Kestävien pääomainvestointien arviointi tuotantolaitoksessa

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tuotantotalouden kandidaatintyö

2026

Niki Brofeldt

Tarkastaja: Tutkijatohtori Sini-Kaisu Kinnunen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT insinööritieteiden tiedekunta

Tuotantotalous

Niki Brofeldt

Kestävien pääomainvestointien arviointi tuotantolaitoksessa

Tuotantotalouden kandidaatintyö

2026

31 sivua, 2 kuvaa ja 2 taulukkoa

Tarkastaja: Tutkijatohtori Sini-Kaisu Kinnunen
Avainsanat: Pääomainvestoinnit, kestävä kehitys, investointilaskenta, elinkaarikustannuslaskenta, varjohinnoittelu, kannattavuus, kassavirtalaskenta

Ilmastonmuutoksen hillitseminen ja kiristyvä ympäristösääntely muuttavat tapaa, jolla teollisuuden pääomainvestointeja arvioidaan. Perinteiset investointien arviointimenetelmät keskittyvät taloudellisiin kassavirtoihin eivätkä huomioi ympäristövaikutusten kustannuksia. Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tutkia, miten teollisten laiteinvestointien kannattavuutta voidaan arvioida huomioiden kestävän kehityksen näkökulmat kustannuslaskennassa.

Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, jossa hyödynnettiin tuotantotalouden, laskentatoimen ja ympäristötalouden vertaisarvioituja artikkeleita. Työssä tarkasteltiin perinteisiä investointien arviointimenetelmiä ja niiden rajoitteita kestävyyden näkökulmasta. Lisäksi esiteltiin laskennallisia menetelmiä, joilla ympäristövaikutukset voidaan muuttaa numeeriseen muotoon ja integroida osaksi investointilaskelmia.

Tulosten perusteella perinteiset menetelmät kuten nettonykyarvo ja sisäinen korkokanta muodostavat investointiarvioinnin perustan mutta eivät yksinään riitä kestävien investointien arviointiin. Varjohinnoittelu mahdollistaa päästökustannusten taloudellisen arvioinnin, materiaalivirtojen kustannuslaskenta paljastaa tuotantoprosessin piilokustannuksia ja elinkaariarviointi mittaa ympäristövaikutukset koko elinkaaren ajalta. Kestävä kassavirtalaskenta tarjoaa kehikon, jossa nämä ympäristökustannukset ja -hyödyt voidaan yhdistää perinteiseen kassavirtalaskelmaan. Perinteiset ja kestävät menetelmät eivät ole toisiaan poissulkevia vaan täydentävät toisiaan. Niiden yhdistäminen tuottaa kokonaisvaltaisemman kuvan investoinnin todellisesta kannattavuudesta.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Engineering Science

Industrial Engineering and Management

Niki Brofeldt

Evaluating Sustainable Capital Investments in a Production Plant

Bachelor’s thesis

2026

31 pages, 2 figures and 2 tables

Examiners: Post-Doctoral Researcher Sini-Kaisu Kinnunen

Keywords: capital investments, sustainable development, investment appraisal, life cycle costing, shadow pricing, investment profitability, cash flow analysis

Climate change mitigation and tightening environmental regulations are changing the way industrial capital investments are evaluated. Traditional investment appraisal methods focus on financial cash flows and do not account for the costs of environmental impacts. The objective of this bachelor's thesis was to examine how the profitability of industrial equipment investments can be assessed while considering sustainable development perspectives in cost accounting.

The study was conducted as a literature review utilising peer-reviewed articles from the fields of industrial engineering, management accounting and environmental economics. The study examined traditional investment appraisal methods and their limitations from a sustainability perspective. Additionally, computational methods were introduced for converting environmental impacts into numerical form and integrating them into investment calculations.

The results indicate that traditional methods such as net present value and internal rate of return form the foundation of investment appraisal but are insufficient for evaluating sustainable investments on their own. Shadow pricing enables the monetisation of emission costs, material flow cost accounting reveals hidden costs in production processes and life cycle assessment measures environmental impacts across the entire life cycle. Combining these methods with traditional appraisal models provides a more comprehensive picture of an investment's true profitability.

LYHENNELUETTELO

Lyhenteet

ARR	Accounting Rate of Return
B/C ratio	Benefit-Cost Ratio
DCF	Discounted Cash Flow
ETS	Emissions Trading System
ICP	Internal Carbon Pricing
IRR	Internal Rate of Return
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Life Cycle Costing
MCDA	Multi-Criteria Decision Analysis
MFCA	Material Flow Cost Accounting
NPV	Net Present Value
ROI	Return on Investment
SCF	Sustainable Cash Flow
SDG	Sustainable Development Goals
TCO	Total Cost of Ownership

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenneluettelo

Ilmoitukset

1 Johdanto 7

1.1 Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset 7

1.2 Työn tutkimusmenetelmät ja rajaus 8

1.3 Työn rakenne 9

2 Pääomainvestointien arviointi ja päätöksenteko 10

2.1 Perinteiset arviointimenetelmät ja Investointiprosessi 10

2.2 Perinteisten arviointimenetelmien rajoitteet 14

2.3 Kestävien investointien arviointimenetelmiä 16

3 Kestävä kehitys teollisessa ympäristössä 18

3.1 Kestävän kehityksen käsitteiden määrittely 18

3.2 Investointipäätösten ohjauskeinot 20

3.3 Kestävyyden laskennalliset työkalut 22

4 Kestävien investointien arviointi 25

4.1 Ympäristövaikutusten integrointi kannattavuuslaskelmiin 25

4.2 Perinteisten ja kestävien arviointimenetelmien vertailu 26

4.3 Kestävän investoinnin kokonaisuus 28

5 Johtopäätökset 30

Lähteet 32

ILMOITUKSET

Turnitin

Tämän opinnäytetyön alkuperäisyys on tarkistettu Turnitin – samankaltaisuuden tarkastuspalvelun avulla.

Tekoäly

Tämän opinnäytetyön kirjoittaja Niki Brofeldt on käyttänyt seuraavia tekoälytyökaluja opinnäytetyön tekemisessä:

1. Claude ai
    a. Työkalun käytön tarkoitus: Tekstin rakenteen parantelu sekä oikeinkirjoituksen tarkastaminen
    b. Selvitys työkalun käytöstä: Tekoälytyökalua hyödynnettiin kandidaatintutkielmassa lukujen jäsentelyyn sekä selkeämmän lauserakenteen muotoiluun. Työkalua myös hyödynnettiin oikeinkirjoituksen tarkistamisessa.
2. Gemini
    a. Työkalun käytön tarkoitus: Tekstin rakenteen parantelu, lähteiden etsiminen sekä kuvan muodostaminen.
    b. Selvitys työkalun käytöstä: Tekoälytyökalua hyödynnettiin kandidaatintutkielmassa lukujen jäsentelyyn sekä selkeämmän lauserakenteen muotoiluun. Työkalua myös hyödynnettiin akateemisten lähteiden etsimiseen ja havainnollistavan kuvan muodostamiseen.

Vastuu

Niki Brofeldt ottaa täyden vastuun tämän opinnäytetyön sisällöstä ja on tarkistanut ja muokannut mahdollisen tekoälytyökalujen käytön myötä syntyneen sisällön.

1 Johdanto

Nykypäivänä teollisuus on siirtymässä kiihtyvällä tahdilla kohti vihreää ja kestävämpää kehitystä. Ilmastonmuutoksen hillitseminen ja kiristyvät lainsäädännölliset vaatimukset vaikuttavat liiketoimintaympäristöihin sekä yritysten toimitusketjuihin. Tuotantotalouden ja kustannusjohtamisen näkökulmasta tämä siirtymä luo tarpeen arvioida uudelleen perinteisiä investointimalleja. Yritysten on löydettävä tasapaino korkeiden alkuinvestointien ja pitkän aikavälin ekologisten sekä taloudellisten hyötyjen välillä. Tämä edellyttää siirtymistä pois pelkästä hankintahinnan tarkastelusta kohti kokonaisvaltaista elinkaariajattelua, jossa investoinnin arvo tulisi määritellä sen elinkaaren aikaisten vaikutusten ja strategisen kilpailuedun kautta. Rakenteellisen muutoksen välttämättömyyttä painottaa myös, Delbeke (2024) teoksessaan *Delivering a Climate Neutral Europe*, jossa hän toteaa Euroopan unionin asettamien ilmastotavoitteiden ja lainsäädännön vaikuttavan merkittävästi teollisuuteen.

Kestävän kehityksen mukaiset investoinnit vaativat usein suuria alkuinvestointeja. Kannattavuuden arviointi pelkän lyhyen aikavälin takaisinmaksuajan tai hankintahinnan perusteella on käytännössä mahdotonta. Lefleyn ja Sarkisin (2013) mukaan perinteiset menetelmät saattavatkin johtaa ympäristöhyötyjä tarjoavien hankkeiden arvioinnissa alitehokkaisiin päätöksiin. Vihreä siirtymä vaatii uusien näkökulmien ja otteiden hyödyntämistä pääomasijoittamisessa. Tämä mahdollistaa ekologisten tavoitteiden ja taloudellisen kestävyyden yhdistämisen onnistuneesti.

1.1 Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Kandidaatintyön tavoitteena on tutkia, millaisilla kustannuslaskennan menetelmillä teollisten pääomainvestointien kannattavuutta voidaan arvioida luotettavasti kestävän kehityksen näkökulmasta. Työ auttaa lukijaa ymmärtämään perinteisten investointilaskentamenetelmien rajoitteita. Tämän lisäksi työ pyrkii osoittamaan, kuinka elinkaarikustannuslaskennan ja muiden kokonaisvaltaisten arviointimenetelmien avulla ekologiset kustannukset voidaan yhdistää perinteisiin kustannuslaskennan menetelmiin. Näiden tavoitteiden perusteella työn tutkimuskysymykset ovat muodostuneet seuraavasti.

Päätutkimuskysymys:

- Miten teollisten laiteinvestointien kannattavuutta voidaan arvioida huomioiden kestävän kehityksen näkökulmat kustannuslaskennassa?

Osakysymykset:

- Mitkä ovat keskeisiä kustannuslaskennan menetelmiä kestävien investointien arvioinnissa?
- Miten perinteiset investointilaskelmamenetelmät soveltuvat kestävien laiteinvestointien arviointiin?
- Miten ekologiset kustannukset ja ympäristöhyödyt voidaan integroida perinteisiin investointilaskentamalleihin?

