

Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja • Yritykset • 2023:3

# Energiaintensiivisen teollisuuden vihreän siirtymän investointitarpeet ja niiden toteutumis- edellytykset



Työ- ja elinkeinoministeriö  
Arbets- och näringsministeriet

Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2023:3

# Energiaintensiivisen teollisuuden vihreän siirtymän investointitarpeet ja niiden toteutumisedellytykset

Nikita Semkin, Minna-Maria Ketonen, Saana Takamäki, Kia Tuominen,  
Heini Mahlamäki ja Samuli Rättö/ AFRY Management Consulting

Työ- ja elinkeinoministeriö Helsinki 2023

**Julkaisujen jakelu**

Distribution av publikationer

**Valtioneuvoston  
julkaisuarkisto Valto**

Publikations-  
arkivet Valto

[julkaisut.valtioneuvosto.fi](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi)

**Julkaisumyynti**

Beställningar av publikationer

**Valtioneuvoston  
verkkokirjakauppa**

Statsrådets  
nätbokhandel

[vnjulkaisumyynti.fi](https://vnjulkaisumyynti.fi)

Työ- ja elinkeinoministeriö

This publication is copyrighted. You may download, display and print it for Your own personal use. Commercial use is prohibited.

ISBN pdf: 978-952-327-962-9

ISSN pdf: 1797-3562

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2023

## Energiaintensiivisen teollisuuden vihreän siirtymän investointitarpeet ja niiden toteutumisedellytykset

<b>Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2023:3</b>		<b>Teema</b>	Yritykset
<b>Julkaisija</b>	Työ- ja elinkeinoministeriö		
<b>Tekijä/t</b>	Nikita Semkin, Minna-Maria Ketonen, Saana Takamäki, Kia Tuominen, Heini Mahlamäki ja Samuli Rättö		
<b>Yhteisötekijä</b>	AFRY Management Consulting		
<b>Kieli</b>	suomi	<b>Sivumäärä</b>	107

### Tiivistelmä

Tämä työ tarkastelee vihreää siirtymää teollisuuden ilmastopäästöjen leikkaamisen osalta. Suomen ilmastotavoitteet edellyttävät päättäväisiä toimenpiteitä yhteiskunnan kaikilla osa-alueilla. Teollisuuden päästöjen leikkaamisessa avainasemassa ovat energiantensiivisen teollisuuden prosessipäästöt, kun tavoitteita tarkastellaan 2035 perspektiivillä.

Työssä selvitetään, mitkä tekijät ovat keskeisimpiä teollisuuden vihreän siirtymän investointien toteutumisen kannalta ja minkälaisilla toimenpiteillä julkinen sektori voisi edistää niiden toteutumista. Raportissa on analysoitu kaikkein suuripäästöisimpien tuotantolaitosten prosesseja ja arvioitu, mitä niiden uudistaminen hiilineutraaleiksi edellyttäisi. Selvitys antaa myös kokonaisarvion kyseisten siirtymäinvestointien suuruusluokasta. Työ kuitenkin keskittyy näiden investointien välittömiin kustannuksiin, eikä siinä ole tarkasteltu uusien kestävien ratkaisujen vaatimia TKI-panostuksia, eikä esimerkiksi sähkönsiirron kaltaisia välillisiä kustannuksia.

On huomattava, että teollisuusyritykset voivat vihreässä siirtymässään valita myös muun tavan kuin nykyisten tuotantoprosessien uudistamisen - esimerkiksi siirtyä kokonaan uusiin, kestävämpiin tuotteisiin. Työn toteutuksessa on kuultu kyseisten toimialojen johtavia yrityksiä Suomessa sekä näiden toimialojen etujärjestöjä.

### Klausuuli

Tämä raportti on tehty AFRY Management Consulting Oy:n (AFRY) toimesta työ- ja elinkeinoministeriön käyttöön ("Asiakas"). Raportti on laadittu noudattaen AFRYn ja Asiakkaan välisen sopimuksen ehtoja. AFRYn tähän raporttiin liittyvä tai siihen perustuva vastuu määräytyy yksinomaan kyseisten sopimusehtojen mukaisesti. AFRYn näkemyksen mukaan tämän julkaisun sisältämät tiedot ovat paikkansapitäviä ja perusteltuja. Tästä huolimatta raporttia tulkitsevien tai käyttävien osapuolten tulee käyttää omaa harkintaansa sekä ammattitaitoaan julkaisun tietojen soveltamisessa. Tämä julkaisu sisältää osittain informaatiota, joka ei ole AFRYn hallittavissa. Näin ollen AFRY ei anna julkaisun perusteella tai siihen liittyen mitään vakuutusta, nimenomaista tai konkludenttista, eikä vastaa sen sisältämien tietojen ja arvioiden oikeellisuudesta. AFRY ei vastaa kolmansille osapuolille tämän julkaisun käyttämisen tai siihen luottamisen perusteella aiheutuneesta haitasta taikka mistään välittömästä tai välillisestä vahingosta.

**Asiasanat** energiantensiivinen teollisuus, vihreä siirtymä, investoinnit, teollisuus, toimialat, teollisuuspolitiikka, ilmastopolitiikka, yritykset

**ISBN PDF** 978-952-327-962-9

**ISSN PDF**

1797-3562

**Julkaisun osoite** <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-962-9>

## Investeringsbehoven för en grön omställning inom den energiintensiva industrin och förutsättningarna för att genomföra dem

<b>Arbets- och näringsministeriets publikationer 2023:3</b>	<b>Tema</b>	<b>Företag</b>
<b>Utgivare</b>	Arbets- och näringsministeriet	
<b>Författare</b>	Nikita Semkin, Minna-Maria Ketonen, Saana Takamäki, Kia Tuominen, Heini Mahlamäki och Samuli Rättö	
<b>Utarbetad av</b>	AFRY Management Consulting	
<b>Språk</b>	<b>Sidantal</b>	107
	finska	

### Referat

Detta arbete granskar en grön omställning när det gäller att minska industrins klimatutsläpp. Finlands klimatmål förutsätter beslutsamma åtgärder inom samhällets alla delområden. När det gäller att minska utsläppen från industrin har processutsläppen från den energiintensiva industrin en nyckelställning när målen granskas ur 2035 års perspektiv.

I arbetet utreds vilka faktorer som är de viktigaste med tanke på genomförandet av investeringar i den gröna omställningen inom industrin och vilka åtgärder den offentliga sektorn kan vidta för att främja genomförandet av dem. I rapporten analyseras processerna vid de produktionsanläggningar som har de största utsläppen och det har bedömts vad en reform av dem till klimatneutrala skulle förutsätta. Utredningen ger också en helhetsbedömning av storleken på investeringarna i omställningen. Arbetet fokuserar dock på de direkta kostnaderna för dessa investeringar och har inte granskat de satsningar på forskning, utveckling och innovationer som krävs för nya hållbara lösningar, och inte till exempel indirekta kostnader av samma slag som elöverföring.

Det bör noteras att industriföretagen i sin gröna omställning också kan välja ett annat sätt än att modernisera de nuvarande produktionsprocesserna – till exempel att övergå till helt nya, mer hållbara produkter. Vid genomförandet av arbetet har de ledande företagen inom branscherna i fråga hörts i Finland samt intresseorganisationerna för dessa branscher.

### Klausul

Denna rapport har utarbetats av AFRY Management Consulting Oy (AFRY) för arbets- och näringsministeriets bruk ("Kund"). Rapporten har utarbetats med iakttagande av villkoren i avtalet mellan AFRY och Kunden. AFRY:s ansvar i anslutning till eller på grundval av denna rapport bestäms enbart i enlighet med dessa avtalsvillkor. Enligt AFRY är uppgifterna i denna publikation korrekta och motiverade. Trots detta ska de parter som tolkar eller använder rapporten använda sig av sitt eget omdöme och sin yrkeskicklighet vid tillämpningen av publikationens uppgifter. Denna publikation innehåller delvis information som inte kan kontrolleras av AFRY. AFRY ger således inte någon försäkran, uttrycklig eller konkludent, på basis av eller i anslutning till publikationen, och ansvarar inte heller för att uppgifterna och uppskattningarna är korrekta. AFRY är inte ansvarigt för den olägenhet som användningen av eller förlitandet på publikationen orsakar tredje parter eller för någon direkt eller indirekt skada.

### Nyckelord

energiintensiv industri, grön omställning, industri, branscher, industripolitik, klimatpolitik, investeringar, företag

### ISBN PDF

978-952-327-962-9

### ISSN PDF

1797-3562

### URN-adress

<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-962-9>

## Investments Needed for the Green Transition in Energy Intensive Industry and the Conditions for Their Realisation

---

<b>Publications of the Ministry of Economic Affairs and Employment 2023:3</b>	<b>Subject</b>	Enterprises
<b>Publisher</b>	Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland	
<b>Author(s)</b>	Nikita Semkin, Minna-Maria Ketonen, Saana Takamäki, Kia Tuominen, Heini Mahlamäki and Samuli Rättö	
<b>Group author</b>	AFRY Management Consulting	
<b>Language</b>	<b>Pages</b>	107

---

### Abstract

This report examines the green transition in terms of cutting greenhouse gas emissions from industry. Finland's climate targets require firm action in all sectors of society. Within industry, cutting process emissions from energy intensive industry is essential when the targets are examined from the perspective of 2035.

The report considers the key factors for the realisation of investments in the green transition of industry and the measures that the public sector could take to promote their realisation. The report analyses the production processes of the largest industrial emitters and evaluates the conditions to make them carbon neutral. The report also provides an overall estimate of the scale of these transitional investments. However, the focus is on the direct costs of these investments, and the report does not consider the RDI investments required by new sustainable solutions or the indirect costs, such as electricity transmission.

It should be noted that industrial companies can also choose a method other than renewal of their current production processes for their green transition. For example, they can switch to entirely new, more sustainable products. Leading Finnish companies and interest groups in the sectors in question were consulted for the report.

### Provision

This report was written by AFRY Management Consulting Oy (hereinafter, AFRY) for use by the Ministry of Economic Affairs and Employment (hereinafter, the client). The report was prepared in compliance with the terms and conditions of the agreement between AFRY and the client. Any liability of AFRY associated with or based on this report is determined solely under the terms of the agreement. In the opinion of AFRY, the information contained in this publication is accurate and justified. Nevertheless, any parties using or interpreting the report must use their own discretion and professional skills in applying the information contained in the publication. This publication partly contains information that cannot be managed by AFRY. Consequently, on the basis of the publication or in connection with it, AFRY does not give any assurance, express or implied, nor assume any responsibility for the accuracy of the information and evaluations the publication contains. AFRY is not liable to third parties for any harm caused by the use of or reliance on this publication, or for any direct or indirect damages.

### Keywords

energy intensive industry, green transition, investments, industry, lines of business, industrial policy, climate policy, enterprises

---

<b>ISBN PDF</b>	978-952-327-962-9	<b>ISSN PDF</b>	1797-3562
-----------------	-------------------	-----------------	-----------

---

**URN address** <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-962-9>

---

# Sisältö

<b>Esipuhe</b> .....	8
<b>Tiivistelmä</b> .....	9
<b>Lyhenteet</b> .....	11
<b>1 Johdanto</b> .....	12
1.1 Työn tausta ja tavoite .....	12
1.2 Metodologia ja keskeiset rajaukset.....	13
1.3 Raportin rakenne .....	14
1.4 Lähteet.....	15
<b>2 Teollisuuden päästölähteet Suomessa</b> .....	16
2.1 Yleiskuva .....	16
2.2 Kemianteollisuus.....	17
2.2.1 Päästöt ja päästöjen syntyprosessit.....	18
2.2.2 Päästövähennysteknologiat ja tarvittavat investoinnit .....	21
2.2.3 Investointeihin vaikuttavat tekijät.....	26
2.3 Terästeollisuus .....	28
2.3.1 Päästöt ja päästöjen syntyprosessit.....	28
2.3.2 Päästövähennysteknologiat ja tarvittavat investoinnit .....	31
2.3.3 Investointeihin vaikuttavat tekijät.....	34
2.4 Metsäteollisuus.....	35
2.4.1 Päästöt ja päästöjen syntyprosessit.....	36
2.4.2 Päästövähennysteknologiat ja tarvittavat investoinnit .....	41
2.4.3 Investointeihin vaikuttavat tekijät.....	47
2.5 Kalkki- ja sementtiteollisuus .....	47
2.5.1 Päästöt ja päästöjen syntyprosessit.....	48
2.5.2 Päästövähennysteknologiat ja tarvittavat investoinnit .....	52
2.5.3 Investointeihin vaikuttavat tekijät.....	58

<b>3</b>	<b>Arvio investointitarpeesta ja päästövähennyspotentialista</b> .....	60
3.1	Toimialakohtaiset suorat päästövähennysinvestoinnit .....	61
3.2	Muut investointitarpeet.....	64
3.2.1	Investointitarpeet sähköverkkoon ja sähkön tuotantoon .....	64
3.2.2	TKI investointitarve .....	65
3.3	Investointiarvioiden vertautuminen muihin selvityksiin.....	66
<b>4</b>	<b>Vihreää siirtymää tukevien päästövähennysinvestointien toteutumisedellytykset</b> .....	68
4.1	Investointien toteutuspolku yrityksissä .....	68
4.1.1	Uuden teknologian investoinnin toteutuspolku .....	70
4.1.2	Kypsin teknologian investoinnin toteutuspolku .....	70
4.1.3	Laitosinvestoinnin luvitus .....	72
4.2	Investointeihin vaikuttavat julkiset interventiot.....	73
4.3	Investointien toteutumisen haasteita ja ratkaisuehdotuksia .....	78
4.3.1	Sidosryhmähaastattelujen tulokset.....	79
4.3.2	Muissa lähteissä tunnistetut ratkaisut vihreää siirtymää tukevien investointien vauhdittamiseksi.....	87
4.4	Pohdintaa investointien toteutumiseen vaikuttavista tekijöistä.....	89
4.5	Esimerkkejä investointien kannattavuustekijöistä ja kannattavuutta tukevien toimien kohdentamisesta .....	92
4.5.1	CCS/CCU markkinaehtoisuus .....	92
4.5.2	Sähköuunien markkinaehtoisuus .....	95
<b>5</b>	<b>Johtopäätöksiä keinoista vihreän siirtymän investointien edistämiseksi</b> .....	98
	<b>Liitteet</b>	
	Liite I Sidosryhmäyhteistyö.....	106



## ESIPUHE

Suomen kunnianhimoiset ilmastotavoitteet edellyttävät päättäväisiä toimenpiteitä yhteiskunnan kaikilla osa-alueilla. Teollisuuden päästöjen leikkaamisessa avainasemassa ovat energiaintensiivisen teollisuuden prosessipäästöt, kun tavoitteita tarkastellaan 2035 perspektiivillä. Vihreän siirtymän investoinnit tukevat yritysten kilpailukykyä ja mahdollistavat samalla kestävää kasvua sekä päästöjen vähentämistä globaalisti. Venäjän hyökkäys Ukrainaan on edelleen lisännyt tarvetta vauhdittaa Suomen energiaomavaraisuutta tukevia investointeja.

Työ- ja elinkeinoministeriö on halunnut syventää näkemystä siitä, mitkä tekijät ovat keskeisimpiä teollisuuden vihreän siirtymän investointien toteutumisen kannalta ja minkälaisilla toimenpiteillä julkinen sektori voisi niitä vauhdittaa. Olemme myös halunneet saada täsmällisempää kuvaa siitä investointien suuruusluokasta, minkä kaikkein suuripäästöisimpien tuotantolaitosten uudistaminen hiilineutraaleiksi vaatisi.

AFRY Management Consulting on tässä selvitystyössä paneutunut näihin kysymyksiin. Työn toteutus on perustunut AFRYn monipuoliseen teknologiseen osaamiseen teollisuuden prosesseista ja niihin kohdistuvista uudistustarpeista kestävyuden näkökulmasta. Työn toteutuksessa on myös kuultu kyseisten toimialojen johtavia yrityksiä Suomessa sekä näiden neljän toimialan etujärjestöjä. Haluamme kiittää AFRYn tiimiä osaavasta työstä sekä teollisuuden edustajia heidän aktiivisesta osallistumisestaan näiden monitahoisten kysymysten ymmärtämiseen.

Lukijalle on syytä korostaa, että selvityksen asetelma on teoreettinen, sillä teollisuusyritykset voivat vihreässä siirtymässään valita myös muun tavan kuin nykyisten tuotantoprosessien uudistamisen, kuten siirtymällä uusiin kestävämpiin tuotteisiin. Tämä selvitystyö on keskittynyt ainoastaan kyseisten tuotantoprosessien siirtymäinvestointien välittömiin kustannuksiin. Uusien kestävien ratkaisujen vaatimia TKI-panostuksia, investointeja sähkönsiirtoon yms. välillisiä kustannuksia ei ole huomioitu.

Selvityksen ohjausryhmän ovat muodostaneet Jyrki Alkio, Juho Korteniemi, Antti Valle ja Kirsti Vilén työ- ja elinkeinoministeriöstä, Ville Laasonen ja Emma Terämä ympäristöministeriöstä sekä Markku Stenborg valtiovarainministeriöstä. Kiitos näille kollegoille asiantuntevasta avusta työn ohjauksessa.

Helsingissä 9.1.2023,

Sampsa Nissinen  
Teollisuusneuvos  
Työ- ja elinkeinoministeriö

## TIIVISTELMÄ

Vihreä siirtymä ja Suomen ilmastotavoitteiden saavuttaminen edellyttävät toimia kaikilta yhteiskunnan eri osa-alueilta. Toimia tarvitaan myös energianintensiiviseltä teollisuudelta, jonka osuus Suomen kasvihuonekaasupäästöistä ilman maankäyttösektoria oli noin neljännes vuonna 2021. Tässä selvityksessä vihreää siirtymää tukevien energiaintensiivisen teollisuuden suorien laitospaikoitusten päästövähennysinvestointien kustannus on tunnistettu vuoteen 2050 mennessä olevan noin 12 miljardia euroa, josta yli 90 prosenttia arvioidaan olevan toteutettavissa ennen vuotta 2040.

Työ- ja elinkeinoministeriön toimeksiannosta tehdyn työn tavoitteena on lisätä ymmärrystä energiaintensiivisen teollisuuden päästövähennysinvestointitarpeesta. Suomen hiilineutraalisuustavoitteen toteutuminen vuoteen 2035 mennessä edellyttää teollisuuden päästöjen merkittävää vähenemistä. Työn tavoitteena on myös ymmärtää mitä rajoitteita tai esteitä investointien toteutumiseksi on ja kuinka julkisten interventioiden avulla voidaan edesauttaa energiaintensiivisen teollisuuden päästövähennysinvestointien toteutumista ja niiden toteutumista nimenomaan Suomessa sijaitseviin tuotantolaitoksiin.

Selvitys kattaa 89 % teollisuuden päästökaupan piiriin kuuluvista päästöistä rajautuen tarkastelemaan investointitarpeita ennen kaikkea nykyisten prosessien ja tuotantorakenteiden näkökulmasta. Laajempaa rakenteellista vihreän siirtymän muutostarvetta tai yritysten mahdollisia strategisia valintoja ei tämän selvityksen puitteissa ole käsitelty. Päästövähennysinvestointien osalta tuloksissa korostuvat sähköistys, vihreä vety, biopohjaiset syötteen ja CCS/CCU. Näistä erityisesti vihreän vedyn rooli korostuu teräs- ja kemianteollisuuden päästövähennystarpeiden myötä. Tarpeet ja teknologiapainotukset päästövähennysten toteuttamiseksi eroavat kuitenkin toimialoittain. Suorien investointien lisäksi tarvitaan myös epäsuoria investointeja energiainfrastruktuurin kehittämiseen, sähkön tuotantokapasiteetin lisäämiseen sekä TKI-panostuksiin. Tässä selvityksessä edellä mainittuja epäsuoria investointitarpeita käsitellään vain viittauksenomaisesti.

Investointitarpeita on kartoitettu analysoimalla päästöjen näkökulmasta Suomen suurimpia tuotantolaitoksia kemian-, teräs-, sementti- ja metsäteollisuuden toimialoilta. Näiden laitosten tuotantoprosessien päästövähennyksien arvioidaan edellyttävän noin 12 miljardin euron suorat laitosinvestoinnit. Arviossa ei ole huomioitu tarvittavia välillisiä panostuksia sähköverkkoon, sähkön tuotantokapasiteettiin sekä tutkimukseen ja kehitykseen. Selvitys perustuu julkisiin tietolähteisiin sekä AFRYn teknisten asiantuntijoiden arvioihin soveltuvista päästövähennysteknologioista, niiden kustannuksista ja ajallisesta toteutettavuudesta.

Investointien toteutumisedellytysten kartoittamiseksi on haastateltu selvityksen kannalta keskeisiä yrityksiä ja toimialojen toimialajärjestöjä. Yrityksiä on pyydetty kuvaamaan haasteita ja esittämään ratkaisuja esteiden ja hidasteiden poistamiseksi. Keskeisinä päästövähennysinvestointeja edistävinä keinoina selvityksessä nousevat esille investointiympäristön ennakoitavuuden ja johdonmukaisuuden varmistaminen, sujuva luvitus sekä teknologiakehityksen tukeminen.

Sääntely-ympäristöllä on merkittävä rooli niin teknologian kehityksessä kuin investointipäätösten toteutumisessa, ja sen ennakoitavuuden ja johdonmukaisuuden varmistamiseen kohdistuvat toimenpiteet voidaan nähdä erityisen tärkeinä yritysten investointivarmuutta tukevin toimenpiteinä. Myös luvituksen sujuvoittamisen voidaan nähdä olevan yksi tehokkaimmista keinoista päästövähennysinvestointien oikea-aikaisen toteutumisen varmistamiseksi, ja sillä voi parhaimmillaan olla muita tukitoimia merkittävämpi vaikutus päästövähennysinvestointien toteutumisen vauhdittamisessa. Monella toimialalla teknologiset ratkaisut päästövähennyksille eivät ole vielä kypsiä, joten teknologian kehitystä tulee jatkossakin edesauttaa julkisin toimenpitein. Uusiin ratkaisuihin suunnatun julkisen rahoituksen ja riskinjaon tulisi ulottua ratkaisun testaamiseen, pilotointiin ja toimivuuden demonstrointiin, jotta yritykset voivat ottaa käyttöön vihreää siirtymää tukevan todennetun teknologisen ratkaisun ilman kohtuutonta riskinottoa. Kaikki edellä mainitut julkiset keinot edesauttavat investointien toteutumista, mutta näiden lisäksi yrityksille tulee tarjota houkutteleva operointiympäristö kustannustehokkaaseen toimintaan. Esimerkiksi uusiutuvan kilpailukykyisen sähkön saatavuudella ja vetytalouden kehityksellä voidaan ohjata yrityksiä tekemään investointipäätöksiä päästövähennyksiltään vaikuttavimpiin ratkaisuihin.

## LYHENTEET

BECCS	Bioperäisen hiilidioksidin talteenotto
CAPEX	Investointikustannukset
CBAM	Hiilirajamekanismi
CCFD	Hintaerosopimukset (Carbon Contracts for Difference)
CCS	Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi
CCU	Hiilidioksidin talteenotto ja hyödyntäminen
CHP	Sähkön ja lämmön yhteistuotanto
CTMP	Kemihierre
DNSH	Ei merkittävää haittaa periaate
FFC	Leijukatalyyttinen krakkaus
IED 2.0	Teollisuuden päästödirektiivin uudistus
LNG	Nesteytetty maakaasu
POK	Kevyt polttoöljy
POR	Raskas polttoöljy
PPA	Pitkäaikainen sähkönostosopimus (Power Purchase Agreement)
QL	Poltettu kalkki
REACH	Registration, Evaluation, Authorization, and restriction of Chemicals
RED III	Uusiutuvan energian direktiivin uudistus
RRF	Euroopan unionin elpymisväline (Recovery and Resilience Facility)
Scope 1	Yrityksen suorat kasvihuonekaasupäästöt
Scope 2	Ostoenergian tuotannosta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt (sähkö, höyry, lämmitys ja jäähdytys)
Scope 3	Arvoketjussa syntyvät epäsuorat kasvihuonekaasupäästöt
SL	Sammutettu kalkki
SRF	Kierrätyspolttoaine
SYKE	Suomen ympäristökeskus
TRL	Teknologian kypsyystaso (Technology Readiness Level)
T&K	Tutkimus ja kehitys
TKI	Tutkimus, kehitys- ja innovaatiot
VTT	Teknologian tutkimuskeskus
WAM	With additional measures
YVA	Ympäristövaikutusten arviointimenettely

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta ja tavoite

Siirtyminen hiilineutraaliin, luonnon monimuotoisuuden säilyttävään ja sitä edistävään, ja kokonaisuudessaan kestäväan yhteiskuntaan edellyttää merkittäviä muutoksia ja investointeja kaikissa toiminnoissa. Erityisesti energiaintensiivisessä teollisuudessa vihreää siirtymää tukeviin päästövähennyksiin tarvittavat investoinnit ovat merkittäviä ja suuria yksittäisinäkin investointeina. Tämän selvityksen taustalla on tarve lisätä tietoa Suomen energiaintensiivisen teollisuuden päästövähennystarpeista ja niihin liittyvistä investoinneista, sillä olemassa oleva tieto aiheesta on ollut puutteellista. Tietoa tarvitaan tukemaan poliittista päätöksentekoa liittyen mm. innovaatiopolitiikkaan sekä uusien puhtaiden ratkaisujen kehittämiseen. Kehityspanostusten suuntaamisen kannalta on olennaista ymmärtää, kuinka pitkälle päästään tiedossa olevilla ratkaisuilla ja missä määrin hiilineutraaliuden saavuttaminen on kiinni uusista innovaatioista.

Selvityksessä keskitytään Suomessa sijaitsevan energiaintensiivisen teollisuuden (pl. energiantuotantosektori) päästökaupan piirissä olevien suurimpien tuotantolaitosten suorien prosessipäästöjen ja epäsuorien ostoenergian kautta syntyvien hiilidioksidipäästöjen leikkaamista koskeviin investointeihin. Jäsentämällä selvityksen käsittelemiä CO<sub>2</sub>-päästöjä Greenhouse Gas Protocol -standardin<sup>1</sup> mukaisella viitekehyksellä, selvityksessä huomioidaan standardin kolmesta päästöluokasta scope 1 ja 2 mukaiset hiilidioksidipäästöt tietyin rajauksin.

Selvitys kattaa kemian-, teräs-, sementti- ja kalkkiteollisuuden sekä massa-, paperi- ja kartonkiteollisuuden, joiden päästöt kokonaisuudessaan ovat noin 98 % Suomen teollisuuden (pl. energiantuotantosektori) päästökaupan piiriin kuuluvista päästöistä. Tässä selvityksessä huomioitujen laitosten osalta katetaan noin 89 % teollisuuden päästökaupan piiriin kuuluvista päästöistä rajautuen käsittämään investointitarpeet nimenomaan nykyisten prosessien ja tuotantorakenteen näkökulmasta, eikä näin ollen laajempaa rakenteellista muutostarvetta eri teollisuuden aloilla ole huomioitu. Ajallisesti tunnistettujen investointitarpeiden sijoittumista arvioidaan jaettuna vuoteen 2035 mennessä toteutettaviin, noin vuonna 2040 toteutettaviin sekä ennen vuotta 2050 toteutettaviin investointeihin.

---

1 Lisätietoa GHG-protokollasta: <https://ghgprotocol.org/standards>

Tämän selvityksen tavoitteena on tuottaa toimialarajat ylittävä kokonaiskuva suomalaisen energiaintensiivisen teollisuuden suurimpien päästölähteiden vihreää siirtymää tukevien päästövähennysinvestointien tarpeesta ja niiden kustannuksista. Tavoitteena on myös tuottaa ymmärrystä siitä, millä tekijöillä on merkittävin vaikutus näiden suuren mittaluokan investointien toteuttamiselle. Tämän perusteella voidaan arvioida, missä ja minkälaisia julkisia interventioita voidaan tarvita ja minkälaisilla ohjaukskeinoilla parhaiten tukea energiaintensiivisen teollisuuden vihreää siirtymää tukevia päästövähennyksiä. Hankkeen tulokset palvelevat julkisten toimijoiden, erityisesti työ- ja elinkeinoministeriön sekä sen erityisrahoitusyhtiöiden kykyä suunnata rahoitusta, ohjausta ja tukitoimia tehokkaasti.

## 1.2 Metodologia ja keskeiset rajaukset

Vihreällä siirtymällä tarkoitetaan muutosta kohti ekologisesti kestävästä taloutta ja kasvua vihreän teknologian, kestävästä teollisuuden ja liikenteen sekä päästöjen vähentämisen kautta<sup>2</sup>. Teollisuudessa tämä voi tarkoittaa investointeja puhtaaseen energiantuotantoon tai uusien teknologioiden käyttöönottoon esimerkiksi suoran tai epäsuoran sähköistämisen muodossa. Myös erilaiset kiertotalousratkaisut voivat tarjota toimivia kasvihuonepäästövähennysratkaisuja, kun neitseellisten luonnonvarojen käyttöä ja valmistusprosessien energiantarvetta voidaan vähentää tuotantotoiminnassa. Myös energiatehokkuustoimilla sekä energian kulutusta vähentämällä voidaan vaikuttaa teollisuuden päästöihin.

Tässä selvityksessä vihreää siirtymää tukevia päästövähennysinvestointeja käsitellään ilmastovaikutusten ja erityisesti hiilidioksidipäästöjen (CO<sub>2</sub>-ekv.) näkökulmasta. Työssä ei tehdä laajempaa DNSH<sup>3</sup> -arviointia investointihankkeen kokonaisvaltaisista ympäristövaikutuksista, jossa hankkeen vaikutuksia tarkasteltaisiin esimerkiksi biodiversiteetin tai vesistöjen näkökulmasta.

Selvityksessä huomioidaan päästöjen osalta Scope 1 luokkaan kuuluvat kasvihuonekaasupäästöt, jotka syntyvät suoraan yrityksen omistamista tai hallinnoimista kiinteistöistä ja energiantuotannosta yrityksen oman teollisen toiminnan seurauksena. Scope 2 kasvihuonekaasupäästöjen osalta huomioidaan päästöt, jotka aiheutuvat yrityksen ulkopuoliselta taholta ostetun lämmön, höyryn ja jäädytyksen tuotannosta. Selvityksessä ei käsitellä päästöjä ostetun sähkön osalta, sillä sähköjärjestelmän oletetaan selvityksessä hiilineutraalisoituvan vuoteen 2030 mennessä muiden toimenpiteiden seurauksena. Selvityksen ulkopuolelle on myös rajattu eri työkoneiden tuottamat päästöt sekä scope 3 mukaiset epäsuorat päästöt toimijan arvoketjussa.

<sup>2</sup> Vihreän siirtymän rahoituksen työryhmän väliraportti

<sup>3</sup> Do no significant harm principle (DNSH): [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/2021\\_02\\_18\\_epc\\_do\\_not\\_significant\\_harm\\_technical\\_guidance\\_by\\_the\\_commission.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/2021_02_18_epc_do_not_significant_harm_technical_guidance_by_the_commission.pdf)

Investointitarpeiden kartoitus työssä on tehty analysoimalla yksittäisten tuotantolaitosten päästövähennystarpeita ja niihin soveltuvia teknologiavaihtoehtoja. Arvioita yksittäisten toimijoiden tai tuotantolaitosten päästöistä tai investointitarpeista ei raportissa kuitenkaan tuoda julki, vaan kaikki tulokset esitetään toimialakohtaisesti aggregoituna. Investointitarpeita analysoitaessa laitoskohtaisia päästöjä pyritään vähentämään hiilineutraalia tasoa tavoitellen, mutta tasosta voidaan joidenkin laitosten osalta kuitenkin jäädä, sillä varapolttoaineiden korvausinvestointeja ei niihin liittyvien suurten epävarmuustekijöiden vuoksi ole tarkastelussa huomioitu. Myös hiilidioksidin talteenoton osalta analyysissä oletetaan saavutettavan vain noin 90 % talteenottopotentiaali. Polttoaineiden sertifiointi tai päästökompensaatio on rajattu tämän tarkastelun ulkopuolelle. Investointitarpeiden kartoitus on tehty julkisista lähteistä kerättyjä laitoskohtaisia tietoja ja AFRYn teknisiä asiantuntijoita hyödyntäen.

Kaikki selvityksessä esitetty arviot ovat AFRYn arvioita investointitarpeista, niihin liittyvistä kustannuksista ja niiden ajallisesta toteutuksesta. Analyysin tuloksista on keskusteltu myös eri toimijoiden kanssa ja näin saatu varmistus, että analyysin tulokset ovat linjassa myös toimijoiden omien näkemysten kanssa. Investointien aikataulun arvioinnissa on hyödynnetty yritysten omia ulostuloja, käynnissä olevia kehityshankkeita sekä AFRYn teknisten asiantuntijoiden arvioita teknologisen kehittymisen aikatauluista.

Hankkeen aikana on pyritty kuulemaan kaikkia selvityksen kannalta keskeisiä yrityksiä sekä toimialojen etujärjestöjä, jotta investointien pullonkaloista ja tarvittavista julkisista interventioista päästövähennysten edistämiseksi saataisiin kattavat näkemykset. Selvityksen aikana järjestettiin 11 yrityshaastattelua sekä haastattelu toimialojen etujärjestöjen kanssa. Näiden lisäksi hankkeen lopussa toteutettiin sidosryhmätyöpaja, johon saivat kutsun kaikki haastatteluihin osallistuneet toimijat.

### 1.3 Raportin rakenne

Selvitys koostuu johdantoluvun lisäksi kolmesta osasta. Ensimmäiseksi käsitellään teollisuuden tämän hetken päästölähteitä ja päästövähennysratkaisuja. Käsitteily tehdään toimialakohtaisesti kuvaten jokaisen toimialan prosessien osuudet, joissa päästöjä syntyy ja kyseisille prosessin osille mahdolliset päästövähennysratkaisut, ratkaisujen toteutumisasjat ja kustannukset. Kappaleen lopussa esitetään aggregoitu arvio kaikkien toimialojen kokonaisinvestointitarpeesta ja päästövähennyspotentiaalista jaoteltuna eri ajanjaksoina toteutuviin investointeihin.

Raportin seuraavassa osassa kuvataan vihreää siirtymää tukevien päästövähennysinvestointien toteutumisedellytyksiä. Toteutumisedellytyksiä taustoitetaan kuvaamalla investointien toteutumispolkua yrityksissä sekä investointeihin vaikuttavia julkisia interventioita. Tämän jälkeen esitetään investointien toteutumiseen vaikuttavia tekijöitä ja ratkaisuehdotuksia hidastavien tai estävien tekijöiden minimoimiseksi.

Selvityksen viimeisessä osassa esitetään yhteenveto ja toimenpidesuosituksset. Pääpaino viimeisessä osassa on selvityksessä tunnistettujen haasteiden ja haasteisiin kohdennettujen ratkaisuehdotusten kuvaaminen.

## 1.4 Lähteet

Mikäli ei ole toisin ilmaistu, kaikkien taulukkojen, kuvien ja kaavioiden lähde on AFRY Management Consulting.



## 2 Teollisuuden päästölähteet Suomessa

### 2.1 Yleiskuva

Vuonna 2021 koko Suomen kasvihuonekaasupäästöt olivat ilman maankäyttösektoria 47,7 MtCO<sub>2</sub><sup>4</sup>, joista 12,2 MtCO<sub>2</sub> (25,6 %) oli peräisin energiantensiivisestä teollisuudesta<sup>5</sup>. Jotta hallitusohjelman mukainen tavoite hiilineutraalisuudesta saavutetaan vuoteen 2035 mennessä, on esitetty, että päästökauppa- ja taakanjakosektorien yhteenlasketut päästöt saavat enintään olla 21 Mt CO<sub>2</sub> vuonna 2035<sup>6</sup>. Tavoitteen toteuttamiseksi koko teollisuuden osalta tämä tarkoittaa vuonna 2022 julkaistun keskipitkän aikavälin ilmasto-  
politiikan suunnitelman toimenpideohjelmassa esitetyn WAM-skenaarion<sup>7</sup> mukaan 2,3 Mt CO<sub>2</sub> päästötasoa vuonna 2035. Varsinaista kansallista päästötavoitetta ei kuitenkaan energiantensiiviselle teollisuudelle tai päästökauppasektorille ole asetettu.

