



**INVESTOINTILASKENTAMENETELMÄN VALINTA ENERGIATEHOK-
KUUSHANKKEEN KANNATTAVUUSARVIONNISSA – CASE KOY E.O.**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tuotantotalouden diplomityö

2024

Tatu Hyvärinen

Tarkastajat: Professori Timo Kärri

Tutkijatohtori Miia Pirttilä

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Teknis-luonnontieteellinen

Tuotantotalous

Tatu Hyvärinen

Investointilaskentamenetelmän valinta energiatehokkuushankkeen kannattavuusarvioinnissa – Case KOy E.O.

Tuotantotalouden diplomityö

2024

88 sivua, 35 kuvaa, 11 taulukkoa ja 2 liitettä

Tarkastajat: Professori Timo Kärri ja Tutkijatohtori Miia Pirttilä

Avainsanat: Energiatehokkuus, vihreän energian investoinnit, nettonykyarvo, sisäinen korko, hyötykustannusindeksi

Diplomityön tavoitteena oli tutkia kolmea valittua investointilaskentamenetelmää ja tutkia niiden eroja energiatehokkuusprojektin kannattavuustarkastelussa. Valitut investointilaskentamenetelmät olivat nettonykyarvo (NPV), sisäisen koron menetelmä (IRR) sekä hyötykustannusindeksi (BCR). Edellä esitetyt investointilaskentamenetelmät valittiin tutkimukseen niiden laajan suosion vuoksi.

Työn teoriaosuuden tutkimus toteutettiin kirjallisuustutkimuksena. Toteutettu tutkimus laajennettiin koskemaan myös projektinhallintaa, jotta voitiin ymmärtää tausta ja tekijät, jotka vaikuttavat aiemmin mainittujen investointilaskentamenetelmien käytettävyyteen.

Työn taustalla on todellinen, toteutettu energiatehokkuushanke kahteen toimistorakennukseen Espoossa. Valittuja investointilaskentamenetelmiä käytettiin case yrityksen kannattavuustarkastelussa sekä toteutettiin herkkyysanalyysit.

Kaikilla kolmella investointilaskentamenetelmillä tarkasteltuna toteutettu energiatehokkuushanke oli kannattava. Osa menetelmistä on paremmin hyödynnettävissä kuin toiset, mutta kaikille menetelmille löytyy omat käyttökohteensa jatkossa, kun case -yrityksen omistajayhtiö suorittaa seuraavia energiatehokkuus- ja muita hankkeita.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Engineering Science

Industrial Engineering and Management

Tatu Hyvärinen

Choosing the right evaluation methods to evaluate energy investment – Case Koy E.O.

Master's thesis

2024

88 pages, 35 figures, 11 tables and 2 appendices

Examiner: Professor Timo Kärri and Post doctoral researcher Miia Pirttilä

Keywords: Investment calculation, evaluation, net present value, internal rate of return, benefit-cost ratio, green energy project

The aim of this thesis was to find the best investment calculation method for evaluating green energy investments. The study was implemented by the literature review of different investment calculations. The three investment calculation methods selected for the study were net present value (NPV), internal rate of return (IRR) and benefit-cost ratio (BCR).

Investment calculations were based on a real, implemented energy efficiency project for two office buildings in Espoo. The selected investment calculation methods were used for evaluating the profitability of the project. Sensitivity analyzes were carried out and included to the study.

By using all the selected investment calculation methods the green energy investment was profitable. Some of the methods were better in use than the others, but all the methods will find their own uses in the future when the company owner carries out following green energy and other possible investments.

ALKUSANAT

Elettiin vuotta 2010 kun olin toisen asteen opintojeni loppusuoralla. Yliopistolla järjestettiin jatko-opintojen esittelyt ja saimme vapaasti keskustella eri opinahjojen edustajien kanssa. Tuotantotalous kiinnosti kovasti ja päädyin keskustelemaan LUT:n edustajan kanssa mahdollisuuksistani. Tiedostin jo tuolloin, ettei opiskelu ollut erityisiä vahvuuksiani, enkä ollut menestynyt erityisen hyvin koulun parissa. Kun kerroin tilanteestani, muistan kun minulle sanottiin: ”Et tule ikinä pääsemään tuollaisilla arvosanoilla LUT:tiin”. Tästä hieman sydämmistyin.

Aloitin ammattikorkeakoulun ja viihdyin erittäin hyvin tuotantotalouden opintojeni parissa. Ensimmäisen vuoden päätteeksi osa lähti yliopistoon opiskelemaan ja seurasin heidän poistumistaan jopa haikeasti – olisiko minustakin voinut kuitenkin olla siihen? Ammattikorkeakoulun aikana ja jälkeen valoin vahvan alun uralleni kiinteistösijoitusalla ja joillain mittareilla minun voidaan nähdä menestyneen alallani. Viiden vuoden jälkeen halusin oppia edelleen lisää ja aloin pohtimaan maisteriopintoja. Viimeistään ensimmäinen koronavuosi laukaisi tilanteen – on tehtävä, on mentävä (vaikka etänä). Tutustuin eri vaihtoehtoihin ja vertailin eri yliopistoja ja mahdollisuuksia. Muistelin taas kaikuja yliopiston käytäviltä, pitäisikö kuitenkin hakea?

Tässä sitä kirjoitetaan alkusanoja LUT:n diplomityöhön. Viime vuodet ovat olleet vähintään vauhdikkaita, erittäin mielenkiintoisia ja ennen kaikkea antoisia. Koronavuodet olivat hektisiä ja vaikka vastatuuli tuntui kolmannen kriisikevään tienoilla navakalle, halu edetä ja naulata maisteriopinnot olivat erittäin vahvat.

Kiitosten aika. Haluan kiittää professoreita, jotka ottivat minut hyvin vastaan. Haluan kiittää muita opiskelijoita, joiden kautta opin paljon. Haluan kiittää vaimoani ja lähipiiriäni järkkymättömästä tuesta. Haluan kiittää sitä ympäristöä, jossa olen saanut toteuttaa itseäni viimeiset vuodet. Haluan kiittää myös sitä LUT:in tutoria vuonna 2010 sanoilla: ”Älä ikinä aliarvioi altavastaajan voimaa”.

I keep chillin' on the dirt road with my pick-up truck.

-Tatu

LYHENNELUETTELO

NPV	nettonykyarvo (Net present value)
IRR	sisäinen korko (Internal rate of return)
BCR	hyötykustannussuhde (Benefit -cost ratio)
WACC	painotettu pääomakustannus (Weighted average cost of capital)
DCF	diskontattu kassavirta (Discounted cash flow)
COC	pääomakustannus (Cost of capital)
OPEX	kiinteistön ylläpitokustannukset (Operational expenses)
CAPEX	kiinteistöinvestoinnin pääomakustannukset (Capital expenditures)

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Lyhenteet

1	Johdanto.....	8
1.1	Tausta.....	8
1.2	Energiatehokkuusprojekti.....	8
1.3	Työn rajaus ja tutkimuskysymykset.....	9
1.4	Työn rakenne.....	10
2	Investointilaskenta.....	12
2.1	Kassavirta.....	12
2.1.1	Kassavirran tulot.....	12
2.1.2	Kassavirran menot.....	13
2.2	Kassavirran diskonttaus.....	13
2.3	Reaaliotiot.....	15
2.3.1	Reaalioption hinnoittelu.....	19
2.4	Herkkyysanalyysit.....	20
2.5	Elinkaarilaskenta.....	22
2.6	NPV- nettonykyarvo.....	24
2.7	IRR, sisäisen koron menetelmä.....	25
2.8	BCR, hyötykustannusindeksi.....	27
2.9	Yhteenvedo investointilaskentamenetelmistä.....	31
3	Projektinhallinta ja kustannustenhallinta.....	34
3.1	Projektinhallinta.....	35
3.1.1	Vesiputousmalli.....	36
3.1.2	Agile.....	37
3.1.3	Laajennettu projektiprosessi.....	38
3.2	Kustannusten hallinta.....	38
3.3	Tuloksen arvo -menetelmä.....	41

3.4	Investointilaskentamenetelmät ja projektinhallinta	44
4	KOy E.O. energiatehokkuusinvestoinnin kannattavuusarviointi.....	47
4.1	Laskennan oletukset.....	47
4.2	Kassavirran määrittely	48
4.2.1	Kohteen lämmönkulutus.....	48
4.2.2	Kohteen sähkönkulutus	52
4.2.3	Rakennusten oma sähköntuotanto.....	56
4.2.4	Optioiden hinnoittelu	58
4.2.5	Aurinkopaneelien lisäämisoption arvon määrittely.....	59
4.2.6	Lisä-LTO -option arvon määrittely	60
4.3	Kassavirran koostaminen	64
4.4	Energiatehokkuushankkeen kannattavuuden tarkastelu nettonykyarvomenetelmällä	66
4.5	Energiatehokkuushankkeen kannattavuuden tarkastelu sisäisen koron menetelmällä	67
4.6	Energiatehokkuushankkeen kannattavuuden tarkastelu hyötykustannusindeksin perusteella	68
4.6.1	Hyötykustannusindeksin hyödyntäminen urakkakokonaisuuden arvioinnissa	69
4.6.2	Hyötykustannusindeksin hyödyntäminen vuokramallinnukseen	72
4.7	Herkkyysanalyysi.....	73
4.7.1	Herkkyysanalyysin tulokset.....	75
4.8	Tulokset ja tulosten arviointi.....	77
5	Johtopäätökset.....	82
6	Yhteenveto	84
	Lähteet	86

Liitteet

Liite 1. Kassavirtalaskelma

Liite 2. Normaalijakauman kertymäfunktio

1 Johdanto

1.1 Tausta

Tutkimuksen case-yritys KOy E.O. toteutti energiatehokkuusprojektin vuoden 2022 aikana. Yritys omistaa ja hallinnoi kahta toimistorakennusta Espoossa. Yritys osti kiinteistön ja sillä sijaitsevat rakennukset vuonna 2019 ja alusta lähtien oli selvää, että rakennuksissa oli toteutettava mittavia taloteknisiä saneerauksia.

Case yrityksen omistajayhtiö on kiinnostunut toteuttamaan useita energiatehokkuushankkeita lähitulevaisuudessa. Yhtiö on kuitenkin havainnut haasteen oikean investointilaskentamallin käytön löytämisessä energiatehokkuushankkeiden arviointiin. Tämän vuoksi omistaja halusi toteuttaa tutkimuksen oikean investointilaskentamallin valitsemiseksi energiatehokkuushankkeiden kannattavuustarkastelua varten.

1.2 Energiatehokkuusprojekti

Energiatehokkuusprojekti piti sisällään rakennusten lämmönlähteen vaihdon kaukolämmöstä maalämpöön, jäähdytyksen vaihtamisen maaviileään, ilmanvaihtolaitteiden modernisoinnin, lämmöntalteenottolaitteiston saneerauksen, kiinteistöautomaatiojärjestelmän uusimisen sekä aurinkopaneelien asentamisen rakennusten katoille. Tämä energiatehokkuusprojekti oli kiinteistön omistajalle ensimmäinen näin suuri, kerralla toteutettu energiatehokkuusprojekti. Aiemmin teknistä korjausta ja talotekniikan saneerausta on toteutettu tarpeen mukaan energiatehokkaat ratkaisut huomioiden.

Kiinteistön omistaja osti kohdekiinteistön vuonna 2019. Kiinteistön aiempi omistaja ei ollut ammattimainen kiinteistösijoitusyhtiö, vaan itselleen toimistotilat rakennuttanut IT-talo. Aiemman käyttäjäomistajan osalta erityisiä korjauksia tai energiatehokkuustoimenpiteitä kiinteistössä ei ollut suoritettu aiemmin. Kiinteistöllä sijaitsee kaksi toimistorakennusta, jotka on rakennettu vuosina 1993 ja 1996. Ennen kiinteistön ostoa oli jo selvää, että suuria remonteja on tehtävä, jotta korjausvelkaa saadaan kurottua kiinni. Uusi omistaja näki mahdollisuuden toteuttaa energiatehokkuusremontin näiden pakollisten muiden remonttien

yhteydessä. Esimerkiksi rakennuksen 2 kaukolämmön lämmönvaihdin oli teknisen käyttökänsä päässä, joka osaltaan tuki lämmönlähteen vaihtoa kaukolämmöstä maalämpöön.

Ennen energiatehokkuusprojektia rakennuksiin toteutettiin MOTIVA- tutkimus ulkopuolisen tutkijan toimesta. MOTIVA-tutkimuksessa tutkitaan kiinteistön tekninen nykytilanne ja kartoitetaan mahdollisuudet esimerkiksi energiasäästötoimenpiteisiin. Tutkimuksessa seurataan lämmön, sähkön ja veden kulutusta ja kartoitetaan taloteknisten laitteiden korjaustarpeet. MOTIVA-raportti toimi suunnittelun lähtötietona energiatehokkuusprojektin suunnittelulle insinööritoimistolle. Sama insinööritoimisto oli vastuussa myös projektin johtamisesta ja teknisestä valvonnasta työn aikana.

1.3 Työn rajaus ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tavoitteena on tutkia erilaisia investointilaskentamalleja ja pyrkiä löytämään eroja laskentamallien välillä ja löytää paras investointilaskentamalli, joka sopisi tulevien energiatehokkuusprojektien kannattavuustarkasteluun. Tutkimuksessa hyödynnettäviä investointilaskentamenetelmiä käytetään jälkilaskennassa. Ennen projektia hankkeen teknisen toteutuksen suunnitellut insinööritoimisto toteutti kannattavuustarkastelun, jota käytettiin lähtötietona hankkeen kannattavuudelle. Tässä tutkimuksessa ei verrata toteutuneita kustannuksia alkuperäiseen tavoitteeseen hygieniasyistä. Tutkimuskysymykset ovat:

- Mitkä ovat valittujen investointilaskentatapojen edut ja heikkoudet verrattuna toisiinsa?
- Mikä on paras investointilaskentatapa energiatehokkuusinvestoinnin kannattavuuden arviointiin?

Tutkimuksessa esiintyvä case yritys on toteuttanut laajan, todellisen energiatehokkuusprojektin olemassa oleviin toimistorakennuksiin Espoossa. Yrityksestä käytetään nimeä KOy E.O. Yrityksen omistaja on kotimaisessa omistuksessa oleva kiinteistösijoitusyhtiö, johon ei viitata nimellä. Omistajayhtiöllä on omistuksessaan useita liikekiinteistöjä pääkaupunkiseudulla, joissa toteutetaan erilaisia energiatehokkuustoimenpiteitä ja -projekteja myös lähitulevaisuudessa.

Tutkimus on rajattu koskemaan vain tätä kyseistä energiatehokkuusprojektia. Tutkimuksessa on käytetty osin todellisia mitattuja tai muuten todennettuja lukuja ja osittain eri

osapuolten julkisesti ilmoittamia kustannuksia, kuten kaukolämmön hintatietoa. Tutkimuksessa ei oteta kantaa yleisesti energiatehokkuusprojektien kustannuksiin tai kannattavuuteen eikä tätä tutkimusta voida käyttää referenssinä muihin tutkimuksiin, sillä osa tutkimusaineistoa on asiakassuhteiden ylläpidon vuoksi käsitelty. Kustannuksissa ei ole myöskään huomioitu toteuttavan organisaation suoria tai epäsuoria kustannuksia, jotka tässä projektissa olivat merkittävät.

Tutkimuksessa käytettävä data koostuu ainoastaan toteutetun energiatehokkuushankkeen datasta. Tutkimusta varten on hankittu lämmitysenergian kulutustiedot vuosilta 2019–2021. Vertailua varten on hankittu kaukolämmön voimassa olevat hinnat alueen kaukolämpötoimittajalta, Fortum Oyj:ltä. Tieto on julkista ja saatavilla heidän verkkosivuiltaan.

Sähkönkustannukset on kerätty sähkönmyyjän omasta raportointipalvelusta. Rakennuksissa on ollut saman sähkönmyyjän sopimukset ennen projektia ja projektin jälkeen, joten kattava data-aineisto on saatavilla. Sähköenergian hinta on pysynyt kiinteänä vuodesta 2021 alkaen ja laskennassa käytetään kiinteää sähköenergian hintaa.

Toteutuneet ja laskelmissa käytetyt projektkustannukset sisältävät suunnittelun, valvonnan ja toteutuneet urakoitsijalle maksetut kustannukset. Lasketuissa kustannuksissa ei ole huomioitu kiinteistön omistajan suoria tai epäsuoria kustannuksia, kuten palkkakustannuksia.

Ennen urakkakilpailutusta ja projektin aloittamista, energiatehokkuusprojektin suunnitellut insinööritoimisto toteutti omat kannattavuuslaskelmat hankkeesta. Nämä kannattavuuslaskelmat luovat vertailudatan projektin toteutuksen jälkeen tehtävälle laskennalle. On huomioitava, että osa esitellystä ja laskennassa käytettävästä datasta on muokattu asiakassuhteiden suojelemiseksi sekä pitkien asiakassuhteiden turvaamiseksi.

1.4 Työn rakenne

Johdanto-osiossa esitellään tutkimukseen liittyvä case-yritys, toteutettu energiatehokkuushanke, esitellään käytettävissä olevaa data-aineistoa sekä kuvataan toteutettu tutkimus ja tämän raportin rakenne. Tutkimuksen teoriaosuus on toteutettu kirjallisuustutkimuksena. Tutkimuksen empiria osuus on kvalitatiivinen tutkimus, jossa käsitellään todellisen energiatehokkuushankkeen kannattavuutta. Projektiin liittyvää aineistoa käsitellään ja mallinnetaan taulukkolaskentaohjelmissa. Tarve tutkimukselle ilmeni case-yrityksen toteutetun

energiatehokkuusprojektin jälkeen, kun haluttiin tutkia hankkeen kannattavuutta toteutuksen valmistuttua.

Ensimmäisessä teoriaosiossa käsitellään investointilaskentaa ja siihen liittyviä kriittisiä tekijöitä. On tarpeellista tutustua investointilaskennan termistöön ja kriittisiin tekijöihin, jotta voidaan varmistua seuraavassa kappaleessa esiteltävien investointilaskentamenetelmien ymmärtämisestä. Toisessa teoriaosiossa kappaleessa kolme esitellään kolme eri investointilaskentamallia, nettonykyarvo (net present value, NPV), sisäinen korko (internal rate of return, IRR) sekä hyötykustannusindeksi (benefit-cost ratio, BCR) ja tutkitaan edellä esitettyjen yhtäläisyyksiä ja poikkeavuuksia. Valinta kohdistui näihin malleihin niiden suosion vuoksi. Teoria jatkuu kappaleessa neljä, jossa käsitellään projektinhallintaa ja siihen liittyvää käsitteistöä. Kappaleessa viisi toteutetaan toteutetun energiatehokkuusprojektin kannattavuustarkastelu kolmella aiemmin esitetyllä investointilaskentatavalla. Laskelmat ja niiden kautta haetut opit toimivat pohjana kappaleen kuusi tuloksien esittelylle ja vertailulle.

2 Investointilaskenta

2.1 Kassavirta

Kiinteistösijoittamisessa on mahdollista luoda arvoa kahdella tavalla, kassavirralla tai sijoitetun pääoman tuotolla. (Manganelli, 2015). Kassavirta tarkoittaa kiinteistön tuottoja, esimerkiksi vuokrausliiketoiminnasta kiinteistön vuokralaisilta kiinteistön käytöstä perittäviä vuokria. Vuokrakassavirrasta on poistettava kiinteistön ylläpitoon liittyvät sekä pääoman liittyvät kustannukset, jolloin voidaan puhua nettokassavirrasta. Sijoitetun pääoman tuotto muodostuu sijoituksen myynnistä ja mahdollisesta arvonnoususta.

Kassavirran määrittely on kriittistä kassavirran avulla laskettavien tunnuslukujen kannalta. Kassavirrassa huomioidaan laskentakohteen tulot ja menot. Laskennassa tulot voidaan korvata myös säästöillä, joita investointi on tuonut. Näistä muodostetaan nettokassavirta poistamalla bruttokassavirrasta ajanjakson ja ajanjaksoon kohdistuvat menot.

2.1.1 Kassavirran tulot

Kiinteistösijoittamisessa kassavirran tulot yleensä muodostuvat kiinteistöstä saatavista vuokrista. Vuokrien määrään vaikuttavat muun muassa vuokrakohteen sijainti, kunto sekä mahdolliset sosiaaliset tekijät, kuten muut kohteen toimijat. Myös alueen kehittyminen tai erilaiset kehityshankkeet voivat lisätä kohteen vuokrattavuutta ja korottaa siitä saatavia vuokria. (Manganelli 2015).

Investointilaskennassa arvioitaessa investoinnin kannattavuutta kassavirran tulopuolelle valitaan investoinnilla tavoiteltavat tai toteutuneet säästöt, riippuen laskenta-ajankohdasta. Investoinnista johtuvat kiinteistön arvoa tai esimerkiksi vuokrattavuutta parantavat tekijät voidaan lisätä myös kassavirran tulopuolelle.

Eri investointilaskentamenetelmien käytänteet liittyen poistoihin vaihtelevat. Kassavirran sisältöön vaikuttaa myös se, tehdäänkö kannattavuustarkastelua yrityksen vai

investointihankkeen näkökulmasta. Poistoja voidaan tehdä joko tasapoistoina tai menojäännöspoistoina. Tasapoistoina tapahtuvassa poistossa esimerkiksi hankitun koneen tai laitteen hankintakustannukset jaetaan viidelle vuodelle, jonka aikana hankintakustannus vähennetään yrityksen tuloksesta. Menojäännöspoistossa voidaan tehdä vähennys kirjanpidossa olevasta vähentämättömästä osuudesta. Menojäännöspoistossa aikajanaa ei ole rajattu, vaan poistot tapahtuvat siihen asti, kunnes jäännöksen arvo on nolla, ellei sitä alas kirjata. (Vero, 2023).

Tehtävät poistot määräytyvät verottajan ohjeiden mukaan. Korkeamman kulutuksen rakennuksista, kuten myymälä-, tehdas- ja varastorakennuksista voidaan tehdä korotetut 7 % poistot vuosittain, kun taas toimistorakennuksista voidaan tehdä enintään 4 % menojäännöspoistot. Tämä koskee myös rakennuksiin tehtäviä perusparannushankkeita. Jos rakennukseen hankitaan jotain käyttöomaisuutta, voidaan niitä vähentää enintään 25% menojäännöspoistoin. Tällainen käyttöomaisuus on jotain sellaista kiinteää omaisuutta, joka on kohtuudella siirrettävissä pois rakennuksesta ja käytettävissä jossain toisaalla. (Annala, 2024).

2.1.2 Kassavirran menot

Kassavirran menoihin kuuluvat kaikki investoinnista aiheutuvat kustannukset niin investoinnin pääomakustannukset kuin ylläpitoonkin liittyvät kustannukset. Kustannukset voidaan kiinteisiin kustannuksiin ja muuttuviin kustannuksiin. Kiinteistösjoitustoiminnassa kustannukset jaetaan yleensä kiinteistön ylläpito- (OPEX, operational expenses) ja pääomakustannuksiin (CAPEX, capital expenditure). Ylläpitokustannuksiin kuuluu kaikki päivittäiseen toimintaan liittyvät kustannukset, kuten lämmitykseen, sähkөөn ja kiinteistön käyttöön, kuten huoltoon liittyvät kustannukset. Pääomakustannuksiin kuuluu kiinteistön arvoa parantavat kustannukset, kuten perusparannushankkeet. Perusparannushanke parantaa kiinteistön arvoa ja hankkeessa voidaan tehdä esimerkiksi investointi, joka lisää kiinteistön vuokrattavuutta. Pääomakustannuksiin kuuluu myös toteutetun investoinnin poistot. (KTI, 2001).

2.2 Kassavirran diskonttaus

Pitkäkestoisten investointihankkeiden arvioinnissa tarvitaan kassavirran diskonttausta. Kassavirran diskonttauksella tuodaan myöhemmin tapahtuvat kassavirran tulot ja menot

laskettavaksi nykyhetkeen. Jotta kassavirtaan pohjautuvat investointilaskennat saadaan suoritettua mahdollisimman luotettavasti, on kriittistä valita diskonttokorko oikein. Diskonttokoron määrittely voi olla todella haastavaa ja kompleksista. Malleja diskonttokoron määrittelyyn on useita ja jo pienet muutokset diskonttokorossa voivat aiheuttaa suurta heilahtelua netto nykyarvon laskennassa. (Manganelli 2015).

$$DCF = \frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n} \quad (1)$$

Edellä on esitetty diskonttatun kassavirran laskeminen. Diskontattu kassavirta (DCF) saadaan kun jokaisen vuoden kassavirta jaetaan $(1+r)^n$, jossa r on valittu diskonttokorko ja n kunkin vuoden tai jakson järjestysnumero.

Diskonttokoron olisi oltava vähintään pääomakustannuksen verran ja sen tulisi sisältää myös hankkeeseen mahdollisesti liittyvä riskiosa. Yleisesti ajatellaan diskonttokoron olevan kaksisainen, jossa toinen osa kuvaa riskitöntä korkoa ja toinen kuvastaa hankkeen epävarmuutta tai muuta liikkuvaa osaa. Riskitön osa voi olla esimerkiksi talletuskorko tai Yhdysvaltain valtion 10-vuoden lainan korko. Riskiosan tulisi sisältää harkittu osa mahdollista hankkeeseen liittyvää riskiä. Riskiosa voi sisältää myös riskin koron muutoksesta ja se voi sisältää myös tekijöitä, jotka mahdollisesti pienentävät riskiä, kuten potentiaalinen kehitys sijoitusmarkkinoilla. (Manganelli 2015).

Eräs hyvin suosittu keino diskonttokoron määrittämiseksi on määritellä diskonttokorko pienimmäksi hyväksytyksi tuotoksi. Usein myös diskonttokorko määritetään käyttämällä painotettua keskimääräistä pääomakustannusta (WACC) diskonttokorkona, joka vastaa pienintä hyväksyttyä tuottoa. Painotettu keskimääräinen pääomakustannus on hyvä tapa määrittää diskonttokorko tilanteissa, joissa investointiin sisällytetään omaa ja vierasta pääomaa. Laskentakaava ottaa huomioon pääomaan liittyvät kustannukset sekä vieraan, että oman pääoman suhteen.

$$WACC = k_e \frac{E}{(D+E)} + k_d \frac{D}{(D+E)} \quad (2)$$

Edellä on esitetty WACC laskentakaava. Laskentakaavassa k_e on oman pääoman pääomakustannus, joka sijoitetaan hankkeeseen, E on hankkeeseen sitoutettavaa omaa pääomaa, D

on vieraan pääoman määrä ja k_d osoittaa vieraasta pääomasta maksettavaa korkoa. (Manganelli 2015).

Käytettäessä omaa pääomaa hankkeeseen, pääoma aina sitoutuu hankkeeseen valituksi ajaksi. Tämä on huomioitava oman pääoman hinnoittelussa esimerkiksi WACC:tä laskettaessa. Painotettu keskimääräinen pääomankustannus on hyvä ja rahan arvon laajasti laskeva tapa määrittää nykyarvolaskennassa käytettävä diskonttokorko.

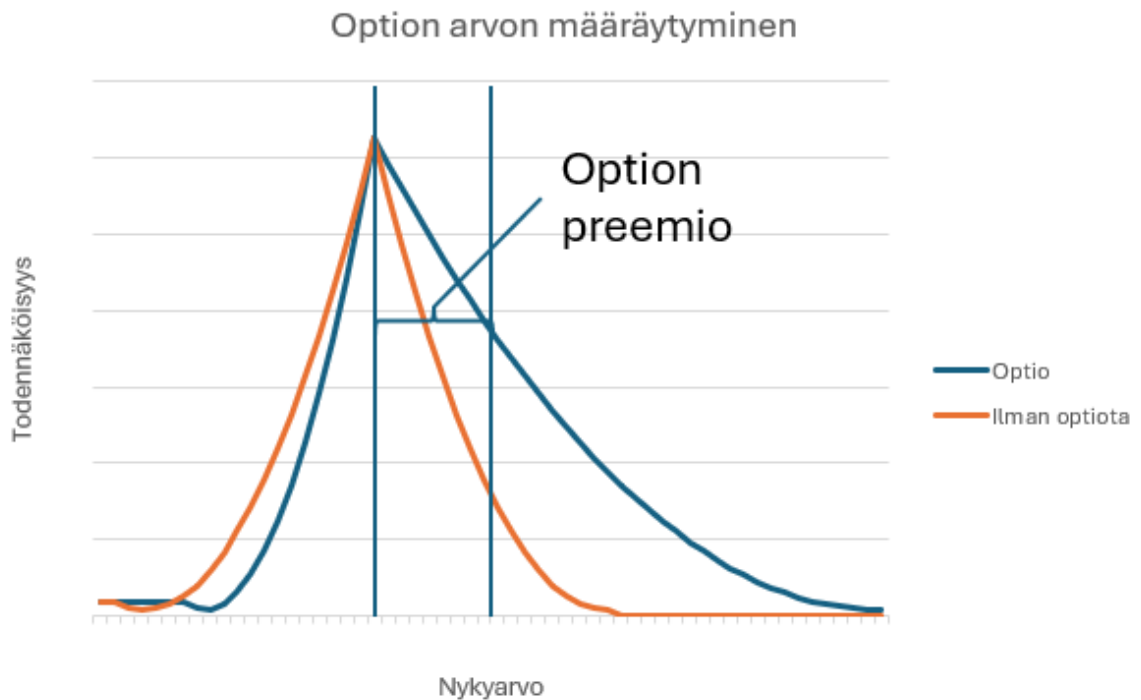
2.3 Reaaliotiot

Fisher Black ja Myron Scholes tutkivat reaaliotioita ja julkaisivat ensimmäisen eurooppalaisen osto-otioiden hinnoittelumallin artikkelissa ”The Pricing of Options and Corporate Liabilities” vuonna 1973. Sittemmin Rober Merton kehitti mallia edelleen ja lisäsi malliin muun muassa osinkojen vaikutuksen. Reaaliotioita on tutkittu tuon jälkeen runsaasti ja Trigeorgis on kirjoittanut tutkimuksessaan reaaliotioiden olevan ”ekonomisesti korjattuna versio päätöspuuanalyysista”. Reaaliotioiden historia on raaka-ainekaupassa ja reaaliotioiden kautta pystyttiin suunnittelemaan tulevaa tuotantoa ja arvioimaan hinnan vaikutusta markkinaan ja kysyntään. (Trigeorgis 1993, 1996)

Reaaliotion liittyvät kiinteästi kiinteistösijoitustoimintaan. Reaaliotioita voidaan nähdä esimerkiksi kiinteistökehityksessä, vuokrasopimuksissa ja uusien tehtaiden perustamisanalyysissä. Reaaliotioiden ja niiden hinnoittelun kautta arvioidaan eri kehitysvaihtoehtojen todennäköisyyttä ja ennen kaikkea hinnoitellaan uhat ja mahdollisuudet arvonmäärityksen tueksi. (Manganelli 2015).