Päätutkimuskysymys kokoaa yhteen kandidaatintyön laajemman tavoitteen. Siihen vastaamista tuetaan kolmen tarkentavan osakysymyksen avulla. Nämä osakysymykset kuljettavat työtä loogisesti eteenpäin ja auttavat ratkaisemaan varsinaisen pääongelman. Kaksi ensimmäistä osakysymystä rakentavat työn teoreettisen perustan. Niiden avulla kartoitetaan perinteisten menetelmien soveltuvuus sekä niiden rajoitteet. Samalla selvitetään elinkaarikustannuslaskennan tarjoamat uudet mahdollisuudet kestävien investointien arvioinnissa. Kolmas osakysymys toimii puolestaan siltana teorian ja käytännön välillä. Se keskittyy siihen, miten ekologiset kustannukset ja ympäristöhyödyt voidaan integroida perinteisiin taloudellisiin malleihin. Näihin kysymyksiin vastaamalla työ luo selkeän synteesin. Tavoitteena on osoittaa, kuinka teollisuusyritys voi perustella vihreän siirtymän investointeja numeerisesti ja luotettavasti. Näin investointipäätöksistä saadaan pitkällä aikavälillä myös strategisesti kestäviä.

1.2 Työn tutkimusmenetelmät ja rajaus

Tämä kandidaatintyö on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, sillä kestävien investointien arviointia koskeva tutkimustieto on usein hajallaan perinteisen talouskirjallisuuden ja uudemman ympäristöjohtamisen tutkimuksen välillä. Jotta näistä osa-alueista voidaan muodostaa yhtenäinen kokonaiskuva, tarvitaan aiemman tiedon synteesiä. Hirsjärven, Remeksen ja Sajavaaran (2015) mukaan kirjallisuuskatsauksen keskeinen tehtävä on kartoittaa tutkittavan ilmiön taustaa ja koota yhteen aiemman tutkimuksen saavutukset, joiden varaan uusi ymmärrys voidaan rakentaa. Tässä työssä katsauksen tavoitteena on yhdistää perinteiset

investointilaskennan menetelmät nykyaikaisiin kestävyystyökaluihin ja muodostaa niistä selkeä, teollisuuden päätöksentekoa tukeva viitekehys.

Tutkimusaineisto koostuu pääasiassa tuotantotalouden, laskentatoimen ja ympäristötalouden vertaisarvioiduista artikkeleista. Tiedonhaku suoritettiin hyödyntäen LUT-yliopiston Primo-tietokantaa sekä Google Scholaria. Tiedonhaussa hyödynnettiin termejä mitkä yhdistävät kestävän kehityksen, teollisuuden investoinnit ja niihin liittyvän laskentamallit. Englanninkielisessä tiedonhaussa käytettiin muun muassa yleisiä termejä: "capital budgeting", "investment appraisal", "sustainable investments", "environment management", "life cycle costing" ja "shadow pricing". Lähteinä pyrittiin käyttämään viimeisen viidentoista vuoden aikana julkaistuja tutkimuksia, jotta lähteet pysyisivät ajankohtaisina ja niistä saatava tieto olisi mahdollisimman relevanttia. Valituilta lähteiltä edellytettiin vertaisarviointia sekä luotettavaa julkaisukanavaa.

Työn laajuuden ja selkeyden hallitsemiseksi tarkastelu on rajattu koskemaan nimenomaan teollisen ympäristön laite- ja pääomainvestointeja. Rajaus on tuotantotaloudellisesti perusteltu, sillä se sulkee tarkoituksella pois rahoitusmarkkinoiden sijoitusinstrumentit, osakekaupan ja puhtaat kiinteistöinvestoinnit, jolloin fokus pysyy tiukasti yrityksen sisäisessä laskentatoimessa. Kestävää kehitystä tarkastellaan työssä ensisijaisesti ekologisesta ja taloudellisesta näkökulmasta. Sosiaalinen ulottuvuus tunnistetaan osana kestävän kehityksen kokonaisuutta, mutta sen käsittely on rajattu vähäisemmäksi.

1.3 Työn rakenne

Työ koostuu johdannon lisäksi kolmesta pääluvusta sekä johtopäätöksistä. Ensimmäinen pääluku käsittelee investointiprosessia ja perinteisiä arviointimenetelmiä sekä niiden rajoitteita kestävyyden näkökulmasta. Tämän kappaleen tarkoituksena on havainnollistaa ne puutteet, joihin pyritään vastaamaan. Toisessa pääluvussa perehdytään kestävän kehityksen käsitteisiin teollisuudessa. Luvussa tarkastellaan investointipäätöksiä ohjaavia tekijöitä sekä esitellään laskennallisia menetelmiä, joilla voidaan huomioida ympäristövaikutukset investointilaskennassa. Kolmannessa pääluvussa sovelletaan aiemmissa käsiteltyjä menetelmiä ja muodostetaan synteesi niiden soveltuvuudesta kestävien investointien arviointiin. Lopuksi johtopäätöksissä vastataan tutkimuskysymyksiin ja pohditaan tulosten merkitystä sekä mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

2 Pääomainvestointien arviointi ja päätöksenteko

Teollisuuden pääomainvestoinnit, ovat strategisia valintoja, jotka sitovat merkittäviä määriä yrityksen pääomaa ja resursseja. Nämä pitkän aikavälin investoinnit vaikuttavat yrityksen kilpailukykyyn, tuotantokapasiteettiin ja valmiuteen reagoida markkinamuutoksiin. Kuten Brealey, Myers, Allen, & Edmans (2022, s. 49) toteavat, investointipäätöksissä yrityksen arvon maksimointi edellyttää kaikkien päätösten pitkän aikavälin analysointia sekä seurausten huomiointia.

Investointipäätökset eivät kuitenkaan ole pelkästään taloudellisia valintoja. Päätöksiin liittyy aina epävarmuutta ja riskejä, mitkä vaikuttavat suoraan investointien onnistumiseen. Väärät ratkaisut ja huolimaton riskienhallinta voivat vaikuttaa merkittävästi yrityksen talouteen. Cooremans (2011, s. 474) huomauttaa, että pelkkä taloudellinen näkökulma jättää investointipäätösten riskit ja tavoitteet usein puutteellisesti huomioiduiksi. On siis erittäin tärkeää arvioida investoinnit mahdollisimman monella eri tavalla, jotta käsitys pitkän aikavälin vaikutuksista voidaan havainnollistaa mahdollisimman tarkasti.

Perinteisesti investointien arvioinnissa tukeudutaan laskennallisiin menetelmiin, joilla pyritään ennustamaan investoinnin taloudellista kannattavuutta. Siziban ja Hallin (2021) mukaan nettonykyarvo, sisäinen korkokanta ja takaisinmaksuaika ovat vakiintuneimpia investointien arviointimenetelmiä. Menetelmät tarjoavat päätöksentekijöille selkeitä mittareita vertailla eri investointivaihtoehtoja keskenään. Niiden rajoitteena on kuitenkin se, että ne keskittyvät pääosin rahallisesti mitattaviin tekijöihin.

2.1 Perinteiset arviointimenetelmät ja Investointiprosessi

Onnistunut investointipäätös edellyttää järjestelmällistä prosessia, jossa vaihtoehtoja arvioidaan laskennallisesti ennen lopullista päätöstä. Usein teollisuuden pääomainvestoinnit sitovat yrityksen resursseja useiksi vuosiksi. Mikäli ratkaisut ovat virheellisiä, jälkikäteen niiden korjaaminen voi olla kallista sekä hankalaa (Brealey ym. 2022, s. 49). Investointiprosessissa on erittäin tärkeä ymmärtää miten päätöksenteko etenee ja kuinka alkuperäisestä ideasta edetään lopulliseen tulokseen. Malichova (2018) korostaa tutkimuksessaan teollisten

investointien merkitystä yrityksen tulevaisuudessa ja painottaa ettei subjektiiviselle ajattelulle ole sijaa. Prosessin tulisi rakentua taloudellisiin realiteetteihin ja laskennalliseen kannattavuuteen. Investointivaihtoehtoja tulisi siis vertailla laskennallisten arviointimenetelmien pohjalta.

Nettonykyarvo (NPV)

Nettonykyarvo on diskontattu kassavirtamenetelmä, joka laskee investoinnin kaikki tulevat kassavirrat nykyhetkeen diskontattuna. Menetelmän perusajatus on yksinkertainen: jos diskontattujen kassavirtojen summa ylittää alkuinvestoinnin, hanke on kannattava. NPV huomioi rahan aika-arvon, mikä tarkoittaa, että tulevaisuudessa saatava euro on arvoltaan pienempi kuin tänään saatu euro (Garrett, 2013). Menetelmää pidetään kirjallisuudessa teoreettisesti luotettavimpana arviointityökaluna, koska se antaa suoran rahamääräisen arvion investoinnin tuottamasta lisäarvosta (Siziba & Hall, 2021). NPV:n vahvuus on myös siinä, että se mahdollistaa eri investointivaihtoehtojen suoran vertailun. Menetelmän heikkoutena on kuitenkin se, että se edellyttää luotettavaa diskonttokoron määrittämistä (Merlo, 2016). Lisäksi NPV ilmaisee tuloksen absoluuttisena rahasummana, mikä voi vaikeuttaa erikokoisten hankkeiden keskinäistä vertailua.

Sisäinen korkokanta (IRR)

Sisäinen korkokanta vastaa osittain NPV:n skaalausongelmaan. IRR kertoo sen tuottoprosentin, jolla investoinnin nettonykyarvo on nolla (Castagnoli & Favero, 2025). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä tuottotasoa, jonka investointi tuottaa sijoitetulle pääomalle. Jos IRR ylittää yrityksen oman tuottovaatimuksen, investointia pidetään kannattavana. Menetelmän suurin etu on sen käytännöllisyys. IRR ilmaisee tuloksen prosentteina, mikä tekee eri kokoisten hankkeiden vertailusta intuitiivista (Patrick & French 2016). Menetelmään liittyy kuitenkin rajoituksia. Se olettaa, että investoinnin välituotot voidaan sijoittaa uudelleen samalla tuottoprosentilla, mikä ei aina vastaa todellisuutta. Lisäksi IRR voi tuottaa useita arvoja epätavallisissa kassavirtatilanteissa, mikä tekee tulkinnasta epäluotettavaa (Babaei & Jassbi, 2022).

Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika on perinteisin ja yksinkertaisin investointien arviointimenetelmä. Se mittaa kuinka kauan kestää ennen kuin investoinnin alkukustannukset saadaan takaisin kassavirtojen muodossa. Menetelmä ei vaadi monimutkaisia laskelmia, minkä vuoksi se on erityisen suosittu pienemmissä yrityksissä, joissa resurssit laskennalliseen analyysiin ovat rajalliset (Purnamasari, 2024). Takaisinmaksuajan merkittävin rajoite on se, ettei se huomioi rahan aika-arvoa. Tänään saatu euro ja viiden vuoden päästä saatu euro näyttävät laskelmassa samanarvoisilta. Kim, Shim ja Reinschmidt (2013) nostavat esiin, miten menetelmä sivuuttaa kokonaan ne kassavirrat, jotka syntyvät takaisinmaksuajan jälkeen. Tämä voi johtaa tilanteisiin, joissa pitkällä aikavälillä kannattavampi investointi hylätään lyhyemmän takaisinmaksuajan vaihtoehdon hyväksi. Kestävien investointien kannalta on erityisen ongelmallista, koska esimerkiksi energiatehokkaan laitteen suurimmat hyödyt realisoituvat usein vasta vuosia hankinnan jälkeen.

Sijoitetun pääoman tuotto (ROI)

Sijoitetun pääoman tuotto mittaa investoinnin voittoa suhteessa sen kustannuksiin. Tulos ilmaistaan prosentteina, mikä tekee siitä helposti ymmärrettävän ja vertailukelpoisen mittarin. Fitz-enzin (2000) mukaan ROI on yksi vanhimmista ja laajimmin käytetyistä tunnusluvuista yritysmaailmassa, ja sen suosio perustuu pitkälti laskentamallin yksinkertaisuuteen. Rutherford ja Knowles (2007) kuitenkin huomauttavat, että ROI:n yksinkertaisuus on samalla sen suurin heikkous. Menetelmä ei huomioi rahan aika-arvoa eikä se erottele lyhyen ja pitkän aikavälin tuottoja toisistaan. Kestävyyden näkökulmasta ongelmallista on investoinnin todelliset hyödyt kuten energiansäästöt tai päästövähennyksistä koituvat säästöt, sillä nämä eivät näy perinteisessä ROI-laskelmassa (Turner & Coote, 2018).

Kirjanpidollinen tuottoaste (ARR)

Kirjanpidollinen tuottoaste laskee investoinnin keskimääräisen vuotuisen kirjanpidollisen tuoton suhteessa alkuperäiseen sijoitukseen. Toisin kuin kassavirtapohjaiset menetelmät, ARR perustuu yrityksen tilinpäätöstietoihin, mikä tekee sen laskemisesta helppoa ja nopeaa. Feenstran ja Wangin (2000) mukaan ARR:n ja todellisen taloudellisen tuottoasteen välillä on kuitenkin merkittävä ero, koska kirjanpidolliset erät kuten poistot vaikuttavat tulokseen mutta eivät edusta todellisia rahavirtoja. Carvalho ja Kalatzis (2018) lisäävät, että

kirjanpidolliseen tulokseen perustuva arviointi voi johtaa investointipäätöksiin, joissa kassavirtojen laatu jää huomiotta. ARR ei myöskään huomioi rahan aika-arvoa, mikä tarkoittaa, että elinkaaren alkupuolen ja loppupuolen tuotot saavat saman painoarvon (Purnamasari, 2024).

Hyöty-kustannussuhde (B/C ratio)

Hyöty-kustannussuhde vertaa investoinnin tuottamia hyötyjä sen kustannuksiin. Jos suhdeluku on yli yhden, investoinnin hyödyt ylittävät kustannukset ja hanke on kannattava. Menetelmää käytetään laajasti erityisesti julkisissa ja ympäristöhankkeissa, joissa investoinnin vaikutukset ulottuvat pelkkiä taloudellisia kassavirtoja laajemmalle (Boardman ym. 2018). B/C ration vahvuus on siinä, että sen hyötykomponenttiin voidaan sisällyttää myös ei-rahallisia tekijöitä, kuten ympäristöhyötyjä tai sosiaalisia vaikutuksia, kunhan niille voidaan määrittää arvio. Tämä tekee menetelmästä joustavan työkalun erityisesti kestävien investointien arvioinnissa. Rajoitteena on kuitenkin se, että hyötyjen ja kustannusten rajaaminen ja arvottaminen vaativat selkeitä oletuksia, jotka vaikuttavat suoraan lopputulokseen.

2.2 Perinteisten arviointimenetelmien rajoitteet

Edellisessä alaluvussa esitellyt menetelmät ovat vakiintuneita työkaluja investointien taloudelliseen arviointiin. Niiden käyttöön liittyy kuitenkin rajoitteita, jotka korostuvat erityisesti silloin, kun investoinnilla on merkittäviä ympäristö- tai yhteiskunnallisia vaikutuksia. Liesenin, Figgen ja Hahnin (2013) mukaan perinteiset menetelmät, kuten nettonykyarvo, keskittyvät ainoastaan taloudellisen pääoman arviointiin eivätkä huomioi ympäristö- ja sosiaalisia resursseja osana investointipäätöstä. Taulukossa 1 on koottu yhteen edellisessä alaluvussa käsitellyt menetelmät sekä niiden keskeiset vahvuudet ja heikkoudet.

Taulukko 1: Perinteisten investointien arviointimenetelmien vertailu

Menetelmä	**Tyyppi**	**Huomio rahan aika-arvon**	**Vahvuus**	**Heikkous**
Takaisinmaksu-aika	Non-DCF	Ei	Yksinkertainen ja helppo soveltaa	Ei huomioi kassavirtoja takaisinmaksuajan jälkeen
ROI	Non-DCF	Ei	Laajalti tunnettu ja yksinkertainen	Ei huomioi elinkaaren kustannuksia
ARR	Non-DCF	Ei	Perustuu helposti saatavaan kirjanpitodataan	Perustuu kirjanpidolliseen tulokseen eikä kassavirtoihin
NPV	DCF	Kyllä	Teoreettisesti luotettavin, mittaa absoluuttista arvonlisäystä	Vaatii tarkan diskonttokoron määrittämisen
IRR	DCF	Kyllä	Käytännöllinen eri kokoisten hankkeiden vertailussa	Voi antaa ristiriitaisia tuloksia NPV:n kanssa

Yksi keskeisimmistä rajoitteista on se, että perinteiset menetelmät keskittyvät taloudellisesti mitattaviin tekijöihin. Turnerin ja Cooten (2018) mukaan investointipäätöksissä painotetaan usein taloudellisia mittareita ei-rahallisten tekijöiden kustannuksella, vaikka ne voivat olla strategisesti merkittäviä. Esimerkiksi investoinnin vaikutukset päästöihin, energiankulutukseen tai työturvallisuuteen eivät näy suoraan NPV- tai IRR-laskelmissa. Pahimmassa tapauksessa tämä voi johtaa ympäristöhyötyjä tarjoavien hankkeiden aliarviointiin, sillä niiden tuottama lisäarvo ei ole helposti muutettavissa taloudelliseksi arvoksi (Liesen, Figge & Hahn, 2013).

Menetelmien väliset ristiriidat voivat myös vaikeuttaa päätöksentekoa. NPV ja IRR voivat esimerkiksi antaa ristiriitaisia tuloksia, kun vertaillaan erikokoisia investointeja tai kun kassavirtojen ajoitus vaihtelee merkittävästi hankkeiden välillä (Castagnoli & Favero, 2025). Babaein ja Jassbin (2022) mukaan IRR voi tuottaa useita arvoja tietyissä kassavirtatilanteissa, mikä tekee tulosten tulkinnasta epäluotettavaa. Näistä syistä NPV:tä pidetään kirjallisuudessa yleisesti luotettavampana menetelmänä (Siziba & Hall, 2021). Myös aikajänne aiheuttaa haasteita. Kestävät investoinnit tuottavat usein taloudellista hyötyä vasta pitkällä aikavälillä esimerkiksi pienempien energiakustannusten tai vähentyneiden päästömaksujen muodossa. Takaisinmaksuaika ei huomioi lainkaan näitä pitkän aikavälin hyötyjä, ja myös diskonttaus NPV- ja IRR-laskelmissa voi painottaa lähitulevaisuuden kassavirtoja suhteettomasti (Zioło, Szaruga & Spoz, 2023).

Myös ei-diskontattuihin menetelmiin liittyy merkittäviä rajoitteita. ROI mittaa investoinnin tuottoa suhteessa sen kustannuksiin, mutta se keskittyy tyypillisesti lyhyen aikavälin taloudellisiin tuottoihin. Kestävissä investoinneissa merkittävä osa hyödyistä, kuten energiansäästöt, pienemmät päästömaksut tai parantunut yrityksen maine, realisoituvat vasta vuosien päästä eivätkä näy perinteisessä ROI-laskelmassa (Verma ym. 2021). Lisäksi ROI ei huomioi investoinnin vaikutuksia, kuten ympäristöhyötyjä tai sosiaalisia tekijöitä, jotka voivat olla strategisesti merkittäviä yrityksen pitkän aikavälin kilpailukyvylle (Turner & Coote, 2018).

ARR puolestaan perustuu kirjanpidolliseen tulokseen eikä todellisiin kassavirtoihin. Se ei huomioi rahan aika-arvoa, mikä tarkoittaa, että tänään ja kymmenen vuoden päästä saadut tuotot näyttävät laskelmassa samanarvoisilta. Kestävien investointien arvioinnissa tämä on

erityisen ongelmallista, koska ympäristöinvestoinnit vaativat usein suuria alkupanostuksia, mutta tuottavat säästöjä vasta pitkällä aikavälillä (Zioło, Szaruga & Spoz, 2023).

Perinteiset arviointimenetelmät tarjoavat hyödyllisiä työkaluja investointien taloudelliseen vertailuun. Ne eivät kuitenkaan riitä kokonaisuuden kattavaan arviointiin. Erityisesti energiatehokkuuden, päästöjen ja ympäristövaikutusten mittaaminen jää näiden menetelmien ulkopuolelle. On siis tärkeää ymmärtää mitkä tekijät ohjaavat investointipäätöksiä kestävään suuntaan ja millaisia työkaluja ympäristövaikutusten huomioimiseen on olemassa.

