



Suomen ympäristökeskuksen raportteja 13 | 2026

Näkökulmia päästövähennystoimien kustannusvaikuttavuuteen ja ohjauskeinoihin Suomessa

Santtu Karhinen, Sampo Pihlainen, Teemu Meriläinen,
Johanna Pohjola, Karoliina Auvinen ja Miia Berger



Suomen ympäristökeskus
Finlands miljöcentral
Finnish Environment Institute

Suomen ympäristökeskuksen raportteja 13 | 2026

Näkökulmia päästövähennystoimien kustannusvaikuttavuuteen ja ohjauskeinoihin Suomessa

Santtu Karhinen, Sampo Pihlainen, Teemu Meriläinen,
Johanna Pohjola, Karoliina Auvinen ja Miia Berger



Suomen ympäristökeskus
Finlands miljöcentral
Finnish Environment Institute

Suomen ympäristökeskuksen raportteja 13 | 2026

Suomen ympäristökeskus
Kiertotalousratkaisut ja Ilmastoratkaisut

Kirjoittajat: Santtu Karhinen¹⁾, Sampo Pihlainen¹⁾, Johanna Pohjola¹⁾, Teemu Meriläinen¹⁾,
Karoliina Auvinen¹⁾, Miia Berger²⁾

¹⁾ Suomen ympäristökeskus

²⁾ Ympäristöministeriö

Vastaava erikoistoimittaja: Nina Pirttioja

Rahoittaja: Euroopan unionin LIFE-ohjelma LIFE22-IPC-FI-ACE LIFE ja Euroopan unioni
– NextGenerationEU, nro 151, P5C1I2, REPower-CEST -projekti

Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus (Syke)
Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Taitto: Santtu Karhinen ja Pirkko Väänänen

Kannen kuva: © Jamo Images- stock.adobe.com.

Julkaisu on saatavana veloitusetta internetistä: syke.fi/julkaisut | helda.helsinki.fi/syke

ISBN 978-952-11-5841-4 (PDF)

ISSN 1796-1726 (verkoj.)

Julkaisuvuosi: 2026

Euroopan unionin rahoittama – NextGenerationEU. Esitetyt näkemykset ja mielipiteet ovat ainoastaan tämän raportin laatijoiden näkemyksiä eivätkä välttämättä vastaa Euroopan unionin tai komission kantaa. Euroopan unioni ja komissio eivät ole vastuussa niistä.



LIFE22-IPC-FI-ACE LIFE. Euroopan unionin osarahoittama.

Esitetyt näkemykset ja mielipiteet kuuluvat kuitenkin ainoastaan kirjoittajille eivätkä välttämättä heijasta Euroopan unionin tai CINEAn kantoja. Euroopan unionia tai myöntävää viranomaista ei voida pitää niistä vastuussa.



**Euroopan unionin
rahoittama**

NextGenerationEU

Tiivistelmä

Näkökulmia päästövähennystoimien kustannusvaikuttavuuteen ja ohjauskeinoihin Suomessa

Raportissa tarkastellaan, miten Suomen ilmastotavoitteita voidaan edistää kustannusvaikuttavasti eri sektoreilla toteutettavilla päästövähennystoimilla ja niitä tukevilla ohjauskeinoilla. Lähtökohtana on, että ilmastopolitiikan vaikutuksia ei voida arvioida luotettavasti ilman yhteismitallista tarkastelukehikkoa, jossa vertailutaso, järjestelmäraajat, aikahorisontti ja lisäisyys on määritelty johdonmukaisesti. Raportti vastaa osaltaan tarpeeseen tuottaa vertailukelpoisempaa tietoa siitä, millä toimenpide- ja ohjauskeinoyhdistelmillä päästövähennystavoitteet voidaan saavuttaa pienin kustannuksin, toimeenpanokelpoisesti ja oikeudenmukaisesti.

Tieliikenteeseen, maatalouteen, rakennusten energiankulutukseen ja työkoneisiin liittyvistä tarkasteluista toimista muodostuu yhteensä noin 4,5 MtCO₂e:n päästövähennyspotentiaali vuoteen 2030 mennessä. Jo nykyohjauksella taloudellisesti kannattavia päästövähennyskeinoja käyttäjälleen ovat esimerkiksi rakennusten energiatehokkuuden parantaminen energiatehokkuudeltaan heikoimmassa rakennuskannassa, öljylämmityksestä luopuminen sekä henkilö- ja pakettiautokannan sähköistyminen. Maataloudessa kustannusvaikuttavimpia toimia ovat erityisesti turvepeltojen käytön muutokset ja vedenpinnan hallintaan liittyvät ratkaisut, mutta niiden toteutuminen edellyttää rahamääräisiä kannustimia. Kun tarkasteluun lisätään metsien käytön toimina kiertoaikojen pidentäminen ja puuston kasvataminen tiheämpänä, kokonaispotentiaali kasvaa merkittävästi.

Raportti osoittaa, että kaikki päästövähennykset eivät etene markkinaehtoisesti, vaikka ne näyttäisivät laskennallisesti kannattavilta. Kustannusvaikuttavuuden tarkastelu ei yksin riitä politiikan perustaksi, vaan ohjauksen kehittämisessä on huomioitava markkinoiden epätäydellisyydet. Erityisen haastavia ja lisäohjausta vaativia suuren päästövähennyspotentiaalin omaavia kokonaisuuksia ovat raskaan liikenteen ja työkoneiden sähköistyminen, teollisuuden päästöjen vähentäminen, vihreän vedyn tuotannon käynnistäminen sekä sähköjärjestelmän jouston, kapasiteetin ja sähköverkon pullonkaulojen hallinta. Kaukolämmössä keskeiseksi nousee se, että polttoon perustuvaa päästöintensiivistä tuotantoa korvataan hallitusti hukkalämmöllä, lämpöpumpuilla ja sähkökattiloilla samalla vähentäen riippuvuutta biomassasta.

Ohjauskeinojen tarkastelu korostaa, että vaikuttava ilmastopolitiikka ei synny yksittäisistä keinoista vaan toisiaan täydentävistä politiikkapaketeista. Tarvitaan samanaikaisesti hintasignaaleja ja velvoittavaa sääntelyä, investointeja tukevia rahoitus- ja riskinjakomekanismeja sekä infrastruktuurin, markkinasääntöjen ja lupaprosessien kehittämistä. Raportin keskeinen johtopäätös on, että Suomen ilmastotavoitteiden saavuttaminen edellyttää ennakoitavaa, pitkäjänteistä ja sektorirajat ylittävää ohjausta. Vaikuttavin politiikka kohdistuu toimiin, joissa lisäisyys on suuri, toimeenpanon esteet tunnistetaan ja julkinen ohjaus kykenee vauhdittamaan investointeja ilman, että tukea ohjautuu laajasti myös sellaisiin muutoksiin, jotka toteutuisivat muutenkin. Kustannusvaikuttavuus, toteutettavuus ja oikeudenmukaisuus ratkaisevat yhdessä sen, kuinka uskottavasti ja nopeasti tarvittavat päästövähennykset voidaan saavuttaa.

Asiasanat: ilmastonmuutos, energiajärjestelmä, päästöt, kustannusvaikuttavuus, ohjauskeinot

Sammandrag

Perspektiv på kostnadseffektiviteten hos utsläppsminskningssåtgärder och styrmedel i Finland

Denna rapport undersöker hur Finlands klimatmål kan uppnås på ett kostnadseffektivt sätt genom utsläppsminskningssåtgärder som genomförs inom olika sektorer och de politiska styrmedel som stöder dessa. Utgångspunkten är att klimatpolitikens effekter inte kan bedömas på ett tillförlitligt sätt utan ett gemensamt analytiskt ramverk där referensnivå, systemgränser, tidshorisont och additionalitet definieras på ett enhetligt sätt. Rapporten bidrar till behovet av att ta fram mer jämförbar information om vilka kombinationer av åtgärder och politiska instrument som kan uppnå utsläppsminskningssmålen till lägsta kostnad, på ett genomförbart och rättvist sätt.

De åtgärder som undersökts och som rör vägtransporter, jordbruk, energiförbrukning i byggnader och arbetsmaskiner representerar en total utsläppsminskningspotential på cirka 4,5 MtCO₂e fram till 2030. Åtgärder som redan är ekonomiskt genomförbara enligt nuvarande politik omfattar till exempel förbättring av energieffektiviteten i de minst energieffektiva byggnaderna, utfasning av oljeuppvärmning samt elektrifiering av person- och skåpbilar. Inom jordbruket är de åtgärder som har störst kostnadseffektivitet framför allt förändringar i användningen av torvmarker och lösningar relaterade till vattenvårdhantering, men genomförandet av dessa kräver ekonomiska incitament. När åtgärder som rör skogsanvändning, såsom förlängning av omloppstiderna och ökning av beståndstätheten, inkluderas i analysen ökar den totala potentialen avsevärt.

Rapporten visar att inte alla utsläppsminskningar sker på marknadsdriven basis, även om de verkar lönsamma på papperet. En analys av kostnadseffektivitet är inte tillräcklig som grund för politiken; istället måste marknadsimperfectioner beaktas vid utformningen av politiken. Områden med hög utsläppsminskningspotential som är särskilt utmanande och kräver ytterligare vägledning omfattar elektrifiering av tunga transporter och maskiner, minskning av industriutsläpp, lansering av grön vätgasproduktion samt hantering av flexibilitet, kapacitet och flaskhalsar i elsystemet. När det gäller fjärrvärme är en nyckelfaktor den kontrollerade ersättningen av förbränningsbaserad, utsläppsintensiv produktion med spillvärme, värmepumpar och elpannor, samtidigt som beroendet av biomassa minskas.

En granskning av politiska instrument visar att en effektiv klimatpolitik inte bygger på enskilda åtgärder utan på kompletterande åtgärdspaket. Det finns ett samtidigt behov av prissignaler och bindande reglering, finansierings- och riskdelningsmekanismer för att stödja investeringar, samt utveckling av infrastruktur, marknadsregleringar och tillståndprocesser. Rapportens viktigaste slutsats är att uppnåendet av Finlands klimatmål kräver förutsägbar, långsiktig och sektorsövergripande styrning. De mest effektiva politiska åtgärderna riktar in sig på områden där additionaliteten är hög, där hinder för genomförandet har identifierats och där offentlig styrning kan påskynda investeringar utan att stödet i stor utsträckning kanaliseras till förändringar som skulle ha skett ändå. Kostnadseffektivitet, genomförbarhet och rättvisa avgör tillsammans hur trovärdigt och snabbt de nödvändiga utsläppsminskningarna kan uppnås.

Nyckelord: klimatförändringar, energisystem, utsläpp, kostnadseffektivitet, politiska styrmedel

Abstract

Perspectives on the cost-effectiveness of emission reduction measures and policy instruments in Finland

This report examines how Finland's climate targets can be advanced cost-effectively through emission reduction measures implemented across different sectors and through the policy instruments that support them. The starting point is that the impacts of climate policy cannot be assessed reliably without a harmonized analytical framework in which the baseline, system boundaries, time horizon, and additionality are defined consistently. The report contributes to the need for more comparable information on which combinations of measures and policy instruments can achieve emission reduction targets at the lowest cost, in an implementable manner, and in a just way.

The measures examined in road transport, agriculture, building energy use, and non-road mobile machinery together amount to an emission reduction potential of approximately 4.5 MtCO₂e by 2030. Even under current policy, some emission reduction measures are already economically beneficial for end users, such as improving energy efficiency in the least energy-efficient building stock, phasing out oil heating, and electrifying the passenger car and van fleet. In agriculture, the most cost-effective measures are particularly changes in the use of peatlands under cultivation and solutions related to water level management, although their implementation requires financial incentives. When extending the analysis to include forest-use measures such as longer rotation periods and maintaining denser growing stock, the total potential increases significantly.

The report shows that not all emission reductions will proceed on a market basis, even if they appear economically viable in calculations. Assessing cost-effectiveness alone is not sufficient as a basis for policy; the development of policy instruments must also take market imperfections into account. Particularly challenging areas with high emission reduction potential that require additional policy support include the electrification of heavy-duty transport and non-road mobile machinery, industrial emission reductions, the launch of green hydrogen production, and the management of flexibility, capacity, and bottlenecks in the electricity grid. In district heating, a key issue is the controlled replacement of combustion-based, emission-intensive production with waste heat, heat pumps, and electric boilers, while at the same time reducing dependence on biomass.

The review of policy instruments highlights that effective climate policy does not emerge from individual measures alone, but from policy packages in which instruments complement one another. What is needed simultaneously are price signals and binding regulation, financing and risk-sharing mechanisms that support investments, and the development of infrastructure, market rules, and permitting processes. The report's central conclusion is that achieving Finland's climate targets requires predictable, long-term, and cross-sectoral policy steering. The most effective policy targets measures where additionality is high, implementation barriers are identified, and public policy can accelerate investments without broadly directing support to changes that would take place anyway. Cost-effectiveness, feasibility, and fairness together determine how credibly and rapidly the required emission reductions can be achieved.

Keywords: climate change, energy system, emissions, cost-effectiveness, policy instruments

Näkökulmia päästövähennystoimien kustannusvaikuttavuuteen ja ohjauskeinoihin Suomessa

Santtu Karhinen, Sampo Pihlainen, Teemu Meriläinen,
Johanna Pohjola, Karoliina Auvinen ja Miia Berger

Tämän raportin ydinviestit:

- Suomen ilmastotavoitteiden saavuttaminen edellyttää tarkempaa tietoa siitä, mitkä päästövähennystoimet ovat aidosti kustannusvaikuttavia ja millä ohjauskeinoilla niiden toteutumista voidaan ohjata.
- Ilmastopolitiikan ohjauksessa eri sektoreiden päästövähennystoimia tulee arvioida yhteismitallisesti samassa arviointikehikossa.
- Julkista tukea kannattaa suunnata erityisesti niihin toimiin, jotka eivät vielä ole toteuttajilleen taloudellisesti kannattavia, mutta niihin liittyy merkittävää päästövähennyspotentiaalia. Tällaisia toimia ovat esimerkiksi turvemaiden sijaitsevien peltojen käytön muutokset, sähkökäyttöisten kuorma-autojen ja työkoneiden hankinta sekä latausinfrastruktuurin laajentaminen.
- Kaikki käyttäjälleen taloudellisesti kannattavatkaan päästövähennystoimet eivät etene itsestään, vaan niitä hidastavat esimerkiksi rahoitusrajoitteet, tiedon puute, infrastruktuurin puutteet ja epävarmuus tulevasta toimintaympäristöstä.
- Vaikuttava ilmastopolitiikka edellyttää ennakoitavaa ja sektorirajat ylittävää ohjausta, joka yhdistää velvoittavan sääntelyn, taloudelliset kannustimet, infrastruktuurin kehittämisen ja investointivarmuutta vahvistavat ratkaisut.

Esipuhe

Suomen julkisen talouden liikkumavara on kiristynyt, ja ilmastopolitiikassa kustannustehokkuuskysymykset nousevat aiempaa useammin esiin. Ilmastotavoitteista ei kuitenkaan ole haluttu tinkiä, vaikka niiden saavuttamiseen tarvittavaa rahoitusta ei ole kaikilta osin kohdennettu riittävästi. Tässä tilanteessa korostuu tarve tunnistaa ne toimet ja ohjauskeinot, joilla lisäisiä päästövähennyksiä voidaan saavuttaa mahdollisimman kustannusvaikuttavasti, toimeenpanokelpoisesti ja oikeudenmukaisesti.

Tämä raportti kokoaa yhteen kaksi toisiaan täydentävää tarkastelua. Kustannusvaikuttavuusanalyysit on toteutettu ACE-hankkeessa, jossa on arvioitu eri sektoreiden päästövähennystoimien teknistaloudellisia kustannuksia ja vaikutuksia yhteismitallisesti. Ohjauskeinoanalyysit puolestaan on toteutettu REPower-CEST-hankkeessa, jossa on tarkasteltu, millaisin politiikkakeinoin näiden toimien toteutumista voidaan edistää.

Raportin tavoitteena on tukea päätöksentekoa tilanteessa, jossa ilmastopolitiikan keinovalikoima on tiedossa ja laaja, mutta resurssit ovat rajalliset. Kun lisäisiä päästövähennyksiä tavoitellaan, on perusteltua edetä ensisijaisesti toimilla, joilla lisäiset päästövähennykset saavutetaan edullisimmin. Samalla on kuitenkin huomioitava, että kustannusvaikuttavuus yksin ei riitä, vaan toimien toteutuminen edellyttää myös ennakoitavaa ohjausta, toimivaa sääntelyä, rahoitusta ja infrastruktuuria.

Toivomme, että raportti tarjoaa käyttökelpoista tietoa ilmastopolitiikan priorisointiin ja auttaa kohdentamaan rajallisia resursseja niihin toimiin, joilla voidaan saavuttaa mahdollisimman paljon vaikuttavia ja lisäisiä päästövähennyksiä.

Posiolla, Järvenpäässä, Espoossa, Helsingissä ja Oulussa 12.3.2026

Kirjoittajat

Sisällys

Tiivistelmä.....	3
Sammandrag.....	4
Abstract	5
Esipuhe	7
1 Johdanto.....	11
1.1 Kustannusvaikuttavuusarviointi päästövähennystoimien vertailussa.....	11
1.2 Arvioinnin tavoitteet, rajaukset ja rajoitukset	12
1.3 Suomen päästövähennystavoitteet ja nykytilanne.....	13
2 Kustannusvaikuttavuuden tarkastelu	15
2.1 Päästövähennystoimien kustannukset ja päästövähennyspotentiaalit.....	15
2.2 Tieliikenne	18
2.3 Maatalous.....	21
2.4 Rakennusten energiankulutus.....	24
2.5 Työkoneet.....	31
2.6 Sektoreiden yhteistarkastelu	34
2.7 Metsien käytön toimet.....	35
3 Ohjauskeinot	39
3.1 Kestävyyssiirtymässä onnistuminen edellyttää vaikuttavaa ohjauskeinoyhdistelmää.....	39
3.2 Kestävyyssiirtymässä tähdätään kestävään kasvuun ja hallittuun alasajoon	40
3.2.1 Ympäristölle ja ilmastolle haitallisten toimien alasajo.....	41
3.2.2 Päästövähennysratkaisujen leviämisen vaiheet ja vauhdittamiskeinot	41
3.3 Ohjauskeinojen arvioinnin periaatteet	43
3.4 Tieliikenne	44
3.4.1 Nykytilanne tieliikenteen ohjauksessa.....	44
3.4.2 Ehdotetut muutokset ohjaukseen tieliikenteessä	49
3.4.3 Tieliikenteen ohjauksen arviointi	50
3.5 Sähkön tuotanto ja käyttö.....	53
3.5.1 Nykytila sähkön tuotannon ja käytön ohjauksessa.....	53
3.5.2 Sähkön tuotannon ja käytön ohjauksen kehittäminen	55
3.5.3 Sähkön tuotannon ja käytön ohjauksen arviointi	56
3.6 Kaukolämmön tuotanto ja käyttö	58
3.6.1 Nykytila kaukolämmön tuotannon ja käytön ohjauksessa	58
3.6.2 Kaukolämmön tuotannon ja käytön ohjauksen kehittäminen	61
3.6.3 Kaukolämmön tuotannon ja käytön ohjauksen arviointi.....	63
3.7 Teollisuus.....	66
3.7.1 Nykytila teollisuuden päästöjen ohjauksessa	66

3.7.2	Teollisuuden päästöjen ohjauksen kehittäminen	71
3.7.3	Teollisuuden ohjauksen arviointi	75
3.8	Rakennusten energiankulutus.....	76
3.8.1	Nykytilanne rakennusten energiankulutuksen ohjauksessa.....	76
3.8.2	Rakennusten energiankulutuksen ohjauksen kehittäminen	80
3.8.3	Rakennusten energiankulutuksen ohjauksen arviointi.....	82
3.9	Työkoneet.....	84
3.9.1	Nykytilanne työkoneiden ohjauksessa.....	84
3.9.2	Työkoneiden ohjauksen kehittäminen.....	87
3.9.3	Työkoneiden ohjauksen arviointi.....	90
3.10	Maatalous.....	92
3.10.1	Nykytilanne maatalouden ohjauksessa	92
3.10.2	Maatalouden ohjauksen kehittäminen.....	93
3.10.3	Maatalouden ohjauksen arviointi	94
3.11	Vihreän vedyn tuotanto ja käyttö	96
3.11.1	Nykytilanne vihreän vedyn tuotannon ja käytön ohjauksessa	96
3.11.2	Vedyn tuotannon ja käytön ohjauksen kehittäminen	97
3.11.3	Vedyn tuotannon ja kulutuksen kannustuksen arviointi	98
3.12	Metsät	99
3.12.1	Nykytilanne metsien käytön ohjauksessa	99
3.12.2	Metsien käytön ohjauksen kehittäminen	100
3.12.3	Metsien käytön ohjauksen arviointi.....	100
4	Johtopäätökset.....	102
4.1	Yleiset havainnot.....	102
4.2	Suosituksukset sektoreittain	103
	Sanasto	107
	Lähteet	108
	Liitteet	116

1 Johdanto

Ilmastotavoitteisiin pääsemiseksi tarvitaan useita käytännön toimenpiteitä, ja näiden toteutumisen varmistamiseksi sekä nopeuttamiseksi erilaisia ohjauskeinoja (Seppälä ym., 2025). Haastavassa taloudellisessa tilanteessa ja ilmastotavoitteiden kiristyessä korostuu tarve arvioida päästövähennystoimien kustannusvaikuttavuutta. Päätöksenteon kannalta keskeinen kysymys liittyy siihen, millä toimenpide- ja ohjauskeinoyhdistelmällä asetettu päästövähennystavoite tai -polku saavutetaan mahdollisimman pienin kokonaiskustannuksin, toimeenpanon kannalta uskottavasti, sekä mahdollisimman oikeudenmukaisesti. Ilmastopolitiikan keinot vaikuttavat samanaikaisesti investointeihin, teknologiavalintoihin, tuotantorakenteeseen ja käyttäytymiseen. Lisäksi useat keinot voivat kohdistua samoihin päästölähteisiin ja siten vahvistaa tai heikentää toistensa vaikutuksia. Näistä syistä yksittäisten toimien tarkastelu irrallaan voi tuottaa harhaanjohtavan kuvan politiikkakokonaisuuden todellisista vaikutuksista ja kustannuksista, ellei arviointi perustu selviin rajauksiin ja yhteismitallisiin mittareihin (Perino ym. 2025).

1.1 Kustannusvaikuttavuusarviointi päästövähennystoimien vertailussa

Kustannusvaikuttavuuden arvioinnin vertailukelpoisuus edellyttää eksplisiittisiä määrittelyjä (Kesicki & Strachan, 2011; Kesicki & Ekins, 2012; Huang ym., 2016). Mikäli päästöjä vähentävien toimien kustannusvaikuttavuutta arvioidaan yhteismitallisesti ja niitä toteutetaan kustannusvaikuttavuusjärjestyksessä (halpuusjärjestyksessä), tavoitteisiin voidaan päästä kustannustehokkaasti eli mahdollisimman pienin kustannuksin. Ensinnäkin arviointi edellyttää vertailutasoa, joka kuvaa päästöjen ja kustannusten tasoa tai kehitystä ilman tarkasteltavaa toimenpidettä tai ohjauskeinoa, huomioiden jo päätetty politiikka ja oletettu autonominen kehitys. Toiseksi järjestelmärajan on oltava selkeä sen suhteen mitkä päästöt (suorat ja mahdolliset epäsuorat), sektorit ja vaikutuskanavat sisällytetään tarkasteluun, ja miten mahdolliset vuotovaikutukset eli päästöjen siirtyminen tarkastelualueen tai sektorin ulkopuolelle käsitellään. Kolmanneksi aikahorisontti on määritettävä johdonmukaisesti toimenpiteiden teknisen käyttöiän ja tarkasteltavan tavoitepolun kanssa. Neljänneksi lisäisyys on määriteltävä ja tarkasteltavalle toimenpiteelle kirjattavien päästövähennysten tulee olla nimenomaan toimenpiteen aikaansaamia suhteessa vertailutasoon. Nämä määrittelyt vaikuttavat sekä kustannuksiin että vältettyihin päästöihin.

Arvioinnissa voidaan erottaa kolme toisistaan eroavaa kustannusnäkökulmaa, koska ne vastaavat eri päätöksentekokysymyksiin. Teknistaloudelliset kustannukset kuvaavat toimenpiteiden toteuttajan investointi- ja käyttökustannuksia sekä mahdollisia säästöjä suhteessa vertailutasoon nykyisin ohjauskeinorakentein. Julkistaloudelliset budjettivaikutukset kuvaavat toimenpiteen vaikutuksia julkiseen talouteen, kuten tukimenoihin, verotuottoihin ja hallinnollisiin kustannuksiin. Kokonaistaloudelliset vaikutukset kattavat laajemmat hyvinvointi- ja markkinavaikutukset, kuten hintavaikutukset, resursien uudelleenkohdentumisen, kilpailukyky- ja työllisyyskanavat sekä mahdolliset tulonjakovaikutukset. Näiden käsitteiden erottelu on tärkeää, koska sama toimenpide voi näyttäytyä teknistaloudellisesti kalliina mutta budjettivaikutuksiltaan rajallisena (tai päinvastoin), ja kokonaistaloudellinen vaikutus voi poiketa olennaisesti molemmista, riippuen markkinareaktioista ja yleisen tasapainon kytkennöistä.

Valtiontalouden tarkastusvirasto (VTV) on korostanut, että ilmastopolitiikan suunnittelussa päätöksenteon kannalta kriittinen tieto toimien päästö- ja kustannusvaikutuksista jää helposti puutteelliseksi

ja epäyhtenäiseksi (VTV, 2025a). Erityisen ongelmallista on, jos vaikutusarvioita tuotetaan eri prosesseissa ja eri oletuksilla siten, että toimenpiteiden vertailu ja kokonaisuuden yhteensovittaminen vaikeutuvat: perusuran määrittely, järjestelmäraajat, aikahorisontit ja lisäisyyden käsittely voivat vaihdella, jolloin samankaltaisetkin toimet voivat näyttäytyä eri tavoin riippuen arviointikehikosta. VTV on lisäksi painottanut, että vaikutusarvioinnin tulee kytkeytyä päätöksentekoon riittävän varhaisessa vaiheessa ja että epävarmuuksia sekä päällekkäisyyksiä on käsiteltävä systemaattisesti, jotta toimenpidekokonaisuuden uskottavuus ja kustannustehokkuus voidaan arvioida. Tämä raportti vastaa osittain tähän tietotarpeeseen jäsentämällä toimenpiteitä yhtenäisillä oletuksilla ja rajauksilla, pyrkien tuottamaan päätöksenteon tueksi keskenään paremmin vertailtavia kustannusvaikuttavuusarvioita. Ennen kaikkea raportti toimii avauksena esitetyn kaltaiselle arvioinnille tulevaisuudessa.

1.2 Arvioinnin tavoitteet, rajaukset ja rajoitukset

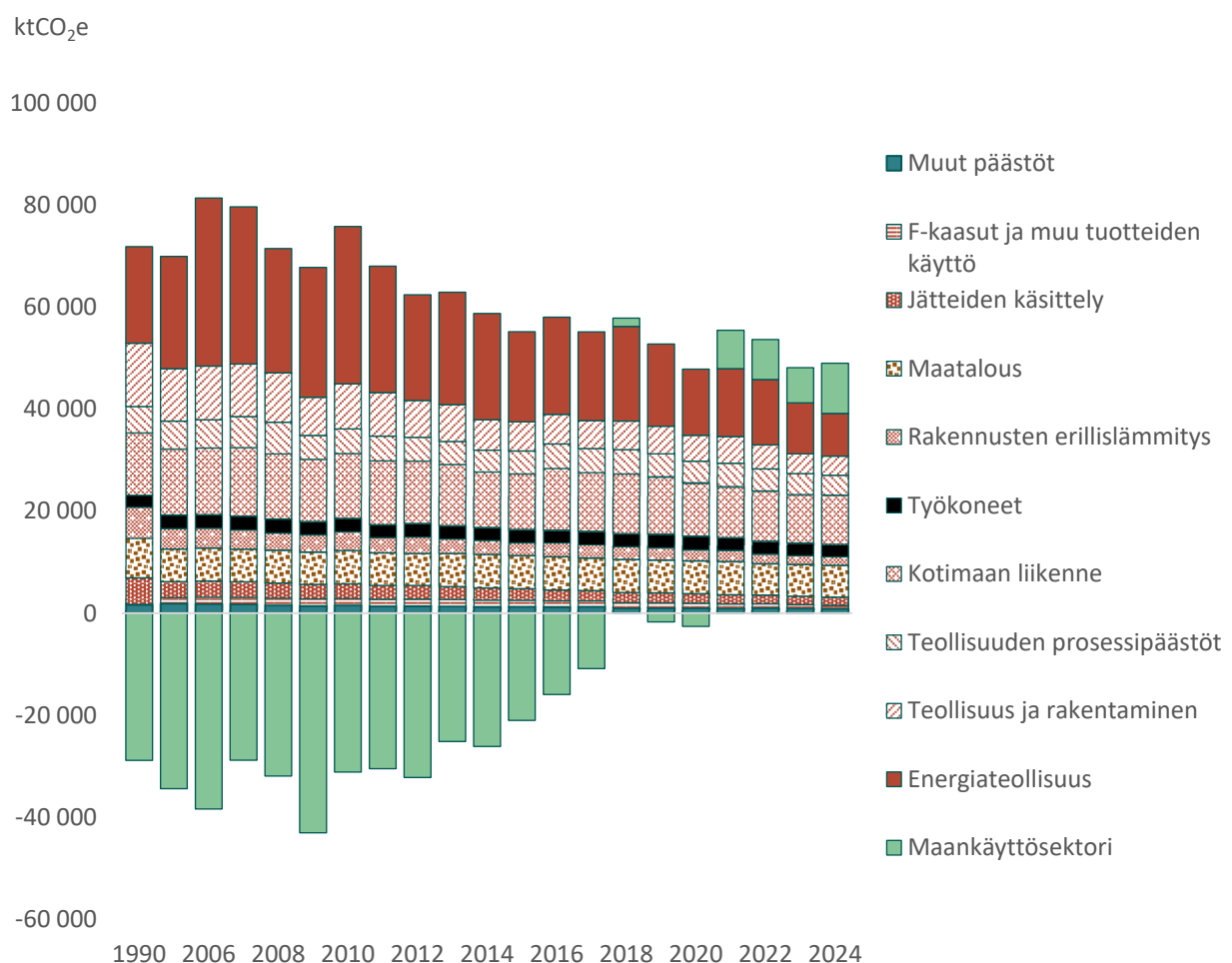
Tämän raportin rajaus painottaa kvantitatiivisesti teknistaloudellista, toimenpidekohtaista arviointia. Raportin ydin muodostuu pääasiassa taakanjakosektorin ja metsien päästövähennyskeinojen kustannusten ja päästövaikutusten yhteismitallisesta laskennasta, jonka perusteella tuotetaan vertailukelpoisia yksikkökustannuksia (euroa/tCO₂e). Raportissa käsitellään vain toimien toteuttamisesta aiheutuvia suoria kustannuksia eikä epäsuoria kustannuksia arvioida. Raportissa ei laadita päästöjä vähentävien ratkaisujen kokonaisvaltaisia kustannus-hyötyanalyyskejä, jotka sisältäisivät laajasti niiden hyötyjen ja haittojen rahamääräiset arvot (Jiang ym., 2022). Julkistaloudellisia budjettivaikutuksia ja kokonaistaloudellisia vaikutuksia tarkastellaan pääosin laadullisesti ja täydentävinä arviointikriteereinä.

Rajaus on menetelmällisesti perusteltu kahdesta syystä. Ensinnäkin budjettivaikutusten määrällinen arviointi edellyttää yksityiskohtaista tietoa ohjauskeinojen mitoituksista, rahoituskanavista, veropohjista ja käyttäytymisvasteista, joita ei voida johtaa yksiselitteisesti toimenpidekohtaisesta teknistaloudellisesta laskennasta ilman laajaa lisäoletusten joukkoa. Toiseksi kokonaistaloudellisten vaikutusten uskottava kvantifiointi edellyttää järjestelmätason mallikehikkoa (esim. yleisen tasapainon mallinusta), jossa huomioidaan hinnanmuodostus, markkinatasapainot ja sektorien väliset kytkennät (ks. esim. Jiang ym., 2026). Budjettivaikutusten sekä laajempien kokonaistaloudellisten vaikutusten arviointia on tehty osana kansallisten ilmastosuunnitelmien valmistelua ja niiden taustalla olevaa skenaariotyötä, mutta sektoreiden yli toteutettu yhdenmukainen vaihtoehtojen tarkastelu edellyttää jatkokehitystyötä.

Koska ilmastotoimet toteutuvat aina osana olemassa olevaa ohjausympäristöä, raportin tuloksia tulkitaan ensisijaisesti vertailutietona päästövähennyskeinojen kustannusten ja vaikutusten suhteista annetussa vertailuasetelmassa. Päästövähennyskeinoikohtaiset yksikkökustannukset eivät sellaisenaan määritä politiikkapaketin kokonaisvaikutusta, koska yhteisvaikutukset, päällekkäisyydet ja käyttäytymisvasteet voivat muuttaa toteutuvia päästövähennyksiä ja kustannuksia (van den Bergh ym., 2021). Raportissa kiinnitetään tämän vuoksi huomiota oletusten läpinäkyvyyteen, minkä avulla keskeisiä epävarmuustekijöitä voi analysoida (esim. energiahinnat, investointikustannusten kehitys, käyttöasteet ja elinkaaret sekä diskonttaus). Näin raportti tuottaa päätöksenteon tueksi menetelmällisesti johdonmukaisen ja rajauksiltaan selväräjaisen arvioinnin, jossa kvantitatiivinen teknistaloudellinen kustannusvaikuttavuuden arviointi muodostaa vertailun rungon.

1.3 Suomen päästövähennystavoitteet ja nykytilanne

Raportin tarkastelut keskittyvät Suomen alueperäisiin kasvihuonekaasupäästöihin, joihin liittyvistä tavoitteista säädetään EU-tasolla sekä Suomen ilmastolaissa¹. Ilmastolain mukaiset keskeiset vähennystavoitteet ovat vähintään 60 prosenttia vuoteen 2030 mennessä, 80 prosenttia vuoteen 2040 mennessä ja 90–95 prosenttia vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoden 1990 tasoon. Lisäksi taakanjakosektorille on asetettu 50 prosentin päästövähennystavoite vuosille 2005–2030, ja Suomen kansallinen hiilineutraaliustavoite on asetettu vuodelle 2035. Suomen alueperäisten kasvihuonekaasupäästöjen pitkän aikavälin kehitys on kaksijakoinen sen mukaan, tarkastellaanko kehitystä ilman maankäyttösektoria vai sen kanssa. Ilman maankäyttösektoria päästöt ovat vähentyneet 45,5 prosenttia vuodesta 1990 vuoteen 2024, mutta maankäyttösektorin kanssa kokonaispäästöt ovat kasvaneet 13,9 prosenttia (Kuva 1) (Tilastokeskus 2026a).



Kuva 1. Suomen kasvihuonekaasupäästöt vuosina 1990 ja 2005–2024 (Tilastokeskus 2026a). Kuva havainnollistaa, että ilman maankäyttösektoria Suomen kasvihuonekaasupäästöt ovat vähentyneet, mutta maankäyttösektorin kanssa päästöt ovat kasvaneet. Päästökauppaan kuuluvat päästöt ovat vähentyneet merkittävästi.

Energiasektorilla, teollisuudessa ja rakentamisessa, rakennusten erillislämmityksessä sekä jätteiden käsittelyssä päästöt ovat vähentyneet selvästi, mikä heijastaa polttoaine- ja teknologiamuutoksia, energiatehokkuuden paranemista sekä tuotantorakenteiden muutoksia. Sen sijaan kotimaan

¹ Ilmastolaki (432/2022) <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2022/423>.

liikenteessä päästövähennykset ovat edenneet hitaammin, ja työkoneiden päästöt ovat pysyneet pitkällä aikavälillä lähellä lähtötasoaan. Teollisuuden prosessipäästöt ja maatalouden päästöt ovat vähentyneet maltillisesti, mikä korostaa näihin päästöihin liittyviä rakenteellisia ja teknologisia rajoitteita. F-kaasujen ja muun tuotteiden käytön päästöissä pitkän aikavälin kasvu ja viime vuosien lasku kuvaavat sääntelyn ja teknologisen korvautumisen vaikutuksia, mutta myös päästöjen riippuvuutta kylmä- ja laitekantaan liittyvästä kehityksestä.

Maankäyttösektorin rooli kokonaisuudessa on muuttunut olennaisesti, sillä aiemmin selvä netto-nielu on heikentynyt ja kääntynyt viime vuosina päästöjä kasvattavaan suuntaan. Tämän seurauksena kokonaispäästöjen vuosittainen vaihtelu ja pitkän aikavälin trendi määräytyvät yhä enemmän maankäyttösektorin kehityksen perusteella, vaikka muilla sektoreilla päästöjä on samanaikaisesti onnistuttu vähentämään. Tämä kehityskuva on keskeinen lähtökohta ohjauskeinojen ja kustannustehokkuuden tarkastelulle, jossa päästövähennysmahdollisuudet, toimien marginaalikustannukset ja toimeenpanon esteet eroavat merkittävästi sektoreittain. Analyysien perusteella hahmotetaan, että vaikuttava politiikkakokonaisuus edellyttää sekä kohdennettua hintaohjausta että sektorikohtaisia täydentäviä instrumentteja investointien, teknologian käyttöönoton ja toimintatapojen muutosten vauhdittamiseksi.

Tämän raportin luvussa 2 esitetään kustannusvaikuttavuusarviointeja taakanjakosektorilla toteutettavista konkreettisista päästövähennystoimista. Lisäksi samassa arviointikehikossa tarkastellaan esimerkinomaisesti metsien käytön muutoksia. Arvioinnit on pyritty tekemään mahdollisimman yhdenmukaisin rajauksin, ja ne esitetään samalla marginaalikustannuskäyrällä. Tarkasteluun on valittu toimia, joihin liittyy merkittävää päästövähennyspotentiaalia erityisesti taakanjakosektorilla ja maankäyttösektorilla, sillä juuri näillä sektoreilla lisäiset toimet ovat keskeisiä Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Päästökaupparektorilla päästövähennykset etenevät sen sijaan pääosin EU:n päästökaupan (EU Emissions Trading System, EU ETS) ohjaamina. Kustannusvaikuttavuusarviointien lisäksi luvussa 3 tarkastellaan päästösektoreiden nykyisiä ja ehdotettuja uusia ohjauskeinoja, joilla ilmastotavoitteita pyritään edistämään. Näiden ohjauskeinojen kautta voidaan vaikuttaa luvussa 2 tarkasteltujen toimien etenemiseen joko muuttamalla niiden suhteellisia kustannuksia tai velvoittavan sääntelyn avulla. Raportin johtopäätökset esitetään luvussa 4.

2 Kustannusvaikuttavuuden tarkastelu

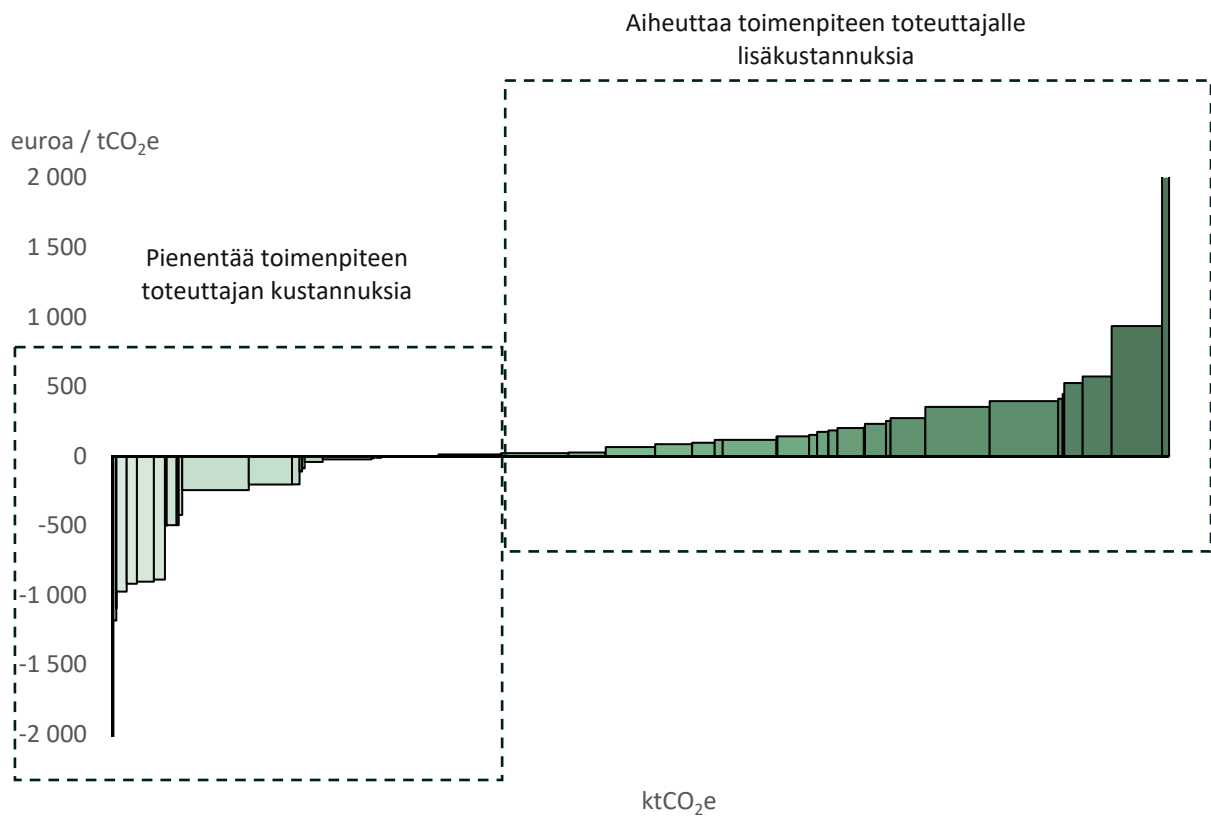
2.1 Päästövähennystoimien kustannukset ja päästövähennyspotentiaalit

Marginaalisten päästövähennyskustannusten analyysi (MAC, Marginal Abatement Cost) on työkalu, jolla arvioidaan eri päästövähennystoimien kustannusvaikuttavuutta (Huang ym., 2016; Gillingham & Stock, 2018). Käytännössä MAC-analyysin tuloksena esitetään usein päästöjä vähentävien toimien kustannuskäyrä (MACC, Marginal Abatement Cost Curve) (Kuva 2), joka havainnollistaa kunkin toimen arvioitun yksikkökustannuksen (euroa per vältetty tCO₂e) sekä päästövähennyspotentiaalin (tCO₂e). MAC-käyrä esitetään visuaalisesti palkkikaaviona, jossa jokainen pylväs edustaa yhtä päästövähennystoimea². Pylvään leveys kertoo toimenpiteen saavutettavissa olevan päästövähennyksen määrän tietynä ajanjaksona (yleensä vuoden aikana, kuten tässä raportissa) ja korkeus kertoo toimenpiteen nettokustannuksen per hiilidioksiditonni. Pylvään suunta suhteessa vaak akseliin ilmaisee, onko kyseessä kustannus vai säästö: akselin alapuolelle ulottuva pylväs (negatiivinen kustannus) tarkoittaa, että toimi tuottaa elinkaarensa aikana toteuttajalleen nettosäästöjä, kun taas akselin yläpuolinen pylväs merkitsee nettokustannusta. Pylväät järjestetään vaakasuunnassa kustannuksen mukaan nousevaan järjestykseen, jolloin vasemmalla ovat halvimmat (tai jopa nettona säästöä tuottavat) toimet ja oikealle siirryttäessä toimenpiteiden kustannus saavutettua päästövähennystä kohden kasvaa. Näin muodostuu kasvava käyrä, joka kuvaa päästövähennystoimien marginaalikustannukset järjestyksessä pienimmästä suurimpaan.

Toimien päästövähennysvaikutukset voivat muuttua ajan myötä esimerkiksi energian päästökertoimien muuttuessa. Tässä tarkastelussa MAC-käyrän leveys kuvaa toimenpiteen arvioitua päästövähennystä tarkasteluvuonna, kun taas yksikkökustannus on laskettu toimenpiteen elinkaaren kustannusten ja päästövaikutusten perusteella. Näin ollen kuvio ei kuvaa päästövähennysten ajallista kehitystä, vaan tarjoaa vertailun toimenpiteiden kustannusvaikuttavuudesta tarkasteluvuoden tilanteessa.

MAC-analyysin hyödyllisyys ilmastopolitiikassa perustuu siihen, että se tarjoaa objektiivisen, kvantitatiivisen vertailupohjan erilaisille päästöjen vähentämisvaihtoehdoille kustannusvaikuttavuusnäkökulmasta. Koska kaikkia mahdollisia ilmastotoimia ei yleensä voida toteuttaa yhtä aikaa rajallisten resursien vuoksi, MACC auttaa tunnistamaan, mitkä toimet tuottavat suurimman päästövähennyksen suhteessa niiden kustannuksiin. Kustannustehokkuuden periaatteen mukaisesti rahalliset panostukset kannattaa kohdistaa ensin niihin toimiin, joilla päästöjä voidaan vähentää halvimmalla. Esimerkiksi jos käytettävissä on tietty kiinteä budjetti päästöjen vähentämiseen, valitsemalla ensin matalimman kustannuksen toimenpiteet voidaan samalla rahalla vähentää enemmän päästöjä kuin valitsemalla kalliimpia toimia ensin. MAC-analyysi antaa päätöksentekijöille selkeän kuvan siitä, millä keinoilla päästövähennykset voidaan saavuttaa mahdollisimman edullisesti, ja sillä voidaan tukea strategista suunnittelua esimerkiksi kansallisissa ilmastopolitiikan suunnitelmissa ja strategioissa.

² Konkreettista päästöjä vähentävistä ratkaisuista tässä raportissa käytetään termiä "toimi". Synonyymina toimelle voidaan ymmärtää myös esimerkiksi ratkaisu tai keino. Luvussa 3 esiteltujen ohjauskeinojen kautta edistetään konkreettisten päästöjä vähentävien toimien tai ratkaisujen etenemistä.



Kuva 2. Päästövähennystoimien päästövähennysten hinnat ja päästövähennyspotentiaali esimerkinomaisesti. Kuva esittää taakanjakosektorin toimien yksikkökohtaisia päästövähennyskustannuksia ja päästövähennyspotentiaalia. Kuva havainnollistaa, että toimet eroavat sekä kustannusvaikuttavuudeltaan että vaikutusten laajuudelta. Osa päästövähennystoimista voi säästää toteuttajalleen kustannuksia, mutta osa edellyttää rahamääräisten kannustimien vahvistamista.

On kuitenkin tärkeää ymmärtää, että MACC on yksinkertaistava malli ja sen tulkinnessa on oltava huolellinen (Kesicki & Ekins, 2012). Ensinnäkin MAC-analyysi on usein luonteeltaan staattinen, sillä se kuvaa tilannetta tietyillä annetuilla oletuksilla (teknologian kustannukset, energian hinnat, jne.) kyseisellä ajanhetkellä. Todellisuudessa teknologia kehittyy ja kustannukset muuttuvat, joten MAC-käyrää tulee päivittää säännöllisesti, sillä jokin toimi, joka tänään on kallis, voi tulevaisuudessa muodostua edullisemmaksi. Toiseksi MAC-analyysi tarkastelee kutakin toimenpidettä erillisenä olettaen, että kaikki muu pysyy muuttumattomana, eikä lähtökohtaisesti huomioi toimenpiteiden keskinäisiä vuorovaikutuksia tai päällekkäisyyksiä. Käytännössä kuitenkin monet päästövähennyskeinot vaikuttavat toisiinsa (van den Bergh ym. 2021). Esimerkiksi sähköautojen päästövähennyspotentiaali riippuu sähköntuotannon päästöttömyydestä, ja sähköntuotannon puhdistamisen tarve riippuu osin liikenteen sähköistymisestä. Siksi pelkkä yksittäisten MAC-arvojen tulkinta voi johtaa harhaan, ellei kokonaisuutta tarkastella integroidusti. Kolmanneksi MAC-käyrät keskittyvät yleensä suoraan mitattaviin taloudellisiin kustannuksiin, eivätkä ne aina sisällytä esimerkiksi toimenpiteiden tuottamia sivu- tai yhteishyötyjä (kuten ilmanlaadun parantuminen, terveyshyödyt tai energiaomavaraisuuden lisääntyminen). Nämä myönteiset ulkoisvaikutukset voivat tosiasiassa madaltaa yhteiskunnallista nettokustannusta, vaikka ne eivät näkyisiäkään suoraan MAC-arviossa. Neljänneksi kustannusvaikuttavuus on vain yksi näkökulma päästövähennys-toimien arvioinnissa, sillä poliittisessa päätöksenteossa yhteensovitetään monia näkökulmia, liittyen esimerkiksi huoltovarmuuteen. Edellä kuvattujen syiden vuoksi MAC-analyysia tulee tulkita yhtenä osana päätöksenteon tukea, mutta ei ainoana perusteena. Sen tuottamaa toimien järjestystä tulee tulkita suuntaa antavasti yhdistettynä laadulliseen harkintaan ja vaikutusarvioihin.

MAC-käyrillä esiintyy usein negatiivisen kustannuksen toimia, jotka saattavat ensi silmäyksellä vaikuttaa ristiriitaisilta suhteessa siihen, että tyypillisesti päästövähennystoimien ajatellaan aiheuttavan

lisäkustannuksia, ei säästävän rahaa (Kesicki & Ekins, 2012). Negatiivinen kustannus tarkoittaa, että toimenpiteen toteuttaminen tuottaa nettohyödyn, esimerkiksi energiasäästöinä, joka on rahallisesti suurempi kuin toimenpiteen kustannukset. Tyypillisiä esimerkkejä ovat energiatehokkuustoimet, kuten esimerkiksi vanhojen hehkulamppujen korvaaminen LED-valaistuksella, rakennusten lisäeristäminen tai teollisuuden energiansäästöinvestoinnit, jotka voivat maksaa itsensä takaisin pienentyneinä energialaskuina. Tällaiset energiatehokkuusparannukset säästävät rahaa ajan mittaan ja ovat siten negatiivisen kustannuksen toimia, jotka pitäisi periaatteessa toteuttaa jo pelkästään taloudellisista syistä.

Todellisuudessa kuitenkin monet negatiivisen kustannuksen säästöjä toteuttavalleen taholle tuovat päästövähennykset jäävät usein toteutumatta ilman julkista ohjausta. Toimien toteuttamiselle voi olla olemassa erilaisia institutionaalisia ja sääntelyyn liittyviä esteitä sekä puutteita tiedonsaannissa, rahoituksen saamisessa, tai niiden käyttöönottoon liittyy muita hitaasti muuttuvia käyttäytymistekijöitä. Informaation puuttuessa kaikki toimijat eivät yksinkertaisesti tiedä tai ymmärrä olemassa olevia säästämahdollisuuksia. Sinänsä tietoa on olemassa, mutta yksittäiselle toimijalle ei välttämättä ole riittävän suurta kannustinta tai kykyä hankkia ja hyödyntää tietoa itse. Toisin sanoen, markkinoilla on informaation alitarjontaa, jolloin monia säästöjä jää toteutumatta ilman julkista interventiota.

Toisaalta kaikkia kustannuksia ja riskejä, jotka voivat selittää investointien toteutumattomuutta, ei välttämättä havaita. Esimerkiksi uusi teknologia saattaa sisältää käyttäjälle huonosti näkyviä laatu- tai toimintaeroja tai riskejä verrattuna vakiintuneeseen ratkaisuun, mikä tekee siitä todellisuudessa vähemmän houkuttelevan kuin pelkät laskennalliset kustannukset antaisivat ymmärtää. Onkin olennaista pyrkiä ymmärtämään markkinoiden epätäydellisyyksiä riittävän kattavasti, jotta negatiiviset kustannukset eivät automaattisesti johda ajattelemaan, että toimi etenee täysin markkinaehtoisesti ilman julkista ohjausta.

Politiikkatoimien tehtävä on tunnistaa nämä markkinaepätehokkuudet ja poistaa esteet, jotta negatiivisen kustannuksen päästövähennykset saadaan toteutumaan käytännössä. Tämä tarkoittaa esimerkiksi:

1. Tiedon ja osaamisen lisäämistä: Julkinen sektori voi tarjota neuvontaa, energiakatselmuksia ja informaatio-ohjaukampanjoita, jotka tuovat säästämahdollisuudet yritysten ja kotitalouksien tietoon.
2. Taloudellisten kannusteiden parantamista: Vaikka negatiivisen kustannuksen toimien pitäisi periaatteessa kannattaa itsestään, niihin voi liittyä merkittävä alkuinvestointi tai muita rahoitusesteitä. Julkinen sektori voi tarjota rahoitusmekanismeja tai tukia helpottamaan investointien tekemistä. Esimerkiksi energiatehokkuusremonttien tukiohjelmat tai edulliset lainat taloyhtiöille voivat madaltaa kynnystä toteuttaa toimia, jotka pitkällä aikavälillä maksavat itsensä takaisin. Idea on, että mikäli yksityinen toimija vaatii lyhyttä takaisinmaksuaikaa tai kärsii pääomien puutteesta, pieni julkinen tuki tai riskinjako voi ratkaista ongelman ja saada kannattavat hankkeet liikkeelle.
3. Sääntelyn käyttöä markkinapuutteiden korjaamiseen: Joissain tapauksissa paras ratkaisu on velvoittava ohjaus, etenkin jos kyse on lähes itsensä kannattavista toimista, joita ei silti muuten tehtäisi. Velvoittavalla ohjauksella varmistetaan, että tietyt toimet eivät jää tekemättä päätöksenteon viiveiden tai näennäisesti haastavan toteutettavuuden vuoksi.

Politiikassa on tärkeää myös kohdentaa erityistä huomiota negatiivisen kustannuksen toimiin, joita voi pyrkiä ohjaamaan toteutumaan myös muin kuin suoraan rahallisin tukikeinoin, koska ne sekä vähentävät päästöjä että voivat säästää toteuttajalleen rahaa. Julkista ohjausta suunniteltaessa on kuitenkin tärkeää tarkastella jokaista kustannustehokkaalta vaikuttavaa toimea huolellisesti, sillä joskus niiden

edistäminen aiheuttaa kuluja, jotka voivat syödä osan odotetuista säästöistä kansantalouden tasoa tarkasteltaessa. On mahdollista, että joidenkin negatiivisen kustannuksen toimien toteuttaminen vaatii niin suuren panostuksen julkishallinnolta, että toimi ei olekaan enää yhteiskunnan kannalta aidosti kustannusvaikuttava. Siksi kustannusvaikuttavuuden arviointi tulee ulottaa myös politiikkatoimien toimeenpanon, monitoroinnin, todentamisen ja raportoinnin suunnitteluun.

Yhteenvetona, säästöt tuovat negatiivisen marginaalikustannuksen omaavat toimet eivät aina automaattisesti toteudu markkinoilla itsestään, etenkin siinä tahdissa, mitä ilmastotavoitteet edellyttävät. Poliitiikan roolina on tunnistaa etenemisen esteet ja puuttua tilanteeseen oikeilla keinoilla. Hyvin suunnitellut toimet, liittyen informaatio-ohjaukseen, sopivantasoisiiin kannustimiin ja tarvittaessa normiohjaukseen, voivat toteuttaa potentiaaliset matalien kustannusten päästövähennykset, mikä auttaa saavuttamaan ilmastotavoitteet pienemmällä kokonaistaloudellisella kustannuksella.

Seuraavissa luvuissa tarkastellaan tieliikenteen, maatalouden, rakennusten energiankulutuksen ja työkoneiden päästövähennystoimien marginaalikustannuksia sekä päästövähennyspotentiaaleja. Näiden jälkeen toimet yhdistetään yhteen MAC-käyrään, ja lopuksi tarkasteluun lisätään metsien käyttöön liittyviä toimia. Vertailutasona yleisesti ottaen arvioimme todennäköinen kehitys vuoteen 2030 mennessä, ja tämä on määritelty alaluvuissa tarkemmin.

2.2 Tieliikenne

Tieliikenteen osalta arvioitiin eri ajoneuvotyyppien (henkilöautot, pakettiautot, kuorma-autot ja linja-autot) käyttövoimavalintoja (dieselistä, bensiinistä tai ladattavasta bensiinihybridistä sähköön). Tarkastelussa keskityttiin sähkökäyttöiseen ajoneuvokantaan, mutta etenkin linja-autojen ja kuorma-autojen osalta on jatkossa relevanttia tarkastella myös muun muassa biokaasukäyttöisiä vaihtoehtoja. Arvioinneissa keskitytään uusien ajoneuvojen hankintaan. Kaikkien ajoneuvotyyppien arvioinnissa tarkasteluajanjaksoksi oletettiin 15 vuotta ja kustannusten vuotuisiksi diskonttokoroksi 5,0 %. Polttoaineiden biokomponenttien jakeluvälvoitteen mukaiset osuudet oletettiin vuoden 2025 lopussa voimassa olleen lainsäädännön mukaisiksi. Sähkön käytön päästökertoimeksi oletettiin 5,3 gCO₂e / kWh (Koljonen ym. 2025). Kustannukset mukailevat Ilmastopaneelin Autokalkulaattorin tietoja (Seppälä ym., 2023; Liimatainen ym., 2023).

Energian hinnat on määritelty nykyisin verorakentein keskimääräisin hinnoin eri ajoneuvotyypeille. Dieselin hinnaksi määriteltiin henkilö- ja pakettiautoille 1,56 euroa / litra (sis. alv 25,5 %) ja bensiinin hinnaksi 1,75 euroa / litra (sis. alv 25,5 %), kun taas linja-autojen ja kuorma-autojen käyttäjien hintoihin ei sisällytetty arvonlisäveroa. Vastaavasti sähkön hinnaksi henkilö- ja pakettiajoneuvoille määriteltiin 13,5 snt / kWh (sis. energia, jakelu, sähkövero ja arvonlisävero), kun taas linja- ja kuorma-autojen tarkastelussa sähkön hinta ei sisällä arvonlisäveroa. Henkilöajoneuvojen julkisen latauksen hinnaksi oletettiin 41 snt / kWh ja kuorma-autoille 22,8 snt / kWh.

Henkilöauton keskimääräisenä vuotuisena ajosuoritteena bensiinikäyttöisille ja ladattaville bensiini-käyttöisille hybrideille käytettiin 15 000 kilometriä ja dieselikäyttöisille 25 000 kilometriä. Arvioinnissa oletettiin, että vertailukelpoisten ajoneuvojen hankintahinnat ovat samat. Sähkökäyttöisen ajoneuvon kulutukseksi oletettiin 17 kWh / 100 km, dieselikäyttöisen 5,5 litraa / 100 km, bensiinikäyttöisen 7,1 litraa / 100 km ja ladattavan bensiinihybridin polttoainekäytöksi 3,5 litraa / 100 km ja sähkökäytöksi 7,5 kWh / 100 km. Sähkökäyttöisen ajoneuvon vuotuiset huolto- ja ylläpitokustannukset ovat pitkäaikana keskimäärin 326 euroa ja polttomoottorivaihtoehtojen 414 euroa. Huolto- ja ylläpitokustannukset eivät sisällä toisistaan poikkeavia eroja odottamattomien korjauksien suhteen. Ajoneuvojen perusvero ja käyttövoimaverot asetetaan vuoden 2026 tasolle ja sähkökäyttöisen ajoneuvon

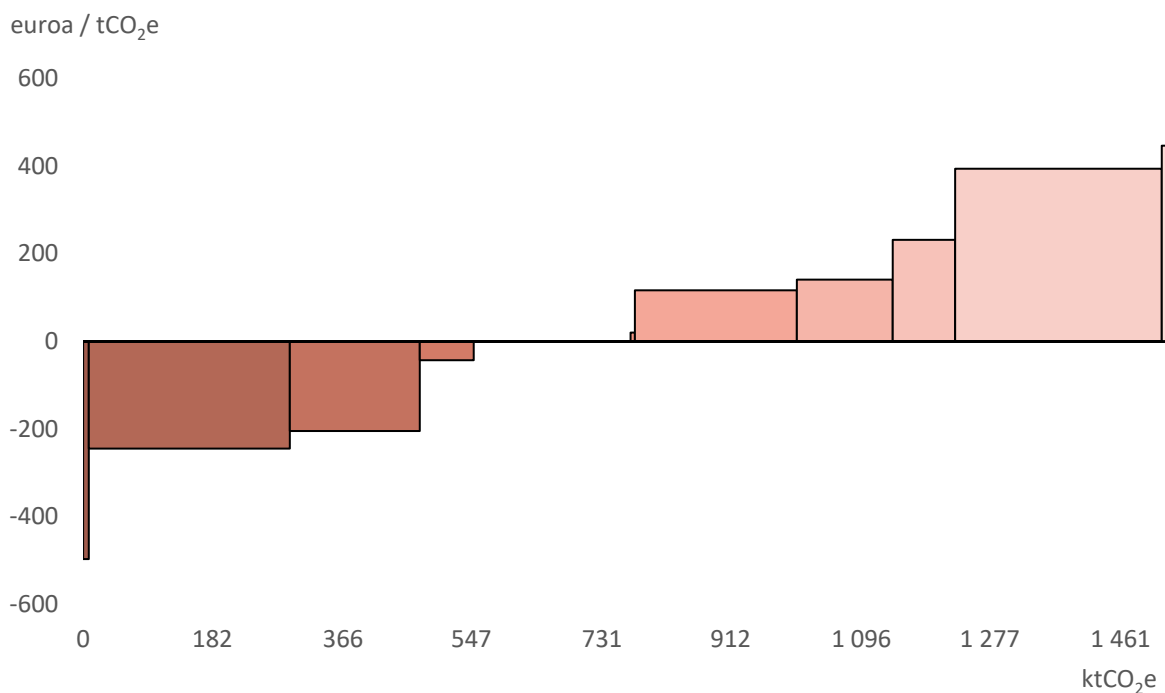
latausinfrastruktuurin hinnaksi oletettiin 1200 euroa. Sähkökäyttöisten ajoneuvojen vakuutusmaksut oletettiin 500 euroa korkeammaksi kuin muiden käyttövoimien. Olettaen 15 000 kilometrin vuosiajosuorituksen sähkökäyttöisen ajoneuvon diskonttaamattomat vuosikustannukset ovat 2481 euroa, ladattavan hybridin 2669 euroa ja bensiinikäyttöisen 3412 euroa.

Pakettiautojen tarkastelussa oletettiin, että sähkökäyttöinen pakettiauto on hankintahinnaltaan keskimäärin 140 % kalliimpi kuin vastaava dieselkäyttöinen. Tarkastelussa pakettiautolla ajetaan vuodessa keskimäärin 40 000 kilometriä käyttövoimasta riippumatta ja ajosta 77 % ajetaan lastattuna. Tyhjänä sähkökäyttöinen pakettiauto kuluttaa 38 kWh / 100 km ja lastattuna 45 kWh / 100 km. Oletetulla sähköenergian hinnalla diskonttaamaton vuotuinen energiakustannus on 2 351 euroa. Huoltokustannukseksi oletetaan 0,08 euroa / km ja latausinfran hankintakustannukseksi 3 000 euroa. Ajoneuvon perusvero ja käyttövoimaverot asetetaan vuoden 2026 tasolle. Vastaavasti dieselkäyttöisten pakettiauton diskonttaamaton vuotuinen energiakustannus on 5 468 euroa. Huoltokustannuksena käytetään 0,11 euroa / km ja verot asetetaan vuoden 2026 tasolle.