Reaaliotio määritellään ja käsitellään osana hankkeen nykyarvon laskentaa. Nykyarvo, joka sisältää myös option kutsutaan aktiiviseksi nykyarvoksi, tai tapauskohtaisesti strategiseksi tai laajennetuksi nykyarvoksi. Myöhemmin tässä työssä käytetään termiä strateginen nykyarvo. Hankkeen strateginen nykyarvo saadaan, kun passiiviseen nykyarvoon (eli normaaliin nykyarvoon ilman otioita) lisätään reaaliotioiden nykyarvo. (Trigeorgis 1996). Kaava on esitetty alla.

$$NPV_{Strateginen} = NPV_{passiivinen} + NPV_{otiot} \quad (3)$$



Kuva 1 Option arvon määräytyminen mukailten Manganelli 2015

Yllä olevassa kuvassa on kuvattu option arvon vaikutus nykyarvoon, jolloin siitä voidaan puhua strategisena nykyarvona. Hankkeen nykyarvo on esitetty yllä olevassa kuvassa punaisella viivalla. Mikäli hankkeen nykyarvon käyrän huipun vasemmalla puolella olisi optio, olisi se negatiivinen. Jotta optiot voisivat tuottaa hyötyä, niiden on sijoitettava lakipisteen oikealle puolelle. Option tavoitteena on kasvattaa nykyarvoa (loiventaa käyrää lakipisteen oikealta puolelta) samalla kun todennäköisyys optioon pysyy korkeana. Option preemioksi kuvataan hintaa tai arvoa, joka optiolla on. Premio on kuvattu yllä olevassa kuvassa. (Manganelli 2015).

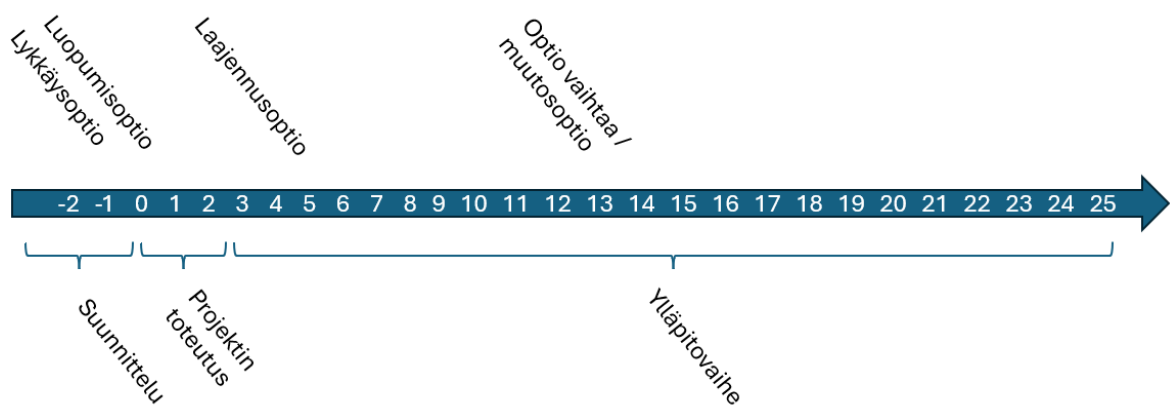
Reaalioptioiden kannalta projektin tulokseen vaikuttavia ja option harkitsemiseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa hankkeen alkukustannukset, muuttujat ja niiden vaikutus hankkeen lopputulokseen, option hinnan määrittely ja mahdolliset muut siihen vaikuttavat kustannukset, milloin option käyttömahdollisuus päättyy ja mikä on hankkeelle määritetty riskitön korko. (Manganelli 2015).

Trigeorgis tunnistaa seitsemän yleisintä reaalioptiota kirjassaan *Real options: managerial flexibility and strategy in resource allocation* 1996:

- Optio lykätä päätöstä (Option to defer)
- Optio osittamisesta (Time-to-build option)
- Optio skaalata ja keskeyttää (Option to alter operating scale)
- Optio hylkäämisestä (Option to abandon)
- Optio vaihtaa (Option to switch)
- Optio kasvattaa (Option to Growth)
- Vuorovaikutteiset optiot (Multiple interacting options)

Manganelli (2015) esittää reaalioptioiden jakamista kuuteen eri tyyppiin:

- Lykkäysoptio (deferment option)
- Laajennusoptio (expansion option)
- Supistamisoptio (contraction option)
- Muutosoptio (conversion option)
- Luopumisoptio (abandonment option)
- Väliaikaisen joustamisen optio (temporary suspension option)



Kuva 2 Optioiden sijoittuminen aikajanalle

Yllä olevassa kuvassa on kuvattu esimerkkejä reaalioptioista ja niiden sijoittumisesta projektin aikajanelle. Edellä on kuvattu kuvitteellisen kiinteistösijoitushankkeen vaiheita, jossa sijoittajalla on hallussaan kiinteistö rakentamista varten sekä tulevaan rakennukseen potentiaalinen vuokralainen. Kuvassa esitetyt reaalioptiot sisältyvät vain tähän tiettyyn kiinteistöön ja rakennettavaan rakennukseen. On huomioitava, että reaalioptioille on tyypillistä niiden aikaan tai projektinvaihteeseen sitoutuminen. Vastaavia kuvia voitaisiin rakentaa myös esimerkiksi asiakaspotentiaalin kartoittamiseksi kiinteistösijoitushankkeessa.

Molemmilla (Trigeorgis ja Manganelli) on samantyyppisiä jakolinjoja reaalioptioiden jakamiseen liittyen. Molemmat osoittavat mahdollisuutta lykätä toteutusta. Toteutuksen siirtämiseen voi liittyä esimerkiksi otollisempien aikojen odottaminen. Kiinteistöalalla tämä on varsin yleistä, sillä optio odottaa markkinatilanteen positiivisia muutoksia saattaa kasvattaa hankkeen kannattavuutta huomattavasti. Molemmat nostavat tärkeäksi myös valittujen teki-
jöiden muuttamisen tarpeen mukaan kesken hankkeen, esimerkiksi optio teollisen investoinnin kyvystä vaihtaa raaka-aineesta toiseen. Yhteinen on myös skaalaaminen tarpeen tullen esimerkiksi markkinatilanteen mukaisesti; mikäli markkinoilla tapahtuisi suurta vaikutusta kysyntään, ei valittua hanketta tarvitse viedä tappiollisena suunnitellun kokoisena maaliin asti.

Reaalioption ja finanssioption ero on, että reaalioptio liittyy johonkin käynnissä tai konkreettiseen olemassa olevaan hankkeeseen. Reaalioptio on valinta tai toimi, joka voidaan tehdä, toteuttaa tai olla toteuttamatta hankkeessa tietynä ajankohtana ja se voidaan ottaa huomioon hankkeen kannattavuuden laskennassa. Finanssioptio taas on likvidi, mikä mahdollistaa kaupankäynnin sillä. Finanssioptio on siis irrallisempi komponentti, joka ei ole niin riippuvainen siihen liittyvästä tekijästä kuin reaalioptiot. Reaalioptiot ovat voimassa vain maturiteettinsa ajan, eli sen ajan kuin hanke on käynnissä ja valinta voidaan toteuttaa. Finanssioptiot voidaan jakaa eurooppalaiseen optioon ja amerikkalaiseen optioon. Amerikkalainen optio on lunastettavissa, milloin vain ja eurooppalainen optio ainoastaan eräpäivänä. Täten reaalioptiot voidaan nähdä enemmän eurooppalaisina optioina. (Trigeorgis 1996).

2.3.1 Reaalioption hinnoittelu

Reaalioption hinnoittelua voidaan toteuttaa vastaavilla mekanismeilla kuin finanssiop-tioitakin. Finanssioption hinnoittelukaavoista on tunnistettavissa vastaavat tekijät reaalioption kanssa. Finanssioption osalta hinnan määrittely on helpompaa ja suoraviivaisempaa, sillä volatilitteetti on tiedossa ja löydettävissä. Reaalioption määrittely saattaa olla haastavaa. (Trigeorgis 1996). Eräs suosituimpia reaalioption arvonmäärityksen keinoja on laskea reaalioption arvo Black Scholes -mallilla. Option määrittelyyn on kehitetty myös lukuisia muita malleja, kuten option lykätä (McDonald & Siegel 1986), option hylätä (Myers & Majd 1990) ja useiden option vuorovaikutteisuutta (Johnson 1987). Black Scholes -mallia voidaan käyttää kasvuoption määrittelyssä, jolloin Black Scholes -malli on perusteltu valinta käytettäväksi kiinteistöalan reaalioption arvioimiseksi. (Trigeorgis 1996).

$$C = SN(d_1) - Xe^{-rT} N(d_2) \quad (4)$$

Edellä esitetyllä kaavalla ratkaistaan kohde-etuuden arvoa, C. Kaavassa tunnus S tarkoittaa kohde-etuuden tuottamaa kassavirtaa, voidaan ajatella kannattavuuslaskennassa myös nettonykyarvona. X on kohde-etuuden toteuttamisen hinta, e on Neperin luku ja T on kohde-etuuden maturiteetti. $N(d_1)$ ja $N(d_2)$ esittävät kaavassa normaalijakauman kertymäfunktioita, joka saadaan laskettua volatilitteettiä käyttämällä. Volatilitteettinä laskennassa käytetään muiden vastaavien tuotteiden, palveluiden tai muiden lopputuotteiden hinnan keskihajontaa valitulla ajanjaksolla. $N(d_1)$ voidaan ratkaista myös seuraavalla laskelmalla,

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (5)$$

ja d_2 edellä esitettyä vastausta käyttäen,

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (6)$$

Pisteiden d_1 ja d_2 määrittelyn jälkeen etsitään vastaava arvo normaalijakauman kertymäfunktion taulukosta $N(x)$. Jos taulukkoa ei ole saatavissa, voidaan arvot ratkaista kaavalla,

$$N(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (7)$$

Joskus volatiliteettiä ei voida määrittää puutteellisen tai epäkelvon lähdemateriaalin vuoksi. Tällöin volatiliteettinä käytetään parasta mahdollista tietoa, joka on kullakin hetkellä saatavissa ja jota voidaan käyttää kuvaamaan epävarmuutta tai vaihtelua.

Laskentakaavassa X kuvastaan option toteutushintaa, r jatkuva-aikaista riskitöntä korkokantaa, joka saadaan kaavasta $r = \ln(1 + r_f)$, jossa r_f on riskitön sijoituksen vuosituotto. Riskittömänä sijoituksen tuottona voidaan käyttää esimerkiksi Yhdysvaltain keskuspankin 12 kuukauden talletuskorkoa. T on option voimassa oloaika vuosina.

Aiemmin esiteltiin eri reaalioptioiden tyyppejä kohdassa 2.3. Jokaiselle esitellyistä reaaliopiotyypistä on esitetty erilaisia laskentamalleja, mutta tutkimuksen kannalta ei ole nähty tarpeelliseksi esitellä kaikkia laskutapoja ja toteuttaa vertailua niiden välillä. Black Sholes malli on laajasti käytetty ja tarpeiden mukaan muokattavissa oleva malli.

2.4 Herkkyysanalyysit

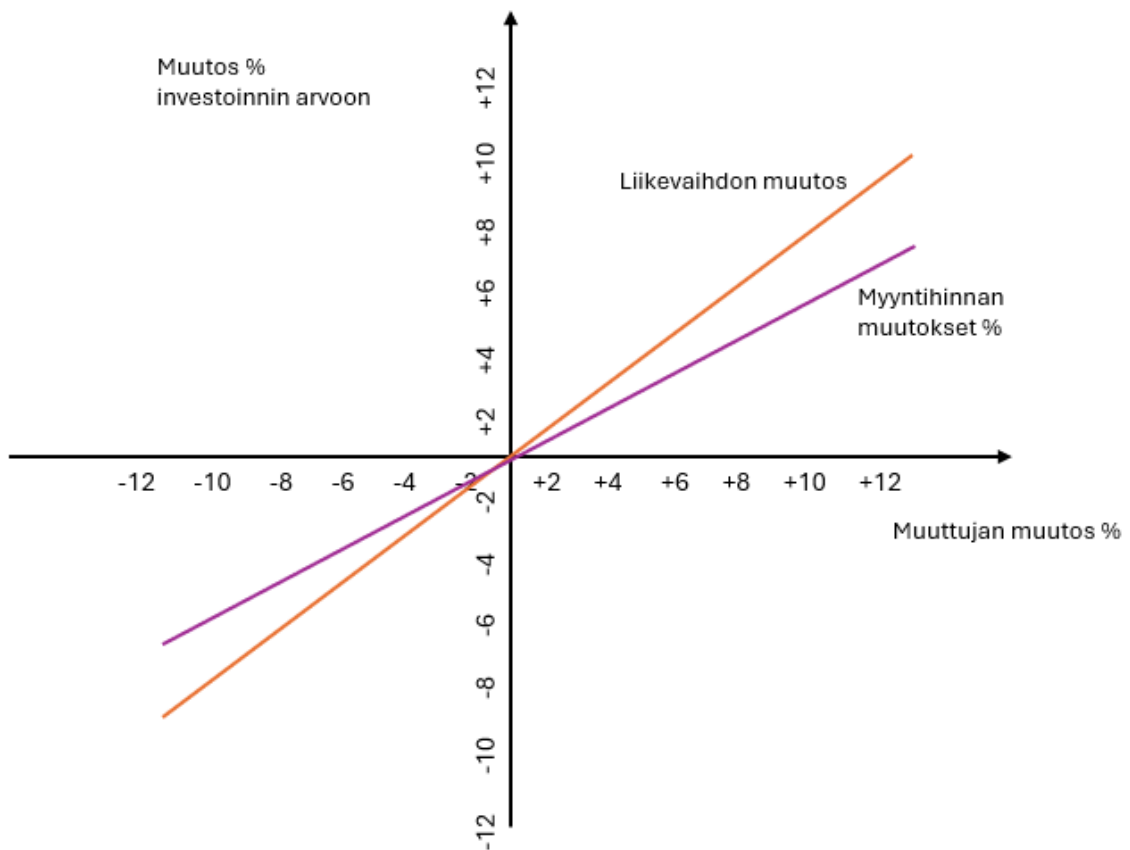
Investointilaskennan kannalta keskeistä on tavoitella mahdollisimman varmoja tuloksia. Investointilaskennan suurimpia haasteita on se, että yleisesti laskennassa käytetään arvioita tai oletetaan joitain arvoja laskelmissa, harvemmin laskentaan todennettujen arvojen pohjalta. Laskentaan liittyy aina epävarmuuksia, varsinkin tilanteissa, joissa laskenta ei tapahdu todennetuilla luvuilla ja tarkastelu perspektiivi on pitkä. Tätä epävarmuutta on pyrittävä vähentämään mahdollisimman hyvin.

Herkkyysanalyyseillä pyritään vähentämään investointilaskelmiin liittyvää epävarmuutta. Herkkyysanalyyseissa muutetaan yhtä tai useampaa muuttujaa ja pyritään tunnistamaan niiden vaikutusta laskelmiin. Herkkyysanalyyseissä valitaan yksi tai useampi muuttuja, joiden vaikutusta muihin muuttujiin, vakioihin ja lopputulokseen pyritään ymmärtämään paremmin. Tällä pyritään löytämään syy-seuraussuhteita sekä havainnoimaan mahdollisia riskejä. (Trigeorgis 1996).

Ennen herkkyysanalyysin yleistymistä suosittu tapa hallita riskejä oli riskien hallinta todennäköisyyksien tutkimisen pohjalta. Tässä mallissa riskit ja ennen kaikkea niiden vaikutus nykyarvoon pyrittiin havaitsemaan ja vielä siten, että mitkä tekijät vaikuttavat eniten nykyarvoon. Kun kassavirran ja nykyarvon tekijät oli tunnistettu, voitiin määrittää kunkin riskin todennäköisyys ja mahdolliset vaikutukset aiemmin esitettyihin suureisiin. Tällä riskien

osittamisella pystyttiin tunnistamaan tekijät, joiden tutkiminen olisi kriittisempää ja tärkeämpää kuin toisten. (Manganelli 2015).

Suosittu tapa suorittaa herkkyysanalyysi on suorittaa tavoitelaskenta perusarvojen avulla ja luoda niiden rinnalle pessimistinen ja optimistinen skenaario. Tätä laskentaa on kutsuttu myös Mitä Jos? -analyysiksi. Muuttuneet nykyarvot saattavat antaa mahdollisuuden tunnistaa ja ymmärtää hankkeeseen liittyviä riskejä. Eri skenaarioiden avulla voidaan löytää yhtäläisyyksiä ja tunnistaa suurimpia riskejä sekä kuinka eri tekijät vaikuttavat toisiinsa. (Trigeorgis 1996).



Kuva 3 Herkkyysanalyysin vaikutuksia

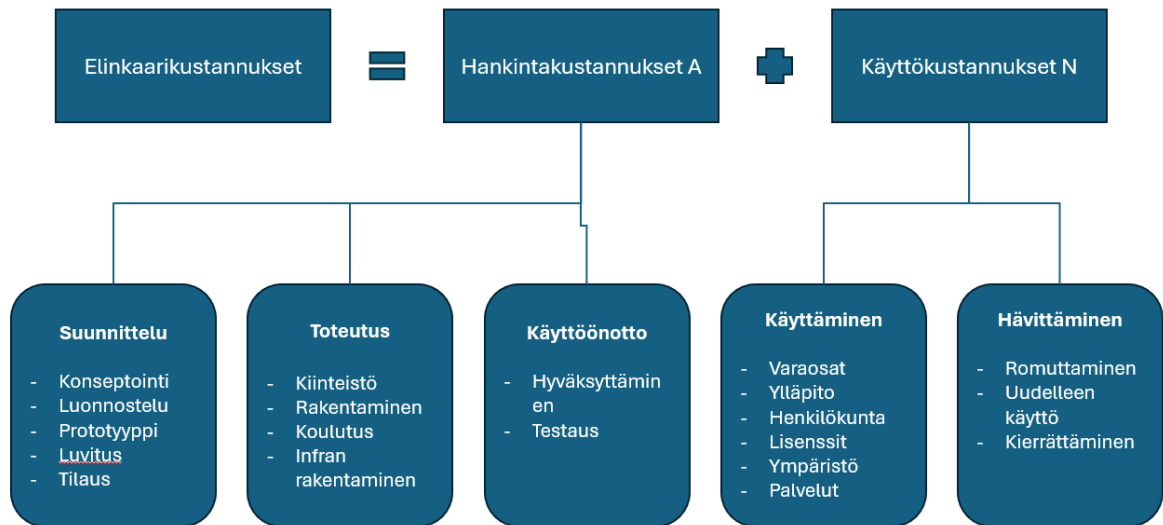
Yllä esitetystä kuvasta on havainnointi herkkyysanalyysin tuloksista. Herkkyysanalyysissä on tutkittu tuotteen myyntihinnan vaihtelua ja sen vaikutusta yrityksen liikevaihtoon. Esitetyn kaltaisilla kuvilla voidaan havainnoida muuttujien vaikutusta toisiinsa.

Herkkyysanalyysi antaa myös mahdollisuuden tunnistaa laskelmista tekijät, jotka vaativat tarkempia analyysejä. Herkkyysanalyysissa havaitaan myös, mitkä vaikutukset yksittäisen muuttujan radikaaleissakin muutoksissa on kokonaisuuden kannalta. Kaikkia muuttujien välisiä yhtäläisyyksiä tai yhteisvaikutuksia ei voida kuitenkaan sulkea pois varsinkaan laajoissa laskelmissa. Koska laskenta pohjautuu pitkälti arvioihin ja ennustettavuuteen, on huomiotava eri arvojen vaikutukset (yhdessä ja erikseen) myös ennusteisiin. Herkkyysanalyysijä suositellaankin laajentamana Monte Carlo -simulaatioon, jossa tavoitteena on tutkia kaikki mahdolliset keskinäiset muuttujien vaikutukset. (Trigeorgis 1996).

2.5 Elinkaarilaskenta

Kiinteistösijoittamisessa sijoitusperspektiivit ja ajanjaksot ovat verrattain pitkiä. Keskimäärin rakennuksen elinkaari on 25-100 vuotta, riippuen rakennustyyppistä sekä käytöstä. Rakennuksen elinkaaren aikana sen käytön turvaamiseksi on suoritettava erilaisia ylläpitotehtäviä. Rakennuksen elinkaarta voidaan pidentää tekemällä rakennukseen perusparannuksia, kuten teknisiä tai muita kiinteistön arvoa parantavia muutoksia, kuten käyttötarkoituksen muutoksia.

Elinkaarikustannuslaskennan (LCC, Life Cycle Costs) tavoitteena on laskea kaikki projektiin liittyvät todelliset kustannukset. Elinkaarikustannuslaskennassa ei huomioida ainoastaan investointia (hankintakustannukset) vaan kaikki kustannukset, joita esimerkiksi laitteen käytöstä ja lopulta hävittämisestä (käyttökustannukset). Tavoitteena on löytää kokonaiskustannuksiltaan kaikista tarjolla olevista vaihtoehdoista edullisin vaihtoehto. (Hoffman et al. 2012).



Kuva 4 Elinkaarikustannukset, LCC Life Cycle Costs

Edellä esitetyssä kuvassa on esitetty elinkaarikustannusten jakautuminen hankintakustannuksiin sekä käyttökustannuksiin. Hankintakustannuksien ja käyttökustannusten alle on kerätty esimerkkejä kustannusluokista, jotka kuuluvat esitettyihin yläluokkiin. Hankintakustannuksiin kuuluu suunnittelu-, testaus- tai hyväksymis- ja toteuttamiskustannukset. Suunnitteluun lasketaan kuuluvaksi esimerkiksi konseptointi- ja lupakustannukset kuten rakennuslupakustannukset. Testaus- ja hyväksymiskustannukset voivat sisältää tyyppihyväksyntäkustannuksia tai testauskustannuksia, jotta tuote on toteuttavissa. Tämä vaihe voidaan suorittaa myös rakentamisen jälkeen, jotta suuri investointi saadaan viritettyä käyttöön. Toteuttamiskustannuksiin kuuluvat esimerkiksi rakennuksen, tehtaan tai infrastruktuurin rakentamiskustannukset. (Hoffman et al. 2012).

Käyttökustannuksiin kuuluu ylläpitokustannukset, kuten ennakoiva ja tarpeen mukainen huolto sekä varaosat. Kustannuksiin lasketaan kuuluvaksi niin varaosa kuin henkilöstökustannuksetkin. Käyttökustannuksissa otetaan kantaa myös elinkaaren loppuvaiheen kustannuksiin, eli purkamis- tai hävityskustannuksiin. Joissain tapauksissa kone-, laite- tai rakennusinvestointia voidaan käyttää uudelleen toisessa hankkeessa, joka huomioidaan myös elinkaaren loppuvaiheen kustannuksissa. (Hoffman et al. 2012).

2.6 NPV- nettonykyarvo

Nettonykyarvo ja sisäisen koron menetelmä perustuvat diskontatun kassavirran laskemiseen, mikä on hyvin yleistä kiinteistösijoitustoiminnassa. Diskonttaamalla mahdollistetaan myöhemmin toteutuvien kassavirtojen ja kustannusten laskeminen nykyhetkessä. Nettonykyarvo ja sisäisen koron menetelmä ovat laajasti käytössä ja niitä molempia voidaan käyttää hankkeiden arviointiin niin ennen kuin jälkikäteenkin. Nettonykyarvo pohjautuu Fisherin tutkimuksiin 1930 luvulla. (Altshuler & Magni 2020).

NPV, nettonykyarvo, laskee tulevien kassavirtojen nykyarvon halutulla aikavälillä ja vertaa niitä suunniteltuun investointiin. Nettonykyarvon laskukaava käyttää diskontattua kassavirtaa osana laskentaa. Nettonykyarvon laskennassa tutkitaan tulevia kassavirtoja ja tuodaan niiden arvo nykyhetkeen ja laskenta-ajankohdan rahanarvoon. (Altshuler & Magni 2020).

Alla on esitetty nettonykyarvon laskentakaava:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{c_t}{(1+r)^t} - I \quad (8)$$

Nettonykyarvon laskemiseksi tarvitaan tietää tulevat kassavirrat (c_t), diskonttokorko (r), haluttu aikajakso (t) ja investoinnin arvo (I). Nettonykyarvon laskentakaava määrittää tulevat kassavirrat nykyarvoon ja pienin hyväksytty arvo lähtökohtaisesti on nolla. Diskonttokorkona (r) voidaan käyttää pienintä hyväksyttyä tuottoa, pääoman hintaa tai se voi olla esimerkiksi painotettu keskimääräinen pääomankustannus (WACC, weighted average cost of capital).

Nettonykyarvoa voidaan käyttää erilaisten hankkeiden vertailuun. Nettonykyarvon laskennan tuloksena on hankkeiden arvo nykyrahassa, mikä mahdollistaa selkeän vertailun. Voidaan ymmärtää myös, että nettonykyarvo mittaa hankkeen arvontuottoa valitulla aikavälillä. (Moshe & Yoram 20217). Jos laskennassa nettonykyarvo on suurempi kuin investointi (I), tarkoittaa se, että hankkeen tuotto prosentti on suurempi kuin käytetty diskonttokorko. Jos odotettu tuotto on pienempi kuin diskonttokorko tai nettonykyarvo on vähemmän kuin nolla, on investointia harkittava uudelleen. (Manganelli 2015).

2.7 IRR, sisäisen koron menetelmä

Sisäisen koron menetelmä, IRR internal rate of return, on laajasti käytetty investointilaskentatapa, jota käytetään myös sijoitushankkeiden arvioinnissa. Kuten nettonykyarvokin, sisäisen koron menetelmä käyttää diskontattua kassavirtaa laskennassa. Kassavirran diskonttaaminen nykyhetkeen mahdollistaa myöhempien kassavirtojen ja kustannusten vertailun nykyhetkessä. Sisäisen koron menetelmä kuvaa hankkeen kykyä tuottaa pääomalle korkoa. (Altshuler & Magni 2020).

Nettonykyarvon laskentakaava sisältää jo itsessään myös sisäisen koron laskemisen. Voidaan ajatella, että sisäinen korko on tunnistettavissa diskonttokorkona nettonykyarvon laskennassa. Nettonykyarvon ollessa nolla, diskontatut kassavirrat on laskettu käyttäen sisäistä korkoa ja tuolloin on löydettävissä ainoastaan yksi sisäinen korko. (Manganelli 2015).

Useissa julkaisuissa on käyty keskustelua nettonykyarvon ja sisäisen koron eroista tai paremmuudesta. Tulokset ja päätelmät poikkeavat riippuen julkaisuista. Sisäisen koron menetelmä ei ota huomioon kassavirtaan liittyviä heilahteluita eikä ne vaikuta samalla tavalla kuin nettonykyarvon laskemisessa. Tutkimuksissa on osoitettu sisäisen koron olevan helpommin omaksuttavissa ja sitä on pidetty hyvänä tapana esimerkiksi vertailla hankkeita keskenään. On kuitenkin hyvä ymmärtää mitä rajoitteita sisäisen koron menetelmä sisältää ja mitä kannattaa ottaa huomioon sitä käytettäessä, jotta voidaan lisätä laskennan oikeellisuutta ja pienentää laskennan epäonnistumisen riskiä. (Patrick & French 2016).

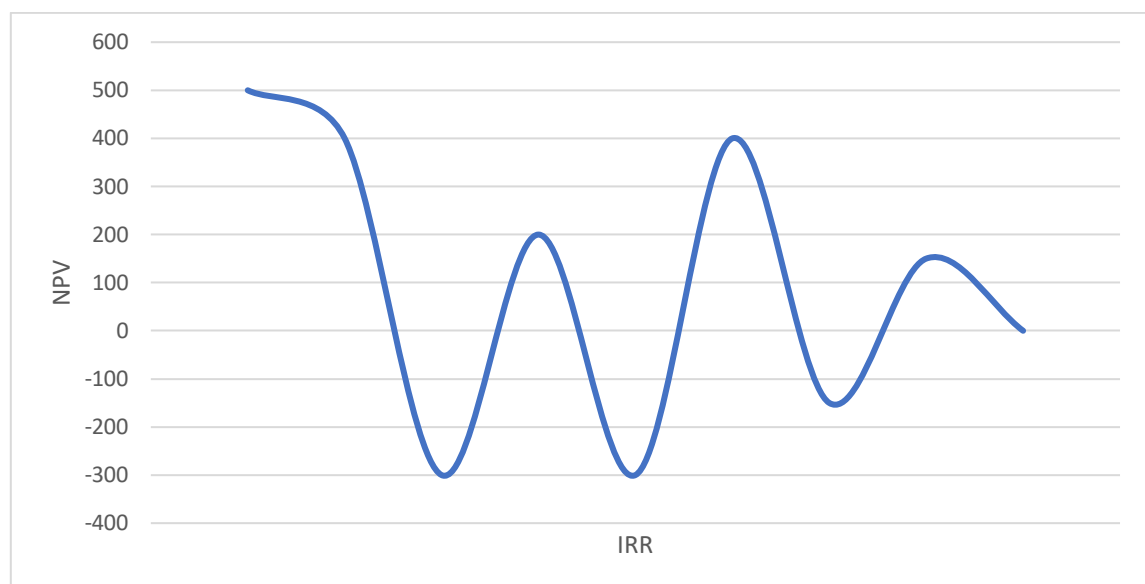
$$NPV(r) = \sum_{t=0}^N \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - CI = 0 \quad (9)$$

Edellä on esitetty sisäisen koron laskukaava. Laskukaava muistuttaa hyvin paljon nettonykyarvon laskukaavaa, mutta tässä sisäisen koron kaavassa haetaan IRR:n arvoa nettonykyarvon ollessa nolla. Kuten laskukaavasta huomataan, sisäinen korko (IRR) on sijoitettu tavanomaisen nettonykyarvon laskentakoron (r) paikalle. Laskukaavassa CF_t edustaa kassavirtoja ja CI toteutettua investointia.

Sisäisen koron menetelmä ei itsessään ole tarpeeksi vahva, jotta ainoastaan sitä käyttämällä voitaisiin todelta, kannattaako investointi toteuttaa vai ei. Kuten aiemmin esitettiin,

nettonykyarvon laskennassa diskonttokorkona (r) voidaan käyttää esimerkiksi painotettua keskimääräistä pääomakustannusta WACC, joka voidaan jakamalla oman pääoman ja vieraan pääoman kustannukset niiden suhteessa. Siinä missä sisäisen koron menetelmä tarjoaa vastaukseksi prosenttiarvon, se ei muodosta tarpeeksi selvää ja suoraa ratkaisua päätöksen tueksi, kyllä tai ei. Laskennan jälkeen on verrattava sisäistä korkoa ainakin pienimpään hyväksytyyn tuottoon, kuten WACC:hen. (Manganelli 2015).