2.3 Kestävien investointien arviointimenetelmiä

Kestävien pääomainvestointien arvioinnissa tarvitaan menetelmiä, jotka huomioivat investoinnin vaikutukset laajemmin ja pidemmällä aikajänteellä. Tällaisia ovat esimerkiksi elinkaarikustannuslaskenta (LCC) sekä kokonaiskustannuslaskenta (TCO). Nämä menetelmät täydentävät perinteisiä työkaluja tuomalla laskelmiin mukaan kustannuksia, jotka muuten jäisivät huomiotta (Verma ym. 2021).

Elinkaarikustannuslaskenta LCC

Elinkaarikustannuslaskenta on menetelmä, joka tarkastelee investoinnin kaikkia kustannuksia elinkaaren ajalta. Hankintahinnan lisäksi laskelmaan sisällytetään käyttö-, huolto-, energia- ja käytöstäpoistokustannukset (Hunkeler, Lichtenvort & Rebitzer, 2008). Menetelmä perustuu ajatukseen, että investoinnin todellinen kustannus selviää vasta kun kaikki elinkaaren aikaiset menot otetaan huomioon.

Teollisessa ympäristössä LCC:n merkitys korostuu erityisesti laitehankinnoissa. Energiatehokas tuotantolaite voi olla hankintahinnaltaan kalliimpi, mutta sen käyttökustannukset voivat olla elinkaaren aikana huomattavasti pienemmät kuin halvemman vaihtoehdon (Verma ym. 2021). Lisäksi huoltokustannukset ja laitteen käyttöikä vaikuttavat merkittävästi kokonaiskustannuksiin. LCC tekee nämä pitkän aikavälin säästöt näkyviksi ja mahdollistaa vaihtoehtojen vertailun kokonaiskustannusten perusteella (Muthu, 2023). Kestävyyden näkökulmasta LCC on arvokas työkalu, koska ympäristöhyödyt, kuten pienemmät energiakustannukset ja vähentyneet päästömaksut, realisoituvat tyypillisesti juuri käyttövaiheen aikana (Zioło, Szaruga & Spoz 2023).

Kokonaiskustannuslaskenta TCO

Kokonaiskustannuslaskenta laajentaa tarkastelua LCC:tä pidemmälle. Suorien kustannusten lisäksi TCO huomioi myös epäsuorat kustannukset, jotka liittyvät investoinnin käyttöönottoon ja ylläpitoon. Tällaisia ovat esimerkiksi henkilöstön koulutus, järjestelmien integrointi, tuottavuuden muutokset sekä mahdolliset ympäristöhaitat (Boussabaine & Kirkham 2008). Nämä kustannukset jäävät usein huomiotta perinteisissä laskelmissa, vaikka ne voivat muodostaa merkittävän osan investoinnin kokonaiskustannuksista.

TCO auttaa päätöksentekijöitä tunnistamaan piilokustannuksia, jotka eivät näy hankintahetkellä, mutta vaikuttavat investoinnin todelliseen kannattavuuteen pitkällä aikavälillä. Verma ym. (2021) osoittavat tutkimuksessaan, että vihreiden investointien todelliset taloudelliset hyödyt tulevat näkyviin vasta, kun tarkastellaan kokonaiskustannuksia pelkän hankintahinnan sijaan. Yrityksen näkökulmasta TCO tukee strategista päätöksentekoa, koska se pakottaa arvioimaan investoinnin vaikutukset kokonaisvaltaisesti eikä vain lyhyen aikavälin taloudellisen tuoton perusteella (Cooremans 2011).

3 Kestävä kehitys teollisessa ympäristössä

Teollisuuden investointipäätökset eivät synny tyhjästä. Lainsäädäntö, kilpailuympäristö ja sidosryhmien odotukset ohjaavat yrityksiä yhä enemmän huomioimaan ympäristövaikutuksia osana investointien suunnittelua. Kestävän kehityksen merkitys teollisissa investoinneissa on kasvanut erityisesti viime vuosikymmenen aikana, kun ilmastotavoitteet ja sääntely ovat tiukentuneet (Delbeke, 2024). Pelkkä laskennallisten menetelmien kehittäminen ei kuitenkaan riitä. Tarvitaan myös ymmärrystä niistä tekijöistä, jotka ajavat yrityksiä kestävämpiin ratkaisuihin.

Tässä luvussa tarkastellaan ensin kestävän kehityksen käsitteitä teollisessa kontekstissa. Sen jälkeen käsitellään niitä ohjauskeinoja, jotka vaikuttavat yritysten investointipäätöksiin. Lopuksi esitellään laskennallisia työkaluja, joiden avulla ympäristövaikutuksia voidaan muuttaa investointilaskennassa hyödynnettävään muotoon.

3.1 Kestävän kehityksen käsitteiden määrittely

Kestävän kehityksen käsite sai vakiintuneen muotonsa vuonna 1987, kun YK:n ympäristön ja kehityksen maailmankomissio julkaisi raporttinsa *Our Common Future*. Raportissa kestävä kehitys määriteltiin seuraavasti: "kehitystä, joka tyydyttää nykyhetken tarpeet viemättä tulevilta sukupolvilta mahdollisuutta tyydyttää omat tarpeensa" (WCED, 1987). Määritelmä on säilynyt kestävän kehityksen peruskivenä, mutta sen laaja-alaisuutta on myös kritisoitu liian tulkinnanvaraiseksi (Robinson 2004, s. 374). Euroopan unioni on sittemmin konkretisoinut kestävän kehityksen tavoitteita omassa politiikassaan. EU:n vihreän kehityksen ohjelma (European Green Deal) asettaa tavoitteeksi ilmastoneutraaliuden vuoteen 2050 mennessä, mikä vaikuttaa suoraan teollisuusyritysten investointipäätöksiin (Delbeke, 2024).

Jotta poliittiset tavoitteet saadaan vietyä käytäntöön, kestävä kehitys jaetaan nykypäivänä tyypillisesti kolmeen peruspilariin: ekologiseen, sosiaaliseen ja taloudelliseen kestävyyteen. Näiden ulottuvuuksien tasapainoista kehitystä mitataan YK:n Agenda 2030 -toimintaohjelman 17 kestävän kehityksen tavoitteen (Sustainable Development Goals, SDG) avulla. Euroopan komission tilastoviraston (Eurostat 2023) julkaiseman laajan seurantaraportin

mukaan EU on saavuttanut viimeisen viiden vuoden aikana merkittävää edistystä erityisesti talouteen ja sosiaaliseen hyvinvointiin liittyvissä tavoitteissa. Kuten kuvasta 1 käy ilmi, esimerkiksi ihmisarvoisen työn ja talouskasvun edistäminen (SDG 8) sekä köyhyyden vähentäminen (SDG 1) ovat kehittyneet suotuisasti.

Kuva 1. EU:n edistyminen kohti kestävän kehityksen tavoitteita viiden vuoden aikana (Eurostat, 2023)

Vaikka taloudellinen kestävyys kehittyy oikeaan suuntaan, Eurostatin (2023) raportti paljastaa merkittäviä puutteita puhtaasti ekologisissa tavoitteissa. Kuva 1 havainnollistaa, kuinka maanpäällisen elämän suojeleminen (SDG 15) ja ilmastoteot (SDG 13) laahaavat selvästi muiden tavoitteiden perässä. Raportissa korostetaan, että vaikka EU on onnistunut vähentämään nettokasvihuonekaasupäästöjään, vaadittavan 55 prosentin vähennystavoitteen saavuttaminen vuoteen 2030 mennessä edellyttää teollisuudelta ja jäsenvaltioilta huomattavasti aiempaa radikaalimpia toimia ja investointeja (Eurostat 2023). Tämä epäkohta taloudellisen ja ekologisen kehityksen välillä asettaa valtavan paineen teollisuuden investointipäätöksille.

Teollisuusyritysten investointipäätöksissä nämä kolme ulottuvuutta kietoutuvat yhteen. Guo ym. (2023) osoittavat tutkimuksessaan, että ympäristösääntely kannustaa erityisesti saastuttavia teollisuusyrityksiä panostamaan vihreisiin innovaatioihin, mikä vaikuttaa sekä yritysten ympäristösuorituskykyyn että niiden kilpailuasemaan markkinoilla. Esimerkiksi energiatehokas tuotantolaite vähentää sekä päästöjä että pitkän aikavälin energiakustannuksia. Vastaavasti työturvallisuutta parantava investointi voi pienentää tapaturmakustannuksia ja parantaa työnantajamielikuvaa. Kestävyys ei siis ole erillinen lisäkustannus vaan olennainen osa investoinnin kokonaiskannattavuutta (Verma ym. 2021).

Drobetzin ym. (2024) mukaan myös sijoittajat ovat alkaneet arvioida yritysten ympäristökustannuksia osana investointipäätöksiään. Tämä luo yrityksille ulkoisen paineen huomioida kestävyysnäkökulmat entistä järjestelmällisemmin. Sijoittajat ja sidosryhmät vaativat yrityksiltä yhä läpinäkyvämpää tietoa ympäristövaikutuksista, ja kestävyysraportoinnin merkitys on kasvanut merkittävästi (Sprengel & Busch, 2011).

3.2 Investointipäätösten ohjauskeinot

Teollisuuden investointipäätökset eivät synny tyhjästä. Niitä ohjaavat useat ulkoiset ja sisäiset tekijät, jotka pakottavat yritykset arvioimaan kestävyyttä osana strategista päätöksentekoa. Nämä ohjauskeinot voidaan jakaa karkeasti lainsäädäntöön, markkinoiden asettamiin paineisiin sekä yrityksen sisäiseen riskienhallintaan.

Tiukentuva ympäristölainsäädäntö on yksi merkittävimmistä teollisuuden investointeja ohjaavista tekijöistä. Anzolinin ja Lebdiouin (2021) mukaan vihreä teollisuuspolitiikka ja ilmastonmuutokseen varautuminen luovat yrityksille uudenlaisen toimintaympäristön. Tässä

ympäristössä kestävyystavoitteet sanelevat pitkän aikavälin suunnan. Sääntely ei kuitenkaan ole vain hallinnollinen muodollisuus. Lah ja Kotnik (2022) korostavat tutkimuksessaan, että ympäristölainsäädännön noudattamisesta aiheutuvat kustannukset vaikuttavat suoraan yritysten tuottavuuteen. Teollisuusyritykset joutuvat arvioimaan investointikapasiteettinsa ja pääomabudjettinsa uudelleen. Martínez Hernández ym. (2021) korostavatkin ilmiötä toteamalla, että nykyaikainen sääntely voi parhaimmillaan toimia ohjaavana tekijänä, jonka avulla yritykset integroivat ympäristöpolitiikan kiinteäksi osaksi kestävää liiketoimintastrategiaansa. Lainsäädäntö siis ohjaa yrityksiä investoimaan vähäpäästöisempiin ratkaisuihin tuotannossa sanktioiden välttämiseksi, mutta myös kilpailukyvyn ylläpitämiseksi.

