



## Low Carbon Finland 2050 -platform: vähähiilipolkujen kiintopisteet ja virstanpylväät

Yhteenveto hankkeen tuloksista ja johtopäätöksistä

Tiina Koljonen | Lassi Similä | Antti Lehtilä | Leena Grandell | Miimu Airaksinen | Pekka Tuominen | Tuuli Järvi | Juhani Laurikko | Kai Sipilä | Satu Helynen | Juha Honkatukia | Maarit Kallio | Olli Salminen | Mari Kivinen | Saku Vuori | Susanna Kihlman | Laura Lauri



# **Low Carbon Finland 2050 -platform: vähähiilipolkujen kiintopisteet ja virstanpylväät**

Yhteenvedo hankkeen tuloksista ja  
johtopäätöksistä

---

Tiina Koljonen, Lassi Similä, Antti Lehtilä, Leena Grandell,  
Miimu Airaksinen, Pekka Tuominen, Tuuli Järvi,  
Juhani Laurikko, Kai Sipilä & Satu Helynen  
VTT

Juha Honkatukia  
VATT

Maarit Kallio & Olli Salminen  
Metla

Mari Kivinen, Saku Vuori, Susanna Kihlman & Laura Lauri  
GTK



ISBN 978-951-38-7440-7 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

VTT Technology 167

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (Online)

Copyright © VTT 2014

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT

PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

02044 VTT

Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT

PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)

FI-02044 VTT

Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland

P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

FI-02044 VTT, Finland

Tel. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

## Low Carbon Finland 2050 -platform: vähähiilipolkujen kiintopisteet ja virstanpylväät

Yhteenvedo hankkeen tuloksista ja johtopäätöksistä

Tiina Koljonen, Lassi Similä, Antti Lehtilä et al. Espoo 2014. VTT Technology 167.

## Tiivistelmä

Tässä julkaisussa esitetään *Low Carbon Finland 2050 -platform* (LCFinPlat) -hankkeen keskeiset tulokset. Hankkeen tavoitteena oli luoda vankkoja tiekarttoja vähähiiliselle ja kilpailukykyiselle yhteiskunnalle sekä tarkastella vihreään teknologiaan liittyvän kasvun edellytyksiä. Hankkeen osapuolina toimivat VTT, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus (VATT), Metsäntutkimuslaitos (Metla) ja Geologian tutkimuskeskus (GTK) koordinaation ollessa VTT:n vastuulla. Hanke kuuluu Tekesin Green Growth – Tie kestävään talouteen -ohjelmaan. Hankkeen käynnistyskokous pidettiin 23.3.2012 ja päätösseminaari 4.11.2014. Hankkeen päätavoitteen taustalla oli pääministeri Kataisen hallitusohjelma, johon oli kirjattu, että ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi hallitus laatii pitkän aikavälin ilmastopoliittisen EU-strategian (VNK 2011). Kesällä 2013 hallitus asetti parlamentaarisen energia- ja ilmastokomitean valmistelemaan mietintöä, joka toimii strategisen tason ohjeena matkalla kohti hiilineutraalia Suomea. Elinkeinoministeri Jan Vapaavuoren vetämään komiteaan kuului kaksi edustajaa jokaisesta eduskuntapuolueesta. Tämän energia- ja ilmastotiekartan valmistelun keskeisenä taustamateriaalina käytettiin LCFinPlat-hankkeen tuottamia vaikutusarvioita vaihtoehtoisista vähähiilipoluista.

*Vähähiilitarkastelujen lähtökohtana olivat EU:n ja Suomen vähähiilitavoitteet kasvihuonekaasupäästöjen 80 %:n vähennyksille vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 päästötasoon verrattuna.* Työssä lähtökohtaisesti määriteltiin erilaisia tulevaisuudenkuvia, eli skenaarioita, Suomen, EU:n ja globaalista kehityksestä, mutta eri laskentamallien avulla arvioitiin, miten 80 % päästövähennys voitaisiin kustannustehokkaimmin toteuttaa huomioiden nykyinen infrastruktuuri ja mitkä ovat eri skenaarioissa vaikutukset Suomen energia- ja kansantalouteen sekä kestävään luonnonvarojen käyttöön. Hankkeen osa-alueet ja tulokset voidaan jakaa kolmeen luokkaan:

1. Strategisten luonnonvarojen ja niiden resurssien arviointi, painottuen metsä- ja mineraalivaroihin
2. Skenaarioiden tuottaminen vaihtoehtoisista kehityspoluista vähähiiliselle yhteiskunnalle vuoteen 2050 asti sekä
3. Kehittämistyö yhteistoimintamallille eli platform:lle, joka voisi toimia interaktiivisena "vihreän talouden tulevaisuusfoorumina".