Eräs suuri epävarmuustekijä, joka kuuluu sisäisen koron menetelmään, on useiden korkojen ongelma. On havaittu, että joissakin tapauksissa sisäinen korko voi vaihdella. Mahdollisissa usean sisäisen koron tilanteissa kansavirtaa on muokattava. Sisäisen koron menetelmä laskee hankkeen sisäisen koron nettonykyarvon ollessa nolla, jolloin kannattavuutta osoittaa vain yksi prosenttiluku. (Manganelli 2015).



Kuva 5 Positiiviset ja negatiiviset sisäiset korot

Kassavirtojen vaihtelut vaikuttavat sisäisen koron muutoksiin. Jos diskotatut kassavirrat vaihtelevat positiivisen ja negatiivisen välillä useasti, saattaa sisäinen korkokanta vaihdella positiivisen ja negatiivisen välillä. Joissain tapauksissa, joissa diskotatut kassavirrat vaihtelevat useasti negatiivisen ja positiivisen välillä, sisäisen koron menetelmää ei voida käyttää investointilaskentaan tai arviointiin epävarmuuden vuoksi. Eräs tapa, jolla voidaan välttää edellä kuvattu ongelma, on tasoittaa kassavirtojen yli aikajaksojen, esimerkiksi vuosien välillä, jolloin vältetään etumerkin muuttuminen. Tähän ongelmaan on kehitetty myös tutkijoiden toimesta erilaisia vaihtoehtoisia sisäisen koron laskentamenetelmiä, kuten *AIRR* ja

MIRR; mutta näihin ei syvennytä tässä tutkimuksessa. (Magnanelli 2015). Kuvassa 5 on kuvattu esimerkki, jossa voidaan havaita useita sisäisiä korkoja, (kohdat, joissa sisäisen koron viiva lävistää X-akselin antaen nettohyötyarvolle arvon nolla). Tämä johtuu diskontattujen kassavirtojen useasta vaihtelusta negatiivisen ja positiivisen välillä.

2.8 BCR, hyötykustannusindeksi

Hyötykustannusindeksi (BCR) on yksi kustannushyötyanalyysin versio ja muunnos. Kustannushyötyanalyysi (KHA, englanniksi CBA Cost-Benefit analysis) vertailee tunnistettuja hyötyjä havaittuihin ja laskettuihin kustannuksiin. Lähdeaineistona käytetyissä tutkimuksissa osassa käytettiin kustannushyötyanalyysi termiä ja osassa hyötykustannusanalyysi termiä, mutta niillä olivat samat periaatteet. Kustannushyötyanalyysi tarjoaa mahdollisuuden vertailla niin oikeita ja todellisia arvoja kuin myös lisätä laskentaan tarvittaessa numerillistettuja asioita ja ilmiöitä. Nämä voivat olla esimerkiksi yhteiskunnan tai yhteisön hyötyjä, jotka määrällistetään ja esitetään numeroina osana kustannushyötylaskentaa. Kustannushyötyanalyysi onkin yleinen ja laajasti käytettyä analyysityökalu varsinkin julkisessa päätöksenteossa. (Shively, 2013).

Tutkimusaineistossa tunnistettiin neljä eri kustannushyötyanalyysin luokkaa. Luokat vaihtelevat laskenta-ajan ja käytettävissä olevan data-aineiston mukaan. Ensimmäinen luokka suoritetaan ennen päätöksen tekoa, jossa määritellään kannattaako projektia aloittaa. Toinen luokka käsittelee analyttisesti, kannattaako tunnistettuja resursseja allokoida tähän projektiin vai kannattaisiko ne sijoittaa toisaalle. Ensimmäinen luokka on nimeltään *ex ante*, ja sen tavoitteena on toteuttaa valittuun aiheeseen analyttinen katselmus. Toinen luokka on nimeltään *medias*, jossa määritelläänkö kannattaako resurssin kohdistaa juuri tähän projektiin vai tuottaisivatko ne paremmin jossain toisessa projektissa. Kolmas luokka kustannushyötyanalyysille on *ex post* jossa tutkitaan projektin kannattavuutta itsessään ja kerätään mahdolliset opit projektista jatkoa varten. Viimeinen luokka, *ex ante/ex post* tai *ex ante/ in medias*, vertailee odotettuja ja saavutettuja hyötyjä ja kustannuksia keskenään. Sen tavoitteena on myös lisätä kustannushyötyanalyysin tulevaa käyttöä seuraavissa projekteissa. (Barack, 1998).

Boarman, Greenberg, Vining ja Weimer ovat esitelleet yhdeksän portaisen tiekartan onnistuneen kustannushyötyanalyysin varmistamiseksi kirjassaan *Cost-benefit analysis: Concepts and practice*, 1996. Nämä yhdeksän porrasta ovat helposti ymmärrettäviä ja kuvaavat selvästi kustannushyötyanalyysin prosessia. Voidaan ajatella, että nämä yhdeksän porrasta on toteutettava, jotta voidaan varmistua, että kustannushyötyanalyysi on onnistunut. Samoja vaiheita voidaan hyödyntää onnistuneen tarkastelun apuna tilanteissa, joissa halutaan hyödyntää hyötykustannusindeksiä. Ensimmäinen porras on määrittellä, kenen kannalta analyysiä suoritetaan ja kenen hyötyjä painotetaan ja otetaan huomioon analysoinnissa. Sama määrittely tapahtuu myös kustannusten osalta. Ensimmäisellä portaalla on myös varmistuttava, että kustannukset ja hyödyt asetetaan oikealla aikajanalla ja aika huomioidaan laskelmissa. Toinen porras on vertailuprojektien määrittely. Tässä vaiheessa varmistutaan siitä, että projektiin sitoutettavat resurssit kannattaa sitoa juuri tähän projektiin, eikä parempia hankkeita ole saatavilla. Jotta tämä porras voidaan toteuttaa, on muitakin projekteja pystyttävä suunnittelemaan tiettyyn pisteeseen asti, jotta vertailua voidaan toteuttaa. Projektien vertailun jälkeen kolmas porras sisältää projektiin vaikuttavien tekijöiden tunnistamisen sekä mitattavien suureiden valitsemisen projektin toteuttamista varten. Näillä mittareilla pystytään seuraamaan ja arvioimaan projektin etenemistä ja kehittymistä.

Neljäs porras liittyy projektin ennustamiseen ja siinä ennustetaan projektin vaikutukset projektin aikana. Viidennellä portaalla tehdään laadullinen vertailu ja tehdään valitut arvot mitattaviksi, eli rahallistetaan mitattavat asiat. Tämä on kriittinen vaihe, sillä valitut arvot on oltava laskettavissa ja ne pitää olla samalla mitta-asteikolla vertailun mahdollistamiseksi. Kuudennessa vaiheessa nämä aiemmin rahallistetut arvot ja muut suureet diskontataan laskentahetken arvoon, joiden pohjalta toteutetaan kustannushyötyanalyysin laskelmat portaalla seitsemän. Portaalla seitsemän toteutettuja laskelmia tutkitaan tarkemmin portaalla kahdeksan ja toteutetaan herkkyysoanalyysia saatujen arvojen osalta. Portaalla yhdeksän tutkitaan herkkyysoanalyysin ja toteutetaan analyysi projektien välillä ja esitetään valittavaksi parhaan nettohyödyn tuottanut projekti.

Näiden aiemmin esiteltyjen yhdeksän portaan osalta tärkein ja kriittisin tehtävä on valita ja määrittää arvot, myös uudet mitattavat arvot, ja ymmärtää, milloin niiden vaikutus ilmenee laskelmissa projektin aikajanalla. Jotta kustannushyötyanalyysia voidaan käyttää tehokkaasti projektien vertailuun ja arviointiin, on varmistuttava laskelmien oikeellisuudesta. Laskelmien oikeellisuus voidaan varmistaa laskemalla juuri analysoinnin kannalta kriittisiä

arvoja ja huolehtia mitallistettavien arvojen oikeellisuudesta. Useissa tapauksissa kustannus-hyötyanalyysia käytetään huolimattomasti ja esimerkiksi kustannusten ja hyötyjen diskonttaaminen nykyarvoihin on puutteellista. Jotta voidaan varmistua laskelmien tarkkuudesta ja oikeellisesta vertailusta, on käytettävä diskontattuja kassavirtoja laskelmissa. (Shively 2013).

Aiemmin kustannus-hyötyanalyysia esiteltiin käsitellen sitä kahdelta eri kulmalta; ensimmäisenä aikaan liittyen (luokat) ja onnistuneen analyysin tiekartan kautta (yhdeksän porrasta). Nämä kaksi esiteltiin, jotta voidaan ymmärtää hyötykustannus suhteen laskeminen ja siihen tarvittavat arvot. Hyötykustannussuhteen laskeminen itsessään on hyvin suoraviivaista ja siinä verrataan hyötyjä kustannuksiin. Laskentakaava sisältää itsessään nykyarvolaskennan kaavan.

$$BCR = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (10)$$

Hyötykustannusindeksi, C/B, laskentakaava sisältää tunnistetut hyödyt ja tunnistetut kustannukset valitun ajanjakson sisällä. Hyödyt on kuvattu laskentakaavassa symbolilla B_t ja kustannukset symbolilla C_t . Jotta laskennan epävarmuutta voidaan vähentää, on käytettävä hyötyjen ja kustannusten nykyarvoja. Kaavassa diskonttokorko (r) voidaan valita kuten esitetty aiemmin nettonykyarvon ja sisäisen koron menetelmän kappaleissa. Diskonttokorko (r) voidaan määrittää myös kuvastamaan esimerkiksi kompensoimaan laskennan epävarmuutta kunkin vuoden osalta. Hyötykustannusindeksiä voidaan käyttää myös suurien hankkeiden arvioinnissa. Nykyarvon hyödyntäminen hyötykustannusindeksin laskennassa mahdollistaa hyötykustannusindeksin hyödyntämisen myös pitkissä hankkeissa, joissa kassavirrat ja hyödyt realisoituvat ja vaihtelevat vuosien välillä. Jos hyötykustannusindeksin arvo on yli yhden, projekti voi olla toteuttamisen arvoinen.

Käytettäessä hyötykustannusindeksiä kannattavuuden arviointiin korostuu laskettavien hyötyjen ja laskettavien kustannusten tunnistaminen. Useissa tapauksissa, jos indeksi ei ole enakoitu tai täytä laskijan odotuksia, väärinkäytösten mahdollisuus on suuri. On tärkeää huomata, että varsinkin päätöksentekijän, joka tekee päätöksen toisen osapuolen hyötykustannusindeksiin nojaten, on varmistuttava käytettävän datan oikeellisuudesta, laskelmien laadusta ja laskijan katsannosta. Helpoin tapa vääristää laskelmia paremmiksi on vähentää laskennassa käytettäviä kustannuksia. Kustannusten osalta voidaan tunnistaa kahden tyyppisiä

kustannuksia, suoria ja epäsuoria kustannuksia. Suoriin kustannuksiin on vaikeampi vaikuttaa, mutta epäsuoriin kustannuksiin liittyy enemmän epävarmuutta. Epävarmuus johtuu siitä, kuinka paljon kustannusten laskija on osoittanut huomioitavaksi laskelmissa. Toinen helposti vääristymistä aiheuttava osio on liioitella hyötyjä. Tällaisesta esimerkkinä voidaan pitää myös laskijan mahdollisuutta liioitella hyötyjä. Sekä hyödyt että kustannukset ovat aina määriteltä jostakin näkökulmasta, mikä mahdollistaa niiden liioittelemisen laskelmien parantamiseksi. (Stadelmann-Steffen & Dermont 2018).

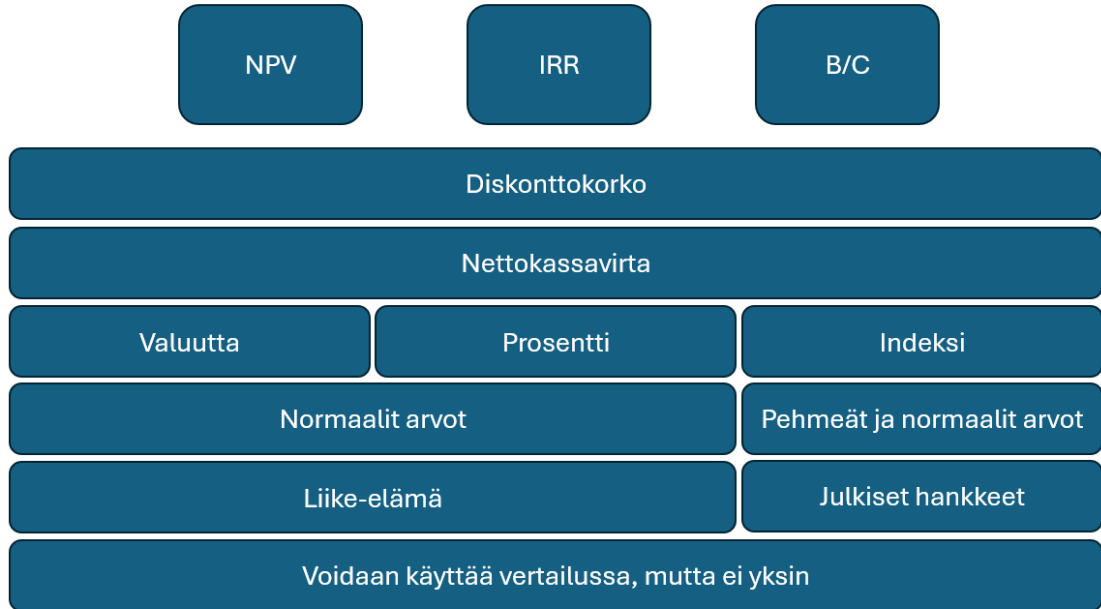
Keating & Keating kirjoittavat kirjassaan *Basic cost benefit analysis for assessing local public projects 2014*, että hyötykustannusindeksin käyttäminen projektien välisessä vertailussa on kompleksista. He esittävät, että projektin välisessä vertailussa hyötykustannusindeksin sijaan olisi parempi käyttää nettohyötyjen vertailua.

$$net B (x) > net B (y) \quad (11)$$

Nettohyötykaavassa $net B$ osoittaa nettohyötyjä. Yllä esitetystä kaavasta nettohyödyt ($net B$) on erotettu poistamalla hyödyistä kustannukset.

Keating & Keating huomioivat ongelman mittasuhteessa, johon saatetaan törmätä vertaillessa projekteja keskenään. He esittävät, että jotkin projektin, jotka voisivat olla tarpeellisempia pidemmällä aikajanelalla voivat tulla hylätyiksi liian pienen hyötykustannusindeksin vuoksi. Keating & Keating esittävät, että hyötykustannusindeksin hyödyntäminen on aiheellista päätöksentekijöille, jotka haluavat välttää tuottamattomien projektien toteuttaminen. He eivät suosittele sitä ainoaksi tavaksi valita toteutettavien projektien välillä.

2.9 Yhteenveto investointilaskentamenetelmistä



Kuva 6 Yhteenveto investointilaskentamenetelmistä

Kaikki kolme edellä esiteltyä investointilaskentamenetelmää sisältävät toisiaan yhdistäviä ja toisistaan erottavia tekijöitä. Edellä, kuva 6, on esitelty yhteenveto kaikista kolmesta investointilaskentamenetelmästä ja niihin liittyvistä tekijöistä ja erityispiirteistä. Ne tekijät, jotka erottavat nämä laskentamenetelmät toisistaan ja tekee jostain laskentamenetelmästä paremman kuin toisesta, riippuu laskentamenetelmän käyttötilanteesta ja -tavasta. Kaikki edellä esitellyt investointilaskentamenetelmät käyttävät kassavirtaa ja sen nykyarvoa, joka tuo laskelmiin luotettavuutta ja mahdollistaa eri aikoina tapahtuvien kassavirtojen vertailun. Vaikka laskennan yhteydessä olisi käytettävissä poikkeavan hyvää data-aineisto ja eläisimme täysin muuttumattomassa maailmassa, ei mitään edellä esitellyistä laskentatavoista voida kuitenkaan pitää ainoana oikeana menetelmänä, vaan on suositeltavaa toteuttaa laskelmat myös vähintään toista investointilaskentatapaa hyödyntäen. Toteutettuihin laskelmiin on suhtauduttava varauksella ja laskelmille on suositeltavaa toteuttaa herkkyyksianalyysit tulosten varmentamiseksi.

Suurin yhteinen tekijä tuo myös suurimman epävarmuuden laskelmiin. Kuten mainittiin aiemmin ja kuvassa 6, esitetään, kaikissa kolmessa esitellyssä investointilaskentamenetelmässä käytetään kassavirran nykyarvoa. Kassavirran määrittely ja sen nykyarvon

määrittelyssä käytettävä diskonttokorko vaikuttavat merkittävästi laskennan tulokseen ja puutteellinen määrittely voi aiheuttaa epävarmuutta tuloksiin. Diskonttokorkona käytetään yleensä painotettua pääomakustannusta, joka toimii usein myös pienimpänä hyväksyttynä tuottona. Diskonttokorkona voidaan käyttää myös esimerkiksi hankkeeseen liittyvää riskikerrointa tai vaihtoehtoisen investoinnin tuotto prosenttia.

Selvin erottava tekijä esiteltyjen investointilaskelmien osalta on tuloksen laatu ja kuinka sitä voidaan käyttää. Sisäisen koron menetelmässä tulokseksi saadaan prosentti, joka kuvastaa investoinnin kykyä tuottaa pääomaa saadun prosentin mukaisesti. Yleisesti ajatellaan, että sisäisen koron olisi oltava suurempi kuin pääomankustannus CoC, cost-of-capital. Silloin kun sisäinen korko on sama kuin pääomankustannus tai diskonttokorko, hankkeen nettonykyarvo on nolla. Nettonykyarvoa laskettaessa tuloksena saadaan selvä rahanarvo halutussa valuutassa, joka kuvastaa hankkeen kokonaisarvoa nykyhetkessä. Nettonykyarvon olisi oltava suurempi kuin nolla, jotta investointi voidaan nähdä kannattavana. Molemmilla edellä mainituilla investointilaskentatavoilla voidaan arvioida ja arvottaa erilaisia investointihankkeita ja niitä voidaan vertailla keskenään, mutta on huomioitava, ettei ole suositeltua käyttää vain yhtä investointilaskentamenetelmää hankkeen kannattavuuden arviointiin.

Hyötykustannusindeksi tarjoaa indeksin tyyppisen luvun tulokseksi. Hyötykustannusindeksin ollessa suurempi kuin yksi investointia voidaan pitää kannattavana ja mahdollisesti toteuttamisen arvoisena. Hyötykustannusindeksi vertaa tunnistettuja hyötyjä tunnistettuihin kustannuksiin ja hyötyjen ollessa suuremmat, indeksin arvo on suurempi kuin yksi. Silloin kuin hyötykustannusindeksin arvo on suurempi kuin yksi, sisäinen korko on suurempi kuin käytetty diskonttokorko (pääoman tuottovaatimus), jota on käytetty nykyarvon laskennassa. Tällöin myös nettonykyarvo on tulokseltaan positiivinen.

Hyötykustannusindeksi antaa mahdollisuuden lisätä niin sanottuja pehmeitä arvoja investointilaskelmiin. Hyötykustannusindeksiä käytetäänkin monipuolisesti julkisissa hankkeissa, kun halutaan tunnistaa ja arvioida hankkeiden vaikutus yhteisöihin ja yksilöön. Nettonykyarvolla ja sisäisen koron menetelmällä ei lähtökohtaisesti voida laskea vastaavia arvoja. Hyötykustannusindeksin erityispiirre tuo mukanaan myös huomioitavan haasteen; kenen katsantokannasta laskelmia tehdään ja kenen edut huomioidaan laskelmissa.

Hyötykustannusindeksin suurin haaste ilmenee helposti tilanteessa, jossa hyötykustannusindeksi ei saa arvoa yksi tai enemmän. Laskelmia toteuttavalla henkilöllä saattaa olla suuri

halu muuttaa laskelmia siten, että hyötykustannusindeksi nousee yli yhden. Ennen laskennan toteuttamisvaihetta onkin kriittistä määrittää ne tekijät, jotka otetaan huomioon laskennassa. Tämä korostuu tilanteissa, joissa hankkeita vertaillaan ja yritetään luoda pohjaa päätökselle.

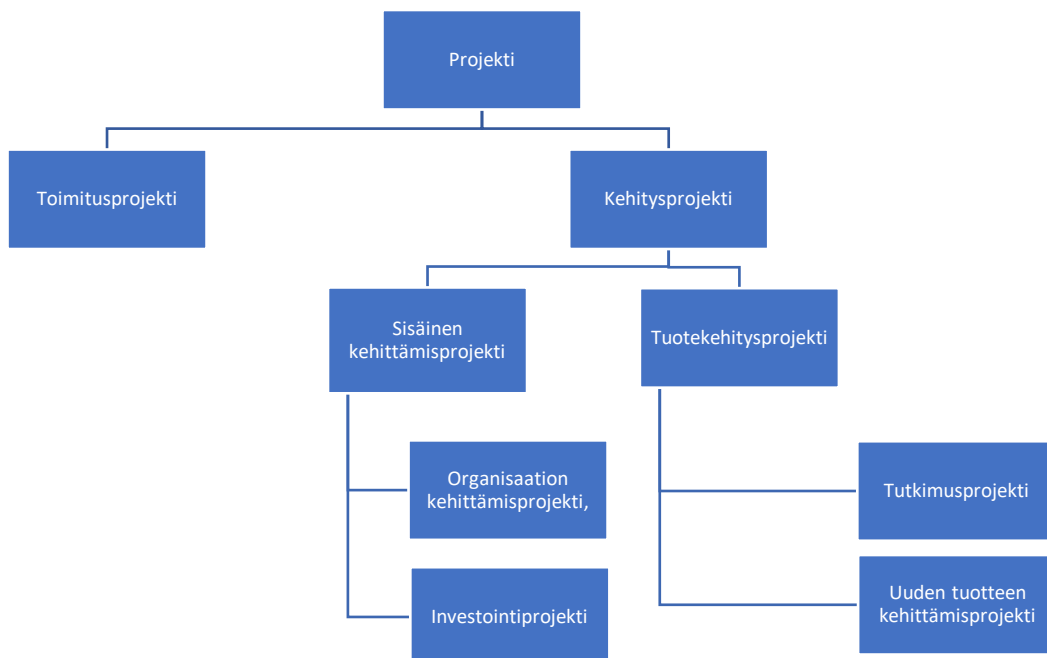
Toteutetun tutkimuksen mukaan ei ole tunnistettavissa yhtä tiettyä, juuri oikeaa investointilaskentatapaa investointihankkeiden arviointia varten. Jokaisessa esiteltyssä investointilaskentamenetelmässä on hyvät ja heikot puolensa ja ne on tiedostettava käytettäessä jotain tiettyä investointilaskentamenetelmää. Onkin suositeltavaa käyttää useampaa investointilaskentamenetelmää sekä huomioida laskentatapaus ja yleisö, jolle laskenta toteutetaan. Tutkimusten mukaan suosituin laskentamenetelmä vaihtelee nettonykyarvon ja sisäisen koron menetelmän välillä riippuen vastaajasta. Onkin viisasta huomioida vastaanottava taho, jolle investointilaskentaa toteutetaan, jotta viesti menee varmasti perille ja tulee ymmärretyksi.

Case-yhtiön tarpeet huomioiden on kannattavampaa käyttää erilaisia investointilaskentatapoja eri projektin vaiheissa sen sijaan, että jumittauduttaisiin yhteen tiettyyn investointilaskentamenetelmään. Case-yrityksen tapauksessa ennen hanketta voidaan tunnistaa pehmeitä arvoja, kuten ympäristö ja vuokrattavuusasiat, jotka saattavat puoltaa maalämpöä energialähteeksi kaukolämmön sijaan. Hankkeen toteuttamisvaiheessa ja pidemmällä seurantajaksoilla nettonykyarvo tai sisäisen koron menetelmä voi olla suositeltavampi. Myös kesken hankkeen on suositeltavaa toteuttaa laskentaa esimerkiksi tuloksen arvo menetelmää hyödyntäen.

3 Projektinhallinta ja kustannustenhallinta

Tässä kappaleessa käsitellään projektin hallintaa projektimallien, Vesiputousmalli, Agile ja laajennetun projektiprosessin kautta, käsitellään kustannusten hallintaa projekteissa sekä niiden sitoutumista projektien vaiheisiin.

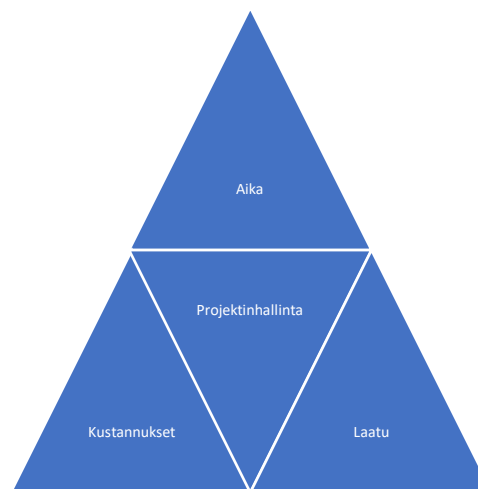
Yleisesti projektit voidaan jakaa toimitus- ja kehitysprojekteihin. Toimitusprojektit ovat pääsääntöisesti oman organisaation ulkopuolelle toimitettuja, asiakkaan tarpeiden mukaisesti määriteltyjä projekteja. Kehitysprojektit voidaan jakaa sisäisiin kehittämisprojekteihin ja tuotekehitysprojekteihin. Sisäiset tuotekehitysprojektit voivat olla esimerkiksi strategiaan liittyviä, organisaation kehittämisprojekteja tai esimerkiksi investointiprojekteja. Näiden alkulähteenä toimii yleisesti sisäiset toimijat, kuten yhteistyökumppanit ja työntekijät. Tuotekehitysprojektit voivat pitää sisällään esimerkiksi tutkimusprojekteja tai uuden tuotteen kehittämisprojekteja. Tuotekehitysprojektin sytykkeenä voidaan nähdä sisäisten toimijoiden lisäksi kilpailijat ja tarve erottua markkinoilla. Projektien jakaminen eri luokkiin on esitetty kuvassa 7. (Lehtonen et al 2006).



Kuva 7 Projektin luokittelu, mukailen Lehtonen et al. 2006

3.1 Projektinhallinta

Projektinhallinnan tavoitteena on varmistaa projektin tavoitteiden saavuttaminen. Tavoitteena on, että projekti täyttää sille asetetut laadulliset tavoitteet tavoitelluiden tuotteiden muodossa. Tuotteet voivat olla mitä vain tuloksia, joita toiminnalla tavoitellaan. Projektinhallinnan tavoitteena on myös varmistaa resurssien, kuten työvoiman ja rahallisten resurssien riittävyys tuotteen tuottamiseksi. Kolmantena tunnistettavana tavoitteena on toteuttaa edellä esitetyt tuotteet asetetussa aikataulussa. (Lehtonen et al. 2006.)

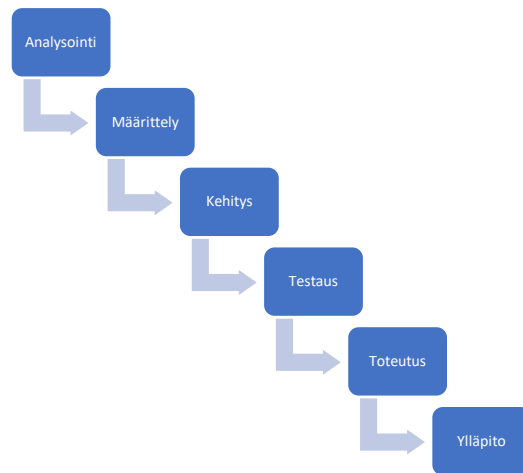


Kuva 8 Projektinhallintakolmio

Projektinhallinnan muodostavat kolme osa-aluetta, kustannushallinta, laadunhallinta ja aikataulun hallinta. Yllä olevassa kuvassa on kuvattu projektinhallintakolmio, jossa nämä kolme osa-aluetta on kuvattu. Kolmio kuvaa projektiin vaikuttavia kriteerejä, joilla on vaikutus toisiinsa. Jos esimerkiksi projektissa halutaan painottaa kustannuksia, on yleisesti joustettava jostain toisesta osa-alueesta, jotta kustannukset pysyvät halutussa. Vastaavalla tavalla jos projektissa halutaan painottaa erittäin hyvää laatua, on tällä väistämättä vaikutusta aikatauluun ja kustannuksiin. (Lester, 2017).

Tutkimuksessa esitelty energiatehokkuusprojekti, kuten varsin monet muutkin kiinteistöihin liittyvät projektit, ovat läpimenoajaltaan yleisesti varsin pitkiä. Toteutetussa energiatehokkuusprojektissa pidettiin tärkeänä analysointityön jälkeistä vaihetta, projektin määrittelyä, ennen projektin aloittamista. Alla on kuvattu projektinhallintaan liittyviä projektimalleja, vesiputousmalli- sekä agile- projektimallit.

3.1.1 Vesiputousmalli



Kuva 9 Vesiputousmalli, mukailten Balaji & Murugaiyan 2021.

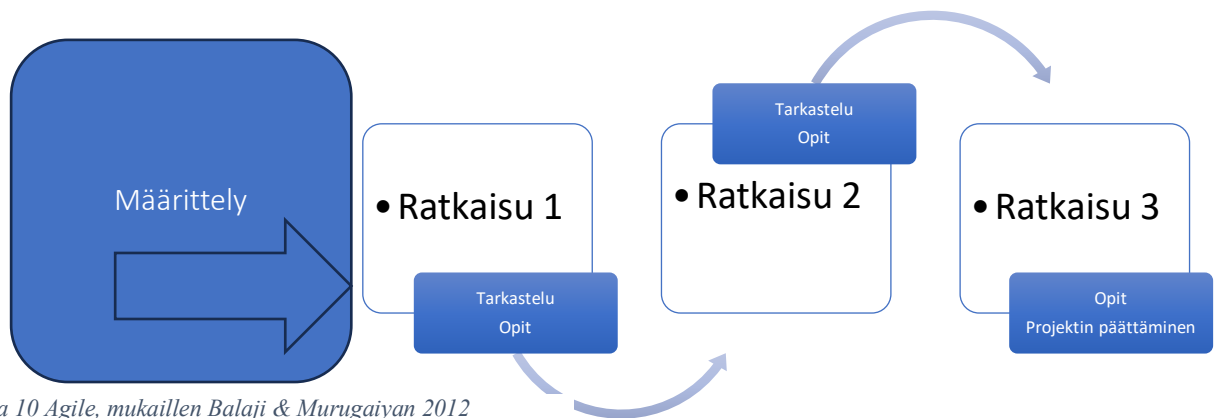
Vesiputousmalli (Waterfall model), kuvattu yllä, muodostaa graafisesti helposti ymmärrettävät alaspäin etenevät portaat, joita voidaan ajatella vesiputouksena. Mallissa on esitetty kuusi eri vaihetta, jotka muodostavat kehityspolun. Vesiputousmallissa vaiheet muodostavat omat kokonaisuudet, jotka on toteutettava ennen seuraavaan vaiheeseen siirtymistä. Jokaista vaihetta käsitellään omana tehtävänä ja jokainen vaihe on käytävä läpi ennen seuraavaan siirtymistä. (Balaji & Murugaiyan 2012).

