



SAVONIA

INVESTOINTISIMULAATTORI

Ilmalämpöpumpun kannattavuus

Ari Kilpeläinen

Opinnäytetyö

____. ____.

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakentamisen koulutusohjelma	
Työn tekijä Ari Kilpeläinen	
Työn nimi Investointisimulaattori	
Päiväys 5.5.2014	Sivumäärä/Liitteet 76/
Ohjaajat Lehtori Laila Uronen ja lehtori Pasi Haataja	Yrityksen yhdyshenkilö Koulutuspäällikkö Tuomo Kettunen
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Savon ammatti- ja aikuisopisto	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä aiheena oli satunnaisuuden huomioiminen investointien suunnittelussa simuloimalla. Tavoitteena oli kehittää taulukkolaskentaohjelmassa toimiva simulaattori stokastisia lähtöarvoja sisältävien investointien analysointiin.</p> <p>Opinnäytetyössä esitetään kirjallisuuteen perustuen simulointimallien luontia ja simuloinnin toteutusta. Taulukkolaskentaohjelmassa toimiva yleinen investointien simulaattori luotiin, jossa satunnaisuudet määritellään beta-jakaumien avulla. Esimerkki-investointina käytetyn sähkölämmitteisen omakotitalon ostettavan lämmitysenergian säästö ilmalämpöpumpun avulla simuloitiin. Ilmalämpöpumpun investoinnin kannattavuus laskettiin deterministisillä investointilaskelmilla ja lisäksi simuloimalla. Ilmalämpöpumpun ilmastomuutosta aiheuttavien kasvihuonekaasupäästöjen vähennys laskettiin.</p> <p>Investointisimulaattori tulostaa simuloinnin tulokset graafisessa muodossa. Simuloimalla saaduista investoinnin kannattavuuden kertymä- ja jakaumafunktioista epävarmuuksien aiheuttamat poikkeamat odotettuun tulokseen verrattuna tulevat selkeästi esille. Ilmalämpöpumppu on esimerkkikohteessa kannattava investointi sekä taloudellisesti että kestävän kehityksen kannalta.</p> <p>Investointisimulaattori soveltuu yleisten investointitapausten tutkintaan, kun lähtöarvoihin sisältyy epävarmuutta. Esimerkkikohteen tulosta ei voi yleistää. Simuloinnissa ja laskennassa käytettyä mallia voi soveltaa laajemmin.</p>	
Avainsanat Investointi, ilmalämpöpumppu, kasvihuoneilmiö, simulointi	
Luottamuksellisuus julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Authors Ari Kilpeläinen			
Title of Thesis Investment Simulator			
Date	5 May 2014	Pages/Appendices	76/
Supervisors Mrs Laila Uronen, M.Sc and Mr Pasi Haataja, M.Sc		Mr Tuomo Kettunen, M.Sc	
Client Organisation /Partners Savo Vocational College			
<p>Abstract</p> <p>The topic of this thesis was to take into account the randomness in investment planning by simulating. The aim of the thesis was to create a simulation which would work in a spreadsheet to analyze investments containing stochastic output values.</p> <p>First literature concerning the creating of simulation models and the implementation of simulation was studied. The information was applied to develop a working investment simulator. The randomness of the output values was defined with the help of beta distributions. The investment which was used as an example, was the function of the air-source heat pump and the profitability of the investment in the heating of a single-house, was simulated. In addition the reduction of greenhouse gas emissions of the air source heat pump causing climate changes was also calculated.</p> <p>In the thesis an investment simulator, which prints out a probability distribution of the profitability of an investment, was developed. This distribution indicated the effect of the uncertainties of the output values upon the profitability of the investment. The investment simulator proved to be suitable to analyze general investment related cases. The air source heat pump used in the example turned out to be a worthwhile investment, both financially and in terms of sustainable development. The results of the example cannot be generalized. The model which was used in the simulation and calculation can be applied more widely.</p>			
<p>Keywords</p> <p>an investment, an air heat source pump, climate changing, simulation</p>			
<p>Confidentiality</p> <p>public</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	8
2	INVESTOINTIEN TAVOITTEET JA RISKIT	10
2.1	Investointi	10
2.2	Investointi vaihtoehtojen vertailu	11
2.3	Investointien riski	11
2.4	Riskin todennäköisyysjakaumia	12
2.4.1	Normaalijakauma	13
2.4.2	Beta-jakauma	14
2.4.3	Kolmipistearvio	15
2.4.4	Nelipistearvio	16
2.5	Reaaliopitomenetelmät investointien suunnittelussa.....	17
2.6	Kestävän kehityksen huomioiminen.....	21
3	KEHITTÄMISTEHTÄVÄ.....	25
3.1	Simulointi.....	25
3.1.1	Simulointimallien luokittelu.....	28
3.1.2	Simulointiprosessi.....	31
3.2	Ilmalämpöpumpun toiminta ja investointisimuloinnin lähtötiedot.....	35
3.2.1	Ilmalämpöpumpun toiminta	36
3.2.2	Rakennusten energiankulutus ja tilojen lämmitystarve.....	43
3.2.3	Ulkoilman lämpötila	44
3.2.4	Vaipan kautta tapahtuva lämmön siirtyminen.....	46
3.2.5	Ilmanvaihdon energian tarve.....	47
3.2.6	Ilmalämpöpumpulla säästettävän energian määrä.....	49
3.2.7	Ilmalämpöpumpun kokonaishinta	52
3.2.8	Sähköenergian hinta.....	53
3.2.9	Korko	53
3.2.10	Inflaatio	55
3.3	Investointilaskelmat ja simulointi	56
3.3.1	Investointilaskelmissa ja simuloinnissa käytettävät arvot.....	56
3.4	Deterministiset investointilaskelmat.....	57
3.5	Simulointi.....	59
3.6	Reaaliopitot.....	66
3.7	Ilmalämpöpumpun kasvihuonepäästöjen vähennys.....	69
4	TULOKSET.....	70
4.1	Investointisimulaattori.....	70

4.2	Simulointi ja vertailu laskelmat ilmalämpöpumpun kannattavuudesta.....	70
4.3	Reaaliopiot	70
4.4	Kestäväkehitys.....	71
5	YHTEENVETO KEHITTÄMISTEHTÄVÄSTÄ.....	72
	LÄHTEET	75

LYHENTEET JA TERMIT

Deterministinen ilmiö	Ilmiön alkuarvojen perusteella voidaan tarkasti laskea ilmiön lopputila eli tulos.
Epävarmuus	Riittämätön, väärä tai puutteellinen tieto asioista, tapahtumista ja niiden mahdollisista seurauksista aiheuttaa varmuusvajetta. Tulevaisuuden ennustamisen on aina epävarmaa.
Stokastinen ilmiö	Lähtötilastaan ilmiö voi päätyä useisiin erilaisiin lopputiloihin, eli ilmiö on satunnainen.
Substituutti	Toisensa korvaava asia tai esine.
TRY2012	Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012.

1 JOHDANTO

Suorittamieni ylemmän ammattikorkeakoulun opintojen aikana kiinnostuin investointien kannattavuuden laskennasta todennäköisyyteen perustuen. Satunnaisuus ja todennäköisyys ovat mukana kaikissa elämän ilmiöissä ja siten myös investointeihin sisältyy aina epävarmuutta. Investointilaskelmien avulla pyritään ennustamaan investointien kannattavuutta. Perinteiset deterministiset investointilaskentamenetelmät tuottavat yhden luvun investoinnin kannattavuuden arviointiin laskentakertaa kohti. Tämä yksittäinen lukuarvo ei kerro millä todennäköisyydellä investoinnin laskettu kannattavuus toteutuu. Lähtötietoihin sisältyvää epävarmuus pyritään tällöin ottamaan huomioon kasvattamalla laskelmissa käytettävän diskontauskoron arvoa.

Epävarmuuksien huomioiminen investointienlaskelmissa on ollut työlästä, koska tällöin laskettavaksi tulevien vaihtoehtojen määrä on erittäin suuri. Tietokoneiden laskentakapasiteetin kasvaminen ja ohjelmien kehittyminen mahdollistaa nykyisin ratkaista simuloimalla stokastisia muuttujia sisältäviä dynaamisia malleja. Simuloinnissa epävarmuus voidaan määrittää jokaiselle lähtöarvolle, simuloinnin tuloksena saadaan tietää investoinnin kannattavuus jakauma ja todennäköisyys. Useita simulointeja suorittamalla voidaan hakea ratkaisua, jossa todennäköisyys saavuttaa haluttu kannattavuus ylittyy riittävällä varmuudella. Tavoitteena on rakentaa helppokäyttöinen investointisimulaattori, jolla yleisten investointien simulointi on yhtä helppoa kuin perinteisten investointilaskelmien tekeminen. Työssä esitetään simuloinnin käyttökohteita ja simulointiprosessin suorittamisen periaatteet.

Työpaikkani edustajana osallistuin Kestävä kehitys rakennusalan koulutuksessa hankkeeseen. Rakennusten käytönaikaisella energiankulutuksella on kestävä kehityksen kannalta suuri merkitys. Rakennuskanta uusiutuu hitaasti, jolloin olemassa olevien rakennusten energiankulutusta on saatava vähennettyä ja siirryttävä käyttämään uusiutuvia energialähteitä ilmastotavoitteisiin pääsemiseksi. Ilmalämpöpumpujen avulla voidaan lisätä uusiutuvan energian käyttöä, vähentää kasvihuonekaasujen syntyä ja auttaa siten pääsemään ilmastotavoitteisiin. Tässä työssä laskentaesimerkkinä on ilmalämpöpumpun hankinta olemassa olevaan sähkölämmitteiseen omakotitaloon. Ilmalämpöpumpun toimintaan rakennuksen lämpöenergian tuottajana liittyy hyvin paljon epävarmuuksia ja silloin simulointi on luonteva tapa tutkia sen toimintaa ja kannattavuutta investointina.

Yleisesti investoinnin kannattavuus lasketaan hankintahinnan, jäännösarvon, vuosittaisten nettotulojen, koron ja käyttöiän perusteella. Kaikkiin investoinnin lähtöarvoihin liittyy satunnaisuutta eli ne ovat stokastisia. Opinnäytetyössä kehitetään investointilaskelmien suorittamiseen taulukkolaskentaohjelmalla simulaattori, jolle annetaan lähtöarvojen stokastisuus jakautumien avulla. Useiden lähtöarvojen stokastisuuden vaikutus lopputulokseen pyritään havainnollistamaan graafisesti kannattavuuden jakauma- ja kertymäfunktioilla.

Esimerkki-investointina käytettävän ilmalämpöpumpun toiminta omakotitalon lisälämmönlähteenä simuloidaan vuositasolla, käyttäen ulkoilmanlämpötiloina testivuoden TRY2012 arvoja. Simuloimalla saadaan tietää vuodessa kertyvä vähennys ostettavan lämmitysenergian määrässä. Tämän jälkeen suoritetaan perinteiset deterministiset investointilaskelmat ja investointisimulointi. Tuloksien perusteella arvioidaan investoinnin taloudellista kannattavuutta. Lisäksi verrataan investointilaskelmien tuloksia simuloimalla saatuihin tuloksiin. Voidaanko simuloimalla parantaa ja varmistaa investoinnin kannattavuuden toteutumista verrattuna deterministisiin laskentamenetelmiin? Tuottaako simulointi sellaista lisätietoa ja ymmärrystä prosessista, että tiedon avulla voidaan parantaa prosessin toimintaa ja kannattavuutta? Kuinka paljon ilmalämpöpumpulla vähennetään kasvihuonekaasupäästöjä? Onko investointisimulaattori helppokäyttöinen ja simulointitulokset helposti ymmärrettävässä muodossa?

2 INVESTOINTIEN TAVOITTEET JA RISKIT

2.1 Investointi

Investoinnit ovat menoja joista saatavien tulojen odotusaika on pitkä. Investointipää-
töksen seurauksena sijoitetaan rahaa, jotta tulevaisuudessa saataisiin sijoitettua
rahan määrää enemmän nettotuloja. (Pellinen 2006, 170). Taloudellisesti onnistuneet
investoinnit lisäävät tuottavuutta, joka mahdollistaa bruttokansantuotteen kasvami-
sen. Tyypillisiä investointi kohteita ovat esimerkiksi rakennukset, maa-alueet, laitteet,
koneet, kalusto, osakkeet, aineettomat oikeudet ja toiminnan kehittäminen. (Leppi-
niemi 2009, 15.) Resurssit toteuttaa investointeja ovat yleensä rajalliset ja eri kohtei-
den ja vaihtoehtojen välillä joudutaan tekemään valintoja (Vanhalakka 2014, 35).

Kestävän kehityksen huomioiminen investoinneissa pyrkii vähentämään ympäristön
rasitusta sekä lisäämään taloudellista ja sosiaalista hyvinvointia pitkän ajan kuluessa.
Ympäristöystävällisiä investointeja ovat investoinnit energian ja raaka-aineiden käy-
tön vähentämiseksi, uusiutuvan energian käytön lisäämiseksi, päästöjen pienentämi-
seksi ja jätteiden käsittelemiseksi. Yhteiskunnan epäkohtien poistamiseen pyrkivät
investoinnit kuuluvat sosiaalisiin investointeihin. Investointi päätöksentekijöiden arvo-
jen pohjalta tehdyt investoinnit ovat eettisiä investointeja. (Vanhalakka 2014, 36–37.)

Investointien suuren merkityksen takia yksittäisille yrityksille, yhteisöille ja ihmisille,
investointeja on tutkittu paljon. Tavoitteena on ollut löytää ratkaisuja ja laskentamene-
telmiä, joilla sijoitetun pääoman tuotto saadaan varmistettua mahdollisimman suurek-
si ja riskit pääoman menettämiselle pieneksi. Investointien taloudellisen kannattavuus-
den ennustamiseksi kehitetyt perinteiset laskentamenetelmät ovat helppoja ja nopeita
käyttää.

Investoinnin vaihtoehtona voi olla vuokraus tai leasing. Jean Paul Getty on tiivistänyt
omistamisen ja vuokrauksen kannattavuuden seuraavasti "You should own what
increase its value, and rent what decreases in value" eli "Omista sellaista, jonka arvo
nousee ja vuokraa kaikki, jonka arvo laskee". (Acento 2013.)

2.2 Investointi vaihtoehtojen vertailu

Investointipäätöstä tehdessä vertaillaan yleensä useamman vaihtoehdon välillä. Vaihtoehdot voivat olla hyvin erilaisia: ostetaanko, vuokrataanko, korjataanko, laajennetaanko vai hankitaanko kone, joka vähentää työntekijöiden tarvetta. Eri investointi vaihtoehtoja verrataan toisiinsa laskelmien avulla. Laskelmamenetelmien yksi jako peruste on, että otetaanko ajan mukaan tuoma rahan arvon muuttuminen huomioon eli lasketaanko nykyarvot. Takaisinmaksuajan menetelmässä ei suoriteta diskonttausta ja se on siten hyvin nopea ja helpoin investointilaskelma menetelmä. Diskonttausta käytetään nykyarvomenetelmän, annuiteettimenetelmän ja sisäisen korkokannan menetelmän laskelmissa. (Kinnunen, Laitinen, Laitinen, Leppiniemi & Puttonen 2006, 106–107.)

Tässä työssä keskitytään stokastisuuden huomioimiseen investointien kannattavuuden arvioinnissa. Determinististen investointilaskentamenetelmien teoriaa ei esitellä, vaikka vertailun vuoksi laskelmat suoritetaan ilmalämpöpumppu esimerkin osalta.

2.3 Investointien riski

Tulevaisuuteen liittyvät epävarmuudet aiheuttavat investoinneille riskiä, asioiden toteutumisesta ei voida tietää varmasti (Kinnunen ym. 2006, 58). Riski viittaa siihen mahdollisuuteen, että toteuttamalla toinen investointi olisi saavutettu parempi tulos. Riskianalyysien kautta saatua tietoa hyödyntämällä on tarkoitus tehdä päätöksiä, joihin liittyy pienempi epäonnistumisen todennäköisyys ja seuraamus. (Kansola 2010, 47.)

Ostotilanteessa tuotteen arvoon liittyy riskiä, josta käytetään nimitystä taloudellinen riski. Tuottaako tuote parhaan mahdollisen hyödyn tai edun, onko siinä virhe tai pitääkö sitä korjata. Lisäksi tuote voi olla ylihintainen. (Kuusela & Ollikainen 2005, 195.)

Riski pitäisi periaatteessa pystyä mittaamaan ja laskemaan sille todennäköisyys (Kuusela & Ollikainen 2005, 23). Laskennassa kerrotaan riskin todennäköisyys sen aiheuttamilla seurauksilla, taulukossa 1 on esitetty riskin todennäköisyydelle ja seuraukselle luokat ja niitä vastaava numeroarvo (Kansola 2010, 47).

TAULUKKO 1. Riskin laskeminen sen todennäköisyyden ja seurauksen tulona (Kansola 2010, 47)

Riskin todennäköisyys	Riskin seuraus
0: ei relevantti	0: ei vaikutusta
2: erittäin epätodennäköinen	2: merkityksetön
5: keskinäinen muutos	5: keskimääräinen
8: erittäin todennäköinen	8: erittäin vaurioittava
10: todella varma	10: todellinen tuho

Todennäköisten riskien toteutuminen on pyrittävä estämään erilaisilla toimenpiteillä. Toissijaisesti tehdään suunnitelma, miten toimitaan riskin toteutuessa. Näiden suunnitelmien avulla saadaan lisätietoa pohdintaan, kannattaako investointia tehdä siihen liittyvän riskin takia. (Kansola 2010, 48.)

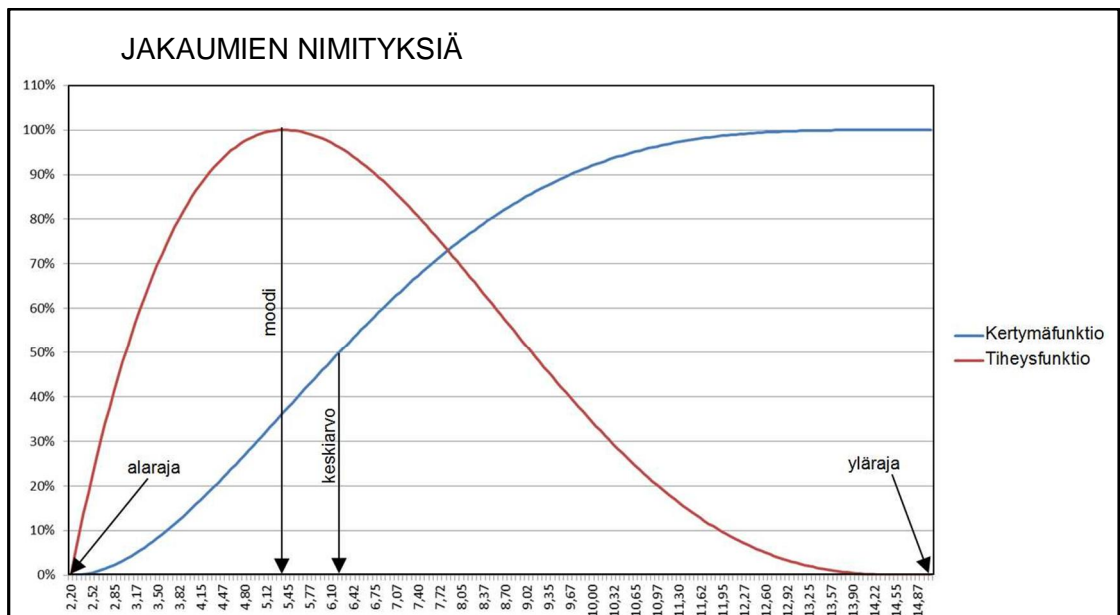
2.4 Riskin todennäköisyysjakaumia

Edellisessä luvussa riskin todennäköisyyttä ja seurausta arvioidiin numeroarvoilla. Yksiarvoinen riskin arvio on puutteellinen, koska se kerro mitään muista todennäköisistä vaihtoehdoista. Todennäköisyyksien ja niiden vaikutuksien huomioiminen hankkeen tulokseen kuuluu kvantitatiiviseen riskienanalyysiin. Tuloksen avulla voidaan arvioida hankkeen kokonaisriski sekä kohdistaa riskienhallinta toimenpiteet oikein. (Honkaniemi & Kiiras 2010, 1.)

Hankkeen kustannuksia voidaan arvioida yksiarvoisten eli deterministien arvojen avulla tai stokastisilla arvoilla, jolloin arvo voi vaihdella tietyllä vaihteluvälillä. Kustannustekijät ja aikataulumuuttajat ovat harvoin tarkkaan tiedossa. Epävarmuuden ottaminen huomioon laskelmissa, käyttäen stokastisia arvoja ja kvantitatiivisia menetelmiä tuottaa vastaukseksi todennäköisyysjakauman hankkeen tuloksesta. (Honkaniemi & Kiiras 2010, 2.)

Muuttujaan liittyvää epävarmuutta voidaan esittää todennäköisyysjakautumilla. Siinä esitetään muuttujan kaikki mahdolliset arvot ja sekä niiden suhteellinen esiintymistodennäköisyys. Kun satunnaismuuttuja esitetään kuvaajalla, muuttujan kaikki arvot ovat X-akselilla ja Y-akselin arvo kertoo muuttujan arvon suhteellisen esiintymistodennäköisyyden. Kuvion pinta-ala on yksi, kaikkien arvojen yhteenlaskettu todennäköisyys on aina 1 eli 100 %. (Honkaniemi & Kiiras 2010, 3.)

Todennäköisyysjakauman muotoa kuvaa useita tunnuslukuja, joita havainnollistetaan kuviossa 1. Tärkeimmät niistä ovat moodi, keskiarvo eli odotusarvo, mediaani ja keskihajonta. Suurimmalla todennäköisyydellä esiintyvä yksittäinen arvo on moodi. Odotusarvo lasketaan jakamalla havaintoarvojen summa niiden lukumäärällä. Mediaani on keskiluku, jota suurempia ja pienempiä havaintoja on järjestetyssä arvojoukossa yhtä monta. Keskihajonta ilmaisee paljonko aineisto hajaantuu mediaanin molemmiin puolin.



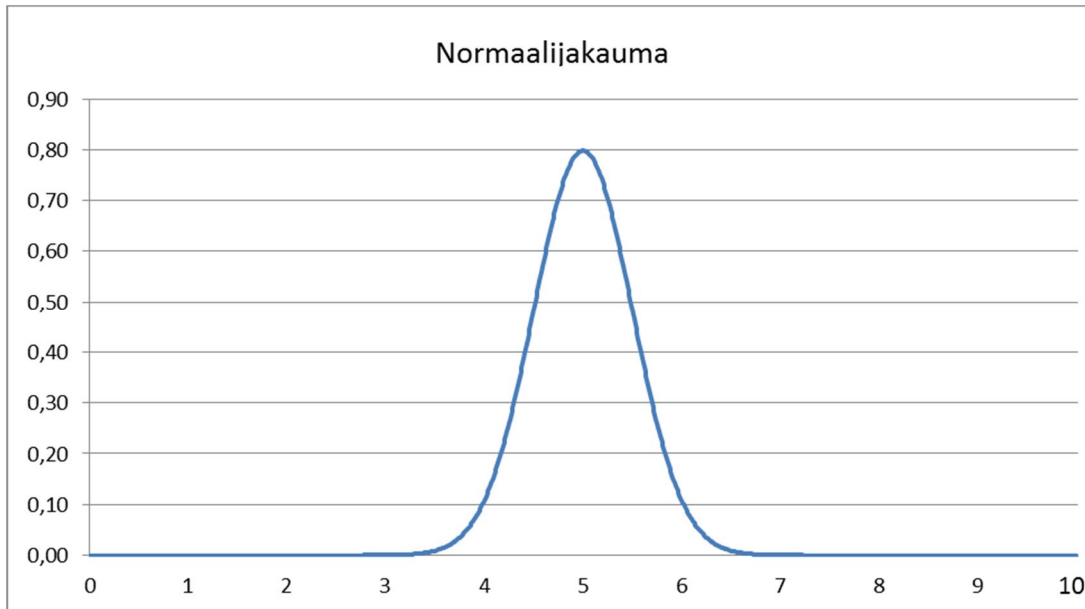
KUVIO 1. Jakaumien tärkeimmät nimikkeet

2.4.1 Normaalijakauma

Normaalijakauma tunnetaan Gaussin käyränä, Karl Friedrich Gauss (1077 - 1855) kehitti normaalijakauman tutkiessaan tähtitieteen mittausvirheiden jakautumista. Normaalijakauman muotoa noudattavia muuttujia on luonnossa monia. Mittausvirheet, eläimistöjen biologiset ominaisuudet kuten pituus ja paino ovat satunnaismuuttujia, jotka noudattavat normaalijakaumaa. Rakentamisessa tuntipalkojen hajonta noudattaa normaalijakaumaa (Kiviniemi 1996, 33).

Normaalijakauma on symmetrinen, yksihiippuinen ja odotusarvo (keskiarvo) on huipun kohdalla. Keskihajonta määrittelee jakauman muodon eli huipukkuuden.

Kuviossa 2 on esitetty normaalijakauman tiheysfunktio $N(5, 0,5)$, eli odotusarvo 5 ja keskihajonta 0,5.

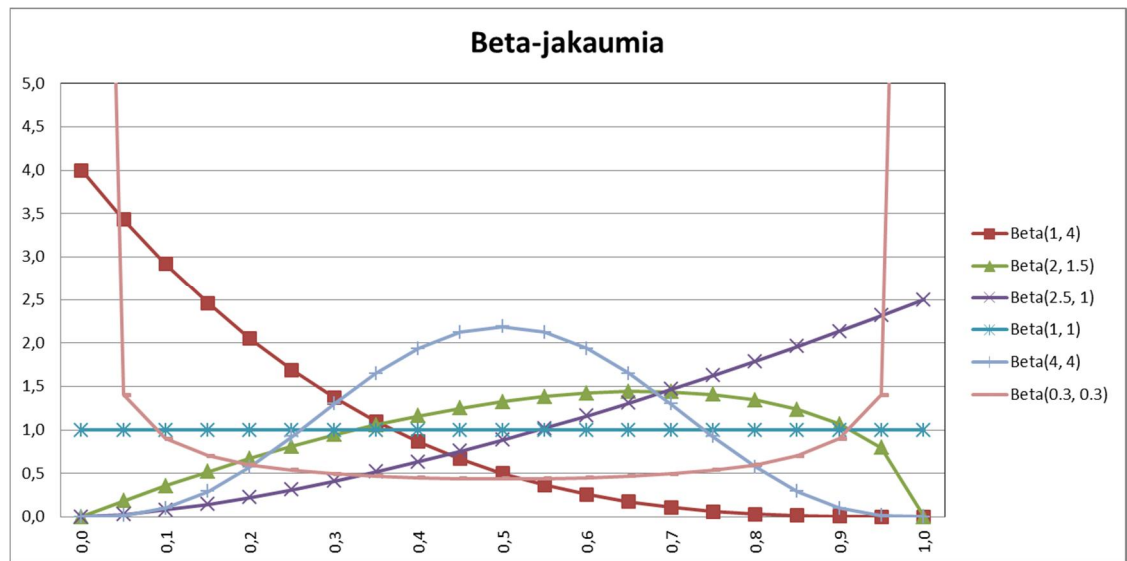


KUVIO 2. Normaalijakauma eli Gaussin käyrä

Kun tiedetään satunnaismuuttujan keskiarvo ja keskihajonta, se voidaan muuttaa standardoiduksi normaalijakaumaksi $N(0, 1)$. Muunnoksessa satunnaismuuttujan arvosta vähennetään jakauman keskiarvo ja erotus jaetaan keskihajonnalla. Muunnosta käytetään, kun normaalijakauman todennäköisyyksien määrittelyssä käytetään apuna tilastotieteen kirjojen taulukoita. (Taanila 2011, 21–22.)

2.4.2 Beta-jakauma

Normaalijakauman ollessa symmetrinen ja yksihiippuinen, beta-jakauman tiheysfunktion huiput voivat olla ääripäissä ja kuvaaja epäsymmetrinen. Beta-jakauman avulla voidaan kuvata hyvin monia maailmassa esiintyviä ilmiöitä. Beta-jakauma funktion määrittelyyn tarvitaan ala- ja yläraja x :n arvolle, millä välillä funktio lasketaan ja jakauman parametrit α ja β . Kuten kuviosta 3 nähdään, erilaisilla parametrien arvoilla α ja β saadaan syntymään hyvin monimuotoisia jakaumia.