Sääntelyn lisäksi markkinoiden ja sidosryhmien asettamat paineet ohjaavat päätöksentekoa vahvasti. Yritysten on nykypäivänä yhä vaikeampi sivuuttaa ulkoisia odotuksia etenkään ilmastonmuutokseen liittyvissä kysymyksissä. Sprengel ja Busch (2011) osoittavat tutkimuksessaan, että aktiivinen vuorovaikutus sidosryhmien kanssa on muodostunut elintärkeäksi osaksi yritysten ympäristöstrategiaa. Asiakkaat vaativat vastuullisuutta, ja sijoittajat ohjaavat pääomansa enenevissä määrin kestäviin kohteisiin. Markkinaympäristö siis luo paineen huomioida kestävyysnäkökulmia investoinneissaan aiempaa enemmän. Sidosryhmien asettama paine toimiikin usein ratkaisevana kimmokkeena sille, että ilmastotavoitteet integroidaan konkreettisesti osaksi liiketoimintaa ja pääomabudjetointia (Sprengel & Busch 2011). Vihreät investoinnit eivät siis näyttäydy markkinoilla pelkkänä kulueränä, vaan ne ovat strateginen työkalu, jonka avulla yritys pyrkii rakentamaan kilpailuetua ja osoittamaan valmiutensa muutoksille.

Energian hinnanvaihtelut ja raaka-aineiden saatavuusongelmat muodostavat teollisuudelle konkreettisia taloudellisia uhkia. Nykyinen epävakaa geopoliittinen tilanne ja konfliktit ovat paljastaneet perinteisten toimitusketjujen haavoittuvuuden, mikä näkyy esimerkiksi tuontiöljyn ja muiden fossiilisten polttoaineiden saatavuudessa. Resurssipula siis pakottaa tuotantolaitokset parantamaan energiatehokkuuttaan. Vihreillä investoinneilla yritykset varautuvat tällaisiin riskeihin jo ennakkoon. Wang (2019) korostaakin tutkimuksessaan, että panostukset ympäristötehokkuuteen luovat teollisuusyrityksille kilpailuetua sekä tehokkaan suojan maailmanpolitiikan ja markkinoiden epävarmuuksia vastaan. Energiatehokas tuotantolaite siis vähentää riippuvuutta ulkopuolisesta energiasta ja tekee tehtaan toiminnasta huomattavasti ennustettavampaa kriisien keskellä. Näin globaaleista uhkakuvista on mahdollista muokata jopa uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Gomesin, Pinhon ja Lopesin (2024) mukaan

kova markkinapaine yhdessä ympäristökestävyyden vaatimusten kanssa vauhdittaa merkittävästi kokonaan uusien vihreiden innovaatioiden syntyä teollisuudessa. Pelkkä perinteinen taloudellinen investointilogiikka ei siis enää riitä yrityksen turvaamiseen, vaan investoinnin strateginen luonne ja resurssitehokkuus ohjaavat yhä useammin lopullista päätöksentekoa (Wang 2019).

3.3 Kestävyyden laskennalliset työkalut

Kestävien pääomainvestointien arviointi edellyttää menetelmiä, joilla ympäristövaikutukset voidaan muuttaa laskennalliseen muotoon. Perinteiset arviointimenetelmät keskittyvät taloudellisesti mitattaviin tekijöihin. Elinkaarikustannuslaskenta ja kokonaiskustannuslaskenta laajentavat tarkastelua ajallisesti, mutta ympäristövaikutusten arvottaminen jää niissä edelleen puutteelliseksi. Tämän vuoksi on kehitetty menetelmiä, jotka pyrkivät tuomaan ympäristönäkökulman osaksi investointilaskelmia ja päätöksentekoa. Varjohinnoittelu (shadow pricing) tarjoaa keinoja arvioida ekologisia kustannuksia ja liittää ne osaksi perinteisiä laskentamalleja. Materiaalivirtojen kustannuslaskenta (MFCA) puolestaan paljastaa tuotantoprosessin piilokustannuksia, jotka jäävät perinteisen kustannuslaskennan ulkopuolelle. Elinkaariarviointi (LCA) puolestaan mittaa investoinnin ympäristövaikutukset järjestelmällisesti koko elinkaaren ajalta. Yhdessä nämä menetelmät täydentävät toisiaan ja mahdollistavat kestävien investointien kokonaisvaltaisen arvioinnin.

Shadow Pricing

Yksi kestävien pääomainvestointien arvioinnin keskeisimmistä haasteista on se, ettei monilla ympäristövaikutuksilla ole selkeää kustannusarviota. Varjohinnoittelu (shadow pricing) on yksi vaihtoehdoista tämän ongelman ratkaisuun. Menetelmässä asetetaan laskennallinen arvo, kuten euron määrä, ulkoiselle vaikutukselle, kuten ilmastopäästöille tai luonnonvarojen kulutukselle (Färe, Grosskopf & Margaritis 2022). Tämän ansiosta investoinnin tuottamat ympäristöhyödyt, esimerkiksi uuden teknologian mahdollistamat päästövähennykset, saadaan tehtyä matemaattisesti näkyviksi ja vertailukelpoisiksi osana numeerista päätöksentekoa (Balezentis, Streimikiene & Shen 2025).

Käytännössä yritykset voivat määrittää varjohinnan itse, mutta yleensä ne tukeutuvat olemassa oleviin viitearvoihin ja standardeihin. Hinta voidaan sitoa esimerkiksi virallisten

päästökauppajärjestelmien (kuten EU ETS) hintatasoon tai odotettavissa oleviin tulevaisuuden ympäristöveroihin. Lisäksi kansainväliset organisaatiot tarjoavat valmiita viitehintoja. Esimerkiksi European Commission (2021) ja World Bank (2017) ovat julkaisseet omat ohjeistuksensa hiilidioksiditonnin varjohinnoittelulle.

Materiaalivirtojen kustannuslaskenta MFCA

Perinteiset kustannuslaskentamenetelmät käsittelevät tuotantoprosessin hävikkiä ja jätettä tyypillisesti osana yleiskustannuksia. Tällöin materiaalihukan todelliset kustannukset jäävät piiloon eivätkä näy investointipäätöksissä. Materiaalivirtojen kustannuslaskenta (material flow cost accounting, MFCA) ratkaisee tämän ongelman seuraamalla materiaalien ja energian kulkua tuotantoprosessin läpi ja kohdistamalla kustannukset sekä valmiille tuotteille että hävikille (Christ & Burritt, 2015). Menetelmän merkitystä korostaa se, että se on kansainvälisesti tunnustettu ja standardoitu ISO 14051:2011-standardilla (ISO, 2011; Trappey ym. 2013).

MFCA:n perusajatus on, että jokaiselle materiaalivirralle lasketaan oma kustannus. Tuotantoprosessin tulokset jaetaan positiivisiin tuotoksiin eli valmiisiin tuotteisiin ja negatiivisiin tuotoksiin eli jätteeseen, hävikkiin ja päästöihin. Kun hukkavirroille kohdistetaan niiden todellinen materiaali-, energia- ja käsittelykustannus, syntyy selkeä kuva siitä, kuinka paljon tehottomuus todellisuudessa maksaa yritykselle (Hyršlová, Vágner & Palásek, 2011). Doorasamy (2016) osoittaa tutkimuksessaan, että MFCA paljasti paperi- ja selluteollisuuden yrityksessä merkittäviä piilokustannuksia, jotka eivät näkyneet perinteisessä kustannuslaskennassa.

Kestävien investointien arvioinnissa MFCA:n vahvuus on sen kyky tuoda esiin kustannuksia, jotka muuten jäisivät huomiotta. Kun yritys vertailee esimerkiksi kahta tuotantokonetta, MFCA tekee näkyväksi, kuinka paljon kumpikin vaihtoehto tuottaa hukkaa ja mitä tämä hukka todellisuudessa maksaa. Tämä täydentää kokonaiskustannuslaskennan (TCO) tarkastelua tuomalla mukaan materiaali- ja energiatehokkuuden näkökulman. Rajoitteena on kuitenkin se, että MFCA vaatii tarkkaa tietoa materiaalivirroista, mikä voi olla työlästä erityisesti monimutkaisissa tuotantoprosesseissa (Christ & Burritt, 2015).

Life cycle Assesment (LCA)

Investoinnin ympäristövaikutusten arviointi edellyttää menetelmää, joka kattaa koko elinkaaren raaka-aineiden hankinnasta käytöstä poistoon. Elinkaariarviointi (life cycle assessment, LCA) on tällainen menetelmä. Se mittaa tuotteen, prosessin tai investoinnin ympäristövaikutukset järjestelmällisesti koko elinkaaren ajalta (D'Eusanio, Petti & Finkbeiner, 2025). LCA kuuluu kansainväliseen ISO 14040:2006-standardiin, joka määrittelee menetelmän periaatteet ja viitekehyksen (ISO, 2006).

LCA tuottaa konkreettista numeerista tietoa esimerkiksi hiilidioksidipäästöistä, energiankulutuksesta ja materiaalien ympäristökuormituksesta (Horne, Grant & Verghese, 2009). Salvador ym. (2020) osoittavat tutkimuksessaan, miten LCA voidaan yhdistää tuotantoprosessin analysointiin teollisessa ympäristössä. Heidän mukaansa LCA paljastaa elinkaaren kriittiset vaiheet, joihin ympäristöparannukset kannattaa kohdistaa. Raut ym. (2025) puolestaan yhdistävät LCA:n monikriteeriseen päätösanalyysiin ja osoittavat, että menetelmien yhteiskäyttö tuottaa kattavamman kuvan investoinnin kestävyydestä kuin kumpikaan menetelmä yksinään.