Suomessa on noin 70 päästökaupan piiriin kuuluvaa teollisuuslaitosta. Tämä työ on rajattu kattamaan neljä teollisuuden alaa (ks. Kuva 1), joihin sisältyy 56 päästökaupan piiriin kuuluvaa teollisuuslaitosta. Tarkasteltavat teollisuudenalat kokonaisuudessaan tuottavat 98 % kaikista teollisuuden päästökaupan piiriin kuuluvista päästöistä. Kuva 1 esittää päästöjen jakautumisen tarkasteltaville teollisuudenaloille.

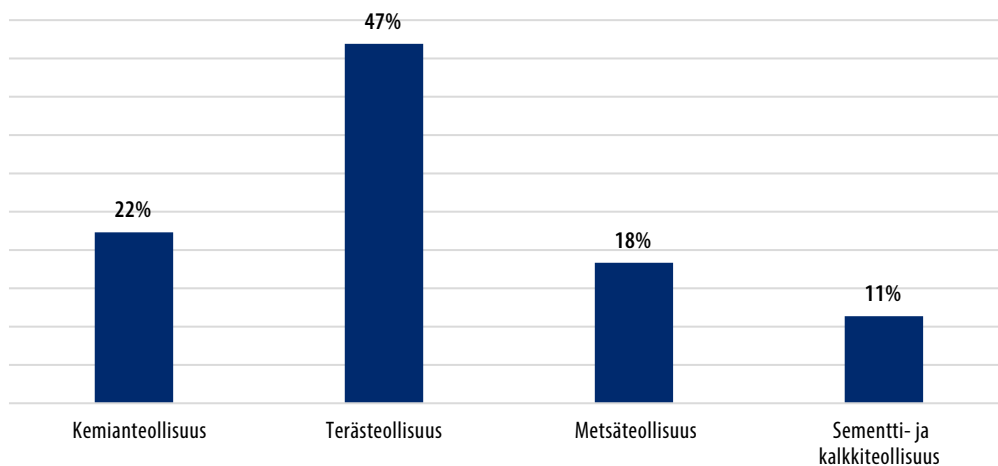
---

4 <https://www.stat.fi/julkaisu/cktlcpwag38sg0c5561iqop0y>

5 <https://energiavirasto.fi/paastokaupan-julkaisut>

6 [https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaistuMetatieto/Documents/VNS\\_4+2022.pdf](https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaistuMetatieto/Documents/VNS_4+2022.pdf)

7 VTT:n toteuttama HIISI-hankkeen ilmastotavoitteet toteuttavassa politiikkatoimi-, eli WAM-skenaariossa on mallinnettu päästöjen jakautumista päästökauppa- ja taakanjakosektoreille vuonna 2035

**Kuva 1** Teollisuuden kasvihuonekaasupäästöjen jakautuminen toimialoittain vuonna 2021

Lähde: Energiavirasto

Tarkastelun piiriin kuuluvilta toimialoilta 24 laitosta tuotti koko teollisuuden päästökaupan piiriin kuuluvista päästöistä noin 89 % vuonna 2021. Työ on rajattu kattamaan nämä laitokset. Lähes 35 % kaikista energiaintensiivisen teollisuuden päästökauppasektorin päästöistä syntyi yhdellä terästehtaalla.

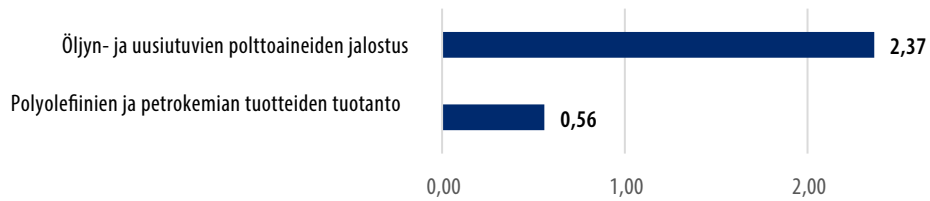
Seuraavissa kappaleissa käsitellään päästöjen lähteitä, syntyprosesseja ja valmistettavia lopputuotteita toimialakohtaisesti.

## 2.2 Kemianteollisuus

Vuonna 2021 kemianteollisuuden päästöt olivat 22 % kaikista teollisuuden päästöistä. Kemianteollisuudeksi luokitellaan Suomessa öljy-, kaas- ja petrokemianteollisuus, kemian perusteollisuus sekä kemiantuoteteollisuuden eri toimialat. Kemiantuoteteollisuuden toimialoihin kuuluvat lääketeollisuus, muovi- ja kumiteollisuus, kosmetiikka ja pesuaineet, maaliteollisuus.

Selvityksen piiriin kuuluu vain kaksi kemianteollisuuden tuotantolaitosta, joiden yhteenlasketut päästöt olivat vuonna 2021 2,9 Mt CO<sub>2</sub> (ks. Kuva 2). Näissä tuotantolaitoksissa tuotetaan polttoaineita, polyolefiineja sekä petrokemian tuotteita ja ilmakaasuja. Tuotantolaitokset sijaitsevat samalla teollisuusalueella, jossa sijaitsee myös alueen oma voimalaitos.

**Kuva 2** Kemianteollisuuden päästöjakauma (Mt CO<sub>2</sub>)

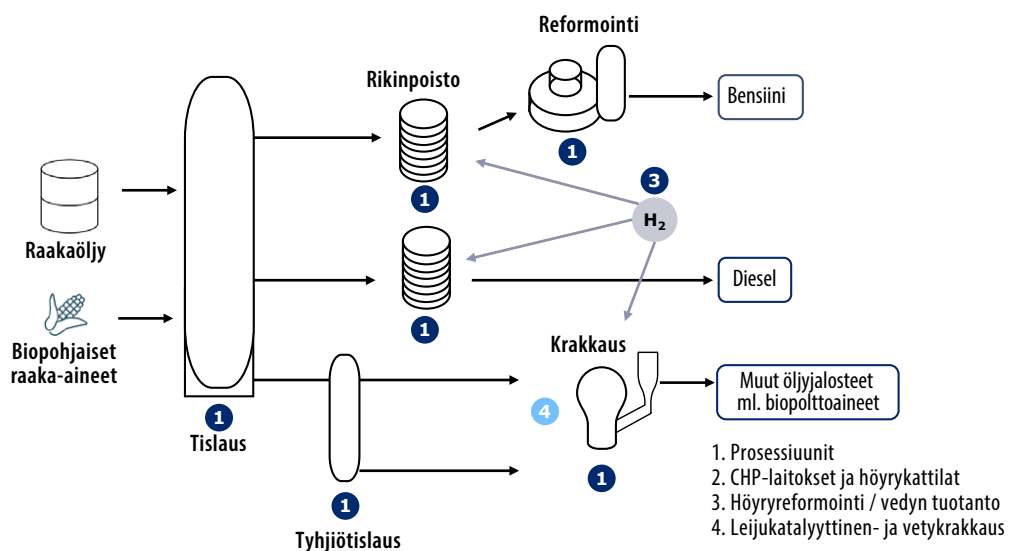


## 2.2.1 Päästöt ja päästöjen syntyprosessit

### Öljynjalostus ja biopolttoaineiden tuotanto

Selvityksen piiriin kuuluvan öljynjalostuslaitoksen päästöjen syntyprosessit voidaan karkeasti jakaa prosessiuneihin, CHP-laitoksiin ja höyrykattiloihin, höyryreformointiin ja leijukatalyyttiseen krakkaukseen (ks. Kuva 3). Suurin osa päästöistä syntyy prosessiuneissa, joita tarvitaan raakaöljyn ja muiden jakeiden lämmittämiseen tislausta- ja erilaisia muita korkeaa lämpötilaa vaativia jalostusreaktioita varten. Kyseisen jalostamon raakaöljyn jalostuskapasiteetti on noin 10,5 miljoonaa tonnia vuodessa, jonka ohella biopolttoaineita tuotetaan noin 2 miljoonaa tonnia vuodessa.

**Kuva 3** Öljynjalostuksen- ja biopolttoaineiden tuotannon prosessikuvaus



Kuva 3 esitetyt prosessit kuvaavat sekä raakaöljynjalostuksen että biopolttoaineiden tuotannon vaiheita leijukatalyyttista krakkausta lukuun ottamatta. Merkittävimpänä erona uusiutuvista öljyistä ja rasvoista valmistettavien biopolttoaineiden tuotannossa suhteessa raakaöljyn jalostukseen on se, että raakaöljyn tislaimista ei tarvita vaan bioraaka-aineita jalostetaan sellaisenaan perinteistä öljynjalostusta vastaavissa yksikköprosesseissa.

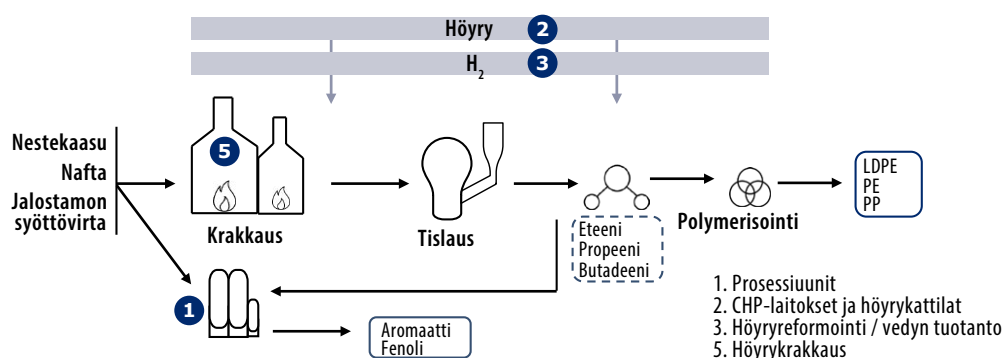
### Polyolefiinien- ja petrokemian tuotteiden tuotanto

Selvityksen piiriin kuuluvan laitoksen polyolefiinien kokonaiskapasiteetti on 610 000 tonnia vuodessa. Laitoksen kuuluu muovien valmistamisen ohella fenoli- ja aromaatti-tuotanto sekä olefiinituotanto. Valmistettujen muovituotteiden pääsovellukset ovat putkituotteet, teräsputken päällystys, pakkaukset sekä kaapelituotteet.

Polyolefiinien eli erilaisten muovituotteiden ja petrokemian tuotteiden tuotannon kasvihuonekaasupäästöt syntyvät höyrykrakkerien, regenerointiuunien ja soihdun savukaasuista.

Prosessien polttoaineena käytetään pääsääntöisesti itse tuotettua polttokaasua ja tarvittaessa muuta korvaavaa kaasua (ks. Kuva 4). Prosessit edellyttävät tuotannon eri vaiheissa höyryä ja vetyä, joiden valmistuksesta syntyy myös merkittävästi päästöjä. Taulukko 1 esittää yksityiskohtaisemman kuvauksen prosesseista ja päästöjen jakautumisesta.

### Kuva 4 Polyolefiinien- ja petrokemian tuotteiden prosessikuvaus



**Taulukko 1** Kemianteollisuuden päästölähteet prosessitasolla

Prosessi	Syy	Polttoaine	Kuvaus	Öljytuotteet ja biopolttoaineet	Polyolefiinit ja petrokemian tuotteet
<b>Prosessiuunit</b>	Öljyn- ja muiden syötteiden kuumennus	Polttokaasu (jäännöskaasu)	Raakaöljyn ja raskaiden öljyjakeiden tislauksen sekä osa kemiallisista reaktioista edellyttävät >350°C lämpötilan.	51%	-
<b>CHP-laitokset ja höyrykattilat</b>	Sähkön- ja höyryn tuotanto	Prosessien sivutuotteet, maakaasu, kivihiili varapolttolainena	Höyryä käytetään mm. höyryturbiineihin, lämmitykseen sekä sellaisenaan. Tuotettua sähköä käytetään ”yleisestikaikkeen laitoksen sisällä” ja lämpö hyödynnetään höyrynä.	10%	10%
<b>Höyryreformointi</b>	Vedyn tuotanto	Maakaasu	Vetyä tarvitaan mm. rikin poistossa (biopolttolainissa hapenpoisto) ja krakkaamisessa.	20%	-
<b>Leiju-katalyyttinen krakkaus</b>	Prosessissa koksiaan-tuvan katalyytin regenerointi polttamalla	Muodostunut koksi	Syntyvä lämpö hyödynnetään samassa yksikköprosessissa raskaiden hiilivetyjakeiden krakkaamiseen kevyemmiksi jakeiksi	19%	-
<b>Höyrykrakkaus</b>	Hiilivetyjen pilkkominen olefiinien tuotannossa	Nafta, FCC-kaasut	Hiilivetyjä laimennetaan höyryllä ja kuumennetaan lyhytaikaisesti uunissa ilman happea ~850°C lämpötilassa, jolloin muodostuu tyydyttymättömiä lyhyitä hiilivetyjä eli olefiineja.	-	90%

## 2.2.2 Päästövähennysteknologiat ja tarvittavat investoinnit

**Taulukko 2** Öljynjalostuksen ja biopolttoaineiden tuotannon päästövähennysratkaisut

Prosessi		Ratkaisut		
Prosessiunit	Sähköunit			
CHP-laitokset ja höyrykattilat	CCS/CCU	Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen biokaasulla	Höyryn kulutuksen vähentäminen: Sähkölämmittin ja sähköturbiinit	Höyryn tuotanto vähäpäästöisesti: Lämpöpumput ja höyrykattilat
Höyryreformointi			Vihreä vety	
Leijukatalyyttinen krakkaus				
Höyrykrakkeri	Sähkölämmitteinen höyrykrakkeri			

### Päästövähennysratkaisu: Prosessiunitien korvaaminen sähköuneilla

Kuvaus	Nykyiset prosessiunit, erityisesti tislaukolonni voidaan korvata sähköuneilla. Päästövähennykset syntyvät ostopolttoaineiden (maakaasun) korvaamisesta.
TRL <sup>8</sup>	3
Rajoitteet	Ei vielä kypsä teknologia, vaan tällä hetkellä vielä tutkimusvaiheessa. Sähköunitien käyttöä voi rajoittaa myös tarvittava korkea teho, jota kuitenkin voidaan kompensoida useammalla rinnakkaisella sähköunilla (esim. induktioratkaisut). OPEX-kustannukset riippuvat sähkökustannuksista.
Päästövähennys-potentiaali	100% kaikista prosessiunipäästöistä (51% kaikista öljynjalostuksen päästöistä) jos käytetään uusiutuvaa sähköä
Aikataulu	2030 jälkeen
CAPEX	Kokonaisinvestointi 1100–1600 MEUR

8 Skaala 1 (epäkypsin) – 9 (kypsin)

### Päästövähennysratkaisu: Höyryn käytön korvaaminen sähkölämmittimillä ja sähkömoottoreilla

<b>Kuvaus</b>	<p>Vähentämällä höyryn kysyntää sähköistämällä höyryä kuluttavia prosesseja voidaan leikata päästöjä, kun päästöintensiivinen höyryn tuotanto laskee. Nykyisin höyryä käytetään prosessivirtojen lämmittämiseen epäsuorasti, jolloin se voidaan sähköistää suorilla sähkölämmittimillä, sekä suoraan (esim. strippaus), jolloin höyry täytyy tuottaa sähkökattilalla tai lämpöpumpuilla. Lisäksi höyryä käytetään mekaanisen energian tuotantoon esim. turbiineissa ja ejektoreissa, jotka voidaan korvata sähkömoottoreilla.</p> <p>Höyryn käytön korvausinvestoinnit ovat toisensa poissulkevia höyryntuotannon vähähiilistämisen investointien kanssa.</p>
<b>TRL</b>	<p>Sähkölämmitin: 8–9</p> <p>Sähkömoottori: 9</p>
<b>Rajoitteet</b>	<p>Tällä hetkellä höyryn tuotannossa hyödynnetään sivuvirtoja polttoaineena, jotka jäisivät höyryn tuotannon sähköistäessä hyödyntämättä ja ne pitäisi esimerkiksi polttaa, joka taas edellyttäisi hiilidioksidintalteenottoa päästöjen leikkaamiseksi. Lisäksi nykyinen höyryn valmistaminen sivuvirroista on taloudellisesti hyvin kannattavaa, mikä voi laskea kannustimia tehdä kustannuksiltaan korkeita sähköistysinvestointeja. Höyryn tuotanto voi myös olla myös osa prosessin energiaoptimointia, jolloin energiatehokas korvaaminen voi olla monimutkaista.</p>
<b>Päästövähennys-potentiaali</b>	<p>Höyryn käyttökohteiden vähähiilistäminen (10 % kaikista öljynjalostuksen päästöistä) jos käytetään uusiutuvaa sähköä</p>
<b>Aikataulu</b>	<p>Nykyisen kaluston tultua käyttöikänsä päähän tai strateginen päätös ennen 2030.</p>
<b>CAPEX</b>	<p>Sähkölämmitin / Teollisuusalueen kokonaisinvestointi: 96 – 144 MEUR</p> <p>Sähkömoottori / Teollisuusalueen kokonaisinvestointi 7 MEUR</p> <p>Korvausinvestointien CAPEX:it on laskettu olettaen, sähkölämmitin ja sähkömoottorit korvaisivat nykyiset höyryn tarpeen öljyn lämmityksessä ja höyryturbiineissa kokonaan. Korvausinvestoinneista aiheutuvia prosessimuutoksia ja niiden synnyttämiä kustannuksia ei ole huomioitu. Näin ollen tätä ratkaisua ei ole sovellettu analyysissa.</p>

## Päästövähennysratkaisu: Höyryn tuotanto vähäpäästöisesti lämpöpumpuilla ja sähkökäyttöisillä höyrykattiloilla

<b>Kuvaus</b>	<p>Höyryn kysynnän pysyessä samana, höyryn tuotannon päästöjä voidaan leikata vaihtoehtoisin tuotantomenetelmin lämpöpumppujen (matala lämpötila) ja sähkökäyttöisten höyrykattiloiden (korkea lämpötila) avulla.</p> <p>Höyryntuotannon vähähiilistämisinvestoinnit ovat toisensa poissulkevia höyryn käytön korvausinvestointien kanssa.</p>
<b>TRL</b>	<p>Lämpöpumput: 8 – 9 (matala lämpötila)</p> <p>Sähkökäyttöiset höyrykattilat: 9</p>
<b>Rajoitteet</b>	<p>Tällä hetkellä höyryn tuotannossa hyödynnetään sivuvirtoja polttoaineena, jotka jäisivät höyryn tuotannon sähköistäessä hyödyntämättä ja ne pitäisi esimerkiksi polttaa, joka taas edellyttäisi hiilidioksidintalteenottoa päästöjen leikkaamiseksi. Lisäksi nykyinen höyryn valmistaminen sivuvirroista on taloudellisesti hyvin kannattavaa, mikä voi laskea kannustimia tehdä kustannuksiltaan korkeita sähköistysinvestointeja. Höyryn tuotanto voi myös olla myös osa prosessin energiaoptimointia, jolloin tehokas korvaaminen voi olla monimutkaista.</p>
<b>Päästövähennys-potentiaali</b>	<p>- 100 % kaikista höyryntuotantopäästöistä (10 % kaikista öljynjalostuksen päästöistä) jos käytetään uusiutuvaa sähköä</p>
<b>Aikataulu</b>	<p>Nykyisen kaluston tultua käyttöikänsä päähän tai strateginen päätös ennen 2030</p>
<b>CAPEX</b>	<p>Esimerkki-investointi teollisuusalueella<sup>9</sup>: 109 – 128 MEUR</p> <p>Korvausinvestointien CAPEX:it on laskettu olettaen, sähkölämmitin ja sähkömoottorit korvaisivat nykyiset höyryn tarpeen öljyn lämmityksessä ja höyryturbiineissa kokonaan. Korvausinvestoinneista aiheutuvia prosessimuutoksia ja niiden synnyttämiä kustannuksia ei ole huomioitu. Näin ollen tätä ratkaisua ei ole sovellettu analyysissä.</p>

9 Matala- ja korkealämpöisen höyryn suhteen määrittävät lopulta kokonaiskustannus ja höyryn käyttöön liittyvät tekniset vaatimukset, ja on täten optimoitava. Tässä on oletettu 1/3 matalalämpöistä höyryä (lämpöpumppu) ja 2/3 korkealämpöistä höyryä (höyryboilerit).



### Päästövähennysratkaisu: CCS Höyryn tuotannossa

<b>Kuvaus</b>	Olettaen, että prosessissa syntyvät sivuvirrat ovat tavalla tai toisella hyödynnettävä tai poltettava ilmaan, olisi vaihtoehtona niiden ohjaaminen höyryntuotantoon, jossa syntyvä hiilidioksidi otettaisiin talteen ja varastoitaisiin. Aiemmin prosessiuuneissa polttoaineena hyödynnetyt sivuvirrat ohjattaisiin näin ollen höyryntuotantoon, joka vähentäisi päästöjä ostopolttoaineista. Käytännössä päästöt pysyisivät samankaltaisina kuin aiemminkin mutta prosessiuuneista ”ylijäävät” sivuvirrat saataisiin hyödynnettyä, ostopolttoaineita vähennettyä ja hiilidioksiditalteenotolla ja varastoinnilla päästöt leikkaantuisivat.
<b>TRL</b>	7
<b>Rajoitteet</b>	Korkea investointikustannukset, hiilidioksidin kuljettamiseen ja varastointiin liittyvät haasteet.
<b>Päästövähennys-potentiaali</b>	~ 94% prosessipäästöistä (höyryntuotanto)
<b>Aikataulu</b>	Ennen 2030 (höyryntuotanto)
<b>CAPEX</b>	Polton jälkeinen CCS CAPEX höyryn tuotannossa / Investointi öljynjalostuksessa: 133 MEUR

### Päästövähennysratkaisu: CCS leijukatalyyttisessä krakkauksessa

<b>Kuvaus</b>	Mikäli prosessin syötteenä käytetään fossiilisia hiilivetyjä, ml. prosessien fossiiliset sivuvirrat, syntyy prosessissa väistämättäkin hiilidioksidipäästöjä. Näin on esimerkiksi silloin kun sivuvirtojen jalostaminen tuotteiksi ei ole taloudellisesti kannattavaa mutta prosessit vaativat esim. katalyytin regeneroinnin polttamalla muodostunutta koksia. Tällöin ainoa vaihtoehto päästöjen leikkaamiseksi on hiilidioksidin talteenotto (ja hyödyntäminen). On myös prosesseja, joihin ei ole vielä teknistaloudellisesti saatavilla olevia ratkaisuja, jolloin CCS/CCU ainoa vaihtoehto.  Tässä tarkastellaan CCS (polton jälkeen) soveltamista leijukatalyyttiseen krakkaukseen. Tässä oletetaan hiilidioksidin säilöminen varastoon.
<b>TRL</b>	7 (leijukatalyyttinen krakkaus)
<b>Rajoitteet</b>	Hiilidioksiditalteenottojärjestelmät jälkiasennusten investointikustannukset ovat korkeita, ja näin ollen prosessimuutokset ja vaihtoehtoiset matalapäästöiset lopputuotteet voivat olla houkuttelevampi vaihtoehto. Lisäksi teknologia ei ole vielä täysin kaupallisesti saavutettavissa.
<b>Päästövähennys-potentiaali</b>	~ 94% prosessipäästöistä (leijukatalyyttinen krakkaus)
<b>Aikataulu</b>	Ennen 2030 (leijukatalyyttinen krakkaus)
<b>CAPEX</b>	Polton jälkeinen CCS CAPEX leijukatalyyttisessä krakkaussessa / Investointi öljynjalostuksessa: 143 MEUR

### Päästövähennysratkaisu: Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen biokaasulla

<b>Kuvaus</b>	Nykyisiä polttoaineita, eritoten maakaasua voidaan korvata biokaasulla. Biokaasu vastaa käytöltään maakaasun käyttöä. Sen lämpöarvo on pienempi, jolloin polttimissa ja verkostoissa voidaan joutua tekemään pieniä muutoksia. Verkkoon syötetyn biokaasun laatu on kuitenkin rajoitettu niin, että normaaleissa käyttökohteissa sen laadun ei pitäisi aiheuttaa ongelmia.
<b>TRL</b>	9
<b>Rajoitteet</b>	Biokaasun riittävyys. Prosesseissa, joissa maakaasua käytetään raaka-aineena (esim. vedyn höyryreformointi), biokaasu voidaan joutua puhdistamaan ennen käyttöä biometaaniksi.

### Päästövähennysratkaisu: Vihreä vety

<b>Kuvaus</b>	Vedyn tuottaminen höyryreformoimalla maakaasusta voidaan korvata vihreällä vedyllä. Vihreä vety tuotetaan elektrolyysin avulla uusiutuvasta sähköstä ja vedestä.
<b>TRL</b>	8 (Alkali- ja PEM-elektrolyyseri)
<b>Rajoitteet</b>	Korkeat tuotantokustannukset, jotka riippuvat pitkälti uusiutuvan sähkön hinnasta ja saatavuudesta. Elektrolyyserit tarvitset myös paljon maa pinta-alaa, jopa 1 MW : 1 ha.
<b>Päästövähennys-potentiaali</b>	- 100 % kaikista teollisuusalueen vedyn tuotannon päästöistä jos käytetään uusiutuvaa sähköä
<b>Aikataulu</b>	Ennen 2030
<b>CAPEX</b>	Korvausinvestointi nykyisen kulutetun "harmaan vedyn" korvaamiseksi jalostamoalueella elektrolyyserillä valmistettuun "vihreään vetyyn": 188 – 563 MEUR

### Päästövähennysratkaisu: Sähkölämmitteinen höyrykrakeri

<b>Kuvaus</b>	<p>Höyrykrakkausuuni on toiminnaltaan samankaltainen kuin muutkin prosessiuunit. Merkittävämpänä erona on se, että syöttövirtaa laimennetaan höyryllä ja virta jäädytetään heti kuumentamisen jälkeen. Jäähdyttämisessä tuotetaan höyryä, joka käytetään yksikön kompressorien energianlähteenä turbiinien avulla.</p> <p>Vaihtoehtoisia reittejä höyrykrakerin vähähiilistämiseen ovat sähkölämmitteisen höyrykrakerin ohella on esimerkiksi kierrätys- tai biopohjaisten raaka-aineiden hyödyntäminen prosessin syötteenä, jolloin päästövähennykset jäävät sähkölämmitteistä höyrykrakeria pienemmiksi</p>
<b>TRL</b>	4–5
<b>Rajoitteet</b>	Teknologia epäkypsää, kallis investointi.
<b>Päästövähennys-potentiaali</b>	80% päästövähennelmä vs. höyrykrakeri
<b>Aikataulu</b>	2040
<b>CAPEX</b>	Sähkökäyttölämmitteisen höyrykrakerin kokonaisinvestointi: 554 MEUR

### 2.2.3 Investointeihin vaikuttavat tekijät

Tässä tarkastelussa on analysoitu nykyisten tuotantoprosessien päästöjä vähentämistä olettaen nykyisten kaltaisten lopputuotteiden tuotanto. On kuitenkin epävarmaa, missä määrin nykyisen kaltaisia fossiilipohjaisia tuotteita valmistetaan tulevaisuudessa ja siirtykö tuotannon painopiste, ja millä aikataululla, uusiutuvista raaka-aineista valmistettaviin vähäpäästöisiin tuotteisiin. Esimerkiksi syksyllä 2022 Neste ilmoitti selvittävänsä raakaöljyn jalostuksen lopettamista (ks. Case esimerkki 1), jolla olisi kiistatta suuri vaikutus päästövähennyspolkuun ja valittuihin teknologisiin ratkaisuihin. Tämänkaltaisiin yritystason valintoihin ei kuitenkaan selvityksen puitteissa oteta kantaa.

Merkittävä osa nykyisen kemianteollisuuden syötteistä on fossiilipohjaisia ja jalostusprosessi nojaa vahvasti fossiilipohjaisiin ostopolttoaineisiin sekä prosessissa syntyneisiin fossiilipohjaisiin sivutuotteisiin. Prosessien sähköistämällä voidaan leikata ostopolttoaineista syntyviä päästöjä mutta sivutuotteena syntyvien fossiilisten sivuvirtojen poistaminen edellyttää pääsääntöisesti hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia. Prosessi-integraatioon haasteet tekevät kemianteollisuuden päästövähennysinvestoinneista monimutkaisia, usein edellyttäen usean yrityksen keskinäistä koordinaatiota.

Tarkastelun piirissä olevat yritykset hankkivat ostoenergiansa pitkälti tehdasalueen voimalaitoksesta. Voimalaitoksen nykyinen sekä viime aikoina uusittu kattilakanta nojaa voimakkaasti maakaasun, ja näin ollen alueen energiantuotannon päästöjen leikkaaminen voi muodostua haasteelliseksi ilman CCS:ää vaikka ostopolttoaineita korvattaisiinkin prosessin sivusyötteillä. Näin ollen tässä selvityksessä esiin tuotu lähes-tymistapa höyryntuotannon päästöjen leikkaamiseksi voi olla toteutettavuudeltaan ja aikataulullisesti haastava huomioiden vasta tehdyt investoinnit.

Useat kemianteollisuuden ratkaisuisista eivät myöskään ole vielä kaupallisesti saatavilla ja merkittäviä panostuksia sekä varhaisen vaiheen kehittämiseen että demonstraatioihin edellytetään. Päästöoikeuden hinnalla, vihreän vedyn saatavuudella ja CCS teknologian kehittämisellä, markkinan synnyllä sekä regulaation kehittämisellä on arvioitu olevan merkittävä vaikutus investointien toteutumiseen. Tämän lisäksi investointiaikatauluun vaikuttavat keskimäärin viiden vuoden välein tapahtuvat huoltoseisokit ja yritysten julkistamat päästövähennystavoitteet. Investointien aikataulun arvioinnissa on hyödynnetty yritysten omia ulostuloja, käynnissä olevia kehityshankkeita sekä AFRYn teknisten asiantuntijoiden arvioita teknologisen kehittymisen aikatauluista.

### **Case esimerkki 1**

#### ***Neste selvittää raakaöljyn jalostuksen lopettamista Porvoossa***

Syyskuussa 2022 Neste kertoi käynnistävänsä selvityksen Porvoon jalostamon siirtymisestä raakaöljystä muihin raaka-aineisiin<sup>10</sup>. Nesteen mukaan tämä voisi johtaa raakaöljyn jalostamisen päättymiseen 2030-luvun puolivälissä. Nesteen Porvoon jalostamon toiminnoista noin 85 % keskittyy raakaöljynjalostuksen ja loput 15 % uusiutuviin polttoaineisiin. Vuonna 2021 Neste lakkautti Naantalın jalostamon, joka oli yrityksen toinen raakaöljyn jalostamo.

Mikäli Neste lopettaisi raakaöljyn jalostamisen Porvoossa, öljynjalostuksen päästöt leikkaantuisivat Suomessa merkittävästi ja yllä esitettyjen korvausinvestointien tarve vähenisi. Nesteen mahdollisella päätöksellä voisi olla vaikutuksia myös muihin jalostamoalueella toimiviin yrityksiin huomioiden teollisuusalueen prosessien keskinäisriippuvuus. Näin ollen Nesteen selvitystyön tuloksilla on merkittävä vaikutus Suomen kemianteollisuuden päästöihin ja korvausinvestointien sijaan investointitarve voi keskittyä entistä vahvemmin täysiin uusiin, vihreisiin investointeihin.

10 <https://www.neste.com/releases-and-news/renewable-solutions/neste-launches-strategic-study-transitioning-its-porvoo-refinery-renewable-and-circular-site-and>

## 2.3 Terästeollisuus

Vuonna 2021 terästeollisuuden päästöt olivat 41 % kaikista teollisuuden päästöistä. Terästeollisuus kattaa sekä hiiliteräksen, että ruostumattoman teräksen tuotantoon liittyvät laitokset.

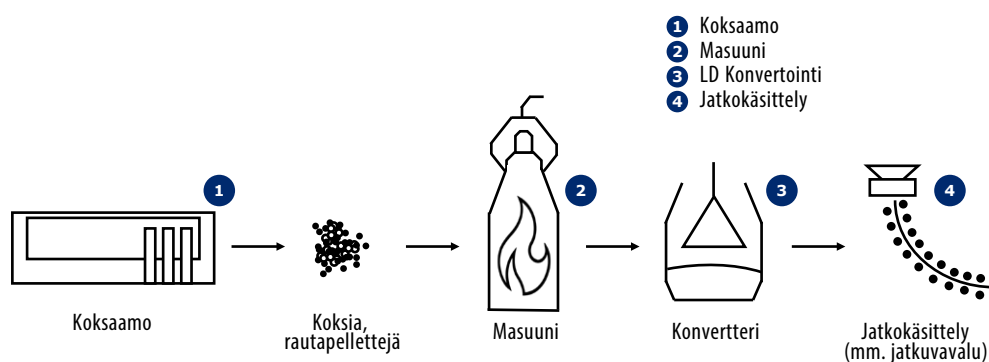
Selvitys kattaa suurimmat toimijat Suomessa kummaltakin alalta, joiden yhteenlasketut päästöt olivat noin 5 Mt CO<sub>2</sub> vuonna 2021. Polttoaineina teräksen valmistukseen käytetään tällä hetkellä maakaasua, propaania, hiiltä, sekä prosesseissa syntyvää häkäkaasua. Terästeollisuuden osalta työ on eritelty päästöjen, sekä teknologioiden osalta erikseen hiiliteräkselle ja ruostumattoman teräkselle.

### 2.3.1 Päästöt ja päästöjen syntyprosessit

#### Hiiliteräksen tuotanto

Hiiliterästuotannossa rautamalmin pelkistetään koksien ja hiilimonoksidin avulla masuunissa raakaraudaksi. Pelkistysreaktiossa rautamalmin sisältämä happi pelkistyy hiilen avulla, joka yleisimmin tuodaan prosessiin koksien muodossa. Raakarauta sisältää noin 4,5 prosenttia hiiltä, joka poltetaan konverterissa raudan näin muuttuessa teräkseksi. Kuva 5 esittää hiiliteräksen tuotantoprosessin ja Taulukko 3 tuotantoprosessin päästölähteet.

**Kuva 5** Hiiliteräksen tuotannon prosessikuvaus



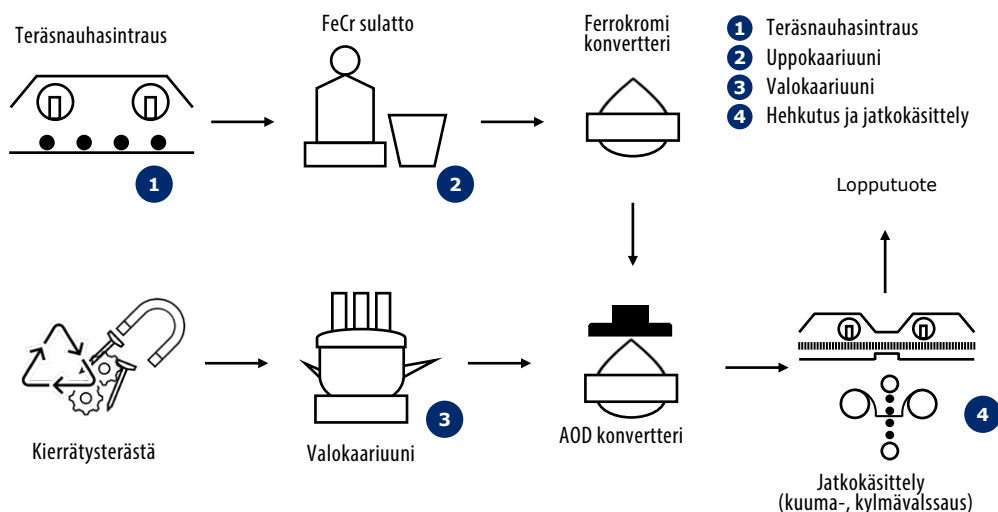
**Taulukko 3** Hiiliterästuotannon päästölähteet

Prosessi	Syy	Polttoaine	Kuvaus	Päästöjen osuus
<b>Koksaamo</b>	Koksi toimii masuuni-prosessissa pelkistimenä	Koksikaasu, masuunikaasu, hiili	Koksaamalla tuotetaan kivihiilestä koksia	5%
<b>Masuuni</b>	Raudan pelkistäminen	Hiili	Masuunissa rautamalmin rautaoksidit pelkistetään koksilla ja hiilimonoksidilla	75%
<b>LD Konvertointi</b>	Raakateräksen valmistus	Hiili, happi	Raakateräs valmistetaan rautasulasta happea puhaltamalla	15%
<b>Jatkokäsittely</b>	Teräksen jatkokäsittely asiakkaan vaatimaan	Koksikaasu/LNG (askelpalkkiuuni)	Senkkauuni, jatkuvavalu, kuumavalssa	5%

### Ruostumattoman teräksen tuotanto

Ruostumattoman teräksen valmistus alkaa, kun kromimalmipelleiteistä sekä -palarikasteesta sulatetaan uppokaariuunissa ferrokromia. Samanaikaisesti kierrätysteräs sulatetaan valokaariuunissa, jonka jälkeen seokset yhdistetään oikeassa suhteessa saavuttaen haluttu ruostumattoman teräksen koostumus. Tästä teräs siirtyy eteenpäin jatkokäsittelyä varten. Kuva 6 kuvaa ruostumattoman teräksen tuotantoprosessin ja Taulukko 4 esittelee tuotantoprosessin päästölähteet.