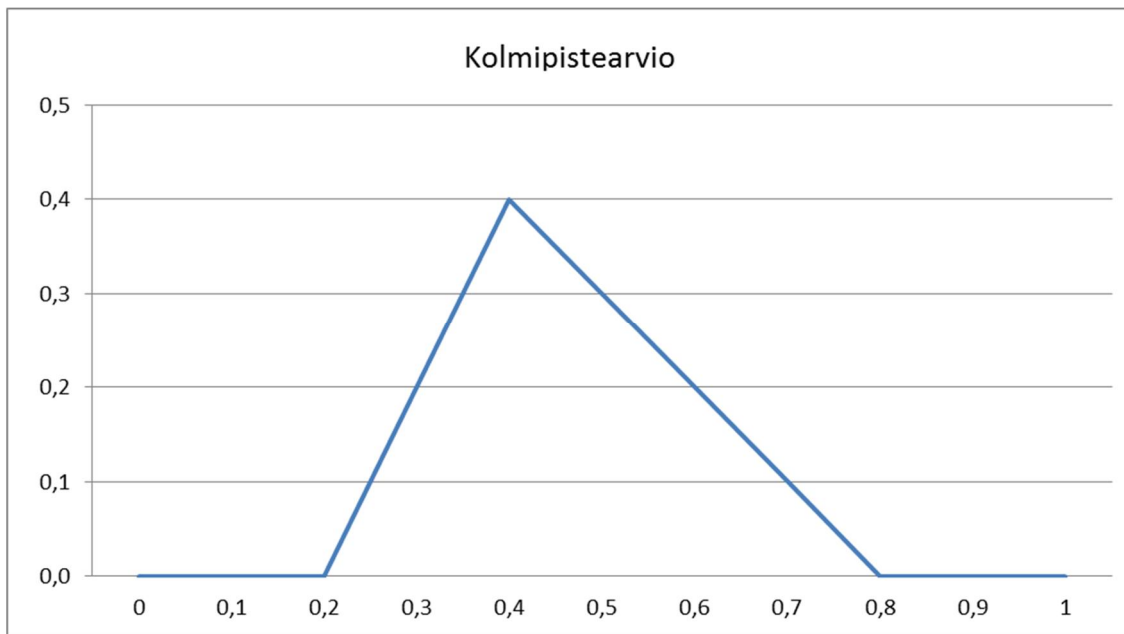


KUVIO 3. Erilaisia beta-jakauman tiheysfunktioita (muokattu lähteestä Mellin 2006, 409)

Kun annetaan arvo 1 alfalle (α) ja betalle (β), saadaan jatkuva tasainen jakauma, joka on esitetty myös kuviossa 3. Beta-jakauma on symmetrinen, kun alfan ja betan arvot ovat samat. Kuvaajan paikalliset maksimit ovat ala- ja ylärajan kohdalla, alfan ja betan arvojen ollessa alle yhden. Samalla kuvaaja on U:n muotoinen.

2.4.3 Kolmipistearvio

Kaikista ilmiöistä ei ole riittävää havaintoaineistoa, että ne voitaisiin sovittaa johonkin todennäköisyysjakaumaan. Silloin voidaan joutua turvautumaa subjektiivisiin arvioihin. Tällöin voidaan ottaa käyttöön kolmipistearviointi. Jatkuvalle muuttujalle määritellään optimistinen, todennäköinen ja pessimistinen arvio. (Honkaniemi & Kiiras 2010, 4.) Kuviossa 4 on esimerkki kolmipistearviosta. Pessimistisen ja optimistisen arvon puoli riippuu kuvattavasta suureesta, verrattaessa vaikka ostohinnan ja käytetyn työajan kuvaajia.

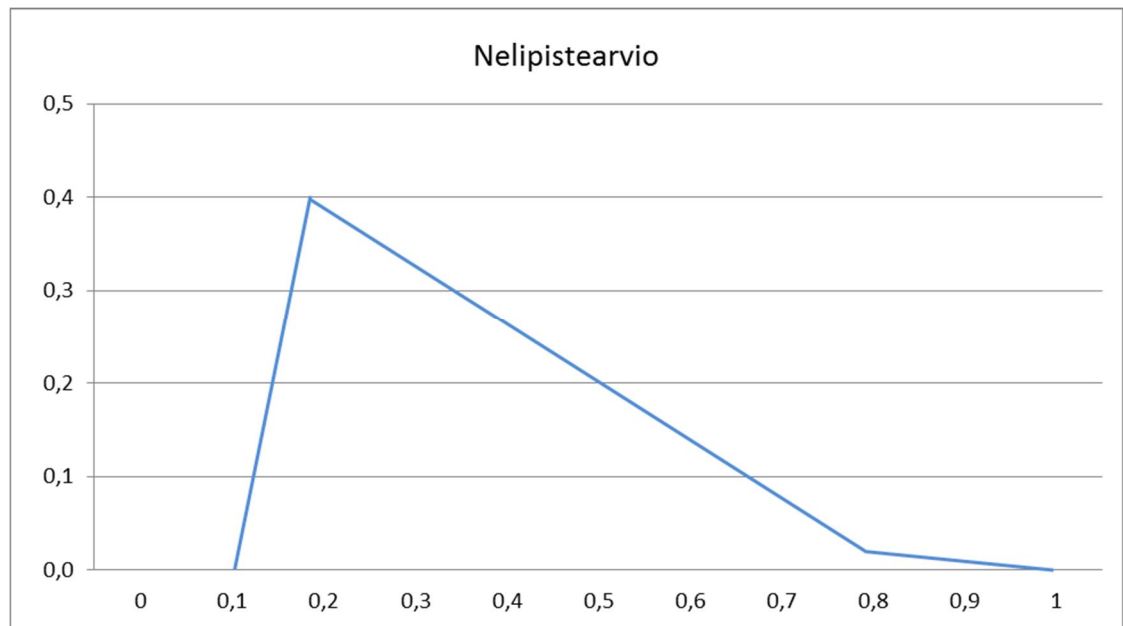


KUVIO 4. Epäsymmetrinen kolmipistearvio

Optimistinen arvio toteutuu, silloin kun kaikki menee suunniteltua paremmin. Käytännössä se edustaa arvoa, joka voidaan saavuttaa edullisimmillaan tai on nopein mahdollinen suoritus. Kuvaajan huipun arvo on todennäköisin arvo, joka saavutetaan. Huippu arvo vastaa deterministisissä laskuissa käytettävää arvoa. Huomattavia ongelmia kohdatessa tulokseksi saadaan pessimistisimmän arvion arvo. (Honkaniemi & Kiiras 2010, 4.)

2.4.4 Nelipistearvio

Nelipistearviossa kolmipistearvion arvojen lisäksi on mukana äärimmäinen arvo (ekstreemi). Sen toteutumisen todennäköisyys on pieni, mutta vaikutukset toteutessaan hyvin merkittävät. Nelipistearviota käytetään voimakkaasti vinoutuneiden ilmiöiden kuvaamiseen. (Honkaniemi & Kiiras 2010, 4.) Kuvion 5 kuvaaja on positiivisesti vinoutunut ja keskiarvo kuvaajalla on suurempi kuin moodi.



KUVIO 5. Nelipistearvio

2.5 Reaalioptiomenetelmät investointien suunnittelussa

Stewart C. Myers on esittänyt vuonna 1977 reaalioptio-termin ensimmäistä kertaa. Hänestä yrityksen arvon muodostavat sen hetkiset varat ja mahdollisuudet ostaa omaisuutta suotuisaan hintaan. (Lyytikäinen 2006, 8–9.) Option yleinen ominaisuus on, että sen haltijalla on oikeus, mutta ei velvoitetta, ostaa tai myydä option kohteena oleva etuus ennalta määritellyillä ehdoilla (Tuhkanen 2004, 26).

Lyhimmän takaisinmaksunajan, nykyarvon ja sisäinen korkokannan menetelmät perustuvat perinteiseen normatiiviseen investointiteoriaan (Tuhkanen 2004, 21–22). Tällöin etsitään vastauksia kysymyksiin (Tuhkanen 2004, 20):

- Paljonko tulisi investoida?
- Mihin kohteisiin investoidaan?
- Miten investoinnit rahoitetaan?

Investointikohteiden arvioiminen ja paremmuusjärjestykseen asettaminen tapahtuu pääasiallisesti edellä mainittujen laskentamenetelmien tulosten perusteella. Normatiivisen investointiteorian ratkaisuositus on: toteuta ne investointikohteet, joissa nykyarvo käytetyllä diskonttauskorolla on positiivinen. Kohteen riski pitää ottaa huomioon

diskonttauskorossa. Investointipäätöksen tekijän tehtäväksi jää laskelmien mukaisen päätöksen toteuttaminen. (Tuhkanen 2004, 21–22.)

Optiohinnoitteluiden teoreettiset mallit kytkeytyvät nykyarvo- ja odotusarvomenetelmiin, joissa epävarmuuksia käsitellään todennäköisyyksien jakaumien avulla. Epävarmuuden huomioivassa nykyarvomenetelmässä investoinnin tuottojen ja kustannusten todennäköisyysjakaumien avulla ratkaistaan niiden erotuksen nykyarvon odotusarvo. Nykyarvon odotusarvon ollessa positiivinen, hanke voidaan hyväksyä. Menetelmän periaatteisiin kuuluu oletama, että hanke on joko peruutettavissa oleva tai peruuttamaton. Peruutettavuus tarkoittaa, että on mahdollisuus keskeyttää hanke ja saada sijoitettujen resurssien arvo takaisin. Vastaavasti peruuttamatonta hanketta ei voi keskeyttää ja saada rahoja takaisin. Optiohinnoittelussa lähdetään ajatuksesta, että useimmat investointihankkeet ovat peruuttamattomia, mutta hankkeiden toteutamisajankohtaa voidaan myöhentää. Tästä syntyy yritykselle optio, sille jää mahdollisuus tehdä investointi myöhemmin, kun lähtöarvot tarkentuvat. (Kinnunen ym. 2006, 113.)

Peruuttamattomuus investoinnin osalta on optiohinnoittelussa tärkeimpiä oletamuksia. Peruuttamattomalla investoinnilla on arvoa vain investoinnin tekijälle. Rakennus, joka sijaintinsa tai muiden ominaisuuksien puolesta ei muunnu toiseen käyttöön, edustaa peruuttamatonta investointia. Investoinnin siirtämisellä saavutettava tuotto pohjautuu epävarmuuteen investoinnista saatavan nettonykyarvon suuruudesta. Jos lykkäyksen seurauksena investoinnista saatava tuotto paranee, optio oli kannattava. Toisaalta, jos investointipäätöksen lykkäysaikana investointi muuttuu kannattomaksi, silloin se voidaan jättää tekemättä. Tällöin vältetään investoinnin aiheuttamilta tappioilta ja menetetään ainoastaan hankkeen tutkimiseen käytetyt resurssit. Optiomallin käyttö investoinnin suunnittelussa, tuo korostetusti esille investoinnin toteutuksen ajankohdan merkityksen sen kannattavuuden kannalta. (Kinnunen ym. 2006, 114.)

Normatiivisen investointiteorian puutteena pidetään luovuuden ja joustavuuden siivuuttamista yritysten toiminnassa. Reaaliopiotieteoriassa pyritään huomioimaan yritysten kyky muuttaa päätöksiä muuttuneiden tilanteiden ja saadun uuden tiedon pohjalta. Tapa toimia joustavasti parantaa kannattavuutta ja pienentää riskejä. Vakaassa ja hyvin ennustettavassa toimintaympäristössä perinteiseen normatiiviseen investointiteoriaan pohjautuvat laskentamenetelmät toimivat. Toimintaympäristössä missä epävarmuudet tulevaisuuden osalta ovat suurempia, reaaliopiomallin hyödyt kasvavat. (Tuhkanen 2004, 31–32.)

Lykkäysoptio

Lykkäysoptiossa investoinnin toteuttamista siirretään. Siirtoajan aikana hankitaan lisätietoa investoinnin kuluista ja mahdollisista tuotoista. Option pitoaikana investointipäätöstä siirretään, niin kauas kunnes se on taloudellisesti kannattavaa. Lykkäysoptio toimii parhaiden, kun investointi vaatii paljon pääomaa ja markkinat ovat epävarmat. Hyötyäkseen lykkäyksestä investoijan on sinä aikana hankittava lisätietoa toimintaympäristöstään ja siten tarkennettava suunnitelmiaan. Jos päivitettyjen suunnitelmien jälkeen investointi ei ole kannattava, option periaatteen mukaan se voidaan jättää toteuttamatta. (Tuhkanen 2004, 13–14.)

Vaiheistusoptio

Vaiheistusoptiossa investointi pilkotaan osiksi, joka on yleensä muutenkin tilanne eli hanke muodostuu pienempien investointien sarjasta. Tyypillisesti suurten investointihankkeiden päätöksenteko sekä tuotot ja kulut jakaantuvat useille vuosille. Vaiheistusoptiossa hanketta voidaan jatkaa, jos edellisen vaiheen tulosten huomioimisen ja toimintaympäristössä tapahtuneiden muutosten tarkastelun jälkeen se on kannattavaa. Yksittäinen investointi on optio seuraavan osan toteuttamiselle. Vaiheistusta käytetään varsinkin nopeasti kehittyvillä ja paljon pääomia sitovilla aloilla. (Tuhkanen 2004, 14–15.)

Skaalausoptio

Skaalausoption tapauksessa pystytään muuttamaan toiminta-astetta ja kapasiteettia olosuhteiden muuttuessa. Hyvässä kysyntätilanteessa kasvattamalla tuotantoa parannetaan tulosta. Laajennusmahdollisuus voidaan tulkita osto-optioksi. Laskusuhdanteessa pienennetään tuotantoa, eli optioteorian mukaan hyödynnetään myyntioptio. Investointipäätöstä tehdessä tuotannonsopeuttamismahdollisuus voi nousta tärkeäksi valintakriteeriksi. Säättämällä tuotantoa voidaan saavuttaa säästöjä tai lisätä tuloja ja päästä taloudellisiin tavoitteisiin. Luonnonvaroja hyödyntävillä aloilla hinnat ja kausiluonteisilla aloilla kysyntä vaihtelevat paljon, tällöin skaalausoptiot parantavat kannattavuutta. (Tuhkanen 2004, 15–16.)

Hylkäysoptio

Käynnissä olevan investoinnin hylkääminen olosuhteitten muuttumisen seurauksena tappioiden välttämiseksi, on tilanne johon hylkäysoption mahdollisuudella pyritään. Tappioiden välttämiseen pyritään valitsemalla monikäyttöisiä investointikohteita, joiden realisointiarvo on suurempi kuin erikoiskäyttöön toteutetuilla. Hylkäysoption sisältävät investointihankkeet käynnistetään helpommin, koska niistä on mahdollisuus luopua jos se osoittautuu kannattomaksi. Hylkäysoptio toimii eräänlaisena vakuutuksena. (Tuhkanen 2004, 16.)

Vaihto-optio

Tuotevalikoiman, käytettävien raaka-aineiden, tuotantomenetelmän, tavaran-toimittajan vaihtaminen ovat tyypillisiä asioita mihin pyritään, kun investointihankkeeseen halutaan vaihto-optioita. Tuote- ja prosessijoustavuudella voidaan saavuttaa merkittävää kilpailuetua. Joustavuutta voidaan saada hajauttamalla tuotantoa eri maihin, vallitsevan tilanteen mukaan hyödynnetään sitten eri maitten tuotantokapasiteettia. (Tuhkanen 2004, 17.)

Kasvuoptio

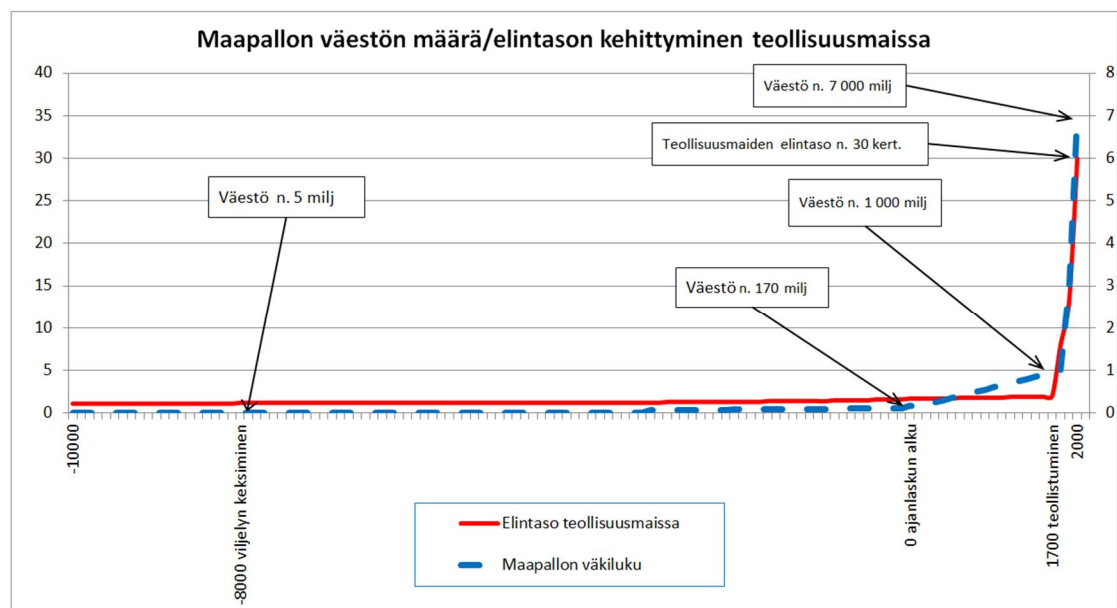
Kasvuoptioilla pyritään luomaan edellytyksiä tulevaisuuden kasvu- ja investointimahdollisuuksille. Yritykset jotka haluavat kasvaa, toimivat korkeanteknologian aloilla ja panostavat tuotekehitykseen, hakevat kasvuoptioita. Lyhyellä tähtäimellä tutkimus- ja tuotekehityshankkeet voivat näyttää kannattamattomilta, mutta niillä voidaan luoda pohja täysin uusille tuotteille tai kustannussäätöille. Yritysoistoilla voidaan myös hankkia kasvun mahdollisuuksia. (Tuhkanen 2004, 18.)

Moniulotteiset vuorovaikutusoptiot

Investointihankkeet ovat usein monimutkaisia ja niihin sisältyy erityyppisiä optioita, moniulotteiset vuorovaikutusoptiot ovat kokoelmia eri optioista. Reaalioptioiden arvot määritetään yleensä yksi kerrallaan. Moniulotteisten vuorovaikutusoptioiden osalta tyypillisesti aiemmin toteutettu optio vaikuttaa sen arvoon. Toisaalta aikaisemmat reaalioptiot hyödyntävät uusien optioiden määrittämiä ja siten optioiden arvoja ei voida laskea yhteen. (Tuhkanen 2004, 18–19.)

2.6 Kestävän kehityksen huomioiminen

Teollistumisen 1700-luvun loppupuolen jälkeen on nostanut ihmisten elintason länsimaissa noin 30-kertaiseksi, keskimääräisen nousun ollessa noin 1,5 % vuodessa. Elintason nousu yhdistettynä lääketieteen kehittymisen kanssa on samaan aikaan mahdollistanut ihmisten määrän kasvun maapallolla yhdestä miljardista noin seitsemään miljardiin. Kehittyvien maitten teollistumisen myötä taloudellinen kasvu maailmanlaajuisesti on kiihtynyt. Tulevaisuudessa sen ennustetaan olevan länsimaissa noin 2 % ja kehittyvissä maissa 6 % vuosittain. Keskimääräisen kasvuennusteen ollessa 4 %, ennusteen toteutuessa ja toisaalta väestön kasvun jatkuessa maailman kokonaistuotanto kasvaisi moninkertaiseksi vuoteen 2050 mennessä. (Kasvio 2012-9-20.) Kaaviossa 6 havainnollistetaan elintason kehittymistä länsimaissa ja maapallon väestömäärän kehitystä tärkeimpien kehitysaskelten vaikutuksesta.



KUVIO 6. Väestön määrän ja elintason kehittyminen (Kasvio 2012-9-20; United States Census Bureau 2014)

Global Footprint Network on kehittänyt luonnonvarojen kulutuksesta kertovan indikaattorin ympäristöjalanjäljelle. Se pyrkii kuvaamaan eri valtioiden maankäyttöä maailmanlaajuisesti. Siinä lasketaan valtioiden välillinen maankäyttö kulutettujen hyödykkeiden valmistamiseksi ja hiilidioksidipäästöjen imeyttämiseksi. Vuonna 2007 maapallon ihmisten jalanjäljeksi saatiin 2,7 globaalihehtaaria. Kun maapallolla jokaisella meistä olisi käytettävissä enintään 1,8 globaalihehtaaria elintasomme toteuttamiseksi ympäristöä tuhoamatta. Eurooppalaiset kuluttavat 4,8 globaalihehtaarin alueen tuo-

ton, vaikka eurooppalaisia asukkaita kohti olisi käytettävissä 2,1 globaalihehtaaria. (Euroopan ympäristökeskus 2012, 32.) Maailman väestö jatkaa kasvuaan, parissakymmenessä vuodessa saavutetaan yhdeksän miljardin raja (Euroopan ympäristökeskus 2012, 75).

Historiasta tiedetään, että 15 000 vuotta sitten ilmakehän hiilidioksidipitoisuus taso tai varasto nousi 200:sta 280 miljoonasosaan (ppm). Tämä aiheutti maapallon keskilämpötilan nousun kahdeksalla celsiusasteella. Esimerkiksi Suomen päällä ollut 2–3 kilometriä paksu mannerjää sulii 400 vuodessa, jonka seurauksena meren pinta nousi 20 metriä. Suurin osa noususta tapahtui muutamassa vuosikymmenessä. (Niemi 2009, 54.)

Ilmakehässä nyt olevien kasvihuonekaasujen taso vastaa noin 430 miljoonasosaa (ppm) hiilidioksidia (CO_2), ennen teollistumista se oli edellä mainittu 280 miljoonasosaa (ppm). Pitoisuuden nousu on jo saanut maapallon keskilämpötilan nousemaan yli 0,5 °C:lla. Muutaman tulevan vuosikymmen aikana keskilämpötila tulee nousemaan ainakin puoli astetta lisää, vaikka päästömäärät kasvihuonekaasujen osalta ei enää nousisikaan. Nykyisillä päästömäärillä kasvihuonekaasujen pitoisuus nousee 2050 mennessä 550 ppmv pitoisuuteen, eli noin kaksinkertaiseksi siitä mitä se oli ennen teollista vallankumousta. Päästömäärät ovat lisääntymässä, koska kehittyvät maat rakentavat uutta kapasiteettia energiantuotantoon ja liikenteen määrä kasvaa maapallolla. Kasvavien päästöjen seurauksena 550 ppmv pitoisuus voi toteutua jo vuonna 2035. Kyseisellä pitoisuudella maapallon keskilämpötila tulee nousemaan yli 2 °C, vähintään 77 % jopa 99 % todennäköisyydellä, ennustemallista riippuen. Vuoden 2100 osalta ennusteiden alaraja pitoisuudelle on 540 ja yläraja 970 ppmv. Maapallon lämpötila nousee varmasti kasvihuonekaasujen pitoisuuden seurauksena. (Ympäristöministeriö 2007, 6.)

Todennäköisimpään skenaarioon pohjautuen kasvihuonekaasujen pitoisuus voi yli kolminkertaistua vuoteen 2100 mennessä. Toteutuessaan tämä tilanne nostaisi yli 50 % todennäköisyydellä maapallon keskilämpötilaa yli 5 °C tulevien vuosikymmenten kuluessa. Tarkkaa tietoa tällaisen lämpötilannousun seurauksista ei ole. Vertailun vuoksi maapallon keskilämpötila nousu noin 5 °C päätti viimeisimmän jääkauden. (Ympäristöministeriö 2007, 5.)

EU:n on vuoteen 2030 mennessä vähennettävä kasvihuonekaasupäästöjä 40 prosenttia vuoden 1990 tasosta, jotta voidaan onnistua seuraavassa tavoitteessa, vä-

hentää kasvihuonekaasupäästöjä vuoteen 2050 mennessä 80–95 prosenttia. Tämä vähennystarve mahdollistaa kansainvälisesti sovitun tavoitteen, rajoittaa maapallon keskilämpötilan nousu alle kahteen celsiusasteeseen. (EU:n komissio, Vihreä kirja 2013, 3.) Maaailmanlaajuisesti päästöjen vakauttaminen 450 ppmv tasolle, missään vaiheessa ylittämättä tätä tasoa edellyttää, että kasvihuonepäästöjen huippu on seuraavien kymmen vuoden aikana. Sen jälkeen niiden pitäisi laskea yli 5 % vuodessa ja olla 30 % nykytasosta vuonna 2050. (EU:n komissio, Vihreä kirja 2013, 13.)

Euroopan unionin asettamiin päästötavoitteisiin pääseminen edellyttää kohtuuttomalta tuntuvia leikkauksia, ennen kaikkea totaalista muutosta. Energian hinta on niin edullista, että se ei ohjaa riittävästi säästämään, energian käytön vähentäminen onkin nähtävä ilmastokysymyksenä. (Niemi 2009, 57.) Ilmastomuutoksen pysäyttämiseen ei yksin pysty mikään valtio. Globaaliongelman ratkaisemiseen tarvitaan kaikki mukaan. Pienet maat voivat kehittää kestävää teknologiaa ja näyttää esimerkkiä päästöjen vähentämisestä. Kehittyviä maita on mahdoton saada hyväksymään päästörajituksia, jos kehittyneet maat, joiden ihmisten elintaso on moninkertainen, eivät teet omaa osuuttaan. (Valtioneuvoston tulevaisuusselonteko ilmasto- ja energiapolitiikasta kohti vähäpäästöistä Suomea 2009, 10.)

EU:n alueella on voimassa päästöoikeusjärjestelmä. Siinä esimerkiksi terästehtaat ja hiilivoimalat ostavat markkinoilta päästöoikeuksia tuotannossaan syntyviä hiilidioksidipäästöjä vastaan. Järjestelmä tähtää hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen kustannusohjauksella. Tavoite on, että yritykset vähentävät energian käyttöä ja siirtyvät käyttämään päästöttömiä tai vähäpäästöisempiä energialähteitä, koska hiilidioksidin tuottamisesta joutuu maksamaan.

Tällä hetkellä päästökauppa ei toimi toivotusti. Talouden taantuma Euroopassa on vähentänyt tarvetta hiilidioksidikiintiöille ja jäsenmaat jakoivat aikaisemmin ilmaisia päästöoikeuksia liian paljon, että nyt olisi kysyntää päästöoikeuksille. Vuonna 2005, jolloin päästökauppa alkoi, hiilidioksiditonni maksoi 30 euroa. Kansainvälisen energiajärjestön IEA:n laskelmien mukaan päästöoikeuden pitäisi maksaa tonnilta 35 euroa vuonna 2020 EU:ssa ja 90 euroa vuonna 2035. Lasketuilla hinnoilla EU:n päästöt tukisivat tavoitetta, että ilmakehän lämpötilan nousu rajoittuisi kahteen asteeseen. Tällä hetkellä hiilidioksiditonnin hinta päästökauppajärjestelmässä on alle viisi euroa. (YLE 2013.)

Ihmisten määrän valtavan kasvun mahdollistamiseksi luonnonvarojen hyödyntäminen on pitänyt kehittää tehokkaaksi. Tämä on johtanut hyvin monimutkaisiin järjestelmiin, joiden kompleksisuus lisää kriisien mahdollisuutta. Historian perusteella kriisit soveltuvat ihmisten määrän ekosysteemin sallimiin rajoihin. Väestön kasvun jatkumisen ja elintason nousun seurauksena maailman raaka-aineiden käyttö tulee lisääntymään. Maailmassa tulee olemaan pulaa myös kaikkein perustavimmista resursseista kuten vedestä ja ruoasta. (Kasvio 2012-9-20.)

3 KEHITTÄMISTEHTÄVÄ

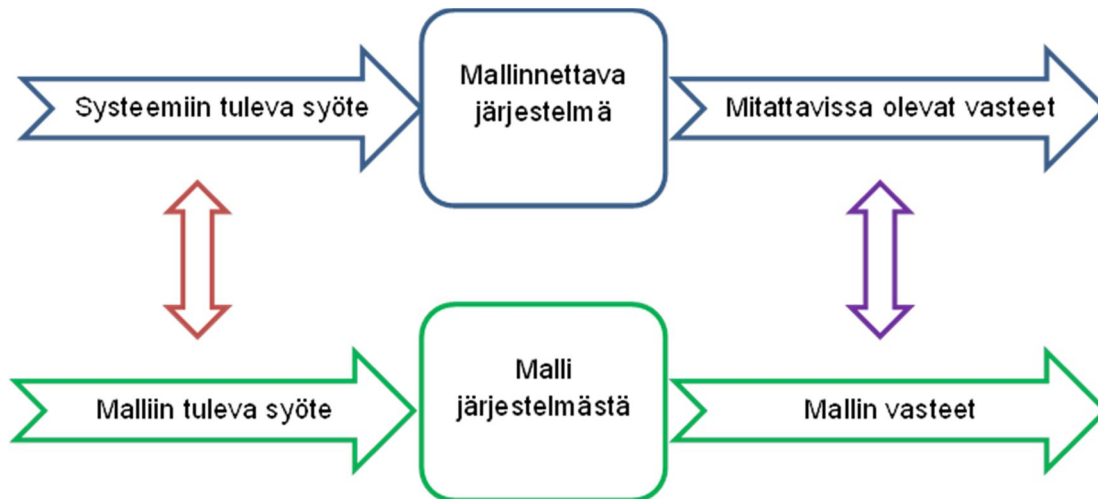
Tässä luvussa esitellään simuloinnin teoriaa, esimerkki-investointina käytettävän ilmalämpöpumpun toimintaa, investointilaskennassa ja simuloinnissa käytettävien lähtöarvojen taustatiedot. Lähtöarvojen avulla simuloidaan ilmalämpöpumpun toimintaa esimerkkikohteessa olevassa omakotitalossa. Simuloimalla saatua ilmalämpöpumpun säästämän sähkönenergian hinnan arvoa käytetään investointilaskelmissa ja simuloinnissa tuottona.