Vesiputousmallin ensimmäinen porras on analysointi. Tällä portaalla analysoidaan nykytilanne tai tehdään havaintoja, jotka voivat vaikuttaa tulevaan toteutukseen. Toisella portaalla määritellään projekti ja asetetaan tavoitteet, joita projektilla pyritään täyttämään. Kolmas vaihe on kehitysvaihe, jossa toteutetaan ratkaisu tai malli ongelman ratkaisuksi, jota testataan neljännessä vaiheessa testaus. Mikäli testausvaihe on onnistunut, siirrytään viidenteen vaiheeseen, toteutus. Ylläpitovaihe on viimeinen kuudes vaihe vesiputousmallissa. Ylläpitovaiheessa seurataan toteutuksen laatua ja korjataan mahdollisia puutteita ja huomioita. (Balaji & Murugaiyan 2012).

Vesiputousmalli on hyvin käytetty projektinhallintatyökalu varsinkin suurissa projekteissa. Se antaa selvän lineaarisen kuvauksen projektista ja sen vaiheistuksesta. Sitä on myös kritisoitu, sillä projektin vaiheissa havaitut haasteet ja ongelmat eivät välttämättä ratkea

kyseisessä projektin vaiheessa. Vesiputousmallissa pitäisi saada yksi vaihe valmiiksi, jotta voi siirtyä seuraavaan vaiheeseen, mikä voi aiheuttaa myös ongelmien havaitsemisen myöhemmin. Jotta vesiputousmallia voidaan käyttää onnistuneesti projektin hallinnassa, on syytä keskittyä ensimmäisiin vaiheisiin, joissa määritellään mahdollisimman tarkasti projektin tavoitteet ja ympäristö. (Balaji & Murugaiyan 2012).

3.1.2 Agile



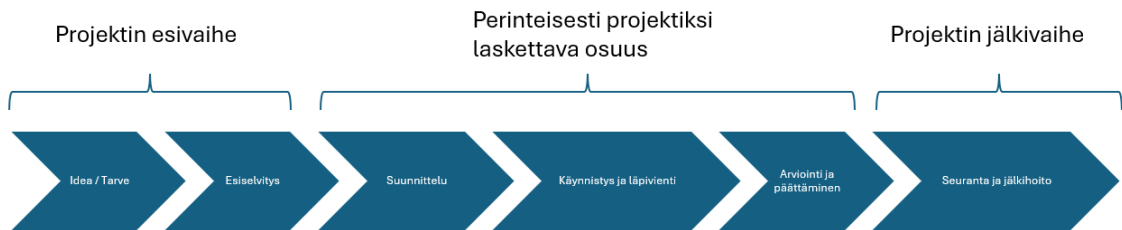
Kuva 10 Agile, mukaillen Balaji & Murugaiyan 2012

Agile, suomeksi nopea tai joustava, projektimalli on yleisemmin ohjelmistoliiketoiminnassa käytetty projektinmalli. Agile ei ole vesiputousmallin tavoin lineaarinen projektimalli, vaan agileen kuuluu jatkuvien herätteiden vastaanotto ja niiden mukainen toiminta. Kuten vesiputousmallissa, määritellään Agilessäkin vaatimukset ja määritellään projektin tavoitteet ensi vaiheessa. Kuten yllä olevassa kuvassa esitetään, siirrytään kartoitus ja määrittely vaiheesta jo ensimmäiseen toteutusmalliin. Agile perustuu opittuihin asioihin, joiden mukaisesti lopputuotetta jalostetaan uudelleen ja uudelleen. Projekti siis ikään kuin toistetaan useasti, jolloin opittua käytetään kehityksessä ja pyritään valmistamaan lopputuote, joka täyttää määritykset. (Balaji & Murugaiyan 2012).

Huomioiden kiinteistökehityshankkeiden vaatimukset ja kustannukset, Agile ei muodosta parasta mahdollista projektinhallintatyökalua. Agile soveltuu paremmin esimerkiksi sovel-
luskehitykseen, jossa olosuhteet saattavat kehittyä ja korjauksia voidaan toteuttaa joustavasti ja nopeasti jo olemassa olevaan tuotteeseen. Kiinteistökehityshankkeissa kustannukset näyt-
televät niin suurta roolia ja tekniset ratkaisut aiheuttavat omat määrityksensä, ettei projekteja
lähtökohtaisesti voida hallita reaktiivisuuden perustuvan Agilen avulla. Tämä ei kuitenkaan

estä käyttämästä Agilen etuja osana jotain vesiputousmallin projektivaihetta, esimerkiksi oikean ratkaisun tai vikatilanteen korjaamisessa. (Balaji & Murugaiyan 2012).

3.1.3 Laajennettu projektiprosessi

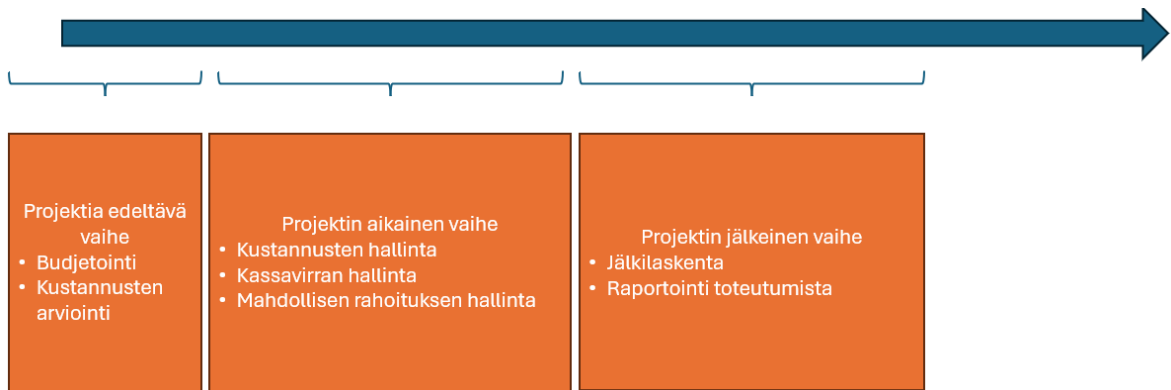


Kuva 11 Laajennettu projektiprosessi, mukaillen Lehtonen et al sivu 25.

Aiemmin esiteltiin projektinhallinnan malleina Vesiputousmalli sekä Agile -projektinhallinta malli. Lehtonen et al. esittelevät kirjassaan *Projektisalkun hallinta – Kehitystoiminnan strateginen johtaminen, 2006*, myös uudenlaisen jaon projektin elinkaaren määrittelyyn. Tavanomaisesti projektin elinkaari sisältää suunnittelun, käynnistuksen ja läpiviennin sekä arvioinnin ja päättämisen. He esittävät kirjassaan projektiprosessin laajentamista tuomalla aiemmin esitettyjen vaiheiden ympärille projektin esivaiheen sekä projektin jälkivaiheen. Projektin esivaihe sisältää vaiheet idea / tarve, jossa saadaan idea tai tunnistetaan tarve. Toinen osa projektin esivaihetta käsittää esiselvityksen, jossa asiaa tutkitaan enemmän; sitä vertaillaan muihin, projekti myydään, sitä markkinoidaan ja toteutetaan alustava suunnittelu sekä kannattavuus- tai toteutettavuusselvitys. Projektin jälkivaihe sisältä seurannan ja jälkihoiton. Nämä voivat sisältää jälkiarviointia, projektista kerätyn opin tunnistamista ja siirtämistä käyttöön jatkossa tai jälkimarkkinointia.

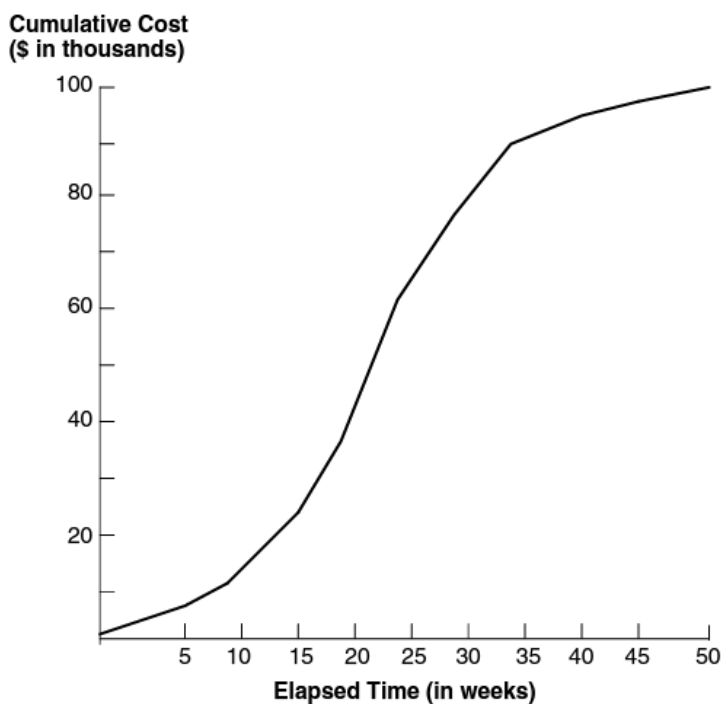
3.2 Kustannusten hallinta

Aiemmin kuvattiin projektinhallintaa kolmiolla, jossa linkittyy kustannushallinta, laadunhallinta sekä aikataulunhallinta toisiinsa. Projektin kustannusten hallintaan kuuluu kustannusten ennustaminen, projektin budjetointi, kassavirran hallinta sekä rahoituksen hallinta. Projekteissa tavanomaisesti kustannukset realisoituvat vasta projektin edetessä. (Vekatarman & Pinto 2008).



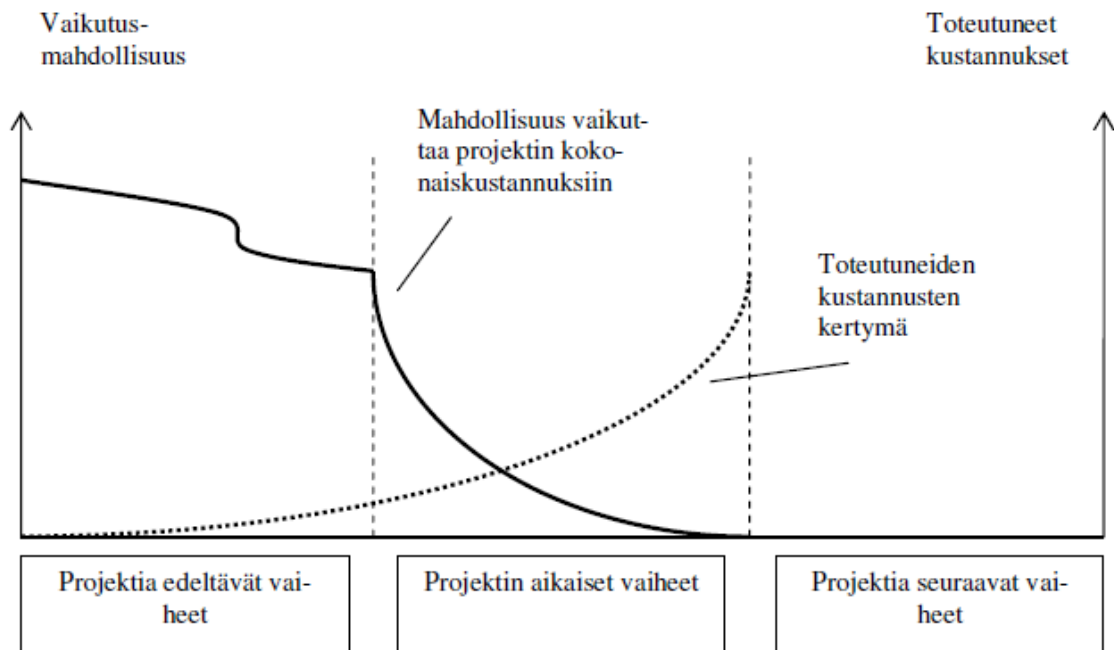
Kuva 12 Kustannushallinnan muutos projektin edetessä, mukailten Vekataraman & Pinto 2008.

Projektin kustannusten hallinta voidaan jakaa tehtävien lisäksi myös aikajaksoihin, ennen projektia tapahtuva, projektin aikana tapahtuva ja projektin jälkeinen kustannusten hallinta. Ennen projektin aloittamista tapahtuva kustannusten hallinta painottuu budjetoinnille ja kustannusten arviointiin. Projektin edetessä painopiste etenee kustannusten-, kassavirran ja mahdollisen lainapääoman hallintaan. Projektin valmistuttua suoritetaan jälkilaskentaan liittyviä toimenpiteitä ja raportointia toteutuneista kustannuksista. (Vekataraman & Pinto 2008).



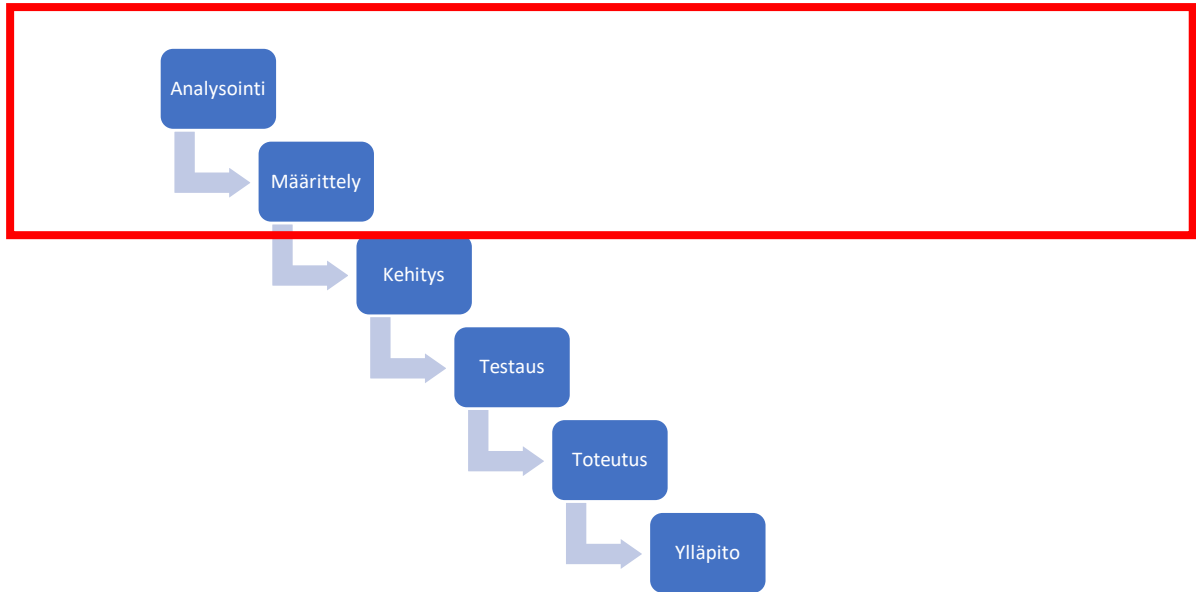
Kuva 13 Projektin kustannusten S-käyrä (Vekataraman & Pinto 2008)

Edellä esitetyssä kuvassa (kuva 13) kuvataan projektiin liittyvien kustannusten kertymistä projektin aikajanalla. Esimerkistä huomataan, että nopein kustannusten kertymisen jakso on projektin keskivaiheilla, kun taas projektin alku- ja loppuvaiheissa kustannuksia ei kerry vastaavalla tavalla. S-käyrä voidaan käyttää myös kassavirran hallinnassa ja budjetoinnin apuvälineenä.



Kuva 14 Projektin kustannuksiin vaikutusmahdollisuus Artto et al 2006 s152

Vaikka kustannusten todellinen kertyminen tapahtuu voimakkaimmin projektin toteutuksen aikana, on huomattava, milloin kustannuksiin voidaan vaikuttaa. Yllä esitetyssä kuvassa on kuvattu projektin kustannuksiin vaikuttamisen potentiaali ennen projektin aloittamista. Kustannushallinnan osalta on kriittistä onnistua projektin määrittelyvaiheessa, jolloin projektin kustannuksiin on vielä suurin mahdollisuus vaikuttaa. Myöhemmin projektin edetessä voidaan huomata rajallisemmat vaikutusmahdollisuudet, kun kärsitään jo aiemmin toteutettujen toimien mukaisesta polkuriippuvuudesta. (Artto et al 2006).



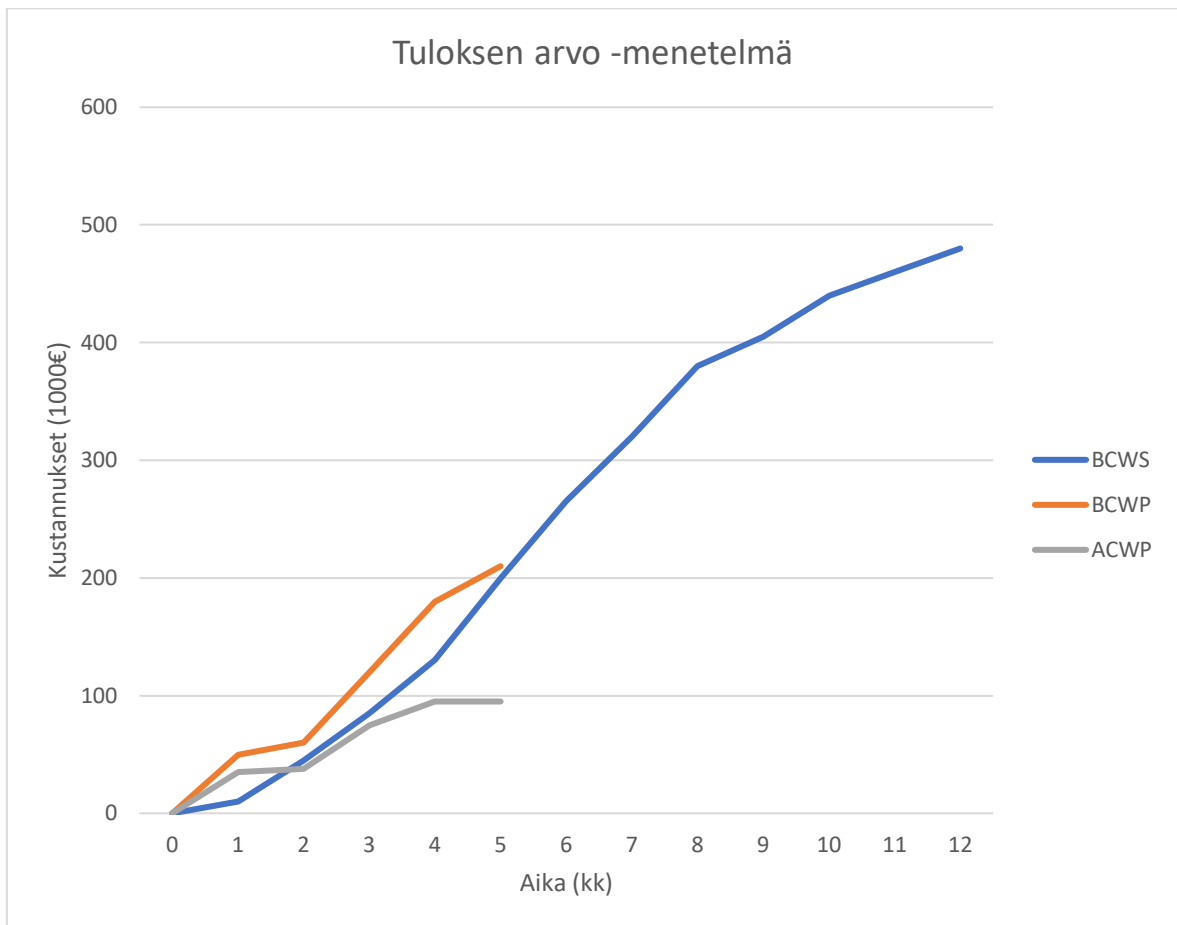
Kuva 15 Vesiputousmalli ja kustannukset, mukailten Balaji & Murugaiyan 2021.

Yllä esitetyssä kuvassa on esitetty punaisella laatikolla aiemmin esitetyn vesiputousmallin päällä paras ja vaikuttavin vaihe, jossa projektin kustannuksiin voidaan vaikuttaa parhaiten. Sama alue ja projektin osa-alue ilmenee myös Artto et. al. oppikirjasta, jossa alueeseen viitataan termillä *Projektia edeltävät vaiheet*.

3.3 Tuloksen arvo -menetelmä

Projekteja ja niiden etenemistä on seurattu pääasiassa tutkimalla toteutuneita kustannuksia ja seuraamalla projektin aikataulun etenemistä. Tuloksen arvo -menetelmän (Earned value) avulla yhdistetään nämä kaksi erillistä mittaustapaa ja pyritään seuraamaan projektin etenemistä toteutuneen tuloksen arvon avulla. Tuloksen arvo -menetelmällä voidaan myös ennustaa projektin etenemistä hankkeen edetessä. (Chen et al 2016).

Kuten aiemmin esitettiin, noudattelee projektin kumulatiiviset kustannukset S-käyrää. Tuloksen arvo menetelmässä työt ryhmitellään työpaketeiksi ja ne kerätään X -akselille huomioiden hankkeen aikataulu. Y-akseli kuvastaa kustannuksia. Tavoitteena on seurata todennukaisesti työpakettien valmistumista ja aikataulussa pysymistä verrattuna tavoitteena olevaan. On havaittu, että tuloksen arvo -menetelmä voidaan seurata ja ennustaa projektien etenemistä ja toteuttaa kustannusseurantaa tehokkaasti. Se antaa myös ensimmäisiä signaaleja mahdollisista poikkeamista. (Amin et al. 2019).



Kuva 16 Tuloksen arvo -menetelmä

Tuloksen arvo -menetelmällä laskemiseen tarvitaan seuraavia käsitteitä ja arvoja. Kustannusero (CV) saadaan erottamalla hankkeessa tehdyn työn budjetoiduista kustannuksista (BCWP, Budgeted Cost for Work Performed), tai tuloksen arvo, ajanhetkessä jo toteutuneet kustannukset (ACWP, Actual Cost for Work Performed). Aikatauluero (SV) saa erottamalla ajanhetken tehdyn työn budjetoiduista kustannuksista (BCWP) projektin aikataulun mukaiset budjetoidut kustannukset (BCWS, Budgeted Cost for Work Scheduled). Pelkkien arvojen kustannus- ja aikatauluerojen laskeminen ei ole mielekäästä, vaan laskemalla kustannusero- ja aikatauluero prosentit voidaan seurata hankkeen etenemistä kullakin ajan hetkellä. (Kärri & Uusi-Rauva 2003).

Alla on esitelty kustannuseroprosentin (CVP, cost variance percent) ja aikatauluero prosentin (SVP, schedule variance percent) laskukaavat. On huomioitava, että koko hankkeen

kehityksen seuraamiseksi on mielekästä seurata sekä kustannuseroprosenttia että aikataulu-
lueroprosenttia.

$$CVP = \frac{BCWP - ACWP}{BCWP} \quad (12)$$

$$SVP = \frac{BCWP - BCWS}{BCWS} \quad (13)$$

Amin et al. 2019 esittelevät artikkelissaan *Evaluation of cost and time control in Lhokseumawe City improvement project using earned value method (Case Study Street Alue Raya-Line Pipa)* myös vastaavat indeksit kuin CVP ja SVP. Kustannustasoindeksi (CPI, cost performance index) vertailee toteutunutta arvoa realisoituneisiin kustannuksiin. Aikataulu-
tasoindeksi (SPI, Schedule performance index) vertaa toteutunutta arvoa suunniteltua aika-
taulua. Indeksit ja niiden laskeminen on esitelty alla.

$$CPI = \frac{BCWP}{ACWP} \quad (14)$$

$$SPI = \frac{BCWP}{BCWS} \quad (15)$$

Laskentaan esimerkinomaisesti kuvan 16 arvoilla kustannuseroprosentti (CVP) sekä aika-
tauluero prosentit (SVP).

Taulukko 1 Kustannuseroprosentti CVP

	1	2	3	4	5
<i>CVP</i>	30 %	37 %	38 %	47 %	55 %

ja aikatauluero prosentti olisi vastaavasti,

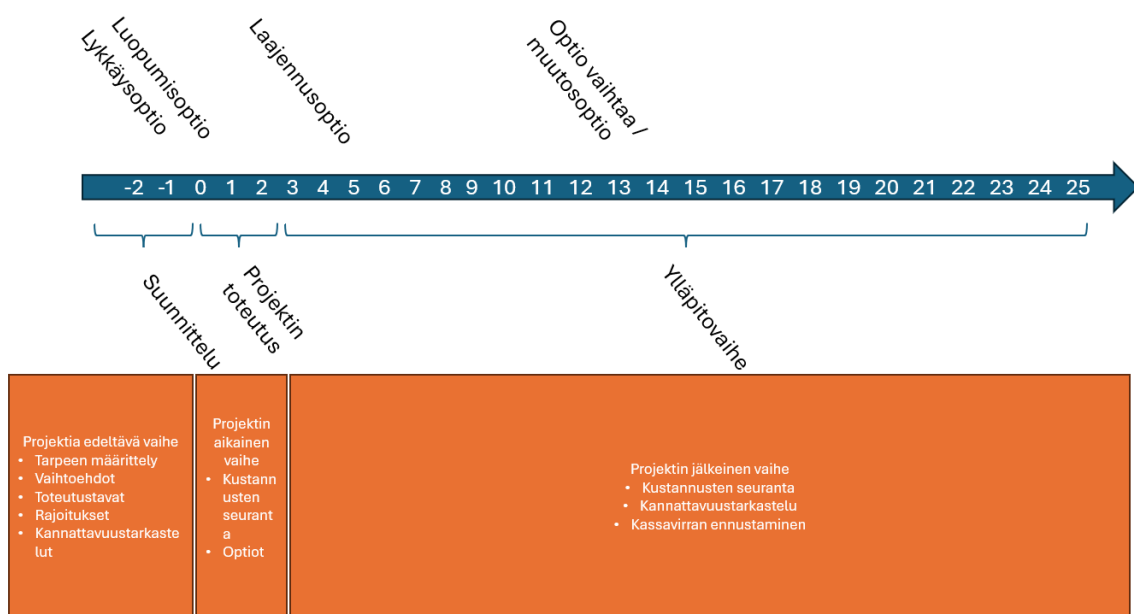
Taulukko 2 Aikatauluero prosentti SVP

	1	2	3	4	5
<i>SVP</i>	400 %	33 %	41 %	38 %	5 %

Kustannuseroprosentin ollessa alle 100% tutkittu projekti ei ole tavoittanut sille asetettua aikataulua tai suoritustasoa. Prosentin ollessa suurempi kuin 100% on tavoitteet saavutettu budjetoitua paremmin. Täten voidaan tulkita taulukosta 1, että hanke ei ole tavoittanut sille asetettuja tavoitteita. Taulukosta 2 voidaan todeta, että tutkittu esimerkkiprojekti on ollut aikatauluaan huomattavasti edellä ensimmäisen kuukauden osalta, mutta myöhemmin projekti ei ole päässyt asetettuun aikataulutavoitteeseen.

3.4 Investointilaskentamenetelmät ja projektinhallinta

Kappaleessa kolme esiteltiin kolme investointilaskentamenetelmää, joita kaikkia voidaan käyttää investointien arviointiin ja seurantaan. Jokaisessa menetelmässä omat tekijänsä, jotka puoltavat niiden käyttämistä sekä tekijöitä, joita on otettava huomioon menetelmiä käytettäessä. Yleisesti voidaan ajatella, ettei ole olemassa yhtä ainoaa oikeaa tapaa.



Kuva 17 Projektin eri vaihteet ja laskentamenetelmät

Huomioiden kiinteistöalaaan liittyvät pitkät ajanjaksot ja hankkeiden elinkaaret, voi olla mielekästä valita arvioinnissa käytettävä investointilaskentamenetelmä eri tavoin eri projektin vaiheisiin ja niiden arviointiin. Artto et al., 2006, jakaa projektin hallinnan kolmeen eri vaiheeseen, projektia edeltävä vaihe, projektin aikaiset vaiheet ja projektin jälkeiset vaiheet.

Projektia edeltävään vaiheeseen voidaan nähdä kuuluvaksi muun muassa tarpeen havaitseminen ja määrittely, suunnittelu, kilpailutus ja sopimusten tekeminen. Toteutetun tutkimuksen mukaan hyötykustannusindeksi soveltuu hyvin tähän ajanjaksoon, jossa toteutetaan valintaa eri vaihtoehtojen välillä, tutkitaan mitä hyötyjä ja etuja tavoitellaan ja millä vaihtoehdolla ne täyttyvät parhaiten. Hyötykustannusindeksissä voidaan ottaa huomioon esimerkiksi hankkeen vihreät arvot, valitun kohderyhmän hyödyt kuten vuokralaisten viihtyvyyden paraneminen ja mahdollisesti rakennuksen vuokrattavuuden paraneminen. Hyötykustannusindeksillä voidaan vertailla erilaisia vaihtoehtoja, kuten lämmitysmenetelmän valinta maalämmön ja öljylämmityksen välillä huomioiden asiakkaiden näkökulma sen vaikutukset muuhun hankkeeseen. Samaa indeksiä voidaan hyödyntää myös hankekokonaisuuden määrittelyyn, kun yritetään tunnistaa niitä tekijöitä, joilla on suurin vaikutus kokonaisuuteen niin pehmeiden kuin oikeidenkin numeraalisten arvojen osalta.

Viimeistään suunnittelun edetessä ja kokonaisuuden hahmottuessa on huomioitava hankkeeseen liittyvät pääomat ja tavoiteltu tuottovaatimus. Nämä ohjaavat suunnittelua osaltaan, kun halutaan varmistua siitä, että hanke on taloudellisesti kannattava. Suunnittelun ohessa saatetaan toteuttaa erilaisia kannattavuustarkasteluja toteutusvaihtoehtojen ja niiden aikataulutuksen osalta, jolloin sisäisen koron menetelmä on suositeltava. Sisäisen koron menetelmä on laajasti käytetty ja helpoksi mielletty tapa arvioida investointihankkeiden kannattavuutta. Sisäisen koron menetelmä antaa myös hyvän mahdollisuuden vertailla aiemmassa vaiheessa toteutettuja valintoja ja vertailla niiden kykyä pääoman tuottoon. Sisäisen koron menetelmällä voidaan tutkia eri toteutusvaihtoehtojen kannattavuutta ja tutkia kannattavinta projektin toteutuslaajuutta.