Kuorma-autoista arvioitiin erikseen kuorma-autot ilman perävaunua (KAIP), puoliperävaunun kanssa (KAPP) ja täysperävaunun kanssa (KAVP). Arvioinnissa kunkin tyyppisen sähkökäyttöisen kuorma-auton hankintakustannuksen oletettiin olevan 250 % vastaavan dieselkäyttöisen hankintakustannuksesta. KAIP vuotuisen ajosuorituksen oletettiin olevan 60 000 kilometriä, KAPP 80 000 kilometriä ja KAVP 100 000 kilometriä ja kunkin ajoneuvotyyppin suoritteesta 77 % ajetaan lastattuna. Tällöin KAIP dieselin kulutus tyhjänä on 14,1 litraa / 100 km ja lastattuna 27,4 litraa / 100 km, kun vastaavan sähkökäyttöisen kulutus on 84 ja 106 kWh / 100 km. Dieselkäyttöisen KAPP kulutus on 24,7 ja 47,9 litraa / 100 km ja sähkökäyttöisen 138 ja 197 kWh / 100 km. Lopuksi dieselkäyttöisen KAVP kulutus on 33,4 ja 64,8 litraa / 100 km ja sähkökäyttöisen 199 ja 300 kWh / 100 km. Sähkökäyttöisten KAIP, KAPP ja KAVP huoltokustannuksena käytettiin 0,11 euroa / km, 0,13 euroa / km ja 0,19 euroa / km, ja vastaavasti dieselkäyttöisille 0,18 euroa / km, 0,16 euroa / km ja 0,22 euroa / km. Arvioinnissa oletettiin, että KAIP suorittaa ajosuoritteensa siten, että se voidaan ladata 100 % omissa latureissa edullisella sähköllä. Sen sijaan KAPP ja KAVP ajavat pidempiä matkoja maanteillä, joten niiden oman latauksen osuudeksi oletettiin 70 % ja 40 %.

Linja-autoliikenteen ajoneuvovalintoja tarkasteltiin erikseen paikallis- ja kaukoliikenteen osalta vertaillen sähkö- ja dieselkäyttöisiä ajoneuvoja. Hankintakustannusten erotuksena oletettiin sähkökäyttöisten hankintakustannusten olevan 175 % vastaavaan dieselkäyttöiseen verrattuna paikallisliikenteen ja 200 % kaukoliikenteen osalta. Vuotuiseksi ajosuoritteeksi oletettiin molemmissa tapauksissa 70 000 kilometriä. Dieselkäyttöisen linja-auton kulutukseksi oletettiin 35 litraa / 100 km ja huoltokustannukseksi 0,143 euroa / km. Vastaavan sähkökäyttöisen linja-auton sähkökulutukseksi oletettiin 117 kWh / 100 km ja huoltokustannukseksi 0,074 euroa / km. Vaihtoehtojen ei oletettu poikkeavan toisistaan muiden kustannusten tai ominaisuuksien osalta.

Ajoneuvokohtaiset päästövähennyspotentiaalit muunnettiin kokonaispotentiaaleiksi arvioimalla ajoneuvotyyppikohtaiset vuotuiset myyntimäärät ja ensirekisteröityjen ajoneuvojen käyttövoimajakaumat vuosina 2025–2030. Vuosina 2020–2024 uusia henkilöajoneuvoja on myyty keskimäärin 87 636 kappaletta (Tilastokeskus 2026b), joka oletettiin keskimääräiseksi myynniksi vuosille 2025–2030. Vuonna 2024 myydyistä ajoneuvoista 45,1 % oli bensiinikäyttöisiä, 33,9 % täyssähköisiä, 22,9 % ladattavia bensiinihybridejä ja 4,0 % dieselkäyttöisiä ajoneuvoja. Viime vuosina bensiini- ja dieselkäyttöisten ajoneuvojen ensirekisteröinnit ovat olleet selvässä laskusuunnassa, kun taas täyssähköisten ja ladattavien hybridien osuudet ovat kasvaneet. Laadimme viime vuosien menneen kehityksen perusteella ennusteen vuoteen 2030, jolloin ensirekisteröinneistä noin 50 % on täyssähköisiä, noin 31 % ladattavia hybridejä ja 23 % bensiinikäyttöisiä. Sähköistymisen nopeuden arvio on konservatiivinen esimerkiksi KEITO-hankkeen oletuksiin (Koljonen ym., 2025).



Kuva 3. Tieliikenteen päästövähennyskeinojen hinta (euroa / tCO₂e) ja päästövähennyspotentiaali (ktCO₂e) vuoteen 2030 mennessä. Pylvään korkeus kuvaa toimella saavutettavan päästövähennyksen hintaa ja pylvään leveys toimeen liittyvää päästövähennyspotentiaalia. Kuva havainnollistaa, että toimet eroavat sekä kustannusvaikuttavuudeltaan että vaikutusten laajuudelta.

Muiden ajoneuvotyyppien potentiaalit määriteltiin samoin periaattein. Pakettiautojen keskimääräiseksi ensirekisteröintimääräksi oletettiin 11 537 ajoneuvoa, josta vuonna 2030 täyssähköisiä on noin 21,9 % (12,7 % vuonna 2024) ja dieselkäyttöisiä noin 75,8 % (85,4 %). Ensirekisteröitävien kuorma-autojen vuotuiseksi lukumääräksi määriteltiin 3 540 kappaletta, joista vuonna 2030 täyssähköisiä on 2,8 % (1,8 % vuonna 2024), dieselkäyttöisiä 86,2 % (90,6 %), kaasukäyttöisiä 4,0 % (2,4 %) ja bensiinikäyttöisiä 3,8 % (2,1 %). Ensirekisteröitävien linja-autojen vuotuiseksi lukumääräksi ennakoitiin 379 kappaletta, joista täyssähköisiä on 98,0 % (56,9 % vuonna 2024) ja kaasukäyttöisiä 1,9 % (0,2 %).

Kuvassa 3 ja taulukossa 1 on esitetty tieliikenteen toimenpidekohtaiset päästövähennyksen hinnat ja arvioidut enimmäispäästövähennyspotentiaalit vuoteen 2030 mennessä. Yhteenlaskettu toimien toteuttamisen potentiaali on noin 1,5 MtCO₂e, josta lähes puolet seuraisi käyttäjälleen kustannuksia säästävistä toimista. Toisin sanoen, tieliikenteessä toteutettavat käyttövoimavalinnat ovat käyttäjilleen pääsääntöisesti elinkaarikustannuksilla tarkasteluna taloudellisesti kannattavia, ja niiden päästövähennysten hinnat ovat negatiivisia. Kustannusvaikuttavuuden näkökulmasta etenkin henkilöajoneuvokantaan kohdennettavia sähköautojen hankintatukia on vaikea perustella muuten kuin taloyhtiöihin kohdennettavilla latausinfrastruktuurin tuilla. Myöskään täyssähköisten pakettiautojen hankintaan kohdennettavalle tuelle ei ole vertailun perusteella tarvetta.

Taulukko 1. Tieliikenteen toimien päästövähennysten hinnat ja päästövähennyspotentiaalit

Toimenpide	Hinta (euroa / tCO _{2e})	Päästö- vähennys- potentiaali (ktCO _{2e})
Henkilöauto dieselistä täyssähköön	-496,9	8,3
Pakettiauto dieselistä täyssähköön	-244,8	283,2
Henkilöauto bensiinistä täyssähköön	-204,7	182,7
Henkilöauto ladattavasta bensiinihybridistä täyssähköön	-43,2	76,5
Henkilöauto ilman kotilatausta dieselistä täyssähköön	0,8	9,9
Henkilöauto ilman kotilatausta bensiinistä täyssähköön	1,2	211,3
Paikallisliikenteen linja-auto dieselistä täyssähköön	19,9	5,3
Kuorma-auto täysperävaunulla dieselistä täyssähköön	116,4	227,9
Kuorma-auto puoliperävaunulla dieselistä täyssähköön	140,8	135,0
Henkilöauto ilman kotilatausta ladattavasta bensiinihybridistä täyssähköön	231,5	88,5
Kuorma-auto ilman perävaunua dieselistä täyssähköön	393,8	291,2
Kaukoliikenteen linja-auto dieselistä täyssähköön	446,4	5,3

Sen sijaan sähkökäyttöisten kuorma-autojen hankintatuki, joko ajoneuvoon tai latausinfrastruktuurin kehittämiseen kohdennettuna, on perusteltavissa sähkökäyttöisten vaihtoehtojen hieman korkeampien elinkaaristen kustannusten ja merkittävän päästövähennyspotentiaalin kautta. On toisaalta oletettavaa, että sähkökäyttöisten kuorma-autojen kysynnän kasvaessa tuotannon skaalaedut pienentävät hankintakustannuksen erotusta dieselvaihtoehtoon verrattuna, jolloin sähkökäyttöisen vaihtoehdon kustannuskilpailukyky paranee lähivuosina ilman hankintatuella tehtävää ohjausta. Sähkökäyttöisten linja-autojen hankintaa paikallisliikenteessä ohjaavat myös muut kuin kustannustekijät, kuten kaupunkien toimet omien ilmastotavoitteidensa saavuttamiseksi. Elinkaarikustannusero on sähköisten ja dieselkäyttöisten paikallisliikenteen linja-autojen osalta myös hyvin maltillinen. Sen sijaan kaukoliikenteessä tilanne on eri, sillä elinkaarikustannusero on hyvin merkittävä dieselvaihtoehdon hyväksi. Myöskään päästövähennyspotentiaali ei ole merkittävä.

2.3 Maatalous

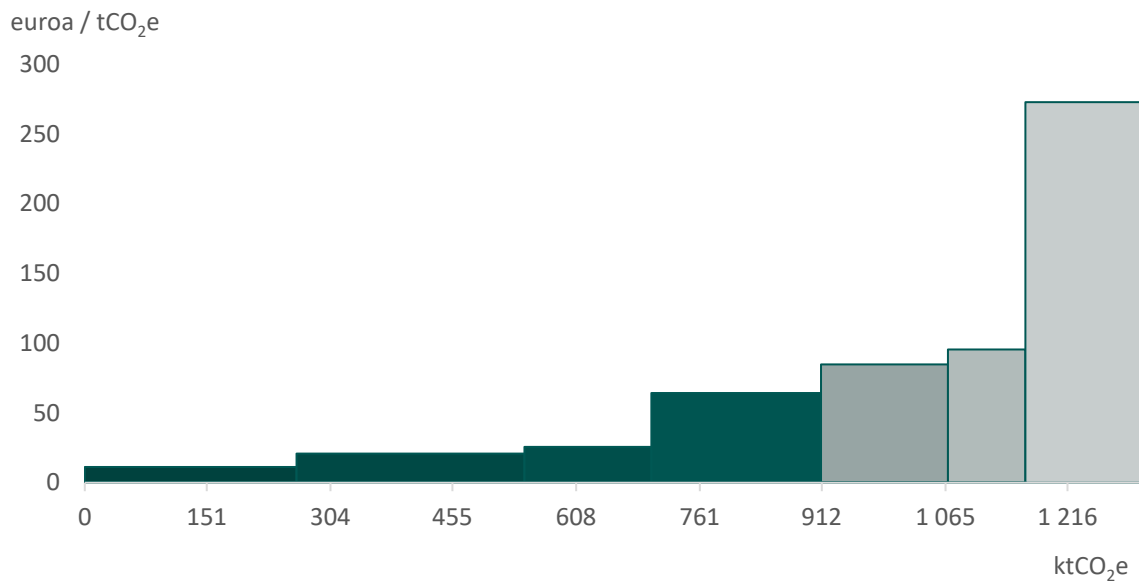
Maatalouden toimenpiteiden vaikutusarviot perustuvat aiempiin arviointitöihin (Laturi ym., 2022) ja kunkin toimenpiteen määräarviointiin (Maanavilja ym., 2021; Koljonen ym., 2025). Kuvassa 4 ja taulukossa 2 on esitetty tarkasteltujen toimien päästövähennysten hinnat ja toimiin liittyvät oletetut potentiaalit. Potentiaali on esitetty arviona lisäisyydestä vuoteen 2030 jo päätetyille toimille. Todellisuudessa enimmäispotentiaali voi kuitenkin olla merkittävästi suurempi riippuen toimenpiteisiin soveltuvien maa-alueiden kokonaismäärästä.

Arviointitöiden perusteella voidaan havaita, että useat maatalouden toimet ovat päästövähennysten hinnoiltaan hyvin maltillisia etenkin muihin sektoreihin verrattuna. On myös havaittava, että ne kuitenkin aina aiheuttavat lisäkustannuksia, eivätkä tuo säästöjä tekijälleen, toisin kuin muiden sektoreiden toimenpiteet. Toisin sanoen, pelkkä informaatio-ohjaus ei välttämättä ole yhtä tehokasta maatalouden toimien edistämiseksi, vaan vaaditaan taloudellisia kannustimia. Pienimmät päästövähennyksen hinnat liittyvät turvemaiden sijaitsevien peltojen käytön muutoksiin. Nurmien viljely turvepelloilla (

10,8 tCO₂e / ha / v), turvemaan kosteikkoviljely (11,3 tCO₂e / ha / v), turvemaan nurmiviljely korotetulla vedenpinnalla (20,9 tCO₂e / ha / v) ja muuntaminen ilmastokosteikoiksi (25,7 tCO₂e / ha / v) ovat edullisimpia keinoja vähentää päästöjä.

Turvepellon muuttamisessa kosteikoksi ojitus lopetetaan ja vedenpintaa nostetaan pysyvästi niin, että lohko toimii kosteikkona eikä viljelymaana. Tämä lopettaa turpeen aerobisen hajotuksen ja vähentää hiilidioksidipäästöjä merkittävästi. Samalla metaanipäästöt voivat kasvaa, mutta nettovaikutus on tyypillisesti selvästi päästöjä vähentävä, kun vedenpinta pidetään korkealla ympäri vuoden. Toimi sopii heikkotuottoisille tai tulvaherkille lohkoille ja tuo luonto-, vesistö- ja tulvasuojeluhyötyjä. Käytännössä edellyttää pysyvyysitumusta sekä korvausmallia, ja vaikutuksen seurannassa keskeistä on vedenpinnan tason ja pinta-alan dokumentointi. Hehtaariohittaiset vuotuiset kustannukset ovat 673 euroa ja vuotuinen päästövähennys 26,2 tCO₂e, jolloin päästövähennyksen hinta on 25,7 euroa / tCO₂e. Vuodelle 2030 arvioitu enimmäislisäpotentiaali on 6 000 hehtaaria.

Säätösalaajituksella tai padotuksella vedenpintaa nostetaan niin, että nurmiviljely voi jatkua, mutta turpeen hajoaminen hidastuu. Hiilidioksidipäästöt pienenevät, mutta sato- ja kantavuusriskit kasvavat, ja olosuhteista riippuen myös dityppioksiidi- tai metaanipäästöjen muutoksia voi esiintyä. Onnistuminen vaatii lohko-ohittaisen hydrologian hallintaa, toimivaa kuivatus- ja tieverkkoa sekä viljelysuunnitelmaa, joka huomioi mahdolliset sadonkorjuun rajoitteet. Hehtaariohittaiset vuotuiset kustannukset ovat 295 euroa ja vuotuinen päästövähennys 14,1 tCO₂e, jolloin päästövähennyksen hinta on 20,9 euroa / tCO₂e. Vuodelle 2030 oletettu enimmäislisäpotentiaali on 20 000 hehtaaria.



Kuva 4. Maatalouden päästövähennyskeinojen hinta (euroa / tCO₂e) ja päästövähennyspotentiaali (ktCO₂e) vuoteen 2030 mennessä. Pylvään korkeus kuvaa toimella saavutettavan päästövähennyksen hintaa ja pylvään leveys toimeen liittyvää päästövähennyspotentiaalia. Kuva havainnollistaa, että toimet eroavat sekä kustannusvaikuttavuudeltaan että vaikutusten laajuudelta.

Turvemaan kosteikkoviljelyssä viljellään määrän maan kasveja (esim. osmankäämi, saroja, ruokoa, rahkasammalta) korkealla vedenpinnalla. Koska turve pysyy märkänä, hiilidioksidipäästöt ovat pieniä. Metaania voi muodostua, mutta kokonaisilmastovaikutus on tyypillisesti edullinen. Taloudellinen kannattavuus riippuu tuotteiden markkinoista (kuitu, rakennusmateriaalit, kuivikekuidut, biomateriaali) ja korjuutekniikan saatavuudesta. Toimen laajentaminen edellyttää koko arvoketjun kehittämistä sekä selkeitä tukimalleja. Hehtaariohittaiset vuotuiset kustannukset ovat 295 euroa ja vuotuinen

päästövähennys 26,2 tCO₂e, jolloin päästövähennyksen hinta on 11,3 euroa / tCO₂e. Vuodelle 2030 oletettu enimmäislisäpotentiaali on 10 000 hehtaaria.

Pääkasvin jälkeen tai sen alla kasvavat kerääjäkasvit sitovat mineraalityppeä ja hiiltä, suojaavat maan pintaa ja vähentävät ravinnehuuhtoumaa. Ilmastohyöty syntyy pieninä lisinä monesta lähteestä: orgaanisen aineksen kertyminen, lannoitustarpeen lievä pieneneminen ja eroosion väheneminen. Yksittäisen lohkon vaikutus on pieni, mutta laajasti käyttöön otettuna kokonaisyöty kasvaa merkittäväksi, kustannuksen pysyessä matalana. Hehtaarikohtaiset vuotuiset kustannukset ovat 96 euroa ja vuotuinen päästövähennys 1,2 tCO₂e, jolloin päästövähennyksen hinta on 82,1 euroa / tCO₂e. Vuodelle 2030 oletettu enimmäislisäpotentiaali on 0 hehtaaria.

Syväjuuriset ja runsasjuuriset kasvit (esim. apilat, mailaset, öljyretikka) parantavat maan mururakennetta, kuohkeutta ja vedenläpäisevyyttä sekä jättävät maahan runsaasti juuribiomassaa. Tämä lisää orgaanisen aineksen määrää, voi parantaa satovarmuutta kuivina ja märkinä kausina ja pitkällä aikavälillä vähentää panostarvetta. Vaikutukset realisoituvat useamman vuoden kierrossa, joten suunnittelu ja toistuvuus ovat tärkeitä. Hehtaarikohtaiset vuotuiset kustannukset ovat 248 euroa ja vuotuinen päästövähennys 3,5 tCO₂e, jolloin päästövähennyksen hinta on 70,7 euroa / tCO₂e. Vuodelle 2030 oletettu enimmäislisäpotentiaali on 0 hehtaaria.

Palkokasvipainotteinen nurmi sitoo tyyppä biologisesti, lisää maaperän hiiltä ja parantaa rakennetta. Vaihtoehtoisesti sato voidaan korjata biokaasulaitokselle. Ilmastohyöty muodostuu maaperän hiilen kertymästä, mineraalilannoitteen korvautumisesta ja siitä, että biokaasu korvaa fossiilista energiaa, kun mädätysjännös palautetaan lannoitteeksi. Suunnittelussa on huomioitava vaihtoehtoisuus käyttö (rehu vs. energia), kuljetusmatkat, metaanivuotoriskit laitoksilla sekä muokkausajankohta, joka vaikuttaa N₂O-päästöihin. Hehtaarikohtaiset vuotuiset kustannukset ovat 105 euroa ja vuotuinen päästövähennys 1,1 tCO₂e, jolloin päästövähennyksen hinta on 95,5 euroa / tCO₂e. Vuodelle 2030 oletettu enimmäislisäpotentiaali on 86 835 hehtaaria.

Taulukko 2. Maatalouden toimien päästövähennysten hinnat ja päästövähennyspotentiaalit

Toimenpide	Hinta (euroa / tCO ₂ e)	Päästövähennyspotentiaali (ktCO ₂ e)
Nurmet turvepelloilla	10,8	0,0
Turvemaan kosteikkoviljely	11,3	262,0
Turvemaan nurmiviljely korotetulla vedenpinnalla	20,9	282,0
Turvepellot ilmastokosteikoiksi	25,7	157,2
Täsmäviljely	64,3	210,0
Maanparannuskasvit	70,7	0,0
Kerääjäkasvit	82,1	0,0
Rehulisäaine	84,8	157,5
Viherlannoitusnurmi / biokaasunurmi	95,5	95,5
Biohiili viljelysmaahan	272,7	146,7

Biomassan pyrolyysissä syntyvä biohiili levitetään peltoon pitkäikäiseksi hiilivarastoksi. Samalla maaperän vedenpidätyskyky ja joskus myös satotaso voivat parantua. Pyrolyysissa sivutuotteena syntyvä lämpö/kaasu voidaan hyödyntää energiaksi. Ilmastovaikutus perustuu stabiiliin hiilifraktion pysyvyyteen, joten tärkeää on dokumentoida raaka-aine, pyrolyysiolosuhteet, levitysmäärä ja hiilen pysyvyyservio. Kustannukset vaihtelevat raaka-aineesta, logistiikasta ja levitystekniikasta. Hehtaarikohtaiset

vuotuiset kustannukset ovat 8 000 euroa ja vuotuinen päästövähennys 29,3 tCO₂e, jolloin päästövähennyksen hinta on 273 euroa / tCO₂e. Vuodelle 2030 oletettu enimmäislisäpotentiaali on 5 000 hehtaaria.

Paikkatietoon, sensoreihin ja satokarttoihin perustuvat muuttuvat panosmäärät (lannoitteet, kasvin suojeleminen, kylvyt) sekä automaattinen ajolinja ja lohkojen vyöhykekohtainen hallinta kohdistavat panokset oikeaan paikkaan ja aikaan. Tällä vähennetään lannoitemääriä ja polttoaineenkulutusta ja leikataan erityisesti N₂O-päästöjä ilman sadon heikkenemistä tai jopa satoa parantaen. Vaikutus edellyttää investointeja laitteisiin ja ohjelmistoihin sekä osaamista datan tulkintaan, mutta säästöjen kautta takaisinmaksu on tyypillisesti hyvä. Hehtaariohjelmit vuotuiset kustannukset ovat 45 euroa ja vuotuinen päästövähennys 0,7 tCO₂e, jolloin päästövähennyksen hinta on 64,3 euroa / tCO₂e. Vuodelle 2030 oletettu enimmäislisäpotentiaali on 300 000 hehtaaria.

Märehtijöiden metaanintuotantoa vähentävät lisäaineet (kuten 3-NOP ja tietyt merileväuutteet) voivat pienentää CH₄-päästöjä ruokinnan aikana tyypillisesti 10–30 %. Teho riippuu ruokintajärjestelmästä ja annostelusta, ja vaikutus kestää vain käytön ajan. Laidunnuksessa soveltaminen on haastavampaa kuin pihatossa. Taloudellinen kannattavuus määräytyy lisäaineen hinnan, saavutetun metaanivähennyksen ja mahdollisten tuotantovaikutusten perusteella, ja käyttö edellyttää toimitusketjun sekä turvallisuus- ja hyväksyntävaatimusten täyttymistä. Eläinkohtaiset vuotuiset kustannukset ovat 89 euroa ja vuotuinen päästövähennys 1,1 tCO₂e, jolloin päästövähennyksen hinta on 84,8 euroa / tCO₂e. Vuodelle 2030 oletettu enimmäislisäpotentiaali on 150 000 eläintä.

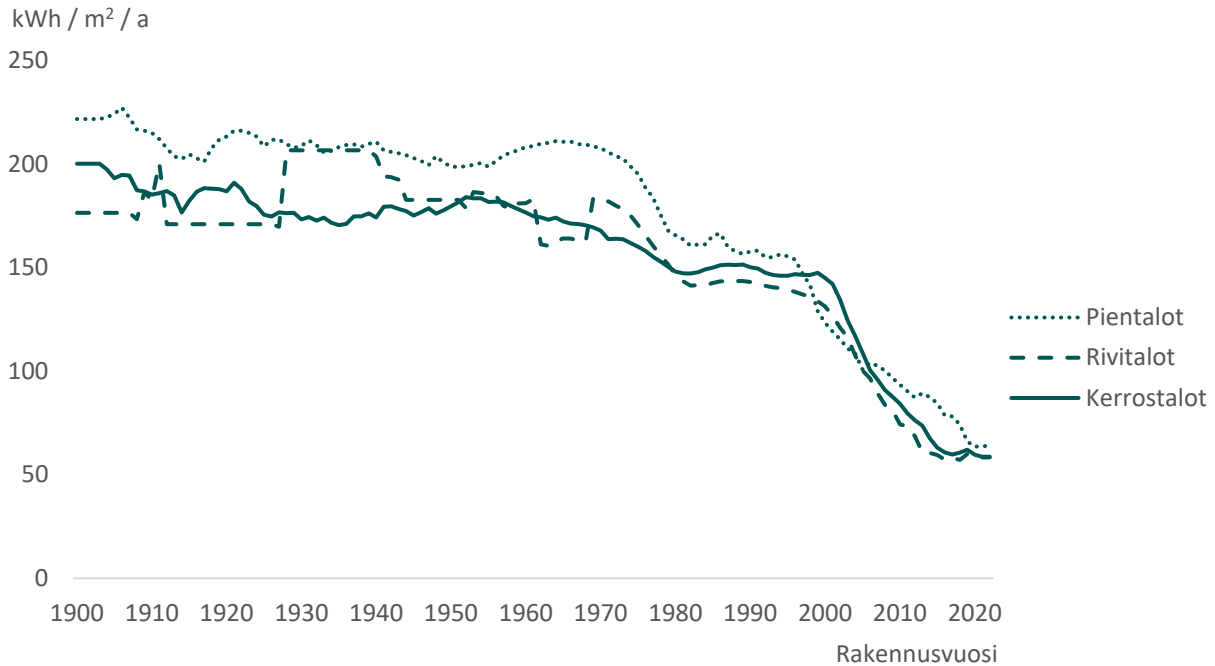
2.4 Rakennusten energiankulutus

Rakennusten erillislämmityksen osalta tarkasteltiin öljylämmityksestä luopumista, rakennuskannan energiatehokkuuden parantamista ja aurinkosähköjärjestelmien hankintaa tyypillisen kokoisissa pientaloissa (140 m²), rivitaloissa (420 m²), kerrostaloissa (1730 m²) ja palvelurakennuksissa (780 m²). Lämmitystavavaihtojen ja aurinkosähköinvestointien arvioinnissa tarkasteluajanjaksoksi oletettiin 20 vuotta ja energiaremonttien 30 vuotta. Kustannusten vuotuisiksi diskonttokoroksi oletettiin 5,0 %. Tarkasteluvuonna 2030 kaukolämmön päästökertoimeksi oletettiin 39,0 gCO₂e / kWh, sähkön 5,3 gCO₂e / kWh ja kevyen polttoöljyn 241,2 gCO₂e / kWh (sis. 10 % biokomponentin osuuden).

Energian hinnat on määritetty nykyisin verorakentein keskimääräisin hinnoin erityyppisille rakennuksille. Kaukolämmön hinta (sis. energiamaksu ja tehomaksu) pientaloissa on 12,5 snt / kWh, rivitaloille 11,4 snt / kWh ja kerrostaloille sekä palvelurakennuksille 10,8 snt / kWh. Sähkön hinta (sis. energia, jakelu ja sähkövero) on kaikissa rakennustyypeissä 13,5 snt / kWh. Öljy hinnaksi oletettiin 1,2 euroa / litra, joka pitää sisällään energian hinnan, energiasisältöveron, hiilidioksidiveron ja huoltovarmuusmaksun. Kaikki hinnat sisältävät arvonlisäveron (25,5 %).

Rakennusten energiatehokkuuden parantamistoimenpiteiden kustannusvaikuttavuuden arvioinnissa hyödynnettiin rakennuksille laadittujen energiatodistuksien laskennallisia tilojen, käyttöveden ja ilmanvaihdon kulutuksia, jotka jaettiin rakennusten nettoaloilla. Käytetyssä rekisteriversiossa kerrostaloja oli 41650 kappaletta, rivitaloja 12104 kappaletta ja pientaloja (sis. omakotitalot ja paritalot) 224185 kappaletta. Energiategokkuus vaihtelee rakennusvuosittain. Kuvan 5 perusteella voidaan päätellä rakennusten energiatehokkuusvaatimusten kiristyneen selvästi 2000-luvun alusta lähtien. Kerrostalojen keskimääräinen lämmityksen ominaiskulutus oli 125,9 kWh / m² / vuosi (keskihajonta 58,2 kWh / m² / vuosi), rivitalojen 150,7 kWh / m² / vuosi (keskihajonta 61,8 kWh / m² / vuosi) ja pientalojen 137,0 kWh / m² / vuosi (keskihajonta 53,2 kWh / m² / vuosi). Ostoenergian määrän arvioinnissa on huomioitu lämmitysmuotokohtaiset keskimääräiset hyötysuhteet, jotka perustuvat POLIREM-mallin

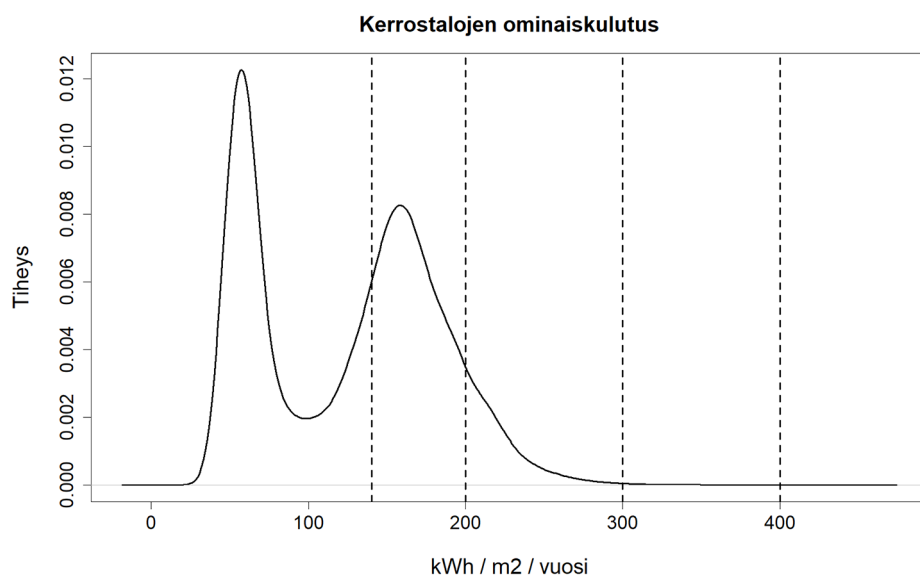
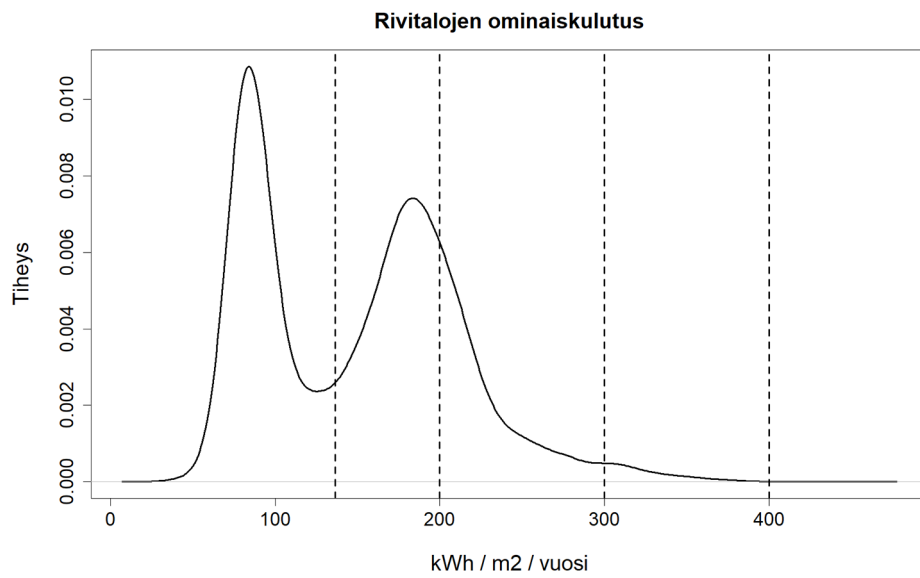
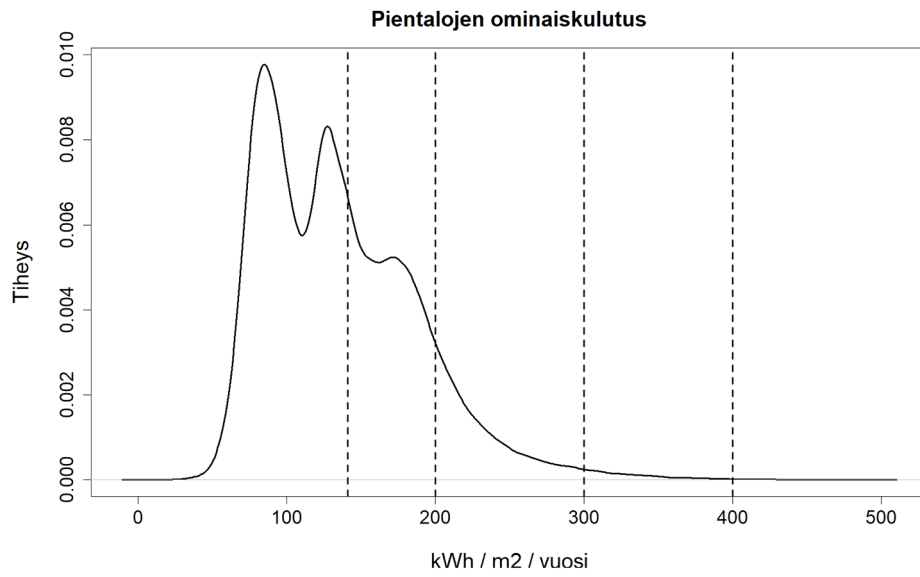
oletuksiin: maalämpöpumpuille 3,3, ilma-vesilämpöpumpuille 2,7, ilmalämpöpumpuille 2,2, öljylämmitykselle 0,85, sähkölämmitykselle 0,95 ja kaukolämmölle 0,98.



Kuva 5. Keskimääräiset ominaiskulutukset rakennusvuosittain ja rakennustyypeittäin (Varke 2024). Ominaiskulutuksessa on eroja sekä rakennusajankohdan että rakennustyyppin mukaan.

Keskiarvot kuitenkin piilottavat taakseen ominaiskulutusten vaihtelua tietyn ikäisessä rakennuskannassa, sillä myös aiemmin rakennetussa rakennuskannassa on toteutettu energiatehokkuusremontteja. Kuvassa 6 esitetyt ominaiskulutusjakaumat osoittavat kerros- ja rivitalokannan kaksi huippua, joissa vasemmanpuoleinen korkeampi huippu kuvaa uudempaa rakennuskantaa, kun taas oikeanpuoleiset huiput kuvaavat aiemmillä vanhempien rakennusten ominaiskulutuksia. Pientalojen ominaiskulutusten jakauma on puolestaan rivi- ja kerrostalokantaa tasaisempi. Etenkin pientalojen osalta on kuitenkin huomioitava, että energiatodistusrekisterin edustavuus on niiden osalta rakennustyypeistä heikoin.

Rakennusten energiatehokkuuden parantamistoimenpiteiden kustannustehokkuuden arvioinnissa hyödynnettiin rakennuksille laadittujen energiatodistuksien laskennallisia tilojen, käyttöveden ja ilmanvaihdon kulutuksia, jotka jaettiin rakennusten nettoaloilla. Käytetyssä rekisteriversiossa kerrostaloja oli 41650 kappaletta, rivitaloja 12104 kappaletta ja pientaloja (sis. omakotitalot ja paritalot) 224185 kappaletta. Energiatehokkuus vaihtelee rakennusvuosittain. Kuvan 5 perusteella voidaan päätellä rakennusten energiatehokkuusvaatimusten kiristyneen selvästi 2000-luvun alusta lähtien. Kerrostalojen keskimääräinen lämmityksen ominaiskulutus oli 125,9 kWh / m² / vuosi (keskihajonta 58,2 kWh / m² / vuosi), rivitalojen 150,7 kWh / m² / vuosi (keskihajonta 61,8 kWh / m² / vuosi) ja pientalojen 137,0 kWh / m² / vuosi (keskihajonta 53,2 kWh / m² / vuosi). Ostoenergian määrän arvioinnissa on huomioitu lämmitysmuotokohtaiset keskimääräiset hyötysuhteet, jotka perustuvat POLIREM-mallin oletuksiin: maalämpöpumpuille 3,3, ilma-vesilämpöpumpuille 2,7, ilmalämpöpumpuille 2,2, öljylämmitykselle 0,85, sähkölämmitykselle 0,95 ja kaukolämmölle 0,98.



Kuva 6. Rakennustyyppiokohtaiset lämmön ominaiskulutuksen jakaumat (Energiatodistusrekisteri 2024). Jakaumat osoittavat, että lämmönkulutus vaihtelee rakennustyyppien sisällä ja välillä.

Rakennusten lähtötason ominaiskulutus on yksi kustannusvaikuttavuutta määrittävä tekijä. Remonttien päästövähennyksen hinta on sitä matalampi mitä huonompi rakennus on lähtötasoltaan, eli mitä enemmän se kuluttaa energiaa ja aiheuttaa käyttäjälleen energiankulutuksen kustannuksia. Toisin sanoen, heikon energiatehokkuuden rakennuksissa energiaremontit ovat kannattavampia kuin paremman energiatehokkuuden rakennuksissa. Tämän vuoksi rakennustyyppikohtainen rakennuskanta jaettiin kuvan 6 perusteella energiatehokkuudeltaan hyviin, keskimääräisiin ja heikkoihin rakennuksiin. Tarkastelu tehtiin kullekin rakennustyyppille rakennuksiin, joiden ominaiskulutus on edellä kuvattu energiatodistusrekisterin keskiarvo, sekä rakennuksille, joiden ominaiskulutus on 200, 300 ja 400 kWh / m² / vuosi.

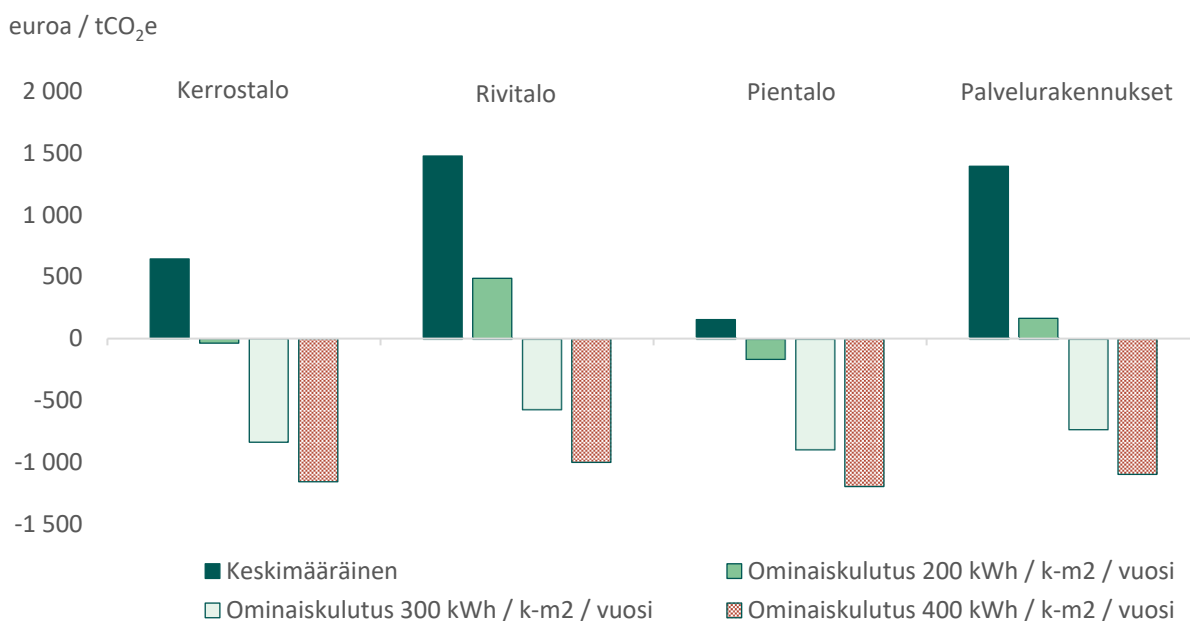
Arvioinnissa tarkasteltiin erikseen suppeita ja laajoja energiaremontteja. Suppealla energiaremontilla tarkoitetaan joukkoa energiankulutusta pienentäviä toimia, jotka eivät vaadi merkittäviä rahallisia investointeja. Näitä ovat esimerkiksi lämmitysjärjestelmän säätäminen ja lämpimän käyttöveden säästötoimet. Suppealla energiaremontilla saavutettava lämmitysenergian säästö voi vaihdella kohteesta ja remontin sisältämisestä toimenpiteistä riippuen hyvinkin paljon. Suuntaa antavaksi energiansäästökseen määritelty 10 prosenttia. Laaja energiaremontti sisältää käyttötekniisten parannusten ohella esimerkiksi seinien ja ylä- sekä alapohjan lisäeristykseen, ikkunoiden vaihtamisen energiatehokkaammiksi. Laajan energiaremontin arvioidaan säästävän lämmitysenergiaa keskimäärin 30 prosenttia.

Arvioinnissa oletetaan, että 10 % ja 30 % säästöt saavutetaan keskimääräisessä rakennuskannassa, jonka ominaiskulutukset olivat yllä kuvatuksi kerrostaloissa 125,9 kWh / m² / vuosi, rivitaloissa 150,7 kWh / m² / vuosi ja pientaloissa 137,0 kWh / m² / vuosi. Arviointi tehdään lisäksi erikseen rakennuksiin, joiden ominaiskulutukset ovat 200, 300 ja 400 kWh / m² / vuosi, ja näiden rakennusten osuudet laadittujen energiatodistusten joukossa on esitetty kuvassa 6. Lähtötasoltaan heikommille 300 kWh / m² / vuosi rakennusten energiatehokkuuden paranemiseksi oletetaan 40 % ja vastaavasti heikoimmille 400 kWh / m² / vuosi rakennuksille 50 %. Lähtötasoltaan 200 kWh / m² / vuosi rakennuksiin oletetaan sama 30 % energiankulutuksen vähenemä kuin keskimääräisessä rakennuskannassa. Muut keskeiset kustannustehokkuutta määrittävät oletukset liittyvät energiakustannuksiin, diskonttokorkoon (5,0 %), arvioinnin pitoaikaan (30 vuotta) ja energiamuodon päästökertoimiin.

Remonttien kustannusarviot perustuvat ARA:n myöntämien energia-avustusten kustannusarvioihin sekä kuntien ilmastotoimien vaikutusarviointityökalun (Syke 2024) taustalle laadittuun kirjallisuuskatsaukseen toteutetuista remonteista. Energia-avustusaineistoon yhdistettiin rakennustunnuksen avulla rakennus- ja huoneistorekisterin (DVV 2026) tieto rakennuksen kerrosalasta, jonka perusteella saatiin arvio toimenpidekohtaisesta kustannuksesta kerrosalaa kohden (euroa / k-m²). Listauksessa esitetyt toimenpiteet jaoteltiin suppeisiin ja laajoihin edellä mainittujen remonttityyppikriteerien perusteella. Aineistossa analysoitavat kustannukset on ilmoitettu vuosien 2020–2021 hintatasossa, minkä vuoksi niille tehtiin inflaatiokorotus (12,5 %) rakennuskustannusindeksin kokonaisindeksillä. Aineistojen perusteella määriteltiin kerrostalojen suppean energiaremontin kustannukseksi 20,8 euroa / k-m² ja laajan 129,1 euroa / k-m². Vastaavat kustannusoletukset pientaloille ovat 22,9 euroa / k-m² ja 105,5 euroa / k-m² sekä rivitaloille 18,9 euroa / k-m² ja 152,3 euroa / k-m². On olennaista huomioida, että tässä esitetyt arviot eivät sisällä lämmitystapoihin liittyviä remontteja.

Kuvan 7 perusteella voidaan päätellä, että keskimääräisessä rakennuskannassa (energialuokka A-B) tehtävien laajojen energiaremonttien päästövähennysten hinnat ovat suhteellisen korkeat. Sen sijaan energiatehokkuudeltaan heikompi-asteisessa rakennuskannassa (etenkin energialuokissa E-G) remonttien toteuttaminen on jo lähtökohtaisesti kiinteistönomistajalle kustannuksia säästävää, eli niiden pitäisi toteutua jo nykytilassa puhtaasti kustannusten vertailun perusteella. Remonttien toteutumisessa voi kuitenkin olla haasteita etenkin kohteissa, jotka sijaitsevat kiinteistöjen arvonkehitykseltään heikoilla alueilla, joissa asunnon arvo ei välttämättä riitä lainan vakuudeksi. Kuvassa 7 on tarkasteltu

kaukolämpökohteita. Mikäli energiaremontteihin liittyvä tarkastelu kohdistuu sähkөөn pohjautuviin lämmitystapoihin, ja erityisesti lämpöpumppuja hyödyntäviin kohteisiin, nousevat päästövähennysten hinnat korkeammiksi. Toisaalta mikäli tarkastellaan öljylämmitteisiä kohteita, ovat päästövähennyksien hinnat matalammat. Päästövähennysten näkökulmasta öljylämmitteisissä kohteissa resurssit on syytä kohdentaa ensisijaisesti öljylämmityksen korvaamiseen ja vasta sen jälkeen muihin energiatehokkuustoimiin³. Lopuksi on myös huomattava, että mittavia investointeja vaativia energiaremontteja on kustannusvaikuttavinta suorittaa rakennusten peruskorjausten yhteydessä.



Kuva 7. Kaukolämmitteisten rakennusten päästövähennyksen hinta rakennustyypeittäin ja energiatehokkuuksittain. Päästövähennyksen kustannus on pienin heikkokuntoisimmassa rakennuskannassa ja korkein energiatehokkaamassa rakennuskannassa.

Öljylämmityksen arvioinnissa tarkastelu kohdennettiin rakennuskannan perusteella määriteltyihin kerrosalaltaan ja lämmitystarpeeltaan tyypillisiin öljylämmitteisiin rakennuksiin. Öljylämmitteisen pientalon kerrosalaksi oletettiin 147 m², rivitalon 425 m², kerrostalon 946 m² ja palvelurakennusten 676 m². Lämmitystarpeet oletettiin vastaavasti 190,4, 156,7, 166,0 ja 150,9 kWh / m² / vuosi. Vaihtoehtoisten lämmitysjärjestelmien hankintakustannukset pientaloissa arvioitiin öljylämmityksestä luopumisen avustustukiaineistojen perusteella. Edellä kuvatussa kohteessa maalämmön kustannukseksi arvioitiin 20 173 euroa, ilma-vesilämpöpumpun kustannukseksi 13 541 euroa ja kaukolämpöön siirtymisen kustannukseksi asetettiin 3 674 euroa. Rivi- ja kerrostalokohteissa sekä palvelurakennuksissa maalämpöön siirtymisen kustannukseksi arvioitiin 175 euroa / m² ja kaukolämpöön 25 euroa / m². Muut arvioinnin oletukset on kuvattu luvun alussa.

Energiatehokkuusremonttien ja lämmitystapavaihtojen lisäksi päästövähennyskeinoina arvioitiin aurinkosähkön pientuotantoa sekä ilmalämpöpumppuja tukilämmitysmuotona. Pienen (pientalo) aurinkosähkölaitteiston tehoksi tarkastelussa oletettiin 6 kW, keskisuuren (rivitalot ja pienet kerrostalot) 30 kW, suuren (suuret kerrostalot, palvelurakennukset) 100 kW ja erittäin suuren (suuret palvelurakennukset, teollisuus) 200 kW. Vastaavasti kustannukset (sis. paneelit, asennus, muut tarvikkeet ja invertterin vaihto) oletettiin 1200, 900, 800 ja 700 euroa / kWp. Omaan käyttöön jäävän tuotannon osuudeksi

³ On huomattava, että rakennusten energiankulutukseen kohdistuu myös energiatehokkuussäätelyä, jossa priorisointijärjestys voi olla erilainen.

oletettiin 50 % ja vastaavasti verkkoon syötettävän tuotannon osuudeksi 50 %. Verkkoon syötetystä energiasta saatavan korvauksen oletettiin olevan 4 snt / kWh. Ilmalämpöpumppujen käyttöä tukilämmitysmuotona tarkasteltiin öljy, sähkö ja kaukolämpölämmitteisissä pientaloissa. Tarkasteluaanjakson (20 vuotta) aikana pumppu uusitaan kerran, jolloin ilmalämpöpumppujen kokonaishankintakustannukseksi oletettiin 6000 euroa. Ilmalämpöpumpun oletettiin tyydyttävän vuotuisesta lämmitystarpeesta 72 %.

Energiatehokkuustoimenpiteiden lukumäärien arvioinnissa oletetaan, että laajoja energiatehokkuusremontteja voidaan toteuttaa rakennuksissa, joiden energialuokka ei vielä ole A tai B (Ympäristöministeriö 2020). Tässä tarkastelussa energialuokista C ja D käytetään nimitystä energiatehokkuudeltaan heikommalla rakennukset ja energialuokiltaan E–G olevia rakennuksia kutsutaan energiatehokkuudeltaan heikoimmiksi rakennuksiksi. Suppeita energiatehokkuusremontteja oletetaan sijaan toteutettavan A- tai B-luokkaan kuuluvissa energiatehokkuudeltaan hyvissä rakennuksissa. Öljyn käytön korvaamisen potentiaali arvioitiin vuodelle 2030 perusurassa ennustetun asuin- ja palvelurakennuskannan määrän perusteella (Koljonen ym. 2025). Toisin sanoen, enimmäispotentiaali lisäisille päästövähennyksille on lämmitysöljyn käytöstä luopuminen vuoteen 2030 mennessä. Aurinkosähköpotentiaali arvioitiin olemassa olevien aurinkosähköjärjestelmien ja rakennustyyppien lukumäärien perusteella.

Kuvassa 8 ja taulukossa 3 on esitetty toimenpidekohtaiset päästövähennyksen hinnat ja enimmäispäästövähennyspotentiaalit vuoteen 2030 mennessä. Yhteenlaskettu toimien toteuttamisen potentiaali on noin 0,9 MtCO₂e, josta valtaosa seuraisi käyttäjälleen kustannuksia säästävistä toimista. Toisin sanoen, rakennuksiin kohdistuvat toimet ovat käyttäjilleen pääsääntöisesti elinkaarikustannuksilla tarkasteluna taloudellisesti kannattavia. Erityisesti ilmalämpöpumppujen lisääminen suoran sähkölämmityksen tueksi pientaloissa sekä aurinkosähköjärjestelmät palvelurakennuksissa ja kerrostaloissa ovat taloudellisesti erittäin kannattavia energiantuotantoon liittyviä toimia. Samoin öljylämmityksen korvaaminen lämpöpumppu- tai kaukolämpöratkaisuilla on kaikissa rakennustyypeissä kannattavia, eli niiden toteutuksen päästövähennyksen hinnat ilman erillisiä tukiakin ovat negatiiviset. Laajojen energiaremonttien toteutus energiatehokkuudeltaan heikoimmassa rakennuskannassa on ilman lisäohjausta käyttäjälleen kustannuksia säästävää. Sen sijaan energiatehokkuudeltaan C- ja D-luokkiin kuuluvissa rakennuksissa päästövähennykset ovat selvästi kalliimpia. Energiatehokkaimmissa A- ja B-luokissa on järkevää toteuttaa suppeita säätöihin ja tiivistykseen liittyviä toimia, sillä niiden toteutus on taloudellisesti kannattavaa.

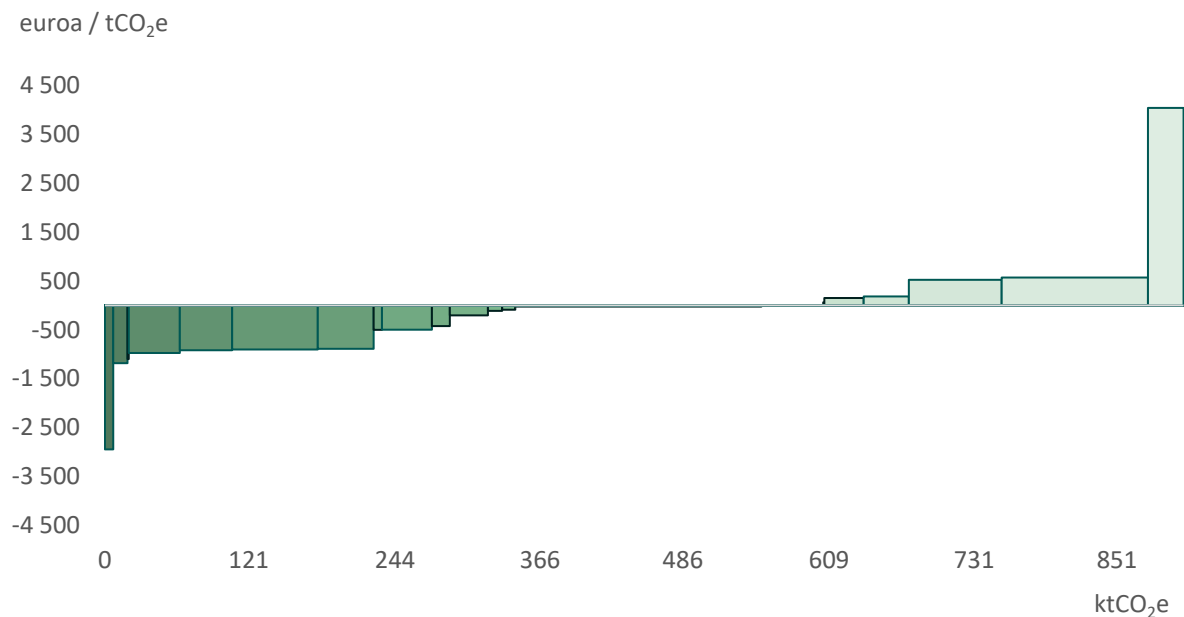
Tarkasteltuihin keskimääräisten tapausten ympärille koko rakennuskantaan sisältyy kuitenkin erilaisia tapauksia, joissa osassa myös investointituulle voi olla tarvetta, eli eri vaihtoehtojen välistä kustannuspariteettia ei välttämättä saavuteta kaikissa tapauksissa. Energian hinnat, erityisesti liittyen sähkön jakeluun ja kaukolämmön käyttöön, vaihtelevat alueittain merkittävästi. Remonttien toteuttajien tarjonta vaihtelee myös alueittain, mikä voi heijastua myös tarjousten kustannuksiin tarjonnaltaan rajoitetuilla alueilla. Myös alueelliset olosuhteet vaihtelevat, mikä vaikuttaa eri vaihtoehtojen kannattavuuteen. Korvattaessa öljylämmitystä maalämmöllä on huomioitava, että maaperän lämpö vaihtelee alueittain, eli pohjoisemmassa kustannuksia kasvattavia lämpökaivometrejä edellytetään enemmän. Pohjoisemmassa mitoituslämpötilat ovat myös alhaisemmat, jolloin laitteiston tehoa tulee kasvattaa ja siten kustannukset nousevat. Aurinkosähköjärjestelmien hankinta on pääsääntöisesti markkinaehtoisesti kannattavaa, eli hankintatuulle ei ole tarvetta. On kuitenkin pantava merkille, että aurinkosähköjärjestelmien kannattavuutta määrittää useat tekijät, kuten energian kokonaishinta, alueen säteilyolosuhteiden määrittämä tuotto, mahdollisuus tuotetun aurinkosähkön omaan käyttöön sekä verkkoon myydystä sähköstä saatava korvaus.

Yhteenvetona, nykyisen rakennuskannan energiankulutukseen liittyvien päästöjen vähentämiseen liittyvä potentiaali on rajallinen, sillä rakennuskannan nykyohjaus on jo suhteellisen kattavaa. Lisäksi

keskitetyn kaukolämmön tuotannon ja sähkön tuotannon ominaispäästöt pienenevät nopeasti, minkä vuoksi niitä lämmitykseen käyttävässä rakennuskannassa toteutettavien toimien vaikuttavuus nimenomaan päästövähennysten näkökulmasta on suhteellisen pieni. Toisaalta rakennuskantaan kohdistuu myös muita tavoitteita, erityisesti energiankulutukseen liittyen, minkä vuoksi energiatehokkuustoimenpiteitä voi olla syytä edistää ja tukea. Tarkastelun perusteella voidaan päätellä, että päästövähennysten kustannusvaikuttavuuden näkökulmasta rahamääräisille lisäuille ei keskimäärin ole suurta tarvetta. Toimien edistämistä tulisi pääsääntöisesti pyrkiä ratkaisemaan informaatio-ohjauksen ja rahoituksen saatavuutta parantamalla kuvassa 8 vaaka-akselin alapuolella olevissa kohteissa.

Taulukko 3. Rakennusten energiankulutukseen liittyvien toimien päästövähennysten hinnat ja päästövähennyspotentiaalit

Toimenpide	Hinta (euroa / tCO ₂ e)	Päästö- vähennys- potentiaali (ktCO ₂ e)
Aurinkosähkö palvelurakennukseen	-2 947,7	7,3
Ilmalämpöpumppu sähkölämmitteiseen rakennukseen	-1 182,7	12,4
Aurinkosähkö kerrostaloon	-1 098,6	0,3
Laaja energiaremontti heikoimmissa kerrostaloissa	-974,0	43,5
Laaja energiaremontti heikoimmissa palvelurakennuksissa	-918,1	44,4
Laaja energiaremontti heikoimmissa pientaloissa	-902,4	71,2
Laaja energiaremontti heikoimmissa rivitaloissa	-888,6	46,9
Suppea energiaremontti rivitaloissa	-500,0	7,7
Suppea energiaremontti pientaloissa	-497,3	42,0
Suppea energiaremontti kerrostaloissa	-423,3	15,1
Suppea energiaremontti palvelurakennuksissa	-203,8	32,0
Öljylämmityksestä ilma-vesilämpöpumppuun pientalossa	-111,9	11,4
Öljylämmityksestä maalämpöön pientalossa	-88,3	11,4
Öljylämmityksestä ilma-vesilämpöpumppuun rivitalossa	-68,2	0,0
Öljylämmityksestä maalämpöön kerrostalossa	-34,7	0,0
Laaja energiaremontti heikommista kerrostaloissa	-23,7	206,5
Öljylämmityksestä maalämpöön rivitalossa	-19,8	0,0
Öljylämmityksestä kaukolämpöön pientalossa	-15,1	9,8
Öljylämmityksestä maalämpöön palvelurakennuksessa	-13,4	20,5
Öljylämmityksestä kaukolämpöön rivitalossa	-7,4	0,0
Öljylämmityksestä kaukolämpöön kerrostalossa	-5,9	0,0
Öljylämmityksestä kaukolämpöön palvelurakennuksessa	-3,1	17,5
Ilmalämpöpumppu öljylämmitteiseen rakennukseen	8,6	4,5
Aurinkosähkö rivitaloon	63,7	0,5
Ilmalämpöpumppu kaukolämmitteiseen rakennukseen	151,6	33,8
Laaja energiaremontti heikommista rivitaloissa	183,7	37,8
Laaja energiaremontti heikommista palvelurakennuksissa	524,1	77,9
Laaja energiaremontti heikommista pientaloissa	570,9	123,3
Aurinkosähkö pientaloon	4 043,7	30,0



Kuva 8. Rakennusten energiankulutukseen liittyvien päästövähennyskeinojen hinta (euroa / tCO₂e) ja päästövähennyspotentiaali (ktCO₂e) vuoteen 2030 mennessä. Pylvään korkeus kuvaa toimella saavutettavan päästövähennyksen hintaa ja pylvään leveys toimeen liittyvää päästövähennyspotentiaalia. Kuva havainnollistaa, että toimet eroavat sekä kustannusvaikuttavuudeltaan että vaikutusten laajuudelta.

2.5 Työkoneet

Työkoneista arvioitiin useita työkoneiluokkia: trukit, pyöräkuormaajat, kaivinkoneet, nosturit, dumperit ja traktorit. Tarkastelussa keskityttiin erityisesti sähkökäyttöisiin liikkuviin työkoneisiin, joista tarkasteltiin erikseen pienempiä (tehoaan alle 75 kW) ja suurempia (tehoaan vähintään 75 kW) variantteja. Etenkin suuren päästövähennyspotentiaalinsa omaavien maataloustraktorien kohdalla relevantti vaihtoehtoinen ratkaisu voisi perustua biokaasuun, mutta biokaasukäyttöiset työkoneet rajattiin tästä tarkastelusta pois. Rajatumpi päästövähennyspotentiaali liittyy suurten työkoneiden sähköistämiseen kaapeloinnin esimerkiksi kaivoksissa. Arviointi ei sisällä myöskään vaikeasti sähköistettäviä metsätalouden työkoneita, joiden päästövähennyspotentiaali nojautuu vahvemmin biopolttoaineisiin.

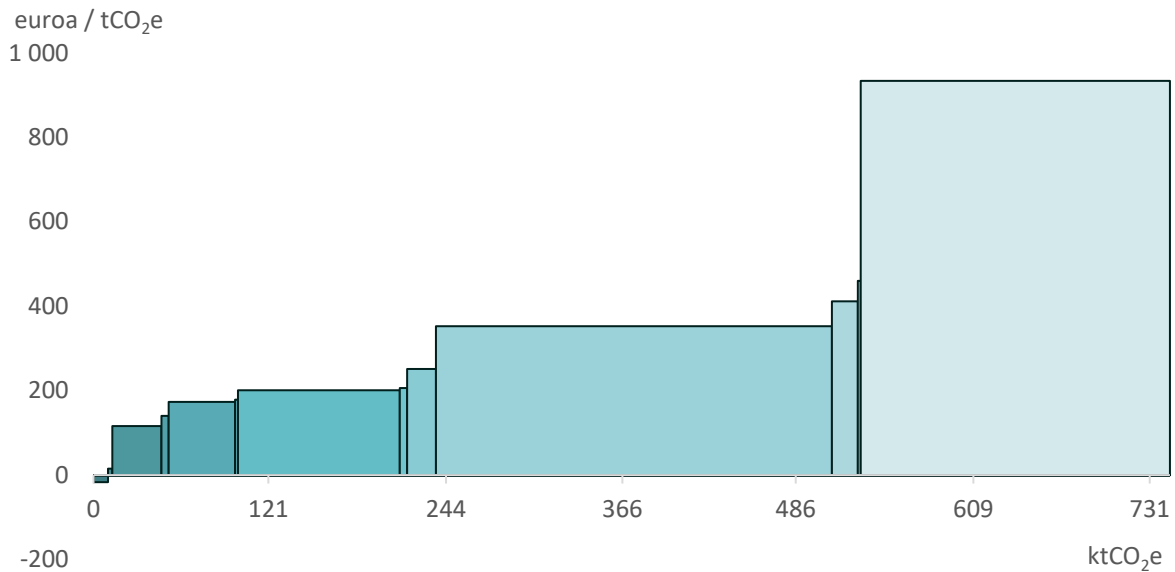
Työkoneiden käyttöprofiili määrittää sähköistämisen kustannuskilpailukykyä polttomoottoriin verrattuna. Työkonekohtaiset vuotuiset käyttötuntioletukset, työkoneiden keskimääräiset kuormitusasteet, teholuokat ja energiankulutukset ovat VTT:n TYKO-työkonemallin mukaiset (ks. esim. Markkanen & Lauhkonen, 2021). Hankintakustannuksia arvioitiin aiempien selvitysten (Pihlatie ym., 2022) sekä valmistajien antamien tietojen perusteella. Energian hinnat on määritelty nykyisin verorakentein keskimääräisin hinnoin ja samoja hintoja on käytetty kullekin työkoneetyypille. Sähkön hinnaksi oletettiin 10,4 snt / kWh, joka ei sisällä arvonlisäveroa, sillä työkoneiden käyttäjien oletetaan olevan arvonlisäverovelvollisia ja vähentävän ne verotuksessaan. Polttoöljyn hinnaksi oletettiin 1,076 euroa / litra ja dieselin hinnaksi 1,242 euroa / litra ilman arvonlisäveroa.

