien lämmitys- ja jäähdytysenergian nettotarpeet on laskettu erikseen rakennuksen tietomallia hyödyntävällä ohjelmistolla, joka tukee dynaamista laskentamenetelmää. (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018, 4–13.) Dynaaminen laskentamenetelmä ottaa huomioon rakenteiden lämmönvarausominaisuu-den ajasta riippuvaisena (Pätevyysvaatimukset 2021). Jäähdytyksen ostoenergiankulutukseen on kuitenkin myös esitetty vaihtoehtoinen kuukausitason laskentamenetelmä Ympäristöministeriön energiatodistusasetuksessa, jos dynaamista laskentamenetelmää ei käytetä (A20.12.2017/1048 Liite 1). Asetuksen mukaan menetelmää voidaan käyttää energiatehokkuuden vaatimuksienmukai-suuden laskennassa, energiatehokkuusasetuksen säännöistä poiketen, jos rakennus on olemassa oleva. (A20.12.2017/1048 Liite 1, 20–21)

Rakennuksen energiankulutuksen laskennan vaiheet on esitetty kuvassa 10 ja ne koostuvat seuraavista laskentaosista, jotka ovat:

- rakennuksen lämmitysenergian nettotarpeen laskenta
- laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutuksen laskenta
- lämpökuormien laskenta
- lämmitysjärjestelmän energiantarpeen laskenta
- lämmitysjärjestelmän energiankulutuksen laskenta
- ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutuksen laskenta
- jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksen laskenta
- lämmitystehon laskenta
- aurinkosähköjärjestelmän sähköntuoton laskenta

(Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018, 3.)



Kuvio 10. Rakennuksen energiankuutuksen laskennan vaiheet (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018, 14).

Ympäristöministeriö ohjeen mukainen rakennuksen vuotuinen energiankulutus lasketaan kaavalla 7 (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018, 16).

$$\begin{aligned}
 Rak_{ek} = & Q_{lämmitys,tilat} + Q_{lämmitys,iv} + Q_{lämmitys,lkv} + Q_{lämmitys,jk} + W_{tilat} + W_{ilmanvaihto} \\
 & + W_{lkv,pumppu} + W_{jäähd,apu} + W_{kuluttajalaitteet} + W_{valaistus}
 \end{aligned} \quad (7)$$

missä,

Rak_{ek} = rakennuksen energiankulutus, kWh/a

$Q_{lämmitys,tilat}$ = tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a

$Q_{\text{lämmitys,iv}}$ = ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a

$Q_{\text{lämmitys,lkv}}$ = lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh/a

$Q_{\text{lämmitys,jk}}$ = jäähdytysjärjestelmällä tuotettu jäähdytysenergia, kWh/a

W_{tilat} = lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a

$W_{\text{ilmanvaihto}}$ = ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a

$W_{\text{lkv,pumppu}}$ = lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus, kWh/a

$W_{\text{jäähd,apu}}$ = jäähdytysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus, kWh/a

$W_{\text{valaistus}}$ = valaistuksen sähköenergian kulutus, kWh/a

$W_{\text{kuluttajalaitteet}}$ = kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a

2.3.4 Ympäristökustannukset

Ympäristökustannuksilla tarkoitetaan kustannuksia, jotka syntyvät enne varsinaista rakentamisen aloittamista tehtävistä mahdollisista maaperän puhdistuskuluista, suojauskuluista tai purku- ja kierrätyskuluista. Uusittavan järjestelmän purku- ja kierrätyskuluja syntyy myös sen elinkaaren päättyessä. (Pulakka ym. 2007, 37.)

2.3.5 Jäännösarvo

Jäännösarvokustannukset ovat laitteiston tai koko rakennuksen käytöstä poistamisesta syntyviä kuluja elinkaaren päätyttyä. Kuluja ovat mm. purku, hävittämis-, kierrätys tai kaatopaikkamaksut. Jäännösarvokustannukset voivat olla myös positiivisia, jos esimerkiksi laitteiden myynneistä saata- vat tulot peittävät kulut. Yleensä rakennus ei ole kokonaan menettänyt sen arvoaan pitoajan jäl- keen vaan sillä on vielä ns. jäännösarvo. Rakennuksen jäännösarvo on sen uudisrakennusarvo vä- hennettynä korjauskustannuksilla, jotka pitää toteuttaa, että rakennus vastaisi uudisrakentamisen tasoa. (Hyartt & Saari 1993, 17.) Murtomaan (1996, 341) mukaan korjausrakentamisvaiheessa uu- sittavilla järjestelmillä tai rakennusosilla ei yleensä ole jäännösarvoa tai se on negatiivinen purku- kustannusten takia. Myös Pulakka ja muut (2007, 37) ovat todenneet, että taloteknisten kompo- nenttien jäännösarvo on niin pieni, ettei sen tarkka arviointi ole tarpeellista.

2.3.6 Laskentajakson pituus

Investointilaskelmien tekemistä varten pitää rakennukselle tai uusittavalle järjestelmälle määrittää käyttöikä. Käyttöiällä tarkoitetaan ajanjaksoa, jolta kustannuksia syntyy. Käyttöiäksi voidaan valita joko tekninen, toiminnallinen tai taloudellinen. (Murtomaa 1996, 342.) Laskentajakson valinta on oleellinen osa elinkaarikustannuslaskentaa (Pulakka ym. 2007, 37).

Teknisellä käyttöiällä tarkoitetaan ajanjaksoa, jossa investointi on teknisesti käyttökelpoinen. Rakennusinvestoinneissa tekninen käyttöikä voi vaihdella suuresti tapauskohtaisesti kymmenistä vuosista satoihin. (Murtomaa 1996, 342.)

Taloudellisella käyttöiällä tarkoitetaan sitä ajanjaksoa, jonka ajan investointikohteen hallussapito on taloudellisesti kannattavaa. Kun tarkastellaan rakennusta, taloudellisena käyttöikä voidaan pitää aikaa seuraavaan peruskorjaukseen tai kahden peräkkäisen peruskorjauksen väliä. Peruskorjaus aiheutuu yleensä, kun rakennus on ajallisesti ja teknisesti vanhentunut. (Murtomaa 1996, 342.) Asuinrakennuksille taloudellisena pitko aika voidaan pitää noin 30–50 vuotta, toimistorakennuksille 20–40 vuotta ja liikerakennuksille 5–20 vuotta. (Pulakka ym. 2007, 38.)

Toiminnallisella käyttöiällä tarkoitetaan sitä ajanjaksoa, jonka ajan investointi täyttää rakennuksen toiminnalliseen aikaan sijoittuvat vaatimukset. Toiminnallinen käyttöikä voi periaatteessa olla vain muutaman vuoden mittainen. (Murtomaa 1996, 342.)

2.3.7 Laskennan korkokannat

LCC-laskelmissa laskenta-ajanjakson aikana syntyvät eri toimenpiteiden nimelliskustannukset muutetaan tarkastelun alkamisajankohtaan. Yleensä alkamisajankohtana käytetään nykyhetkeä ja muutos tehdään nykyarvomenetelmällä. Eri vuosina tehtävien toimenpiteiden kustannukset muutetaan eli diskontataan laskentakoron avulla vertailukelpoisiksi nykyhetkeen. (Pulakka ym. 2007, 38.)

Laskentakorko kuvaa tuottovaatimusta sijoitetulle pääomalle. Pääsääntöisesti investoinnilta vaaditaan sitä korkeampaa tuottoa, mitä enemmän siihen liittyy riskejä. Mitä suurempi laskentakorko on, sitä suuremmaksi muodostuu investointikustannuksen osuus koko elinkaaren kustannuksista.

Alarajana diskonttokorolle voidaan pitää sitä tasoa, jolla investointiin sijoitettu pääoma voitaisiin lainata pääomamarkkinoilta. Kun arvioidaan energiansäästötoimenpiteiden kannattavuutta, on perusteltua valita korkokannaksi reaalin laskentakorko väliltä 2–5 %. Reaalisella korkokannalla tarkoitetaan korkoa, josta on vähennetty inflaation osuus. (Kurvinen, Vihola & Heljo 2011, 158.) Jos energian hinnan tai muun kustannuksen oletettu hinnan muutos poikkeaa arvioidusta inflaatiosta, on se otettava erikseen huomioon laskelmissa. (Lindström 2001, 58.) Myös Murtomaan (1996) mukaan on luotettavinta arvioida tulevat tuotot, hyödyt ja kustannukset reaalisena arviointihetken rahanarvona. Laskennassa käytettävä reaalikorko voidaan yleensä riittävällä tarkkuudella laskea suoraan nimelliskoron ja inflaation erotuksena. (Murtomaa 1996, 52)

Koska investointilaskelmien korkokannoille on vaikea asettaa yhtä absoluuttista arvoa, on erilaisilla korkokannoilla syytä tehdä vertailtavia laskelmia, eli herkkyystarkastelua. Herkkyystarkastelua käsitellään tarkemmin kappaleessa 2.7.

2.4 Elinkaarikustannusten investointilaskentamenetelmät

2.4.1 Laskentamenetelmät yleisesti

Murtomaan (1996, 341) kertoo yleisimmin LCC-laskelmissa käytettyjä investointilaskentamenetelmiä olevan nykyarvomenetelmä ja annuiteettimenetelmä. Neilimon ja Uusi-Rauvan (2005) mukaan nämä menetelmät ovat investointilaskennan niin sanottuja peruslaskentamenetelmiä. Nykyarvo- ja annuiteettimenetelmien lisäksi peruslaskentamenetelmiin kuuluu sisäisen korkokannan menetelmä. Ominaista peruslaskentamenetelmissä on se, että niissä huomioidaan rahan aika-arvon muutos. (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, 213–214.) Investointilaskennassa täydentävänä menetelmänä voidaan käyttää myös takaisinmaksuajan menetelmää (Murtomaan 1996, 55).

LCC-laskelmat eroavat perinteisestä investointilaskennasta siinä, että investointipäätös rakentamisesta on saatettu jo tehdä, esimerkiksi rakennuksen välttämätön peruskorjaus. Tällöin investoinnille ei ole odotettavissa suoranaista tuottoa vaan on tarkoitus etsiä edullisin ratkaisu eri vaihtoehdoista. Tekemällä lisäinvestointi, joka esimerkiksi pienentää rakennuksen energiankulutusta, lähestytään perinteistä investointilaskentaa. Tällöin saavutettavien säästöjen on oltava investointia suuremmat. (Murtomaa 1996, 341.)

2.4.2 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmässä laskentakoron ja pitoajan perusteella kaikki kustannukset ja tuotot diskontataan nykyhetkeen laskentakoron avulla. Jos pitoajan päätyttyä investoinnilla on jäännösarvoa, vähennetään sen nykyarvo hankintamenosta. Kun kaikki laskenta-ajanjaksolle sijoittuvat nykyarvoon muunnetut kustannukset lasketaan yhteen hankintakustannuksien kanssa, saadaan kustannuksille niiden nykyarvojen summa, jota voidaan vertailla eri laskentaskenaarioiden kesken. Kustannusten nykyarvoltaan pienin vaihtoehto on edullisin valinta. Investointi on kannattava, jos nettotuottojen nykyarvo on suurempi kuin hankintahinta. (Hyartt & Saari 1993, 17.)

Syntyvän kustannuksen tai tuoton nykyarvo voidaan laskea yhtälöllä 1 (Lindström 2001, 59).

$$P = \frac{F}{(1+i)^t} \quad (1)$$

missä

P = kustannuksen nykyarvo

t = laskenta-ajankohta (vuosi)

i = reaalikorkokanta, %/100

F = Kustannus tai tuotto

Jos esimerkiksi lämpöpumpun kompressorin vaihto maksaa 3000 € ja se täytyy vaihtaa rikkoutumisen takia 15 vuoden päästä, käytettäessä reaalisena laskentakorkona 4 %, huoltokustannuksen nykyarvo lasketaan seuraavasti:

$$P = \frac{3000 \text{ €}}{(1 + 0,04)^{15}}$$

$$P = 1666 \text{ €}$$

Jos vuotuiset erät ovat yhtä suuria, voidaan koko laskenta-ajan kustannusten nykyarvo laskea kaavalla 2 (Murtomaa 1996, 54).

$$P = F * \frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} \quad (2)$$

missä

n = laskenta-aika, investoinnin pitoaika vuosina

Kaavalla 2 voidaan laskea esimerkiksi energiakustannusten nykyarvo koko laskenta-ajalta. Jos energian hinnan tai minkä tahansa muun kustannuksen odotettavissa oleva vuotuinen hinnan nousu poikkeaa yleisestä inflaatiosta pitää se ottaa huomioon reaalisessa laskentakorossa. (Lindström 2001, 59).

2.4.3 Annuiteettimenetelmä

Annuiteettimenetelmässä laskentakoron ja pitoajan perusteella kaikki kustannukset tasataan yhtä suuriksi vuotuisuorituksiksi rakennuksen pitoajalle. Se vaihtoehto, jonka vuotuiset kustannukset ovat pienimmät on edullisin vaihtoehto. (Hyartt & Saari 1993, 21.) Investointi on silloin kannattava, jos vuotuiset nettotuotot ovat suuremmat kuin investoinnin synnyttämät vuosikustannukset (Murtomaa 1996, 54). Menetelmä sopii parhaiten tilanteisiin, jossa investoinnin jälkeiset vuotuiset tuotot ovat tasasuuret. Jos tarkasteltavan järjestelmän tai rakennuksen elinkaari sisältää paljon suuria jaksottaisia kunnossapitokustannuksia ei tarkastelu ole järkevää annuiteettimenetelmällä. (Hyartt & Saari 1993, 21.)

Vuotuiset kustannukset voidaan laskea kaavalla 4 (Hyartt & Saari 1993, 21).

$$R_A = R_N \cdot \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (4)$$

missä

R_A = rakennuskustannusten vuotuiset kustannukset (annuiteetti)

R_N = rakennuskustannusten nykyarvo

r = valittu laskentakorkokanta

n = laskenta-aika, investoinnin pitoaika vuosina

2.4.4 Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajanmenetelmä ilmoittaa yksinkertaisuudessaan ajan vuosina, jona investointi maksaa itsensä takaisin. Mitä lyhyempi takaisinmaksuaika investoinnilla on, sitä vähemmän siihen liittyy riskejä. Ongelmana takaisinmaksuajan menetelmässä on, ettei se huomioi takaisinmaksuajan jälkeen syntyviä kustannuksia tai tuottoja. Suora takaisinmaksuaika ei myöskään ota huomioon energian hinnan tai rahan arvon muutoksia. Rahan aika-arvon voi kuitenkin ottaa huomioon laskeamalla takaisinmaksuaika diskontatuilla rahavirroilla. (Investointien suunnittelu ja seuranta – ohje, 2021)

Takaisinmaksuajan menetelmä ei siis mittaa investoinnin kannattavuutta vaan sen rahoitusvaikutuksen. Menetelmä soveltuu hyvin investointien riskin arviointiin ja sitä voi käyttää lisänä muiden investointilaskelmien täydentäjänä. (Murtomaa 1996, 55.) Takaisinmaksuajan menetelmä on sen helppouden takia yleisesti käytössä.

Kun rahan aika-arvoa ei otetaan huomioon, takaisinmaksuaika voidaan laskea yksinkertaisesti kaavalla 5

$$\text{takaisinmaksuaika} = \frac{\text{investoinnin hankintameno}}{\text{vuotuinen nettotuotto}} \quad (5)$$

Vuotuisten tuottojen ollessa eri suuret, on selvitettävä, kuinka monen vuoden nettotuotot tarvitaan, että ne ovat investoinnin hankintakustannuksen kanssa yhtä suuret. Jos laskelmissa halutaan huomioida korko, vuotuiset nettotuotot diskontataan nykyhetkeen. (Neilimo & Uusi-Rauva 2005, 223.)

2.4.5 Sisäisen korkokannan menetelmä

Sisäisen korkokannan menetelmällä ratkaistaan se korkokanta, jolla investoinnin nykyarvo on nolla. Selvitetään siis se laskentakorkokanta, jolla nykyarvoon diskontattujen tuottojen summa on yhtä suuri kuin investoinnin hankintakustannus. Menetelmän tehtävänä on korostaa investoinnin kannattavuutta. Investointi on silloin kannattava, jos sen sisäinen korkokanta on suuri. Sisäinen korkokanta kuvaa investointiin sijoitetun pääoman tuotto prosenttia. (Murtomaa 1996, 55.) Kurvisen, Viholan ja Heljon (2011, 158) mukaan energiansäästöhankeissa toimenpidettä voidaan pitää

tuottovaatimusten puitteissa kannattavana, jos sisäinen korkokanta on suurempi kuin reaalin laskentakorko, eli asetettu tuottovaatimus.

Sisäinen korkokanta voidaan ratkaista yhtälöstä 6. Ratkaisu joudutaan hakemaan kokeilemalla. (Murtomaa 1996, 55.) Sisäinen korkokanta voidaan laskea myös Excelin SISÄINEN.KORKO-funktiolla tai Excelin Ratkaisin-apuohjelmaa käyttäen.

$$\sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+r)^t} + \frac{JA}{(1+r)^n} - H = 0 \quad (6)$$

missä

n = laskenta-aika, investoinnin pitoaika vuosina

t = laskenta-ajankohta (vuosi)

S_t = investoinnin nettotuotto vuonna t

r = investoinnin sisäinen korko

JA = investoinnin jäännösarvo laskenta-ajan lopussa

H = perusinvestointi

2.5 Herkkyysanalyysi

LCC-laskelmissa joudutaan tekemään paljon oletuksia. Esimerkiksi inflaation taso, energian hinta ja järjestelmien käyttöikä voivat olla lopputuloksen kannalta keskeisiä muuttujia. (Pulakka ym. 2007, 39.) Jotta voidaan saada käsitys siitä, kuinka tehdyt oletukset vaikuttavat laskennan lopputulokseen, on LCC-laskelmien teossa syytä suorittaa herkkyystarkasteluja. Herkkyystarkastelussa muutetaan yhtä oletusarvoa muiden arvojen pysyessä vakioina, esimerkiksi laskentakorkokantaa tai energian hinnan oletettua kasvuprosenttia. Jos pienikin muutos oletusarvoissa muuttaa eri vaihtoehtojen edullisuusjärjestystä, voidaan vaihtoehtoja pitää kustannusten osalta tasa-arvoisina keskenään. (Hyartt & Saari 1993, 21). Herkkyystarkastelua voidaan havainnollistaa niin, että muutetaan yhtä arvoa niin paljon, että sillä on vaikutusta laskennan lopputulokseen (Murtomaa 1996, 342). Esimerkiksi voidaan tehdä tarkastelu kahden eri energiansäästövaihtoehdon välillä niin, että muutetaan energian arvioitua vuotuista hinnan nousun prosenttia niin paljon, että se muuttaa vertailtavien vaihtoehtojen edullisuusjärjestystä. Pulakan (2007) ja muiden mukaan herk-

kyystarkastelulla voidaan tutkia oletusarvojen arviointivirheiden merkitystä investoinnin kannattavuuteen. Riskejä tutkiessa, laskentaan epäedullisesti vaikuttavat arviointivirheet ovat keskiössä. (Pulakka ym. 2007, 39.)

3 Laskentaohjelman toteutus

Luvuissa 3.1–3.3 käsitellään, miten kehittämistyössä toteutettu elinkaarikustannusten laskentaohjelma on toteutettu ja miten LCC-laskennan osatekijät on otettu huomioon. Luvussa 3.4 käsitellään tarkemmin ohjelmaan valittujen vertailtavien järjestelmien teoriaa sekä niiden kustannusten ja energiankulutuksen muodostumista.

3.1 Laskentaohjelman rakenne

Laskentaohjelma toteutettiin Microsoft Excelin pohjalle, koska se on yleisesti käytössä oleva laskentataulukko-ohjelmisto sekä tietojen visualisointi- ja analyysityökalu (Microsoft Excel 2022). Muita vaihtoehtoisia ohjelmia johon työkalun olisi voinut rakentaa ei kartoitettu, koska Excelistä tiedettiin löytyvän kaikki perustyökalut ohjelman toteuttamiseen.

Ohjelmaan on luotu useita rakennuksen energiankulutuksen laskentaan liittyviä laskentasääntöjä, laskentatietoa ja laskentakaavoja sisältäviä taulukoita, joiden avulla rakennuksen energiankulutuksen laskenta on pystytty automatisoimaan niin, että laskijan täytyy syöttää ohjelmaan vain välttämättömät lähtötiedot. Investointi- ja käyttökustannuksien laskenta on toteutettu samalla periaatteella. Järjestelmien investointikustannukset, käyttökustannukset ja tekniset käyttöiät sekä niiden laskentasäännöt on taulukoitu ohjelmaan valmiiksi. Laskennan automatisointi on toteutettu pääasiassa Excelin ehtolausekkeilla, eli JOS- ja JA-funktioiden sekä TAI- ja EI-funktioiden yhteiskäytöllä. Seuraavissa kappaleissa esitetään ohjelman yleistä visuaalista rakennetta. Ohjelman energiankulutuksen ja kustannusten laskentaa selvitetään tarkemmin luvuissa 3.2 ja 3.3.

Ohjelman visuaalinen perusrakenne koostuu neljästä välilehdestä, jotka ovat:

- Lähtötiedot -välilehti
- Vaihtoehto 1 -välilehti
- Vaihtoehto 2 -välilehti

- Kannattavuuksien vertailu -välilehti

3.1.1 Lähtötiedot -välilehti

Lähtötiedot välilehdelle syötetään tarkasteltavan rakennuksen perustiedot kuten rakennuksen pinta-ala tiedot, rakennusvuosi, laskentavyöhyke sekä tiedot rakennuksen ilmanvaihto- ja lämmitys järjestelmästä. Tietojen syöttämisen jälkeen saadaan selville rakennuksen vuotuinen energiankulutus järjestelmittain ja energiamuodoittain.

LÄHTÖTIEDOT					
Rakennusluokka	ASUINKERROSTALO			Laskentavyöhyke	1
Rakennusluvun vireilletulovuosi	2003-			Sisäilman lämpötila	1 2 3 4
Kerrosten lukumäärä	6			Jäähdytyksen asetussarvo	23 C
Kerroskorkeus	2,8 m			Sisäpuolen tehollinen lämpökapasiteetti	160 Wh/(m2K)
Ikkunoiden pinta-ala	200 m2			Jäähdytyksen mitoitusperuste	40 W/m2
Ulko-ovien pinta-ala	4 m2			Simuloitu jäähdytysenergian nettotarve	
Alapohja	Maavarainen alapohja				
Ala- ja yläpohjan pinta-ala	800 m2				
Rakennuksen ympärysmitta	300 m				
Lämmitetty nettoala	4800 m2				
Tilavuus	13440 m3				
	Asuntojen lukumäärä	man. syöttö			
	80	0			
		man. syöttö			
Ilmanvuotoluku q50	8			m3/(h*m2)	<small> q₅₀ = 1.0 – 4.0, hyvä ilmapätkävyys q₅₀ = 4.0 – 8.0, keskimääräinen ilmapätkävyys q₅₀ = 8.0 – 20.0 heikko ilmapätkävyys </small>

Kuvio 5. Ruudunkaappaus laskentaohjelman lähtötiedot -välilehdeltä.

Kuviossa 5 on esitetty osa laskentaohjelman lähtötiedot-välilehdestä. Keltaiset solut ovat laskijan täytettävä itse. Osa tiedoista voidaan valita soluihin lisätyistä pudotuslaatikoista, kuten esimerkiksi kuvassa näkyvä laskennan säävyöhykkeen valinta. Lähtötiedot -välilehti on esitetty kokonaisuudessaan työn liitteenä (Liite1).

3.1.2 Vaihtoehto 1- ja Vaihtoehto 2 -välilehdet

Vaihtoehto 1 ja Vaihtoehto 2 välilehdiltä valitaan ohjelmaan syötetyt taloteknisten järjestelmien saneerausvaihtoehdot, joiden elinkaarikustannuksia halutaan vertailla keskenään. Välilehdet ovat keskenään identtisen näköisiä. Vaihtoehto 1 on se skenaario, johon verrataan. Välilehdiltä löytyy myös taulukko laskennassa käytetyistä kustannuksista (Kuvio 7). Saneerausvaihtoehdot valitaan solujen pudotuslaatikoista. Valinnan yhteydessä voidaan myös tarkentaa mitoitusperiaatteita, esimerkiksi maalämpöjärjestelmän osalta sen vuosittaista tehopeittoa ja lisälämmitys järjestelmän osuutta. Vertailtavia saneerausvaihtoehtoja voidaan valita kolmesta eri järjestelmästä, jotka ovat

ilmanvaihtojärjestelmä, lämmöntuottojärjestelmä ja jäähdytyksentuottojärjestelmä. Vertailtavat järjestelmät on esitetty tarkemmin luvussa 3.4.1.

Lämmöntuoton saneerausvaihtoehdot									
Lämmöntuotto muutetaan maalämpöön									
Käyttömuoto: maalämpöpumppu									
Lämmitysmuoto: vesikielinen lämmitysjärjestelmä (pääasiallinen lämmitysmuoto)									
Eri muuttokiltoja (ohjelmasta huomioidaan lähtötiedot) (pääasiallinen lämmitysmuoto)									
	Mitoitus-teho	PIP tuoma lisäteho							
	kW	tilat+iv							
Tilat	281	kW							
Ilmanvaihto	0								
			Osuus vuosittaisesta lämmitystehon tarpeesta	Nimellisteho	Lämpöpumpun nimellistehon osuus mitoitus-tehotarpeesta	(Q)lämmitys, tilat/Qlämmityksen län	Menoveden korkein lämpötila [C]	Tuoton hyötysuhde/ lämpökertoimen	Auhoilaitteiden sähkönsyöttö kWh/(m ² a)
Lämmöntuotto 1				kW					man. syöttö
Maalämpöpumppu			1	281	1	2,24	40	3,00	EPÄTOSI
Tilat, ilmanvaihto							60	2,30	
Käyttövesi:									
Lisälämmitys 2			0,00	0					
Sähkös									EPÄTOSI
Tilat, ilmanvaihto							40	1,00	
Käyttövesi:							60	1,00	

Kuvio 6. Ruudunkaappaus laskentaohjelman Vaihtoehto 1 -välilehdeltä.