**Kuva 6** Ruostumattoman teräksen tuotannon prosessikuvaus



**Taulukko 4** Ruostumattoman teräksen päästölähteet

Prosessi	Syy	Polttoaine	Kuvaus	Päästöjen osuus
<b>Teräsnauhasintraus</b>	Pellettien tuottaminen sulaton käyttöön	Häkäkaasu (hyödynnetään muista prosesseista)	Hienorikaste murskataan ja kuumennetaan hyödyntämällä häkäkaasua	10%
<b>Uppokaariuuni</b>	Pelletit ja palarikaste sulatetaan ferrokromiksi, pelkistetään hiilellä	Sähkö, hiili	Sulattaminen tapahtuu 1600°C hiilen avulla	55%
<b>Valokaariuuni (FeCr + rauta)</b>	Kierrätysteräs sulatetaan muiden raaka-aineiden kanssa	Sähkö	Teräs sulatetaan nostamalla lämpötila 1600°C	20%
<b>Hehkutus ja jälkikäsittely</b>	Ruostumaton teräs kuumennetaan käsittelyä varten	Häkäkaasu (hyödynnetään muista prosesseista), LNG	Aihiot kuumennetaan 1200°C askelpalkkiuunissa ja ohennetaan valssaamalla	15%

## 2.3.2 Päästövähennysteknologiat ja tarvittavat investoinnit

### Hiiliteräksen tuotanto

**Taulukko 5** Hiiliterästuotannon päästövähennysratkaisut

Prosessi	Ratkaisut
Koksaamo	Suorapelkistys vedyllä
Masuuni	Suorapelkistys vedyllä
LD Konvertointi	Minimill tuotanto
Loppukäsittely	Sähköistäminen

#### Päästövähennysratkaisu: Suorapelkistys vedyllä

Kuvaus	Rautapellettien suorapelkistys vedyn avulla
TRL	7
Rajoitteet	
Päästövähennyspotentiaali	70%
Aikataulu	2040: Suorapelkistys Suomessa, ennen tätä rautasieni tuodaan Suomeen muista pohjoismaista
CAPEX	2 mrdEUR: Laitos raudan pelkistykseen fossiilivapaalla vedyllä

#### Päästövähennysratkaisu: Minimill tuotanto

Kuvaus	Valokaariuunit, senkkauunit, kaasunpoisto
TRL	9
Rajoitteet	
Päästövähennys- potentiaali	15%
Aikataulu	Pohjoismaisen ohutlevytuotannon muutos – minimill- tuotanto, joka korvaa masuunit valokaariuuneilla lanseerataan pohjoismaissa noin 2030
CAPEX	2 mrdEUR: minimill tuotanto sisältää valokaariuunit sekä valssaamot



**Päästövähennysratkaisu: Sähköistäminen**

Kuvaus	Loppukäsittelyssä olevien prosessien sähköistäminen
TRL	9
Rajoitteet	
Päästövähennys- potentiaali	5%
Aikataulu	2030 mennessä, merkittävimmin saastuttavissa prosesseissa jo mahdollista
CAPEX	15 mEUR: Valulaitteet, kuumavalssaus

**Ruostumattoman teräksen tuotanto****Taulukko 6** Ruostumattoman teräksen tuotannon päästövähennysratkaisut

Prosessi	Ratkaisut	
Teräsnauhasintraus	Hiilen korvaaminen biohiilellä	Vetypolttimet
Uppokaariuuni	DC-uunit	Hiilen korvaaminen biohiilellä
Valokaariuuni	Hiilen korvaaminen biohiilellä	
Hehkutus ja jälkikäsittely	Vetypolttimet	Induktio

**Päästövähennysratkaisu: DC-uunit**

Kuvaus	Nykyisten uunien korvaaminen tasavirta (DC) -uuneilla, jotka ovat sallivampia biokoksin suhteen
TRL	2
Rajoitteet	Kasvattaa energian kulutusta, kannattavuus heikkenee merkittävästi
Päästövähennyspotentiaali	55 %
Aikataulu	2040: Prosessi on tällä hetkellä kannattavuudeltaan liian heikko, on epävarmaa milloin teknologian kehitysaste tulee olemaan riittävällä tasolla saavuttaakseen kannattavuuden
CAPEX	3 miljardia: Kaikkien ferrokromiuunien korvaaminen uusilla uuneilla

### Päästövähennysratkaisu: Hiilen korvaaminen biohiilellä

Kuvaus	Teräsnauhasintrauksessa ja valokaariuunissa käytetyn fossiilisperäisen hiilen korvaaminen biohiilellä
TRL	9
Rajoitteet	Biohiilen kustannus ja saatavuus haaste, tällä hetkellä prosessi hyödyntää hiiltä uppovalokaariuunista, joten tämänkin hiili korvattava biohiilellä. Biohiilen koostumus ei yhtä hyvä, joten hiiltä tarvitaan enemmän joka korostaa haastavaa tarjontatilannetta entisestään
Päästövähennyspotentiaali	20%
Aikataulu	Mahdollista jo tänä päivänä, oletettu 2030 mennessä
CAPEX	300 mEUR: Mahdollisesti uusi syöttömekanismi, biohiilen käsittelylaitos

### Päästövähennysratkaisu: Vetypolttimet

Kuvaus	Vetypolttimien käyttö teräsnauhasintrauksessa sekä alaprosesseissa maakaasun sijaan
TRL	3
Rajoitteet	Vetypolttimia ei ole kyseisissä prosesseissa käytössä ja on epäselvää olisivatko vedyn lämpöarvot riittävät. Lisäksi prosessi toimii tällä hetkellä suurimmaksi osaksi uppovalokaariuunilta tulevalla CO-kaasulla, joten ennen uppokaariuunin korvaamista prosessia ei ole syytä muuttaa.
Päästövähennyspotentiaali	10%
Aikataulu	Prosessia testattu laboratoriossa, jotta päästäisiin teknologian kehitystasolle pitäisi tehdä pilottikokeita ja osoittaa laitoksella että toimii – mm. laitteen määrittäminen, vedyn varastointi, ja skaalaus ovat avoimia olevia kysymyksiä 2030
CAPEX	10 mEUR: Vetypolttimet teräsnauhasintraukseen sekä hehkutukseen

### Päästövähennysratkaisu: Induktio

Kuvaus	Hehkutuksessa maakaasun/vedyn korvaaminen induktioon perustuvalla prosessilla
TRL	5
Rajoitteet	Tehty vasta pienessä mittakaavassa – teknologian kehityttävä merkittävästi tullakseen yleisesti käyttöön
Päästövähennyspotentiaali	15%
Aikataulu	2035–2040
CAPEX	200 mEUR

### 2.3.3 Investointeihin vaikuttavat tekijät

Terästeollisuuden päästövähennyksiin vaadittavien teknologioiden kypsyys on vaihtelevaa: hiiliteräksen polku hiilineutraaliin tuotantoon on selkeä, kun taas ruostumattoman teräksen päästövähennysprosessit sisältävät useita avoimia kysymyksiä.

Hiiliteräksen osalta teknologian kehitys on pitkällä (ks. Case esimerkki 2). Keskeisimmät ratkaisut ovat jo teollisessa mittakaavassa testattuja ja yhtiöt ovat julkaisseet aikataulun teknologioiden käyttöönotolle. Merkittävimpänä kysymyksenä hiiliteräksen investointeihin liittyen on se, mitkä tuotantoprosessin vaiheet tulevat sijoittumaan Suomeen.

Ruostumattoman teräksen valmistuksessa suurin epävarmuus nousee uppokaariuunien hiilen korvaamisesta. Uppokaariuunin tuotantoparametrien vaihtaminen vaikuttaa herkästi lopputuotteeseen ja hiilen korvaaminen kokonaan biohiilellä on nähty erittäin haastavaksi. Tämä johtuu biohiilen heikommasta mekaanisesta rakenteesta sekä korkeammasta reaktiivisuudesta, joka vaikuttaa hiilen lujuuteen entisestään siirtäen uunin tehoa väärin paikkoihin. Korvaamistoimet ovat kuitenkin nähty todennäköisinä osalle hiilestä, joka mahdollistaisi hääkäasun hyödyntämisen edelleen muissa prosesseissa. Korvaaminen vaatii kuitenkin edelleen huomattavaa tutkimustyötä ja biohiilen saatavuus saattaa nousta tulevaisuudessa myös keskeiseksi kysymykseksi.

Kummallakin toimialalla vähähiilisyiden edellytyksenä on kohtuuhintaisen päästöttömän sähkön saatavuus. Yritykset ovat tulleet julkisuuteen selkeiden hiilidioksidipäästövähennys tavoitteiden kanssa, ja työ hiilineutraaliustiekarttojen ja investointisuunnitelmien laatimiseksi on vähintäänkin aloitettu.

**Case esimerkki 2*****Maailman ensimmäiset erät fossiilivapaata terästä toimitettu<sup>11</sup>***

Elokuun lopulla 2021 SSAB uutisoi valmistaneensa ja toimittaneensa maailman ensimmäiset fossiilivapaat teräkset ja toimittanut ne asiakkaalle, Volvo Groupille.

SSAB:n Oxelösundin tehdas valssasi heinäkuussa 2021 ensimmäiset HYBRIT-tekniikalla valmistetut teräkset, jossa raaka-aineena käytetty rauta on pelkistetty täysin fossiilivapaalla vedyllä kivihiilen ja kaksin sijaan. ”Maailman ensimmäinen fossiilivapaa teräs ei ole läpimurto vain SSAB:lle, vaan se on osoitus siitä, että terästeollisuuden ilmastojalanjälki on mahdollista muuttaa ja vähentää sitä merkittävästi maailmanlaajuisesti. Toivomme, että tämä innostaa myös muita nopeuttamaan vihreän siirtymän vauhtia”, sanoo SSAB:n toimitusjohtaja Martin Lindqvist.

SSAB, LKAB ja Vattenfall perustivat HYBRIT-hankkeen (Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology) vuonna 2016 tavoitteenaan kehittää teknologia fossiilivapaan raudan ja teräksen tuotantoon. Kesäkuussa 2021 nämä kolme yritystä pystyivät esittelemään maailman ensimmäiset vetypelkistetyt rautasienet, jotka tuotettiin HYBRITin Luulajan pilottilaitoksessa.

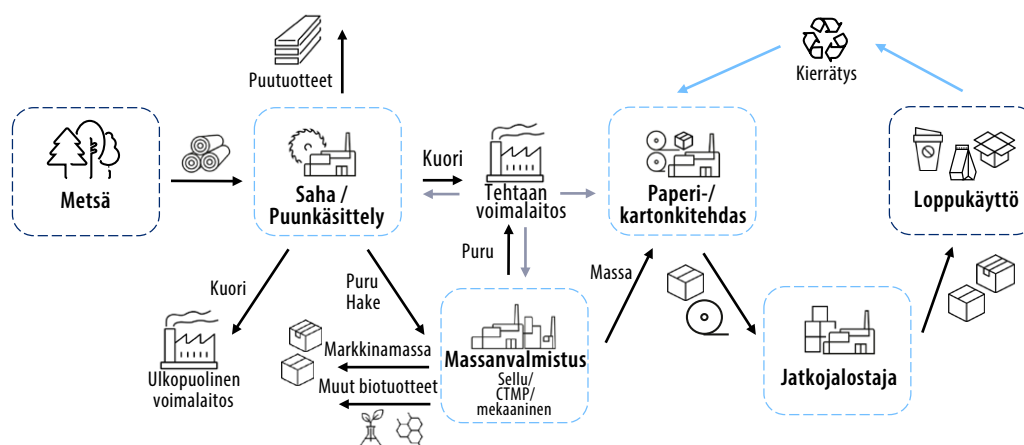
## 2.4 Metsäteollisuus

Metsäteollisuuden massan ja paperinvalmistus käsitti noin 18 prosenttia Suomen teollisuuden hiilidioksidipäästöistä vuonna 2021. Näistä kaksi kolmasosaa on peräisin metsäteollisuuden kymmenen suurimman tuotantolaitoksen päästöistä. Tämän tarkastelun piirissä on kemiallinen metsäteollisuus, eli massaa, paperia ja kartonkia valmistavat laitokset. Sahat tai paperin ja kartongin jatkojalostuslaitokset eivät ole tarkastelun piirissä, paitsi jos ne ovat osana tehdasintegraattia.

<sup>11</sup> <https://www.ssab.com/fi-fi/uutiset/2021/08/maailman-ensimmiset-ert-fossiilivapaata-terst-toimitusvalmiina>

Suomessa metsäteollisuuden tuotantolaitokset ovat tyypillisesti suuria ja laitostoiminnot hyvin integroituneita. Integrointiaste kuitenkin vaihtelee eri laitosten välillä. Osa laitoksista on ns. monituoteintegraatteja, jotka tuottavat erilaisia puupohjaisia tuotteita sahatavaraa erilaisiin paperi- ja kartonkituotteisiin sekä muihin biotuotteisiin. Osa laitoksista puolestaan on keskittynyt pääasiassa massan, kartongin tai paperin valmistukseen. Päätuotteen rinnalla syntyviä tuotantojakeita ohjataan aina myös hyötykäyttöön esimerkiksi energian tuotannossa. Kuva 7 kuvaa esimerkkiä metsäteollisuusintegraatista.

**Kuva 7** Esimerkki metsäteollisuusintegraatista



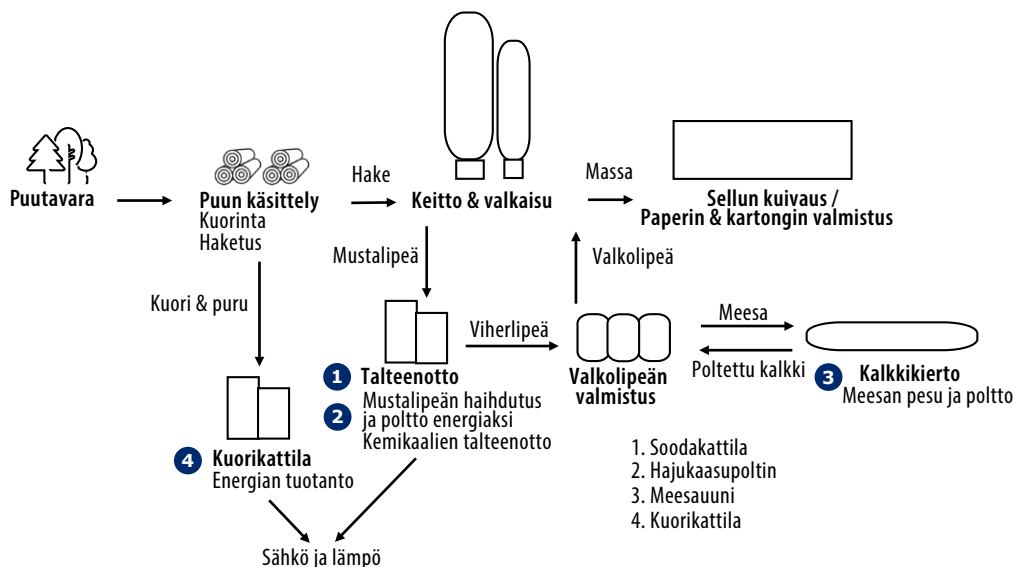
## 2.4.1 Päästöt ja päästöjen syntyprosessit

Massanvalmistuksen prosessit voidaan karkeasti jakaa seuraaviin osa-alueisiin: puunkäsittely, massanvalmistus (kuidutus ja valkaisu) sekä massan kuivaus. Massanvalmistus voi tapahtua kemiallisesti (sulfaatti ja sulfiittisellu), kemimekaanisesti (CTMP-massa) tai mekaanisesti (hieko ja hierre). Sulfaattisellu on yleisin massalaji ja sen valmistuksen vaiheet on tarkemmin esitetty Kuvan 8 prosessikuvauksessa.

Sulfaattisellutehtaassa, massanvalmistuksen ohella, merkittävän prosessikokonaisuuden muodostaa nk. kemikaalikierto. Sellunkeitossa muodostuva mustalipeä poltetaan soodakattilassa, jossa sen sisältämä orgaaninen aine hyödynnetään energiana ja kemikaalit otetaan talteen. Talteen otetuista kemikaaleista valmistetaan uudelleen sellun keittokemikaalia, eli valkolipeää. Valkolipeän valmistusprosessissa tarvitaan poltettua kalkkia (CaO) ja siinä muodostuu meesaa eli kalsiumkarbonaattia (CaCO<sub>3</sub>). Meesaa poltetaan meesauunissa poltetuksi kalkiksi, jotta sen uudelleenkäyttö valkolipeän valmistuksessa on mahdollista.

Sulfaattisellutehtaat ovat tyypillisesti yliomavaraisia prosessin sivutuotteista valmistetun energian suhteen. Mekaaninen massanvalmistus on merkittävä sähkönkäyttäjä.

Kuva 8 Sulfaattisellun valmistusprosessi



Paperin ja kartongin valmistus on toinen kemiallisen metsäteollisuuden kokonaisuus. Näissä prosesseissa määristä massasulpuista kuivataan toivotut ominaisuudet omaava lopputuote. Paperin ja kartongin pintaan voidaan myös lisätä erilaisia päällysteitä. Kuivaus voi tapahtua mekaanisesti (esim. imemällä tai puristamalla) tai termisesti eli lämpöä hyödyntämällä. Termisen kuivauksen lämmönlähteenä voidaan käyttää voimalaitoksella tuotettua höyryä tai tuottaa lämpö suoraan käyttökohteessa polttoaineita tai sähköä käyttämällä. Tyypillisiä käyttökohteita on esimerkiksi infra- ja leijukuivaimet, termotelat, kalanterit ja jenkisyylinterit.

Päästölähteet ja niiden suhteelliset osuudet kokonaispäästöstä riippuvat laitospäästösäädöistä sekä siitä onko tehtaalla jo implementoitu fossiilisia polttoaineita korvaavia ratkaisuja. Taulukko 7 esittää tyypillisiä päästölähteitä ja päästöjen osuuksia jakaen tehtaat markkinasellutehtaisiin (S), integroituihin laitoksiin (I), jotka pohjautuvat sulfaattisellun valmistukseen, sekä itsenäisiin paperi- ja kartonkitehtaisiin (P&K).

**Taulukko 7** Metsäteollisuuden päästölähteet<sup>12</sup>

Prosessi	Syy	Polttoaine	Kuvaus	Päästöjen osuus
Meesauuni	Meesan poltto kalsiumoksidiksi uudelleenkäytön mahdollistamiseksi	Maakaasu, POR, POK	Reaktio tapahtuu korkeassa n. 1100°C lämpötilassa.	S: 80–90% I: 10–70%
Soodakattila	Mustalipeän poltto energiaksi sekä keittokemikaalien talteen ottamiseksi	Maakaasu, POR, POK	Ylös- ja alasajoissa tarvitaan tukipolttoaineita lipeän palamislämpötilan saavuttamiseksi.	S: 10% I: <5%
Hajukaasupoltin	Väkevien hajukaasujen käsittely hajuhaitan pienentämiseksi ja rikin talteen ottamiseksi	Maakaasu, POR, POK	Hajurikkiyhdisteiden (TRS) hapettaminen rikkidioksidiksi vaatii korkean n. 800°C lämpötilan.  Voi tarvita fossiilisia startti- ja/tai tukipolttoaineita.	S: <5% I: <5%
Voimalaitos	Höyryn ja sähkön tuotanto prosessien tarpeisiin	Fossiiliset polttoaineet	Pääpolttoaineena tai tuki- ja/tai varapolttoaineina	S: <10% I: 50–90% P&K: >90%
Muut (paperin ja kartongin kuivaus ja laatu) <sup>1</sup>	Kartongin ja päällysteen kuivaus sekä kiillotus	Maakaasu	Prosessi tarvitsee lämpöä	I: <5% P&K: <10%

1 Esimerkiksi infra- ja leijukuivaimet, termotelat, kalanterit ja jenkkisyinterit

12 Tehtaiden ympäristöluvut, ympäristölupahakemukset, ympäristövaikutusten arvioinnit sekä yritysten nettisivut ja vuosiraportit.

Metsäteollisuus on murrostilassa, uusia puuperäisiä tuotteita kehitetään jatkuvasti ja perinteisten tuotteiden kysyntä muuttuu. Globaalisti esimerkiksi painopapereiden kysyntä on lievässä laskussa, kun taas pakkausmateriaalien ja hygieniatuotteiden kysynnän oletetaan kasvavan merkittävästi. Tuotantosuunnan muutokset voivat vaatia merkittäviä investointeja tuotantolaitoksilla ja vaikuttavat luonnollisesti myös tarvittaviin massalaatuuihin.<sup>13</sup>

Tehdaskokonaisuuksia ajatellaan nykyään biotuotetehtaina, joissa kaikki puunosat ja sivuvirrat pyritään hyödyntämään korkean jalostusasteen tuotteina. Esimerkiksi perinteisesti soodakattilassa energiantuotannossa hyödynnetty mustalipeän sisältämä ligniini voidaan erottaa ja sitä voidaan hyödyntää eri käyttötarkoituksissa<sup>14</sup> (ks. Case esimerkki 3). Mäntyöljystä ja tärpätistä kehitetään uusia jatkojalosteita, kuten uusiutuvaa biodieseliä tai naftaa biojalostamalla.<sup>15</sup> Hajukaasujen sisältämästä rikistä voidaan valmistaa rikkihappoa tehtaan käyttöön.<sup>16</sup>

Edellä mainituilla toimenpiteillä voi olla merkittäviä vaikutuksia tehtaan energia-, kemikaali- ja massataseisiin ja siten vaikuttaa päästölähteisiin tai niiden osuuksiin. Tämänkaltaisia strategisia muutoksia ei ole huomioitu tässä analyysissä, vaan päästövähennysratkaisut on kohdistettu nykyisiin päästölähteisiin olettaen, että tehtaiden ydinprosessit säilyvät nykyisenkaltaisina.

---

13 [https://global-uploads.webflow.com/5f44f62ce4d302179b465b3a/5fae9c-3de86a240e06b76565\\_Metsa\\_Esite\\_Email.pdf](https://global-uploads.webflow.com/5f44f62ce4d302179b465b3a/5fae9c-3de86a240e06b76565_Metsa_Esite_Email.pdf)

14 <https://www.storaenso.com/fi-fi/products/lignin>

15 <https://www.upmbiofuels.com/fi/upm-biopolttoaineet/upm-lappeenrannan-biojalostamo/>

16 <https://www.andritz.com/products-en/group/pulp-and-paper/pulp-production/kraft-pulp/a-recovery-plus/sulfuric-acid-production>



### **Case esimerkki 3** **Ligniinin matka puusta akun anodiin<sup>1718</sup>**

Ligniini on yksi puun pääkomponenteista. Se erotetaan puusta sellukuidun valmistusprosessin yhteydessä ja hyödynnetään perinteisesti energiantuotannossa.

Ligniini on monikäyttöinen materiaali jota voidaan hyödyntää monilla eri aloilla, kuten auto-, rakennus-, pinnoite-, muovi- ja lääketieteellisyydessä ja maataloudessa. Näissä ligniini korvaa fossiiliperäisiä raaka-aineita.

Uusia kehitteillä olevia ligniinin käyttökohteita ovat hiilikuidut ja energian varastoinnissa, eli akuissa, käytettävä hiili. Litiumakuissa ligniinistä jalostettu kovahiili korvasi fossiilipohjaisen uusiutumattoman grafiitin. Mahdollisia käyttösovelluksia ovat sähköautot, kulutuselektroniikka ja suuret energianvarastointijärjestelmät.

Ligniiniä on ollut teollisessa tuotannossa jo useita vuosia, mutta laajamittainen tuotanto on vielä harvinaista. Vuonna 2021 Stora Enson Sunilan tehtaalla on aloittanut toimintansa koelaitos, jossa ligniinistä jalostetaan kovahiili-anodimateriaalia.

---

17 <https://www.storaenso.com/fi-fi/products/lignin>

18 <https://www.upmbiochemicals.com/lignin-solutions/>

## 2.4.2 Päästövähennysteknologiat ja tarvittavat investoinnit

**Taulukko 8** Metsäteollisuuden päästövähennysratkaisut

Prosessi		Ratkaisut	
Meesauuni	Biopolttoaineet	Sähköistäminen	
Soodakattila			
Hajukaasupoltin			Muu polttopaikka
Voimalaitos			
Muut (paperin kuivaus ja laatu)		Sähköistäminen	Höyryn käyttö

### Päästövähennysratkaisu: Meesauunin polttoaineena tuotekaasu

Kuvaus	Meesauunin polttoaineena on kuoresta ja muusta biomassasta tehtaalla valmistettu tuotekaasu. Käytössä oleva teknologia ja tyypillinen ratkaisu.
TRL	9
Rajoitteet	<p>Kaasutukseen ja tuotekaasun käyttöön liittyy prosessitekniisiä ja turvallisuuteen liittyviä haasteita, jotka ovat kuitenkin ratkaistavissa.</p> <p>Raaka-aineen käsittelyn ja kaasutuslaitteistot tarvitsevat paljon tilaa meesauunin välittömästä läheisyydestä. Voi olla haaste etenkin olemassa olevilla laitoksilla.</p> <p>Polttoaineen vaihto maakaasusta tai polttoöljystä aiheuttaa meesauunin kapasiteetin laskua. Jos meesauuni on tuotannon pullonkaula polttoaineen vaihto voi tarkoittaa koko uunin uusintaa tai sen kapasiteetin nostoa.</p>
Päästövähennyspotentiaali	Tuotekaasulla voidaan korvata >90% uunin polttoainetarpeesta. Tukipolttoaineita tarvitaan yhä ylös- ja alasajoissa sekä mahdollisissa kaasuttimen häiriötilanteissa (kaasua ei voida varastoida vaan menee suoraan tuotannosta käyttöön).
Aikataulu	Investointiaikataulu riippuu tehtaasta. Mahdollista jo nyt ja oletettavissa ennen vuotta 2040. Vaihtoehtoinen ratkaisulle 2.
CAPEX	<p>Esimerkki-investointi teollisuusalueella:</p> <p>Kaasutin 25–50mEUR</p> <p>Meesauunin uusinta 35–75mEUR (tarvittaessa)</p>

### Päästövähennysratkaisu: Meesauunin polttoaineena puujauhe

Kuvaus	Meesauunin polttoaineena on hakkeesta ja sahanpurusta valmistettu puujauhe. Käytössä oleva teknologia.
TRL	9
Rajoitteet	<p>Polttoaineen tasalaatuisuuden ja polton toimintavarmuuden hallinta haastavaa, mahdollisesti jatkuva tukipolttoaineen tarve.</p> <p>Raaka-aineen laatuvaatimuksien vuoksi saatavuus voi olla haaste. Käytännössä tämä on vaihtoehto vain tehtaille, joilla oma tai lähellä on saha, joka takaa tasalaatuisen raaka-aineen saatavuuden.</p> <p>Raaka-aineen käsittelyyn ja polttoaineen käyttöön liittyy prosessitekniisiä ja turvallisuuteen liittyviä haasteita, jotka ovat kuitenkin ratkaistavissa.</p> <p>Raaka-aineen käsittelyn laitteistot tarvitsevat paljon tilaa, voi olla haaste olemassa olevilla laitoksilla.</p> <p>Polttoaineen vaihto maakaasusta tai polttoöljystä aiheuttaa meesauunin kapasiteetin laskua. Kapasiteetin lasku on merkittävämpi puujauheella kuin tuotekaasulla. Jos meesauuni on tuotannon pullonkaula polttoaineen vaihto voi tarkoittaa koko uunin uusintaa tai sen kapasiteetin nostoa.</p>
Päästövähennyspotentiaali	<p>Tuotekaasulla voidaan korvata noin 85% uunin polttoainetarpeesta.</p> <p>On oletettavaa että tarvitaan jatkuva tukipolttoaine. Tukipolttoaineita tarvitaan lisäksi ylös- ja alasajoissa sekä mahdollisissa polttoaineen valmistuksen häiriötilanteissa.</p>
Aikataulu	Investointiaikataulu riippuu tehtaasta. Mahdollista jo nyt ja oletettavissa ennen vuotta 2040. Vaihtoehtoinen ratkaisulle 1.
CAPEX	<p>Esimerkki-investointi teollisuusalueella:</p> <p>Raaka-aineen käsittely + polttimien uusinta 15–25mEUR</p> <p>Meesauunin uusinta 35–75mEUR (tarvittaessa)</p>

**Päästövähennysratkaisu: Sähköinen meesauuni**

Kuvaus	Kalsinointi toteutetaan sähköllä tai sähköllä valmistetulla plasmakaasulla
TRL	4–5
Rajoitteet	Sähköinen uuni on vasta kehityksen alkuvaiheessa. Meesauuni on sellutehtaan kemikaalikierron ydinprosessi, mikä voi lisätä varovaisuutta täysin uudentyypin teknologian käyttöönottoon.
Päästövähennyspotentiaali	100% meesauunin CO <sub>2</sub> -päästöistä Lisäksi muut ilmapäästöt pienenevät ja CO <sub>2</sub> -talteenottomahdollisuudet parantuvat.
Aikataulu	Teknologian kehittyminen vie yli 10 vuotta. Todennäköisenä investointipolkuna pidetään meesauunien kääntöä biopolttoaineille ennen 2035. Sähköuuni on mahdollinen ratkaisu pitkällä tulevaisuudessa.

**Päästövähennysratkaisu: Voimalaitos – Biomassakattila**

Kuvaus	Biopolttoaineella korvataan fossiilisia polttoaineita.
TRL	9
Rajoitteet	Riippuen kohteesta voi tarkoittaa olemassa olevan kattilan modifiointia tai uuden kattilan rakentamista. Soveltuvaan ratkaisuun vaikuttavat mm. nykyisen laitteiston ikä ja kapasiteetin riittävyys sekä konversioon vaadittavien investointien laajuus ja kustannus. Kattilakonversiossa tarvittavia muutoksia voivat olla esimerkiksi muutokset polttoaineen vastaanottoon ja syöttöön, mahdollinen rikinsyötön lisääminen korroosionestämiseksi, keittoputkistojen pinnoittaminen sekä muutokset savukaasujen puhdistusjärjestelmiin.
Päästövähennyspotentiaali	Lähes 100% energiantuotannon polttoaineista. Vara- ja/tai tukipolttoaineita saatetaan yhä tarvita.
Aikataulu	Mahdollista jo nyt.
CAPEX	Esimerkki-investointi teollisuusalueella: Uusi kattila 50–100mEUR Vanhan kattilan konversio: 10–30mEUR

### Päästövähennysratkaisu: Voimalaitos – Sähkökattila

Kuvaus	Höyryntuotanto sähkökattilalla
TRL	9
Rajoitteet	-
Päästövähennyspotentiaali	Päästötön jos käytetään uusiutuvaa sähköä.
Aikataulu	Mahdollista jo nyt.
CAPEX	Esimerkki-investointi teollisuusalueella: 10–30mEUR Sähkökattilaan liittyy merkittävä käyttökustannusten kasvu sähkön hintaan perustuen.

### Päästövähennysratkaisu: Vaihtoehtoiset varapolttoaineet – Pikiöljy

Kuvaus	<p>Prosessit tulevat tarvitsemaan varmatoimisia vara- ja tukipolttoaineita myös jatkossa.</p> <p>Pikiöljy on polttoöljyä vastaava puuperäinen polttoaine. Sellutehtaan tuottama määrä riittää kattamaan varapolttoainekäytön esim. meesauunissa, soodakattilassa, voimalaitoksella ja hajukaasupolttimessa.</p>
TRL	9
Rajoitteet	<p>Pikiöljyn erottaminen tapahtuu tyypillisesti mäntyöljyn jatkojalostajalla, joten saanti on markkinapohjaista. Teknologia tehtaalla erottamiseen, mikä mahdollistaisi omavaraisuuden, on kehitteillä.</p> <p>Yhteispoltto esim. maakaasun tai tuotekaasun kanssa voi aiheuttaa tiilivaurioita meesauunissa. Kiertoontulevat epäpuhtaudet voivat aiheuttaa prosessitekniisiä ongelmia.</p>
Päästövähennyspotentiaali	Kohteesta riippuen jopa 100% varapolttoainekäytöstä.
Aikataulu	Mahdollista jo nyt. Todennäköistä kun isot muutokset on toteutettu 2040 ->
CAPEX	<p>Tapauskohtainen, kattaa esimerkiksi säiliön, ja maaperänsuojauksen, putkitukset ja mahdollisesti polttimien uusinnan.</p> <p>Esimerkki-investointi teollisuusalueella: 5–15mEUR</p>

### Päästövähennysratkaisu: Vaihtoehtoiset tukipolttoaineet

Kuvaus	Useita selluntuotannon sivuvirtana tai jalostettuna sivutuotteena syntyviä aineita kuten mäntyöljyä, tärpähtiä, metanolia, hajukaasuja, biokaasua ja ligniiniä voidaan käyttää tukipolttoaineena esim. meesauunissa, soodakattilassa ja hajukaasupolttimessa.
TRL	9
Rajoitteet	<p>Tehtaan tuottamat määrät eivät riitä kattamaan koko polttoainetarvetta. Tuotanto ja laatu voi olla epätasaista ja aiheuttaa epävarmuutta saatavuuteen.</p> <p>Tuotteiden markkinoille saattaminen ja jatkojalostaminen voi olla kannattavampaa kuin polttoainekäyttö.</p> <p>Polttoaineiden mukana tulevat epäpuhtaudet voivat aiheuttaa prosessitekniisiä ongelmia.</p>
Päästövähennyspotentiaali	Riippuu mitä polttoainetta korvataan. Jos meesauuni ja voimalaitos toimivat normaalilanteessa päästöttä ei päästövähennysvaikutusta.
Aikataulu	Mahdollista ja osin toteutuu jo nyt. Kannattavuus ja toteutusaikataulu hyvin tehdaskohtaista.
CAPEX	<p>Tätä ratkaisua ei ole huomioitu ratkaisuvaihtoehtona tässä selvityksessä koska soveltuvuus ja kustannus on hyvin tapauskohtaista. Lisäksi oletus on että sivuvirtojen ja tuotteiden jatkojalostus korkeamman arvon tuotteiksi on todennäköisempää kuin polttoainekäyttö merkittävässä määrin.</p> <p>Investointi kattaa esimerkiksi mahdollisen esikäsitteilyn ja varastosäiliön, putkitukset ja polttimot.</p>

### Päästövähennysratkaisu: Hajukaasujen poltto: Vaihtoehtoinen polttopaikka

Kuvaus	Hajukaasut voidaan erilliskattilan sijaan polttaa esimerkiksi soodakattilassa.
TRL	9
Rajoitteet	<p>Soveltuva polttopaikka riippuu tehdaskokonaisuudesta.</p> <p>Hajukaasukattilan rikkipesurin liemi voidaan joissain tapauksissa käyttää edelleen prosesseissa tai rikkihapon valmistuksessa, jolloin poltto erilliskattilassa on kannattavin vaihtoehto. Hajukaasuille tarvitaan aina myös varapolttopaikka.</p>
Päästövähennyspotentiaali	100% hajukaasujen tukipolttoon käytetystä polttoaineesta.
Aikataulu	Mahdollista jo nyt.
CAPEX	Tätä ratkaisua ei ole huomioitu ratkaisuvaihtoehtona tässä selvityksessä koska soveltuvuus ja kustannus on hyvin tapauskohtaista. Investointi kattaa esimerkiksi putkitukset ja polttimot, sekä muutokset polttopaikan laitteistoon.