Eri osa-alueet liittyivät toisiinsa seuraavasti: skenaarioiden muodostuksessa ja analyysisä (2) pyrittiin hyödyntämään laaja-alaisesti eri toimijaryhmien ja kuluttajien näkemyksiä (3) ja toisaalta hyödyntämään kohdassa (1) tuotettuja luonnonvarojen kestäviä resurssiarvioita. Yhteistoimintamalli (3) toteutettiin seminaarisarjana, työpajoina, eri sidosryhmien ja asiantuntijoiden kuulemisena sekä laajan yksityisille kuluttajille suunnattuna kyselynä, joiden muodostama kokonaisuus palveli interaktiivisuuden tavoitetta. Osa-alueiden 1, 2 ja 3 tulosaineiston pohjalta voidaan luoda vankkoja tiekarttoja vähähiiliselle ja kilpailu-

kykyiselle yhteiskunnalle sekä tarkastella vihreään teknologiaan liittyvän kasvun edellytyksiä. Lisäksi hankkeessa toteutettiin EU-tason vähähiiliskenaarioita laajassa kansainvälisessä verkostohankkeessa Energy Modelling Forum EU28 -study (EMF28) (Ks. Knopf et al. 2013). Mallinnushankkeeseen osallistui kolmesta organisaatiota ja eri laskentamallia, ml. energijärjestelmä-, kansantalous- ja energiamarkkinamallintajat. Hankkeeseen osallistui myös PRIMES-mallinnustiimi, joka pääasiassa tuottaa ilmasto- ja energiapolitiikkojen vaikutusarviot Euroopan komissiolle.

#### *Skenaariotarkastelujen lähtökohdat ja menetelmät*

Koska tulevaisuuden ennustaminen vuoteen 2050 ulottuvalla aikavälillä on käytännössä mahdotonta, siirtymistä vähähiiliyhteiskuntaan on tarkasteltu vaihtoehtoisten skenaarioiden avulla. Skenaarioiden laadinnan peruslähtökohtana oli, että niiden tulisi olla riittävän erilaiset, jotta tulevaisuutta voitaisiin arvioida mahdollisimman laajalti eri näkökulmista.

Hankkeen skenaarioiden laatimisen prosessia kuvattaessa on hyvä erottaa seuraavat osa-alueet :

1. Tulevaisuuden toimintaympäristöä ja tausta-ajatuksia kuvaavat ”vähähiilitarinat”
2. Laskennallinen analyysi.

”Vähähiilitarinoiden”, muodostuksessa hyödynnettiin monipuolisesti eri ennakointityömenetelmiä sekä hankkeen ennakointiasiantuntijoita. Skenaarioiden laskennallisessa analysoinnissa ja lähtöarvojen määrittelyssä hyödynnettiin puolestaan laajalti VTT:n, VATT:n, Metlan ja GTK:n asiantuntijoita, mallinnustyökaluja ja tietokantoja. Skenaariolaskelemissa arvioitiin, mitä vaikutuksia siirtymisellä vähähiiliseen yhteiskuntaan voisi olla kansantalouteen, energian tuotantoon ja käyttöön liikenteessä rakennuksissa ja teollisuudessa, kasvihuonekaasupäästöihin ja päästövähennystarpeeseen eri sektoreilla sekä Suomen metsä- ja mineraalivarojen käyttöön.