Kuviossa 6 on ruudunkaappaus laskentatyökalun Vaihtoehto 1-välilehden lämmöntuottojärjestelmän saneerausvaihtoehtojen valintaosiosta. Keltaisten solujen pudotusvalikosta laskija voi valita tarkasteltavan vaihtoehdon sekä määrittää tarkemmat mitoitusperiaatteet. Kuvan muut kuin keltaiset solut päivittyvät automaattisesti keltaisten solujen valintojen mukaan. Muiden solujen muokkaus ei ole mahdollista pois lukien kohdat, joihin on luotu "man. syöttö" -sarake, joka tarkoittaa manuaalista syöttöä. Jos laskija haluaa esimerkiksi muuttaa järjestelmän hyötysuhdetta haluamukseen, kumoaa "man. syöttö" -solun arvo ohjelman vakioidun arvon. Manuaalisia valintoja löytyy myös ohjelman lähtötiedot osiosta.

Eri skenaarioiden kustannusten lähtötietoja voidaan tutkia tarkemmin kustannustaulukosta (Kuvio 7). Lähtötietoihin on mahdollista lisätä tarvittaessa muita kustannuksia tai muuttaa ohjelman automaattisen laskennan arvoja.

Investointikustannukset					Käyttökustannukset				
Maalämpökaivojen syvyys laskennassa 200 m ja arvioitu teho 10 kW/kaivo					toimilaitteiden + venttiilin osuudeksi arvioitu 0,1 x lämpöpumpun hinta				
Maalämpö	kaivojen määrä	28	kpl			Man. valinta		Man. valinta	
	mitoitusteho	281	kW			€	€	toistuvuus	toistuvuus
	automaatiopistee	20	kpl			Uusimiskustannukset			
	lisälämmitysteho	0	kW			kompressorin vaihto	42710	12,5	12,5
	kaivojen vaatima	1581	m ²			toimilaitteet + venttiilit	10678	12,5	12,5
				€	Man. valinta	lämpöpumppu pl. kompressorin ja toimilaitteet	53388	25	25
				€	€	Automaatio	5827	25	25
lämpöpumppu laitteineen	380	€/kW	=	106776		Sähkökattila	0	30	30
keruupiiri (kaivot)	7739	€/kaivo	=	217467		Muu uusimiskustannus	0	0	0
liitosputket (kaivoihin-kaivuun)	23	€/m ² (tonntti)	=	37038		Muu uusimiskustannus	0	0	0
automaatio	291	€/piste	=	5827					
käyttövesivaraaja 1m ³	4801	kpl	=	4800,6667		Huoltokustannukset vuosittain			
Sähkökattila	57	€/kW	=	0		vuosihoito	610	1	1
Muu kustannus			=	0		Muu kustannus	0	1	1
Muu kustannus			=	0					
YHT			=	371908					

Kuvio 7. Ruudunkaappaus laskentaohjelman vaihtoehto 1 -välilehden kustannustaulukosta.

3.1.3 Kannattavuuksien vertailu -välilehti

Kannattavuuksien vertailu -välilehti kokoaa vertailuvaihtoehtojen elinkaarikustannuslaskennan tulokset yhteen. Kannattavuuksien vertailu -välilehdeltä asetetaan myös elinkaarikustannuslaskennassa olennaiset parametrit, (Kuvio 8) kuten korkokannat ja energian hinnat, joita laskennassa halutaan käyttää.

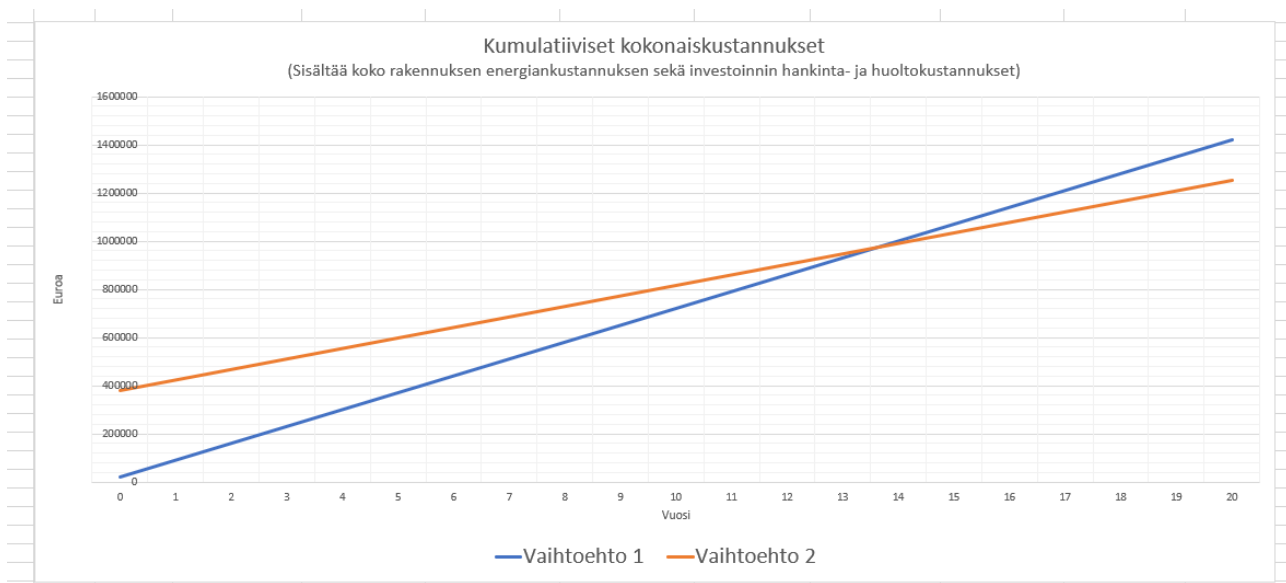
Laskennan lähtötiedot			
Laskentajakso ja korkokanta			
Laskentajakson pituus		20	a
Nimelliskorkokanta		4	%
Inflaatio		2	%
Reaalikorkokanta (diskonttaus korko)		2	%
Energian hinnat			
Sähkö		100	€/MWh
Kaukolämpö			
	Kesä	42,06	€/MWh
	Syksy	62,41	€/MWh
	Talvi	72,68	€/MWh
	Kevät	60,09	€/MWh
Kaukojäähdytys		59	€/MWh
Sähkön hinnan oletettu nousu		2	%
Kaukolämmön hinnan oletettu nousu		2	%
Kaukojäähdytyksen hinnan oletettu nousu		2	%

Kuvio 8. Ruudunkaappaus kannattavuuksien vertailu -välilehden lähtötietotaulukosta.

Laskennan tulokset taulukko (Kuvio 9) kerää yhteen vaihtoehtoisten skenaarioiden käyttökustannusten nykyarvon ja investointikustannuksen, suoran takaisinmaksuajan sekä vuosittaisen energiakustannusten säästön. Edellä olevien tulosten lisäksi vaihtoehdon kaksi sisäinen korkokanta saadaan selville sisäisen korkokannan laskentapainiketta klikkaamalla. Painikkeeseen on määritetty makro, joka avaa Excelin ratkaisinapuohjelman ja laskee määritettyjen laskentasääntöjen mukaan reaalisin sisäisen korkokannan. Vaihtoehtojen kumulatiiviset kustannukset (Kuvio 10) on myös esitetty viivakaaviona, jossa pystyakselilla on kustannukset euroissa ja vaakakselilla laskenta-aika. Viivojen leikkauspisteestä voidaan nähdä vaihtoehdon korollinen takaisinmaksuaika.

Laskennan tulokset		Vaihtoehto 1					Vaihtoehto 2				
Laskentajakson kustannusten nykyarvo €		Ilmanvaihdon saneeraus	Lämmöntuottojärjestelmän saneeraus/muutos	Jäähdytyslaitteiston saneeraus/muutos	PIIP lisäys	Yhteensä	Ilmanvaihdon saneeraus	Lämmöntuottojärjestelmän saneeraus/muutos	Jäähdytyslaitteiston saneeraus/muutos	PIIP lisäys	Yhteensä
Investointi	0	20448	0	0	0	20448	0	202605	0	0	202605
Huolto ja uusimiskustannukset	0	21296	0	0	0	21296	0	28935	0	0	28935
Kaukolämmitysenergia	-	-	-	-	-	493993	-	-	-	-	0
Kaukojäähdytysenergia	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0
Sähköenergia	-	-	-	-	-	181239	-	-	-	-	492472
Yhteensä (investointikustannus + käyttökustannusten nykyarvo)	-	-	-	-	-	716976	-	-	-	-	664012
Vuosittainen säästö energiakustannuksissa (koroton)						12434 €	Sisäinen korkokanta (raallinen)		5,60 %	Laske sisäinen korkokanta	
Suora takaisinmaksuaika (uusimiskustannuksia ja korkoa ei huomioitu)						14,6 a	<input type="button" value="Reset"/>				

Kuvio 9. Ruudunkaappaus laskentaohjelmasta. Laskennan tulokset -taulukko.



Kuvio 10 Ruudunkaappaus laskentaohjelmasta. Kumulatiiviset kokonaiskustannukset -kaavio.

3.2 Energiankulutuksen laskennan totuttaminen laskentaohjelmassa

3.2.1 Energiankulutuksen laskennan toteuttaminen laskentaohjelmassa

Laskentaohjelman energiankulutuksen laskenta noudattaa edellä olevassa luvussa kuvattua Ympäristöministeriön laskentamenetelmää. Jokaiselle laskennan osa-alueelle on ohjelmaan syötetty laskentaohjeen mukaiset kaavat, jotka on kuvattu tarkemmin Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018-ohjeessa. Jäähdytysenergian tarve on myös mahdollista

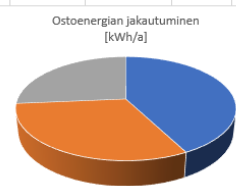
määrittää itse, jos esimerkiksi rakennukselle on tehty jäähdytystehontarpeen dynaaminen simulointi. Muutoin ohjelma noudattaa jäähdytysenergian laskennassa Ympäristöministeriön energiatodistusasetuksen A20.12.2017/1048 liitteen 1 mukaista laskentaa.

Kuviossa 12 on esitetty yksi monista laskentaohjelman aputaulukoista, joita ohjelma sisältää. Kun laskija on valinnut lähtötiedoista, että kohde on esimerkiksi asuinkerrostalo. Laskee ohjelma automaattisesti lämpimän käyttöveden tarvittavan energiamäärän vakioitujen ohjearvojen ja ohjelmaan syötettyjen kaavojen avulla. Excelin ehtolausekkeitä hyödyntäen ohjelma poimii taulukoista oikeat tiedot ja summaa ne koontitalukoon (Kuvio 13). Ohjelman energialaskentaosiossa on yli 30 erilaista laskentaa ja vakioituihin arvoihin liittyvää aputaulukkoa, joista ehtolausekkeiden avulla ohjelma poimii tiedot laskijan määrittämien lähtötietojen perusteella. Aputaulukot on ohjelmassa piilotettu selkeyden vuoksi. Lähtötiedot välilehti on esitetty kokonaisuudessaan työn liitteenä (Liite1).

Käyttöveden vakioituja arvoja ja laskentataulukko	Vakioitu kulutus kWh/m ² a	Jaon hyötysuhde	Kiertojohdon pituus m/m ²	Kiertojohdon pituus m	Kiertojohdon lämpö häviö [kW]	Kiertojohdon lämpö häviö [kWh/a]	Kiertojohdon mitoitus virtaama l/s	Kiertovesipumpun sähkön kulutus kWh/a
ASUINKERROSTALO	35	0,97	0,2	259,8	2,598	22758,48	0,206190476	361,2457143
TOIMISTORAKENNUS	6	0,88	0,06	77,94	0,7794	6827,544	0,061857143	108,3737143
LIIKERAKENNUS	4	0,87	0,06	77,94	0,7794	6827,544	0,061857143	108,3737143
MAJOITUSLIIKERAKENNUS	40	0,97	0,25	324,75	3,2475	28448,1	0,257738095	451,5571429
OPETUSRAKENNUKSET JA PÄIVÄKODIT	11	0,89	0,2	259,8	2,598	22758,48	0,206190476	361,2457143
LIIKUNTAHALLIT	20	0,98	0,06	77,94	0,7794	6827,544	0,061857143	108,3737143

Kuvio 12. Käyttöveden energiankulutus aputaulukko laskentaohjelmasta.

Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus	Sähkö lämmitys tilat ja IV [kWh/a]	Sähkö lämmitys vesi [kWh/a]	Sähkö jäähdytys [kWh/a]	Sähkötenergia [kWh/a]	Lämpöenergia tilat ja IV [kWh/a]	Lämpöener käyttövesi [kWh/a]	Jäähdytysenergia [kWh/a]
Kaukolämpö					67619	4075	
Ilma-vesilämpöpumppu	99811	7351					
Maalämpöpumppu	0	0					
Poistoilmalämpöpumppu	0	0					
Lämmitys sähkö	0	0					
Lämmitys ja jäähdytysjärjestelmän apulaitteet				4397			
Puhallin sähkö				27328			
Kulutuslaitteet				23071			
Valaistus				24226			
Kaukojäähdytys							0
Maavilennys			190				
Jäähdytyskoneikko			7619				
Yhteensä	99811	7351	7619	85022	67619	4075	0



Kuvio 13. Energiankulutuksen koontitaulukko laskentaohjelmasta.

Lähtötietoina ohjelmaan on syötetty valmiiksi laskentamenetelmien ohjearvot, jotka on esitetty Ympäristöministeriön laskentaohjeessa "Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018" sekä energiatodistusasetuksen liitteessä "A20.12.2017/1048 Liite 1". Näitä ohjearvoja ovat esimerkiksi lämpöpumppujen vuosihyötysuhteet eri laskentavyöhykkeillä, ilman-

vaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteet eri lämmönsiirrintyypeillä tai lämmönjaon vuosihyötysuhteita eri lämmitysratkaisutyypeillä. Kuviossa 14 on esimerkki ohjelman lämmöntuoton ohjeartaulukosta.

Lämmöntuotto	menoveden korkein lämpötila [C]	tuoton hyötysuhde eri laskentavyöhykkeillä			Apulaitteiden kWh/(m ² *a)
		I-II	III	IV	
-					
Kaukolämpö		0,97	0,97	0,97	0,07
Sähkö		1	1	1	0,02
Ilma-vesilämpöpumppu	-				Sisältyy SPF-lukuun
	30	2,8	2,8	2,7	
	40	2,5	2,5	2,4	
	50	2,3	2,3	2,2	
	60	2,2	2,1	2	
	60 käyttövesi	1,8	1,6	1,3	
Maalämpöpumppu	-				Sisältyy SPF-lukuun
	30	3,4	3,4	3,4	
	40	3	3	3	
	50	2,7	2,7	2,7	
	60	2,5	2,5	2,5	
	60 käyttövesi	2,3	2,3	2,3	

Kuvio 14. Lämmöntuoton ohjeartaulukko laskentaohjelmasta.

Rakennuksen käyttötietoina ohjelmaan on syötetty samat vakioidut käyttöajat, joita käytetään energiatodistuksen laskennassa. Näitä vakioituja arvoja ovat esimerkiksi ilmanvaihdon käyntiajat, rakennuksen käyttöaika tai lämpimän käyttöveden vakioitu käyttö rakennusluokittain. Käyttötiedot ovat lueteltu Ympäristöministeriön asetuksessa 1010/2017 uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Kuviossa 15 on esimerkki ohjelman käyttöastetaulukosta.

Käyttöasteet ja lämpökuormat laitteet, valaistus ja ihmiset							
Luokka	käyttötuntien osuus kuukauden tunneista	ihmiset ja laitteet käyttöaste	valaistuksen käyttöaste	valaistus W/m ²	kuluttajalaitteet W/m ²	ihmiset W/m ²	
2 asuin kerrostalo	1,00	0,6	0,1	9	4	3	
3 toimistorakennus	0,33	0,65	0,65	10	12	5	
4 liikeyritys	0,46	1	1	19	1	2	
5 majoiusliikeyritys	1,00	0,3	0,3	11	4	4	
6 opetusrakennus	0,24	0,6	0,6	14	8	14	
7 liikuntahalli	0,58	0,5	0,5	10	0	5	

Kuvio 15. Taulukko laskentaohjelmasta. Kuluttajalaitteiden, valaistuksen ja ihmisten vakioidut käyttöasteet ja lämpökuormat rakennusluokittain.

Rakennuskohtaiset tiedot, kuten vaipan pinta-alat laskijan täytyy itse syöttää ohjelmaan. Ohjelmaan on kuitenkin syötetty valmiiksi rakenteiden lämmönläpäisykertoimia eri rakennusvuosilta.

Ohjelma päivittää lämmönläpäisykertoimet automaattisesti lähtötiedot -välilehdelle, kun lähtötiedoista on valittu rakennuksen rakentamivuosi. Eri aikakausien keskimääräiset lämmönläpäisykertoimet on poimittu energiatodistusasetuksen A20.12.2017/1048 liitteestä 1. Kuviossa 16 on esimerkki ohjelman rakennusosien lämmönläpäisykertoimien taulukosta.

Rakennusosien lämmönläpäisykertoimet	Rakennusluvun vireilletulovuosi									
	xx-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	2003-	2008-	2010-	2012-	
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,7	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17	
Yläpohja	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09	
Ovi	2,2	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1	1	
Ikkuna	2,8	2,8	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1	1	
Maavarainen alapohja	0,47	0,47	0,4	0,4	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16	
Ryömintätilainen alapohja	0,47	0,47	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,17	0,17	
Ulkoilmaan rajoittuva	0,35	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09	

Kuvio 16. Taulukko laskentaohjelmasta. Rakennusosien määräysten mukaiset U-arvot eri rakennusvuosilta.

3.3 Kustannusten laskenta

Seuraavissa luvuissa kerrotaan, miten kustannusten laskenta ohjelmassa on toteutettu. Kaikki euronäärät ovat arvonlisäverottomia hintoja.

3.3.1 Investointikustannusten laskenta ohjelmassa

Laskentaohjelma laskee investointikustannukset vertailtavien järjestelmien investoinneille, jotka valitaan ohjelman välilehdiltä "Vaihtoehto1" ja "Vaihtoehto2". Jokaiselle laskentaskenaariolle on määritetty investointikustannukset ja laskentasäännöt kustannusten muodostumiselle laskentaohjelman kustannustaulukossa (Kuvio 17). Laskijan valitsemien vertailuvaihtoehtojen perusteella investointikustannukset siirtyvät automaattisesti ohjelman "Kannattavuuksien vertailu" -välilehdelle "Laskennan tulokset" -taulukon (Kuvio 9).

Ilma-vesilämpö					
		mitoitusteho	169	kW	
		automaatiopisteet	20	kpl	
		lisälämmitysteho	169	kW	
					Man. valinta
				€	€
lämpöpumppu laitteineen	436	€/kW	=	73900	
automaatio	334	€/piste	=	6685	
käyttövesivaraaja 1m3	5508	kpl	=	5508	
Sähkökattila	65	€/kW	=	11017	
Muu kustannus			=	0	
Muu kustannus			=	0	
Yhteensä			=	97111	

Kuvio 17. Kustannustaulukko ohjelmasta. Ilma-vesilämpöpumpun investointikustannukset - taulukko.

Kuviossa 17 on esimerkki Ilma-vesilämpöpumpun investointikustannusten muodostumisesta. Ohjelman laskema lämpöpumpun mitoitustehontarve on 169 kW ja määritetty lämpöpumpun kustannus laitteineen 436 €/kW. Tällöin ilma-vesilämpöpumpun investointikustannukseksi saadaan 73900 €. Muita esimerkin laskennassa käytettäviä investointikustannuksia ovat automaatio, käyttövesivaraaja ja sähkökattila. Jos ohjelmaan syötetyistä kustannuksista halutaan poiketa, voidaan ne syöttää manuaalisesti kohtaan "man. valinta". Jos laskija haluaa laskentaan muita kustannuksia, voidaan ne syöttää "muu kustannus" -kohtaan.

Kustannukset ja niiden hinnoitteluperusteet ovat kerätty ohjelmaan pääasiassa Haahtela-kehitys Oy:n julkaisemasta Talonrakennuksen kustannustieto 2015- kirjan rakennusosa-arviomenetelmän hinnastosta. Hinnat on sidottu laskentaohjelmassa Haahtelan kaksi kertaa vuodessa julkaisemaan tarjoushintaindeksiin. Laskija voi muuttaa indeksin pistelukua laskenta-ajankohdan mukaan. Osa kustannuksien hinnoitteluperusteista vaatii järjestelmän tarkempaa mitoitusta, ennen kuin ne pystytään määrittämään rakennusosa-arviomenetelmän mukaisesti. Esimerkiksi maalämpöjärjestelmän kustannusten laskentaan tarvitaan tieto kaivojen määrästä ja lämpöpumpun mitoitustehosta. Järjestelmien mitoituksille on luotu omat laskentasäännöt, joita käsitellään tarkemmin luvussa 3.4.

3.3.2 Uusimis-, kunnossapito- ja huoltokustannusten laskenta ohjelmassa

Vertailtavien järjestelmien huollon, uusimisen ja kunnossapidon jaksot on taulukoitu ohjelmaan ”Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajakset 2008” RT-kortissa esitettyjen tietojen perusteella. Järjestelmien uusimiskustannukset on kerätty ohjelmaan pääasiassa Haahtela-kehitys Oy:n julkaisemasta Talonrakennuksen kustannustieto 2015- kirjan rakennusosa-arviomenetelmän hinnastosta. Niiltä osin, kun järjestelmän osan uusimiskustannuksen yksikköhintaa ei ole löytynyt Haahtelan hinnastosta on keskimääräiset kustannukset selvitetty suoraan laitevalmistajilta tai heidän hinnastoistansa arvioimalla. Esimerkiksi kompressorin vaihdon osuudeksi lämpöpumpun kokonaishinnasta arvioitiin noin 40 % haastattelemalla yhtä LVI-alan johtavaa laitevalmistajaa Suomessa. Vuosittaiset järjestelmien keskimääräiset huoltokustannusten hinnat on selvitetty alan toimijoiden hinnastoista tai arvioimalla RT-kortin mukaisen huollon työmenekki ja kustannus.

Kuviossa 18 on esitetty esimerkki maalämpöpumpun käyttökustannusten laskennasta ohjelmassa. Käyttökustannukset -sarakeessa on lueteltu järjestelmän osien uusimiskustannukset sekä toistuvuus -sarakeessa niiden uusimisväli. Huoltokustannuskohdassa on vuosittain tehtävät huoltotoimenpiteet. Keltaiseen sarakkeeseen ohjelma laskee uusimis- ja huoltokustannusten nykyarvon laskenta-ajanjaksolla. Laskenta-ajanjakso määritellään ”kannattavuuksien vertailu” -välilehdeltä. Kustannusten yhteenlaskettu nykyarvo päivittyy ”kannattavuuksien vertailu” -välilehden ”laskennan tulokset” -taulukkoon (Kuvio 9).

Käyttökustannukset				Uusimis- ja huoltokustannusten nykyarvo laskenta-ajanjaksolla [€]		
<i>toimilaitteiden + venttiilin osuudeksi arvioitu 0,1 x lämpöpumpun hinta</i>						
		<i>Man. valinta</i>	<i>toistuvuus</i>	<i>Man. valinta</i>		
	€	€	a	toistuvuus	uusimiskustannukset	vuosittaiset huolto-kustannukset
						YHT
Uusimiskustannukset						
kompressorin vaihto	29560		12,5		41096	
toimilaitteet + venttiilit	7390		12,5		10274	
lämpöpumppu, pl. kompressor ja toimilaitteet	36950		25		22522	
Automaatio	6685		25		4075	
Sähkökattila	11017		30		6082	
Muu uusimiskustannus	0		0		0	
Muu uusimiskustannus	0		0		0	
Huoltokustannukset vuosittain						
vuosihuolto	300		1			7500
Muu kustannus	0		1			0
						0
					84049	7500
						91549

Kuvio 18. Taulukko laskentaohjelmasta. Maalämpöpumpun uusimis- ja huoltokustannukset.

3.3.3 Energiakustannusten laskenta ohjelmassa

Ohjelma laskee lähtötietojen ja valittujen saneerausvaihtoehtojen tietojen perusteella rakennuksen vuosittaisen energiakulutuksen järjestelmittäin sekä energiamuodoittain vertailtaville skenaarioille. Laskijan määrittämien energian hintojen ja laskenta-ajan perusteella ohjelma tuo energiakustannusten nykyarvotaulukkoon lasketut tulokset (Kuvio 19) ”kannattavuuksien vertailu” -välilehden tulostaulukkoon (Kuvio 9).

Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus	Sähköenergia (lämmitys tilat ja IV) [kWh/a]	Sähkö (lämmitys käyttövesi) [kWh/a]	Sähkö (jäähdytys) [kWh/a]	Sähköenergia laitteet [kWh/a]	Lämpöener tilat ja IV kWh/a	Lämpöener käyttövesi kWh/a	Jäähdytysenergia kWh/a	yht
Kaukolämpö					0	0		
Ilma-vesilämpöpumppu	116662	8592						
Maalämpöpumppu	0	0						
Poistoilmalämpöpumppu	0	0						
Lämmitys sähkö	28517	1718						
Lämmitys ja jäähdytysjärjestelmän apulaitteet				4306				
Puhallinsähkö				27328				
Kuluttajalaitteet				29071				
Valaistus				24226				
Kaukojäähdytys							0	
Misavillennys			190					
Jäähdytyskoneikko			7619					
Yhteensä	145179	10311	7810	84931	0	0	0	
Kustannus vuodessa €	14518	1031	781	8493	0	0	0	24823 €
Kustannusten nykyarvo laskenta-ajanajaksolla €	362928	25775	19523	212315	0	0	0	620542 €

Kuvio 19. Ruudunkaappaus laskentaohjelmasta. Vaihtoehto 1 energiakustannusten taulukko.

Energian hinnat asetetaan ”laskennan lähtötiedot” -taulukosta (Kuvio 8) Taulukkoon voidaan asettaa kaukolämmön kausittainen energiamaksu, sähkön energiamaksu ja kaukojäähdytyksen energiamaksu. Taulukosta voidaan myös asettaa energian hintojen arvioitu vuosittainen nousu prosentteina.