Taulukko 4. Työkonetyyppi- ja käyttövoimakohtaiset hankinta- ja käyttökustannukset ilman infrakustannuksia

	Polttomoottori hankintakustannus (euroa)	Sähkökäyttöinen hankintakustannus (euroa)	Polttomoottori käyttökustannus (euroa vuodessa)	Sähkökäyttöinen käyttökustannus (euroa vuodessa)
Pieni pyöräkuormaaja	80 000	148 000	13 459	4 891
Iso pyöräkuormaaja	250 000	462 500	34 122	12 394
Pieni trukki	30 000	45 000	9 856	3 613
Iso trukki	200 000	300 000	36 274	13 088
Pieni kaivinkone	65 000	97 500	7 955	3 087
Iso kaivinkone	350 000	700 000	39 274	15 098
Pieni traktorikaivuri	65 000	97 500	7 655	2 886
Iso traktorikaivuri	400 000	600 000	33 971	13 040
Kaivoksen kiviauto	400 000	600 000	40 274	15 768
Iso nosturi	800 000	1 200 000	42 274	17 108
Iso teleskooppikurottaja	200 000	300 000	22 137	9 224
Kunnossapitotraktori	300 000	450 000	20 523	8 704
Teollisuustraktori	300 000	450 000	17 296	7 663
Maataloustraktori	250 000	375 000	10 069	3 942

Sähkökäyttöisen työkonteen hankintakustannusten oletetaan työkonetyypistä riippuen olevan 50–100 % suurempi kuin vastaavan polttomoottorikäyttöisen vaihtoehdon. Lisäksi hankintakustannuksia kasvatetaan sähkökäyttöisen työkonteen latausinfrastruktuuri, jonka suuruusluokka vaihtelee merkittävästi kohteittain. Pienin latausinfrastruktuurin lisäkustannus muodostuu kohteissa, joissa samaa infraa käyttää useampi työkonne. Toisaalta kustannus voi olla hyvin suuri kohteissa, joissa joudutaan vahvistamaan sähköverkkoa. Tässä tarkastelussa oletettiin, että latausinfrastruktuuri rakennetaan hankittavaa työkonetta varten. Laturin hintana käytettiin 450 euroa / kW ja kaapelointien 150 euroa / kW. Lataustehoksi määriteltiin pienille työkoneille 50 kW ja suurille 150 kW.

Työkonneiden käytön kokonaiskustannuksiin vaikuttaa niiden hankintakustannusten ohella merkittävästi useat muut käyttökustannuksia määrittävät tekijät, kuten käyttötunnit ja tuntikohtainen energiankulutus. Pienissä työkonetyypeissä tuntikohtainen polttoainekulutus määriteltiin 4–8 litraan, kun taas suuremmissa oletuksena käytettiin 15–30 litraa. Vastaavan sähkökäyttöisen työkonteen sähkökäyttö laskettiin polttoaineen energiasisällöstä. Työkonneiden keskimääräiset vuotuiset käyttötuntioletukset vaihtelevat 500 ja 2000 tunnin välillä, kun taas keskimääräinen kuormitusaste on 20–40 %. Tarkastelun ajanjaksoksi oletettiin 10 vuotta, mutta käytännössä työkonneiden käyttöikä voi olla tätä pidempi. Kustannusten vuotuisiksi diskonttokoroksi oletettiin 5,0 %. Polttoöljyn biokomponentin osuutena käytettiin 10 % ja dieselin osalta tieliikenteen jakeluvuorituksen mukaista osuutta. Työkonneiden arvioinnin työkonetyyppi- ja käyttövoimakohtaiset hankintahinnan ja vuotuisen käyttökustannusten (ilman diskonttaamista) oletukset on esitetty taulukossa 4.



Kuva 9. Työkoneiden päästövähennyskeinojen hinta (euroa / tCO₂e) ja päästövähennyspotentiaali (ktCO₂e) vuoteen 2030 mennessä. Pylvään korkeus kuvaa toimella saavutettavan päästövähennyksen hintaa ja pylvään leveys toimeen liittyvää päästövähennyspotentiaalia. Kuva havainnollistaa, että toimet eroavat sekä kustannusvaikuttavuudeltaan että vaikutusten laajuudelta.

Työkonetyyppikohtaiset enimmäislisäpotentiaali vuosina 2025–2030 arvioitiin keskimääräisten vuotuisten myyntimäärien perusteella. Niin sanotussa peruskehityksessä kaikki työkoneet hankitaan polttoöljy- tai dieselkäyttöisinä, eli myyntimääriin sidottu enimmäispotentiaali kuvaa kehityskulkua, jossa kaikki myydyt työkoneet hankittaisiin sähkökäyttöisinä. Työkoneluokakohtaiset päästövähennysten hinnat ja perusurakehitykseen suhteutettuna lisäiset päästövähennyspotentiaalit on esitetty kuvassa 9 ja taulukossa 5. Enimmäispotentiaali on 0,745 MtCO₂e, josta merkittävin osa liittyy isojen työkoneiden luokkiin, erityisesti isoihin pyöräkuormaajiin (0,113 MtCO₂e), kaivinkoneisiin (0,273 MtCO₂e) ja maataloustraktoreihin (0,213 MtCO₂e). Pienempien työkoneiden joukossa suurimman päästövähennyspotentiaalin omaavat pyöräkuormaajat (0,034 MtCO₂e) ja kaivinkoneet (0,047 MtCO₂e). Edullisimmillaan sähkökäyttöisten trukkien hankinta aikaansaa kustannussäästöjä hankkijalleen. Kalliimmat päästövähennykset liittyvät suurempiin työkoneisiin, kuten kaivinkoneisiin (352,6 euroa / tCO₂e) ja maataloustraktoreihin (933,8 euroa / tCO₂e), eli juuri suuren päästövähennyspotentiaalin työkoneluokkiin.

Tulosten tulkinnessa on hyvä huomioida, että työkoneiden käyttökohteet ovat hyvin erilaisia. Yleisesti ottaen, sähkökäyttöiset työkoneet ovat elinkaarikustannuksiltaan lähempänä dieselkäyttöisiä niissä kohteissa, joissa käyttötunteja on paljon ja energiankulutus suurta. Tässä tarkastelussa käsitellään akkusähkökäyttöisiä koneita, minkä lisäksi tietyissä rajoitetun liikkuvuuden kohteissa, kuten kaivoksissa, kaapeloidut sähkökäyttöiset koneet voivat olla kustannuskilpailukykyisiä. Lisäksi työkoneiden käyttö voi tapahtua kohteissa, joissa on jo olemassa oleva latausinfrastruktuuri, jolloin kustannuserot polttoainekäyttöiseen vaihtoehtoon pienenee.

Suhteellista kustannuskilpailukykyä määrittää hankintahintojen erotuksen ohella energialajien hinnat, joita voidaan verotuksen keinoin muuttaa. Sähkökäyttöisten työkoneiden päästövähennyksen hintaa voidaan madaltaa energiaverotuksen keinoin. Toisaalta päästövähennyspotentiaaliin vaikuttaa polttoaineiden biokomponenttien osuus siten, että korkeampi osuus pienentää sähkökäyttöisen päästövähennyspotentiaalia ja siten korottaa sähkökäyttöisten työkoneiden hankinnalla saavutettavien päästövähennysten hintaa.

Taulukko 5. Täyssähköisten työkoneiden päästövähennysten hinnat ja päästövähennyspotentiaalit

Toimenpide	Hinta (euroa / tCO ₂ e)	Päästö- vähennys- potentiaali (ktCO ₂ e)
Pieni trukki	-16,8	11,0
Iso trukki	15,3	2,9
Pieni pyöräkuormaaja	116,1	33,9
Dumpperi	140,3	4,3
Pieni kaivinkone	173,4	46,7
Pieni traktorikaivuri	178,7	1,4
Iso pyöräkuormaaja	200,9	112,5
Iso traktorikaivuri	206,2	4,8
Iso teleskooppikurottaja	251,4	20,4
Iso kaivinkone	352,6	273,5
Iso nosturi	411,6	18,3
Kunnossapitotraktori	460,1	1,9
Teollisuusraktori	658,7	0,3
Maataloustraktori	933,8	213,1

2.6 Sektoreiden yhteistarkastelu

Asetetut ilmastotavoitteet voidaan saavuttaa useilla eri päästövähennystoimien yhdistelmällä, joiden kustannustehokkuus vaihtelee. Luvuissa 2.2–2.5 tuotettiin pohjaa kokonaisvaltaiselle arvioinnille tarkastelemalla pääosin taakanjakosektorille sijoittuvia päästösektoreita toisistaan erillään, mutta niiden päästövähennystoimia on olennaista vertailla esittämällä ne yhteismitallisesti arvioituna samassa kehikossa. Tarkastelluissa toimissa on keskitytty niiden toteuttajalle aiheutuviin kustannuksiin, eikä lisäkustannusten aiheutuessa oteta kantaa siihen mille taholle ne jää kannettavaksi. Käytännössä kysymys on kustannusten jaosta ratkaisun toteuttajan (kotitalous, yritys, kuntaorganisaatio tai joku muu toimija) ja valtion välillä.

Luvuissa 2.2–2.5 esitetyt toimet on esitetty kuvassa 10. Yhteenlaskettu tarkasteltujen toimien päästövähennyspotentiaali on noin 4,5 MtCO₂e, josta merkittävimmät potentiaalit liittyvät maatalouden toimiin etenkin turvemaiden käyttöön liittyen sekä tieliikenteen ajoneuvokannan sähköistämässä. Tarkastelluista toimista edullisimmat toimet liittyvät rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen sekä öljylämmityksen korvaamiseen lämpöpumpuin tai kaukolämpöön siirtymällä, sekä täyssähköisten henkilö- ja pakettiautojen hankintaan. Rakennusten energiatehokkuusremontteja on olennaisinta edistää energiatehokkuudeltaan heikoimmassa rakennuskannassa, sillä rakennuskantaa koskettavien merkittävimpien päästövähennysten ohella ne voivat pitkällä aikajänteellä säästää toteuttajalleen rahaa.

Toimien potentiaaleina käytetään 'Pidennetyin kiertoajan vaikutukset metsien hiilensidontaan ja puuntuotantoon, PIKMA'-hankkeen tuloksia (Hynynen ym. 2024). Kiertoaikojen pidentäminen lisää heidän tuloksissaan elävän puuston vuosittaista nielua noin 4 MtCO₂e vuoteen 2030 ulottuvalla ajanjaksolla. Kun kiertoaikojen pidennyksen lisäksi sovellettiin myös puuston tiheämpänä kasvattamisen harvennuskasvatusta, elävän puuston nielu lisääntyi noin 7 MtCO₂e vuoteen 2030 ulottuvalla ajanjaksolla. Arvioimme tästä karkeasti ja yksinkertaistaen puuston tiheämpänä kasvattamisen potentiaaliksi noin 3 MtCO₂e. Nämä lukemat eivät kuvasta maaperähiilen kerrytyspotentiaalia, sillä niissä on kuvattu vain elävän puuston hiilinielua. Lisäksi näissä mallinuksissa pidettiin kansallinen hakkuukertymä samana riippumatta kiertoaikojen pidentämisestä ja puuston tiheämpänä kasvattamisesta. Näitten kahden seikan takia voidaan arvioida, että potentiaali voisi olla huomattavasti suurempikin. MMM:n metsien kasvun ja hiilinielujen vahvistamisen toimenpidepaketin vaikutusarviossa⁴ on esitetty kiertoajan pidentämisen hiilinielupotentiaaliksi (maaperä mukaan lukien) lyhyellä aikavälillä 2,2 MtCO₂e jos hakkuumäärät pysyvät nykytasolla, mutta jopa 7,7 MtCO₂e, jos vuotuinen hakkuukertymä vähenee 6,3 Mm³. Toisaalta jonkin verran edellä mainittujen toimien potentiaalista hyödynnettäen kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa⁵ linjatuilla toimilla (esim. valtioneuvoston asetuksen tarkistaminen kasvustiheyden osalta sekä informaatio-ohjauksen lisääminen). Strategiassa linjatuilla ohjauksineilla voidaan kuitenkin arvioida olevan vain varsin rajallinen vaikutus erityisesti kiertoaikojen pidentämisen yleisty-miseen. Kiertoaikojen pidentämisen ja puuston tiheämpänä kasvattamisen lisäksi potentiaalia metsätoimien perusuran (nykykehitys + energia- ja ilmastostrategiassa määritellyt toimet) päälle on joka tapauksessa hyvin haastavaa määrittää tarkasti. Tästä syystä tässä raportissa käyttämämme luvut on tulkittava karkeina suuruusluokka-arvioina.

Kiertoajan pidentämisen ja puuston tiheämpänä kasvattamisen kustannusvaikuttavuuden arviointia hankaloittaa se, että usein tutkimuksissa optimoidaan molempia yhtäaikaista, koska tavoitteena on hyödyntää kaikki metsänhoidon mahdollisuudet lisätä hiilensidontaa. Lisäksi tutkimuksissa on usein diskontattu tulot ja kustannukset kiertoajan alkuun, sillä tämä on laskennallisesti selkeintä (ks. esim. Tahvonen & Parkatti 2023). Toisaalta joissain tutkimuksissa on diskonttaus suoritettu varttuneen kasvatusmetsikön tilanteeseen, jossa kiertoaikaa lähdetään pidentämään. Lisäksi metsien hiilensidontan yksikkökustannusten laskennalle on erilaisia laskentatapoja, joissa kaikissa jakolaskun osoittajassa on diskontattujen kustannusten nykyarvo, mutta nimittäjät eroavat (ks. Richards & Stokes 2004; Nerg 2009). Virtaperiaatteessa (Flow summation method) jaetaan hiilivirtojen kokonaissummalla, keskimääräisen varastomuutoksen menetelmässä (Average Storage Method) jaetaan keskimääräisellä kiertoajan aikaisella hiilivarastolla, ja diskonttausmenetelmässä (Levelization/Discounting Method) jaetaan diskontattujen hiilivirtojen kokonaissummalla. Eri tutkimuksissa voi olla myös tarkastelussa erilaiset yhdistelmät hiilivarastoja (esim. puuston, maaperän ja tuotteiden hiilivarasto). Optimointitutkimuksissa, missä perusura on laskettu optimoimalla (ekologis-ekonomista mallia käyttäen) metsänhoitoa puunmyyntitulojen netto nykyarvo maksimoiden, ei myöskään voida saada lisätoimille negatiivisia kustannusvaikuttavuuksia, koska tämä tarkoittaisi, että perusura olisi laskettu väärin. Tämä lähestyminen yliarvioi kustannuksia tilanteessa, jossa metsää ei ole reaali maailmassa jostain syystä kasvatettukaan puunmyyntitulojen netto nykyarvoa maksimoiden ja jos ilmastotoimet (esim. kiertoajan pidentäminen) vievät metsänhoitoa kohti puunmyyntitulojen netto nykyarvon maksimoivaa ratkaisua.

Kiertoajan pidentämisen kustannusvaikuttavuudeksi Tahvonen & Parkatti (2023) saivat (20 vuoden pidennykselle ja laskettuna 3 prosentin korolla; männyn kasvatus kuivahkolla kankaalla; diskontataan kiertoajan alkuun; hiilensidontan yksikkökustannusten laskentatapana diskonttausmenetelmä) noin

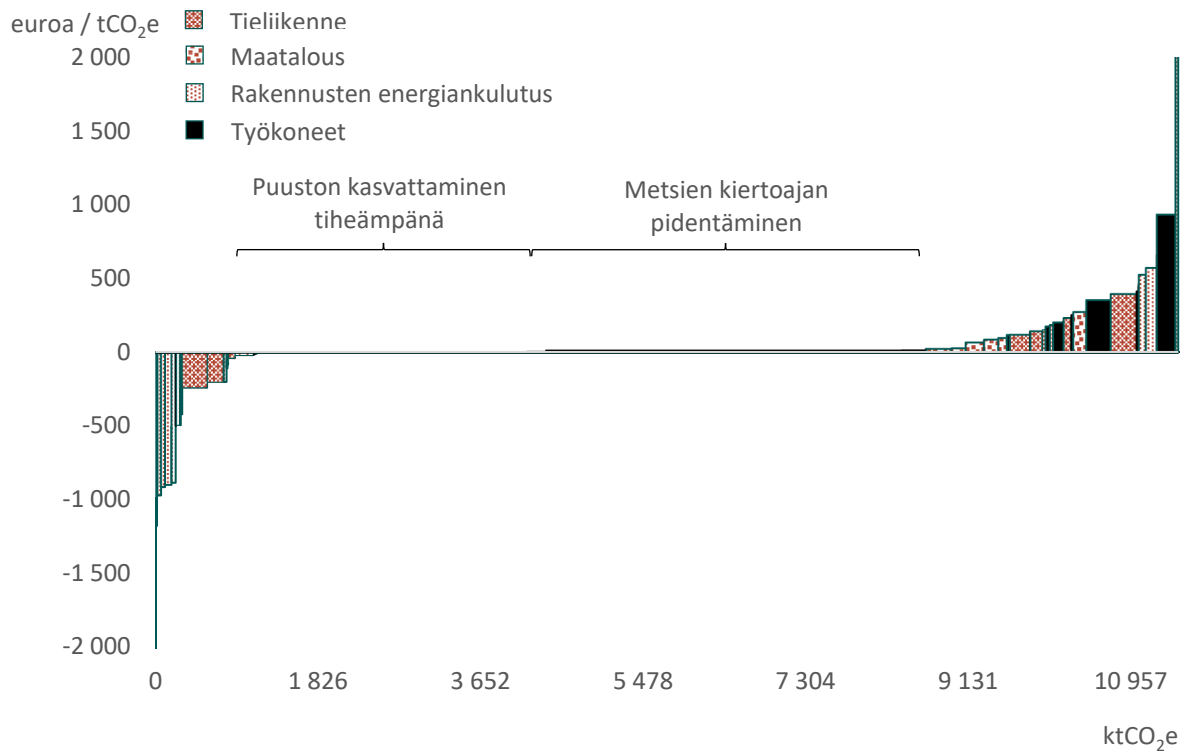
⁴ https://mmm.fi/documents/1410837/0/Metsien%20kasvupaketti_03032025_luovutettu.pdf/a019eeeb-38dc-7615-42ba-cb9d14112b09/Metsien%20kasvupaketti_03032025_luovutettu.pdf?t=1742979457200

⁵ <https://tem.fi/paatos?decisionId=5183>

10 €/ tCO₂. Samanlaisia ja alempiakin arvioita on saanut mm. Nerg (2009) (3,3–10,3 €/tCO₂ kun käytetään 3 % korkokantaa ja 2,4–13,2 €/ tCO₂ käyttäen 4 % korkoa; kuusi tai mänty eri kasvupaikoilla; diskontataan varttuneen kasvatusmetsikön tilanteeseen, jossa kiertoaika lähdetään pidentämään; hiilensidonnan yksikkökustannusten laskentatapana diskonttausmenetelmä). PIKMA-hankkeen (Hynynen ym. 2024) tulosten perusteella kiertoajan pidentämisen kustannusvaikuttavuudeksi saadaan (käyttämällä hiilensidonnan yksikkökustannusten laskentatapana keskimääräisen varastomuutoksen menetelmää, 3 % korkokantaa ja 13 vuoden pidennystä kiertoaikaan) männylle (kuivahko kangas) noin 8,7 €/ tCO₂ ja kuuselle (tuore kangas) noin 1,4 €/ tCO₂. Pohjola ym. (2006) saivat (käyttämällä hiilensidonnan yksikkökustannusten keskimääräisen varastomuutoksen menetelmää ja 3 % korkokantaa) männiköiden kiertoajan pidennyksille kustannuksiksi 6,2 €/ tCO₂ (10 vuoden pidennys) ja 7,9 €/ tCO₂ (20 vuoden pidennys) kun diskontattiin kiertoajan alkuun, sekä 56,2 €/ tCO₂ (10 vuoden pidennys) ja 71,8 €/ tCO₂ (20 vuoden pidennys) kun diskontattiin perusvaihtoehdon päätehakkuiikään, josta kiertoaika lähdetään pidentämään. Vastaavat lukemat olivat kuusikoille 2,0 €/ tCO₂ (10 vuoden pidennys) ja 4,0 €/ tCO₂ (20 vuoden pidennys) kun diskontattiin kiertoajan alkuun, sekä 11,1 €/ tCO₂ (10 vuoden pidennys) ja 22,3 €/ tCO₂ (20 vuoden pidennys) kun diskontattiin perusvaihtoehdon päätehakkuiikään. Pihlainen ym. (2014) saivat tulokseksi, että mäntymetsiköissä voi sitoa merkittävästi lisähiiltä alle 10 €/ tCO₂ kustannuksin (tutkimuksessa optimoitiin koko metsänkäsittelyä, ei vain kiertoajan pituutta; diskonttaus kiertoajan alkuun). Samansuuntaisia tuloksia kuuselle saivat Niinimäki ym. (2013). Kaiken yllä esitellyn kirjallisuuden perusteella teemme karkean suuruusluokka-arvion tämän raportin tarkastelua varten, että kiertoajan pidentämisen kustannusvaikuttavuus on noin 10 €/ tCO₂.

Puuston tiheämpänä kasvattamiselle Pohjola ym. (2006) saivat negatiivisia kustannusvaikuttavuuksia (tarkoittoaen kannattavaa toimintaa). He saivat käyttäen 3 % korkokantaa (diskontattu kiertoajan alkuun) männiköiden tiheämpänä kasvattamiselle kustannuksiksi -3,4 €/tCO₂ ja kuusikoille -10,6 €/tCO₂. Ahtikoski ym. (2006) tarkastelivat puuston hiilensidontaa tukevaa metsänkäsittelyä, jossa puustopääomaa pidetään korkealla tasolla läpi kiertoajan ja saivat tulokseksi 3 % korkokannalla, että kustannukset vaihtelivat välillä -1–2 €/tCO₂ riippuen puulajista ja siitä, onko kyseessä sekametsä vai yhden puulajin metsä. Yllä esitellyn kirjallisuuden perusteella teemme karkean suuruusluokka-arvion tämän raportin tarkastelua varten, että puuston tiheämpänä kasvattamisen kustannusvaikuttavuus on noin 0 €/tCO₂.

Kuvassa 11 on lisätty esimerkinomaisesti kuvassa 10 esitettyyn kustannus- ja potentiaalivertailuun edellä mainitut kiertoajan pidentämisen (10 €/tCO₂ ja 4 MtCO₂e) ja puuston tiheämpänä kasvattamisen (0 €/tCO₂ ja 3 MtCO₂e) kustannukset ja potentiaalit. Tässä päästövähennyspotentiaali viittaa nettopäästöihin, käsittäen siten sekä päästöjen vähentämisen että nielujen lisäämisen mahdollisuudet. Kokonaispotentiaali kasvaa 7 MtCO₂e:lla noin 11,5 MtCO₂e:iin. Metsien käytön muutoksilla saavutetaan nettopäästövähennyksiä (nielujen lisääntymisen kautta) kustannusvaikuttavasti verrattuna useisiin taakanjakosektorilla toteutettaviin toimiin.



Kuva 11. Tarkastellut toimet täydennettynä metsien käytön toimenpiteillä. Kuva havainnollistaa, miten metsien käyttöön liittyvät toimet sijoittuvat suhteessa muihin tarkasteltuihin toimiin.

3 Ohjaukeinoet

Ohjaukeinoilla tyypillisesti tarkoitetaan tapoja, joilla julkinen valta voi vaikuttaa yksityisten ihmisten ja yritysten toimintaan. Tässä luvussa tarkastellaan ohjaukeinoja (nykyisiä ja potentiaalisia uusia), joilla pyritään saamaan aikaan käytännön toimenpiteet, joiden kustannusvaikuttavuutta arvioitiin luvussa 2. Lisäksi tässä luvussa tarkastellaan ohjaukeinovaihtoehtoja sellaisissa kokonaisuuksissa, joissa arvioitiin erityisesti tarvittavan lisää ohjaukeinoja vihreän siirtymän etenemiseksi. Tarkastelun tavoitteena on tunnistaa keskeiset ohjaukeinovaihtoehtot siirtymän kannalta pulmallisissa kohdissa ja arvioida ohjaukeinovaihtoehtoja monikriteerisen arviointimatriisin avulla. Tarkastelun kohteena ovat tieliikenne, sähkön tuotanto ja käyttö, kaukolämmön tuotanto, teollisuuden energiankäyttö ja prosessipäästöt, rakennusten energiankulutus, työkoneet, maatalous, metsien käyttö sekä vihreän vedyn tuotanto ja käyttö. Tarkastelun ulkopuolelle jätettiin f-kaasut, raideliikenne, vesiliikenne, kotimaan lentoliikenne sekä jätteiden käsittely, sillä niiden päästöjen osuus kokonaisuudessa on pieni ja niiden ohjaus on suhteellisen selviäpiirteistä. Kyseisten sektoreiden päästöohjaus on kuvattu keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmassa (YM 2025a).

Käytännön toimenpiteiden toteutumiseksi tarvitaan poliittisia päätöksiä ohjaukeinoista, etenkin silloin kun toimenpiteet eivät näyttäydä toimijoille yksityistaloudellisesti kannattavilta (ilman yhteiskunnan väliintuloa). Tähän kannustaa myös ympäristötaloustieteen teoria ulkoiskustannuksista, jotka ovat yhteiskunnalle koituvia kustannuksia, jotka eivät näy toimijoiden taloudellisessa päätöksenteossa (Pigou 1920). Toimenpiteiden tekoon kannustavat myös mm. yksityisten toimijoiden laatimat laatu-standardit, menettelytapaohteet ja sertifiointimenetelmät (Sorsa 2009). Tässä raportissa keskitytään kuitenkin julkisen vallan käytössä oleviin keinoihin.

Ohjaukeinoet jaotellaan usein karkeasti kolmeen kategoriaan: normiohjaukseen, taloudelliseen ohjaukseen ja informaatio-ohjaukseen (ks. esim. Pihlainen ym. 2024, Soimakallio & Pihlainen 2023, Mickwitz 2003). Normiohjaus asettaa laillisen toiminnan rajat lainsäädännöllä ja lupamenettelyillä. Taloudellinen ohjaus pyrkii luomaan rahallisia kannustimia toimia toisin, tuomalla uusia elementtejä yksityisten toimijoiden voitonmaksimointiyhtälöön. Informaatio-ohjauksessa jaetaan tietoa toimijoille ja pyritään tällä tavoin muuttamaan toimintaa. Tämä kategorisointi on karkea muun muassa siksi, että esimerkiksi taloudelliset ohjaukeinoet säädetään lainsäädännöllä (esim. verolait) ja vaativat toimijoiden informointia toimiakseen tarkoituksenmukaisesti.

3.1 Kestävyyssiirtymässä onnistuminen edellyttää vaikuttavaa ohjaukeinoyhdistelmää

Kestävyyssiirtymätutkimuksen mukaan päästövähennysratkaisujen leviäminen ei tapahdu yksittäisillä toimenpiteillä, vaan edellyttää toisiaan täydentäviä ohjaukeinoyhdistelmiä eli politiikkapaketteja. Vaikuttava politiikka edistää samanaikaisesti uusien päästöjä vähentävien innovaatioiden syntyä ja niiden skaalaamista markkinoille sekä päästöintensiivisten ratkaisujen hallittua alasajoa. Lisäksi tarvitaan sektorirajat ylittävää yhteistyötä, sitovia tavoitteita sekä siirtymän haittavaikutusten kompensointia haavoittuville toimijoille (Kanger ym. 2020; Kestävyyspaneeeli 2024; Rosenbloom & Meadowcroft 2022).

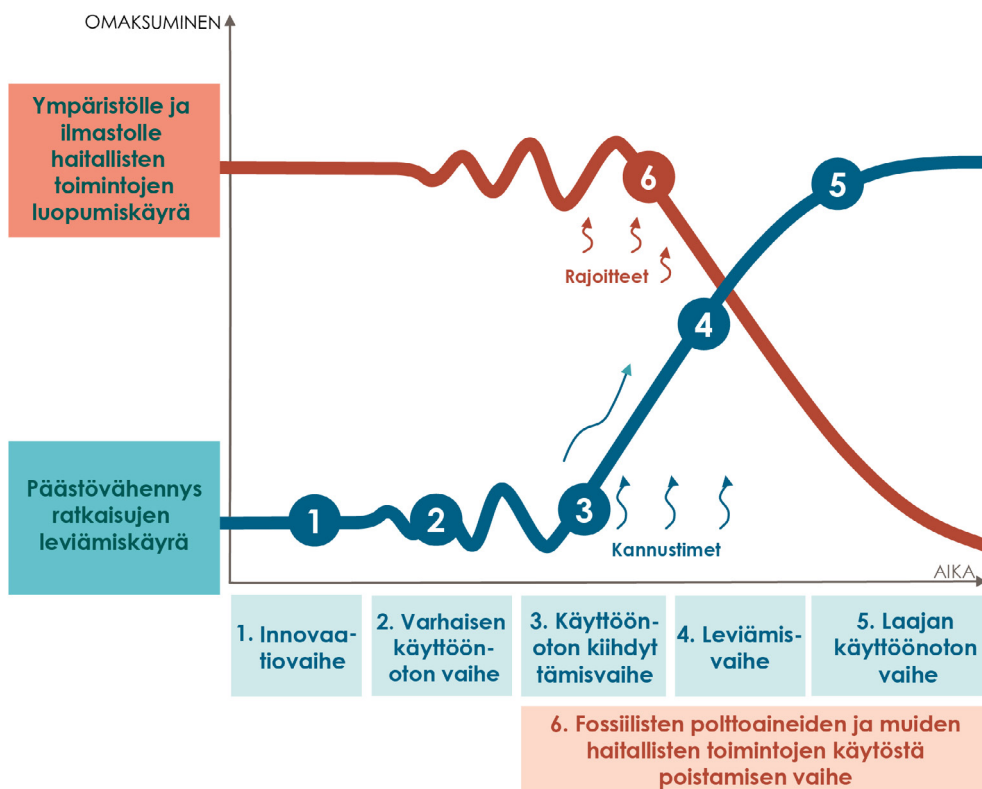
Kestävyyssmurroksissa markkinat ja arvoketjut eivät muutu itsestään, vaan niiden kehittyminen edellyttää julkisen vallan aktiivista roolia riskinjakajana, investointien mahdollistajana ja sääntely-ympäristön suunnannäyttäjänä. Ilman valtion vetoapua ja johdonmukaista politiikkaa energiasiirtymä ei etene

riittävän nopeasti eikä oikeudenmukaisesti (Newell ym. 2022). Siirtymän vauhti määräytyy siitä, miten nopeasti kestävien ratkaisujen kilpailukyky paranee suhteessa päästöjä aiheuttaviin vaihtoehtoihin ja miten määrätietoisesti kestävyys siirtymän kokonaisvaltaista ohjausta edistetään.

Teknologiat, markkinat ja kysyntä muuttuvat jatkuvasti, minkä vuoksi ohjauskeinoja tulee vaiheistaa ja mukauttaa päästövähennyskeinojen kypsyyden mukaan. Leviäminen ei riipu ainoastaan taloudellisista kannusteista, vaan myös haitallisen vaihtoehdon hinnasta, poliittisen toimintaympäristön vakauudesta, infrastruktuurista sekä toimijoiden polkuriippuvuuksista ja teknologisesta lukkiutumisesta.

3.2 Kestävyys siirtymässä tähdätään kestäväan kasvuun ja hallittuun alasajoon

Kestävyys siirtymän edistymistä tarkastellaan X-käyrän avulla (kuva 12), jossa päästöjä vähentävien ratkaisujen leviäminen sekä päästöjä aiheuttavista toiminnoista luopuminen etenevät samanaikaisesti ja keskinäisriippuvaisesti. Käyrät risteävät ajan kuluessa, kun kestävä ratkaisu saavuttavat markkinakasvua ja fossiiliset energiaratkaisut menettävät vastaavasti markkinoita. X-käyrä auttaa hahmottamaan, ettei siirtymä ole yksinkertainen uusien teknologioiden diffuusio prosessi, vaan kilpailullinen dynamiikka päästöjä vähentävien ja saastuttavien toimintojen välillä (Hebinck ym. 2022; Kestävyys paneeli 2024). Kestävyys siirtymä on kahden samanaikaisen dynamiikan yhteentörmäys, jossa uusien ratkaisujen markkinakasvua vauhditetaan ja päästöjä aiheuttavia toimia ajetaan hallitusti alas erilaisilla politiikkatoimilla.



Kuva 12. Kestävyys siirtymän X-käyrä sovellettuina puhtaaseen energiasiirtymään, jossa vihreä käyrä kuvaa päästöjä vähentävien ratkaisujen leviämistä yhteiskunnassa, kun taas punainen käyrä havainnollistaa saastuttavista toiminnoista luopumista. Päästövähennysratkaisujen leviämisen vaiheet yhteiskunnassa jakaantuvat 1) innovaatiovaiheeseen, 2) varhaisen käyttöönoton vaiheeseen, 3) käyttöönoton kiihdyttämisen vaiheeseen, 4) leviämisen vaiheeseen sekä 5) laajan käyttöönoton vaiheeseen. Kestävyys siirtymässä 6) ympäristölle haitallisia toimintoja poistetaan käytöstä erilaisilla ohjauskeinoilla samaan aikaan, kun päästöjä vähentävien ratkaisujen leviämistä edistetään.

Ohjauskeinojen suunnittelussa tulee huomioida päästövähennystoimien käyttöönoton laajuus (markkinaisuus), suhteellinen kannattavuus verrattuna päästöintensiivisiin vaihtoehtoihin sekä mahdollistavan infrastruktuurin tila. Siirtymän eteneminen riippuu siitä, miten nopeasti kestävien ratkaisujen kilpailukyky paranee suhteessa haitallisiin vaihtoehtoihin ja miten määrätietoisesti johdonmukaista ohjausta toteutetaan. Ohjauskeinoyhdistelmää tulee mukauttaa jatkuvasti, koska teknologiat, markkinat ja kysyntä muuttuvat jatkuvasti.

Päästövähennysratkaisujen leviämiseen vaikuttaa kustannuskilpailukyvyyn lisäksi niiden käytettävyys ja luotettavuus. Ohjauskeinoyhdistelmiä ja rahoitusmalleja suunniteltaessa on keskeistä tunnistaa päästövähennyskeinojen leviämistä estävät pullonkaulat ja kohdistaa toimia niihin. Julkinen rahoitus, verotus ja sääntely ovat perusteltuja silloin, kun kestävät ratkaisut eivät vielä kykene syrjäyttämään ympäristölle haitallisia vaihtoehtoja taloudellisten, institutionaalisten tai sosiaalisten esteiden vuoksi. Samalla fossiilisista polttoaineista luopumista vauhdittavat ohjauskeinot – kuten päästökauppa, haitta-erot, sääntelyn kiristäminen ja kiellot – on synkronoitava kestävien vaihtoehtojen saatavuuden kanssa siten, että kannustimet ja rajoitteet vahvistavat toistensa vaikutusta markkinoilla.

3.2.1 Ympäristölle ja ilmastolle haitallisten toimien alasajo

Haitallisista toiminnoista luopumiseen ohjaavien keinojen toimeenpano on olennainen osa kestävyys-siirtymän politiikkaohjausta, koska ilman niitä kestävyys-siirtymä ei etene. Pelkkä päästövähennysratkaisujen tukeminen ilman päästöintensiivisten vaihtoehtojen aseman heikentämistä on usein tehotonta ja tulee julkiselle sektorille kalliiksi. Ympäristölle haitallisista käytännöistä luopumista ohjataan esimerkiksi sääntelyllä, kasvihuonekaasupäästöjen ja muiden ympäristöhaittojen hinnoittelulla, ympäristölle haitallisten tukien poistamisella sekä rajoituksilla ja kielloilla (esim. kivihiilen, asbestin tai hehkulamppujen kiellot).

Luopumiskäyrä etenee tyypillisesti vaiheittain: ensin poistetaan haitallisia tukia, tämän jälkeen kiristetään hinnoittelua ja lopulta asetetaan selkeitä aikarajoja, sääntelyä ja kieltoja. Luopumistoimien ennakoitavuus on keskiössä, jotta toimijat voivat ajoissa huomioida ne investointipäätöksissään ja valinnoissaan. Pelkkä haitallisten toimintojen alasajo ilman vaihtoehtojen saatavuutta voi heikentää politiikan hyväksyttävyyttä ja synnyttää oikeudenmukaisuushaasteita. Siksi luopumiskeinoja on tarkoituksenmukaista kiristää sitä mukaa, kun päästöjä vähentävien ratkaisujen saatavuus markkinoilla paranee.

3.2.2 Päästövähennysratkaisujen leviämisen vaiheet ja vauhdittamiskeinot

Päästövähennysratkaisujen leviäminen voidaan jäsentää vaiheittaisena prosessina, joka etenee innovaatioiden syntyvaiheesta varhaiseen käyttöönottoon, käyttöönoton kiihdyttämiseen, leviämisvaiheeseen ja laajaan käyttöönottoon. Eri vaiheissa korostuvat erilaiset dynamiikat, toimijaryhmät ja ohjauskeinot. Tämä jäsenitys nojaa sekä innovaatioiden diffuusioteoriaan että politiikkayhdistelmiä käsittelevään siirtymätutkimukseen (esim. Kern ym. 2019; Rogers 1962; Rosenbloom & Meadowcroft 2022).

Innovaatiovaiheessa päästövähennysratkaisut ovat vielä tutkimus- ja kehitysvaiheessa. Tässä vaiheessa yksityinen rahoitus on usein varovaista korkeiden teknologia- ja markkinariskien vuoksi, minkä vuoksi julkisen rahoituksen rooli korostuu. Julkinen tuki on taloudellisesti perusteltua erityisesti silloin, kun osa innovoinnin hyödyistä jää yhteiskunnallisiksi esimerkiksi positiivisina ulkoisvaikutuksina. Innovaatioihin kannustavia keinoja ovat esimerkiksi tutkimus-, kehitys- ja innovaatio -tuet (TKI-tuet), TKI-

verokannustimet sekä TKI-ohjelmien strateginen kohdentaminen päästöjä vähentäviin ratkaisuihin. Suomessa innovaatiovaiheen rahoitusta on tarjolla hyvin esimerkiksi Business Finlandin ja EU-ohjelmien kautta. Innovaatiovaiheessa keskeisiä toimijoita ovat innovaattorit, yliopistot, tutkimuslaitokset ja julkiset TKI-rahoittajat. Innovaatiovaihe luo perustan myöhemmälle markkinan kehittymiselle, mutta ei yksin käynnistä laajamittaista siirtymää ilman seuraavien vaiheiden riskinjakoinstrumentteja ja markkinaohjausta.

Varhaisen leviämisen vaiheessa päästövähennysratkaisu on teknisesti kehitetty, mutta sen kaupallista toimivuutta ei ole vielä osoitettu. Ensimmäiset pilotit, demonstraatiot ja tuotantolaitoshankkeet ovat kriittisiä, mutta niihin liittyy merkittäviä teknologia-, markkina- ja rahoitusriskejä. Tässä vaiheessa yksityinen pääoma on usein varovaista, mikä synnyttää rahoituksen kuolemanlaakson ("valley of death") innovaatioiden kehittämisen ja skaalaamisen välille. Julkinen riskirahoitus on tässä vaiheessa kriittistä yksityisen rahoituksen mobilisoimiseksi. Julkinen rahoittaja voi pienentää tässä vaiheessa hankkeiden riskiä sekä edellyttää pilotteja toteuttavilta tahoilta viestintää onnistumisista ja kohdattujen haasteiden ratkaisumalleista, mikä edesauttaa jatkokehitystä sekä parantaa luottamusta markkinoilla. Ohjauskeinoja ovat esimerkiksi demonstraatiotuet, riskinjakoinstrumentit, valtion pääoma- ja riskisijoitukset, uuteen teknologiaan kohdistetut investointituet (esim. 60–80 %) sekä EU:n riskirahoitusvälineiden laajempi hyödyntäminen. Suomessa merkittävä osa rahoitusvajeesta kohdistuu juuri tähän demonstraatio- ja kaupallistamisvaiheeseen, ja rahoitusmalleissa on tunnistettu puutteita erityisesti riskinjaon osalta. Varhaisen leviämisen vaiheessa keskeisiä toimijoita ovat taloudellisesti vahvat edelläkävijäyritykset ja -kaupungit sekä riskisijoittajat ja -rahoittajat.

Käyttöönoton kiihdyttämisen vaiheessa päästövähennysratkaisu on jo pilotoitu ja sen ensimmäiset kaupalliset sovellukset on toteutettu, mutta sen markkinaosuus on edelleen pieni ja kustannustaso usein korkeampi kuin vakiintuneilla, päästöintensiivisillä vaihtoehdoilla. Näin ratkaisu ei vielä kypsä laajaan markkinaehtoiseen leviämiseen. Tässä vaiheessa politiikan keskeinen tehtävä on luoda riittävää kysyntää, jotta kustannukset laskevat ja investointirisikit pienenevät (Polzin ym. 2019). Vaikuttavia ohjauskeinoja ovat esimerkiksi infrastruktuuri-investoinnit ja infratuet, syöttötariffit yms. hankinta- ja investointituet, verokannustimet sekä sektorikohtaiset kompensatiomallit, kuten maatalouden kustannuskorvaukset. Suomessa useat julkisen tuen piirissä olevat päästövähennyskeinot – kuten monet maatalouden toimet ja sähkökäyttöiset kuorma-autot – sijoittuvat nykyisin tähän vaiheeseen. Aktiivisia toimijoita tässä vaiheessa ovat päästövähennystavoitteisiin sitoutuneet yritykset, kunnat ja muut organisaatiot, joilla on kyky hyödyntää tukijärjestelmiä ja toimia markkinoiden suunnannäyttäjinä. Samalla tähän vaiheeseen liittyy usein jännitteitä: päästöintensiivisistä toiminnoista taloudellisesti riippuvaiset toimijat ja niiden etujärjestöt tyypillisesti aktivoituvat vastustamaan muutosta (Geels 2014). Mitä suuremmaksi uusien ratkaisujen markkinaosuus uhkaa kasvaa esimerkiksi uusien ohjauskeinojen myötä, sitä voimakkaammaksi vastareaktiot voivat muodostua.

Leviämisen vaiheessa päästövähennysratkaisut ovat saavuttaneet suuremman markkinaosuuden ja ne tunnetaan toimijoiden keskuudessa hyvin. Usein niiden kustannustaso vastaa ympäristölle haitallisten vaihtoehtojen tasoa tai on alhaisempi, mutta ratkaisujen käyttöönotto ei vielä vastaa niiden täyttä potentiaalia mm. fossiilisten polttoaineiden syrjäyttäjänä. Tässä vaiheessa siirtymän vauhti riippuu ratkaisevasti siitä, kuinka markkina toimii laajasti päästöjä vähentävän toimen käyttöönoton eduksi. Ohjauskeinot voivat nopeuttaa leviämistä vahvistamalla suhteellista kilpailukykyä ja poistamalla jäljellä olevia esteitä. Keskeisiä välineitä ovat sääntely, kiristytvä päästöjen hinnoittelu ja muut haittamaksut, verokannustimet ja -vähennykset, lupaprosessien sujuvoittaminen sekä rahoituksen saatavuutta tukevat instrumentit, kuten vihreiden joukkolainojen edistäminen ja lainatakaukset. Lisäksi tiedotus, koulutus ja neuvonta tukevat markkinan laajenemista. Tässä vaiheessa aktiivisia toimijoita ovat laajempi yrityskenttä, kotitaloudet, pankit ja muut vakiintuneet markkinatoimijat. Leviämisen vaiheessa myös

sosiaalinen oikeudenmukaisuus korostuu ja siirtymän haittoja on tarpeen kompensoida heikommassa asemassa oleville toimijoille, joilla on esimerkiksi taloudellisia vaikeuksia siirtyä elinkeinotoimintansa kestävämpiin ratkaisuihin kilpailukykyä säilyttämiseksi. Lisäksi oikeudenmukaisuuden ja hyväksyttävyyden vahvistaminen edellyttää avointa vuorovaikutusta, johon kuuluu toimien aktiivinen yhteiskehittäminen, riittävä tiedottaminen sekä muutosten kohteena olevien tahojen kuuleminen ja osallistaminen. Yhteiskehittämiseen pohjautuva lähestymistapa rakentaa luottamusta ja parantaa kokonaisuudessaan muutosten hyväksyttävyyttä.

Laajamittaisen käyttöönoton vaiheessa päästövähennysratkaisut ovat vakiinnuttaneet asemansa markkinoilla ensisijaisina vaihtoehtoina. Kustannustaso on kilpailukykyinen sekä ratkaisujen tunnettuus ja luotettavuus korkea, minkä seurauksena ne syrjäyttävät laajasti ympäristölle haitallisia vaihtoehtoja. Tässä vaiheessa aiemmin muutosta viivyttäneet tai varovaisemmin suhtautuneet toimijat omaksuvat uusia ratkaisuja, kun niistä on tullut valtavirtaa. Kohdennettua tukea tarvitaan enää vain sosiaalisin perustein heikommassa asemassa oleville toimijoille ja kotitalouksille. Rakenteellinen ohjaus säilyy kuitenkin tärkeänä vielä tässäkin vaiheessa: päästöjen hinnoittelu, johdonmukainen sääntely ja infrastruktuurin ylläpito varmistavat markkinoiden toimivuuden.

3.3 Ohjauskeinojen arvioinnin periaatteet

Ohjauskeinoja on tarkoituksenmukaista arvioida usean kriteerin avulla. Tyypillisesti arvioidaan vähintään ohjauskeinojen vaikuttavuutta sen varsinaisen tavoitteen saavuttamiseksi (eli muuttaako toimijoiden käyttäytymistä haluttuun suuntaan), mutta myös mahdollisia positiivisia ja negatiivisia sivuvaikutuksia. Sivuvaikutukset voivat toisinaan olla päähuomion kohde, kuten on tarkasteltaessa ympäristölle haitallisia tukia (Pihlainen ym. 2023, Pihlainen ym. 2024). Aiemmissa ohjauskeinojen arviointia suorittaneissa raporteissa on arvioitu muun muassa niiden vaikuttavuutta/luotettavuutta, kustannus- ja tulonsiirtovaikutuksia, hyväksyttävyyttä, toteutettavuutta ja kustannustehokkuutta (ks. esim. Lintunen ym. 2026, Soimakallio & Pihlainen 2023, Mickwitz 2003).

Puhtaaseen energiajärjestelmän siirtymään keskittyvän REPower-CEST-hankkeen tavoitteet ovat seuraavat: päätavoitteet ovat ilmastonmuutoksen hillintä ja fossiilisista polttoaineista luopuminen, ja muina strategisina tavoitteina on parantaa energiaturvallisuutta, talouskasvua ja työllisyyttä, kansanterveyttä sekä energiajärjestelmän resilienssiä; vähentää ilmansaasteita; edistää kiertotaloutta ja teknologisia innovaatioita; sekä pienentää energiakustannuksia ja ympäristökuormitusta. Arvioimme tässä raportissa ohjauskeinojen vaikuttavuutta ilmastonmuutoksen hillintään, fossiilisista polttoaineista luopumiseen, energiajärjestelmän resilienssiin ja ympäristökuormituksen vähentämiseen. Lisäksi arvioimme taloudellisia vaikutuksia erikseen kuluttajien, yritysten, valtion, ja kokonaistalouden kannalta, sekä teemme huomioita ohjauskeinojen oikeudenmukaisuuteen ja toteutettavuuteen liittyen.

Arvioinnissa käytetty asteikko ohjauksen vaikuttavuudessa tavoitteiden saavuttamiseen ulottuu erittäin negatiivisista (kaksi miinusta), neutraaliin (nolla) ja erittäin positiivisiin (kaksi plussaa). Jos arviointia ei pystytty toteuttamaan tietopuutteista johtuvien erittäin suurten epävarmuuksien vuoksi, kohtaan laitettiin kysymysmerkki. Arviointi toteutettiin kirjallisuuskatsauksen ja asiantuntija-arvion avulla, ja tulokset koottiin kunkin kokonaisuuden osalta arviointitaulukkoon, josta esimerkki taulukossa 6. Arvioinnissa ei tarkasteltu kaikkia tekstissä käsiteltyjä ohjauskeinoja, vaan nostoja erityisen kiinnostavista keinoista.

Taulukko 6. Esimerkki ohjauskeinon arvioinnista matriisin avulla

Ohjaus- keino	Vaikuttavuus tavoitteisiin				Taloudelliset vaikutukset				Oikeuden- mukaisuus	Toteutet- tavuus
	Ilmasto	Ohjaa pois fossiilisista	Energia- järj. resilienssi	Muu ympäristö- kuormitus	Kulut- tajat	Yritykset	Valtio	Kokonais- talous		
'ohjaus- keinon nimi / lyhyt kuvaus'	++	0	-	+	-	---	+	?	Aiheuttaja maksaa	Helppo

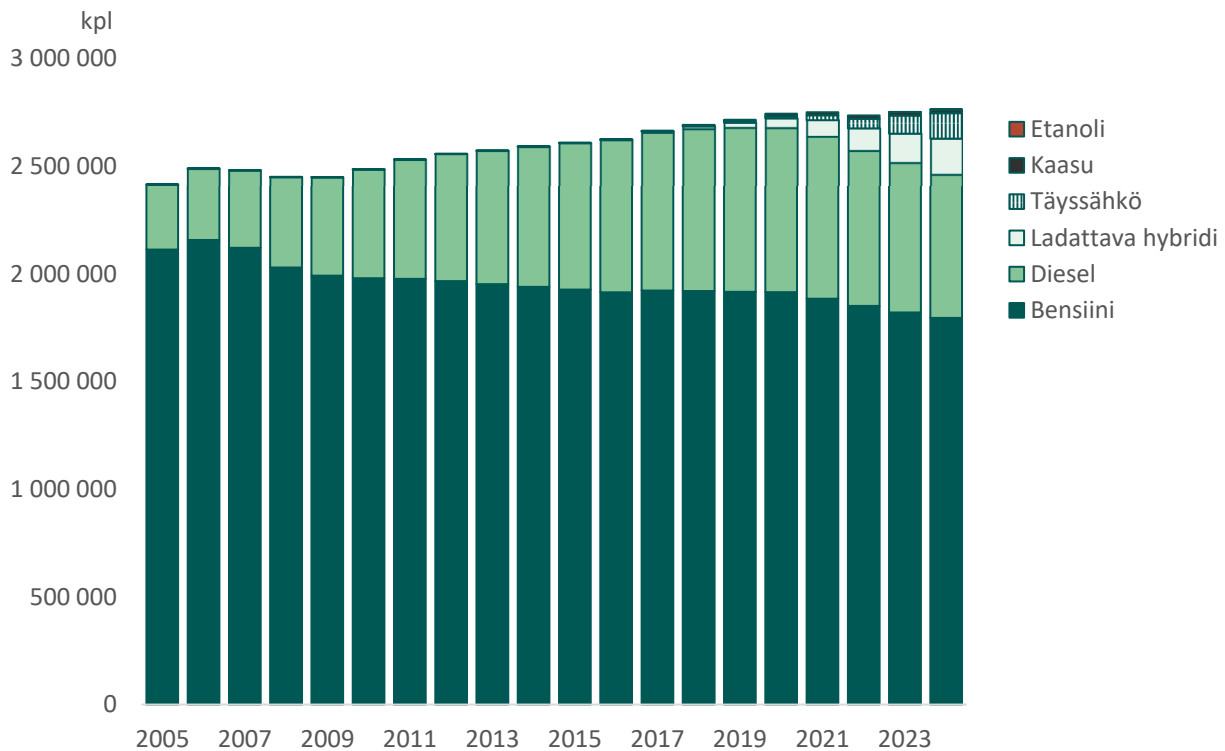
Arvioinnissa käytetään seuraavia kriteerejä:

- Ilmasto: Miten ohjauskeino vaikuttaa ilmastonmuutoksen hillintään?
- Ohjaa pois fossiilisista: Miten ohjauskeino vaikuttaa fossiilisista polttoaineista luopumiseen?
- Energijärjestelmän resilienssi: Miten ohjauskeino vaikuttaa huoltovarmuuteen, omavaraisuuteen sekä resistenssiin shokkeja, ääritilanteita (esim. kovien pakkasten jaksot) ja hybridivaikuttamista vastaan?
- Ympäristökuormituksen vähentäminen: Miten ohjauskeino vaikuttaa luontokadon, luonnonvarojen käytön, vesistö päästöjen ja ilmansaasteiden vähentämiseen?
- Taloudelliset vaikutukset: Miten ohjauskeino vaikuttaa taloudellisesti kuluttajiin, yrityksiin, valtioon, sekä kokonaistaloudellisesti (ml. talouskasvu, työllisyys ja teknologisten innovaatioiden edistäminen)
- Oikeudenmukaisuus: Mitä huomioita ohjauskeinojen oikeudenmukaisuuden osalta voidaan tehdä?
- Toteutettavuus: Kuinka helppoa käytännön tasolla ohjauskeino on ottaa käyttöön? Arviointi koskee teknistä ja/tai hallinnollista toteutettavuutta, ei esimerkiksi poliittista hyväksyttävyyttä.

3.4 Tieliikenne

3.4.1 Nykytilanne tieliikenteen ohjauksessa

Liikenteen päästöjen vähentäminen on vihreän siirtymän kannalta tärkeää, koska liikenne on ainoa sektori, jonka kasvihuonekaasupäästöt ovat nousseet EU:ssa 90-lukuun verrattuna (Schulthoff ym., 2022). Suomessa tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöt ovat vähentyneet 17,3 % vuosina 1990–2024 ja 23,3 % taakanjakosektorin vertailuvuodesta 2005. Liikenne on suurin taakanjakosektorin päästölähde (noin 37 % vuonna 2024) ja kotimaan liikenteen päästöistä tieliikenne kattaa noin 95 %. Tieliikenteen päästöistä henkilöajoneuvot muodostivat vuonna 2024 noin 54,7 %, pakettiautot noin 10,6 % ja kuorma- ja linja-autot yhteensä noin 33,6 %. Moottoripyörien ja muiden kevyiden ajoneuvojen osuus oli loput 1,0 %. (Tilastokeskus 2026a).



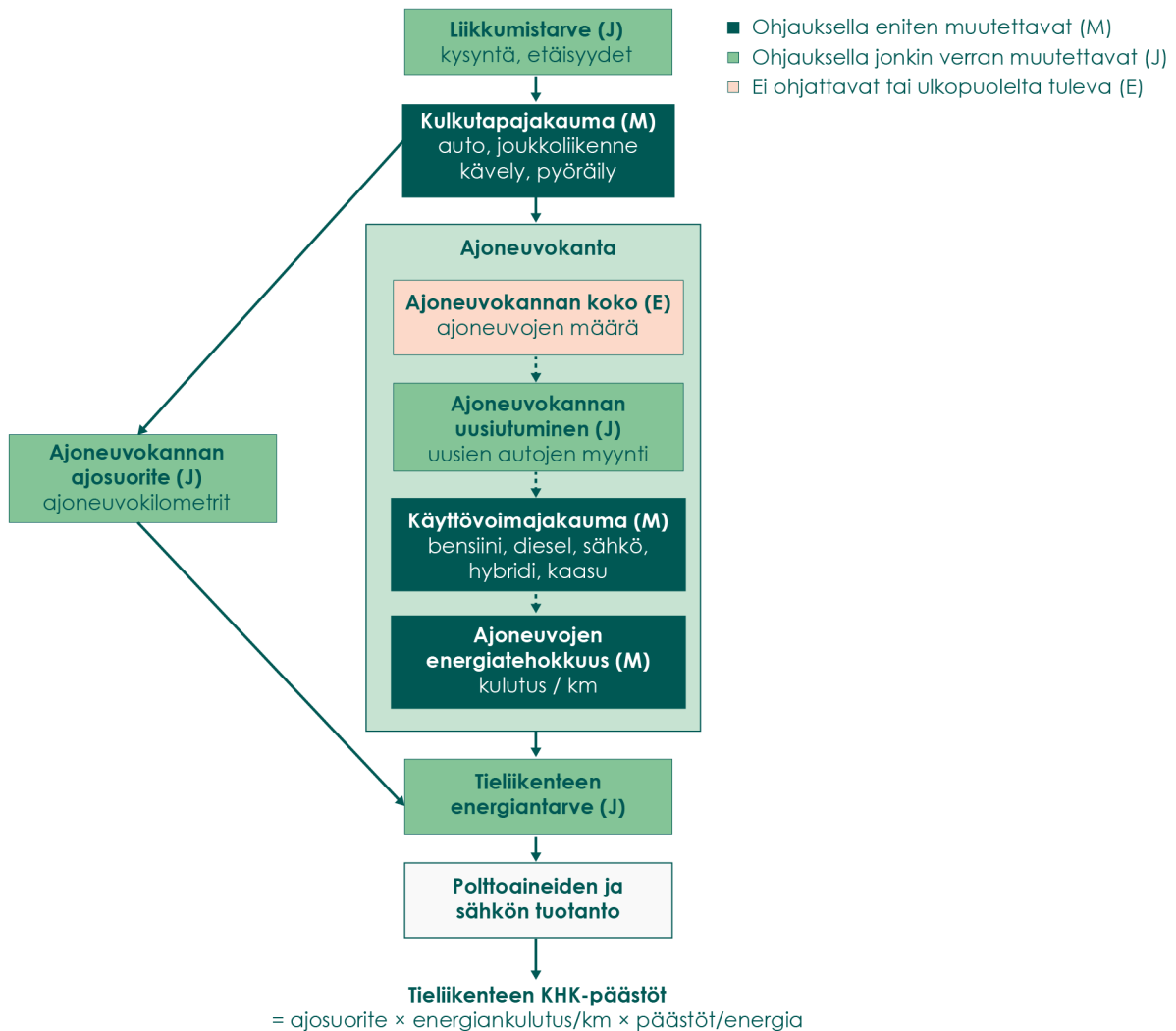
Kuva 13. Liikennekäytössä olevan henkilöajoneuvokannan käyttövoimien kehitys vuosina 2005–2024 (Traficom 2026a). Kuva osoittaa, että bensiini- ja dieselikäyttöinen ajoneuvokanta on pienentynyt viime vuosina, kun ladattavien hybridien ja täyssähköisten ajoneuvojen määrät ovat kasvaneet.

Tieliikenteen päästöjen väheneminen on pääosin seurausta ajoneuvokannan energiatehokkuuden paranemisesta ja vähäpäästöisten käyttövoimien osuuden kasvusta. Lisäksi kokonaisajosuoritemäärä on ollut laskeva (Tilastokeskus 2026c). Koko ajoneuvokannasta sähkökäyttöisten ajoneuvojen osuus on kuitenkin edelleen hyvin pieni, joskin vuosittain ensirekisteröitävistä ajoneuvoista yhä suurempi osa on täyssähköisiä (Traficom 2026b). Pisimmällä sähköistymiskehitys on henkilöajoneuvokannassa, jossa täyssähköisten osuus oli 4,3 % vuoden 2024 lopussa (kuva 13). Ajoneuvokannan sähköistyminen painottuu ensisijaisesti varakkaammille kaupunkiseuduille, kun taas maaseutumaisilla alueilla sähköistymiskehitys on tyypillisesti hitaampaa (Syke 2026). Päästöjen väheneminen ajoneuvokannan käyttövaihtoihin on kuitenkin haastavaa ajoneuvokannan uusiutumisen hitauden, eli uusien ajoneuvojen alhaisen hankintamäärän, vuoksi. Sähkökäyttöisten pakettiautojen ja paikallisliikenteen linja-autojen lukumäärien kasvu on nopeutunut viime vuosina. Sen sijaan kuorma-autokanta on edelleen lähes täysin dieselikäyttöinen. (Traficom 2026a).

Liikenteen päästöjen vähentämistä voidaan jäsentää niin kutsutun Vältä–Siirrä–Paranna -mallin (engl. Avoid–Shift–Improve, ks. esim. Dalkmann ym. 2014; Bongardt ym. 2019) avulla. Malli muodostaa hierarkian eri keinojen vaikuttavuudelle ja toivottavuudelle. Ensisijainen tapa vähentää päästöjä on liikennesuoritteiden synnyn ehkäisy. Toisella tasolla pyritään siirtämään liikkumista vähemmän päästöjä tuottaviin kulkutapoihin, kuten joukkoliikenteeseen. Kolmannella tasolla keskitytään liikkumisen energiatehokkuuden parantamiseen, esimerkiksi kehittämällä henkilöautojen teknologiaa.

Fossiilisten polttoaineiden luopuminen tai niiden käytön huomattavassa vähentäminen yksityisessä liikennekäytössä edistää myös Suomen omavaraisuutta ja huoltovarmuutta. Sähköntuotanto ja vaihtoehtoisten polttoaineiden tuotanto on huomattavasti kotimaisempaa ja toimitusketjuiltaan hajautempaa. Polttoaineiden korvaaminen tai vähäpäästöisempiin teknologioihin siirtyminen on kuitenkin

vain yksi, vaikkakin huomattava, tapa vähentää liikenteen päästöjä. Ajokilometrien vähentäminen on lähtökohtaisesti tehokkain tapa vähentää päästöjä, koska tällöin suorat päästöt ja mahdolliset investoinnit sekä niiden aiheuttamat päästöt voidaan välttää lähes kokonaan. Liikenteen päästöihin vaikuttaviin tekijöihin on eritasoisia vaikutusmahdollisuuksia, mutta etenkin liikennesuoritteiden ja ajoneuvojen määrään vaikuttaminen on ollut haastavaa. Kuvassa 14 on esitelty tieliikenteen energiantarpeen ja kasvihuonekaasupäästöjen muodostuminen.



Kuva 14. Kuva havainnollistaa, mistä liikenteen päästöt muodostuvat ja mihin ohjauskeinoja voidaan kohdistaa Suomen tasolla ja aluetasolla. Se jäsentää liikenteen päästöjen syntymekanismeja sekä eri hallinnon tasojen vaikutusmahdollisuuksia.