Projektin ollessa jo käynnissä päätökset ja toteutustapa on jo päätetty. Tulevia mahdollisia muutoksia ovat muun muassa mahdolliset lisätyöt ja optiot projektin toteuttamisen yhteydessä. Näiden osalta tehdään kannattavuustarkastelua kustannus seurannan osalta ja jatketaan hankkeen kannattavuuden seuranta. Tuloksenarvomenetelmä ei kuulu tutkimuksessa tutkittaviin investointilaskentamenetelmiin, mutta tuloksenarvomenetelmällä voidaan seurata toteutuneita kustannuksia toteutuneisiin hyötyihin. Tuloksenarvomenetelmä kertoo, onko arvioitava hanke täyttämässä laatumääreet aikataulun ja kustannusten suhteessa. Kassavirranhallinta on suuressa roolissa varsinkin pitkissä toteutushankkeissa, joissa hankkeeseen sitoutuu runsaasti pääomia. Kassavirran- ja riskienhallinnan näkökulmasta maksuerätaulukon toteuttaminen hyödyntäen tuloksenarvomenetelmän periaatteita on kannattavaa. Tällöin

varmistetaan, että maksut eivät ajoitu väärin hankkeen vaiheisiin ja kohdistu väärin. Myös mahdolliset projektin keskeytys ja konkurssitilanteet ovat helpommin käsiteltävissä, kun maksuerätaulukot on suunniteltu siten, että maksetaan toteutuneista kokonaisuuksista todenmukaisesti.

Projektin jälkeisessä vaiheessa projektilla tavoiteltu tuotto tai säästö on alkanut realisoitumaan. Tämä antaa mahdollisuuden hankkeen kannattavuustarkastelun päivittämiseen, sillä aiemmin kustannukset ja tuotot ovat olleet vain parhaita arvioita, eivätkä siten vastaa välttämättä toteumaa. Uusien toteutuneiden kustannusten ja hyötyjen perusteella hankkeen kassavirtaa voidaan paremmin ennustaa, jolloin väistämättä myös kannattavuustarkastelu tulee uudelleen ajankohtaiseksi päivitettyjen lukujen pohjalta. Myös olosuhteiden muutokset, kuten rahoituksen tai optioiden käyttäminen tai käyttämättä jättäminen voidaan huomioida laskelemissa. Ylläpitovaiheessa on myös yleistä huomata jokin lisätyö tai muu tarve, joka osaltaan saattaa parantaa projektin kannattavuutta tarkasteltaessa muutosta koko elinkaaren näkökulmasta.

Eri investointilaskentamenetelmiä vertaillen saattaa törmätä ajatukseen, että nettonykyarvomenetelmää hyödyntäessä kassavirran on oltava vuosikymmeniä kattava. On huomattava, että vuosikymmenien kassavirran ennustaminen ei välttämättä ole myöskään täysin vaivatonta, jolloin lyhyempi tarkastelujakso ja jäännösarvon määrittely voi olla mielekäs ratkaisu.

4 KOy E.O. energiatehokkuusinvestoinnin kannattavuusarviointi

4.1 Laskennan oletukset

Investoinnin laskentaan liittyen tehdään seuraavia oletuksia, kts. taulukko alla:

Taulukko 3 Laskennan oletukset

Investointivuosi	2022
Energiatehokkuusinvestointi, MLP + IV modernisointi + automaatio	963 540 €
Energiatehokkuusinvestointi, lisätyöt	86 808 €
Aurinkopaneelijärjestelmä	52 316 €
Suunnittelu, projektinjohto ja valvonta	68 320 €
Kassavirta, vuodet	25
Vaihtoehtoiset investointikustannukset, kaukolämpö	2024 7 200 € automaation uusiminen 2026 35 000 € vaihtimen uusiminen
Sähkön hinta, kiinteä, sis. siirto alv 0.	0,124 € / kWh
Jäännöskustannukset alv 0	407 240 €
Aurinkopaneelit heikkeneminen /vuosi	0,5 %
Oma pääoma	51 %
Oman pääoman tuottovaatimus	8,5 %
Vieras pääoma	49 %
Vieraan pääoman kustannus	5,3 %
Riskitön korko	4,4 %

Diskonttokorko määritetään WACC:ta hyväksikäyttäen, weighted average cost of capital. Case yritykseltä saadun tiedon mukaan hankkeeseen otettiin pankkilainaa 570 000 €. Lainan korko oli 3kk euribor + 1,6 %. Euribor 3kk futuurin arvo tarkasteluhetkellä oli 3,7 %, jota käytettiin vieraan pääoman korkona tarkastettuna 1,6 % marginaalilla. Työssä ei oteta kantaa euriborin tuleviin muutoksiin. Case yrityksen oman pääoman tuottovaatimus säästöinvestoinneissa on 8,5 %.

Painotetun keskimääräisen pääomakustannuksen, WACC:n, laskukaavaa käyttäen, kaava 2, $WACC = 6,94 \%$.

Investointiin liittyvässä kannattavuuslaskennassa ei oteta huomioon hyötysuhteita tai mitään teknisiin laitteisiin, kuten lämmönsiirtimiin, liittyviä häviöitä. Laskelmissa ei myöskään huomioida WACC:n kaavassa esitettyä yrityksen verotusta, t .

Mikäli laskelmissa käytetään riskitöntä korkoa, valitaan riskittömäksi koroksi Yhdysvaltain 10 vuoden joukkovelkakirjojen tuotto. Tuotto tarkasteluhetkellä oli 4,4 %.

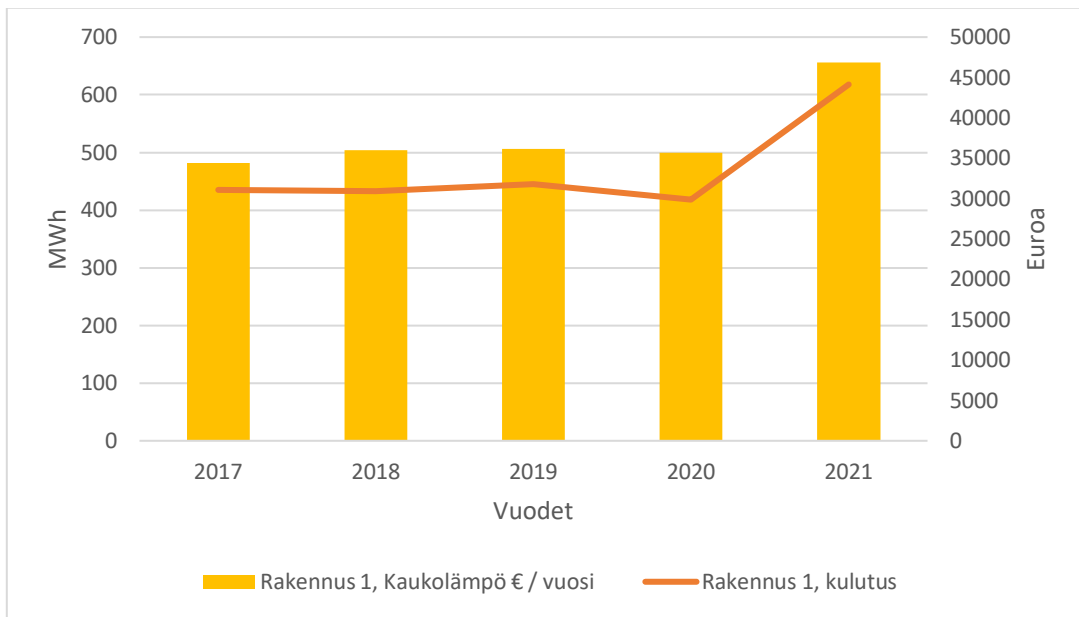
Hankkeen kannattavuustarkastelussa ei huomioida mahdollista käyttöpääoman lisätarvetta. Energiatohokkuusinvestoinnin jäännöskustannukset perustuvat hankkeen suunnitelleen insinööritoimiston arvioon.

4.2 Kassavirran määrittely

Seuraavissa kappaleissa valmistellaan tutkimusaineistoa ja esitellään laskenta-aineisto.

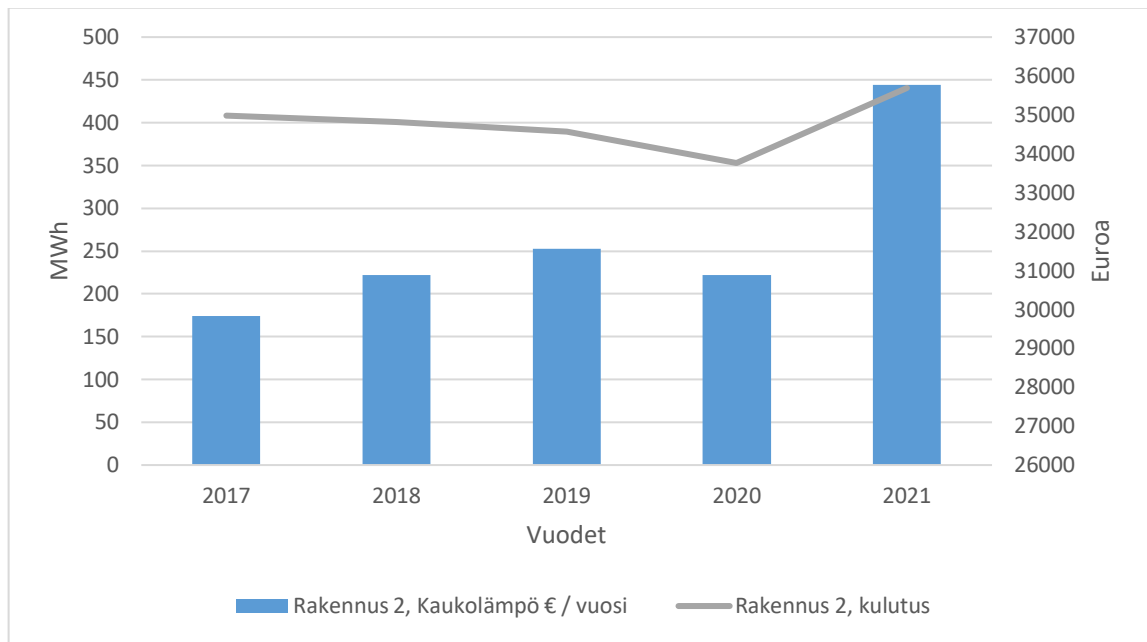
4.2.1 Kohteen lämmönkulutus

Kiinteistöllä on kaksi rakennusta, rakennus 1 ja rakennus 2. Rakennus 1 on rakennettu vuonna 1993 ja rakennuksen kaukolämmön lämmönvaihdin uusittiin vuonna 2018. Rakennus 2 on rakennettu vuonna 1996 ja sen kaukolämmön lämmönvaihdin oli alkuperäinen.



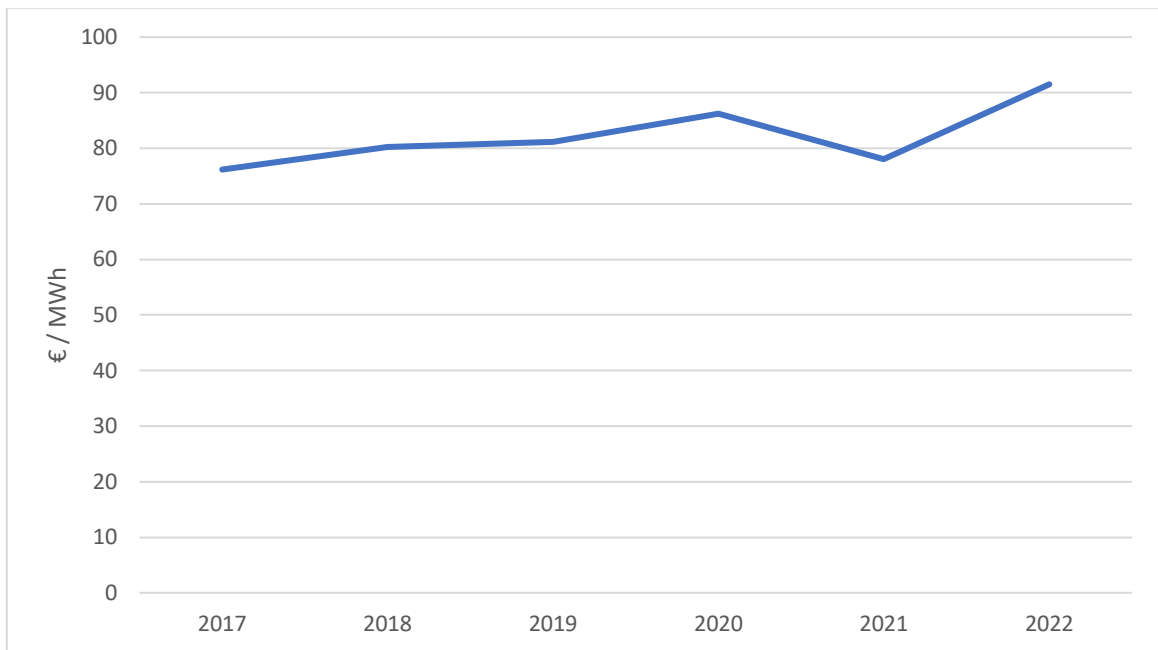
Kuva 18 Rakennuksen 1 kaukolämmön kulutus MWh ja lämmityksen hinta €, vuodet 2017 – 2021

Edellä on esitelty rakennuksen 1 kaukolämmön kulutus vuosien 2017 – 2021 aikana. Lue- mat on kerätty energiatehokkuushankkeen pohjatietona olleista MOTIVA-tutkimuksista sekä toteutuneista kaukolämmön laskuista (Fortum Oyj.) Samaan kaavioon on lisätty myös rakennuksen lämmityskustannukset vuosien 2017 – 2021 ajalta. On huomattava, että raken- nuksessa 1 oli runsasta vajaa käyttöä ja vain osa toimistotiloista päivittäisessä käytössä. Suuri osa rakennuksesta oli varastokäytössä, jossa ei työskennellyt ihmisiä.



Kuva 19 Rakennuksen 2 kaukolämmön kulutus MWh ja lämmityksen hinta €, vuodet 2017 – 2021

Edellä on esitelty rakennuksen 2 kaukolämmön kulutus vuosien 2017- 2021 aikana. Huomioitavaa on, että vuosien 2017 – 2019 aikana rakennuksen toimistotilat eivät olleet juurikaan käytössä jolloin rakennuksen lämmittämiseen oli rajoitettu tarve. Samassa kaaviossa on esitelty rakennuksen 2 lämmityskustannukset vuosien 2017- 2021 ajalta. Rakennuksessa 2 on noin 2400 m² toimistotilaa, josta leijonan osa oli tyhjänä vuosien 2017 -2020 aikana. Vasta vuonna 2021 näkyy suurempi lämmitystarpeen lisäys, sillä rakennukseen 2 avattiin toimistohotelli ja tilat tulivat käyttöön.



Kuva 20 Kaukolämmön hinta vuodet 2017 – 2022

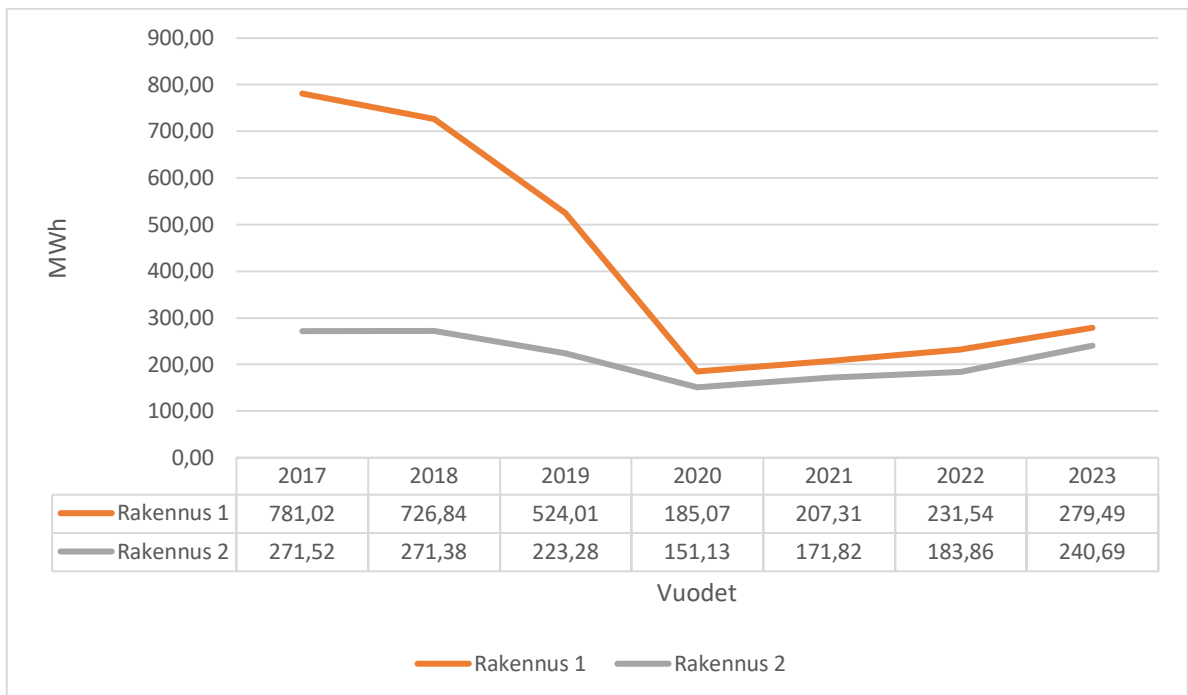
Yllä olevassa kuvassa on esitetty rakennusten 1 ja 2 keskiarvo lämmityksen hinnasta per MWh ja osoitettu sen kehitys. On huomioitava, että rakennus 1 ja rakennus 2 ovat olleet erilaisessa käytössä ja molemmissa rakennuksissa on ollut eri tehoinen kaukolämpöliittymä, kulutus ja niiden myötä lämmityskustannus. Kaukolämmön hinta muodostuu liittymismaksusta, energiamaksusta sekä tehomaksusta. Kohdekaupungissa kaukolämmöstä irtautumisen yhteydessä ei saanut hyvitystä liittymismaksusta. Rakennus 1:n tehomaksu määräytyi 323 kW mukaan ja rakennuksen 2 286 kW mukaisesti. Taulukosta voidaan todeta vuosittain jatkuva lämmityskustannusten vuotuinen kasvu per MWh. Erityisen suurta kasvu on ollut vuoden 2021 ja 2022 välissä, jopa 17%. Selkeää syytä vuoden 2021 kaukolämmön hinnan alenemiseen ei materiaaleista ollut löydettävissä. Keskimäärin kaukolämmön hinta kasvoi tarkastelujaksolla 4,6 %, jota käytetään laskelmissa kaukolämmön hinnan vuosittaisena korotuskertoimena. Ensimmäisen tarkasteluvuoden 2023 kaukolämmön hintana käytetään vuoden 2022 keskihintaa 91,51 €/MWh (+alv), jota tarkastetaan 4,6 % korotuskertoimella vuosittain.

Rakennusten lämmitystä ohjasi kiinteistön saneeraukseen asti vaihtelevasti toimiva automaatiojärjestelmä, joka ohjasi lämmitystä, ilmanvaihdon toimintaa sekä patteriverkostoa. Lämmönjako rakennuksissa toteutettiin huonepattereihin sekä ilmanvaihdon lämmityspatterin kautta. Rakennuksen 1 huonetermostaatteja oli uusittu vuosien varrella, mutta rakennuksen

2 osalta ne olivat alkuperäiset. On huomioitavaa, että huolimatta poikkeavan vajaasta tilojen käytöstä huolimatta, erilaisia vyöhyke tai aluekohtaisia jakoja ei ilmanvaihdon tai lämmityksen osalta toteutettu. Tilojen ilmanvaihto toteutettiin useilla suurilla ilmanvaihtokoneilla, joita ei ohjattu olosuhteisiin perustuen vaan kellokytkimin.

Kannattavuuslaskelmissa huomioidaan capex kustannuksia liittyen lämpölaitteistojen modernisointiin vaihtoehtokustannuksina. Rakennusten kaukolämmön lämmönvaihdinratkaisut olivat vanhentuneita ja osittain elinikänsä päässä rakennuksessa 2. Rakennuksen 1 osalta laskelmissa otetaan huomioon 7.200,00 € kustannus lämmitysjärjestelmän ja automaation kehittämiseen, (MOTIVA tutkimus) vuodelle 2024. Rakennuksen 2 osalta huomioidaan 35.000,00 € kustannus lämmönvaihtimen uusimiseen vuodelle 2026. Kustannukset ovat laskentahetken, ajanhetki 0 kustannuksia.

4.2.2 Kohteen sähkönkulutus



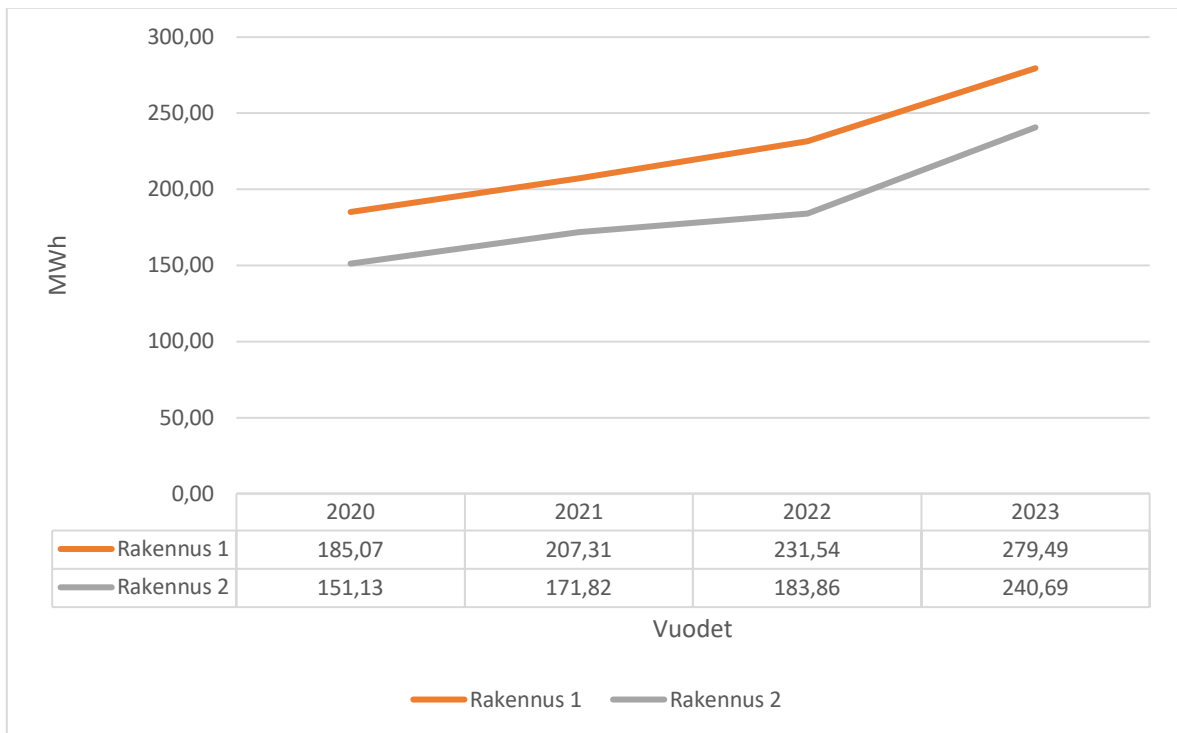
Kuva 21 Rakennusten sähkönkulutus per rakennus MWh

Edellä on esitelty rakennusten sähkön kulutus vuosien 2017 – 2022 välillä. Vuodet 2017-2019 on kerätty kohteisiin toteutetuista MOTIVA -raporteista, jotka toimivat energiatehokkuushankkeen pohjamateriaalina. Vuosien 2020 – 2022 väliseltä ajalta sähkönkulutustieto

on kerätty sähkönmyyjän raportointijärjestelmästä. Vuosina 2017 – 2019 rakennuksessa 1 toimi IT-yritys, joka käytti huomattavan määrän sähköä. IT-yritys omisti tuolloin kiinteistön ja sillä sijaitsevat rakennukset. Kuten kaukolämmön kulutusta kuvaavasta graafista voidaan todeta, palvelinsalista ei juuri saatu kerättyä hukkalämpöä kiinteistön muuhun lämmitykseen vaan se poistettiin rakennuksesta. Palvelinsalin jäähdyttäminen kulutti runsaasti sähköä ja sähkön kulutus painottuikin rakennuksessa 1 kesäaikaan kun palvelinsalin lämpökuormaa hallittiin runsaasti sähköä kuluttavalla jäähdytysjärjestelmällä.

Rakennuksessa 2 ei ollut vastaavaa suurta palvelintoimintaa, mutta siellä sijaitsi kuitenkin palvelinsali, joka oli tehonkulutukseltaan noin 20% rakennuksessa 1 sijainneesta salista. Rakennuksessa 2 kiinteistön sähkönkulutuksesta myös suuri osa käytettiin palvelintilan jäähdyttämiseen. Palvelimet sammutettiin lopulta vuonna 2019, jolloin kiinteistön myynyt IT-yritys aloitti muuton toisiin tiloihin.

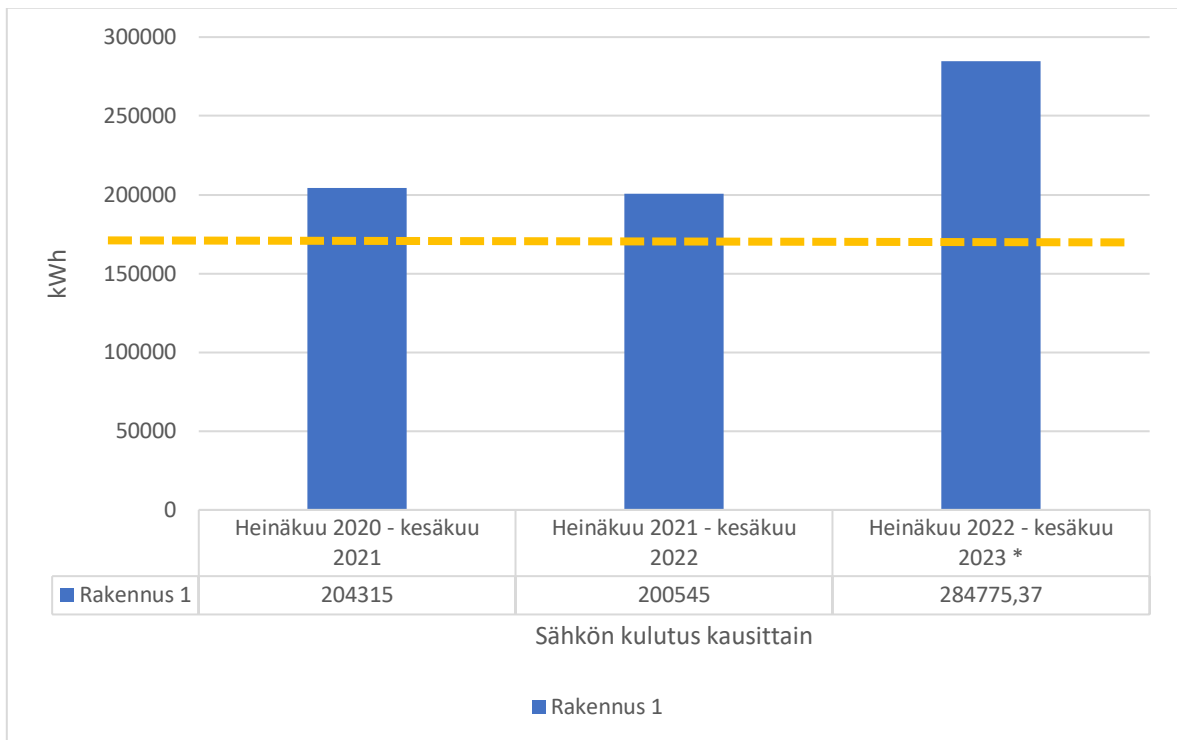
Rakennuksien sähkösopimukset ovat osa kiinteistönomistajan kilpailuttamaa sähkösalkkua. Salkussa olevat sopimukset ovat olleet kiinteähintaisia ja ne on uusittu viimeksi vuonna 2021. Sähkösopimukset ovat voimassa vuoden 2024 loppuun asti. Laskelmissa käytetään sähköenergian hintana 65 € / MWh ja siirron hintana 59 € / MWh, jolloin sähkön hinnaksi muodostuu 124 €/ MWh, 0,124 € / kWh. Sähköhintaan ei kohdisteta muutoksia laskelmissa ja mahdollisia muita sähköön tai sähkölaitteistoon liittyviä kustannuksia ei huomioida.



Kuva 22 Sähkön kulutus vuosittain

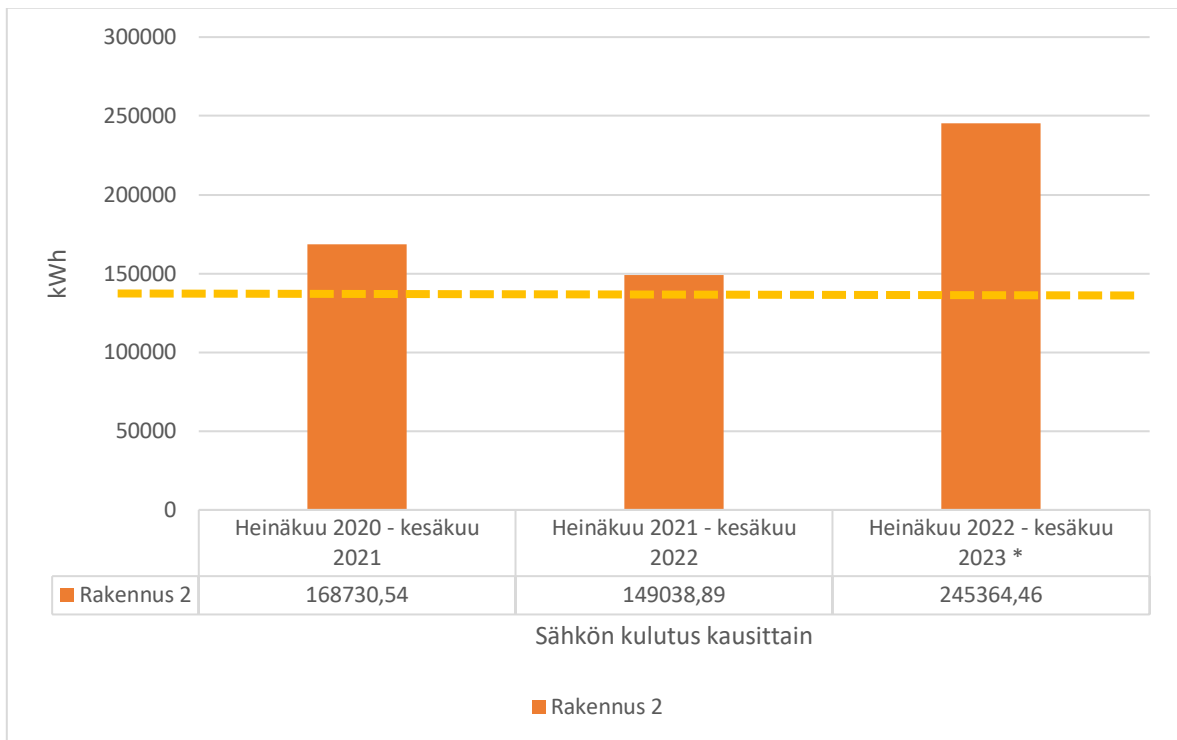
Edellä olevassa kuvassa on esitetty sähkönkulutus rakennuksittain 2020 – 2023 aikana. Kuva sisältää ainoastaan ajan, jolloin rakennuksissa ei ollut toiminnassa olevia palvelinsaleja tai muuta suuresti sähköä kuluttavaa toimintaa. Huomioitavaa on, että suuren sähkönkulutuksen vuoksi kiinteistön myyjä vastasi vuoden 2019 loppuun asti 100% sähkön kustannuksista jolloin sähkö sopimus oli heidän nimissään. Tältä ajalta ei ole käytössä tarkkaa tuntidataa sähkönkulutuksen analysoimiseksi.