Opinnäytetyöni aiheeni on investointisimulaattori. Investointien tuotot syntyvät tulevaisuudessa johon liittyy aina epävarmuuksia. Simuloinnissa epävarmuudet voidaan ottaa huomioon todennäköisyysjakaumien avulla. Työssäni kehitän investointisimulaattorin, joka suorittaa simuloinnin automaattisesti lähtöarvojen todennäköisyysjakaumien antamisen jälkeen. Investointisimulaattorin avulla jatkossa voidaan tutkia investointien kannattavuutta perinteisten determinististen laskentamenetelmien lisäksi ja tuottaa uutta tietoa ja ymmärrystä hankkeesta. Esimerkki-investointina käytettävä ilmalämpöpumpun toiminnan, kannattavuuden ja kasvihuonepäästöjen vähentämisen tutkiminen on osa Rakennusalan kestävä kehityksen hankkeessa tuottamiani opetuksen taustamateriaaleja. Olemassa olevien rakennusten uusiutuvien energioiden käyttöä on lisättävä ilmastonmuutoksen takia. Ilmalämpöpumpun lähtöarvoihin sisältyy epävarmuutta, joten toiminnan tutkiminen soveltuu hyvin simuloitavaksi.

3.1 Simulointi

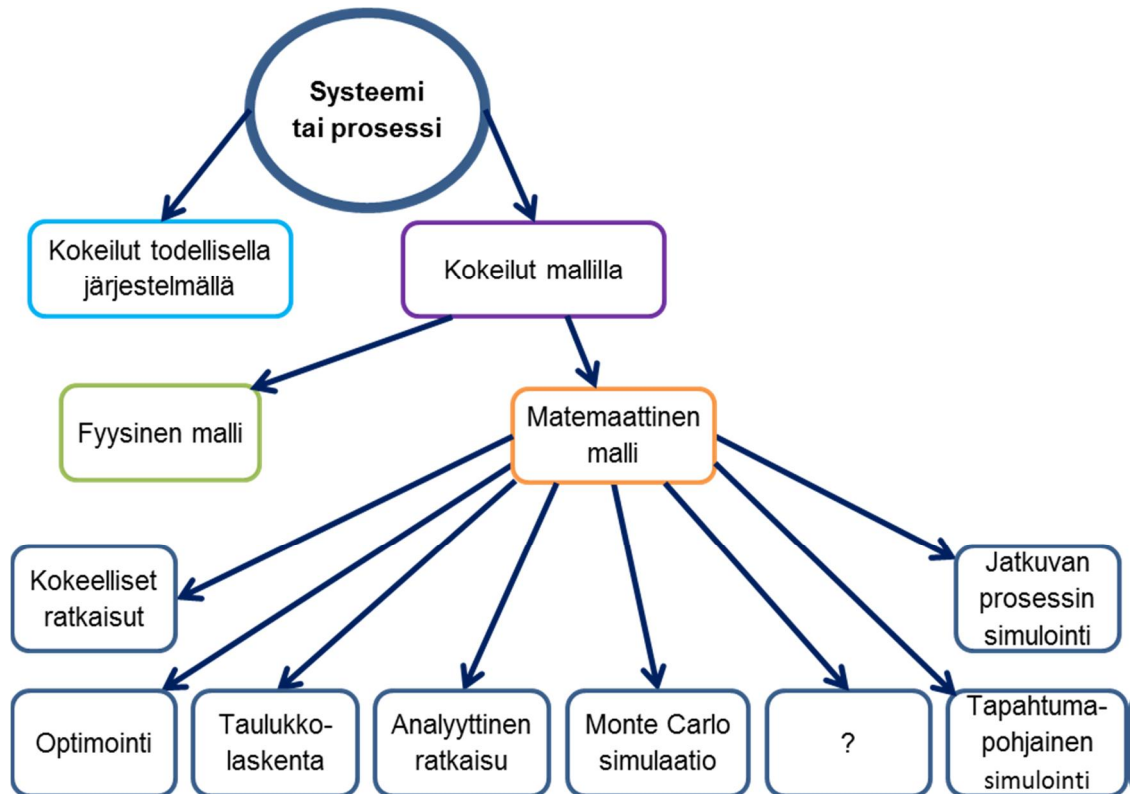
Simuloinnilla tarkoitetaan keinotekoisen, monesti yksinkertaistetun mallin tai ympäristön luomista, millä voidaan tutkia ja harjoitella järjestelmän toimintaa realistisen kaltaisesti (Nokka 2012, 8). Laajasti ymmärrettynä monet menetelmät ja toiminnot pyrkivät ilmentämään todellisuutta. Niissä pyritään luomaan käsitteellinen malli tutkittavasta ilmiöstä ja esimerkiksi laskelmien avulla ennustamaan tulevia tapahtumia. Ihminen on itsessään simulaattori, joka havainnoi ympäristöään ja sen tarjoamia vaihtoehtoja. (Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 3.) Lentokonesimulaattorit mahdollistavat harjoittelun ja testauksen lähes aidontuntuissa tilanteissa riskittä. Toisaalta simulointia käytetään teknisten laitteiden tuotekehityksessä, jolloin prototyyppien rakentamista voidaan siirtää myöhäisemmäksi ja niiden versioiden määrä vähentää. (Nokka 2012, 8.) Toiminnan ja ilmiöiden simulointia käytetään, kun ilmiöön liittyy satunnaisuutta jonka todennäköisyysjakauma tunnetaan (Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 3).

Mallintamisessa ja simuloinnissa toteutetaan järjestelmän reagointi ympäristöstä tuleviin syötteisiin. Tämä vuorovaikutus pyritään toteuttamaan todellista järjestelmää tai ympäristöä vastaavalla tavalla. Annettaessa mallille sama syöte minkä todellinen järjestelmä saisi, joka on tilanne kuviossa 7, mallin reagoinnin tulee vastata todelliseen järjestelmän tapahtumaa. (Kuumola 2000, 4.)



KUVIO 7. Simulointimallin periaate (Kuumola 2000, 4)

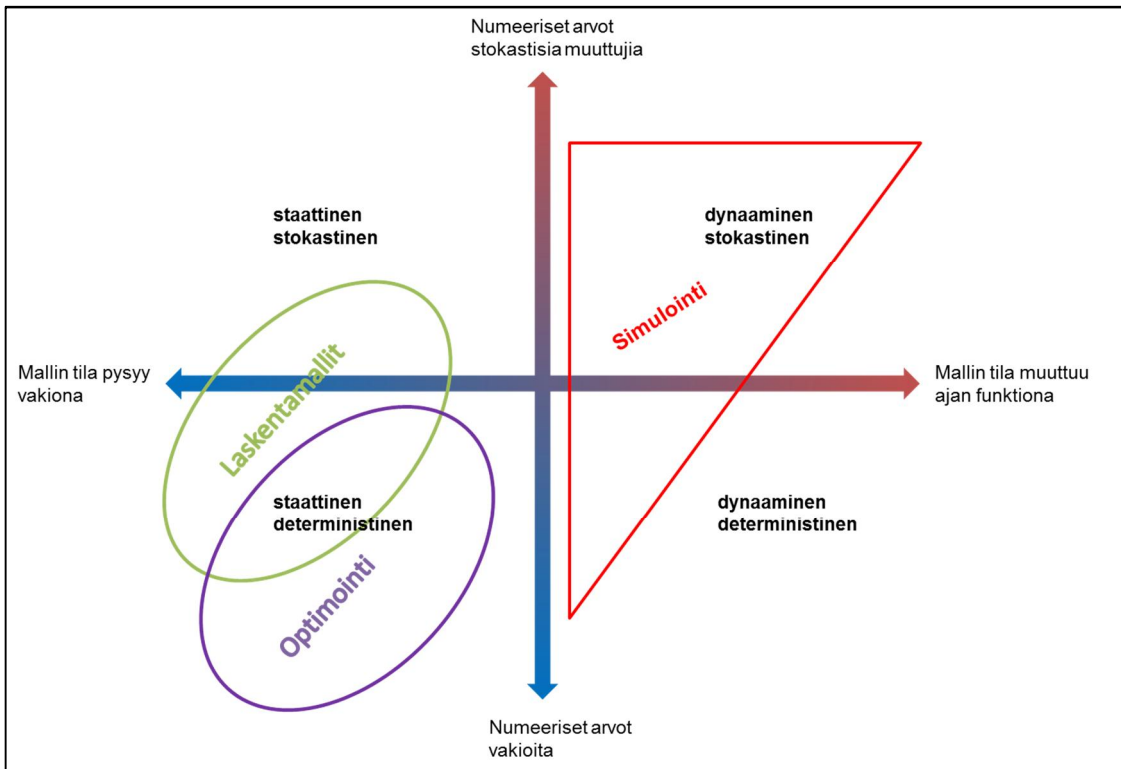
Malli jolla simulointeja suoritetaan voi olla fyysinen tai matemaattinen. Kuviossa 8 esitetään erilaisia mallinnusvaihtoehtoja. Simulointiin kuuluu dynaamisuus ja prosessimaisuus, jolla se erottuu muista matemaattisista malleista.



KUVIO 8. Mallinnusmenetelmiä (Hyvönen 2005, 5)

Simulointia ja mallintamista voidaan käyttää samoista syistä. Kaikkia järjestelmiä ei saa tai voi käyttää testaukseen, vaikka järjestelmää ei edes vielä ole. Syitä järjestelmien testauskäytön kieltoon voi olla testauksen vaarallisuus, kalleus tai vaikeus. (Kuumola 2000, 4.) Simuloinnilla on mahdollisuus etukäteen testata suunniteltua järjestelmää ja siten oppia ymmärtämään sen toimintaa. Simulointimallin muuttaminen on joustavaa ja syötteiden arvoja on helpompi muuttaa kuin todellisessa järjestelmässä. Suoritettujen simulointien avulla voidaan saada tietoa ilmiöiden jakaumista ja muita tilastollisia tunnuslukuja. Jos järjestelmän toimintaan liittyy satunnaissuutta tai se on hyvin monimutkainen, simulointi tarjoaa silloinkin mahdollisuuden tutkia mallin avulla järjestelmän toimintaa. Simuloimalla käsiteltävää mallia ei yleensä tarvitse yksinkertaistaa niin paljoa kuin laskemalla ratkaistavaa mallia. Simuloimalla saatavien tulosten arvoista pitäisi pystyä määrittelemään niihin sisältyvä satunnaisvirhe. (Kemppainen, 10.)

Stokastisten järjestelmien analysointi on järkevää tehdä stokastisilla menetelmillä. Järjestelmän tilan kannalta diskreetit tapahtumat ja ajat ovat myös hyvin kiinnostavia. (Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 7.) Kuviossa 9 on esitetty mallinnusmenetelmien käyttöalueita, simulointia suositellaan dynaamisten järjestelmien tutkimiseen.



KUVIO 9. Mallinnusmenetelmien käyttöalueet (muokattu lähteestä Hyvönen 2005, 8)

3.1.1 Simulointimallien luokittelu

Simulointitavat voidaan luokitella usealla tavalla. Jakaminen voidaan tehdä ajan huomioimisen perusteella simuloinnissa. Staattisessa simuloinnissa, jota edustaa paljon käytetty Monte Carlo-simulointi, tulos lasketaan kerran annettujen lähtöarvojen pohjalta. Dynaamisessa simuloinnissa aika pitää ottaa huomioon, koska sillä on vaikutusta muuttujien arvoihin. (Carson 2003, 7; Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 5.)

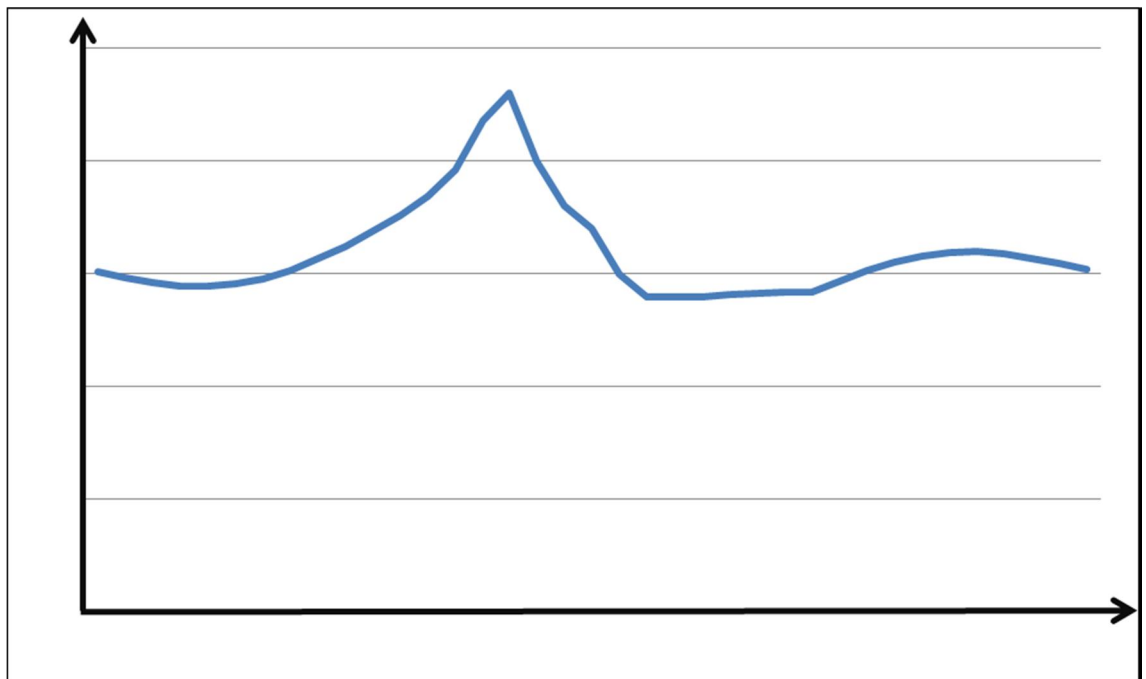
Simulointi voidaan jakaa myös stokastiseen ja deterministiseen. Ero näiden välillä on muuttujien ominaisuuksissa, joita simuloinnissa käytetään. Deterministisessä simuloinnissa muuttujien arvot perustuu tilamuuttujiin ja yhtälöihin, jotka määrittelevät arvot ajan suhteen ulkoisten tapahtumien ja päätösten perusteella. (Kemppainen, 7.) Stokastisessa simuloinnissa käytetään satunnaismuuttujia, kuvaamaan ilmiötä jotka sisältävät sattumaa ja satunnaisuutta (Carson 2003, 7; Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 5).

Dynaaminen simulointi jaetaan vielä ajan käsittelyn perusteella diskreettiin ja jatkuvaan simulointiin. Diskreetissä mallissa aika käsitellään tapahtumaväleinä. Esimer-

kiksi auton pesemiseen käytettävä aika autopesulassa edustaa diskreettiä tapahtuma-aikaa. Nimensä mukaan jatkuvassa simuloinnissa muutoksia tapahtuu kokoajan. Lentokonesimulaattorissa lentokoneen lentokorkeus ja nopeus muuttuvat ajanfunktiona. (Carson 2003, 7; Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 5.)

Jatkuva-aikaiset mallit

Mallinnettavan järjestelmän arvojen muuttuessa jatkuvasti, mallinnuksessakin käytetään jatkuva-aikaista mallia. Tällöin systeemin toiminta voidaan kuvata ajasta riippuvana funktiona. Toimivan järjestelmän arvon tulee ajan suhteen olla määriteltävissä eli funktion arvo on jatkuva tutkittavalla aikajaksolla. Differentiaaliyhtälösystemeillä voidaan usein kuvata tällaisen järjestelmän tilafunktion kehitystä. (Kuumola 2000, 5.)

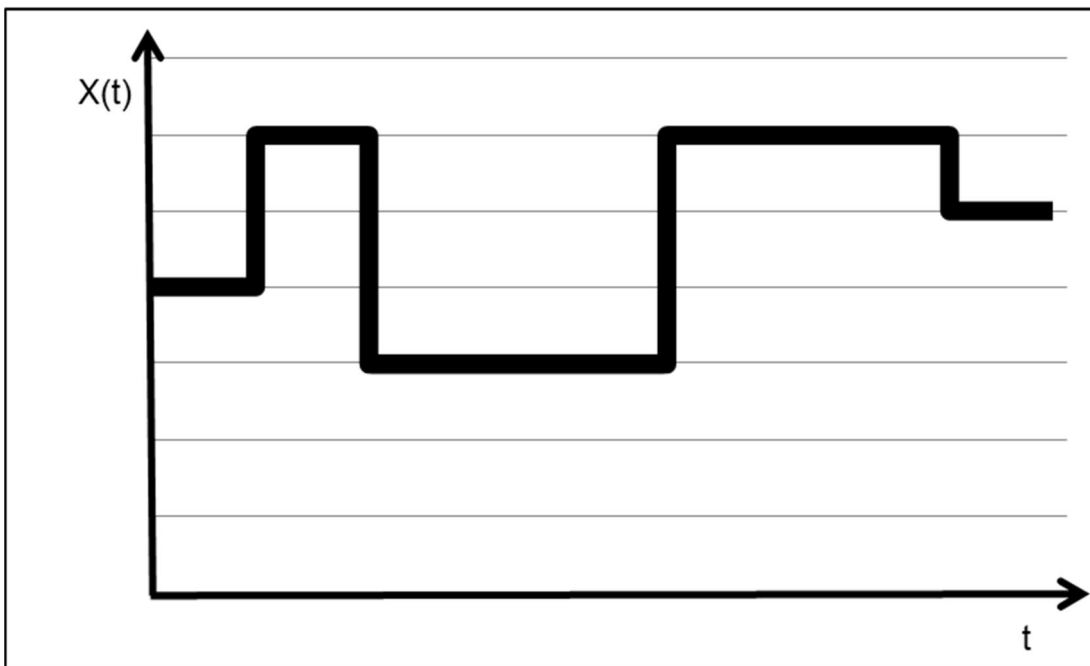


KUVIO 10. Esimerkki jatkuva-aikaisen järjestelmän tilafunktion arvon muutoksesta.

Ajoneuvon liiketilan tai läpivirtaussäiliön simulointi ovat kohteita jossa kuviossa 10 esitettävää jatkuva-aikaista tilafunktiota käytetään (Kuumola 2000, 5).

Diskreetit tapahtumamallit

Järjestelmissä jossa, sen tila muuttuu askeleittain ajanfunktiona, voidaan määrittää tapahtumien ajankohdat ja niitä seuraavien tilojen muutokset. Esimerkki hyppäyksittäin tapahtuvasta muutoksesta on asiakkaiden saapuminen, asiakkaiden määrä on aina kokonaisluku eli hyppäyksen suuruus on 1 tai sen kerrannainen. (Kuumola 2000, 5–6.) Dynaamisuus mallissa tulee esille, kun tapahtuman tai toiminnon seurauksena tapahtuu tilan muutos, niin myös mallin kokonaistila saa välittömästi uuden arvon. Diskreetissä mallissa mallin tila on muuttumaton seuraavaan tapahtumaan tai toimintoon asti eli muutokset tapahtuvat diskreettipisteissä. (Pohjois-Savon TE-keskus 2004 , 6.) Kuumolan (2000, 5) mukaan kirjallisuudessa osa pitää myös systeemejä, joissa tila muuttuu hyppäysten välillä diskreetteinä tapahtumamalleina. Toisen tulkinnan mukaan kyse on silloin yhdistetyistä malleista.

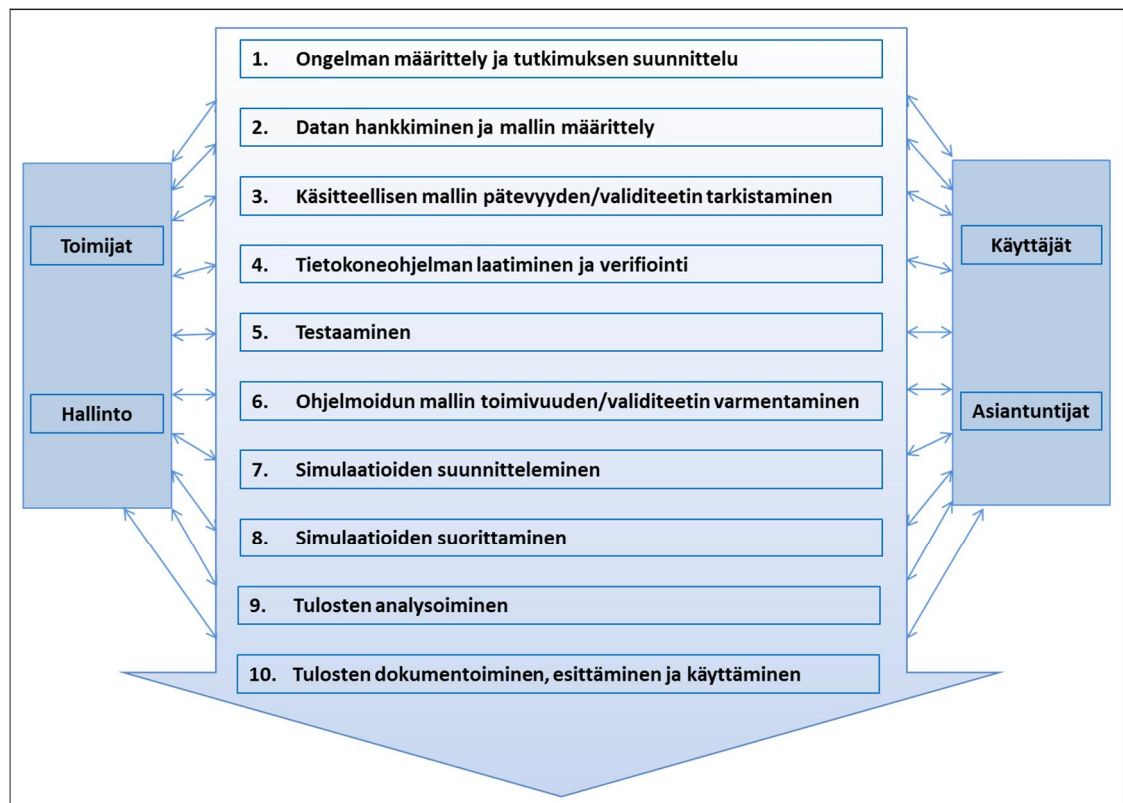


KUVIO 11. Diskreetinmallin tilan muutokset

Puhelinverkojen liikenne tai jonojen käyttäytyminen voisi olla esitettyinä kuviossa 11, jossa näkyy muutosten tapahtuvan tiettyinä ajanhetkinä ja muutokset ovat hyppäyksellisiä.

3.1.2 Simulointiprosessi

Simulointiprosessi on paljon enemmän kuin mallintaminen ja simuloinnin suorittaminen, kuten kuviossa 12 on esitetty. Tehtävänä on yleensä hakea ratkaisu ongelmaan tai kehittää toimintaa. Aluksi on määriteltävä kysymykset, mihin halutaan vastaukset. Simulointi tuottaa tietoa eri vaihtoehtojen todennäköisistä toteutumista prosessin päätöksen tekoa varten. (Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 10.)



KUVIO 12. Simulointiprosessi (Kempainen, 13; Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 10)

Simulointiprosessi on kuvio 12 täydentäen interaktiivinen ja iteratiivinen. Käsittemalli ja sen pohjalta luotava simulointimalli ei useinkaan muodostu yhdellä kertaa lopulliseen muotoon (Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 14). Tyypillisemmin mallit täydentyvät ja hioutuvat prosessin aikana, kun osallistuvat saavat luotua niistä yhteisen näkemyksen (Carson 2003, 10).

Kaiken mallinnuksessa tulee keskittyä tavoitteen saavuttamiseen. Monesti, varsinainen ongelma on voi olla tuntematon, käsittämätön ja se ilmenee havaituissa puutteis-

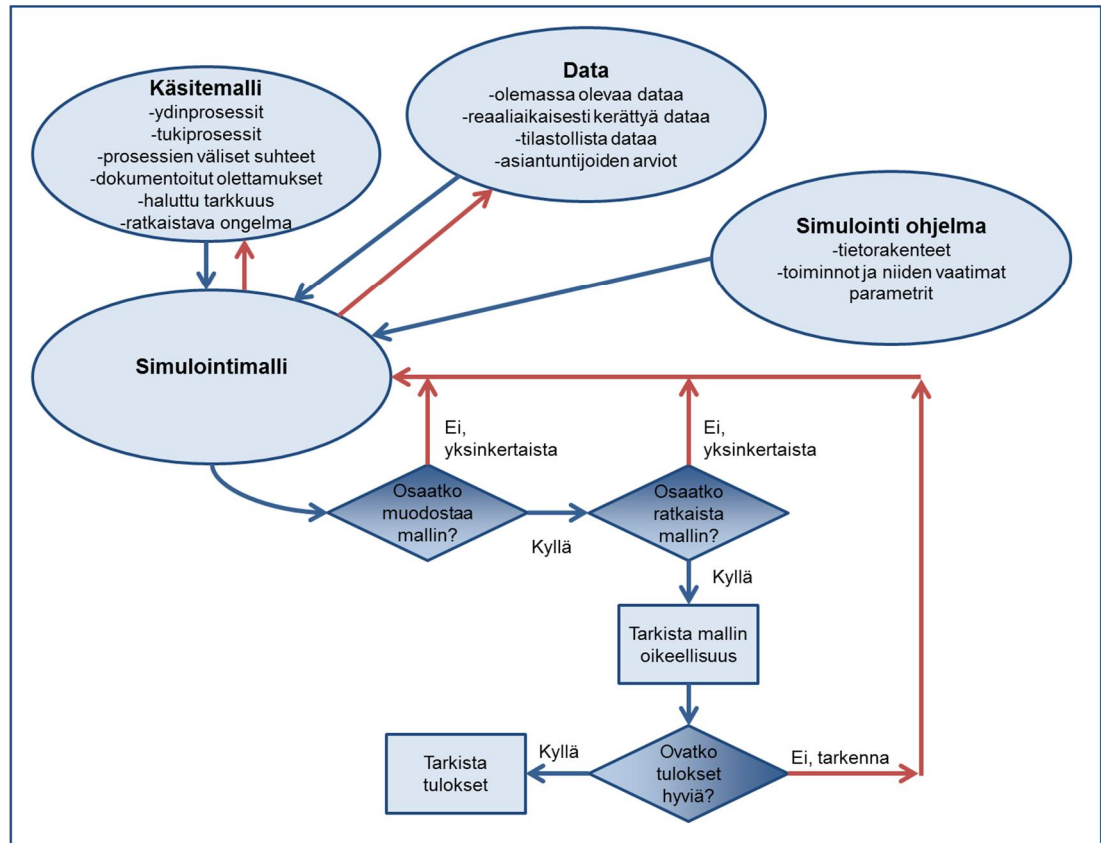
sa. Esimerkiksi tuotteen valmistaminen on hitaampaa, kuin haluttu tai oletettu valmistusaika. (Carson 2003, 10.) Simulointiprosesseissa ongelman määrittely ja sen ymmärtäminen tehdään monesti liian pintapuolisesti. Ratkaistavat asiat ovat monesti kompleksisia, tällöin niistä selkeiden ongelmien muotoileminen on haastavaa. Ilman selkeää ongelman määrittelyä prosessin seuraavassa vaiheessa eli datan keräämisessä ajaututaan vaikeuksiin. (Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 14.)

Mallin määrittämisen onnistumiseksi projektiin pitää saada mukaan henkilöt, jotka tietävät ja ymmärtävät todellisen järjestelmän toiminnan. Vaikka järjestelmä olisi uusi ja rakentamaton, on projektissa oltava ihmisiä jotka ymmärtävät prosessin toiminnan, lopputuotteen tai palvelun käytön. Yleensä yhdellä henkilöllä ei ole koko prosessista riittävän yksityiskohtaista tietoa, vaan tarvitaan joukko ihmisiä ja heidän tietonsa prosessin osista. (Carson 2003, 9.) Mallin määrittely syntyy prosessien tunnistamisen ja kuvaamisen kautta. Tunnistamisvaiheessa jaetaan toiminnot ydin- ja tukiprosesseihin. Se jälkeen prosessien hierarkia ja riippuvuudet voidaan määrittää. Jatkotyöskentelyn onnistumiseksi prosessin kuvauksella täytyy olla kaikkien sen luomiseen osallistuneiden hyväksyntä. (Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 13 -14.)