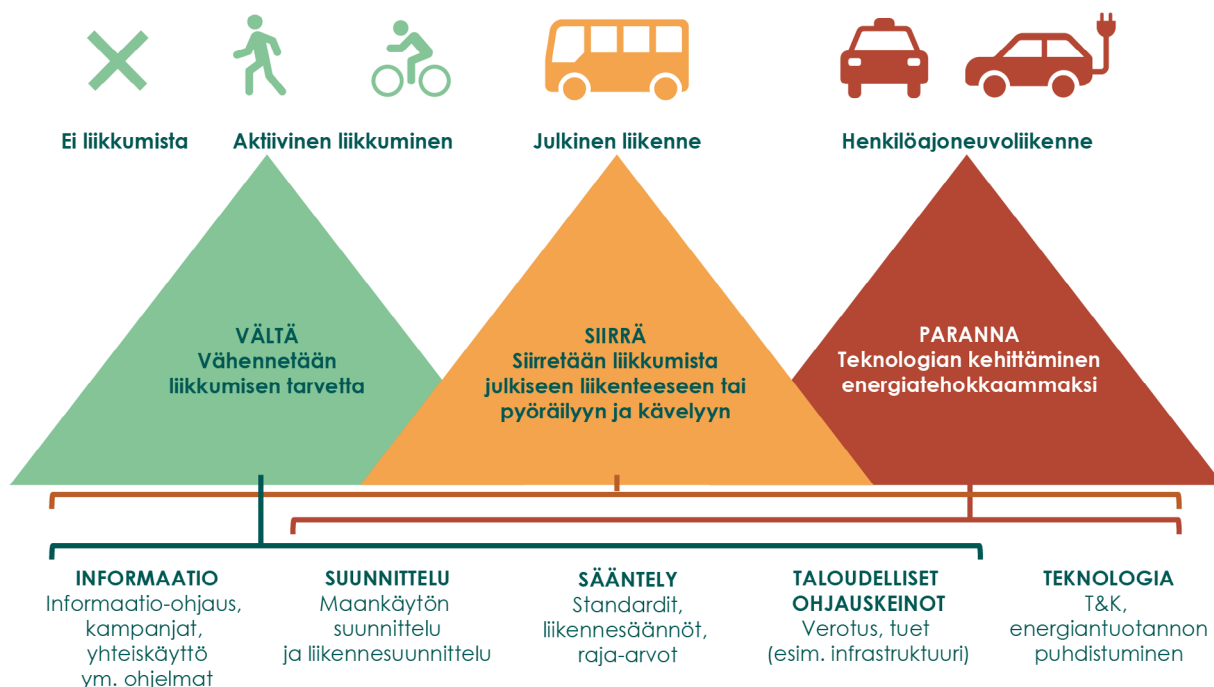
Tieliikenteen osalta on hyödyllistä laventaa karkeaa ohjauskeinojen kolmijakoa ja jaotella käytettävissä olevat ohjauskeinot viiteen kategoriaan: taloudelliset ohjauskeinot, sääntely, teknologia, suunnittelu ja informaatio (Dalkmann ym., 2014). Normiohjauksesta ja taloudellisista ohjauskeinoista voidaan erottaa teknologisia ja suunnittelupohjaisia keinoja, jotka tarkemmin kohdistuvat joko ajosuoritteeseen, liikkumistarpeeseen ja liikkumistavan valintaan liittyviin tekijöihin. Teknologiset keinot kohdistuvat ajoneuvojen teknologisiin ratkaisuihin sekä myös esimerkiksi etätyöratkaisujen kautta liikkumistarpeeseen. Suunnittelukeinot ovat normiohjausta esimerkiksi liikennejärjestelmän suunnittelun osalta ja

taloudellisia ohjauskeinoja liikkumistavan valintaa ohjaavien investointien osalta (esimerkiksi kävelyn ja pyöräilyn tukeminen). Taulukossa 7 on jaoteltu keskeisiä käytössä olevia ja keskustelussa ehdotettuja ohjauskeinoja näihin luokkiin, mutta kyseessä ei ole täysi listaus kaikista mahdollisista ohjauskeinoista. Ohjauskeinoilla voidaan pyrkiä vaikuttamaan liikennekäyttäytymiseen ja liikkumisvalintoihin tai ohjata autokantaa vähäpäästöisempiin teknologioihin eri tavoin

Taulukko 7. Tieliikenteen ohjauskeinojen tyypit ja nykytilanne Suomessa

Ohjauskeinoon tyyppi	Ohjauskeino	Tila
Taloudellinen	Polttoaine- ja ajoneuvoverotus	Käytössä.
	Ruuhkamaksut	Ei käytössä.
	Pysäköintimaksut	Käytössä.
	Infrastruktuurituet	Energiaviraston haut, viimeksi 2025 ja 2026 talousarviossa. ARA-tuki loppunut. Euroopan investointirahaston (EIR) takaus taloyhtiöille ja pk-yrityksille latausinfrastruktuuriin.
	Vähäpäästöisten ajoneuvojen hankintatuki	Romutuspalkkio käytössä ja 2027 uusi suurempi palkkio.
	Jakeluvelvoite	Käytössä, taso vaihdellut, muutoksia kattavuuteen tulossa.
	Sähköauton latausetu työpaikalla	Loppunut.
	Työsuhdeauton veroetu vähäpäästöisille ajoneuvoille	Käytössä
	EU:n polttoaineen jakelijoiden päästökauppa	2027 alkaen.
	Sääntely	Fyysiset hidastus- ja rajoituskeinot
Ajoneuvoliikenteen rajoitukset		Käytössä.
Nopeusrajoitukset		Käytössä.
Pysäköintipaikkojen saatavuus		Käytössä.
Teknologinen	Puhtaampi ajoneuvotuotanto ja -tekniikka	Käytössä.
	Etätöiden tukeminen/työmatkojen lyhentämisen tukeminen (esim. työmatkavähennyksen muutokset, co-working-tilojen tukeminen)	Ei käytössä.
Suunnittelu	Maankäytön suunnittelu	Käytössä.
	Julkisen liikenteen saatavuus ja palvelutaso	Käytössä.
	Jalankulku- ja pyöräily- mahdollisuudet	Käytössä.
Informaatio	Tiedotus- ja viestintäkampanjat	Käytössä.
	Ajoneuvojen päästö- ja energiankulutustiedot	Käytössä.
	Tuuppaukseen perustuvat käyttäytymisen ohjauskeinot.	Ei käytössä.

Tällä hetkellä käytössä olevat ohjauskeinot keskittyvät pääosin siirrä ja paranna tason toimenpiteisiin. Kulikutapojen muutoksen tähtääviä toimia, kuten kaupunkisuunnittelun keinoja on jonkin verran toteutettu. Kuvassa 15 on esitetty eri ohjauskeinoluokkien sijoittuminen ja kohdistuminen eri päästövähennykeinoihin. On myös huomattava, että esimerkiksi julkiseen liikenteeseen siirtymistä tukevat toimet voivat samalla kannustaa myös aktiivisen liikkumisen lisäämiseen: siirtymät pysäkkien välillä ja julkisen liikenteen pisteille tapahtuvat usein kävellen tai pyöräillen.



Kuva 15. Vältä-Siirrä-Paranna-hierakia ja ohjauskeinot liikenteen päästöjen vähentämisessä (mukaiiltu Bongardt ym. (2019) ja Karhinen ym. (2022)). Kuva havainnollistaa, että päästöjä voidaan vähentää sekä liikumistarvetta vähentämällä, kulkutapoja siirtämällä että ajoneuvojen ja käyttövoimien tehokkuutta parantamalla.

Käytössä olevista keinoista uusiutuvien polttoaineiden jakeluvalvoite on ollut suurin yksittäinen päästöjä vähentävä ohjauskeino ja AFRYn selvitys (Sipilä ym., 2021) osoittaa, että se on ennakoitavissa ja fyysisesti toteuttavissa oleva tapa vähentää tiekuljetusten päästöjä. Sen tason nosto voisi merkittävästi alentaa kasvihuonekaasupäästöjä, mutta samalla vaatii huolellista suunnittelua tuotantokapasiteetin, kustannusten ja markkinavaikutusten kannalta (Sipilä ym., 2021). Valtioneuvoston julkaisema selvitys (Sipilä ym., 2023) tarkastelee EU:n uusiutuvan energian direktiivin (RED III) muutoksia jakeluvalvoitteeseen ja niiden vaikutuksia. Arvio on, että julkisen latauksen sisällyttäminen jakeluvalvoitteeseen voisi laskea latauksen kustannuksia, vahvistaa sähköautojen julkisen latausverkon kannattavuutta ja lisätä tilastointia sekä uusiutuvan liikennesähkön käyttöä, mutta toisaalta se voi kasvattaa hallinnollisia kustannuksia ja vaikuttaa pienten toimijoiden mahdollisuuksiin osallistua valvoitteeseen. Laajentamisella koskemaan myös kuorma- ja linja-autovarikolla ladattua uusiutuvaa sähköä voisi olla positiivisia vaikutuksia julkisen ja raskaan liikenteen sähköistymiseen, tätä ei kuitenkaan selvityksessä suositella. Ilmastopaneeli (Seppälä ym., 2024) suosittelee valvoitetason nostamista vastaavasti, jotta sisällyttäminen ei lisää päästöjä.

Latausinfrastruktuuria on tuettu Suomessa ja Energiavirasto on jakanut tukia raskaan liikenteen latauskentille, suuritehoisille latauspisteille ja myös uusiutuvan vedyn tankkauspisteille. Vedyn osalta infrastruktuuri on hyvin pieni ja liikennekäyttö on todella pientä ja henkilöliikenteessä tulee jäämään myös sellaiseksi, koska ajoneuvoja ei ole tarjolla. ARA-tukea on jaettu aiemmin taloyhtiöille latauspisteitä varten, mutta kyseinen tuki on lakannut. Euroopan investointirahaston ja ympäristöministeriön lainaohjelma tarjoaa taloyhtiöille ja pk-yrityksille Euroopan investointirahaston riskinjakotakausta muun muassa latausinfra rakentamiseen ja tämä voi alentaa lainakustannuksia niille.

Verotuksessa autovero, ajoneuvovero, ja polttoainevero ovat pääasialliset verot. Autovero kohdistuu auton hankintaan ja on kertaluonteinen. Kaikki verot määräytyvät ajoneuvon päästöjen mukaan ja ohjaavat siten samansuuntaisesti vähäpäästöisempiin ajoneuvoihin, vaikkakin vaihtelevalla

suuruudella. Muita veroja tai niiden alennuksia ovat työsuhdeautovero ja sen huojennukset vähäpäästöisille ajoneuvoille. Työpaikalla latauksen veroetu on loppunut vuoden 2026 alussa. Paikallisesti vähäpäästöisille autoille voi olla tarjolla alennuksia pysäköinnistä tai muita etuja. Moniin etuihin liittyy ongelmana se, että etuuden saajissa on myös niitä, jotka olisivat joka tapauksessa tehneet etuun tai hyvitykseen oikeuttavan toimen, mikä syö tällaisten keinojen tehoa.

Verojen ja muiden taloudellisten sekä sääntelytoimien lisäksi Suomessa on ollut ja on käytössä useita suunnitteluun ja informaatioon luokiteltavia toimia. Kaupunkien suunnittelussa painotetaan esimerkiksi pyöräilyn helpottamista tai varataan vain julkiselle liikenteelle katuja. Nämä tukevat siirtymistä toisiin kulkutapoihin. Tällä hetkellä kaupunkien välillä on isoja eroja kulkutapaosuuksissa: esimerkiksi Oulussa pyöräilyn osuus 17 % ja Helsingissä noin 7 % (Traficom, 2021). Oikeilla toimilla ja pitkäjänteisellä työllä on siis potentiaalia lisätä pyöräilyä ja kävelyä useassa kaupungissa (Jääskeläinen, 2018). Pyöräilyn ja kävelyn edistämiseen on monia varteenotettavia keinoja ja yksittäisten keinojen sijaan voikin olla kannattavampaa nähdä eri tason toimet osana isompaa panostusta kulkutapojen muutokseen, integroituna kaupunkisuunnitteluun ja laajempaan visioon liikkumisesta. Esimerkiksi pyöräily voi toimia osana isompaa liikkumispalvelua, jolloin pyöräparkit ja liitynnät joukkoliikenteeseen tekevät siitä osan isompaa liikkumisen infrastruktuuria. Ehdotetuissa muutoksissa ohjaukseen nostamme kulkutapojen muutoksen tukemisen yhtenä kokonaisuutena ohjauskeinoksi, joka sisältäisi useampia pienempiä ja suurempia keinoja kävelyn ja pyöräilyn lisäämiseksi. Tämän isomman luokan alle sisältyisi taloudellisia, suunnittelu- ja muitakin ohjauskeinoja. Liikenne- ja viestintäministeriön selvitys (Jääskeläinen, 2018) sisältää kattavan katsauksen erilaisiin toimiin ja suosituksia ohjaukseksi ja toimenpiteiksi.

Teknologiaan liittyvät muutokset vähäpäästöisyyttä kohti tulevat pitkälti Suomen ulkopuolelta, esimerkiksi Euroopan laajuisesta sääntelystä sekä markkinoiden ohjaamasta teknologian kehityksestä. Lainsäädännön vaatimukset vaikuttavat eniten päästövähennyksiä tuovien teknologioiden käyttöönottoon. Yksi teknologinen keskeinen päästöjä vähentävä muutos, liikenteen sähköistyminen, pohjaa akkuteknologioihin. Akkuteknologioiden nopea kehittyminen on tehnyt sähköautoista kilpailukykyisiä ja henkilöliikenteen puolella on nähtävissä, että suurin osa ajoneuvoista tulee pohjaamaan jatkossa akkuteknologioihin. Raskaan, julkisen, meri- ja lentoliikenteen puolella muille vähäpäästöisillä ratkaisuille, esimerkiksi biokaasulle ja vedylle, on myös tarvetta. Liikenteen sähköistyminen ja esimerkiksi vedyn käyttö lisäävät myös integroitumista muihin sektoreihin ja avaa myös mahdollisuuksia sähkön varastointiin ja kaksisuuntaiseen kytkökseen sähkömarkkinoihin (Kopsakan-gas-Savolainen & Meriläinen, 2018). Tämä voi lisätä ohjauksien kokonaisuuden taloudellisia ja muita hyötyjä, suorien vaikutuksien lisäksi.

Ohjauskeinoissa on otettava huomioon myös niiden yhteisvaikutukset. Ohjaukset, jotka nostavat esimerkiksi autoilun koettua hintaa ja laskemalla vaihtoehtoisten kulkutapojen vastaavasti, vahvistavat toisiaan ja siirtävät liikkumisvalintoja.

3.4.2 Ehdotetut muutokset ohjaukseen tieliikenteessä

Tieliikenteen osalta on esitetty laaja valikoima erilaisia uusia ohjauskeinoja sekä muutoksia olemassa oleviin ohjauskeinoihin.

Ehdotetut uudet ohjauskeinot

- Ruuhkamaksu
- Jakeluvaihtojen muutokset

- Uusiutuvien ja synteettisten polttoaineiden osuuden kasvattaminen
- Raskaan liikenteen sähköistymisen tukeminen
- Autokannan voimakkaampi uudistaminen
- Kilometriverso
- Kansallinen tieliikenteen päästökauppa
- Päästöperusteinen ajoneuvoverso

Useat erilaiset toimenpidetyypit ovat osoittautuneet tehokkaiksi tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä, vaikka tutkimusnäyttö niiden vaikuttavuudesta vaihtelee huomattavasti eri interventioluokkien välillä. Käyttäytymisen muutokseen perustuvissa ohjauskeinoissa autoiluun kohdistuvien ohjauskeinojen on havaittu olevan yksiä tehokkaimmista ja taloudellisten kannustimien (joko maksujen tai palkkioiden) vähentävän kuljettajakohtaisia päästöjä (Wynes ym., 2018). Eurooppalaisia kaupunkeja koskevassa tutkimuksessa Kuss ja Nicholas (2022) tunnistivat 12 vaikuttavaa toimenpidetyyppiä, joista tehokkaimpia autoilun vähentäjiä olivat ruuhkamaksut, pysäköinnin ja liikenteen hallinnan toimet sekä rajoitetun liikenteen alueet.

Suomea tarkastelleissa tutkimuksissa on todettu, että liikenteen kasvihuonekaasujen vähentämisessä ohjauskeinojen kohdentaminen, kustannusvaikuttavuus ja alueellinen soveltuvuus ovat ratkaisevan tärkeitä. Ajoneuvojen vaihtotuet voivat ohjata kuluttajia uusiin vähäpäästöisempiin ajoneuvoihin, mutta niiden päästövähennysten kustannus on suuri ja vaikutus vaihtelee kotitalouksittain (Laukkanen & Sahari, 2025), mikä korostaa tuen täsmällistä kohdentamista suurimpien päästövähennysten saavuttamiseksi. Vastaavasti julkisen liikenteen lippujen hinnanalennukset vähentävät ajokilometrejä ja kasvihuonekaasupäästöjä, mutta ovat ilmastotoimena verrattain kalliita muihin vaihtoehtoihin kuten polttoaineveron korottamiseen ja vaikuttavat vain osaan liikkumistarpeista (Palanne, 2025).

Alueellisesta näkökulmasta katsottuna, kaupungeissa joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen edistäminen tuottaa tehokkaampia päästövähennyksiä kuin maaseudulla, jossa vaihtoehtoisia liikkumismuotoja on vähemmän ja pääpaino tulee olla polttoainetehokkuuden ja käyttövoimien uudistamisessa (Palanne & Sahari, 2021; Sahari & Palanne, 2021).

Polttoaineverotuksen kiristys on ohjauskeinona yksinkertainen toteuttaa, mutta sen hyväksyttävyyden on heikko ja huolia on esitetty sen oikeudenmukaisuudesta. Polttoaineverot kohdistuvat enemmän korkeatuloisiin, joilla on yleisemmin auto, mutta vain autoilijoita tarkasteltaessa verojen vaikutus on regressiivinen (Palanne, 2025). Autokannan sähköistyminen voi tulevaisuudessa lisätä paineita muuttaa autoilun verotusta käyttöpohjaisemmaksi esimerkiksi kilometriversolla.

Ilmastopaneeli on arvioinut liikenteessä vaadittavia muutoksia osana taakanjakosektorin tavoitteisiin pääsemistä. Keskeisenä skenaarioissa on jakeluelvoitteen palauttaminen aiemmalle uralle (Sepälä ym., 2024). Jakeluelvoitteeseen kohdistuu pieniä muutostarpeita RED III -direktiivistä ja merkittävimmät niistä ovat RFNBO-polttoaineille (renewable fuels of non-biological origin) asetettava vähimmäisosuusvelvoite ja julkisesti ladatulle uusiutuvalle liikennesähkölle tuleva hyvitysjärjestelmä.

3.4.3 Tieliikenteen ohjauksen arviointi

Olemme tieliikenteen osalta valinneet viisi keskeistä ohjauskeinoa tai muutosta käytössä oleviin ohjauskeinoihin. Ne ovat jakeluelvoitteen muutoksena joustomekanismin poisto tai tarkempi rajausta, laatusinfrastruktuurin tukeminen, raskaan liikenteen sähköistymisen hankintatuki, autoille varattavan tilan rajoittaminen (parkkipaikat, katujen rajaaminen joukkoliikenteelle tai kävelykaduiksi jne.) ja

ruuhkamaksut. Jakeluelvoitteen muutokset linkittyvät myös latausinfrastruktuuriin ja raskaan liikenteen sähköistymiseen (Sipilä ym., 2023).

Ohjauksen olisi tärkeää olla ennakoitavissa ja pitkäjänteistä, tällöin yritykset ja kuluttajat uskaltavat investoida uusiin teknologioihin ja ratkaisuihin. Esimerkiksi uuteen kalustoon investointi vaatii yritykselle näkemystä pidemmällä aikajänteellä vaihtoehtojen kustannuksista. Kokonaisuutena tieliikenteessä ohjauskeinoissa tartutaan alkuvaiheessa olevien teknologioiden ja ratkaisujen vauhdittamiseen (raskas liikenne ja sähköistyminen) sekä poistuvan teknologian tai haitallisten toimien vähentämiseen nopeammin (autoilun vähentäminen, fossiilisista pois siirtyminen). Ohjauskeinoista tehdyt nostot ja niiden arviot on kuvattu taulukossa 8.

Ilmastopaneelin arvio (Seppälä ym., 2024) nosti esiin jakeluelvoitteen, raskaan liikenteen sähköistymisen ja latausinfrastruktuurin tuet ja julkisen liikenteen sekä pyöräilyn ja kävelyn tuen jatkamisen keskeisinä ohjauskeinoina. Jakeluelvoitteeseen tehtävät muutokset olisivatkin isoin yksittäinen ohjauskeino halutun päästökehityksen varmistamiseksi. Talousvaikutukset ja tulonjaolliset vaikutukset riippuvat tehtävistä muutoksista velvoitteisiin. Sipilä ym. (2023) on arvioinut jakeluelvoitejärjestelmän muutosta RED III direktiivimuutoksesta johtuen ja arvion mukaan jakeluelvoitteen nosto ei suoraan vaikuta valtion talouteen ja kuluttajien ja yritysten talouskuorma riippuu yksityiskohdista. Tasoa epäsuorasti nostavat toimet olisivat esimerkiksi Ilmastopaneelinkin (Seppälä ym., 2024) esittämä erillistan kattavien biopolttoaineidenpoisto jakeluelvoitteesta sekä joustomekanismin poisto tai tarkempi rajoitus mekanismiin hyväksyttävistä toimista.

Tieliikenteen sähköistymistä ja latausinfrastruktuurin laajentamista voitaisiin edistää jatkamalla julkisen latausinfrastruktuurin tukea ja latauspisteavustusta taloyhtiöille. Energia- ja ilmastostrategian (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2025) mukaan näillä toimilla säästettäisiin 0,02 ja 0,11 MtCO₂e taakanjakosektorilla 2030. Raskaan liikenteen sähköistymisen tukemisessa olisi latausinfrastruktuurin tukemisella selkeä rooli edelleen. Lisäksi vähäpäästöisten kuorma-autojen hankintatukia tulisi jatkaa kuten Ilmastopaneeli (Seppälä ym., 2024) ehdottaa ja keskittää ne raskaille ajoneuvoyhdistelmille. Näiden lisäksi raskaan kaluston osalta on hyvä suunnitella muita infrastruktuuriin ja tukeviin rakenteisiin kohdistuvia toimia, esimerkiksi sähkönsiirtoverkkoon, datan hyödyntämiseen sekä koko logistiikkaketjun sähköistämiseen.

Kulutusmuutoksen ohjauskeinoista julkisen liikenteen lippujen hintojen alentamisen on havaittu vähentävän ajokilometrejä, mutta olevan myöskin kallis päästövähennyskeino (Palanne, 2025). Ruuhkamaksujen ja autoilun rajoitusten on havaittu olevan tehokkaita ohjauskeinoja Euroopassa aiemmissa tutkimuksissa (Kuss & Nicholas, 2022). Vähentämällä parkkeeraukseen varattua tilaa ja rajoittamalla tiettyjä alueita vain julkiselle ja kevyelle liikenteelle vapautetaan tilaa rakentamiselle ja kannustetaan kulkutapojen muutokseen.

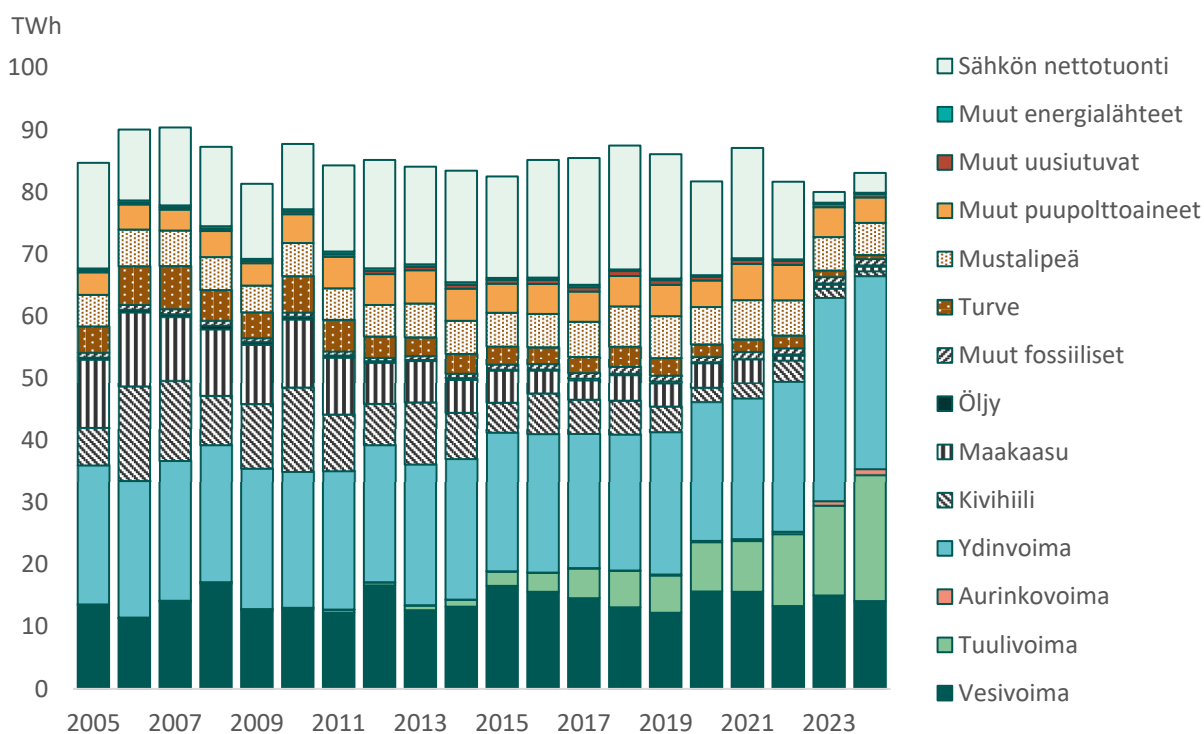
Taulukko 8. Tieliikenteen ohjauskeinojen arviointi

Ohjauskeino	Vaikuttavuus tavoitteisiin				Taloudelliset vaikutukset				Oikeudenmukaisuus	Toteutettavuus
	Ilmasto	Ohjaa pois fossiilisista	Energiajärj. resilienssi	Muu ympäristökuormitus	Kuluttajat	Yritykset	Valtio	Kokonais-talous		
Jakeluvuorituksen tason nosto suoraan tai epäsuorilla toimilla	++	+	+	+	-	-	0	-	Tulonjaollinen ja alueellinen tasapuolisuus huomioitava	Helppo
Sähköistymisen ja latausinfrastruktuurin tuki	++	+	+	++	+	+	-	+	Tulonjaollinen ja alueellinen tasapuolisuus huomioitava	Helppo
Raskaan liikenteen sähkökäyttöisten ajoneuvojen hankintatuet	++	+	+	++	+	+	-	+	Kohdistuu investointiin yrityksiin	Helppo
Liikenne- ja aluesuunnittelu: Autoille varatun tilan rajaaminen	+	+	+	++	0	-	-	-	Alueellisten erojen huomiointi	Kohtalainen
Kulutusajon muutokseen ohjaus: ruuhkamaksut	+	+	0	+	-	-	+	+	Tulonjaollinen kohtuullisuus	Kohtalainen

3.5 Sähkön tuotanto ja käyttö

3.5.1 Nykytila sähkön tuotannon ja käytön ohjauksessa

Sähköntuotanto Suomessa on puhdistunut 2000-luvulla nopeasti. Myönteinen kehitys on pääosin kasvaneen tuuli- ja ydinvoimatuotannon sekä lämmön ja sähkön yhteistuotannossa lisääntyneen puun käytön kasvun seurausta (kuva 16) (Tilastokeskus 2026d). Vastaavasti päästöintensiivisten fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käyttö on pienentynyt merkittävästi. Vuonna 2024 kotimaisen sähkön tuotannon päästökerroin oli 30,5 gCO₂e/kWh (Tilastokeskus 2026d). On myös huomattava, että Suomeen tuodun sähkön määrä on pienentynyt selvästi ja tuonti tapahtuu valtaosin Ruotsista, jossa sähköntuotanto on myös hyvin puhdasta. Vastaavasti Venäjältä tuodun korkeapäästöisen sähkön tuonti on loppunut ja vientiä kohdistuu Suomea keskimäärin korkeampi päästöiseen Viroon. Sähkön tuotantoa, käyttöä ja siirtoa ohjataan sääntelyn ja taloudellisin ohjaukskeinoin.



Kuva 16. Suomen sähköntuotannon energialähteet vuosina 2005–2024 (Tilastokeskus 2026d). Kuva osoittaa, että sähköntuotannon energialähdejakauma on muuttunut vähäpäästöisemmäksi, eli fossiilisten polttoaineiden määrä on pienentynyt, kun uusiutuvien ja ydinenergian määrä on kasvanut.

Energiaveroja kannetaan liikenne-, lämmitys- ja voimalaitospolttoaineista ja sähköstä⁶. Sähköntuotannon näkökulmasta keskeistä on se, että energiaverotus kohdistuu pääosin energian loppukäyttöön ja polttoaineisiin, mutta sähköntuotannossa käytettävistä polttoaineista ei kanneta energiaveroa. Myös yhteistuotannossa sähkön tuotantoon käytettyjen polttoaineiden laskennallinen osa käsitellään tässä

⁶ Nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta annettu laki (1472/1994) <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/1994/1472> sekä sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta annettu laki (1260/1996) <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/1996/1260>.

mielessä samalla periaatteella. Siksi sähköntuotannon päästöjen hintaohjaus ei rakennu kansallisen energiaverotuksen varaan, vaan se määräytyy pääosin muiden mekanismien kautta. Koska sähköntuotanto kuuluu EU:n päästökauppaan, on se käytännössä keskeisin sähkön tuotannon kasvihuonekaasupäästöjä ohjaava instrumentti.

Sähkön käytöstä sen sijaan peritään sähkön valmistevero, eli sähkövero, joka koostuu kulutukseen perustuvasta energiaverosta ja huoltovarmuusmaksusta. Verotuksessa on kaksi luokkaa, joista korkeamman verotuksen piiriin luetaan muun muassa kotitaloudet, julkinen sektori, maataloussektori sekä palvelutoiminnot. Alempaan veroluokkaan kuuluvat (tilanne 1.2.2026) teollisuus, ammattimainen kasvihuoneviljely, hukkalämpöä hyödyntävät energiatehokkaat vähintään 0,5 megawatin konesalit, kaukolämpöverkkoon lämpöä tuottavat lämpöpumput ja sähkökattilat sekä sellaiset kaukolämpöverkon ulkopuoliset lämpöpumput, joiden lämpöteho on vähintään 0,5 megawattia. Alempiin veroluokkiin kuuluvien toimintojen verotuen arvoksi on arvioitu 888 miljoonaa euroa vuonna 2026 (VM, 2025).

Tukipolitiikassa Suomen sähköntuotannon kannalta keskeinen kehikko oli pitkään uusiutuvan sähkön tuotantotuen sääntely. Suomessa on ollut käytössä syöttötariffijärjestelmä⁷, joka on kuitenkin uusilta hankkeilta suljettu. Syöttötariffijärjestelmän tilalle säädettiin kilpailutukseen perustuva preemiojärjestelmä⁸, jossa tukea maksetaan määräaikaisesti tarjouskilpailussa menestyneille hankkeille, ja tukitaso määräytyi tarjousten perusteella. Käytännössä vuoden 2018 kilpailutus on ollut järjestelmän keskeinen toteutus, ja tukea maksetaan voittaneille hankkeille 12 vuoden ajan.

Vaihtelevan uusiutuvan tuotannon (maatuulivoima, aurinkoenergia) markkinaehtoinen kustannuskilpailukyky on Suomessa jo saavutettu, sillä investointipäätökset syntyvät ilman suoraa tuotantotukea ja kapasiteetti kasvaa nopeasti. Olkiluoto 3 on lisännyt hiilivapaata peruskuormaa ja parantanut huoltovarmuutta, mutta pitkän aikavälin investointivarmuus ydinvoimaan (myös pienydinvoimaan) on epävarma ilman riskinjaon instrumentteja. Tuulivoimatuotanto sijoittuu maantieteellisesti kauas kulutuksesta pohjoiseen, kun taas suurin kuorma on etelässä. Kasvava vaihtelevuus lisää jouston ja varastoinnin tarvetta, ja ilman niitä joudutaan rajoittamaan hiilivapaan tuotannon järjestelmään integrointia tai ylläpitämään fossiilisäädettävää kapasiteettia varalla.

Sähkön käyttöön liittyen keskeistä on kulutuksen ajallinen ohjaus. Tuntihinnoitellut vähittäissopimukset ovat yleistyneet, joten kuluttajilla ja yrityksillä on periaatteessa kannustin siirtää kuormaa. Käytännössä joustojen aktivointi automaatioiden kautta on heikkoa, sillä lämmitys, lämminvesivaraajat, jäähdytys, kylmäketjut ja sähköautojen lataus eivät riittävästi reagoi hinta- ja järjestelmäsignaaleihin ilman ulkopuolisen toimijan tarjoamaa ohjausta. Energiatodistukset ja säädökset eivät palkitse huipputehon leikkausta tai automaatioastetta, vaikka juuri niillä on suuri arvo järjestelmän päästö- ja kustannuskehitykselle. Sähköistyminen lisää joustopotentiaalia, mutta ohjaus jää usein kiinteistötason sovelusten varaan. Sähkösopimuksissa oletusarvoisena sopimustyyppinä esitetään kiinteähintaisia sopimuksia.

Suomessa on käytössä myös suoraa sääntelyohjausta, josta sähköjärjestelmän kannalta keskeisin on sähkömarkkinalaki⁹. Sähkön tuotantoon liittyvää lisäsääntelyä on erillisissä laissa, joista esimerkkinä laki hiilen energiakäytön kieltämisestä¹⁰, jonka mukaisesti kivihiilen käyttäminen sähkön tai lämmön tuotannon polttoaineena on kielletty 1.5.2029 alkaen. Kuvan 16 mukaisesti kivihiilen käyttö on jo vuonna 2024 lähes kokonaan loppunut. Tuuli- ja aurinkovoimarakentamista koskevaa sääntelyä uudistetaan vuoden 2026 alussa annettavalla esityksellä alueidenkäyttölaista. Merituulivoimatuotantoa

⁷ Laki uusiutuville energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta (1396/2010) <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2010/1396>.

⁸ Laki uusiutuville energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta annetun lain muuttamisesta (441/2018) <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2018/441>.

⁹ Sähkömarkkinalaki (588/2013) <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2013/588>.

¹⁰ Laki hiilen energiakäytön kieltämisestä (416/2019) <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2019/416>.

pyritään edistämään kilpailuttamalla Suomen talousvyöhykkeen merituulivoima-alueet, ja ensimmäinen kilpailutus pyritään toteuttamaan vuonna 2026.

Sähkömarkkinalain mukaisesti kantaverkkoa on suunniteltava ja rakennettava siten, että verkon siirtokapasiteetti riittää säilyttämään yhtenäisen sähkökaupan tarjousalueen. Tämän seurauksena kantaverkkoon investoidaan paljon, mutta pullonkauloja syntyy, kun tuotanto ja kulutus ovat kaukana toisistaan. Liityntäjonot ja lupaprosessit hidastavat sekä tuotantoa että isoa kulutusta (teollisuus, datakeskukset). Siirtoruuhat syntyvät paikallisesti, jolloin hiilivapaan tuotannon liittäminen ja jouston hyödyntäminen vaikeutuvat. Suomi on yhtenä tarjousalueena, mikä on toistaiseksi toiminut, mutta kasvava vastakauppojen määrä voi nostaa tarjousaluekysymyksen uudelleen esiin. Kantaverkon rinnalla alueellisilla jakeluverkoilla on velvollisuus kehittää verkkojaan kohtuullisten tarpeiden mukaisesti, mutta liityntähaasteita on myös jakeluverkkojen tasolla.

Tuotantotukien lisäksi investointeihin vaikutetaan energiatuella ja muilla puhtaan siirtymän investointituilla, joita myönnetään harkinnanvaraisesti investointi- ja selvityshankkeisiin. Painotus on tyypillisesti uuden teknologian, demonstraatioiden, energiatehokkuuden ja vähähiilisyyttä edistävien ratkaisujen puolella, eikä tavanomainen markkinaehtoinen tuotantoinvestointi yleensä kuulu tuen piiriin samalla tavalla kuin uudet teknologiat tai erityistapaukset. Vuoden 2026 energia- ja ilmastostrategiassa teollisuus- ja energiapolittisesti merkittävälle energiaan liittyville suurille demonstraatiohankkeille varataan 200 miljoonan euron myöntövaltuus vuosille 2026–2029 (50 miljoonaa euroa vuodessa) (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2026).

3.5.2 Sähkön tuotannon ja käytön ohjauksen kehittäminen

Keskeisin sähköjärjestelmää koskeva ongelma liittyy säätökykyisen tuotantokapasiteetin riittävyyteen vaihtelevan tuotannon kasvaessa. Riittävän joustavuuden puuttumisen seurauksena on kasvava sähkön hinnan vaihtelu, jolta suojautumiseen sähkön käyttäjäryhmillä on erilaiset mahdollisuudet. Samanaikaisesti siirto- ja jakeluverkkojen ylläpitokustannusten kattamisessa ja oikeudenmukaisessa kohdentamisessa on haasteita. Kehityksessä korostuvat investoinnit uusiin joustolähteisiin, jota voidaan edistää uusilla markkinamekanismeilla, investointituilla tai velvoittavalla sääntelyllä. Käytännön politiikkatoimet painottuvatkin usein juuri velvoitteisiin, luvituksen ja liittymisen sääntöihin sekä verkon investointikyvyn varmistamiseen, eivät niinkään suoraan vero- tai tariffipohjaiseen hintaohjaukseen.

Ongelmaan erilaisia ratkaisuja ovat esittäneet muun muassa Huuki ym. (2024). Kannustinta pitkän aikavälin investointeihin voidaan lisätä nostamalla markkinoiden hintakattoa. Hintakaton korotus voi kuitenkin johtaa tilanteeseen, jossa kuluttajat eivät valitse vaihtuvahintaisia sähkösopimuksia ja menetetään kotitalouksien potentiaalista kulutusjoustoja. Toisaalta voidaan hyväksyä kiertävät sähkökatkot, joihin varautumismahdollisuudet vaihtelevat kuitenkin merkittävästi muun muassa tulotason ja asumistyyppin mukaan.

Kapasiteettimarkkinalla voidaan ylläpitää markkinaehtoisesti markkinoilta poistuvaa tuotantokapasiteettia. Tuotantoresurssit ylläpitäville toimijoille maksetaan sovittu kompensatio, vaikka ne eivät tuottaisi lainkaan sähköenergiaa. Kapasiteetti voidaan hankkia markkinoilta eri tavoin, kuten huutokauppamekanismeilla, strategisena reservinä tai toimitusvarmuusoptiona. Vähittäismyyjille voidaan asettaa velvoite suojata tietty osuus asiakassalkun huipputehosta pitkäaikaisilla sopimuksilla, varasto-/joustosopimuksilla tai omalla tuotannolla. Keskusjohtoiset mekanismit voivat kuitenkin johtaa sähkön kuluttajille koituihin ylimääräisiin kustannuksiin, mikäli sähköpulan riskin korostaminen johtaa yliinvestointeihin. Tämän välttämiseksi ehdotettu vakuutus pohjaista mallia, jossa vakuuttaja kantaa kustannusvastuun kuluttajille aiheutuvista kiertävistä sähkökatkoista. Mallissa vakuutusnottaja voi määrittää itselleen soveltuvan toimitusvarmuustason.

Pitkäaikaiset sähkönostosopimukset (PPA) takaavat tuottajalle riittävän hintatason, jolla investointi on kannattava. Sopimusten pitkäkestoisuuteen liittyy kuitenkin merkittävä vastapuoliriski, jossa sopimuksen toinen osapuoli ei kykene täyttämään sopimuksen mukaisia velvoitteitaan. Erääksi ratkaisuksi on esitetty tuottajan ja regulaattorin hinnanosopimuksia (Contract for Difference, CfD) (Schlecht ym., 2024). CfD on sähkömarkkinoilla laajemmin sovellettavaksi esitetty tukimekanismi, jossa investoijalle taataan ennalta sovittu hintataso (strike price) tietyille tuotannolle tai tuotteelle, jolloin markkinahintariski pienenee ja rahoitettavuus paranee. Kun markkinahinta jää alle sovittuun hintatasoon, julkinen toimija maksaa erotuksen. Kun markkinahinta nousee sovittuun hintatasoon yli, tuottaja maksaa erotuksen takaisin. Tämän ”kaksisuuntaisen” rakenteen ansiosta tuki kohdistuu tuotantoon vain silloin, kun sitä tarvitaan, ja toisaalta ylituottoja leikataan silloin, kun markkinahinta on korkea. Säästökykyiselle sähköntuotannolle voitaisiin suunnata CfD:n tyyppistä mekanismia, jossa valtio jakaa rajatusti hintariskiä vastineeksi kuluttajasuojasta äärihintatilanteissa. Tuki on rajattava kilpailuttamalla hankkeet, asettamalla kustannuskatot ja vaatimalla selkeää päästö- ja toimitusvarmuushyötyä.

Energia- ja ilmastostrategiassa (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2026) on linjattu useita toimia, joilla vahvistetaan sekä tarjonta- että kysyntäpuolen joustoja ja parannetaan markkinoiden toimivuutta. Datakeskuksia voidaan kannustaa palvelemaan sähköjärjestelmää aktiivisemmin tukimallilla, jossa tuen ehdonä voi olla joustojen tarjoaminen markkinoille tai uuden tuotantokapasiteetin lisääminen. Vesivoiman säästökyky turvataan säilyttämällä olemassa olevan vesivoiman toimintaedellytykset ja ohjaamalla mahdollinen lisärakentaminen ensisijaisesti jo valjastettuihin vesistöihin. Pumppuvesivoimahankkeita edistetään linjaamalla ne yleisen edun mukaisiksi, sisällyttämällä ne kapasiteettimekanismiin ja vauhdittamalla luvitusta, sekä selvittämällä määräaikaista kiinteistöveroluokituksen keventämistä tehoa lisääville hankkeille.

Sähkönsiirtoinfran ohjaukseen ei ole esitetty merkittäviä muutoksia, vaan se perustuu edelleen verkonhaltijoiden velvollisuuteen kehittää verkkoja ja liittää verkkoon uudet kulutus-, tuotanto- ja varastointikohteet. Tavoitteena on edelleen säilyttää Suomi yhtenä sähkökaupan tarjousalueena ja turvata kantaverkon riittävä investointikyky, jotta siirron pullonkaulat eivät muodostu sähköistymisen esteeksi. Kantaverkon kehittämiseen on osoitettu lisärahoitusta pullonkaulojen poistamiseksi. Toisaalta tarjousalueiden jaolla voitaisiin tuoda näkyviin verkon rajoitteet ja ohjata hintaeroilla tuotanto- ja kulutuskohteiden sijoittelua (ks. esim. Karhinen & Huuki, 2021). Energia- ja ilmastostrategian linjausten mukaisesti tuotantoa ja kulutusta pyritään ohjaamaan sijoittumaan tarkoituksenmukaisesti sekä vahvistamaan toimitusvarmuutta kehittämällä rajasiirtotyhteyksiä ja selkeyttämällä myös merialueiden hankkeiden edellytyksiä.

Kulutusjouston hyödyntämistä tehostetaan valmistelemalla itsenäisen aggregaattorin markkinamalli, määrittelemällä kuormanohjausrajapinta lainsäädäntöön (toisen sukupolven sähkömittareiden kuormanohjaus) ja vahvistamalla kuluttajansuojaa kohtuullisella korvauksella ennenaikaisesta sopimuksen irtisanomisesta. Hintakriiseihin varaudutaan säätämällä määräaikaaisesta hintakatosta ja lyhytaikaisesti kulutukseen vaikuttavasta huipunrajaustuotteesta sekä toteuttamalla energiayhteisöt mahdollistava lainsäädäntö.

3.5.3 Sähkön tuotannon ja käytön ohjauksen arviointi

Kuten edellä mainittu, uusiutuvan sähkön tuotanto on tällä hetkellä markkinaehtoisesti kannattavaa, eikä sen tukemiselle ole perusteita. Tällä hetkellä keskeisin haaste liittyy säävarman perusvoiman riittävyyden tilanteissa, jolloin säästä riippuvaa vaihtelevaa tuotantoa ei ole saatavilla. Tämän vuoksi

tulisi kehittää ohjausta joustokäytön tuotantokapasiteetin tai kulutusjoustojen aktivoimiseksi sähkömarkkinoilla. Taulukossa 9 on nostettu esiin kaksi joustoja edistämisen ohjauksena.

Kilpailutettu investointivarmuus fossiilittomalle joustolle voidaan toteuttaa teknologianeutraalina siten, että sillä hankitaan sähköjärjestelmään toimitusvarmaa joustoa laajasti tuotanto- ja kysyntäpuolelta, sekä varastoinnista. Tällöin ohjaus kohdistuu ensisijaisesti siihen, että markkinoille syntyy riittävästi säästä riippumatonta säätö- ja varakapasiteettia sekä joustoresursseja tilanteisiin, joissa energiamarkkinan hintasignaalit eivät yksin riitä synnyttämään investointeja. Mekanismin vaikuttavuus riippuu siitä, miten jousto määritellään hankinnan kohteena. Olennaista on asettaa selkeät vaatimukset resurssin käytettävyydelle, vasteajalle ja keston riittävydelle sekä varmistaa, että todentaminen ja sanktiot ohjaavat tarjoamaan aidosti toimitusvarmaa kapasiteettia. Jotta kilpailutus ei ohjaa vinoutuneesti vain tiettyihin ratkaisuihin, kelpoisuusehtojen ja mittauskäytäntöjen tulee olla sellaisia, että myös kysyntäpuolen jousto ja hajautetut resurssit voivat osallistua tasapuolisesti. Samalla hankintamäärät ja kustannusten jakautuminen on sidottava läpinäkyviin järjestelmäriittävyyden arvioihin, jotta vältetään sähköpulan riskin ylikorostamisesta seuraavat yli-investoinnit ja tarpeettomat kustannukset kuluttajille.

Mekanismin ilmastovaikutus ja kyky ohjata pois fossiilisista on myönteinen, jos hankinta kohdistetaan aidosti fossiilittomiin joustoresursseihin ja se korvaa fossiilista huippu- ja varavoimaa. Resilienssi paranee, koska kilpailutuksella varmistetaan käytettävissä olevaa tehoa ja joustoa poikkeustilanteisiin ja kulutushuippuihin. Ympäristökuormituksen nettovaikutus riippuu valikoituvista ratkaisuista ja niille asetettavista kriteereistä. Kuluttajille vaikutus on kaksijakoinen, sillä kustannuksia voi syntyä, mutta vastineeksi hintapiikkien ja katkosten riskit pienenevät. Yrityksille vaikutus on myönteinen toimitusvarmuuden ja ennakoitavuuden parantuessa, kun taas valtiolle vaikutus liittyy hallinnointiin ja mahdolliseen riskinjakoon. Kokonaistaloudessa hyödyt syntyvät sähköistymisen ja investointien edellytysten paranemisesta, mutta ne heikkenevät, jos hankinta ylimitoitetaan. Oikeudenmukaisuus riippuu kustannusten ja hyötyjen kohdentumisesta sekä siitä, ovatko osallistumisehdot aidosti avoimia myös kulutusjoustoille ja hajautetuille toimijoille. Toteutettavuus on kohtalainen ja se edellyttää selkeää määrittelyä, todentamista ja kustannusten hallintaa.

Taulukko 9. Sähkön tuotannon ja käytön ohjaukskeinojen arviointi

Ohjaukskeino	Vaikuttavuus tavoitteisiin				Taloudelliset vaikutukset				Oikeudenmukaisuus	Toteutettavuus
	Ilmasto	Ohjaa pois fossiilisista	Energiajärj. resilienssi	Muu ympäristökuormitus	Kuluttajat	Yritykset	Valtio	Kokonaistalous		
Kilpailutettu investointituki tai CfD-sopimukset fossiilittomalle joustolle	++	++	++	0	0	++	-	+	Tasapuoliset osallistumisehdot	Kohtalainen
Verkon pullonkaulojen ja liityntäesteiden purku joustoresursseille	+	+	++	0	0	++	-	++	Aiheuttamisperiaatteen mukainen kustannusjako	Kohtalainen

Verkon pullonkaulojen ja liityntäesteiden purku joustoresursseille on olennaista, sillä joustavuus ei realisoitu, jos tuotanto, varastot tai kulutusjousto eivät pääse verkkoon tai jos siirtorajoitteet estävät niiden käytön silloin kun joustolle on tarvetta. Tämän vuoksi toinen keskeinen ohjaukskeino on kohdistaa infrastruktuuri- ja menettelyohjausta pullonkaulojen poistamiseen ja liityntöjen sujuvoittamiseen.

Käytännössä tämä tarkoittaa investointien ennakoitavuutta ja toteutuskykyä, lupaprosessien toimitavuutta sekä liittämisen pelisääntöjä, jotka mahdollistavat joustoressurssien käyttöönoton kustannustehokkaasti ja oikea-aikaisesti. Vaikutus näkyy sekä järjestelmän resilienssin paranemisena että hintavaihtelun hallittavuutena.

Verkon pullonkaulojen ja liityntäesteiden purku tukee ilmastotavoitteita ja ohjaa pois fossiilisista ennen kaikkea mahdollistamalla päästöttömän tuotannon, varastojen ja kulutusjouston kytkemisen ja hyödyntämisen täysimääräisemmin, mikä vähentää tarvetta fossiiliselle varavoimalle erityisesti huippu- ja häiriötilanteissa. Resilienssi paranee, kun siirtorajoitteet ja liityntäviiveet vähenevät ja joustoressurssia voidaan käyttää siellä, missä niille on järjestelmässä tarvetta. Ympäristökuormituksen nettovaikutus on tapauskohtainen, koska verkon vahvistamiseen voi liittyä paikallisia ympäristö- ja maankäyttövaikutuksia. Kuluttajille vaikutus on kaksijakoinen, sillä investoinnit voivat näkyä siirtokustannuksissa, mutta vastineeksi pullonkauloista johtuvat hintapiikit ja toimitusvarmuusongelmat vähenevät. Yrityksille vaikutus on myönteinen, koska liityntöjen ennakoitavuus ja investointien toteutusvarmuus paranevat. Valtiolle vaikutus liittyy lupaprosessien resursointiin ja ohjaukseen, mutta samalla toimet mahdollistavat sähköistymisen ja teolliset investoinnit. Kokonaistaloudessa hyödyt syntyvät pullonkaulojen poistumisesta, investointien nopeutumisesta ja järjestelmän tehottomuuksien vähenemisestä.

Oikeudenmukaisuus riippuu kuitenkin siitä, miten kustannukset ja hyödyt jakautuvat alueellisesti ja eri käyttäjäryhmien välillä. Jos verkon vahvistamiskustannukset sosialisoidaan laajasti, mutta hyödyt kohdistuvat pääosin tietyille hankkeille tai alueille, voi kustannustenjako muodostua epätasapainoiseksi. Oikeudenmukaisuutta parantaa se, että liityntäkustannukset ja tariffirakenteet kohdistuvat mahdollisimman läpinäkyvästi investointitarpeen aiheuttajille ja hyötyjille. Toteutettavuus on teknisesti selkeä, mutta käytännössä sitä rajaavat luvitus, paikallinen hyväksyttävyyys, verkkoyhtiöiden investointikyky sekä liityntäehtojen ennakoitavuus.

3.6 Kaukolämmön tuotanto ja käyttö

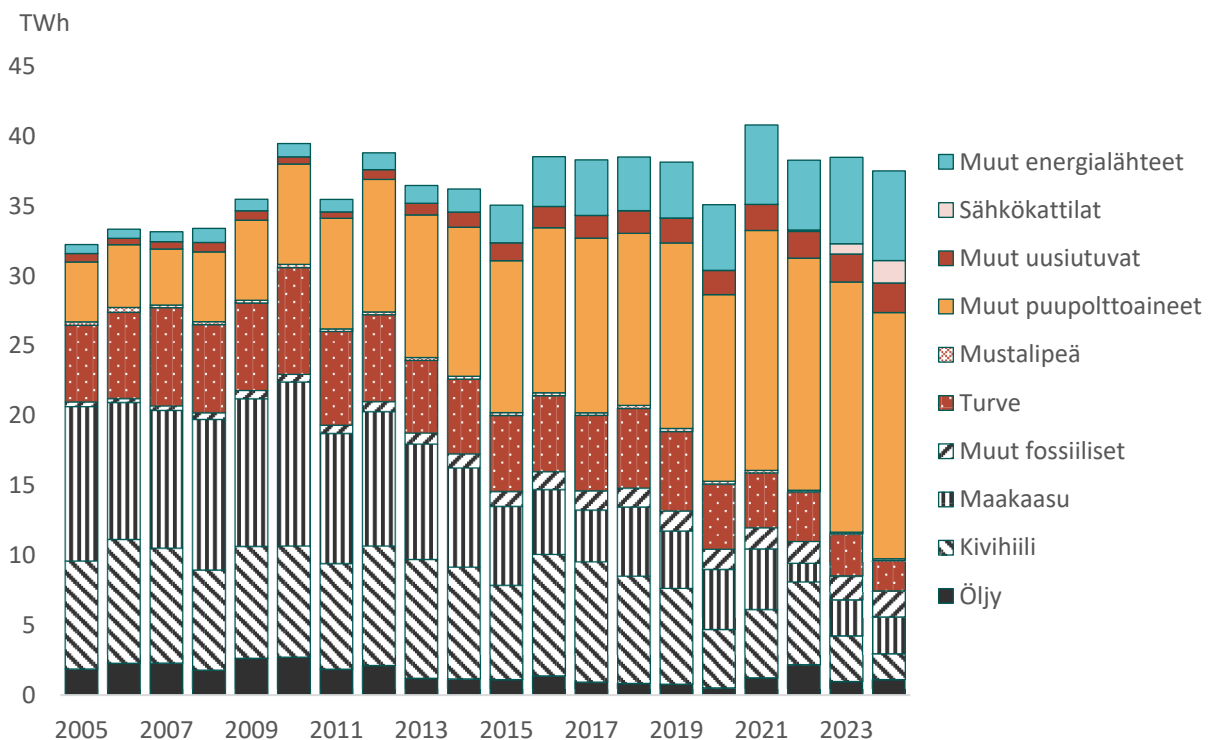
3.6.1 Nykytila kaukolämmön tuotannon ja käytön ohjauksessa

Kaukolämmön tuotannon kasvihuonekaasupäästöt ovat laskeneet 56,5 % vuodesta 2005 vuoteen 2024 mennessä (Syke 2026). Merkittävin tekijä päästöjen vähenemisessä on hiilidioksidin osalta energiasektorilla nollapäästöiseksi laskettavien puupolttoaineiden käytön kasvu (kuva 17) (Tilastokeskus 2026d). Vastaavasti kivihiilen ja maakaasun käyttö ovat laskeneet. Lämpöpumppujen, lämmön talteenoton hyödyntäminen savukaasupesurein ja sähkökattiloiden käytön kasvu ovat myös laskeneet päästötasoa. Tulevina vuosina kaukolämmön tuotanto sähkökattiloilla ja hukkalämpöjen käyttö tulevat kasvamaan edelleen, mikä vähentää polttoon perustuvan tuotannon tarvetta. Sähkökattiloiden sekä hukka- ja ympäristölämpöjen kautta kaukolämmön tuotanto kytkeytyy entistä vahvemmin sähköjärjestelmään, lisäten mahdollisesti uusia jouston lähteitä ja tarpeita.

Kaukolämmön tuotannon kasvihuonekaasupäästöjen ohjaus Suomessa perustuu ensisijaisesti EU:n päästökauppaan ja kansalliseen sähkö- ja energiaverotukseen, joita täydentävät teknologioihin kohdistuva sääntely, investointituet sekä päästöjen tarkkailu- ja raportointivelvoitteet. Ohjaus kohdistuu käytännössä polttoainevalintoihin, tuotantorakenteeseen (erillinen lämmöntuotanto vs. yhteistuotanto), sekä investointeihin, joilla korvataan polttamiseen perustuvaa tuotantoa sähköistyvillä sekä hukka- ja ympäristölämpöä hyödyntävillä ratkaisuilla.

EU:n päästökauppa muodostaa kaukolämmön suurimpien tuotantoyksiköiden keskeisen hiilidioksidipäästöjen hinnoittelumekanismiin. EU ETS koskee lähtökohtaisesti suuria teollisuus- ja polttolaitoksia, ja Suomessa järjestelmän soveltamisala kattaa laajasti myös kaukolämmön tuotantoa. Kansallisessa toimeenpanossa päästökaupan piiriin on sisällytetty myös osa sellaisista kaukolämpölaitoksista, joiden lämpöteho jää 20 MW:n rajan alapuolelle. Päästökaupassa päästöille asetetaan päästökatto, ja päästöoikeuden markkinahinta siirtyy fossiilisia polttoaineita käyttävän lämmöntuotannon (sekä CHP-tuotannon) muuttuviin kustannuksiin, mikä heikentää päästointensiivisten polttoaineiden kilpailukykyä ja vahvistaa vähäpäästöisten tuotantomuotojen asemaa.

Energiaverotus ohjaa kaukolämmön päästöjä erityisesti niissä tapauksissa, joissa tuotanto ei kuulu päästökaupan piiriin. Energiaverotuksen rakenne (energiasisältöön ja hiilidioksidipäästöihin perustuvat verokomponentit sekä huoltovarmuusmaksu)¹¹ muodostaa kustannuseroja polttoaineiden välille ja siten ohjaa pois korkeapäästöisistä polttoaineista. Päästökaupan ja energiaverotuksen ohella on säädetty kivihiilen käyttöä pakottavaa sääntelyä, jonka mukaisesti kivihiilen energiakäyttö on kielletty vuodesta 2029¹². Tämä pakottaa kaukolämpöyhtiöt korvaamaan kivihiilen lämpöpumpuilla, hukkalämmöllä, biopolttoaineilla, sähkökattiloilla sekä energiavarastoilla, mikä käytännössä nopeuttaa polttoon perustuvan tuotannon väistymistä suurissa verkoissa.



Kuva 17. Kaukolämmön tuotannon lämmönlähdejakauma vuosina 2005–2024 (Tilastokeskus 2026d). Kuva osoittaa, että fossiilisia polttoaineita ja turvetta on korvattu puupolttoaineilla, hukkalämpöjen talteenotolla sekä sähkökattiloilla.

Sähköveroa on laskettu teollisuudessa ja tietyissä lämmön tuotannon käyttökohteissa. Suurten lämpöpumppujen, sähkökattiloiden ja geotermisten kiertopumppujen käyttämä sähkö voi kuulua alempaan sähköveroluokkaan II, mikä parantaa sähköistämisen kannattavuutta kaukolämmössä. Sähköverotus

¹¹ Nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta annettu laki (1472/1994) <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/1994/1472> sekä sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta annettu laki (1260/1996) <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/1996/1260>.

¹² Laki hiilen energiakäytön kieltämisestä (416/2019) <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2019/416>.

kytkeytyy olennaisesti myös hukkalämpöjen hyödyntämismahdollisuuksiin. Datakeskusten osalta hukkalämpöjen ohjausympäristö kuitenkin kiristyy, kun konesalien sähköverotuki poistetaan¹³ siirtämällä ne vuonna 2026 veroluokasta II veroluokkaan I, mikä voi heikentää investointikannusteita ja siten myös hukkalämmön tarjontaa. Vuonna 2026 verotuen arvoksi on arvioitu 23 miljoonaa euroa (VM, 2025). Uusiutuvan energian direktiivin (RED III)¹⁴ ja energiatehokkuusdirektiivin (EED)¹⁵ päivitykset velvoittavat jäsenmaita lisäämään uusiutuvaa ja hukkalämpöä lämmityksessä sekä kartoittamaan hukkalämpöpotentiaalit ja helpottamaan niiden pääsyä kaukolämpöverkkoihin.

Vuoden 2026 alusta Suomessa on yhdistetty luvitusta enemmän yhden luukun taakse uuteen Lupa- ja valvontavirastoon, tavoitteena edistää luvituksen sujuvuutta ja lisätä yhdenmukaisuutta. Kaavoitus säilyy edelleen kuntien vastuulla. Hukkalämpöhankkeille on myös annettu etusijamenettely käsitte-lyssä, kuten myös esimerkiksi vetyhankkeille ja muille vihreän siirtymän hankkeille. Tämä voi auttaa investointeja etenemään nopeammin. Hakijoiden tulee etusijamenettelyyn päästökseen pystyä osoittamaan, että hanke on linjassa ei merkittävää haittaa -periaatteen kanssa¹⁶.

Puupohjaista energiaa tuotetaan puunjalostuksen sivuvirroista (kuori, sahanpuru, sellunvalmistuksen jäteliemet) muotoon ”Puupohjaista energiaa tuotetaan pääsääntöisesti puunjalostuksen sivuvirroista (mm. kuori, sahanpuru, sellunvalmistuksen jäteliemet). Energian kokonaiskulutuksesta on puupolttoaineilla viime vuosina tuotettu yli neljännes. Sellun valmistuksen sivutuotteena syntyvä mustalipeä on Suomessa merkittävin yksittäinen puupolttoaine. Kiinteiden puupolttoaineiden (sivutuote- ja jätepuu sekä metsähake) kokonaismäärä lämpö- ja voimalaitoksilla vuonna 2024 oli yhteensä 22 miljoonaa kuutiometriä, mikä vastaa energiasisällöltään noin 43 terawattituntia. Viimeisen kymmenen vuoden (2015–2024) aikana metsähakkeen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa on ollut noin 8,5 miljoonaa kuutiometriä vuodessa (vastaa noin 17 TWh vuodessa). Lisäksi puupolttoaineiden käyttöön lasketaan puun pienkäyttö eli kotitalouksien ja maatilojen käyttämä polttopuu. Puun pienkäytön suuruudeksi arvioidaan 6,9 miljoonaa kiintokuutiometriä vuodessa. (MMM 2025).

Puupohjaisia polttoaineita (paitsi mäntyöljyä) ei Suomessa tällä hetkellä veroteta lämmityskäytössä (Muilu ym. 2024). Verottomuuden voidaan ajatella juontavan juurensa IPCC:n kirjanpitojärjestelmään, jossa puupolttoaineiden päästöjä ei lasketa hiilidioksidivirtoina energiasektorilla, vaan hiilivaraston muutoksina maankäyttösektorilla. Käytännössä tämä on tarkoittanut sitä, että hiilellä ei ole ollut hintaa puupohjaisissa polttoaineissa, luoden niille merkittävän kilpailuedun hiilihinnoittelun alaisiin fossiilisiin polttoaineisiin. (Soimakallio & Pihlainen 2023). Puupolttoaineiden verottomuus on tunnistettu ympäristölle haitalliseksi tueksi, joka vaikuttaa ilmaston lisäksi myös luonnon monimuotoisuuteen (Pihlainen ym. 2023, Pihlainen ym. 2024). Puupohjaisten polttoaineiden verottomuus on verotuki, jonka suuruus normiverokantaan verrattuna on 440 miljoonaa euroa vuodessa (VM, 2025).

Turpeen energiakäyttöä kaukolämmön tuotannossa ohjataan Suomessa ennen kaikkea EU:n päästökaupan sekä kansallisen valmisteverotuksen kautta. Turpeelle sovelletaan lämmöntuotannossa omaa valmisteveroa, ja lisäksi sääntelyssä on käyttöpaikkakohtainen verottoman käytön raja¹⁷, joka voi heikentää hintaohjauksen vaikuttavuutta etenkin pienemmissä lämpölaitoksissa. Turpeen ohjaukseen liittyy myös lattiahintamekanismi, jossa turpeen verotuksen ja päästöoikeuden hinnan yhteisvaikutukselle asetetaan vähimmäistaso, minkä tavoitteena on estää tilanne, jossa päästöoikeuden hinnan

¹³ Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta annetun lain 2 §:n muuttamisesta (HE 97/2025) <https://www.finlex.fi/fi/hallituksen-esitykset/2025/97>

¹⁴ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/TXT/?uri=CELEX%3A32023L2413>

¹⁵ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/ALL/?uri=CELEX%3A32023L1791>

¹⁶ <https://www.hannessellman.com/news-and-views/blog/one-stop-shop-model-for-environmental-matters-to-be-introduced-at-the-beginning-of-2026-this-is-how-the-permitting-process-will-change/>

¹⁷ Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta (1260/1996) <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/1996/1260>.

laskiessa turpeen käyttö olisi taas taloudellisesti houkuttelevaa. Kokonaisuutena ohjaus on kuitenkin osin epäyhtenäinen, sillä verottomuselementit ja ohjauksen riippuvuus päästöoikeuden hintatasosta voivat jättää turpeelle kilpailukykyä tilanteissa, joissa päästövähennysten tulisi edetä johdonmukaisesti. Turpeelle asetetun normia alempi verokanta ja turpeen verottoman käytön yläraja ovat verotuksia, joiden laskennallinen arvo vuonna 2026 on yhteensä 78 miljoonaa euroa (VM, 2025).