### Päästövähennysratkaisu: Kartongin kuivaus ja laatu – Polttoaineiden korvaus sähköllä tai höyryllä

Kuvaus	Kartongin valmistuksen prosesseissa lämmöntuotanto fossiililla polttoaineilla korvataan sähköllä. Vaihtoehtoisesti lämmönlähteenä voidaan käyttää höyryä.
TRL	9
Rajoitteet	Joissain kohteissa höyryn käyttöä lämmönlähteenä voi rajoittaa korkea lämpötilavaade. Soveltuvan ratkaisun valintaan vaikuttaa myös tehtaan energiatase, eli höyryn ja sähkön riittävyys.  Osittain uudehkoa teknologiaa, johon liittyy uuden teknologian riskit esim. elinkaaren ja kunnossapitotarpeiden osalta.
Päästövähennyspotentiaali	Sähkökäytöllä päästötön jo käytetään uusiutuvaa sähköä.  Höyrykäyttöisillä riippuu höyryntuotantotavasta.
Aikataulu	Mahdollista jo nyt. Toteutus todennäköisesti vaiheittain.
CAPEX	Esimerkki-investointi teollisuusalueella: 10–30MEUR

Lisäksi energiatehokkuustoimenpiteillä voidaan vähentää tarvittavan energian määrää ja siten fossiilisten tukipolttoaineiden ja varakattiloiden käyttötarvetta. Pieniä ja isoja investointeja voidaan tehdä tehtaan eri alueilla ja prosessinosissa esimerkiksi parantamalla kartonkikoneella mekaanisen kuivauksen tehokkuutta, tehostamalla lämmöntalteenottoa ja lisäämällä hukkalämpöjen hyödyntämistä tai parantamalla biopolttoaineiden lämpöarvoa.

Sellutehtaiden osalta bioperäisten hiilidioksidipäästöjen määrä on merkittävä niin soodakattilan kuin muun bioenergian tuotannon osalta. Bioperäisen hiilidioksidin talteenotto (BECCS) on yksi vaihtoehto, mikäli tehtaat pyrkivät olemaan jopa hiilinegatiivisia. BECCS:n vaatima investointi on merkittävä, eikä EU:n tai Suomen ilmastopolitiikassa toistaiseksi ole kannustimia negatiivisille päästöille.<sup>19</sup> Euroopan komissio on tehnyt marraskuussa 2022 ehdotuksen hiilenpoistojen luotettavasta sertifiointista EU:n ilmastoneutraaliustavoitteen tukemiseksi. Tämän kaltainen toimintaympäristön muutos vaikuttaa merkittävästi hiilidioksidin talteenoton houkuttelevuuteen.

19 <https://www.sitra.fi/app/uploads/2021/08/sitra-korjausliike.pdf>

### 2.4.3 Investointeihin vaikuttavat tekijät

Metsäteollisuuden osalta päästövähennyksiin vaadittavat teknologiat ovat kypsiä ja teollisessa mittakaavassa toimivia. Metsäteollisuusyhtiöillä on julkisia vastuullisuustavoitteita, myös hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi, ja työ hiilineutraaliustiekarttojen ja investointisuunnitelmien laatimiseksi on vähintään aloitettu.

Energiantuotannossa sekä mm. meesauunin polttoaineissa nojataan metsäteollisuuden ratkaisuisissa vahvasti puubiomassaan. Tehtaat ovat monesti joko kokonaan tai osittain omavaraisia tarvittavien polttoaineiden suhteen, mikä tekee usein biopohjista ratkaisuista todennäköisen valinnan.

Investointiaikatauluun vaikuttaa pitkälti nykyisen laitekannan ikä ja korvausinvestointien tarve. Myös yhtiöiden ja tehtaiden omat tavoitteet hiilidioksidipäästöjen pienentämiseksi vaikuttavat aikatauluun. Investoinnit voivat linkittyä laajempiin investointisuunnitelmiin. Tässä analyysissä investointiajankohta on arvioitu pohjautuen yhtiöiden julkisiin tavoitteisiin sekä tiedossa oleviin investointisuunnitelmiin. Niiltä osin kuin julkista tietoa ei ole ollut käytettävissä, aikataulu on arvioitu esimerkiksi nykyisen laitekannan ikään perustuen. Perusoletuksena on ollut päästölähteiden korvaaminen merkittävimmistä pienempiin.

Tietylle tehtaalle soveltuvimmat ratkaisut määrittää pitkälti tehdaskokonaisuus, kuten integraatin muut prosessit ja niiden tarvitsemat hyödykkeet sekä esim. sijainti, joka voi vaikuttaa mm. raaka-aineiden saatavuuteen. Myös tehdasalueella käytettävissä olevat alueet ja prosessien sijoittuminen voivat osaltaan vaikuttaa soveltuvimman ratkaisun valintaan. Tässä analyysissä todennäköisesti soveltuvin ratkaisu on valittu julkisesti saatavilla olevaan tietoon tai AFRYn asiantuntijoiden näkemyksiin perustuen.

## 2.5 Kalkki- ja sementtiteollisuus

Kalkki- ja sementtiteollisuuden päästökaupparekisterin mukaiset päästöt olivat 11 % kaikista teollisuuden päästökaupparekisterin päästöistä vuonna 2021. Päästöt syntyivät kokonaisuudessaan kolmen eri yrityksen kuudella tuotantolaitoksella. Tässä työssä tarkasteltavista tuotantolaitoksista kaksi on kalkin tuotantoa ja kaksi sementin tuotantoa. Tässä kappaleessa käsitellään ensin kalkin ja sementin tuotantoprosessit erillään. Tämän jälkeen tarkastellaan päästövähennysteknologioita ja inventointeja molemmille tuotannoille samanaikaisesti, sillä ratkaisut ovat kummallekin tuotantoprosessille lähes tulkoon samat.



## 2.5.1 Päästöt ja päästöjen syntyprosessit

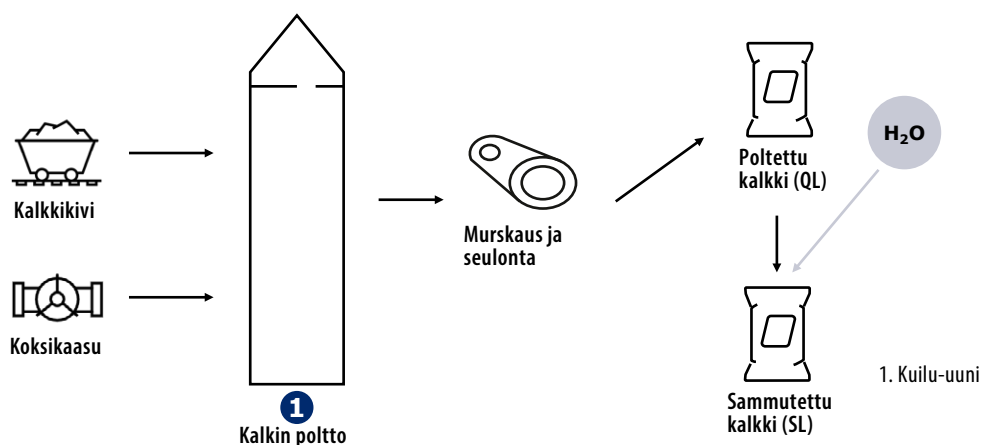
### Kalkin tuotanto

Kaikin tuotanto alkaa kalkkikiven louhinnalla, josta jalostetaan murskattuja ja jauhettuja kalkkikivituotteita, rikastettua kalsiittia sekä poltettua ja sammutettua kalkkia. Tuotantoprosessi ja prosessin pituus vaihtelee eri lopputuotteiden välillä. Kaivostoiminta on rajattu tämän työn ulkopuolelle sillä se ei ole osana päästökauppaa, joten tuotannon arvoketjua tarkastellaan kalkkikiven murskauksesta lopputuotteisiin.

Kaivoksella louhittu kalkkikivi käy läpi karkeamurskauksen, jonka jälkeen se jalostetaan kalkkikiveksi useiden murskausvaiheiden ja seulontojen avulla. Kalkkikiveä voidaan edelleen jauhatkaa, jolloin saadaan lopputuotteena kalkkivijauhetta. Kalkkikiveä käytetään raaka-aineena poltetun kalkin ja siitä jalostettavien lopputuotteiden valmistukseen. Kalkkikivi poltetaan kuilu-uunissa, jossa se hajoaa poltetuksi kalkiksi ja hiilidioksidiksi. Tuotantoprosessissa voidaan käyttää myös kiertounia, joka on hieman heikompi energiatehokkuudeltaan, mutta niitä ei ole käytössä tässä työssä tarkasteltavissa laitoksissa. Polttamisen jälkeen poltettu kalkki murskataan, jolloin saadaan lopputuotteena poltettu kalkki (QL). Lopputuote poltettu kalkki voidaan edelleen jauhatkaa, jolloin saadaan lopputuotteena jauhettu poltettu kalkki tai jalostaa edelleen lisäämällä poltettuun kalkkiin vettä, jolloin lopputuotteena saadaan sammutettu kalkki (SL). Kuva 9 kuvaa kalkista jalostettavien tuotteiden, poltetun kalkin ja sammutetun kalkin tuotantoprosessin yksinkertaistettuna.

Lähes kaikki prosessin päästöt syntyvät kalkin polttovaiheessa, joten tämän työn tarkastelu keskittyy ainoastaan tähän vaiheeseen. Muissa vaiheissa päästöt koostuvat ainoastaan ostosähkön käyttämisestä energianlähteenä, jonka päästöjä ei tässä työssä käsitellä. Muita Scope 2 -päästöjä ei prosessissa synny.

**Kuva 9** Kalkin tuotantoprosessi



Taulukko 9 kuvaa kalkin tuotantoprosessin päästöt yksityiskohtaisemmin. Kuten aiemmin tässä kappaleessa todettiin, päästöt syntyvät Kuva 9 kohdassa 1. Vaikka päästöt syntyvät yhdessä kohdassa prosessia, on päästöjen syntysyitä kaksi, polttoaineen palaminen ja kalkin kalsinoituminen. Kalsinoituminen tarkoittaa kalkkikiven ( $\text{CaCO}_3$ ) hajoamista kalsiumoksidiksi ( $\text{CaO}$ ) ja hiilidioksidiksi ( $\text{CO}_2$ ). Se on välttämätön reaktio kalkkikivestä jalostettavien tuotteiden tuotannossa, ja tuottaa suurimman osan prosessin päästöistä. Kalsinoitumisen välttämättömyys prosessille hankaloittaa päästövähennysten saavuttamista, sillä reaktiota ei voida poistaa ja täten päästöjen syntymistä välttää.

**Taulukko 9** Kalkin tuotannon päästöt<sup>20212223</sup>

Prosessi	Syy	Polttoaine	Kuvaus	Päästöjen osuus
Kuilu-uuni	Kalkin poltto	Häkä- tai koksikaasu	Kalkin kalsinoituminen on välttämätön reaktio lopputuotteiden saamiseksi ja se tapahtuu ~ 900°C lämpötilassa Päästöjä syntyy kalkin kalsinoitumisesta ja polttoaineen palamisessa	Kalsinoituminen 80 % Polttoaineen palaminen 20 %

Polttoaineina käytettävät häkä- ja koksikaasu saadaan terästeollisuuden hukkatuotteina. Häkä- ja koksikaasu eivät ole ainoat polttoaineet, joita kalkkiteollisuudessa käytetään, vaan edustavat polttoaineita tässä työssä tarkasteltavissa laitoksissa. Muissa laitoksissa käytetään pääasiassa kivihiiltä. Kivihiiltä käyttävissä laitoksissa polttoaineen palamisesta johtuvien päästöjen osuus on hiukan suurempi. Kuitenkin päästövähennysratkaisut kivihiiltä käyttäville laitoksille on samoja kuin ratkaisut, jotka esitetään kappaleessa 2.5.2.

20 <https://ylupa.avi.fi/fi-FI/asia/1294053>

21 <https://ylupa.avi.fi/fi-FI/asia/891488>

22 <https://smamineral.se/wp-content/uploads/2021/07/Kest%C3%A4v%C3%A4n-kehityksen-raportti-2020.pdf>

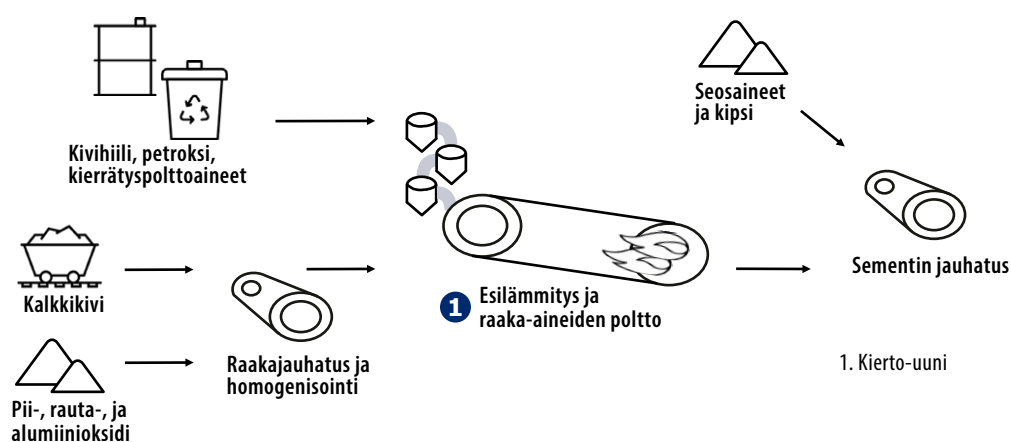
23 [https://www.nordkalk.com/wp-content/uploads/2022/05/REPORT-NORDKALK-sustainability-report\\_2021.pdf](https://www.nordkalk.com/wp-content/uploads/2022/05/REPORT-NORDKALK-sustainability-report_2021.pdf)

## Sementin tuotanto

Sementin tuotannossa käytetään keskeisenä raaka-aineena kalkkikiveä. Prosessin alkuvaiheessa kalkkikivi esihomogenisoidaan, raaka jauhatetaan muiden ainesosien ( pii- ( $\text{SiO}_2$ ), rauta- ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ja alumiinioksidi ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )) kanssa ja raakajauhe homogenisoidaan. Raakajauhe esilämmitetään, jolloin kalkin kalsinointireaktio tapahtuu ja kalkkikiven karbonaatti hajoaa kalsiumoksidiksi ja hiilidioksidiksi. Seuraavaksi sementtiklinkkeri poltetaan kierto-uunissa, joka lämmitetään 1450 celsiusasteeseen. Sementin tuotantoprosessin viimeisessä vaiheessa klinkkeri jauhetaan seosaineiden ja kipsin kanssa kuulamylyllä hienoksi. Kuva 10 kuvaa sementin tuotantoprosessin yksinkertaistettuna.

Lähes kaikki prosessin päästöt syntyvät esilämmityksessä ja poltossa, joita tarkastellaan tässä selvityksessä yhtenä raaka-aineiden poltto prosessina. Tämän työn tarkastelu keskittyy ainoastaan tähän vaiheeseen. Muissa vaiheissa päästöt koostuvat ainoastaan sähkön käyttämisestä energianlähteenä, jonka päästöjä ei tässä työssä käsitellä. Muita Scope 2 -päästöjä kuin ostosähköstä johtuvat päästöt ei prosessissa synny.

### Kuva 10 Sementin tuotantoprosessi



Taulukko 10 kuvaa sementin tuotantoprosessin päästöt yksityiskohtaisemmin. Kuten aiemmin tässä kappaleessa todettiin, päästöt syntyvät Kuva 10 kohdassa 1. Vaikka päästöt syntyvät yhdessä kohdassa prosessia, on päästöjen syntysyitä kaksi, polttoaineen palaminen ja kalkin kalsinoituminen.

**Taulukko 10** Sementin tuotannon päästöt<sup>24252627</sup>

Prosessi	Syy	Polttoaine	Kuvaus	Päästöjen osuus
Kierto-uuni	Raaka- aineiden poltto	Kivihiili, petroksi ~ 55 %	Raaka-aine tulee lämmittää ~ 1450°C asteeseen, jotta kalkki kalsinoituu ja sementtiklinkkeri muodostuu	Kalsinoituminen 60 %
		Kierrätyspoltto- aineet ~ 45 %	Päästöjä syntyy kalkin kalsinoitumisesta ja polttoaineen palamisessa	Polttoaineen palaminen 40 %

Polttoaineena sementin tuotannossa käytetään pääosin fossiilisia polttoaineita, mutta kierrätyspolttoaineiden osuus on jatkuvassa kasvussa. Kierrätys- ja fossiilisten polttoaineiden suhde vaihtelee eri tuotantolaitoksilla. Petroksi syntyy öljynjalostuksen sivutuotteena. Kierrätyspolttoaineiden koostumus vaihtelee, ja niissä hyödynnetään pääasiassa öljynjalostuksen sivutuotteena syntyvää asfalteenia, kierrätysöljyä, neste-kartonkien valmistuksesta kertyvää PPAF-reunanauhaa, rengasmursketta sekä teollisuuden ja kaupan pakkausmateriaalijätteistä valmistettavaa SRF-kierrätyspolttoainetta. Kalsinoitumisen välttämättömyys prosessille hankaloittaa päästövähennysten saavuttamista, sillä reaktiota ei voida poistaa ja täten päästöjen syntymistä välttää. Sementin tuotannossa uunin lämpötilan tulee olla 1450°C, kun poltetun kalkin tuotannossa lämpötilaksi riittää ~900°C. Sementin tuotannon korkeampi lämpötilavaatimus johtuu siitä, että sementtiklinkkerin muodostuminen vaatii korkeamman lämpötilan.

24 <https://ylupa.avi.fi/fi-FI/asia/1261621>

25 <https://ylupa.avi.fi/fi-FI/asia/1261641>

26 <https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/Ymparistoraportti-Finnsementti-2022-1.pdf>

27 <https://finnsementti.fi/palvelut/ymparisto/co2-tarina/>

## 2.5.2 Päästövähennysteknologiat ja tarvittavat investoinnit

Sekä poltetun kalkin että sementin tuotannossa päästöt syntyvät uunissa ja johtuvat kalkin kalsinoitumisesta ja polttoaineiden palamisesta. Vaikka prosesseissa on eroja raaka-aineissa, uunien tyypeissä, polttoaineissa, tarvittavissa lämpötiloissa ja polttoa edeltävissä ja seuraavissa vaiheissa, ovat päästöjä aiheuttava osa prosesseista hyvin samankaltaisia ja päästövähennysteknologiat lähestulkoon samoja. Näistä syistä tässä raportin osassa tarkastellaan molempia tuotantoprosesseja samanaikaisesti. Taulukko 11 kuvaa poltetun kalkin tuotannon ja sementin tuotannon päästövähennysratkaisut.

**Taulukko 11** Kalkin ja sementin tuotannon päästövähennysratkaisut<sup>282930</sup>

Prosessi		Ratkaisut		
<b>Raaka-aineiden poltto (Kuilu- tai kiertouuni)</b>	Polttoaineiden korvaaminen bio- ja kierrätys polttoaineilla	Sähköuuni	CCS/CCU	Uudenlaiset tuotteet

Prosessien polttovaiheen päästöt, eli uunissa syntyvät päästöt muodostuvat kalkin kalsinoitumisesta ja polttoaineiden palamisesta. Ainoastaan uunin energialähteen korvaaminen poistaisi enimmillään 40 % prosessin päästöistä. Kalkin kalsinoituminen on välttämätön reaktio, jota ei voida poistaa prosessista. Hiilidioksidin talteenotto ja varastoiminen (CCS – Carbon Capture and Storage) tai hiilidioksidin talteenotto ja hyötykäyttäminen (CCU – Carbon Capture and Utilization) ovat ratkaisuja kalsinoitumisen päästöjen poistamiseksi. Kalsinoitumisen päästöjen vähentämiseksi toinen vaihtoehto on kalkin polttamisen vähentäminen, mikä tarkoittaisi uudenlaisia tuotteita. Sementiteollisuudessa uudenlaiset tuotteet tarkoittaisivat seosaineiden osuuden lisäämistä ja sementtiklinkkerin osuuden vähentämistä, ja kalkkiteollisuudessa uudenlaiset tuotteet tarkoittaisivat vaihtoehtoisia ratkaisuja, joissa poltettua kalkkia ei tarvittaisi. Kalsinoitumisesta johtuvien päästöjen välttämättömyyden takia nykyisten tuotteiden tuotannon hiilineutraaliin prosessiin pääseminen vaatii uunin energialähteen vaihtamisen ja CCS/CCU-ratkaisuiden samanaikaisen käytön. Nämä neljä esiteltyä ratkaisua käsitellään seuraavaksi erillään, jotta kaikista saadaan yksityiskohtainen ymmärrys.

28 [https://cembureau.eu/media/kuxd32gi/cembureau-2050-roadmap\\_final-version\\_web.pdf](https://cembureau.eu/media/kuxd32gi/cembureau-2050-roadmap_final-version_web.pdf)

29 <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/123811/KatajistoOona.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

30 <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/12/4176>

### Päästövähennysratkaisu 1: Polttoaineiden korvaaminen

Kuvaus	Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen biopolttoaineilla ja kierrätyspolttoaineilla
TRL	8
Rajoitteet	Bio- ja kierrätyspolttoaineiden saatavuus, lainsäädäntö, raaka-aineiden kustannukset ja vaatimusten mukainen laatu, laitokseen tarvittavien muutosten kustannukset
Päästövähennyspotentiaali	14 % koko prosessin päästöistä, 36 % Uunin polttoaineiden päästöistä
Aikataulu	Ennen 2035
CAPEX	Kokonaisinvestointi: 70 MEUR

Polttoaineiden korvaamisen tarve, ajankohta ja kustannukset ovat laitoskohtaisia ja riippuvat tämänhetkisestä polttoaineesta. Kalkkiteollisuudessa käytettävät koksi- ja häkäkaasu ovat jo hyvin vähäpäästöistä, eikä niiden vaihtamisesta synny merkittäviä päästövähennyksiä. Kuitenkin tarve bio- ja kierrätyspolttoaineisiin vaihtoon on todennäköinen. Terästeollisuuden päästövähennyksistä johtuvien prosessimuutosten takia koksikaasua on saatavilla vain noin vuoteen 2030 saakka ja häkäkaasua on saatavilla vain noin vuoteen 2040 saakka. Yritysten halu siirtyä muihin polttoaineisiin ennen kuin kaasujen saatavuus terästeollisuudelta loppuu, on epävarmaa. Sementtiteollisuudessa on saavutettu jo noin 45 %:n kierrätyspolttoaineiden osuus, mutta osuutta voidaan edelleen kasvattaa jopa 100 %:iin, jos tarpeeksi korkean lämpöarvon jätettä voidaan polttaa. Euroopassa toimii jo nyt sementintuotantolaitoksia, jotka ovat saavuttaneet saavuttanut bio- ja kierrätyspolttoaineiden 100 %:n osuuden uunin polttoaineesta<sup>31</sup>.

Rajoitteita polttoaineen korvaamiseen bio- ja kierrätyspolttoaineilla on monia. Kalkkiteollisuudella on korkeat vaatimukset polttoaineen puhtaudelle, mikä vaikeuttaa polttoainehankintaa ja nostaa polttoainekustannuksia. Sementtiteollisuudella samanlaisia puhtausvaatimuksia ei ole, joten kierrätyspolttoaineita voidaan hyödyntää laajemmin. Teknisiä rajoitteita asettaa kalkkiteollisuutta korkeampi lämpötila, jota ei voi saavuttaa kaikilla polttoaineilla. Myös nykyinen lainsäädäntö asettaa rajoitteita, sillä vaaralliseksi luokiteltuja jätteitä ei voida polttaa, vaikka ne sopisivat nykyiseen tuotannon käyttöön niiden korkean lämpöarvon takia. Nykyinen valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta<sup>32</sup> ei suoraan kiellä vaarallisen jätteen käyttöä rinnakkaispolttolaitoksessa (tuotantolaitos).

31 <https://www.worldcement.com/special-reports/24062022/minimising-emissions-maximising-alternative-fuels/>

32 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130151>

Asetus kuitenkin asettaa päästöjen raja-arvot rinnakkaispolttolaitoksissa samoiksi kuin jätteenpolttolaitoksille. Käytännössä tämä estää vaaralliseksi luokitellun jätteen polttamisen rinnakkaispolttolaitoksissa poiketen EU:n teollisuuspäästädirektiivistä<sup>33</sup>, jossa rinnakkaispolttolaitoksille on asetettu erilliset päästöjen raja-arvot. Molemmilla teollisuudenaloilla laitoksen polttoaineenvaihdon mahdollistavat konversiot tuottavat investointikustannuksia, mikä voi rajoittaa ratkaisun implementointia.

### Päästövähennysratkaisu 2: Sähköuuni

Kuvaus	Nykyisen polttoaineella toimivan uunin vaihtaminen sähköiseksi uuniksi
TRL	4
Rajoitteet	Toimivuutta ja kaupallista soveltuvuutta ei osoitettu, kehityskustannukset, sähkön saatavuus ja hinta
Päästövähennyspotentiaali	40 % koko prosessin päästöistä, 100 % Uunin polttoaineiden palamisesta johtuvista päästöistä
Aikataulu	Ennen 2050
CAPEX	Kokonaisinvestointi: 780 MEUR

Kalkki- tai sementtiteollisuudessa ei ole vielä kaupallisessa käytössä sähköistä uunia. Teknologia on vasta kehityksen alkuvaiheessa, ja täten kaupallisen käytön aikataulu ja kustannukset perustuvat arvioihin tässä vaiheessa. Uuneja on rakennettu tutkimuskäyttöön, ja vastuksilla toimivissa prototyyppiuneissa on saavutettu kalkin kalsinoituminen noin 900 celsiusasteessa. Kalkkiteollisuuden kannalta tuotantolaitoksiin verrattavan kalsinoitumisen saavuttaminen implikoi teknologian potentiaalia. Kuitenkaan tutkimuksissa ei ole tutkittu muun muassa uunin kestävyyttä pitkäaikaisessa käytössä tai skaalautuvuutta, joten ratkaisuun liittyy vielä paljon avonaisia kysymyksiä.

Sementtiteollisuuden vaatima 1450 celsiusasteen lämpötila on hankalampi saavuttaa sähköllä, eikä sitä ole vielä saavutettu tutkimuskäyttöön rakennetuissa uuneissa. Korkean lämpötilavaatimuksen takia vastuksilla toimivan teknologian soveltuvuudesta sementtiteollisuudelle on epävarmuutta. Plasmalla toimiva sähköinen uuni voi osoittautua paremmaksi vaihtoehdoksi, mutta on vielä varhaisemmassa vaiheessa kehitystä kuin vastuksilla toimiva uuni. European Cement Association CEMBREAU:n tietkartassa hiili-neutraaliin sementtiin<sup>34</sup> sähköisen uunin on todettu olevan niin kehityksensä alkuvaiheessa, että sen varaan ei ole oletettu suurta päästövähennyspotentiaalia.

33 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0075&from=EN>

34 [https://cembureau.eu/media/kuxd32gi/cembureau-2050-roadmap\\_final-version\\_web.pdf](https://cembureau.eu/media/kuxd32gi/cembureau-2050-roadmap_final-version_web.pdf)

Parasta soveltuvaa teknologiaa, teknologisen kehityksen nopeutta ja kaupallisen ratkaisun valmiutta sähköuunien suhteen on vaikea ennustaa tarkasti. Nämä epävarmuudet riippuvat ei ainoastaan Suomen ja Suomessa toimivien yritysten investoinneista, vaan alan kehityksestä globaalisti. Kuitenkin sähköuuni ratkaisuna on niin kehityksen alkuvaiheilla, että investointien toteutuminen on todennäköistä vasta lähempänä vuotta 2050.

### Päästövähennysratkaisu 3: CCS/CCU

Kuvaus	Hiilidioksidin talteenotto ja talteen otetun hiilidioksidin hyötykäyttö
TRL	Suoraerottelu: 6 Polton jälkeinen: 9
Rajoitteet	Teknologian kehitys, teknologian implementoinnin kustannukset, hiilidioksidin käyttökohteiden löytäminen tuotantolaitoksen läheisyydessä, uuneihin ja tuotantoalueelle tarvittavien muutoksien tekeminen, lainsäädännön suhtautuminen CCS/CCU teknologian käyttöön
Päästövähennyspotentiaali	90 % koko prosessin päästöistä
Aikataulu	Ennen 2035
CAPEX	Kokonaisinvestointi: 760 MEUR

Hiilidioksidin talteenotto ei ole uutta teknologiaa, sillä ensimmäinen laitos oli toiminnassa jo 1970 luvulla. Kuitenkin teknologia on kasvattanut suosiota viimeisen 10 vuoden aikana. Talteenottoa voidaan tehdä prosessin eri osissa, joihin sopivien ratkaisujen teknologiat vaihtelevat. Perinteisistä talteenottoteknologioista polton jälkeinen talteenotto on kalkki- ja sementtiteollisuudelle sopivin, sillä se ottaa talteen polttoaineen palamisesta syntyvien päästöjen lisäksi kalsinoitumisesta syntyvät päästöt. Ratkaisun kaupallinen kannattavuus on epävarmaa, sillä se on tällä hetkellä kalliimpaa kuin päästöoikeuden hinta. Myös pitkän aikavälin kannattavuus on epävarmaa ja saattaa rajoittaa investointeja.

Perinteisten teknologioiden lisäksi tällä hetkellä tutkitaan kalkki- ja sementtiauuneihin soveltuvaa suoraerotteluteknologiaa LEILAC<sup>35</sup> projektissa. Suora erottelu ratkaisussa erotetaan poltettava raaka-aine lämmityksen lähteestä, ja täten saadaan puhdas hiilidioksidi talteen ilman laajamittaista prosessointia tai kemikaaleja, sekä kustannus- tehokkaammin kuin perinteisissä talteenottoratkaisuissa. Kuitenkin teknologia on vasta testattu tutkimuskäyttöön rakennetulla laitoksella, ja tällä hetkellä tutkitaan toimivuutta toiminnassa olevalla laitoksella. Laajamittaista kaupallista potentiaalia ei ole vielä todistettu.

35 <https://www.leilac.com/technology/#how-it-works>



Hiilidioksidin talteenotto sisältää teknologian sopivuuden, kehityksen ja kustannus-  
tehokkuuden lisäksi muitakin epävarmuuksia. Jos hiilidioksidi otetaan talteen, tulee sille  
löytyä loppusäilytyspaikka tai sopiva hyötykäyttö. Potentiaalisia loppusäilytyspaikkoja  
on tällä hetkellä vain Norjassa, ja niidenkin kapasiteetti on rajallinen. Hyötykäytön saralla  
tutkimusta muun muassa synteettisten polttoaineiden suhteen on paljon meneillään  
ja ensimmäisiä laitoksia suunnitellaan<sup>36,37</sup>. Vaikka teknologia onkin kypsää tai melkein  
kypsää, edellä mainitut epävarmuudet vaikuttavat yritysten investointihalukkuuteen.  
Jos talteenotto halutaan ottaa käyttöön ratkaisuksi ennen vuotta 2035, jotta sen päästö-  
vähennykset realisoituvat, tarvitaan ohjauksenoja joilla poistetaan toimintaympäristön  
epävarmuuksia.

Hiilidioksidin talteenoton kustannukset ovat riippuvaisia talteen otetun hiilidioksidin  
määrästä, talteenottoteknologiasta ja uuniin tarvittavista muutoksista. Näiden vaikut-  
teiden takia on todennäköistä, että talteenoton implementointi riippuu uunin muden  
investointien ajankohdasta. Mahdollista investointipolkua ja eri ratkaisujen investointien  
riippuvuutta toisistaan käsitellään kappaleessa 2.5.3.

#### Päästövähennysratkaisu 4: Uudenlaiset tuotteet

Kuvaus	Tuotteiden kehittäminen, joissa on vähemmän poltettua kalkkia, jotta vältetään kalsinoitumisesta syntyvät päästöt
TRL	Täysin korvaavia tuotteita ei ole. Kalkkiteollisuudessa on pyritty kierrättämään poltettua kalkkia takaisin raaka-aineeksi ja sementtiteollisuudessa on tuotteita, joissa on lisätty seosaineiden määrää, jotta kalkin poltto vähenee
Rajoitteet	Kalsinoituminen on välttämätön reaktio tuotteiden muodostumisessa, joten korvauspotentiaali uusissakin tuotteissa on rajallinen
Päästövähennyspotentiaali	5–10 %
Aikataulu	Ennen 2035

Kalkin korvaaminen tuotteissa vähentää tarvetta polttaa kalkkia ja täten vähentää  
kalsinoitumisesta syntyviä päästöjä. Kuitenkin päästövähennyspotentiaali on rajallinen,  
sillä kalsinoituminen on välttämätön reaktio, jotta tuotteisiin saadaan halutut ominai-  
suudet. Tuotteiden kehitystä tapahtuu jo nyt.

<sup>36</sup> <https://p2x.fi/hanke/>

<sup>37</sup> <https://www.st1.fi/st1-suunnittelee-synteettisen-metanolin-pilottilaitosta-lappeenran-taan>

Kalkkiteollisuudessa mahdollisuudet keskittyvät pääasiassa kiertotalouteen ja materiaalihokkuuteen. Sementtiteollisuudessa mahdollisuuksia on enemmän, sillä jätemateriaaleja ja muiden teollisuudenalojen sivutuotteita voidaan käyttää osittain korvaamaan kalkkikivi raaka-aineena. Lisäksi sementtiteollisuudessa seosaineiden osuuden lisääminen on mahdollisuus. Seosaineiden lisääminen muuttaa sementin koostumusta siten että poltetun kalkin osuus on pienempi. Rajoitteita aiheuttaa se, että raaka-aineiden muutos ja seosaineiden lisääminen muuttaa sementin ominaisuuksia. Sementtiä, jossa on huomattavasti erilaiset ominaisuudet, voidaan käyttää vain rajoitetuissa käyttökohteissa.

Tuotteiden kehitys kuuluu tuotekehitykseen, joka tapahtuu markkinaehtoisesti, sillä asiakkaiden kysyntä ilmastoystävällisemmille tuotteille kasvaa, ja päästöoikeuden hinta on noussut voimakkaasti. Markkinaehtoisuuden takia uudenlaisten tuotteiden päästövähennyspotentiaalia ei ole otettu huomioon investointitarpeen arvioinnissa. Vaikkakin päästövähennyspotentiaali on 5–10 %, oletetaan että nämä vähennykset toteutuvat ohjaukskeinoista riippumatta ja tarvittavat investoinnit kuuluvat laitoksen normaaliin toimintaan.

#### **Case esimerkki 4** **VTT:n ja yrityskumppanien sähköisen uunin ja hiilidioksidin** **talteenoton tutkimusprojekti<sup>38</sup>**

VTT ja yrityskumppanit tutkivat Decarbonate projektissa sähkökäyttöisen kiertouunin, hiilidioksidin talteenoton ja hiilidioksidin hyötykäytön toimivuutta kalkin ja sementin tuotannossa. Projektissa rakennettiin testi-sähköuuni, jossa oli liitettynä CCU.

Sähköuunissa saavutettiin kalkin kalsinoituminen teollisuuden tämän hetken vaatimustasojen mukaisesti, joten sen sopivuus kalkin valmistukselle osoitettiin. Projektissa ei pyritty saamaan sementtiklinkkerin tarvitsemaa ~1450 asteen lämpötilaa, joten sopivuutta sementintuotantoon ei osoitettu. Kalsinoitumisesta aiheutuvan hiilidioksidin talteenotto sekä hyötykäyttö synteettiseksi polttoaineeksi oli yksi tutkimuskohde, joka todettiin toimivaksi testiympäristössä.

---

38 <https://www.decarbonate.fi/>

### **Case esimerkki 5** **Hiilidioksidin suoraerottelu teknologian tutkimusprojekti,** **LEILAC<sup>39</sup>**

LEILAC (Low Emissions Intensity Lime And Cement) pilotoi menestyksellä 'direct separation' teknologiaa hiilidioksidin talteenottoon. Teknologia mahdollistaa puhtaan hiilidioksidin talteenoton uunissa välittömästi sen synnyttyä kalsinoitumisen seurauksena. Teknologia voidaan yhdistää uuniin riippumatta sen energialähteestä, täten toimien monipuolisena ratkaisuna.

LEILAC projektin ensimmäinen osa saatiin päätökseen vuonna 2019. Ensimmäisessä vaiheessa rakennettiin pilottilaitos, jonka tulokset osoittivat teknologian toimivuuden. Tällä hetkellä on meneillään projektin toinen osa, jossa demonstraatiolaitos rakennetaan osaksi toimivaa sementintuotantolaitosta Saksassa. Laitoksen on määrä olla toiminnassa vuonna 2023. Projektin toisessa osassa pyritään myös sähköistämään LEILAC 1 -pilottilaitos.