Simuloinnissa tarvittavaan datan keräämien liittyä kiinteästi mallinnukseen. Käytettävä data ja sen sisäiset suhteet vaikuttavat simulointimallin tietorakenteisiin. Käytettävissä olevan datan luotettavuus voi monestakin syystä olla heikentynyt. Aina tietoa ei ole saatavissa sähköisessä muodossa tai ei muuten sovellu mallinnukseen. On myös tilanteita, joissa data ei sisällä tarvittavaa tietoa, esimerkiksi sitä on kerätty toisenlaiseen käyttötarkoitukseen. Projektin aikana dataa voidaan kerätä reaaliaikaisesti. Jos olemassa olevaa dataa, tilastollista dataa tai reaaliaikaisesti kerättyä dataa ei voida käyttää, silloin voi tulla kyseeseen asiantuntijoiden tekemät arviot muuttujien arvoista. (Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 15.) Henkilö, joka tuntee prosessin parhaiten, on yleensä sopivin keräämään simuloinnissa tarvittavan tiedon (Paasivaara 2002, 5).

Simulointimallin luomisessa pitää määrittää datarakenteet ja kääntää malliin liittyvät ennako-oletukset käytettävän simulointiohjelmiston kielelle tai ohjelmiston muuten hyväksymään muotoon. Datarakenteiden määrittelyyn vaikuttaa käytettävä data, ohjelmiston rajoitukset ja vaatimukset. Simulointi mallin luomisessa hyödynnetään käsitemallia, prosessikuvauksia ja käytettävissä olevaa dataa. (Carson 2003, 10–11.)

Kuviossa 13 esitetään mallin luomista simulointiohjelmalla tapahtuvaa simulointia varten. Käsittemallista saadaan perusmäärittelyt, käytettävissä olevan datan ja simulointiohjelman ominaisuudet ja toiminnot ohjaavat lopullisen mallin rakentamista.



KUVIO 13. Mallin luonti simulointiohjelmaan (Laitinen 2013, 6; Pohjois-Savon Tee-keskus 2004, 14-17; Carson 2003, 9-11)

Simuloinnin iteratiivinen prosessi tulee esille simulointimallin luonnissakin, kuvio 13. Rakennetun mallin ja todellisen järjestelmän toimintojen välillä tulisi olla analoginen vastaavuus. Tietokonesimulaatiossa tämä vastaavuus on rakennettava malliin sisältyvillä muuttujilla. (Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 16.) Todellisen järjestelmän pitää olla säädeltävissä, jotta simulointi on mahdollista. Kaoottisen tai säätelemättömän järjestelmän prosesseja ja niiden välisiä suhteita ei voi määrittää. (Carson 2003, 8.)

Lähtötilanteessa simulointimalli pitää pyrkiä luomaan mahdollisimman yksinkertaiseksi, silloin yksittäisten muuttujien vaikutus mallin toimintaan on helpommin ymmärrettävissä. Myöhemmin osaprosesseja ja detaljeja voidaan tarvittaessa lisätä. Kompleksisuus kasvattaa simulointiohjelman suorittamiseen tarvittavaa aikaa. Yksinkertaisen

mallin avulla prosessin kehittämiseen osallistuvien, toimijoiden ja varsinaisten käyttäjien on helpoin hahmottaa kokonaisuus ja järjestelmän toiminta. (Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 16.)

Seuraavana vaiheena simuloinnissa on verifiointi. Siinä tarkistetaan simulointimallin toiminta käyttäen monia erilaisia tekniikoita. Sen toiminnan tulee vastata dokumentoituja olettamuksia. Mallin vastausten tulee olla järkeviä muuttujien arvojen koko vaihteluvälillä. Tässä testaus on ymmärrettävä laajemmin, kuin vain ohjelmointi virheiden etsiminen. Jos virheitä löydetään mallissa, datassa tai molemmissa, ne korjataan. (Carson 2003, 11.)

Validointiin osallistuu järjestelmän käyttäjien edustajat. Olisi tärkeää, että kaikki jotka haluavat vastauksia simuloinnilta, ovat kiinnostuneita siitä tai ovat tehneet töitä mallin luomiseksi, myös osallistuisivat validointiin. Simuloijan tulee esitellä mallin toiminta perusteellisesti käyttäjien edustajille. Mallin havainnollistamisessa voidaan käyttää animaatioita tai muita visuaalisia näyttöjä, tuomaan esille mallin olettamukset. Simuloinnin tulosten vertailukohdaksi on hyvä ottaa nykyisen tai suunnitellun järjestelmän arvot, joihin käyttäjien edustajat voivat verrata simuloinnin tuloksia. Jos käytettävissä on soveltuvia lähtötietoja, muita simulointeja voidaan tehdä. (Carson 2003, 11.) Validointitilaisuuden jälkeen on päätettävä, vastaako simulointimalli asetettuja tavoitteita ja edetäänkö varsinaiseen simulointiin. Toinen vaihtoehto on palata määrittelemään malli uudelleen. (Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 16.)

Ennen lopullisen simuloinnin suorittamista on päätettävä muuttujien parametrien vaihteluvälistä ja niiden hyväksytyistä kombinaatioista. Kuinka kauan simuloidaan, jatkuva-aikaisen mallin alkutransientin ajasta ja simulointikertojen määrästä. Näiden määrittelyjen tekemisessä auttaa verifiointi ja validointi vaiheissa saatu tieto. Ei ole olemassa nyrkkisääntöjä simulointikerroille ja ajoille, ne riippuvat käytettävästä mallista ja sen laadusta. (Carson 2003, 12.)

Projektin aikana kertynyt tieto tarjoaa lähtöarvot koesarjoille. Normaalisti simuloinnissa käytetään useita vaihtoehtoja, joista kehitetään tarkempaan tarkasteluun 1-2 vaihtoehtoa. Simuloinnissa tulee yleensä esille uusia kysymyksiä, joiden perusteella tutkimuksen suunta voi muuttua. Ehdotetut muutokset tai säännöt voivat aiheuttaa ongelmia, jolloin joudutaan suunnittelemaan järjestelmä uudestaan. Ensimmäiset tulokset ohjaavat ainakin seuraavien simulointien suuntaa. Kaikissa simulointivaiheis-

sa mallin tulosten pitää ohjata parametrien ja parametri kombinaatioiden järkeviä arvoja. (Carson 2003, 12.)

Simuloinnin tuottamaa tietoa analysoidaan eri menetelmillä. Mallin tehokkuutta voidaan verrata olemassa oleviin järjestelmiin tai julkaistuihin tutkimustuloksiin. Simuloinnin tuottamien muuttujien jakaumia voidaan analysoida tilastollisin menetelmin, ja pyrkiä siten varmentamaan simulointimallin käyttäytyminen todellisuutta kuvaillen parametrien arvoja muutettaessa. Jälleen, prosessin iteratiivisen luonteen vuoksi arvioidaan simulointimallin käyttökelpoisuus. (Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 17.)

Simulointiprosessin dokumentointi pitää tehdä huolellisesti prosessin kaikissa vaiheissa. Tuloksia saadaan koko prosessin ajan ja niille voi löytyä käyttöä myöhemmin. Dokumenttien avulla voidaan tarkastella prosessin rakentumista, määrittelystä, oletamuksista, perusteluista aina saatuihin tuloksiin. Simuloinnilla saatavat tiedot ovat monesti käynnistämässä kehitysprosessia organisaatiossa, tulevien simulointimallien luomisessa voidaan hyödyntää aiemmin tehtyjen prosessien tuotoksia. (Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 17–18.)

Simulointiajo ei etsi parasta vaihtoehtoa tai vastauksia. Suorittamalla useita ajoja, joiden laadun osaava suunnittelija varmistaa saadaan havainnollista tietoa mallin ja siten järjestelmän toiminnasta. (Hyvönen 2005, 13.) Lähtöarvoja muuttamalla ja suorittamalla ajo uudelleen saadaan tietää muutosten vaikutus simulointimalliin. Näin voidaan tutkia eri vaihtoehtoja. (Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 18.) Käyttämällä simuloinnissa lähtöarvoina stokastisia lähtötietoja ja kvantitatiivista analysointia saadaan tulokseksi mallin tulosten todennäköisyysjakauma (Honkaniemi & Kiiras 2010, 2). Tulosten käsittelyyn ja hyödyntämiseen tulisi osallistua prosessissa mukana olleiden henkilöiden. Tällöin tulokset tulevat osaksi organisaation todellisuutta ja heillä on vastuu saavutettujen tulosten toteuttamisesta. (Pohjois-Savon TE-keskus 2004, 18.)

3.2 Ilmalämpöpumpun toiminta ja investointisimuloinnin lähtötiedot

Opinnäytetyön esimerkki-investointina olevan ilmalämpöpumpun toiminnan tarkastelemaan sovelletaan edellä esiteltyä simulointiprosessin toteutusta. Seuraavaksi määritellään ilmalämpöpumpun kannattavuuden laskemisessa tarvittavat lähtötiedot. Suurin osa niistä on stokastisia, ja siten puoltavat simuloinnin käyttöä investoinnin kannattavuuden määrittelyssä.

3.2.1 Ilmalämpöpumpun toiminta

Työni laskentaesimerkki käsittelee vain ilmalämpöpumppuja, mutta maalämpöpumpujen toimintaperiaate on lämmönlähdettä lukuun ottamatta sama. Lämpöpumppu siirtää kylmemmästä lämpövarastosta lämpöä lämpimämpään käyttökohteeseen. Lämmönsiirto vaatii energiaa, mutta siirretyn lämpöenergian määrä on suurempi kuin siirtoon kulunut energiamäärä.

Ideaalikaasun Carnot'n prosessi

Carnot'n (N.L Carnot 1796-1832) mukaan nimensä saanut termodynamiikan kierto-prosessi, on tehokkain menetelmä muuttaa työksi lämpöenergiaa termodynaamisella koneella kahden lämpövaraston välillä. Carnot'n lämpövoimakone toimii reversiibelisti eli prosessi voidaan tehdä myös takaperin. Carnot'n prosessi ei aseta vaatimuksia työaineelle, se voi olla esimerkiksi kaasu, neste tai kiinteä aine. (Napari 2009, 28.)

Ideaalisen lämpöpumpun tehokerroin riippuu Naparin (2009, 34) mukaan alemman ja ylemmän lämpövaraston välisestä lämpötilaerosta. Tehokerroin lasketaan lämpötilojen avulla, jotka pitää ilmaista käyttäen Kelvin-asteikkoa:

Ideaalisen lämpöpumpun tehokerroin lasketaan kaavasta

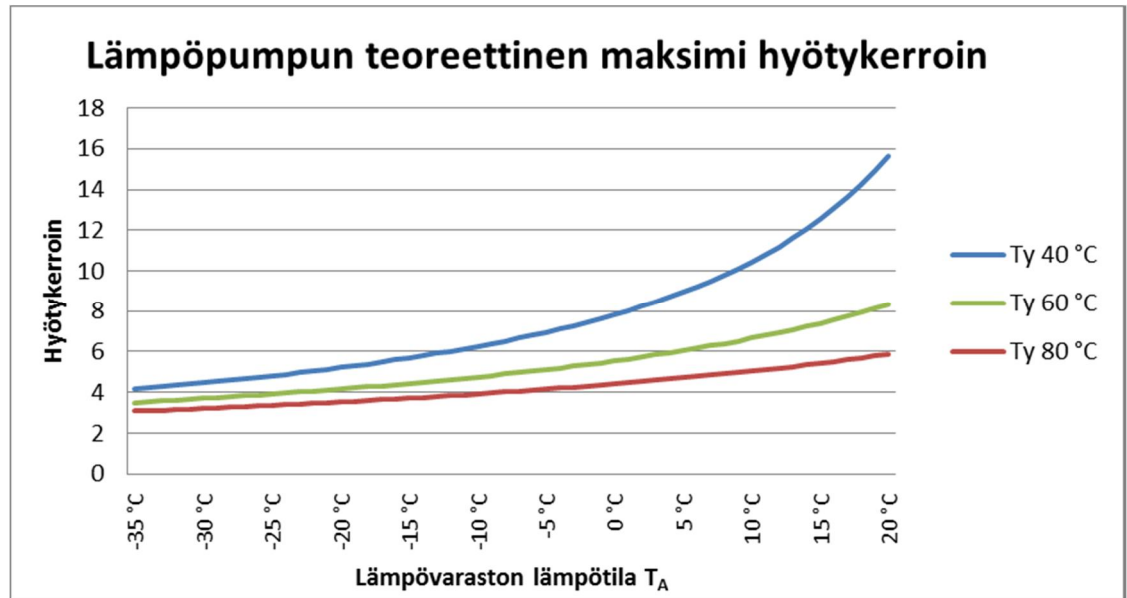
$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_2 - T_1} > 1 \quad (1)$$

Kaavassa 1 T_1 alemman ja T_2 on ylemmän lämpövaraston lämpötila.

Lämpöpumppujen tehokertoimesta käytetään myös nimitystä lämpökerroin COP (Coefficient Of Performance). Kun kyseessä on Carnot'n prosessin mukainen lämpökerroin, tunnus on silloin COP_C . Lämpökerroin ilmaisee sitä suhdetta, kuinka paljon saadaan lämpöä prosessista siihen tuotetulla energialla. Kun saadaan 6 kWh lämpöä ja prosessin ylläpitoon on kulunut esimerkiksi sähköä 1,5 kWh, tällöin lämpökerroin on 6 kWh/ 1,5 kWh eli 4.

Yllä olevan kaavan 1 avulla on laskettu Carnot'n ideaaliselle lämpövoimakoneelle lämpö- eli hyötykertoimet kolmella eri ylemmän lämpövaraston lämpötilalla. Lasketut lämpövaraston lämpötilat ovat 40 °C, 60 °C ja 80 °C. Arvot edustavat todellisen käyt-

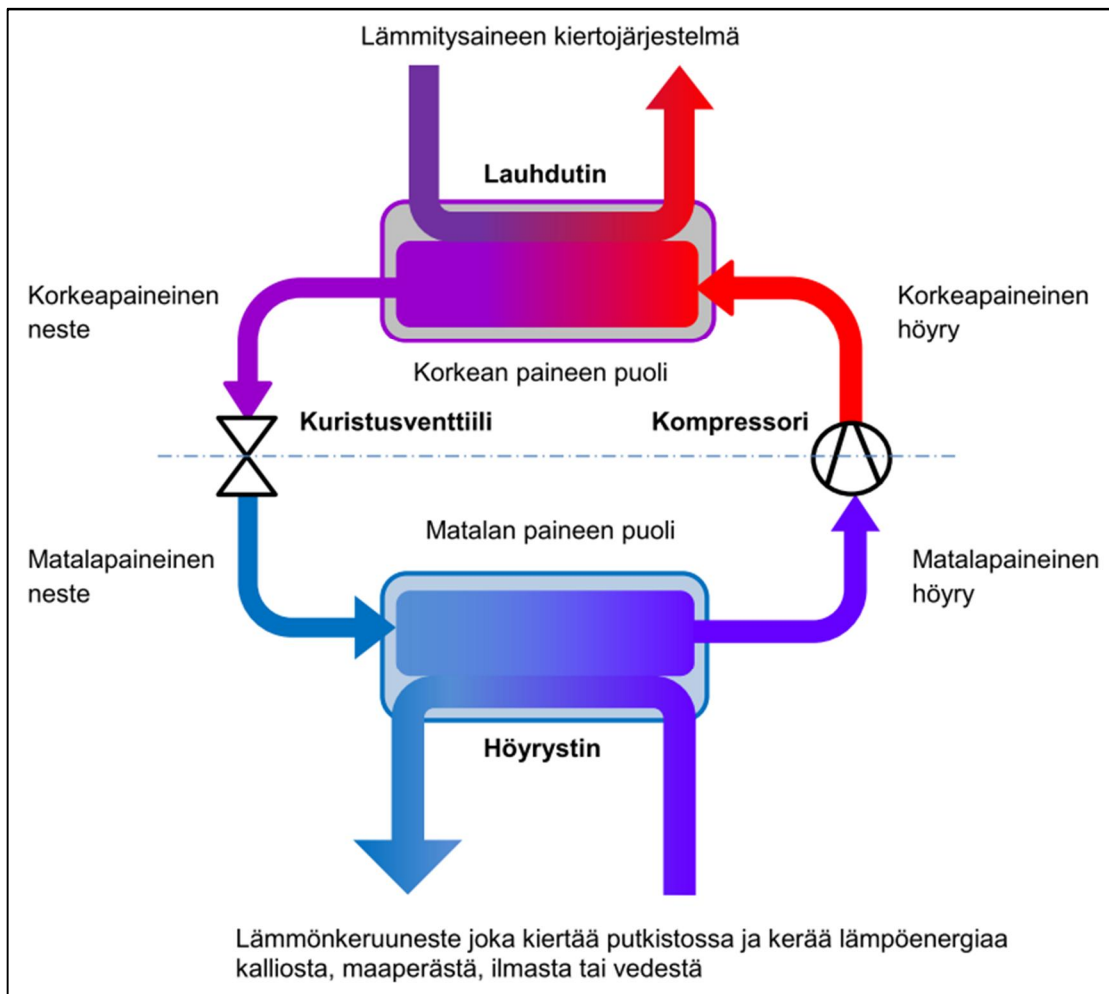
tötilanteen arvoja asuinrakennuksissa, kun lämpöpumpulla lämmitetään lattioita, pattereita tai lämmintä käyttövettä. Arvojen perusteella on piirretty kuvio 14 havainnollistamaan lämpötilaerojen merkitystä lämpöpumppujen hyötökertoimelle.



KUVIO 14. Lämpöpumppujen teoreettinen hyötökerroin

Käytännön lämpöpumppu

Edellisessä osassa käytiin läpi ideaalisen lämpöpumpun toiminta ja teoreettinen perusta. Carnot'n lämpövoimakoneen lämpöarvot antavat hyvät viitekehyksen käytännön lämpöpumppujen toiminnalle. Lämpöpumpulla siirretään energiaa alhaisemmassa lämpötilassa olevasta lämmönlähteestä korkeammassa lämpötilassa olevaan energiavarastoon. Lämmönlähteinä käytetään tavallisemmin maaperää, vesistöä ja ilmaa. Lämpöpumpuissa on neljä pääosaa: höyrystin, lauhdutin, kompressorin ja paisuntaventtiili. Kuviossa 15 esitetään lämpöpumpun prosessikaavio. Nuolilla on merkitty kylmäaineen kiertosuunta. Lauhduttimessa kompressorin puristama kaasumainen kylmäaine luovuttaa lämpöenergiaa lämpimään lämpövarastoon, jolloin kylmäaine nesteytyy. Paisuntaventtiiliin eli kapilaariputken avulla kylmäaineen painetta pienennetään, jolloin sen lämpötila laskee lähelle lämpövaraston lämpötilaa. Höyrystimessä kylmäaineeseen siirtyy lämpöä lämpövarastosta ja kylmäaine höyrystyy. Seuraavaksi kylmäaine kiertää kompressorin, jolla kasvatetaan sen painetta lämpötilan nostamiseksi. Kylmäaine palaa lauhduttimeen luovuttamaan lämpöä. (Nissilä, 2007,10; Motiva Oy, 2008a.)



KUVIO 15. Lämpöpumpun toimintaperiaate.

Laskennassa käytettävä ilmalämpöpumpun lämpökerroin

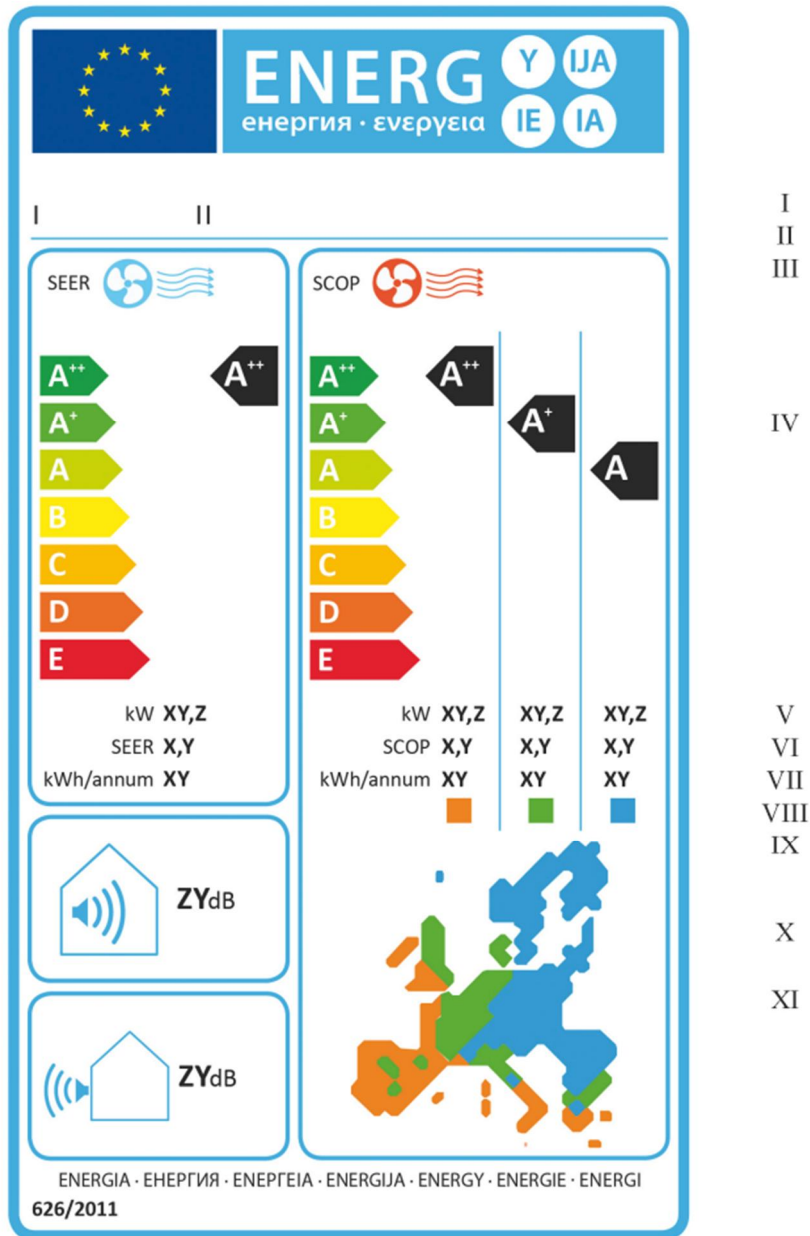
Eri tutkimuslaitokset testaavat ilmalämpöpumppuja kasvainvälisten standardien mukaisesti. Euroopan unionin alueella on voimassa standardi SFS-EN 14511. Valmistajien ilmoittama lämpökerroin COP on yleensä mitattu lämpötilassa $+7\text{ °C}$. Tämä standardin määrittelemä mittauslämpötila on selvästi vaikuttanut laitteiden suunnitteluun ja toteutukseen, parhaat lämpökertoimen arvot ne saavat ko lämpötilassa. Ulkolämpötila on Suomessa niin alhainen, että mittauksia tekevä VTT on laitteiden myyjien kanssa kehittänyt kansainvälisiä standardeja soveltavan mittauksen. Testissä mitataan laitteen toimintaa ulkolämpötilan vaihdelta $n. -30\text{ °C}$ asteesta $n. +13\text{ °C}$ asteeseen. Mittaus tapahtuu jatkuvana, jolloin mukaan tulee myös laitteiden sulatusjaksot ja testin tulos siten vastaa paremmin todellisia käyttöolosuhteita. (Scanoffice Oy 2013.) Ruotsin energiavirasto testaa ilmalämpöpumppuja, alhaisimman ulkoläm-

pötilan ollessa – 15 °C, jolloin näiden testien tuloksia voidaan parhaiden hyödyntää Etelä-Suomessa.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2010/30/EY täydentämisestä huoneilmastointilaitteiden energiamerkinnän osalta delegoitu komission asetus (EU) n:o 626/2011 määrittelee mittaus- ja laskentamenetelmän enintään 12 kilowattia sähköä käyttäville laitteille lämmityskauden lämpökertoimen SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) laskemiseksi (EU:n virallinen lehti, 2011). SCOP määritetään neljälle eri ulkolämpötilan arvolle lämmityskaudella laskemalla määriteltujen arvojen perusteella, ottaen huomioon sovellettavat lämpötilaerot, perusmitoitustilalämpötilan ja mitoituskuormat lämmityskausilla. Suurten ilmastoerojen vuoksi Eurooppa on jaettu kolmeen eri ilmastovyöhykkeeseen, Etelä-Euroopassa käytettävien laitteiden laskennassa käytetään Ateenan, Keski-Euroopan alueen Strasbourgin ja Helsingin ilmastolosuhteita Pohjois-Euroopan alueen laitteiden laskennassa. Laitetta markkinoidessa koko EU:n alueella, siitä pitää löytyä jokaisen kolmen eri ilmastovyöhykkeen mukainen energialuokitusarvo. SCOP arvot vaihtelevat tyypillisesti 3,5 - 5 välillä. (RefGroup Oy, 2013)

Euroopan komission asetus N:o 206/2012, määrittelee miniarvot laitteiden SCOP arvoiksi 1.1.2013 jälkeen. Vaatimukset kiristyvät 1.1.2014 alkaen ja ne on esitetty ilmalämpöpumppujen osalta taulukossa 6. (Euroopan unionin virallinen lehti 2012, L 72/15, 16). Arvo riippuu laitteen tehosta ja käytettävän kylmäaineen ilmakehän lämmitysvaikutuspotentiaalista (GWP). Vähemmän ympäristöä vahingoittavaa kylmäainetta käyttävä laite voi käyttää enemmän energiaa. (Euroopan unionin virallinen lehti 2012, L 72/7.)

EU:n määrittelemät energiatehokkuusluokat perustuvat lämmityksessä SCOP ja jäähdytyksessä SEER kertoimiin. Alla olevassa kuviossa 16 on EU:n määrittelemä malli energiatehokkuusluokkiin A++ – E luokitelluille kaksitoimisille huoneilmastointilaitteille. Kuviosta selviää värien perusteella eri ilmastovyöhykkeet.

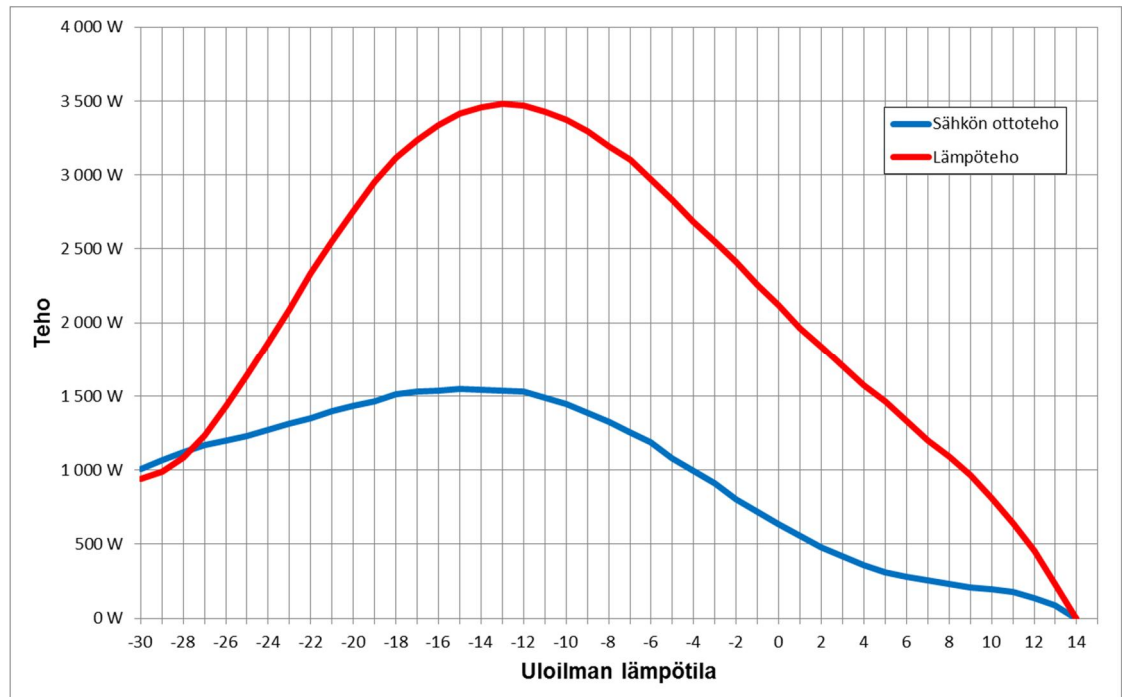


KUVIO 16. EU:n Energiatehokkuusluokka merkintä A++–E luokitellulle kaksitoimiset huoneilmastointilaitteelle (Euroopan unionin virallinen lehti 2011, 13)

Ilmalämpöpumppujen käyttölämpötila on nykyisillä tuotteilla noin – 25 - +12 C lämmityksessä. Tässä työssä ei käsitellä jäähdyttämistä, jonka tarve määräystasolla tulee rakennusmääräyskokoelman D 2:n vaatimuksesta, että rakennuksen käyttöaikana oleskeluvyöhykkeellä lämpötilan ei saisi olla yli +25 °C.