Suomessa jätevero kohdistuu kaatopaikalle toimitettuun jätteeseen, mutta jätteenpolttu ei toisiksi ole energiaverotuksen piirissä. Jätteenpolton verottomuus on myös tunnustettu energiaverotuksen verotuksena, jonka arvo on 32 miljoonaa euroa vuonna 2026 (VM, 2025). Samaan aikaan EU-tasolla jätteenpolttua on kytketty tiukemmin ilmasto-ohjaukseen, minkä puitteissa laitosten tulee tarkkailla ja raportoida päästönsä päästökaupan sääntöjen mukaisesti, ja komissio arvioi toimialan täysimääräistä sisällyttämistä päästökauppaan vuodesta 2028 alkaen (Niemistö ym., 2026).

Lämmönlähdejakauman rakennemuutosta tukevat investointituet, joilla on kohdistettu rahoitusta erityisesti polttamiseen perustumattomiin kaukolämmön tuotanto- ja varastointiratkaisuihin sekä hukka- ja ympäristölämmön hyödyntämiseen. Energiatuen puitteissa on tuettu esimerkiksi suuria lämpöpumppuhankkeita (myös useiden megawattien mittaluokassa), matalalämpöverkkoihin kytkeytyviä ratkaisuja sekä kaukolämpöjärjestelmien varastointia ja integraatiota. Lisäksi kivihiiilen korvaamiseen on kohdennettu erillisiä tukikokonaisuuksia, joilla on rahoitettu hukkalämmön talteenottoa ja lämpöpumppuratkaisuja kaukolämpöverkkoihin.

Kaukolämmön kysyntää ohjataan välillisesti rakennuskannan energiatehokkuuden ja kaukolämmölle vaihtoehtoisten lämmitysmuotojen ohjauksen kautta. Energiatehokkuutta edistetään Suomessa vapaaehtoiseen energiatehokkuussopimukseen perustuvalla järjestelmällä¹⁸, joka ohjaa energiasektoria (ml. lämmöntuotanto ja siihen kytkeytyvät toimijat) energiansäästötoimiin ja siten välillisesti myös kaukolämmön päästöjen vähentämiseen kysyntämuutosten kautta. Rakennusten energiatodistuksissa¹⁹ E-luvun ja E-luokan määrittelyssä kaukolämmön lämmitysmuotokerrointa kohdellaan suotuisasti. Vuonna 2027 käynnistyvä EU-tasoinen päästökauppa²⁰ polttoaineen jakelijoille (ETS2) kasvattaa rakennusten erillislämmityksen fossiilisten polttoaineiden hintoja. Vaikutus kaukolämpöön tulee suhteellisten hintojen muutosten kautta, kun kiinteistökohtainen fossiilinen lämmitys kallistuu, kaukolämmön (ja erityisesti sen vähäpäästöisten tuotantotapojen) suhteellinen houkuttelevuus kasvaa.

3.6.2 Kaukolämmön tuotannon ja käytön ohjauksen kehittäminen

Suomessa merkittävä osa pienistä kaukolämpölaitoksista sisältyy jo nykyään EU:n päästökauppajärjestelmään. Laajennuksia voidaan silti harkita kattavuuden yhdenmukaistamisella ja/tai kansallisilla energiaverotuksen muutoksilla, jotka peilaavat päästöoikeuden hintatasoa. Laajennusten rinnalla tulee varmistaa, että sähköistämiseen liittyvä verotus ei estä investointeja. Alempi sähköveroluokka II suurille lämpöpumpuille ja sähkökattiloille on jo olemassa.

3.6.2.1 Turpeen käyttö

Päästöjen vähentämiseksi sääntelyä tulisi muuttaa kolmella tavalla. Ensimmäkin verottoman käytön raja tulisi poistaa tai laskea niin, että poikkeus koskisi korkeintaan aidosti vähäistä, paikallista pienkäyttöä. Nykyinen raja tarkoittaa, että huomattava osa turpeen käytöstä voi jäädä valmisteveron ulkopuolelle,

¹⁸ <https://energiatehokkuussopimukset.fi/>

¹⁹ Laki rakennuksen energiatodistuksesta (50/2013) <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2013/50>.

²⁰ <https://energiavirasto.fi/polttoaineen-paastokauppa>

jolloin turpeen marginaalikustannus ja siten korvausinvestointien kannattavuus heikkenevät juuri niissä kohteissa, joissa polttoainevalinta on käytännössä ohjauksen ytimessä. Toiseksi turpeen latiahintaa tulisi nostaa nykyisestä tasosta ja mielellään indeksoida, jotta ohjaus ei heikkene tilanteessa, jossa päästöoikeuden hinta laskisi. Tämä vähentää riskiä, että turve olisi kilpailukykyinen matalan päästöoikeuden hinnan aikana, ja parantaa investointivarmuutta turvetta korvaaville ratkaisuille. Päästöoikeuden hinnan laskun todennäköisyys on tosin pieni. Kolmanneksi turpeen valmistevero tulisi muuttaa päästöperusteiseksi. Päästöperusteinen vero kohdistaa ohjauksen suoraan päästöihin, tekee turpeen kohtelusta vertailukelpoisen muiden polttoaineiden ja ohjauskeinojen kanssa.

3.6.2.2 Puupolttoaineiden käyttö

Kiinteiden puupolttoaineiden (CN-koodien 4401 ja 4402) käytön suurissa energialaitoksissa on Euroopan komissio 2021 ehdottanut sisällytettäväksi energiaveron piiriin (Muilu ym. 2024; Euroopan komissio, 2021). Ehdotuksen mukaan vero olisi kuitenkin porrastettu ympäristöluokkien perusteella, jolloin kehittyneille ja kestäville polttoaineille sovellettaisiin alempia verokantoja (Muilu ym. 2024; Euroopan komissio, 2021).

Ympäristötaloustieteen ulkoisvaikutusteorian mukaisesti olisi perusteltua ulottaa hiilen hinnoittelu kaikkeen hiilidioksidipäästöjä tuottavaan toimintaan, eli täten kaikkeen puunpoltoonkin. Käytännössä hankaluuksia voi aiheuttaa veronkannon hankaluus puun pienkäytön verottamisessa. Lisäksi erottelua voidaan tehdä eri jakeiden välillä jättämällä veron ulkopuolella esimerkiksi kaikki sivuvirrat, tai vaikka vain mustalipeä (jolloin keskityttäisiin kiinteisiin puupolttoaineisiin, kuten Euroopan komission energiaverodirektiiviehdotuksessa). Soimakallio & Pihlainen (2023) arvioivat karkeasti kiinteiden puupolttoaineiden potentiaaliseksi verokertymäksi vuoden 2021 polttoaineiden käyttömäärällä ja silloisella päästökaupan hiilitonnin hinnalla (olettaen sen veron tasoksi) 1,7 miljardia euroa.

Lintunen ym. (2026) sisällyttivät metsähakeveron ohjauskeinokokonaisuuteensa, jolla pyritään pääsemään Suomen ilmasto-, luonto- ja vesistötavoitteisiin. He arvioivat ohjauskeino tuovan karkeasti arvioiden noin 70 miljoonan euron vuotuisen verokertymän. Myös Forsström ym. (2022) tutkivat metsähakeveron vaikutuksia.

Soimakallio & Pihlainen (2023) pohtivat myös muita ohjauskeinoja puunpolton päästöjen hillitsemiseksi. Puupolttoaineiden (ja puutuotteiden) aiheuttamille päästöille voitaisiin ajatella samankaltaista päästökauppajärjestelmää kuin EU ETS. Toisaalta puunpolttajat voitaisiin velvoittaa hankkimaan metsähiiliyksiköitä suoraan metsänomistajilta, mutta tässä haasteeksi markkinan kannalta tulee Suomen metsänomistajien valtava määrä.

3.6.2.3 Jätteenpolto

Viime vuosina on keskusteltu veropohjan laajentamisesta kierrätyksen edistämiseksi ja jätteenpolton vähentämiseksi, mutta erillistä jätteenpolton veroa ei ole toimeenpantu. Jätteenpolton ohjausta on vastikään käsitelty selvityksessä kierrätyksen edistämisestä ja jätteenpolton hillinnän ohjauskeinoista (Niemi ym., 2026). Selvityksessä tarkasteltiin hintaohjauksen vaihtoehtoina jätteenpolton polttoveroa, sekalaisen yhdyskuntajätteen verotusta, jätteenpolttolaitosten täysimääräistä sisällyttämistä EU:n päästökauppaan sekä jätteenpoltoista syntyvien tuhkien verotusta. Lisäksi arvioitiin normiohjauksen keinoja jätteen muodostumisen ja käsittelyn eri vaiheissa. Suosituksina esitettiin energiajätteen keräyksen kieltoa, jätteenpolttolaitosten sisällyttämistä päästökauppaan sekä sekalaisen yhdyskuntajätteen verotusta. Verotuskäytäntöjen suunnittelussa tulee varoa ohjaamasta jätteitä vientiin, ja ohjaus on perusteltua kytkeä rinnalla kiertotaloustoimiin, kuten keräyksen ja lajittelun tehostamiseen sekä

kierrätysraaka-aineiden markkinoiden vahvistamiseen. Jätteenpolton verotus tulisi toteuttaa päästöperusteisesti ja kohdistaa nimenomaisesti jätteenpolton fossiiliseen päästösuuteen, jolloin ohjaus kohdistuu suoraan ilmastohaittaan ja on vertailukelpoinen muiden polttoaineiden verotuksen kanssa.

Kokonaisuutena ohjauksen kiristäminen nostaa jätteenpolton kustannusta ja parantaa lämpöpumppujen, hukkalämmön ja uusiutuvan sähkön kilpailuasemaa lämmöntuotannossa. Kunnallisten jäte- ja energiayhtiöiden näkökulmasta hallittu siirtymä edellyttää samanaikaisesti investointitukien ja vauhditettujen lupaprosessien yhdistelmää, jotta uudet tuotantotavat ehtivät korvata polttokapasiteettia ilman toimitusvarmuusriskejä.

3.6.2.4 Hukka- ja ympäristölämmöt

Hukkalämmön hyödyntämistä voidaan vauhdittaa kohdentamalla toimet markkina- ja toteutusympäristön ennakoitavuuden parantamiseen, koska teknisesti hyödynnettävää potentiaalia on runsaasti (arviolta noin 35 TWh kaukolämpöverkoissa) ja keskeiset esteet liittyvät usein kannattavuuteen, riskien jakautumiseen sekä ajalliseen ja alueelliseen kohtaantoon (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022). Hukkalämpöjä tarjoavien ja kaukolämpöyhtiöiden näkökulmia on käyty läpi aiemmassa tutkimuksessa (Auvinen ym., 2021). Investointiriskejä voidaan pienentää vahvistamalla riskinjakoa ja rahoituksen edellytyksiä esimerkiksi takaus- ja vakuusjärjestelyillä, jotka vähentävät pysyvyyteen ja vastapuoliriskeihin liittyviä epävarmuuksia. Verkkoon liittämisen ja lämmönoston menettelyt tulisi tehdä läpinäkyviksi ja ennakoitaviksi, jotta hankkeiden toteutettavuus on arvioitavissa ennen investointipäätöksiä.

Energiatehokkuusdirektiivin kustannus-hyötymenettelyn toimeenpanoa tulisi vahvistaa erityisesti suurissa lämpölähteissä, mukaan lukien datakeskukset, siten että kustannusvaikuttaviksi todetut ratkaisut etenevät toteutukseen ja poikkeusperusteet ovat selkeitä. Teknisiä edellytyksiä voidaan parantaa edistämällä kaukolämpöverkkojen hallittua lämpötilatason alentamista ja joustoja, mikä laajentaa matalalämpöisten hukkalämpöjen hyödyntämismahdollisuuksia ja parantaa lämpöpumppuratkaisujen tehokkuutta. Lisäksi maankäytön ja kaavoituksen tulisi tukea sellaisten toimintojen sijoittumista, joissa hukkalämmön liittäminen verkkoon on teknistaloudellisesti realistista.

Datakeskusten osalta sähkön käytön ohjaus voidaan kohdentaa siten, että sähköverotuksen tai sitä korvaavien tukien painopiste on nimenomaan hukkalämmön talteenottoa mahdollistavien lämpöpumppujen sähkökäytössä eikä koko datakeskuksen sähkökulutuksessa, ja tuki voidaan kytkeä hukkalämmön hyödyntämisveloitteeseen kokonaisedun varmistamiseksi.

3.6.3 Kaukolämmön tuotannon ja käytön ohjauksen arviointi

Kaukolämmön päästövähennysten kannalta olennaista on vahvistaa polttoainevalintojen ohjausta ja samalla parantaa hukka- ja ympäristölämpöjen ja muiden sähkön perustuvien sekä varastointiratkaisujen toteutusedellytyksiä. Tässä luvussa nostetaan neljä keskeistä ohjauskeinoa: turpeen, jätteenpolton ja metsähakkeen hinnoittelu sekä hukka- ja ympäristölämpöjen hyödyntämisen edistäminen (taulukko 10).

Energiaturpeen verotukien poiston vaikuttavuus ilmastoon voidaan arvioida positiiviseksi, sillä verottoman pienkäytön rajan kiristäminen, lattiahinnan nosto ja indeksisidonta sekä veron muuttaminen päästöperusteiseksi nostavat turpeen marginaalikustannusta ja vahvistavat korvausinvestointien kannustimia. Lattiahintaa vähentää erityisesti riskiä siitä, että ohjaus heikkenee matalan päästöoikeuden hinnan aikana, ja päästöperusteisuus kohdistaa ohjauksen läpinäkyvästi suoraan ilmastohaittaan.

Keskeinen riski on kuitenkin korvautuminen metsähakkeella, koska se on monissa kattiloissa teknisesti helpoin lyhyen aikavälin korvaaja. Tämän vuoksi turpeen ohjaus tulisi yhteensovittaa niin, että se ohjaa korvautumista ensisijaisesti lämpöpumppuihin hukkalämmön talteenottoon ja muuhun sähköistyvään lämmöntuotantoon, eikä biomassan polton laajamittaiseen kasvuun. Kuluttajille vaikutus voi näkyä kohtuullisena lämmön hinnan nousuna siirtymävaiheessa, kun taas energiayhtiöille ohjaus selkeyttää investointisignaalia ja parantaa vähäpäästöisten ratkaisujen suhteellista kilpailukykyä. Ohjaus on aiheuttaja maksaa -periaatteen mukainen, mutta oikeudenmukaisuuden kannalta on huomioitava kustannusten kohdentuminen turveriippuvaisille alueille, ja toteutuksen onnistuminen edellyttää selkeää mitoitusta ja vaiheistusta.

Taulukko 10. Kaukolämmön tuotannon ohjauskeinojen arviointi.

Ohjauskeino	Vaikuttavuus tavoitteisiin				Taloudelliset vaikutukset				Oikeudenmukaisuus	Toteutavuus
	Ilmasto	Ohjaa pois fossiilisista	Energiajärj. resilienssi	Muu ympäristökuormitus	Kuluttajat	Yritykset	Valtio	Kokonais talous		
Metsähakevero	+	0	--	+	-	-	+	?	Aiheuttaja maksaa	Helppo
Energia-turpeen verotukien poisto	++	++	-	+	-	-	+	0	Aiheuttaja maksaa	Helppo
Jätteenpolton verotus	+	+	0	+	0	-	+	+	Aiheuttaja maksaa	Helppo
Velvoite hukkalämpöjen hyödyntämiselle	++	++	0	0	+	++	0	++	Hyötyjen ja kustannusten jako	Kohtalainen

Metsähakeveron vaikuttavuus ilmastoon voidaan arvioida positiiviseksi, sillä se vähentäisi energia-puun kysyntää ja voi täten edesauttaa ainespuukelpoisen puun täysimääräisempää päätymistä materiaalikäyttöön polton sijaan. Vero myös osaltaan vauhdittaa investointeja polttoon perustumattoman kaukolämmön tuotantoon. Vero ei kuitenkaan varsinaisesti johda itsessään fossiilisten polttoaineiden vähenemiseen ja sillä voidaan katsoa olevan energijärjestelmän resilienssiä vähentävä vaikutus, jos polttoon perustuva tuotantokapasiteetti vähenee. Ympäristökuormitus vähenisi veron myötä. Luonnon monimuotoisuusvaikutukset vähenisivät etenkin kuolleen puun polttoon korjuun vähetessä (Pihlainen ym. 2024). Kuluttajille koituisi verosta lisäkustannuksia kaukolämmön hinnan kasvaessa (Muilu ym. 2024), mikä osaltaan kuitenkin toimisi kannusteena energian säästöön, lämmön talteenottoon ja muihin energiaremontteihin. Vero lisäisi kaukolämpöyritysten kustannuksia, mutta voisi toisaalta helpottaa metsäteollisuusyritysten kuitupuun hankintaa. Valtiolle tulisi verokertymää verosta, mutta vaikutukset työllisyyteen ja talouskasvuun ovat kokonaisuus huomioiden vaikeita arvioida ja

tarvitsisivat lisätutkimuksia. Vero on 'aiheuttaja maksaa' -periaatteen mukainen ja hinnoittelee negatiivisia ulkoisvaikutuksia. Verokäytännön oikeudenmukaisuus riippuu siitä, missä määrin kustannukset siirtyvät kaukolämmön hintoihin ja kohdistuvatko ne myös sellaisiin kotitalouksiin, joilla on rajalliset mahdollisuudet vaikuttaa lämmitysmuotoonsa tai sopeutua hinnannousuun. Oikeudenmukaisuutta parantaa, jos veron tuottoa tai muuta tukea kohdennetaan rajatusti haavoittuvien ryhmien energiatehokkuusinvestointeihin tai lämmitysratkaisujen uudistamiseen. Metsähakeveron toteutettavuus on hallinnollisesti melko hyvä, koska käyttö keskittyy suuriin laitoksiin, mutta käytännön toimeenpano edellyttää veropohjan selkeää rajausta, johdonmukaista biomassajakeiden määrittelyä sekä poliittisesti ja toiminnallisesti hallittua siirtymää.

Jätteenpolton verotuksen vaikuttavuus ilmastoon voidaan arvioida myönteiseksi, jos vero kohdistetaan päästöperusteisesti nimenomaan jätteenpolton fossiiliseen hiiliosuuteen. Tällöin ohjaus kohdistuu suoraan ilmastohaittaan ja nostaa jätteenpolton marginaalikustannusta tavalla, joka parantaa lämpöpumppujen, hukkalämpöjen ja uusiutuvan sähkön kilpailuasemaa kaukolämmössä. Samalla verotus voi tukea kiertotaloustavoitteita, jos se vähentää polttoon ohjautuvan jätteen määrää ja vahvistaa lajittelun ja kierrätyksen kannusteita. Keskeinen riski on ohjauksen "jätevuoto", sillä jos kustannus nousee ilman rinnakkaisia toimia, jätteitä voi ohjautua vientiin tai vaihtoehtoisiin käsittelyratkaisuihin, jotka eivät vähennä päästöjä kokonaisuutena. Tämän vuoksi verotusta on perusteltua kytkeä kiertotaloustoimiin, kuten keräyksen ja lajittelun tehostamiseen sekä kierrätysraaka-aineiden markkinoiden vahvistamiseen. Kuluttajille vaikutus näkyy tyypillisesti jätehuollon ja lämmön kustannuspaineena, kun taas jätteenpolttolaitoksia ylläpitäville yhtiöille se lisää kustannuksia mutta vahvistaa investointisignaalina kohti polttoa korvaavia tuotantomuotoja. Oikeudenmukaisuuden näkökulmasta verotuskäytäntö kohdistuu enimmäkseen vain muutamien kaukolämpöverkkojen alueelle. Toteutettavuus on lähtökohdaisesti hyvä, jos veropohja rajataan selkeästi fossiiliseen osuuteen ja järjestelmä rakennetaan niin, ettei se ohjaa jätteitä pois ohjatun kiertotalouden piiristä.

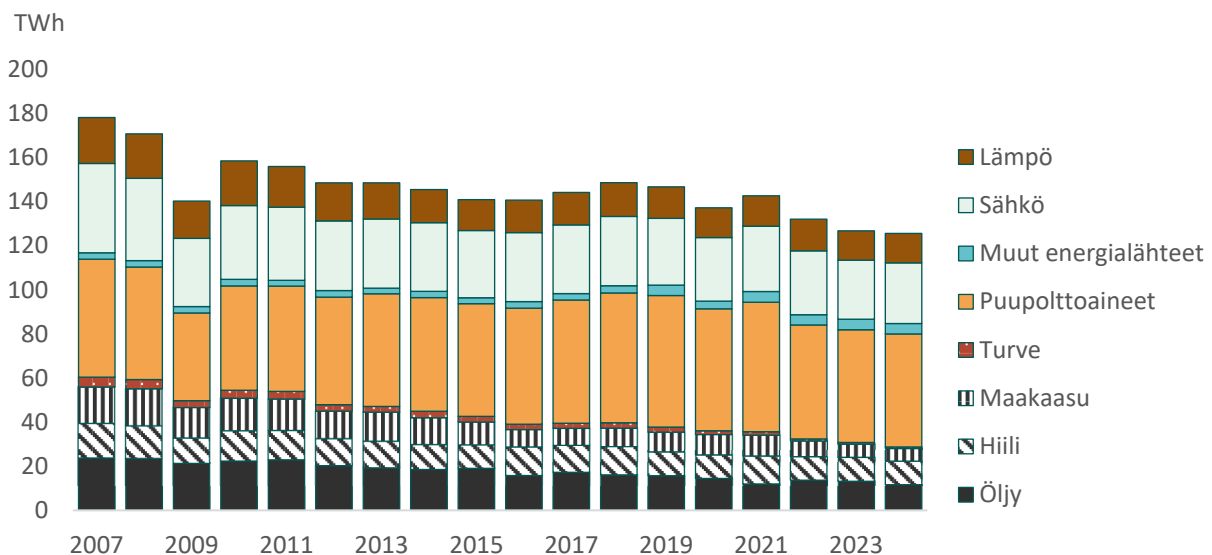
Hukka- ja ympäristölämpöjen hyödyntämisen vaikuttavuus ilmastoon voidaan arvioida myönteiseksi, koska se voi vähentää kaukolämmön polttoon perustuvaa tuotantoa ja siten päästöjä erityisesti silloin, kun teknisesti hyödynnettävää lämpöä on saatavilla lähellä verkkoa ja lämpö voidaan nostaa kaukolämpöverkon kannalta käyttökelpoiselle tasolle lämpöpumpuilla. Toteutuminen edellyttää kuitenkin, että investointien kannattavuus ja riskit huomioidaan sekä hukkalämmön tarjoajien että kaukolämpöyhtiöiden näkökulmasta, ja että verkkoon liittämisen ja lämmönoston pelisäännöt ovat ennakoitavat. Keskeiset esteet liittyvät kannattavuuteen, vastapuoliriskeihin sekä ajalliseen ja alueelliseen kohtaantoon. Verkkojen lämpötilatason hallittu alentaminen parantaa matalalämpöisten lähteiden hyödynnettävyyttä ja lämpöpumppujen tehokkuutta. Kuluttajille vaikutus näkyy pitkällä aikavälillä kustannusriskin pienentymisenä, jos polttoainehintariippuvuus vähenee, mutta lyhyellä aikavälillä investoinnit voivat näkyä kaukolämmön hintojen nousuna. Oikeudenmukaisuus riippuu siitä, jakautuvatko kustannukset, riskit ja hyödyt tasapainoisesti lämpöä tarjoavien toimijoiden, kaukolämpöyhtiöiden ja asiakkaiden välillä sekä ovatko verkkoon pääsyn ehdot läpinäkyvät ja syrjimättömät. Toteutettavuus on kohtalainen, koska se vaatii paikallista suunnittelua, sopimista ja usein myös sähköverotuksen ja sähköverkon reunaehto- ja huomiointia.

3.7 Teollisuus

3.7.1 Nykytila teollisuuden päästöjen ohjauksessa

3.7.1.1 Teollisuuden päästökehitys

Vuodesta 2007 vuoteen 2024 energiankäytön rakenne on siirtynyt maltillisesti pois fossiilisista polttoaineista (kuva 18). Öljyn käyttö on käytännössä puolittunut, maakaasun käyttö on supistunut voimakkaasti ja turpeen käyttö on painunut hyvin matalalle tasolle. Hiilen käyttö on kokonaisuutena vähentynyt, mutta sarjassa näkyy myös vaihtelua eri vuosina. Puupolttoaineet muodostavat koko tarkastelujaksolla energiankäytön selvästi suurimman erän tason pysyessä korkeana ja kokonaisuutena varsin vakaana, vaikka vuosittaista vaihtelua esiintyy. Sähkön ja lämmön käytössä näkyy pitkän aikavälin aleneva trendi, ja lisäksi suhdanneherkkyyttä, kuten myös muissa polttoainekäytöissä. (Tilastokeskus 2026e).



Kuva 18. Teollisuuden energiankäyttö vuosina 2007–2024 (Tilastokeskus 2026g). Kuva havainnollistaa, että fossiilisten polttoaineiden käyttö on hieman pienentynyt viimeisten vuosien aikana samalla, kun energiankäytön taso on yleisesti ottaen laskenut.

Kokonaisuutena kehitys viittaa siihen, että energijärjestelmässä on tapahtunut samanaikaisesti sekä päästöintensiteettiä pienentäviä polttoainevaihdoksia että energian käytön tehostumista ja/tai tuotantorakenteellista muutosta. On oletettavaa, että fossiilisia polttoaineita on päästökaupan hintakehityksen ohjaamana korvattu muilla energialähteillä kohteissa, joissa polttoainemuutokset on helppo toteuttaa. Toisaalta on prosesseja, joissa fossiilisia polttoaineita on haastavampaa korvata.

3.7.1.2 Yleistä teollisuuden päästöjen ohjauksen nykytilasta

Kasvihuonekaasuja syntyy teollisuudessa paitsi energiankäytöstä myös teollisuusprosesseista, jolloin niitä kutsutaan prosessipäästöiksi. Teollisuuden päästöt (sekä energiankäytöstä että prosessikäytöstä) kuuluvat pääosin EU:n päästökauppajärjestelmän piiriin. Päästökauppaan kuuluvat tietyn kapasiteettikynnyksen ylittävät energiantuotantolaitokset, öljynjalostamot, valimot ja terästehtaat, koksamot,

sekä paperi-, massa-, kartonki-, sementti-, lasi-, kalkki-, tiili- ja keramiikkateollisuus. (YM 2025a). Teollisuuden työkonoiden päästöt kuuluvat kuitenkin taakanjakosektorille ja ne käsitellään luvussa 3.9. Päästökauppadirektiivin mukaan laitokset, jotka käyttivät vuosina 2019–2023 yli 95 % kestävästä biomassaa, suljetaan vuodesta 2026 alkaen päästökaupan ulkopuolelle. Tämä tarkoittaa noin 80 laitoksen poistumista päästökaupasta ja niiden fossiilisen polttoaineen poltosta syntyvät päästöt siirtyvät päästökaupasektorilta taakanjakosektorille. (YM 2025b).

Päästökaupan lisäksi Suomessa on käytössä myös kansallisia ohjauskeinoja. Näihin kuuluvat energia-erotus, energiatuet (ja muut tuet), energiatehokkuustoimet, sekä toimet, jotka tähtäävät hiilen energiakäytön lopettamiseen (YM 2025b). Polttoaineiden käyttö teollisessa tuotannossa raaka- tai apuaineina tai välittömässä ensikäytössä tavaran valmistuksessa on kuitenkin valmisteverotonta ja huoltovarmuusmaksutonta²¹. Kaukolämpöä tai -kylmää tuottavat lämpöpumput ja sähkökattilat siirrettiin alempaan sähköveroluokkaan II vuonna 2022. Energiatehokkuustoimista keskeisimpiä ovat mm. energiatehokkuussopimukset, energiakatselmuksien ja alueellinen energianeuvonta. (YM 2025b).

Semkin ym. (2023) jakoivat teollisuuden päästöt ja niiden vähennyskeinoja koskevassa selvityksessään tukimekanismit kertaluonteisiin ja jatkuviin tukiin ja toisaalta siihen mihin vaiheeseen investointipolkua ne sijoittuvat. Kertaluonteiset tuet koostuvat pääosin Business Finlandin (BF) myöntämistä T&K-tuista, pilotointirahoituksesta ja -lainoista sekä rahoituksesta yritysten ja tutkimusorganisaatioiden yhteistyöhön. Nämä tukimekanismit on suunnattu varhaisen vaiheen T&K-toimintaan ja teknologisten testaukseen. Investointeihin kohdistuvia tukia ovat mm. energiatuki, kiertotalouden investointiavustus sekä jo päättyneet EU:n elpymis- ja palautumistukivälineen (RRF) kautta myönnettyt tuet.

Business Finland on myöntänyt investointiavustusta vuonna 2025 suurille ilmastoneutraalisuuteen tähtääville hankkeille²². Rahoituksella edistetään tuotantoprosessien päästövähennyksiä, energiatehokkuutta ja puhtaan siirtymän teknologioita. Tukea myönnettiin reilut 300 miljoonaa yhteensä kuudelle hankkeelle.

Suomessa on käytössä myös T&K-toiminnan verokannustimia. Tutkimusyhteistyövähennys (2021–2027) on 150 % tutkimusyhteistyön alihankintalaskuista, kuitenkin maksimissaan 500 000 euroa. T&K-toiminnan yhdistelmävähennys sisältää kaksi osaa. Ensinnäkin on 2023 alkanut yleinen lisävähennys, joka on 50 % T&K-menoista (palkat ja ostopalvelut), kuitenkin maksimissaan 500 000 euroa. Toiseksi on vuonna 2025 alkanut ylimääräinen lisävähennys, joka on 45 % T&K-menojen (palkat ja ostopalvelut) lisäyksestä, kuitenkin maksimissaan 500 000 euroa. (Valtioneuvosto 2026).

Energiatukiohjelma on toistaiseksi jatkuva tukimuoto, jolla edistetään Suomessa toteutettavia uusiutuvan energian tuotannon, energiansäästön, energian tuotannon tai käytön tehostamisen, hukkalämmön hyödyntämisen, tai energiajärjestelmän vähähiiliseksi muuttamisen investointi- ja selvityshankkeita²³.

Suomen kestävä kasvun ohjelmassa (eli Suomen suunnitelmassa EU:n elpymis- ja palautumisvälineen, Recovery and Resilience Facility, RRF, rahoituksen käytöstä) on kohdennettu 695 miljoonaa euroa vihreään siirtymään. Tuettuina kohteina on ollut mm. vihreää siirtymää tukeva TKI-toiminta, energiajärjestelmän hankkeita, sekä teollisuuden vähähiilisyys- ja kiertotaloushankkeita. Tukisummaan sisältyy myös pienempi RRF-energiainvestointituki, joka on kohdistunut erityisesti uusien ratkaisujen demonstrointeihin. Rahoitusinstrumentti on kuitenkin loppumassa, sillä viimeinen rahoitushaku oli

²¹ https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/63665/polttoaineiden-verottomuus-teollisuus%C3%A4yt%C3%B6ss%C3%A43/#:~:text=1.3%20K%C3%A4yt%C3%B6v%C3%A4litt%C3%B6m%C3%A4ss%C3%A4%20ensik%C3%A4yt%C3%B6ss%C3%A4%20*%20asfalttimassan%20valmistus%2C,paperiteollisuudessa%20leijukuivaimissa%20k%C3%A4ytetty%20polttoaine%2C%20kun%20savukaasut%20puhalletaan

²² <https://www.businessfinland.fi/ajankohtaista/uutiset/tiedotteet/2025/teollisuuden-investointituet-edistavat-talouden-kasvua-ja-tukevat-ilmastotavoitteiden-saavuttamista/>

²³ <https://tem.fi/energiatuki>

keväällä 2024 ja hankkeiden tulisi valmistua kesäkuuhun 2026 mennessä. (YM 2025b). Suomi sai myös REPowerEU:n²⁴ kautta myönnettäväksi uutta rahoitusta 127 miljoonaa euroa vuonna 2024. Puhtaan siirtymän investointeihin tästä käytettiin 54,5 miljoonaa euroa. Lisäksi viisi suomalaista hanketta sai tukea EU:n Innovaatorahastosta uusien puhtaan teknologian ratkaisujen käyttöön ottamiseksi²⁵. Suomeen sijoittuvien hankkeiden tukisummaksi arvioidaan yhteensä noin 300 miljoonaa euroa.

Semkinin ym. (2023) selvityksessä jatkuvia tukia ovat puolestaan päästökaupan ilmaisjako, energia-verotus ja sähköistämistuki, jotka kyseisessä selvityksessä ajoittuvat kaupallisuuden ja toteutettavuuden arviointiin päästökaupan ja hiilirajamekanismin lisäksi. Taksonomia ja luvitus mainitaan tähän vaiheeseen vaikuttavana sääntelynä. Investointipäätökseen vaikuttavaa sääntelyä ovat puolestaan hiilidioksidin talteenoton (Carbon Capture and Storage, CCS) lainsäädäntö ja jätteenpolttoasetus.

Suomessa on käytössä energiaintensiivisen teollisuuden sähköistämistuki²⁶, joka kuitenkin loppuu vuoden 2026 jälkeen. Myös energiaintensiivisten yritysten käyttämien fossiilisten polttoaineiden valmisteveron palautus on poistunut käytöstä²⁷.

Hiilen talteenoton ja teknologisten poistojen ohjauskeinoja on käsitelty mm. ilmastolain tavoitteita ja täydentäviä keinoja käsittelevässä raportissa (Lounasheimo ym. 2026). Päästökaupan piirissä olevat suuret teollisuuslaitokset hyötyvät fossiilisen hiilen (ja ei-kestävästi tuotetun biomassan hiilen) talteenotosta ja pysyvästi varastoinnista, sillä se vähentää heidän tarvitsemiaan päästöoikeuksia. Sen sijaan mekanismi ei kannusta varastoimaan hiiltä tilapäisissä hiilen talteenotto ja käyttö (Carbon Capture and Utilization, CCU) -tuotteissa tai tekemään teknisiä poistoja (eli hiilen talteenottoa suoraan ilmakehästä, DACCS, ja bioenergian tuotannossa syntyvän hiilen talteenottoa, BECCS). Kestävän biogeenisen hiilidioksidin talteenotto ja pysyvä varastointi ei nimittäin vähennä palautettavien päästöoikeuksien määrää, sillä uusiutuvan energian direktiivin (RED III) kestävyyskriteerit täyttävän biomassan poltosta syntyvät päästöt luokitellaan päästökaupassa nollapäästöisiksi. (Lounasheimo ym. 2026). Bioperäisen hiilidioksidin talteenottoa koskevien investointiavustusten tarjouskilpailu avattiin tammikuussa 2026²⁸. Tukea myönnetään yhteensä 90 milj. euroa. Tuen tarkoituksena on edistää ensimmäisten ratkaisujen toteutumista ja skaalaamista teolliseen mittakaavaan sekä luoda pohjaa vastaavien ratkaisujen markkinaehtoiselle etenemiselle.

Biopolttööljyn jakeluvuorituksen mukaan vähintään miljoona litraa kevyttä polttoöljyä vuoden aikana toimittavien jakelijoiden on toimitettava vähimmäisosuus biopolttööljyä.²⁹ Edellinen hallitus valmisteli esityksen kevyen polttoöljyn bio-osuuden nostamisesta 30 %:iin vuoteen 2030 mennessä, mutta tämä esitys raukesi (YM 2025b). Voimassa olevan lainsäädännön³⁰ mukaan kevyen polttoöljyn bio-osuuden on oltava vähintään 8 % vuonna 2026 ja 10 % vuonna 2028 ja sen jälkeen. Vuoden 2025 keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmassa toimenpidepakettiin sisällytettiin toimenpide, jonka mukaisesti jakeluvuoritus nousisi 15 % tasolle vuonna 2030.

Suurten ilmastoneutraaliin talouteen tähtäävien investointien verohyvitys (investointihyvitys) on uusi tuki-instrumentti, josta on säädetty lailla³¹. Tuen tavoitteena on saada liikkeelle sähköä

²⁴ <https://vm.fi/repowereu>

²⁵ https://valtioneuvosto.fi/en/-/1410877/five-finnish-projects-to-receive-eu-innovation-fund-support-for-deployment-of-new-clean-technology-solutions?languageld=fi_FI

²⁶ <https://energiavirasto.fi/teollisuuden-sahkoistamistuki>

²⁷ <https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/valmisteverotus/palautukset/energiaintensiiviset-yritykset/>

²⁸ <https://tem.fi/-/bioperaisen-hiilidioksidin-talteenoton-90-miljoonan-euron-hankehaku-kaynnistyy#:~:text=talteenoton%20ratkaisuja%20ja%20niiden%20skaalaamista%20teolliseen%20mittakaavaan%20sek%C3%A4%20vauhditetaan%20vastaavien%20ratkaisujen%20markkinaehtoista%20etenevist%C3%A4>

²⁹ <https://energiavirasto.fi/biopolttooljyn-jakeluvuoritus>

³⁰ Laki biopolttööljyn käytön edistämisestä (418/2019) <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2019/418>.

³¹ Valtionvarainministeriön muistio

hyödyntäviä mittaluokaltaan suuria teollisia investointeja³². Tukea voivat hakea investointihankkeet, jotka liittyvät (a) uusiutuvan energian tuotantoon (mukaan lukien uusiutuva vety ja vetypolttoaineet) ja energian varastointiin (mukaan lukien sähkön ja lämmön varastointi, sekä uusiutuvan vedyn, biopolttoaineiden, bionesteiden, biokaasun ja biomassapolttoaineiden varastointi), (b) teollisuuden tuotantoprosessien vähähiilistämiseen ja energiatehokkuuden parantamiseen ja (c) ilmastoneutraaliin talouteen siirtymisen kannalta olennaisten laitteistojen (esim. akut), sekä niiden komponenttien ja raaka-aineiden tuotantoon³³. Tukikelpoisen investoinnin vähimmäismäärä on 50 miljoonaa euroa ja investointihyvityksen myöntää Business Finland. Investointihyvitys vähennetään yhtiön myöhemmin koituvasta tuloverosta ja sen määrä on 20 prosenttia tukikelpoisista investointikustannuksista. Konsernikohtainen investointihyvityksen enimmäismäärä on 150 miljoonaa euroa. Business Finland myönsi vuonna 2025 verohyvitystä 37 hankkeelle yhteensä noin 2 miljardin euron edestä³⁴. Orpon hallitus linjasi kevään 2025 puoliväliriihessä verohyvitysten jatkosta, ja talouspoliittinen ministerivaliokunta linjasi jatkoon olevan voimassa vuoden 2027 loppuun asti. Ministerivaliokunta myös linjasi, että jatkossa energian tuotannon ja varastoinnin verohyvityksen kohdistusta tarkennetaan merkittäviä tukitarpeita omaaviin sektoreihin ja teknologioihin, sekä sisällytetään mm. hiilidioksidin talteenoton ja puhtaan vedyn tuotannon edistäviä teknologioita teollisuuden hiilestä irtautumisen ja nettonollateknologian tuotannon verotuen soveltamisalaan. VATT:n tutkijat ovat kritisoineet investointihyvityksen vaikutusten talouskasvuun ja innovaatiotoimintaan jäävän epävarmoiksi ja tukimuodon suosivan erityisesti suuryrityksiä ja jo suunnitteilla olevia hankkeita³⁵. Heidän mukaansa tuki vähentää innovaatiopotentiaalia, heikentää uusien ja pienempien yritysten kilpailuasemaa verrattuna suuryrityksiin, sekä johtaa huomattaviin veromenetyksiin.

3.7.1.3 Toimialakohtaiset tarkastelut

Suomessa tuotantolaitokset **metsäteollisuudessa** ovat tyypillisesti suuria. Lisäksi laitostoinnot ovat tyypillisesti varsin integroituneita, vaikkakin integrointiaste vaihtelee laitosten välillä. Osa laitoksista on keskittynyt massan, paperin tai kartongin valmistukseen, kun taas monituoteintegraatit tuottavat erilaisia tuotteita sahatavarasta kartonki- ja paperituotteisiin. (Semkin ym. 2023).

Massanvalmistuksen prosessit voidaan jakaa puunkäsittelyyn, massanvalmistukseen ja massan kiuvaukseen. Kemiallisesti valmistettu sulfaattisellu on yleisin massalaji. Sitä valmistettaessa tärkeään osaan nousee ns. kemikaalikierto, missä sellunkeitossa syntyvä mustalipeä poltetaan soodakattilassa ja kemikaalit kerätään talteen. Polttoprosessissa tarvitaan tukipolttoaineiksi maakaasua ja polttoöljyä ja täten soodakattilassa syntyy markkinasellutehtaiden fossiilisista päästöistä 10 % ja integraattilaitosten fossiilisista päästöistä alle 5 %. (Semkin ym. 2023). Huomionarvoista on, että mustalipeän poltosta syntyy erittäin merkittävä määrä puupohjaisia hiilidioksidipäästöjä.

Soodakattilassa kerätyistä kemikaaleista valmistetaan valkolipeää, jota tarvitaan sellunkeitossa. Valkolipeän valmistuksessa tarvitaan poltettua kalkkia ja siinä myös syntyvä kalsiumkarbonaatti (eli meesa) poltetaan meesauunissa poltetuksi kalkiksi. Polttoaineina käytetään maakaasua ja polttoöljyä ja meesauunissa syntyy markkinasellutehtaiden fossiilisista päästöistä 80–90 % ja integraattilaitosten fossiilisista päästöistä 10–70 %. (Semkin ym. (2023).

³² Valiokunnan mietintö VaVM 1/2025 vp - HE 207/2024 vp

³³ <https://www.businessfinland.fi/palvelut/rahoitus/rahoituspalvelut//verohyvitys-suurille-puhtaan-siirryman-investoinneille>

³⁴ <https://valtioneuvosto.fi/-/puhtaan-siirryman-investointien-verotuen-jatkon-valmistelu-etenee>

³⁵ <https://vatt.fi/-/vatt-investointihyvitys-ei-edista-talouskasvua-tai-puhdasta-siirrymaa-toivotusti>

Sulfaattiselutehtaat ovat tyypillisesti yliomavaraisia energian suhteen, sillä prosessin sivujakeista sitä tuotetaan niin paljon. Niinpä höyryn ja sähkön tuotannossa prosessien tarpeisiin syntyy markkina-selutehtaiden fossiilipäästöistä vain alle 10 %, kun taas integraattien fossiilipäästöistä siinä syntyy 50–90 % ja itsenäisissä paperi- ja kartonkitehtaissa yli 90 %. Paperin ja kartongin valmistuksessa tarvitaan energiaa lopputuotteen kuivaamiseksi märästä massasulpusta. (Semkin ym. (2023).

Fossiilisten päästöjen vähennysratkaisuja on löydettävissä mm. meesauunin polttoaineen vaihtamisessa kuoresta ja muusta biomassasta tehtaalla valmistettuun tuotekaasuun tai hakkeesta ja sahanpurusta valmistettuun puujauheeseen. Molemmat ovat käytössä olevia teknologioita. Meesauuni voidaan myös sähköistää, jolloin kalsinointi tapahtuu sähköllä tai sähköstä valmistetulla plasmakaasulla. Tämä teknologia on kuitenkin vasta kehityksen alkuvaiheessa. Höyryä ja sähköä prosessien tarpeisiin voitaisiin jo nyt tuottaa myös biopolttoaineilla sekä höyryä sähkökattilalla. Päästöjä voidaan vähentää myös tehostamalla energian käyttöä, lämmöntalteenottoa ja hukkalämpöjen hyödyntämistä. Soodakattilasta ja muusta bioenergian tuotannosta syntyvien merkittävien bioperäisten päästöjen vähentämiseksi bioperäisen hiilidioksidin talteenotto (BECCS) on varteenotettava vaihtoehto. Metsäteollisuus oli Semkinin ym. (2023) selvityksessä tarkastelluista toimialoista ainoa, jossa merkittävä osa fossiilisten päästöjen vähennysratkaisuista oli jo teknistaloudellisesti kypsiä. Biopohjaiset ratkaisut vaikuttavat todennäköisiltä, sillä tehtaat ovat usein kokonaan tai osittain omavaraisia puupolttaineiden suhteen. (Semkin ym. (2023). Metsäteollisuuden päivitetyn ilmastotiekartan mukaan heidän tehtaansa voivat toimia ilman fossiilisia polttoaineita noin vuonna 2035³⁶.

Poltetun kalkin ja sementin tuotannossa päästöt syntyvät uunissa ja johtuvat kalkin kalsinoitumisesta ja polttoaineiden palamisesta. Kalsinoituminen aiheuttaa tuotannon välttämättömänä osana olevat prosessipäästöt. Pelkkiä polton päästöjä voidaan vähentää siirtymällä bio- ja kierrätyspohjaisiin polttoaineisiin tai sähköiseen uuniin siirtymällä. Ensimmäisessä vaihtoehdossa rajoitteina ovat bio- ja kierrätyspolttoaineiden saatavuus, lainsäädäntö, raaka-aineiden kustannukset ja vaatimusten mukainen laatu sekä laitokseen tarvittavien muutosten kustannukset, kun taas jälkimmäinen vaihtoehdon toimivuutta ja kaupallista soveltuvuutta ei ole vielä osoitettu. CCS/CCU teknologiolla päästöt saadaan lähelle nollaa, sillä polton jälkeinen talteenotto ottaa talteen sekä polttoaineen palamisesta että kalsinoinnista syntyvät päästöt. Kaupalliseen kannattavuuteen liittyy kuitenkin epävarmuutta. Suoraeroteluteknologia olisi kustannusvaikuttavampi, mutta teknologian toimivuus on vasta testausvaiheessa. Päästöjä voidaan jossain määrin vähentää myös kehittämällä tuotteita, joissa on vähemmän poltettua kalkkia. (Semkin ym. 2023).

Aalto-yliopiston laatiman vähähiilisen betonin tiekartan³⁷ keskeisiä lopputulemia ovat, että betonin päästöt on mahdollista saada jopa nollassa, sementin valmistuksen merkittävät päästövähennykset toteutuvat vasta 2040–2050, lyhyellä aikavälillä voidaan lisätä seosementin käyttöä ja ottaa käyttöön betonin valmistuksen päästövähennysmahdollisuuksia ja että koska hiilidioksidin talteenoton kustannukset ovat korkeat, muita toimenpiteitä tarvitaan myös silloin kun talteenotto on käytössä.

Hiiliteräksen tuotannossa keskeisin päästövähennysratkaisu on rautapellettien suorapelkistys vedyllä fossiilivapaan rautasienen valmistamiseksi. Päästöjä vähentää myös minimill-tuotantoon siirtyminen. Siinä masuunit korvataan päästötöntä sähköä käyttävillä valokaariuuneilla, joissa teräs valmistetaan kierrätysromusta tai rautasienestä. Loppukäsittelyn prosessien sähköistämällä voidaan myös vähentää päästöjä. Teknologian kehitys on pitkällä. Keskeiset ratkaisut ovat jo teollisessa mittakaavassa testattuja ja yhtiöt ovat julkaisseet aikataulun teknologioiden käyttöönotolle. Ruostumattoman teräksen tuotannossa päästövähennyskeinoja ovat nykyisten uunien korvaaminen tasavirta (DC) -

³⁶ <https://metsateollisuus.fi/wp-content/uploads/2025/09/Metsateollisuuden-ilmastotiekartta-final-092025.pdf>

³⁷ https://betoni.com/wp-content/uploads/2025/03/Betoni-vartti_3.3.2025_VHBetonin-tiekartta.pdf

uuneilla, jotka ovat sallivampia biokoksin suhteen, hiilen korvaaminen biohiilellä, vetypolttimien käyttö maakaasun sijaan sekä maakaasun/vedyn korvaaminen induktioon perustuvalla prosessilla hehikutuksessa. Teknologiat ovat vasta kehitysvaiheessa. (Semkin ym. 2023).

Suomessa **kemianteollisuudeksi** luokitellaan öljy-, kaasu- ja petrokemianteollisuus, kemian perusteollisuus ja kemiantuoteteollisuuden eri toimialat (lääketeollisuus, muovi- ja kumiteollisuus, kosmetiikka ja pesuaineet, sekä maaliteollisuus). Öljynjalostusteollisuudessa päästöistä syntyy prosessiuuneissa 51 %, CHP-laitoksista ja höyrykattiloista 10 %, sekä höyryreformoinnista 20 % ja leijukatalyyttisestä krakkauksesta 19 %. Polyolefiinien (eli erilaisten muovituotteiden ja petrokemian tuotteiden tuotannossa päästöistä syntyy höyrykrakkauksessa 90 %, ja CHP-laitoksista ja höyrykattiloista 10 %. Päästövähennysratkaisut liittyvät prosessiuunien korvaamiseen sähköuuneilla (epäkypsä teknologia), höyryn käytön korvaamiseen sähkölämmittimillä ja sähkömoottoreilla (kypsä teknologia), höyryn tuotantoon vähäpäästöisesti lämpöpumpuilla ja sähkökäyttöisillä höyrykattiloilla (kypsä teknologia), CCS:ään höyryn tuotannossa ja leijukatalyyttisessä krakkauksessa (keskikypsä teknologia), fossiilisten polttoaineiden korvaamiseen biokaasulla (kypsä teknologia), vihreään vetyyn (kypsä teknologia) ja sähkölämmitteiseen höyrykrakkeriin (epäkypsä teknologia). Investointeihin vaikuttaa merkittävästi päästöoikeuden hinta, vihreän vedyn saatavuus ja CCS-tekniikan kehittyminen sekä regulaation kehittyminen. On kuitenkin epävarmaa, siirtyykö (ja millä aikataululla) kemianteollisuuden tuotannon painopiste pois fossiilisista kohti uusiutuvista raaka-aineista valmistettaviin vähäpäästöisiin tuotteisiin. (Semkin ym. (2023).

3.7.2 Teollisuuden päästöjen ohjauksen kehittäminen

3.7.2.1 Yleistä teollisuuden päästöjen ohjauksen kehittämisestä

Suurin osa teollisuuden päästöistä on päästökaupan piirissä. Nykyinen ja odotettu päästöoikeuksien hintatasokaan päästökaupassa ei kuitenkaan kannusta riittävästi päästöjen vähentämiseen, koska osa tarvittavista teknologioista on vielä kehitysvaiheessa tai niiden käyttöönotto on hyvin kallista. Ohjaukeinoja tulee suunnata paitsi päästöintensiivisten ratkaisujen alasajoon, myös edistämään uusien päästöjä vähentävien innovaatioiden syntyä ja niiden skaalaamista markkinoille (ks. luvut 3.1. ja 3.2.). Teollisuuden päästövähennysinvestointeihin onkin kannustettu myös useilla muilla instrumenteilla. Ohjaus voi kohdistua tarjontaan tai kysyntään. Tarvittavan lisäohjauksen määrä ja keinot vaihtelevat toimialoittain ja teknologioittain.

Kässi & Wang (2026) arvioivat Suomen vihreään siirtymään liittyvien yritystukien tasoa ja rakennetta suhteessa muihin Euroopan maihin. Vaikka yritystukien määrällä mitattuna (suhteutettuna bruttokansantuotteeseen) Suomi kuului vuosina 2019–2023 EU:ssa eniten vihreää siirtymää tukeviin maihin, tästä ei voida suoraan päätellä tukipolitiikan ohjausvaikutusta. Suomessa tukijärjestelmä painottui tuona ajanjaksona kustannuksia kompensoiviin instrumentteihin samalla, kun monissa suurissa EU-maissa tuettiin suuremmin investointihankkeita ja teknologisia murroksia. (Kässi & Wang 2026).

Yritysten tukemisen keskeinen syy on markkinaepäonnistumisten korjaaminen (Laukkanen & Maliranta 2019). Esimerkiksi innovointiin liittyy riskejä ja vaikeuksia saada markkinaehtoista rahoitusta, ja tässä julkinen valta voi puuttua peliin esimerkiksi tarjoamalla rahoitusta markkinoiden ehtoja edullisemmin. Verotukien kohdalla vastaava logiikka ei päde. (Kässi & Wang 2026). Verotuet ja jatkuvat tukimuodot ovat läpinäkymättömiä, eikä niiden yhteys uudistumis- ja tuottavuusvaikutuksiin ole selvä (Kuosmanen 2025).

Suomen vuosien 2019–2023 keskeisimmillä tukimuodoilla ei ole empiirisessä tutkimuksessa havaittu olevan merkittäviä vaikutuksia yritysten investointeihin, pitkän aikavälin kilpailukykyyn tai tuottavuuskehitykseen (Kässi & Wang 2026). Ferraran ja Giuan (2022) sekä Wangin (2024) analyysien mukaan teollisuuden sähköistämistuki ei ole vaikuttanut yritysten kilpailukykyyn. On kuitenkin huomionarvoista, että tällä hetkellä ei ole enää käytössä kaikkia vuosina 2019–2023 olleita tukimuotoja, ja sähköistämistukikin päättyy vuoden 2026 loppuun.

Investointi- ja innovaatiotuet olivat 2019–2023 suhteellisen pieni osa Suomen tukikokonaisuudesta, vaikka taloustieteellisen kirjallisuuden mukaan ne olisivat potentiaalisimpia synnyttämään tuottavuusvaikutuksia. Business Finlandin myöntämällä energia- ja investointituilla sekä EU:n myöntämällä Innovaatorahaston rahoituksella ohjataan perustellusti resursseja teknologioihin, joihin ei saada riittävästi markkinaehtoista rahoitusta. (Kässi & Wang 2026). Valtiontalouden tarkastusvirasto kuitenkin suosittelee tarkastuskertomuksessaan, että energiainvestointituille laadittaisiin konkreettiset tulostavoitteet ja seurantaindikaattorit. Lisäksi suositetaan tuen kriteerien ja tukiprosessin kehittämistä varmistamaan tuen kohdistumisen aidosti uuteen teknologiaan ja kustannusvaikuttavimmille hankkeille. (VTV 2025b).

Investointituilla on vain rajallinen vaikutus investointien vauhdittamiseen, koska lähtökohtaisesti yrityksessä kehitetään investointihankkeita kokonaiskannattavuuden eli takaisinmaksukykyyn varaan (Semkin ym. 2023). Afryn selvityksessä (Semkin ym. 2023) keskeisimmäksi tekijäksi investointien toteutumiselle nousikin johdonmukainen toimintaympäristö niin rahoituksen, verotuksen, sääntelyn, ohjauksen kuin muidenkin politiikkatoimien osalta.

Eta (Einiö ym. 2022) on Acemoglun ym. (2018) kehittämää mallia käyttäen arvioinut erilaisten yrityssektoriin kohdennettujen politiikkatoimien kokonaistaloudellisia vaikutuksia. Mallilaskelmien mukaan T&K-tukien määrän kasvattaminen olisi kannattavaa. Keskeinen innovaatiopolitiikkaa koskeva tulos on, että T&K-tukia tulisi kohdentaa yrityksille, joiden innovaatiokapasiteetti on korkein, eli joiden käytössä T&K-työvoima tuottaa suurimmat lisäykset yrityksen tuottavuuteen. Mallissa ei kuitenkaan ole mukana ilmastotavoitteita.

Tarjontapuolen tuista T&K-tukien taloustieteellisenä perusteena on nostaa yksityisten yritysten investoinnit yhteiskunnallisesti optimaaliselle, muille yrityksille ja kuluttajille aiheutuvat positiiviset ulkoisvaikutukset huomioonottavalle tasolle. Kuosmanen (2025) yritystukia koskevan selvityksen mukaan T&K-tukien myöntämisperusteita tulisivat kehittää siten, että ne painottaisivat nykyistä enemmän hankkeen arvioituja ulkoishyötyjä ja omarahoitusosuuden tulisi olla korkeampi hankkeille, joiden ulkoishyöty yhteiskunnalle jää vähäisemmäksi. Ulkoishyötyjen arvioimiseksi Kuosmanen (2025) ehdottaa pisteytysjärjestelmää, vastaavan ehdotuksen ovat aiemmin tehneet Takalo ja Toivanen (2018). Järjestelmän käyttöönotto voisi lisätä vihreän siirtymän hankkeiden osuutta T&K-rahoituksesta, sillä vihreän siirtymän tukeminen on yksi ehdotetuista kriteereistä. EY:n tutkimuksessa (Martikainen ym. 2023) arviointiin taloustieteen menetelmin Business Finlandin TKI-tukiohjelmia ulkoisvaikutusten näkökulmasta. Tutkimuksessa ei havaittu tiedon leviämisen aiheuttamaa positiivista ulkoisvaikutusta työntekijöiden liikkuvuuden kautta. Tukiohjelman tyypillä puolestaan havaittiin olevan merkitystä, sillä Business Finlandin yhteistyömuodoille, kuten ekosysteemi- tai klusteritoiminnalle suunnatut tuet lisäsivät tuettujen tahojen TKI-toimintaa keskimääräistä enemmän. Negatiivisten ulkoisvaikutusten osalta havaittiin, että tuet ovat saattaneet heikentää luovaa tuhoa. Business Finlandin tukiohjelmien ei havaittu syrjäyttäneen yksityisiä TKI-investointeja vaan päinvastoin lisänneen niitä, mikä saattoi johtua siitä, että ne korjasivat rahoitusmarkkinoiden epäonnistumisia.

Julkinen sektori voi edistää T&K-toimintaa usein keinoin. T&K-verotuen on kansainvälisissä tutkimuksissa havaittu lisänneen yritysten T&K-toimintaa ja innovaatioita (Kuosmanen 2025). Kuosmanen mukaan, jos T&K-avustukset määräytyvät ulkoishyödyn perusteella, ovat ne paremman osumatarkkuutensa perusteella suositeltavampi keino kuin verotuet. Selvityksessä todetaan lisäksi, että lainoja

käytetään yritysten tukemiseen yllättävän vähän ja että huomattava osa vastikkeettomina avustuksina myönnetystä tuesta olisi korvattavissa lyhyt- tai pitkäaikaisilla lainoilla.

Käytännön toimijoiden kehittämisehdotuksia puhtaan siirtymän TKI-tukiin on kartoitettu Afryn selvityksessä (Semkin ym. 2023) haastatteluin. Energiaintensiivisen teollisuuden edustajien mukaan varhaisen vaiheen TKI-tukien tulisi olla mahdollisimman teknologianeutraaleja, suoraviivaisia ja joustavia mm. aikataulun suhteen. Tukien painopisteen tulisi kuitenkin erota toimialakohtaisesti koska teknologisen kehityksen vaihe poikkeaa toimialoittain. On tärkeää kohdistaa tukea paitsi varhaiseen vaiheen TKI-tutkimukseen, myös hieman pidemmälle kehittyneen (Technology Readiness Level, TRL 4–5) teknologian kehitykseen sekä toisaalta myös koetoimintaan.

Sujuva luvitus nähtiin Afryn selvityksessä (Semkin ym. 2023) yhtenä tehokkaimmista keinoista edistää päästövähennysteknologioiden käyttöönottoa. Suurten teollisuuden investointien ja erityisesti uuteen teknologiaan liittyvän luvituksen tehostamiseen toivottiin lisää resursseja ja niiden tehokasta käyttöä. Luvitusprosessin tulisi olla läpinäkyvää ja ennakoitavaa, jotta päästövähennysinvestointien toteuttaminen ei hidastuisi.

Kysyntäpuolen ohjauksessa luodaan markkinoita päästöttömille tai vähäpäästöisille tuotteille. Tällöin ohjaus ei vääristä yritysten välistä kilpailuasetelmaa eikä aiheuta tukiohjelmien kaltaisia kustannuksia valtiontaloudelle. Julkisen vallan toimien lisäksi myös yritysten omat, arvoketjun Scope 3 päästöt sisältävät nettonollatavoitteet edistävät puhtaan siirtymän tuotteiden kysyntää.

Kasvuriihi-hankkeen loppuraportissa epävarmuus lopputuotteiden kysynnästä tunnistettiin suurimmaksi haasteeksi puhtaan siirtymän investoinneille (Murto ym. 2025). Lisätoimia tarvitaankin puhtaan siirtymän lopputuotteiden markkinoiden kasvattamiseksi sekä Euroopassa että kotimaassa. Raportissa esitetään, että Suomen tulisi ottaa puhtaan, vihreän siirtymän loppumarkkinoiden kasvua ajavat politiikkatoimet EU-vaikuttamisen kärkiteemoiksi. Harkittaviksi politiikkatoimiksi ehdotetaan sektorikohtaisten tavoitteiden, velvoitteiden ja muiden ohjauskeinojen käyttöä fossiilivapaiden tuotteiden markkinoiden edistämiseksi koko EU:n tasolla. Tästä esimerkkinä mainitaan velvoittavat osuudet fossiilivapaan teräksen tai vähähiilisen betonin käytölle rakentamisessa. Raportissa esitetään myös erilaisten kauppapoliittisten keinojen, kuten standardien ja hiilirajamekanismin laajentamista useampaan tuoteryhmään tukemaan niiden kilpailuasemaa globaaleilla markkinoilla. Kotimaan markkinoiden kasvattamiseksi raportti esittää julkisten hankintojen nykyistä voimakkaampaa kohdistamista puhtaan siirtymän tuotteisiin.

Rakennusten tai rakennustuotteiden hiilijalanjäljen sääntelyllä voitaisiin ohjata sementin ja teräksen päästövähennyksiin joko vähäpäästöisempien tuotteiden tai vaihtoehtoisten materiaalien käyttöön siirtymisen kautta. Asetus uusien rakennusten hiilijalanjäljen raja-arvoista astui voimaan tammikuussa 2026, ja sitä sovelletaan uudisrakennuksiin, joiden rakentamislupahakemus tulee vireille 9.1.2026 tai sen jälkeen³⁸. Asetus liittyy rakentamislain tavoitteeseen torjua ilmastonmuutosta ja edistää kiertotaloutta. Vuoden 2026 alussa käyttöön otettavat raja-arvot ovat maltillisia, ja pääosa uusista rakennuksista alittaa ne ilman päästövähennystoimia. Vuoden 2029 alusta alkaen raja-arvot kiristyvät maltillisesti. Koska rakennusten hiilijalanjälkeen vaikuttaa myös energiankulutuksen päästöt, rakennusten hiilijalanjälki pienenee vuosittain, vaikka itse rakennuksiin ei tehtäisikään vähähiilisyysnäköisiä toimia. Lausuntokierroksella³⁹ ehdotettiin rakennustuotteiden ja energiankäytön hiilijalanjäljen ohjauksen eriyttämistä tai raja-arvojen kohdistamista pelkästään rakennustuotteisiin. Tämä mahdollistaisi tehokkaamman ohjauksen rakennustuotteiden hiilijalanjälkeä koskien, joten ehdotus voitaisiin ottaa tarkemmin arvioitavaksi. Sekä Luonnonsuojeluliiton että fossiilittomia rakennusmateriaaleja

³⁸ <https://ym.fi/-/uusien-rakennusten-hiilijalanjaljelle-maaritetty-raja-arvot-1>

³⁹ <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=ab777191-373b-43ac-bc10-66551e3dc7ec>

edustavien tahojen lausunnoissa asetuksessa määriteltyjä raja-arvoja pidettiin liian löysinä luomaan todellisia kannustimia kierrätysmateriaalien käyttöön ja vähähiilisten rakennustuotteiden markkinoiden kasvuun. Raja-arvoja tulisivat selvästi kiristää, jotta niillä olisi ohjaavaa vaikutusta sementin ja betonin valmistuksen päästövähennyksiin tai korvaavien materiaalien käyttöönottoon.

3.7.2.2 Toimialakohtaiset tarkastelut

Seuraavaksi ohjauksen kehittämistä käydään läpi toimialoittain ja käsitellään myös hiilidioksidin talteenoton ohjausta.