### **2.5.3 Investointeihin vaikuttavat tekijät**

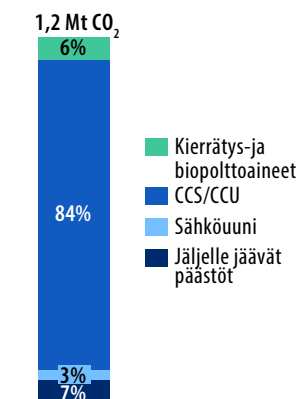
Polttoaineiden korvaaminen, CCS/CCU ja sähköuuni liittyvät vahvasti toisiinsa ratkaisuna, sekä investointipäätöksiä. Laitosten nykyinen polttoaine ja uunin tyyppi myös vaikuttaa todennäköiseen investointipolkuun.

Polttoaineiden korvaaminen riippuu suuresti laitoksen nykyisestä polttoaineesta, sen kustannuksista, päästöistä ja saatavuudesta. Esimerkiksi kalkkiteollisuuden laitoksissa on todennäköistä, että häkä- ja koksikaasua käytetään siihen saakka, kun niitä on saatavilla. Jos teollisuuden sivutuotteiden kaasuja on saatavilla siihen asti, kun sähköuuni on teknologisesti valmis implementoitavaksi, ei kierrätys- ja biopolttolaitteita välttämättä oteta käyttöön ollenkaan. Sementtiteollisuudessa käytetään korkeampipäästöisiä fossiilisia polttoaineita, ja laitoksilla on jo alettu siirtymään kierrätys- ja biopolttolaitteisiin. Tämä kehitys todennäköisesti jatkuu.

39 <https://www.project-leilac.eu/leilac2-project>

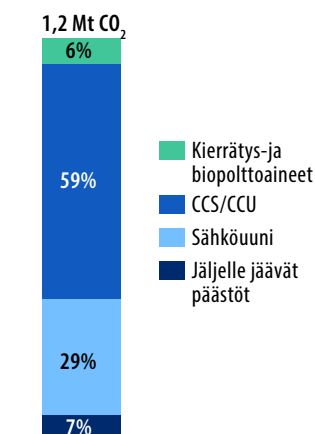
CCS/CCU- ja sähköuuni-investoinnit ovat vahvasti riippuvaisia toisistaan. Jos CCS/CCU implementoidaan laitokseen, jonka energianlähde on polttoon perustuva, kuten kierrätys- ja jätepolttoaineet, implementoidaan se todennäköisesti ottamaan talteen kaikki laitoksen päästöt (polttoaineen palaminen ja kalsinoituminen). Tällöin päästään jo jopa 90 % päästövähennykseen. Jos laitoksen uuni vaihdettaisiin sähköiseksi tämän jälkeen, poistuisi tarve ottaa talteen polttoaineen palamisesta syntyvät päästöt, jolloin CCS/CCU-kapasiteetti olisi ylimitoitettu, ja siten myös CCS/CCU-investointi. Toisaalta, jos CCS/CCU ja sähköuuni implementoidaan samaan aikaan, investoinnin ajankohta olisi huomattavasti myöhempi. Sähköuuni on vielä teoreettista ja epävarmaa teknologiaa, kun taas CCS/CCU on teknologiasta riippuen kypsää tai lähellä kypsyyttä. Kuva 11 ja Kuva 12 esittävät kaksi mahdollista investointipolkua ja osoittavat sen, miten investointien järjestys vaikuttaa niiden päästövähennyspotentialiin.

**Kuva 11** Päästövähennystoimenpiteiden vaikutus



Jos oletettaisiin, että kaikki ratkaisut toteutuisivat silloin kun ne ovat teknologisesti valmiita olisi investointipolku seuraavanlainen. Ensiksi laitokset muutettaisiin toimimaan kierrätys- ja biopolttoaineilla ennen vuotta 2035, poistaen noin 6 % koko prosessin päästöistä. Noin vuonna 2040 implementoitaisiin CCS/CCU ottamaan talteen koko laitoksen päästöt, poistaen noin 90 % prosessin jäljellä olevista päästöistä (84 % alkuperäisistä päästöistä). Viimeisenä ennen vuotta 2050 muutettaisiin uuni sähköiseksi, poistaen noin 3 % prosessin jäljellä olevista päästöistä. Tässä investointipolussa korostuu CCS/CCU:n tärkeys, sillä se implementoitaisiin ottamaan myös kierrätys- ja biopolttoaineiden päästöt talteen. Sähköuunin päästövähennyspotentiali on näennäisesti pieni, sillä vaikka se teoriassa puhdistaa polttoaineen päästöt, on CCS/CCU jo ottanut ne talteen, joten lisätty päästövähennys on vain 3 %. Sähköuuni on kallis ratkaisu, ja siihen investointi on epätodennäköistä, jos CCS/CCU tuottaa jo päästövähennemän.

**Kuva 12** Päästövähennystoimenpiteiden vaikutus



Jos oletettaisiin, että CCS/CCU ja sähköuuni implementoitaisiin samaan aikaan, olisi investointipolku seuraavanlainen. Ensiksi laitokset muutettaisiin toimimaan kierrätys ja biopolttoaineilla ennen vuotta 2035, poistaen noin 6 % prosessin päästöistä. Ennen vuotta 2050 vaihdettaisiin prosessin uunit sähköisiksi, poistaen kaikki polttoaineiden polton päästöt ja tuoden 29 % päästövähennyslisäyksen. Samanaikaisesti implementoitaisiin CCS/CCU poistamaan kalsinoitumisesta syntyvät päästöt tuoden noin 59 % päästövähennys lisäyksen. CCS/CCU poistaa vain noin 90 % niistä päästöistä, joihin se kohdennetaan. CCS/CCU-rajoitteiden vuoksi prosessiin jäisi vielä noin 7 % päästöistä eli noin 0,08 Mt CO2 vuosittain.

### 3 Arvio investointitarpeesta ja päästövähennyspotentialista

Tämä selvitys huomioi vuoden 2021 päästökauppatilastosta 24 tuotantolaitosta, joiden päästöt ovat olleet yhteensä noin 10,8 Mt CO<sub>2</sub> vuonna 2021. Huomioiden toimijoiden jo toteutuksessa olevat investoinnit<sup>40, 41, 42, 43</sup> fossiilisten polttoaineiden korvaamiseksi ja tuotantolaitosten lakkautukset<sup>44</sup> toimialojen hiilidioksidipäästöjen vähennystarpeeseen, on tuotantolaitosten päästövähennystarve hiilineutraalisuustason saavuttamiseksi selvityksessä huomioitujen tuotantolaitosten osalta noin 10,2 Mt CO<sub>2</sub> (ks. Kuva 13). Selvitys kattaa 89 % teollisuuden päästökaupan piiriin kuuluvista päästöistä rajautuen käsittämään investointitarpeet nimenomaan nykyisten prosessien ja tuotantorakenteiden näkökulmasta, eikä näin ollen laajempaa rakenteellista muutostarvetta eri teollisuuden aloilla ole huomioitu. Tarkasteltavista toimialoista selkeästi merkittävimmät päästölähteet teollisuudessa ovat terästeollisuus ja kemianteollisuus.

Selvityksessä huomioidaan Scope 1 luokkaan kuuluvat suorat yrityksen oman teollisen toiminnan seurauksena syntyvät kasvihuonekaasupäästöt, jotka syntyvät paikan päällä yrityksen omistamissa tai hallinnoimissa kiinteistöissä ja energiantuotannossa. Scope 2 päästöjen osalta selvityksessä huomioidaan tuotannon epäsuorat ostoenergiaan liittyvät päästöt, jotka aiheutuvat yrityksen ulkopuoliselta taholta ostetun höyryn, lämmön ja jäähdytyksen tuotannosta. Ostosähköä selvityksessä ei huomioida, sillä sen tuotannossa arvioidaan saavuttavan hiilineutraalitaso vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi on huomioitavaa, että osa tarkasteltavien yritysten Scope 2 päästöistä voi kuulua saman teollisuusalueen Scope 1 päästöihin, sillä yritykset voivat toimittaa toisilleen esimerkiksi höyryä saman teollisuusalueen sisällä. Mikäli kyseinen päästölähde on huomioitu tarkastelussa Scope 1 päästöjen osalta, sitä ei ole tuplalaskennan välttämiseksi huomioida enää Scope 2 päästöjen laskennassa.

40 <https://cdn-s3.sappi.com/s3fs-public/2021-Kirkniemen-tehtaan-EMAS-ymp%C3%A4rist%C3%B6selonteko.pdf>

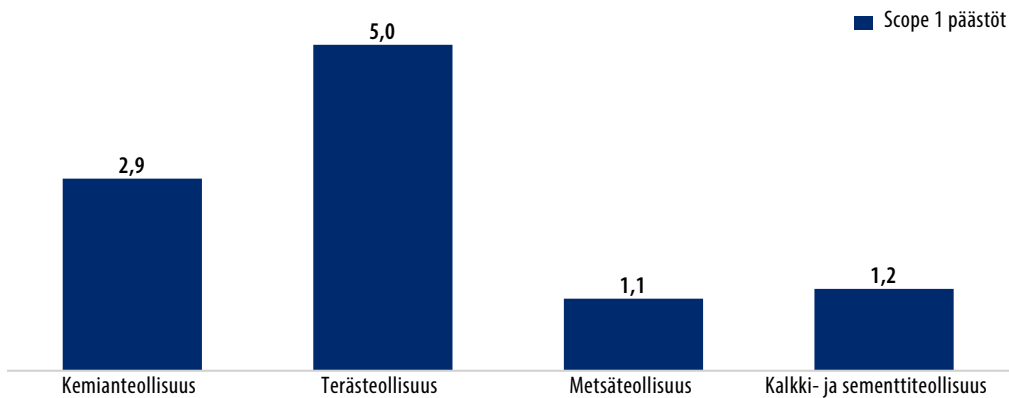
41 <https://www.metsagroup.com/globalassets/metsa-board/documents/investors/annual-report/2021/metsa-board-vuosikertomus-ja-vastuullisuusraportti-2021.pdf>

42 <https://yle.fi/a/3-12427141>

43 <https://yle.fi/a/3-12420910>

44 Lakkautetut/lakkautettavat laitokset: Neste Oyj Naantalin jalostamo (2021), Stora Enso Veitsiluoto Oy (2021), Metsä Fibre Kemian tehdas (2023)

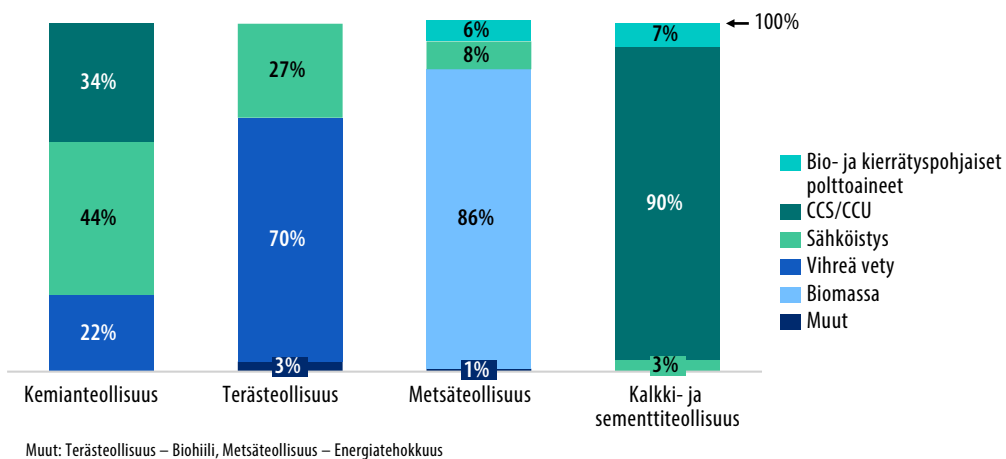
**Kuva 13** Toimialakohtaiset päästövähennystarpeet (Mt CO<sub>2</sub>e)



### 3.1 Toimialakohtaiset suorat päästövähennysinvestoinnit

Todennäköisimmät keinot päästövähennysten toteuttamiseksi nykyisten tuotanto-  
prosessien ja lopputuotteiden tuotannon osalta eroavat toimialoittain (ks. Kuva 14).  
Sähkötys, vihreä vety, biopohjaiset syötteen ja CCS/CCU nousevat esiin potentiaalisina  
ratkaisuin, joista vihreän vedyn rooli korostuu sen tarjoaman päästövähennyspotentiaal  
muodossa teräs- ja kemianteollisuuden tarpeiden myötä. Esitetyt keinot sekä niiden toimi-  
alakohtainen päästövähennys potentiaali on vain yksi näkemys mahdollisesta polusta  
päästövähennysten saavuttamiseksi. Keinojen toimeenpanoon vaikuttaa muun muassa  
teknologioiden kehitys, muiden keinojen toimeenpanon ajankohta ja muissa laitoksen tai  
toimialan prosesseissa tapahtuvat muutokset.

**Kuva 14** Toimialakohtaiset päästövähennystoimenpiteet ja niiden vaikuttavuus kasvihuonekaasupäästöihin



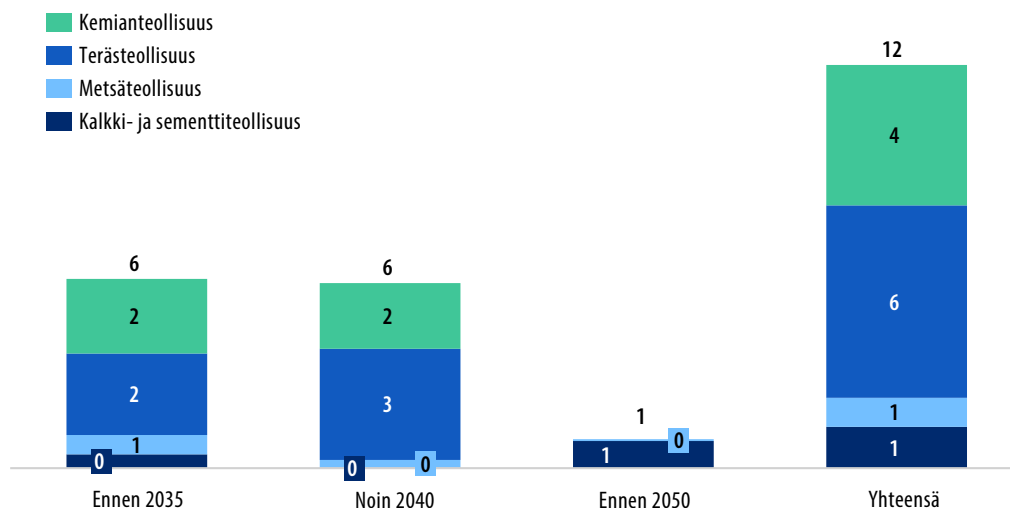
Kemianteollisuuden osalta päästövähennystoimenpiteet nojaavat selvityksessä CCS teknologiaan, vihreään vetyyn ja sähköistykseen. On kuitenkin huomioitava, että useat kemianteollisuuden ratkaisuista eivät vielä kaupallisesti saatavilla ja merkittäviä panostuksia sekä varhaisen vaiheen kehittämiseen että demonstraatioihin edellytetään. Lisäksi erityisesti kemianteollisuudessa on epävarmaa, missä määrin nykyisen kaltaisia fossiilipohjaisia tuotteita valmistetaan tulevaisuudessa ja millä aikataululla uusiutuvista raaka-aineista valmistettaviin vähäpäästöisiin tuotteisiin ollaan siirtymässä. Tällä tulee olemaan suuri vaikutus toteutuvaan teknologiavalintaan.

Terästeollisuudessa suurin päästövähennyspotentiaali liittyy vihreän vedyn hyödyntämiseen erityisesti hiiliteräksen valmistuksessa, joka on merkittävin yksittäinen päästöjen lähde teollisuudessa. Tämän osalta teknologisen kehityksen voidaan kuitenkin nähdä jo olevan pitkällä ja polku päästövähennyksiin vaikuttaa selkeältä. Merkittävimpänä kysymyksenä hiiliteräksen investointeihin liittyen on se, mitkä prosessin vaiheet tulevat sijoittumaan Suomeen. Vetypelkistyksen osalta on oletettu että rautasieni kuljetetaan Ruotsista Suomeen ensimmäisten investointien keskittyen ainoastaan minimillä tuotantoon, jossa rautasieni jalostetaan teräkseksi. Vetypelkistys on kuitenkin sisällytetty kokonaisinvestointeihin, sillä sen oletetaan rantautuvan myös Suomeen kymmenen vuotta myöhemmin 2040.

Metsäteollisuudessa sellun-, paperin ja kartongin valmistuksessa päästövähennyksiin vaadittavat teknologiat ovat kypsiä ja teollisessa mittakaavassa jo toimivia. Energiantuotannossa sekä mm. meesauunin polttoaineissa nojataan metsäteollisuuden ratkaisuissa vahvasti puubiomassaan. Tehtaat ovat monesti joko kokonaan tai osittain omavaraisia tarvittavien polttoaineiden suhteen, mikä tekee usein biopohjista ratkaisuista todennäköisen valinnan.

Kalkki- ja sementtiteollisuudessa päästövähennystoimenpiteet selvityksessä nojaavat CCS/CCU-teknologian hyödyntämiseen. Prosessissa voidaan osa päästöistä vähentää myös sähköuunin avulla, mutta teknologian kehitys tämän suhteen on vielä alhainen, kun taas CCS/CCU on teknologiasta riippuen kypsää tai lähellä kypsyyttä ja näin ollen tarvittavia päästövähennystoimia on mahdollista aloittaa aiemmin. On kuitenkin huomioitavaa, että polttoaineiden korvaaminen, CCS/CCU ja sähköuuni liittyvät vahvasti toisiinsa ratkaisuina, sekä investointipäätöksinä.

Edellä esiteltyjen toimialakohtaisten päästövähennystoimenpiteiden osalta energia-intensiivisen teollisuuden suora investointitarve nykyisten tuotantoprosessien ja tuotantorakenteen päästöjen korvaamiseksi vuoteen 2050 mennessä on arvioitu olevan noin 12 miljardia euroa, josta yli 90 % on mahdollista toteuttaa vuoteen 2040 mennessä (ks. Kuva 15). Arvio investointitarpeesta kohdistuu ainoastaan laitosten nykyisten päästölähteiden korvaamiseen tuotannon ja ydinprosessien muuten pysyessä muuttumattomina.

**Kuva 15** Toimialakohtaiset päästövähennysinvestoinnit (EUR mrd.)

Kaikkien tuotantolaitosten osalta analyysissä ei saavuteta nollapäästötasoa tämän tarkastelun puitteissa, mutta hyvin lähellä tätä päästään (ks. Kuva 16). Jäljelle jäävät jäännöspäästöt koskevat mahdollisten varapolttoaineiden korvaamista sekä hiilidioksidin talteenottoteknologian hyödyntämistä, jolla oletetaan pystyvän poistamaan savukaasuista 90 % hiilidioksidista. Polttoaineiden sertifiointeja eikä päästökompensaatiota huomioida tämän selvityksen piirissä.

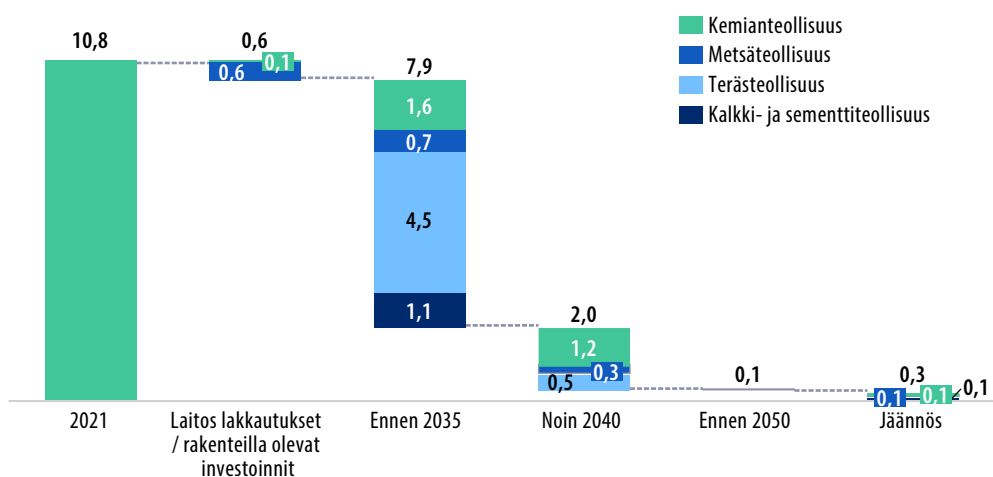
Analyysissä ennen vuotta 2035 toteutuvien päästövähennystoimenpiteiden myötä energiaintensiivisen teollisuuden olisi AFRYn esittämällä investointipolulla mahdollista saavuttaa 2,5 Mt CO<sub>2</sub> päästötaso vuonna 2035. Tämä tarkoittaa muun muassa kalkki-, sementti- ja kemianteollisuudessa CCS/CCU teknologian käyttöönottoa vuoteen 2035 mennessä. Arvio on saman suuntainen kuin Suomen keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman (Kaisu)<sup>45</sup> toimenpideohjelmassa esitetyn WAM-skenaarion<sup>46</sup> teollisuuden päästötaso Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamisen toteuttamiseksi vuonna 2035, joka on 2,3 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.

45 [https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/VNS\\_4+2022.pdf](https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/VNS_4+2022.pdf)

46 VTT:n toteuttamassa HIISI-hankkeen ilmastotavoitteet toteuttavassa politiikkatoimi-, eli WAM-skenaariossa on mallinnettu päästöjen jakautumista päästökauppa- ja taakanjako-sektoreille vuonna 2035



**Kuva 16** Toimialakohtainen päästövähennyspolku (Mt CO<sub>2</sub>e)



## 3.2 Muut investointitarpeet

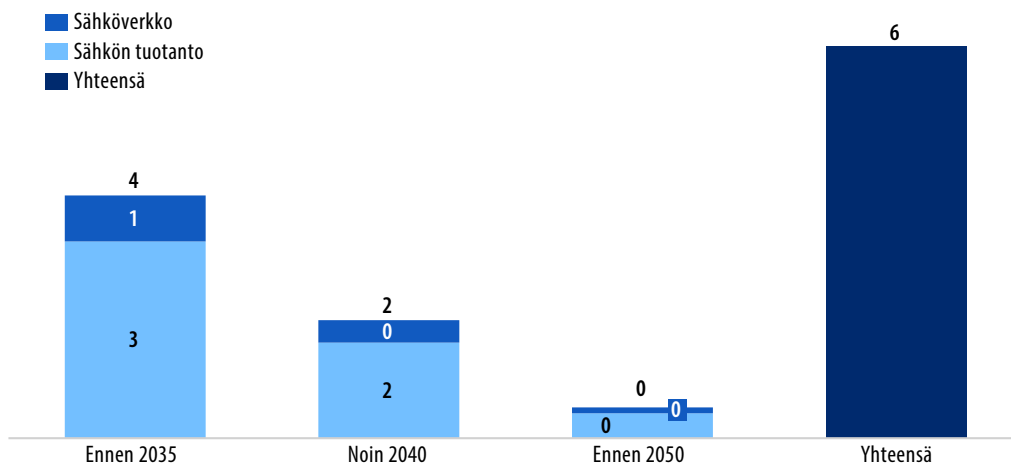
Suorien laitosinvestointien lisäksi voidaan teknologian käyttöönottoa varten tarvita myös epäsuoria investointeja esimerkiksi energiainfrastruktuurin kehittämiseen, sähkön tuotantokapasiteetin lisäämiseen sekä TKI-panostuksiin. Tässä selvityksessä keskitytään kuitenkin pääasiassa suoriin laitosinvestointeihin ja edellä mainittuja epäsuoria investointitarpeita käsitellään vain hyvin rajallisesti. Sähköverkon ja sähkön tuotantokapasiteetin osalta on laskettu karkea arvio investointitarpeesta perustuen edellisen kappaleen mukaiselle investointipolulle. TKI investointitarpeelle ei tämän työn puitteissa ole tehty numeerista arviota.

### 3.2.1 Investointitarpeet sähköverkkoon ja sähkön tuotantoon

Mikäli päästövähennysten teknologinen ratkaisu nojaa sähköistykseen tai vihreään vetyyn, nostaa se tuotantolaitoksen sähkön kulutustarvetta. Näin yritysten suorien laitosinvestointien lisäksi tarvitaan epäsuorasti investointeja myös sähköverkon kehittämiseen sekä sähkön tuotantokapasiteetin kasvattamiseen lisääntyneen kulutuksen kattamiseksi. AFRY arvioi, että edellä esitetyn investointipolun seurauksena sähkön vuosittainen kulutus kasvaa 16,6 TWh vuoteen 2050 mennessä (ks. Kuva 17). Kasvun oletetaan pääasiassa tapahtuvan vuoteen 2040 mennessä, jolloin 10 TWh toteutuisi ennen vuotta 2035 ja 5 TWh

noin vuonna 2040. Sähköverkon ja -tuotannon investointikustannuksia selvityksessä on karkeasti arvioitu Fingridin Verkkovision<sup>47</sup> ja Sähköjärjestelmän skenaarioluonnoksista<sup>48</sup> saatavien investointikustannusarvioiden avulla.

**Kuva 17** Sähköverkko ja sähkön tuotanto investoinnit (EUR mrd.)



### 3.2.2 TKI investointitarve

Vihreää siirtymää tukevien teknologioiden käyttöönotossa investoinnit tutkimukseen ja uusiin innovaatioihin ovat tärkeitä, sillä osa tarvittavista päästövähennysratkaisuista on teknologisesti kypsyydeltään vielä hyvin varhaisen vaiheen teknologiaa tai ratkaisuja ei vielä ole kehitteillä. Myös energiantensiivisen teollisuuden osalta usean toimialan päästövähennysinvestointipolku nojaa teknologiaan, jonka teknologinen kypsyys on vielä hyvin alhainen.

Tässä työssä tarkastellaan energiantensiivisen teollisuuden olemassa olevien laitosten prosessien uudistamista kestäviksi. Näissä investoinneissa sovellettavien teknologioiden kehittäminen on vaatinut ja tulee edelleen vaatimaan mittavia tutkimus- ja kehittämispanostuksia. Näiden osuutta tämän työn kohteena olevista investointitarpeista ei kuitenkaan ole arvioitu tässä yhteydessä.

<sup>47</sup> [https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/fingrid\\_verkkovisio.pdf](https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/fingrid_verkkovisio.pdf)

<sup>48</sup> [https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/tiedotteet/ajankohtaista/fingrid\\_sahkojarjestelmavisio\\_2022\\_skenaarioluonnokset-final-korjattu-29.8.pdf](https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/tiedotteet/ajankohtaista/fingrid_sahkojarjestelmavisio_2022_skenaarioluonnokset-final-korjattu-29.8.pdf)

Numeeristen arvioiden esittäminen T&K investointitarpeesta on haasteellista, sillä arvioihin liittyy hyvin paljon epävarmuutta eikä selkeästi hyvää tapaa tuottaa luotettavaa arviota tällä hetkellä ole tiedossa. Yritykset voivat tehdä tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotyötä sekä Suomessa että ulkomailla, ja epävarmuutta lisää myös se, että osa ratkaisuista kehitetään muiden yritysten ja tutkimuslaitosten toimesta, jolloin yritykset voivat ostaa myöhemmin näihin liittyen valmiita tai lähes valmiita ratkaisuja.

Julkisella T&K-rahoituksella voidaan nähdä olevan kuitenkin kriittinen vaikutus vihreään siirtymään ja sen nopeuteen muiden julkisten rahoitus- ja tukijärjestelmien ohella, mutta myös yksityisen sektorin T&K-rahoitus on merkittävä kehityksen ajuri. Tilastokeskuksen mukaan yritysten investoinnit ovatkin keskimääräisesti kasvaneet 2020-luvulla<sup>49</sup>, ja viime vuosina kasvussa ovat olleet tutkimus- ja kehittämismenot koko maan tasolla.

### 3.3 Investointiarvioiden vertautuminen muihin selvityksiin

Tässä hankkeessa tehdyt arviot päästövähennysinvestointitarpeista ovat suuruusluokaltaan alhaisempia kuin julkisuudessa aiemmin esitetyt arviot Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamiseen tarvittavista teollisuuden investointitarpeista. Esimerkiksi työ- ja elinkeinoministeriön vuonna 2020 julkaisemassa Suomen pitkän aikavälin strategiassa kasvihuonekaasujen vähentämiseksi arvioidaan teollisuuden investointitarpeeksi yli 100 miljardia euroa vuosina 2020–2050<sup>50</sup>. Konsulttiyhtiö BCG puolestaan arvioi vuonna 2022 teollisuuden investointitarpeen Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi olevan 23 miljardia euroa vuoteen 2050 mennessä<sup>51</sup>. BCG:n arvio investointitarpeesta pitää sisällään investoinnit energiatehokkuuteen, sähköistykseen, polttoaineen vaihtoon, vety prosesseihin ja CCS-tekniikan käyttöön ottoon. CCS:n rooli on arvioitu keskeiseksi pitäen sisällään myös biogeenisen hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin. Investoinnit tarvittavaan sähköinfrastruktuuriin ja sähkön tuotantoon ovat osana energiantuotantosektorin investointitarvetta, jonka osuus kokonaisuudessaan BCG:n selvityksessä on 142 miljardia euroa.

49 Tilastokeskus

50 <https://tem.fi/documents/1410877/2132096/Suomen+pitk%C3%A4n+aikav%C3%A4lin+strategia+kasvihuonekaasujen+v%C3%A4hent%C3%A4miseksi+1.4.2020/8cd55d4d-6de7-657f-a86f-bc79497d4756>

51 <https://web-assets.bcg.com/03/67/86916dc741e4b29e5e36f4777b3c/finlands-path-to-net-zero-bcg.pdf>

Tämän hankkeen tulosten tulkinnassa keskeistä on selvityksen rajausta käsittämään energia-intensiivisen teollisuuden investointitarpeet olemassa olevissa tuotantolaitoksissa. Investointeja tarkastellaan keskittyen suoriin laitosinvestointeihin. Myöskään laajempaa rakenteellista vihreän siirtymän muutostarvetta eri teollisuuden aloilla esimerkiksi lopputuotteiden osalta ei tämän hankkeen puitteissa huomioida.

Nykyisiin tuotantoprosesseihin liittyvä päästövähennysinvestointitarpeiden kartoitus on tässä selvityksessä tehty huolellisesti analysoimalla yksittäisten tuotantolaitosten päästölähteitä ja niiden korvaamiseen soveltuvia teknologiavaihtoehtoja perustuen tuotantolaitoksista saataviin julkisiin tietolähteisiin ja näiden perusteella tehtyihin AFRYn teknisten asiantuntijoiden analyysiin. Analyysin tuloksista on pyritty keskustelemaan myös eri toimijoiden kanssa ja näin saamaan varmistus, että tulokset ovat linjassa yritysten omiin ajantasaisiin näkemyksiin nykyisten päästölähteiden korvaamisen osalta. Tämän selvityksen osalta ei tarkastella päästövähennystarpeita koko Suomen teollisuuden kannalta, mutta keskittymällä päästöjen näkökulmasta Suomen suurimpiin tuotantolaitoksiin katetaan selvityksen avulla noin 89 % teollisuuden (pl. energiantuotantosektori) päästökaupan piiriin kuuluvista päästöistä.

Myös tämän hankkeen tuloksissa kuten BCG:n selvityksessä päästövähennysten toteutuksessa korostuvat sähköistys, vihreä vety, biopohjaiset syötteen ja CCS/CCU. Huomioitavaa kuitenkin on, että investoinneissa fokus on päästölähteiden korvaaminen, eikä näin ollen energiatehokkuusinvestointeja ole tämän selvityksen puitteissa käsitelty. Päästövähennys- ja investointiarvioiden osalta tarkastellaan päästöjä tuotantolaitosten hiilineutraaliin tasoon saakka absoluuttisia päästöjä vähentämällä tarkoittaen, ettei myöskään hiilidioksidin teknisiin neluihin liittyvää investointi- ja päästövähennyspotentiaalia arvioida tämä selvityksen puitteissa. Investointitarpeiden huomiointi rajoittuu myös olemassa oleviin ratkaisuihin, ja näin ollen täysin uudenlaisen teknologian eli teknologian, jota ei ole vielä olemassa, kehitystä ei selvityksessä ole mukana.

Infraan ja sähkön tuotantoon liittyvää välillistä investointitarvetta tässä hankkeessa on pyritty hahmottamaan vain hyvin karkeasti päästövähennysinvestointien seurauksena lisääntyneen sähkön kulutuksen kattamisen näkökulmasta. Tämän seurauksena investointiarviot jäävät jo lähtökohtaisesti alhaisemmiksi kuin selvityksissä, joissa puhutaan laajemmasta yhteiskunnan sähköistämisestä ja siihen liittyvästä investointitarpeesta<sup>4952</sup>. Tämän hankkeen osalta arviot eivät sisällä myöskään kokonaisvaltaista analyysiä, joka huomioisi investointitarpeita osana laajempaa energiajärjestelmän murrosta.

---

52 <https://www.sitra.fi/app/uploads/2021/09/sitra-enabling-cost-efficient-electrification-in-finland.pdf>

## 4 Vihreää siirtymää tukevien päästövähennysinvestointien toteutumisedellytykset

Työssä kartoitetaan keskeisiä yritysten päästövähennysinvestointien toteutumiseen sekä toteutumisen aikatauluun positiivisesti ja negatiivisesti vaikuttavia tekijöitä. Toteutumisen arvioinnissa kiinnitetään erityistä huomiota tekijöihin suomalaisessa toiminta- ja investointiympäristössä, jotka vaikuttavat päästövähennysinvestointien kohdentumiseen nimenomaan Suomessa sijaitseviin tuotantolaitoksiin.

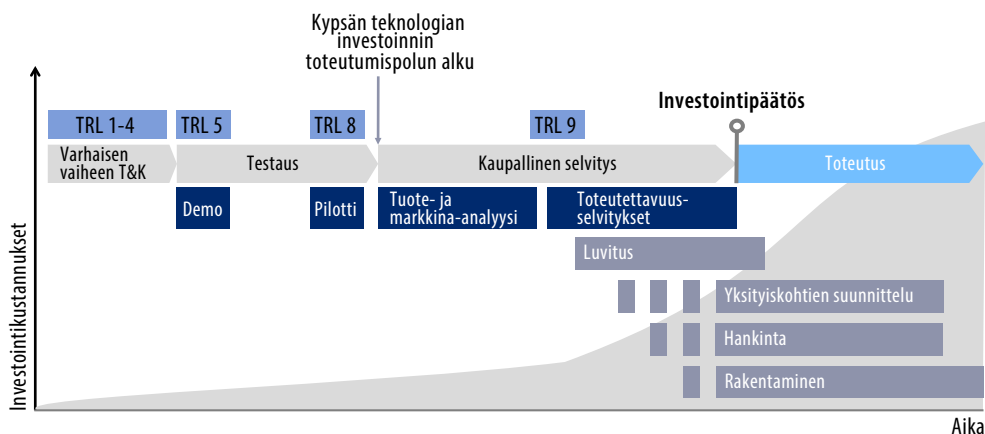
Päästövähennysinvestointien toteutumisedellytyksiä tarkastellaan ensin osana yritysten päätöksentekoprosessia. Kappaleessa 4.1 tarkastellaan kuinka yritykset tekevät investointipäätöksiä ja minkälaiset tekijät edesauttavat tai jarruttavat näitä. Kappale 4.2 kartoittaa päästövähennysinvestointeihin vaikuttavia julkisia interventioita, joihin kuuluvat tukimekanismit, regulaatio ja toimenpideohjelmat sekä strategiat. Kappaleessa 4.3 syvennyttään päästövähennysinvestointien toteutumiseen ja aikatauluihin vaikuttaviin esteisiin ja jarruttaviin tekijöihin työn sidosryhmien näkökulmasta. Lisäksi kappaleessa keskustellaan ratkaisuihin esteiden purkamiseksi sekä tarvittavista julkisista interventioista, jotta päästövähennysinvestoinnit pystytään toteuttamaan Suomen hiili-neutraalisuustavoitteen mukaisessa aikataulussa. Kappale 4.4 jatkaa kappaleen 4.3 pohdintaa investointien toteutumiseen vaikuttavista tekijöistä tuoden virkahenkilöstön ja AFRYN näkökulmaa keskusteluun. Kappaleessa 4.5 tarkastellaan esimerkkejä investointien kannattavuustekijöistä ja kannattavuutta tukevien toimien kohdentamisesta.