Kaukolämmön lämmitysenergiasta maksettava kustannus koostuu energiamaksun lisäksi tehomaksusta (Kaukolämmön hinta 2022). Ohjelmaan on asetettu valmiiksi Turku Energian hinnoittelusääntöjen mukainen tehomaksun laskentakaava kaukolämmitykselle sekä kaukojäähdytykselle. Ohjelma lisää laskenta-ajan tehomaksujen nykyarvon ”kannattavuuksien vertailu” -välilehden tulostaulukkoon (Kuvio 9). Jos halutaan käyttää muun energiayhtiön hinnoitteluperustetta, voidaan sen vuosittainen tehomaksu asettaa ohjelmaan manuaalisesti.

			man. syöttö	
tehomaksu kaukolämpö		5535		€/v
nykyarvo		138359		
tehomaksu kaukojäähd		2649		€/v
nykyarvo		66222		

Kuvio 20. Ruudunkaappaus ohjelmasta. Kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen tehomaksun asettaminen.

3.3.4 Muiden kustannusten huomiointi ohjelmassa

Purkukustannuksia ei ole erikseen syötetty ohjelman kustannustietoihin. Purkukustannukset ovat otettu huomioon investointikustannusten ja uusimiskustannusten hinnoissa.

Jäännösarvokustannuksia ei ole otettu ohjelmassa huomioon. Murtomaan (1996, 341) mukaan korjausrakentamisvaiheessa uusittavilla järjestelmillä tai rakennusosilla ei yleensä ole jäännösarvoa tai se on negatiivinen purkukustannusten takia.

Sähkötöistä syntyviä kustannuksia ei ole otettu ohjelmassa huomioon, koska vertailtavien järjestelmien sähkötöiden osuuden on oletettu olevan lähellä toisiaan. Jos vaihtoehtojen sähkötöiden kustannusten arvioidaan eroava oleellisesti toisistaan, voidaan ne asettaa manuaalisesti kustannuslaskentataulukon ”muut kustannukset” osioon.

3.4 Laskentaohjelmaan valitut järjestelmät

Tässä luvussa kerrotaan, miksi valitut saneerausvaihtoehdot on valikoitu ohjelmaan ja selvitetään niiden teoriaa sekä huollon ja energiankulutuksen muodostumisen tekijöitä.

3.4.1 Perustelut järjestelmävalinnoille

Suomen pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia asettaa tavoitteeksi, että vuoden 2020 alkuun mennessä valmistuneiden asuin- ja palvelurakennusten hiilidioksidipäästöjä vähennetään vuoden 2020 alusta 90 % vuoteen 2050 mennessä. 17 prosenttia Suomen nykyisistä hiilidioksi-

päästöistä syntyä asuin- ja palvelurakennusten lämmityksestä. (Suomen pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020.) Strategian kolme keskeisintä linjausta rakennuskannan muuttamiseksi energiatehokkaaksi ja vähähiiliseksi ovat: 1) Poistuma ja tilatehokkuuden parantaminen; 2) Energiatehokkuuden parannukset korjaustoimien ja kunnossapidon yhteydessä sekä 3) Fossiilisista polttoaineista luopuminen energiantuotannossa. Kehitystä edistetään muun muassa mahdollistavalla ja velvoittavalla lainsäädännöllä. (Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020–2050 2020, 26.) Kuviossa 21 on esitetty rakennusten lämmitystapojen odotettu muutos vuoteen 2050 mennessä.

2. Lämmitystapa	Indikaattori	Yksikkö	2020	2030	2040	2050
Omakoti- ja paritalot	Puu	GWh/a	11385	7448	6257	4678
	Fossiiliset	GWh/a	3148	1464	296	0
	Lämpöpumppu	GWh/a	4958	7115	7881	7687
	Kaukolämpö	GWh/a	2629	1645	639	131
	Sähkö	GWh/a	9607	7253	5323	4200
Rivitalot	Puu	GWh/a	126	80	73	54
	Fossiiliset	GWh/a	186	0	0	0
	Lämpöpumppu	GWh/a	591	824	878	811
	Kaukolämpö	GWh/a	3105	2175	1594	1221
	Sähkö	GWh/a	1385	1132	861	650
Kerrostalot	Puu	GWh/a	47	0	0	0
	Fossiiliset	GWh/a	543	0	0	0
	Lämpöpumppu	GWh/a	81	836	1181	1180
	Kaukolämpö	GWh/a	13635	10356	7767	6083
	Sähkö	GWh/a	1136	810	687	436
Ei-asuinrakennukset	Puu	GWh/a	874	1085	920	435
	Fossiiliset	GWh/a	3273	1460	435	4
	Lämpöpumppu	GWh/a	183	953	1788	2249
	Kaukolämpö	GWh/a	11902	9028	6871	5328
	Sähkö	GWh/a	2106	1810	1613	1261

Kuvio 21. Rakennuskannan lämmitystapojen odotettu muutos 2020–2050 (Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020–2050 2020, 49).

Strategiassa on käyty läpi kustannustehokkaita toimenpiteitä, jotka osaltaan mahdollistaisivat hiilidioksidipäästöjen vähentämistavoitteisiin pääsyn. Asuinkerrostalojen, liike ja liikenteen rakennuksien, toimistorakennuksien, hoitoalan ja opetusrakennuksien sekä kokoontumisrakennuksien keskeisimpiä LVI-teknisiä korjaustoimenpiteiksi luetellaan olevan:

- poistoilman lämmön hyödyntäminen poistoilmalämpöpumpputekniikalla tai olemassa olevan lämmöntalteenoton parantaminen
- jäteveden lämmöntalteenotto lämpöpumppuremontin yhteydessä
- vedenkulutuksen alentaminen huoneistokohtaisilla vesimittareilla tai painetta alentamalla

- fossiilisista polttoaineista luopuminen kiinteistökohtaisessa lämmityksessä ja tilalle päästötön energia, esimerkiksi maalämpö
- sähköllä tuotetun jäähdytyksen muuttaminen kaukokylmään tai maajäähdytykseen jos mahdollista (Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020–2050 2020, 31–32.)

Laskentaohjelmaan valitut vertailtavat järjestelmät ovat korjausrakentamisen strategiassa tunnistettuja toimenpiteitä. Valituilla järjestelmillä on vaikutusta koko rakennuksen energiankulutukseen ja niiden energiankulutus on mahdollista laskea Ympäristöministeriön ohjeen mukaisella laskennalla. Yhtenä kriteerinä valintaan on ollut myös se, että kustannusten laskenta on ollut selkeästi toteutettavissa laskentaohjelman yhteyteen. Vertailtavat saneerausvaihtoehdot voidaan valita kolmesta eri järjestelmästä, jotka ovat ilmanvaihtojärjestelmä, lämmöntuottojärjestelmä ja jäähdytysentuottojärjestelmä.

Ilmanvaihtojärjestelmän valittavat saneerausvaihtoehdot ovat:

- olemassa olevien huippuimurien uusinta
- painovoimaisen tai koneellisen poistoilmajärjestelmän muutos huoneistokohtaiseksi tulo- ja poistoilmavaihtojärjestelmäksi. Jokaisella huoneistolla oma tulo/poistoilmavaihtokoneensa
- olemassa olevien huippuimurien korvaaminen lämmöntalteenotolla ja poistoilmalämpöpumpulla
- ei muutoksia (ohjelma ottaa huomioon lähtötietoihin asetetun järjestelmän energiankulutuksen)

Lämmöntuottojärjestelmän valittavat saneerausvaihtoehdot ovat:

- kaukolämmön alajakokeskuksen uusiminen
- lämmitysmuodon muutos maalämpöön
- lämmitysmuodon muutos vesi-ilmalämpöön
- ei muutoksia (ohjelma ottaa huomioon lähtötietoihin asetetun järjestelmän energiankulutuksen)

Jäähdytysentuottojärjestelmän valittavat saneerausvaihtoehdot ovat:

- kaukojäähdytyksen alajakokeskuksen uusiminen
- uusi kaukojäähdytyksen alajakokeskus + liittymä
- uusi jäähdytyskoneikko
- maajäähdytys + aktiivinen jäähdytys maalämpöpumpulla
- ei muutoksia (ohjelma ottaa huomioon lähtötietoihin asetetun järjestelmän energiankulutuksen)

Öljylämmitys on jätetty pois laskentaohjelman vertailtavista saneerausvaihtoehdoista, koska vuoden 2019 hallitusohjelman mukaan fossiilisesta polttoöljystä ollaan luopumassa 2030-luvun alkuun mennessä (Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020–2050 2020, 30). Myös puu lämmitysmuotona on jätetty pois koska sen osuus varsinkin kerrostalojen lämmitysmuotona on jo nyt pieni (Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020–2050 2020, 49). Jos laskentaohjelmalla tarkastellaan kohdetta, jonka on tarkoitus luopua öljy- tai puulämmityksestä, tarkastella ohjelmalla vaihtoehtoisia lämmöntuottoratkaisuja keskenään. Sähkölämmitys voidaan valita laskentaohjelman lämmitystavaksi tukevana lämmitysmuotona esimerkiksi lämpöpumppujärjestelmälle.

Jäteveden lämmöntalteenotto on jätetty vertailtavana järjestelmänä pois laskentaohjelmasta. Suomessa kerrostalojen kiinteistökohtainen jäteveden lämmöntalteenotto ei ole vielä järjestelmänä yleistynyt (Turpeinen 2019, 1). Jäteveden lämmöntalteenotto ei myöskään sisälly E-luvun laskentaohjeisiin (Laitinen & Wallin 2022, 66). Investointi- ja huoltokustannusten selvittäminen olisi myös vaatinut erillistä tutkimusta. Jäteveden lämmöntalteenotto voidaan lisätä ohjelmaan myöhemmin, jos järjestelmät yleistyvät ja laskentaan tarvittavaa tietoa on enemmän käytettävissä.

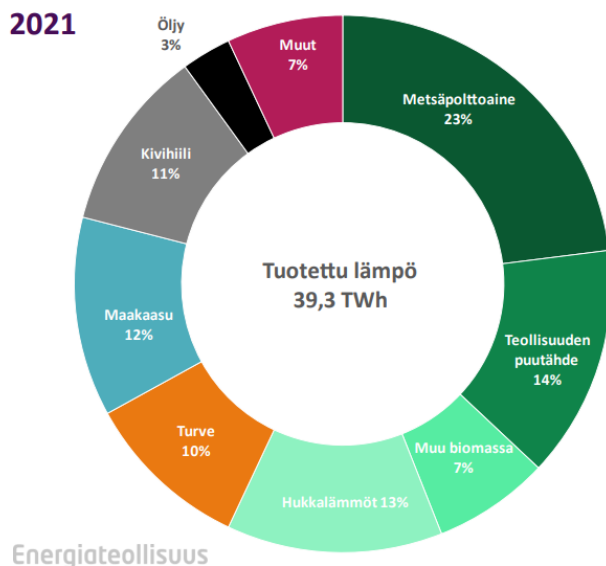
Vedenkulutuksen vähentäminen painetta alentavalla tekniikalla on jätetty myös pois laskentaohjelman saneerausvaihtoehdoista. Ympäristöhallinnon verkkosivujen korjaustiedon vedenkulutuksen hallintaoppaan mukaan vedenkulutuksessa saadaan tutkitusti säästöjä painetta alentamalla, jos virtaama on tarpeettoman kova. Veden virtaaman alentamiseen voidaan vaikuttaa monella tapaa muun muassa: asentaa vakiopaineventtiili vesimittarille, hienosäätää virtausta kalustekohtaisesti rajoitussuuttimilla ja suihkukahvoilla tai asennuttamalla vettä säästävät vesikalusteet. (Vedenkulutus hallintaan 2018) Tarkempien säästöjen selvittämiseksi tarkasteltavan kiinteistön vesikalusteiden virtaamien nykytilanne pitäisi kartoittaa enne elinkaarikustannuslaskennan suorittamista. Vedenkulutusta alentavan järjestelmän kustannusten laskenta täytyisi myös rakentaa ohjelmaan hienosäikeisemmin, koska saneerausvaihtoehdot ovat kohdekohtaisia. Karkea arviointi lämpimän käyttöveden kulutuksen alenemisesta voidaan arvioida Ympäristöministeriön asetuksen mukaan: Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta kerrotaan, että lämpimän käyttöveden lämmitysenergian vuoden nettotarpeen vakioituja käyttötarkoituksiluokittaisina arvoina voidaan käyttää 15 prosenttia pienempiä arvoja, jos rakennuksen käyttövesiverkosto varustetaan vakiopaineventtiilillä tai muulla painetasoa säätävällä tekniikalla (A 2017/1010, 13 §).

Ilmanvaihtojärjestelmän saneerausvaihtoehdoista jätettiin tarkoituksella pois asuinrakennuksen ilmanvaihdon uudistaminen täysin keskitetyksi järjestelmäksi, jossa yksi ilmanvaihtokone palvelee kaikkia asuntoja. Järjestelmä jätettiin pois, koska se vaatii yleensä huomattavan paljon rakennusteknisiä töitä, koska tuloilmalle pitää rakentaa pystykanavat. Myös ilmanvaihtokoneen tilanpuute saattaa olla esteenä järjestelmän hankinnalle. (Virta & Pylsy 2011, 95–96.) Ilmanvaihtojärjestelmän uusimistoimenpide: ”olemassa olevien huippumurien uusinta” on valittu ohjelmaan, jotta muille ilmanvaihdon energiatehokkuutta parantaville vaihtoehdoille on saatu vertailuratkaisu.

3.4.2 Ohjelmaan valittujen lämmityksentuottojärjestelmien teoriaa

Kaukolämmitys

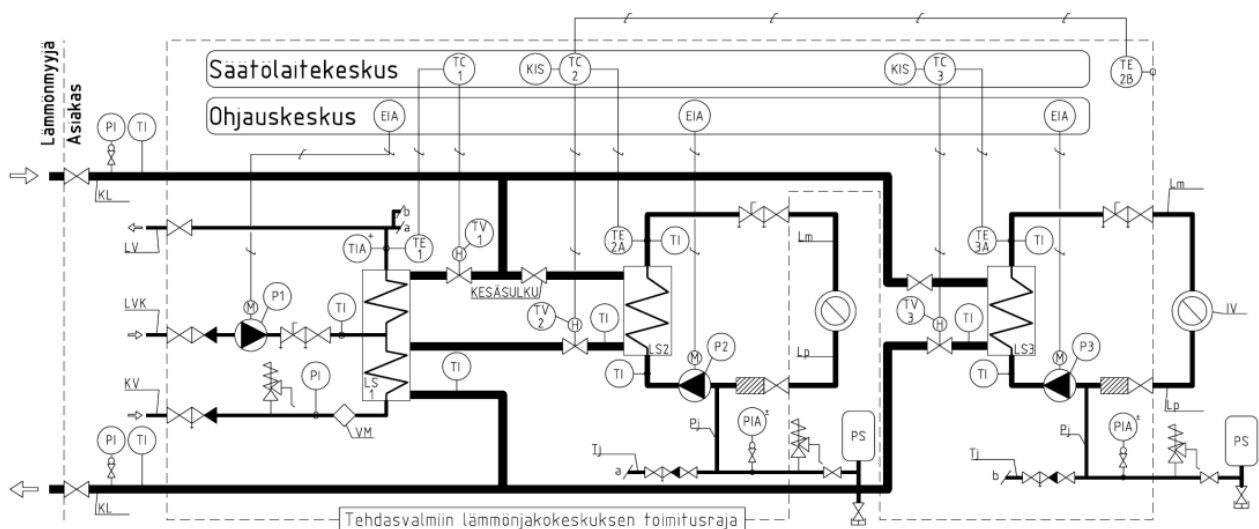
Kiinteistöjen lämmitysmuodoista kaukolämpö on yleisin lämmitysmuoto Suomessa. 46 prosenttia Suomen asuin- ja palvelurakennuksien lämmitysenergiasta tuotettiin kaukolämmöllä vuonna 2018. Kaikkiaan 166 Suomen kunnassa on kaukolämpöverkko. Kaukolämmön tuotannossa käytettävät polttoaineet määrittelevät sen ympäristövaikutuksen. (Kaukolämpö 2022.) Kaukolämpöä hyödyntävistä kunnista noin 75 prosenttia tuottaa lämmön pääasiassa uusiutuvilla polttoaineilla (Energia- vuosi 2021 Kaukolämpö 2022, 8).



Kuvio 22. Kaukolämmön tuotannossa käytettävien energiamuotojen osuudet vuonna 2021 (Energia vuosi 2021 Kaukolämpö 2022, 5).

Kaukolämmön hinta jakaantuu yleensä kolmeen osaan: liittymismaksuun, tehomaksuun ja energiamaksuun. Liittymismaksuun voi vaikuttaa kiinteistön koko sekä etäisyys lämpölaitoksesta. Energiamaksua maksetaan käytetystä kaukolämmöstä. Energimaksun hinta vaihtelee paikkakunnittain energiayhtiöstä ja sen tuotantotavasta riippuen. Tehomaksu on vuosittain maksettava perusmaksu, joka riippuu liittymän koosta. (Kaukolämpö 2022.)

Kaukolämpöverkon lämpö tuodaan kiinteistön lämmönjakokeskukselle. Lämmönjakokeskuksessa on omat lämmönsiirtimet käyttövedelle, tilojen lämmitykselle ja mahdollisesti ilmanvaihdolle. Lämmönsiirtimet erottavat kaukolämpöverkoston veden ja kiinteistön lämmönjakojärjestelmien piirit toisistaan. (Lämpöä kotiin verkosta 2022.) Kuviossa 23 on esitetty kaukolämmön alajakokeskuksen mallikytkentä. LS1 on käyttöveden lämmönsiirrin, LS2 tilojen lämmityksen lämmönsiirrin ja LS3 ilmanvaihdon lämmönsiirrin. Moottoriventtiilit TV1, TV2 ja TV3 säätävät kaukolämmön veden virtausta siirtimille kiinteistön lämmitystarpeen mukaan. Pumppu P1 on lämpimän käyttöveden kiertovesipumppu, P2 on patterilämmityksen tai lattialämmityksen kiertovesipumppu ja P3 on ilmanvaihdon lämmityksen kiertovesipumppu.



Kuvio 23. Kaukolämmön alajakokeskuksen mallikytkentäkaavio (Rakennusten kaukolämmitys Määräykset ja ohjeet 2021, 89).

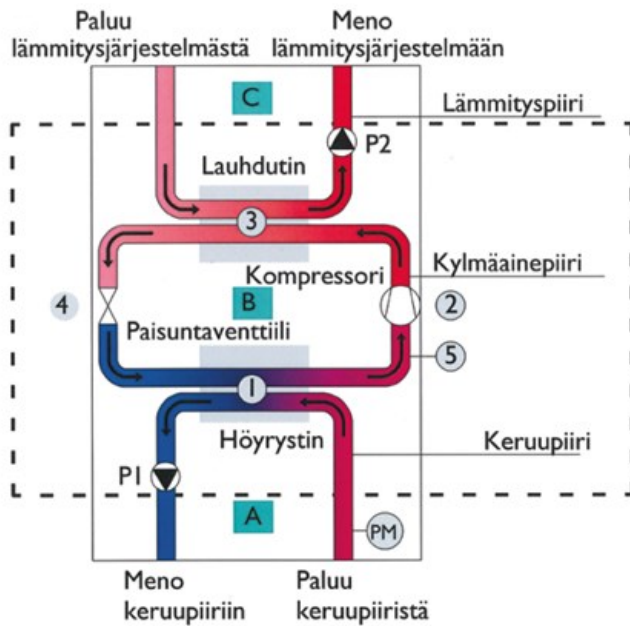
Kaukolämmön alajakokeskuksen hinta muodostuu Haahtela-kehitys Oy:n rakennusosa-arviomennelmissä tehoerusteisesti. Esimerkiksi tilojen ja ilmanvaihdon lämmitystehontarpeen ollessa yhteensä 150 kW, on kaukolämmön alajakokeskuksen hinta 94 €/kW alueellisen hintatason pisteluvun ollessa 75. Hintaan sisältyy koko alajakokeskus automatiikkoineen, siirtimineen, pumppuineen

ja paisuntajärjestelmiseen. Liittymämaksua hinnassa ei ole otettu huomioon. (Haahtela & Kiiras 2015, 263.)

Lämmönjakokeskuksen laitteiden ja siirtimien käyttöikä on n. 20 vuotta. Lämmönsiirtimien venttiilien toimilaitteiden käyttöikä voi olla lyhyempi n. 10–15 vuotta. Lämmönjakokeskuksen toiminnan tarkastusväli on vähintään 1 vuosi. (Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot 2008, 13) Muun muassa energiayhtiöt tarjoavat asiakkailleen lämmönjakokeskusten vuosittaisia huoltosopimuksia, jossa tarkastetaan laitteiston kunto ja selvitetään mahdolliset laiteviat sekä tehdään laitteiden säätöjen tarkastus. Esimerkiksi vuonna 2022 Kotkan Energian huoltosopimus maksaa 150 kW lämmitystehon laitteistolle 298,39 euroa vuodessa (alv. 0 %). (Kaukolämpölaitteiden vuosi-huolto 2022.)

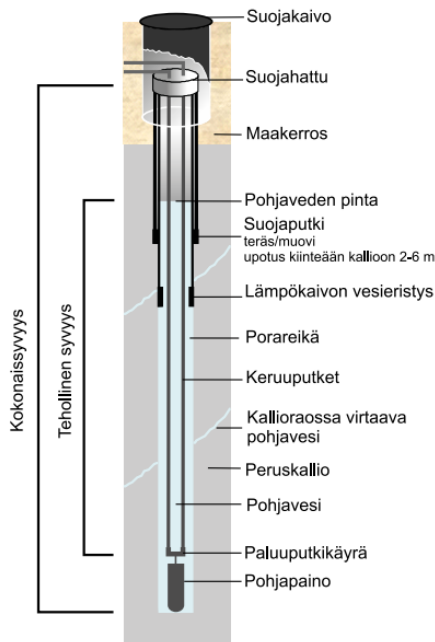
Maalämpö

Maakerrokseen, kallioon tai veteen sitoutunut auringon lämpöenergia kerätään lämmönkeruupiirin avulla maalämpöpumpulle, jossa keruupiirissä lämmennyt neste höyrystää lämpöpumpussa kiertävän kylmäaineen. Lämpöpumpun kompressori nostaa höyrystyneen kylmäaineen painetta, jolloin sen lämpötila nousee. Lämpöpumpun lauhduttimessa lämmin kylmäaine lauhtuu uudestaan nesteeksi ja luovuttaa samalla lämpöä kiinteistön lämmönjakoverkkoon ja lämpimään käyttöveteen. Kuviossa 24 on esitetty maalämpöpumpun toimintaperiaate. (Maalämpöpumppu, MLP 2022)



Kuvio 24. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Juvonen & Lapinlampi 2013, 12).

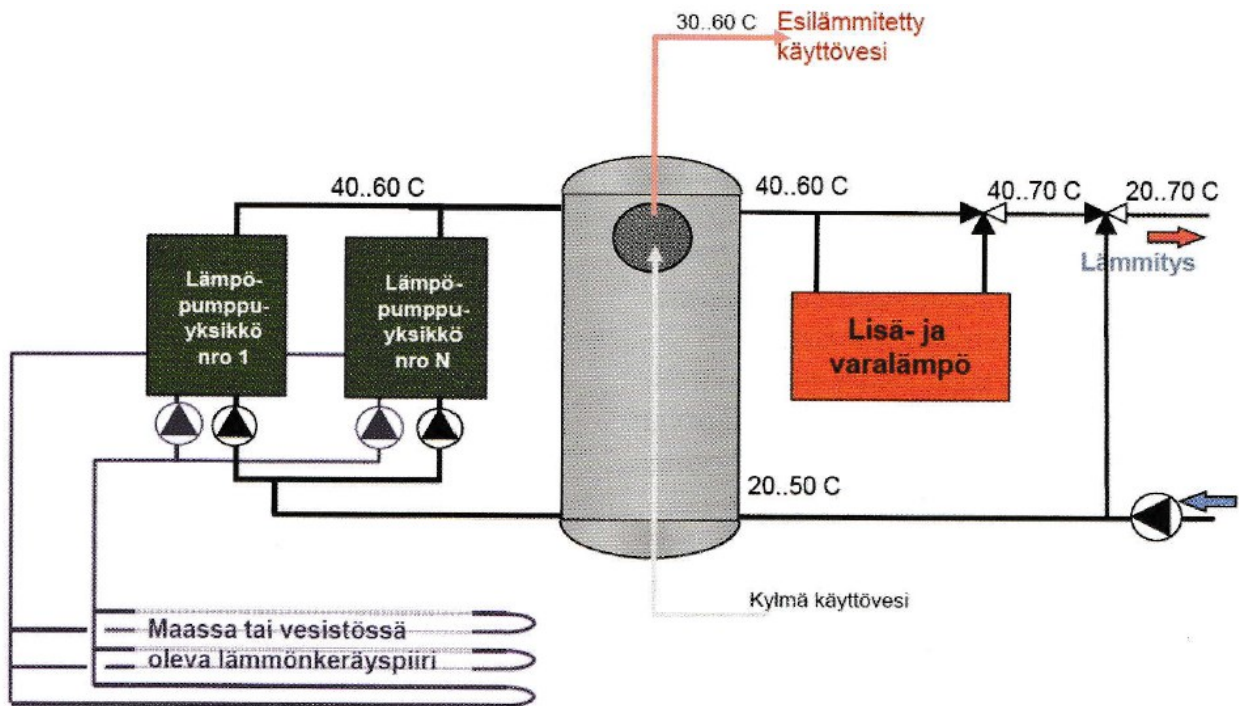
Suomessa suurin osa maalämmön keruupiireistä toteutetaan energiakaivoilla, Etelä-Suomessa niiden osuus on n. 80 %. (Maalämpöpumppu 2022) Kallioon porattuja lämmön ottoon tai antoon käytettäviä reikiä kutsutaan energiakaivoiksi. Useiden kaivojen kokonaisuuksia kutsutaan energiakentäksi. (Sandberg 2014, 274) Energiakaivojen syvyys on tavallisesti 120–300 m energiantarpeesta ja maaperän laadusta riippuen. Jos energiaa tarvitaan enemmän, voidaan kaivoja porata useampi minimietäisyydet huomioiden. Porattu reikä täyttyy tai täytetään vedellä ja keruuputkisto lasketaan reiän pohjalle. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 33–35) Kuviossa 25 on esitetty energiakaivon rakenne.