Terästeollisuuden osalta suomalaiset toimijat näkevät kysyntäpuolen ohjauksen välttämättömäksi ja tehokkaaksi keinoksi luoda edellytyksiä yksityisille investoinneille⁴⁰. Keskeisinä EU-tason toimina nähdään tuotemerkinnät ja julkiset hankinnat. Toimijat esittävät, että EU:n tulisi muodostaa harmonisoidut tuotemerkinnät ja määritelmät vähä- ja lähes nollapäästöiselle teräkselle. Julkisten hankintojen sääntelyn tulisi puolestaan sisältää sitovat minimitasot ja suosituimmuusasema puhtaan teräksen tuotteille. Hiilirajamekanismin käyttöönotto edesauttaa päästömerkintöjä globaalilla tasolla. Vähäpäästöiselle/päästöttömälle teräkselle on jo syntynyt omia markkinoita. Esimerkiksi autoteollisuus, jossa puhtaan teräksen lisäkustannuksella on vähäinen vaikutus lopputuotteen hintaan, on yksi edelläkävijöistä puhtaan teräksen käyttäjänä⁴¹. Yritys voi alentaa investointipäätöksen riskiä tekemällä sopimuksia ostajien kanssa, tästä esimerkkinä on SSAB:n tekemät sopimukset⁴². Julkisen vallan toimesta markkinariskiä voitaisiin alentaa hiilen hintaerosopimuksin (CCfD), jota käsitellään vedyn osalta luvussa 3.11.2. Investoinneilla välttämättömiä edellytyksiä ovat myös edullisen, päästöttömän sähkön ja vedyn saatavuus. Ruostumattoman teräksen osalta keskeinen ohjauksen muoto on lähitulevaisuudessakin TKI-tuet.

Kemianteollisuuden investointeihin vaikuttaa merkittävästi päästöoikeuden hinta, vihreän vedyn saatavuus ja CCS-tekniikan kehittyminen sekä regulaation kehittyminen (Semkin ym. 2023). Vihreän vedyn tuotannon ja käytön kannustamista käsittelemme luvussa 3.11. ja CCS-tekniikan ohjausta myöhemmin tässä luvussa. Regulaation kehittämistarpeista esiin on nousseet esimerkiksi hiilen hintaerosopimukset (CCfD), jotka kannustaisivat investointien toteuttamiseen myös tilanteessa, jossa päästöoikeuden hintataso ei ole riittävän korkea tuottaakseen riittävän kannusteen investointeihin (Semkin ym. 2023).

Metsäteollisuus pitää päivitettyssä ilmastotiekartassaan tärkeänä sähköistämisen tuen jatkamista ja sähköveron alhaalla pitämistä (Metsäteollisuus 2025). He painottavat hiilivuodon torjumista ja energiantensiivisen teollisuuden kilpailukyvyistä huolehtimista mm. kanavoimalla päästökauppatuloja teollisuuden päästöjen vähentämiseen. On kuitenkin tärkeää arvioida, kuinka paljon päästövähennysinvestointeja tehtäisiin ilman tukiaisiakin. Lisäksi on löydettävissä ohjauskeinoja myös puupolttoaineiden poltosta aiheutuvien päästöjen vähentämiseksi, esimerkiksi ulottamalla niihin jonkinasteinen hiilen hinnoittelu (ks. luku 3.6.2.2). Metsäteollisuudella on mahdollisuus luoda uutta liiketoimintaa talteen otetusta puuperäisestä hiilidioksidista (Metsäteollisuus 2025).

Sementtiteollisuudessa päästökaupan ilmaisjaon asteittainen poistaminen kannustaa päästöjen vähentämiseen ja hiilirajamekanismin käyttöönotto turvaa kalliimman vähäpäästöisen sementin kilpailuasemaa EU-markkinoilla. CCS/CCU teknologioihin liittyvät ohjauskeinot ovat tärkeässä asemassa.

⁴⁰ <https://www.clc.fi/proposals-and-statements/boosting-demand-creating-lead-markets-for-near-zero-emission-steel-in-the-eu>

⁴¹ <https://www.motor.com/2025/07/how-automotive-and-other-sectors-create-green-steel-demand/>

⁴² <https://www.ssab.com/en/news/2024/04/ssab-continues-the-transformation-with-a-fossilfree-minimill-in-lule-sweden>

Kysyntäpuolella on tärkeää luoda kannustimia päästöttömien tai vähäpäästöisten ratkaisujen käyttöönotolle yllä mainittuja keinoja käyttäen. Semkinin ym. (2023) selvityksen sidosryhmähaastattelussa sementtiteollisuuden osalta mainittiin ohjauksen ongelmakohtina muun muassa TKI-tukien riittämättömyys, pienimuotoiseen koetoimintaan kohdistuva hallinnollinen taakka täysimittaisesta lupakäsitteilyprosessista ja nykyinen regulaatio kierrätysyötteille, joka ei kannusta fossiilisten kierrätysyötteiden hyödyntämiseen.

Hiilidioksidin talteenoton ja teknisten poistojen ohjausta on syytä kehittää riippumatta teknologiasta. Ilmastopaneeli on arvioinut BECCS:in kustannusten olevan n. 120–240 €/tCO₂ tapauskohtaisesti (Kujanpää ym. 2023). DACCS:in kustannukset on puolestaan arvioitu olevan huomattavasti korkeammat eli 200–1 000 €/tCO₂ (Smith ym. 2024). CCU:n kustannuksista on vaikea esittää yleistä arviota. Euroopan komissio on ehdottanut pysyville teknisille poistoille hintaohjausta kannustaakseen niiden avulla tehtävää vaikeasti vähennettävien päästöjen kompensointia esimerkiksi teollisuudessa⁴³.

Suomessa on käynnistynyt teollisuuden bioperäisen hiilidioksidin talteenoton tukiohjelma⁴⁴. Tuki myönnetään hankkeille tarjouskilpailun perusteella. Tukea saavat hankkeet, joilla on euromäärältään alhaisin tuen tarve investoitavaa talteenottokapasiteettia kohden. Tukiohjelman perustana on valtioneuvoston asetus teollisuuden bioperäisen talteenoton edistämiseksi myönnettävästä avustuksesta vuosina 2026–2032 (1174/2025)⁴⁵. Asetuksen mukaan avustusta voidaan myöntää sekä hiilidioksidin pysyvän varastoinnin että hyötykäytön investointeihin. Rahoitettavien hankkeiden on käynnistytävä vuoden 2030 loppuun mennessä, ja otettava talteen ainakin 15 ktCO₂ vuodessa ainakin vuoden 2035 loppuun asti. Tukea myönnetään 90 miljoonaa euroa. (Lounasheimo ym. 2026).

Lausuntokierroksella valtioneuvoston asetukseen teollisuuden bioperäisen hiilidioksidin talteenoton edistämiseksi myönnettävästä avustuksesta⁴⁶ ehdotettiin, että hallitus käynnistäisi hiilenpoisto- ja hyötykäyttöteollisuuden toimintaedellytyksiä vahvistavan lainsäädäntökokonaisuuden valmistelun, jonka mittakaava ja vaikuttavuus markkinaan on samaa suuruusluokkaa kuin Ruotsin ja Tanskan nykyisten ohjelmien eli useita miljardeja euroja. Lisäksi ehdotettiin, että myöntöpäätöksiä kiirehdytettäisiin, jolloin tuetut hankkeet voisivat hyödyntää kansallista sitoumusta EU:n Innovaatorahastohakemuksissa, joiden määräaika on loppukeväästä 2026. Euroopan komissio tukeekin CCUS hankkeita erilaisilla instrumenteilla. Toisaalta lausuntokierroksella arvosteltiin sitä, että asetuksessa esitetään merkittävää julkista rahoitusta uusille teknisille nieluille mutta luonnollisten hiilinielujen tukirakenteet ovat puutteellisia, vaikka metsien ja maaperän hiilivarastojen vahvistaminen on nopein, varmin, sekä kustannustehokkain tapa lisätä hiilinieluja ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Tässä raportissa metsien nielujen kehittämisen ohjauskeinoja käsitellään luvussa 3.12.

3.7.3 Teollisuuden ohjauksen arviointi

Analysoimme taulukossa 11 suurten investointien verohyvitystä, sillä se on merkittävä uusi ohjauskeino, jolle on kaavailtu jatkoa. Siinä on kuitenkin arvioiden mukaan ongelmallisia kohtia, jotka haluamme tuoda tässäkin raportissa esille.

⁴³ https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2040-climate-target_en

⁴⁴ [https://tem.fi/documents/1410877/253795672/Infotilaisuus%2022.1%20\[nettiin%20ladattava%20versio\].pdf/d00f6e69-c647-5f56-e884-33d284952f4a?t=1769167708205](https://tem.fi/documents/1410877/253795672/Infotilaisuus%2022.1%20[nettiin%20ladattava%20versio].pdf/d00f6e69-c647-5f56-e884-33d284952f4a?t=1769167708205)

⁴⁵ <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2025/1174>

⁴⁶ <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/ParticipationNonJsShowReport?proposalId=688c91e8-ff21-490c-a174-36bde5912516>

Taulukko 11. Teollisuuden ohjauskeinojen arviointi

Ohjauskeino	Vaikuttavuus tavoitteisiin				Taloudelliset vaikutukset				Oikeudenmukaisuus	Toteutettavuus
	Ilmasto	Ohjaa pois fossiilista	Energiajärj. resilienssi	Muu ympäristökuormitus	Kuluttajat	Yritykset	Valtio	Kokonaistalous		
Suurten investointien verohyvitys	+	+	+	?	?	+	--	?	Suosii suuria yrityksiä	Helppo (jo käytössä)

Suurten ilmastoneutraaliin talouteen tähtäävien investointien verohyvityksen vaikuttavuus ilmastoon, fossiilista pois ohjaamiseen ja energiajärjestelmän resilienssiin voidaan arvioida positiiviseksi, sillä se tukee uusiutuvan energian tuotantoa ja varastointia, teollisuuden tuotantoprosessien päästöjen vähenemistä ja energiatehokkuuden parantamista ja olennaisten laitteistojen (esim. akut) valmistamista. Epävarmuutta arvioidaan tuottaa se, kuinka paljon näitä investointeja olisi tehty ilman tukeakin. Verohyvityksen vaikutus ympäristökuormitukseen on vaikea arvioida. Ympäristökuormitukseen vaikuttaa se, että uusiutuvan energian tuotannon tai energian varastoinnin investoinnin osalta hakijan on osoitettava, että hankkeessa noudatetaan DNSH-periaatetta (ei-merkittävää-haittaa-periaate)⁴⁷.

Myös kuluttajille verohyvityksestä koituvia talousvaikutuksia on vaikea arvioida. Ne voivat olla positiivisia, jos sähköntuotanto lisääntyy enemmän kuin sen käyttö, johtaen sähkön hinnan alentumiseen. Verolla on positiivisia vaikutuksia suurille yrityksille, jotka saavat verohyvitystä. Pienille yrityksille (joilla ei ole mahdollisuutta tehdä näin suuria investointeja) verohyvityksestä voi kuitenkin olla jopa välillisesti haittaa, koska se huonontaisi heidän kilpailuasemaansa. Valtiolle verohyvitys on erittäin kallis. Vaikutukset työllisyyteen ja talouskasvuun ovat kokonaisuus huomioiden vaikeita arvioida, ja vaikutukset innovaatiopotentiaaliin voivat olla negatiiviset pienten kasvuyritysten jäädessä tuen ulkopuolelle. Verohyvityksellä on oikeudenmukaisuusmielessä ongelma sen suosimassa suuria yrityksiä. Verohyvitys on jo käytössä, joten sen toteutettavuus on siinä mielessä helppo.

3.8 Rakennusten energiankulutus

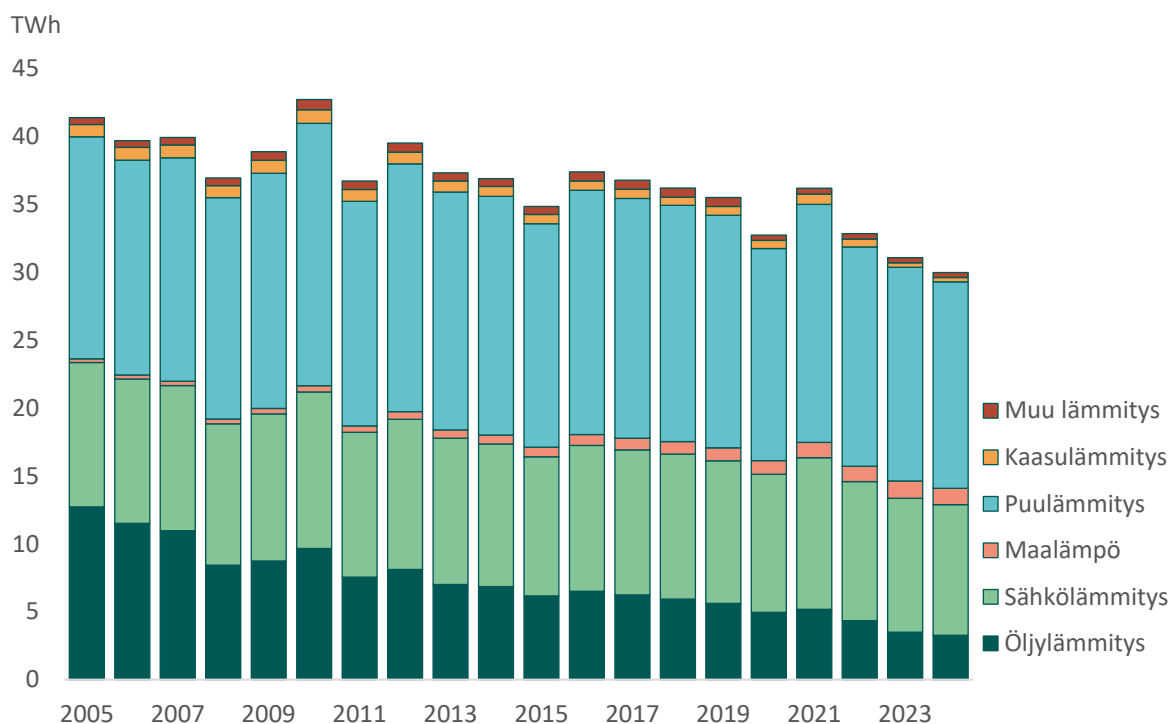
3.8.1 Nykytilanne rakennusten energiankulutuksen ohjauksessa

Rakennusten energiankulutus muodostaa Suomessa merkittävän osan loppuenergiankäytöstä ja siihen liittyvistä kasvihuonekaasupäästöistä. Rakennusten energian käytön jakauma on esitetty kuvassa 19 (Syke 2026). Yleispiirteitä voidaan havaita, että energiankulutus on pienentynyt energiatehokkuuden parantumisen seurauksena, vaikka rakennuskannan koko onkin kasvanut. Merkittävin kasvihuonekaasupäästöjä vähentävä kehityskulku liittyy öljylämmityksen käytön vähentämiseen. Samalla ajanjaksolla sähkön tuotannon päästökertoimet ovat pienentyneet merkittävästi, minkä seurauksena lämmityssähkön käytön päästöt ovat laskeneet, vaikka lämmityssähkön käytön määrä onkin pysynyt suhteellisen

⁴⁷ <https://www.businessfinland.fi/palvelut/rahoitus/rahoituspalvelut/verohyvitys-suurille-puhtaan-siirtyman-investoinneille/>

muuttumattomana. Puulämmityksen määrä Suomessa on suuri, mutta koska se lasketaan hiilidioksidin osalta nollapäästöiseksi, on siihen liittyvät kasvihuonekaasupäästöt pienet. Lämmitystapajakauman ohella energiankulutuksen tasoon ja päästöihin vaikuttavat erityisesti rakennuskannan ikä ja energiatehokkuus sekä käyttäjien kulutuskäyttäytyminen.

Rakennusten energiatehokkuutta ohjataan ensisijaisesti rakentamisen lainsäädännön, taloudellisten kannustimien, energian hinnoittelun sekä informaatio-ohjauksen kautta. EU-tason sääntely raamittaa kansallista ohjausta. Energiatehokkuusdirektiivi (EED)⁴⁸ ohjaa jäsenmaita toteuttamaan järjestelmällisiä energiansäästötoimia, ja rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD)⁴⁹ painottaa sekä uusien rakennusten päästöttömyyden suuntaa että olemassa olevan rakennuskannan korjausrakentamista siten, että energiatehokkuus kytkeytyy aiempaa vahvemmin päätöksentekoon. Uusiutuvan energian direktiivi (RED III)⁵⁰ määrittää uusiutuvan energian osuustavoitteet lämmitys- ja jäähdytyssektorilla, ja tukee lämpöpumppujen, uusiutuvan kaukolämmön sekä hukkalämpö- ja varastoratkaisujen yleistymistä ja niiden integraatiota alueellisiin energiajärjestelmiin. Energiatehokkuustodistukset toimivat informaatio-ohjauksen välineenä erityisesti asuntokaupassa ja vuokrauksessa, mutta niiden käytännön vaikutus riippuu tiedon laadusta, ymmärrettävyydestä ja siitä, heijastuuko energialuokka rahoituksen ehtoihin, arvostukseen ja korjauspäätöksiin. Mittaristo painottuu tyyppillisesti energian määrään ja energiamuotoihin, jolloin rakennuksen ohjattavuus ja joustokyky näkyvät niissä rajallisesti.



Kuva 19. Rakennusten erillislämmityksen energiankulutukset vuosina 2005–2024 (Syke 2026). Kuva havainnollistaa, että rakennusten erillislämmityksen energiankulutus on pienentynyt ja samalla öljylämmityksen käyttö on vähentynyt. Puulämmityksen ja sähkölämmityksen osuudet ovat edelleen suurimmat.

⁴⁸ https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en

⁴⁹ https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/energy-performance-buildings-directive_en

⁵⁰ https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en

Uudisrakentamista ohjaavat rakentamislainsäädäntö⁵¹ ja sitä täydentävät asetukset⁵², jotka määrittävät energiatehokkuuden vähimmäistasot. Energiatehokkuusvaatimukset perustuvat pitkälti rakennuksen laskennalliseen E-lukuun, joka huomioi eri energiamuotojen kertoimet ja kannustaa vähäpäästöisiin energialähteisiin. Uudisrakentamisen ohjaus on Suomessa suhteellisen tiukkaa, ja uudet rakennukset ovat pääosin hyvin energiatehokkaita. Ohjauksen käytännön vaikuttavuus toteutuneeseen kulutukseen riippuu kuitenkin suunnitteluratkaisujen lisäksi toteutuksen laadusta, järjestelmien käyttöönnotosta, säädoista ja siitä, miten energiankäytön hallinta toimii käytännössä. Uudisrakentamisessa energiatehokkuusvaatimukset ovat kiristyneet selvästi, mutta suuri osa rakennuskannasta on rakennettu ennen nykyisiä vaatimuksia. Tämän vuoksi energiatehokkuuden ja lämmitystapojen muutosten painopiste kohdistuu olemassa olevaan rakennuskantaan, jossa ratkaisut lukitsevat energiankäytön ja kustannusrakenteen pitkäksi aikaa.

Olemassa olevan rakennuskannan osalta ohjaus perustuu osittain korjausrakentamisen energiatehokkuusvaatimukseen, jotka tulevat sovellettaviksi laajempien korjausten yhteydessä. Käytännössä suuri osa energiatehokkuustoimista toteutuu kuitenkin vapaaehtoisesti, taloudellisten kannustimien ja energian hinnan ohjaamana. Rakennusten omistajille on ollut tarjolla erilaisia tukimuotoja, joilla on edistetty fossiilisesta lämmityksestä luopumista⁵³ sekä energiatehokkuusparannuksia⁵⁴. Tukien vaikuttavuus liittyy ehtojen kohdentamiseen, hallinnolliseen sujuvuuteen ja ennakoitavuuteen: jos tukitasot, tukikelpoisuus tai rahoituskehikko muuttuvat usein, investointipäätökset siirtyvät ja markkinan kapasiteetti vaihtelee. Tukijärjestelmät kohdentuvat käytännössä herkästi niihin hankkeisiin, joissa päätöksenteko ja rahoitus ovat valmiiksi helpompia, kun taas heikoimmin suoriutuvat ja rahoitusrajoitteiset kohteet jäävät suhteellisesti useammin toimenpiteiden ulkopuolelle⁵⁵. Verovähennyspohjaisissa kannusteissa⁵⁶ ohjausvaikutus vaihtelee kotitalouksien verotettavan tulopohjan mukaan, mikä heijastuu kannustimien kattavuuteen eri tuloryhmissä.

Energian hinnoittelu on keskeinen ohjausmekanismi. Sähkön, kaukolämmön, polttoöljyn ja muiden lämmityspolttoaineiden hinnat vaikuttavat suoraan investointikannustimiin ja myös käyttöön. Hintojen nousu ja vaihtelu ovat lisänneet kiinnostusta energiatehokkuuden parantamiseen ja omavaraisuutta lisääviin ratkaisuihin, kuten aurinkosähköön. Fossiilisten polttoaineiden hinnan nousu ja hiiliperusteinen verotus ovat heikentäneet öljy- ja kaasulämmityksen suhteellista kilpailukykyä. Kansallisen energiaverotuksen lisäksi fossiilisten polttoaineiden jakeluun kohdistuva EU:n päästökauppajärjestelmän laajennus (ETS2) kohdistaa erillislämmityksessä käytettäville fossiilisille polttoaineille uuden päästöperusteisen kustannuksen polttoaineen jakeluketjun kautta. Järjestelmä vaikuttaa polttoaineiden hintasuhteisiin ja vahvistaa hintaohjausta kohti vähäpäästöisiä lämmitysratkaisuja ja energiansäästöä, koska fossiilisten polttoaineiden käytön kustannus nousee suhteessa vähäpäästöisiin vaihtoehtoihin. On huomattava, että hinnankorotusten kompensointi laaja-alaisilla toimilla heikentää energiansäästön ja fossiilista irtautumisen kannusteita, jos se alentaa pysyvästi loppukäyttäjän kokemaa fossiilisten polttoaineiden kustannusrasitusta.

⁵¹ Rakentamislaki (751/2023) <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2023/751>.

⁵² Laki rakennuksen energiatodistuksesta (50/2013) ja Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta (1048/2017) <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2017/1048>.

⁵³ Tyypillinen avustussumma on ollut 4 000 euroa siirryttäessä esimerkiksi kaukolämpöön, maalämpöön tai ilma-vesilämpöpumppeihin. Avustuksia on myös myönnetty kuntien kiinteistöille. Lisäksi käytössä on ollut korotettu kotitalousvähennys öljylämmityksestä luopumiseen.

⁵⁴ Energia-avustuksia myönnettiin asuinrakennuksille 244,4 miljoonaa euroa vuosina 2020–2023 (Ympäristöministeriö 2025).

⁵⁵ <https://decarbonhome.fi/ratkaisuja-jaljella-olevat-oljylammitajat-entista-haavoittuvampi-ryhma/>

⁵⁶ <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/81182/kotitalousvahennys-asunnon-kunnossapito-ja-perusparannustoista-seka-oljylammituksesta-luopumisesta-aiheutuneista-toista2/>

Biopolttoöljyn käytön lisäämistä ohjataan kevyen polttoöljyn bio-osuutta koskevalla sekoitvelvoitteella, joka velvoittaa polttoaineen jakelijoita kasvattamaan uusiutuvan komponentin osuutta markkinoille toimitettavassa polttoöljyssä. Ohjaus kohdistuu erityisesti erillislämmitykseen ja muihin kohteisiin, joissa nestemäisten polttoaineiden käyttö on edelleen yleistä, ja se vähentää polttoaineen elinkaarisia kasvihuonekaasupäästöjä ilman, että rakennuskohtaisia investointeja on välttämättä tehtävä. Sekoitteisiin perustuvassa ohjauksessa kokonaisvaikutus määräytyy velvoitetason, polttoaineiden hinnanmuodostuksen ja jakeluketjun toteutustapojen kautta. Voimassa olevan lainsäädännön⁵⁷ mukaan kevyen polttoöljyn bio-osuuden on oltava vähintään 8 % vuonna 2026 ja 10 % vuonna 2028 ja sen jälkeen. Vuoden 2025 keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmassa (Ympäristöministeriö 2025) toimenpidepakettiin sisällytettiin toimenpide, jonka mukaisesti jakeluelvoite nousisi 15 % tasolle vuonna 2030.

Rakennusten sähköistyessä ohjaus kytkeytyy aiempaa vahvemmin myös sähköverotukseen sekä sähkön jakeluverkon kapasiteettiin ja hinnoitteluun. Sähköön perustuvien lämmitysmuotojen käyttökustannus muodostuu markkinahinnan lisäksi sähköverosta⁵⁸ ja siirtomaksuista (Energiavirasto 2026), ja siirtotariffien rakenne vaikuttaa siihen, kannustetaanko kuormanhallintaan ja kulutuksen ajoittamiseen vai ei. Verkon liittymäteho, kiinteistöjen sisäiset sähköjärjestelmät ja paikallisen jakeluverkon vahvistustarpeet muodostavat käytännössä investointireunaehdoja, jotka vaikuttavat sähköisiin ratkaisuihin siirtymisen toteutettavuuteen ja kustannuksiin. Lämmitysjärjestelmävalinnat määräytyvät siten laite- ja energiahintavertailun ohella myös sähköjärjestelmän reunaehdojen ja tariffirakenteiden kautta, mikä heijastuu myös sähkön kulutusjouston taloudelliseen hyödynnettävyyteen.

Kaukolämpösektorin päästöjen vähentyminen on muuttanut rakennusten päästöprofiilia merkittävästi. Fossiilisten polttoaineiden väistyessä ja hukkalämpöjen, lämpöpumppujen ja muiden vähäpäästöisten tuotantomuotojen osuuden kasvaessa (ks. luku 3.6) rakennusten käytönaikaiset päästöt ovat vähentyneet kaukolämpöalueilla. Samaan aikaan sähkön tuotannon päästöjen väheneminen (ks. luku 3.5) pienentää lämpöpumppujen ja sähköisen lämmityksen ilmastovaikutuksia. Ohjauksen näkökulmasta kehitys korostaa energiatehokkuuden ja kulutusjouston merkitystä, kun päästövähennysten rinnalle nousee järjestelmävaikutus, jossa huipputehon hallinta, kuormituksen ajoitus ja rakennusten ohjattavuus vaikuttavat verkko- ja tuotantokustannuksiin sekä huoltovarmuuteen.

Etenkin taloyhtiöissä rakennusten energiankulutuksen ohjauksessa keskeinen haaste on investointien hajautuminen ja päätöksenteon monitasoisuus (Ruokamo ym., 2025). Pientaloissa päätökset tekee yksittäinen kotitalous, kun taas taloyhtiöissä käyttäjien näkökulmat eivät aina kohtaa. Vuokra-asunnoissa käyttäjien ja omistajien kannustimet eivät ole välttämättä linjassa. Toisin sanoen, hintasignaalit eivät yksinään välttämättä käynnistä investointeja, koska kustannukset ja hyödyt kohdistuvat eri osapuolille ja päätöksenteko on hajautunutta. Energiatehokkuusinvestoinnit ajoittuvat usein korjausikunoihin, jolloin päätösten ajoitus vaikuttaa ratkaisevasti kustannustehokkaiden mahdollisuuksien hyödyntämiseen. Julkinen sektori toimii esimerkkisegmenttinä oman kiinteistökantansa ja hankintojensa kautta, mutta toteutuksen laajuus ja yhdenmukaisuus vaihtelevat investointikehysten, osaamisresurssien ja hankintakäytäntöjen mukaan.

⁵⁷ Laki biopolttoöljyn käytön edistämisestä (418/2019) <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2019/418>.

⁵⁸ Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta (1260/1996) <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/1996/1260>

3.8.2 Rakennusten energiankulutuksen ohjauksen kehittäminen

Rakennuskannan energiankulutuksen ja päästöjen vähentäminen edellyttää ohjauksen kohdentamista olemassa olevaan rakennuskantaan ja erityisesti heikoimmin suoriutuviin kohteisiin (Ympäristöministeriö 2020). Keskeinen tavoite on muuttaa energiatehokkuusparannukset, lämmitysjärjestelmien modernisointi ja energianhallinnan kehittäminen oletusarvoiseksi silloin, kun rakennuksia korjataan. Tämä edellyttää korjausrakentamisen energiatehokkuusvaatimusten täsmentämistä ja toimeenpanon vahvistamista siten, että vaatimukset kohdistuvat olennaisiin energiankulutuksen ajureihin, kuten lämpöhäviöihin, ilmanvaihdon ja lämmön talteenoton ratkaisuihin, lämmitysjärjestelmiin, säätöön ja käyttöön. Samalla tarvitaan mekanismi, joka varmistaa, ettei heikoin rakennusjoukko jää vapaaehtoisuuden ja satunnaisten investointipäätösten varaan. Joustot ja poikkeukset tulee rajata läpinäkyvästi niihin tilanteisiin, joissa tekniset tai suojelliset reunaehdot estävät kustannusvaikuttavat toimet, ja ohjauksen tulee ohjata tällöinkin vaihtoehtoisiin, toteuttamiskelpoisiin parannuksiin.

On tunnistettava rakennuskanta, jossa laajat energiaremontit eivät ole taloudellisesti tai toiminnallisesti perusteltuja rakennuksen käyttöiän lyhyiden tai käyttötarkoituksen muutoksen vuoksi. Näissä kohteissa päästöjen vähentäminen perustuu käytännössä lämmitysenergian hiili-intensiteetin alentamiseen ja käyttötehokkuuden parantamiseen, ei rakennuksen syvään energiaremontoimiseen. Tällöin esimerkiksi nestemäisten polttoaineiden bio-osuuteen perustuva ohjaus on perusteltu täydentävä keino, mutta se voi nostaa polttoainehintoja ja siten lisätä kustannusrasitusta niissä talouksissa ja toimijoilla, joilla muut lämmitysvaihtoehdot ovat rajalliset. Lisäksi ohjausjärjestelmässä on syytä erottaa vapaaehtoinen siirtyminen täysimääräiseen bio-öljyyn sekoitevelvoitteen toteuttamisesta. Jos täysimääräinen bio-öljyn käyttö lasketaan mukaan velvoitteen täyttämiseen, seurauksena voi olla lisäisyyden heikkeneminen, missä vapaaehtoinen lisäpanostus korvaa osan velvoitepolttoaineesta sen sijaan, että se kasvattaisi kokonaiskäyttöä. Lisäisyyden varmistamiseksi täysimääräiseen bio-öljyyn siirtymistä on tarkoituksenmukaista käsitellä erillisenä toimenpidepolkuna, jolloin se täydentää velvoitejärjestelmää eikä kavenna sen kautta syntyvää päästövähennystä.

Taloudellisen ohjauksen on oltava ennakoitavaa ja kohdentua vaikuttavuuteen. Tarvitaan pysyvämpi rahoitus- ja kannustinkehikko, joka yhdistää avustukset, rahoitusinstrumentit ja tarvittaessa tulospurusteiset mekanismit siten, että tuki kohdistuu ensisijaisesti suurimpaan säästöpotentiaaliin ja rahoitusrajoihteisiin. Taloyhtiöissä keskeistä on päätöksenteon epävarmuuden pienentäminen liittyen kustannus- ja säästöarvioiden laatuun, hankkeiden vertailukelpoisuuteen, kilpailukykyisen rahoituksen saatavuuteen ja siihen, että tuet kytkeytyvät todennettavaan parannukseen. Pientaloissa ohjauksen tulee liittää lämmitystapamuutos ja energiatehokkuus toisiinsa, jotta järjestelmämuutos ei jää rakennuksen lämpöhäviöihin nähden alimitoitetuksi tai käyttöä ohjaamattomaksi ratkaisuksi. Vuokra-asutokannassa energiakustannusten osuutta vuokrasta tulisi seurata tarkemmin, mikä mahdollistaisi investointien kustannusten ja hyötyjen läpinäkyvän jaon ja tekisi energiatehokkuuden parantamisesta omistajan ja vuokralaisen yhteisen intressin.

Erityisesti öljylämmitteisissä kohteissa päästövähennystoimet ovat jo nykyohjauksella tyypillisesti kustannusvaikuttavia, koska fossiilinen lämmitysmuoto voidaan korvata vähäpäästöisellä ratkaisulla ja samalla alentaa lämmityskustannuksia. Energia- ja ilmastostrategiassa (Työ- ja elinkeinoministeriö 2026) öljylämmityksestä luopumisen tukea on ehdotettu jatkettavaksi, mutta sen toimeenpano tulisi sosiaalisen ilmatorahaston kautta tulla kohdennetuksi tarkemmin tukea todellisuudessa tarvitseville. On kuitenkin huomattava, että käytännön pullonkaulaksi voi kuitenkin usein muodostua investoinnin loppurahoituksen saatavuus tuen lisäksi, sillä vaikka investointi olisi taloudellisesti perusteltu, kiinteistönomistajan kyky rahoittaa alkuinvestointi voi olla rajallinen. Tämän vuoksi ohjauksen keskiöön on

nostettava investointikynnystä madaltavat rahoitusinstrumentit, valtiontakaukset, korkotukityyppiset mallit tai muut mekanismit, jotka pienentävät rahoittajan ja investoijan riskiä ja mahdollistavat kohtuuehtoisen lainoituksen myös niissä kohteissa, joissa vakuusarvot tai maksukyky muutoin rajoittavat investointia.

Kotitalousvähennys ja erityisesti öljylämmityksestä luopumiseen kohdennettu korotettu vähennys voivat vauhdittaa siirtymää, mutta instrumentin kattavuus on rakenteellisesti epätasainen. Vähennys toimii tehokkaimmin kotitalouksissa, joilla on riittävästi verotettavia tuloja vähennyksen hyödyntämiseen, ja toisaalta pienituloisilla ja osalla eläkeläisistä ohjausvaikutus voi jäädä heikommaksi, vaikka tarve pienentää energiakustannuksia ja hintariskejä olisi suuri. Lisäksi, jos korotettu vähennys kohdistuu vain yhteen toimenpidetyyppiin, ohjaus voi ohittaa muita energiatehokkuustoimia, jotka ovat joissakin kohteissa kustannusvaikuttavampia tai välttämättömiä, jotta lämmitysjärjestelmä toimii optimaalisesti. Tästä syystä on perusteltua arvioida, tulisiko ohjausta laajentaa valikoituihin energiaremonttitoimiin siten, että se kohdistuu todennettaviin säästöihin ja teknisesti järkeviin kokonaisuuksiin. Samalla on huomioitava mahdolliset vaikutukset remonttien hintoihin, sillä voimakkaasti kysyntää lisäävät tuet voivat nostaa urakkahintoja ja laitehintoja, jos tarjonta ja asennuskapasiteetti eivät kasva samassa tahdissa. Tämän riskin hallinta edellyttää ohjauksen ennakoitavuutta ja osaamisesta sekä kapasiteettipolitiikkaa, jotta markkina ehtii sopeutua.

Hintasignaalin johdonmukaisuus on säilytettävä. Laaja-alaiset energian loppukäyttäjähintaa alentavat toimet heikentävät energiansäästön ja fossiilisista irtautumisen kannusteita ja lykkäävät rakenteellista sopeutumista. Sosiaalisen hyväksyttävyyden varmistamiseksi tuki tulee kohdentaa haavoittuville kotitalouksille tavalla, joka ohjaa investointeihin, energianhallintaan ja kulutuksen optimointiin, ei fossiilisen kulutuksen ylläpitämiseen.

Rakennusten sähköistyessä lisäohjauksen tulee kohdistua myös sähköjärjestelmän reunaehtoihin. Energian hinnoittelun ja sähkön jakelun tariffirakenteiden on tuettava kuormanhallintaa ja kulutuksen ajoittamista, jotta sähköistyminen ei johda tarpeettomaan huipputehon kasvuun ja sitä kautta verkko- ja tuotantokustannusten nousuun. Tämä koskee sekä energiamarkkinan hintasignaalia että jakeluverkon hinnoittelua, sillä jos markkinahinta kannustaa ajoittamiseen mutta siirtomaksujen rakenne ohjaa päinvastaiseen suuntaan, rakennusten joustopotentiali jää hyödyntämättä. Samalla on sujuvoitettava verkkoon liittymistä ja tarvittavia vahvistuksia erityisesti kohteissa, joissa sähköinen lämmitys, lämpöpumput tai laajempi sähköistyminen edellyttävät liittymätehon kasvattamista tai kiinteistön sisäisten sähköjärjestelmien muutoksia. Tavoitteena tulee olla, että sähköistyminen toteutuu verkko- ja järjestelmäkustannuksia minimoivalla tavalla eikä muodostu kapasiteettipullonkaulojen vuoksi satunnaisesti ja alueellisesti epätasaiseksi.

Sähköistyvässä energiajärjestelmässä keskeinen lisäohjauksen kohde on rakennusten energianhallinta, automaatio ja kulutusjousto. Ohjauksen tulee varmistaa, että lämmitysjärjestelmäpäivitysten ja korjaushankkeiden yhteydessä rakennuksiin toteutetaan toimivat ohjaus- ja säätöratkaisut, mittaus ja seuranta sekä tarvittaessa lämpövarastointia hyödyntävät ratkaisut. Energiatehokkuustodistusten tulisi paremmin tunnistaa joustoratkaisut ja rakennuksen ohjattavuus. Nykyisissä ohjeistuksissa painottuvat energian määrä ja energiamuodot, mutta sähköistyvässä järjestelmässä myös kuormien ajallinen profiili ja kyky osallistua kulutusjousto- on sähköjärjestelmän kannalta olennaisia. Tämän vuoksi ohjausta on perusteltua kehittää niin, että ohjattavuus ja joustokyky näkyvät paremmin rakennuksen suorituskykykuvauksessa ja sitä kautta myös rahoituksen ja korjauspäätösten kannusteissa. Samassa yhteydessä rakennusten energiatehokkuusdirektiivin edellyttämää automaatio- ja ohjausjärjestelmiä koskevaa velvoiteohjausta on tarkoituksenmukaista laajentaa myös pienempitehoiseen rakennuskantaan.

Energia- ja ilmastostrategiassa rakennusten energiatehokkuutta edistäväksi toimeksi esitetty yleisluonteinen energianeuvonta ei riitä muuttamaan investointien kohdentumista tai toteutuksen laatua, vaan neuvonnan on oltava kohdekohtaisesti räätälöityä ja kytkeydyttävä päätöksenteon hetkiin, kuten lämmitysjärjestelmän uusimiseen tai taloyhtiön korjaushankkeen valmisteluun. Lisäksi neuvonnan saatavuus on keskeinen kysymys, sillä neuvonnan saaminen edellyttää kiinteistönomistajien aktiivisuutta. Vaikuttavampi malli perustuu proaktiiviseen, dataan nojaavaan kohdentamiseen, jossa heikoimmin suoriutuville rakennuksille tarjotaan valmiiksi räätälöity toimenpidepolku ja siihen liittyvä rahoitus- ja toteutusohjaus. Neuvonnan ja ohjauksen sisältö on samalla rajattava toimiin, joilla saavutetaan todennettavia energiansäästöjä ja päästövähennyksiä.

Tietopohjan kehittäminen on keskeinen osa ohjausta. Rakennusten energiankulutustiedot, lämmitystapajakauma, korjausaste ja todellinen energiankäyttö poikkeavat usein laskennallisista arvoista. Laskennallisen suorituskyvyn ja toteutuneen kulutuksen ero sekä tietolähteiden hajanaisuus heikentävät kohdentamista ja vaikuttavuuden arviointia. Rekisteripohjaisen tiedon, energiatodistusaineistojen ja mitatun kulutustiedon yhteensovittamisen hyödyntämistä rajaavat aineistojen vertailtavuus ja laadunvarmennus. Lisäohjauksen toteuttaminen edellyttää tietopohjan vahvistamista ja vaikuttavuuden todentamista. Energiatehokkuustodistusten, rekisteritiedon ja mitatun kulutuksen on oltava vertailukelpoisia ja laadunvarmennettuja, jotta ohjaus voidaan kohdentaa heikoimpiin kohteisiin ja kannusteet voidaan kytkeä todennettuihin säästöihin. Tarvitaan menettelyt, joilla toimenpiteiden vaikutus erotetaan säästä ja käyttöasteen muutoksista, jotta resurssit eivät ohjaudu toimiin, jotka eivät vähennä toteutunutta energiankulutusta.

3.8.3 Rakennusten energiankulutuksen ohjauksen arviointi

Kokonaisuutena lisäohjauksen ydinsisältö (taulukko 12) on toimeenpanon terävöittäminen. Peruskorjausikkunoiden systemaattinen hyödyntäminen, rahoituksen kohdentaminen heikoimpiin kohteisiin ja rahoitusrajoitteisiin, kannusteiden johdonmukainen säilyttäminen fossiilisista irtautumiseen, sähköistymisen toteuttaminen verkko- ja järjestelmäkustannuksia minimoivalla tavalla.

Korjausrakentamisen energiatehokkuusvaatimusten vahvistaminen ja rahallisten tukien kohdentaminen energiatehokkuudeltaan heikoimpiin kohteisiin. Rakennuskannan päästövähennysten kannalta keskeisin ohjauskeino on tehdä energiatehokkuusparannuksista velvoittavaa silloin, kun rakennuksia korjataan, ja kohdentaa ohjaus erityisesti heikoimmin suoriutuviin kohteisiin. Tämä edellyttää korjausrakentamisen energiatehokkuusvaatimusten täsmentämistä ja toimeenpanon vahvistamista niin, että ne kohdistuvat energiankulutuksen keskeisiin ajureihin. Vaikuttavuuden kannalta olennaista on, ettei heikoin rakennusjoukko jää vapaaehtoisuuden varaan, vaan ohjaus sisältää mekanismin, joka varmistaa toimenpiteiden toteutumisen sekä rajaa poikkeukset tiukasti vain tilanteisiin, joissa tekniset tai suojelulliset reunaehdot estävät kustannusvaikuttavat ratkaisut.

Ohjauksen ilmastovaikutus ja kyky ohjata pois fossiilisista on myönteinen, jos energiatehokkuusparannukset tehdään korjausten yhteydessä oletusarvoksi ja toimeenpano kohdistetaan heikoimmin suoriutuviin rakennuksiin, jolloin lämmitysenergian tarve pienenee pysyvästi. Resilienssi paranee, koska pienempi energiantarve ja alempi lämpötehon tarve vähentävät kulutushuippuja ja altistumista energian hintavaihtelulle. Ympäristökuormituksen nettovaikutus on yleensä myönteinen energiansäästön kautta, mutta riippuu valituista ratkaisuista ja niiden materiaalien käytöstä. Kuluttajille vaikutus on kaksijakoinen, sillä investointi maksaa, mutta pitkällä aikajänteellä energiakustannukset ja riskit pienenevät. Yrityksille vaikutus on myönteinen ennakoitavan korjausrakentamisen kysynnän kautta, kun taas valtiolle vaikutus liittyy toimeenpanoon ja mahdollisiin kannusteisiin. Kokonaistaloudelliset hyödyt

syntyvät energiansäästöistä ja pienemmästä tuontienergian tarpeesta, mutta hyödyt heikkenevät, jos vaatimukset tai toteutus kohdistuvat tehottomasti. Oikeudenmukaisuuden määrittää se, kohdistuvatko tuet ensisijaisesti energiatehokkuudeltaan heikoimpiin ja taloudellisesti haavoittuvimpiin kohteisiin, joissa korjaukset eivät todennäköisesti toteutuisi ilman tukea, vai valuuko tuki myös sellaisiin kohteisiin, joissa investoinnit tehtäisiin muutenkin. Toteutettavuus on kohtalainen, mutta tehokas toimeenpano edellyttää selkeitä vaatimuksia, toimivaa valvontaa, vaikutusten todentamista ja sitä, että sääntely kytkeytyy käytännössä korjausrakentamisen normaaleihin päätöksentekotilanteisiin.

Taulukko 12. Rakennusten energiankulutuksen ohjauskeinojen arviointi

Ohjauskeino	Vaikuttavuus tavoitteisiin				Taloudelliset vaikutukset				Oikeudenmukaisuus	Toteutettavuus
	Ilmasto	Ohjaa pois fossiilisista	Energiajärj. resilienssi	Muu ympäristökuormitus	Kuluttajat	Yritykset	Valtio	Kokonaistalous		
Kulutusrakenteen mahdollistavat automaatiojärjestelmien velvoite	+	+	+	0	0	+	0	+	Ajoituksen kohtuullisuus	Kohtalainen
Energia-remonttuet heikkotasoisessa rakennuskannassa	++	+	+	+	+	+	-	+	Tarve- ja maksukykyperusteisuus	Kohtalainen
Fossiilisten lämmitysmuotojen korvaamisen tukeminen	++	++	0	+	+	++	-	+	Investointikyvyn huomiointi	Kohtalainen

Fossiilisten lämmitysmuotojen korvaaminen kohdennetulla tuella ja rahoitusinstrumenteilla. Nopeimmat ja varmat päästövähennykset syntyvät fossiilisen lämmityksen, erityisesti öljylämmityksen, korvaamisesta vähäpäästöisillä ratkaisuilla. Ohjauksen ydin on kohdennettu tuki ja rahoituskehikko, joka madaltaa investointikynnystä niissä kohteissa, joissa alkuinvestoinnin rahoitus on todellinen pulonkaura. Avustuksia voidaan täydentää esimerkiksi kohtuehtoisilla rahoitusinstrumenteilla, valtiontakauksilla tai korkotukimalleilla. Vaikuttavuuden ja hyväksyttävyyden kannalta tuki tulisi kohdentaa ensisijaisesti aidosti tukea tarvitseville ja kytkeä todennettaviin päästövähennyksiin, jotta ohjaus ei jää rakenteellisesti epätasaiseksi.

Ohjauksen ilmastovaikutus ja kyky ohjata pois fossiilisista on myönteinen, jos tuki ja rahoitusmallit kohdistetaan fossiilisten lämmitysmuotojen korvaamiseen vähäpäästöisillä ratkaisuilla erityisesti siellä, missä investointikynnys estää muutoksen. Resilienssivaikutus on tapauskohtainen, mutta usein kotitalouksien kustannus- ja hintariskit pienenevät, kun fossiilinen lämmitys korvataan. Ympäristökuormituksen nettovaikutus on yleensä myönteinen, mutta riippuu tuettavista ratkaisuista ja lisäisyyden

varmistamisesta. Kuluttajille vaikutus on usein myönteinen, jos tuen jälkeinen loppurahoitus järjestyy kohtuuehtoisesti. Yrityksille vaikutus on myönteinen investointimarkkinan kasvun kautta, kun taas valtiolle vaikutus liittyy avustuksien käyttöön. Kokonaistaloudessa hyödyt syntyvät päästövähennyksistä ja investointien käynnistymisestä, mutta heikkenevät, jos tuki nostaa hintoja tai kohdentuu heikosti. Oikeudenmukaisuus riippuu siitä, kohdistuuko tuki ensisijaisesti niille kotitalouksille ja kiinteistönomistajille, joilla on edelleen fossiilinen lämmitysmuoto käytössä, rajalliset mahdollisuudet rahoittaa investointi itse ja joiden kohdalla muutos ei todennäköisesti toteutuisi ilman julkista tukea. Oikeudenmukaisuus heikkenee, jos tuki painottuu toimijoihin, joilla olisi ollut valmius toteuttaa investointi myös ilman tukea. Toteutettavuus on kohtalainen, jos tukiehtojen rajausta on selkeä, hakuprosessi hallinnollisesti kevyt, rahoitusinstrumentit aidosti saavutettavia ja tuki kytketään todennettavaan lämmitysmuodon muutokseen tai päästövähennykseen.

Sähkön kulutusjoustop mahdollistavien automaatio- ja ohjausjärjestelmien vaatimus rakennuksissa. Rakennusten sähköistyessä päästövähennysten ja järjestelmäkustannusten näkökulmasta keskeinen lisäohjauksen kohde on energianhallinta, automaatio ja kulutusjousto. Ohjauksen tavoitteena on varmistaa, että lämmitysjärjestelmäpäivitysten ja korjaushankkeiden yhteydessä rakennuksiin toteutetaan toimivat ohjaus- ja säätöratkaisut, mittaus ja seuranta sekä tarvittaessa lämpövarastointia hyödyntävät ratkaisut, jotta kulutus voidaan ajoittaa sähköjärjestelmän kannalta edullisiin hetkiin. Tämä parantaa järjestelmän resilienssiä, pienentää huipputehon tarvetta ja vähentää tarvetta päästöintensiiviselle huipputehotuotannolle sekä verkon vahvistuksille.

Automaatio- ja energianhallintajärjestelmien ilmastovaikutus ja kyky ohjata pois fossiilisista on myönteinen, jos niiden avulla kulutusta voidaan aidosti ajoittaa pois päästöintensiivisiltä tunneilta ja jousto vähentää fossiilisen huippu- ja varavoiman tarvetta. Resilienssi paranee, kun rakennuksiin syntyy skaalautuva kyky joustaa kulutushuipuissa ja häiriötilanteissa, mikä pienentää huipputehon tarvetta ja helpottaa sähköistyvän lämmityksen hallintaa. Ympäristökuormituksen nettovaikutus riippuu toteutuksesta, sillä investoinneilla on materiaalivaikutuksia, mutta ne voivat vähentää järjestelmän kapasiteetti- ja verkkotarvetta. Kuluttajille vaikutus on kaksijakoinen (investointi vs. pienemmät kustannukset ja riskit), yrityksille yleensä myönteinen palvelumarkkinan ja joustotuotteiden kautta, ja valtiolle se liittyy kannusteisiin, standardointiin sekä mittauksen ja todentamisen kehittämiseen. Kokonaistaloudessa hyödyt syntyvät huipputehon kasvun hillitsemisestä, mutta jäävät pieniksi ilman järjestelmien yhteensopivuutta ja todennettavaa ohjausvaikutusta. Oikeudenmukaisuus riippuu siitä, kohdistuvatko vaatimukset ja mahdolliset kannusteet siten, etteivät investointikustannukset kasaudu suhteettomasti pienituloisille kotitalouksille, pienille taloyhtiöille tai teknisesti haastaville kohteille, sekä siitä, voivatko eri rakennustyypit tosiasiallisesti hyötyä joustoratkaisuista. Toteutettavuus puolestaan edellyttää selkeitä teknisiä vaatimuksia, järjestelmien yhteensopivuutta, toimivaa mittauksia ja todentamista sekä sitä, että ohjaus kytkeytyy käytännössä rakennusten normaaleihin korjaus- ja lämmitysjärjestelmäpäivityksiin.

3.9 Työkoneet

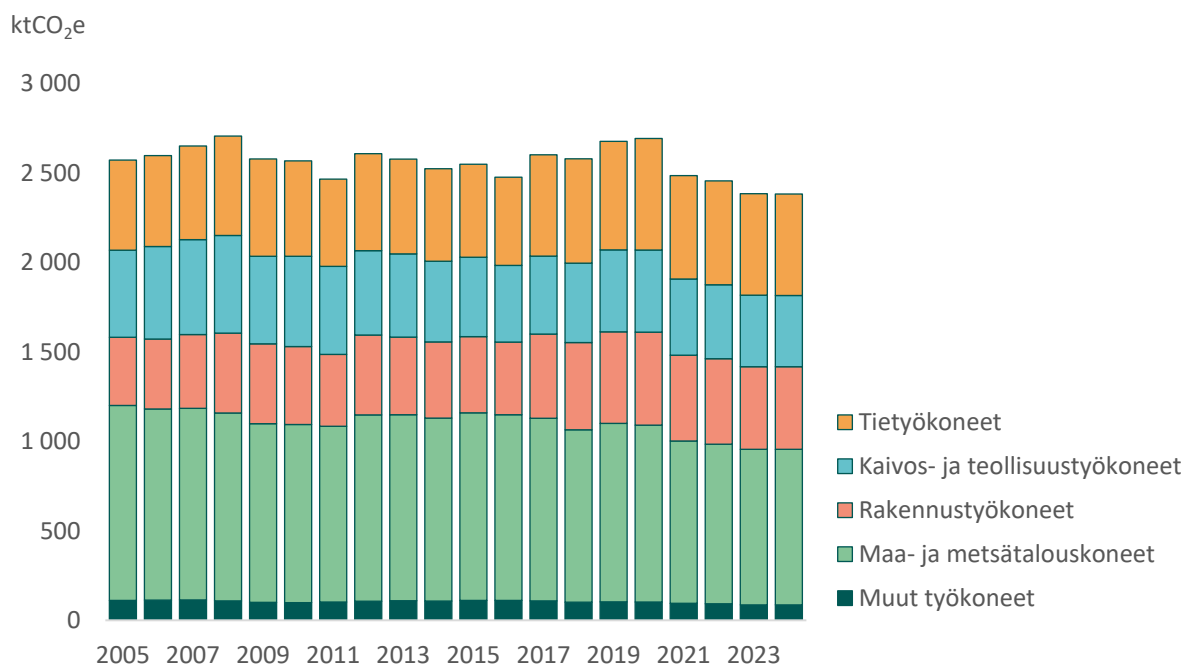
3.9.1 Nykytilanne työkoneiden ohjauksessa

Vuonna 2024 työkoneiden päästöt olivat noin 2,5 MtCO₂e, joka vastaa noin 5,0 % kaikista Suomen kasvihuonekaasupäästöistä (pl. LULUCF) ja 9,5 % taakanjakosektorin päästöistä (Tilastokeskus 2026a). Samalla kun useiden muiden sektoreiden päästöt ovat laskeneet nopeasti, työkoneiden kasvihuonekaasupäästöt eivät ole juuri laskeneet vuodesta 2005 lähtien, mikä on johtanut

työkoneiden merkityksen kasvuun etenkin taakanjakosektorin tavoitteiden kannalta (Auvinen ym., 2025). Noin 90 % päästöistä aiheutuu fossiilisen dieselin käytöstä (Markkanen ja Lauhkonen, 2021). Energiankulutukseltaan ja päästöiltään suurin työkoneluokka on maa- ja metsätaloustyökoneet, jota seuraavat tietyökoneet ja rakennustyökoneet (kuva 20).

Työkoneiden päästöjen ohjausta on käsitelty laajasti raportissa politiikkatoimista liikkuvien työkoneneiden puhtaan siirtymän edistämiseksi (Auvinen ym., 2025), ja myös Pihlatie ym. (2022) on koonnut työkonesektorille kustannusvaikuttavia päästövähennyskeinoja. Työkoneiden kasvihuonekaasupäästöjen nykyohjaus Suomessa rakentuu useiden osittain päällekkäisten ja osin välillisten instrumenttien varaan. Ohjaus perustuu ennen kaikkea polttoaineisiin kohdistuviin veroihin ja velvoitteisiin, tutkimus-, kehitys- ja innovaatio toiminnan tukemiseen, vapaaehtoihin sopimusmalleihin sekä julkisten hankintojen ja rakentamisen ilmastosääntelyn kautta syntyvään epäsuoraan kysyntäohjaukseen. Osa keskeisistä puhtaan siirtymän ohjauskeinoista on suunnattu ensisijaisesti tieliikenteeseen ja teollisuuteen, jolloin työkoneneet jäävät monin paikoin vain välillisen ohjauksen piiriin, vaikka yhteiskäyttöiset ratkaisut olisivat kustannusvaikuttavia erityisesti teollisuusalueilla ja kaupunkien työmaaympäristöissä. Kokonaisuus on hajautunut, eikä työkoneneille ole muodostunut yhtenäistä, nimenomaisesti kasvihuonekaasupäästöihin kohdistuvaa sääntelykehikkoa, vaan ohjaus kohdentuu eri tavoin koneluokkiin, toimialoihin ja arvoketjun osiin.

Nykyohjauksen rakenteellinen piirre on, että puhtaan siirtymän eteneminen nojaa samanaikaisesti teknologian kehitykseen ja markkinoiden kypsymiseen, mutta ohjaus ei jakaudu tasaisesti kehitystyöhön, käyttöönottoon ja infrastruktuuriin. Käytännön ohjauksen puutteet korostuvat siten, ettei nollaja vähäpäästöisten käyttövoimien käyttöönoton edistämiseen ole tarjolla kannusteita. Keskeisiä investointien pullonkaloja ovat lataus- ja tankkausinfrastruktuurin puute sekä vähäpäästöisten työkoneneinvestointien alkuvaiheen korkeammat kustannukset ja näistä juontuvat kannattavuusriskit.



Kuva 20. Työkoneiden kasvihuonekaasupäästöt Suomessa vuosina 2005–2024 (Syke 2026). Kuva osoittaa, että työkoneneiden päästöt ovat pysyneet lähes samalla tasolla koko tarkasteluajanjakson ajan. Suurin osuus liittyy maa- ja metsätaloustyökoneisiin.

Taloudellinen ohjaus painottuu yleiseen TKI-toimintaan. EU-tasolla rahoitusta voidaan hakea useista tutkimus-, innovaatio- ja investointirahoituksen instrumenteista, ja lisäksi pk-yrityksille on saatavilla kehittämisavustuksia alue- ja rakennepolitiikan ohjelmista alueellisten rahoituslinjausten puitteissa. Kansallisesti Business Finlandin rahoitus tukee tutkimusta, kehitystä ja pilotointia avustuksina ja lainoina eri kokoisille yrityksille ilman sektorikohtaista rajausta. TKI-toimintaa tuetaan myös verotuksellisesti lisävähennyksillä, mutta käytännön kannustin toimii parhaiten toimijoilla, joilla on riittävästi verotettavaa tulosta. Tämä rajoittaa T&K-tukien hyödyntämistä työkoneisiin liittyen esimerkiksi maataloilla ja urakointitoiminnassa, joissa tulostaso ja kassavirta voivat muodostua pullonkaulaksi juuri silloin, kun uuden teknologian investoinnit ja pilotointi olisivat ajankohtaisia.

Käyttövoimasiiirtymää on toistaiseksi tuettu hyvin rajatusti kohdennetuilla investointituilla. Esimerkiksi traktorien biometaanikonversioihin on ollut mahdollisuus hakea maatalouden investointitukea, mutta kiinnostus on jäänyt vähäiseksi johtuen biometaanin puutteellisesta jakeluinfrastruktuurista suoraan maatalojen yhteydessä tai välittömässä läheisyydessä. Konversioiden suhteellisen matala kustannus ei ole ratkaiseva investointipäätökselle, vaan biometaanin heikko saatavuus maataloilla. Sähkökäyttöisten työkoneiden hankintaa ei ole tuettu, vaikka teollisuusalueilla, kaupunki-infran ylläpidossa, rakennustyömailla ja eläintiloilla niiden hyödyntämispotentiaali on nykyisin varsin hyvä.

Polttoaineisiin kohdistuva ohjaus on työkoneiden päästöjen kannalta keskeisin laaja-alainen instrumentti. Biopolttoöljyn käyttöä koskeva sääntely velvoittaa sekoittamaan biokomponentteja kevyen polttoöljyn joukkoon, mikä voi vähentää polttoaineen päästöjä erityisesti vaikeasti sähköistettävissä kohteissa, kuten puunkorjuutyömailla ja viljataloilla. Lisäksi tieliikenteen jakeluvaihte vaikuttaa työkoneisiin epäsuorasti, koska moni dieselyökone tankataan samoista jakelukanavista kuin tieliikenne. Siksi jakeluvaihteen muutokset heijastuvat käytännössä myös kaupunkien kunnossapidon, jätehuollon sekä infra- ja rakennustyömaiden työkonepolttoaineisiin ja niiden uusiutuvan osuuden kehitykseen.

Hintaohjaus syntyy energiaverotuksesta ja siihen kytkeytyvistä palautusjärjestelmistä. Nestemäisten polttoaineiden energia- ja hiilidioksidiverotus ohjaa fossiilisten polttoaineiden käyttöä, mutta hiilidioksidiverojen taso on ollut pitkään varsin vakaa ja osin laskenut. Lisäksi energiaintensiiviset toimijat ja maatilat voivat saada hiilidioksidiveroista palautuksia, mikä heikentää hintaohjausta niissä segmenteissä, joissa polttoainekustannus on usein merkittävä ja vaihtoehtoiset käyttövoimat vielä rajallisesti saatavilla. Biokaasun energiaverotusta on muutettu, mutta muutokset eivät välttämättä heijastu hiilidioksidiverokomponenttiin tavalla, joka yksiselitteisesti parantaisi biometaanin suhteellista kilpailukykyä työkonekäytössä.

Tulevana hintaohjausta vahvistavana elementtinä on EU:n fossiilisen polttoaineen jakeluun kohdistuva päästökaupan laajennus (ETS2), joka kohdistaa hiilikustannuksen polttoaineiden toimittajiin ja välittyy polttoainehintoihin. Työkoneiden kannalta vaikutus määräytyy kansallisesta toimeenpanosta ja soveltamisalasta, sillä jos järjestelmä kattaa laajasti eri toimialojen polttoaineet, hintaohjaus voi ulottua myös maa- ja metsätalouden, teollisuuden, kaupan ja julkisen sektorin käyttämien työkoneiden polttoaineisiin. Päästökaupan ulkopuolelle jäävät kuitenkin maa- ja metsätalouden työkoneet. Päästökaupan ohjaava vaikutus on toistaiseksi epäselvä, sillä ETS2 päästöoikeuksien hintatasoa ei ole tiedossa. Päästökauppatulot kanavoituvat EU-tasolla sosiaalisen ilmastonrahaston kaltaisiin mekanismeihin, joiden kautta kustannusvaikutuksia voidaan lieventää haavoittuville ryhmille, mutta vaikutuspolku työkoneisiin on tällöinkin välillinen.

Sääntelyssä on myös työkoneita koskevia ilmastoon liittyviä velvoitteita, jotka eivät liity suoraan polttoaineen hiilidioksidipäästöihin, vaan muihin kasvihuonekaasuihin. Esimerkiksi F-kaasusetus tuo vaatimuksia ilmastointilaitteiden vuototarkastuksiin maatalous-, kaivos- ja rakennustoiminnan liikkuvissa työkoneissa, mikä kohdistuu kylmäaineiden ilmastovaikutuksiin ja laitehallintaan.

Informaatio-ohjauksen keskeinen väline ovat green deal -sopimukset, joiden tavoitteena on edistää sähköistymistä ja vähäpäästöisen kaluston kysynnän ja tarjonnan kehittymistä mm. tiedon, koulutuksen ja vapaaehtoisten sitoumusten avulla. Vaikka tavoitteita on osin saavutettu, sopimusten ohjausvaikutus on luonteeltaan rajallinen, koska sitoumukset eivät ole suoraan kytkeytyneet kansallisiin ilmastovelvoitteisiin tai systemaattiseen päästöseurantaan, ja kunnianhimoisimpien tavoitteiden toteutumista rajoittavat erityisesti vaihtoehtoihin käyttövoimiin perustuvan kaluston (sähkö, biometaani, vety ja hybridit) korkeammat kustannukset sekä niiden jakeluinfran puutteet.

Julkiset hankinnat ovat käytännössä keskeinen markkinavipu. Kunnat, kaupungit ja muut hankintayksiköt voivat ohjata työkonekalustoa kilpailutuskriteereillä ja urakkaehdoilla, jolloin vähäpäästoiset vaihtoehdot saavat kysyntäsignaalin ja mahdollinen hintaero voidaan huomioida tarjousten arvioinnissa. Työkoneisiin kohdistuva ohjaus vahvistuu rakentamisen ilmastovaikutusten sääntelyn kautta, kun rakennushankkeiden ilmastoseelvityksissä tarkastellaan elinkaarisia vaikutuksia, joihin sisältyy myös työmaatoimintoja. Infrarakentamisen osalta vastaava sitova sääntely on toistaiseksi vähäisempää, vaikka alalla on kehitetty vähähiilisyyden arviointikäytäntöjä.

Yritystasolla raportointiohjaus kiristyy kestävyysraportointidirektiivin myötä. Jos työkoneiden päätöt ovat yrityksen toiminnassa olennaisia, niiden mittaaminen ja raportointi korostuu, mikä voi vahvistaa myös alihankintaketjujen vaatimuksia ja urakkakriteerejä. Tämäkin vaikutus on kuitenkin tyyppillisesti epäsuora ja riippuu yrityskohtaisesta olennaisuusarvioinnista.