### 4.1 Investointien toteutumispolku yrityksissä

Investoinnin toteutumispolku voi kattaa kaikki vaiheet teknologian alkuvaiheen kehityksestä investoinnin toteutukseen. Toteutumispolun eri vaiheissa yrityksessä tehdään jatkuvaa arviota potentiaalisen investoinnin soveltuvuudesta, kannattavuudesta ja toteutettavuudesta. Lähes koko toteutumispolku käydään läpi jo ennen investointipäätöstä. Jotta palvellaan tämän työn tarkoitusperiä, investointien toteutumispolun kuvauksessa keskitytään nimenomaan laitosinvestointeihin.

Eri investointivaihtoehtoja arvioidaan läpi investoinnin toteutumispolun myös keskenään. Toteutumispolun alkuvaiheessa voi selvittävänä olla laaja kirjo mahdollisia toteutusvaihtoehtoja, joita karsitaan eri vaiheissa toteutettavan selvitystyön perusteella. Varsinaisessa lopullisessa investointipäätös vaiheessa yritys tekee päätöksiä yleensä enää vain muutamien eri toteutusvaihtoehtojen välillä. Kuva 18 esittää investointien toteutumispolun teknologian alkuvaiheen kehityksestä investoinnin toteutukseen.

Kuva 18 Investointien toteutumispolku yrityksessä



Investoinnin toteutumispolku voi kestää vuosia, etenkin jos investointi kohdistuu teknologiaan, jota ei vielä ole, teknologian kehitys on varhaisessa vaiheessa tai teknologia vaatii lisäkehitystä soveltuakseen yrityksen olemassa oleviin prosesseihin. Jos teknologia on jo kypsää, on investoivan yrityksen läpikäymä investointipolku lyhyempi ja ennen investointipäätöstä tehtävä työ keskittyy investoinnin kaupalliseen selvitysvaiheeseen.

Yritys voi aloittaa investointipolun missä tahansa sen vaiheista. Useimmissa tapauksissa teollisuuden laitosinvestoinnit koskevat kypsää, muualla kehitettyä teknologiaa. Kuitenkin tämän selvityksen puitteissa korostuvat varhaisen kypsyysvaiheen teknologiat, joiden kehityksessä ja pilotoinnissa yritykset ovat itse vahvasti mukana. Teknologioita voidaan kehittää sisäisesti yrityksen toimesta tai yhteistyössä muiden yritysten ja tutkimuslaitosten kanssa. Uuden teknologian suhteen yritys saattaa aloittaa investointipolun testausvaiheesta liittyen muualla tehtävään kehitystyöhön.

Uuden teknologian investoinnin toteutumispolku saatetaan tehdä yrityksessä sisäisesti, yritys saattaa liittyä muualla tehtävään kehitystyöhön tai yritys ei ole lainkaan mukana teknologian kehityksessä. Kuitenkin riippumatta siitä missä ja miten teknologia kehitetään kypsäksi, investointien toteutumispolkuun sisältyy kaupallisen selvitysvaiheen tuote- ja markkina-analyysi, toteutettavuusselvitykset, luvitus ja toteutukseen liittyvät toimet.

### 4.1.1 Uuden teknologian investoinnin toteutumispolku

Uutta teknologiaa kehittäessä käydään Kuvassa 18 esitetty toteutumispolku läpi kokonaan tai lähes kokonaan. Yritys saattaa tehdä uuden teknologian kehityksen sisäisesti, liittyä muualla tehtävään kehitystyöhön jossain sen vaiheessa tai olla tekemättä kehitystyötä lainkaan. Jos yritys ei tee kehitystyötä lainkaan, ei investoiva yritys käy läpi uuden teknologian investointipolkua, vaan investointipolku alkaa kaupallisesta selvitysvaiheesta. Riippumatta siitä missä uuden teknologian kehitys toteutetaan varhaisen vaiheen T&K vaiheen aikana, kun TRL on matala selvitetään usein laajaa kirjoa ratkaisuja, joista iso osa karsiintuu jo alkuvaiheessa tai testauksen aikana.

#### Varhaisen vaiheen T&K

Varhaisen vaiheen tutkimuksen ja kehityksen aikana yritys voi kehittää monia eri ratkaisuja samanaikaisesti. Investointikustannukset pysyvät usein maltillisella tasolla, sillä teknologinen kehitys tapahtuu pääsääntöisesti vain teorian tai laboratoriotutkimusten tasolla. Maltilliset kustannukset mahdollistavat monen eri konseptin samanaikaisen kehittämisen. Kun kehitetyt teknologiat siirtyvät testausvaiheeseen, yritys karsii selvitetäviä investointeja perustuen ratkaisun soveltuvuuteen investointikustannusten kasvaessa.

#### Testaus

Testausvaiheessa yritys demonstroi ja pilotoi varhaisen vaiheen T&K aikana kehitettyjä teknologioita. Kuten aikaisemmin mainittu, kaikkia teknologioita ei testata ja pilotoida, vaan yritys pyrkii testaamaan vain potentiaalisesti parhaiten soveltuvia teknologioita, joita saattaa olla yksi tai useampia. Testausvaiheen alussa toteutetaan demonstraatio (demo) laitos. Demolaitos on pienimuotoinen, lyhytkestoinen ja yksinkertaistettu kokeilu. Demo laitoksen tarkoitus on osoittaa teorian tasolla olevan teknologian reaali maailman toimivuus. Demonstroitavista ratkaisuista valitaan potentiaalisimmat teknologiat pilotoitaviksi. Pilottilaitos on reaali maailman tuotantolaitoksen kaltainen, mutta mitta-kaavaltaan pienempi. Pilottilaitoksen tavoite on osoittaa ratkaisun soveltuvuus jatkuvaan, sekä laatuvaatimusten mukaiseen tuotantoon.

### 4.1.2 Kypsän teknologian investoinnin toteutumispolku

Kypsän teknologian investointipolku alkaa kaupallisesta selvitysvaiheesta (ks. Kuva 18). Kypsä teknologia voi olla yrityksen kehittämää, yhteistyössä kehitettyä, tai kokonaan muualla kehitettyä teknologiaa. Toteutumispolun pääpaino kypsän teknologian suhteen on soveltuvuuden ja toteutettavuuden arvioinnissa ja arviointien perusteella tehtävässä investointipäätöksessä. Kaupallisen selvitysvaiheen alussa yritys saattaa selvittää monen eri ratkaisun soveltuvuutta samanaikaisesti, jatkuvasti vertaillen vaihtoehtoja keskenään.

## Kaupallinen selvitys

Investointipolun kaupalliseen selvitysvaiheeseen sisältyy valmiin tai lähes valmiin teknologian yritysten tarpeiden mukaisen soveltuvuuden arviointi ja kehitys. Ensimmäiseksi tehdään tuote- ja markkina-analyysi, jotta ymmärretään eri investointivaihtoehtojen potentiaali markkinoilla. Tähän vaiheeseen toteutumispolkua sisältyy olennaisesti markkinan kysynnän ja kilpailun kartoituksen lisäksi eri investointimahdollisuuksien vertailu keskenään. Selvitettävien ratkaisujen, kuten perinteisten laitosinvestointien, energiatehokkuusinvestointien ja korvaavien teknologioiden vaikutusta tuotteiden markkinapotentiaaliin verrataan toisiinsa. Kaupallisessa selvitysvaiheessa eri ratkaisulle tehdään lisäksi toteutettavuusanalyysijä tuote- ja markkina-analyysihin perustuen. Toteutettavuusanalyysissä otetaan lisäksi huomioon investoinnin kustannukset, ope-roinnin kustannukset ja tuotto-odotukset. Analyysien perusteella voidaan määrittää kannattavin investointi.

Tuote-, markkina- ja toteutettavuusanalyysijä tehdään usein yhdelle ratkaisulle samanaikaisesti mahdollisesti moneen eri maantieteelliseen sijaintiin. Korkeimman kaupallisen potentiaalin investoinneille aloitetaan yleensä jo ennen investointipäätöstä luvitusprosessi (ks. Taulukko 12) valikoiduissa maantieteellisissä sijainneissa. Myös yksityiskohtien suunnittelu, hankinta ja alustava rakentaminen voidaan aloittaa jo ennen investointipäätöstä. Vaiheen aikana karsiutuu potentiaalisia ratkaisuja pois niiden heikon kaupallisen potentiaalin takia, joka voi johtua esimerkiksi riittämättömästä kysynnästä, liian kilpaillusta tarjonnasta, tai huonosta toteutettavuudesta lähellä kohdemarkkinoita.

## Investointipäätös ja toteutus

Investointipäätös tehdään kaupallisen selvitysvaiheen analyysien perusteella yrityksen tarkoituksiin soveltuvaan teknologiaan, jolla on korkein tuotto-odotus. Tuotto-odotuksen lisäksi yrityksen strategiset linjaukset ohjaavat investointipäätösten tekoa. Joissain tilanteissa investointeja ohjaa vahvasti yrityksen strateginen suunta, markkinoiden kysyntä ja kilpailu ja yrityksen tavoittelema julkisuuskuva esimerkiksi vastuullisesta yritystoiminnasta. Investoinneissa päästövähennysteknologiaan ainoa kriteeri ei välttämättä ole kannattavuus, mutta kannattavin vaihtoehto tarkoitukseen soveltuvista investoinneista valitaan.

Investointipäätöksen jälkeen toteutusvaihe alkaa. Toteutusvaiheen alettua investoinnin pääomakustannukset kasvavat merkittävästi yrityksen sitoessa enemmän pääomaa investointiin aloittaessaan käytännön toteuttamisen ja rakentamisen. Usein jo ennen toteutusvaiheen alkua luvitus on jo pitkällä sekä suunnittelu, hankinta ja rakentaminen ovat jo valmisteltu. Laajalti tehdyn valmistelun vuoksi käytännön toteuttaminen voidaan aloittaa lähes välittömästi investointipäätöksen jälkeen.



### 4.1.3 Laitosinvestoinnin luvitus

Investointien toteutuspolun yksi kriittisistä vaiheista on luvitusprosessi, joka tapahtuu pääasiassa ennen investointipäätöstä. Uuden laitosisinvestoinnin luvitus on pitkäkestoinen ja monivaiheinen prosessi. Laitosisinvestoinnin tarvitsemat luvat riippuvat siitä onko laitos uusi vai tehdäänkö muutoksia olemassa olevaan laitokseen. Tässä työssä tarkasteltavien toimialojen uusille laitoksille tarvitaan yleensä kaikki Taulukko 12 sisällä kuvatut luvat. Olemassa olevaan laitokseen tehtävien investointien lupavaatimukset riippuvat pääasiassa toiminnan muutoksen mittakaavasta ja vaikutuksista ympäristöön. Investointipäätöstä ei tehdä ennen kuin yrityksellä on osa luvista hankittu ja riittävästi läpinäkyvyyttä kaikkien lupien saamiseen. Taulukko 12 kuvaa tässä työssä esiin nousseita laitosisinvestoinneille keskeisiä luvituksen vaiheita.

**Taulukko 12** Luvituksen keskeiset vaiheet

	Luvan myöntäjä	Kuvaus	Käsittelyn arvioitu kesto
<b>Hanke-kaavoitus</b>	Kunta	Kaavoitusprosessi, joka on käynnistetty yksityisen toimijan aloitteesta liittyen tiettyyn hankkeeseen	16 kuukautta
<b>Ympäristövaikutusten arviointi (YVA)</b>	Elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskus	Hankkeesta vastaava taho tekee hankkeen ympäristövaikutusten arvioinnin lakisääteisen arviointiohjelman mukaisesti	13 kuukautta
<b>Ympäristölupa</b>	Aluehallintovirasto tai kunnan ympäristönsuojeluviranomainen	Ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavalle toiminnalle haettava lupa, jossa määritetään hyväksyttävät mallit, rajat ja toimintatavat ympäristön käytölle tai rasitukselle	10 kuukautta (luvan muutos) 14 kuukautta (uusi lupa)
<b>Kemikaali- ja turvallisuusluvat</b>	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto	Kemikaalien ja kaasujen teollinen käsittely vaatii luvan, jossa määritetään turvallinen toiminta ja toiminnan laajuus	8 kuukautta
<b>Rakennuslupa</b>	Kunnan rakennusvalvontaviranomainen	Uuden rakennuksen rakentamiseen ja korjaus- ja muutostyöhön, joka on verrattavissa rakentamiseen, vaaditaan rakennuslupa. Vaatimukset vaihtelevat hanke ja aluekohtaisesti	3–6 kuukautta
<b>Valitusprosessi</b>	Hallinto-oikeus ja Korkein hallinto-oikeus	Jos luvista valitetaan, voi oikeusprosessit viivästyttää luvan saantia vuosia. Viivästys on merkittävä jos hallinto-oikeuden päätöksestä valitetaan edelleen korkeimpaan hallinto-oikeuteen	1–3 vuotta

Eri lupien saamiset ovat pitkiä prosesseja, joihin yrityksen tulee tehdä lukuisia selvityksiä luvan myöntävälle taholle. Yritys pyrkii aloittamaan lupaprosessin vain todennäköisille hankkeille prosessin kustannuksista johtuen. Prosessin kesto on hankkeesta riippuvainen, ja taulukossa arvioidut kestot ovat vain suuntaa antavia. Lähes kaikista luvista voi valittaa, jolloin käsittelyaika pitenee entisestään.

Luvitus tulee tehdä myös jo olemassa olevan laitoksen muutoksille ja demonstraatio- ja pilottilaitoksille. Näissä tapauksissa tarvittavat luvat vaihtelevat hankekohtaisesti. Ympäristölupa ja rakennuslupa tulee hakea lähes kaikissa tapauksissa, myös pienemmissä muutoksissa ja rakennuksissa. Ympäristölupaa ei tule hakea tilanteissa, joissa toiminnan muutos ei lisää ympäristöön kohdistuvia vaikutuksia ja riskejä.

## 4.2 Investointeihin vaikuttavat julkiset interventiot

Päästövähennysinvestointeihin vaikuttavat julkiset interventiot ohjaavat teollisuuden toiminta- ja investointiympäristöä. Vaikuttavia interventioita ovat joukko kansallisia ja EU:n laajuisia tukimekanismeja, sääntelyitä ja toimintaympäristön suuntaviivoja. Tässä työssä tehty kuvaus julkisista interventioista ei ole kaikenkattava kokonaisanalyysi. Esiintuodut interventiot perustuvat tämän työn muissa vaiheissa, etenkin sidosryhmätyöskentelyn aikana, esiin nousseisiin tekijöihin. Esiintuodut interventiot vaikuttavat erityisesti tarkasteltaviin toimialoihin ja laitoksiin.

Taulukko 13, Taulukko 14 ja Taulukko 15 esittävät tässä työssä käsiteltävät julkiset interventiot, näihin liittyvät toimijat sekä mihin investoinnin vaiheeseen interventio vaikuttaa ja vaatimukset, joita tuen saaminen vaatii tai joita regulaatio ja suuntaviivat vaativat. Taulukoissa esitetyt interventiot eivät ole kokonaiskuva julkisista interventioista, vaan työn muissa vaiheissa esiinnousseita, tarkasteltavia toimialoja erityisesti koskevia interventioita. Jokaisessa interventioita kuvaavassa kategoriassa on toimia, jotka vaikuttavat eri vaiheissa yrityksen päätöksenteko- ja investointiprosessia. Kappaleessa 4.1 on kuvattu investointien toteutumispolku yrityksissä. Kuvatun toteutumispolun mukaisesti vaiheet, jossa interventio vaikuttaa investointiin on jaoteltu viiteen vaiheeseen. Viisi vaihetta ovat varhaisen vaiheen tutkimus ja kehitys, teknologian testaus, kaupallisuuden ja toteutettavuuden selvitys, investointipäätös ja toteutus. Lisäksi osa interventioista ei kohdistu yksittäiseen vaiheeseen, vaan vaikuttavat toimintaympäristöön jatkuvasti taustalla. Investoinnin operointia ei ole erikseen huomioitu, sillä tarkastelu keskittyy investointipolkuun. Kuitenkin yritykset tekevät mittavat selvitykset operoinnin kustannuksista investointipolun aikana. Operointikustannuksiin vaikuttavat tekijät täten huomioidaan kaupallisuuden ja toteutettavuuden selvitysvaiheessa.

**Taulukko 13** Tukimekanismeja

	Toimija	Investoinnin vaihe	Vaatimukset
<b>Kertaluontoiset tuet</b>			
<b>Tutkimus-, kehitys ja pilotointi-rahoitus</b>	Business Finland	Varhaisen vaiheen T&K	Käytettävä tutkimustyöhön, vaaditaan työn ostamista pk-yrityksiltä ja tutkimuslaitoksilta
<b>Pilotointilaina</b>	Business Finland	Teknologian testaus	Lainaa voi saada uutuusarvoa sisältävään kehitys- ja pilotointivaiheen vientiratkaisuun
<b>Kiertotalouden investointiavustus</b>	Business Finland	Investointipäätös	Investoinnin tulee parantaa ympäristönsuojelua yli EU:n normien tai lisätä jätteen kierrätystä nykyisen teknisen kehitystason yli
<b>Yritysten ja tutkimusorganisaatioiden yhteistyö</b>	Business Finland	Varhaisen vaiheen T&K, Teknologian testaus	Tutkimusorganisaatioiden ja yritysten yhteishankkeiden valmistelu
<b>Energiatuki</b>	Työ- ja elinkeinoministeriö, Business Finland	Investointipäätös	Investointi- ja katselmushankkeet, jotka edistävät uusiutuvan energian tuotantoa ja käyttöä, energian tuotannon tai käytön tehostamista tai muuten muokkaa energijärjestelmää vähähiilisemmäksi
<b>EU:n elpymis- ja palautumistuki-väline (RRF)</b>	EU, Työ- ja elinkeinoministeriö, Business Finland	Investointipäätös	EU:n elpymistukivälineen vaatimusten mukaisia projekteja 2021–2023 monessa eri rahoitusauksessa

	Toimija	Investoinnin vaihe	Vaatimukset
<b>Jatkuvat tuet</b>			
<b>Päästöoikeuksien ilmaisjako</b>	Energiavirasto	Kaupallisuuden ja toteutettavuuden selvitys	Hiilivuotoriskille alttiit toimialat saavat 100 % ja muut rajatut toimialat saa 30 % ilmaisjakosääntöjen perusteella laskettavasta määrästä päästöoikeuksia
<b>Energiaverotus</b>	Valtionvarainministeriö	Kaupallisuuden ja toteutettavuuden selvitys	Energiaveroksi Suomessa lasketaan liikennepolttoaineiden, kevyen ja raskaan polttoöljyn, kivihiilen, polttoturpeen, maakaasun sekä sähkön perus- ja lisäverot sekä näiden huoltovarmuusmaksut
<b>Sähköistämistuki</b>	Energiavirasto	Kaupallisuuden ja toteutettavuuden selvitys	Toiminta merkittävän hiilivuodon riskin toimialalla, 50 % tuesta käytettävä kehittämistyöhön, tuki perustuu sähkönkulutukseen

Tukimekanismien merkitys korostuu etenkin investointipolun alkuvaiheessa, kun teknologiaa kehitetään ja kaupallistetaan. Teknologian kehitykseen ja kaupallistamiseen on monia eri tukimekanismeja, jotka kaikki ovat kertaluontoisia tukia. Nämä tukimekanismit edistävät päästövähennyksiä luomalla ja kehittämällä uutta teknologiaa ilmastonmuutoksen hallintaan. Investoinnin kustannuksiin vaikuttavia interventiota on niin kertaluontoisia kuin jatkuvia tukia. Investointipäätökseen vaikuttavat kertaluontoiset tuet vähentävät yrityksen investointikustannuksia. Investoinnin kannattavuuteen kohdistuvat jatkuvat tuet vaikuttavat investoinnin operatiivisiin kustannuksiin.

Taulukko 14 Sääntely

	Toimija	Investoinnin vaihe	Vaatimukset
<b>Valtiontukisääntely</b>	EU, Työ- ja elinkeinoministeriö	Jatkuvasti taustalla	Euroopan komission asettamat säännöt siihen, millaiset valtiontuet ovat sallittuja ja millaisia menettelytapoja tukia myönnettäessä tulee noudattaa
<b>Päästökauppa</b>	EU, Energiavirasto	Kaupallisuuden ja toteutettavuuden selvitys	Päästöoikeuksien ostaminen
<b>Taksonomia</b>	EU	Kaupallisuuden ja toteutettavuuden selvitys, Investointipäätös, Toteutus	Rahoitus- ja investointikohteiden kestävyysluokittelu
<b>Luvitus</b>	EU, ELY-keskus, AVI, Ympäristöhallinto, TUKES, kunta, rakennusvalvonta	Kaupallisuuden ja toteutettavuuden selvitys, Toteutus	Investoinnista riippuen YVA-menettely ja lakisääteinen luvitus (ks. Taulukko 12)
<b>Jätteenpoltoasetus</b>	EU, Ympäristöministeriö	Investointipäätös	Vaaralliseksi luokiteltua jätettä ei voida polttaa päästöjen raja-arvoista johtuen monissa jätteiden rinnakkaispolttolaitoksissa
<b>CCS-lainsäädäntö</b>	EU, Ympäristöministeriö	Investointipäätös	Hiilidioksidia ei saa varastoida geologisesti Suomeen
<b>Kierrätys syötteiden päästölaskelmat</b>	Energiavirasto	Kaupallisuuden ja toteutettavuuden selvitys	Kierrätyspolttoaineille asetetaan vuosittain kansalliset päästökertoimet
<b>IED 2.0</b>	EU	Kaupallisuuden ja toteutettavuuden selvitys	Vasta käsittelyssä, vaikuttaisi teollisuuden lupaprosesseihin, päästörajoihin ja ympäristötarkastuksiin
<b>RED III</b>	EU	Kaupallisuuden ja toteutettavuuden selvitys	Vasta käsittelyssä, vaikuttaisi etenkin biomassan luokitteluun
<b>CBAM</b>	EU	Kaupallisuuden ja toteutettavuuden selvitys	Hiilitulli muualla kuin EU:n sisällä tuotetuille päästöille

Euroopan Unionin rooli teollisuuden toiminta- ja investointiympäristöön vaikuttavassa regulaatiossa on huomattava. Regulaation pääpaino on ohjata teollisuuden toimintaa vähäpäästöisemmäksi ja kannustaa vihreän siirtymän investointeja. Regulaation vaikutus on pääosin investoinnin toteutumispolun loppuvaiheessa, investoinnin kannattavuuden määrittämisessä ja investointipäätöksessä ja investoinnin toteutuksessa. Luvitukseen ja päästökauppaan liittyvä regulaatio vaikuttaa myös teknologian kehityksessä, sillä testi- ja demonstraatiolaitoksille tulee myös tehdä luvitus ja hakea päästölupa.

**Taulukko 15** Toimenpideohjelmat ja strategiat

	Toimija	Investoinnin vaihe	Vaativuudet
<b>Strategiat ja viitekehykset</b>			
<b>Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma (KAISU)</b>	Ympäristöministeriö	Jatkuvasti taustalla	Toimenpideohjelma päästökaupan ulkopuolisten sektorien päästöjen vähentämiseksi
<b>Ilmasto- ja energiastrategia</b>	Työ- ja elinkeinoministeriö	Jatkuvasti taustalla	Keskipitkän aikavälin toimenpideohjelma, jolla Suomi täyttää EU:n vuoden 2030 velvoitteet ja saavuttaa kansallisen 2035 ilmastotavoitteen
<b>Green Deal</b>	EU	Jatkuvasti taustalla	Joukko Euroopan komission poliittisia aloitteita, joiden yleisenä tavoitteena on tehdä EU:sta ilmastoneutraali vuonna 2050
<b>Fit for 55</b>	EU	Jatkuvasti taustalla	Säädösehdotuspaketti, jonka tavoitteena on vähentää EU:n kasvihuonepäästöjä 55 % vuoteen 2030 mennessä

	Toimija	Investoinnin vaihe	Vaatimukset
<b>Muut toimintaympäristöön vaikuttavat tekijät</b>			
<b>Talous ja veropolitiikka</b>	Valtioneuvosto, ministeriöt	Jatkuvasti taustalla	Ohjaa toimintaympäristön kilpailukykyä
<b>Koulutuspolitiikka</b>	Valtioneuvosto	Jatkuvasti taustalla	Vaikuttaa osaavan työvoiman saatavuuteen ja tutkimukseen
<b>Työvoimapolitiikka</b>	Valtioneuvosto	Kaupallisuuden ja toteutettavuuden selvitys	Vaikuttaa osaavan työvoiman saatavuuteen
<b>Synteettisten polttoaineiden markkinan kehitys</b>	Markkinat, EU, Valtioneuvosto	Jatkuvasti taustalla	Määrittää sähkön tarpeen kasvua ja talteen otetun hiilidioksidin markkinoita

Toimintaympäristön suuntaviivat ovat kansallisia ja EU:n laajuisia strategioita, viitekehyksiä ja muita poliittisia tekijöitä, jotka ohjaavat toimintaympäristöä. Työvoimapolitiikka lukuun ottamatta suuntaviivat eivät vaikuta yksittäiseen vaiheeseen investoinnin toteutumispolussa, vaan ne ovat jatkuvasti taustalla kehittäen toimintaympäristöä. Suuntaviivoilla on pidemmän aikavälin ohjaava vaikutus, kun taas tukimekanismeilla ja regulaatiolla on yksityiskohtaisempi, kohdennettu vaikutus.

## 4.3 Investointien toteutumisen haasteita ja ratkaisuehdotuksia

Energiaintensiivisen teollisuuden vihreää siirtymää tukevien investointien toteutumisedellytyksiä, toteutumisen haasteita sekä aikatauluun vaikuttavia tekijöitä on tarkasteltu osana työtä. Kuten kappaleessa 4.1 käy ilmi, investointipäätöstä edeltää jopa vuosia kestävää TKI-toimintaa, esiselvityksiä ja toteutettavuusselvityksiä. Tarkasteltavan investoinnin toteutumiseen vaikuttavat tekijät riippuvat siitä, missä vaiheessa investoinnin päätöksentekovaihetta yritys on. Toisaalta työssä sivutaan myös tekijöitä, jotka puoltavat tai estävät investointien sijoittumista Suomeen. Tämä näkökulma on erityisen relevantti kansainvälisten yritysten kohdalla, jotka arvioivat kansainvälisellä tasolla investointimahdollisuuksia valiten houkuttelevimmat investoinnit.

Keskeisiä sidosryhmiä on selvityksen aikana haastateltu investointien toteutumisedellytyksien kartoittamiseksi. Keskeisillä sidosryhmillä tarkoitetaan tässä yrityksiä, jotka kuuluvat työn rajauksen piiriin sekä edunvalvontajärjestöjä. Sidosryhmähaastatteluissa investointien toteutumiseen ja aikatauluun vaikuttavat tekijät jaettiin teknologiaan, TKI-tukipolitiikkaan, sääntelyyn ja toimintaympäristöön sekä yritystason valintoihin liittyviin tekijöihin. Haasteiden tunnistamisen lisäksi yrityksiltä on haettu syötteitä tarvittavista toimenpiteistä ja ratkaisuista tunnistettujen haasteiden ratkaisemiseksi. Osa tunnistetuista ratkaisuksista on AFRYn asiantuntijoiden täydentämiä. Sidosryhmäprosessi ja haastellut tahot on kuvattu tarkemmin liitteeseen I.

### 4.3.1 Sidosryhmähaastattelujen tulokset

Sidosryhmähaastattelut on toteutettu teemahaastatteluina eli yritysten edustajat ovat vapaamuotoisesti kuvailleet heille relevantteja investointien toteutusedellytyksiä. Alla Taulukko 16, Taulukko 17, Taulukko 18 ja Taulukko 19 kuvaavat teemoja, jotka toistuivat useampien tai kaikkien toimialojen kohdalla sidosryhmähaastatteluissa. Teemat kuvaavat sidosryhmien tunnistamia tekijöitä, joilla on tavalla tai toisella jarruttava vaikutus investointien toteutumisen todennäköisyyteen ja/tai aikatauluun. Taulukoissa on tarkennettu, onko tunnistettu tekijä toimialarajat ylittävä eli useamman tai kaikkien toimialojen esiin nostama vai sektorikohtainen haaste.



**Taulukko 16** Teknologia

<b>Tekijä</b>	<b>Ongelma</b>	<b>Relevantit toimialat</b>	<b>Ratkaisu</b>
<b>Matala teknologian kypsyys</b>	Uuden teknologian pitkä kehitysaika, korkea kustannus ja skaalautumisen haasteet.	Toimialarajat ylittävä	TKI-panostusten tehokas, monipuolinen ja oikea-aikainen suuntaaminen (ks. kohta TKI-tukipolitiikka).
<b>Huoltoseisokit</b>	Osalla toimialoista huoltoseisokkeja keskimäärin viiden vuoden välein, jolloin on suotuisimmat mahdollisuudet tehdä prosessimuutoksia	Kemia	Oikea-aikainen investoinnin valmistelu ml. luvitus.
<b>Prosessi-integraatio</b>	Integroituneissa laitoskeskitymissä yksittäisillä prosessimuutoksilla, esimerkiksi sähköistämisellä, voi olla vaikutuksia muihin prosesseihin ja kokonaisenergia-tehokkuuteen. Prosesseissa syntyviä sivuvirtoja voidaan hyödynnetään laajasti ja näin ollen sähköistämisen myötä syntyvät fossiiliset sivuvirrat voivat jäädä hyödyntämättä ja ne on loppukäsiteltävä vaihtoehtoisesti.	Kemia	Yritysyhteistyö, pitkäjänteinen suunnittelu, laajat prosessimuutokset ja muutokset valmistettavissa lopputuotteissa, uudelleenrakentaminen.
<b>Jälkiasennukset</b>	Nykyisten tehdasalueiden pinta-ala voi olla rajallinen uusien teknologioiden jälkiasennukselle.	Kemia, teräs	Nykyisen kapasiteetin purkaminen tai uudelleenjärjestely.

Taulukko 17 TKI-tukipolitiikka ja investointituet

Tekijä	Ongelma	Relevantit toimialat	Ratkaisu
TKI – tukien myöntämisen kriteerit (yritystaso)	Tukien myöntämiseen liittyvät rajoitteet kuten toteutumisen kiinteä aikataulu ja kannattavuusvaatimukset, erityisen haastavia uuden teknologian kohdalla. Lisäksi esimerkiksi energiatehokkuusparannuksiin ei tarjolla riittävästi tukea, joilla olisi mahdollista saada kustannustehokkaita päästövähennyksiä.	Toimialarajat ylittävä	Joustavat hakuajat ja kannattavuusvaatimukset
TKI – tukien kohdentaminen (teknologia-valinnat)	Tukikriteerien ulkopuolelle jää päästövähennysratkaisuja ja kasvihuonekaasupäästöjä (esim. ilokaasu). Esimerkiksi vaatimus vientipotentialista, skaalautuvuudesta ja ei-polttoon perustuvista ratkaisuista mainittiin.	Toimialarajat ylittävä	Teknologianeutraalit tukikriteerit. Eriytetyt tukimekanismit, jotka huomioivat alakohtaiset ominaispiirteet.
TKI – tukien kohdentaminen (teknologinen kypsyyt)	Kumppanuusrahoitushaku veturiyritysten ekosysteemien tutkimus-, kehitys- ja innovaatiohankkeisiin sallii ainoastaan varhaisen kypsyyden teknologian tutkimista.	Toimialarajat ylittävä	Joustavat hakukriteerit, jotka mahdollistavat yhteiskehittämisen TRL-neutraalisti.
TKI – tukihakemukset	Tukihakemuksen tekemisen työläys ja kalleus, joka vaikuttaa halukkuuteen hakea tukea erityisesti, jos mahdollisuudet tuen saamiseksi ovat pienet.	Toimialarajat ylittävä	Mahdollisuus sisällyttää tukihakemuksesta koituneet kulut osaksi haettavaa tukea.
TKI-tukien rajoitteet	Business Finlandin tuki rajoitettu Suomessa tehtävälle työlle, mikä rajoittaa käytettävissä olevaa asiantuntijuutta. Esimerkiksi petrokemian asiantuntijuutta on Suomessa vain rajallisesti saatavilla, jolloin olisi luontevaa hyödyntää myös kansainvälisiä asiantuntijoita.	Kemia	Hakukriteerit, jotka mahdollistavat kansainvälisen asiantuntijayhteistyön.
TKI-tukien kokoluokka	Suomalaiset tuet riittämättömiä ja EU-tuet liian suuria esimerkiksi teknologiakehitykseen.	Sementti- ja kalkki	TKI-tukien katvealueiden tunnistaminen ja huomioiminen kansallisessa tukisuunnittelussa.
TKI-tukien ennakoitavuus	Ilman näkyvyyttä tulevaisuuden TKI-tukiin on haastava yritystasolla priorisoida kehitettäviä teknologioita, jotta se tuen hakuaikaan olisi investointikypsää.	Teräs	Näkyvyys tulevaisuuden TKI-tukiin seuraavien 5–10 vuoden aikana.
Rahoituksen niukkuus	TKI- ja investointeihin kohdennettu rahoitus on niukkaa, joka kiristää tuen saamisen kriteereitä	Toimialarajat ylittävä	Suomen Akatemian ja Business Finlandin rahoituksen osittainen yhdistäminen.

Taulukko 18 Toimintaympäristö / Sääntely

Tekijä	Ongelma	Relevantit toimialat	Ratkaisu
<b>Toimintaympäristön ennakoimattomuus</b>	Heikko näkyvä toimintaympäristön kehittymiseen, sääntelyn jatkuvuuteen ja energian hintaan. Vaikutus investointipäätöksiin investointilaskelmien kannattavuuden kautta. Keskeisinä kysymyksiä esimerkiksi päästökaupan ilmaisjaon tulevaisuus ja biomassan kestävyyskriteerit.	Toimialarajat ylittävä	Pitkäjänteinen politiikkasuunnittelu.
<b>Sähköistämistuki</b>	Nykyinen sähköistämistuki, joka poikkeaa EU:n sallimista maksimimääristä, asettaa Suomen epäedulliseen asemaan investointien houkuttelemisessa Suomeen. Lisäksi koettiin, että se ei huomioi odotettua korkeampaa päästöoikeuden hintaa.	Toimialarajat ylittävä	EU:n valtiontukisääntöjen mukainen sähköistämistuki, joka ei merkittävästi poikkea muista jäsenvaltioista.
<b>Luvitus (kesto ja ennakoimattomuus)</b>	Luvitusprosessin keston ennakoimattomuus, epätietoisuus luvitusprosessin tilanteesta, pitkät käsittelyajat, koordinaatiohaasteet viranomaisten välillä, jotka hidastavat investointipäätöstä ja kasvattavat riskejä. Esimerkiksi investoinnin oikea-aikaisuuden varmistaminen edellyttää usein rakentamisen käynnistämistä jo ennen luvan saantia. Lisäksi tulevan IED 2.0 direktiivin vaikutuksia haastava ennakoida.	Toimialarajat ylittävä	Teollisuuden huomioiminen kaavoituksessa, viranomaisyhteistyö, viranomaisten keskinäisten valitusoikeuksien rajaaminen, ”yhden luukun periaate”, vauhdittavat luvituskaistat, resurssipulan ratkaisu, hankekaavoituksen tehostaminen, keventämistoimet, luvituksen teknisen osan yksityistäminen, yhden luvitusvalmisteluosaston perustaminen, digitaalinen lupa- ja valitusten käsittely järjestelmä.
<b>Luvitus (koetoiminta)</b>	Osalla toimialoista korkea hallinnollinen taakka pienimuotoisesta koetoiminnasta.	Kalkki- ja sementti	Koetoiminnan hallinnollinen helpottaminen ilman täysimittaista lupakäsittelyprosessia.