Kestävien investointien arvioinnissa LCA täydentää elinkaarikustannuslaskentaa (LCC) luontevasti. Siinä missä LCC tarkastelee investoinnin kustannuksia elinkaaren ajalta, LCA mittaa sen ympäristövaikutukset. Yhdessä ne muodostavat kokonaiskuvan investoinnin taloudellisista ja ekologisista vaikutuksista (Lauesen, 2019). Kuitenkin LCA:n tulosten muuntaminen LCC:ssä käytettävään rahalliseen muotoon on käytännössä yksi menetelmän keskeisimmistä haasteista. Rajoitteena on se, että LCA vaatii kattavaa tietoa materiaali- ja energiavirroista koko elinkaaren ajalta, mikä tekee analyysistä työlään erityisesti monimutkaisten tuotteiden kohdalla. Kuitenkin Lauesen (2019) mukaan menetelmät täydentävät toisiaan luontevasti, vaikka niiden integrointi edellyttää selkeitä oletuksia siitä, millä hinnalla ympäristövaikutukset arvioidaan. LCA:n tuottamaa dataa voidaankin hyödyntää varjohinnoittelussa, mikä tarjoaa laskennallisen arvon mittauksille, jolloin niitä voidaan käyttää osana LCC-laskelmaa.

4 Kestävien investointien arviointi

Aiemmissa luvuissa tarkasteltiin perinteisiä investointien arviointimenetelmiä ja niiden rajoitteita sekä esiteltiin laskennallisia työkaluja, joilla ympäristövaikutukset voidaan tuoda osaksi investointipäätöksiä. Tässä luvussa sovelletaan näitä menetelmiä yhdessä ja muodostetaan kokonaiskuva siitä, miten kestävien pääomainvestointien kannattavuutta voidaan arvioida. Ensin tarkastellaan, miten ekologiset kustannukset yhdistetään investointilaskelmiin. Sen jälkeen käsitellään laadullisia mittareita, joita ei voida mitata taloudessa. Lopuksi kootaan synteesi, joka vastaa työn päätutkimuskysymykseen.

4.1 Ympäristövaikutusten integrointi kannattavuuslaskelmiin

Perinteiset investointien arviointimenetelmät keskittyvät pääosin taloudellisiin kassavirtoihin. Diskontatut menetelmät kuten NPV ja IRR huomioivat rahan aika-arvon, kun taas takaisinmaksuaika, ROI ja ARR tarjoavat yksinkertaisempia mittareita. Yhteistä näille menetelmille on kuitenkin se, ettei niissä huomioida ympäristövaikutusten kustannuksia osana kassavirtalaskelmaa. Tämä rajoite korostuu erityisesti kestävien investointien arvioinnissa, jossa merkittävä osa hyödyistä syntyy päästövähennysten ja resurssitehokkuuden kautta (Lefley & Sarkis, 2013).

Varjohinnoittelu, MFCA ja LCA tarjoavat keinoja muuttaa ympäristövaikutukset numeeriseen muotoon. Varjohinnoittelu tuottaa taloudellisia arvoja päästöille, MFCA paljastaa materiaalihukan todelliset kustannukset ja LCA mittaa ympäristövaikutukset koko elinkaaren ajalta. Näiden menetelmien tuottama data on kuitenkin hyödytöntä, ellei sitä voida integroida osaksi investointilaskelmaa.

Yksi mahdollinen lähestymistapa tähän integrointiin on kestävä kassavirtalaskenta (Sustainable Cash Flow, SCF). SCF-mallissa perinteistä diskontattuun kassavirtaan perustuvaa laskelmaa laajennetaan jakamalla kassavirtaerät kolmeen kestävyyden ulottuvuuteen: taloudelliseen, ekologiseen ja sosiaaliseen (Matinmikko, Kinnunen, Sinkkonen & Kärri, 2022). Malli pohjautuu elinkaarikustannuslaskennan periaatteisiin, mutta ulottuu pidemmälle huomioimalla myös ympäristölliset ja sosiaaliset kustannukset ja hyödyt. SCF-malli soveltuu

hyvin kestävien investointien arviointiin, sillä se mahdollistaa eri laskennallisten menetelmien tulosten yhdistämisen samaan laskentakehikkoon. SCF-mallin keskeinen haaste on kuitenkin käytännön toteutuksessa: ympäristöllisten ja sosiaalisten kustannusten muuttaminen rahallisesti mitattavaan kassavirtamuotoon vaatii merkittäviä oletuksia ja luotettavaa dataa. Tältä osin malli on teoreettisesti vahva mutta käytännön soveltamisessa vielä kehitysvaiheessa.

Käytännössä varjohinnoittelun tuottamat päästökustannukset voidaan lisätä kassavirtaan vuosittaisena kustannuseränä, MFCA:n paljastamat materiaalihukan kustannukset tarkentavat käyttökustannusten arviota ja LCA auttaa tunnistamaan ne elinkaaren vaiheet, joihin kustannukset ja hyödyt kohdistuvat. Kun tarkastellaan esimerkiksi kahta vaihtoehtoista tuotantokonetta, perinteinen kassavirtalaskelma vertailee ainoastaan taloudellisia eriä, mutta SCF-malli tuo vertailuun mukaan koneiden päästökustannukset, materiaalihukan kustannukset sekä elinkaaren ympäristövaikutukset. Yhdistämällä varjohinnoittelu, MFCA ja LCA SCF-kehikkoon voidaan rakentaa arviointi, joka kattaa päästöjen taloudelliset arvot, tuotantoprosessin materiaali- ja energiatehokkuuden sekä koko elinkaaren ympäristövaikutukset. Tällainen yhdistelmä ei poista kaikkia epävarmuuksia, mutta se tarjoaa huomattavasti kattavamman pohjan kestävien investointipäätösten tueksi kuin yksittäinen menetelmä yksinään.

4.2 Perinteisten ja kestävien arviointimenetelmien vertailu

Perinteiset investointien arviointimenetelmät ovat vakiintuneita ja laajasti käytettyjä työkaluja, joiden vahvuus on niiden selkeys ja vertailukelpoisuus. Ne eivät kuitenkaan yksinään riitä kestävien investointien arviointiin, sillä ympäristövaikutusten kustannukset jäävät niissä huomiotta. Kestävät arviointimenetelmät puolestaan tuovat tarkastelun osa-alueita, joita perinteiset menetelmät eivät kata. Oleellista on kuitenkin ymmärtää, etteivät nämä lähestymistavat ole toisiaan poissulkevia. Perinteinen taloudellinen arviointi muodostaa edelleen investointipäätöksen perustan, ja kestävät menetelmät laajentavat tätä perustaa.

Varjohinnoittelu tuottaa päästöille arvon, mikä voidaan lisätä suoraan perinteiseen NPV- tai LCC-laskelmaan kustannuseränä. Tällöin perinteinen menetelmä säilyy rakenteeltaan samana mutta sen sisältämä informaatio laajenee. Vastaavasti MFCA tarkentaa käyttökustannusten arviota paljastamalla materiaalihukan todelliset kustannukset, jotka voidaan huomioida osana perinteistä investointilaskelmaa. LCA:n tuottama ympäristövaikutusdata

puolestaan tukee erityisesti elinkaarikustannuslaskentaa tuomalla ekologisen ulottuvuuden taloudellisen tarkastelun rinnalle (Lauesen, 2019).

Yhdistämisen hyöty näkyy konkreettisesti investointivertailussa. Kun yritys arvioi esimerkiksi kahta vaihtoehtoista tuotantokonetta pelkästään perinteisillä menetelmillä, vertailu perustuu hankintahintaan, käyttökustannuksiin ja tuottoihin. Kestävät menetelmät voivat kuitenkin muuttaa lopputulosta merkittävästi. Halvempi mutta päästöintensiivisempi vaihtoehto voi osoittautua kokonaiskustannuksiltaan kalliimmaksi, kun varjohinnoittelun päästökustannukset ja MFCA:n paljastamat materiaalihukan kustannukset otetaan huomioon. Taulukossa 2 on vertailtu perinteisten ja kestävien menetelmien ominaisuuksia

Taulukko 2. Perinteisten ja kestävien arviointimenetelmien vertailu

Ominaisuus	**Perinteiset menetelmät (NPV, IRR, ROI, ARR, takaisinmaksuaika, B/C ratio)**	**Kestävät menetelmät (LCC, TCO, varjohinnoittelu, MFCA, LCA)**
Tarkastelun kohde	Taloudelliset kassavirrat	Taloudelliset, ekologiset ja sosiaaliset vaikutukset
Tarkastelujakso	Vaihtelee menetelmittäin	Lähtökohtaisesti koko elinkaari
Ympäristövaikutukset	Ei huomioida (B/C ratiossa osittain mahdollista)	Huomioidaan laskennallisesti
Vahvuus	Selkeys, vertailukelpoisuus, vakiintuneisuus	Kokonaisvaltaisuus, piilokustannusten tunnistaminen
Rajoite	Ympäristövaikutukset jäävät pääosin huomiotta	Vaatii kattavasti luotettavaa dataa
Yhdistettävyys	Toimivat pohjana, johon kestävät menetelmät voidaan integroida	Täydentävät perinteisiä menetelmiä, mutta eivät korvaa niitä

Taulukosta käy ilmi, että perinteiset ja kestävät menetelmät eivät ole toisiaan poissulkevia vaan ne täydentävät toisiaan. Perinteiset menetelmät tarjoavat selkeän ja vakiintuneen pohjan taloudelliselle arvioinnille, kun taas kestävät menetelmät laajentavat tarkastelua

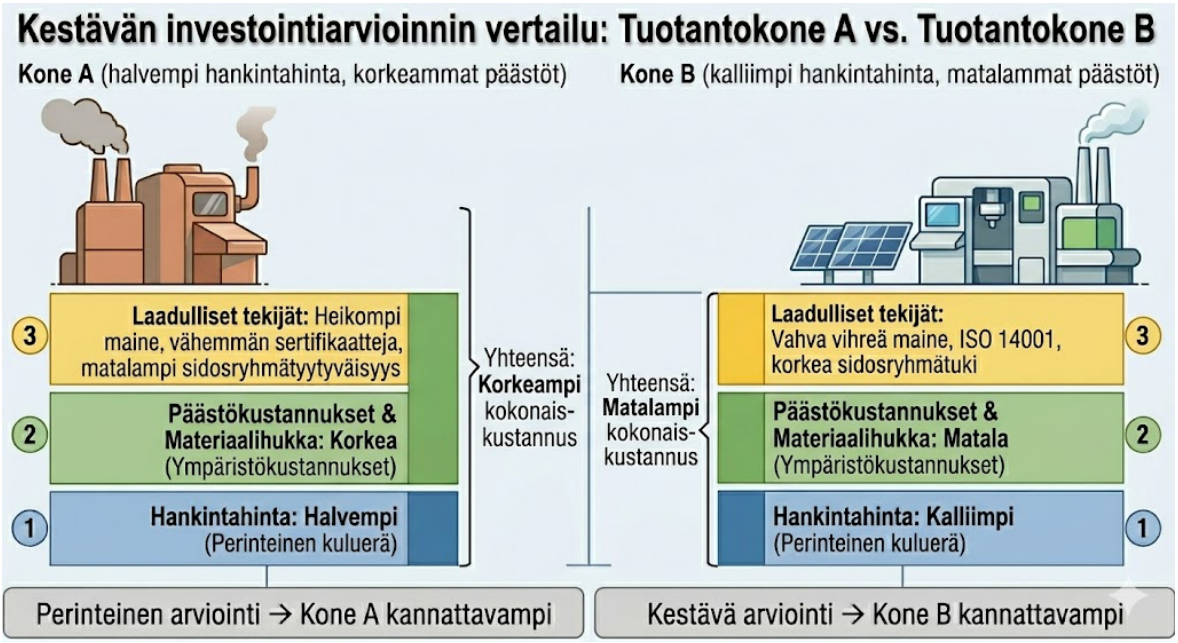
ympäristövaikutuksiin ja piilokustannuksiin. Yhdistämällä molempia yritys saa kokonaisvaltaisemman kuvan investoinnin todellisesta kannattavuudesta.