Nykyohjauksessa on myös selkeitä rajauksia. EU:n Stage-päästöstandardit kohdistuvat ensisijaisesti ilmanlaatuun vaikuttaviin ilmansaasteisiin, eivätkä ne sisällä työkoneiden kasvihuonekaasupäästöihin kohdistuvaa sääntelyä. Kansalliset verohelpotukset, kuten korotetut poistot uusille koneille ja laitteille, ovat olleet luonteeltaan teknologianeutraaleja ja koskevat myös dieselyökoneita, jolloin niiden ohjausvaikutus vähäpäästöisiin käyttövoimiin jää heikoksi. Lisäksi useat puhtaan siirtymän ohjauskeinot, kuten teollisuuden suuria investointeja koskevat verohyvitykset tai raskaan liikenteen latausinfrastruktuurin ja ajoneuvohankintojen tuet, on rajattu työkoneiden ulkopuolelle. EU:n vaihtoehtoisten käyttövoimien infrastruktuuria koskevat velvoitteet kohdistuvat pääosin tieliikenteeseen, ja ne voivat hyödyttää työkoneita tietyissä solmukohdissa, kuten satamissa ja terminaaleissa, mutta eivät muodosta työkoneille kohdennettua infrastruktuuriohjausta.

Kokonaisuutena työkoneiden nykyohjaus rakentuu yleisen TKI- ja pilotointirahoituksen, polttoainelaiden velvoite- ja hintaohjauksen sekä vapaaehtoisten sopimusten ja hankintakriteerien varaan. Samalla kasvihuonekaasupäästöjen sääntelyä ja investointiohjausta koskevat aukot sekä työkoneiden jääminen puhtaan siirtymän keskeisten tukien ja infrastruktuuriohjauksen ulkopuolelle rajaavat ohjauksen suora vaikutavuutta ja tekevät kehityksestä voimakkaasti toimialojen, käyttökohteiden ja markkinakypsyyden mukaan eriytyvää.

3.9.2 Työkoneiden ohjauksen kehittäminen

Jotta kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen työkonesektorilla etenisi riittävän nopeasti, ohjauksen on samanaikaisesti vähennettävä päästöjä käytössä olevassa kalustossa, rakennettava markkinaa ja infrastruktuuria vaihtoehtoisille käyttövoimille, ohjattava tuotekehitystä kohti nolla- ja vähäpäästöisiä ratkaisuja sekä parannettava tiedonkeruuta ja vaikuttavuuden seuranta. Nykyinen instrumenttien kirjo ei yksin tuota tätä kokonaisvaikutusta, koska toimet kohdistuvat lähinnä vain kehityshankkeisiin ja informaatio-ohjaukseen, minkä lisäksi EU-tasolta puuttuu työkoneiden kasvihuonekaasupäästöjen sääntely, joka loisi markkinoille pitkän aikavälin ennakoitavuutta. Kannusteet vaihtoehtoisten käyttövoimien käyttöönotolle ja infrastruktuurille puuttuvat.

Fossiilisten polttoaineiden maailmanmarkkinahinnan nousua ei tule kompensoida veroratkaisuilla tavalla, joka alentaa fossiilisten jakeiden hintaa suoraan tai epäsuorasti. Koska maailmanmarkkinahinta on kansallisen päätösvallan ulkopuolella, hintatasoa on tarkoituksenmukaista käsitellä siirtymän ajurina. Hinnankorotukset parantavat vaihtoehtoisten käyttövoimien suhteellista kilpailukykyä ja nopeuttavat niihin kohdistuvia investointi- ja hankintapäätöksiä, kunhan toimijoilla on realistiset vaihtoehdot käytettävissään. Tämän vuoksi kustannuspaineen hallinnan painopiste on siirrettävä polttoöljyn ja dieselin hintamuutosten vaikutusten keventämisestä vaihtoehtoisten käyttövoimien hyödyntämiseen, tarvittavan jakeluinfrastruktuurin rakentamiseen sekä vähäpäästöisten työkoneiden käyttöönoton tukemiseen. Biokaasun sisällyttäminen jakeluvaihtoehtoihin välttämättä tuota suoria myönteisiä vaikutuksia työkoneiden biokaasukäyttöön, vaan biometaanin roolia työkoneissa onkin edistettävä ensisijaisesti infrastruktuurilla, saatavuuden parantamisella ja käyttökohteilla kannustimilla.

Lyhyellä aikavälillä keskeisin nopeasti käyttöönotettava keino on nostaa kevyen polttoöljyn ja dieselin uusiutuvan osuuden velvoitetta selvästi nykyistä korkeammaksi, koska se on käytännössä ainoa laajasti skaalautuva tapa pienentää työkoneiden kasvihuonekaasupäästöjä ilman, että kalustoa tarvitsee uusia. Velvoitteen kiristyminen kuitenkin nostaa todennäköisesti pumppuhintoja ja heikentää valtion verokertymää, erityisesti kun fossiilisen polttoaineen veropohja kapenee. Siksi polttoöljyn kokonaisverotuksen rakennetta on arvioitava niin, että velvoitteen kiristyksen pumppuhintavaikutus pysyy mahdollisimman pienenä ilman, että ohjausvaikutus vesittyy. Käytännössä tämä tarkoittaa, että hinnannousun hillintä tulee toteuttaa verorakenteen kohdennetulla hienosäädöllä ja tulonkierrätyksellä, ei yleisillä ratkaisuilla, jotka laskevat fossiilisen polttoaineen hintaa ja samalla heikentävät vaihtoehtoisten käyttövoimien kilpailukykyä.

Samaan aikaan on ratkaistava vaihtoehtoisten käyttövoimien käyttöönoton merkittävimpään pulonkautaan liittyen sähköverkko-, lataus-, biometaan- ja vetytankkausinfrastruktuurin puutteeseen etenkin teollisuusalueilla, satamissa, logistiikkakeskuksissa ja muissa päästökeskittymissä. Sähköisten työkoneiden saatavuus on monissa koneluokissa jo kohtuullinen, mutta käyttö jää kiinni syöttökapasiteetista, liittymien suurentamistarpeesta ja latausratkaisujen puutteesta. Investointeja hidastaa myös rakenteellinen omistajuusongelma, jossa infrastruktuurin omistaja ja hyödynsaaja ovat eri toimijoita. Tätä varten tarvitaan infratukia, jotka kannustavat investointeihin silloin, kun markkina ei omistajuusrakenteen vuoksi toimi, sekä ohjelmallista koordinaointia niin, että työkoneet huomioidaan jakeluinfraohjelmissa ja liikennejärjestelmäsuunnittelussa nimenomaan teollisuusalueiden ja satamien tarpeista käsin. EU:n jakeluinfra-velvoitteet (Alternative Fuels Infrastructure, AFIR) voivat tukea kehitystä tiettyissä solmukohtissa, mutta ne eivät kata työkoneiden kannalta olennaisia alueita riittävästi, joten kansallinen laajennus on välttämätön.

Uuden teknologian riskin pienentämiseksi tarvitaan demonstraatio- ja pilotointitukia, jotka vievät sähkö- ja polttokennoteknologiat sekä uudet lataus- ja energianjakeluratkaisut prototyypeistä kohti kaupallistamista ja sarjavalmistusta. Tuen ehtona tulee olla laaja viestintä ja oppien jakaminen, jotta onnistumiset ja epäonnistumiset kertyvät yhteiseksi oppipääomaksi ja nopeuttavat koko arvoketjun kypsymistä.

Markkinan avautuminen edellyttää myös taloudellista ohjausta, joka vaikuttaa sekä pääomakuluihin että käyttökuluihin. Ensivaiheessa nolla- ja vähäpäästöisten työkoneiden hankintahinnan ja käyttöönoton lisäkustannuksia on tasattava hankintatuilla niissä koneluokissa ja käyttökohteissa, joissa teknologia ei vielä ole elinkaarikustannuksiltaan kilpailukykyinen polttoöljy- ja dieselkäyttöisten koneiden kanssa. Samalla veroetuja ja poisto-oikeuksia on kohdennettava niin, että ne eivät tue fossiilisia polttoaineita käyttävien koneiden hankintaa teknologianeutraalisti, vaan ohjaavat nimenomaisesti nolla- ja vähäpäästöisiin koneisiin sekä käyttövoimakonversioihin silloin, kun konversion lisäkustannus on pieni ja vaikutus päästöihin merkittävä. Koska osa toimijoista ei pysty hyödyntämään veroetuja heikon

tulostason vuoksi, verokannustimia on täydennettävä suorilla tuilla ja rahoitusratkaisuille, eikä ohjausta voi rakentaa pelkän verotuksen varaan.

Innovaatioiden synnyttämiseksi ja viennin kasvattamiseksi TKI-rahoituksen on oltava pitkäjänteistä ja strategisesti kohdennettua. Nykyinen pistemäinen ja määräaikainen rahoitus vaikeuttaa osajien rekrytointia ja sitouttamista sekä hidastaa tuotekehityspolkuja, jotka sähköisissä ja muissa uusissa voimalinjoissa ovat väistämättä pitkiä. Erityinen painopiste tulee kohdistaa metsä- ja peltotyökoneisiin sekä muihin kohteisiin, joissa sähköverkko ja jakeluinfra puuttuvat ja joissa pelkkä energiatehokkuuden parantaminen tai hybridisaatio vähentää dieselin käyttöä vain rajallisesti. Tällöin tarvitaan panostuksia sähköpolttonesteisiin, polttokennoratkaisuihin, sekä hybridi- ja vaihtoakuteknologioihin, jotta dieselistä irtautuminen on mahdollista myös 2030-luvulla eikä kustannuspaine kohtuuttomasti kasaudu toimijoille, joilla ei ole vaihtoehtoja. Samalla Suomen on aktiivisesti vaikutettava EU:n tulevaisuudessa puiteohjelmissa ja kumppanuuksissa siihen, että työkonesektorin vihreää siirtymää tukevat TKI-kokonaisuudet sisällytetään ohjelmiin, koska vastaavaa vakiintunutta eurooppalaista TKI-kumppanuuskehystä ei työkoneille nykyisin ole samalla tavalla kuin liikenteessä.

Fossiilisista polttoaineista luopumisen kannalta ratkaisevaa on, että EU-tasolle syntyy työkoneille sitova ja ennakoitavasti kiristynyt kasvihuonekaasupäästöjen sääntely uusille koneille. Ilman valmistaja-kohtaisia tai tuoteperusteisia päästövaatimuksia markkina ei saa riittävän vahvaa pitkän aikavälin signaalia, joka ohjaisi tuotekehitystä, investointeja ja kilpailua kohti vähä- ja nollapäästöisiä ratkaisuja. Kansalliset keinot voivat edistää käyttöönottoa, mutta laaja markkina ja tasapuolinen kilpailuasetelma edellyttävät EU-ohjausta. Samaan kokonaisuuteen liittyy ETS2:n kaltainen hintaohjaus, joka nostaa fossiilisten polttoaineiden kustannusta ja voi tehdä vaihtoehdoista kannattavia osassa koneluokkia, mutta vain jos rinnalla rakennetaan infrastruktuuria ja tuetaan investointeja vähäpäästöisiin ratkaisuihin.

Julkiset hankinnat ovat keskeinen vipu markkinan kasvulle, mutta niiden on kohdistuttava riittävän suuriin ja pitkäkestoisin kokonaisuuksiin, jotta koneyritykset voivat investoida uuteen kalustoon taloudellisesti uskottavasti. Tämä edellyttää, että hankintayksiköillä on osaamista määritellä päästö- ja energiakriteereitä konetyypeittäin, resursseja valvoa niitä sekä kykyä käsitellä elinkaarikustannuksia eikä pelkkää hankintahintaa. Ilman tätä vähäpäästöisyys jää helposti tavoitteeksi, joka kaatuu kilpailutuksen kustannuspaineeseen. Osaamisen kehittäminen koskee myös uutta käyttövoimateknologiaa: asentajien ja huoltohenkilöstön koulutus hybridi-, sähkö-, kaas- ja vetyteknologioihin on edellytys sille, että käyttövarmuus ja huollon saatavuus eivät muodostu siirtymän esteeksi.

Siirtymän oikeudenmukaisuuden kannalta on varauduttava siihen, että polttoainekustannusten nousu voi kohdistua kohtuuttomasti heikosti kannattaviin ja kilpailutuihin toimialoihin, joissa diesel ja polttoöljy ovat merkittävä kustannuserä ja joissa vaihtoehdot eivät vielä ole käytettävissä. Haavoittuville toimijoille voidaan tarvita määräaikaisia hyvitysmekanismeja ETS2:n ja velvoitteiden kustannusvaikutuksiin, mutta hyvitysten tulee olla selvästi kytkettyjä toimiin, jotka vähentävät öljyriippuvuutta, jotta kompensoinnista ei tule pysyvää järjestelmää, joka lykkää ongelmaa ja hidastaa teknologista muutosta.

Kaiken edellä kuvatun toimeenpanon pohjaksi tarvitaan selvästi parempi tietopohja. Työkonekannan ja käytön tiedonkeruussa on puutteita, jotka heikentävät päästöinventaarioiden ja politiikan vaikutusarvioiden tarkkuutta. Rekisteröintivelvollisuutta ja rekisteritietojen sisältöä on tarkoituksenmukaista laajentaa ainakin uusiin työkoneisiin ja vaiheittain niihin koneluokkiin, jotka aiheuttavat eniten päästöjä, mahdollisimman vähällä hallinnollisella lisätyöllä. Käyttömäärä- ja kulutustietoja voidaan kerätä kevyillä ilmoitusmenettelyillä ja toimialaryhmien yhteistyön avulla. Samalla on tarpeen varmentaa käytössä olevien koneiden todellisia päästöjä kenttämittauksilla ja ajantasaisella tutkimustiedolla, koska erityisesti vanhemman kaluston käytönaikaisia päästöjä ei tunneta riittävän hyvin suhteessa lainsäädännön raja-arvoihin ja inventaarion päästökertoimiin. Päästömallit ja kertoimet on päivitettävä tämän tiedon perusteella, jotta ohjaus voidaan kohdentaa kustannustehokkaasti ja vaikuttavuus voidaan todentaa.

3.9.3 Työkoneiden ohjauksen arviointi

Kokonaisuutena työkoneiden nykyohjaus rakentuu yleisen TKI-rahoituksen, polttoaineiden velvoite- ja hintaohjauksen, vapaaehtoisten sopimusten ja hankintakriteerien varaan. Samalla päästösääntelyä ja investointiohjausta koskevat aukot sekä työkoneiden osittainen jääminen puhtaan siirtymän keskeisten tukien ja infrastruktuuriohjauksen ulkopuolelle rajaavat ohjauksen suoraa vaikuttavuutta ja tekevät kehityksestä voimakkaasti toimialojen, käyttökohteiden ja markkinakypsyyden mukaan eriytyvää. Taulukkoon 13 on nostettu kaksi olennaista edistettävää ohjauskeinoa jo päätetyn tulevan ohjauksen päälle.

Taulukko 13. Työkoneiden ohjauskeinojen arviointi

Ohjauskeino	Vaikuttavuus tavoitteisiin				Taloudelliset vaikutukset				Oikeudenmukaisuus	Toteutettavuus
	Ilmasto	Ohjaa pois fossiilisista	Energiajärj. resilienssi	Muu ympäristökuormitus	Kuluttajat	Yritykset	Valtio	Kokonaistalous		
Jakeluvelvoitteiden kiristäminen	++	+	0	+	-	-	0	0 / -	Käytön mukaan maksaminen	Helppo
Sähkökäyttöisten työkoneiden latausinfrastruktuurin tukeminen	++	++	+	+	0	++	-	+	Kohdistuu paikallisiin yrityksiin	Kohtalainen
Sähkökäyttöisten työkoneiden hankintatuki	++	++	+	+	0	++	--	0	Kohdistuu investointiin yrityksiin	Kohtalainen

Polttoaineohjaus käytössä olevalle kalustolle kiristämällä uusiutuvan polttoaineen osuuden jakeluvelvoitteita. Lyhyellä aikavälillä vaikuttavin ja laajasti skaalautuva ohjauskeino on kasvattaa dieselin ja kevyen polttoöljyn elinkaari päästöiltään vähäpäästöisen polttoaineen osuuden velvoitteita, koska tämä vähentää päästöjä heti ilman kaluston uusimista. Vaikutus on kuitenkin herkkä kustannus- ja hyväksyttävyyksymyksille, sillä velvoite nostaa todennäköisesti pumppuhintoja ja voi kaventaa veropohjaa, joten hintavaikutusten hallinta tulisi tehdä verorakenteen kohdennetulla hienosäädöllä ja tulonkierrätyksellä. Sen sijaan ei tulisi asettaa fossiilisen polttoaineen hintaa alentavia kompensatioita, jotka heikentäisivät siirtymän kannusteita.

Velvoitteen kiristäminen voi vähentää työkoneiden päästöjä laajasti, koska se vaikuttaa suoraan käytössä olevaan kalustoon ilman konekannan uusimista. Keino ohjaa pois fossiilisista, mutta vaikutus kohdistuu ensisijaisesti polttoaineen päästötensiteetin laskuun eikä vielä muuta käyttövoimia. Resilienssivaikutus on pääosin neutraali, mutta riippuu siitä, miten uusiutuvien saatavuus ja hinnoittelu kehittyvät. Ympäristökuormituksen nettovaikutus riippuu uusiutuvien raaka-aineista ja tuotantoketjuista sekä siitä, miten lisäisyys ja kestävyys varmistetaan. Kuluttajille ja toimijoille vaikutus on usein kaksijakoinen, koska pumppuhinta voi nousta, kun taas yrityksille vaikutus riippuu kustannusten läpiviennistä urakkahintoihin. Valtiolle vaikutus näkyy veropohjan ja mahdollisten

tulonkierrätysratkaisujen kautta. Kokonaistaloudessa hyötyä voi muodostua kotimaisen polttoaineen kysynnän kasvusta, mutta pitkällä aikavälillä vaikutus on epävarma, mikäli sähköistyminen samanaikaisesti etenee. Oikeudenmukaisuus riippuu siitä, kohdistuvatko kustannukset suhteettomasti toimijoihin, joilla vaihtoehdot ovat rajalliset, ja toteutettavuus on helppo, koska instrumentti on hallinnollisesti suoraviivainen.

Vaihtoehtoisten käyttövoimien käyttöönoton pullonkaulan purku latausinfrastruktuurin investointituilla. Keskeinen keskipitkän aikavälin ohjauskeino on rakentaa vaihtoehtoisten käyttövoimien edellytykset siellä, missä päästöt keskittyvät. Tukia tulisi kohdentaa lataus- ja tankkausinfrastruktuurin kehittämiseen erityisesti työkonekeskittymissä teollisuusalueilla, satamissa ja logistiikkakeskuksissa. Markkinapuitteita syntyy usein omistajuusasetelmasta (infran omistaja ≠ hyödynsaaja), minkä vuoksi tarvitaan koordinaatiota, jotta investoinnit toteutuvat oikea-aikaisesti ja työkoneet huomioidaan jakelu- ja liikenneinfran suunnittelussa.

Ohjauksen ilmastovaikutus ja kyky ohjata pois fossiilisista on myönteinen, jos infran kehitys poistaa keskeisen käyttöönoton pullonkaulan ja mahdollistavat nolla- ja vähäpäästöisen kaluston todellisen käytön päästökeskittymissä. Resilienssi paranee, kun käyttövoimavaihtoehdot monipuolistuvat ja polttoaineriippuvuus vähenee, mutta edellytyksenä on, että ratkaisut ovat käyttövarmoja ja koneiden saatavuus markkinoilta turvataan. Ympäristökuormituksen nettovaikutus riippuu toteutuksesta, sillä investoinneilla on materiaalivaikutuksia, mutta ne voivat vähentää päästöjä ja tehostaa energijärjestelmän materiaalien käyttöä. Kuluttajille vaikutus näkyy epäsuorasti urakkahintojen ja palveluiden kautta. Yrityksille vaikutus on myönteinen, koska infran kehitystuki alentaa käyttöönoton riskiä ja mahdollistaa uudet liiketoimintamallit, kun taas valtiolle vaikutus liittyy tukien kustannuksiin ja kohdentamiseen. Kokonaistaloudessa hyödyt syntyvät investointien mahdollistumisesta ja teknologioiden kustannusten laskusta volyymin ja oppimisen kautta. Oikeudenmukaisuus riippuu siitä, kohdistuuko infra vain tietyille alueille ja toimijoille vai palveleeko se laajemmin koko sektoria. Toteutettavuus on kohtalainen, koska se edellyttää koordinaatiota, luvitusta ja omistajuusasetelman ratkaisemista.

Sähkökäyttöisten työkoneiden käyttöönoton vauhdittaminen hankintatuilla. Keskeinen keskipitkän aikavälin ohjauskeino on nopeuttaa työkonekannan käyttövoimasiirtymää alentamalla uuden teknologian käyttöönoton alkuvaiheen kustannuksia. Tukia tulisi kohdentaa erityisesti sellaisiin koneisiin ja käyttökohteisiin, joissa päästövähennyspotentiaali on suuri ja joissa sähköiset ratkaisut ovat jo teknisesti käyttökelpoisia, mutta korkea hankintahinta, epävarmuus jälleenmyyntiarvosta ja käyttökokeemuksen vähäisyys hidastavat investointeja. Markkinapuitteita syntyy erityisesti oppimisvaiheessa, jossa yksittäinen toimija kantaa suuren osan uuden teknologian riskistä, vaikka käyttöönotosta syntyvät hyödyt ulottuvat laajemmin koko markkinaan teknologian yleistymisen, kustannusten alenemisen ja osaamisen kertymisen kautta.

Ohjauksen ilmastovaikutus ja kyky ohjata pois fossiilisista on myönteinen, jos hankintatuki kohdistuu koneisiin, jotka korvaavat suoraan dieselkäyttöistä kalustoa ja joille on käytännössä käyttökelpoinen lataus- tai muu tarvittava infrastruktuuri. Resilienssi paranee, kun riippuvuus fossiilisista polttoaineista vähenee ja käyttövoimavaihtoehdot monipuolistuvat, mutta vaikutus riippuu samalla sähköjärjestelmän toimintavarmuudesta ja koneiden saatavuudesta markkinoilla. Muu ympäristökuormitus voi vähentyä erityisesti paikallisten päästöjen ja melun osalta, vaikka koneiden valmistukseen ja akkuihin liittyy myös materiaalivaikutuksia. Kuluttajiin vaikutus kohdistuu pääosin epäsuorasti urakka- ja palveluhintojen kautta. Yrityksille vaikutus on myönteinen, koska hankintatuki alentaa investointikynnystä ja pienentää uuden teknologian käyttöönottoon liittyvää taloudellista riskiä, kun taas valtiolle vaikutus näkyy tukimenojen kasvuna ja tarpeena varmistaa tukien tarkoituksenmukainen kohdentuminen. Kokonaistaloudessa hyödyt syntyvät investointien aikaistumisesta, teknologian oppimiskäyristä ja mahdollisista kotimaisista markkina- ja osaamishyödyistä. Oikeudenmukaisuus riippuu siitä,

kohdistuuko tuki vain investointikykyisimmille toimijoille vai suunnitellaanko se siten, että myös pienemmillä yrityksillä on tosiasiallinen mahdollisuus hyödyntää sitä. Toteutettavuus on kohtalainen, koska ohjauskeino on hallinnollisesti varsin selkeä, mutta sen vaikuttavuus riippuu tukitason oikeasta mitoituksesta, kohdentamisesta sekä yhteensovittamisesta infrastruktuurin kehityksen kanssa.

3.10 Maatalous

3.10.1 Nykytilanne maatalouden ohjauksessa

Maatalous on vahvasti tuettu ala Suomessa ja Euroopan unionissa. EU:n yhteiseen maatalouspolitiikkaan (CAP) kuuluu tukia, joiden rahoitus tulee unionilta joko kokonaan (perustuki ja viherryttämistuki) tai osittain (mm. luonnonhaittakorvaus ja ympäristökorvaus), sekä kokonaan kansallisin varoin toteutettavat kansalliset tuet. Maataloustuet määräytyvät pääsääntöisesti pinta-alaperusteisesti. (Lehtonen ym. 2022). Maataloustulosta Suomessa suuri osuus on julkisia tukia, joten maataloustukien ehdot toimivat normiohjauksen tavoin. Lisäksi maataloutta säädellään mm. eläinsuojien ympäristöluvan, lannoituksen ja lannan käsittelyn, sekä torjunta-aineiden markkinoille saattamisen ja käytön osalta. (Pihlainen ym. 2024).

Viitala ym. (2022) arvioivat maataloustukien vaikutuksia ilmastopäästöihin. Tuet kannustavat pitämään peltoja viljelyksessä enemmän kuin nykyisen suuruiseen tuotantoon tarvitaan. Pinta-alaperusteiset tuet tekevät tuottamattomien peltöjen metsityksen kannattamattomaksi, minkä lisäksi ne nostavat peltöjen kauppaa- ja vuokrahintaa ja kannustaa pellonraivaukseen. Tästä seuraa lisää ilmastopäästöjä erityisesti turvemaapeltojen raivausten yhteydessä. Pinta-alaperusteiset tuet edellyttävät peltöjen kasvukunnon ylläpitoa, vaikka satoa ei korjattaisikaan. Tämä ehto voi johtaa suurempiin ilmastopäästöihin esimerkiksi turvepelloilla, joissa kasvukunnon ylläpito tarkoittaa riittävän ojituksen ylläpitoa. Myös tuotantosidonnaiset maataloustuet ja investointituet vaikuttavat ilmastopäästöihin. Etenkin lypsykarjatalous on tuotantosidonnaisten tukien myötä painottunut yhä enemmän Suomen keski- ja pohjoisosat kattavalle C-tukialueelle. Tämä aiheuttaa enemmän ilmastopäästöjä, koska C-tukialueella on enemmän turvepeltöjen viljelyä kuin eteläisellä AB-alueella. (Viitala ym. 2022).

Maatilojen energiainvestointitukea voidaan myöntää energiantuotantoon, energiansäästöön tai energiatehokkuuden parantamiseen silloin, kun energialaitoksessa hyödynnetään uusiutuvaa energia-lähdettä. Biokaasulaitoksiin avustus on 50 prosenttia ja muihin maatalon energiainvestointeihin 40 prosenttia⁵⁹. Tukimekanismi kytkeytyy päästöjen vähentämiseen suoraan, koska se kannustaa korvaamaan fossiilista energiaa uusiutuvalla energialla ja vähentämään energiankulutusta maataloilla. Lisäksi kotieläintuotannon lannankäsittelyn päästöjä voidaan vähentää lantabiokaasun tuotannolla. Jatkossa biokaasuinvestoinneille voidaan myöntää tukea myös tilanteissa, joissa korkeintaan puolet tuotetusta energiasta myydään tilan ulkopuolelle⁶⁰. Aiemmin tuen saamisen edellytyksenä oli, että tuotettu biokaasu käytettiin kokonaisuudessaan maatalon omassa toiminnassa. Laajemmin biokaasun tuotannon ohjausta ovat analysoineet esimerkiksi Luostarinen ym. (2023) ja Rekola ym. (2025).

⁵⁹ <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/investoinnit/maatalouden-investointituet/>

⁶⁰ <https://valtioneuvosto.fi/-/1410837/maatilojen-biokaasuinvestointien-tuki-laajenee>

3.10.2 Maatalouden ohjauksen kehittäminen

Maatalouden ohjausta voidaan muuttaa vaikuttamalla EU:n yhteiseen maatalouspolitiikkaan. Tämän lisäksi Suomessa voidaan muuttaa kansallisia tukia ja niiden ympäristöperusteita. Lehtonen ym. (2022) tarkastelevat useita ohjauskeinoja maatalouden ilmastovaikutusten parantamiseksi. He tarkastelevat erityisesti kannustimia turvepeltojen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi, kannustimia kivennäismaiden hiilensidontaan, maan hiilen säilyttämisen sisällyttämistä osaksi vaadittavaa viljelykäytännön, ravinteiden käytön tehostamisen kannustimia, nautojen lisäruokinnan ohjausta, pellon tarjolle tuon edistämistä pellonraivauksen vähentämiseksi, päästökompensaatioiden mahdollisuuksia maataloudessa, sekä maankäytön muutosmaksua.

Tutkimuskirjallisuuden mukaan tulosperusteisilla ohjauskeinoilla voidaan päästä pienempiin päästövähennyskustannuksiin kustannusperusteisiin ohjauskeinoihin verrattuna. Lisäksi tulosperusteisista tuista viljelijä voi saavuttaa merkittäväkin taloudellista hyötyä, jos hänen kustannuksensa, riskinsä ja tulonmenetyksensä ovat hyvin matalia verrattuna tavoiteltuun hyötyyn, jonka perusteella tuki maksetaan. (Lehtonen ym. 2022).

Lehtonen ym. (2022) ehdottavat, että viljelijälle maksettaisiin palkkiota hiilensidontatoimien (esim. monipuoliset ominaisuuksiltaan erilaisia kasveja sisältävät viljelykierrot) tietyn vähimmäisrajan ylittävästä kokonaisuudesta. Tämän he kokevat tärkeäksi, koska yksittäiset jo nyt tuetut toimet (esim. keraajä- ja saneerauskasvituet sekä luonnonhoitopeltojen ja monimuotoisuuskesantojen tuet) eivät yksinään johda merkittävään hiilensidontaan, varsinkaan viljelykierron muutoin ollessa yksipuolinen ja harvoin nurmia tai syväjuurisia kasveja sisältävä. Lisäksi Lehtonen ym. (2022) ehdottavat maan hiilipitoisuutta ylläpitävien ja kasvattavien toimenpiteiden ottamista osaksi CAP:n toteutusta ja ehdollisuutta. Tällöin täysimääräisen CAP-tuen saisi vain sitoutuessaan toteuttamaan toimenpiteitä (jotka myöhemmin todennetaan) maaperän hiilipitoisuuden ylläpitämiseksi.

Heikkotuottoisia turve- ja kivennäismaita voitaisiin myös poistaa maataloustukien piiristä julkisilla (tai yksityisillä) varoilla maksettavilla korvauksilla. Korvaus voisi olla esimerkiksi määräaikainen aleneva tuki ja toimisi vastapainona maataloustukien menetykselle. Erikseen tulisi olla kosteikkojen hoitotuki turvepeltojen ilmastokosteikoiksi muuttamisen kannustamiseksi. (Lehtonen ym. 2022).

Wejberg ym. (2024) tarkastelivat turvepeltojen vedenpinnan nostamisen erilaisia keinoja normaalin viljelyn jatkuessa: säätosalaajittaminen, säätoikaivojen asentaminen valmiiseen salaajitukseen, avo-ojien padottaminen, ja altakastelun asentaminen. He laskivat tarvittavan satohyödyn määrän, jotta vesienhallintainvestoinnit olisivat kannattavia. Säätoikaivon lisääminen valmiiseen salaajitukseen vaikutti kannattavimmalta investoinnilta, minkä lisäksi säätosalaajitusinvestointi oli kannattava joillain viljelykasveilla. He arvioivat myös, että vesienhallintatoimenpiteet olisivat kannattavia hiilen hinnan ollessa 3–15 euroa. Tällä hetkellä säätosalaajitukselle voi hakea elinvoimakeskuksesta investointitukea, joka kattaa 40 % hyväksyttävistä kustannuksista⁶¹. Lisäksi sitä tuetaan ympäristökorvauksen kautta, osana valumavesien hallinta -toimenpidettä⁶². On kuitenkin tarpeen tuottaa selkeä kannustin paitsi säätosalaajitusinvestoinnista, myös vedenpinnan säätämisestä riittävän lähelle maanpintaa. Tällainen tukeellinen voisi olla esimerkiksi tulosperustainen vuosittainen palkkio kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä. (Lehtonen ym. 2022). Rämö ym. (2025) tutkivat turvepeltojen viljelijöille maksettavaa tukea hiilipäästöjen vähentämisestä ja havaitsivat että tällaiset tuet voisivat tarjota hyvän kannusteen vedenpinnan nostoon pelloilla.

⁶¹ <https://www.salaajayhdistys.fi/rahoitus/>

⁶² <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/peltotuet/ymparistokorvaus/ymparistokorvauksen-sitoumusehdot/ymparistokorvauksen-sitoumusehdot-2025/#id-6-valumavesien-hallinta>

Mitä lähemmäksi maanpintaa vesi nostetaan, sitä pienemmiksi käyvät maaperäpäästöt. Toisaalta samalla myös taloudellisesti kannattavan viljelyn edellytykset heikkenevät. Kosteikkokasveista voisi löytyä vaihtoehtoja mm. turpeen korvaajiksi kuivike- ja kasvualustamateriaaleina (Silvan & Virkkunen 2025). Kysynnän luomiseksi kosteikkokasveille tarvitaan julkisen vallan väliintuloa, sillä tässä ollaan käyttöönoton kiihdyttämisvaiheessa (ks. luku 3.1.).

Maankäytön muutosmaksu mainitaan Petteri Orpon hallituksen ohjelmassa (Valtioneuvoston Kanslia 2023) ja siitä on tällä hallituskaudella tehty vaikutusarviointi. Arvioinnin (MMM 2024) mukaan maankäytön muutosmaksulla voitaisiin (yhdessä muiden ohjauskeinojen kanssa) vähentää metsänraivausta ja saada aikaan päästövähennyksiä. Assmuth ym. (2022) arvioivat maankäytön muutosmaksua ja esittävät, että maksun suuruuden määrittäminen tulisi olla riittävän yksinkertaista, mutta sen tulisi kuitenkin huomioida mm. kivennäis- ja turvemaiden hyvin erilaiset ilmastopäästöt maankäytön muutoksen yhteydessä.

Kasvi proteiinien tuotannon, jalostuksen ja kulutuksen edistäminen voi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja samalla tukea myös maankäytön tehostumista, jos rehuntuotannon peltotarve pienenee. Päivitetty ravitsemussuositus tukevat tätä muutosta suosittamalla kasvisten kulutuksen lisäämistä ja punaisen sekä prosessoidun lihan käytön vähentämistä, mikä voi tuottaa samanaikaisesti terveys-, ilmasto- ja ympäristöhyötyjä. Julkisella ohjauksella on keskeinen rooli, koska sen avulla voidaan vahvistaa kasvi proteiinien arvoketjuja, kehittää julkisia ruokapalveluja, edistää kasvisruokavaihtoehtojen tarjontaa sekä tukea innovaatioita, alkutuotantoa ja kasvinjalostusta. (Rekola ym., 2025).

3.10.3 Maatalouden ohjauksen arviointi

Arvioimme viisi maatalouden potentiaalisinta ohjausta taulukossa 14. Kaikkien arvioitujen ohjauskeinojen todettiin johtavan positiivisiin ilmastovaikutuksiin. Tulosperustaisen vuosittaisen khk-päästöjen vähentämispalkkion voidaan olettaa kannustavan niihin erityisesti varsinkin, jos maanomistajat innostuisivat sen turvin vähentämään turvepelloista tulevia maaperäpäästöjä korottamalla turvepeltojen vedenpintaa vesienhallintatoimenpitein. Millään käsitellyllä ohjauskeinolla ei ole arvioitu olevan vaikutusta fossiilisten polttoaineiden vähenemiseen eikä energiajärjestelmän resilienssiin. Ympäristökuormitus vähenisi kaikkien arvioitujen ohjauskeinojen myötä. Ravinnehuhtoumat vähenisivät turvemaiden vesienhallintakeinojen käyttöönoton myötä ja positiivisia vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen olisi erityisesti ilmastokosteikkojen hoitotuella.

Kuluttajille ei arvioitu mistään käsitellystä ohjauskeinosta olevan taloudellisia vaikutuksia, olettaen että ohjauskeinot eivät johda suuriin muutoksiin ruoantuotannon määrään kansallisella tasolla. Maatalousyrittäjät saisivat tuista, palkkioista ja korvauksista lisätuloja, ja vastaavasti maankäytön muutosmaksu toisi heille kuluja (jos he haluaisivat esimerkiksi raivata metsästä uutta peltoa). Valtion budjetissa tuet näkyvät luonnollisesti menoeränä ja maksut tuloeränä. Tulosperustaisen palkkion ja palkkion hiilensidontatoimien kokonaisuudesta arvioitiin luovan investointien vauhdittuessa ja toimintatapojen kehittyessä työllisyyttä ja toimeliaisuutta. Muiden käsiteltyjen ohjauskeinojen osalta arviointi tarvitsisi lisätutkimusta. Tulosperustaisen palkkion voidaan ajatella olevan kustannusvaikuttava ohjauskeino, sillä maanomistaja voi valita itselleen halvimmat tavat tulokseen pääsemiseksi.

Taulukko 14. Maatalouden ohjauskeinojen arviointi

Ohjauskeino	Vaikuttavuus tavoitteisiin				Taloudelliset vaikutukset				Oikeudenmukaisuus	Toteutettavuus
	Ilmasto	Ohjais- pois fos- siilisista	Energia- järj. re- silienssi	Muu ympäristö- kuormitus	Kuluttajat	Yritykset	Valtio	Koko- naista- lous		
Tulosperustainen vuosittainen palkkio khk-päästöjen vähentämisestä	++	0	0	+	0	+	-	+	?	?
Palkkio hiilensidontatoimien tietyn vähimmäisrajan ylittävästä kokonaisuudesta	+	0	0	+	0	+	-	+	Hyödyn tuottajalle maksetaan	Helppo
Korvaus heikkotuottoisten turve- ja kivennäispeltojen käytöstä poistosta	+	0	0	+	0	+	-	?	?	Helppo
Ilmastokosteikkojen hoitotuki	+	0	0	++	0	+	-	?	?	Helppo
Maankäytön muutosmaksu	+	0	0	+	0	-	+	?	Aiheuttaja maksaa	?

Oikeudenmukaisuuden osalta ohjauskeinoissa on erilaisia pohdittavia asioita. Tulosperustainen päästövähennystuki ja korvaus peltojen käytöstä poistosta eivät ole 'aiheuttaja maksaa' -periaatteen mukaisia, sillä niissä ei luoda ulkoishaitalle hintaa (eli veroteta päästöjä) vaan kannustetaan tuilla vähentämään päästöjä. Tällöin maksuvastuuta siirtyy haittojen aiheuttajilta veronmaksajille. Toisaalta vero turvepeltojen päästöistä olisi regressiivinen ja herättäisi toisenlaisia oikeudenmukaisuuskysymyksiä (Heiskanen ym. 2026). Maankäytön muutosmaksu sen sijaan on 'aiheuttaja maksaa'-periaatteen mukainen, sillä siinä maksetaan aiheutettujen päästöjen mukaan. Palkkio hiilensidonnasta on vastaavasti samankaltaisen 'hyödyn tuottajalle maksetaan'-periaatteen mukainen, sillä siinä maanomistajalle maksetaan palkkio tuottamastaan positiivisesta ulkoisvaikutuksesta, eli tässä tapauksessa hiilinielusta. Ilmastokosteikkojen hoitotuki ei ole ilmastovaikutusten suhteen 'aiheuttaja maksaa'-periaatteen

mukainen, mutta tukea voidaan sen merkittävien biodiversiteettivaikutusten vuoksi ajatella myös 'hyödyn tuottajalle maksetaan' periaatteen mukaiseksi tältä osin.

Tulosperusteisen tuen käytännön toteutettavuus riippuu toteutuksen yksityiskohdista. Varsinaisten päästövähennysten mittaaminen voi olla liian kallista, joten kriteerinä voisi esimerkiksi olla turvepellon keskimääräinen mitattu veden korkeus vuoden aikana, tai muuten tutkitusti maan hiilipitoisuutta ylläpitävien toimenpiteiden määrä (ks. esim. Wejberg ym. 2024; Lehtonen ym. 2022). Palkkio hiilensidontatoimien kokonaisuudesta, korvaus peltojen käytöstä poistosta ja ilmastokosteikkojen hoitotuki arviointiin suhteellisen suoraviivaisiksi ja täten helpoiksi toteuttaa. Maankäytön muutosmaksun käytännön toteutettavuus riippuu ilmastovaikutusten määrittämisen tarkkuuden kunnianhimon tasosta. Karkealla tasolla maksun toteutus on varsin suoraviivaista, mutta tarkkuuden lisääminen voi lisätä vaikeustasoa huomattavasti.

3.11 Vihreän vedyn tuotanto ja käyttö

3.11.1 Nykytilanne vihreän vedyn tuotannon ja käytön ohjauksessa

Vihreä ja muut puhtaalla energialla tuotetut vedyt on nähty yhtenä palasena tiellä kohti puhdasta energijärjestelmää. Vihreällä vedyllä tarkoitetaan ohjauksessa pääosin EU:n uusiutuvan energian sääntelyn mukaista uusiutuvaa vetyä / RFNBO-vetyä, jonka kelpoisuus määräytyy uusiutuvan energian direktiivin säädösten mukaan. Keskeinen merkitys on sillä, millä ehdoilla sähkö katsotaan uusiutuvaksi vedyn tuotannossa, sillä nämä ehdot määrittävät, voiko vetyä käyttää direktiivin tavoitteiden täyttämiseen ja mihin tuki- ja markkinamekanismeihin se käytännössä pääsee. Yleisesti ottaen, vihreällä vedyllä tarkoitetaan uusiutuvalla energialla, esimerkiksi tuulienergialla, tuotettua vetyä. Kannattava vihreän vedyn tuotanto vaatii edullista ja riittävää uusiutuvan energian tarjontaa, sillä vedyn tuotanto on erittäin pääomaintensiivistä ja on siksi erittäin herkkää myös odotetulle kysynnälle. Päästötavoitteiden osalta on kuitenkin otettava huomioon myös käyttökohteet, joista vihreän vedyn käytöllä voidaan saada nettopäästövähennyksiä aikaan verrattuna muihin vaihtoehtoihin (de Kleijne ym., 2025) ja vaihtoehtoja ei ole laajalti saatavilla. Tällaisia käyttökohteita on etenkin teollisuusprosesseissa sekä meri- ja lentoliikenteessä.

Nykyinen ohjaus Suomessa muodostuu EU-tason velvoitteiden ja markkinasignaalien sekä kansallisten tukien ja mahdollistavan sääntelyn yhdistelmästä. EU:n päästökauppa hinnoittelee fossiilisia päästöjä energiasektorilla ja osassa teollisuutta, mikä parantaa vähäpäästöisten ratkaisujen (mukaan lukien vihreän vedyn) kilpailuasetelmaa, mutta ei tyypillisesti yksinään riitä kuromaan kiinni uusiutuvan vedyn ja fossiilisten vaihtoehtojen välistä kustannuseroa. Ratkaisevaa kysyntäohjauksen kannalta on kotimainen velvoittavuus, josta esimerkkinä on tieliikenteen jakeluvaihtoehtoon asetettu 4 %:n RFNBO-polttoaineita koskeva vähimmäisvelvoite vuodelle 2030. EU:n RED III mukaisesti teollisuudessa RFNBO:n osuuden tulee nousta vähintään 42 prosenttiin teollisuuden vedyn käytöstä vuoteen 2030 mennessä ja 60 prosenttiin vuoteen 2035 mennessä. Kehikko ohjaa myös Suomen kansallisen toimeenpanon kautta markkinan syntymistä, sillä ilman uskottavaa ja ennustettavaa toteutusta investoijat hinnoittelevat kysyntärisikin korkeaksi, mikä puolestaan nostaa rahoituskustannuksia ja hidastaa hankkeiden etenemistä. EU-tasolla uusiutuvan vedyn tuotantoa on ryhdytty tukemaan kilpailullisilla mekanismeilla, joiden tavoitteena on pienentää perinteisen ja vihreän vedyn välistä hintapremiötä. AFRY nosti esiin

raportissaan Työ- ja elinkeinoministeriölle (Länsisalo ym., 2025) RFNBO-tuotteiden loppukäyttöön suunnatut veloitteet ja tuet ohjauskeinoina, joilla voitaisiin lisätä niiden käyttöä teollisuudessa.

EU on ryhtynyt tukemaan vihreän vedyn tuotantoa suoraan tuottajille maksettavilla hintapremioilla. Tukimekanismin ytimessä on kilpailutus, jossa tuottajat osallistuvat huutokauppaan ja tarjoavat itse sen tuen, jolla ovat valmiita käynnistämään tuotannon. Tuki maksetaan kiinteänä summana tuotettua vetykilogrammaa kohti, joten se kytkeytyy suoraan toteutuneeseen tuotantoon eikä pelkää investointiin. Mekanismissa muodostuva premio paikkaa fossiilisen ja vihreän vedyn tuotantokustannusten välisen kuilun ja tekee tuotannosta taloudellisesti kannattavaa (Euroopan komissio, 2023). Huutokaupamuodolla pyritään varmistamaan, että tuki ohjautuu kustannusvaikuttavimmille hankkeille.

Kansallinen ohjaus perustuu myös strategiseen suuntaamiseen. Valtioneuvosto hyväksyi helmikuussa 2023 periaatepäätöksen vedystä, jossa tavoitteeksi asetetaan vetytalouden arvoketjun kehittäminen ja arvioidaan Suomen mahdollisuudet tuottaa ja käyttää merkittävä osuus EU:n päästöttömästä vedystä vuoteen 2030 mennessä. Toiseksi ohjaus nojaa rahoitukseen, ja työ- ja elinkeinoministeriö on määritellyt energiatuen painopisteissä uusiutuvan vedyn ja siitä jalostettujen polttoaineiden tuotannon keskeiseksi tukikohteeksi, minkä lisäksi REPowerEU-rahoituksesta on kohdennettu erillistä investointitukea muun muassa uusiutuvan vedyn tuotantoon ja varastointiin. Business Finland on täydentänyt kokonaisuutta RRF-pohjaisilla rahoitushauilla, joissa painottuvat vähäpäästöinen vedyn tuotanto ja varastointi sekä hiilidioksidin talteenotto ja hyödyntäminen⁶³. Lisäksi haettavana on ollut verohyvitys investoinneille⁶⁴ ja investointiavustus suurille puhtaan siirtymän investoinneille⁶⁵. Kolmanneksi Suomi on edistänyt infrastruktuurin suunnittelua, sillä Gasgrid on julkaissut kansallisen vetyinfrastruktuurin alustavia reitti- ja runkoverkkosuunnitelmia, päivittänyt reittisuunnitelmaa markkinasignaalien perusteella ja vienyt reittisuunnittelua ympäristövaikutusten arviointivaiheeseen. Neljänneksi vetylainsäädännön puuttuessa turvallisuus- ja lupakehikkoa on tarkennettu ohjeistuksella, johon Tukes on koonnut vedyn käsittelyä ja varastointia koskevaa tulkinta- ja turvallisuusohjeistusta.

Nykyohjauksen vahvuus on, että se on nopeasti käynnistänyt hankekannan ja luonut rahoituskanaavia. Käytännön markkina on kuitenkin edelleen varhaisessa vaiheessa, ja toteutusta jarruttavat ennen kaikkea uusiutuvan vedyn ja fossiilisten vaihtoehtojen kustannusero, kysyntäsopimusten puute, sähköjärjestelmään ja verkkoihin liittyvät epävarmuudet (liitynnät, hinnoittelu, joustomarkkinat) sekä luvituksen ja turvallisuusvaatimusten tulkintojen hajanaisuus hankkeiden eri vaiheissa. Varhaisen vaiheen toteutuksesta esimerkkinä on, että Suomessa käynnistyi jo kaupallinen vihreän vedyn tuotanto Harjavallassa (20 MW) vuonna 2025, mutta laajamittainen skaalautuminen edellyttää selvästi vahvempaa kysyntä- ja riskinjako-ohjausta.

3.11.2 Vedyn tuotannon ja käytön ohjauksen kehittäminen

Vihreän vedyn tuotanto on vielä alkuvaiheissa ja ohjauskeinoissa paino on käyttöönoton kiihdyttämisessä. Ensiksi tarvitaan muihin enemmän päästöjä aiheuttaviin vaihtoehtoihin kustannuseroa kaventava ja rahoitusta halventava riskinjako. Painopistettä on olennaista siirtää yksittäisistä investoinneista kohti toteutuneeseen tuotantoon tai lopputuotteeseen sidottua tukea. Esimerkiksi kohdistamalla kilpailullinen määräaikainen tuotantopremio tuotettuun vetymäärään hoidettuna

⁶³ <https://www.businessfinland.fi/palvelut/rahoitus/haut/2025/vahahiilinen-vety-ja-hiilidioksidin-talteenotto-2025/>

⁶⁴ <https://www.businessfinland.fi/palvelut/rahoitus/rahoituspalvelut/verohyvitys-suurille-puhtaan-siirtymän-investoinneille/>

⁶⁵ <https://www.businessfinland.fi/palvelut/rahoitus/rahoituspalvelut/investointiavustus-suurille-puhtaan-siirtymän-investoinneille/>

huutokauppamekanismin kautta. Kansallisesti vastaava instrumentti voisi täydentää EU:n olemassa olevaa tukimekanismia niissä hankkeissa, joilla on parhaat edellytykset nopeaan toteutukseen, mutta jotka kaatuvat vielä liian suuriin taloudellisiin riskeihin. Teollisuudessa tukea voidaan kohdistaa myös lopputuotteen vihreään hintapremioon esimerkiksi vähähiilisen ammoniakkin tai metanolin tuotannossa, jolloin ohjaus kohdistuu sinne, missä päästövähennys syntyy ja missä maksuhalukkuus on kriittinen.

Euroopassa on ollut esillä Contract-for-Difference -hintamekanismin (CfD) käyttö keinona tukea uusiutuvien energianlähteiden investointeja. Mekanismin toimivuudesta ja tehokkuudesta ei ole yksiselitteistä näyttöä erityisesti vihreän vedyn suhteen (Poudineh, 2024). Hintamekanismi, jolla tuettaisiin vihreää vetyä voisi olla hiilen hintaerosopimus, CCfD ('Carbon-Contract-for-Difference'), joka vähentäisi riskejä ja tukisi investointeja (Chaton & Metta-Versmessen, 2021; Richstein & Neuhoff, 2022). Vihreän vedyn kohdalla CCfD-instrumentteja on toteutettu Euroopassa muun muassa Alankomaissa ja Saksassa (Länsisalo ym., 2025; Marcu & Fernandez, 2022), jonka Suomeen soveltuvuuden selvittämistä on myös ehdotettu (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022). CCfD-pohjainen ratkaisu voisi soveltua vihreälle vedylle paremmin kuin esimerkiksi energiantuotannossa hyödynnetty CfD-instrumentti (Marcu & Fernandez, 2022), erityisesti ottaen huomioon Suomen sähköntuotannon suhteellisen puhtauden (Chaton & Metta-Versmessen, 2021). Hintamekanismin käyttöönotto vaatisi huolellista suunnittelua.

Toiseksi tarvitaan nopeampi ja yhdenmukaisempi lupa- ja liityntäpolku. Käytännössä kemikaaliturvallisuuden, ympäristöluvituksen, kaavoituksen ja verkkojen liittymäprosessien tulisi muodostaa ennustettava kokonaisuus, jossa hankkeiden vaatimukset ja aikataulut ovat etukäteen tiedossa. Samalla vaaditun infrastruktuurin eteneminen on edellytys mittakaavan kasvattamiselle. Runkoverkon ja keskeisten teollisuus- ja satamasolmujen suunnittelu ja toteutus vaikuttavat suoraan siihen, missä laajuudessa vetyä voidaan tuottaa, siirtää ja jalostaa Suomessa. Gasgridin reittisuunnittelun eteneminen YVA-vaiheeseen viittaa, että tekninen suunnittelu on kypsymässä, mutta investointipäätösten näkökulmasta tarvitaan edelleen selkeät pelisäännöt kapasiteetin varauksesta, vaiheistuksesta ja markkinapaikasta.

Samalla ohjauksen on tuettava sähköjärjestelmän kannalta järjestelmäystävällistä toteutusta. Elektrolyysi voi toimia merkittävänä joustoresurssina, mutta tämä edellyttää, että markkinamallit ja verkkotariffit mahdollistavat kannattavan osallistumisen kulutusjousto- ja joustomarkkinoille. Lisäksi sähköverotuksen ja luokittelun ennustettavuus vaikuttaa suoraan hankkeiden operointikustannuksiin ja investointien riskiprofiiliin. Teollisen mittakaavan hankkeissa korostuu tarve selkeään ja ennakoitavaan tulkintalinjaan.

3.11.3 Vedyn tuotannon ja kulutuksen kannustuksen arviointi

Arvioimme taulukossa 15 vihreän vedyn tuotannon ja hyödyntämisen tukemisen potentiaalisimpia uusia ohjauskeinoja: hintaerosopimusten käyttöönottoa ja luvituksen kehittämistä.

Vihreän vedyn laajempi käyttö voi käyttökohteen mukaan vähentää päästöjä huomattavasti, esimerkiksi teräksen tuotannossa päästöjen vähennys olisi myös koko Suomen tasolla huomattava. Kysynnän tukeminen hintamekanismeilla olisi yksi keino vähentää riskejä ja ajaa investointeja. Vedyn hyödyntäminen lisäisi energijärjestelmän resilienssiä tarjoamalla energian varastointiin vaihtoehdon (Hossein ym. 2025; Park ym. 2024). Hintapremio tulisi kohdistaa käyttökohteisiin, joissa nettopäästövähennyksiä voidaan saada tai muut keinot päästöjen vähentämiseen ovat rajoitettuja ja vedyn käytöllä voidaan vapauttaa resursseja toisiin käyttökohteisiin.

Taulukko 15. Vihreän vedyn tuotannon ja kulutuksen kannustuksen ohjauskeinojen arvioidut vaikutukset

Ohjauskeino	Vaikuttavuus tavoitteisiin				Taloudelliset vaikutukset				Oikeudenmukaisuus	Toteutettavuus
	Ilmasto	Ohjaa pois fossiilisista	Energiajärj. resilienssi	Muu ympäristökuormitus	Kuluttajat	Yritykset	Valtio	Kokonaistalous		
Hinnanero-mekanismien käyttöönotto	+	+	+	+	0	+	-	+	Kohdistuu investointeihin yrityksiin	Kohtalainen
Luvituksen kehittäminen	+	+	+	0	0	+	-	+	Ennakoitavat luvituspelejä säännöt	Kohtalainen

CCfD-pohjainen hinnoittelu voisi vähentää investointien riskejä ja auttaa kiihdyttämään käyttöönottoa. Mekanismissa valtio voisi saada riskin kannosta kompensationsa takaisinmaksuja, kun hinnat kohoavat (Richstein & Neuhoff, 2022) ja tällöin julkistaloudellisesti mekanismi voisi olla kohtuullinen. Kokonaiskustannus on riippuvainen asetetusta muun muassa sovitusta hinnasta, hiilen hinnan kehityksestä, seurannan ja hallinnoinnin kuluista. Rilling ym. (2022) kuvaa kirjallisuudesta löytyviä erilaisia vaihtoehtoja mekanismin toteuttamiseen ja suunnitteluun, esim. saajan valinnan (huutokauppa vai muu) ja muiden piirteiden osalta. Mekanismin käyttöönotto vaatisi huolellista suunnittelua ja Suomen tilanteeseen sekä tavoitteisiin parhaiten sopivien kompromissien valitsemista muun muassa tehokkuuteen tai toimijoiden monipuolisuuteen liittyvien päämäärien välillä (Rilling ym., 2022).

Luvituksen kehittäminen voisi myös vähentää kynnyksiä investointeihin ja nopeuttaa niiden toteuttamista. Luvituksen kevennykset voitaisiin sijoittaa vaatimuksiin hyödyntämisestä mahdollisimman paikallisesti ja jalostukseen 'on-site', jotta vältetään tukemasta matalan jalostusasteen hyödyntämistä ja päästöjä syövästä vedyn putkikuljetusta ja siinä muodostuvaa hukkaa.

3.12 Metsät

Tässä luvussa keskitytään yksityismetsänhoidon ilmasto-ohjaukseen. Metsäteollisuuden ohjausta käsitellään luvussa 3.7.

3.12.1 Nykytilanne metsien käytön ohjauksessa

Yksityismetsätalouden nykyistä ohjausta analysoidaan yksityiskohtaisesti Pihlaisen ym. (2024) raportissa, joten tässä raportissa tyydytään esittelemään pääasiat, pääosin heidän raporttiinsa pohjaten. Yksityismetsätaloutta tuetaan metsätalouden määräaikaisen kannustejärjestelmän (Metka), sekä Etelä-Suomen metsien monimuotoisuuden toimintaohjelman (METSO) kautta. Lisäksi voimassa on useita verotuksia, ml. metsävähennys, metsälahjavähennys, yrittäjävähennys ja menovarauttamismahdollisuus. Metsälaki (1093/1996) on tärkein metsien käyttöä sääntelevistä laeista. Suomessa on lisäksi metsäsertifikaateilla käytännössä hyvin vahva rooli metsien käytön ohjauksessa. Informaatio-ohjaus esimerkiksi

metsäneuvonnan muodossa on Suomessa ollut pitkään tärkeänä pidetty ohjauskeino, johon myös Suomen metsästrategia paljolti nojautuu.

3.12.2 Metsien käytön ohjauksen kehittäminen

Viitala ym. (2022) tarkastelivat metsätalouden tukien ja muun ohjauksen ilmastovaikutuksia ja totesivat, että vaikutusten suunta ja merkitys riippuvat paljolti vaikutusten tarkastelun aikavälistä ja vertailukohtasta. He esittävät, että metsätalouden tukijärjestelmää ja muuta ohjausta tulisi suunnata enemmän markkinattomien ympäristövaikutusten ja julkishyödykkeiden tuottamiseen. Askel tähän suuntaan otetaan tänä vuonna, kun tulosperusteisten tukien ja tarjouskilpailujen kokeilu alkaa⁶⁶. Pilotoitavissa tuissa ei kuitenkaan ole yhtään pääsääntöisesti ilmastomotivoitunutta tukea.

Lounasheimo ym. (2026) käyvät seikkaperäisesti läpi kirjallisuudessa ehdotettuja vaihtoehtoja metsien ilmasto-ohjauskeinoiksi. Tässä raportissa keskitytään ohjauskeinovaihtoehtoihin, jotka kannustaisivat luvussa 2.7. esitettyihin toimiin. Kiertoaikojen pidentämiseksi ja puuston kasvattamiseksi tiheämpänä on ehdotettu mm. päätehakkukriteerien tuomista metsälakiin ja harvennuskriteerien tiukentamista, hiilitukijärjestelmää sekä informaatio-ohjausta.

3.12.3 Metsien käytön ohjauksen arviointi

Tarkastelemme taulukossa 16 lakisääteisiä päätehakkuiden ikä- ja läpimittakriteerejä ja metsien hiilitukijärjestelmää. Näitä arvioivat myös Lintunen ym. (2026) ja arviomme pohjautuu merkittävästi heidän arvioonsa.

Taulukko 16. Metsien käytön ohjauskeinojen arviointi

Ohjauskeino	Vaikuttavuus tavoitteisiin				Taloudelliset vaikutukset				Oikeudenmukaisuus	Toteutettavuus
	Ilmasto	Ohjaa pois fossiilisista	Energiajärj. resilienssi	Muu ympäristökuormitus	Kuluttajat	Yritykset	Valtio	Kokonaistalous		
Lakisääteiset päätehakkuiden ikä- ja läpimittarajat	+	0	0	+	0	-	0	-	Ei huomioi metsänomistajien toiminnan positiivista ulkoisvaikutusta	Helppo
Metsien hiilitukijärjestelmä	++	0	0	+	0	-	-	-	Palkitsee metsänomistajia tuottamastaan positiivisesta ulkoisvaikutuksesta	Haastava

⁶⁶ <https://www.metsakeskus.fi/fi/metsatalouden-tuet/metka-tuet/tulosperusteisten-tukien-ja-tarjouskilpailujen-kokeilu>

Molempien arvioitujen ohjauskeinojen vaikuttavuus ilmastoon on useiden kirjallisuuslähteiden mukaan positiivinen. Metsien hiilitukijärjestelmällä se arvioitiin erityisen positiiviseksi, koska sillä on tutkimusten mukaan nielua pidempään ylläpitävä vaikutus kuin päätehakkuiden rajoituksilla (Peltoniemi ym. 2023). Kumpikaan ohjauskeino ei kuitenkaan varsinaisesti johda itsessään fossiilisten polttoainien vähenemiseen eikä niillä arvioitu olevan vaikutuksia energiajärjestelmän resilienssiin. Ympäristökuormitus vähenisi molempien ohjauskeinojen myötä, etenkin kiertoajaltaan pidentyvissä metsiköissä. Kuluttajille ei arvioitu olevan kummastakaan ohjauskeinosta vaikutuksia. Huomionarvoista on, että metsänomistajille metsien hiilitukijärjestelmästä tulisi merkittävästi mahdollisuuksia lisätuloihin, kun taas päätehakkuiden lakirajojen myötä ansaintamahdollisuudet rajoittuisivat. Yrityksille etenkin metsäteollisuudesta ohjauskeinoista aiheutuisi lisäkustannuksia puun tarjonnan vähetessä ainakin lyhyellä aikavälillä.

Valtiolle ei tulisi merkittäviä lisäkustannuksia päätehakkuiden lakirajoista, mutta hiilitukijärjestelmästä valtion menot luonnollisesti kasvaisivat. Vaikutukset työllisyyteen ja talouskasvuun arvioitiin negatiivisiksi johtuen ohjauskeinojen aiheuttamasta vähenemästä puun tarjontaan ainakin lyhyellä aikavälillä. Päätehakkuiden rajoitusten tuominen lakiin on sinänsä tasapuolinen tapa, koska laki on sama kaikille (toki lakirajat varioitaisiin metsien eri kasvupaikkojen mukaan). On kuitenkin tarkasteltava oikeudenmukaisuutta myös siltä kantilta, että onko perusteltua asettaa metsänomistajat maksamaan hiilinielujen kasvattamisesta. Taloustieteen teorian mukaisesti metsänomistajat ansaitsevat hiilinielun tuottamisesta korvauksen, sillä hiilensidonta on heidän toimintansa positiivinen ulkoisvaikutus. Metsien hiilitukijärjestelmä perustuu tähän periaatteeseen. Päätehakkuurajojen käytännön toteutettavuus arvioitiin helpoksi, sillä ne ovat aiemminkin olleet käytössä. Metsien hiilitukijärjestelmän käyttöön otossa ja ylläpitämisessä olisi sen sijaan useita käytännön haasteita.

4 Johtopäätökset

4.1 Yleiset havainnot

Ilmastopolitiikan tavoitevuosien lähestyessä ilmastopolitiikan painopistettä on perusteltua siirtää yhä selvemmin uusien ratkaisujen tunnistamisesta niiden toimeenpanon, kohdentamisen ja politiikkakokonaisuuksien yhteensovittamisen vaiheeseen. Tämän raportin tarkastelujen perusteella kustannusvaikuttavimmat päästövähennykset syntyvät yleensä siellä, missä teknologia on jo olemassa, toimenpiteiden lisäisyyspotentiaali on korkea ja ohjaus voidaan kohdistaa selvästi tunnistettuihin päästölähteisiin tai investointipäätöksiin. Julkisen ohjauksen näkökulmasta kustannusvaikuttavuus jää heikommaksi erityisesti silloin, kun ohjaus kohdistuu myös sellaisiin muutoksiin, jotka toteutuisivat ainakin osittain ilman lisäohjausta. Kustannusvaikuttavuus heikkenee myös silloin, kun toimeenpanon esteet, hyväksyttävyysongelmat tai puutteellinen infrastruktuuri hidastavat vaikutusten realisoitumista.

Kustannusvaikuttavuuksien määrittäminen on syytä kytkeä arvioon ohjauskeinojen toteutettavuudesta, kohdentumisesta ja keskinäisistä riippuvuuksista. Käytännössä vaikuttavimmat politiikkakokonaisuudet yhdistävät kolme elementtiä: riittävän vahvan hintasignaalin tai sääntelyn, investointien toimeenpanoa tukevat rahoitus- ja kannustemekanismit sekä infrastruktuurin, lupamenettelyjen ja markkinasääntöjen kehittämisen siten, että päästöjä vähentävät ratkaisut voidaan ottaa käyttöön oikea-aikaisesti. Pelkkä tavoitetaso kiristäminen ei riitä, jos investointien toteuttamisen käytännön edellytykset jäävät puutteellisiksi. Investointien syntymisen kannalta keskeistä on ohjauksen ennakoitavuus ja pitkäjänteisyys, sillä vakaat ja johdonmukaiset politiikkalinjaukset vähentävät investointiriskejä ja mahdollistavat kustannustehokkaan siirtymän vähäpäästöisiin ratkaisuihin.