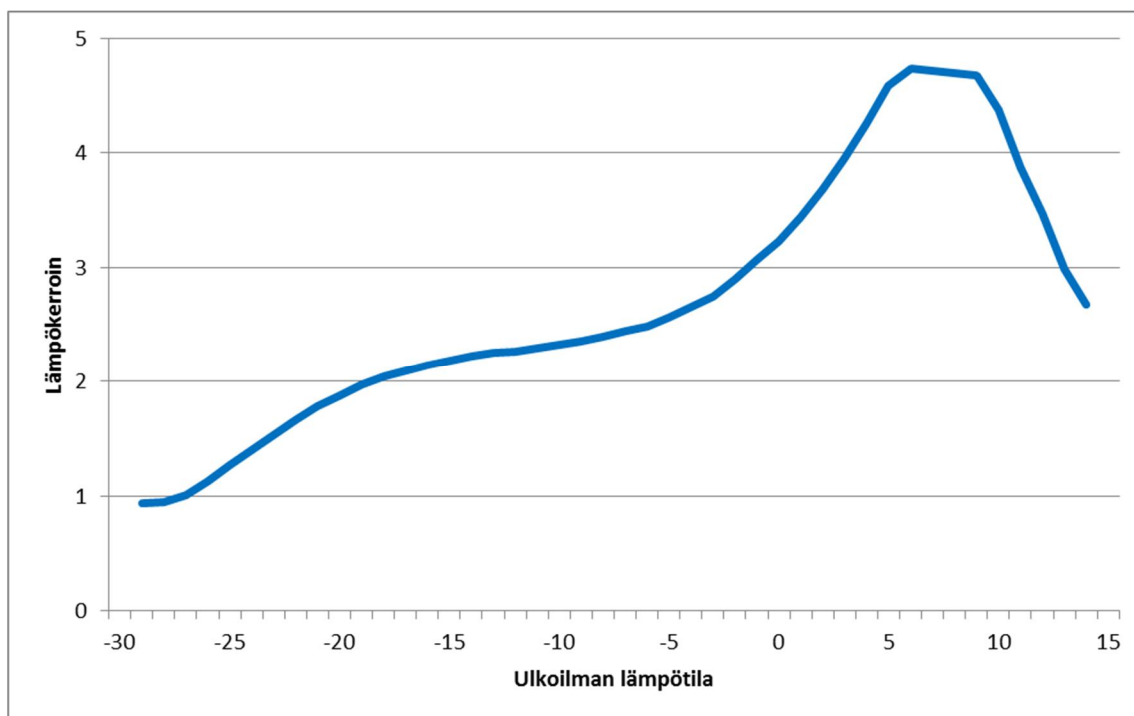
Alla olevissa kuvioissa 17 ja 18 on esitetty yhden nykyaikaisen ilmalämpöpumpun teho (otto/lämpöteho) ja mittausolosuhteissa toteutunut lämpökerroin eri lämpötilois-

sa. Kuvaajat ovat mittaustulosten polynomisovitteita, eli hetkellisesti mitatut arvot poikkeavat paljonkin polynomisovitteiden arvoista. Hetkelliset arvot heittävät suurimmillaan yli ± 30 prosenttia tehon ja lämpökertoimen osalta polynomisovitteesta. (VTT-S-06121-12 2012.)



KUVIO 17. Ilmalämpöpumppu Mitsubishi MSZ-FH25VE tehon liukuvat keskiarvot (VTT-S-06121-12, 2012)

Kuviosta 21–22 selviää lämpöpumpun suurimman lämpötehon olevan lähes 3 500 wattia -12 °C ulkolämpötilassa ja lämpökertoimen ollessa silloin noin 2,3. Kuviosta 19 näkyy lämpöpumpun lämpökertoimen parhaiden arvojen toteutuvan $+5\text{ °C}$ – $+10\text{ °C}$ ulkolämpötiloilla, ollen suurimmillaan noin 4,8.



KUVIO 18. Ilmalämpöpumppu Mitsubishi MSZ-FH25VE liukuva tuntiämpökerroin (VTT-S-06121-12 2012, liite 5)

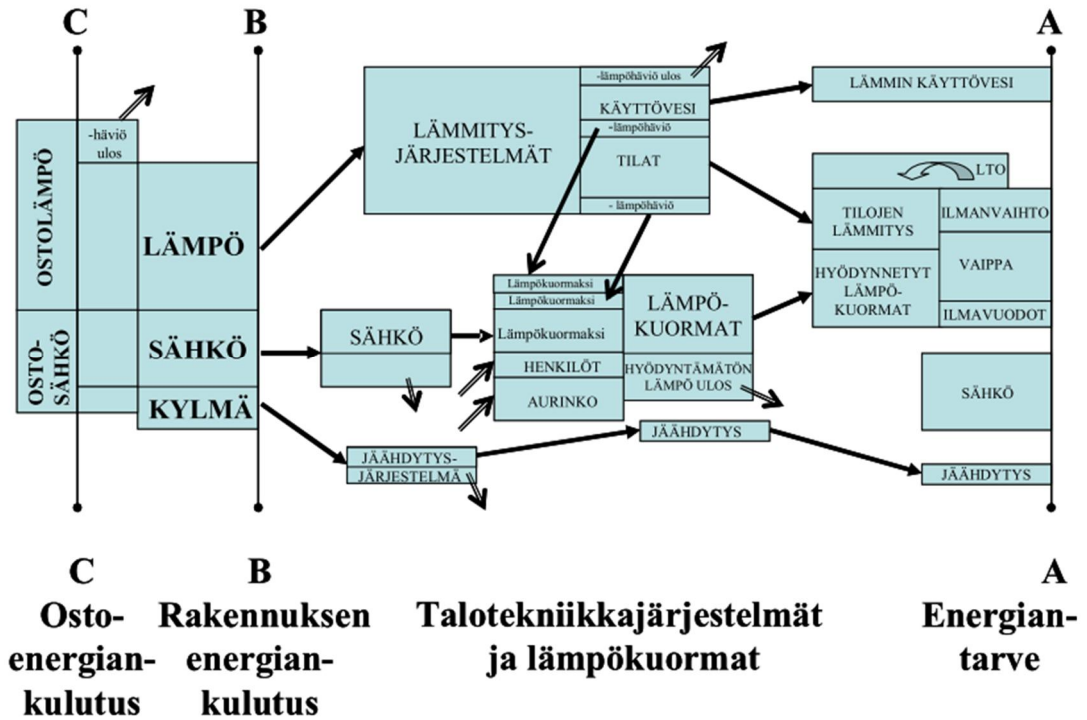
Ilmalämpöpumppuja on Ruotsissa käytetty pitkään ja niitä on käytössä moninkertainen määrä Suomeen verrattuna. Taulukkoon 2 on kerätty vuodesta 2005 alkaen Energimyndighetenin ilmalämpöpumppujen testin tuloksia. Taulukkoon otettu vuosittainen energian säästöarvo ilmalämpöpumpulla on määritelty alueelle, jossa vuoden keskilämpötila on 1,6 °C. Suomessa arvot soveltuvat esimerkiksi Kemiin.

TAULUKKO 2. Lämpöpumppujen testituloksia (Energimyndigheten 2013)

	Lämpökerroin kompressosin täydellä teholla					Energian säästö, vuoden ka 1,6 °C	
	Ulkoilman lämpötila					lämmitysenergian tarve	
Valmistaja ja malli	7 °C	2 °C	-7 °C	-15 °C	Testaus aika	15 400 kWh/v	28 000 kWh/v
Sanyo SAP-K/CRV124EHDXN	3,3	2,8	2,5	2,2	syyskuu 2005	8 100 kWh/v	13 500 kWh/v
Mitsubishi Heavy Industries Ltd SRK 35ZD	3,1	2,8	2,6	2,1	syyskuu 2005	8 200 kWh/v	11 400 kWh/v
Hitachi RAK 25 NH4	3,4	2,7	2,5	2,2	syyskuu 2005	7 300 kWh/v	9 800 kWh/v
Panasonic HE9GKE	5,0	3,0	2,5	1,8	marraskuu 2007	8 300 kWh/v	12 800 kWh/v
Mitsubishi Electric MSZ-FD25VA	4,2	3,1	2,8	2,1	kesäkuu 2009	8 700 kWh/v	13 500 kWh/v
Panasonic HE9LKE	5,3	3,0	2,5	2,2	lokakuu 2010	8 700 kWh/v	14 000 kWh/v
Toshiba RAS-25SKVP2-ND	3,1	2,7	2,6	2,4	elokuu 2011	9 200 kWh/v	13 800 kWh/v

3.2.2 Rakennusten energiankulutus ja tilojen lämmitystarve

Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 osassa vuodelta 2007 annetaan ohjeet rakennusten energian kulutuksen laskemisesta. Kuviossa 19 näytetään rakennuksen energian kulutuksen laskentaperiaate.



KUVIO 19. Rakennuksen energiankulutuksen määrittäminen (RAK D5 2007,12)

Rakennuksen energiantarve muodostuu käyttöveden lämmittämisestä, rakennuksen vaipan läpi tapahtuvasta lämmön siirtymisestä, ilmanvaihdon ja vuotoilman aiheuttamasta lämmönkulutuksesta, käyttö sähköstä ja jäähdyttämisestä. Tarvittava energia saadaan järjestelmien siirtämästä lämpöenergiasta, sähköenergiasta ja jäähdytysenergiasta. Lisäksi henkilöt luovuttavat lämpöenergiaa, auringosta tulee säteilyenergiaa ja esimerkiksi sähkölaitteet tuottavat lämpöä. Edellisten lisäksi rakennuksen energiankulutuksessa otetaan huomioon häviöt, jolloin saadaan kuviossa 19 esitetty B-tason energiantarve. Ostoenergiankulutuksen arvo C saadaan, kun rakennuksen kuluttamien energioiden osalta otetaan huomioon energioiden tuotannossa syntyvät häviöt. (RAK D5 2007,12.)

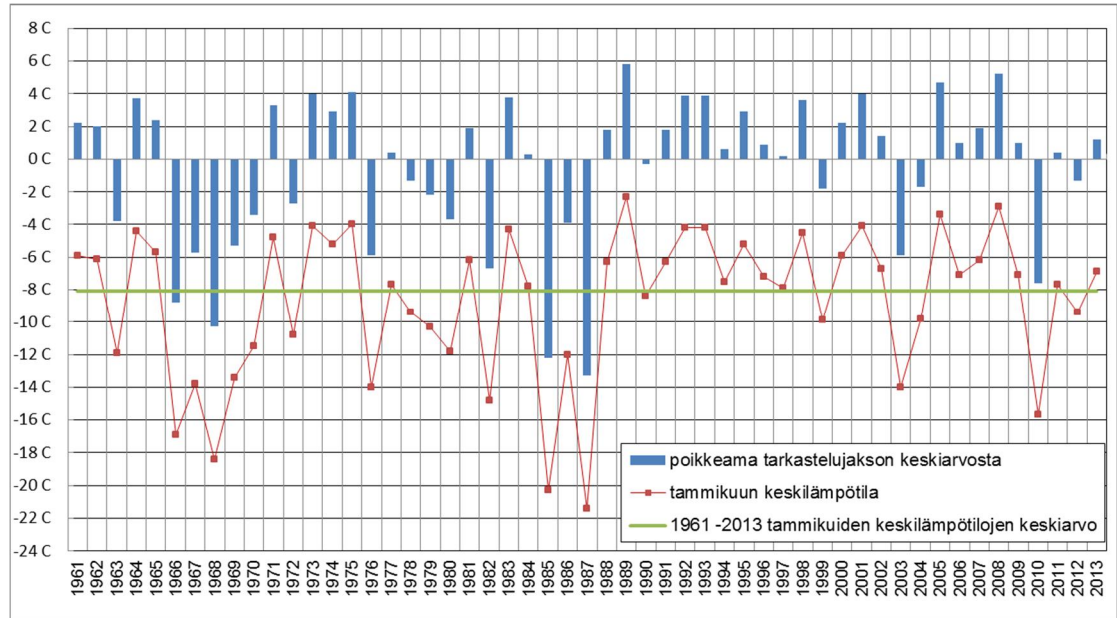
Rakennuksen tilojen lämmitysenergian nettotarve muodostuu johtumislämpöhäviöistä vaipan läpi, vuotoilman mukana tapahtuvista lämpöhäviöistä ja korvausilman ja tuuloilman lämmittämiseen tarvittavasta energiasta. Tästä summasta on vähennettävä auringon säteilyn ja sisäisten lämpökuormien tuottama lämpöenergia. (RAK D5 2007,3.) Ilmalämpöpumpun ostoenergian säästö kohdistuu lämmitysenergian nettoarvoon.

3.2.3 Ulkoilman lämpötila

Rakennuksen lämmitysenergian kulutukseen ja ilmalämpöpumppujen siirtämään lämpöenergianmäärään vaikuttaa merkittävästi ulkoilman lämpötila. Tämän takia taloudellista arviota tehdessä on selvitettävä käyttöpaikan ulkoilman lämpötila. EU:n alueella voimassa olevaa standardia SFS EN ISO 15927–4:2005 mukaillen, on vuonna 2011 määritelty Suomessa energialaskentaa varten uusi testivuosi TRY2012, ja tulevaisuuden testivuodet TRY2030, TRY2050 ja TRY2100. Testivuoden osalta on annettu sääarvot tunnin välein. Rakennusten energiakulutuksen suunnittelussa Suomi on jaettu neljään lämpötilavyöhykkeeseen. Vyöhykkeiden säähavaintojen perustiedot on saatu Ilmatieteen laitoksen säähavaintoasemien mittauksista. Helsinki-Vantaan lentoaseman tuloksista muokattu testivuosi edustaa lämpötilavyöhykkeitä I-II. Jyväskylän lentoaseman muokatut arvot edustavat lämpövyöhykettä III, ja Sodankylän observatorion muokatut arvot lämpövyöhykettä IV. Testivuosien arvot on muodostettu havaintoasemien vuosien 1980–2009 aikana esiintyneistä kuukausien havainnoista. Kuukauden ensimmäisen ja viimeisen päivän havainnot on tarvittaessa tasoitettu epäjatkuvuuksien poistamiseksi. (Ilmatieteenlaitos 2013, Huomioita testivuosien käytöstä.)

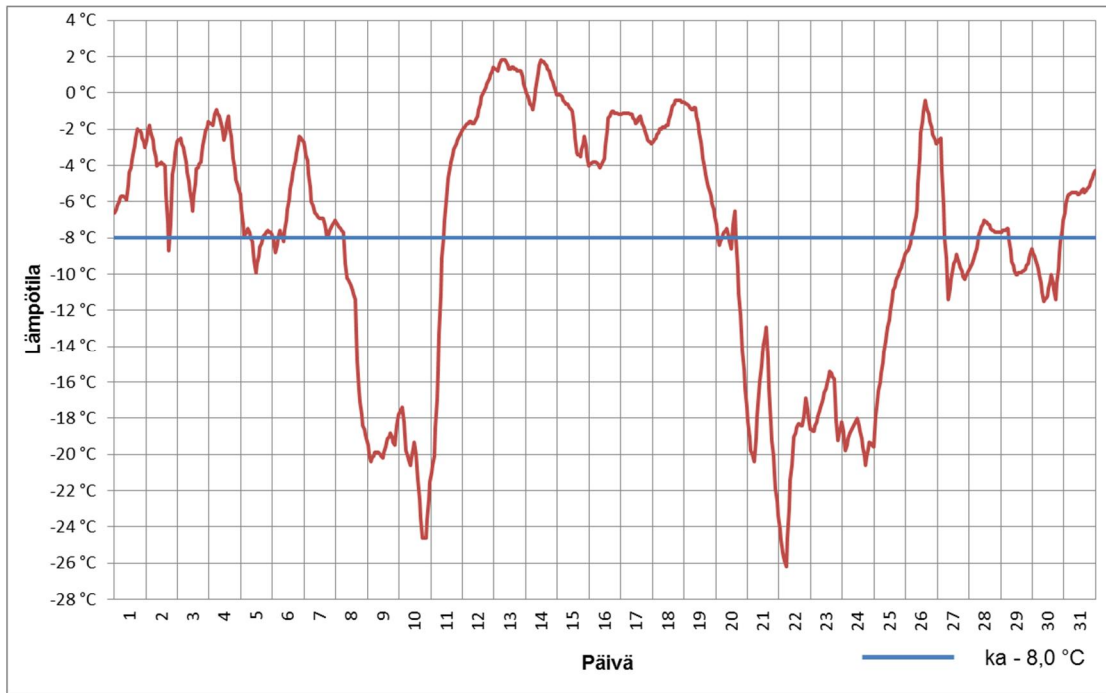
Testivuoden arvojen tarkoitus on ilmentää tyypillisen vuoden sääolosuhteita, ei harvinaisen tai saati poikkeuksellisia säätilanteita. Maanne ilmastossa esiintyy voimakasta sääolosuhteiden vaihtelua jo tunnin saati vuosikymmenten aikana. Ilmastonmuutokseen liittyvä maapallon sään muutos vaikuttaa pitkän ajan trendinä. Kolmenkymmenen vuoden havainnoista ei ole mahdollista valita kuukautta, joka edustaisi keskimääräistä frekvenssijakaumaa. Kolmen eri havaintopisteen arvoista muodostetut testivuodet eivät voi ottaa huomioon paikallisia tai pienilmastollisia tekijöitä. (Ilmatieteenlaitos 2013, Huomioita testivuosien käytöstä.)

Suurin kuukausittainen vaihtelu keskiarvoon on tammikuussa Jyväskylässä ollut tarkastelujaksolla 1961–2013 noin $-14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, kuten kuviossa 20 nähdään. Vastaavasti suurin heitto lämpimämpään suuntaan on ollut noin $6\text{ }^{\circ}\text{C}$.



KUVIO 20. Jyväskylän lentoaseman tammikuiden keskilämpötila ja niiden poikkeama keskiarvosta vuosina 1961–2013 (Ilmatieteenlaitos 2013)

Jyväskylän tammikuun keskiarvolämpötilan ollessa tarkastelujaksolla $8,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, joka on merkitty kuvioihin 20 ja 21. Tammikuun testivuoden TRY2011 lämpötila on havainnollistettu kuviossa 21, joka vaihtelee paljon vuorokausittain ja vuorokauden sisällä. Kesäisin vaihtelut kuukausittain keskilämpötiloissa ovat pienempiä, Jyväskylässä heinäkuun osalta noin $+4,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $-3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ keskiarvosta. Vuositasolla keskilämpötilan vaihtelut ovat huomattavasti vähäisemmät. Helsingissä korkein vuosikeskilämpötila tarkastelujaksolla 1900–2010 on ollut $7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja vastaavasti alhaisin $2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sodankylässä korkein vuosikeskilämpötila vuonna 1938 oli $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja alhaisin 1985 – $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Ilmatieteenlaitos 2013, Kuukausitilastot.)



KUVIO 21. Tammikuun ulkoilman lämpötila Jyväskylässä TRY2012. (TRY 2011)

3.2.4 Vaipan kautta tapahtuva lämmön siirtyminen

Taulukkoon kolme on laskettu esimerkkikohteen vaippojen osien ja kylmäsiltojen määrät. Arvojen perusteella on laskettu vaipan kautta tapahtuva lämmönsiirtymisen määrä lämpötilan eron ollessa rakenteen eri puolilla yhden Kelvin asteen suuruinen.

TAULUKKO 3. Rakennuksen johtumishäviöt

Vaipan osa/kylmäsilta	Määrä	U-arvo/ ψ_k	Q joht
Ulkoseinä	96,2 m ²	0,23 W/m ² K	22,13 W/K
Yläpohja	113,0 m ²	0,14 W/m ² K	15,82 W/K
Alapohja	113,0 m ²	0,22 W/m ² K	24,86 W/K
Ikkunat	16,8 m ²	1,80 W/m ² K	30,24 W/K
Ovet	4,0 m ²	1,40 W/m ² K	5,60 W/K
Ulkonurkka	10,4 jm	0,05 W/mK	0,52 W/K
US-YP	45,0 jm	0,05 W/mK	2,25 W/K
US-AP	45,0 jm	0,17 W/mK	7,65 W/K
Yhteensä			109,07 W/K

3.2.5 Ilmanvaihdon energian tarve

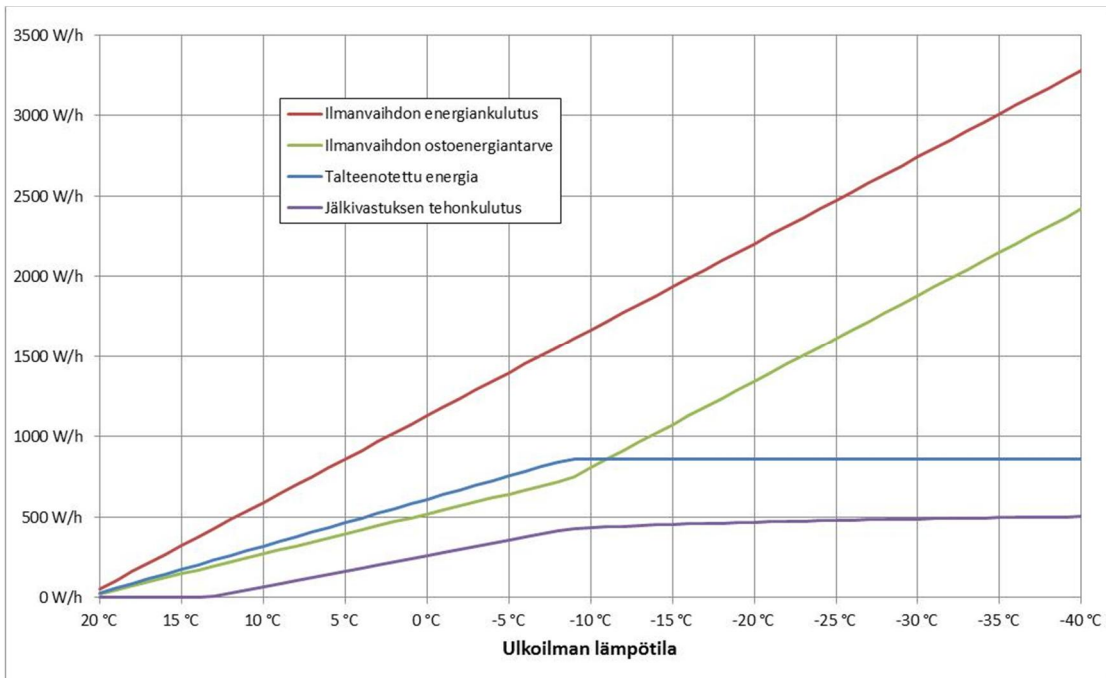
Riittäväällä ilmanvaihdolla rakennuksen käyttöaikana saavutetaan terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilma. Suomen rakentamismääräys kokoelman D2:n mukaan käyttöaikana ulkoilmaa tulee tulla vähintään $0,35 \text{ dm}^3/\text{sm}^2$, tällöin huonetilan korkeuden ollessa 2,5 m ilma vaihtuu kerran kahdessa tunnissa. Tehostetun ilmanvaihdon aikana asuinhuoneistoissa pitää tuloilmamäärän olla vähintään 30 % suurempi kuin käyttöajan tuloilmamäärä. Tyhjiällä olevan asunnon ilmavirran pitää olla vähintään 40 % käyttöajan ilmavirrasta, kosteudenhallinta voi edellyttää suurempaa ilmavirtaa silloinkin.

Esimerkkikohteen ilmanvaihtokoneen MUH-ilmava 100 OK:n asennusohjeessa on annettu graafisessa muodossa tietoa koneen toiminnasta eri ulkoilman lämpötiloilla. Arvot on annettu asunnon sisälämpötilalle $+20 \text{ °C}$:ssa, jolloin asunnosta poistuvan ilman lämpötila laskee lineaarisesti saavuttaen arvon 0 °C , kun ulkolämpötila on -30 °C . Kuvaajan perusteella ilmanvaihtokoneen jäätymisen esto alkaa toimia noin -15 °C :n ulkoilman lämpötilassa. Jäätymisen esto toteutetaan jaksottamalla ilmanvaihtokoneen tuloilmapuhaltimen pyörimistä. (Vallox Oy.)

MUH-ilmava 100 OK:n asennusohjeen kuvaajan tietojen perusteella mallinnetun ilmavaihtokoneen lämmöntalteenoton hyötysuhde on 0,54. Tällöin ilmavaihtokoneen ulos puhaltaman poistoilman lämpötila olisi noin $+1 \text{ °C}$, ulkoilman lämpötilan ollessa -15 °C . Näillä arvoilla ilmanvaihtokoneessa epätasaisten ilmavirtausten vaikutuksesta lämpötila ilmavaihtokoneen sisällä oli paikoitellen nollan alapuolella. Tämän seurauksena ilmanvaihtokoneessa tapahtuisi paikallisesti poistoilmasta tiivistyneen kosteuden jäätymistä. Ilmiön estämiseksi poistoilman lämpötilaa mitataan jäätymisenesto termostaatin avulla. Kun termostaattiin säädetty arvo alitetaan, ilmanvaihtokoneen tuloilmapuhallin pysäytetään kunnes poistoilma on lämmittänyt termostaatin säätöarvon yläpuolelle. Ilmanvaihtokoneen valmistaja Vallox Oy:n tehdasasetus jäätymisen estämistä säätävälle termostaatille on $+5 \text{ °C}$.

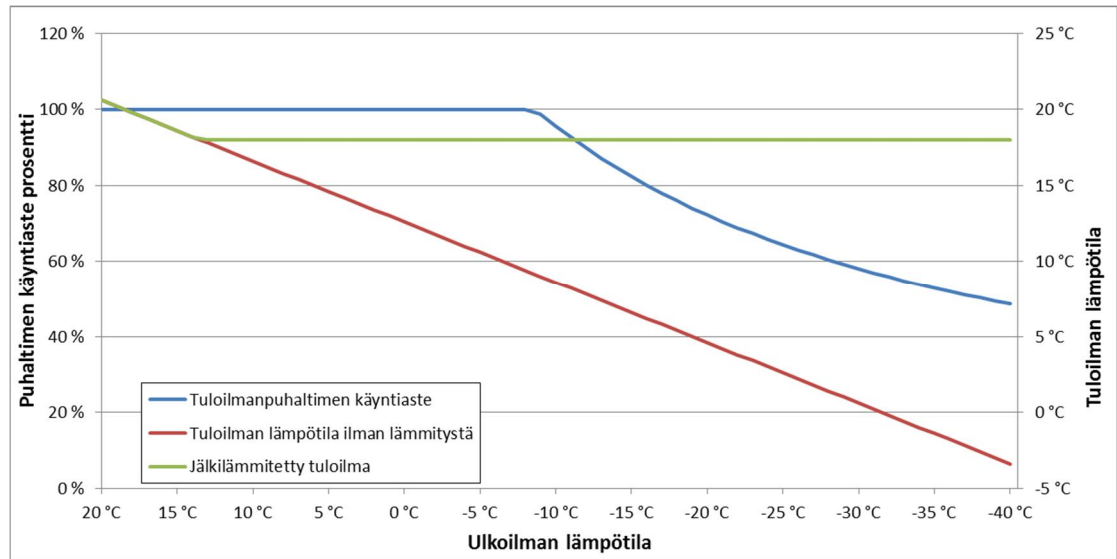
Esimerkkikohteen koneellinen tulo-/poistoilmanvaihtokone on lämmön talteenottoon varustettu ristivirtalevylämmönsiirtimellä. Määräysten mukainen käyttöaikainen tuloilman määrä tulee vähintään olla $142 \text{ m}^3/\text{h}$, jota on käytetty laskelmassa. Sisäilman lämpötila 21 °C , tuloilman lämmityksen termostaatin arvo $+18 \text{ °C}$ ja lämmöntalteenoton jäätymisen estämiseksi poistoilman minimi lämpötila $+7 \text{ °C}$. Laitteen tuloilman jälkilämmitysvastuksen teho on 500 wattia. Lisäksi lämmöntalteenoton hyötysuh-

teen arvona on käytetty 54 % ja ilmanvaihtokoneen tuloilman määrän ollessa 90 % poistopuhaltimen ilmamäärästä. Kuviossa 22 on esitetty yllä olevien lähtöarvojen avulla lasketut ilmanvaihdon energiankulutuksen arvot esimerkkitilanteessa tunnissa eri ulkolämpötilan arvoilla.