Investointipäätökseen vaikuttavat kuitenkin myös tekijät, joille ei voida määrittää suoranaista arvoa. Yrityksen maine, ympäristösertifikaatit ja sidosryhmien odotukset ovat esimerkkejä laadullisista tekijöistä, joiden merkitys korostuu kestävissä investoinneissa (Sprengel & Busch, 2011). Monikriteerinen päätösanalyysi (MCDA) tarjoaa viitekehyksen, jossa nämä laadulliset tekijät voidaan arvioida järjestelmällisesti laskennallisten tulosten rinnalla (Jamwal ym. 2021).

4.3 Kestävän investoinnin kokonaisuus

Kestävä investointiarviointi rakentuu usean menetelmän kokonaisuudesta. Perinteiset menetelmät kuten NPV ja IRR muodostavat arvioinnin pohjan, ja kestävät menetelmät täydentävät tätä pohjaa tuomalla ympäristövaikutukset mukaan laskelmiin (Siziba & Hall, 2021). Ilman tätä laajennusta ympäristöhyötyjä tarjoavat investoinnit voivat jäädä aliarvioiduiksi (Liesen, Figge & Hahn, 2013).

Ero perinteisen ja kestävän arvioinnin välillä käy ilmi, kun tarkastellaan kahta vaihtoehtoista tuotantokonetta. Kone A on hankintahinnaltaan edullisempi mutta kuluttaa enemmän energiaa ja tuottaa enemmän päästöjä. Kone B on kalliimpi mutta energiatehokkaampi ja tuottaa vähemmän hukkaa. Perinteisillä menetelmillä arvioituna Kone A vaikuttaa kannattavammalta, koska laskelmassa näkyvät vain hankintahinta ja suorat käyttökustannukset. Kun tarkasteluun lisätään varjohinnoittelun tuottamat päästökustannukset, MFCA:n paljastamat materiaalihukan kustannukset ja LCA:n mittaamat elinkaaren ympäristövaikutukset, kokonaiskuva muuttuu. Kone B:n pienemmät päästö- ja hukkakustannukset kompensoivat sen korkeampaa hankintahintaa, ja kestävässä kassavirtalaskelmassa (SCF) se osoittautuu kokonaisvaltaisesti kannattavammaksi (Matinmikko, Kinnunen, Sinkkonen & Kärri, 2022). Kuvassa 2 on havainnollistettu tämä ero visuaalisesti.



Kuva 2. Perinteisen ja kestävän investointiarvioinnin vertailu. (Kuva on luotu tekoälysovelluksen [Gemini] avulla 29.4.2026).

Tämä esimerkki osoittaa miksi perinteisiä ja kestäviä menetelmiä kannattaa yhdistää. Perinteiset menetelmät eivät ole vanhentuneita, mutta ne antavat vain osittaisen kuvan investoinnin kannattavuudesta (Lefley & Sarkis, 2013). Varjohinnoittelu, MFCA ja LCA tuovat laskelmaan kustannuseriä, jotka muuten jäisivät piiloon (Christ & Burritt, 2015; Färe, Grosskopf & Margaritis, 2022). Kuva 2 havainnollistaa tätä konkreettisesti. Perinteinen tarkastelu näyttää vain hankintahinnan ja suorat käyttökustannukset, kun taas kestävä arviointi paljastaa päästökustannukset ja materiaalihukan. Nämä tekijät voivat muuttaa kannattavuusvertailun lopputuloksen täysin. Laskennallisten menetelmien lisäksi MCDA tarjoaa viitekehyksen niille tekijöille, joita ei voida arvioida taloudessa, kuten yrityksen maine ja ympäristösertifikaatit (Jamwal ym. 2021).

Käytännön päätöksenteossa eri menetelmät voivat ohjata eri suuntiin. Varjohinnoittelu tekee päästökustannukset näkyviksi ja voi siten puoltaa kestävämpää konetta. Korkea diskonttokorko voi kuitenkin heikentää tulevaisuuden ympäristöhyötyjen painoarvoa, jolloin NPV saattaa silti suosia edullisempaa vaihtoehtoa. Tämä ei poistu menetelmien yhdistämisellä, mutta sen avulla pyritään luomaan päätöksenteosta mahdollisimman selkeää. Tavoitteena on tehdä tietoinen valinta siitä, kuinka paljon painoarvoa annetaan taloudellisille ja ekologisille tekijöille. Ympäristösääntelyn tiukentuessa tämän kokonaisvaltaisen arvioinnin merkitys tulee kasvamaan (Delbeke, 2024; Zioło, Szaruga & Spoz, 2023).

5 Johtopäätökset

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli tutkia, miten teollisten laiteinvestointien kannattavuutta voidaan arvioida huomioiden kestävän kehityksen näkökulmat kustannuslaskennassa. Tutkimusta varten nousseet päätutkimus- ja osakysymykset loivat pohjat tälle kandidaatintyölle. Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, jossa yhdistettiin perinteisen investointilaskennan ja ympäristötalouden tutkimuksia. Synteesin avulla muodostettiin kokonaiskuva siitä, miten taloudellisia ja ekologisia näkökulmia voidaan yhdistää osaksi investointipäätöksentekoa.

Ensimmäinen osakysymys käsitteli keskeisiä kustannuslaskennan menetelmiä kestävien investointien arvioinnissa. Keskeisimmiksi menetelmiksi nousivat elinkaarikustannuslaskenta, kokonaiskustannuslaskenta, varjohinnoittelu, materiaalivirtojen kustannuslaskenta sekä elinkaariarviointi. Huomion arvoista oli kuitenkin myös se, ettei mikään menetelmistä riitä kattavaan arviointiin yksinään. Sen sijaan yhdistettynä ne voivat muodostaa kattavan kokonaisuuden, jonka avulla investoinnin todelliset kustannukset ja hyödyt voidaan tehdä näkyviksi.

Toinen osakysymys tarkasteli perinteisten investointilaskelmamenetelmien soveltuvuutta kestävien laiteinvestointien arviointiin. Tulokset osoittavat, että perinteiset menetelmät kuten nettonykyarvo, sisäinen korkokanta ja takaisinmaksuaika muodostavat edelleen investointiarvioinnin perustan. Lyhyellä aikavälillä nämä ovat erittäin varteenotettavia arviointimalleja ja ne tuovat paljon tärkeää tietoa kokonaisuutta varten. On kuitenkin muistettava, ettei ostohinnaltaan kalliimpi investointi ole automaattisesti huonompi ratkaisua. Pitkällä aikavälillä se voi osoittautua turvallisemmaksi, varmemmaksi ja taloudellisesti kannattavammaksi vaihtoehdoksi.

Kolmas osakysymys käsitteli ekologisten kustannusten ja ympäristöhyötyjen integrointia perinteisiin investointilaskelmiin. Kirjallisuuskatsaus osoitti, että varjohinnoittelu, materiaalivirtojen kustannuslaskenta ja elinkaariarviointi tarjoavat keinoja muuttaa ympäristövaikutukset taloudellisesti laskettavaan muotoon. Tämän jälkeen ne voidaan yhdistää perinteiseen kassavirtalaskelmaan kestävän kassavirtalaskennan kehikon avulla. Menetelmät eivät ainoastaan tuo esiin piilokustannuksia vaan ne tuovat myös esiin erilaisia ympäristöhyötyjä,

kuten energiansäästön ja päästövähennykset syntyvät kustannussäästöt. Tämän on merkittävää sillä nämä usein realisoituvat vasta pitkällä aikavälillä. Perinteiset ja kestävät menetelmät eivät ole toisiaan poissulkevia vaan täydentävät toisiaan. Niiden yhdistäminen tuottaa kokonaisvaltaisemman kuvan investoinnin todellisesta kannattavuudesta.

Päätutkimuskysymykseen vastattaessa voidaan todeta, että kestävyys ei rajoitu pelkästään yhteen tekijään. Laiteinvestointien kannattavuutta voidaan arvioida kestävän kehityksen näkökulmasta yhdistämällä perinteiset ja kestävät arviointimenetelmät. Perinteiset menetelmät kuten nettonykyarvo ja sisäinen korkokanta muodostavat laskennan perustan, mutta niiden rinnalle tarvitaan erilaisia menetelmiä, joiden avulla voidaan tuoda ympäristövaikutukset osaksi laskelmia. SCF-kehikko mahdollistaa näiden eri elementtien yhdistämisen samaan laskentamalliin. Tällöin investoinnin kannattavuutta ei arvioida pelkästään hankintahinnan tai lyhyen aikavälin tuottojen perusteella, vaan kokonaisvaltaisesti huomioiden päästökustannukset, materiaalitehokkuus ja elinkaaren ympäristövaikutukset. Kestävyys ei siis pelkästään rajoitu fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämiseen. Kokonaisuuteen vaikuttavat myös riskienhallinta, resurssien tehokas hyödyntäminen ja laitteiden kehittäminen. Yritykset, jotka investoivat kestäviin ratkaisuihin, eivät ainoastaan täytä tiukentuvaa ympäristösääntelyä, vaan rakentavat samalla kilpailuetua jatkuvasti muuttuvassa toimintaympäristössä. Uudistukset voivat lyhyellä aikavälillä tuntua kalliilta ja resursseja vaativilta, mutta ne voivat olla tekijöitä, jotka erottavat menestyvät yritykset muusta massasta pitkällä aikavälillä.