Vuonna 2020 rakennuksissa aloitti uusia toimijoita, joiden tilojen käyttö ja tiloissa toimiminen luonnollisesti nosti sähkönkulutusta. Maalämpöpumput kytkettiin kesäkuussa 2022, jolloin maalämpöpumppujen käyttämä sähkö voidaan erottaa kesästä kesään periaatteella, esimerkiksi 07/2021 – 06/2022 ja 07/2022 – 06/2023. Edellä esitettyjen ajanjaksojen välillä ei ole tapahtunut suuria muutoksia vuokralaisiin tai heidän toimintaansa kiinteistöllä.



Kuva 23 Sähkön kulutus kWh rakennus1 lämmityskaudet

Molempien rakennusten maalämpöpumppujen tuottamaa lämpöenergiaa voidaan seurata energiamittareiden kautta. Maalämpöpumput tai muut maalämpölaitteiston koneet eivät ole yhden yksittäisen sähkömittarin takana, jolloin tarkkaa kulutustietoa ei voida erottaa. Huomioiden modernisoinnin ylettymisen myös ilmanvaihtokoneiden osiin, on kokonaisuuden arviointiin syytä kiinnittää huomiota. Yllä olevassa kuvassa on kuvattu rakennuksen 1 sähkönkulutusta vuosien 2020 heinäkuu ja 2023 kesäkuu välisenä aikana. Ajanjakson 07/2020 – 06/2020 sähkönkulutus oli 204.315,00 kWh ja 07/2021 – 06/2022 200.545 kWh. Edellä esitettyjen ajanjaksojen keskiarvo oli 202.430,00 kWh. Maalämpöjärjestelmän kytkemisen jälkeen ajanjakson 07/2022 – 06/2023 sähkönkulutus rakennuksessa 1 oli 284.775,37 kWh, jolloin sähkönkulutuksen lisäys oli laskennallisesti 82.345,37 kWh. Tätä kulutusta käytetään myöhemmin laskelmissa.

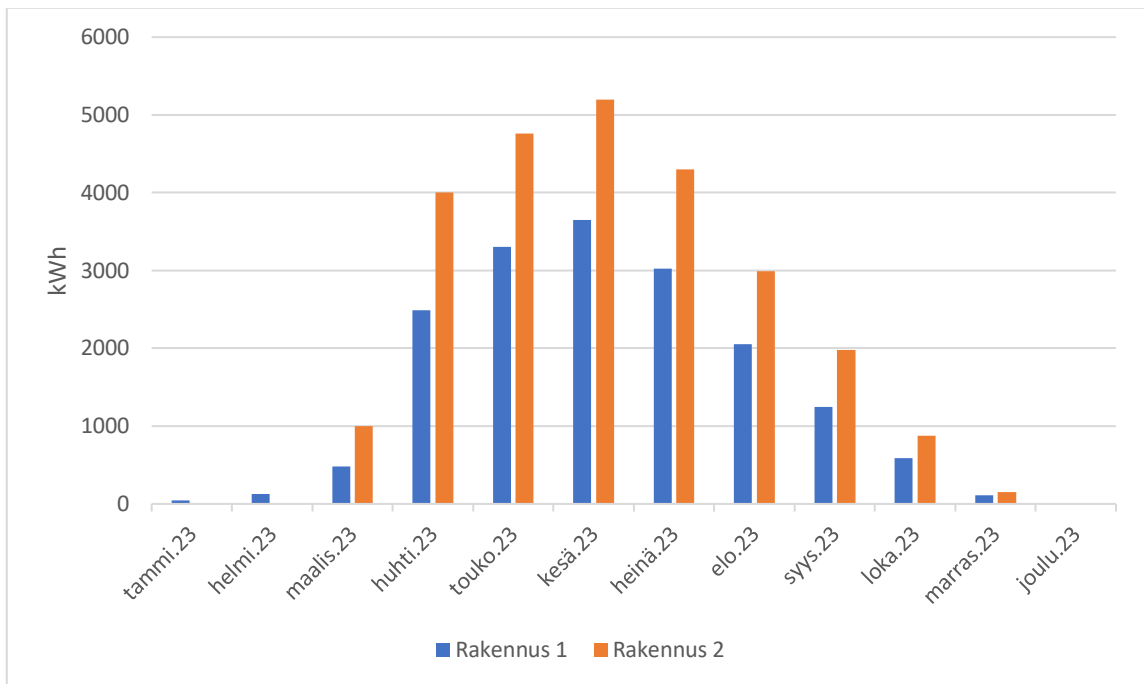


Kuva 24 Sähkön kulutus rakennus 2 lämmityskaudet

Edellä on esitelty vastaava kaavio rakennuksesta 2 kuin aiemmin rakennuksesta 1 esitetty sähkönkulutuksen jakautuminen kesä -kesä ajanjaksoissa. Ajanjaksojen 07/2020 – 06/2021 ja 07/2021 – 06/2022 keskiarvo sähkönkulutuksen osalta oli 158.884,7 kWh. Ajanjaksolla 07/2022 – 06/2023 sähkönkulutus oli 245.364,46 kWh jolloin sähkönkulutus lisääntyi maa-lämmön myötä 86.479,76 kWh.

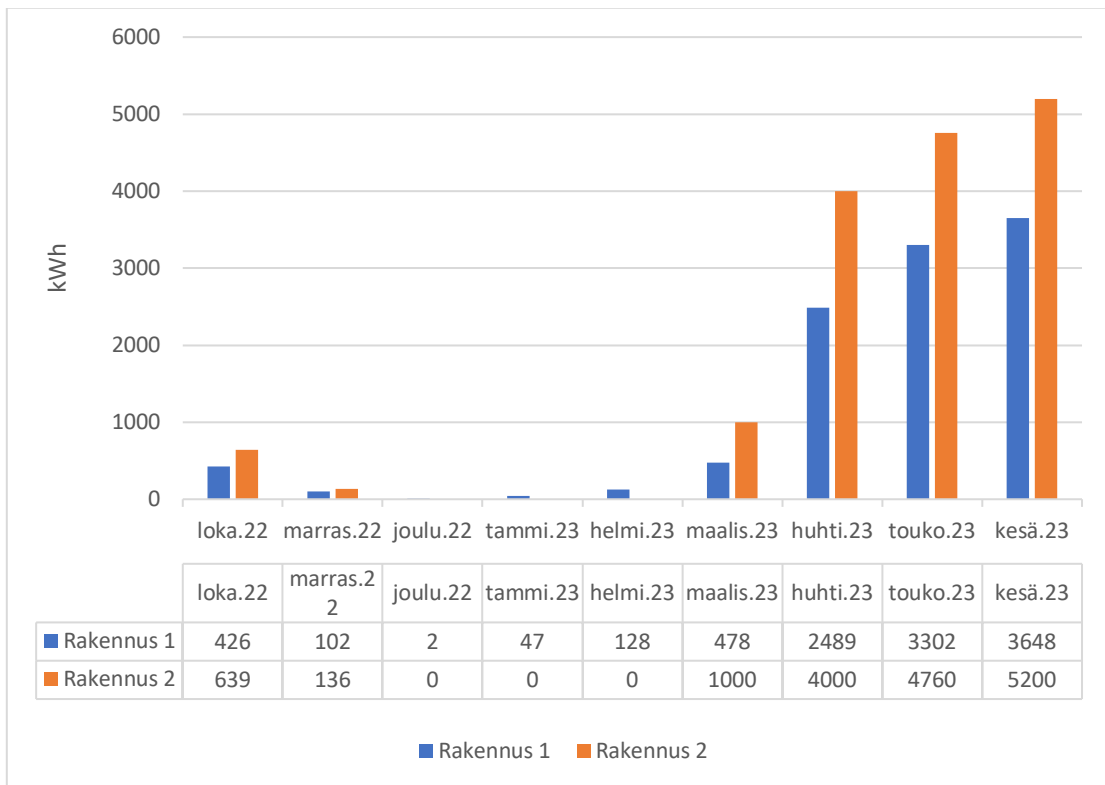
4.2.3 Rakennusten oma sähköntuotanto

Energiaremontin yhteydessä rakennusten katoille asennettiin aurinkopaneelijärjestelmä, yhteisteholtaan noin 52 kWp. Tehot jakautuivat siten, että rakennuksen 1 maksimiteho on noin 17 kWp ja rakennuksen 2 maksimiteho noin 35 kWp. Molempien rakennusten aurinkopaneelijärjestelmät on suunniteltu laajennettaviksi mahdollisesti tulevaisuudessa. Aurinkopaneelit kytkettiin käyttöön lokakuussa 2022 ja niihin saatiin 15% investointitukea Business Finlandilta.



Kuva 25 Aurinkopaneelijärjestelmän tuotanto kWh

Edellä on esitetty aurinkopaneelijärjestelmän tuotanto vuodelta 2023 oli yhteensä 42 MWh. Järjestelmän sähköntuotantoa ei ole netotettu aiemmin esitellyistä sähkönkulutuksista vaan tätä tuotantoa käsillään kassavirtalaskelmissa tulona omana rivinä. Kannattavuuslaskelmissa huomioidaan aurinkopaneelijärjestelmän vuosittainen tuoton laskeminen noin 0,5% vuodessa. Kannattavuuslaskelmissa huomioidaan myös aurinkopaneelijärjestelmään liittyvä laajennusoptio.



Kuva 26 Aurinkopaneelijärjestelmän tuotanto lämmityskaudella

Aiemmin esiteltiin sähkönkulutuksen eroa huomioiden maalämpölaitteiston käyttöönotto kesällä 2022. Aurinkopaneelijärjestelmä otettiin käyttöön lokakuussa 2022, joten sen seuranta-kausi alkaa vasta lokakuusta. Yhteensä aurinkopaneelijärjestelmä tuotti kaudella 10/2022 – 06/2023 noin 26 MWh sähköä. Aurinkopaneelien poikkeava ajanjakso huomioiden käytetään vuoden 2023 tuotantoa 42 MWh investointilaskelmissa vuosittain toistuvana tulona.

4.2.4 Optioiden hinnoittelu

Energiatohokkuushankkeeseen liittyy muutamia tunnistettuja optioita, joiden hyödyntämisestä päätetään myöhemmin. Optiot liittyvät aurinkopaneelijärjestelmän laajentamiseen (option to growth) sekä lämmöntalteenoton kehittämiseen. Lämmöntalteenoton kehittäminen voidaan nähdä kuuluvaksi optioon vaihtaa (option to switch) tai optioon laajentaa (option to growth) riippuen näkökulmasta; toisaalta lämmöntalteenottoa parannetaan laajentamalla sitä toiseen potentiaaliseen malliin ja toisaalta lämmöntalteenottoa kehitetään hyödyntämään tehokkaammin vaihtoehtoisia malleja (lämpöpumppu). Edellä esitellyistä tekijöistä voidaan tunnistaa seuraavat tekijät: option vaatima investointi (option toteutuskustannus), säästö

energiakustannuksissa (kohde-etuus), joka saadaan tutkimalla vuosittaista säästöpotentiaalia. Optiot hinnoitellaan kassavirtaan hyödyntämällä aiemmin esitettyä laskentamallia, Black Scholes mallia, kaava neljä.

4.2.5 Aurinkopaneelien lisäämisoption arvon määrittäminen

Aurinkopaneelijärjestelmään liittyvä optio liittyy paneelientien laajentamiseen hyödyntäen nykyisiä, ylimitoitettuja inverttereitä.

Arvioidaan, että lisäaurinkopaneelit tuottavat kassavirtaa (S) yhteensä vuosien 16-25 välillä 10 004 €, kassavirta diskontattuna ajanhetkeen nolla. Tässä kassavirrassa on huomioitu option sisältämien aurinkopaneelien vuosittainen heikkeneminen noin 0,5% vuosittain. Option toteutuskustannus (X) on arvioitu ajankohdassa 0 olevan 8000 €. Jatkuva korko r määritellään riskitön korko, tässä tapauksessa 4,4 %, $r = \ln(1+0,044) = 0,043$. Volatiliteetti, σ , on määritelty aurinkopaneelien tuoton keskihajontana vuodessa, 1,4456735. Laskenta on toteutettu Excelissä ja taulukko on esitetty alla. T on optioiden elinaika vuosissa, joka on tässä tapauksessa 15.

Taulukko 4 Aurinkopaneelien tuotto

	kWh	
joulu.23	0	=C34/C33-1
marras.23	264	0
loka.23	1470	4,568182
syys.23	3225	1,193878
elo.23	5044	0,564031
heinä.23	7328	0,452815
kesä.23	8848	0,207424
touko.23	8062	-0,08883
huhti.23	6489	-0,19511
maalis.23	1478	-0,77223
helmi.23	128	-0,9134
tammi.23	47	-0,63281
=KESKIHAJONTA.P(C33:C44)		1,445674

Täten

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{10\,004\ \text{€}}{8\,000\ \text{€}}\right) + \left(0,043 + \frac{1,445...^2}{2}\right)15}{1,445... \sqrt{15}} \quad (16)$$

ja d_2 edellä esitettyä vastausta käyttäen,

$$d_2 = 3,03 - 1,445 \dots \sqrt{15} \quad (17)$$

Jolloin määritellään $N(d_1)$ ja $N(d_2)$ hyödyntäen normaalijakauman kertymäfunktion taulukkoa

		$N(d_x)$
d_1	3,03	0,9988
d_2	-2,57	0,0051

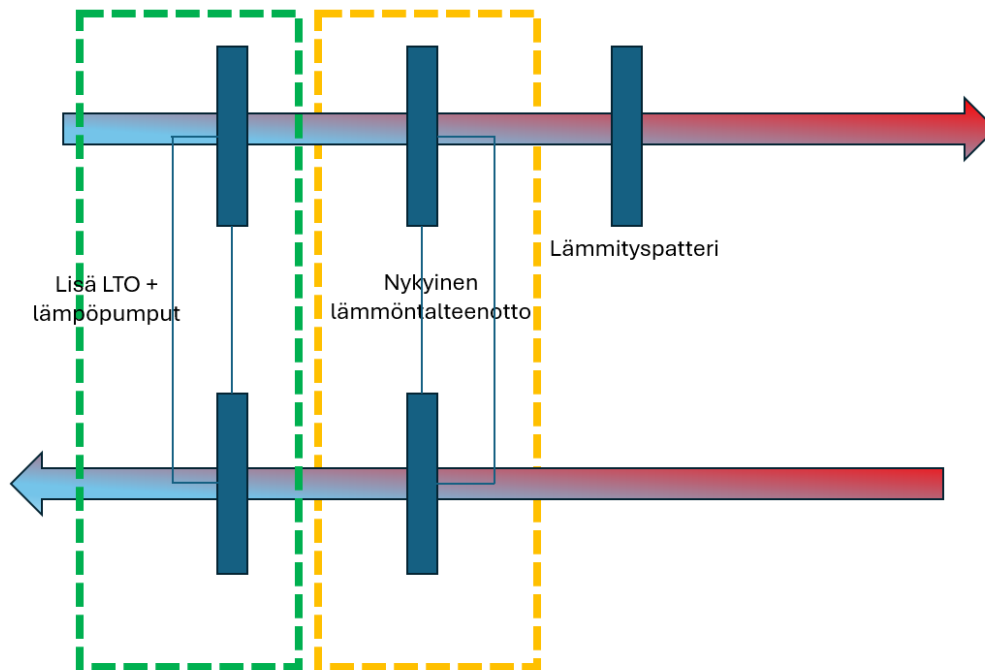
Jolloin voidaan määrittää aurinkopaneelien laajennusoption arvo käyttäen Black Scholes mallia.

$$C = 10\,004 \text{ €} * 0,9988 - 8\,000 \text{ €} * 2,7182818^{-0,043*15} * 0,0051 \quad (18)$$

$$C_{\text{Aurinkopaneeli}} = 9\,970,24 \text{ €} \quad (19)$$

4.2.6 Lisä-LTO -option arvon määrittäminen

Insinööritoimisto on suunnitellut mahdollisuuden toteuttaa lisälämmöntalteenotto rakennusten ilmanvaihdon tueksi. Alla on esitelty suunnitelman peruserä.



Kuva 27 Lisä LTO:n periaate

Hankkeen suunnitellut insinööritoimisto on suunnitellut mahdollisuuden lisätä lämmöntalteenottoa varten olemassa oleviin ilmanvaihtokoneisiin ylimääräiset lämpöpatterit. Toimintaperiaate on yksinkertainen; tavoitteena on lisätä lämmöntalteenoton tehokkuutta lisäämällä lämmöntalteenoton kapasiteettia ja lisätä sen tehokkuutta lämpöpumpun avulla.

Suunnitelma on poikkeuksellinen eikä vastaa tavanomaisia teknisiä suunnitteluperiaatteita. Ilmanvaihtokanavaan (tulo) ennen nykyistä lämmöntalteenoton lämpöpatteria lisätään yksi ylimääräinen lämpöpatteri, jossa kierrätetään keruuliuosta. Poistokanavaan nykyisen lämmöntalteenottopatterin jälkeen lisätään vastaavasti ylimääräinen lämpöpatteri, jossa lämmönsiirto tapahtuu myös keruuliuksella. Nämä kaksi lämpöpatteria ovat yhteydessä toisiinsa, ja lämpöpatterien välillä on vielä erillinen lämpöpumppu. Tavoitteena on kerätä poistopuolelle lisätyn lämpöpatterin avulla mahdollisimman paljon lämpöä keruuliukseen, jota pyritään lämmittämään lämpöpumpulla vielä entisestään, ennekuin se syötetään tulopuolen ilmanvaihtokanavaan asennettuun lämpöpatteriin. Laitteistoa ohjataan osana rakennusten automaatiota ja toimintaa pyritään optimoimaan.

Insinööritoimisto on laskenut seuraavat suureet kannattavuuden arvioimiseksi:

- Vuosittain säästetty lämmitysenergia 58.000 kWh per rakennus

- Investoinnin kustannus noin 46.000,00 € per rakennus
- Sähkön hinta kiinteistön sähkösopimuksen mukaisesti
- SCOP, eli lämpöpumpun hyötysuhde, kolme (3)

Taulukko 5 Lisä-LTO:n laskentasuureet

Tavoiteltu vuosisäästö lämmitysenergia, kWh	58.000 kWh per rakennus yht. 116.000 kWh	
Investoinnin kustannus	46.000 € per rakennus yht. 92.000 €	
Sähkön hinta	0,124 € / kWh	
Laitteiston hyötysuhde, SCOP	3	HUOM. Maalämpöpumpun hyötysuhde noin 4,5
Tavoiteltu vuosisäästö, sähköenergia, kWh	25.777,78 kWh	
Volatiliteetti	0,186338998	
Säästön kassavirta nykyarvossa, vuodet 6-25	141.859,33 €	

Laskennassa tarvittavat määreet on kerätty yllä olevaan taulukkoon.

Edellä esitellystä taulukossa on esitetty uuden lisälämmöntalteenoton lämpöpumppujen hyötysuhde, joka on kolme. Rakennuksiin toteutetun maalämpöjärjestelmän maalämpöpumppujen hyötysuhde on noin 4,5. Laskelma ja option hinnan määrittely kannattaa toteuttaa joka tapauksessa, sillä vaikka maalämpöpumppujen hyötysuhde on suurempi kuin lisälaitteiston, ei nykyinen lämmöntalteenotto pysty ottamaan talteen kaikkea lämpöä sillä tehokkuudella, jota toivotaan.

Tavoiteltu lämmitysenergian säästö on 116.000 kWh vuodessa. Nykytilanteessa lämmitysenergia tuotetaan maalämpöpumpuilla, jonka hyötysuhde on 4,5. Huomioiden hyötysuhde, Tavoiteltava lämmityksen saatava sähkönsäästö on 25.777,78 kWh vuosittain, jolloin edellä esitetty summa voidaan nähdä säästönä. Jotta sama lämmitysenergiämäärä saadaan uudella järjestelmällä toteutettua, tarvitaan 38.666,67 kWh sähköä vuosittain. Täten voidaan nähdä, että sähkönkulutus maalämpöpumpuilla laskee 25.777,78 kWh vuodessa, jolloin muodostuu tavoiteltava säästö 3.196,44 € per vuosi. Lisälämpöpumppujen käyttämä sähkö ja niillä tavoiteltava lämmitysenergian säästö muutettuna sähköenergiaksi ovat samanlaiset, joten ainut positiivinen vaikutus kassavirtaan on säästetty maalämpöpumpun muutoin käyttämä sähkö.

Lisälämmöntalteenottoon liittyvän volatiliteetin määrittely on koettu haastavaksi. Yhtäältä volatiliteetti kertoo havaintojen poikkeavuudesta, joka lämmöntalteenoton osalta merkitsisi talteenotetun energian vaihtelua. Lähtökohtaisesti kaikki lisälämmöntalteenottolaitteistolla kerätty energia vähentää muuta energiatarvetta, joka osaltaan pitää volatiliteetin pienenä. Toisaalta voidaan nähdä tehokkuuden vaihtelua liittyen fysikaalisiin ilmiöihin, kuten ke-ruunesteen lämpötilan vaihteluun ja suurempaan lämmitystarpeeseen eri vuoden aikoina. Täten on volatiliteetin määrittelyssä päätettiin käyttää vuoden 2023 Helsingin lämmitystarvelukuja, joiden kautta pystytään tarkastelemaan volatiliteettiä paremman datan puutteessa.

Lasketaan ensin normaalijakauman kertymäfunktion arvot pisteissä d_1 ja d_2 :

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{143.910,96 \text{ €}}{92.000,00 \text{ €}}\right) + \left(0,043 \dots + \frac{1,70 \dots^2}{2}\right)5}{1,7 \dots \sqrt{5}} \quad (20)$$

ja d_2 edellä esitettyä vastausta käyttäen,

$$d_2 = 1,88 \dots - 1,7\sqrt{5} \quad (21)$$

Jolloin määritellään $N(d_1)$ ja $N(d_2)$ hyödyntäen normaalijakauman kertymäfunktion taulukkoa

	$N(d_x)$	
d_1	1,88	0,9699
d_2	-1,92	0,0274

Jolloin voidaan määrittää lämmöntalteenoton laajennusoption arvo käyttäen Black Scholes mallia.

$$C = 143.910,96 \text{ €} * 0,9699 - 92.000,00 \text{ €} * 2,7182818^{-0,043 \dots * 5} * 0,0274 \quad (22)$$

$$C_{\text{LisäLTO}} = 84\ 670 \text{ €} \quad (23)$$

4.3 Kassavirran koostaminen

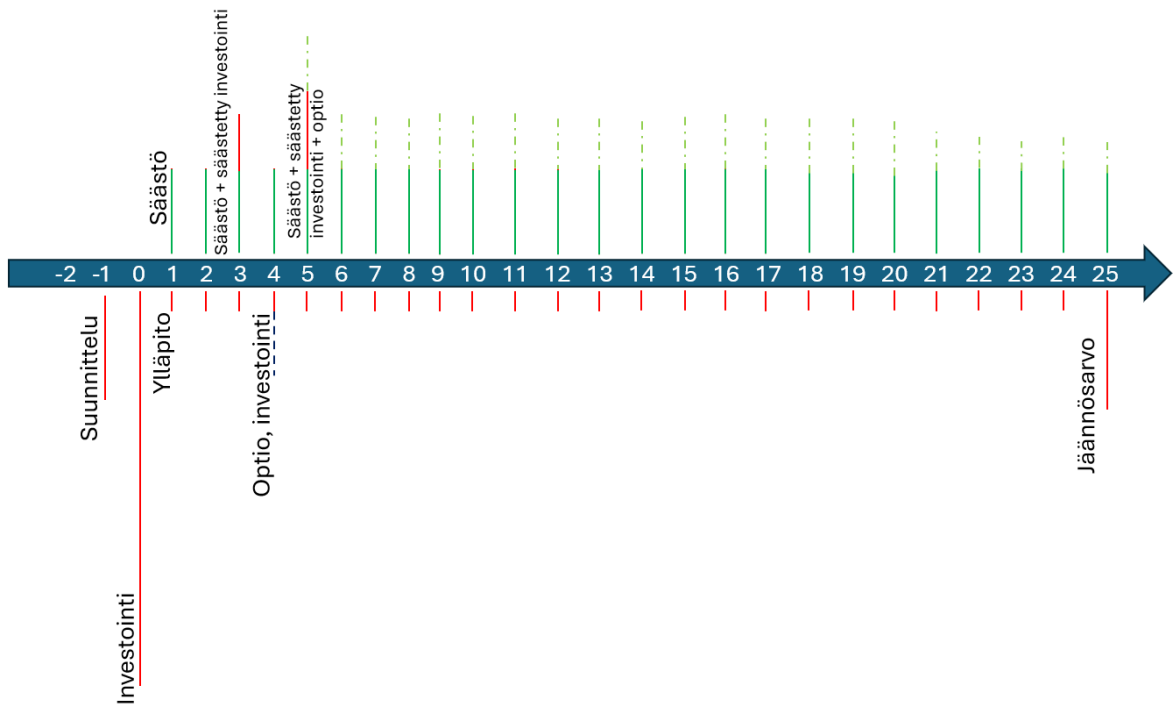
Kassavirran määrittely on tärkeimpiä kannattavuuslaskennan vaiheita. Investointilaskennassa käytettävän kassavirran määrittely:

Taulukko 6 Kassavirran tulot

TULOT	
Laskennallinen säästö, kaukolämpö	1 vuosi, 71 595 €
Aurinkopaneelien tuotto, € / vuosi	1 vuosi, 5 255 €
Säästö jäähdytyskustannuksissa, € / vuosi	1 vuosi, 8 509 €
Säästö, vaihtoehtoinen kustannus, kaukolämpöjärjestelmien korjaus	2024, 7 200 € 2026, 35 000 €
Reaalioptio, lisäaurinkopaneelilaajennus	Arvo vuosi 0: 9 970 €
Reaalioptio, Lämpöpumpun lisäämien LTO	Arvo vuosi 0: 84 670 €

Taulukko 7 Kassavirran kustannukset

KUSTANNUKSET	
Investointi	-963 540 €
Investointi, lisätyöt	-86.808 €
Suunnittelu, projektinjohto ja valvonta	-68 320 €
Aurinkopaneelijärjestelmä	-52 315 €
Maalämpöjärjestelmän huolto, € / vuosi	-4 000 €
Maalämpöpumppujen uusiminen, vuosi 12	-28 000 €
Aurinkopaneelien invertterien uusiminen, vuosi 15	-12 000 €
Lämpöjärjestelmän jäännösarvo	386 680 €
Aurinkopaneelijärjestelmän jäännösarvo	20 560 €



Kuva 28 Kassavirta ja sen osat aikajanalla

Kassavirran piirrosmallissa on hahmoteltu kassavirtojen kehittyminen ja vaikutukset, esitetty edellä. Piirrosmallissa on kuvattu kustannukset aikajanana alapuolella ja tulot aikajanana yläpuolella. Tulojen puolella on osoitettu tavoiteltu säästö vaalean vihreällä viivalla. Mahdolliset säästetyt, tekemättä jätetyt investoinnit on kuvattu tulopuolella punaisella viivalla. Optioihin liittyvät kustannukset on kuvattu sinisellä katkoviivalla kustannukset -puolella sekä niillä tavoiteltu säästö on kuvattu vihreällä katkoviivalla tulojen puolella.

Edellä on esitetty kassavirran komponentit projektin aikajanalla (elinkaari). Investointilaskennassa on eroteltu kustannukset nettokassavirtaan sekä investointikustannuksiin. Nettokassavirta edustaa sitä vuosittaista hyötyä, jota hankkeella tavoitellaan. Investointikustannuksiin on huomioitu jäännösarvot ja tulevaisuuden vaatimat investoinnit tilanteessa, jossa investointia ei olisi toteutettu. Nämä on diskontattu laskennan ajanhetkeen nolla.

Hankkeen nettokassavirta muodostetaan

$$Kassavirta_{netto} = Kassavirta_{tulot} - Kassavirta_{kustannukset} \quad (24)$$

jossa,

$$Kassavirta_{tulot} = Säästö_{kaukolämpö} + Säästö_{jäähdytys} + Tuotanto_{aurinkopaneelit} \quad (25)$$

ja

$$Kassavirta_{kustannukset} = Kulu_{ML-järjestelmän huolto} \quad (26)$$

Investoinnin ajanhetkeen, ajanhetki nolla, sijoitetaan seuraavat kustannukset:

$$\begin{aligned} Kustannukset_{Investointi} = & Investointi_{ML-järjestelmä} + Investointi_{lisätyöt} + \\ & Investointi_{suunnittelu, johto...} + Investointi_{Aurinkosähköjärjestelmä} - \\ & Säästö_{vaihtoehtoinen KL-investointi 1} - Säästö_{vaihtoehtoinen KL-investointi 2} \end{aligned} \quad (27)$$

Edellä esitetyt kustannukset on tarvittaessa diskontattu ajanhetkeen nolla kassavirtasimulaation yhteydessä. Jäännösarvot maalämpöjärjestelmästä ja aurinkopaneeli-järjestelmästä huomioidaan viimeisenä tarkasteluvuotena, vuonna 25.

4.4 Energiategokkuushankkeen kannattavuuden tarkastelu nettonykyarvomenetelmällä

Aiemman kappaleen 4.3. Kassavirran koostaminen mukaisesti muodostetaan kassavirtalaskelma vuosille 0- 25. Liittessä yksi, Liite 1 Kassavirtalaskelma, on esitetty kassavirran muodostuminen vuosittain sekä positiivinen ja negatiivinen kassavirta on eritelty. Vuosien 1-25 positiivinen kassavirta on 3 672 976,33 €, joka diskontattuna tarkastelun hetkeen 0, on 1 424 626,32 €. Reaalioptioiden arvo ajanhetkessä nolla on yhteensä 94 640,31€. Suunnittelun, investoinnin ja projektinjohton kustannus on yhteensä -1 170 983,55 €.