#### *Skenaarioiden yleispiirteet*

Hankkeessa laadittiin neljä vähähiiliskenaariota: Jatkuva kasvu, Pysähdys, Säästö ja Muutos. Skenaarioiden tausta-ajatusten pääkohdat Suomen näkökulmasta (**Kuva 1**) perustuvat pääasiassa ennakkoinnin menetelmiä soveltaneeseen työpajaprosessiin. Keskeisenä reunaehtona olivat EU:n ja Suomen vähähiilitavoitteet kasvihuonekaasupäästöjen 80 %:n vähennyksille vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 päästötasoon verrattuna. Täten skenaarioille merkittävänä lähtöoletuksena on globaalisti sitova, 2 asteen hillintätavoitteeseen perustuva ilmastopöytäkirja. Lisäksi keskeistä on uusien, vähäpäästöisten teknologioiden kehitys sekä teollisen rakenteen ja yhdyskuntarakenteen muutokset, jotka vaihtelevat skenaarioiden välillä.

Neljän vähähiiliskenaarion lisäksi laskettiin Baseline, eli ns. perusskenaario, joka noudattaa päivitetyn energia- ja ilmastostrategian (TEM 2013) lähtökohtia vuoteen 2025 asti sekä Base-80%, jossa oletukset ovat samat kuin Baselinesessa lukuun ottamatta 80 % KHK (kasvihuonekaasu)-päästövähennystavoitetta vuoteen 2050 mennessä. Lisäksi skenaarioille laadittiin herkkyystarkasteluja keskeisimmiksi arvioitujen epävarmuuksien suhteen.

Skenaario	Pääkohdat Suomen näkökulmasta
<b>Jatkuva kasvu</b>	"Äly-yhteiskunta": Globaali 2 asteen ilmastopidatus toteutuu, taloudellinen menestys, kansainvälistyvä, avoin yhteiskunta, nopea teknologian kehitys, teollisuuden rakennemuutos, tiivistyvä yhdyskuntarakenne
<b>Pysähdys</b>	"Ilmastokriisi": Ilmakehän lämpötilan nousu yli 4 astetta => taloudellinen kriisi, sulkeutuva yhteiskunta, teknologian kehitys hidasta, nykyinen teollinen ja yhdyskuntarakenne
<b>Säästö</b>	"Moderni öljykriisi": Globaali 2 asteen ilmastopidatus toteutuu viivästyneesti => EU:n ilmastopoliittinen etunoja, konservatiivinen teknologiankehitys, energia- ja resurssitehokkuus korostuu, hidastuva talouskasvu, sulkeutuva yhteiskunta, nykyinen teollinen ja yhdyskuntarakenne
<b>Muutos</b>	"Älykäs kuluttaja": Globaali 2 asteen ilmastopidatus toteutuu, korostaa radikaaleja innovaatioita, talousjärjestelmä erilainen => palvelut korostuvat, työ ja vapaa-aika sekoittuvat, kansainvälistyvä, avoin yhteiskunta, hieman hajaantuva yhdyskuntarakenne, teollisuuden rakennemuutos

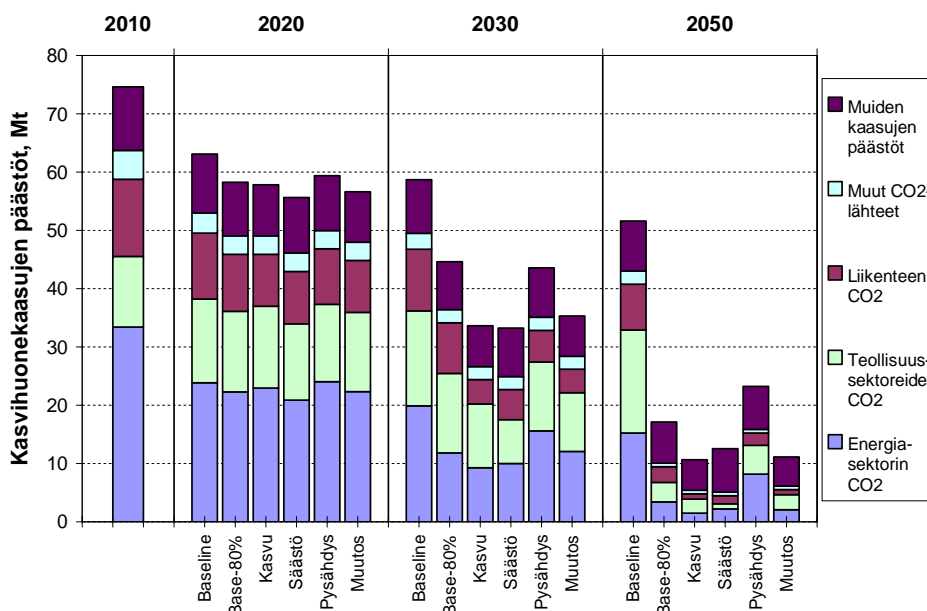
**Kuva 1.** Vähähiiliskenaarioiden kuvaukset.