KUVIO 22. Esimerkkikohteen ilmanvaihdon energiankulutus

Esimerkkikohteen ilmanvaihtokoneen MUH-ilmava OK:n tuloilmapuhaltimen pyöriminen alkaa yllä olevilla arvoilla pysähdellä ulkoilman lämpötilassa laskiessa arvoon -7 °C. Kun lämpötila laskee arvoon -40 °C, käyntiaste on noin 49 %, kuten kuviossa 23 nähdään. Ilmanvaihtokoneen tuloilman jälkilämmitysvastus toimii ko lämpötilassa täydellä 500 watin teholla, jolloin tuloilmanlämpötila on +18 °C.



KUVIO 23. Ilmanvaihtokoneen käyntiaste ja tuloilman lämpötila

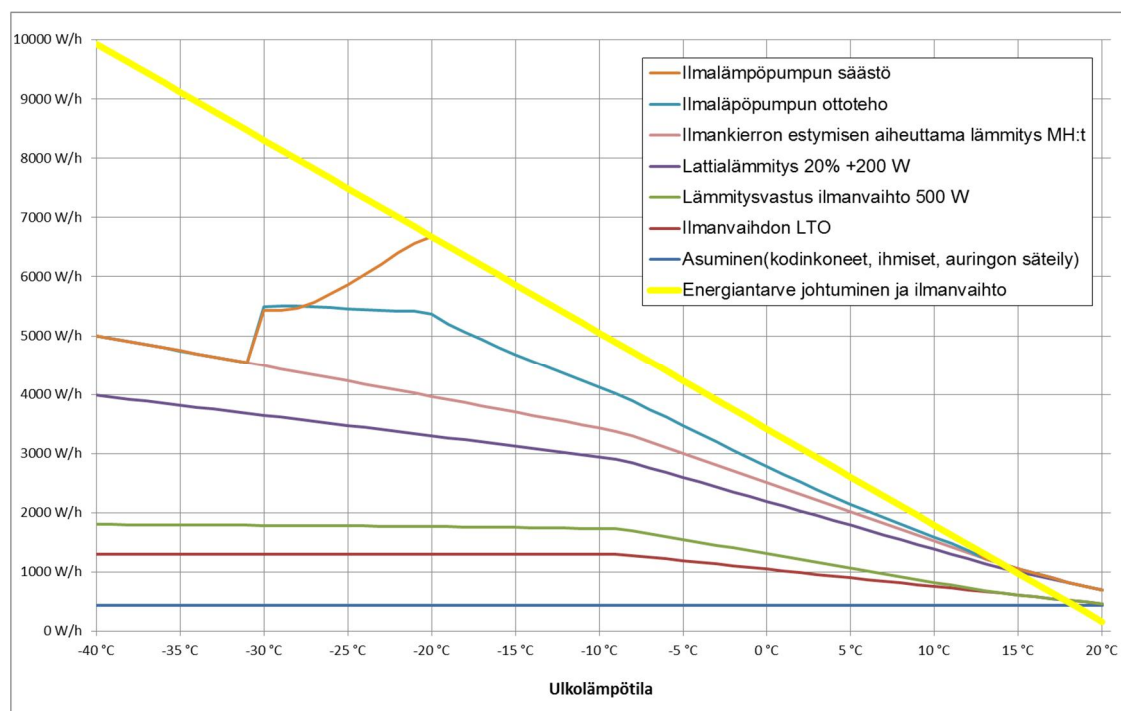
3.2.6 Ilmalämpöpumpulla säästettävän energian määrä

Ilmalämpöpumpun säästämän energian määrittäminen vuositasolla vaatii huomioidaan hyvin monta asiaa, jotka eivät ole lineaarisia tai toistu ajanfunktiona säännöllisesti. Rakenteiden läpi johtuvan lämpöenergian määrä ulkolämpötilan eri arvoilla on helppo määrittää lineaarisena ilmiönä. Ilmanvaihdon energiantarpeen määrittäminen on huomattavasti vaikeampaa, koska siihen vaikuttaa lämmöntalteenoton toiminta ja ilmanvaihtokoneen jäätymisenestotoiminto. Tällöin ilmanvaihtokone rajoittaa koneen tuloilmanpuhaltimen pyörimisnopeutta ja tämä kasvattaa rakenteiden läpi tulevan vuotoilman määrää. Lisäksi esimerkkitapauksessa tuloilmaa on lämmitettävä kun ulkolämpötila laskee alle +13 °C:n.

Kosteissa tiloissa ja myös muualla missä lattiamateriaalina on laatta tai kivi käytetään lattialämmitystä. Lattialämmityksellä parannetaan kosteiden tilojen kuivumista ja siten rakenteiden kosteuspitoisuuden pysymistä riittävän alhaisena kosteusvaurioiden välttämiseksi. Muiden laatta- ja kivipintaisten lattioiden osalla lattialämmitys on ennen kaikkea mukavuustekijä. Laskelmassa on käytetty lattialämmityksen perustehona 200 wattia tunnissa ja sen lisäksi ulkolämpötilan mukaan lisääntyvän lämmitystarpeesta 20 % osuutta. Kyseinen prosenttiosuus vastaa suunnilleen kosteiden tilojen lattiapinta-alan osuutta koko rakennuksen pinta-alasta.

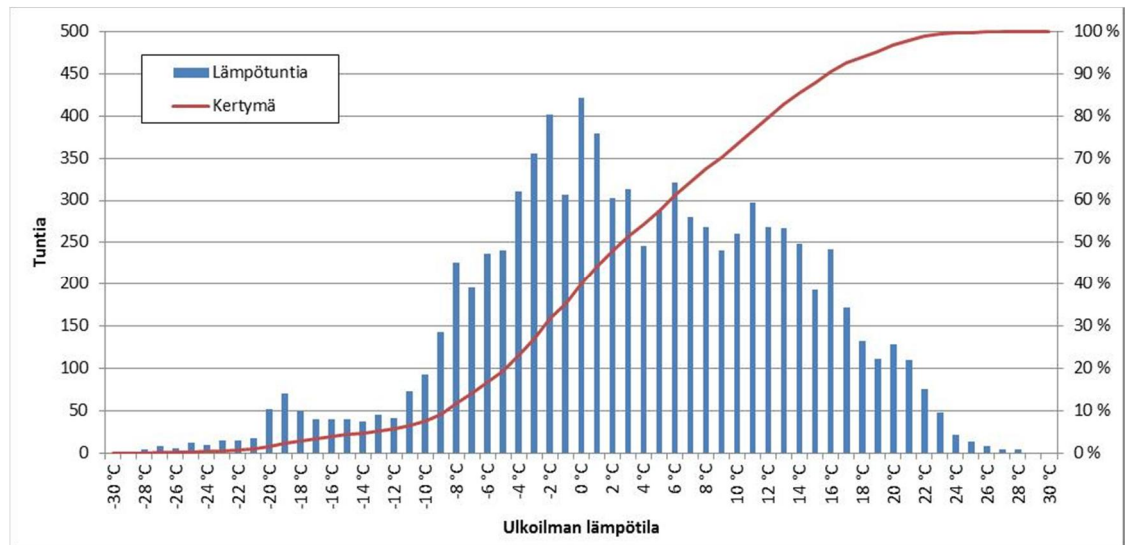
Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö kannattaa sijoittaa siten, että sen tuottama lämpö pääsee leviämään mahdollisimman laajalle lämmitettävään rakennukseen. Esimerkkikohteessa on iso yhtenäinen tila, joka muodostuu olohuoneesta, keittiöstä, takka-huoneesta ja eteisestä. Lämpöpumpun sijoituspaikaksi on oletettu takka-huone. Makuuhuoneet sijaitsevat rakennuksen päädyssä ja niihin kaikkiin on kulku eteisestä. Makuuhuoneiden väliseinät ovat puurunkoisia ja molemmiin puolin kipsilevytettyjä. Väliovissa on kynnykset, jotka estävät ilmankierron ovien ollessa suljettuna. Laskelmissa on makuuhuoneiden lämmitystarve määritelty siten, että väliseinien läpi johtuu oleskelutiloista lämpöä kahden asteen lämpötilaeron seurauksena. Ilmankierron estymisen arvona on käytetty 50 %, makuuhuoneiden ovet suljetaan lähinnä nukkumisen ajaksi.

Lattialämmityksen, makuuhuoneiden lämmittäminen, ilmanvaihdon talteenoton sää-tämä energia, tuloilman jälkilämmitysvastuksen ja asumisen tuottama energia pienentää rakennusten lämmitystarvetta. Esimerkkikohteessa ulkolämpötilan ollessa korkeampi kuin $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ilmalämpöpumpun maksitehoa ei voida enää hyödyntää, kuten kuviosta 24 nähdään. Esimerkki tapauksessa ilmalämpöpumppua voidaan hyödyntää ulkoilmanlämpötilan vaihdellessa $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+13\text{ }^{\circ}\text{C}$:n välillä.



KUVIO 24. Omakotitalon lämmitysenergian tarve ja lähteet eri ulkoilman lämpötiloissa

Rakennuksen vuosittainen lämmitysenergian tarve ja ilmalämpöpumpun tuottama energian säästö on laskettu Jyväskylän TRY2012 vuoden lämpötilojen perusteella. Arvot on annettu joka tunnille, eli yhteensä 8760 kappaletta. Arvojen jakauma ja kertymä on havainnollistettu kaaviossa 25. Ilmalämpöpumpun lämmitys käyttölämpötilan alueelle $-25 - +13\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen, ulkoilman lämpötunneista sattuu noin 83,0 % ja milloin tarvitaan lämmitystä noin 99,6 % tunneista.



KUVIO 25. Lämpötuntien jakauma Jyväskylä TRY2012 (TRY 2011)

Rakennuksen lämmitysenergian tarve johtumisen ja ilmanvaihdon vaikutuksesta on laskettu käyttäen TRY2012 tunneittain määriteltyä ilman ulkolämpötilan arvoja. Kuvi-
ossa 33 esitetyn jakaumaan perustuen on laskettu vuotuisen lämmitys energian
tuottaminen eri lähteiden avulla. Saadut arvot vuositasolla on nähtävissä taulukko
neljässä.

TAULUKKO 4. Rakennuksen lämmitysenergian tarve ja sen tuottaminen Jyväskylän TRY2012 ilmasto-olosuhteissa

Lämmitysenergian tarve ja tuottamistavat	Määrä
Rakennuksen lämmitystarve johtuminen ja ilmanvaihto	25 705 kW
Asumisen (kodinkoneet, ihmiset, auringon säteily) tuottama lämpöenergia	-3 822 kW
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton säästämä energia (vuosihyötuhde 52,2%)	-4 432 kW
Tuloilman jälkilämmitysvastuksen 500 w tuottama lämpöenergia	-1 799 kW
Lattialämmityksen 200 w + 20 % tuottama lämpöenergia	-6 893 kW
Makuuhuoneiden lämmitys	-2 313 kW
Ilmalämpöpumpun ottoteho	-2 413 kW
Ilmalämpöpumpun tuottama energia ulkoilmasta	-4 255 kW
Ostettava sähköenergia lämmitykseen	13 196 kW

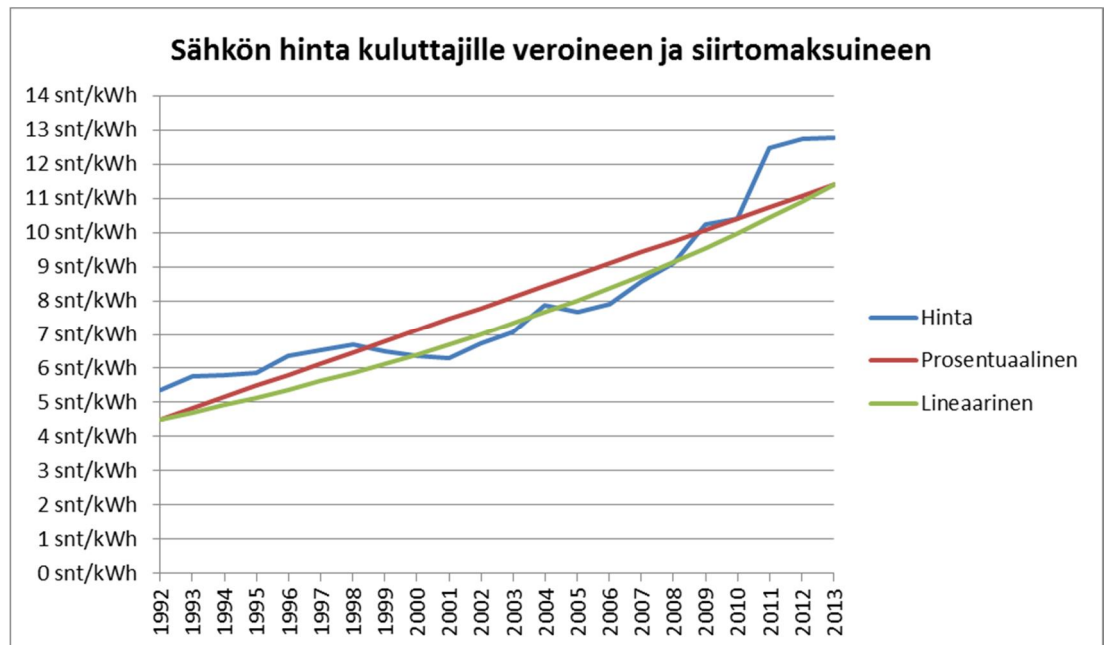
Ilmalämpöpumppu Mitsubishi MSZ-FH25VE tuottaa laskelmassa käytetyillä arvoilla lämmitysenergiaa vuodessa 6 668 kW eli noin 34 % tarpeesta. Lämmitysenergian säästöä syntyy 4 255 kW, joka on noin 21 % ostettavasta lämmitysenergiasta. Ilmalämpöpumpun laskennalliseksi vuosi lämpökertoimeksi muodostuu 2,76.

3.2.7 Ilmalämpöpumpun kokonaishinta

Hintatietoja selvitettiin esimerkkikohteeseen soveltuvien ilmalämpöpumppujen osalta. Tällöin laitteen suositus lämmitysala tuli olla 100–140 m² suorassa sähkölämmityksessä. Hintatietoja löytyy yritysten internetsivuilta. Halvimmat ilmalämpöpumput maksavat noin neljäsataa euroa, suurimman osan hinnan ollessa noin 1000–1700 euroa. Ilmalämpöpumpun perusasennuksen hinta vaihtelee yritysten kotisivuilla antamien tietojen perusteella noin 500–750 euron välillä. Lisäksi tulee varautua mahdollisiin kilometrikorvauksiin kohteen sijainnin perusteella, sähkötöiden aiheuttamiin kuluihin ja sisä- ja ulkoyksikön suuren etäisyyden aiheuttamiin lisätöihin. Ulkoyksikön suojaksi sijoituksesta riippuen, voi olla hyvä hankkia suojus (Suoramedia Oy, 2013). Yksityiseen käyttöön hankitun ilmalämpöpumpun asennuksesta voi pystyä verotuksessa tekemään kotitalousvähennyksen. Kotitalousvähennyksen omavastuu on vuonna 2013 100 euroa ja henkilökohtainen enimmäismäärä 2000 euroa. Vähennykseen hyväksytään 45 % yrittäjälle tai yritykselle maksetuista työkorvauksesta, jotka kuuluvat ennakoperintärekisteriin. (Verohallinto 2013.)

3.2.8 Sähköenergian hinta

Ilmalämpöpumpun tuottama lämpöenergia korvaa tässä työssä sähköenergiaa. Tämän takia rajataan tarkastelu energian hintojen osalta vain kuluttajien sähköenergian ostohinnan kehittymiseen. Tilastokeskuksen tilastoihin perustuen vuodesta 1992 vuoteen 2013, sähkön hinta suorasähkölämmitys talossa, jonka sähkön kulutus on 18 000 kWh ja pääsulakkeet 3x25 A on noussut keskimäärin 0,33 snt/kWh vuosittain. Toinen tapa määrittää keskimääräinen vuosittainen hinnan muutos on prosentuaalinen, tällöin saadaan hinnan nousuksi tarkastelujaksolla noin 4,5 %. Kuluttajien sähköenergian ostohinta on esitetty kuviossa 26, johon on merkitty lineaarinen ja prosentuaalinen hinnankasvu.



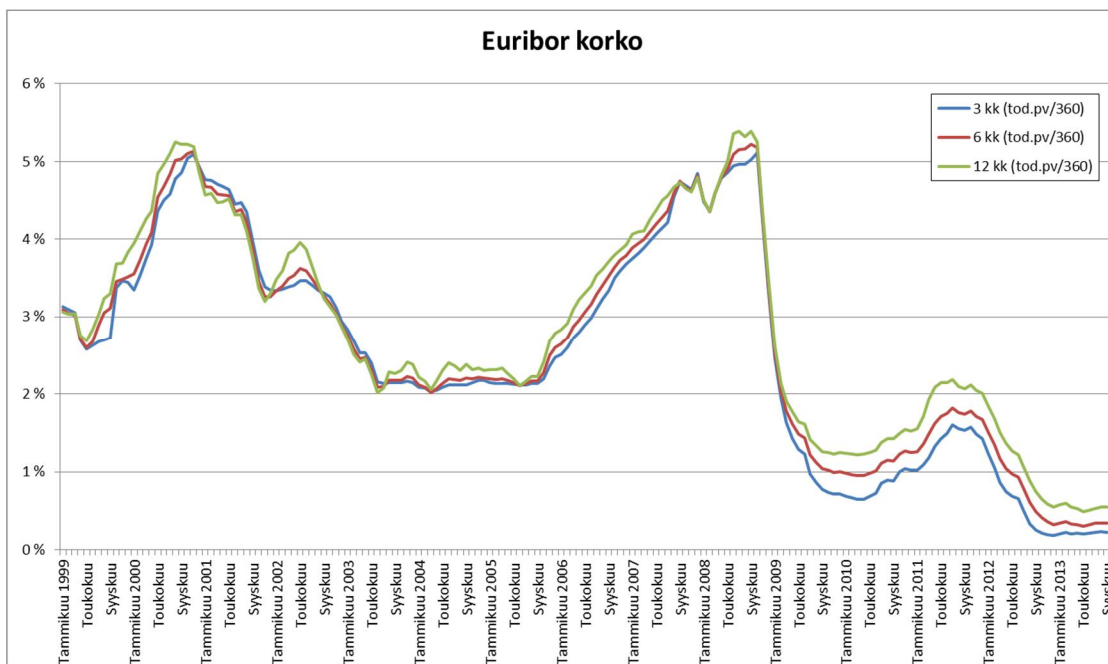
KUVIO 26. Kuluttajien sähkönhinta ja sen laskennallinen muutos (Tilastokeskus 2013)

3.2.9 Korko

Suomen talouspolitiikkaan ja siten myös korkoihin vaikuttaa merkittävästi Suomen kuulumisen vuodesta 1995 alkaen Euroopan unioniin (EU). Samassa yhteydessä Suomi liittyi Euroopan talous- ja rahaliiton (EMU) toiseen vaiheeseen. Vaiheen aikana maiden talouksia pyrittiin lähentämään niin, että EMU:n kolmanteen vaiheeseen eli yhteisen eurorahan käyttöönottoon siirtyminen onnistuisi. Kolmannessa vaiheen

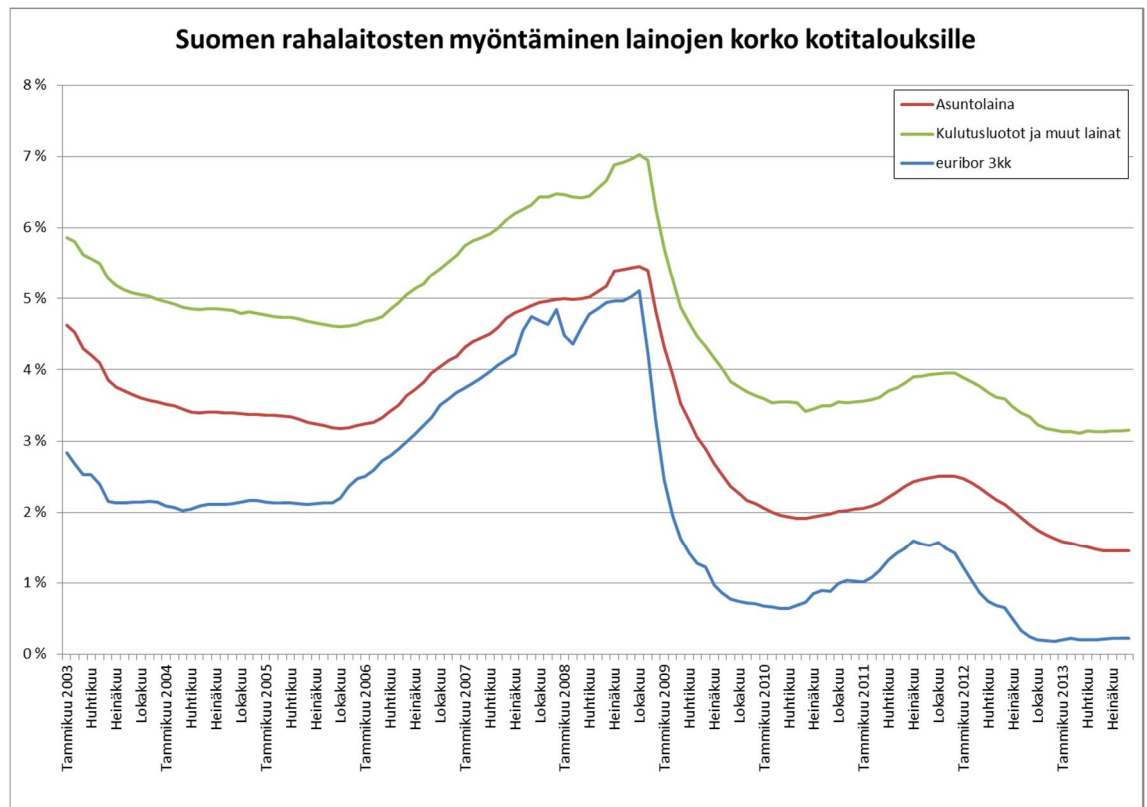
alkaessa 1999 euron käyttö alkoi tilivaluuttana ja vuoden 2002 alussa käyttöön tuli eurosetelit ja kolikot. (Eurooppatiedotus 2013.)

Eurojärjestelmän muodostavat euroalueen keskuspankit, jotka päättävät alueen yhteisestä rahapolitiikasta. Hintavakauden ylläpitäminen on rahapolitiikan päätavoite, jolla pyritään hyväksytyn tavoitteen mukaan turvamaan euron ostovoiman säilyminen. Keskipitkällä aikavälillä kuluttajahintojen nousun tulee olla alle kaksi prosenttia vuodessa, jotta hintavakaus tavoite täyttyisi. Ohjauskoroista eurojärjestelmässä päättää Euroopan keskuspankin neuvosto, jonka jäseniä ovat kansallisten keskuspankkien pääjohtajat. Ohjauskorot heijastuvat markkinakorkoihin ja siten vaikuttavat euroalueen talouden kehittymiseen. (Suomen Pankki 2013a.) Kuluttajien lainat ovat pääosin sidottu euribor korkoihin, joiden arvojen kehittyminen esitetään kuviossa 27.



KUVIO 27. Euribor korkojen muutokset (Suomen Pankki 2013a)

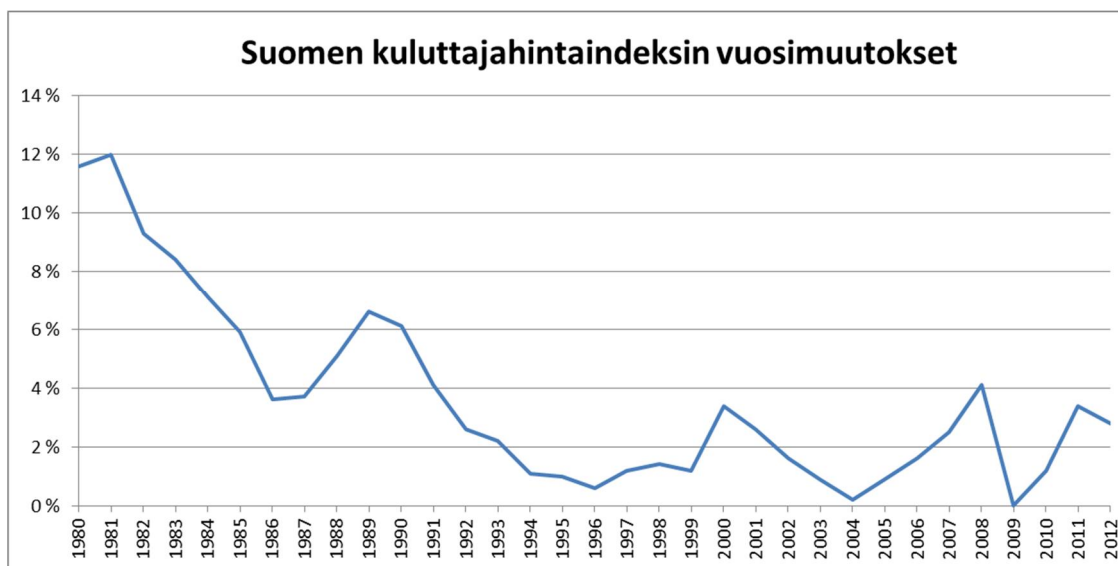
Rahalaitokset lisäävät valitun viitekoron päälle korkomarginaalinsa, jolla ne kattavat toimintakulujaan, luottotappioitaan ja pyrkivät tuottamaan voittoa omistajilleen. Kuvio 28 nähdään suomalaisten rahalaitosten viime vuosikymmen aikana kuluttajille myöntämien lainojen keskikorot. Vertailun vuoksi kuvioon on merkitty myös kyseisen ajankohdan 3 kk:n euribor koron arvo. (Suomen Pankki 2013b.)



KUVIO 28. Lainojen keskikorko kotitalouksille (Suomen Pankki 2013b)

3.2.10 Inflaatio

Inflaatio on pienentynyt Suomessa maamme liittyttyä Euroopan talous- ja rahaliittoon 1999. Kuviossa 29 on Suomen virallinen tilasto kuluttajahintojen muutoksesta vuodesta 1980 alkaen. Euroopan talous- ja rahaliittoon liittymisen jälkeen se on vaihdellut noin 0 – 4 % välillä vuositasolla.



KUVIO 29. Kuluttajahintojen indeksin vuosimuutokset (Suomen virallinen tilasto (SVT) 2013)

3.3 Investointilaskelmat ja simulointi

Tässä työssä käsitellään ilmalämpöpumpun hankinnan kannattavuutta ja siten investoinnin tuotot muodostuvat säästettävän ostoenergian arvosta. Esimerkkikohteena käytetään vuonna 1990 valmistunutta omakotitaloa, jonka pohjanmuoto on suora-kaide ja lämmitettävä pinta-ala 113 m². Rakentamisessa on noudatettu silloin voimassa olleita rakentamismääräyksiä ja lisäeristyksiä ei ole tehty. Rakennus sijaitsee säävyöhykkeellä III, lämmitysmuotona suorasähkölämmitys pattereilla ja koneellisessa tulo-/poistoilmavaihtokoneessa on lämmöntalteenottajana ristivirtalevylämmönsiirrin.

3.3.1 Investointilaskelmissa ja simuloinnissa käytettävät arvot

Työssä aikaisemmin esitettyjen tietojen perusteella on päätetty investointilaskelmissa ja simuloinnissa käytettävien lähtötietojen arvot, jotka on merkitty taulukkoon 5. Lähtöarvojen raja-arvoille ja niiden tiheysfunktioille on pyritty valitsemaan todennäköisimmät arvot. Perinteisissä investointilaskelmissa on käytetty suureiden osalta oletusarvoa, eli arvoa joka esiintyy kaikista useimmiten.

Sähkönhinnan arvona on käytetty 0,114 €/kWh, joka on kahdenkymmenen viime vuoden lineaarisen kuluttaja sähkön hinnan kehityksen arvo vuonna 2013 (Tilasto-

keskus 2013). Vertaa.fi sivuston kautta tehdyn tarjouslaskelman edullisin hinta kuluttajalle veroineen oli 0,1108 €/kWh 25.11.2013, jossa perusmaksujen osuutta ei ole huomioitu. Perusmaksut on käyttäjän kulutuksen suuruudesta riippumatta maksettava.

Ilmalämpöpumpun käyttöiän arviointi on vaikeaa, siihen vaikuttaa hankittava laitteisto, huolto, käyttöolosuhteet ja laitteistojen keston osalla esiintyvä satunnaisuus. Ilmalämpöpumppujen takuu on pisimmillään viisi vuotta. Osa maahantuojista lupaa laitteiden varaosille kymmenen vuoden saatavuuden. Laite myyjien www-sivuilla ilmalämpöpumppujen kestoiksi arvioidaan 10 – 15 vuotta. Laskelmiin valittu kahdeksan vuoden kestoikä on todennäköisesti alle keskiarvon, mutta investoinnin taloudellisen kannattavuuden selvittämisen kannalta riittävän pitkä.