Tekijä	Ongelma	Relevantit toimialat	Ratkaisu
<b>Luvitus (selkeys)</b>	Epäselvää milloin tarvitaan ympäristövaikutusten arviointi (YVA) tai REACH rekisteröinti ja mitä on mahdollista tehdä nykyisen ympäristöluvan puitteissa.	Toimialarajat ylittävä	Selkeät linjaukset, milloin tarvitaan YVA tai uusi ympäristölupa, liikkumatilaa tehdä muutoksia nykyisen luvan puitteissa, luvituksen teknisen osan yksityistäminen, yhden luvitusvalmisteluosaston perustaminen.
<b>Kierrätysyötteiden regulaatio</b>	Nykyinen regulaatio ei kannusta (fossiilisten) kierrätysyötteiden hyödyntämiseen, sillä laskennallisesti niistä syntyy yhä hiilidioksidipäästöjä.	Kemia, kalkki- ja sementti	Kannustinloukkujen poistaminen regulaatiomuutoksilla, sertifiointiketju uusiutuville- ja kierrätysyötteille.
<b>Päästöoikeuden hinta</b>	Nykyinen päästöoikeuden hinta ei kannusta investointien toteuttamiseen nykyisten ratkaisujen ollessa yhä kilpailukykyisiä.	Kemia, teräs	Hintaerosopimukset (CCFD)
<b>Muut kasvihuonekaasupäästöt</b>	Nykyinen regulaatio painottaa hiilidioksidipäästöjä, ja ei kannusta muiden päästövähennysten toteuttamiseen.	Kemia	EU ETS:n kehittäminen siten, että päästövähennykset kierrätysyötteistä ja eri kasvihuonekaasuissa tunnustetaan.
<b>Raaka-aineiden saatavuus ja infrastruktuuri</b>	Puhtaan vedyn, raaka-aineiden, biogeenisen hiilidioksidin, uusiutuvan sähkön ja sivuvirtojen saatavuus sekä kuljetusmahdollisuudet, tieinfrastruktuurin kunto, rajalliset hiilidioksidin varastointimahdollisuudet. Lisäksi osaa raaka-aineista, kuten biohiiltä, ei saatavilla suuressa mittakaavassa johtuen toimittajien pienestä koosta.	Kemia, teräs, metsä	Julkiset panostukset vedyn- ja sähkönsiirtoinfrastruktuuriin sekä tieparannuksiin.
<b>EU-lainsäädännön tulkinta</b>	Jätteenpolttoasetuksen tulkinta muista EU-maista poikkeavasti rajoittaen vaarallisten jätteiden käyttöä ja asettaen Suomen epäedulliseen kilpailuasemaan.	Kalkki- ja sementti	EU:n teollisuuspäästädirektiivin artiklan 46 mukainen tulkinta rinnakkaispolttolaitosten ilmaan johdettavien päästöjen raja-arvoista.
<b>Uusiutuvan sähkön saatavuus ja hinta</b>	Pohjois-Ruotsin ja Pohjois-Norjan edullinen, toimitusvarma ja uusiutuva sähkö ohjaa investointeja pois Suomesta.	Teräs	Suomeen kaksi sähkön hinta-aluetta, lisäykset sähkön tuontikapasiteettiin, pienydinreaktorien demolaitosten tukeminen.

### **CCS/CCU – Regulaatio hiilidioksidin talteenoton pullonkaulana**

Mitigaatiohierarkian mukaisesti hiilenpoisto on vaihtoehtoina viimeisiä, kun päästöjä on ensin pyritty minimoimaan toisin keinoin. Hiilineutraalius ja teollisuuden päästöjen leikkaaminen edellyttää monella toimialalla kuitenkin hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia tai hyödyntämistä. Toimialat nostivatkin toistuvasti esiin CCS/CCU:hun liittyviä haasteita, jonka vuoksi niihin syvennyttiin sidosryhmätyöpajassa.

Sidosryhmät näkivät, että nykyinen regulaatio on osin puutteellista ja epävarmaa CCS/CCU:n kohdalla eikä nykyinen sääntelykehikko kannusta investoimaan. Erityisesti CCU:n kohdalla tunnistettiin merkittävä kannustinloukku; nykyisen regulaation mukaisesti hiilidioksidin talteenottaja ei hyödy siitä, että se toimittaa talteen otetun hiilidioksidin esimerkiksi sähköpolttoaineiden valmistukseen. Hiilidioksidin talteenottaja ei pääsääntöisesti voi lukea päästövähennystä omakseen ja päästökauppadirektiivin mukaisesti se joutuu yhä hankkimaan talteen otettua hiilidioksidia vastaavan määrän päästöoikeuksia. Lisäksi päästövähennys liitetään sähköpolttoaineiden valmistajalle kuuluvaksi. Näin ollen, sidosryhmät toivoivatkin selkeytystä regulaation suuntaviivoista – tullaanko EU:ssa ja kansallisesti luomaan kannustimia CCS:lle vai CCU:lle.

Bioenergian ja hiilidioksidin talteenoton sekä hyötykäytön (BECCUS) osalta regulaatio on myös epäkypsää. Lisäksi tulevaisuuden sertifikaattijärjestelmän sisältö ja pelisäännöt herättivät kysymyksiä. Regulaatio on tosin kehittymässä; esimerkiksi marraskuussa 2022 Euroopan Komissio teki ehdotuksen hiilenpoistojen sertifioinnista, jolla parannettaisiin hiilenpoistojen seuranta ja todentamista.

Nykyiset tukimekanismit koettiin myös riittämättöminä ja jopa jättäen osittain CCS/CCU:n tukien ulkopuolelle tehden CCS/CCU investoinneista vielä kannattamattomia. Lisäksi keskustelua herätti mahdollinen tarve valtioiden välisille sopimuksille koskien talteen otetun ja varastoitavan hiilidioksidin siirrolle yli valtiorajojen. Nykyinen volatiiliksi koettu regulaatioympäristö koettiin myös hidastavan investointisuunnittelua.

Hiilidioksidin talteenottoteknologia on yhä osin kaupallistumatta, vaikka teknologia onkin suhteellisen kypsää. Kaupallisesti saatavilla olevia, kannattavia ja toimivaksi todettuja ratkaisuja ei vielä ole ja teknologian demonstrointi edellyttää yhä TKI-panostuksia.

Toisaalta talteenottoratkaisut edellyttävät joko varastointimahdollisuuksia tai tuotteita, jotka sitovat talteen otettua hiilidioksidia. Suomen geologiset hiilidioksidinvarastointimahdollisuudet ovat rajalliset ja yhdeksi vaihtoehdoksi on nähty Norjan merenpohjan alaiset onkalot. Sekä CCS että CCU molemmat myös edellyttävät hiilidioksidin siirto- tai vienti-infrastruktuuria. Lisäksi hiilidioksidia sitovien tuotteiden valmistus edellyttää usein vetyä (esim. sähköpolttoaineet) ja vetytalouden, ml. vetyinfrastruktuurin, kehittyminen tukee CCU teknologioiden kaupallista käyttöönottoa.

CCS/CCU:n kaupallinen käyttöönotto edellyttää myös markkinoiden muodostumista talteen otetulle hiilidioksidille. Kyseinen teknologia edellyttää riittävän suuruuden ekonomian ja sidosryhmät nostivatkin esiin, onko Suomessa tarpeeksi (biogeenisiä) pistelähteitä tulevaisuudessa tai vaihtoehtoisesti riittävästi projekteja hiilidioksidin hyötykäytölle. Lisäksi esiin tuotiin myös näkökulma muna kana-ongelmasta; löytyykö markkinoilta riittävästi kysyntää hiilidioksidille, jos tarjonta on vasta kehittymässä ja toisin päin. Toisaalta sidosryhmien halukkuus kehittää CCS/CCU ratkaisuja oli huomattavaa ja regulaation hidaskäyttö kehittyminen sekä suuntaviivojen selkeytys EU-tasolta kansallisen tason sijaan nähtiin merkittäväsi rajoittavan investointihalukkuutta.

Keskeisimmiksi ratkaisuksi CCS/CCU hankkeiden kaupallistamiselle Suomessa nähtiin kannustimien luominen päästölaskentasäännöissä ja yhteishankkeet yritysten välillä. Tukijärjestelmien kehittäminen ensimmäisten projektien käynnistämiseksi, selkeyttäminen tullaanko CCS vai CCU:ta priorisoimaan kansallisessa tai EU-sääntelyssä, hiilidioksidinsiirtoinfrastruktuurin kehittäminen valtion johdolla sekä hiilidioksidia sitovien markkinatuotteiden kehitys nähtiin myös merkittävinä ratkaisuinä investointien vauhdittamiseksi.

Hiilidioksidin talteenottoon liittyvissä regulaatiokysymykset odotetaan selkeyttä vielä lähiaikoina, kun neuvottelut päivitetystä päästökauppadirektiivistä tulevat päätökseensä. Toimialojen kiinnostus ja toisaalta hiilidioksidintalteenottoteknologioiden merkittävä tarve päästövähennystavoitteiden saavuttamisessa puoltavat CCS/CCU investointien toteutumista ennemmin tai myöhemmin. Aktiivisella ja selkeällä kansainvälisellä ja kansallisella ohjauksella sekä oikein kohdennetuilla investointituilla voidaan kuitenkin vauhdittaa investointien aikataulua huomattavasti. Ensiarvoisen tärkeää on ensimmäisten projektien liikkeelle laittaminen investointivarmuuden demonstroimiseksi sekä yritysten yhteen tuominen esimerkiksi Veturi-hankkeiden avulla. Investoinnit voivat myös vauhdittaa aktiivisen kysyntäsignaalin myötä esimerkiksi synteettisten polttoaineiden kaupallistumisen avulla.

Taulukko 19 Muut

Tekijä	Ongelma	Relevantit toimialat	Ratkaisu
Kannattavuus	Investointipäätös edellyttää investoinnin taloudellisen kannattavuuden ja taatun takaisinmaksukyvyn. Investointihalukkuuteen ja toisaalta laitoksen kokonaiskannattavuuteen vaikuttaa myös nykyisen laitteiston käyttöikä ja mikäli sitä on merkittävästi jäljellä.	Toimialarajat ylittävä	Tuotantotuet, investointituet, ostosopimukset, pakottava sääntely
Hiilivuoto	Investointien suuntautuminen EU:n ulkopuolelle johtuen tiukentuvasta EU-regulaatiosta, kasvavista kustannuksista Euroopassa sekä kasvavien markkinoiden maantieteellisestä sijainnista	Teräs, kalkki- ja sementti	Hiilirajamekanismi (CBAM)
Jäljellä oleva käyttöikä	Pääomaintensiivisessä teollisuudessa pitkät käyttöiät, ja mahdollisuudet nopeisiin muutoksiin rajallisia.	Toimialarajat ylittävä	Investointiympäristön ennakoitavuus
Tulevaisuuden visio	Puutteellinen tulevaisuuden visio teollisuuspolitiikasta investointien houkuttelemiseksi.	Toimialarajat ylittävä	Kestävän teollisuusstrategian laatiminen yhteistyössä teollisuuden toimijoiden kanssa
Energian hinnat	Käynnissä oleva energiakriisi vaikuttaa investointien kannattavuuteen	Toimialarajat ylittävä	Pitkäaikaiset PPA-sopimukset, hintaerosopimukset

Yhteenvedon voidaan todeta, että tulevaisuuden toimintaympäristöön liittyvät epävarmuudet, päästövähennysratkaisujen riittämätön teknologinen kypsyys, ei-teknologia-neutraali regulaatio ja riittämätön TKI-tukipolitiikka nousivat yrityshaastattelussa keskeisimmiksi pullonkauloiksi investointien toteutumiselle. Toimialakohtaiset erot tosin ovat merkittäviä. Esimerkiksi metsäteollisuudessa päästövähennysinvestoinnit ovat jo pitkällä ja ratkaisut ovat teknologisesti kypsiä, kun taas muiden toimialojen investointinäkömät riippuvat vahvasti esimerkiksi teknologian kehittymisestä. Toisaalta tämä puoltaa näkemystä, että politiikkatoimien, erityisesti TKI-tukien suunnittelussa tulisi huomioida toimialakohtaiset eroavaisuudet ja ominaispiirteet tukien tehokkaaseen kohdentamiseen.

### 4.3.2 Muissa lähteissä tunnistetut ratkaisut vihreää siirtymää tukevien investointien vauhdittamiseksi

Ratkaisuja vihreän siirtymän investointien vauhdittamiseksi on käsitelty myös muissa selvityksissä. Alla Taulukko 20 tuo esiin nostoja kotimaisista sekä kansainvälisistä selvityksistä ja niissä tunnistetuista keinoista investointien toteutumisedellytyksien tukemiseksi.

**Taulukko 20** Muissa lähteissä tunnistetut ratkaisut vihreää siirtymää tukevien investointien vauhdittamiseksi

Tekijä	Ratkaisun kuvaus	Lähde
Rahoituksen saatavuus	Rahoitusvälineiden kehittäminen yksityisen rahoituksen vivuttamiseksi. Toisaalta julkisten rahoitusmekanismien kehitys siten, että yksityisestä rahoituksesta katveeseen jäävien toimintoja tuetaan.	Vihreän rahoituksen työryhmä (TEM) <sup>53</sup>
Tukitoimien yhteensovittaminen	EU-rahoituksen tiiviimpi yhteensovittaminen kansalliseen rahoitukseen	

53 Vihreän siirtymän rahoituksen työryhmä: Väliraportti;  
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-756-0>



Tekijä	Ratkaisun kuvaus	Lähde
Hiilidioksidi-standardit ja kiellot	Ympäristöystävällisten teollisuustuotteiden kysynnän synnyttäminen sääntelyn avulla hintojen sijasta ja/ tai lisäämällä tuotantoprosessien kiertoa koskevia vaatimuksia. Tämä voisi tarkoittaa vaatimuksia vähentää materiaalien tai tuotteiden hiilipitoisuutta, kieltää tietyntyyppiset tuotteet (esim. bensiini- ja dieselautojen kieltäminen tai fossiilisiin polttoaineisiin perustuvien muovien kieltäminen tietyissä sovelluksissa), sääntelyä materiaalivirtojen ja kierrätyksen sääntelyä.	
Yksityisen ja julkisen sektorin kumppanuudet (PPP)	Yksityiset toimijat tekevät investointeja kohteisiin, joita valtio tyypillisesti tarjoaisi rahoittaisi.	
Hiilen hinta	Korotettu päästöoikeuden hinta tai hiilidioksidivero.	
Julkiset hankinnat	Kysynnän synnyttäminen velvoittamalla julkisia tahoja hankkimaan vihreän siirtymän synnyttämiä esimerkiksi jo investointipäätöksentekovaiheessa esim. ostosopimusten kautta.	Policy priorities for mobilizing investment in Swedish green industrial transitions (SEI) <sup>54</sup>
Tuotantotuet	Tuotantoa voidaan tukea esimerkiksi hintaerosopimuksilla (Carbon contracts for difference), tariffijärjestelmillä tai verohelpotuksilla	
Riskin jakaminen	Valtion lainatakauksilla voidaan tukea yksityisen rahoituksen saamista.	
Sektorikohtaisten erojen huomioiminen	Julkisten interventioiden suunnittelussa tulisi huomioida sektorikohtaiset erot vihreän siirtymän tukemisessa ja varmistettava, että mikään toimialoista ei jää tukimekanismien ulkopuolelle tai asemoidu merkittävästi epäedulliseen asemaan investointiympäristössä.	
Tukien päivitys	Valtionhallinnon tulisi säännöllisesti tarkastella sekä toimialojen muuttuvia tukitarpeita että päivittää tuki- ja rahoitusmekanismit vastaamaan sen hetkistä toimintaympäristöä ja tukitarpeita.	
Kansainvälinen kilpailukyky	Maakohtaista investointiympäristöä tulisi tarkastella suhteessa muihin valtioihin, jotta maat eivät asetu merkittävästi epäedulliseen kilpailuasemaan karkottaen investointeja toisaalle.	

54 Maltais, A., Karltorp, K., & Tekie, H. (2022). Policy priorities for mobilizing investment in Swedish green industrial transitions. Stockholm Environment Institute. <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2022/06/green-industrial-transitions-sei2022.022.pdf>

Tekijä	Ratkaisun kuvaus	Lähde
Luvitus	”Yksi asiointikanava, yksi hakemus, yksi valitusmahdollisuus”-politiikka, viranomaisten keskinäisiä valitusoikeuksien rajaaminen ja valitusten käsittelyn tehostaminen, rakentamisen sujuvoittaminen hankekaavoitusta tehostamalla ja yksinkertaisten lupamuutosten käsittelyn keventäminen.	Investoinnit liikkeelle lupakäsittelyä uudistamalla (EK/Ramboll) <sup>55</sup>
Toimintaympäristön ennakoitavuus	Sääntelyn hiekkalaatikoita, lakikokeiluja, neuvovan sääntelyn keinoja ja muita innovaatiomyönteisen sääntelyn keinoja tulee tutkia ja kehittää, jotta sääntely ei ole pullonkaulana kehittyvien teknologioiden käyttöönotossa ja uusien markkinoiden kehittämisessä	Innovaatiomyönteisen sääntelyn käytännöt kasvualoilla <sup>56</sup>

## 4.4 Pohdintaa investointien toteutumiseen vaikuttavista tekijöistä

Aiemmassa luvussa on kuvattu sidosryhmien esille tuomia näkemyksiä, siitä minkälaiset tekijät heidän kokemuksensa mukaan vaikuttavat vihreää siirtymää tukevien päästö- vähennysinvestointien toteutumiseen. Toisaalta sidosryhmien nostoja on perusteltua täydentää virkahenkilöstön näkemyksillä, joita käsitellään tässä luvussa. Lisäksi luku pohtii investointien toteutumiseen vaikuttavia tekijöitä ja ehdotettuja ratkaisuja yhdistellen AFRYn sekä muissa lähteissä esiin tulleita näkemyksiä.

Sidosryhmien usein esiin tuoma kannattavuusvaatimus käyttöönottojen yhteydessä on peräisin valtionavustuslaista<sup>57</sup>, jonka mukaan valtiontukia voidaan myöntää ainoastaan jatkuvaan kannattavaan liiketoimintaan. Käytännössä esimerkiksi energiatukea voidaan myöntää vain hankkeille tai hankkeen osalle, jotka eivät käynnistyisi ilman tukea. Laajemmin yritystukia ohjaavat EU:n valtiontukisäännöt, jotka määrittelevät minkälaista tukea jäsenvaltio voi myöntää siten, että se ei ole valikoiva, vääristä tai uhkaa kilpailua tai vaikuta jäsenvaltioiden väliseen kauppaan. Näin ollen kansalliset viranomaiset ja päätöksentekijät toimivat EU-sääntelykehikon puitteissa, joka asettaa reunaehdot TKI- ja

55 Investoinnit liikkeelle lupakäsittelyä uudistamalla; [https://ek.fi/wp-content/uploads/2022/06/Investoinnit\\_liikkeelle\\_lupakäsittely\\_uudistamalla\\_raportti\\_\\_NETTI.pdf](https://ek.fi/wp-content/uploads/2022/06/Investoinnit_liikkeelle_lupakäsittely_uudistamalla_raportti__NETTI.pdf)

56 <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163767>

57 Laki valtionavustuksesta yritystoiminnan kehittämiseksi vuosina 2021–2028; <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210758>

käyttönottotukien sekä muiden tukiaisten myöntämiselle. Toisaalta mitä tulee tuen määrään – virkahenkilöstö muistuttaa, että mitä kypsempi teknologia on kyseessä, sitä pienempi on myönnettävän tuen suhteellinen osuus. Suurille yrityksille tuen myöntämisen kriteerit ovat myös tiukemmat perustuen ryhmäpoikkeusasetukseen<sup>58</sup>, jonka mukaan valtion tuki on vaikuttavuudeltaan tehokkainta alkuvaiheen TKI-kehityksen riskinjaossa. Business Finlandin roolina nähdään suuryritysten kannustaminen kohti kunnianhimoisempaan ja pitkäjänteiseenpää TKI-toimintaan, sillä sellaisen toiminnan nähdään jäävän riittämättömäksi omakustanteisesti. Virkahenkilöstö myös huomauttaa, että kansainvälisten asiantuntijoiden hyödyntäminen olisi mahdollista ulkomaisten alihankintojen kautta myös Business Finlandin rahoittamissa hankkeissa, mikäli varmistutaan hyödyn syntymisestä Suomessa toimivalle yritykselle.

Toisaalta tulee muistaa, että kansallisena tavoitteena on nostaa tutkimus- ja kehittäminen neljään prosenttiin suhteessa bruttokansantuotteeseen vuoteen 2030 mennessä<sup>59</sup>. Parlamentaarinen TKI-työryhmä on laatinut esityksen TKI-tavoitteen edistämiseksi. Esityksessä ehdotetaan esimerkiksi TKI-rahoituslakia, lakisääteistä vaalikautta pidemmän TKI-rahoituksen suunnitelman sekä pysyvän ja nykyistä laaja-alaisemman TKI-toiminnan verokannustimen käyttöönottoa. TKI-verokannustin tukisi yrityksiä muun muassa tukihakemusten kustannuksissa. TKI-rahoituslaki ja rahoitussuunnitelma tavoittelevat taas ennakoitavuutta ja parempaa näkyvyyttä tulevaisuuden TKI-tukiin. Voidaankin todeta, että osa sidosryhmien tunnistamista investointien toteutumisen haasteista on jo noteraattu valtiollisella tasolla ja lisäpanostuksia toteutettu.

Luvitukseen liittyvät epäkohdat herättivät merkittävästi keskustelua niin yritysten kuin virkahenkilöstön keskuudessa. Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) toteuttamassa selvityksessä<sup>60</sup> todettiin, että lupahakemusten pitkät käsittelyajat ovat sekä hakijasta että viranomaisesta johtuvia. Selvityksen mukaan hakijasta johtuvia syitä ovat esimerkiksi puutteet lupahakemuksessa ja hakemuksen muuttuminen kesken käsittelyn. Lisäksi lupakäsittely saattoi pitkittyä, jos hakija ei ollut selvittänyt ennakkoon, tarvitaanko luvan käsittelyssä esimerkiksi luontoselvityksiä tai ympäristövaikutusten arviointimenettelyä. Osa yrityksistä tosin toi esiin, että selvityksistä huolimatta he eivät olleet saaneet selkeää vastausta siihen tarvitaanko lupakäsittelyssä ympäristövaikutusten arviointimenettelyä. SYKEN selvityksen mukaan toisaalta viranomaisen toiminnasta johtuvista syistä merkittävin tekijä lupakäsittelyn viivästykselle oli luvan valmistelijan työkuorma.

58 [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=OJ:JOL\\_2014\\_187\\_R\\_0001&from=EN](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=OJ:JOL_2014_187_R_0001&from=EN)

59 Parlamentaarisen TKI-työryhmän loppuraportti; <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-516-0>

60 Syyt yli vuoden kestäneisiin ympäristölupahakemusten käsittelyaikoihin aluehallintovirastoissa 2018–2020; <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-210-5>

Muita tunnistettuja viranomaistoimintaan liittyviä syitä lupakäsittelyjen pitkälle kestolle oli muun muassa ELY-keskusten ympäristövastuualueiden kuormittuneisuus ja siten tarve lisäajalle lausunnon antamisessa, työläs lupaharkinta sekä monimutkaiset hankkeet, jotka edellyttivät lisäselvitystarpeita. Toisaalta Elinkeinoelämän keskusliiton lupajärjestelmäkysely osoitti<sup>61</sup>, että arviolta vähintään 3,2 miljardin euron arvoiset investoinnit olivat pysähdyksissä vuonna 2021. Lisäksi tämän työn haastatteluissa esitettiin huoli kuinka luvitus pysyy uuden teknologian perässä ja pidentääkö uudet teknologiat lupakäsittelyaikoja entisestään. Sidosryhmille oli myös epävarmaa, kuinka tiettyjen vihreän siirtymän investointien kiihdytyskaista eli etusijamenettely lupakäsittelyssä vaikuttaa muiden investointien luvitukseen erityisesti tulevaisuudessa, kun vihreän siirtymän investointien määrän odotetaan kasvavan.

Sidosryhmät toivat haastatteluissa myös esiin, kuinka investointien toteutumisen edellytyksenä on ennen kaikkea taloudellinen kannattavuus ja taattu investoinnin takaisinmaksukyky. Toisin sanoen, investointi-, tuotanto- ja TKI-tukiakin ja sujuvaa luvitustakin tärkeämpää voi olla vuosikymmeniä eteenpäin taattu taloudellinen kannattavuus, joka on yhdistelmä taattua markkinakysyntää, sääntelyn suotuisaa kehittymistä ja tuotantopanosten kilpailukykyistä hintaa. Sääntelyn ja yrityskohtaisten päästövähennystavoitteiden lisäksi markkinasignaali ja asiakkaiden lisääntynyt maksuhalukkuus premion muodossa edesauttaisivat investointien toteutumista. Harva toimiala tunnisti rahoituksen saatavuutta haasteena olettaen, että kannattamattomia investointeja ei tehtäisi. Kannattavuutta voi tarkastella myös vaihtoehtoiskustannusten näkökulmasta, jolloin nouseva päästöoikeuden hinta voi toimia vahvana ajurina investointien vauhdittamiselle. Investoinnin tuomat mahdolliset operointisäästöt esimerkiksi energia- tehokkuusparannusten myötä voisivat myös lisätä investoinnin kannattavuutta, mutta mahdollisuudet tehokkuusparannuksiin ovat enää rajallisia.

Huomioiden investointien taloudellinen kannattavuus ja taattu takaisinmaksukyky investoinnin toteutumisen edellytyksenä – on perusteltua miksi yritykset peräänkuuluttavat ennakoitavaa sääntely-ympäristöä, kun kyseessä ovat pääomaintensiiviset pitkän käyttöiän omaavat investoinnit. Ideaalitalanteessa yrityksillä olisi näkymä sääntely-ympäristön kehittymisestä vuosikymmeniksi eteenpäin, joka harvoin on kuitenkaan mahdollista taata. Toisaalta sääntelyltä perätään sopeutumista ja reagointia muuttuvaan toimintaympäristöön. Päätöksentekijöiden onkin painotettava sääntelykehikon ketteryyden ja pitkäjänteisyyden välillä. Myös tiukentuvat ilmastopolitiikan tavoitteet sekä muuttuvat painopisteet edellyttävät regulaation päivittämistä, kun ne integroidaan osaksi sääntelyä. Epäjatkuvuuden lisäksi tämä voi myös luoda odottamattomia kannustimia investoinneille ja tukea kilpailukykyistä investointiympäristöä.

61 [https://ek.fi/wp-content/uploads/2021/11/EK\\_Luvituskysely\\_infografiikka\\_29.11.2021-1.pdf](https://ek.fi/wp-content/uploads/2021/11/EK_Luvituskysely_infografiikka_29.11.2021-1.pdf)

Sidosryhmätyöpajassa kartoitettiin tärkeimmiksi koettuja ratkaisuehdotuksia vihreää siirtymistä tukevien päästövähennysinvestointien vauhdittamiseksi. Vastauksissa korostuivat luvituksen sujuvoittamisen ja hinnaltaan kilpailukykyisen uusiutuvan sähkön lisäksi muun muassa lisäpanostukset demolaitoksia, vetytaloutta ja sähköistämistä tukevien hankkeiden rahoitukseen sekä nykyistä energiatukea vastaavan tukimekanismin jatkokehittämiseen. Myös hintaerosopimukset (CCfD) nähtiin keinona sähköistämistuen ja energiatuen jakotavaksi. On merkillepantavaa, kuinka energiatuki nousi investointien vauhdittamisen keinovalikoimassa sidosryhmien kärkisijoille. Työssä tunnistettujen investointien toteutumiseen vaikuttavien haasteiden lisäksi onkin syytä tunnistaa jo tehty työ investointien edistämiseksi. Sidosryhmähaastatteluissa kiitosta keräsivät muun muassa Suomen vahvat sähkönsiirtoyhteydet, uusiutuvan sähkön saatavuus kilpailukykyiseen hintaan, yhteistyöhankkeiden tukeminen sekä toimiva viranomaiskeskustelu. Lisäksi sähköistämistuki, luvituksen sujuvuus ja hiilirajamekanismi keräsivät niin ikään kiitosta vaikkakin myös kritiikkiä.

## 4.5 Esimerkkejä investointien kannattavuustekijöistä ja kannattavuutta tukevien toimien kohdentamisesta

Kuten kappaleessa 4.1 kuvattiin, yritykset arvioivat ratkaisuvaihtoehtoja ja tekevät investointipäätöksiä lähtökohtaisesti taloudellisen kannattavuuden perusteella. Operatiivinen kannattavuus on vaatimus päästövähennysinvestointien toteutumiselle, ja moni tässä työssä esitellyistä ratkaisuvaihtoehdoista ei ole vielä markkinaehtoisesti kannattava. Markkinaehtoista kannattavuutta voidaan osittain edistää investointi- ja käytönaikaisilla tukimekanismeilla. Tukimekanismien merkitys korostuu uuden teknologian käyttöönoton alkuvaiheessa, joilla voidaan nopeuttaa teknologian käyttöönottoa ja edistää markkinaehtoisuuden saavuttamista nopeammin kuin ilman tukimekanismeja.

### 4.5.1 CCS/CCU markkinaehtoisuus

Mekanismit hiilidioksiidiin talteenoton ja varastoinnin (CCS) ja hiilidioksidin talteenoton ja käytön (CCU) markkinaehtoisuuden taustalla ovat erilaiset. Jos hiilidioksidi otetaan talteen ja varastoidaan pitkäaikaisesti, ei hiilidioksidin tuottajan tarvitse nykytulokinnan mukaan hankkia päästöoikeuksia, jolloin päästöoikeuden hinta on markkinaehtoisuuden määrittävä tekijä.

Jos hiilidioksidi otetaan talteen ja käytetään esimerkiksi synteettisten polttoaineiden tuotannossa, ei hiilidioksidi sitoudu pitkäaikaisesti, ja hiilidioksidin tuottajan tulee nykytulkinnan mukaan maksaa päästöoikeus<sup>62</sup>. Tällöin talteen otetun hiilidioksidin markkina-arvo määrittää CCU:n markkinaehtoisuuden, jos synteettisten polttoaineiden tuottaja käyttää markkinoilta ostettua hiilidioksidia. Synteettisten polttoaineiden tuotanto on kehittyvä toimiala, eikä vakiintunutta mallia hiilidioksidin hankintaan ole. Useat Suomessa kehitteillä olevat projektit todennäköisesti tulevat sijoittumaan hiilidioksidia tuottavan laitoksen läheisyyteen, jolloin hiilidioksidi hankitaan suoraan laitoksesta eikä markkinoilta. Näissä tapauksissa synteettisen polttoaineen markkina-arvo määrittää CCU:n kannattavuutta.

### Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi

Kun hiilidioksidi otetaan talteen ja kuljetetaan pitkäaikaiseen varastoon, ei hiilidioksidin tuottajan tarvitse maksaa päästöoikeutta. Jotta talteen ottaminen tässä tilanteessa on markkinaehtoista, tulee päästöoikeuden hinnan olla korkeampi kuin hiilidioksidin talteenoton, kuljetuksen ja varastoinnin yhteenlasketut kustannukset. EU:n päästöoikeuden kuukausikeskiarvo hinta per tonni CO<sub>2</sub> on vuonna 2022 vaihdellut 67 euron ja 90 euron välillä<sup>63</sup>. Vuoden 2022 päästöoikeuden hintataso on ollut korkea verrattuna aikaisempien vuosien hintoihin. Vuonna 2021 päästöoikeuden kuukausikeskiarvo hinnat vaihtelivat 33 euron ja 81 euron välillä, ja ennen 2021 hinnat pysyttelivät alle 30 euron.

International Energy Agency (IEA) mukaan hiilidioksidin talteenoton elinkaaren ajalle laskettu kustannus (investointi- ja operointikustannukset) sementtiteollisuudessa on 58–115 euroa per talteen otettu tonni hiilidioksidia<sup>64</sup>. IEA:n halvimpien arvioiden mukaan pelkkä talteenotto voisi jo olla markkinaehtoisesti kannattavaa. Kuitenkin hiilidioksidin talteenoton kustannukset eivät rajoitu vain laitosalueella tehtävään talteenottoon, vaan myös kuljetukseen ja varastointiin. Mathisen et al. tutkivat hiilidioksidin talteenoton ja varastointipaikkaan kuljetuksen kustannuksia pohjoismaissa<sup>65</sup>. Varastointiin kuljetuksen kustannukset olivat tutkimuksen perusteella halvimmillaan Perämeren rannikolta kuljetettuna 18 euroa per tonni kuljetettua hiilidioksidia ja kalleimmillaan 21 euroa per tonni. Tämä toisi halvimman kokonaiskustannuksen ilman varastoinnin kustannusta

62 [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/revision-eu-ets\\_with-annex\\_en\\_0.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/revision-eu-ets_with-annex_en_0.pdf)

63 <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>

64 <https://www.iea.org/commentaries/is-carbon-capture-too-expensive>

65 Skagestad, R., Onarheim, K., & Mathisen, A. (2014). Carbon Capture and Storage (CCS) in Industry Sectors – Focus on Nordic Countries. *Energy Procedia*, 63, 6611–6622. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2014.11.697>

76 euroon per tonni talteen otettua hiilidioksidia ilman varastoinnin kustannusta. Suomessa ei ole hiilidioksidin varastointia ja lähimpiä laajan mittakaavan varastoja kehitetään Norjaan. Hiilidioksidin varastointikustannukset Norjassa on arvioitu olevan 10 ja 30 euron välillä<sup>66</sup>. Tällä hetkellä arvioiden perusteella halvin kokonaiskustannus olisi näin ollen 86 euroa, ja kallein 166 euroa per tonni talteen otettua hiilidioksidia.

Esitetyt arviot sisältävät paljon epävarmuuksia, sillä toteutuneisiin kustannuksiin vaikuttavat muun muassa laitoksen tyyppi, laitoksen sijainti, varaston sijainti ja kuljetettava hiilidioksidin määrä yksittäiseltä tai monelta laitokselta yhteisesti koordinoituna. Edellä esitettyjen arvioidujen kustannusten vaihteluväli on 80 euroa. Jos yksinkertaistuksen vuoksi oletetaan, että reaalikustannukset ovat arvioiden keskiarvo, olisi kustannus 126 euroa per tonni talteen otettua hiilidioksidia (ks. Taulukko 21). Jotta CCS saavuttaa markkinaehtoisuuden tulisi päästöoikeuden hinnan olla yli 126 euroa per tonni päästettyä hiilidioksidia. Tukimekanismeilla voidaan vauhdittaa markkinaehtoisuuden saavuttamista esimerkiksi tukemalla toteutuneiden kustannusten ja päästöoikeuden hinnan välistä erotusta, jos laitos ottaa tuotetun hiilidioksidin talteen ja kuljettaa varastoitavaksi. Erotus olisi vuoden 2022 korkeimmalla päästöoikeuden hinnalla ollut 36 euroa per tonni CO<sub>2</sub>.

#### Taulukko 21 Hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin kustannukset

Talteenotto laitoksella	58–115 €/tCO <sub>2</sub>
Kuljetus varastoon	18–21 €/tCO <sub>2</sub>
Varastointi	10–30 €/tCO <sub>2</sub>
Summa	86–166 €/tCO <sub>2</sub>
<b>Keskiarvo</b>	<b>126 €/tCO<sub>2</sub></b>

#### Hiilidioksidin talteenotto ja käyttö

Kun hiilidioksidi otetaan talteen ja kuljetetaan käytettäväksi esimerkiksi synteettisten polttoaineiden tuotannossa, tulee hiilidioksidin tuottajan edelleen maksaa päästöoikeus. Talteen otetun hiilidioksidin käyttö synteettisten polttoaineiden tuotannossa sitoo hiilidioksidin vain väliaikaisesti, sillä se vapautuu jälleen, kun polttoainetta käytetään, mistä johtuu päästöoikeuden kustannuksen jääminen hiilidioksidin tuottajalle. Tällöin talteenoton ja käytön markkinaehtoisuus määrittyy talteen otetun hiilidioksidin markkina arvosta. Markkina-arvon tulee olla korkeampi kuin hiilidioksidin tuottajalle talteenotosta aiheutuvat kustannukset.

66 <https://ccsnorway.com/costs/>

Käyttäen samaa esimerkkiä kuin hiilidioksidin talteenotossa ja varastoinnissa, IEA on arvioinut talteenoton kustannuksien vaihtelevan 58 ja 115 euron välillä riippuen muun muassa laitoksen tyypistä ja sijainnista<sup>67</sup>. Jos synteettisen polttoaineen tuottaja kattaa kuljetuksen kustannukset ja asetetaan hiilidioksidin tuottajalle aiheutuvan talteenoton kustannus IEA:n arvioiden keskiarvotasolle 87 euroon voidaan todeta, että talteen otetun hiilidioksidin markkina-arvo tulee olla yli 87 euroa.