Joten

$$NPV = NPV_{Positiivnen kassavirta} - NPV_{negatiivinen kassavirta} \quad (28)$$

$$NPV = 1 424 626,32 \text{ €} - 1 168 783,55 \text{ €} \quad (29)$$

$$NPV = 255 843 \text{ €}$$

Edellä esitetty hankkeen nettonykyarvo on perinteinen nykyarvo, sillä se ei sisällä hankkeen liittyviä optioita. Strateginen nykyarvo muodostetaan,

$$NPV_{Strateginen} = NPV_{passiivinen} + NPV_{optiot} \quad (30)$$

$$NPV_{Strateginen} = 350\,483 \text{ €}$$

Jos hankkeen nettonykyarvo on positiivinen, voidaan hanke nähdä kannattavana. Nettonykyarvolaskennassa on huomioitu niin rahan hinta, kassavirran mahdolliset muutokset vuosien varrella sekä strategisessa nettonykyarvossa myös reaalioptioiden vaikutus kokonaisuuteen. Nettonykyarvolla tarkasteltuna hanke on kannattava.

Edellä esitettyyn nykyarvoon on sisällytetty ajanhetkellä nolla tapahtuvat tavoitellut säästöt liittyen vaihtoehtoihin kustannuksiin sekä uusiin järjestelmiin liittyviä uusimisvarauksia.

4.5 Energiatehokkuushankkeen kannattavuuden tarkastelu sisäisen koron menetelmällä

Energiatehokkuushankkeen kannattavuuden tarkastelua sisäisen koron menetelmällä voidaan tehdä vain, kun tiedämme hankkeen tuottovaatimuksen, johon hankkeen sisäistä korkoa vertaamme. Sisäisen koron menetelmä määrittää hankkeen kyvyn tuottaa hankkeeseen sijoitettuun pääoman tuottoa. Hankkeen tuottovaatimus on määritelty WACC -menetelmällä (Weighted average cost of capital), jonka laskeminen on esitetty kappaleessa 2.2. Kassavirran diskonttaus.

Edellä esitetyllä WACC:n kaavalla saadaan,

$$WACC = 6,94 \%$$

Sisäisen koron määritelmän mukaisesti investointi on kannattava, jos

$$IRR > WACC \quad (31)$$

Määritellään ensin laskentaan tarvittavat arvot

$CF_t = 3\,767\,617 \text{ €}$, sisältäen reaalioptioiden arvot

$CI = 1\,168\,783,55 \text{ €}$

$r = WACC = 6,94 \%$

Jolloin laskukaavasta saadaan,

$$IRR = 9,61 \%$$

Hankkeen kannattavuutta tarkasteltaessa voidaan investoinnin olevan kannattava, sillä hankkeen sisäinen korko on suurempi kuin asetettu tuottovaatimus, WACC.

Mikäli CF_t määritellään siten, että kassavirtalaskelmat eivät sisällä tunnistettuja reaaliopioita, aurinkopaneelijärjestelmän laajennusta ja lisälämmöntalteenottoinvestointia ajanhetkessä, tällöin,

$$CF_t = 3\,672\,976 \text{ €}$$

$$CI = 1\,168\,783,55 \text{ €}$$

$$r = WACC = 6,94 \%$$

Jolloin laskukaavasta saadaan,

$$IRR = 8,77 \%$$

Verrattaessa hankkeen sisäistä korkoa määritettyyn hankkeen pienimpään hyväksytyyn tuottoon, painotettuun pääomakustannukseen, nähdään hankkeen olevan kannattava.

4.6 Energiatehokkuushankkeen kannattavuuden tarkastelu hyötykustannusindeksin perusteella

Energiatehokkuuden kannattavuuden tarkastelu hyötykustannusindeksin, kaava 10, perustella poikkeaa aiemmin esitellyistä sisäisen koron ja nettonykyarvomenetelmistä siten, että hyötykustannusindeksin laskemisessa voidaan hyödyntää niin sanottuja pehmeitä arvoja osana laskelmia. Tällaisia pehmeitä arvoja voivat olla normaalisti ei mitattavissa olevat tekijät, joilla on kuitenkin vaikutusta puhuttaessa hankkeen kannattavuudesta. Hyötykustannusindeksiä käytetään yleisesti julkisessa päätöksentehossa, sekä hankkeiden tutkimisessa - yritetään löytää hankkeita, joilla on mahdollisimman laaja-alainen positiivinen vaikutus kohderyhmään sekä sidosryhmiin. Nämä katsantokannan mukaan positiiviset tai negatiiviset vaikutukset sisällytetään aiemmin esitettyyn. Hankkeen nykyarvo on laskettu koko hankkeen elinkaaren ajalta, 25 vuotta.

Hyötykustannusindeksi on omimmillaan eri vaihtoehtojen välisissä päätöksissä, joten ensimmäisenä tehdään laskentaa eri hankekokonaisuuksien vaikutukseen hyötykustannusindeksiä hyväksikäyttäen. Ensimmäinen tarkastelu koskee hankkeen sisäisen rakenteen tarkastelua hyöty/kustannusindeksin avulla. Hanke on jaettu tarkastelussa:

1. Maalämpö ja -viilennys, automaatio sekä ilmanvaihtokoneiden saneeraus
2. Aurinkopaneelijärjestelmä (vaihe 1) ja sen vaikutus edelliseen
3. Aurinkopaneelijärjestelmän laajennus (vaihe 2) ja sen vaikutus edelliseen
4. Lisälämmöntalteenotto ja sen vaikutus edellisiin

Aiemmin kiinteistön vuokrattavuuteen tai käyttäjien tyytyväisyyteen ei ole otettu kantaa energiatehokkuushankkeeseen liittyen. Hankkeen kannattavuutta tarkastellaan myös sen potentiaalilla nostaa kiinteistön vuokrattavuutta ja kykyä korottaa nettovuokraa per m². Tutkimuksen yhteydessä ei löydetty tutkimustietoa liittyen vuokrattavuuden ja neliöhintojen kehittymiseen toteutettujen energiaremonttien jälkeen. Nyt hyötykustannusindeksin avulla pyritään tarkastelemaan projektin kannattavuuden kehittymistä neliöhinnan kehittymisen myötä.

4.6.1 Hyötykustannusindeksin hyödyntäminen urakkakokonaisuuden arvioinnissa

Ensimmäinen tarkasteltava kokonaisuus sisältää maalämpö ja -viilennyksen, automaatioasenne- ja ilmanvaihtojärjestelmän modernisoinnin tarkastelun. Positiivisen kassavirran muodostavat säästetty energia, säästetty vaihtoehtoinen kustannus (kaukolämpö) ja investointien poistot. Kustannuksiin huomioidaan maalämpöjärjestelmän huoltokustannukset, arviolta 4.000,00 €.

$$BCR_1 = 1,15$$

Seuraavassa toteutuskokonaisuudessa toteutetaan aiemmin eritelty osuus sekä asennetaan vaiheen 1 aurinkopaneelijärjestelmä.

$$BCR_2 = 2,08$$

$$BCR_{1+2} = 1,19$$

Kolmannessa vaihtoehdossa arvioidaan aurinkopaneelien laajennusoption vaikutusta omaan sekä vaikutusta kokonaishankkeeseen.

$$BCR_3 = 2,25$$

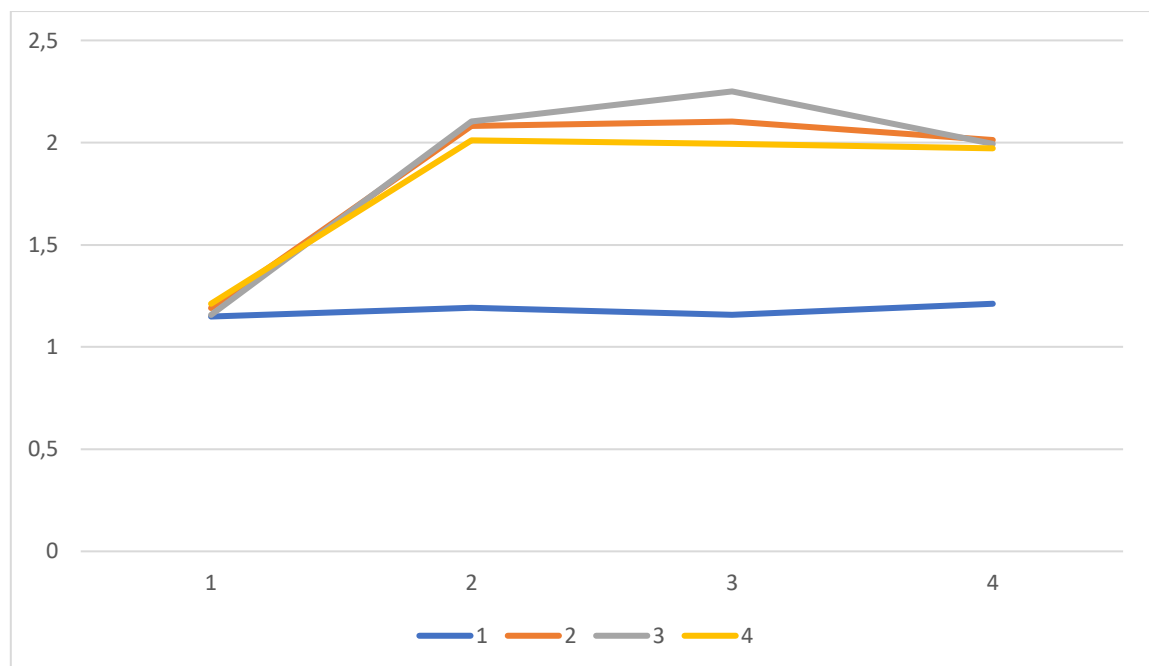
$$BCR_{1+2+3} = 1,20$$

Neljäs vaihtoehto oli lisätä lämmöntalteenoton kapasiteettia toteuttamalla optio lisälämmöntalteenotosta vuoden viisi kohdalla.

$$BCR_4 = 1,7$$

$$BCR_{1+2+3+4} = 1,25$$

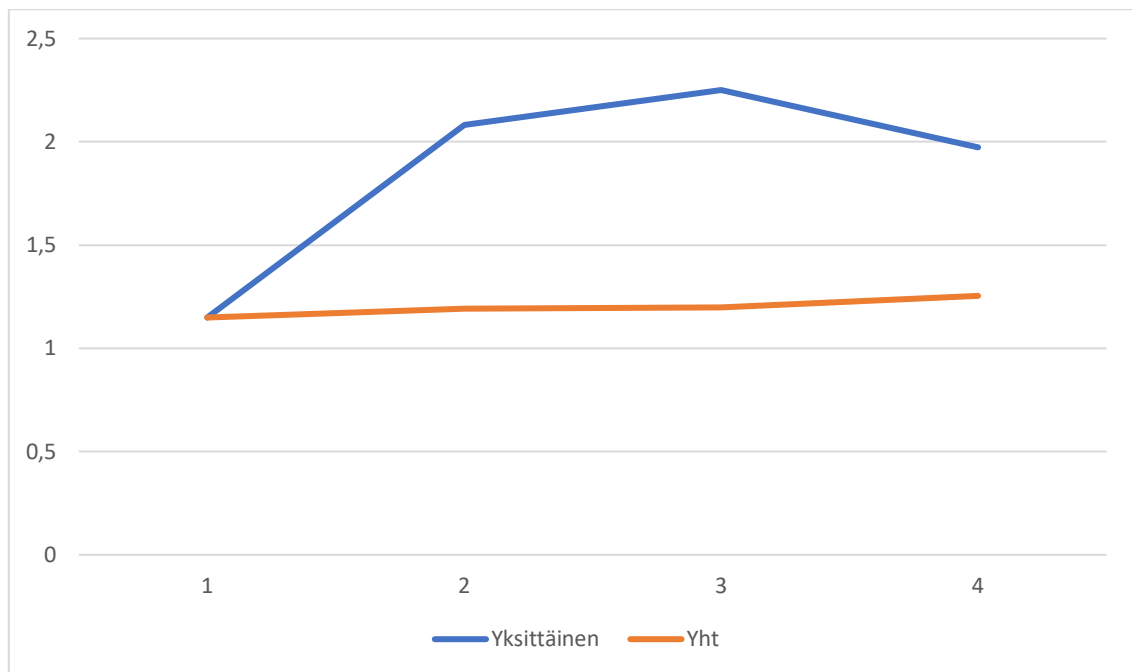
Edellä esitetyistä benefit-cost ratioista voidaan huomata kannattavimmaksi ensivaiheen aurinkopaneelien lisääminen, sillä saadaan suora ja kohtuullisen suuri säästö lämmitysenergian kustannuksiin. Ensimmäisen hankekokonaisuuden toteuttaminen sisältää runsaasti pakollista korjausta ja toimenpiteitä, jotka mahdollistavat myöhemmän kehittämisen ja mahdollistavat muiden järjestelmien kehittämisen eteenpäin, kuten automaatio sekä ilmanvaihdon muutokset.



Kuva 29 Kahden eri vaihtoehdon yhteisvaikutus BCR

Edellä esitetystä kuvasta voidaan tarkastella kahden eri vaihtoehdon yhteisvaikutusta. Kaa-
viota luetaan niin, että valitaan nimittäjä rivistä esimerkiksi vaihtoehto yksi, ja sen jälkeen
voidaan tarkastella eri vaihtoehtojen yhteisvaikutusta vaihtoehdon yksi kanssa tutkimalla
viivoja. Kaaviosta voidaan tarkastaa myös jokaisen vaihtoehdon omat vaikutuskertoimet.
Kaikista parhaan benefit-cost ration saa kahden aurinkopaneelivaihtoehdon toteuttaminen.
Näiden molempien hyvien hyötykustannuskertoimien taustalla on verrattain pienet inves-
tointikustannukset verrattuna muihin vaihtoehtoihin.

Vaihtoehtoista toinen, eli BCR_{1+2} vastaa toteutettua laajuutta hankkeen osalta ja olemassa
olevaa ratkaisua pyritään optimoimaan mahdollisuuksien mukaan. Hankkeen kannattavuus
kustannushyötyindeksillä tarkasteltuna tällä nykyisessä laajuudessa on 1,19.



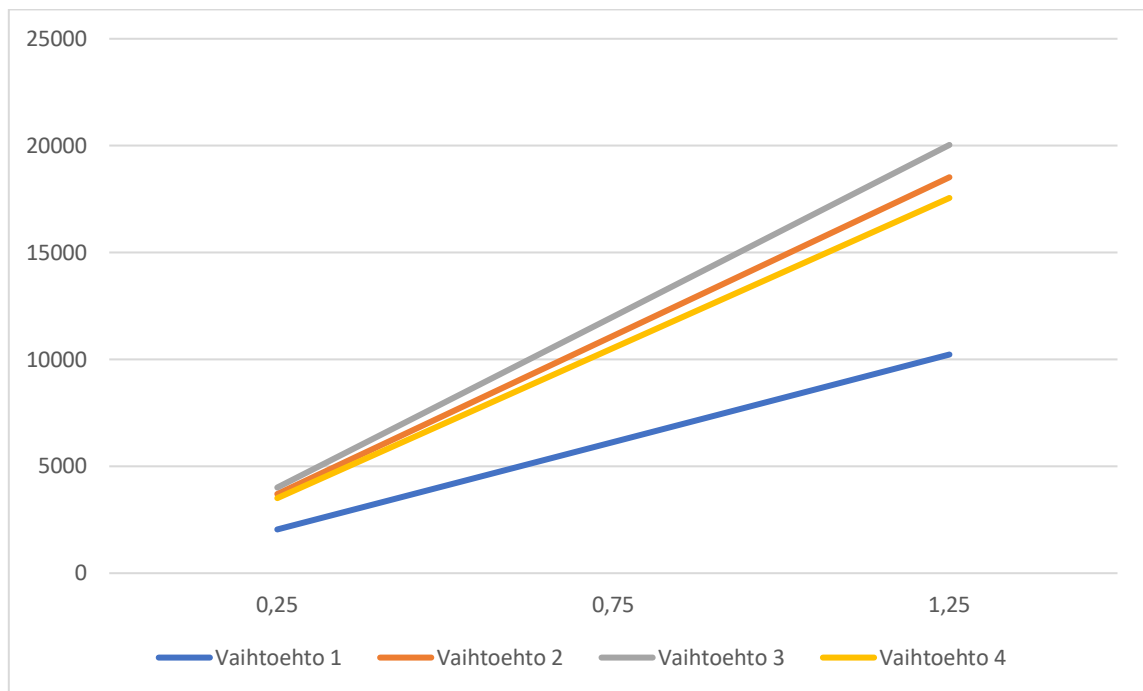
Kuva 30 Kokonaisinvestoinnin hyötykustannusindeksin kehittyminen

Yllä esitellyssä kuvassa on esitelty kokonaisinvestoinnin hyötykustannusindeksin kehitty-
minen huomioiden yksittäiset projektin vaiheet 1-4, siten, että suoritetaan toimenpiteet 1, 1-2,
1-3 ja 1-4. Sininen viiva kuvastaa niiden yksittäisiä vaikutuksia edellisen toimenpiteen li-
sänä. Punaisella viivalla on kuvattu kokonaishankkeen hyötykustannusindeksin kehittyminen
huomioiden hankekokonaisuudet 1-4 laskiessa vaiheeseen liittyvä nykyarvo jaettuna in-
vestoinnilla.

4.6.2 Hyötykustannusindeksin hyödyntäminen vuokramallinnukseen

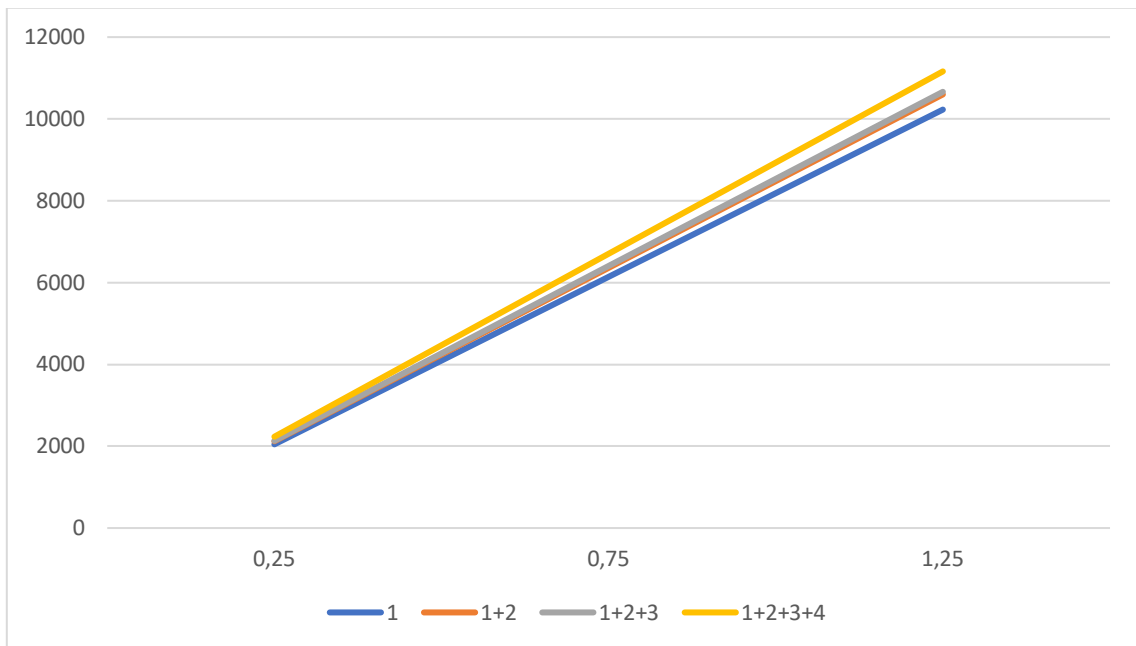
Tarkkaa ja luotettavaa tutkimustietoa vihreän energian kehityshankkeista toimistotilojen vuokrattavuuteen ei löytynyt aineistoa etsiessä. Yleisesti voitaneen kuitenkin ennakoida, että globaalit trendit nostavat tietoisuutta myös toimistojen hiilijalanjälkien seurantaan. Lähtökohtaisesti ihmiset ovat tiedostavampia ja osaltaan suosivat myös ympäristöystävällisiä tuotteita ja palveluita silloin kuin niitä on saatavilla.

Tarkastamme aiemmin esitettyjä BCR laskelmia lisäten 0,25 €, 0,75 € ja 1,25 €/m² potentiaaliset lisävuokrat vuokrattaville neliöille. Rakennuksessa 1 on vuokrattavia neliöitä 3.489 m² ja rakennuksessa 2 3.633 m², jolloin yhteensä vuokrattavia neliöitä on 7.122 m².



Kuva 31 Yksittäisen vaihtoehdon kyky tuottaa kassavirtaa

Edellä on esitelty yhden yksittäisen vaihtoehdon kustannusvaikutus kuukausivuokraan, jos tarkastellaan vain yhtä yksittäistä vaihtoehtoa toteutuksen osalta.



Kuva 32 Vaihtoehtojen yhteisvaikutus

Edellä esitetystä kuvasta voidaan huomata aiemmin esiteltyjen vaihtoehtojen yksittäin tai yhdessä tehtävän vaikutuksen, jos niitä toteutetaan esitetystä järjestyksessä. Jokainen yhteisvaikutus on tarkasteltu kolmella eri lisäneliövuokralla, jolloin voidaan osoittaa niiden kykyä tarjota lisäarvoa kiinteistön omistajalle.

4.7 Herkkyysanalyysi

Herkkyysanalyysin avulla voidaan tutkia kannattavuusanalyysin tuloksia ja havaita mahdollisia muuttujien välisiä vaikutuksia ja riippuvuuksia. Herkkyysanalyysin perusteella voidaan myös havainnoida omaan ja muuhun toimintaympäristöön liittyviä riskejä ja havainnoida niiden toteutumisen vaikutuksia.

Hankkeesta toteutetaan kahdenlaiset herkkyysanalyysit. Ensimmäisessä tutkitaan eri muuttujien yhteisvaikutusta erilaisten skenaarioiden kautta. Toisessa herkkyysanalyysissä tutkitaan alkuperäisten laskennassa käytettävien arvojen avulla hankkeen kannattavuuden muutosta, kun muutetaan vain kiinteistön sähkön hintaa.

Ensimmäisessä herkkyyssanalyysissä tehdään skenaariotarkastelua. Seuraavaksi tarkastellaan aiemmin toteutettujen kannattavuustarkastelujen tuloksia ja muutoksia seuraavilla kolmella skenaariolla:

Taulukko 8 Herkkyyssanalyysin muuttujat

	Oman pääoman korko	Oman pääoman osuus	Vieraan pääoman korko	Investointi	Optiot
Alkuperäinen laskenta	8,5 %	51 %	5,3 %	1.170.983,55 €	Alkuperäinen suunnitelma
Skenaario 1	1%	50%	4%	1.170.983,55 €	Toteutetaan vain lisäaurinkopaneelit
Skenaario 2	2%	100%	0%	-90.000 €	Ei huomioida
Skenaario 3	8%	20%	15%	+120.000 €	Alkuperäinen suunnitelma

Yllä on esitelty taulukko, johon on kerätty eri skenaarioiden muuttujat. Ensimmäiselle riville on koostettu alkuperäisen laskennan muuttujat, joita voidaan verrata toteutettuihin skenaarioihin. Ensimmäinen skenaario on kuvaus tilanteesta, jossa hankkeeseen sidotaan omaa pääomaa 50 % hankkeen kustannuksista ja vieraan pääoman osuus on täten 50 %. Vieraan pääoman korko on 3 %. Ensimmäisessä skenaariossa optiona huomioidaan aurinkopaneelien lisäysoptio. Täten optioiden hinnoittelussa käytetään samoja laskelmia kuin aiemmin, mutta huomioidaan vain aurinkopaneelioption arvo kannattavuustarkastelussa.

Toinen skenaario käsittelee lähtökohtaisesti samaa investointia, mutta oman pääoman osuus on 100 % ja investoinnin kokoa on pienennetty. Skenaario elää tilanteessa, jossa yritys pohdii, kannattaako yrityksen toteuttaa hanketta hyödyntämällä vierasta pääomaa vai ainoastaan omaa pääomaa. Toinen skenaario poikkeaa muista skenaarioista myös sen osalta, että havaittuja optioita ei käytetä, joten niitä ei oteta huomioon missään kannattavuuslaskelmissa.

Toisessa skenaariossa havaittuja lisätöitä ei ole toteutettu osana hanketta vaan tutkitaan niin sanottua alkuperäistä tilannetta.

Kolmas skenaario käy läpi kuvitteellisessa tilanteessa, jossa hanke on ylittänyt alkuperäisen budjetin. Lisäkustannus on 120.000,00 € ja sen tarve sitoutuu hankkeeseen ajanhetkellä 0. Ulkopuolista rahoitusta on jouduttu käyttämään reilusti, vieraan pääoman osuus on 80 % ja vieraan pääoman korko on 15 %. Tässä skenaariossa toteutetaan havaitut optiot alkuperäisen suunnitelman mukaisesti, vuosina kolme ja viisi.

Toisessa herkkyyssanalyysissä tutkitaan kiinteistön sähkön hinnan vaikutusta hankkeen kannattavuuteen. Tässä herkkyyssanalyysissä käytetään edellä esitetyn taulukon ”Alkuperäinen laskenta” arvoja ja muutetaan vain kiinteistön sähkön hintaa. Tavoitteena on löytää se hinta, jolla toteutettu investointi on vielä kannattava niin nettonykyarvoltaan kuin strategiselta nykyarvoltaan. Muita kannattavuuslaskelmia ei käytetä sähkönhinnan vaikutuksen tutkimiseen.

4.7.1 Herkkyyssanalyysin tulokset

Taulukko 9 Herkkyyssanalyysin skenaarioiden tulokset

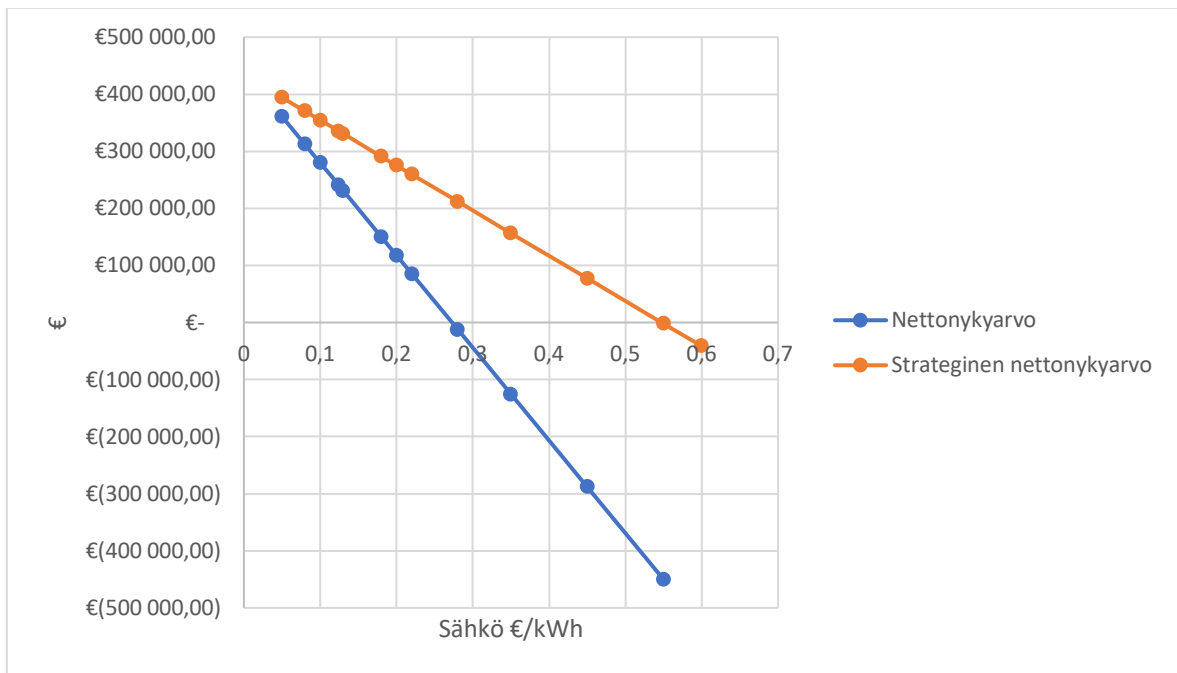
	NPV	NPVStrat	IRR	IRRopt	BC, koko	WACC
Alkuperäinen	255 843 €	350 483 €	0,087	0,096	1,24	0,0694
Skenaario 1	1 313 655 €	1 323 625 €	0,088	0,085	1,19	0,025
Skenaario 2	1 593 062 €		0,095		1,14	0,02
Skenaario 3	-470 528 €	-387 218 €	0,078	0,086	-0,11	0,136

Edellä on esitelty herkkyyssanalyysin tulokset kerättynä taulukkomuotoon. Herkkyyssanalyysin laskenta toteutettiin taulukkolaskentaohjelmalla. Taulukosta voidaan lukea aiemmin määriteltujen muuttujien muutosten vaikutukset skenaarioittain. Taulukossa tarkastellaan nettonykyarvon, strategisen nettonykyarvon, sisäisen koron, hyötykustannusindeksin ja painotetun pääomakustannuksen vaihtelua skenaarioiden mukaan. Hyötykustannusindeksin osalta on valittu kaikkia mahdollisia optioita hyödyntävä, viimeinen hyötykustannusindeksi vertailtavaksi, jotta eroa on löydettävissä. Painotettu pääoman kustannus on esitetty taulukossa, sillä se muuttuu eri pääomien suhteessa, pääomakustannusten vaihtuessa. Painotettua

pääomakustannusta voidaan pitää myös pienimpänä hyväksyttävänä tuottona hakkeesta, jolloin sitä hyödyntäen voidaan tutkia hankkeen kannattavuutta vertaamalla sitä sisäiseen korkoon.

Herkkyyksianalyysissä todettiin huomattavia muutoksia esimerkiksi nettonykyarvoon sijoitusympäristön muuttuessa. Ensimmäisessä skenaariossa hankkeen tuottovaatimus (WACC) laski huomattavasti 6,9%:sta 2,5%:iin, jolloin nettonykyarvo kasvoi voimakkaasti. Vastavaa muutosta ei havaittu sisäisen koron menetelmällä, joskin hyötykustannusindeksi antoi myös viitteen kannattavuuden huomattavasta paranemisesta. Tämä johtuu sisäisen koron menetelmään liittyvästä laskennasta, jossa ei huomioida rahoituskustannusten muutosta, ellei niitä huomioida osana kassavirtalaskelmaa.