Kuvioa 25 Energiakaivon rakenne (Juvonen & Lapinlampi 2013, 35).

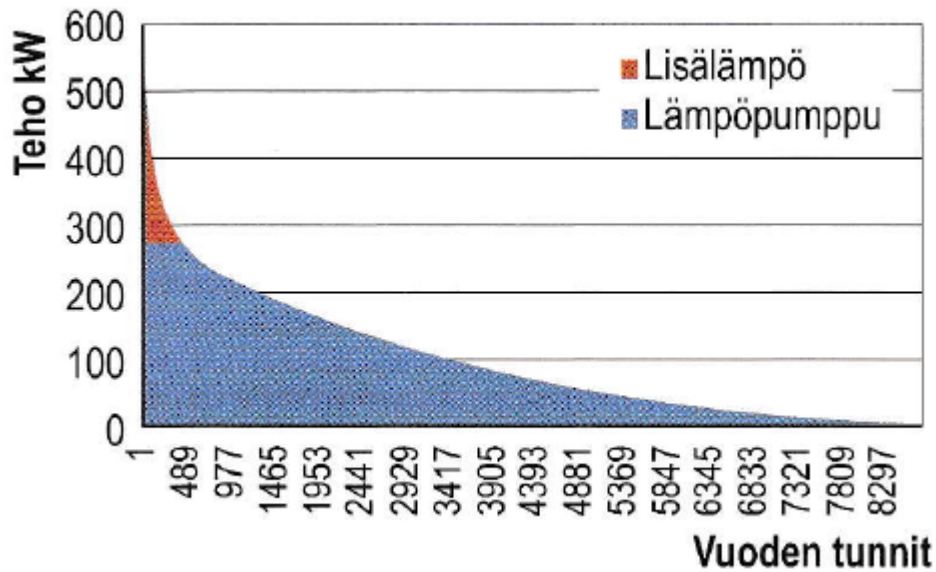
Energiakaivon mitoittamiseen vaikuttaa monet tekijät mm. maaperän lämpökuormaprofiili, kaivojen ryhmittely, maaperän lämmönjohtavuus ja kollektorityypit. Suuntaa antava mitoitusohje on, että yhden kaivon talviaikainen jatkuva tehokuorma voi olla n. 25–30 W/ tehollinen porakaivometri. Tehollisella osuudella tarkoitetaan veden täyttämää osuutta kalliossa. Yhdellä 250–300 metriä syvällä porakaivolla voidaan siis tuottaa lämpöenergiaa n. 10 kW teholla, kun otetaan huomioon lämpöpumpun kompressorin tuottama lämpö. (Sandberg 2014, 277)

Lämmitysteholtaan suuremmat maalämpöjärjestelmät voivat koostua yhdestä lämmitysteholtaan suuresta lämpöpumpusta tai useammasta pienitehoisemmasta lämpöpumpusta, sekä useasta energiakaivosta. Energiakaivokentästä puhutaan, kun alueella on vähintään 10 energiakaivoa. Suurempien järjestelmien kokonaisteho voi olla jopa 1000 kW, mutta tyypillisesti 100–500 kW. Energiakenttää suunniteltaessa mitoitus tehdään erikseen siihen tarkoitettulla mallinnusohjelmalla, joka ottaa huomioon energiakaivojen lämpötason esimerkiksi 20 vuoden aikana. Energiakaivojen ohjeellinen etäisyys toisistaan on 15 metriä. (LVI 11-10624 2018, 1–6) Kuviossa 26 on esitetty maalämpölaitoksen peruskytkentä.



Kuvio 26. Maalämpölaitoksen peruskytkentä (Sandberg 2014, 325).

Suuri maalämpöjärjestelmä mitoitetaan yleensä lähes poikkeuksetta osateholle. Osatehomitoituksella haetaan yleensä elinkaarikustannusten minimointia. Optimaaliseen mitoitukseen vaikuttavat muun muassa: lisälämmönlähteen energian hinta, maalämpöjärjestelmän investointikustannukset sekä tehoprofiilit. Lisälämmön energiaosuus vuoden lämmitysenergiantarpeesta voi olla hyvinkin pieni. Lisälämmön hinnan tulisi olla sellainen, jonka tehohinta on pieni, mutta energia saa olla kalliimpaa. Lisälämmönlähteenä voidaan käyttää: öljy- tai kaasukattilaa, sähkökattilaa tai sähkövastuksia varaajassa, myös kaukolämpö soveltuu lisälämmönlähteeksi. Kuviossa 27 on erään uudiskohteen esimerkki tehomitoituksesta. Lämpöpumppu on mitoitettu noin 50 % osateholle. Lämpöpumpulla saadaan katettua 95 prosenttia vuotuisesta lämmitysenergiasta ja lisälämmöllä loput 5 prosenttia. (Sandberg 2014, 323–324.)



Kuvio 27. Esimerkki erään uudiskohteen maalämpöjärjestelmän tehomitoituksesta (Sandberg 2014, 324).

Ympäristöministeriön ohjeessa: ”Rakennuksen energiankulutus ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018”, maalämpöpumpun kattama osuus vuosittaisesta lämpöenergiatarpeesta lasketaan ohjeen liitteen 2 taulukon L2.1 mukaan (Kuvio 28). Säilytyshyökyellä η , lämpöpumpun mitoitustehon ollessa 50 % tilojen lämmityksen tehontarpeesta (ϕ_{LPn}/ϕ_{tila}) ja tilojen lämmitysenergiatarpeen ollessa puolet lämpimän käyttöveden tarpeesta ($Q_{lämmitys, tilat}/Q_{lämmitys, lkv}$), niin menoveden lämpötilalla $+40\text{ °C}$ saadaan lämpöpumpulla katetuksi 65 % tilojen ja lämpimän käyttöveden vuosittaisesta lämmitysenergiatarpeesta. (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018, 74–75.)

$\Phi_{LPn}/$ Φ_{tila}	$Q_{\text{l\u00e4mmitys, tilat}}/$ $Q_{\text{l\u00e4mmitys, lkv}}$	Maal\u00e4mp\u00f6pumpun kattama osuus tilojen ja l\u00e4mpim\u00e4nk\u00e4ytt\u00f6veden l\u00e4mp\u00f6energiasta ($Q_{LP}/Q_{\text{l\u00e4mmitys, tilat, lkv}}$)											
		S\u00e4\u00e4vy\u00f6hyke: I-II				S\u00e4\u00e4vy\u00f6hyke: III				S\u00e4\u00e4vy\u00f6hyke: IV			
		$T_m, \text{ }^\circ\text{C}$				$T_m, \text{ }^\circ\text{C}$				$T_m, \text{ }^\circ\text{C}$			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,30	0,50	0,39	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,36	0,36	0,36	0,36
	1,00	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,44	0,44	0,44	0,44
	2,00	0,62	0,60	0,58	0,56	0,60	0,58	0,56	0,54	0,44	0,54	0,52	0,51
	4,00	0,68	0,65	0,62	0,59	0,67	0,63	0,60	0,58	0,63	0,59	0,56	0,54
0,40	0,50	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,48	0,48	0,48	0,48
	1,00	0,67	0,66	0,65	0,64	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,59
	2,00	0,78	0,75	0,72	0,70	0,76	0,73	0,70	0,68	0,59	0,69	0,67	0,64
	4,00	0,84	0,79	0,76	0,73	0,82	0,77	0,73	0,70	0,78	0,73	0,69	0,66
0,50	0,50	0,65	0,65	0,65	0,65	0,63	0,63	0,63	0,63	0,61	0,61	0,61	0,61
	1,00	0,82	0,80	0,78	0,76	0,80	0,78	0,76	0,74	0,77	0,74	0,73	0,71
	2,00	0,90	0,87	0,84	0,81	0,89	0,85	0,82	0,79	0,71	0,81	0,78	0,75
	4,00	0,92	0,89	0,86	0,83	0,91	0,88	0,84	0,81	0,89	0,84	0,80	0,76
0,60	0,50	0,81	0,80	0,79	0,78	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73
	1,00	0,92	0,90	0,88	0,86	0,91	0,88	0,86	0,84	0,88	0,85	0,82	0,80
	2,00	0,95	0,93	0,91	0,89	0,95	0,92	0,90	0,87	0,80	0,90	0,86	0,83
	4,00	0,96	0,94	0,92	0,90	0,96	0,93	0,91	0,88	0,95	0,91	0,88	0,85
0,70	0,50	0,92	0,90	0,88	0,87	0,90	0,88	0,87	0,86	0,87	0,85	0,84	0,83
	1,00	0,97	0,95	0,94	0,92	0,96	0,95	0,93	0,91	0,95	0,92	0,90	0,88
	2,00	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,96	0,94	0,92	0,88	0,95	0,92	0,90
	4,00	0,98	0,97	0,95	0,94	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,95	0,93	0,90
0,80	0,50	0,97	0,96	0,95	0,94	0,97	0,95	0,94	0,93	0,95	0,93	0,91	0,90
	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95	0,98	0,96	0,95	0,93
	2,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,97	0,95	0,95
	4,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,98	0,96	0,94
0,90	0,50	0,99	0,98	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95
	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96
	2,00	1,00	0,99	0,98	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
	4,00	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
1,00	0,50	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97
	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	2,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	4,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	1,00	0,99	0,98

Kuvio 28. Maal\u00e4mp\u00f6pumpun kattama osuus tilojen ja l\u00e4mpim\u00e4nk\u00e4ytt\u00f6veden l\u00e4mp\u00f6energiasta. (Rakennuksen energiankulutuksen ja l\u00e4mmitystehontarpeen laskenta 2018, 74).

Yksi merkitt\u00e4v\u00e4 l\u00e4mp\u00f6pumpun energiankulutukseen vaikuttava tekij\u00e4 on sen l\u00e4mp\u00f6kerroin. COP on lyhenne l\u00e4mp\u00f6pumpun kompressorin l\u00e4mp\u00f6kertoimesta. Karkeasti voidaan sanoa, ett\u00e4 l\u00e4mmitysverkostoon tuotetusta l\u00e4mm\u00f6st\u00e4 2/3 koostuu maasta ker\u00e4tyst\u00e4 energiasta ja 1/3 kompressorin ottamasta s\u00e4hk\u00f6energiasta. T\u00e4ss\u00e4 tapauksessa kompressorin l\u00e4mp\u00f6kerroin olisi noin 3. L\u00e4mp\u00f6kerroin on sit\u00e4 parempi, mit\u00e4 pienempi l\u00e4mp\u00f6tilaero on l\u00e4mm\u00f6nl\u00e4hteen ja luovuttavan l\u00e4mmitysj\u00e4rjestelm\u00e4n v\u00e4lill\u00e4. (Sandberg 2014, 270.) Kuviossa 29 on kuvattu Ymp\u00e4rist\u00f6ministeri\u00f6n ohjeen: ”Rakennuksen energiankulutus ja l\u00e4mmitystehontarpeen laskenta 2018” mukaisia energiankulutuksen laskennassa k\u00e4ytett\u00e4vi\u00e4 maal\u00e4mp\u00f6pumpun SPF-lukuja. SPF-luvulla tarkoitetaan vuoden keskim\u00e4\u00e4r\u00e4ist\u00e4 l\u00e4mp\u00f6kerrointa, jossa on huomioitu l\u00e4mp\u00f6pumpun sek\u00e4 apulaitteiden s\u00e4hk\u00f6nkulutus. (L\u00e4mp\u00f6pumpujen energialaskentaopas 2012, 4).

Maalämpöpumput: menoveden korkein lämpötila, °C	SPF-luku	
	Vuotuinen keruupiirin pa- luunesteen keskilämpötila, °C	
	-3	+3
Tilojen lämmitys		
30	3,4	3,5
40	3,0	3,1
50	2,7	2,7
60	2,5	2,5
Käyttöveden lämmitys		
60	2,3	2,3

Kuvio 29. Maalämpöpumpun SPF-lukuja. (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018, 55).

Maalämpöpumpun hinta muodostuu Haahtela-kehitys Oy:n rakennusosa-arviomenetelmässä tehoerusteisesti. Maalämpökaivojen hinta on esitetty kappaleperusteisesti ja liitosputket kaivoihin pinta-alan mukaan. (Haahtela & Kiiras 2015, 267.) Tässä työssä kehitetyn laskentaohjelman kaivojen lukumäärän mitoitusperusteena on käytetty 10 kW/lämpökaivo. Jos maalämpöpumpun mitoitusteho on 100 kW, tarvittavin kaivojen lukumäärä on tällöin 10 kpl. Saneerauskohteissa maalämpöön siirtymisessä sähköliittymää saatetaan joutua kasvattamaan, tämä täytyy ottaa huomioon investointikustannusten laskennassa. (Maalämmön vaikutus sähköliittymän kokoon ja hintaan n.d).

Maalämpöjärjestelmän tekninen käyttöikä on noin 25–30 vuotta, kompressorin ja moottoriventtiilien toimilaitteiden käyttöikä saattaa olla lyhyempi, noin 10–15 vuotta. Maapiirin käyttöikä on sama kuin rakennuksen tekninen käyttöikä. Huolto ja kunnostustoimenpiteinä järjestelmän lämpötiloja ja sähkönkulutusta on syytä tarkastella kuukausittain. (Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot 2008, 15) Suurempien laitteiden omistajien tai haltijoiden velvollisuutena on huolehtia lakisääteisistä kylmäaineenvuototarkastuksista (F-kaasua sisältävän laitteen omistajan velvollisuudet 2020). Alan toimijat tarjoavat lämpöpumpuille vuosihuoltopalveluita. Esimerkiksi MV-jäähdytys tekee asiakkailleen lämpöpumpun vuosihuoltoa, joka sisältää: kylmäaineanalyysin, laitteenomistajan lakisääteinen vuototarkastuksen ja dokumentoinnin, paine- ja lämpötilamittaukset, liitoskiristyksset, sihtipuhdistukset ja liuospiirien ilmaukset sekä kylmä-, vesi- ja liuospiirien sekä

sähkökomponenttien tarkastuksen. Vuosihuollon hinta vuonna 2022 on taloyhtiöille tai yritysasiak-
kaille 290 € (alv. 0 %). (Maalämpöpumpun vuosihuolto 2022.)

Ilma-vesilämpö

Ilma-vesilämpöpumppu ottaa lämmitysenergiaa suoraan ulkoilmasta ja siirtää sen vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään samalla periaatteella kuin maalämpöpumpukin. Erona maalämpöpump-
puun on se, että erillistä keruupiiriä ei tarvita. Vesi-ilmalämpöpumpun etuna on sen halvempi in-
vestointikustannus. Lisäksi se voidaan asentaa kohteisiin joihin maalämpöpumppu ei maaperän
laadun takia soveltuisi. Ilma-vesilämpöpumpun heikkoutena on se, että sen tehontuotto ja hyöty-
suhde heikkenevät ulkoilman lämpötilan laskiessa. Se tarvitsee myös täystehoisen varalämmitys-
järjestelmän rinnalleen, koska kovimmilla pakkasjakosilla voi ilma-vesilämpöpumppu sammua ko-
konaan. (Ilma-vesilämpöpumppu, IVLP 2022) Kuviossa 30 on Mitsubishi Electric CAHV-P500
kiinteistölämpöpumppu, jonka maksimilämmitysteho on 64 kW. Useiden ilma-vesilämpöpumppu-
jen sarjaan kytkennällä päästään useisiin satoihin kilowatteihin. (Mitsubishi Electric CAHV-P500
kiinteistölämpöpumppu 2022.)



Kuvio 30. Mitsubishi Electric CAHV-P500 kiinteistölämpöpumppu (Mitsubishi Electric CAHV-P500
kiinteistölämpöpumppu 2022).

Kuviossa 31 on kuvattu Ympäristöministeriön ohjeen: ”Rakennuksen energiankulutus ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018” mukaisia energiankulutuksen laskennassa käytettäviä ilma-vesilämpöpumpun SPF-lukuja.

Ulkoilmalämpöpumput: menoveden korkein lämpötila, °C	SPF-luku		
	Säävyöhykkeet		
	I-II	III	IV
Ilma-ilma	2,8	2,8	2,7
Ilma-vesi (tilojen lämmitys)			
30	2,8	2,8	2,7
40	2,5	2,5	2,4
50	2,3	2,3	2,2
60	2,2	2,1	2,0
Ilma-vesi (käyttöveden lämmitys)			
60	1,8	1,6	1,3

Kuvio 31. Ilma-vesilämpöpumpun SPF-lukuja. (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018, 55).

Kuviossa 32 on kuvattu Ympäristöministeriön ohjeen: ”Rakennuksen energiankulutus ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018”, vesi-ilmalämpöpumpun kattama osuus vuosittaisesta lämpöenergiantarpeesta lasketaan ohjeen liitteen 2 taulukon L2.2 mukaan (Kuvio 30). Taulukon lukuarojen laskennassa on oletettu, että lämpöpumpun alin toimintalämpötila on -20 °C. Säävyöhykkeellä I, lämpöpumpun mitoitustehon ollessa 50 % tilojen lämmityksen tehontarpeesta (ϕ_{LPn}/ϕ_{tila}) ja tilojen lämmitysenergiantarpeen ollessa puolet lämpimän käyttöveden tarpeesta ($Q_{lämmitys, tilat}/Q_{lämmitys, lkv}$), niin menoveden lämpötilalla +40 °C saadaan lämpöpumpulla katetuksi 54 % tilojen ja lämpimän käyttöveden vuosittaisesta lämmitysenergiantarpeesta. (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018, 74–75.)

ϕ_{LPn}/ϕ_{tila}	$\frac{Q_{\text{l\u00e4mmitys, tilat}}}{Q_{\text{l\u00e4mmitys, lkv}}}$	Ulkoilmal\u00e4mp\u00f6pumpun (ilma-vesi) kattama osuus tilojen ja l\u00e4mpim\u00e4nk\u00e4ytt\u00f6veden l\u00e4mp\u00f6energiasta ($Q_{LP}/Q_{\text{l\u00e4mmitys, tilat, lkv}}$)											
		S\u00e4\u00e4vy\u00f6hyke: I-II				S\u00e4\u00e4vy\u00f6hyke: III				S\u00e4\u00e4vy\u00f6hyke: IV			
		$T_{m, \text{ }^\circ\text{C}}$				$T_{m, \text{ }^\circ\text{C}}$				$T_{m, \text{ }^\circ\text{C}}$			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,30	0,50	0,33	0,33	0,33	0,33	0,31	0,31	0,31	0,31	0,28	0,28	0,28	0,28
	1,00	0,39	0,39	0,39	0,39	0,37	0,37	0,37	0,37	0,33	0,33	0,33	0,33
	2,00	0,49	0,48	0,47	0,46	0,46	0,45	0,44	0,44	0,40	0,39	0,39	0,38
	4,00	0,56	0,54	0,52	0,50	0,53	0,51	0,49	0,48	0,46	0,44	0,43	0,41
0,40	0,50	0,44	0,44	0,44	0,44	0,42	0,42	0,42	0,42	0,38	0,38	0,38	0,38
	1,00	0,52	0,52	0,52	0,52	0,50	0,50	0,49	0,49	0,44	0,44	0,44	0,44
	2,00	0,63	0,61	0,60	0,58	0,60	0,58	0,57	0,56	0,52	0,51	0,50	0,49
	4,00	0,68	0,65	0,63	0,61	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,51
0,50	0,50	0,54	0,54	0,54	0,54	0,52	0,52	0,52	0,52	0,47	0,47	0,47	0,47
	1,00	0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,60	0,55	0,54	0,54	0,53
	2,00	0,73	0,71	0,69	0,68	0,70	0,68	0,66	0,64	0,61	0,60	0,58	0,57
	4,00	0,78	0,75	0,72	0,70	0,74	0,71	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58
0,60	0,50	0,64	0,64	0,64	0,64	0,62	0,62	0,62	0,61	0,55	0,55	0,55	0,55
	1,00	0,75	0,74	0,72	0,72	0,72	0,70	0,69	0,69	0,64	0,63	0,62	0,61
	2,00	0,82	0,79	0,77	0,75	0,78	0,76	0,74	0,72	0,69	0,67	0,65	0,64
	4,00	0,84	0,82	0,80	0,77	0,81	0,78	0,76	0,73	0,71	0,69	0,66	0,64
0,70	0,50	0,73	0,73	0,73	0,73	0,70	0,70	0,70	0,70	0,63	0,63	0,63	0,63
	1,00	0,83	0,81	0,80	0,78	0,79	0,78	0,76	0,75	0,71	0,69	0,68	0,67
	2,00	0,87	0,85	0,83	0,82	0,84	0,82	0,80	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69
	4,00	0,89	0,87	0,85	0,83	0,86	0,84	0,81	0,79	0,76	0,74	0,72	0,70
0,80	0,50	0,81	0,80	0,80	0,79	0,80	0,80	0,79	0,78	0,72	0,71	0,71	0,70
	1,00	0,88	0,87	0,85	0,84	0,86	0,85	0,84	0,82	0,77	0,76	0,74	0,73
	2,00	0,90	0,89	0,88	0,86	0,88	0,86	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76	0,74
	4,00	0,91	0,90	0,88	0,87	0,88	0,87	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76	0,74
0,90	0,50	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,77	0,76	0,76	0,75
	1,00	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,81	0,80	0,78	0,77
	2,00	0,92	0,91	0,90	0,89	0,90	0,89	0,88	0,87	0,81	0,80	0,79	0,77
	4,00	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,81	0,80	0,78	0,77
1,00	0,50	0,92	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88	0,88	0,82	0,81	0,80	0,79
	1,00	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89	0,83	0,82	0,81	0,80
	2,00	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89	0,83	0,82	0,81	0,80
	4,00	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,90	0,89	0,88	0,82	0,81	0,80	0,79

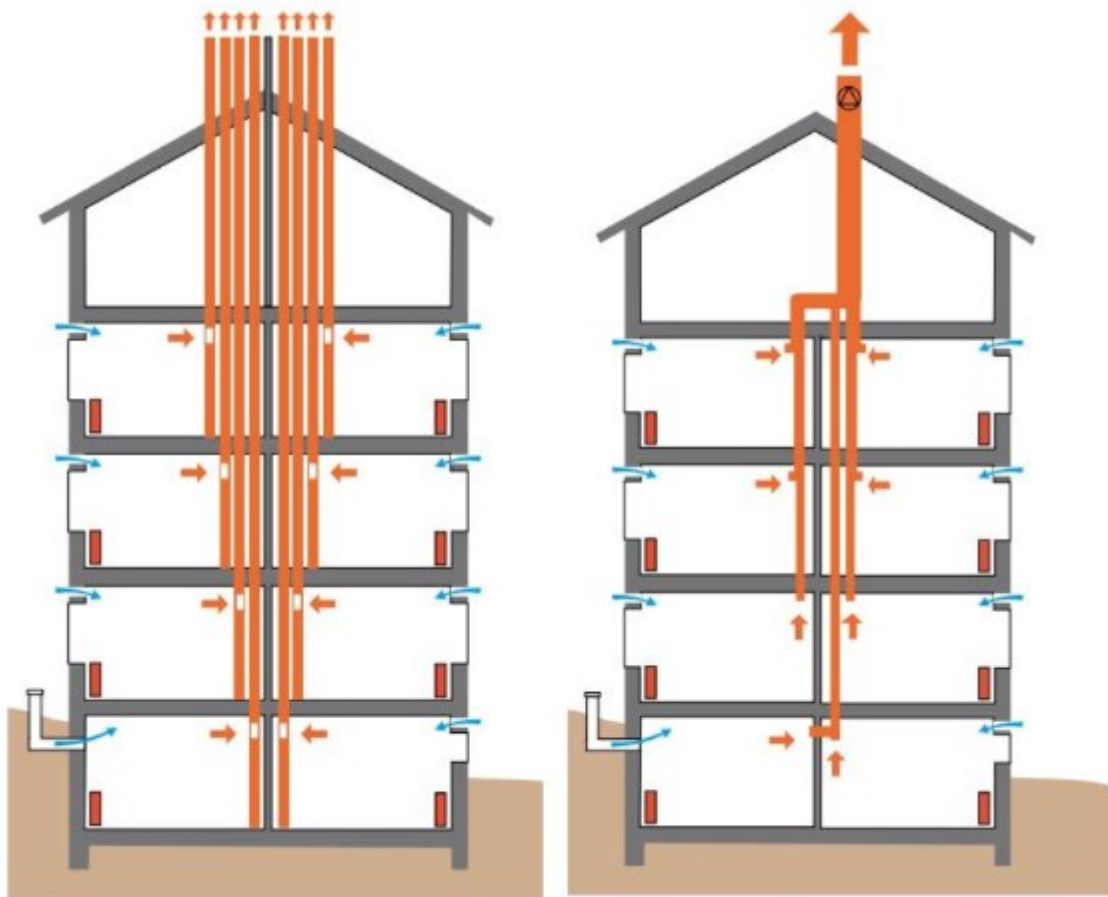
Kuvio 32. Ilma-vesil\u00e4mp\u00f6pumpun kattama osuus tilojen ja l\u00e4mpim\u00e4nk\u00e4ytt\u00f6veden l\u00e4mp\u00f6energiasta. (Rakennuksen energiankulutuksen ja l\u00e4mmitystehontarpeen laskenta 2018, 76).