Päästövähennysten edetessä ohjauksen painopiste siirtyy yhä enemmän sektorirajat ylittäviin kysymyksiin. Teknologinen kehitys, erityisesti sähköistyminen, kytkee liikenteen, rakennusten lämmityksen, kaukolämmön tuotannon, teollisuuden ja vedyn tuotannon aiempaa tiiviimmin samaan sähköjärjestelmään, siirtokykyyn ja joustoresursseihin. Tällöin yksittäisen ohjauskeinon vaikuttavuus ei riipu vain sen suorasta vaikutuksesta tarkasteltavaan sektoriin, vaan myös siitä, miten se muuttaa kilpailua sähköstä, biomassasta, verkon kapasiteetista ja muista rajallisista resursseista. Samasta syystä kustannusvaikuttava politiikka ei ole vain sektorikohtaisesti tehokasta politiikkaa, vaan politiikkaa, joka huomioi korvautumiset, pullonkaulat ja eri ohjauskeinojen yhteisvaikutukset.

Kustannusvaikuttavuuden rinnalla korostuvat myös muut näkökulmat liittyen oikeudenmukaisuuteen ja toteutettavuuteen. Monet tarkastelluista ohjauskeinoista ovat periaatteessa vaikuttavia, mutta niiden hyväksyttävyyden ja käytännön toimeenpanon riippuvat siitä, miten kustannukset, hyödyt ja riskit kohdistuvat eri kotitalouksille, yrityksille, alueille ja toimialoille. Tämä korostuu erityisesti tilanteissa, joissa ohjaus nostaa energian tai liikkumisen kustannuksia, edellyttää suuria alkuinvestointeja tai kohdistuu omaisuuteen, jonka uudistaminen on hidasta. Näissä tapauksissa kustannusvaikuttavuus paranee, jos ohjaus kohdennetaan korkean lisäisyyden toimiin ja mahdolliset tuet suunnataan niihin toimijoihin ja kohteisiin, joissa rahoitusrajoitteet tai muut esteet muutoin estäisivät päästövähennysten toteutumisen. Hyväksyttävyyttä ja poliittista toteutettavuutta voidaan edistää kohdennetuilla tulonkierrätys- ja rahoitusratkaisuin kotitalouksille ja toimijoille, joiden sopeutumismahdollisuudet ovat rajalliset.

Tarkastelun tuloksia on kuitenkin tulkittava huomioiden analyysin keskeiset rajoitteet. Ensinnäkin raportissa tarkastellut kustannusvaikuttavuusarviot perustuvat väistämättä yksinkertaistuksiin teknologioiden kehityksestä, kustannuksista ja käyttäytymisreaktioista. Monet päästövähennystoimet toteutuvat pitkällä aikavälillä investointipäätösten, infrastruktuurin rakentumisen ja teknologian diffuusion

kautta, jolloin kustannukset ja vaikutukset voivat muuttua merkittävästi ajan kuluessa. Lisäksi yksittäisten toimien kustannusvaikuttavuuden tarkastelu on väistämättä osittainen kuva sen edistämiseen liittyvistä kokonaisvaikutuksista. Monet ohjaukeinot vaikuttavat samanaikaisesti useisiin sektoreihin, markkinoihin ja resurssivirtoihin. Esimerkiksi sähköistyminen lisää eri sektoreiden välistä riippuvuutta sähköjärjestelmästä ja sen infrastruktuurista, kun taas biomassan käyttö kytkee energia- ja teollisuusratkaisut maankäyttösektorin hiilinieluihin ja luonnon monimuotoisuuteen. Tällaiset sektorien väliset vuorovaikutukset voivat joko vahvistaa tai heikentää yksittäisten toimien kustannusvaikuttavuutta, eikä niitä ole mahdollista täysin kuvata yksittäisiin päästövähennystoimiin tai ohjaukeinoihin keskittyvässä tarkastelussa.

Tämän raportin kustannusvaikuttavuusanalyysi tarkastelee päästövähennystoimia pääasiassa teknistä taloudellisesta näkökulmasta, jolloin käyttäytymiseen, hyväksyttävyyteen ja toimeenpanon institutionaalisiin edellytyksiin liittyvät tekijät jäävät väistämättä vähemmälle huomiolle. Monien toimien toteutuminen riippuu kuitenkin ratkaisevasti esimerkiksi lupaprosessien sujuvuudesta, infrastruktuurin saatavuudesta, rahoitusmahdollisuuksista sekä muista havaitsemattomista käyttöönottoon liittyvistä preferensseistä. Näin ollen teknisesti kustannusvaikuttavaksi arvioitu toimi ei välttämättä toteudu käytännössä ilman riittäviä toimeenpanon edellytyksiä. Kustannusvaikuttavuuden tarkastelussa keskitytään suoriin päästövaikutuksiin eivätkä ne sisällä kattavaa arviointia epäsuorista taloudellisista vaikutuksista, kuten tuotantoketjujen muutoksista, alueellisista vaikutuksista tai kansantalouden laajemmista sopeutusvaikutuksista. Näiden kokonaisvaikutusten arviointi edellyttää laajempia taloudellisia mallinnuksia, joita ei tässä tarkastelussa ole tehty. Näistä rajoitteista huolimatta raportin tarkastelu tarjoaa systemaattisen kokonaiskuvan keskeisten päästövähennystoimien kustannusvaikuttavuudesta sekä niiden toimeenpanoon liittyvistä keskeisistä ohjaukeinokysymyksistä.

Yhteenvedona tarkastelu tukee kolmea läpileikkaavaa johtopäätöstä.

- Ilmastopolitiikan ennakoitavuus ja pitkäjänteisyys ovat keskeisiä investointien syntymiselle.
- Toteutuksen keskeiset rajoitteet liittyvät usein infrastruktuurin puutteisiin sekä lupa-, hankinta- ja muihin toteutusmenettelyihin pikemminkin kuin teknologian saatavuuteen.
- Kustannustehokkuus sekä oikeudenmukaisuus kytkeytyvät käytännössä toisiinsa politiikan hyväksyttävyyden ja toimeenpanon onnistumisen kautta.

Näiden periaatteiden varaan voidaan rakentaa politiikkakokonaisuuksia, joissa teknistä taloudellista kustannusvaikuttavuus ohjaa priorisointia ja julkistaloudelliset sekä laajemmat talousvaikutukset otetaan järjestelmällisesti huomioon toimeenpanon uskottavuuden ja vaikutusten kohdentumisen varmistamiseksi.

4.2 Suositukset sektoreittain

Tieliikenteen kustannusvaikutusanalyysissä arvioitujen toimien yhteenlasketusta päästövähennyspotentiaalista lähes puolet seuraisi käyttäjälleen kustannuksia säästävistä toimista. Tieliikenteessä sähkökäyttöisten ajoneuvojen hankinta on siis käyttäjilleen usein elinkaarikustannuksilla tarkasteluna taloudellisesti kannattavia, sillä niiden päästövähennysten hinnat ovat negatiivisia. Tieliikenteen osalta kustannusvaikutusanalyysin perusteella vain sähköisten kuorma-autojen hankintatuki on kustannusvaikuttavuuden osalta perusteltua ja henkilöajoneuvokantaan tai pakettiautoihin kohdennettavia sähköistämisen hankintatukia on vaikea perustella suurelle yleisölle, koska kustannuksien pitäisi ohjata jo

sähköistämiseen muutoinkin. Poikkeuksena tähän nostetaan taloyhtiöihin kohdennettavat latausinfrastruktuurin tuet.

Tieliikenteessä vaikuttava ohjaus edellyttää ennakoitavaa päästöperusteista verotusta ja sen rinnalle rakennettua yhdistelmää, jossa sähköistyminen ja uusiutuvat polttoaineet täydentävät toisiaan. Poliittikkokokonaisuuden kustannusvaikuttavuutta on arvioitava myös EU:n taakanjakovelvoitteen näkökulmasta, koska tavoitteista jääminen voi johtaa lisäkustannuksiin päästöyksiköiden hankinnan kautta. Samanaikaisesti liikennesuorituksen vähentämiseen tähtäävät keinot etenevät hitaasti maankäytön ja yhdyskuntarakenteen hitaan muutoksen vuoksi, mutta pitkän aikavälin päästökahtymisen ja muiden yhteiskuntatavoitteiden kannalta on perusteltua kytkeä liikennepoliittikka tiiviimmin kaupunkirakenteen ja palveluverkon kehittämiseen, joka mahdollistaa arjen liikkumisen siirtymistä kävelyyn, pyöräilyyn ja joukkoliikenteeseen. Ohjauskeinoista nostimme keskeisiksi *jakeluvelvoitteen nostamisen suorilla ja epäsuorilla keinoilla*, kohdistetut *sähköistämisen tuet* (erityisesti *latausinfrastruktuuriin ja raskaaseen liikenteeseen hankintatuki*), *autoilulle varatun tilan vähentämisen* sekä *ruuhkamaksut*.

Maataloudessa ohjauksen keskeinen haaste liittyy kannustimiin, joissa pinta-alaperusteiset tuet ja tukikelpoisuusehdot voivat ylläpitää päästöjä aiheuttavaa toimintaa erityisesti turvemaidella. Juuri turvemaiden osalta päästövähennyspotentiaali on suuri, mutta samalla toimenpiteiden kustannukset, vaikutukset tuotantoon ja koetut riskit vaihtelevat huomattavasti tilojen välillä. Tämän vuoksi yleisluonteinen ja kaikille samanlainen ohjaus ei välttämättä johda parhaaseen lopputulokseen, vaan tarvitaan kohdennettumia ohjauskeinoja ja mekanismeja, jotka tunnistavat maanomistajien ja tilojen erilaiset lähtökohdat. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että investointitukien rinnalle tarvitaan myös maankäytön muutoksiin, viljelykäytäntöihin ja erityisesti vedenpinnan hallintaan kytkeytyviä kannustimia. Samalla tarvitaan menettelyjä, joilla julkinen rahoitus voidaan suunnata niille kohteille, joissa päästövähennyksiä voidaan saavuttaa vaikuttavimmin ja kustannustehokkaimmin.

Sähköjärjestelmässä keskeinen ohjaustarve liittyy sähkön riittävyteen ja sähkön tuotannon sekä kulutuksen joustavuuteen vaihtelevan tuotannon kasvaessa. Ohjauksen painopiste siirtyy tällöin säätö- ja varakapasiteetin, varastoinnin sekä kulutusjouston edellytysten vahvistamiseen ja samalla siirto- ja jakeluverkon kapasiteettirajoitteiden lieventämiseen. Kapasiteettia ja joustoa tukevien mekanismien tulee perustua läpinäkyviin järjestelmäriittävyysarvioihin ja olla teknologianeutraaleja, jotta vältetään sekä alimitoituksesta seuraavat toimitusvarmuus- ja hintariskit että ylimitoituksesta aiheutuvat tarpeettomat kustannukset. Kulutusjouston osalta keskeinen havainto on, että hintasignaali ei yksinään riitä ilman automaation, aggregoinnin ja standardoitujen ohjausrajoitteiden kehittämistä. Ohjauksen toimivuutta on perusteltua arvioida sen perusteella, realisoituuko jousto laajassa mittakaavassa ja väheneekö tarve päästöintensiiviselle huippu- ja varavoimalle sekä verkon investointipaineelle. *Ohjauskeinoista keskeisimmiksi voidaan nähdä sähköjärjestelmän joustokyvyn lisääminen joustavuuden hankintakilpailutuksin sekä verkon liityntäpullonkaulojen purku etenkin joustavien resurssien tapauksessa.*

Kaukolämmön tuotannossa päästövähennykset ovat edenneet nopeasti, mutta lisäohjauksessa korostuvat lämmönlähteiden substituutiot. Jos turpeen ja jätteenpolton ohjausta kiristetään, lyhyellä aikavälillä helpoin korvaaja on metsähake, mikä voi lisätä jännitteitä ilmasto-, luonto- ja hiilinielutavoitteiden välillä. Siksi ohjauksen tulisi ensisijaisesti vauhdittaa sähköistyviä ratkaisuja, kuten suuria lämpöpumppuja, sähkökattiloita, hukkalämpöjen hyödyntämistä ja varastointia. Metsähakkeen hinnoittelua voidaan tarkastella vaiheittain, mutta samalla on huomioitava toimitusvarmuus, kaukolämmön hinta ja korvaavien ratkaisujen edellytykset. Hukkalämpöjen hyödyntäminen edellyttää lisäksi verotuksen ja sopimusmallien selkeyttämistä sekä verkkojen kehittämistä, jotta matalalämpöisiä lähteitä voidaan hyödyntää nykyistä laajemmin. Samalla sähköistymisen edetessä kaukolämpösektorin riippuvuus sähköjärjestelmän hintavaihtelusta ja verkon reunaehdoista kasvaa, mikä korostaa sektorirajat

ylittävän ohjauksen tarvetta ja eri ohjauskeinojen huolellista yhteensovittamista. *Keskeisimmät ohjauskeinot liittyvät metsähakkeen verotukseen, turpeen veroetujen poistoon, jätteenpolton verotukseen sekä hukkalämpöjen hyödyntämisen edistämiseen.*

Teollisuuden päästövähennysinvestointeja voidaan vauhdittaa paitsi julkisella rahoituksella ja sääntelyllä myös luomalla investointien kannattavuutta tukeva toimintaympäristö johdonmukaisen, kokonaisvaltaisen politiikan avulla. Edullinen päästötön sähkö ja vetytalous sekä luvituksen sujuvuus ovat välttämättömiä tekijöitä monien investointien toteutumiselle. Toimialat ja teknologiat ovat eri vaiheissa teknologian kypsyyden ja tarvittavan ohjauksen osalta. TKI-tukia tarvitaan esimerkiksi ruostumattoman teräksen päästövähennyksiin. Kypsien teknologioiden osalta ohjauksen painopisteen olisi suositeltavaa olla markkinoiden luomisessa esimerkiksi julkisten hankintojen tai tuotemerkintöjen kautta, jolloin vältetään maiden välinen investointitukilipailu ja toimijat voivat valita vapaasti päästövähennyskeinot joko teknologiaa muuttamalla tai kehittämällä korvaavia tuotteita. Hiilidioksidin talteenotto on keskeinen ratkaisu erityisesti prosessipäästöjen osalta. Päästökaupan kehittämisen lisäksi ohjauskeinoja ovat TKI-tuet ja investointien tukeminen esimerkiksi tarjouskilpailujen avulla. Useat keskeiset ohjauskeinot ovat tai niiden olisi suositeltavaa olla EU-tasoisia tai EU-tasolla koordinoituja. Kotimaisen tukipolitiikan tulisi edesauttaa rahoituksen saamista EU:n rahoitusinstrumenteista.

Rakennusten energiankulutuksen kustannusvaikuttavia päästövähennystoimia on laajasti, mutta niiden toteutuminen riippuu päätöksenteon hajautuneisuudesta, rahoitusrajoitteista ja kannustimeroista omistajan ja käyttäjän välillä. Olemassa oleva rakennuskanta on ratkaisevassa asemassa, koska korjaus- ja järjestelmävalinnat lukitsevat energiankäytön ja kustannusrakenteen pitkäksi aikaa. Vaikuttava ohjaus edellyttää, että energiatehokkuusparannukset ja lämmitystapamuutokset kytketään järjestelmällisesti korjausikkunoihin ja kohdennetaan erityisesti energiatehokkuudeltaan heikoiimpaan rakennusjoukkoon. Rahoitusinstrumenttien ja riskin pienentämisen merkitys korostuu tilanteissa, joissa investointi olisi elinkaarikustannuksiltaan perusteltu, mutta toteutus estyy alkuinvestoinnin mahdollisten lainarahoituksen haasteiden vuoksi. Sähköistyminen nostaa ohjattavuuden ja kulutuksen ajoituksen merkityksen, koska järjestelmäkustannuksia määrittävät yhä enemmän huipputehot, verkon vahvistustarpeet ja hintavaihtelun hallinta. Mikäli ohjaus- ja automaattoratkaisut jäävät toteuttamatta, osa sähköistymisen hyödyistä realisoituu verkko- ja kapasiteettikustannuksina. *Keskeisimmät ohjauskeinot liittyvät energiatehokkuudeltaan heikkotasoisten rakennusten energiaremonttien tukemiseen, öljylämmityksestä luopumisen tuki tarkasti kohdennettuna haavoittuvimmille ryhmille sekä kulu- ja joustojen mahdollistavien automaatiojärjestelmien hankinnan velvoittavuus.*

Työkoneissa päästöjen kehitys on ollut vaimeaa, mikä heijastaa ohjausjärjestelmän hajautuneisuutta ja sitä, että kasvihuonekaasupäästöihin kohdistuva sitova sääntely puuttuu EU-tasolla. Lyhyellä aikavälillä polttoaineiden bio-osuuksien jakeluvaihteluohjaus on laajasti vaikuttava, koska se kohdistuu olemassa olevaan kalustoon, mutta samalla kustannusvaikutukset ja hyväksyttävyyden muodostuvat keskeisiksi rajoitteiksi. Keskipitkällä aikavälillä päästövähennysten toteutuminen edellyttää erityisesti infrastruktuurin ja käyttöönottoriskien hallinnan vahvistamista sähköistämistä edesauttavilla hankintatuilla. Sähköistyminen ja vaihtoehtoiset käyttövoimat etenevät todennäköisimmin päästökeskittymissä, joissa verkko- ja latausratkaisut voidaan toteuttaa kustannustehokkaasti ja käyttövarmuus varmistaa. *Keskeisimmät ohjauskeinot ovat polttoaineiden biokomponenttien jakeluvaihtelun korotus, sähköisen latausinfrastruktuurin kehittämisen tukeminen työkonekeskittymissä sekä sähköisten työkoneiden hankintatuet.*

Vihreän vedyn tuotannon ohjaus on käynnistänyt hankekannan ja rahoituskanavia, mutta laajamittainen toteutus riippuu kysyntäriskien hallinnasta ja rahoituskustannuksen alentamisesta. Investointituet ovat perusteltuja ensimmäisissä hankkeissa, mutta kustannuspreemion kaventaminen edellyttää tuotantoon tai lopputuotteeseen sidottuja, kilpailullisesti toteutettavia mekanismeja. Samanaikaisesti

luvituksen, verkkoon liittymisen ja infrastruktuurin pelisääntöjen tulee muodostaa ennakoitava kokonaisuus. Vedyn roolin selkeyttäminen on olennaista, jotta rajalliset resurssit ohjautuvat käyttökohteisiin, joissa muut vaihtoehdot ovat rajallisia ja päästöhyöty on selkeä. Ohjauskeinoista keskeisiä nostoja ovat *investointien tukeminen hintamekanismeilla (CCfD-sopimukset)* sekä *luvituksen kehittäminen ja sitominen jalostukseen*. Myös vihreän vedyn osalta nousee esiin myös *ennakoitavuus ja pitkäjänteisyys* tärkeinä piirteinä ohjaukselle. Vihreän vedyn tuotanto kytkeytyy myös sähköjärjestelmään liittyviin päätöksiin (mm. verkon kehittämiseen ja siirtoon) ja liikenteeseen. Ohjausta pitää arvioida sen vuoksi kokonaistavoitteiden suunnalta, jotta vihreän vedyn potentiaali lisäpäästövähennyksiin saadaan hyödynnettyä mahdollisimman hyvin.

Metsien käytössä keskeinen kysymys on, vahvistetaanko hiilinieluja ensisijaisesti sääntelyllä vai taloudellisilla kannustimilla. *Tarkastelluista keinoista sekä lakisäätöiset päätehakkuiden ikä- ja läpimittarajat että metsien hiilitukijärjestelmä* voivat lisätä hiilensidontaa ja vähentää muuta ympäristökuormitusta, mutta ne myös vähentävät puun tarjontaa ainakin lyhyellä aikavälillä ja voivat lisätä kustannuksia erityisesti metsäteollisuudessa. Hiilitukijärjestelmä on ilmaston kannalta vaikuttavampi ja oikeudenmukaisempi, koska se palkitsee metsänomistajia tuottamastaan hiilinieluhyödyistä, mutta sen toteuttaminen on hallinnollisesti haastavaa. Lakisäätöiset hakkuurajat ovat puolestaan teknisesti helpommin toteutettavissa, mutta ne rajoittavat metsänomistajien ansaintamahdollisuuksia ilman vastaavaa korvausta.

Sanasto

BECCS	Poltosta ja teollisista prosesseista peräisin olevan biomassaperäisen hiilidioksidin talteenotto ja pysyvä varastointi (Bioenergy with carbon capture and storage).
CCS	Carbon Capture and Storage, hiilen talteenotto ja varastointi
CCU	Carbon Capture and Utilisation, hiilen talteenotto ja käyttö
CCfD	Hiilen hinnanerosopimus
CfD	Hinnanerosopimus
CO₂e	Hiilidioksiekvivalentti
EU ETS	EU Emissions Trading System, Euroopan Unionin päästökauppajärjestelmä
EU ETS2	Erillinen uusi EU:n päästökauppajärjestelmä vuodesta 2028, joka kattaa liikenteen, rakennusten erillislämmityksen, työkoneiden ja maatalouden kasvihuonekaasupäästöt
LULUCF	Maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous on yksi kasvihuonekaasuinventaarion sektoreista (Land Use, Land Use Change and Forestry)
MAC	Marginal Abatement Cost, päästövähennyksen marginaalikustannus
Oikeudenmukaisuus	Useita määritelmiä, esim. 'jokainen saa osansa'. Läheisiä käsitteitä esim. reiluus, yhtäläisyys, hyväksyttävyyys. Osakäsitteinä jako-oikeudenmukaisuus, menettelytapojen oikeudenmukaisuus sekä tunnustava oikeudenmukaisuus usein käytettyjä. Voidaan käsittää myös alueellisesti, ajallisesti tai ekologisesti. Vihreän siirtymän kontekstissa liittyy esim. hyötyjen ja haittojen jakautumiseen, luonnon itseisarvoon, hyvittämiseen sekä toimijuuteen.
T&K	Tutkimus ja kehitys
TKI	Tutkimus-, kehitys- ja innovaatio
RNFBO	Renewable Fuels of Non-Biological Origin, muuta kuin biologista alkuperää olevat uusiutuvat polttoaineet
Resilienssi	Järjestelmän kyky kestää muutoksia/häiriöitä ja selviytyä niistä. Voi kuvata myös kohteen muutosjoustavuutta, palautumista ja uudistumista suhteessa ympäristöön ja sen muutoksiin.

Lähteet

- Acemoglu, D., Akcigit, U., Alp, H., Bloom, N. & Kerr, W. 2018. Innovation, reallocation and growth. *American Economic Review* 108, 3450–3491. <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/aer.20130470>
- Ahtikoski, A., Horne, P., & Kokko, K. 2006. Hiilinielujen ja biodiversiteetin turvaamisen ohjauskeinojen yhteensovittaminen. Julkaisussa: Valsta, L., Ahtikoski, A., Horne, P., Karttunen, K., Kokko, K., Melkas, E., Mononen, J., Pingoud, K., Pohjola, J., & Uusivuori, J. (2006). Puu ilmastonmuutoksen hillitsijänä – Loppuraportti (Tutkimusraportteja 39). Helsingin yliopisto, Metsäekonomian laitos. <https://www.mv.helsinki.fi/home/valsta/carbon/hiililoppuraportti-final.pdf> [Viitattu: 7.3.2026]
- Assmuth, A., Lintunen, J., Wejberg, H., Koikkalainen, K., Uusivuori, J. & Miettinen, A. 2022. Metsäkadon ilmastohaitta ja hillinnän ohjauskeinot Suomessa. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 31/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-409-8>
- Auvinen, K., Meriläinen, T. & Saikku, L. 2021. Hukka- ja ympäristölämmön hyödyntämisen esteet ja edistämiskeinot kaukolämpöverkoissa. Suomen ympäristökeskus.
- Auvinen, K., Kaminen, K., Karhinen, S., Rekola, A., Pelkonen, J., Child, M., Kärhä, K., Rantsi, J., Ihonen, J., Suomalainen, E., Hyrynen, J., Pesonen, J. & Rasi, S. 2025. Poliittikkatoimet liikkuvien työkonoiden puhtaan siirtymän edistämiseksi. <http://hdl.handle.net/10138/593784>
- Bongardt, D., Stiller, L., Swart, A. & Wagner, A. 2019. Sustainable urban transport: Avoid-shift-improve (A-S-I). iNUA #9: Implementing the new urban agenda. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). <https://www.sutp.org/publications/sustainable-urban-transport-avoid-shift-improve-a-s-i-inua-9/>
- Chaton, C. & Metta-Versmessen, C. 2021. Carbon Contracts for Differences for the development of low-carbon hydrogen in Europe. https://chair-energy-prosperity.org/wp-content/uploads/2022/06/Event_Intl-Conf-Innovation-Climate-Change-Gouvernance_202205_Paper_Carbon_Contract_for_differences.030522.pdf
- Dalkmann, H., Brannigan, C., Lefevre, B., & Enriquez, A. 2014. Transport and climate change. Module 5e: Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-Makers in Developing Cities. Updated Volume. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). <https://doi.org/10.13140/2.1.4286.8009>
- de Kleijne, K., Ottenbros, A. B., & Hanssen, S. V. 2025. Climate-optimal use of green hydrogen. *Progress in Energy* 7, 034001. <https://doi.org/10.1088/2516-1083/ade7f2>
- DVV 2026. Rakennus- ja huoneistorekisteri. <https://dvv.fi/rakennus-ja-huoneistotiedot-vaestotietojarjestelmassa>
- Einiö, E., Koski, H., Kuusi, T. & Lehmus, M. 2022. Innovation, reallocation and growth in the 21st century. Valtion neuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:1. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-417-0>
- Energiavirasto 2026. Sähkön hintatilastot. <https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>
- Euroopan komissio 2021. Ehdotus neuvoston direktiiviksi energiatuotteiden ja sähkön verotusta koskevan unionin kehysten uudistamisesta. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX:52021PC0563> [Viitattu: 7.3.2026]
- Euroopan komissio 2023. Commission launches first European Hydrogen Bank auction with €800 million of subsidies for renewable hydrogen production. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_5982
- Ferrara, A. R. & Giua, L. 2022. Indirect cost compensation under the EU ETS: A firm level analysis. *Energy Policy* 165, 112989. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112989>
- Forsström, J., Koreneff, G., Koljonen, T. ja Lehtilä, A. 2022. Taustaselvitys Suomen energiaverotuksen kehitystyölle. VTT Asiakasraportti VTT-CR-00144-22. <https://vm.fi/documents/10623/101263033/Energiaveroraportti.pdf/c1de27ac-ef3e-7219-da11-f1c62ad2d2e3/Energiaveroraportti.pdf?t=1649826668135>
- Geels, F. W. 2014. Regime Resistance against Low-Carbon Transitions: Introducing Politics and Power into the Multi-Level Perspective. *Theory, Culture & Society* 31, 21–40. <https://doi.org/10.1177/026327641453162>
- Gillingham, K. & Stock, J. H. 2018. The Cost of Reducing Greenhouse Gas Emissions. *Journal of Economic Perspectives* 32, 53–72. DOI: 10.1257/jep.32.4.53

- Hebinck, A., Diercks, G., Von Wirth, T., Beers, P. J., Barsties, L., Buchel, S., Greer, R., van Steenberg, F. & Loorbach, D. 2022. An actionable understanding of societal transitions: the X-curve framework. *Sustainability Science* 17, 1009–1021. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11625-021-01084-w>
- Heiskanen, A., Luotonen, N. & Ahlvik, L. 2026. Turvepeltoa omistavat kotitaloudet ja päästöjen hinnoittelu. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus (VATT). Datahuone Policy Brief 1/2026. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2026021212954>
- Hossein, A., Pudjianto, D., Strbac, G. & Brandon, N. P. 2025. The impact of hydrogen on decarbonisation and resilience in integrated energy systems. *Advances in Applied Energy* 17, 100200. <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2024.100200>
- Huang, S. K., Kuo, L. & Chou, K.-L. 2016. The applicability of marginal abatement cost approach: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production* 127, 59–71. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.013>
- Huuki, H., Karhinen, S., Kopsakangas-Savolainen, M., Ruokamo, E. & Rähkä, J. 2024. Tarvitaanko sähkömarkkinoilla korjaustoimia? – Kooste akateemisesta kirjallisuudesta. *Kansantaloudellinen aikakauskirja* 2/2024. <https://journal.fi/kak/article/view/145231>
- Hynynen, J., Haikarainen, S., Huuskonen, S., Lehtonen, M., Repola, J., Salminen, H., Siipilehto, J. 2024. Pidentetyn kiertoajan vaikutukset metsien hiilensidontaan ja puuntuotantoon. *Tapio*. https://tapio.fi/wp-content/uploads/2024/11/Hynynen_PIKMA_loppuwebinaari_FIN.pdf [Viitattu: 7.3.2026]
- Jiang, H.-D., Purohit, P., Liang, Q.-M., Dong, K. & Liu, L.-J. 2022. The cost-benefit comparisons of China's and India's NDCs based on carbon marginal abatement cost curves. *Energy Economics* 109, 105946. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105946>
- Jiang, H.-D., Yan, S.-Y., Zhang, S.-X. & Liang, Q.-M. 2026. How will technical progress in electric vehicles affect carbon marginal abatement costs? A CGE analysis incorporating learning-by-doing. *Transport Policy* 179, 104002. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2026.104002>
- Jääskeläinen, S. 2018. Kävelyn ja pyöräilyn edistämishjelma. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 5/2018. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/11111/1002>
- Kanger, L., Sovacool, B. K. & Noorköiv, M. 2020. Six policy intervention points for sustainability transitions: A conceptual framework and a systematic literature review. *Research Policy* 49, 104072. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104072>
- Karhinen, S. & Huuki, H. 2021. How are the long distances between renewable energy sources and load centres reflected in locational marginal prices? *Energy* 210, 118546. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118546>
- Karhinen, S., Meriläinen, T., & Ulvi, T. 2022. Paikalliset vaikutusmahdollisuudet henkilöautoliikenteen kasvihuonekaasupäästöihin – Tapaustarkastelu Pohjois-Pohjanmaalla. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 1/2022. <https://helda.helsinki.fi/items/7ab842e9-1724-4cf5-b7d0-0cb9ee82f964>
- Kern, F. & Rogge, K. S. & Howlett, M. 2019. Policy mixes for sustainability transitions: New approaches and insights through bridging innovation and policy studies. *Research Policy* 48, 103832. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.103832>
- Kesicki, F. & Strachan, N. 2011. Marginal abatement cost (MAC) curves: confronting theory and practice. *Environmental Science & Policy* 14, 1195–1204. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.08.004>
- Kesicki, F. & Ekins, P. 2012. Marginal abatement cost curves: a call for caution. *Climate Policy* 12, 219–236. <https://doi.org/10.1080/14693062.2011.582347>
- Kestävyyspaneeli 2024. Suomesta kestävyysmurroksen onnistuja – Rajana luonto, voimana ihmiset. Poliitikkasuositus 1/2024. https://www.kestavuuspaneeli.fi/wp-content/uploads/sites/41/2024/05/kestavuuspaneeli_poliitikkasuositus-1-2024.pdf
- Koljonen, T., Soimakallio, S., Silfver, T., Kivinen, M., Aakkula, J., Aittoniemi, E., Arola, T., Faehnle, M., Forsberg, T., Forsius, M., Haakana, M., Hirvelä, H., Honkatukia, J., Ikkala, L., Jarva, J., Karhinen, S., Karvonen, T., Karvosenoja, N., Kivimaa, P., Koreneff, G., Koskivaara, O., Lauhkonen, A., Lehtilä, A., Lehtonen, H., Lounasheimo, J., Mikola, J., Mutanen, A., Myllykangas, J.-P., Myllyviita, T., Niemistö, J., Ojala, A., Paunu, V.-V., Rehunen, A., Savolahti, M., Savolainen, H., Similä, L., Sivonen, M., Sokka, L., Tirroniemi, J., Vainio, T., Viitanen, J., Vikfors, S., Vuori, K.-M., Vähäkuopus, T. (2025). Kansallisen energia- ja ilmastopoliitiikan uudet toimet ja

- skenaariot (KEITO) – keskipitkän aikavälin vaikutusarviot. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Technology No. 442. <https://doi.org/10.32040/2242-122X.2025.T442>
- Kopsakangas-Savolainen, M., & Meriläinen, T. 2018. Sähköautoilun sähkömarkkina-ajurit ja hajautettu varastointi. Suomen ilmastopaneelin raportti 1/2018. <https://ilmastopaneeli.fi/hae-julkaisuja/sahkoautoilun-sahkomarkkina-ajurit-ja-hajautettu-varastointi/>
- Kujanpää, L., Koponen, K., Linjala, O., Mäkikouri, S., Arasto, A. 2023. Teknologisten hiilinielujen mahdollisuusdet ja niiden edistäminen Suomessa. Suomen ilmastopaneelin raportti 5/2023. <https://ilmastopaneeli.fi/hae-julkaisuja/teknologisten-hiilinielujen-mahdollisuudet-ja-niiden-edistaminen-suomessa/>
- Kuosmanen, T. 2025. Yritystuet ja yritystukijärjestelmän uudistaminen. Akava Works -raportti 4/2025.
- Kuss, P., & Nicholas, K. A. 2022. A dozen effective interventions to reduce car use in European cities: Lessons learned from a meta-analysis and transition management. Case Studies on Transport Policy 10, 1494–1513. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.02.001>
- Kässi, O. & Wang, M. 2026. Yritystuet vihreässä siirtymässä. Etna Muistio nro 174. <https://pub.etla.fi/ETLA-Muistio-Brief-174.pdf>
- Laturi, J., Aalto, L., Horne, P., Kinnunen, P., Kujala, P. & Sen, T. 2022. Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelman kustannusvaikutusten arviointi. PTT raportteja 273. <https://www.ptt.fi/julkaisut/maankayttosektorin-ilmastosuunnitelman-kustannusvaikutusten-arviointi/>
- Laukkanen M. & Maliranta M. 2019. Yritystuet ja kilpailukyky. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:33. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-736-9>
- Laukkanen, M., & Sahari, A. 2025. Heterogeneous Responses to Vehicle Replacement Subsidies: Evidence from Linked Vehicle-Owner Data. <https://www.doria.fi/handle/10024/193821>
- Lehtonen, H., Assmuth, A., Koikkalainen, K., Miettinen, A., Mutanen, A., Mäkipää, R., Nieminen, M., Rämö, J., Wall, A., Wejberg, H. & Viitala, E.-J. 2022. Tehokkaat ohjauskeinot maa- ja metsätalouden ilmastovaikutusten edistämiseksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 76/2022. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-506-4>
- Liimatainen, H., Viri, R., Munther, J. & Seppälä, J. 2023. Rekkalaskurin käyttöopas ja laskennan perusteet – kuorma-autot ja pakettiautot. Suomen ilmastopaneeli. https://autokalkulaattori.fi/rekkalaskuri/Rekkalaskuri_dokumentaatio.pdf
- Lintunen, J., Pihlainen, S. & Assmuth, A. 2026. Katsaus toimiin ja ohjauskeinoihin metsien kestävyystavoitteiden saavuttamiseksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 3/2026. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-149-4>
- Lounasheimo, J., Mosley, F., Pihlainen, S., Soimakallio, S., Saikku, L., & Ekholm, T. 2026. Ilmastolain tavoitteet ja täydentävät keinot niiden saavuttamiseksi. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 4/2026. <http://hdl.handle.net/10138/628770>
- Luostarinen, S., Tampio, E., Lehtoranta, S., Valve, H., Laakso, J., Rasi, S., Pyykkönen, V., Markkanen, J., Heikkinen, J., Haapala, H., Winqvist, E., Lång, K., Timonen, K., Silfver, T., 2023. Kestävät käytännöt biokaasutuotannossa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023:32. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-479-8>
- Länsisalo, E., Sivill, L., Patronen, J., Lottonen, J., Siitonen, J., & Ollus, F. 2025. Uusiutuvan vedyn käyttö ja edistäminen teollisuudessa. Työ- ja elinkeinoministeriö. https://valtioneuvosto.fi/documents/1410877/231218972/Uusiutuvan+vedyn+k%C3%A4ytt%C3%B6+ja+edist%C3%A4minen+teollisuudessa_loppuraportti_200125.pdf/88ba8a8d-f53b-6281-b2ca-c41c661f77b5?t=1740133556091
- Maanavilja, L., Tuomainen, T., Aakkula, J., Haakana, M., Heikkinen, J., Hirvelä, H., Kilpeläinen, H., Koikkalainen, K., Kärkkäinen, L., Lehtonen, H., Miettinen, A., Mutanen, A., Myllykangas, J.-P., Ollila, P., Viitanen, J., Vikfors, S. & Wall, A. 2021. Hiilineutraali Suomi 2035 – Maankäyttö- ja maataloussektorin skenaariot. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:63. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-263-3>
- Marcu, A., & Fernandez, A. A. 2022. Reflection note on Carbon Contracts for Difference (CCfD). https://ercst.org/wp-content/uploads/2022/01/20220104-CCfD-reflection_note_final.pdf

- Markkanen, J. & Lauhkonen, A. 2021. Työkoneiden päästöjen perusennuste ja sähköistymisen vaikutus päästöihin. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Asiakasraportti No. VTT-CR-00245-21. <https://cris.vtt.fi/en/publications/ty%C3%B6koneiden-p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6jen-perusennuste-ja-s%C3%A4hk%C3%B6istymisen-vaikutus-p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6ihin>
- Martikainen, E., Ruotsi, J. & Hallikainen, M. 2023. Business Finlandin TKI-yritystukien vaikuttavuus – Yritysten TKI-toiminta, kasvu ja ulkoisvaikutukset. Loppuraportti Työ- ja elinkeinoministeriön Yritystukien tutkimusjaostolle. https://tem.fi/documents/1410877/21733658/Business_Finlandin_tki-yritystukien_vaikuttavuus_17032023.pdf/cb942e99-7080-2723-a4ef-71c4eab76b1b/Business_Finlandin_tki-yritystukien_vaikuttavuus_17032023.pdf?t=1679302278375
- Metsäteollisuus. 2025. Vihreä ja vireä talous - Metsäteollisuuden päivitetty ilmastotiekartta 2025. <https://metsateollisuus.fi/wp-content/uploads/2025/09/Metsateollisuuden-ilmastotiekartta-final-092025.pdf>
- Mickwitz, P. 2003. A Framework for Evaluating Environmental Policy Instruments: Context and Key Concepts. European Evaluation Society 9. <https://doi.org/10.1177/135638900300900404>
- MMM 2024. Maankäytön muutosmaksun käyttöönoton vaikutusten arviointi. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2024:1. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-756-3>
- MMM 2025. Puupolttoaineet energian tuotannossa. <https://mmm.fi/-/puun-energiakaytto>. Päivitetty sivun mukaan joulukuussa 2025. [Viitattu: 7.3.2026]
- Muilu, I., Patronen, J., Armila, N., Lehtoranta, I. & Rautalin, J. 2024. Biomassan verotuksen laajentamisen mahdollisuudet ja haasteet. Valtioneuvoston kanslia, Helsinki. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2024:7. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-184-1>
- Murto, R., Sinko, P. & Tamminen, S. 2025. Kasvuriihi-hankkeen loppuraportti. Valtioneuvoston julkaisuja 2025:25. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-710-2>
- Nerg, K. 2009. Metsän kiertoajan vaikutus hiilensidontaan ja metsänkasvatuksen kannattavuuteen. Pro gradu työ, Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, metsäekonomian laitos. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/6340f067-9fca-4bc4-bb01-7c2bbe0ce948/content> [Viitattu: 7.3.2026]
- Newell, P. J., Geels, F. W. & Sovacool, B. K. 2022. Navigating tensions between rapid and just low-carbon transitions. Environmental Research Letters 17, 041006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac622a>
- Niemistö, J., Salmenperä, H., Savolainen, H., Huuki, H., Turunen, T., Excell, M., Haahti, J., Heinonen, T., Häkkinen, E., Karhinen, S., Lounasheimo, J., Myllymaa, T. & Pihlainen, S. 2026. Selvitys kierrätyksen edistämisen ja jätteenpolton hillinnän ohjauskeinoista – Lajittelun ja erilliskeräyksen normiohjauksen sekä jätteenpolton ja sen kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen tarkastelu. Ympäristöministeriön julkaisuja 2026:4. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/server/api/core/bitstreams/58c2facb-a2f2-4028-9bec-4e6f146ce9b9/content>
- Niinimäki, S., Tahvonen, O., Mäkelä, A., Linkosalo, T. 2013. On the economics of Norway spruce stands and carbon storage. Canadian Journal of Forest Research 43(7): 637–648. <http://dx.doi.org/10.1139/cjfr-2012-0516>
- Palanne, K. 2025. Essays on transportation and the environment. Aalto University. <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/134480>
- Palanne, K., & Sahari, A. 2021. Henkilöautoliikenteen CO₂-päästöt ja päästöjen vero-ohjaus. VATT Muistiot 63. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-274-277-3>
- Park, J., Kang, S., Kim, S., Kim, H., Hyun-Seok, C. & Lee, J. H. 2024. Enhancing the economic viability and reliability of renewables based electricity supply through Power-to-Gas-to-Power with green hydrogen. Energy Conversion and Management 310, 118485. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118485>
- Peltoniemi, M., Huttunen, S., Hyyrynen, M., Similä, J., Halonen, K.-M., Haltia, E., Leppänen, J., Pohjola, J., Tikkanen, V.-M., Arola, T., Assmuth, A., Autto, H., Lehto, T., Lonkila, A., Pitzén, S., Uusivuori, J., Vesala, J., Viitala, E.-J. & ja Lintunen, J. 2023. Hiilinieluja ja ilmastohyötyjä hallituin riskein: Metsäsektorin ohjauskeinojen monitieteinen analyysi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 110/2023. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-829-4>
- Perino, G., Ritz, R. A. & van Benthem, A. A. 2025. Overlapping Climate Policies. The Economic Journal 135, 2122–2160. <https://doi.org/10.1093/ej/ueaf021>

- Pigou, A. C. 1920. The Economics of Welfare. *The Economic Journal* 31, 206–213.
<https://doi.org/10.2307/2222816>
- Pihlainen, S., Tahvonen, O. ja Niinimäki, S. 2014. Economics of timber and bioenergy production and carbon storage in Scots pine stands. *Canadian Journal of Forest Research* 44, 1091–1102. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0475>
- Pihlainen, S., Pohjola, J., Piironen, T., Pekkonen, M., Kostamo, K. & Kautto, P. 2023. Ympäristölle haitalliset tuet Suomessa. Katsaus ilmastolle ja luonnon monimuotoisuudelle haitallisiin tukiin. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 30/2023. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5598-7>
- Pihlainen, S., Pohjola, J., Assmuth, A., Hyyrynen, M., Kuussaari, M., ym. 2024. Luonnon monimuotoisuuteen vaikuttavat ohjauskeinot: Katsaus biodiversiteetin kannalta haitallisiin ja hyödyllisiin tukiin sekä muihin ohjauskeinoihin Suomessa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 32/2024. <http://hdl.handle.net/10138/587276>
- Pihlatie, M., Söderena, P., Markkanen, J., Nylund, N.-O., Rahkola, P., Åman, R., Muona, T., Pettinen, R., Naumanen, M., Shah, S. & Baranauskas, M. 2022. Työkoneiden kustannustehokkaat päästövähennyskeinot. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:63. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-153-7>
- Pohjola, J., Valsta, L., & Mononen, J. 2006. Metsät hiilinieluinä. Julkaisussa: Valsta, L., Ahtikoski, A., Horne, P., Karttunen, K., Kokko, K., Melkas, E., Mononen, J., Pingoud, K., Pohjola, J., & Uusivuori, J. 2006. Puu ilmastomuutoksen hillitsijänä – Loppuraportti (Tutkimusraportteja 39). Helsingin yliopisto, Metsäekonomian laitos. <https://www.mv.helsinki.fi/home/valsta/carbon/hiililoppuraportti-final.pdf> [Viitattu: 7.3.2026]
- Polzin, F., Egli, F., Steffen, B. & Schmidt, T. S. 2019. How do policies mobilize private finance for renewable energy? A systematic review with an investor perspective. *Applied Energy* 236, 1249–1268.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.098>
- Poudineh, R. 2024. Can UK green hydrogen contract for difference (Cfd) match the cost-saving success of renewable electricity? (Working Paper 39). OIES Paper: ET. <https://www.econstor.eu/handle/10419/306631>
- Rekola, A., Albrecht, E., Ervasti, S., Heikkinen, M., Kaljonen, M., Luostarinen, S., Lång, K., Pelkonen, J., Rasi, S., Savolainen, H., Tynkkynen, M. & Valve, H. 2025. Kestävyyssiirtymän politiikkaohjaus maataloussektorin haastavilla aloilla – Kartoitus ilmastopolitiikan tehostamismahdollisuuksista turvepeltojen vettämisen, kosteikkoviljelyn, kasviproteiinien arvoketjujen ja kestäväen biokaasutuotannon keinoin. ACE-hankkeen keskustelupaperi. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/79246c1c-c269-4f21-8bbd-9d2cb440fbf0/content>
- Richards, K. & Stokes C. 2004. A review of forest carbon sequestration cost studies: a dozen years of research. *Climatic change* (63): 1-48
- Richstein, J. C. & Neuhoﬀ, K. 2022. Carbon contracts-for-difference: How to de-risk innovative investments for a low-carbon industry? *iScience* 25, 104700. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104700>
- Rilling, A., Anatolitis, V., & Zheng, L. 2022. How to design Carbon Contracts for Difference—A systematic literature review and evaluation of design proposals. 2022 18th International Conference on the European Energy Market (EEM), 1–8. <https://doi.org/10.1109/EEM54602.2022.9921044>
- Rogers, Everett M. 1962. *Diffusion of Innovations*. https://books.google.fi/books/about/Diffusion_of_Innovations.html
- Rosenbloom, D. & Meadowcroft, J. 2022. Accelerating Pathways to Net Zero: Governance Strategies from Transition Studies and the Transition Accelerator. *Current Climate Change Reports* 8, 104–114.
<https://doi.org/10.1007/s40641-022-00185-7>
- Ruokamo, E., Tikkanen, T., Lukkarinen, J. & Karhinen, S. 2025. Energy retrofits in shared ownership: exploring motivations in Finnish housing companies. *Building Research & Information*, 1–17.
<https://doi.org/10.1080/09613218.2025.2582123>
- Rämö, J., Tzemi, D., Miettinen, A., Wejberg, H., & Lehtonen, H. 2025. Carbon incentives and farm economics: A study of peatland drainage optimization. *Agricultural Water Management* 314, 109512.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109512>

- Sahari, A., & Palanne, K. 2021. Maaseudulla tarvitaan eri keinoja kuin kaupungissa liikenteen päästöjen vähentämiseen. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus. <https://vatt.fi/-/maaseudulla-tarvitaan-eri-keinoja-kuin-kaupungissa-liikenteen-paastojen-vahentamiseen>
- Schlecht, I., Maurer, C. & Hirth, L. 2024. Financial contracts for differences: The problems with conventional CfDs in electricity markets and how forward contracts can help solve them. Energy Policy 186, 113981. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.113981>
- Schulthoff, M., Kaltschmitt, M., Balzer, C., Wilbrand, K., & Pomrehn, M. 2022. European road transport policy assessment: A case study for Germany. Environmental Sciences Europe, 34. <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00663-7>
- Semkin, N., Ketonen, M.-M., Takamäki, S., Tuominen, K., Mahlamäki, H. & Rättö, S. 2023. Energiaintensiivisen teollisuuden vihreän siirtymän investointitarpeet ja niiden toteutumisedellytykset. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2023:3. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-962-9>
- Seppälä, J., Munther, J., Viri, R., Liimatainen, H., Weaver, S. & Ollikainen, M. 2023. Autokalkulaattorin käyttöopas ja laskennan perusteet – henkilöautot. Suomen ilmastopaneeli. https://autokalkulaattori.fi/Autokalkulaattori_dokumentaatio.pdf
- Seppälä, J., Liimatainen, H., Ollikainen, M., Weaver, S., Ahlviik, L., Karttunen, M., Halonen, J., Viri, R., Suomalainen, E., Markkanen, J., & Hänninen, O. 2024. Tieliikenteen päästövähennystoimet ja niiden vaikutukset. Suomen ilmastopaneelin raportti 1/2024. <https://doi.org/10.31885/9789527457313>
- Seppälä, J., Ahlviik, L., Arasto, A., Halonen, J., Kivimaa, P., Koponen, K., Kulovesi, K., Kurnitski, J., Lehtonen, H., Liimatainen, H., Mäkipää, R., Soimakallio, S., Soukka, R. & Toppinen, A. 2025. Keinoja kuilun kuromiseksi – Suomen ilmastopaneelin politiikkasuositukset 2025.
- Silvan, N. & Virkkunen, E. 2025. Turvetta korvaavat vaihtoehtoiset kasvualusta- ja kuivikemateriaalit: Esiselvitys. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 85/2025. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-131-9>
- Sipilä, E., Poikolainen, H., Lilja, A., Rautio, T., & Nylund, N.-O. 2021. Liikenteen jakeluvuoroitustason nosto – uusien polttoaineiden riittävyys ja vaikutusarvioinnit. https://tem.fi/documents/1410877/53440649/AFRY_jakeluvuoroitus_selvitys_joulukuu2021.pdf/2409f3ce-89d2-5178-7cb7-6a5ad3931ca1/AFRY_jakeluvuoroitus_selvitys_joulukuu2021.pdf?t=1638529141014
- Sipilä, E., Lilja, A., Poikolainen, H., Ogata, T., & Kalliovalkama, S. 2023. Liikenteen uusien polttoaineiden jakeluvuoroitusjärjestelmän uudistaminen: RED III direktiivimuutoksen kansallinen toteutus ja vaikutusarviot. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023:50. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-011-0>
- Smith, S. M., Geden, O., Gidden, M. J., Lamb, W. F., Nemet, G. F., Minx, J. C., Buck, H., Burke, J., Cox, E., Edwards, M. R., Fuss, S., Johnstone, I., Müller-Hansen, F., Pongratz, J., Probst, B. S., Roe, S., Schenuit, F., Schulte, I., & Vaughan, N. E. 2024. The State of Carbon Dioxide Removal—2nd Edition. The State of Carbon Dioxide Removal. <https://osf.io/f85qj/>
- Soimakallio, S. & Pihlainen, S. 2023. Metsänielujen kehityssuunnat vuosina 2021–2025 ja suhde EU-velvoitteisiin sekä ohjauskeinot nielujen vahvistamiseksi. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 9/2023. <http://hdl.handle.net/10138/357131>
- Sorsa, K. 2009. Itsensäntely ja yhteissäntely arvoketjussa. Toimialakohtaista tarkastelua. Oikeuspoliittisen tutkimuslaitos, Helsinki. Oikeuspoliittisen tutkimuslaitoksen tutkimustiedonantoja 100. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/d69e1cb8-6245-4efe-bdfb-b84fd9cfdcce/content>
- Syke 2024. Kuntien kasviuonekaasupäästöjen skenaariotyökalu. <https://skenaario.hiilineutraalisuomi.fi/>
- Syke 2026. Kuntien ja alueiden kasviuonekaasupäästöt. <https://paastot.hiilineutraalisuomi.fi/>
- Tahvonen, O. ja Parkatti, V.-P. 2023. ”HiiliMetso” -malli Suomen metsien hiilensidonnasta vahvistamiseksi. Muistio, Helsingin yliopisto. <https://www.helsinki.fi/assets/drupal/2023-03/HiiliMetso%202023-03%20Tahvonen%20ja%20Parkatti.pdf> [Viitattu: 7.3.2026]
- Takalo, T. ja Toivanen, O. 2018. Economics of Finnish Innovation Policy. Talouspolitiikan arviointineuvosto.
- Tilastokeskus 2026a. Kasviuonekaasut. ISSN=1797-6049. Helsinki: Tilastokeskus. Saantitapa: <https://stat.fi/fi/tilasto/khki>

- Tilastokeskus 2026b. Moottoriajoneuvojen ensirekisteröinnit. ISSN=1799-2516. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 11.3.2026]. Saantitapa: <https://stat.fi/fi/tilasto/merek>
- Tilastokeskus 2026c. Tietilasto. ISSN=2670-336X. Helsinki: Tilastokeskus. Saantitapa: <https://stat.fi/fi/tilasto/tiet>
- Tilastokeskus 2026d. Energian hankinta ja kulutus. ISSN=1799-795X. Helsinki: Tilastokeskus. Saantitapa: <https://stat.fi/fi/tilasto/ehk>
- Tilastokeskus 2026e. Teollisuuden energiankäyttö. ISSN=1798-775X. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 11.3.2026]. Saantitapa: <https://stat.fi/fi/tilasto/tene>
- Traficom 2021. Kulutapaosuus valtakunnallisesti ja eri alueilla. <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/kulutapa-osuus-valtakunnallisesti-ja-eri-alueilla>
- Traficom 2026a. Liikennekäytössä olevat ajoneuvot neljännesvuosittain 2008–2025. https://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi_Liikennekaytossa_olevat_ajoneuvot/040_kanta_tau_104.px/
- Traficom 2026b. Ajoneuvojen ensirekisteröinnit maakunnittain 2001–2026. https://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi_Ensirekisteroinnit/030_ensirek_tau_103.px/
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2022. Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastategia. Työ- ja elinkeinoministeriö. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/11111/8296>
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2026. Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/server/api/core/bitstreams/0ae40a06-d84e-493b-b711-9d24cb6f9060/content>
- van den Bergh, J., Castro, J., Drews, S., Exadaktylos, F., Foramitti, J., Klein, F., Konc, T. & Savin, I. (2021). Designing an effective climate-policy mix: accounting for instrument synergy. *Climate Policy* 21, 745–764. <https://doi.org/10.1080/14693062.2021.1907276>
- Valtioneuvoston Kanslia 2023. Vahva ja välittävä Suomi: Pääministeri Petteri Orpon hallituksen ohjelma 20.6.2023. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/165042>
- Valtioneuvosto 2026. Tutkimus- ja kehittämistoiminnalla Suomeen uutta tietoa, osaamista, innovaatioita ja tuottavuutta - Valtion T&K-rahoituksen seuranta- ja arviointiraportti 2026. Valtioneuvoston julkaisuja 2026:12. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-026-4>
- Varke 2024. Energiatodistusrekisteri. <https://energiatodistusrekisteri.fi/>
- Viitala, E.-J., Assmuth, A., Koikkalainen, K., Miettinen, A., Mutanen, A., Wall, A., Wejberg, H. & Lehtonen, H. 2022. Maa- ja metsätalouden kannustinjärjestelmien ilmastovaikutukset. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 21/2022. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-388-6>
- VM 2025. Verotuet 2024–2026. <https://vm.fi/documents/10623/15806635/Verotuet%202024%20-%202026.pdf/3cca04c0-3122-883d-1c18-1021a08f428d?t=1758531925633>
- VTV 2025a. Ilmastopolitiikan tietoperusta. Valtiontalouden tarkastusviraston tarkastuskertomukset 16/2025. <https://vtv.fi/raportti/ilmastopolitiikan-tietoperusta/>
- VTV 2025b. Energiainvestointien tuki vihreän siirtymän edistäjänä. Valtiontalouden tarkastusviraston tarkastuskertomukset 3/2025. <https://vtv.fi/raportti/energiainvestointien-tuki-vihrean-siirtymän-edistajana/>
- Wang, M. 2024. Does compensating firms for indirect carbon costs work? Evidence from Finnish manufacturing. *Journal of the Finnish Economic Association*, 1/2024. <https://doi.org/10.33358/jfea.137975>
- Wejberg, H., Miettinen, A., Lehtonen, H., Mäkelä, M., Häggblom, O. & Mylly, M. 2024. Vesienhallinnan taloudelliset edellytykset turvepelloilla. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 78/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 41 s.
- Wynes, S., Nicholas, K. A., Zhao, J., & Donner, S. D. 2018. Measuring what works: Quantifying greenhouse gas emission reductions of behavioural interventions to reduce driving, meat consumption, and household energy use. *Environmental Research Letters* 13, 113002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae5d7>
- Ympäristöministeriö 2020. Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020–2050.
- Ympäristöministeriö 2025a. Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelma. Ympäristöministeriön julkaisuja 2025:33. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-738-4>

Ympäristöministeriö 2025b. Ilmastovuosikertomus 2025. Ympäristöministeriön julkaisuja 2025:20.
<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-686-8>

Liitteet

Taulukko L1.1. Kaikkien tarkasteltujen toimenpiteiden päästövähennyksen hinta ja päästövähennyspotentiaali

Sektorit	Toimenpide	Hinta (euroa /tCO ₂ e)	Päästö- vähennys- potentiaali (ktCO ₂ e)
Maatalous	Nurmet turvepelloilla	10,8	0,0
Maatalous	Turvemaan kosteikkoviljely	11,3	262,0
Maatalous	Turvemaan nurmiviljely korotetulla vedenpinnalla	20,9	282,0
Maatalous	Turvepellot ilmastokosteikoiksi	25,7	157,2
Maatalous	Täsmäviljely	64,3	210,0
Maatalous	Maanparannuskasvit	70,7	0,0
Maatalous	Kerääjäkasvit	82,1	0,0
Maatalous	Rehulisäaine	84,8	157,5
Maatalous	Viherlannoitusnurmi / biokaasunurmi	95,5	95,5
Maatalous	Biohiili	272,7	146,7
Rakennusten energiankulutus	Aurinkosähkö palvelurakennukseen	-2 947,7	7,3
Rakennusten energiankulutus	Ilmalämpöpumppu sähkölämmitteiseen rakennukseen	-1 182,7	12,4
Rakennusten energiankulutus	Aurinkosähkö kerrostaloon	-1 098,6	0,3
Rakennusten energiankulutus	Laaja energiaremontti heikoimmissa kerrostaloissa	-974,0	43,5
Rakennusten energiankulutus	Laaja energiaremontti heikoimmissa palvelurakennuksissa	-918,1	44,4
Rakennusten energiankulutus	Laaja energiaremontti heikoimmissa pientaloissa	-902,4	71,2
Rakennusten energiankulutus	Laaja energiaremontti heikoimmissa rivitaloissa	-888,6	46,9
Rakennusten energiankulutus	Suppea energiaremontti rivitaloissa	-500,0	7,7
Rakennusten energiankulutus	Suppea energiaremontti pientaloissa	-497,3	42,0
Rakennusten energiankulutus	Suppea energiaremontti kerrostaloissa	-423,3	15,1
Rakennusten energiankulutus	Suppea energiaremontti palvelurakennuksissa	-203,8	32,0
Rakennusten energiankulutus	Öljylämmityksestä ilma-vesilämpöpumppuun pientalossa	-111,9	11,4
Rakennusten energiankulutus	Öljylämmityksestä maalämpöön pientalossa	-88,3	11,4

Sektori	Toimenpide	Hinta (euroa /tCO ₂ e)	Päästö- vähennys- potentiaali (ktCO ₂ e)
Rakennusten energiankulutus	Öljylämmityksestä ilma-vesilämpöpumpuun rivitalossa	-68,2	0,0
Rakennusten energiankulutus	Öljylämmityksestä maalämpöön kerrostalossa	-34,7	0,0
Rakennusten energiankulutus	Laaja energiaremontti heikommista kerrostaloissa	-23,7	206,5
Rakennusten energiankulutus	Öljylämmityksestä maalämpöön rivitalossa	-19,8	0,0
Rakennusten energiankulutus	Öljylämmityksestä kaukolämpöön pientalossa	-15,1	9,8
Rakennusten energiankulutus	Öljylämmityksestä maalämpöön palvelurakennuksessa	-13,4	20,5
Rakennusten energiankulutus	Öljylämmityksestä kaukolämpöön rivitalossa	-7,4	0,0
Rakennusten energiankulutus	Öljylämmityksestä kaukolämpöön kerrostalossa	-5,9	0,0
Rakennusten energiankulutus	Öljylämmityksestä kaukolämpöön palvelurakennuksessa	-3,1	17,5
Rakennusten energiankulutus	Ilmalämpöpumppu öljylämmitteiseen rakennukseen	8,6	4,5
Rakennusten energiankulutus	Aurinkosähkö rivitaloon	63,7	0,5
Rakennusten energiankulutus	Ilmalämpöpumppu kaukolämmitteiseen rakennukseen	151,6	33,8
Rakennusten energiankulutus	Laaja energiaremontti heikommista rivitaloissa	183,7	37,8
Rakennusten energiankulutus	Laaja energiaremontti heikommista palvelurakennuksissa	524,1	77,9
Rakennusten energiankulutus	Laaja energiaremontti heikommista pientaloissa	570,9	123,3
Rakennusten energiankulutus	Aurinkosähkö pientaloon	4 043,7	30,0
Tieliikenne	Henkilöauto dieselistä täyssähköön	-496,9	8,3
Tieliikenne	Pakettiauto dieselistä täyssähköön	-244,8	283,2
Tieliikenne	Henkilöauto bensiinistä täyssähköön	-204,7	182,7
Tieliikenne	Henkilöauto ladattavasta bensiinihybridistä täyssähköön	-43,2	76,5
Tieliikenne	Henkilöauto ilman kotilatausta dieselistä täyssähköön	0,8	9,9
Tieliikenne	Henkilöauto ilman kotilatausta bensiinistä täyssähköön	1,2	211,3
Tieliikenne	Paikallisiikenteen linja-auto dieselistä täyssähköön	19,9	5,3
Tieliikenne	Kuorma-auto täysperävaunulla dieselistä täyssähköön	116,4	227,9
Tieliikenne	Kuorma-auto puoliperävaunulla dieselistä täyssähköön	140,8	135,0

Sektori	Toimenpide	Hinta (euroa /tCO ₂ e)	Päästö- vähennys- potentiaali (ktCO ₂ e)
Tieliikenne	Henkilöauto ilman kotilatausta ladattavasta bensiinihybridistä täyssähköön	231,5	88,5
Tieliikenne	Kuorma-auto ilman perävaunua dieselistä täyssähköön	393,8	291,2
Tieliikenne	Kaukoliikenteen linja-auto dieselistä täyssähköön	446,4	5,3
Työkoneet	Pieni trukki	-16,8	11,0
Työkoneet	Iso trukki	15,3	2,9
Työkoneet	Pieni pyöräkuormaaja	116,1	33,9
Työkoneet	Dumpperi	140,3	4,3
Työkoneet	Pieni kaivinkone	173,4	46,7
Työkoneet	Pieni traktorikaivuri	178,7	1,4
Työkoneet	Iso pyöräkuormaaja	200,9	112,5
Työkoneet	Iso traktorikaivuri	206,2	4,8
Työkoneet	Iso teleskooppikurottaja	251,4	20,4
Työkoneet	Iso kaivinkone	352,6	273,5
Työkoneet	Iso nosturi	411,6	18,3
Työkoneet	Kunnossapitotraktori	460,1	1,9
Työkoneet	Teollisuustraktori	658,7	0,3
Työkoneet	Maataloustraktori	933,8	213,1
Metsät	Kiertoaikojen pidentäminen	10,0	4 000,0
Metsät	Puuston kasvattaminen tiheämpänä	0,0	3 000,0

Näkökulmia päästövähennystoimien kustannusvaikuttavuuteen ja ohjauskeinoihin Suomessa



Suomen ympäristökeskus
Finlands miljöcentral
Finnish Environment Institute

ISBN 978-952-11-5841-4 (PDF)
ISSN 1796-1726 (verkkokj.)

Teemme tiedolla toivoa.