Voidaan todeta, että mikäli kassavirtalaskelmiin ei lisätä rahoituksen kustannuksia (euroissa) ja ainoa rahoitukseen liittyvä tekijä on diskonttokorko, jolla kassavirta diskontataan nykyhetkeen, sisäiseen korkoon ei laskentateknisesti kohdistu muutoksia. On kuitenkin niin, että hankkeen kannattavuus todellisuudessa paranee myös sisäisen koron menetelmällä, sillä sisäistä korkoa verrataan hankkeelle määritettyyn tuottovaatimukseen, tutkimuksen tapauksessa painotettuun keskimääräiseen pääomakustannukseen. Tällöin voidaan todeta reaalikoron kasvaneen alkuperäisen ja skenaario 1:n välillä painotetun keskimääräisen pääomakustannusten muutosten verran, noin 4,4 %-yksikköä.



Kuva 33 Nettonykyarvon ja strategisen nettonykyarvon muutokset suhteessa sähkön hintaan

Edellä on esitetty nettonykyarvon ja strategisen nettonykyarvon muutokset huomioiden sähkön hintamuutos. Kuvattu sähkön hinta sisältää energian, siirron, sähköveron sekä muut maksut pois lukien arvonlisäveroa. Nettonykyarvo ja strateginen nettonykyarvo on laskettu alkuperäisen laskentatilanteen arvoilla. Kuvasta 33 voidaan huomata, että nettonykyarvolla tarkasteltuna hanke muuttuu kannattamattomaksi ($NPV < 0$) kun sähkön hinta on enemmän kuin 0,27 €/kWh. Energiatehokkuushankkeen strategisella nettonykyarvolla tarkastellessa hanke muuttuu kannattamattomaksi, kun sähkön hinta enemmän kuin 0,54 €/kWh. Tarkastelut hankkeen nettonykyarvoon ja strategiseen nettonykyarvoon on toteutettu alkuperäisen tilanteen mukaisessa tarkastelussa.

4.8 Tulokset ja tulosten arviointi

Hankkeen kannattavuus nettonykyarvomenetelmällä tarkasteltuna on,

$$NPV = 255\,843 \text{ €}$$

$$NPV_{\text{Strateginen}} = 350\,483 \text{ €}$$

Edellä esiteltyjen tulosten perusteella voidaan huomata energiatehokkuusinvestoinnin reaaliopitoiden parantavan hankkeen kannattavuutta huomattavasti, miltei tuplaten hankkeen nettonykyarvon. Molemmat, sekä normaali, että strateginen nettonykyarvo ovat positiivisia,

jolloin voidaan hankkeen laskentateknisesti olevan valituilla arvoilla kannattava. Reaalioption huomioiminen hankkeen kannattavuutta arvioitaessa nettonykyarvolla lienee erilaisissa tilanteissa houkuttelevaa, mutta erilaisten tunnistettujen optioiden huomattavat vaikutukset itse hankkeen kannattavuuteen saattavat aiheuttaa suurta vaihtelua hankkeen arvoon. Tutkimuksessa tunnistettiin kaksi optiota, joista aurinkopaneelien lisäämiseen liittyvä optio on selkeästi kannattava niin koonsa kuin arvonsakin puolesta, 44.891,26 €. Huomioitavaa aurinkopaneelien laajennusoption kannalta on myös, että vaadittava investointi ei ole huomattava, mutta sillä on huomattava vaikutus hankkeen kokonaiskannattavuuteen. Option lämmöntalteenoton laajentamiseen liittyy suuri tekninen investointi sekä runsas epävarmuus teknisen toimivuuden ja tehokkuuden suhteen. Option arvoksi laskettiin 137.096,63 €, joka tekisi optiosta erittäin houkuttelevan, mutta huomioiden vaadittava investointi ja option liittyvä tekninen epävarmuus, ei optiota tulisi välttämättä toteuttaa ennen teknisen toteutuksen kaupallista vakiintumista.

Hankkeen kannattavuutta sisäisen koron menetelmällä tutkiessa saadaan sisäiseksi koroksi ilman tunnistettuja optioita $IRR = 7,77\%$. Optiot huomioiva sisäinen korko on $9,80\%$: Hankkeen laskennallinen tuottovaatimus asetettiin vastaamaan painotettua keskimääräistä pääomakustannusta (WACC) $6,2\%$. Huomioiden tuottovaatimus voidaan molempien sisäisen koron tarkastelujen osoittavan hankkeen olevan kannattava. Hankkeen kannattavuuteen on vaikuttanut huomattavasti pääomamarkkinoiden muutos ja maailman laajuinen korkotasojen nousu.

Tutkimuksessa tutkittiin kustannushyötyindeksiä hyödyntäen hankekokonaisuuden kannattavuuden vaihtelua. Hankekokonaisuus jaettiin neljään eri kokonaisuuteen, joissa,

1. Maalämpö ja -viilennys, automaatio sekä ilmanvaihtokoneiden saneeraus
2. Aurinkopaneelijärjestelmä (vaihe 1) ja sen vaikutus edelliseen
3. Aurinkopaneelijärjestelmän laajennus (vaihe 2) ja sen vaikutus edelliseen
4. Lisälämmöntalteenotto

Tulokset on esitelty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 10 Hyötykustannusindeksi

Osioittain	Hyötykustannusindeksi
BCR ₁	1,14

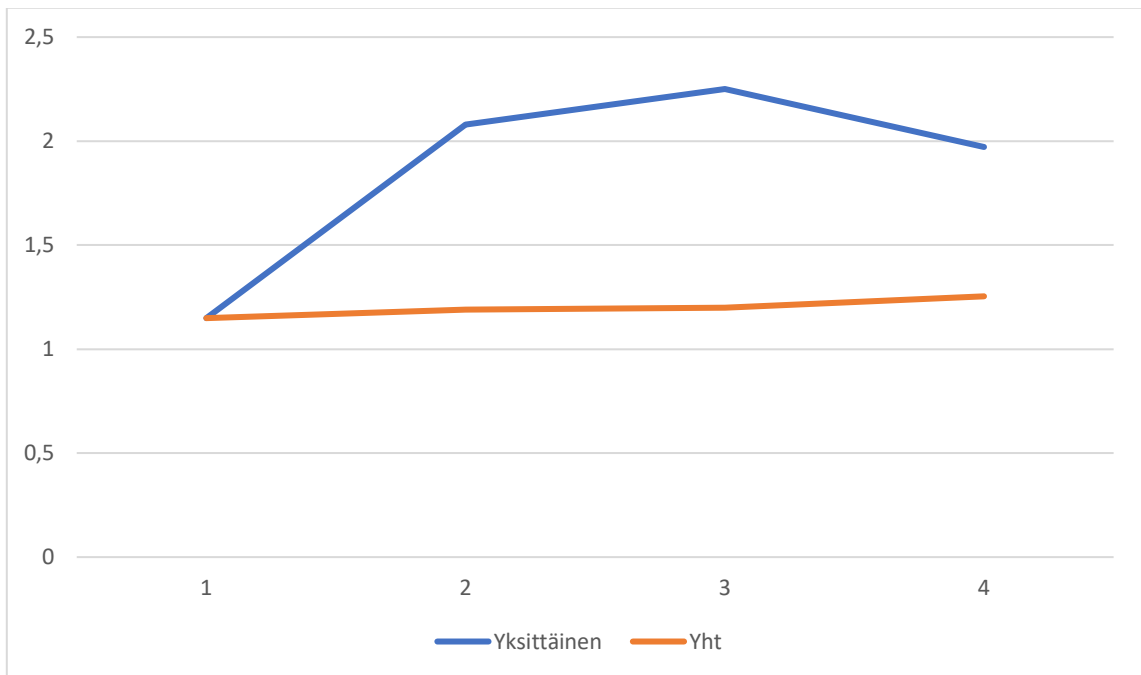
BCR ₂	2,08
BCR ₃	2,25
BCR ₄	1,91

Edellä esitetystä taulukossa, taulukko 8, on esitelty hyötykustannusindeksin laskennan tulokset jakaen hanke neljään eri kokonaisuuteen. Taulukosta voidaan havainnoida yksittäisten hankeosien kyky parantaa hankkeen kannattavuutta. Hankekokonaisuudet on yksi ja kaksi edustavat hankkeen tämän hetkistä tilannetta ja hankekokonaisuudet kolme ja neljä edustavat optioita.

Taulukko 11 Hyötykustannusindeksin muutokset hankekokonaisuudet

Laajuus	Hyötykustannusindeksi
BCR ₁	1,15
BCR ₁₊₂	1,19
BCR ₁₊₂₊₃	1,97
BCR ₁₊₂₊₃₊₄	1,25

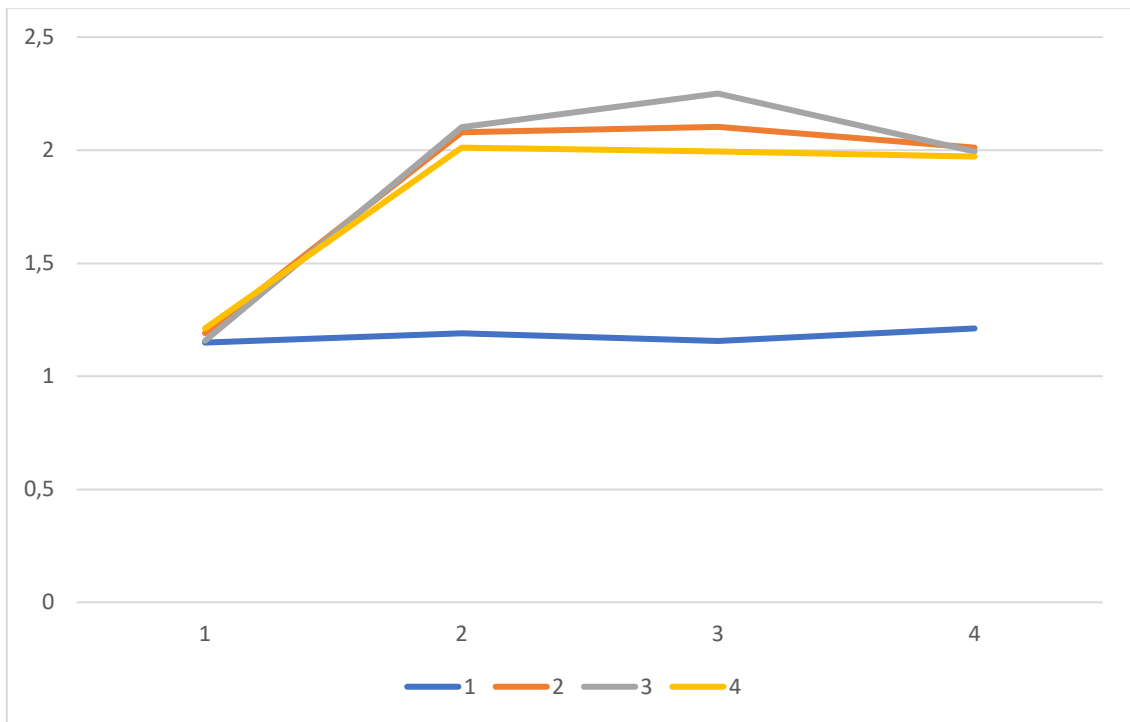
Edellä esitetystä taulukossa, taulukko 9, on esitelty hankekokonaisuuksien hyötykustannusindeksit ja niiden yhteisvaikutukset hankkeen kokonaiskannattavuuteen. Yhteinen indeksi ei ole laskettu summaamalla kahta erillistä indeksiä, vaan tarkastelu on toteutettu jakamalla hankekokonaisuuksien yhteinen nykyarvo hankekokonaisuuden yhteenlasketulla kustannuksella.



Kuva 34 Kokonaisinvestoinnin BCR

Kuvassa 34 on esitetty kokonaisinvestoinnin BCR kehittyminen sekä yksittäiset hankekokoisuuden osat ja niiden hyötykustannussuhde. Kuvasta huomataan hankkeen kannattavuuden jatkuva kehittyminen, mutta yksittäisten optioiden kyky nostaa hankkeen kannattavuutta on rajallinen.

Kaikki tarkastelut osoittavat, että hanke on ollut kannattava, sillä hankkeen hyötykustannusindeksi on yli yksi. Hyötykustannusindeksillä huomioituna myös toteutettu kokonaisuus, ilman optioita, saa hyötykustannusindeksin 1,19. Vaikka optioina tunnistetut aurinkopaneeli-järjestelmän laajennusoptio sekä lisälämmöntalteenotto saavat suuren hyötykustannusindeksin, molemmat noin kaksi, eivät ne nosta hankkeen kokonaiskannattavuutta kuitenkaan merkittävästi.



Kuva 35 Kahden vaihtoehdon yhteisvaikutus

Edellä esitellyssä kuvassa, kuva 35, huomataan kahden yksittäisen kokonaisuuden yhteisvaikutus. Uusi kahden eri indeksin yhteisvaikutus on laskettu ottamalla keskiarvo kahdesta eri indeksistä. Kuvaa luetaan siten, että valitaan X-akselilta esimerkiksi numero yksi ja yläpuolella on eri vaihtoehdoista tutkittava tekijä. Kuvasta voidaan tulkita yhteisvaikutus hyötykustannusindeksiin tilanteessa, jossa alkuperäinen maalämpökokonaisuus (kokonaisuus 1) olisi toteutettu yhdessä option kanssa, jossa toteutetaan lisälämmöntalteenottoinvestointia (kokonaisuus 4), jolloin hankkeen kannattavuus hyötykustannusindeksillä tarkasteltuna kasvaa 1,15:sta 1,21:seen. Kuva 35 osoittaa myös hankkeen osien epäsuhtan toisiinsa nähden; ensimmäinen kokonaisuus on huomattavasti arvokkaampi verrattuna seuraaviin osiin ja optioihin, jolloin laskelmat, joissa huomioidaan muita yhdistelmiä kuin sellaisia, joissa vaihtoehto yksi on mukana, hyötykustannusindeksit ovat omaa luokkaansa.

5 Johtopäätökset

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia kolmea valittua investointilaskentamenetelmää ja tutkia, mikä niistä sopisi parhaiten energiatehokkuushankkeen kannattavuustarkasteluun. Tutkimus toteutettiin tarpeeseen, sillä tutkimuksen taustana toimi toteutettu energiatehokkuushanke kahteen toimistotaloon Espoossa.

Tutkimuskysymykset olivat:

- Mitkä ovat valittujen investointilaskentatapojen edut ja heikkoudet verrattuna toisiinsa?
- Mikä on paras investointilaskentatapa energiatehokkuusinvestoinnin kannattavuuden arviointiin?

Tutkimuskysymysten mukaisesti valittujen kolmen investointilaskentamenetelmän, nettonykyarvon, sisäisen koron ja hyötykustannusindeksin, edut ja heikkoudet kartoitettiin ja menetelmissä oli huomattavia yhtäläisyyksiä. Menetelmiä tutkiessa huomattiin, että tutkimusta on syytä laajentaa projektinhallintaan sekä kustannusten hallintaan ja niistä kirjoitettiin oma teoriaosio. Tutkimuksen laajentaminen mahdollisti eri investointilaskentamenetelmien hyödynnettävyyden tutkimisen projektien eri vaiheissa huomioiden kustannusten hallinnan erityispiirteet. Erityisesti ennen projektien aloittamista tehtävä laskenta korostui tutkimuksessa, vaikka case yrityksen tarve olikin tutkia toteutetun hankkeen kannattavuutta.

Kaikilla kolmella investointilaskentamenetelmällä tarkasteltuna toteutettu energiatehokkuushanke oli kannattava. Osa menetelmistä on paremmin hyödynnettävissä kuin toiset, mutta kaikille menetelmille löytyy omat käyttökohteensa jatkossa, kun case -yrityksen omistaja yritys suorittaa seuraavia energiatehokkuus- ja muita hankkeita.

Tutkimuksessa hyödynnettiin herkkyysanalyysiä tutkimustuloksien analysoinnin yhteydessä. Herkkyysanalyysissä tutkittiin sijoitusympäristön, valittujen optioiden ja hankkeen kustannusten muutoksia hankkeen kannattavuuteen. Muutoksia tutkittiin kaikilla kolmella valitulla menetelmällä ja muutokset olivat todennettavissa kaikilla kolmella menetelmällä.

Reaalioptioiden arvon määrittämisessä volatilitietin määrittelyn haastavuus korostui. Aurinkopaneelijärjestelmän laajennusoption volatilitietin määrittettiin tutkimalla toteutunutta

tuotantoa ja sen keskihajontaa. Vaihtoehtona olisi voitu käyttää esimerkiksi sähkön toteutunutta spot hintaa. Käytettäessä 12 kuukauden toteutuneita spot hintoja volatilitietin määrittelyyn, aurinkopaneelilaajennusoption arvo laski miltei puoleen alkuperäisestä laskennasta.

Lisälämmöntalteenoton volatilitietti määritettiin tutkimalla alueen lämmitystarvelukujen keskihajontaa. Reaalioption arvo oli niin aurinkopaneelilaajennuksen kuin lisälämmöntalteenottoinvestoinnin osalta selkeästi positiivinen. Reaalioption arvonmäärityksen haastavuus ja laskennan oikeellisuudesta varmistuminen aiheuttavat suurta epävarmuutta suurien hankkeiden kannattavuuden arviointiin. Tämä korostuu tilanteissa, joissa tarkastelujaksot ovat pitkiä, mahdollisuus sijoitusympäristön muutoksiin on suuri ja hanke ei itsessään ole tarpeeksi vahva.

6 Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa tutkittiin kolmea valittua investointilaskentamenetelmää ja etsittiin parasta vaihtoehtoa energiatehokkuushankkeiden kannattavuustarkasteluun. Valitut kolme menetelmää olivat nettonykyarvo (NPV), sisäisen koron menetelmä (IRR) ja hyötykustannusindeksi (BCR).

Tutkimus toteutettiin kirjallisuustutkimuksena investointilaskentamenetelmien sekä projektinhallinnan osalta. Tutkimusta laajennettiin koskemaan myös projektinhallintaa, sillä investointilaskentamenetelmien tutkimuksen aikana huomattiin tarve tutkia ympäristöä, jossa valittuja menetelmiä hyödynnetään. Projektinhallintaan ja kustannusten hallintaan liittyvä tutkimus loi hyvän ympäristön investointilaskentamenetelmien tutkimukselle ja mahdollisti osaltaan löydökset.

Kirjallisuustutkimuksen jälkeen valittuja investointilaskentamenetelmiä käytettiin toteutetun energiatehokkuusinvestoinnin kannattavuustarkasteluun ja kannattavuutta tutkittiin kaikilla kolmella valitulla menetelmällä, hyödyntäen nettonykyarvon (NPV), sisäisen koron (IRR) sekä hyötykustannusindeksin (BCR) menetelmiä. Case yrityksen toteuttamaan hankkeeseen liittyi kiinteästi kaksi reaalioptiota, joiden arvo määritettiin ja ne otettiin huomioon kannattavuustarkastelussa. Hyötykustannusindeksiä hyödyntäen tutkittiin myös optioiden kannattavuus ja vaikuttavuus hankkeen kokonaiskannattavuuteen. Hyötykustannusindeksillä tutkittiin myös energiatehokkuusprojektin mahdollista lisäarvon tuottoa vuokramarkkinoilla ja simuloitiin kassavirran potentiaalista kasvua.

Kiinteänä osana kannattavuustarkastelua on herkkyysanalyysit. Tässä tutkimuksessa toteutettiin herkkyysanalyysijä huomioiden sijoitusympäristön muutokset sekä hankkeen kannalta erittäin kriittinen sähkön hinnan muutokset ja sen vaikutus hankkeen nettonykyarvoon. Hankkeen suunnittelu aloitettiin huomattavasti erilaisessa tilanteessa, jossa tätä kirjoittaessa ollaan. Herkkyysanalyysissa voidaan tutkia sijoitusympäristön vaikutusta hankkeen kannattavuuteen ja testata esimerkiksi hankkeen kustannusten ylityksen vaikutuksia kokonaiskannattavuuteen.

Valituilla investointilaskentamenetelmillä tarkasteltuna toteutettu energiatehokkuusprojekti on kannattava. Herkkyysanalyysien perusteella äkilliset muutokset sijoitusympäristössä

saattavat vaikuttaa sijoituksen kannattavuuteen. Tarkastelussa ei tutkittu sijoitusympäristön muutoksia tarkastelujakson aikana, mutta herkkyysanalyysissa havaittiin merkittäviä muutoksia nettonykyarvoon pääomakustannusten ja pääomanmuutoksien vaikutuksesta.

Valitut investointilaskentamenetelmät edustavat suosituimpia metodeja, joita käytetään investointien kannattavuustarkasteluissa. Tutkimuksen jälkeen voidaan todeta kaikkien soveltuvan kannattavuuden tutkimiseen huomioiden kunkin omat vahvuudet ja mahdollisuudet projektien eri vaiheissa. Yleisesti on suositeltavaa hyödyntää niitä metodeja, jotka ovat vastaanottajalle tai tutkimuksen lukijalle tuttuja.

Hyötykustannusindeksiä (BCR) hyödyntäessä osana laskelmia korostuu valittu katsantokanta, josta tarkastelua tehdään. Tutkimuksessa hyötykustannusindeksiä käytettiin eri investointikokonaisuuksien kannattavuuden tutkimiseen sekä yhdessä että erikseen. Hyötykustannusindeksiä hyödynnettiin myös toteutettujen toimien ja kassavirtojen simuloimisessa. Hyötykustannusindeksi olisi omiaan projektin suunnitteluvaiheessa, kun haetaan parasta vaihtoehtoa niin teknisesti, taloudellisesti kuin sosiaalisestikin. Tätä varten tutkimusta olisi pitänyt laajentaa sivututkimuksella, jossa olisi tutkittu esimerkiksi yritysten halua maksaa hiilineutraaleista toimitiloista korkeampaa vuokraa. Tällaiset tutkimukset ja tuloksien hyödyntäminen projektia edeltävissä vaiheissa, esimerkiksi hankkeen laajuuden määrittelyssä, ovat merkittävän arvokkaita energiatehokkuushankkeiden kehittämisessä ja niihin liittyvissä kannattavuustarkasteluissa.

Lähteet

- Altshuler, D. & Magni, C.A. 2012. Why IRR is Not the Rate of Return for Your Investment: Introducing AIRR to the Real Estate Community. *Journal of Real Estate Portfolio Management*. Vol. 18, nro. 2, 219-230 s.
- Amin, B. et al. (2019) Evaluation of cost and time control in Lhokseumawe City improvement project using earned value method (Case Study Street Alue Raya-Line Pipa). *IOP conference series. Materials Science and Engineering*. [Verkkoaineisto] 536 (1), 12105-.
- Annala, Aleksi, 2024. Poistojen vähentäminen kirjanpidossa ja verotuksessa – osa 3: aineelliset hyödykkeet. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 21.2.2024]. Saatavissa: <https://www.rantalainen.fi/julkaisut/artikkelit/poistojen-vahennykset-kirjanpidossa-ja-verotuksessa-3/>
- Arto, K., Martinsuo, M., Kujala, J., 2006. Projektiliiketoiminta. WSOY Oppimateriaalit Oy. Helsinki. ISBN 951-0-31482-x. 416.
- Balaji, S. & Sundararajan Murugaiyan, M. 2012. Waterfall vs V-Model vs Agile: A comparative study on SDLC. [verkkoartikkeli]. [Viitattu: 27.9.2021]. Saatavissa: <https://mediaweb.saintleo.edu/Courses/COM430/M2Readings/WATEERFALLVs%20V-MODEL%20Vs%20AGILE%20A%20COMPARATIVE%20STUDY%20ON%20SDLC.pdf>
- Baracsckay, D. Book reviews. *Public Choice* **96**, 417–423 (1998). <https://doi-org.ezproxy.cc.lut.fi/10.1023/A:1004911711511>
- Boardman A., Greenberg D., Vining A. and Weimer D.: *Cost-benefit analysis: Concepts and practice*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996.
- Chen, H. L. et al. (2016) Earned value project management: Improving the predictive power of planned value. *International journal of project management*. [Verkkoaineisto] 34 (1), 22–29.
- Dixon, T. J. et al. (1999) A critical review of methodologies for measuring rental depreciation applied to UK commercial real estate. *Journal of property research*. [Verkkoaineisto] 16 (2), 153–180.

- Ebisike, O. Anthony. (2010) *Real estate accounting made easy*. 2nd ed. Hoboken, N.J: Wiley.
- French, N. & Patrick, M. (2015) The plethora of yields in property investment and finance: a summary. *Journal of property investment & finance*. [Verkkoaineisto] 33 (4), 408–414.
- Hofmann, Erik. et al. (2012) *Capital Equipment Purchasing Optimizing the Total Cost of CapEx Sourcing*. [Verkkoaineisto]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Keating, B. & Keating, M. O. (2014) *Basic cost benefit analysis for assessing local public projects*. First edition. New York, New York (222 East 46th Street, New York, NY 10017): Business Expert Press.
- KTI. 2001. Kiinteistötalouden ja kiinteistöjohtamisen keskeiset käsitteet. KTI Kiinteistötalouden instituutti.
- Kärri T. & Uusi-Rauva E., 2003. Investointiprojektin kustannussuunnittelun perusteet. Tuotantotalouden osasto. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, ISBN 951-764-789-1
- Lehtonen, P., Lindblom, L., Korpinen, S., Simonen, J., 2006. Projektisalkunhallinta – Kehitystoiminnan strateginen johtaminen. Edita Publishing Oy. Helsinki. ISBN 951-37-4689-5.
- Manganelli, B. (2015) *Real Estate Investing Market Analysis, Valuation Techniques, and Risk Management*. [Verkkoaineisto]. Cham: Springer International Publishing.
- Markowitz, H. (1952) PORTFOLIO SELECTION. *The Journal of finance (New York)*. [Verkkoaineisto] 7 (1), 77–91.
- Mooya, Manya M. *Real Estate Valuation Theory A Critical Appraisal*. 1st ed. 2016. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016. Web.
- Oliver, T. W. et al. (2000) The calculation of the effective annual cash discount rate revisited. *American business review*. 18 (2), 50-.
- Patrick, M. & French, N. (2016) The internal rate of return (IRR): projections, benchmarks and pitfalls. *Journal of property investment & finance*. [Verkkoaineisto] 34 (6), 664–669.
- Shively, G. and Galopin, M., 2013. An overview of benefit-cost analysis. Accessed online at <http://www.agecon.purdue.edu/staff/shively/COURSES/AGEC406/reviews/bca.htm>.

Trigeorgis, L. (1996) *Real options: managerial flexibility and strategy in resource allocation*. Cambridge, Mass: MIT Press.

Vero., 2023. Poistot ja pienhankinnat – liikkeen- tai ammatinharjoittaja [Verkkoaineisto]. [Viitattu 21.2.2024]. Saatavissa: <https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/liikkeen-tai-ammattinharjoittaja/poistot-ja-pienhankinnat/>

Kassavirtalaskelma

Määritellään (kerätään) kassavirta koko hankkeen elinkaaren ajalta 0 - 25 vuotta
 Kassavirrassa on huomioitu poistot ja optiot. Tähän kassavirtaan on liitetty tietoja muista taulukoista, joista muodostetaan vuoden kassavirta, joka diskontataan nykyarvoon

WACC	6,93 %	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
	Vuodet	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Investointi														
Urakka	-	963 540 €												
Lisätyöt	-	86 808 €												
Aurinkopaneelijärjestelmä	-	52 316 €												
Suunnittelu	-	53 820 €												
Projektinjohto ja valvonta	-	14 500 €												
Energiatohokkuushankkeen kassavirta														
Säästö lämmityskustannuksissa, tark korotus			71 595 €	74 531 €	77 587 €	80 769 €	84 081 €	87 529 €	91 119 €	94 856 €	98 746 €	102 795 €	107 011 €	111 399 €
Säästö jäähdytyskustannuksissa			8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €
Aurinkopaneelien tuotanto, tark heikkeneminen			5 253 €	5 250 €	5 248 €	5 245 €	5 242 €	5 240 €	5 237 €	5 235 €	5 232 €	5 229 €	5 227 €	5 224 €
Säästetty KL-remontti, rakennus 1		7 200 €												
Säästetty KL-remontti, rakennus 2		35 000 €												
Varaukset														
MLP järjestelmän huolto	-		4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -
MLP pumppujen uusinta, vuosi 12	-	28 000 €												
Aurinkopaneelien invertterien uusiminen, vuosi 15	-	12 000 €												
Jäännösarvot														
ML-järjestelmä, kaivot														
Aurinkopaneelijärjestelmä														
ML-järjestelmä, pumppujen hävittäminen														
Kassavirta	-	1 168 784 €	81 356 €	84 290 €	87 343 €	90 523 €	93 832 €	97 278 €	100 865 €	104 599 €	108 486 €	112 533 €	116 746 €	121 132 €
Diskontattu kassavirta			76 082 €	73 715 €	71 434 €	69 235 €	67 114 €	65 068 €	63 094 €	61 188 €	59 348 €	57 571 €	55 854 €	54 196 €
		2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047
	Vuodet	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Investointi														
Urakka														
Lisätyöt														
Aurinkopaneelijärjestelmä														
Suunnittelu														
Projektinjohto ja valvonta														
Energiatohokkuushankkeen kassavirta														
Säästö lämmityskustannuksissa, tark korotus		115 967 €	120 723 €	125 674 €	130 828 €	136 193 €	141 778 €	147 592 €	153 645 €	159 946 €	166 505 €	173 333 €	180 442 €	187 842 €
Säästö jäähdytyskustannuksissa		8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €	8 509 €
Aurinkopaneelien tuotanto, tark heikkeneminen		5 221 €	5 219 €	5 216 €	5 214 €	5 211 €	5 208 €	5 206 €	5 203 €	5 201 €	5 198 €	5 195 €	5 193 €	5 190 €
Säästetty KL-remontti, rakennus 1														
Säästetty KL-remontti, rakennus 2														
Varaukset														
MLP järjestelmän huolto	-	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -	4 000 € -
MLP pumppujen uusinta, vuosi 12														
Aurinkopaneelien invertterien uusiminen, vuosi 15														
Jäännösarvot														
ML-järjestelmä, kaivot														386 680 €
Aurinkopaneelijärjestelmä														20 560 €
ML-järjestelmä, pumppujen hävittäminen														
Kassavirta		125 697 €	130 451 €	135 399 €	140 550 €	145 913 €	151 495 €	157 307 €	163 357 €	169 655 €	176 212 €	183 037 €	190 143 €	604 780 €
Diskontattu kassavirta		52 593 €	51 043 €	49 545 €	48 096 €	46 694 €	45 338 €	44 025 €	42 755 €	41 525 €	40 333 €	39 180 €	38 062 €	113 215 €

Optiot

Aurinkopaneelijärjestelmän laajennus	9 970 €
Lisälämmöntalteenotto	84 670 €
Vuosi 0	