Ilma-vesil\u00e4mp\u00f6pumpun hinta muodostuu Haahtela-kehitys Oy:n rakennusosa-arviomenetelm\u00e4ss\u00e4 tehoerusteisesti (Haahtela & Kiiras 2015, 267). L\u00e4mp\u00f6pumpun lis\u00e4ksi investointikustannuksiin t\u00e4ytyy lis\u00e4t\u00e4 varal\u00e4mp\u00f6j\u00e4rjestelm\u00e4n kustannus. Huoltotoimenpiteet ja tekniset k\u00e4ytt\u00f6i\u00e4t ovat maa-l\u00e4mp\u00f6pumpun kanssa samoja. Vesi-ilmal\u00e4mp\u00f6pumpun h\u00f6yrystimen tekninen k\u00e4ytt\u00f6ik\u00e4 on noin 20 vuotta (Kiinteist\u00f6n tekniset k\u00e4ytt\u00f6i\u00e4t ja kunnossapitojaksot 2008, 26). Saneerauskohteissa vesi-ilmal\u00e4mp\u00f6pumpuj\u00e4rjestelm\u00e4n siirtymisess\u00e4 s\u00e4hk\u00f6liittym\u00e4\u00e4 saatetaan joutua kasvattamaan, t\u00e4m\u00e4 t\u00e4ytyy ottaa huomioon investointikustannusten laskennassa. (Maal\u00e4mm\u00f6n vaikutus s\u00e4hk\u00f6liittym\u00e4n kokoon ja hintaan n.d).

3.4.3 Ohjelmaan valittujen ilmanvaihtojärjestelmien teoriaa

Koneellinen poistoilmanvaihto

Asuinkerrostalojen yleisin poistoilmanvaihtojärjestelmä oli 1960-luvulle asti painovoimainen järjestelmä. 1960-luvun jälkeen yleistyi koneellinen yhteiskanavapoistoilla toteutetut järjestelmät. Koneellinen yhteiskanavapoistojärjestelmä oli vallitseva ilmanvaihtojärjestelmä aina 2000-luvun alkuun asti. (Virta & Pylsy 2011, 87.) Ilmanvaihdon lämpöhäviöiden osuus 70-luvun kerrostalossa, jossa ei ole lämmöntalteenottoa on noin kolmannes kaikista lämpöhäviöistä (Virta & Pylsy 2011, 19). Kuviossa 33 on esitetty asuinkerrostalon koneellinen ja painovoimainen poistoilmanvaihtojärjestelmä.



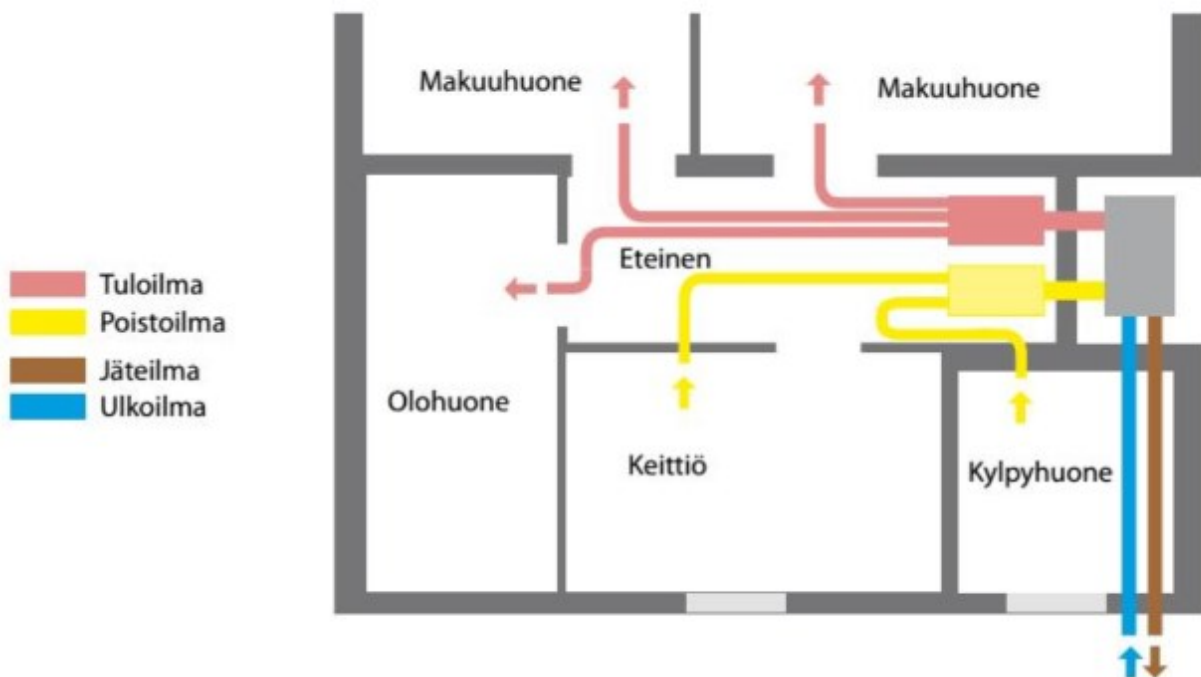
Kuvio 33. Koneellinen ja painovoimainen poistoilmanvaihto (Virta & Pylsy 2011, 87).

Huippumurin tekninen käyttöikä on jatkuvalla käytöllä noin 10–15 vuotta (Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajakset 2008, 23). Poistoilmakanavat tai hormit tulisi nuohota ja tarkistaa vähintään 10 vuoden välein (Virta & Pylsy 2011, 88).

Huippuimureiden hinta muodostuu Haahtela-kehitys Oy:n rakennusosa-arviomenetelmässä kapalemääräperusteisesti. Huippuimurin hinta määräytyy sen ilmamäärän mukaan. (Haahtela & Kiiaras 2015, 286). Ilmanvaihtokanavien nuohous ja ilmapurujen säätö maksaa talokuntoon.fi laskurin mukaan asuinkerrostalon poistoilmanvaihtojärjestelmälle keskimäärin 2 € / lämmitetty nettoala. (Ilmanvaihtokanavien puhdistus 2022.)

Huoneistokohtainen täysin hajautettu järjestelmä

Huoneistokohtaisessa täysin hajautetussa järjestelmässä jokaiselle asunnolle asennetaan oma tulo- ja poistoilmanvaihtokone lämmöntalteenotolla. Kone sijoitetaan yleensä kylpyhuoneeseen tai eteistiloihin ulko-oven yläpuolelle. Jäteilman seinäpuhalluksesta on aina keskusteltava paikallisen rakennusvalvonnan kanssa. Hajautetulla järjestelmällä saadaan lämmityskaudella poistosta lämpö talteen 50–70 prosenttia. (Virta & Pylsy 2011, 94.) Kuviossa 34 on periaatekuva täysin hajautetusta ilmanvaihtojärjestelmästä.



Kuvio 34. Täysin hajautettu ilmanvaihtojärjestelmä (Virta & Pylsy 2011, 94).

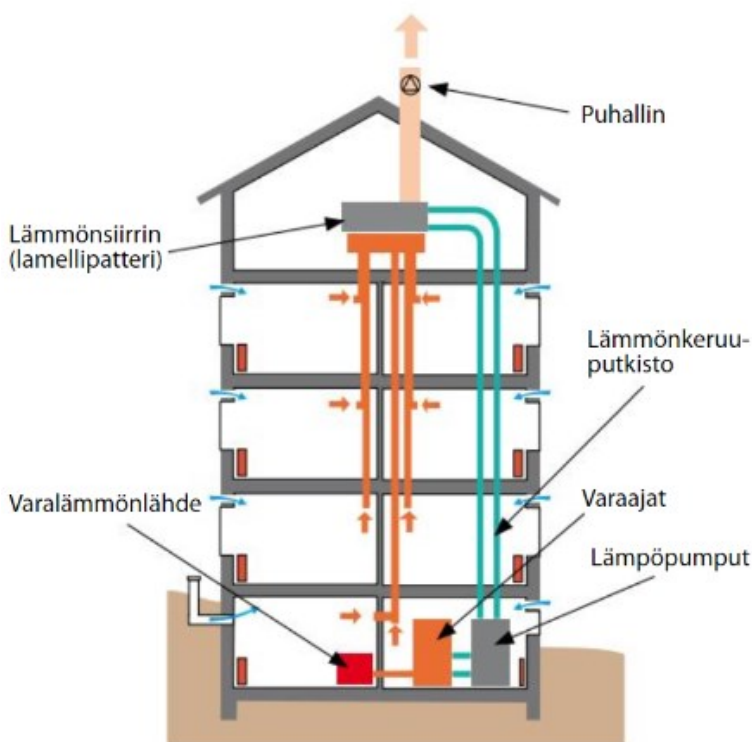
Ilmanvaihtokoneiden tekninen käyttöikä jatkuvalla käytöllä on 10–15 vuotta. Ilmanvaihtokoneen osia uusitaan harvoin erikseen. Suodattimien vaihto on syytä suorittaa 6–12 kuukauden välein ja

kanaviston nuohous vähintään 10 vuoden välein. (Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitotaksot 2008, 23.)

Kanaviston hinta määritellään neliöperusteisesti ja ilmanvaihtokoneet kappalemäärän mukaan Haahtela-kehitys Oy:n rakennusosa-arviomenetelmässä (Haahtela & Kiiras 2015, 283). Lisäksi pitää ottaa huomioon mahdollisten alakattojen rakentamisesta johtuvat rakennustyöt. Asuntokohtaisen ilmanvaihtokoneen suodatinpaketin hinta on noin 20–50 € (Alkuperäiset Vallox suodattimet 2022). Ilmanvaihtokanavien nuohous ja ilmavirtojen säätö maksaa talokuntoon.fi laskurin mukaan asuin-kerrostalon täysin hajautetulle ilmanvaihtojärjestelmällä keskimäärin 3 € / lämmitetty nettoala. (Ilmanvaihtokanavien puhdistus 2022.)

Poistoilmalämpöpumppujärjestelmä

Poistoilmalämpöpumppu ottaa lämmitysenergiaa kiinteistön poistoilmasta ja siirtää sen vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään tai käyttöveteen samalla periaatteella kuin maalämpöpumppu tai vesi-ilmalämpöpumppu. Siitä käytetään lyhennettä PILP. Poistoilmanlämmöntalteenottojärjestelmä voidaan toteuttaa täydentämään olemassa olevaa lämmitysjärjestelmää. (Virta & Pylsy 2011, 124.)



Kuvio 35. Poistoilman lämmön talteenotto lämpöpumpun avulla (Virta & Pylsy 2011, 94).

Kuviossa 35 on esitetty poistoilmalämpöpumpputjärjestelmän toimintaperiaate asuinkerrostalossa. Järjestelmä koostuu lämpöpumpusta, varaajasta, poistoilman LTO-patterista, huippuimurista tai poistoilmapuhaltimesta sekä lämmönkeruuputkistosta. (Virta & Pylsy 2011, 94). LTO-patterit voivat sijaita rakennuksen katolla tai vesikaton alla ullakkotilassa (Poistoilmalämpöpumput kiinteistöjärjestelmät 2021, 3.) Kuviossa 36 on HiLTO EC -lämmöntalteenottoyksikkö, joka voidaan sijoittaa rakennuksen vesikatolle (Korkean hyötysuhteen lämmöntalteenottoyksikkö n.d).



Kuvio 36. HiLTO EC (Korkean hyötysuhteen lämmöntalteenottoyksikkö n.d).

Lämpöpumpun mitoituksessa määrävänä tekijänä on poistoilmavirran suuruus. PILP-järjestelmissä lämpötila ennen lämmöntalteenottopatteria on n. 22 °C ja patterin jälkeen 4 °C. Kuviossa 37 on laskettu poistoilmasta saatava lämmön määrä. Kuvan esimerkitapauksessa voidaan valita lämpöpumppu, jonka jäähdysteho vastaa poistoilmasta saatavaa lämmön määrää. Kiinteistö-PILP-järjestelmissä käytetään yleensä maalämpöpumppuja. (Poistoilmalämpöpumput kiinteistöjärjestelmät 2021, 5.)

Esimerkki

Poistoilmavirta: 500 l/s
 Poistoilman lämpötila: +22 °C
 Ulospuhallusilman lämpötila: +4 °C
 Ilman tiheys * ilman ominaislämpökapasiteetti: 1,2
 Poistoilmasta kerättävissä oleva lämpöteho
 $1,2 * 0,5 * (22 - 4) = 10,8 \text{ kW}$

Kuvio 37. Esimerkki poistoilman lämpömäärän laskemisesta (Poistoilmalämpöpumput kiinteistöjärjestelmät 2021, 5).

Keruuputkiston nesteen lämpötila PILP-järjestelmissä on tyypillisesti hieman korkeampi kuin maalämpöpumpun maapiirissä kulkevan nesteen lämpötila. Reitermian poistoilmalämmöntalteenotto-patterin nyrkkisääntö keruupiirin nesteen lämpötiloille PILP-järjestelmissä on $+2^{\circ}\text{C} / +7^{\circ}\text{C}$ (Reiterm News 2014, 5). Keruunesteen lämpötilan noustessa viidellä asteella lämpöpumpun lämmitysteho voi nousta 10–15 prosenttia (Poistoilmalämpöpumput kiinteistöjärjestelmät 2021, 4). Tässä työssä toteutettuun laskentaohjelmaan poistoilmalämpöpumpun hyötysuhteina on käytetty samoja arvoja kuin maalämpöpumpun energiankulutuksen laskennassa kerrottuna luvulla 1,15.

Lämmitysenergian kokonaisenergiantarve (häviöt huomioitu)					Pilpeillä tuotettava energia yhteensä						
Kuukausi	Tilat kWh	Ilmanvaihto kWh	Immin käyttöve kWh	Yhteensä kWh	Kuukausi	Tilat ja iv kWh	Pilp osuus %	Lämmin käyttövesi kWh	Pilp osuus %	Yhteensä kWh	Pilp osuus yhteensä %
Tammikuu	39378	0	6038	45417	Tammikuu	7369	19	0	0	7369	16
Helmikuu	34589	0	5454	40043	Helmikuu	6656	19	0	0	6656	17
Maaliskuu	31539	0	6038	37577	Maaliskuu	7369	23	0	0	7369	20
Huhtikuu	15923	0	5844	21767	Huhtikuu	7131	45	0	0	7131	33
Toukokuu	4303	0	6038	10342	Toukokuu	4303	100	3066	51	7369	71
Kesäkuu	623	0	5844	6467	Kesäkuu	623	100	5844	100	6467	100
Heinäkuu	14	0	6038	6053	Heinäkuu	14	100	6038	100	6053	100
Elokuu	153	0	6038	6191	Elokuu	153	100	6038	100	6191	100
Syyskuu	6175	0	5860	12035	Syyskuu	6175	100	976	17	7151	59
Lokakuu	18675	0	6038	24714	Lokakuu	7369	39	0	0	7369	30
Marraskuu	29611	0	5860	35471	Marraskuu	7151	24	0	0	7151	20
Joulukuu	35940	0	6038	41978	Joulukuu	7369	21	0	0	7369	18
Yhteensä				288054	Yhteensä					83643	29

Kuvio 38 PILP-laskentataulukko laskentaohjelmasta.

Kuviossa 38 on PILP-laskentataulukko tässä työssä kehitetystä laskentaohjelmasta. Esimerkkikohteen lämmitysenergian laskennallinen kokonaisenergiantarve on vuodessa 288054 kWh. Laskennan kohteeseen on lisätty PILP, poistoilman ilmamääränä on käytetty 300 l/s. Oikeanpuoleisesta taulukosta nähdään, että poistoilmalämpöpumpulla tuotetun energian osuus on esimerkkikohteessa 29 % koko vuoden lämmitysenergiantarpeesta. Taulukosta nähdään myös, että kesäkuukausina poistoilmalämpöpumpulla pystytään tuottamaan kokonaisuudessaan lämmin käyttövesi.

Puhaltimen ja LTO-patterin tekninen käyttöikä jatkuvalla käytöllä on 10–15 vuotta. Suodattimien vaihto on syytä suorittaa 6–12 kuukauden välein ja kanaviston nuohous vähintään 10 vuoden välein. (Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot 2008, 23.) Lämpöpumpun käyttöiät ja huoltojaksot ovat samat kuin maalämpöpumpulla.

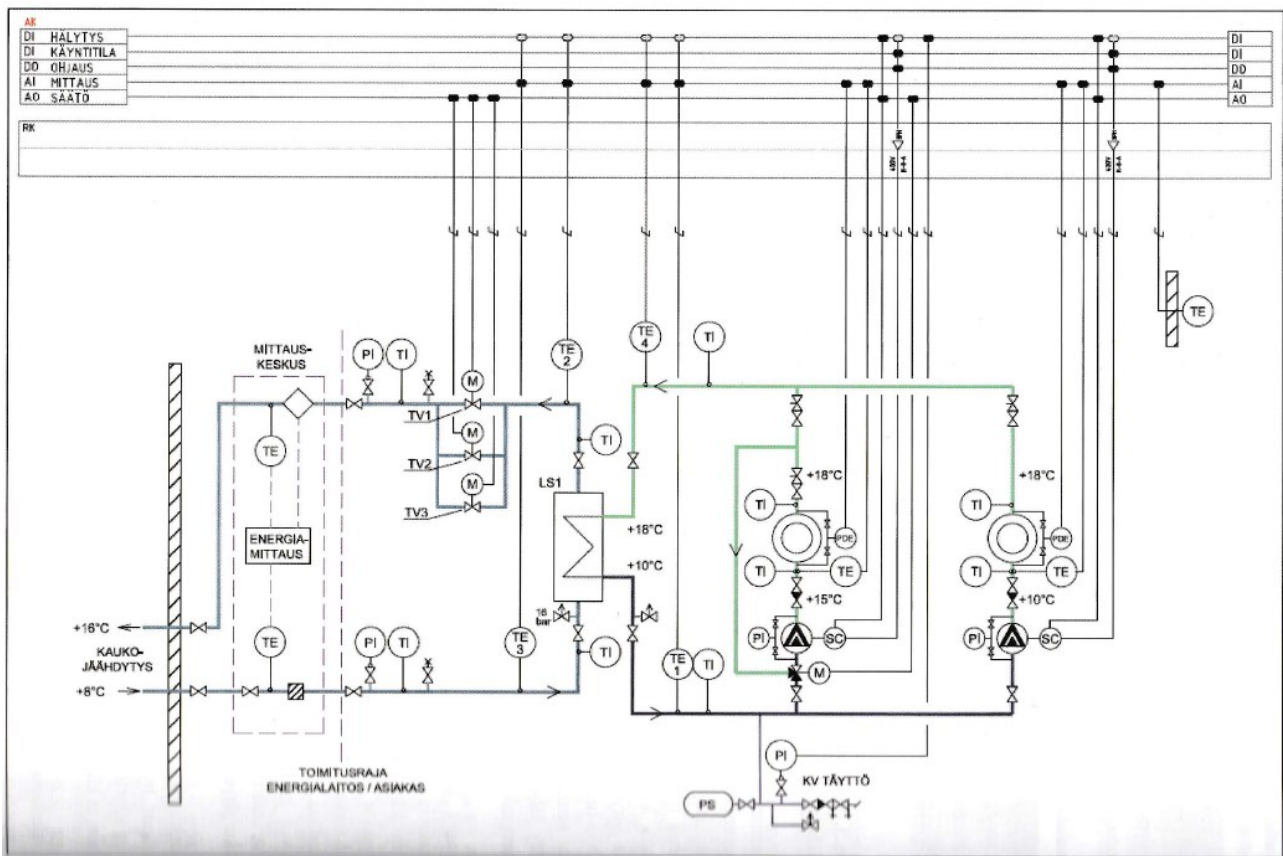
Puhaltimen ja LTO-patterin hinta määräytyy kappalemäärän mukaan Haahtela-kehitys Oy:n rakennusosa-arviomenetelmässä. Niiden kappalehintaa muodostuu mitoittavan ilmamäärän perusteella. (Haahtela & Kiiras 2015, 283.) Lämpöpumpun hinta määräytyy teho- ja tehoperusteisesti. (Haahtela & Kii-

ras 2015, 267.) Muita tässä työssä kehitettyyn laskentaohjelmaan poimittuja investointikustannuksia Haahtela-kehitys Oy:n rakennusosa-arviomenetelmän hinnastosta on: automaatio, siirtoputkisto, poistoilmakammio ja purkukustannukset. Siirtoputkiston määrän oletettuna pituutena on käytetty 1,5 kertaa rakennuksen korkeus. Kanaviston on oletettu olevan olemassa oleva saneerauskohteissa.

3.4.4 Ohjelmaan valittujen jäähdytysentottojärjestelmien teoriaa

Kaukojäähdytys

Kaukojäähdytys on kaukolämmitysjärjestelmää vastaava tuotanto- ja jakelumenetelmä. Kylmä jäähdytysvesi tuotetaan keskitetysti tuotantolaitoksen kylmäkoneilla. Vuonna 2017 yhdeksällä yhtiöllä oli kaukojäähdytysverkosto käytössä. Vanhimmat ja laajimmat kaukojäähdytysverkot löytyvät Turusta ja Helsingistä. (Kaukolämmön tuotanto uudistuu 2022.)

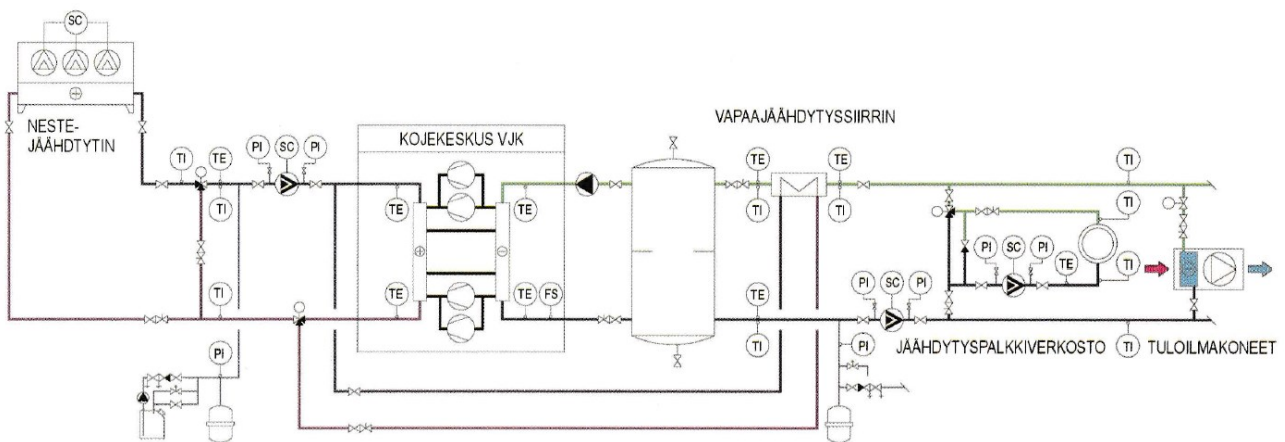


Kuvio 39. Kaukojäähdytyksen alajakokeskuksen kytkentäkaavio (Sandberg 2014, 322).

Kuviossa 39 on kaukojäähdytyksen alajakokeskuksen kytkentäkaavio. Kaukojäähdytyksen alajakokeskuksen laitteiden teknisiä käyttöiä ja kunnossapitajaksoja ei luetella RT kortissa: ”Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajakset 2008”, mutta voidaan olettaa niiden olevan vähintään samat kuin kaukolämmön alajakokeskuksenkin laitteilla. Myöskään Haahtela-kehitys Oy:n rakennusosa-arviomenetelmän hinnastossa ei ole kaukojäähdytyksen alajakokeskuksen hinnoitteluohjetta. Kokemusperäisen arvion mukaan tässä työssä kehitetyssä laskentaohjelmassa hinnoittelun perusteena on käytetty kaukolämmön alajakokeskuksen tehoerusteista hinnoittelua kerrottuna luvulla 1,5.

Jäähdytyskoneikko

Suurempien kiinteistöjen tavanomaisin jäähdytysjärjestelmän toteutusmuoto on liuoslauhdutteen vedenjäähdytyskone. Kone palvelee tuloilmakoneiden jäähdytyspattereita, jäähdytyspalkkeja ja puhallinkonvektoreita. Vedenjäähdytyskoneen lauhdutus tapahtuu ulkoasenteisella nestejäähdyttimellä, joka on liitetty liuosputkistolla sisäasenteiseen vedenjäähdytyskoneeseen. Kone voidaan varustaa vapaajäähdytyslaitteella, jolloin talviaikana nestejäähdyttimellä voidaan tuottaa kylmää vettä. (Sandberg 2014, 315.) Ympäristöministeriön ohjeessa: ”Rakennuksen energiankulutus ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018” liuoslauhdutteen vedenjäähdytyskoneen vuotuisen tuotto-prosessin kylmäkerroin on 3 kompressorikäytöllä ja 5 vapaajäähdytyskäytöllä (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018, 62). Kuviossa 40 on esitetty liuosjäähdytteen koneen periaatekytkentä.



Kuvio 40. Liuosjäähdytteen jäähdytyskoneen periaatekytkentä (Sandberg 2014, 315).

Kylmäkoneiston, lauhduttimen, pumppujen ja vapaajäähdytyslaitteen tekninen käyttöikä on noin 20 vuotta. Moottoriventtiilien toimilaitteiden käyttöikä on noin 10–15 vuotta. Huoltotoimenpiteet ja kunnossapitajaksot ovat samoja kuin maalämpöpumpulla. (Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot 2008, 26.) Suurempien laitteiden omistajien tai haltijoiden velvollisuutena on huolehtia lakisääteisistä kylmäaineenvuototarkastuksista (F-kaasua sisältävän laitteen omistajan velvollisuudet 2020).

Haahtela-kehitys Oy:n rakennusosa-arviomenetelmässä vedenjäähdytysyksikön hinta muodostuu nimellistehoperusteisesti. Hintaan sisältää jäähdytyslaitteen, lauhduttimen ja varusteet. (Haahtela & Kiiras 2015, 267.) Automaation mittaus ja säätölaitteiden kustannus voidaan laskea erikseen automaatiopisteiden mukaan. Vedenjäähdytyskoneen automaatiopisteiden arvioitu määrä on 20 p / kone. (Haahtela & Kiiras 2015, 295.)