TAULUKKO 5. Ilmalämpöpumppu investoinnin laskenta-arvot

Nimike	Alaraja	Oletusarvo	Keskiarvo	Yläaraja
Hankintahinta	1 500 €	2 003 €	2 100 €	3 000 €
Jäännösarvo	0 €	50 €	50 €	100 €
Nettotulot/vuosi	340 €	490 €	483 €	590 €
Korkokanta	1,0 %	2,5 %	2,5 %	4,0 %
Käyttöikä vuotta	8			

3.4 Deterministiset investointilaskelmat

Takaisinmaksuaika

Esimerkissä ilmalämpöpumpun hankintahinta 2003 € jaetaan nettotuloilla 490 €/vuosi, jolloin takaisinmaksuajaksi saadaan oletusarvoilla laskettuna 4,1 vuotta. Ilmalämpöpumpun arvioidu käyttöikä on kahdeksan vuotta.

Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmä ottaa huomioon hankintahinnan vuosittaisten nettotuottojen lisäksi koron, käyttöiän ja jäännösarvon. Tuloksen nykyarvo on 1 552 €, joka on 57,5 % hankintahinnasta. Laskelmassa on käytetty reaalikorkoa, joten korossa ei ole huomioitu laskentamenetelmään kuuluvaa riskistä aiheutuvaa tuottovaatimuslisää. Taulukossa 6 on esitetty nykyarvomenetelmällä laskettu investoinnin kannattavuus.

TAULUKKO 6. Investointilaskelma nykyarvomenetelmällä

Nimike	Arvo
Hankintahinta	-2 003 €
Jäännösarvo	50 €
Nettotulot/vuosi	490 €
Korkokanta	2,5 %
Käyttöikä vuosina	8
Nettotulojen nykyarvo	3 513 €
Jäännösarvon nykyarvo	41 €
Tuloksen nykyarvo	1 552 €

Annuiteettimenetelmä

Annuiteettimenetelmässä on lasketaan investoinnin pääomakulut käyttöiän vuosille, yhtä suuriksi eriksi. Vuosittaisten nettotulojen pitää olla kannattavassa investoinnissa suuremmat kuin hankintahinnan. Taulukon 7 laskelma osoittaa esimerkin tapauksessa tuoton investoinnin pitoajalla olevan 1731 euroa.

TAULUKKO 7. Investointilaskelma annuiteettimenetelmällä

Nimike	Arvo
Hankintahinta	-2 003 €
Jäännösarvo	50 €
Nettotulot/vuosi	490 €
Korkokanta	2,5 %
Käyttöikä vuosina	8
Investointin annuiteetti/vuosi	-279 €
Jäännösarvon annuiteetti/vuosi	6 €
Tulos/vuosi	216 €
Tuotot yhteensä	1 731 €

Sisäisen korkokannan menetelmä

Investoinnin sisäisen korkokannan laskennassa määritellään se korko, jolla nettotuotosten nykyarvo pitoajalla on suuruudeltaan investoinnin hankintameno. Taulukkoon 8 on laskettu esimerkin sisäinen korko, joka on 18,1 %.

TAULUKKO 8. Laskelma investoinnin sisäisestä korosta

Nimike	Arvo
Hankintahinta	-2 003 €
Jäännösarvo	50 €
Nettotulot/vuosi	490 €
Käyttöikä vuosina	8
Sisäinen korko	18,1 %

3.5 Simulointi

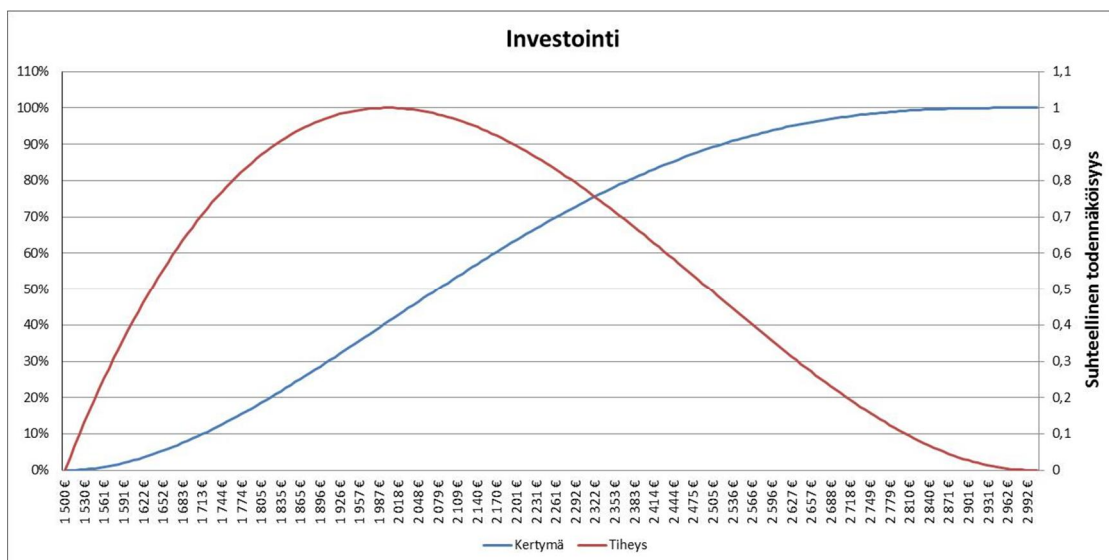
Investointien kannattavuuden simulointiin kehitettiin MS Excel-tilukkolaskenta ohjelmalla sovelluksen, jossa peruslähtöarvojen epätarkkuus määritellään beta-jakaumien avulla.

Simuloinnissa jokainen peruslähtöarvo laskettiin annetun jakauman pohjalta 100 000 kertaa. Sovelluksessa ei aseta riippuvuuksia eri lähtöarvoille toisistaan, joten eri lähtöarvojen vaihtelu ei riipu muista suureista. Taulukossa 9 on esitetty simuloinnissa käytetyt arvot.

TAULUKKO 9. Simuloinnin lähtöarvot

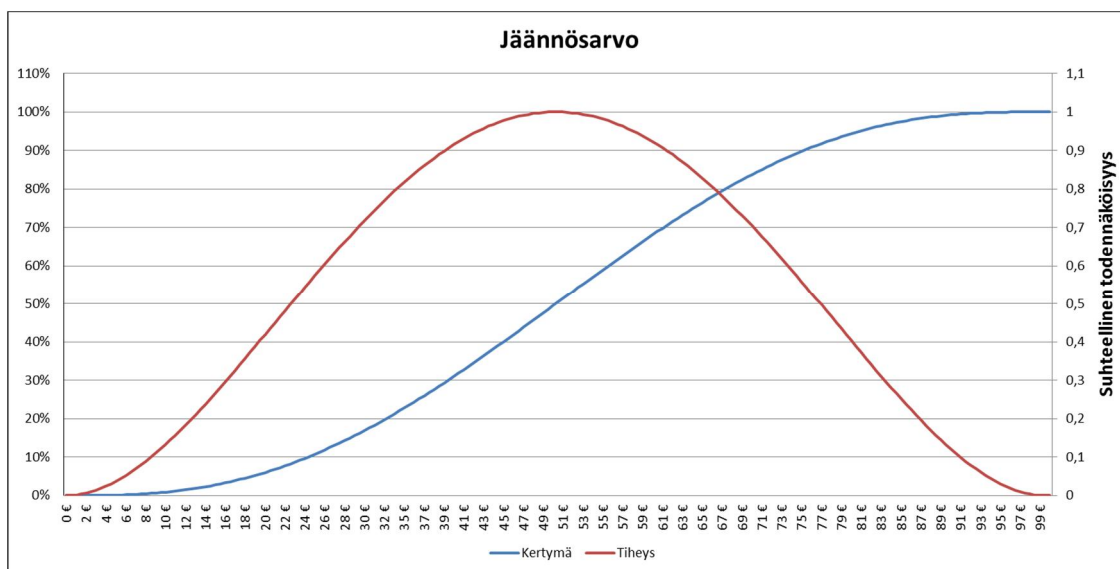
Nimike	Alaraja	Yläraja	Beta- jakauman parametri 1	Beta- jakauman parametri 2	Oletusarvo	Keskiarvo
Hankintahinta	1 500 €	3 000 €	2,0	3,0	2 003 €	2 100 €
Jäännösarvo	0 €	100 €	3,0	3,0	50 €	50 €
Nettotulot/vuosi	340 €	590 €	4,0	3,0	490 €	483 €
Korkokanta	1,0 %	4,0 %	2,5	2,5	2,5 %	2,5 %
Käyttöikä vuotta	8					

Investoinnin osatekijöistä ohjelma piirtää graafiset kuvaajat, kuten kuviossa 30 on investoinnin osalta. Kuviossa esitetään annetuilla lähtöarvoilla investoinnin tiheys- ja kertymäfunktio hankintahinnan osalta.



KUVIO 30. Investoinnin hankintahinnan simuloinnin tiheys- ja kertymäfunktiot

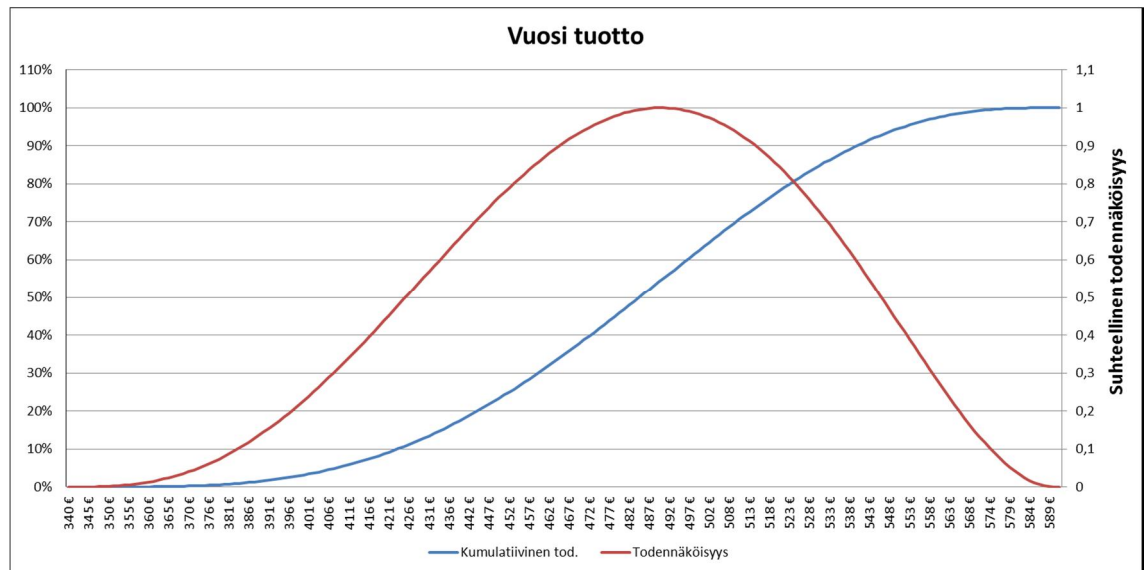
Investoinnin jäännösarvon tiheysfunktio on symmetrinen, beta-jakauman parametrien kertoimien 1 ja 2 ollessa yhtä suuret. Tällöin kertymäfunktio saa arvon 0,5 keskiarvon kohdalla, kuten kuvio 31 nähdään.



KUVIO 31. Investoinnin jäännösarvon simuloinnin tiheys- ja kertymäfunktiot

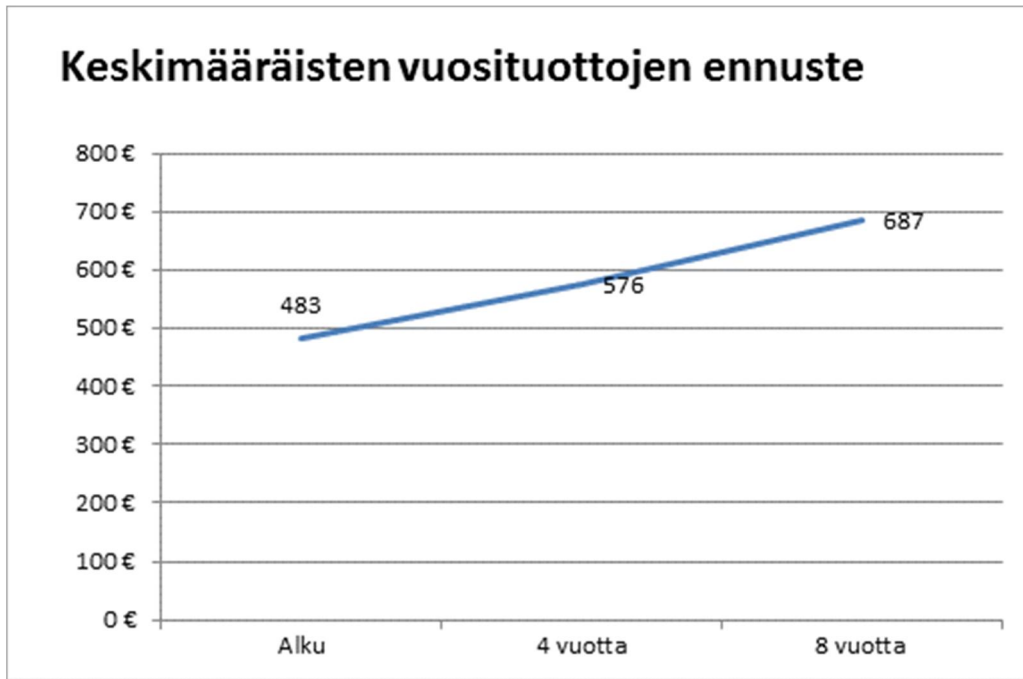
Ilmalämpöpumpun vuosittainen laskennallinen säästö esimerkkitilanteessa valituilla arvoilla on 490 € Jyväskylän TRY2012 vuoden lämpötilojen perusteella. Tuoton saa-

vuttaminen vaatii oikeiden säätöjen tekemistä eri lämmitysjärjestelmiin ja niiden huoltamista. Ilmalämpöpumpun tuottaman lämmön leviämiseen liittyy epävarmuuksia, joita laskelman oletamuksissa on pyritty huomioimaan. Lattialämmityksen osuutta kokonaislämmitysenergian määrästä ei ole mitattua tietoa. Tuottojen oletetaan voivan alittua noin 30 % oletusarvosta ja ylitys oletettaman ollessa noin 20 %. Keskiarvo jää tällöin alle oletusarvon, tuoton funktiot on esitetty kuviossa 32.



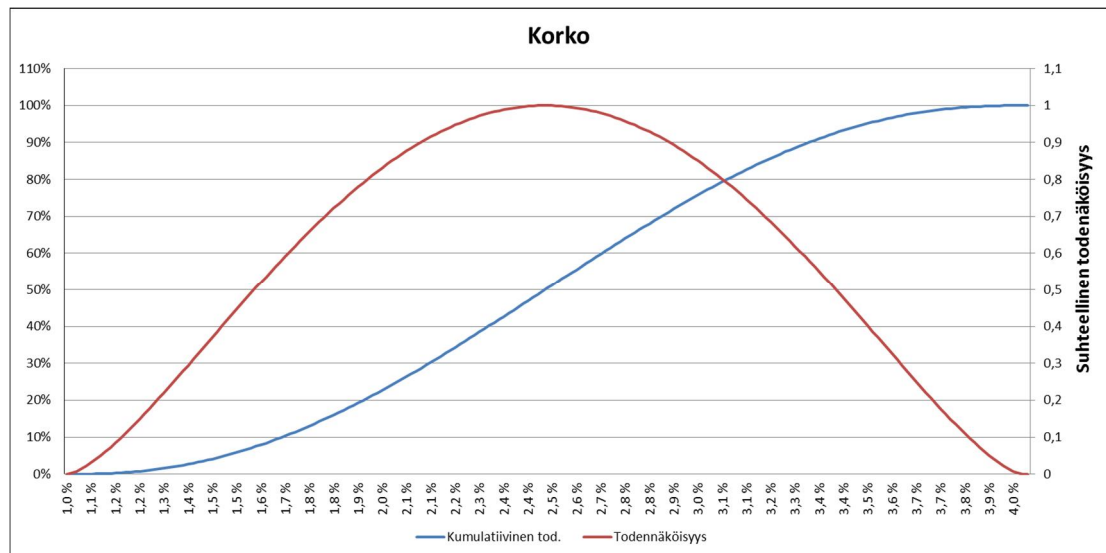
KUVIO 32. Ilmalämpöpumpun tuotto sähkön säästön avulla vuodessa

Kuviossa 32 on tuottojen ennuste ensimmäisen vuoden osalta. Lisäksi simulointiohjelmassa on tuottojen osalta mahdollisuus määrittää kolmen pisteen avulla niiden kehittymisen ennuste tulevaisuudessa. Alkuarvon, kulminaatiopisteen ajankohdan ja arvon, ja investoinnin käyttöajan viimeisen vuoden tulojen arvon suuruudella saadaan muodostettua monenlaisia ennusteita tulevaisuuden tuottojen ennusteiksi. Ilmalämpöpumpun osalta tuottojen odotetaan kasvavan tulevaisuudessa sähkönhinnan nousumisen seurauksena noin 4,5 % vuodessa, joka on esitetty kuviossa 33.



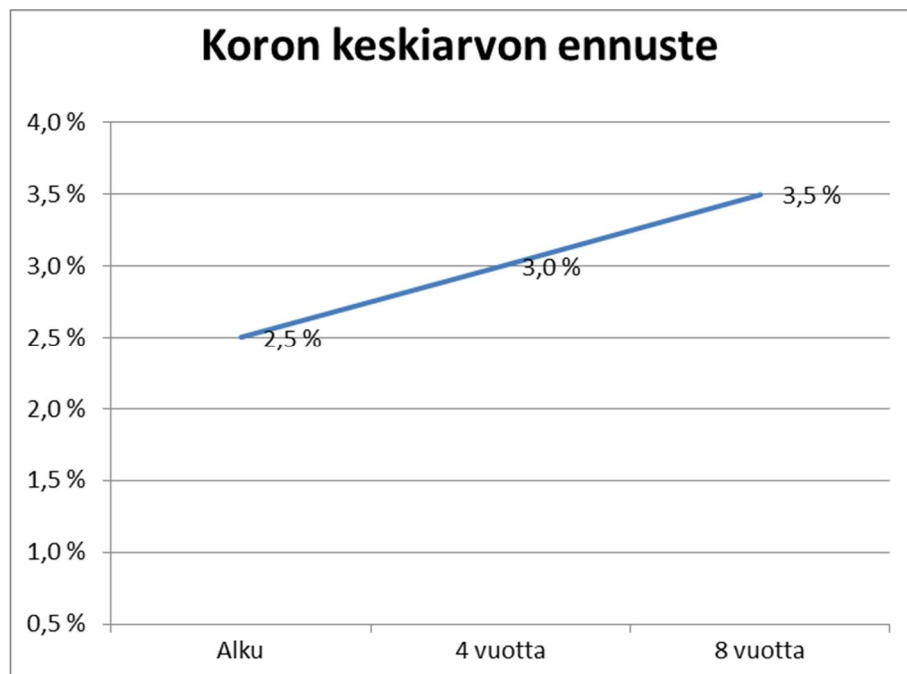
KUVIO 33. Ilmalämpöpumpun vuosituottojen keskiarvo simulointi aikana

Investointien pitoajan kasvaessa simuloinnissa käytettävän laskentakoron merkitys kasvaa. Simulaattorissa inflaatio määritellään erikseen, eli korkona käytetään nimelliskorkoa. Nimelliskoron keskiarvoksi simuloinnissa on oletettu 2,5 %, jonka suhteen se voi vaihdella symmetrisesti. Vaihteluväliksi on oletettu $\pm 1,5$ %, tällöin minimi korko on 1,0 % ja maksimi korko 4,0 %. Symmetrinen tiheysfunktio ja siitä seuraavan kertymäfunktion kuvaajat on esitetty kuviossa 34.



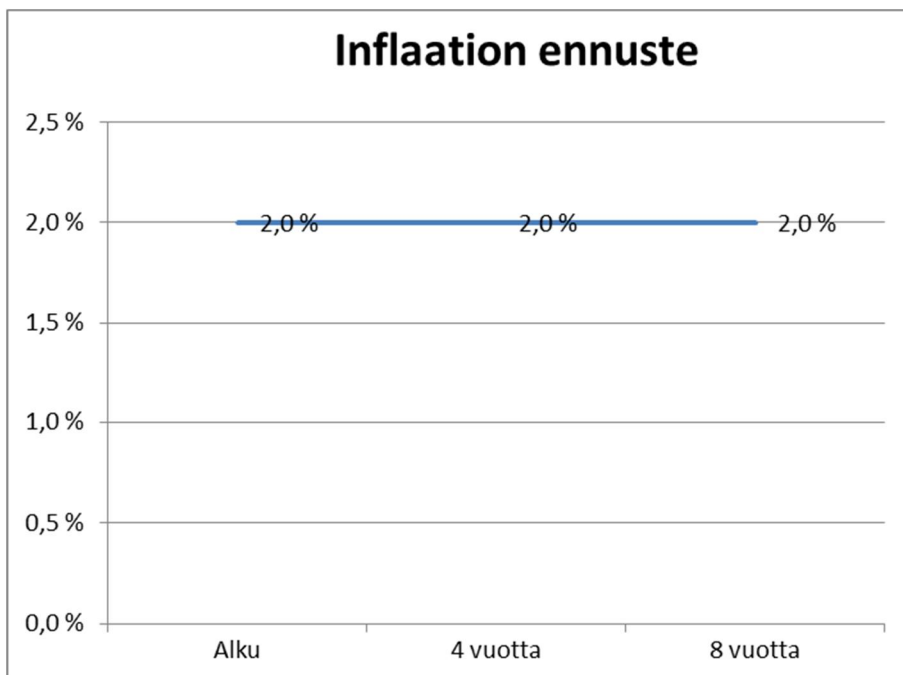
KUVIO 34. Nimelliskoron keskiarvo simuloinnissa

Nimelliskoron lähtöarvon lisäksi simulaattorissa voidaan määritellä koron muutos investoinnin käyttöiän ajalle samalla tavalla kuin tuottojen osalta. Simulointi ajoon on valittu keskikoron nouseminen prosentin, investoinnin kahdeksan vuoden käyttöiän ajalle. Koron kehittyminen simuloinnissa on esitetty kuviossa 35.



KUVIO 35. Nimelliskoron keskiarvo simuloinnissa

Inflaatio vaikuttaa investointien kannattavuuteen, inflaation vaikutuksesta kannattaa investoinnit rahoittaa lainalla. Tällöin lainan takaisinmaksu helpottuu inflaation nostaessa hintoja ja siten myös tuottoja. Toisaalta uusinta investoinnin hintakin nousee. Euroopan unionin inflaatio tavoitteen mukaan simuloinnissa on käytetty koko käyttöiän 2,0 % arvoa inflaatiolle, kuten kuviossa 36 havainnollistetaan. Simulointiohjelmassa voidaan inflaation alkuarvon, kulminaatiopisteen ajankohdan ja arvon, ja investoinnin käyttöajan päättymisen inflaation arvon avulla ottaa huomioon inflaation vaikutus investointiin.

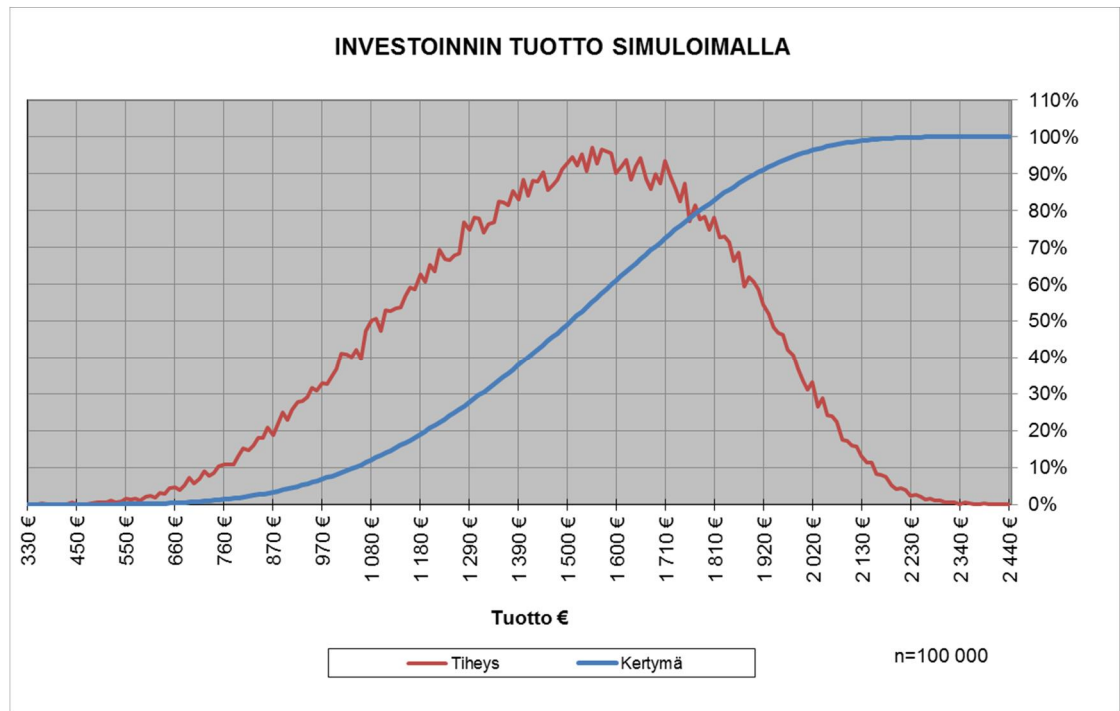


KUVIO 36. Inflaation suuruus investoinnin simuloinnissa

Simulointiohjelmaan on varattu mahdollisuus tehdä investoinnin pitoaikana yksi ylläpito investointi. Sille määritellään suoritus ajankohta, investointihetken mukainen hinta ja hinnan vuosittainen muutosprosentti. Ilmalämpöpumpun tapauksessa ylläpito investointi voisi olla huoltotyö. Simulointi ajoon on sen suoritusajaksi määritelty neljäs käyttövuosi. Ylläpito investoinnin hankinta ajankohdan hinnaksi 200 €, hintojen nousuprosentiksi 2,0 %. Silloin toteutusajankohdan hinnaksi tulee 212 €.

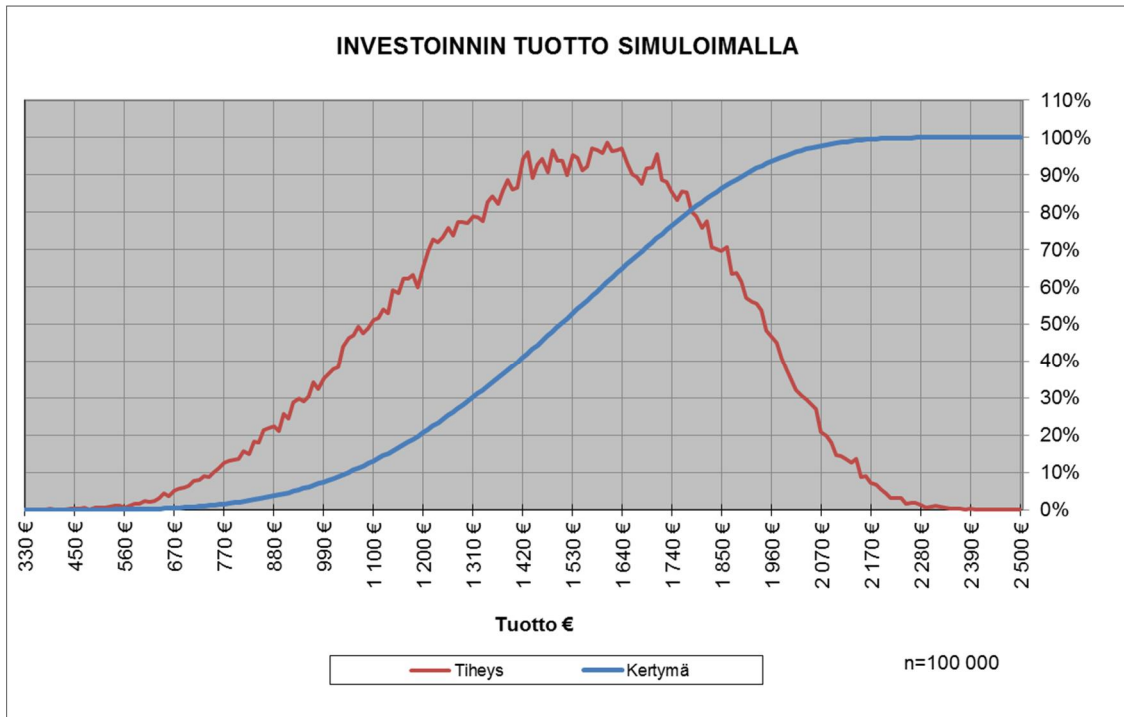
Lähtöarvojen syöttämisen jälkeen ohjelma tekee investoinnin kannattavuuden laskennan perinteisillä laskentamenetelmillä ja simuloimalla. Simuloinnissa satunnaislukugeneraattorin avulla muodostetaan beta-funktioiden avulla määriteltyjen lähtöarvo-

jen tiheysfunktioiden jakaumaa noudattaen 100 000 arvoa joka muuttujan investoinnin käyttöön vuodelle. Näistä arvoista lasketaan lopuksi 100 000 mahdollista tulosta investoinnin tuotolle. Simulaattori etsii tuloksista pienimmän ja suurimman arvon, ja ryhmittelee tulokset kahteensataan tasavälein kasvavaan tuoton arvoon. Näistä arvoista ohjelma tulostaa tuoton tiheys- ja kertymäfunktion. Kuviossa 37 on esitetty ohjelman simuloinnin tulos, edellä esitetyillä lähtöarvoilla.