#### *Laskennallisten analyysien tulokset*

Laskennallisissa analyyseissä pyritään mahdollisimman neutraaliin lähestymistapaan kunkin vaihtoehdoisen skenaarion toimintaympäristössä, jolloin esimerkiksi energijärjestelmäanalyysin tuloksena saadaan malliin sisällytetyistä teknologiavaihtoehdoista kustannustehokkain tapa saavuttaa kasvihuonekaasupäästöjen vähennykset. Tulee kuitenkin huomata, että laskelmat perustuvat oletuksiin kustannuksista, väestönrakenteesta, teknisistä mahdollisuuksista vähentää KHK-päästöjä, politiikoista, markkinoista, kestävästä luonnonvarojen käytöstä, jne. Laskemat ja analyysit on kuitenkin pyritty tekemään parhaan mahdollisen nykytiedon valossa. Avainparametrien oletuksia on esitelty tarkemmin tässä julkaisussa ja hankkeen osaraporteissa.

## Energiajärjestelmän ja kasvihuonekaasupäästöjen kehitys

Energiajärjestelmän analyysissä käytetyllä laskentamallilla lasketut skenaariotulokset osoittavat, että Suomen oma tavoite 80 %:n päästöjen vähennyksistä on saavutettavissa, jos skenaarioiden perustapauksien oletusten mukainen kehitys ilmastopolitiikassa sekä teknologian kehityksessä ja kaupallistumisessa toteutuu. Tulosten mukaan (**Kuva 2**) Jatkuvan kasvun skenaario, jossa on oletettu verrattain nopea uuden teknologian kehittyminen ja käyttöönotto, johtaa vähähiiliskenaarioista kaikkein alimpiin päästöihin Suomessa. Erot Säästö- ja Muutos-skenaarioon eivät kuitenkaan ole päästöjen osalta suuret, ja vähähiilitavoite saavutetaan niissä kaikissa. Base-80%-skenaarion tulokset viittaavat siihen, että ilman merkittävää panostusta vähähiiliteknologiaan tai energian käytön tehostamiseen Suomen voi olla vaikea saavuttaa kansallista vähähiilitavoitetta.



**Kuva 2.** Suomen kasvihuonekaasupäästöjen kehitys sektoreittain.

Energiajärjestelmää koskevien skenaariotulosten mukaan Suomen loppuenergiankysyntä hieman kasvaa nykytasosta Baseline-skenaariossa, mutta laskee kaikissa vähähiiliskenaarioissa. Säästö- ja Muutos-skenaarioissa energiankulutus laskee reilut 20 % vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoden 2010 energiankulutukseen, mutta Base-80% -skenaarion alle 10 %.

Energian ja erityisesti sähkön hinnan kehitys on yksi keskeisistä Suomen energiain-  
tensiivisen teollisuuden kilpailukykyyn vaikuttavista tekijöistä. Skenaarioiden perustapauksissa sähkön hinta nousee enimmillään noin 40 % vuoden 2010 tasosta, mikä voi vaikuttaa jo merkittävästi teollisuuden kilpailukykyyn. Vähäisimmäksi nousu jää Jatkuvan

kasvun skenaariossa, jossa se on runsaat 20 %, ja suurin nousu on Base-80% ja Pysähdys-skenaarioissa. Myös Säästö-skenaariossa hinnannousu jää kohtuulliseksi. Uuteen teknologiaan panostamisella on siten tulosten mukaan edullinen vaikutus myös sähkön hintaan.