Talteen otetulle hiilidioksidille ei ole tällä hetkellä vakiintunutta markkinaa tai markkina-arvoa. Synteettisten polttoaineiden tuotanto tehdään Suomessa usein hiilidioksidin tuottajalaitoksen läheisyyteen ja toteutetaan yhteistyössä hiilidioksidin tuottajan kanssa. Yhteistyöprojekteja on Suomessa kehitteillä, mutta näissä ei ole vakiintunutta käytäntöä talteenoton, kuljetuksen ja muiden kustannusten jakautumisesta hiilidioksidin ja synteettisten polttoaineiden tuottajien välillä.

#### 4.5.2 Sähköuunien markkinaehtoisuus

Sähköisten uunien markkinaehtoisuuden suurimmat määrittävät tekijät ovat sähkön ja päästöoikeuden kustannukset. Jotta sähköinen uuni on markkinaehtoisesti kannattava, tulee vuosittaisten kustannusten (investointi ja operointikustannus) olla matalampia kuin nykyisillä, pääasiassa fossiilisten polttoon perustuvilla uuneilla. Korkealämpötilaisten sähköisten uunien arvioidut investointikustannukset ovat korkeita verrattuna nykyisiin uuneihin, sillä teknologia ei ole vielä kypsää tai kaupallista. Tässä työssä sähköisiä uuneja on esitetty korvaamaan kemianteollisuuden prosessiuuneja, joissa tarvitaan yli 350°C lämpötila, metsäteollisuuden meesauunia, jossa tarvitaan yli 1000°C lämpötila ja kalkki- ja sementtiteollisuuden uuneja, joissa tarvitaan yli 1400 °C lämpötila. Kuitenkin päästöoikeuden hinta nostaa fossiilisia polttoaineita polttavien uunien operointikustannuksia.

Sähköisten uunien käyttöönottoa voidaan edesauttaa teknologian kehitykseen ja sähkön hintaan kohdistuvilla tukimekanismeilla. Tukemalla teknologista kehitystä voidaan nopeuttaa uunien teknologisen kypsyyden saavuttamista, ja madaltaa investointikustannuksia. Mitä nopeamman teknologinen kypsyys saavutetaan, sitä nopeammin saavutetaan myös kaupallinen operointi. Sähkön hintaan kohdistuvilla tukimekanismeilla mahdollistetaan nykyisiin uuneihin verrattuna kilpailukykyinen toiminta myös korkeilla investointikustannuksilla.

67 <https://www.iea.org/commentaries/is-carbon-capture-too-expensive>



## Korkean lämpötilan sähköuuni

Kun nykyisin käytössä oleva, yleisimmin fossiilisilla polttoaineilla toimiva uuni vaihdetaan sähköiseksi uuniksi, investoinnin kannattavuutta määrittää sähkön ja fossiilisen polttoaineen hinta ja verot, sähkön siirron hinta ja päästöoikeuden hinta. Mitä korkeampi päästöoikeuden hinta ja mitä matalampi sähkön hinta, sitä kannattavampi investointi sähköiseen uuniin on. Taulukko 22 sähköuunin kilpailukykyyn vaikuttavia tekijöitä.

### Taulukko 22 Sähköuunin kilpailukykyyn vaikuttavat tekijät

Tekijä	Vaikutus
Investointikustannus	Matalampi sähköisen uunin investointikustannus tekee siitä kilpailukykyisemmän
Sähkön hinta	Alhainen sähkön hinta vähentää sähköuunin kustannuksia ja tekee siitä kilpailukykyisemmän
Sähkövero	Alhainen sähkövero vähentää sähköuunin kustannuksia ja tekee siitä kilpailukykyisemmän
Sähkön siirtomaksu	Alhainen sähkön siirtomaksu vähentää sähköuunin kustannuksia ja tekee siitä kilpailukykyisemmän
Fossiilisten polttoaineiden verot	Korkeat fossiilisten polttoaineiden verot kasvattavat nykyisenkaltaisen uunin kustannuksia ja tekevät sähköuunista kilpailukykyisemmän
Päästöoikeuden hinta	Korkea päästöoikeuden hinta kasvattaa nykyisenkaltaisen uunin kustannuksia ja tekee sähköuunista kilpailukykyisemmän

Vaikka kustannuksiin liittyy paljon epävarmuutta, voidaan suuntaa antavia arvioita tehdä sähkön hinnan tasosta, jolla sähköuuni on kannattava investointi teollisuuden toimijalle. Tässä kappaleessa arvioinnin kohteena on yli 350°C lämpötilan tuottava 100 MW:n sähköuuni. Koska kustannuksiin liittyy paljon epävarmuutta, on arvioiden taustalle jouduttu tekemään tiettyjä yksinkertaistuksia ja oletuksia. Yksinkertaistuksen vuoksi oletetaan, että nykyisen uunin vuosittaiset kustannukset rajoittuvat investointi-, polttoaine-, ja päästöoikeuskustannuksiin. Oletetaan myös, että sähköisen uunin kustannukset rajoittuvat investointikustannuksiin ja sähkön hankintakustannuksiin. Molemmille investoinneille oletetaan 4 % pääoman kustannus. Nämä yksinkertaistukset perustuvat oletukselle, että muut kuin mainitut operointikustannukset ovat samat molemmille uuneille.

Edellä mainittujen olettamien perusteella sähköisen uunin investoinnin kustannusten nettohyötyarvo on kannattavampi kuin nykyisenkaltaisen uunin, jos sähkön hinta mukaan lukien sähkövero ja sähkön siirtoon liittyvät kustannukset ovat alle 60 €/MWh. Tällöin sähkön markkinahinta olisi 54 €/MWh, jos sähkövero on vuoden 2022 tasolla ja sähköä kulutetaan suoraan kantaverkosta, jolloin siirtomaksut määrittyvät Fingridin hinnaston mukaan<sup>68</sup>. Tämä hinta on huomattavasti matalampi kuin sähkön hinnat ovat olleet viime aikoina. Vuoden 2021 sähkön markkinahinnan keskiarvo on ollut 72 €/MWh ja vuoden 2022 tammikuu-marraskuu markkinahinnan keskiarvo 145 €/MWh<sup>69</sup>. On kuitenkin huomattava, että kannattavuuteen vaikuttaa korvattavan polttoaineen verollinen hinta, joka tässä yksinkertaistetussa laskelmassa on oletettu maakaasulle olevan noin 67 eur/MWh, joka on selvästi nykyistä kustannustasoa edullisempi. Mikäli kaasun kustannustaso säilyy tätä korkeampana, saa sähkön kustannus olla myös edellä mainittua kustannustasoa korkeampi kannattavan investoinnin edellyttämiseksi. Voidaan kuitenkin todeta, että takaamalla ennustettava ja edullinen sähkön hinta, voidaan varmistaa, että sähköisen uunin investointi on kannattavampi kuin nykyisen kaltainen fossiilista polttoainetta hyödyntävä uuni. Muiden oletuksien lisäksi, laskuissa on oletettu, että päästöoikeuden hinta kasvaa European Environment Agency'n 'with additional measures' skenaarion mukaisesti<sup>70</sup>. Kyseisessä skenaariossa päästöoikeuden hinta kasvaa merkittävästi tulevaisuudessa, mikä vaikuttaa nykyisenkaltaisen uunin kustannusten kasvuun ja täten sähköisen uunin kannattavuuteen korkeammalla sähkön hinnalla, kuin jos päästöoikeuden hinta pysyisi nykyisellä tasolla.

---

68 <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/kantaverkkopalvelumaksut/#selvitys-kulutuksen-tehomaksusta>

69 <https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/ALL1/Yearly/?view=table>

70 <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/greenhouse-gas-emission-projections-for-9>

## 5 Johtopäätöksiä keinoista vihreän siirtymän investointien edistämiseksi

Selvitys muodostaa toimialarajat ylittävän kokonaiskuvan suomalaisen energiantensiivisen teollisuuden suurimpien päästölähteiden vihreää siirtymää tukevista päästövähennysinvestoinneista ja niiden kustannuksista. Selvityksen tarkastelu on rajattu suuripäästöisimpiin päästökaupan piiriin kuuluviin tuotantolaitoksiin teräs-, kalkki- ja sementti, metsä- ja kemianteollisuudessa. Tarkastelun piiriin kuuluvat laitokset tuottavat lähes 90 % teollisuuden päästöistä. Vain kaksi laitosta näistä vastaa 54 % koko teollisuuden päästökauppaan kuuluvista päästöistä. Nämä suuripäästöisimmät laitokset ovat teräs- ja kemianteollisuudessa, joiden päästövähennykset ovatkin merkittävimpiä koko teollisuuden vihreän siirtymän kannalta.

Tässä selvityksessä vihreää siirtymää tukevien energiantensiivisen teollisuuden suorien laitospaikkaisten päästövähennysinvestointien tarve on tunnistettu olevan noin 12 miljardia euroa vuoteen 2050 mennessä, josta yli 90 prosenttia arvioidaan olevan toteutettavissa ennen vuotta 2040. Tässä esitetyt investointiarviot perustuvat nykyisten kaltaisten prosessien päästöjen leikkaamiseen, eivätkä näin ollen huomioi laajempaa rakenteellista muutostarvetta eri teollisuuden aloilla. Tämän lisäksi vihreä siirtymä edellyttää epäsuoria investointeja sähköverkon kehittämiseen ja sähkön tuotantokapasiteetin lisäämiseen sekä TKI-panostuksiin. Ei ole selvää, kuinka iso osa tunnistetuista investoinneista ja päästövähennysratkaisuista toteutuu työssä kuvaillun kaltaisesti, sillä yritykset voivat siirtyä esimerkiksi täysin uudenkaltaiseen tuotantoon. Arviot päästövähennys- ja investointitarpeista perustuvat julkisiin tietolähteisiin sekä AFRYn teknisten asiantuntijoiden arvioihin soveltuvista päästövähennysteknologioista, niiden kustannuksista ja ajallisesta toteutettavuudesta.

Tarkasteltavissa päästövähennysratkaisuissa on keskitytty nykyprosessien päästöjen vähentämiseen olettaen, että nykyisen kaltaisia lopputuotteita tuotettaisiin jatkossakin. Lopulliset päästövähennyspolut riippuvat siitä, muuttuvatko nykyisten prosessien syötteet ja valmistettavat lopputuotteet uusiutuviksi ja kierrätyspohjaisiksi vai toteutuuko vihreä siirtymä leikkaamalla nykyprosessin päästöjä ilman merkittäviä muutoksia syötteissä. Siirtymäpolku ei ole suoraviivainen, ja erilaisia teknisiä ratkaisuja on huomattava määrä. Valitut ratkaisut riippuvat sekä teknisestä kypsyyssasteesta että pitkistä liudasta muita asioita. Vihreä siirtymä voi tarkoittaa myös uusia tuotteita tai konsepteja riippuen toimialasta. Muutokset toimialan rakenteessa ja yritystason strategiset valinnat voivat vaikuttaa merkittävästi vihreän siirtymän investointipolkuun.

Osalla toimialoista vihreän siirtymän päästövähennysinvestoinnit tapahtuvat vuoden 2035 jälkeen, sillä ratkaisut vaativat yhä kehittämistä ja säädösympäristö selkiyttämistä. Keskimäärin yritykset kuitenkin aktiivisesti etsivät ja toteuttavat tarvittavia investointeja, jos niiden taloudellinen kannattavuus ja takaisinmaksukyky on taattu.

Investointien toteutumisedellytysten kartoittamiseksi on haastateltu selvityksen kannalta keskeisiä yrityksiä ja toimialajärjestöjä. Haasteiden tunnistamisen lisäksi yrityksiltä on pyydetty ratkaisuehdotuksia esteiden ja hidasteiden poistamiseksi. Keskeisinä päästövähennysinvestointeja edistävinä keinoina selvityksessä tulivat esille teknologiseen kehitykseen, TKI- ja käyttöönottotukipolitiikkaan, sääntelyyn sekä luvitukseen liittyvät julkiset toimenpiteet.

Keinot ja aikataulu päästöjen vähentämiseksi vaihtelevat eri toimialoilla riippuen ratkaisujen toteutettavuudesta ja teknistaloudellisesta kypsyydestä. Sähköistys, uusiutuva vety, kierrätys- ja biopohjaiset syötteen sekä CCS/CCU nousevat esiin päästövähennysratkaisuina. Osalla toimialoista päästövähennysinvestoinnit ovat pitkällä, sillä päästövähennysratkaisut ovat jo teknistaloudellisesti kypsiä. Osalla toimialoista ratkaisut edellyttävät yhä merkittäviä TKI-panostuksia. Suurin osa toimenpiteistä voidaan nähdä tapahtuvan ennen vuotta 2040, osalla toimialoista jo pitkälti ennen vuotta 2035.

### **Uusien teknologioiden käyttöönottoa vauhditettava**

Jokaisella selvityksen piirissä olevalla toimialalla on yhä päästövähennysratkaisuja, joiden teknologinen kypsyytaso on alhainen. Alhainen TRL hidastaa päästövähennysten toteutumista etenkin toimialoilla, joissa kaupallisesti saatavilla olevia ratkaisuja ei vielä ole. Selvityksen kohteena olevista toimialoista metsäteollisuus on ainoa, jossa merkittävä osa päästövähennysratkaisuista on jo teknistaloudellisesti kypsiä. Jotta muiden selvityksessä mukana olleiden toimialojen päästövähennysratkaisut toteutuvat Suomen hiilineutraalisuustavoitteen mukaisessa aikataulussa, tarvitaan tukea teknologian kehitykseen. Näin ollen, uusiin ratkaisuihin suunnatun julkisen rahoituksen ja riskinjaon tulee ulottua ratkaisun testaamiseen, pilotointiin ja toimivuuden demonstrointiin, jotta yritykset voivat ottaa käyttöön todennetun ratkaisun ilman kohtuutonta riskinottoa. Voidaan nähdä, että julkiset interventiot ovat kustannustehokkaimpia suurten yritysten kohdalla varhaisen vaiheen TKI-toiminnassa, jossa taloudelliset riskit ovat muutoin merkittäviä.

Teknisten ratkaisujen kehittäminen edellyttää nykyisen TKI-tukijärjestelmän kehittämistä joustavampaan ja teknologianeutraalimpaan suuntaan mahdollistaen myös kansainvälisen yhteistyön ja ulkomaisen työvoiman käytön. Ei ole poikkeuksellista, että suomalaiselle teollisuudelle relevantin teknologian kehitystä tehdään muiden yritysten ja tutkimuslaitosten toimesta Suomen rajojen ulkopuolella. Tällöin suomalaiset yritykset investoivat kypsään, muualla kehitettyyn teknologiaan, joka tarvitsee ostaa ja voi hidastaa käyttöönottoa ja päästövähennysten toteutumista Suomessa. Voi olla Suomen edun mukaista tukea aidosti EU:n laajuista teknologiakehitystä sekä edistää kansainvälistä TKI-yhteistyötä yritysten ja tutkimusorganisaatioiden välillä. Kansainvälinen kehitystyö, jossa suomalaiset yritykset ovat olleet mukana mahdollistaa teknologian nopeamman kehittämisen yrityksille soveltuvaksi ja sen käyttöönoton mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.

### Joustavuutta TKI- ja käyttöönottotukipolitiikkaan

TKI- ja käyttöönottotukipolitiikassa kapeat, rajoittavat ja puutteelliset tukikriteerit nähtiin erityisinä pullonkauloina investointien toteutumiselle. Sidosryhmät kokivat, että tukea tarjotaan liian tarkasti tiettyyn kehityksen vaiheeseen tai liian tarkoilla kriteereillä koskien aikataulua rajoittaen kehitystä. Osa toimialoista nosti myös haasteeksi usein vaihtuvat ja epäselvät hakukriteerit sekä heikon ennustettavuuden tulevaisuudessa haettavaksi tuleviin tukimuotoihin. Tämän seurauksena yritysten on haasteellista esivalmistella kehityshankkeita, jotta ne täyttäisivät hakemusten asettamat TRL ja aikataulu vaatimukset. Keinoina TKI- ja investointitukien kehittämiseksi nähtiin erityisesti tukikriteerien joustavuus niin aikataulun (sis. hakuajankalau sekä hankkeen lopputulosten aikataulu), teknologian ja teknologisen kypsyyden osalta. Olisikin tarpeen tarjota tukimekanismeja, joita voi joustavasti hakea teknologian ja projektien eri kehitysvaiheisiin, esimerkiksi toteuttavuusselvityksiin, ilman lopputulosten aikataulusitoumuksia.

Sidosryhmät näkivät TKI- ja investointitukien hakuprosessit osin työläinä ja kustannuksiltaan korkeina, joka saattaa estää hakemuksen jättämisen. Toisaalta osa toimialoista kertoi kuinka kotimaiset tukiaiset ovat kooltaan riittämättömiä, kun taas EU-tason rahoitus taas kokoluokaltaan liian suurta. Olisi tärkeää myös huomioida päästövähennysratkaisut ja kasvihuonekaasut, jotka niin ikään jäävät tukien ulkopuolelle. Lisäksi kaivattaisiin tukipolitiikkaa, joka kannustaa kansainväliseen yhteistyöhön ja edistää monikansallisen työvoiman hyödyntämistä. Myös panostukset koulutukseen ja työperäiseen maahanmuuttoon nousivat esille sidosryhmähaastatteluissa.

## Säädösympäristön ennustettavuus luo investointivarmuutta

Toimintaympäristön ennakoitavuus ja regulaatioiden jatkuvuus ovat teemoja, jotka korostuivat investointien keskeisimpinä toimintaedellytyksinä. Pääomaintensiiviselle teollisuudelle näkyvyys investointiympäristön ja politiikan suuntaviivojen kehittymiselle on ensiarvoisen tärkeää, kun investointien käyttöaika on tyypillisesti 20–40 vuotta. Toisaalta sääntely-ympäristöltä toivottiin myös ketteryyttä, joka huomioisi muutokset markkina- ja toimintaympäristössä. AFRY kuitenkin näkee, että investointiympäristön ennakoitavuuteen ja regulaation jatkuvuuteen liittyvät tavoitteet ovat osin ristiriitaisia eikä toimintaympäristön ennakoitavuutta voida kaikissa tilanteissa taata vuosikymmeniksi eteenpäin. Toisaalta on myös energiaintensiivisen teollisuuden etujen mukaista, että sääntely kehittyy ja sitä tarkennetaan sitä mukaan, kun päästövähennystavoitteet sisällytetään osaksi sääntely-ympäristöä luoden kannustimia markkinaehtoiseen vihreään siirtymään. Jotta sääntely tukee innovaatiokehitystä, politiikkasuunnittelussa on tärkeä huomioida innovaatiomyönteisen sääntelyn käytännöt<sup>71</sup>.

Sääntelyn ja poliittisten suuntaviivojen selkeyttäminen ovat perusteltuja erityisesti uuden teknologian kohdalla. Tällä hetkellä esimerkiksi epäselvyys koskien CCS/CCU käyttöä, päästökaupan ilmaisjakoa, hiilirajamekanismia ja biomassan kestävyyskriteereitä ovat esimerkkejä epävarmasta regulaatiosta, joilla voi olla vaikutus investointien toteutumiseen. Regulaatiota ja siten investointiympäristöä voidaan kuitenkin selkeyttää esimerkiksi yhdenmukaistamalla kansallista regulaatiota EU-sääntelyn mukaiseksi minimoiden eroavaisuuksia eri jäsenmaiden välisissä investointiympäristöissä. Suomen muista jäsenvaltioista poikkeava, tiukempi sääntely voi myös asettaa Suomen epäedulliseen kilpailuasemaan. Esimerkkejä EU-tasoa tiukemmista ja poikkeavista kansallisista tulkinnoista ovat esimerkiksi sähköistämistuki ja jätteenpolttoasetuksen tulkinta. Aktiivinen ja varhaisessa vaiheessa vaikuttaminen EU:n suuntaan niin viranhaltija kuin edunvalvontatasolla ovat myös mahdollisia keinoja edesauttaa Suomelle suotuisan investointiympäristön kehittymistä. Toisaalta on myös ajoittain tarkoituksenmukaista huomioida kansalliset erityispiirteet ja mukauttaa tukimekanismeja nimenomaan kotimaisten yritysten tarpeeseen.

## Vihreän siirtymän investointien luvitusta sujuvoitettava

Luvituksessa sidosryhmien tunnistamia haasteita ovat mm. luvitusprosessin pitkä kesto, toisinaan puutteellinen kommunikaatio viranomaisten kesken sekä läpinäkyvyyden puute luvitusmenettelyssä. Osa haastatelluista yrityksistä kuvasi tilanteita, joissa ympäristöluvan päivittämisestä johtuvat viivästykset myös hidastivat päästövähennysinvestoinnin toteuttamista. Usein investointien toteuttaminen käynnistyy jo ennen lopullista luvitus päätöstä, jotta markkinakysyntään voidaan vastata oikea-aikaisesti. Tämän vuoksi luvituksen ennakoitavuus on edellytys investointien oikea-aikaiselle toteutumiselle.

71 Innovaatiomyönteisen sääntelyn käytännöt kasvualoilla; <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-935-3>

Jotta vihreää siirtymää tukevia päästövähennysinvestointeja voidaan houkuttaa Suomeen ja toteuttaa niitä oikea-aikaisesti, on tärkeää varmistaa, että luvitus ei ole este tai hidaste. Sidosryhmät kuvasivat myös keskenään ristiriitaisten viranomaispäätösten ja luvittavien tahojen valitusmahdollisuuksien pitkittävän luvitusprosessia ja heikentäen ennakoitavuutta. Mikäli yrityksellä ei ole mahdollisuutta ennakoida luvitusprosessin kestoja tai luvan saamisen todennäköisyyttä – investoinnin muut vaiheet voivat pysähtyä, kun pääomia ei haluta sitoa epävarmaan projektiin. Näin ollen luvitusprosessin rajallinen läpinäkyvyys lisää investointiympäristön epävarmuutta.

Energiaintensiivisen teollisuuden vihreän siirtymän mahdollistamiseksi on edelleen tarve kehittää ja ohjata lisäpanostusta luvitukseen. Luvituksen pullonkauloja ja ratkaisuehdotuksia on arvioitu esimerkiksi Elinkeinoelämän keskusliiton<sup>72</sup> sekä viranomaisten<sup>73</sup> toimesta. Selvityksistä huolimatta useat sidosryhmät toivat esille luvituksen pullonkaulana investointien toteutumiselle. Luvituksen kehittäminen ja lisäpanostukset voisivat mahdollistaa laitosinvestointien toteutumisen aikaisemmin ja edesauttaen Suomen kilpailukykyä investointien houkuttelemisessa. Tässä selvityksessä on koottu sidosryhmien ehdottamia keinoja luvituksen kehittämiseksi, jotka edistäisivät erityisesti energiantensiivisen teollisuuden päästövähennysinvestointien toteutumista.

Keinoksi sujuvoittaa luvitusta esitettiin lupamenettelyn käsittelyä yhden lupaviranomaisen kanssa ”yhden luukun”-periaatteella. Yksi yhteysviranomainen voisi selkeyttää prosessia, vähentää eri viranomaisten ristiriitaisuutta käsittelyssä ja vauhdittaa lupamenettelyä. Lisäksi sidosryhmät kuvasivat tarvetta lisätä selkeyttä ja joustavuutta nykyisen ympäristöluvan puitteissa toimimisessa. Jos yrityksille olisi selkeää, mitä investointeja voidaan tehdä ilman uutta täysmittaista luvitusta, voisi päästövähennysten toteuttaminen nopeutua.

Selvityksessä nousi esille myös luvituksen kytkeytyminen TKI-politiikkaan. Demonstraatio- ja pilottilaitokset vaativat pitkälti samanlaisen lupamenettelyn kuin tuotantolaitokset. Koetoiminnan salliminen kevyemmällä lupamenettelyllä voisi mahdollistaa enemmän teknologiakehitystä Suomessa. Teknologiakehityksen toteuttaminen Suomessa voisi taas edesauttaa yrityksiä tekemään tuotantolaitosten investointipäätöksiä Suomeen.

72 Investoinnit liikkeelle lupakäsittelyä uudistamalla; [https://ek.fi/wp-content/uploads/2022/06/Investoinnit\\_liikkeelle\\_lupakäsittely\\_uudistamalla\\_raportti\\_\\_NETTI.pdf](https://ek.fi/wp-content/uploads/2022/06/Investoinnit_liikkeelle_lupakäsittely_uudistamalla_raportti__NETTI.pdf)

73 Syyt yli vuoden kestäneisiin ympäristölupahakemusten käsittelyaikoihin aluehallintovirastoissa 2018–2020; <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-210-5>

## Toimintaympäristön kilpailukyky avain investoinneille Suomeen

Investointien toteutumispolku yrityksissä sisältää monia yrityksen sisäisiä arvioita liittyen ratkaisujen teknillistaloudelliseen toteutettavuuteen. Globaalit yritykset arvioivat eri ratkaisuja ja laitospaikkoja keskenään. Arvioiden perusteella tehdään investointipäätös eri vaihtoehtojen välillä. Arvioinnissa ei keskitytä ainoastaan investointipolun aikaisiin kustannuksiin ja tukiin, vaan myös koko käyttöajan aikaisiin operointikustannuksiin. TKI- ja investointituet eivät välttämättä ole keskeisin houkutin Suomen kilpailukyvyille, vaan toiminnan operoinnin aikainen kannattavuus on keskiössä monessa ison mittakaavan laitosinvestoinnissa. Suomen tulee rakentaa sekä houkutteleva investointiympäristö, että houkutteleva tuotannon operointiympäristö päästövähennämisen investoinneille.

Suomen investointiympäristön tulee investointien houkuttelun lisäksi ohjata yrityksiä valitsemaan päästövähennyksiltään merkittävät investoinnit. Ensisijaisesti investointiympäristön tulisi keskittyä markkinafundamenttien tukemiseen sellaisiksi, että investoinnit tapahtuvat markkinaehtoisesti. Yritykset arvioivat investointien toteutumispolun aikana eri investointikohteita ja esimerkiksi energiatehokkuusinvestoinnit ja korvausinvestoinnit voivat kilpailla keskenään. Päästökauppa on yksi keskeisimpiä energiantensiivisen teollisuuden päästövähennysinvestointien ohjaavia tekijöitä. Lisäksi uusiutuvan kilpailukykyisen sähkön saatavuudella ja vetytalouden kehityksellä voidaan ohjata yrityksiä tekemään investointipäätöksiä päästövähennyksiltään vaikuttavimpien ratkaisujen suhteen. Puhtaiden tuotteiden ja materiaalin kysyntä myös vauhdittaa investointien toteutumista kysyntäsignaalin myötä ja tukemalla kysyntäsignaalin syntymistä voidaan vauhdittaa investointien kannattavuutta.

## Investointivarmuuden takaaminen tehokkaimpia keinoja vauhdittaa vihreän siirtymän päästövähennysinvestointeja

Vihreän siirtymän päästövähennysinvestointien tukeminen voidaan ajatella jakautuvan i) teknologioiden käyttöönoton vauhdittamisen ja ii) varhaisen teknologian teknologiakehitykseen.

Vihreän siirtymän teknologisten päästövähennysratkaisujen käyttöönoton vauhdittamisessa on keskeistä varmistua investoinnin kokonaiskannattavuudesta sekä investointikustannusten että käytönaikaisten kustannusten näkökulmasta. Erilaisilla investointi- ja käyttöönototuilla voidaankin investointien toteutumista tukea. Mikäli sääntely-ympäristö nähdään kuitenkin poukkoilevana, ja sen kehittymiseen on heikko näkyvyys, luo se epävarmuutta ja riskiä käytönaikaisten eli tulevaisuuden kustannusten muodostumiseen. Lisäksi muista jäsenvaltiosta poikkeava ja tiukempi sääntely voi heikentää Suomen kykyä houkuttaa investointeja kansainvälisten yritysten arvioidessa parhaita investointikohteita. Sidosryhmät nostivat esimerkkinä epäjatkuvasta ja epävarmasta regulaatiosta EU:n päästökauppajärjestelmän ilmaisjaon jatkuvuuden



tulevaisuudessa, jolla voi olla merkittävä vaikutus yritysten käytönaikaisiin kustannuksiin. Toisaalta muista jäsenvaltioista poikkeava sähköistämistuki nähtiin epäedullisena Suomen investointiympäristön houkuttelevuudelle.

Laajemmin voidaan sanoa, että uusien vihreän siirtymää tukevien ratkaisujen käyttöönoton vauhdittamisen edellytyksenä on suotuisan investointiympäristön reuna-ehdojen toteutuminen. Johdonmukainen toimintaympäristö niin rahoituksen, verotuksen, sääntelyn, ohjauksen kuin muiden politiikkatoimien osalta on edellytys päästövähennysinvestointien kannattavuudelle. Investointihankkeita kehitetään yrityksessä lähtökohtaisesti kokonaiskannattavuuden eli takaisinmaksukykyyn varaan ja näin ollen investointituilla on vain rajallinen vaikutus investointien vauhdittamiseen. Tätä puoltaa myös se, että valtiontukisääntöjen mukaan investointituilla tuetaan vain hankkeita tai hankkeen osia, jotka eivät käynnistyisi ilman tukea. Näin ollen tehokkaimmaksi keinoksi tukea päästövähennysinvestointien kannattavuutta on varmistaa sääntelyympäristön ennakoitavuus. Lisäksi teknologioiden käyttöönoton tukemisessa olisi tärkeä varmistaa teknologianeutraalit tukikriteerit, jolloin voitaisiin tukea kypsiä teknologioita mahdollisimman nopeasti.

Tämän selvityksen mukaan yksi tehokkaimmista keinoista edistää päästövähennys-teknologioiden käyttöönoton vauhdittamista olisi edistää investointien oikea-aikaista toteutumista sujuvalla luvituksella. Luvituksen sujuvoittaminen voitaisiin nähdä teknologianeutraalina tukitoimenpiteenä, sillä nopealla luvitusmenettelyllä voi parhaimmillaan olla jopa muita tukiaisia merkittävämpi vaikutus päästövähennysinvestointien toteutumisen vauhdittamisessa. Luvitus on myös teknologianeutraali keino tukea tasapuolisesti erilaisia ratkaisuja markkinaehtoisesti. Jatkossa suurien teollisuuden investointien ja erityisesti uuteen teknologiaan liittyvän luvituksen tehostamiseen tulisivat lisätä resursseja ja varmistaa resurssien tehokas allokointi. Esitys vihreän siirtymän hankkeiden väliaikaisesta etusijamenettelystä aluehallintovirastojen lupakäsittelyssä ja hallintotuomioistuimissa<sup>74</sup> on kiistatta askel oikeaan suuntaan, sillä luvituksen haasteet voivat konkretisoitua ja moninkertaistua nimenomaan teollisuuden suurissa vihreän siirtymän investoinneissa. On kuitenkin varmistuttava siitä, että etusijamenettelyyn oikeutetut investoinnit eivät hidasta muiden päästövähennysinvestointien lupamenettelyjä. Lisäksi olisi selvitettävä mistä eriävät näkemykset luvituksen sujuvuudesta

74 Hallituksen esitys eduskunnalle eräiden vihreän siirtymän hankkeiden väliaikaista etusijaa aluehallintovirastojen lupakäsittelyssä vuosina 2023—2026 ja hallintotuomioistuimissa vuosina 2023—2028 koskevaksi lainsäädännöksi <https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=YM019:00/2022>

johtuvat. Esimerkiksi Syken tekemä selvitys<sup>75</sup> luvituksen käsittelyajoista antaa verrattain positiivisen kuvan suhteessa sidosryhmien esille tuomiin sekä EK:n luvituskyselyn<sup>76</sup> näkemyksiin.

Varhaisen vaiheen teknologiakehityksen tukemista on tärkeää jatkaa myös tulevaisuudessa yhteiskehittämishankkeilla, jotka kokoavat alan toimijoita yhteen ja tuovat tutkimusta käytäntöön. Sidosryhmähaastattelujen mukaan varhaisen vaiheen TKI-tuet tulisivat olla mahdollisimman suoraviivaisia, teknologianeutraaleja ja joustavia mm. aikataulun suhteen. Varhaisen vaiheen TKI-tutkimuksen lisäksi on tärkeää myös varmistua TRL 4-5 tason kehityksen sekä koetoiminnan tukemisesta. TKI-politiikan ennakoitavuuden ja houkuttelevuuden varmistamiseksi on myös tärkeää saattaa laki yritysten TKI-verokannustimesta voimaan mitä pikimmiten.

Kotimaisen energiaintensiivisen teollisuuden päästövähennysinvestointien vauhdittaminen on kriittistä niin EU:n kuin globaalien päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi. Teollisuus on yksi merkittävimmistä päästölähteistä EU:n laajuisesti, ja investointitarve on mittava. Jotta päästövähennystavoitteisiin päästään, on edesautettava investointien toteutumista mahdollisimman nopealla aikataululla.

Vaikka Suomen investointitarpeen osuus on pieni suhteessa EU:n ja etenkin koko maailman teollisuuden päästövähennysinvestointitarpeeseen, on investointien luoma päästövähennyspotentiaali Suomelle mittava. Etenkin panostukset teknologiakehitykseen voi mahdollistaa Suomelle uusien, päästöttömien vientituotteiden kehittämisen ja edistää suomalaisen kädenjälkivaikutuksen kasvattamista.

Tässä selvityksessä on tarkasteltu nykyisten teollisuusprosessien vähäpäästöiseksi muuttamista ja niihin liittyviä toimintaedellytyksiä. Yritysten strategiset valinnat, toimialojen uudistuminen ja kysynnän muutos saattavat kuitenkin johtaa täysin uudenlaisten teollisuusprosessien ja lopputuotteiden syntymiseen. Vaikka selvityksessä esitellyt päästövähennyspolut eivät toteutuisikaan sellaisinaan selvityksen kuvailemalla tavalla – julkisia interventioita tarvitaan silti päästövähennysten toteutumiseksi tavoitteiden mukaisessa aikataulussa niin kansallisella kuin EU-tasollakin. Ehdotetut julkiset interventiot eivät rajoita yrityksiä ainoastaan nykyisten prosessien päästövähennyksiin vaan luovat kannustimia kohti laajempaa teollisuuden murrosta ja laajempaa teollisuuden vihreää siirtymää.

75 Syyt yli vuoden kestäneisiin ympäristölupahakemusten käsittelyaikoihin aluehallintovirastoissa 2018–2020; <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-210-5>

76 [https://ek.fi/wp-content/uploads/2021/11/EK\\_Luvituskysely\\_infografiikka\\_29.11.2021-1.pdf](https://ek.fi/wp-content/uploads/2021/11/EK_Luvituskysely_infografiikka_29.11.2021-1.pdf)

# Liitteet

## Liite I Sidosryhmäyhteistyö

Keskeisiä sidosryhmiä haastateltiin projektin aikana sekä alustavien tuloksien validoimiseksi että investointien toteutumisedellytyksien kartoittamiseksi. Keskeisillä sidosryhmillä tarkoitetaan tässä yrityksiä, jotka kuuluvat työn rajauksen piiriin ja työssä käsiteltyjen toimialojen edunvalvontajärjestöjä.

Yrityshaastatteluissa investointien toteutumiseen ja aikatauluun vaikuttavat tekijät jaettiin teknologiaan, regulaatioon, toimintaympäristöön ja yritystason valintoihin liittyviin tekijöihin. Haasteiden tunnistamisen lisäksi yrityksiltä haettiin syötteitä tarvittavista toimenpiteistä ja ratkaisuista päästövähennysinvestointien toteutumisen edistämiseksi.

Yrityskohtaisten haastattelujen lisäksi haastatelluille yrityksille ja edunvalvontajärjestöille järjestettiin sidosryhmätyöpaja. Työpajassa tarkennettiin aikaisemmin toteutetuissa haastatteluissa esiin nousseita teemoja ja syvennyttiin investointien todennäköisyyteen ja aikatauluun vaikuttaviin tekijöihin.

### Haastatellut tahot

#### Haastatellut yritykset

- Borealis
- Outokumpu
- UPM
- Stora Enso
- Metsä Group
- Finnsementti
- SSAB
- Nordkalk
- Linde Gas
- Sappi
- Yara

### **Haastatellut edunvalvontajärjestöt**

- Kemianteollisuus
- Teknologiateollisuus
- Metsäteollisuus
- Rakennusteollisuus
- Elinkeinoelämän keskusliitto

Verkkajulkaisu  
ISSN 1797-3562  
ISBN 978-952-327-962-9

Sähköinen versio: [julkaisut.valtioneuvosto.fi](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi)  
Julkaisumyynti: [vnjulkaisumyynti.fi](http://vnjulkaisumyynti.fi)