KUVIO 37. Simuloinnin tulos investoinnin tuotolle

Voimakkaasti stokastisen simuloinnin tulos vaihtelee eri ajoilla, vaikka ohjelmassa on käytetty suurta tapahtumien määrää. Kuvio 38 esittää uuden simulointi kerran investoinnin tulosta, samoilla lähtöarvoilla.



KUVIO 38. Toisen simulointi kerran tulos

Simulointien tuloksia vertaillen kertymäfunktioiden muoto ja arvot ovat hyvin lähellä toisiaan. Tiheysfunktioiden osalla esiintyy paikallista vaihtelua ja yksittäinen ääriarvo tuloksessa vaikuttaa graafisen kuvion asteikkoon, joka ottaa huomioon pienimmän ja suurimman tuoton arvon. Käytetty 100 000 satunnaistapahtuman määrä vuosittain yksittäisille muuttujille, antaa käytännön päätöksen tekoon riittävän tarkkuuden tiheysfunktion avulla.

3.6 Reaaliopiot

Ilmalämpöpumpun hankinnan kannattavuuden osalta tarkastelen seuraavaksi asiaa reaaliopiotien kannalta. Tarkkoja arvoja niille ei ole määritetty, koska tämän tyyppisessä hankinnassa saavutettuun hyötyyn nähden se olisi liian työlästä. Hankinnan kannalta niillä on merkitystä ja ne huomioimalla voidaan parantaa harkinnassa olevan ja tulevien investointien taloudellista kannattavuutta.

Lykkäysoptio

Normatiivisten investointilaskelmien ja simuloinnin avulla ilmalämpöpumpun hankinta on niin selkeästi kannattava, ettei sen toteuttamista kannata lykätä. Tulevaisuudessa ilmalämpöpumppujen vuosilämpökerroin (SCOP) voi nousta. Aikaisemmin käytössä ollut lämpökerroin (COP) ohjasi valmistajia kehittämään laitteita, joiden paras tehokkuus saavutettiin +7 C asteen lämpötilassa. Pohjoismaiden olosuhteisiin paremmin soveltuvien laitteiden osalta valmistajat varmaan parantavat niiden hyötysuhdetta alhaisissa ulkoilmanlämpötiloissa. Kehitys lämpökertoimien osalta on ollut pientä viimeisen kymmenen vuoden aikana, joten sekään ei puolla hankinnan lykkäystä.

Vaiheistusoptio

Esimerkkikohteessa laskelmissa käytetyn lämpöpumpun teho on suhteellisen pieni. Tämä mahdollistaa saatujen kokemusten perusteella hankkia myöhemmin toisen ilmalämpöpumpun, joka voi olla varustettu aurinkokerääjällä. Ilmanvaihtokoneen ja lämminvesivaraajan korvausinvestoinnin yhteydessä voi olla kannattavaa hankkia poistoilmalämpöpumppu. Voimakkaamman käyntiäänien takia, ennen suurempi tehoisen ilmalämpöpumpun hankkimista on syytä saada käyttökokemuksia. Vastaavasti kahdella sisäilmayksiköllä varustettu ilmalämpöpumppu ei esimerkki kohteessa merkittävästi parantaisi lämmönjakautumista ja saavutettavat lisä säästöt olisi vähäisiä. Valittu ilmalämpöpumppu on laskelmien mukaan kannattava investointi ja antaa tulevaisuudessa mahdollisuuksia tehdä kannattavia investointeja energiankäytön vähentämiseksi asumis- ja käyttömukavuus huomioiden.

Skaalausoptio

Ilmalämpöpumpun tapauksessa toiminta-asteen ja kapasiteetin muuttaminen olosuhteiden vaihdellessa ei käytännössä tuo säätöjä. Hankinnan jälkeen sitä kannattaa käyttää, kylmänä ajanjaksona sähköenergian säästämiseksi kannatta tuottaa mahdollisimman suuri osuus lämmöstä puilla, siitä osuudesta mitä ilmalämpöpumpun tuotto ei kata.

Hylkäysoptio

Hylkäysoption voi tehdä ilmalämpöpumpun tapauksessa poistamalla laitteen käytöstä ja myymällä eteenpäin. Asennustöiden kustannuksesta ja arvonalennuksesta tulee tällöin tappiota. Yleislaitteena ilmalämpöpumppu on hyvin realisoitavissa.

Vaihto-optio

Yritys investoinneissa tuotevalikoiman, käytettävien raaka-aineiden, tuotantomene-
telmän, tavarantoimittajien vaihtamismahdollisuudella haetaan vaihto-optioita. Tällöin
joustavuutta voidaan saada myös tuotannon hajauttamisella. Suoralla sähköllä läm-
mitettävän omakotitalon ostolämmitysenergian kulutusta voidaan pienentää monella
tavalla. Nyt laskennallisesti kannattavaksi osoittautuneen ilmalämpöpumpun hankin-
nan lisäksi voidaan esimerkiksi parantaa rakenteiden eristävyttä, rakentaa aurinko-
kerääjiä ja hyödyntää aurinkosähköä. Vesikiertoisen lämmönjakojärjestelmän puut-
tuminen tekee maalämmön käyttämisen tällä hetkellä taloudellisesti kannattomaksi.

Kasvuoptio

Ilmalämpöpumpun hankinnassa kasvun sijasta haetaan lisäsäästöjä. Tällöin ilmaläm-
pöpumppua hankittaessa kannattaisi pyrkiä hankkimaan laite johon voi lisätä toisen
sisäyksikön tai siinä olisi valmius hyödyntää aurinkoenergiaa. Toisaalta ilmalämpö-
pumpun sijoituksessa voi pyrkiä jättämään mahdollisuuden toisen ilmalämpöpumpun
myöhempää asennusta varten. Tällä ratkaisulla esimerkikohteessa varmistettaisiin
ilmalämpöpumppujen tuottaman lämpöenergian tasaisempi jakaantuminen.

Moniulotteiset vuorovaikutusoptiot

Esimerkki-investointi on monessa mielessä yksinkertainen, kuitenkin siitä löytyy
monia reaalioptioita. Laskelmiin valitun ilmalämpöpumpun pienehkö teho mahdollis-
taa myöhemmin monella tavalla pienentää osto lämmitysenergian määrää. Arvon
määrittäminen tälle mahdollisuudelle on todella vaikeaa, koska jonkun option käyttö
yleensä vaikuttaa jäljelle jääneiden optioiden arvoon. Jos rakennuksen ilmavaihtoko-
neen ja lämminvesivaraajan tilalle hankitaan poistoilmalämpöpumppu joka lämmittää
käyttövettä ja tuloilmaa, pienentää se muiden ostoenergian käytön vähentämiseen

tarjolla olevien vaihtoehtojen kannattavuutta. Moniulotteisten vuorovaikutusoptioiden arvoja ei tässäkään tapauksessa voi laskea yhteen.

3.7 Ilmalämpöpumpun kasvihuonepäästöjen vähennys

Ilmalämpöpumpun säästämäksi sähköenergian määräksi saatiin 4 255 kW vuosittain. Arviodun investoinnin kahdeksan vuoden käyttöiän aikana kokonaissäästö sähköenergian osalta kulutuspisteessä olisi noin 34 040 kW. Motiva Oy:n mukaan Suomen keskimääräinen sähkönhankintaa vastaavaa CO₂-päästökerroin oli 210 kgCO₂/MWh viiden vuoden liukuvana keskiarvona tilastovuonna 2011. Silloin CO₂-päästöiksi muutettuja kasvihuonekaasuja syntyy noin 7 150 kg vähemmän ilmalämpöpumpun avulla kahdeksan vuoden aikana.

4 TULOKSET

4.1 Investointisimulaattori

Kehittämistyössä saatiin toteutettua taulukkolaskentaohjelmalla yleisten investointi tapausten käsittelyyn simulaattori. Investointi simuloinnin lähtöarvoihin voidaan beta-jakaumien avulla määrittää epävarmuus, kuten oli tavoitteena. Investointisimulaattori piirtää numeerisista lähtöarvoista graafiset kuvaajat samoin kuin simuloinnin suorituksen jälkeen investoinnin kannattavuudesta. Simulaattori on helppokäyttöinen ja testauksen perusteella huomioi oikein lähtöarvot ja niiden muutokset. Tulosteiden luettavuus on hyvä erilaisilla investointien suuruus arvoilla ja epävarmuuksilla. Simuloinnin suoritus aika on noin kolme minuuttia kymmenen vuoden investoinnin käytöillä, joka voisi olla lyhyempi.

4.2 Simulointi ja vertailu laskelmat ilmalämpöpumpun kannattavuudesta

Perinteisten laskentamenetelmien ja simuloinnin avulla suoritettujen laskelmien perusteella ilmalämpöpumpun hankinta esimerkkikohteeseen on hyvin kannattava investointi taloudellisesti. Simuloinnin avulla saatiin investoinnin tunnistettujen ja määriteltujen riskien vaikutus investoinnin kannattavuuden toteutumiseen hyvin havainnollistettua. Erikseen suoritettu ilmalämpöpumpun toiminnan simulointi esimerkkikohteessa opetti ja osoitti muiden lämmitysjärjestelmien säädön ja huomioimisen tärkeyden lopputuloksen kannalta. Havainto vahvistaa simulointiteoriassa esitettyä mahdollisuutta uuden tiedon ja ymmärryksen syntymisestä.

4.3 Reaalioptiot

Reaalioptiotarkastelu toi esille monia vaihtoehtoja ja katsontakantoja investointien kannattavuuden parantamiseksi, tulevaisuuden muuttuvissa olosuhteissa. Esimerkkikohteessa kannattaa valita teholtaan pienehkö ilmalämpöpumppu, tällöin voidaan käyttökokemusten tuottaman tiedon avulla jatkossa tehdä uusia kannattavia investointeja rakennuksen ostettavan energiamäärän vähentämiseksi. Tarkastelussa tuli esille ajankohdan merkitys, olosuhteiden muuttuminen kannattaa ottaa huomioon investointeja tehdessä. Analysoinnin avulla tiedetään ennakoon, kuinka paljon muutosta tarvitaan nykytilanteeseen kannattavan investoinnin toteuttamiseksi.

4.4 Kestäväkehitys

Ilmalämpöpumppu vähentää kasvihuonepäästöjä kahdeksan vuoden aikana noin 7 150 kg esimerkikohteessa. Vertailun vuoksi henkilöauton tavanomainen CO₂-päästö kilometrille on 171 g (Helsingin seudun liikenne 2013). Vuosittain sähkön säästö vastaa noin 5 200 kilometrin ajoa henkilöautolla. Kansainvälisen energianjärjestön mukaan 2011 Suomen CO₂-päästöt jaettuna asukasta kohden olivat 10 320 kg vuodessa. Ilmalämpöpumpun vuotuinen säästö CO₂ päästöille on silloin noin 8,2 % laskettuna yhdelle hengelle. Taloudellisesti kannattavana, helposti toteutettavana ja kestävästä kehitystä tukevana investointina ilmalämpöpumppu tulee hankkia esimerkikohteeseen. Tulevaisuudessa kestävä kehityksen turvaamiseksi, ihmisten on maksettava uusiutumattomien energialähteiden käytöstä. Nyt pitää toteuttaa, edes kaikki taloudellisesti kannattavat kasvihuonepäästöjä vähentävät investoinnit.

5 YHTEENVETO KEHITTÄMISTEHTÄVÄSTÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli ottaa huomioon lähtötietojen stokastisuus investointilaskelmissa ja kehittää taulukkolaskentaohjelmalla investointisimulaattori, joka soveltuu yleisten investointitapausten laskentaan. Sovelluksessa lähtöarvojen stokastisuus annetaan beta-jakautumien avulla. Esimerkki-investointina käytetyn ilmalämpöpumpun toiminta simuloitiin TRY2012 testivuoden tuntikohtaisilla ulkolämpötilan arvoilla. Saatua säästetyn ostoenergian määrää käytettiin investointisimuloinnin lähtötietona.

Stokastisia muuttujia sisältävän dynaamisen mallin simuloinnin avulla epävarmuuksien vaikutukset saadaan esille todennäköisyysjakaumien ja kertymien muodossa. Simuloimalla saatu todennäköisyysjakauma kertoo myös tuloksen raja-arvot, joiden avulla lähtöarvojen aiheuttamaa epävarmuutta voidaan huomioita deterministisiä laskumenetelmiä huomattavasti paremmin. Lähtöarvoja muuttamalla suoritettujen simulointien avulla saadaan selville lähtöarvojen vaikutus investoinnin kannattavuuteen. Simuloimalla voidaan myös investoinnin pitoaikana tutkia eri muuttujien vaikutusta prosessiin, ja siten parantaa investoinnin kannattavuutta. Simulointimallin rakentaminen parantaa prosessin toiminnan ymmärtämistä ja saadun tiedon avulla voidaan hallita kokonaisuutta entistä paremmin ja löytää alkuperäisen investoinnin lisäksi muita toimenpiteitä toiminnan kehittämiseksi.

Työssä eniten aikaa meni investointilaskenta ja omakotitalon lämmitysenergian käyttöä mallintavien simulaattoreiden tekemiseen ja testaamiseen. Investointisimulaattorin simulointikertoina käytettiin 100 000 tapahtumaa jokaiselle muuttujalle vuosittain. Tällöin simulointiajon suorituksen kesto oli muutamia minuutteja. Saadut tulokset kertymä - ja todennäköisyys jakaumien osalta olivat tarkkuudeltaan riittäviä. Eri simulointi kerroilla jotka suoritettiin samoilla lähtöarvoilla, tulokset eivät poikenneet merkittävästi toisistaan.

Reaalioptioiden teoriaa, niiden huomioimista ja vaikutusta lämpöpumpun hankinnassa käsiteltiin sanallisessa muodossa. Niiden merkityksen huomioiminen sopii ja tukee dynaamisen ja stokastisen prosessin kannattavuuden määrittämistä. Reaaliopioille tulisi vielä laskea numeeriset arvot. Postmodernissa yhteiskunnassa, jossa epävarmuudet lisääntyvät ja muutokset tapahtuvat entistä nopeammin, optioiden avulla investoinnin suorituksen ajankohta voidaan valita paremmin ja hakea investointiprosessille sen käyttöaikana kannattavuutta parantavia ja varmistavia ratkaisuja.

Tutkimustukoksiin perustuva ilmaston lämpeneminen merkittävimpana ympäristöuhkana tulisi ottaa aina huomioon toiminnassamme. Ilmastonmuutoksen rajoittamiseksi ihmisten, yritysten ja yhteisöjen on vähennettävä energian tuottoa fossiilisten polttoaineiden avulla. Yleisesti energian käyttöä on vähennettävä ja siirryttävä käyttämään uusiutuvia energianlähteitä. Esimerkkikohteessa ilmalämpöpumpun avulla voidaan vähentää kasvihuonepäästöjä ja säästää samalla rahaa. Ilmalämpöpumppu kannattaa hankkia esimerkkikohteeseen. Tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen rajoittamiseksi tehtävistä toimista ihmiset joutuvat maksamaan. Välittömästi pitäisi toteuttaa hankkeet, jotka pienentävät kasvihuonepäästöjä ja ovat samalla taloudellisesti kannattavia. Tulos osoittaa, että ilmastonmuutoksen torjumiseksi on vielä käyttämättä taloudellisesti kannattaviakin tekoja.

Työn tulos koskee vain esimerkkikohdetta, ja ei siten ole yleistettävissä. Epävarmuuksien huomioiminen ja simuloinnin kuvaus soveltuu yleisemmin prosessien tutkimiseen ja kannattavuuden arvioimiseen. Työssäni kehittämän investointisimulaattorin avulla voidaan tutkia yleisten stokastisten investointien kannattavuutta.

Investoinninsimulaattoria voi jatkokehittää ottamaan huomioon lähtöarvojen muutosten riippuvuudet toisistaan. Esimerkiksi korko, inflaatio ja tuotot ovat yleensä sidoksissa toisiinsa. Lisäksi kehitetyn simulaattorin laskentaan käyttämää aikaa pitäisi saada pienennettyä käytettävyyden parantamiseksi.

LÄHTEET

Acento AS. 2013. [Viitattu 1.3.2013]. Saatavissa: http://www.acento.no/xp/pub/venstre_hovedmeny/business_areas/leasing/index.html

Carson, J. 2003: Introduction to Modeling and Simulation. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference. New York. [Viitattu 2.5.2013]. Saatavissa: <http://www.informs-sim.org/wsc03papers/002.pdf>

United States Census Bureau 2014. People and Households/International Programs Main/ Data/ World Population/ Historical Population [Viitattu 12.4.2014]. Saatavissa: https://www.census.gov/population/international/data/worldpop/table_history.php

EU:N komissio 2013. VIHREÄ KIRJA Ilmasto- ja energiapolitiikan puitteet vuoteen 2030. [Viitattu 20.4.2013]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0169:FIN:FI:PDF>

Euroopan unionin virallinen lehti, 10.3.2012. [Viitattu 8.10.2013]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:072:0007:0027:FI:PDF>

Euroopan unionin virallinen lehti, 6.7.2011. [Viitattu 7.10.2013]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/6678/EU-asetus_huoneilmastointilaitteet_626_2011.pdf

Eurooppatiedotus, 2013. Suomi EU:ssa/Suomen tie jäsenyyteen. [Viitattu 29.10.2013]. Saatavissa: <http://www.eurooppatiedotus.fi/public/default.aspx?nodeid=37838&contentlan=1&culture=fi-FI#.UnPsf4Q8JD8>

Helsingin seudun liikenne, 2013. [Viitattu 30.12.2013]. Saatavissa: <http://www.hsljalki.fi/fi/menu/info>

Honkaniemi, H. & Kiiras J. 2010. Kvantitatiiviset menetelmät osana riskienhallinnan palvelutuotetta, PjRi-tutkimuksen osaraportti 4. Espoo. Aalto yliopiston teknillinen korkeakoulu, insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta, rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitos

Hyvönen, V. 2005. Logistiikkajärjestelmien mallintaminen. [Viitattu 3.5.2013]. Saatavissa: <http://www.operaatiotutkimus.fi/seminarit/205/esitykset/hyvonen.pdf>

Ilmastomuutoksen taloudelliset vaikutukset. 2007, suomentanut Ympäristöministeriö [Viitattu 19.04.2013]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=76954&lan=fi>

Ilmatieteenlaitos/Ilmasto/Kuukausitilastot 2013. [Viitattu 27.4.2013]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>

Ilmatieteenlaitos/palvelut yrityksille/Rakentaminen ja kiinteistönhuolto/Huomioita testivuosiin käytöstä. 2013. [Viitattu 27.4.2013]. Saatavissa: http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=2bb284c4-a8c5-49fa-8f03-25ec88af0586&groupId=30106

Niemi, O 2009. Ympäristötalkoiden lähtökohdat ja rakennusalan rooli. Julkaisussa: Junnila, S (toim.) Rakentamisen energiatulevaisuus. Helsinki: Suomen itsenäisyyden juhlarahasto, Edita Prima Oy, 53 – 61.

Jäähdytinpalvelu RefGroup Oy. 2013. [Viitattu 7.10.2013]. Saatavissa: <http://www.ilmalampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-lampopumppu/energian-saasto>

Kansainvälinen energiajärjestö IEA. 2013. Countries/Finland/Statistics/Balances. [Viitattu 30.12.2013]. Saatavissa: <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?&country=FINLAND&year=2011&product=Indicators>

Kansola, M. 2010. Tuotantostrateginen päätöksenteko yrityksissä. Helsinki: VTT, Edita Prima Oy

Kasvio, A. 2012. Kestävää työtä. Luento Savon ammatti- ja aikuisopiston tapahtumassa Kestävän kehityksen polkua ammattilaiseksi Kuopiossa 20.9.2012

Kempainen, K. [Viitattu 10.3.2013]. Saatavissa: https://noppa.aalto.fi/noppa/.../A35A00110_luento_gamma_-_kalvot.pdf

Keski-Uudenmaan Kehittämiskeskus Oy 2013. [Viitattu 10.3.2013]. Saatavissa: http://www.yritystulkki.fi/files/yt22_investoinnin_laskenta_keuke.pdf

Kinnunen, J., Leppiniemi, J., Puttonen, V. & Virtanen, K. 2002. Tietoa yrityksen taloudesta. Keuruu: KY-Palvelu Oy

Kinnunen, J., Laitinen, E.K., Laitinen, T., Leppiniemi J. & Puttonen V. 2006. Mitä on yrityksen taloushallinto? Helsinki: KY-Palvelu Oy.

Kiviniemi, M. 1996. Talonrakentamisen tuotteiden ja toimintatapojen vertailu. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus

Kuumola, E. 2000. Laivueen toiminnan simulointi. [Viitattu 23.4.2013]. Saatavissa: <http://sal.aalto.fi/publications/pdf-files/ekuu00.pdf>

Kuusela, H. & Ollikainen, R. 2005. Riskit ja riskienhallinta. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy

Laitinen, E. 2013. Mallien tyyppejä. Oulun yliopisto. Matemaattisten tieteiden laitos. [Viitattu 10.5.2013]. Saatavissa: <http://alpha.cc.tut.fi/mallinnus/kurssit/materiaali/MallienTyyppeja.pdf>

Laki elinkeinotulon verottamisesta. [Viitattu 15.4.2013]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1968/19680360>

Leppiniemi, J. & Puttonen, V. 2002. Yrityksen Rahoitus, 2. uudistettu painos. Porvoo: WS Bookwell Oy

Leppiniemi, J. 2009. Rahoitus, 5. uudistettu painos. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy

Mellin, I. 2006. Todennäköisyyslaskenta: Todennäköisyysjakaumia. [viitattu 3.4.2013]. Saatavissa: <http://math.aalto.fi/opetus/sovtoda/oppikirja/TodLaskJakaumat.pdf>

Motiva Oy 2013. Taustatietoa/Energiankäyttö Suomessa/Energiankulutuksen hiilidioksidipäästöjen laskenta/CO₂-päästökertoimet. [Viitattu 30.12.2013]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto_suomessa/energiankulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskenta/co2-paastokertoimet

Napari, I. 2009. Termofysiikan perusteet. Helsingin yliopisto. [Viitattu 22.4.2013]. Saatavissa: http://www.courses.physics.helsinki.fi/fys/termo/termofysiikka2013_hv.pdf

Nokka, J. 2012. Sähköajoneuvon sähkökäytön ja mekaniikan reaaliaikaisen yhdistelmäsimulaation toteuttaminen virtuaaliympäristössä. [Viitattu 18.4.2013]. Saatavissa: http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/84996/nokka_kandidaatintyo_26102012.pdf?sequence=1

Paasivaara, M. 2002. Prosessin simulointi yritysverkostojen kehittämisen apuna. Teknillinen korkeakoulu. [Viitattu 9.5.2013]. Saatavissa: http://www.soberit.hut.fi/prodoku/publications/Simulointipeli_yleinen_raportti_valmis.pdf

Pellinen, J. 2006. Kustannuslaskenta ja kannattavuusajattelu. Gummerus Kirjapaino Oy

Pohjois-Savon TE-keskus. 2004. Simulointi- ja mallintamistyökalut sosiaali- ja terveydenhuollon kehittämisen välineenä. Pohjois-Savon TE-keskus, teknologia yksikkö. [Viitattu 2.5.2013]. Saatavissa: <http://www2.te-keskus.fi/new/pos/Raportit/SIMULOINTI%20%E2%80%93%20JA%20MALLINTAMISTY%C3%96KALUT%20raportti.pdf>

Scanoffice Oy 2013. Ilmalämpöpumput – Tietoa ilmalämpöpumpuista – VTT:n testiraportit. [Viitattu 25.5.2013]. Saatavissa: <http://www.scanoffice.fi/fi/tietoa-laempoepumpuista/vtt-n-testiraportit/>

Suomen Pankki. 2013a. Rahapolitiikka. [Viitattu 30.10.2013]. Saatavissa: <http://www.suomenpankki.fi/fi/rahopolitiikka/Pages/default.aspx>

Suomen Pankki. 2013b. Tilastot/ Rahalaitosten tase (lainat ja talletukset) ja korot/Taulukot/ 4.05 Lainat kotitalouksille käyttötarkoituksittain. [Viitattu 30.10.2013]. Saatavissa: http://www.suomenpankki.fi/fi/tilastot/tase_ja_korko/Pages/tilastot_rahallaitosten_lainat_talletukset_ja_korot_lainat_lainat_kotitalouksille_fi.aspx

Suomen Pankki. 2013c. Tilastot/Korot/Taulukot/Euribor ja euniakorko vuodesta 1999. [Viitattu 28.10.2013]. Saatavissa: http://www.suomenpankki.fi/fi/tilastot/korot/Pages/tilastot_markkina_ja_hallinnolliset_korot_euribor_korot_long_fi.aspx

Suomen virallinen tilasto (SVT): Kuluttajahintaindeksi [verkkojulkaisu]. ISSN=1796-3524. syyskuu 2013, Liitetaulukko 3. Kuluttajahintaindeksin vuosimuutokset, prosenttia . Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 3.11.2013]. Saantitapa: http://www.stat.fi/til/khi/2013/09/khi_2013_09_2013-10-14_tau_003_fi.html

Suoramedia Oy. 2013. Katsaus vuoden 2013 ilmalämpöpumppuihin. [Viitattu 17.10.2013]. Saatavissa: <http://www.suomela.fi/lammitys-lvis/Ilmalampopumput/vuoden-2013-ilmalampopumppumallit-68063>

Taanila, A. 2011. Todennäköislaskentaa ja -jakaumia. [Viitattu 17.4.2014]. Saatavissa: <http://myy.haaga-helia.fi/~taaak/m/toden.pdf>

Tuhkanen, H. 2004. Reaaliopitot investointien kannattavuuden arvioinnissa. Jyväskylän yliopisto. Pro Gradu. [Viitattu 18.4.2013]. Saatavissa: <https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/9147/G0000496.pdf?sequence=1>

Tulkki, J. 2004. KIERTOPROSESSIT JA TERMODYNAAMISET KONEET. Luentomoniste. [Viitattu 22.4.2013]. Saatavissa: http://www.lce.hut.fi/teaching/S-114.325/luennot/I_Luku8_S04.pdf

Vallox Oy. MUH-ilmava 100 asennusohje. [Viitattu 28.5.2013]. Saatavissa: <http://onninen.procus.fi/documents/original/13068/5/1/Muh100ao.pdf>

Valtioneuvoston tulevaisuusselonteko ilmasto- ja energiapolitiikasta kohti vähäpäästöistä Suomea. 2009. [Viitattu 20.04.2013]. Saatavissa: http://vnk.fi/julkaisukansio/2009/j28-ilmasto-selonteko-j29-klimat-framtidsredogorelse-j30-climate_/pdf/fi.pdf

Vanhalakka, T. 2014. Energiatoteutuksille ratkaisuille perustuva investointipotentiaali sairaalan saneeraushankkeessa. Diplomityö. Lappeenranta teknillinen yliopisto, tuotantotalous. [Viitattu 15.5.2014]. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/94282/Diplomity%C3%B6%20Tuula%20Vanhalakka.pdf?sequence=2>

Verohallinto. 2013. Kotitalousvähennys. [Viitattu 17.10.2013]. Saatavissa: [http://www.vero.fi/fi-FI/Syventavat_veroohjeet/Henkiloasiakkaan_tuloverotus/Kotitalousvahennys\(26052\)#14Vhennyksenennimmismrjavhentmisvuosi_](http://www.vero.fi/fi-FI/Syventavat_veroohjeet/Henkiloasiakkaan_tuloverotus/Kotitalousvahennys(26052)#14Vhennyksenennimmismrjavhentmisvuosi_)

YLE Uutiset/Talous 2013. Komissio haluaa nostaa hiilidioksidipäästöjen hintaa - uudistus eteni riitaisassa europarlamentissa [Viitattu 20.4.2013]. Saatavissa: http://yle.fi/uutiset/komissio_haluaa_nostaa_hiilidioksidipaastojen_hintaa_-_uudistus_eteni_riitaisassa_europarlamentissa/6503346