Työn keskeisimpänä rajoitteena on sen teoreettisuus. Kirjallisuuskatsauksena työ ei sisällä empiiristä aineistoa, joten esitettyjä menetelmiä ei ole testattu todellisessa teollisuusympäristössä. Lisäksi ympäristövaikutusten arvottaminen perustuu aina oletuksiin, kuten varjohinnan tasoon, jotka voivat vaihdella merkittävästi tilanteen mukaan.

Jatkotutkimuksille olisi monia erilaisia menetelmiä. Esiteltyjen menetelmien soveltamista todellisessa teollisuusympäristössä tapaustutkimuksen keinoin olisi arvokasta tutkia, sillä se mahdollistaisi menetelmien käytännön toimivuuden ja datavaatimusten tarkemman arvioinnin. Sosiaalisen ulottuvuuden, kuten työturvallisuuden ja henkilöstövaikutusten, integrointi osaksi investointilaskelmia olisi merkittävä jatkotutkimusaihe. Lisäksi tekoälyn ja digitalisaation hyödyntäminen ympäristödatan keräämisessä ja analysoinnissa voisi tulevaisuudessa merkittävästi helpottaa esiteltyjen menetelmien soveltamista käytännössä.

Lähteet

Anzolin, G. & Lebdioui, A. (2021) Three Dimensions of Green Industrial Policy in the Context of Climate Change and Sustainable Development. *European Journal of Development Research*. [Online] 33(2), s. 371–405.

Babaei, S.A.B. & Jassbi, A.J. (2022) Technical note: Modified simple average internal rate of return. *The Engineering Economist*. [Online] 67(2), s. 157–169.

Balezentis, T., Streimikiene, D. & Shen, Z. (2025) Measures for Energy Efficiency and Shadow Pricing in the Manufacturing Sector of EU Countries. *Business Strategy and the Environment*. [Online] 34(5), s. 5828–5837.

Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R. & Weimer, D. L. (2018) *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice*. 5. painos. Cambridge: Cambridge University Press.

Boussabaine, A. & Kirkham, R. (2008) Whole Life-Cycle Costing: Risk and Risk Responses. Oxford: Wiley-Blackwell.

Brealey, R., Myers, S., Allen, F. & Edmans, A. (2022) *Principles of Corporate Finance*. New York: McGraw-Hill.

Carvalho, F.L. & Kalatzis, A.E.G. (2018) Earnings quality, investment decisions, and financial constraint. *Revista Brasileira de Gestão de Negócios*. [Online] 20(4), s. 573–598.

Castagnoli, E. & Favero, G. (2025) A contribution to the NPV-IRR debate. *Decisions in Economics and Finance*. [Online] 48 (1), s.153–174.

Christ, K. L. & Burritt, R. L. (2015) Material flow cost accounting: a review and agenda for future research. *Journal of Cleaner Production*. [Online] 108, s.1378–1389.

Cooremans, C. (2011) Make it strategic! Financial investment logic is not enough. *Energy Efficiency*, 4(4), s. 473–492.

D'Eusanio, M. et al. (2025) Beyond product: organizational LCA methodologies for sustainability governance. The international journal of life cycle assessment. [Online] 30(12), s.2677–2682.

Delbeke, J. (toim.) (2024) Delivering a Climate Neutral Europe. Lontoo: Routledge.

Doorasamy, M. (2016) Using material flow cost accounting (MFCA) to identify benefits of eco-efficiency and cleaner production in a paper and pulp manufacturing organization. *Foundations of Management*. [Online] 8(1), s.263–288.

Drobetz, W. et al. (2024) Institutional investors and corporate environmental costs: The roles of investment horizon and investor origin. European financial management: the journal of the European Financial Management Association. [Online] 30 (2), s.727–769.

European Commission (2021) Economic Appraisal Vademecum 2021–2027: General Principles and Sector Applications. [Online] Bryssel: European Commission.

Eurostat (2023) *Sustainable development in the European Union — Monitoring report on progress towards the SDGs in an EU context, 2023 edition*. [Online] Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Feenstra, D.W. & Wang, H. (2000) *Economic and Accounting Rates of Return*. [Online] Working Paper. Saatavilla: RePEC.

Fitz-enz, J. (2000) *The ROI of Human Capital*. New York: AMACOM.

Färe, R., Grosskopf, S. & Margaritis, D. (2022) Shadow pricing in production economics. Teoksessa: Ray, S.C. ym. (toim.) *Handbook of Production Economics*. [Online] Singapore: Springer, s. 951–999.

Garrett, S. (2013) *An Introduction to the Mathematics of Finance: A Deterministic Approach*. Elsevier.

Gomes, S., Pinho, J. & Lopes, J. (2024) From environmental sustainability practices to green innovations. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. [Online] 31(3), s. 1677–1687.

Guo, M. et al. (2023) Environmental regulation and green innovation: Evidence from heavily polluting firms in China. *Finance research letters*. [Online] 53, Article 103624.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. (2015) Tutki ja kirjoita. 15. uudistettu painos. Helsinki: Tammi.

Horne, R., Grant, T. & Verghese, K. (2009) *Life Cycle Assessment - Principles, Practice and Prospects*. Melbourne: CSIRO Publishing.

Hunkeler, D., Lichtenvort, K. & Rebitzer, G. (2008) Environmental Life Cycle Costing. Boca Raton: CRC Press.

Hyršlová, J. et al. (2011) Material flow cost accounting (MFCA) – tool for the optimization of corporate production processes. *Business, management and economics engineering*. [Online] 9(1), s.5–18.

International Organization for Standardization (2006) ISO 14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. Geneve: ISO.

International Organization for Standardization (2011) ISO 14051:2011 Environmental management — Material flow cost accounting — General framework. Geneve: ISO.

Jamwal, A., Agrawal, R., Sharma, M. & Giallanza, A. (2021) Review on multi-criteria decision analysis in sustainable manufacturing decision making. *International Journal of Sustainable Engineering*. [Online] 14(3), s. 202–225.

Kim, B., Shim, E. & Reinschmidt, K.F. (2013) Probability Distribution of the Project Payback Period Using the Equivalent Cash Flow Decomposition. *The Engineering Economist*. [Online] 58(2).

Lah, L. M. & Kotnik, Ž. (2022) A Literature Review of the Factors Affecting the Compliance Costs of Environmental Regulation and Companies' Productivity. Central European public administration review. [Online] 20 (2), s.57–80.

Lauesen, L. M. (2019) Sustainable investment evaluation by means of life cycle assessment. *Social Responsibility Journal*. [Online] 15(3), s. 347–364.

Lefley, F. & Sarkis, J. (2013) How to Evaluate Capital Projects that Offer Environmental/Carbon Reduction Benefits. International journal of applied logistics. [Online] 4 (3), 14–24.

Liesen, A., Figge, F. & Hahn, T. (2013) Net Present Sustainable Value: A New Approach to Sustainable Investment Appraisal. *Strategic Change*. [Online] 22(3–4), s. 175–189.

Malichova, E. (2018) The decision-making on investment in industrial enterprises — case study. Teoksessa: *Economic and Social Development: Book of Proceedings*. Varazdin: VADEA, s. 428–435.

Martínez Hernández, J. J. et al. (2021) Business-oriented environmental regulation: Measurement and implications for environmental policy and business strategy from a sustainable development perspective. Business strategy and the environment. [Online] 30 (1), s.507–521.

Matinmikko, J., Kinnunen, S.-K., Sinkkonen, T. & Kärri, T. (2022) Towards sustainable feasibility studies for P2X investments. *Journal of Cleaner Production*. [Online] 373.

Merlo, P. (2016) Consequences of the Absence of Monotonicity of the NPV Function to the Assessment of Effectiveness of Investment Projects. *Inžinerinė Ekonomika / Engineering Economics*. [Online] 27(1).

Muthu, S. S. (toim.) (2023) Life Cycle Costing: Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes. Cham: Springer.

Patrick, M. & French, N. (2016) The internal rate of return (IRR): projections, benchmarks and pitfalls. *Journal of Property Investment & Finance*. [Online] 34(6).

Purnamasari, P. (2024) Capital budgeting techniques and financial performance: a comparison between SMEs and large listed firms. *Cogent Economics & Finance.* [Online] 12.

Raut, J.M. ym. (2025) Life cycle assessment and multicriteria decision making analysis of additive manufacturing processes. *Scientific Reports*. [Online] 15(1), 25167.

Robinson, J. (2004) Squaring the circle? Some thoughts on the idea of sustainable development. Ecological economics. [Online] 48 (4), s.369–384.

Rutherford, D. & Knowles, J. (2007) Vulcans, Earthlings and Marketing ROI. *Journal of Direct, Data and Digital Marketing Practice*. [Online] 9(1).

Salvador, R. ym. (2020) Towards a green and fast production system. *Environmental Impact Assessment Review*. [Online] 87.

Siziba, S. & Hall, J.H. (2021) The evolution of the application of capital budgeting techniques in enterprises. Global Finance Journal. [Online] 47.

Sprengel, D. C. & Busch, T. (2011) Stakeholder engagement and environmental strategy - the case of climate change. Business strategy and the environment. [Online] 20 (6), 351–364.

Trappey, A. J. C., Yeh, M. F. M., Wu, S. C.-Y. ym. (2013) ISO14051-based Material Flow Cost Accounting system framework for collaborative green manufacturing. [Online] *2013 IEEE 17th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)*.

Turner, M.J. & Coote, L.V. (2018) Incentives and monitoring: impact on the financial and non-financial orientation of capital budgeting. *Meditari Accountancy Research*. [Online] 26.

Verma, S., Mandal, S.N., Robinson, S. ym. (2021) Investment appraisal and financial benefits of corporate green buildings: a developing economy case study. *Built Environment Project and Asset Management*. [Online] 11(4).

Wang, C.-H. (2019) How organizational green culture influences green performance and competitive advantage: The mediating role of green innovation. Journal of manufacturing technology management. [Online] 30 (4), s.666–683.

World Bank (2017) Guidance note on shadow price of carbon in economic analysis. [Online] Washington, DC: World Bank Group.

World Commission on Environment and Development (1987) Our Common Future. Oxford: Oxford University Press.

Zioło, M., Szaruga, E. & Spoz, A. (2023) Financial and non-financial factors in companies' adaptation process towards sustainability and sustainable business models. *Journal of Entrepreneurship, Management and Innovation*. [Online] 19(1).