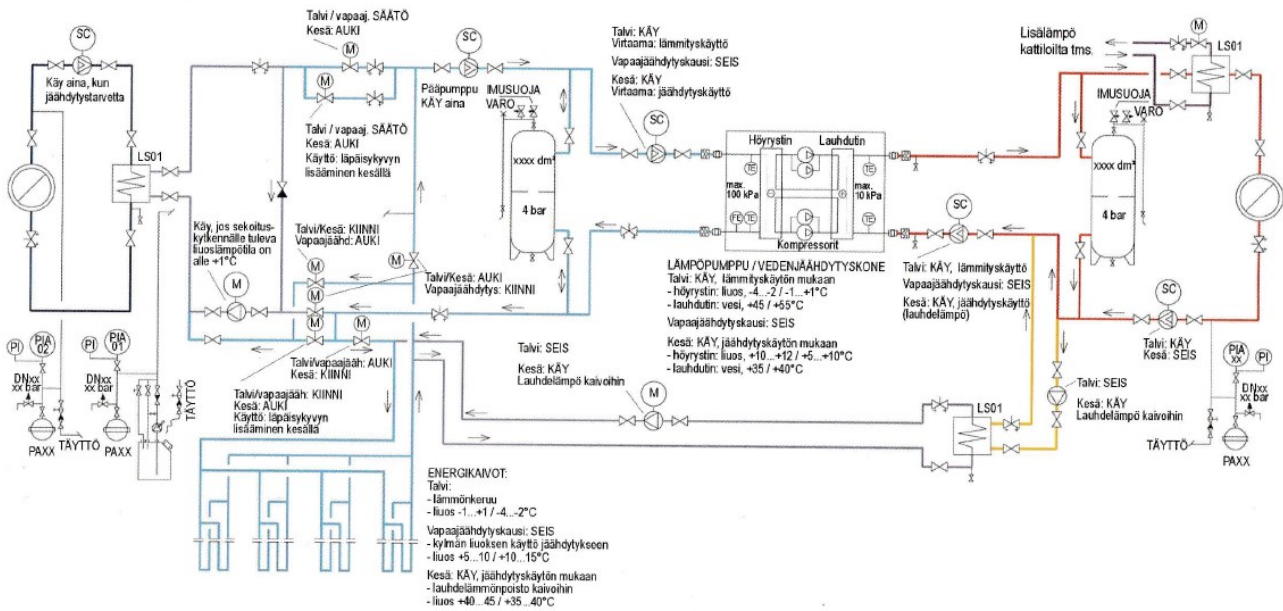
Maajäähdytys

Energiakaivoihin perustuvassa maalämpöjärjestelmässä kaivojen jäähdytyskapasiteetti on usein samaa luokkaa kuin lämmityskapasiteetti. Maaperää voidaan hyödyntää vapaajäähdytysperiaatteella. Yleensä se onnistuu parhaiten keväällä ja alkukesästä kun maaperä on kylmä. (Sandberg 2014, 327.) Ympäristöministeriön ohjeessa: ”Rakennuksen energiankulutus ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018” liuoslauhdutteen maajäähdytyksen vuotuisen tuotto-prosessin kylmäkerroin on 30 (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018, 62).

Maajäähdytyksen ongelmana on se, että energiakaivojen keskisyvyydellä oleva maaperän tasapainolämpötila on esimerkiksi Etelä-Suomessa noin 8 °C. Talven jälkeen energiakaivojen tila palautuu melko nopeasti tasapainolämpötilaan. Jos jäähdytystehon siirto energiakaivosta on noin 20–30 W/m, edellyttää se keräyspiirin nesteeltä noin 10 °C lämpötilaeroa. Esimerkin kuormituksella liuoksen keskilämpötila nousee nopeasti lähelle + 20 °C ja voi nousta sen yli kuormituksen jatkuessa. Yleisesti ilmastoinnin jäähdytyslaitteet toimivat 10–15 °C nesteen lämpötiloilla. (Sandberg 2014, 327.)

Maaperän ominaisuuksien takia maajäähdytystä käytetään yleensä yhdessä maalämpöpumpun kanssa. Kytkenämällissä maalämpöpumppu toimii vedenjäähdytyskoneena jäähdytyskaudella,

kun maaperää ei enää voi käyttää vapaajähdytykseen. Maalämpöpumpun toimiessa jäähdytyskoneena, pumpataan sen lauhdelämpö energiakaivoihin lämmönsiirtimen avulla. Lauhdelämpö palauttaa maan lämpötaseen nopeammin tulevaa lämmityskautta varten. (Sandberg 2014, 327.) Kuviossa 41 on esitetty maalämpöpumpun kytkentä, kun sitä käytetään jäähdytyskoneena.



Kuvio 41. Esimerkki lämpöpumppukytkennästä (Sandberg 2014, 329).

Tässä työssä kehitetyssä laskentaohjelmassa maapiiriin vapaajähdytyksen lisäkustannus on laskettu soveltaen Haahtela-kehitys Oy:n rakennusosa-arviomenetelmän hinnaston hintoja. Apuna on käytetty kuvion 40 esimerkkikaaviota. Laskentaohjelmassa laskija voi arvioida vuosittaisen jäähdytysenergian osuuden, joka maapiiriin vapaajähdytyksellä pystytään tuottamaan.

4 Mallilaskelmat laskentatyökälulla

Tässä luvussa tehdään elinkaarikustannusten mallilaskelmat kahden erityyppisen kohteen saneerausvaihtoehtojen vertailulle käyttäen tässä työssä kehitettyä laskentaohjelmaa. Laskelmilla myös testataan laskentaohjelman energianlaskennan toimivuus verraten sen tuloksia Ympäristöministeriön energiatodistuksen laadintaesimerkkien mallilaskelmiin.

4.1 Kerrostalo vuodelta 1970

4.1.1 Rakennuksen lähtötiedot kerrostalo

Lähtötietoina tässä mallilaskelmassa käytetään Ympäristöministeriön energiatodistuksen laadintaesimerkin asuinkerrostaloa vuodelta 1970. Kohde on kolmikerroksinen asuinkerrostalo, jossa on yksi koneellinen poistoilmanvaihtopuhallin. Poistoilmanvaihdon ilmamäärä on 650 l/s. Olemassa oleva lämmöntuottojärjestelmä on kaukolämpö ja lämmönjakotapa vesikiertoinen radiaattorilämmitys 70/40 °C lämpötilatasoilla. Rakennus sijaitsee säävyöhykkeellä I. (Energiatodistuksen laadintaesimerkki: kerrostalo vuodelta 1970 2018.) Kuviossa 42 on esitetty rakennusvaipan tiedot.

RAKENNUSOSAT	Lähde	U W/(m ² °C)	A m ²	T_v °C	UA W/°C
Ulkoseinä ulkoilmaan	Piirustukset	0,30	560,0	Ulkolämpötila	168,0
Yläpohja	Piirustukset	0,20	405,0	Ulkolämpötila	81,0
Alapohja	Piirustukset	0,40	405,0	Maaperä	162,0
Ikkunat	Piirustukset	1,40	199,5	Ulkolämpötila	279,3
Ovet	Havainnointi paikanpäällä	1,40	46,0	Ulkolämpötila	64,4
Yhteensä (= rakennusvaipan pinta-ala)			1615,5		

Kuvio 42. Asuinkerrostalon mallilaskelman rakennusvaipan tiedot (Energiatodistuksen laadintaesimerkki: kerrostalo vuodelta 1970 2018, 8).

4.1.2 Laskelmien lähtötiedot kerrostalo

Koska kohteessa ei ole ilmanvaihdon lämmöntalteenottoa, tarkastellaan nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän korvaamista PILP-järjestelmällä. Verrokkiratkaisuksi otetaan nykyinen järjestelmä, jossa puhallin uusitaan ja kanavisto nuohotaan.

Tämän työn kirjoitushetkellä energiamarkkinat ovat sekaisin Venäjän hyökkäyssodan takia (Pant-sar & Haanperä 2022). Tämän takia käytetään tässä mallilaskelmassa parin vuoden takaisia keskimääräisiä energian hintoja ja oletetaan, että energiamarkkinat tulevat vielä palaamaan sotaa edeltävälle tasolle. Muut laskennan lähtötiedot on esitetty kuviossa 43. Laskennan lopuksi tarkastellaan miten oletusarvojen muutokset vaikuttavat lopputulokseen, eli tehdään laskelmille herkkyystarkastelua.

Laskennan lähtötiedot				
Laskentajakso ja korkokanta				
Laskentajakson pituus			25	a
Nimelliskorkokanta			4	%
Inflaatio			2	%
Reaalikorkokanta (diskonttaus korko)			2	%
Energian hinnat				
Sähkö			90	€/MWh
Kaukolämpö				
	Kesä		42,13	€/MWh
	Syksy		57,9	€/MWh
	Talvi		68,6	€/MWh
	Kevät		57,58	€/MWh
Kaukojäähdytys			0	€/MWh
Sähkön hinnan oletettu nousu			2	%
Kaukolämmön hinnan oletettu nousu			2	%
Kaukojäähdytyksen hinnan oletettu nousu			2	%

Kuvio 43. Mallilaskennan lähtötiedot.

Käytetään laskelmissa sähkön hintana vuosien 2018–2020 keskimääräistä verotonta pörssisähkön hintaa, joka on ollut noin 40 €/MWh (Pörssisähkön hinta kuukausittain 2022). Lisätään hintaan Turku Energian hinnaston mukainen veroton siirtomaksu ja sähkövero, joka on yhteensä noin 50 €/MWh (Verkkopalveluhinnasto 2022). Sähkön verottomaksi kokonaisenergian hinnaksi saadaan siis 90 €/MWh.

Käytetään kaukolämmityksen hintana Turku Energian kausihinnoittelun verottomia keskiarvohintoja vuosilta 2018–2020, ja vuosittaisena tehomaksuna Turku Energian sopimustehopohjaista hinnoitteluperustetta, joka on syötetty ohjelmaan. Keskimääräiset verottomat kaukolämmön energia hinnat vuosilta 2018–2020 ovat:

- kevät: 57,58 €/MWh
- kesä: 42,13 €/MWh
- syksy: 57,9 €/MWh
- talvi: 68,6 €/MWh

(Kaukolämpöhinnasto 2022)

4.1.3 Laskelmat ja tulokset kerrostalo

Energiankulutuksen oikeinlaskennan tarkastelu

Kun lähtötiedot on syötetty ohjelmaan, nähdään rakennuksen vuosittaisen laskennallisen energiankulutuksen nykytilanteen jakaantuminen (Kuvio 44). Taulukossa 1 on verrattu ohjelman laske-
mia arvoja energiatodistuksen esimerkilaskelman arvoihin. Laskelmaohjelman energianlaskennan virhemarginaali on keskimäärin noin 5 %. Pienet erot johtuvat siitä, että laskentaohjelmassa osa laskentasäännöistä on yksinkertaistettu. Esimerkiksi ikkunoiden varjostuskertoimet ja lämpimän käyttöveden kiertojohdon häviöt on laskettu energiatodistusesimerkissä tarkemmin.

Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus	Sähkö lämmitys tilat ja IV [kWh/a]	Sähkö lämmitys vesi [kWh/a]	Sähkö jäähdytys [kWh/a]	Sähköenergia [kWh/a]	Lämpöener tilat ja IV kWh/a	Lämpöener käyttö kWh/a	Jäähdytysenergia kWh/a
Kaukolämpö					215828	67141	
Ilma-vesilämpöpumppu	0	0					
Maalämpöpumppu	0	0					
Poistoilmalämpöpumppu	0	0					
Lämmitys sähkö	0	0					
Lämmitys ja jäähdytysjärjestelmän apulaitteet				2853			
Puhallinsähkö				8518			
Kuluttajalaitteet				25556			
Valaistus				9583			
Kaukojäähdytys							0
Maaviennys			0				
Jäähdytyskoneikko			0				
Yhteensä	0	0	0	46510	215828	67141	0

Kuvio 44. Energiankulutuksen jakaantuminen kerrostalon mallilaskelmassa.

	Laskentaohjelma [kWh/a]	Energiatodistusesimerkki [kWh/a]	Laskentaohjelman tarkkuus [%]
Sähköenergia	46510	49175	5,6
Kaukolämpö, tilat ja IV	215828	207711	3,9
Kaukolämpö, lämmin käyttövesi	67141	71838	6,7

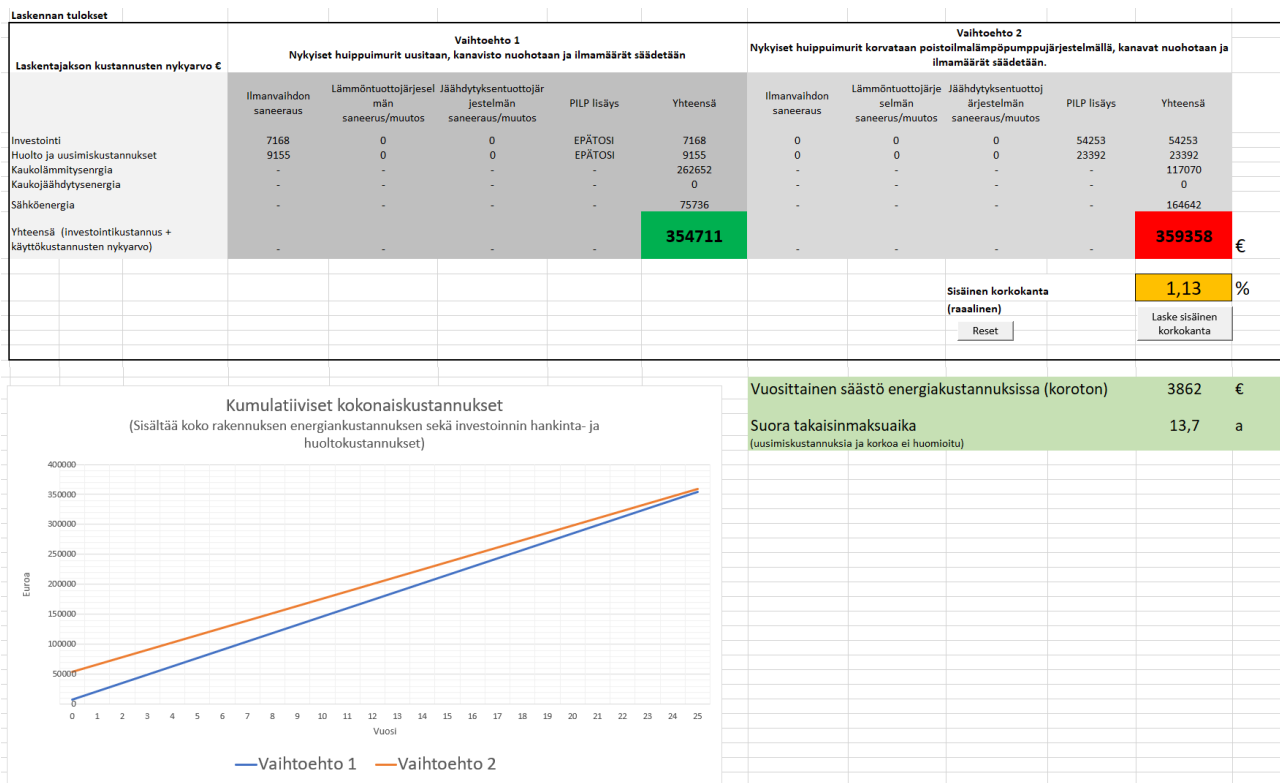
Taulukko 1. Laskentaohjelman oikeinlaskennan tarkastus kerrostalon mallilaskelmassa.

Elinkaarikustannuslaskennan tarkastelu

Kuviossa 45 on esitetty elinkaarikustannuslaskennan tulokset. Tuloksista nähdään, että vaihtoehdon 1, eli nykyisen järjestelmän kunnostuksen investointikustannukset ovat 7168 € ja huolto- ja uusimiskustannusten nykyarvo 9155 €. Vastaavasti vaihtoehdon 2, eli koneellisen poistoilmajärjestelmän muutos PILP-järjestelmäksi, investointikustannukset ovat 54253 € ja huolto- ja uusimiskustannusten nykyarvo 23392 €. Vaihtoehto 2 tapauksessa rakennuksen kaukolämmitysenergiakustannusten nykyarvon laskee noin 55 %, mutta samalla sähköenergian kustannusten nykyarvo nousee 117 %, kun verrataan vaihtoehtoon 1. Kun molempien vaihtoehtojen investointikustannukset ja käyttökustannusten nykyarvot summataan yhteen, voidaan todeta, että vaihtoehto 1 olisi edullisempi valinta, koska sen kokonaiskustannukset ovat pienemmät.

Vaihtoehdon 2 sisäinen korkokanta on 1,13 %. Jos investointi tehtäisiin, saataisiin sille laskelmien mukaan 1,13 prosentin reaalin tuotto vuodessa.

Kun tarkastellaan pelkkää energiakustannusten säästöä, ottamatta huomioon laskentakorkoa ja uusimiskustannuksia, energiakustannuksista saatava säästö maksaa itsensä takaisin noin 14 vuodessa. Jos huoltokustannuksetkin jätetään huomioimatta, olisi takaisinmaksuaika 12 vuotta.



Kuvio 45. Elinkaarikustannuslaskennan tulokset asuinkerrostalon mallilaskelmassa.

Herkkyystarkastelu

Tehdään laskelmille herkkyystarkastelu niin, että oletetaan energianhintojen nousevan yleistä inflaatiota nopeammin, joka tämän laskelman lähtötiedoissa on 2 %. Asetetaan kaukolämmön oletettu hinnan nousu 4 prosenttiin ja sähköenergian hinnan oletettu nousu 3 prosenttiin. Kuviossa 46 on päivitetyn laskennan tulokset. Tuloksista nähdään, että nyt vaihtoehto 2 on muuttunut edullisemmaksi vaihtoehdoksi ja sisäinen reaalinen korkokanta on kasvanut arvoon 5,26 %. Kumulatiivisten kokonaiskustannusten kaaviosta nähdään, että investoinnin korollinen takaisinmaksuaika on noin 16 vuotta.

Laskennan tulokset										
Laskentajakson kustannusten nykyarvo €	Vaihtoehto 1 Nykyiset huippuimurit uusitaan, kanavisto nuohootaan ja ilmamäärät säädetään					Vaihtoehto 2 Nykyiset huippuimurit korvataan poistoilmalämpöpumpputjärjestelmällä, kanavat nuohootaan ja ilmamäärät säädetään.				
	Ilmanvaihdon saneeraus	Lämmöntuottojärjestelmän saneeraus/muutos	Jäähdytyskentuottojärjestelmän saneeraus/muutos	PILP-lisäys	Yhteensä	Ilmanvaihdon saneeraus	Lämmöntuottojärjestelmän saneeraus/muutos	Jäähdytyskentuottojärjestelmän saneeraus/muutos	PILP-lisäys	Yhteensä
Investointi	7168	0	0	EPÄTOSI	7168	0	0	0	54253	54253
Huolto ja uusimiskustannukset	9155	0	0	EPÄTOSI	9155	0	0	0	23392	23392
Kaukolämmitysenergia	-	-	-	-	336328	-	-	-	-	149910
Kaukojäähdytysenergia	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0
Sähköenergia	-	-	-	-	85433	-	-	-	-	185722
Yhteensä (investointikustannus + käyttökustannusten nykyarvo)	-	-	-	-	438085	-	-	-	-	413277 €
									Sisäinen korkokanta (raaallinen)	5,26 %
									<input type="button" value="Reset"/>	<input type="button" value="Laske sisäinen korkokanta"/>

Vuosittainen säästö energiakustannuksissa (koroton)	3862	€
Suora takaisinmaksuaika (uusimiskustannuksia ja korkoa ei huomioitu)	13,7	a

Kumulatiiviset kokonaiskustannukset
(Sisältää koko rakennuksen energiakustannuksen sekä investoinnin hankinta- ja huoltokustannukset)

— Vaihtoehto 1 — Vaihtoehto 2

Vuosittainen säästö energiakustannuksissa (koroton) 3862 €

Suora takaisinmaksuaika (uusimiskustannuksia ja korkoa ei huomioitu) 13,7 a

Kuvio 46. Herkkyystarkastelu 1 asuinkerrostalon mallilaskelmassa.

Tarkastellaan toisessa herkkyystarkastelussa ilmamäärän vaikutusta tuloksiin. Tarkastellaan miltä tulokset näyttävät, jos poistoilmavirta on 800 l/s lähtötiedon 650 l/s sijaan. Muina laskennan lähtötietoina käytetään kuvion 43 mukaisia arvoja.

Laskennan tulokset						Vaihtoehto 1					Vaihtoehto 2				
Laskentajakson kustannusten nykyarvo €	Nykyiset huippumurit uusitaan, kanavisto nuohotaan ja ilmamäärät säädetään					Nykyiset huippumurit korvataan poistoilmalämpöpumppujärjestelmällä, kanavat nuohotaan ja ilmamäärät säädetään.									
	Ilmanvaihdon saneeraus	Lämmöntuottojärjestelmän saneeraus/muutos	Jäähdytysentulojärjestelmän saneeraus/muutos	PILP lisäys	Yhteensä	Ilmanvaihdon saneeraus	Lämmöntuottojärjestelmän saneeraus/muutos	Jäähdytysentulojärjestelmän saneeraus/muutos	PILP lisäys	Yhteensä					
Investointi	7168	0	0	EPÄTOSI	7168	0	0	0	57401	57401					
Huolto ja uusimiskustannukset	9155	0	0	EPÄTOSI	9155	0	0	0	24375	24375					
Kaukolämmitysenergia	-	-	-	-	297449	-	-	-	-	118149					
Kaukojäähdytysenergia	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0					
Sähköenergia	-	-	-	-	77809	-	-	-	-	183724					
Yhteensä (investointikustannus + käyttökustannusten nykyarvo)	-	-	-	-	391581	-	-	-	-	383649 €					
Sisäinen korkokanta (raaallinen)										3,30 %					
<input type="button" value="Reset"/>										<input type="button" value="Laske sisäinen korkokanta"/>					

Vuosittainen säästö energiakustannuksissa (koroton)	4700 €
Suora takaisinmaksuaika (uusimiskustannuksia ja korkoa ei huomioitu)	11,7 a

Kumulatiiviset kokonaiskustannukset
(Sisältää koko rakennuksen energiakustannuksen sekä investoinnin hankinta- ja huoltokustannukset)

—Vaihtoehto 1 —Vaihtoehto 2

Vuosittainen säästö energiakustannuksissa (koroton) 4700 €

Suora takaisinmaksuaika (uusimiskustannuksia ja korkoa ei huomioitu) 11,7 a

Kuvio 47. Herkkyystarkastelu 2 asuinkerrostalon mallilaskelmassa.

Kuviossa 47 on esitetty päivitetyn laskennan tulokset, kun poistoilman ilmvirtana on käytetty arvoa 800 l/s. Pieni muutos ilmavirrassa käänsi vaihtoehdon 2 edullisemmaksi sekä sisäinen korkokanta nousi arvoon 3,30 %.

4.2 Toimistotalo vuodelta 2006

4.2.1 Rakennuksen lähtötiedot toimistotalo

Lähtötietoina tässä laskennassa käytetään Ympäristöministeriön laadintaesimerkin toimistotaloa vuodelta 2006. Kohde on nelikerroksinen toimistorakennus. Pääilmanvaihtokoneen ilmamäärä on 5220 l/s ja vuosihyötysuhde 66 %. Pääilmanvaihtokoneen lisäksi kiinteistössä on yksi erillispoisto, jonka ilmamäärä on 810 l/s. Olemassa oleva lämmöntuottojärjestelmä on kaukolämpö ja lämmönjakotapa vesikiertoinen radiaattorilämmitys 70/40 °C lämpötilatasoilla. Kohteessa on sähköinen kompressorijäähdytys. Rakennus sijaitsee säävyöhykkeellä I. (Energiatodistuksen laadintaesimerkki: toimistotalo vuodelta 2006 2018.) Kuviossa 48 on esitetty rakenteiden tiedot.

RAKENNUSOSAT	Lähde	U W/(m ² °C)	A m ²	T_u °C	UA W/°C
Ulkoseinä ulkoilmaan	Piirustukset	0,25	1310,0	Ulkolämpötila	327,5
Yläpohja	Piirustukset	0,16	812,0	Ulkolämpötila	129,9
Alapohja	Piirustukset	0,25	812,0	Maaperä	203,0
Ikkunat ¹	Piirustukset	1,28	620,0	Ulkolämpötila	796,0
Ovet	Piirustukset	1,40	40,0	Ulkolämpötila	56,0
Yhteensä (= rakennusvaipan pinta-ala)			3594,0		

Kuvio 49. Toimistorakennuksen mallilaskelman rakennusvaipan tiedot (Energiatodistuksen laadintaesimerkki: toimistotalo vuodelta 2006 2018, 9).

4.2.2 Laskelmien lähtötiedot toimistotalo

2006 rakennetun toimistorakennuksen kaukolämmön alajakokeskus on tulossa muutaman vuoden kuluttua käyttöikänsä päähän. Tarkastellaan elinkaarikustannuslaskelmilla nykyisen järjestelmän uusimista ja toisena vaihtoehtona nykyisen lämmöntuottojärjestelmän muuttamista ilma-vesilämpöpumpujärjestelmäksi. Käytetään laskennan lähtötietoina samoja arvoja kuin kerrostalon mallilaskelmassa (Kuvio 43). Asetetaan ohjelmaan ilma-vesilämpöpumpun mitoitusasteeksi 70 prosenttia rakennuksen mitoitusvahvuudesta, tukilämmitysjärjestelmäksi valitaan sähkö. Tehdään lopuksi laskelmille herkkyyštarkastelu käyttäen nykyisiä energian hintoja.

4.2.3 Laskelmat ja tulokset toimistotalo

Energiankulutuksen oikeinlaskennan tarkastelu

Kun lähtötiedot on syötetty ohjelmaan, nähdään rakennuksen vuosittaisen laskennallisen energiankulutuksen nykytilanteen jakaantuminen (Kuvio 50). Taulukossa 2 on verrattu ohjelman laskemista arvoja energiatodistuksen esimerkkilaskelman arvoihin. Laskelmaohjelman energianlaskennan virhemarginaali on alle 5 %. Pienet erot johtuvat siitä, että laskentaohjelmassa osa laskentasäännöistä on yksinkertaistettu.

Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus	Sähkö lämmitys tilat ja IV [kWh/a]	Sähkö lämmitys vesi [kWh/a]	Sähkö jäähdytys [kWh/a]	Sähköenergia n [kWh/a]	Lämpöener tilat ja IV kWh/a	Lämpöener käyttövesi kWh/a	Kaukojäähdytys kWh/a
Kaukolämpö					382783	24023	
Ilma-vesilämpöpumppu	0	0					
Maalämpöpumppu	0	0					
Poistoilmalämpöpumppu	0	0					
Lämmityssähkö	0	0					
Lämmitys ja jäähdytysjärjestelmän apulaitteet				7392			
Puhallinsähkö				45015			
Kuluttajalaitteet				74748			
Valaistus				62290			
Kaukojäähdytys							0
Maaviilennys			0				
Jäähdytyskoneikko			2845				
Yhteensä	0	0	2845	189444	382783	24023	0

Kuvio 50. Energiankulutuksen jakaantuminen toimistotalon mallilaskelmassa.

	Laskentaohjelma [kWh/a]	Energiatodistusesimerkki [kWh/a]	Laskentaohjelman tarkkuus [%]
Sähköenergia	192289	200918	4,5
Kaukolämpö, tilat ja IV	382783	396535	3,6
Kaukolämpö, lämmin käyttövesi	24023	25270	5,2

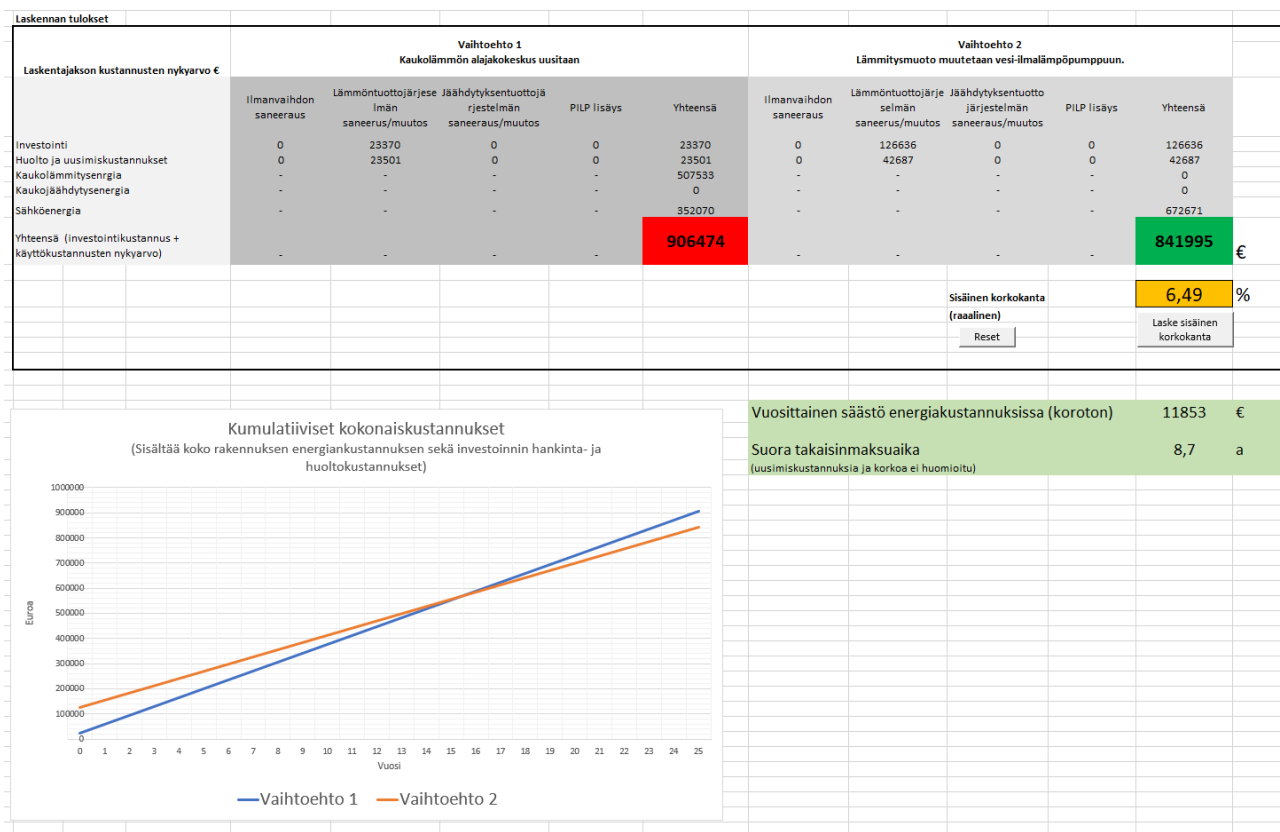
Taulukko 2. Laskentaohjelman oikeinlaskennan tarkastus toimistotalon mallilaskelmassa.

Elinkaarikustannuslaskennan tarkastelu

Kuviossa 51 on esitetty elinkaarikustannuslaskennan tulokset. Tuloksista nähdään, että vaihtoehdon 1, eli nykyisen järjestelmän uusimisen investointikustannukset ovat 23370 € ja huolto- ja uusimiskustannusten nykyarvo 23501 €. Vastaavasti vaihtoehdon 2, eli lämmitystavan muutos ilma-vesilämpöpumppujärjestelmäksi, investointikustannukset ovat 126636 € ja huolto- ja uusimiskustannusten nykyarvo 42687 €. Vaihtoehto 2 tapauksessa rakennuksen kaukolämmitysenergian kustannuksia ei ole, mutta sähköenergian kustannusten nykyarvo nousee 91 %, kun verrataan vaihtoehtoon 1. Kun molempien vaihtoehtojen investointikustannukset ja käyttökustannusten nykyarvot summataan yhteen, voidaan todeta, että vaihtoehto 2 olisi edullisempi valinta, koska sen kokonaiskustannukset ovat pienemmät.

Vaihtoehdon 2 sisäinen korkokanta on 6,49 %. Jos investointi tehtäisiin, saataisiin sille laskelmien mukaan 6,49 prosentin reaalin tuotto vuodessa.

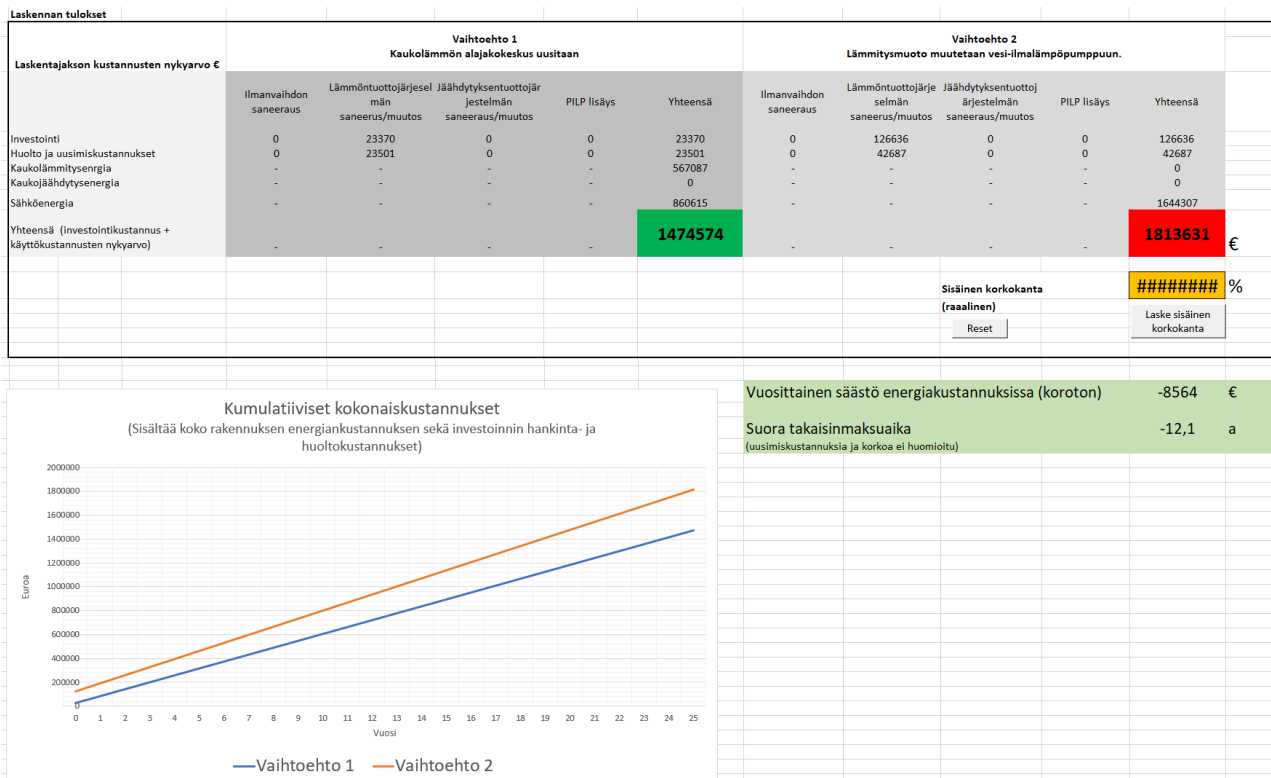
Kun tarkastellaan pelkkää energiankustannusten säästöä, ottamatta huomioon laskentakorkoa ja uusimiskustannuksia, energiakustannuksista saatava säästö maksaa itsensä takaisin noin 9 vuodessa. Kumulatiivisten kokonaiskustannusten kaaviosta nähdään, että korollinen takaisinmaksuaika on noin 15 vuotta.



Kuvio 51. Elinkaarikustannuslaskennan tulokset toimistorakennuksen mallilaskelmassa.

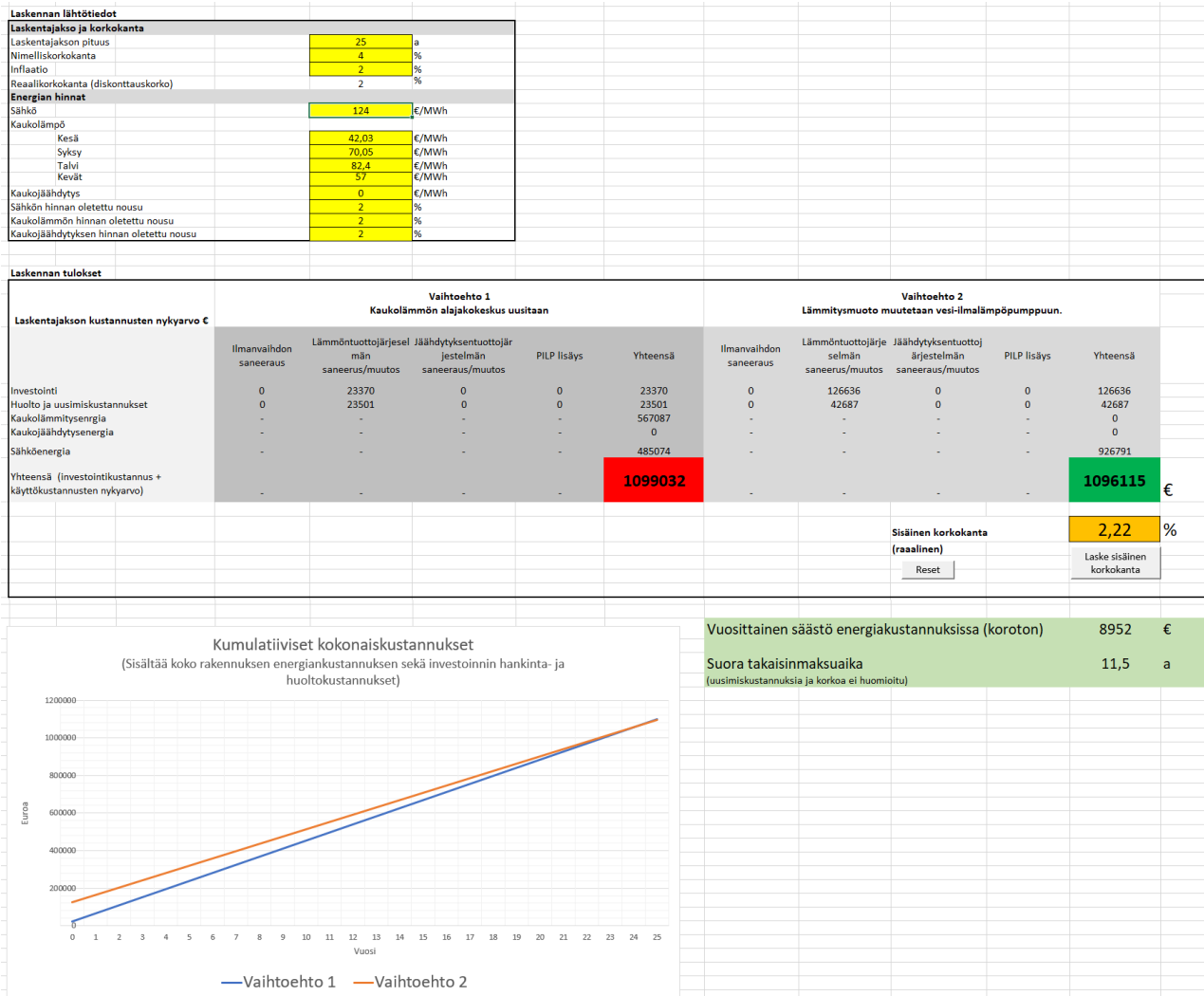
Herkkyystarkastelu

Tarkastellaan laskelmia herkkyytarkastelussa niin, että käytetään vuoden 2022 keskimääräisiä energian hintoja. Pörssisähkön veroton keskimääräinen hinta vuonna 2022 on ollut noin 170 €/MWh (Sähkön hinta jatkaa nousussa 2022). Kun tähän lisätään vielä edellä käytetty sähkön siirtohintaa ja sähkövero, saadaan sähköenergian verottomaksi kokonaishinnaksi 220 €/MWh. Turku Energian kaukolämmön verottomat kausihinnat vuonna 2022 ovat: kevät 57,0 €/MWh, kesä 42,03 €/MWh, syyskuu 70,05 €/MWh, talvi 82,4 €/MWh (Kaukolämpöhinnasto 2022).



Kuvio 52. Herkkyystarkastelu 1 toimistorakennuksen mallilaskelmassa.

Kuviosta 52 nähdään, että lämmitysjärjestelmän muutos ei ole kannattava. Vuoden 2022 energian hinnoilla ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmä on jo energiakustannuksiltaan kalliimpi vaihtoehto kuin kaukolämmitys. Tehdään laskelmille vielä toinen herkkyystarkastelu, jossa määritetään se sähkön hinta, jolla ilma-vesilämpöpumpputinvestointi olisi vielä kannattava.



Kuvio 53. Herkkyystarkastelu 2 toimistorakennuksen mallilaskelmassa.

Kuviossa 53 on esitetty toisen herkkyystarkastelun tulokset. Ilma-vesilämpöpumppuinvestointi on vielä edullinen, kun sähkön verottomana hintana on käytetty 124 €/MWh.

5 Pohdinta

Tämän kehittämistyön tavoitteen oli luoda Excel-pohjainen elinkaarikustannusvertailutyökalu korjausrakentamiskohteiden LVI-järjestelmien saneerausvaihtoehtojen vertailuun. Yhtenä tavoitteena oli, että työkalu olisi varsin kevyt ja nopea käyttää. Saneerausvaihtoehtoiksi valittiin yleisimpiä LVI-järjestelmien saneeraustoimenpiteitä, joilla rakennuksen energiatehokkuutta pystytään parantamaan.

Rakennuksen energianlaskennan rakentaminen Excel-pohjaiseen työkaluun oli varsin työläs vaihe. Ympäristöministeriön asetuksen ohjeet rakennuksen energiakulutuksen laskennasta ovat selvät, mutta eri laskentaparametrien syöttäminen ohjemaan vaati paljon aputaulukoita ja Excelin ehtolauseiden käyttämistä, jotta työkalusta tulisi mahdollisimman automatisoitu ja nopeasti käytettävä. Laskennan rakentaminen ohjelmaan onnistui varsin hyvin, joskin sen muokattavuus kärsi monimutkaisten ehtolausekkeiden käytön myötä. Laskennan tarkkuus oli kuitenkin hyvällä tasolla, kun ohjelman energiankulutuksen laskentaa verrattiin energiatodistusesimerkkien laskennan arvoihin. Pienet poikkeavuudet syntyvät siitä, että osa ohjelmaan syötetyistä laskentaparametreista on jouduttu yksinkertaistamaan, jotta ohjelman keveys ja helppokäyttöisyys ei olisi kärsinyt.

Ohjelman elinkaarikustannusten vertailuosiota varten selvitettiin alan kirjallisuudesta LCC-laskennassa huomioon otettavia tekijöitä sekä investointikustannuslaskennan menetelmiä. Tavoitteena ohjelman vertailuosiossa oli, että tulokset olisivat siitä helposti luettavissa ja herkkyytarkastelun tekeminen nopeaa. Tulossivulle valittiin seuraavat menetelmät: nykyarvomenetelmä, sisäisen korkokannan menetelmä, suora takaisinmaksuaika ja kumulatiivisten kokonaiskustannuksien kaavio, josta voidaan lukea investoinnin korollinen takaisinmaksuaika. Laskentaan vaikuttavat parametrit kuten korkokannat ja energian hinnat tuotiin myös samalle sivulle. Vertailusivun tavoitteet täyttyivät ja siinä pystytään nopeasti tekemään herkkyytarkasteluita eri korkokannoilla ja energian hinnoilla. Laskijan tulee kuitenkin osata elinkaarikustannuslaskennan yleiset periaatteet ja ymmärtää eri laskentamenetelmien erot, kun tuloksia tulkitaan.

Ohjelmaa varten tarvittavat saneerausvaihtoehtojen investointi ja uusimiskustannukset haettiin pääasiassa Haahtelan rakennusosa-arviomenetelmän hinnastoista. Hinnoitteluperiaatteet olivat melko selkeät ja pohjautuivat joko rakennuksen neliöihin, järjestelmän mitoitustehoon tai ilmanvaihtojärjestelmän osalta mitoittavaan ilmavirtaan. Hinnat ovat myös helposti päivitettävissä eri laskenta-alueille tai eri vuosina tehtävään laskentaan, koska ne on sidottu ohjelmassa tarjoushintaaindeksiin. Uusimis- ja kunnossapitajakso haettiin RT-ohjekortista: talotekniikan käyttöikä ja kunnossapitajakset.

Ohjelmaan valikoitui loppujen lopuksi yhdeksän erilaista saneerausvaihtoehtoa. Jokaiselle vaihtoehdolle piti luoda omat hinnoittelusääntönsä, jotka pohjautuivat ohjelman laskemaan energianku-

lutukseen, kunnossapito- ja huoltojaksoihin sekä investointikustannuksiin. Tämän kaiken rakentaminen Excelin ehtolausekkeiden avulla oli varsin monimutkaista ja aikaa vievää. Mahdollisen virhelaskennan mahdollisuus on kuitenkin helposti huomattavissa, koska eri skenaarioissa käytettävät kustannukset on avattu ohjelman kustannustaulukkoon. Ohjelmaa testatessa merkittäviä virheitä ei noussut esille. Todellisuudessa jokainen saneerauskohte on kuitenkin erilainen. Ohjelma laskee vain keskimääräisiä neliö- ja mitoitus-tehoperusteisia investointihintoja. Jos tarkasteltavaan kohteeseen joudutaan tekemään merkittävästi muita kuin LVI-teknisiä töitä tai esimerkiksi suurentamaan sähköliittymää, pitää laskijan osata ottaa ne huomioon ja lisätä manuaalisesti ohjelman kustannuksiin.

Kustannustenlaskennan tarkkuutta olemassa oleviin tai toteutuneisiin kohteisiin ei tässä työssä tarkasteltu. Jatkossa kun ohjelma otetaan käyttöön, voidaan sen tuloksia verrata toteutuneisiin tarjouksiin. Muita jatkokehitysmahdollisuuksia ohjelmalle olisi lisätä erilaisia saneerausvaihtoehtoja nyt asetetun yhdeksän lisäksi. Myös visuaalista ilmettä voisi kehittää niin, että eri laskentaskenaarioista saataisiin tulostettua suoraan valmis raporttisivu. Kehitys, joka ohjelmaan tullaan vielä tekemään, on ohjeet sen käytölle.

Työn lopussa tehtiin valmiilla ohjelmalla elinkaarikustannuslaskentaa mallikohteisiin. Laskennassa kävi hyvin esille, että herkkyytstarkastelun tekeminen laskelmille on erittäin tärkeää. Pienillä korkotason muutoksilla tai sillä, mitä energian hintaa laskennassa käyttää on valtava merkitys lopputulokseen. Varsinkin nyt, tämän työn kirjoitushetkellä, kun energiamarkkinat ovat Venäjän hyökkäyssodan takia sekaisin, on tärkeä tuoda elinkaarikustannustarkastelussa esille, miten energian hinnan muutokset vaikuttavat laskentaa. Myös eri energiayhtiöiden hinnoittelu vaikuttaa laskennan tuloksiin, varsinkin jos verrataan kaukolämmön ja lämpöpumppujärjestelmän kannattavuuksia keskenään. Tämän työn mallilaskelmissa hintoina käytettiin vain Turku Energian hinnaston hintoja.

Kaiken kaikkiaan tavoitteet kehitetylle ohjelmalle täyttyivät ja se tullaan ottamaan käyttöön varhaisen vaiheen LVI-suunnittelussa. Olemassa olevan rakennuskannan energiankulutuksen pienentämiseen liittyvät saneeraukset tulevat tulevaisuudessa lisääntymään. LVI-teknisillä järjestelmillä on iso rooli rakennusten energiankulutuksen osalta.

Lähteet

A 1010/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Viitattu 24.9.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>.

A 20.12.2017/1048. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. Liite 1. Laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun) määrittäminen energiatodistuksessa. Viitattu 29.4.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2017/20171048>.

Alkuperäiset Vallox suodattimet. 2022. Suodatinkeskus. Viitattu 29.9.2022. <https://www.suodatin-keskus.com/vallox-alkuperaiset-suodattimet>.

Dhillon, B.S. 2010. Life Cycle Costing for Engineers. CRC Press Taylor Francis Group.

Energiakaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. 2013. Ympäristöministeriö. Viitattu 28.9.2022. <https://www.ym.fi/download/noname/%7B3B0524D3-E4F6-4CC5-903F-CA21709D3052%7D/31318>.

Energiavuosi 2021 Kaukolämpö. 2022. Energiateollisuus ry. Julkaistu 27.1.2022. Viitattu 24.9.2022 https://energia.fi/files/5650/Kaukolampovuosi_2021_v1.4_FINAL.pdf.

F-kaasua sisältävän laitteen omistajan velvollisuudet. 2022. Suomen ympäristökeskus SYKE. Viitattu 29.9.2022. <https://www.ymparisto.fi/fkaasut/omistaja>.

Haahtela tarjoushintaideksi. 2022. Haahtela-yhtiöt. Viitattu 5.9.2022. <https://www.haah-tela.fi/fi/haahtela-tarjoushintaindeksi/>.

Haahtela, Y. & Kiiras, J. 2015. Talonrakennuksen kustannustieto. Helsinki: Haahtela-kehitys Oy.

Hallituksen ilmastopolitiikka: kohti hiilineutraalia Suomea. 2021. Ympäristöministeriö. Viitattu 10.11.2021. <https://ym.fi/hiilineutraalisuomi2035>.

HiLTO EC. Korkean hyötysuhteen lämmöntalteenottoyksikkö. N.d. Koja Oy. Viitattu 1.10.2022. https://koja.materiaali.fi/media/media/materiaalipankki/rakennukset/sarjatuotteet/hilto-ec-lammontalteenottoyksikko/Koja_HiLTO_EC_esite_FI.pdf.

Ilma-vesilämpöpumppu, IVLP. 2021. Motiva. Viitattu 28.9.2022. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/ilma-vesilampopumppu_ivlp.

Ilmanvaihtokanavien puhdistus. 2022. Talokuntoon.fi. Viitattu 29.9.2022. <https://www.talokuntoon.fi/huoltopalvelut/2904/ilmanvaihtokanavien-puhdistus/1>.

Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin. N.d. Ympäristöministeriö. Viitattu 1.9.2022. https://elinkaari-laskenta.fi/wp-content/uploads/sites/6/2019/08/johdatus_rakennusten_elinkaariarviointiin.pdf.

Kaukolämmön hinta. 2022. Motiva. Viitattu 22.9.2022. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/kaukolammon_hinta.

Kaukolämmön tuotanto uudistuu. 2022. Motiva. Viitattu 2.10.2022. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/kaukolammon_tuotanto_uudistuu.

Kaukolämpö. 2022. Motiva. Viitattu 23.9.2022. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo.

Kestävä rakentaminen on vastuullista rakentamista. N.d. Rakennusteollisuus. Viitattu 10.11.2021. <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Kestava-rakentaminen/>.

Kestävä rakentaminen torjuu ilmastonmuutosta. 2010. Rakennusteollisuus RT. Viitattu 13.5.2022. <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/julkaisuja/kestava-rakentaminen-torjuu-ilmastonmuutosta.pdf>.

Korjausrakentaminen. N.d. Rakennusteollisuus. Viitattu 10.11.2021 <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Korjausrakentaminen1/>.

Kurvinen, A., Vihola, J. & Heljo, J. 2011. Energiataloudellisten valintojen taloudellisuustarkastelut. Julkaisussa Rakentajain Kalenteri 2012. Toim. Koskenvesa A., Heloma T. & Laine.S. Helsinki: Rakennustieto, 158–164.

Laitinen, A. & Wallin, A. 2022. Jäteveden lämmöntalteenoton energiatase kaupungissa. Tutkimusraportti. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Viitattu 25.9.2022. https://www.hsy.fi/globalassets/ymparistotieto/projektisivustot-ja-hanke-esittelyt/tiedostot/jatevesilampo/vtt_tutkimusraportti_tp1_230622.pdf.

Lindström, E 2001. Talotekniikan elinkaaritarkastelut. Talotekniikan käsikirja 1. Helsinki: Suomen talotekniikan kehityskeskus (TAKE).

Lämpöä kotiin verkosta. 2022. Motiva. Viitattu 23.9.2022. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo/lampoa_kotiin_verkosta.

Maalämpöpumppu, MLP. 2022. Motiva. Viitattu 27.9.2022. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/maalampopumppu_mlp.

Microsoft Excel. 2022. Microsoft. Viitattu 2.10.2022. <https://www.microsoft.com/fi-fi/microsoft-365/excel>.

Mitsubishi Electric CAHV-P500 kiinteistölämpöpumppu. N.d. Scanoffice Oy. Viitattu 29.9.2022. <https://www.scanoffice.fi/tuote/mitsubishi-electric-cahv-p500-kiinteistolampopumppu/>

Miten maalämpöön siirtyminen vaikuttaa taloyhtiön sähköliittymän kokoon, hintaan ja sähkönsiirtomaksuihin? 2021. Insinööritoimisto TeknoPlan Oy. Viitattu 2.10.2022. <https://teknoplan.fi/miten-maalampoon-siirtyminen-vaikuttaa-taloyhtion-sahkoliittymän-kokoon-hintaan-ja-sahkonsiirtomaksuihin/>.

Neilimo, K. & Uusi-Rauva, E. 2005. Johdon laskentatoimi. Helsinki: Edita.

Okano, K. 2001. Life Cycle Costing-An Approach to Life Cycle Cost Management: A Consideration from Historical Development. Asia-Pacific Management Review.

Pantsar, M. & Haanperä, O. 2022. Nyt jos koskaan tarvitaan järeä panostus energiansäästöön. Sitra. Viitattu 3.10.2022. <https://www.sitra.fi/blogit/sahkontuonti-venajalta-loppui-kohta-vuorossa-voi-olla-kaasu-nyt-jos-koskaan-tarvitaan-jarea-panostus-energiansaastoon/>.

Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020-2050. 2020. Ympäristöministeriö. Viitattu 27.9.2022. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Suomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03-2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95556530BA53-156573.pdf/37a549e9-b330-5f8c-d863-2e51f2e8239a/Suomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03-2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95556530BA53-156573.pdf/Suomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03-2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95556530BA53-156573.pdf/Suomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03-2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95556530BA53-156573.pdf?t=1603259873424](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Suomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03-2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95556530BA53-156573.pdf/37a549e9-b330-5f8c-d863-2e51f2e8239a/Suomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03-2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95556530BA53-156573.pdf/Suomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03-2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95556530BA53-156573.pdf?t=1603259873424).

Pulakka, S., Heimonen, I., Juntunen, J. & Vuolle, M. 2007. Talotekniikan elinkaarikustannukset. VTT Tiedotteita 2409. Espoo: VTT.

Pätevyysvaatimukset. 2021. Motiva. Viitattu 29.4.2022. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energia-todistusneuvonta/energiatodistusten_laattijat/patevyysvaatimukset.

Pörssisähkön hinta kuukausittain. N.d. Omavoima Oy. Viitattu 3.10.2022. <https://omavoima.fi/spot-sahkon-hintahistoria>.

Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2018. Ympäristöministeriö. Viitattu 29.4.2022. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>.

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi. 2020. Motiva. Viitattu 29.4.2022. https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten_energiatehokkuusdirektiivi.

Rakennusten kaukolämmitys. 2021. Energiateollisuus ry. Julkaistu K1/2021. Viitattu 24.9.2022. https://energia.fi/files/6412/Julkaistu_K1_2021_Rakennusten_kaukolammitys_Maaraykset_ja_ohjeet_%28pdf%29.pdf.

Rakentaminen ja rakennukset. 2020. Motiva. Viitattu 10.11.2021. https://www.motiva.fi/julkisen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/rakentaminen_ja_rakennukset.

Rakentamisen elinkaari kestävä rakentamisen lähtökohtana. N.d. Rakennusteollisuus RT. Viitattu 13.5.2022. <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Kestava-rakentaminen/Rakennuksen-elinkaari/>.

Rakennusten elinkaarimittarit. 2013. Green Building Council Finland. Viitattu 1.9.2022. <https://figbc.fi/elinkaarimittarit/>.

Retermia news. 2014. Retermia Oy. Viitattu 2.10.2022. https://www.retermia.fi/wp-content/uploads/2014/02/RetermiaNews_1_2014-WEB.pdf.

RT 103316. 2021. Poistoilmalämpöpumput. RT-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 29.9.2022. <https://janet.finna.fi/>, RT-kortisto.

Sahlberg, S. 2016. Elinkaarikustannuslaskenta julkisessa rakennushankkeessa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, talouden ja rakentamisen tiedekunta, Faculty of Business and Built Environment. Viitattu 29.4.2022.

Sandberg, E. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointitekniikka osa 2. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut.

Sandberg, E. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa 1. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut.

Suomen pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia. N.d. Ympäristöministeriö. Viitattu 27.9.2022. <https://ym.fi/korjausrakentamisen-strategia>.

Suomen rakentamismääräyskokoelma. N.d. Ympäristöministeriö. Viitattu 29.4.2022. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>.

Sähkön hinta jatkaa nousussa – pörssisähkösopimus on riski. 2022. Sijoittaja.fi. Viitattu 3.10.2022. <https://www.sijoittaja.fi/348608/sahkon-hinta-jatkaa-nousussa-porssisahkosopimus-on-nyt-riski/>.

Tarjous! Maalämpöpumpun vuosihuolto alkaen 290€. 2021. MV-Jäähdytys. Viitattu 28.9.2022. <https://mv-jaahdytys.fi/tarjous-maalampohuolto/>.

Turpeinen, A. 2019. Jäteveden lämmöntalteenotto asuinkerrostaloissa. Opinnäytetyö, AMK. Tampereen ammattikorkeakoulu, talotekniikan koulutus. Viitattu 27.9.2022. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/168895/Turpeinen_Antti.pdf?sequence=2.

Veden kulutus hallintaan. 2018. Ympäristöhallinto. Viitattu 25.9.2022. https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/korjaustieto/taloyhtiot/energiatehokkuus/Energiahukan_vahentaminen/Vedenkulutuksen_hallinta_

Virta, J. & Pylsy, P. 2011. Taloyhtiön energiakirja. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy.

Woodward, D. 1997. Life cycle costing – Theory, information acquisition and application. International Journal of Project Management.

Liitteet

Liite 1. Laskentaohjelman "Lähtötiedot" -välilehti

LÄHTÖTIEDOT																																																																																																																																														
Rakennuskäsitte	<table border="1"> <tr><th colspan="2">TOMITTORAKENNUS</th></tr> <tr><td>2012</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>m</td></tr> <tr><td>2,8</td><td>m</td></tr> <tr><td>630</td><td>m²</td></tr> <tr><td>40</td><td>m²</td></tr> <tr><td>Maa- ja vesipölyjen alipohja</td><td></td></tr> <tr><td>835</td><td>m²</td></tr> <tr><td>130</td><td>m</td></tr> <tr><td>3340</td><td>m²</td></tr> <tr><td>9852</td><td>m³</td></tr> <tr><td>Asuntojen lukumäärä</td><td>0</td></tr> <tr><td>man. syöttö</td><td></td></tr> </table>				TOMITTORAKENNUS		2012		4	m	2,8	m	630	m ²	40	m ²	Maa- ja vesipölyjen alipohja		835	m ²	130	m	3340	m ²	9852	m ³	Asuntojen lukumäärä	0	man. syöttö		Laskentavähytys		1																																																																																																													
TOMITTORAKENNUS																																																																																																																																														
2012																																																																																																																																														
4	m																																																																																																																																													
2,8	m																																																																																																																																													
630	m ²																																																																																																																																													
40	m ²																																																																																																																																													
Maa- ja vesipölyjen alipohja																																																																																																																																														
835	m ²																																																																																																																																													
130	m																																																																																																																																													
3340	m ²																																																																																																																																													
9852	m ³																																																																																																																																													
Asuntojen lukumäärä	0																																																																																																																																													
man. syöttö																																																																																																																																														
Rakennuksen viirelletulo					Säilömaan lämpötila	21		C																																																																																																																																						
Kerroskorkeus					Jäähdytyksen airtuarvo	29		C																																																																																																																																						
Muunnoksen pinta-ala					Sisäpuolen tehollinen lämpökapasiteetti	110		Wh/(m ² K)																																																																																																																																						
Ulkopinnan pinta-ala					Jäähdytyksen mitoituserä	49		W/m ²																																																																																																																																						
Alapohja					Simuloitu jäähdytysenergian nettotarve			kWh/a																																																																																																																																						
Ala- ja välipölyjen pinta-ala																																																																																																																																														
Rakennuksen ympäristölämpötila																																																																																																																																														
Lämmitetty nettoala																																																																																																																																														
Tilavuus																																																																																																																																														
<table border="1"> <tr><th colspan="2">Rakennuksen ominaisuudet</th></tr> <tr><th>A</th><th>U</th><th>UFA</th><th>%</th></tr> <tr><td>m²</td><td>W/(m²*K)</td><td>W/K</td><td></td></tr> <tr><td>man. syöttö</td><td>man. syöttö</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Ulkoseinät</td><td>1344</td><td>0,17</td><td>228</td><td>19</td></tr> <tr><td>Ylipohja</td><td>835</td><td>0,09</td><td>75</td><td>6</td></tr> <tr><td>Ulkoovet</td><td>40</td><td>1</td><td>40</td><td>3</td></tr> <tr><td>Ikunat</td><td>430</td><td>1</td><td>430</td><td>31</td></tr> <tr><td>Alapohja</td><td>835</td><td>0,16</td><td>134</td><td>11</td></tr> <tr><td>Kylmäkallat</td><td></td><td></td><td>110</td><td>9</td></tr> <tr><td>mt.</td><td></td><td></td><td>1207</td><td></td></tr> </table>										Rakennuksen ominaisuudet		A	U	UFA	%	m ²	W/(m ² *K)	W/K		man. syöttö	man. syöttö			Ulkoseinät	1344	0,17	228	19	Ylipohja	835	0,09	75	6	Ulkoovet	40	1	40	3	Ikunat	430	1	430	31	Alapohja	835	0,16	134	11	Kylmäkallat			110	9	mt.			1207																																																																																					
Rakennuksen ominaisuudet																																																																																																																																														
A	U	UFA	%																																																																																																																																											
m ²	W/(m ² *K)	W/K																																																																																																																																												
man. syöttö	man. syöttö																																																																																																																																													
Ulkoseinät	1344	0,17	228	19																																																																																																																																										
Ylipohja	835	0,09	75	6																																																																																																																																										
Ulkoovet	40	1	40	3																																																																																																																																										
Ikunat	430	1	430	31																																																																																																																																										
Alapohja	835	0,16	134	11																																																																																																																																										
Kylmäkallat			110	9																																																																																																																																										
mt.			1207																																																																																																																																											
<table border="1"> <tr><th colspan="2">Ikunat lämmönsäilytys</th></tr> <tr><th>A</th><th>U-ikkuna</th><th>g-arvo</th></tr> <tr><td>m²</td><td>W/(m²*K)</td><td>kokonäilytys</td></tr> <tr><td>man. syöttö</td><td>man. syöttö</td><td>man. syöttö</td></tr> <tr><td>Puhjainen</td><td>200</td><td>200</td><td>1</td><td>0,63</td></tr> <tr><td>Kalvoinen</td><td>0</td><td></td><td>1</td><td>0,63</td></tr> <tr><td>Itsi</td><td>30</td><td>30</td><td>1</td><td>0,63</td></tr> <tr><td>Kaakko</td><td>0</td><td></td><td>1</td><td>0,63</td></tr> <tr><td>Etelä</td><td>360</td><td>360</td><td>1</td><td>0,63</td></tr> <tr><td>Luodes</td><td>0</td><td></td><td>1</td><td>0,63</td></tr> <tr><td>Länsi</td><td>30</td><td>30</td><td>1</td><td>0,63</td></tr> <tr><td>Luode</td><td></td><td></td><td>1</td><td>0,63</td></tr> </table>										Ikunat lämmönsäilytys		A	U-ikkuna	g-arvo	m ²	W/(m ² *K)	kokonäilytys	man. syöttö	man. syöttö	man. syöttö	Puhjainen	200	200	1	0,63	Kalvoinen	0		1	0,63	Itsi	30	30	1	0,63	Kaakko	0		1	0,63	Etelä	360	360	1	0,63	Luodes	0		1	0,63	Länsi	30	30	1	0,63	Luode			1	0,63																																																																																		
Ikunat lämmönsäilytys																																																																																																																																														
A	U-ikkuna	g-arvo																																																																																																																																												
m ²	W/(m ² *K)	kokonäilytys																																																																																																																																												
man. syöttö	man. syöttö	man. syöttö																																																																																																																																												
Puhjainen	200	200	1	0,63																																																																																																																																										
Kalvoinen	0		1	0,63																																																																																																																																										
Itsi	30	30	1	0,63																																																																																																																																										
Kaakko	0		1	0,63																																																																																																																																										
Etelä	360	360	1	0,63																																																																																																																																										
Luodes	0		1	0,63																																																																																																																																										
Länsi	30	30	1	0,63																																																																																																																																										
Luode			1	0,63																																																																																																																																										
<table border="1"> <tr><th colspan="2">Rakennuksen lämmityksen lähtötiedot</th></tr> <tr><th colspan="2">LTO:n tyyppi</th><th>Koneen hankintavuosi</th><th>Ilmavirta tuule ja poisto m³/s</th><th>LTO:n vuosiyhtymäosuus %</th><th>SFP-luku 100% ilmavirta [kW/(m²*s)]</th><th>Käyttökäik 100% ilmavirta tunti/Viikko</th><th>Käyttäjien ulkopuolinen ilmavirta osateho m³/s</th><th>SFP-luku Osateho [kW/(m²*s)]</th><th>LTO:n ja lämmitys patterin osateho kesä, heinä, elo</th><th>Sisäpuolen lämpötila [C]</th></tr> <tr><td>TK/PK101</td><td>Ilmavirta</td><td>2018</td><td>6</td><td>71</td><td>1,8</td><td>65</td><td>30</td><td>1,2</td><td>103</td><td>0,12</td><td>18</td></tr> <tr><td>TK/PK102</td><td>Ei valitaa</td><td></td><td></td><td>EPÄTOI</td><td>EPÄTOI</td><td>65</td><td>30</td><td>0</td><td>103</td><td>EPÄTOI</td><td>18</td></tr> <tr><td>TK/PK103</td><td>Ei valitaa</td><td></td><td></td><td>EPÄTOI</td><td>EPÄTOI</td><td>65</td><td>30</td><td>0</td><td>103</td><td>EPÄTOI</td><td>18</td></tr> <tr><td>TK/PK104</td><td>Ei valitaa</td><td></td><td></td><td>EPÄTOI</td><td>EPÄTOI</td><td>65</td><td>30</td><td>0</td><td>103</td><td>EPÄTOI</td><td>18</td></tr> <tr><td>TK/PK105</td><td>Ei valitaa</td><td></td><td></td><td>EPÄTOI</td><td>EPÄTOI</td><td>65</td><td>30</td><td>0</td><td>103</td><td>EPÄTOI</td><td>18</td></tr> <tr><td>TK/PK106</td><td>Ei valitaa</td><td></td><td></td><td>EPÄTOI</td><td>EPÄTOI</td><td>65</td><td>30</td><td>0</td><td>103</td><td>EPÄTOI</td><td>18</td></tr> <tr><td>TK/PK107</td><td>Ei valitaa</td><td></td><td></td><td>EPÄTOI</td><td>EPÄTOI</td><td>65</td><td>30</td><td>0</td><td>103</td><td>EPÄTOI</td><td>18</td></tr> <tr><td>TK/PK108</td><td>Ei valitaa</td><td></td><td></td><td>EPÄTOI</td><td>EPÄTOI</td><td>65</td><td>30</td><td>0</td><td>103</td><td>EPÄTOI</td><td>18</td></tr> <tr><td>Yhteensä</td><td></td><td></td><td>6</td><td>71</td><td>1,8</td><td></td><td></td><td>1,2</td><td>0,12</td><td></td><td></td></tr> <tr><td colspan="2">Sisäpuolen lämmitys lähtötiedot</td><td></td><td>6,06</td><td>m³/s</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>										Rakennuksen lämmityksen lähtötiedot		LTO:n tyyppi		Koneen hankintavuosi	Ilmavirta tuule ja poisto m ³ /s	LTO:n vuosiyhtymäosuus %	SFP-luku 100% ilmavirta [kW/(m ² *s)]	Käyttökäik 100% ilmavirta tunti/Viikko	Käyttäjien ulkopuolinen ilmavirta osateho m ³ /s	SFP-luku Osateho [kW/(m ² *s)]	LTO:n ja lämmitys patterin osateho kesä, heinä, elo	Sisäpuolen lämpötila [C]	TK/PK101	Ilmavirta	2018	6	71	1,8	65	30	1,2	103	0,12	18	TK/PK102	Ei valitaa			EPÄTOI	EPÄTOI	65	30	0	103	EPÄTOI	18	TK/PK103	Ei valitaa			EPÄTOI	EPÄTOI	65	30	0	103	EPÄTOI	18	TK/PK104	Ei valitaa			EPÄTOI	EPÄTOI	65	30	0	103	EPÄTOI	18	TK/PK105	Ei valitaa			EPÄTOI	EPÄTOI	65	30	0	103	EPÄTOI	18	TK/PK106	Ei valitaa			EPÄTOI	EPÄTOI	65	30	0	103	EPÄTOI	18	TK/PK107	Ei valitaa			EPÄTOI	EPÄTOI	65	30	0	103	EPÄTOI	18	TK/PK108	Ei valitaa			EPÄTOI	EPÄTOI	65	30	0	103	EPÄTOI	18	Yhteensä			6	71	1,8			1,2	0,12			Sisäpuolen lämmitys lähtötiedot			6,06	m ³ /s							
Rakennuksen lämmityksen lähtötiedot																																																																																																																																														
LTO:n tyyppi		Koneen hankintavuosi	Ilmavirta tuule ja poisto m ³ /s	LTO:n vuosiyhtymäosuus %	SFP-luku 100% ilmavirta [kW/(m ² *s)]	Käyttökäik 100% ilmavirta tunti/Viikko	Käyttäjien ulkopuolinen ilmavirta osateho m ³ /s	SFP-luku Osateho [kW/(m ² *s)]	LTO:n ja lämmitys patterin osateho kesä, heinä, elo	Sisäpuolen lämpötila [C]																																																																																																																																				
TK/PK101	Ilmavirta	2018	6	71	1,8	65	30	1,2	103	0,12	18																																																																																																																																			
TK/PK102	Ei valitaa			EPÄTOI	EPÄTOI	65	30	0	103	EPÄTOI	18																																																																																																																																			
TK/PK103	Ei valitaa			EPÄTOI	EPÄTOI	65	30	0	103	EPÄTOI	18																																																																																																																																			
TK/PK104	Ei valitaa			EPÄTOI	EPÄTOI	65	30	0	103	EPÄTOI	18																																																																																																																																			
TK/PK105	Ei valitaa			EPÄTOI	EPÄTOI	65	30	0	103	EPÄTOI	18																																																																																																																																			
TK/PK106	Ei valitaa			EPÄTOI	EPÄTOI	65	30	0	103	EPÄTOI	18																																																																																																																																			
TK/PK107	Ei valitaa			EPÄTOI	EPÄTOI	65	30	0	103	EPÄTOI	18																																																																																																																																			
TK/PK108	Ei valitaa			EPÄTOI	EPÄTOI	65	30	0	103	EPÄTOI	18																																																																																																																																			
Yhteensä			6	71	1,8			1,2	0,12																																																																																																																																					
Sisäpuolen lämmitys lähtötiedot			6,06	m ³ /s																																																																																																																																										
<table border="1"> <tr><th colspan="2">Lämmön- ja jäähdytysenttu</th></tr> <tr><th>Osuus vuositulasta lähtötehoon tarpeesta</th><th>Nimellisteho kW</th><th>Lämpöpumpun nimellistehon osuus mitoitustehosta</th><th>CO₂emissio, tila tilojen lämmityksessä</th><th>Menoveden korkein lämpötila [C]</th><th>Tuoton hyötysuhde/lämpökerto</th><th>Apuiltoisten sähkökäyttö</th></tr> <tr><td>Lämmöntuotto 1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Kaukolämpö</td><td>1</td><td>251</td><td>1</td><td>5,65</td><td>66</td><td>0,97</td></tr> <tr><td>Tilat, lämmitys Käyttövesi</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>60</td><td>0,97</td></tr> <tr><td>Lisälämmitys</td><td>0,00</td><td>0</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Sähk.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>EPÄTOI</td></tr> <tr><td>Tilat, lämmitys Käyttövesi</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>60</td><td>1,00</td></tr> <tr><td>Ruok. Valtio</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>60</td><td>1,00</td></tr> <tr><td colspan="7">Huom. Valtio lisälämmitys jos lämmöntuotto 1 on osatehohoitettu lämpöpumpulla</td></tr> </table>										Lämmön- ja jäähdytysenttu		Osuus vuositulasta lähtötehoon tarpeesta	Nimellisteho kW	Lämpöpumpun nimellistehon osuus mitoitustehosta	CO ₂ emissio, tila tilojen lämmityksessä	Menoveden korkein lämpötila [C]	Tuoton hyötysuhde/lämpökerto	Apuiltoisten sähkökäyttö	Lämmöntuotto 1							Kaukolämpö	1	251	1	5,65	66	0,97	Tilat, lämmitys Käyttövesi					60	0,97	Lisälämmitys	0,00	0					Sähk.						EPÄTOI	Tilat, lämmitys Käyttövesi					60	1,00	Ruok. Valtio					60	1,00	Huom. Valtio lisälämmitys jos lämmöntuotto 1 on osatehohoitettu lämpöpumpulla																																																																										
Lämmön- ja jäähdytysenttu																																																																																																																																														
Osuus vuositulasta lähtötehoon tarpeesta	Nimellisteho kW	Lämpöpumpun nimellistehon osuus mitoitustehosta	CO ₂ emissio, tila tilojen lämmityksessä	Menoveden korkein lämpötila [C]	Tuoton hyötysuhde/lämpökerto	Apuiltoisten sähkökäyttö																																																																																																																																								
Lämmöntuotto 1																																																																																																																																														
Kaukolämpö	1	251	1	5,65	66	0,97																																																																																																																																								
Tilat, lämmitys Käyttövesi					60	0,97																																																																																																																																								
Lisälämmitys	0,00	0																																																																																																																																												
Sähk.						EPÄTOI																																																																																																																																								
Tilat, lämmitys Käyttövesi					60	1,00																																																																																																																																								
Ruok. Valtio					60	1,00																																																																																																																																								
Huom. Valtio lisälämmitys jos lämmöntuotto 1 on osatehohoitettu lämpöpumpulla																																																																																																																																														
<table border="1"> <tr><th colspan="2">Lämmityksen mitoitustehot</th></tr> <tr><td>Tilat</td><td>85</td><td>kW</td></tr> <tr><td>Lämmitys</td><td>166</td><td>kW</td></tr> </table>										Lämmityksen mitoitustehot		Tilat	85	kW	Lämmitys	166	kW																																																																																																																													
Lämmityksen mitoitustehot																																																																																																																																														
Tilat	85	kW																																																																																																																																												
Lämmitys	166	kW																																																																																																																																												

	Arvioitu osuus jäähdytysenergian tuotosta [%]	Nimellisteho kW	Tuoton hyötysuhde/ lämpökertoimen -	Apulaitteiden Sähköläkäyttö kWh/(m ² a) man. syöttö
Jäähdytyslaitto 1 Muu / ei jäähdytys	100	134	EPÄTOSI	EPÄTOSI
Jäähdytyslaitto 2 (os. maailmapöytä) Muu / ei jäähdytys	5	134	EPÄTOSI	EPÄTOSI
Lämmön- ja jäähdytyksenjako				
	Järjestelmä kWh/(m ² a)	Apulaitteiden Sähköläkäyttö man. syöttö	Jään ja luovut. hyötysuhde man. syöttö	
Tilat (lämmitys)	Vesilämpölämmitys 70/40	2	0,9	
Ilmanvaihto (lämmitys)	-	0,000	1	
Jäähdytys	-	-	0,7	
Lämmön käyttövedet	Lämmitysenergian nettotarve kWh/(m ² a)	Silron hyötysuhde	Kiertopöydän lämpöarvo [W/m ²]	Kiertopöydän lämpöarvo kWh/a
	6	0,88	5	0
			Kiertovesipumpun sähkötarve kWh/a	Lämpöiden käyttöveden vastaoinnin lämpöarvo kWh/a
			0	0
Säiliöt lämpövarmat	Vaihtus W/m ²	Kulutustalitteet W/m ²	Ilmaset W/m ²	ytönturvien os. säiliöiden talletet kWh/a
	10	12	5	0,33
				Ilmaset ja lattiat kWh/a
				0,65
				Vaihtuksen käyttöaste
				0,65
ENERGIAN KULUTUS				
Energiankulutuksen erittely				
	Ostoenergia			
	kWh/a	kWh/(m ² a)		
Sähk. (lämmitys ja jäähdytys)	0	0		
Sähk. (muu)	181205	54		
Kaukolämpö	156118	47		
Kaukojäähdytys	0	0		
Yhteensä	337322	101		
Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus	Sähk. lämmitys tilat ja IV kWh/a	Sähk. lämmitys vesit kWh/a	Sähk. jäähdytys kWh/a	Sähk.energia m. kWh/a
Kaukolämpö	0	0	0	132640
Ilma-vesilämpöpumppu	0	0	0	23477
Maalämpöpumppu	0	0	0	
Protonilämpöpumppu	0	0	0	
LämmitysSähk.	0	0	0	
Lämmitys ja jäähdytysjärjestelmän apulaitteet				6914
Kulutuslaitteet				37254
Vaihtus				74748
Kaukojäähdytys				62290
Maapöytä			0	
Jäähdytyskonekoko			0	
Yhteensä	0	0	0	181205
				132640
				23477
				0
Lämmitysenergian nettotarve	kWh/a	kWh/(m ² a)		
Tilat lämmitys	70601			
IV lämmitys	49601			
LV:n vaihtus	22779			
Yhteensä	151484			
Jäähdytysenergian nettotarve	kWh/a	kWh/(m ² a)		
Tilat ja IV	0	0,00		
Ostoenergian tarve	kWh/a	kWh/(m ² a)		
Sähk.energia	181205	54		
Lämmitysenergia	156118	47		
Jäähdytysenergia	0	0		
VAT		101		