Uusiutuvan energian osuus nousee suurimmaksi Muutos-skenaariossa, jossa sen määrä nousee vuonna 2050 yli kaksinkertaiseksi vuoden 2010 tasosta. Tämä juontuu pääasiassa ydinvoiman pienimmästä osuudesta muihin vähähiiliskenaarioihin, mutta myös oletuksista uusien teknologioiden nopeasta kehityksestä. Jos tarkastellaan hiilineutraalin energian kokonaisosuutta, eniten ydinvoimaa tuottava Säästö-skenaario saavuttaa korkeimman tason. Erot eri vähähiiliskenaarioiden välillä jäävät kuitenkin pieniksi, sillä niissä kaikissa hiilineutraalin energian osuus nousee 75–80 %:iin loppukulutuksesta, kun vuonna 2010 osuus oli noin 50 %. Kaikissa skenaarioissa bioenergia pysyy Suomen tärkeimpänä uusiutuvana energialähteenä, jonka varannot tarjoavat monia mahdollisuuksia biojalosteiden ja bionergian tuotantoon, bioenergiaa hyödyntävän uusien teknologioiden ja tuotteiden kehittämiseen sekä uusien teknologioiden, tuotteiden ja palvelujen vientiin.

Uusiutuvan ja muun hiilineutraalin energian osuuden kasvu heijastuu varsin suoraan myös energiaomavaraisuudessa, joka paranee kaikissa vähähiiliskenaarioissa. Toinen tapa omavaraisuuden tarkastelemiseksi on energian tuontilaskun kehitys. Tulosten mukaan tuontilasku laskee kaikissa vähähiiliskenaarioissa, mutta skenaarioiden välillä on merkittävät erot. Suomen ”nettoenergiatulo” pienenesi yli 60 % (n. 3 mrd. €) nykyisestä tasosta vuoteen 2050 mennessä. Suomen energiaomavaraisuus on suurin Säästö- ja Muutos-skenaarioissa. Sen sijaan Base- ja Base-80% -skenaarioissa energiaomavaraisuus on lähes samalla tasolla, jonka perusteella voidaan päätellä, että KHK-päästöjen radikaalikaan vähentäminen ei yksistään johda energiaomavaraisuuden kasvuun, vaikka niin usein esitetäänkin.

Hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia (CCS) koskevat tulokset skenaarioiden perustapauksissa ja herkkyysoanalyysissä osoittavat, että CCS:llä voi kaupallistuessaan olla sekä koko Euroopassa että Suomessa merkittävä rooli vähähiilitavoitteiden saavuttamisen aiheuttamien lisäkustannusten pitämiseksi kurissa. Päästöjen vähentämisen marginaalikustannukset nousisivat tulosten mukaan voimakkaasti, mikäli CCS ei kaupallistu edes varovaisessa mittakaavassa, vaan on lähinnä merialueiden entisten öljy- ja kaasukenttien tarjoamien varastointipotentiaalin varassa. Suomen kannalta CCS saattaa myös tarjota bioenergian laajamittaiseen käyttöön liittyvää kilpailuetua bio-CCS:n soveltamisessa. Huomattavien puuperäisten biomassaresurssien ansiosta Suomessa on merkittävä potentiaali toisen sukupolven biojalostamoille, joihin hiilidioksidin talteenotto voidaan erityisen edullisesti liittää. Voidaan kuitenkin myös arvioida, että laskentamalli todennäköisesti yliarvioi CCS:n vaikutusta päästöjen vähentämisen rajakustannuksiin vuonna 2050, sillä näin pitkällä aikavälillä on odotettavissa myös teknologiamurroksia, joita mallissa ei ole kyetty ottamaan huomioon.

### *Kansantalous*

Kansantaloudellisia LCFinPlat-skenaarioita ei ole varsinaisesti rakennettu vertailtavuutta silmälläpitäen. LCFinPlat-skenaarioista Base, Base-80, Säästö- ja Pysähdys-skenaariot ovat kansantalouden mielessä lähellä toisiaan. Perusuraan verrattuna 80 % päästöjen

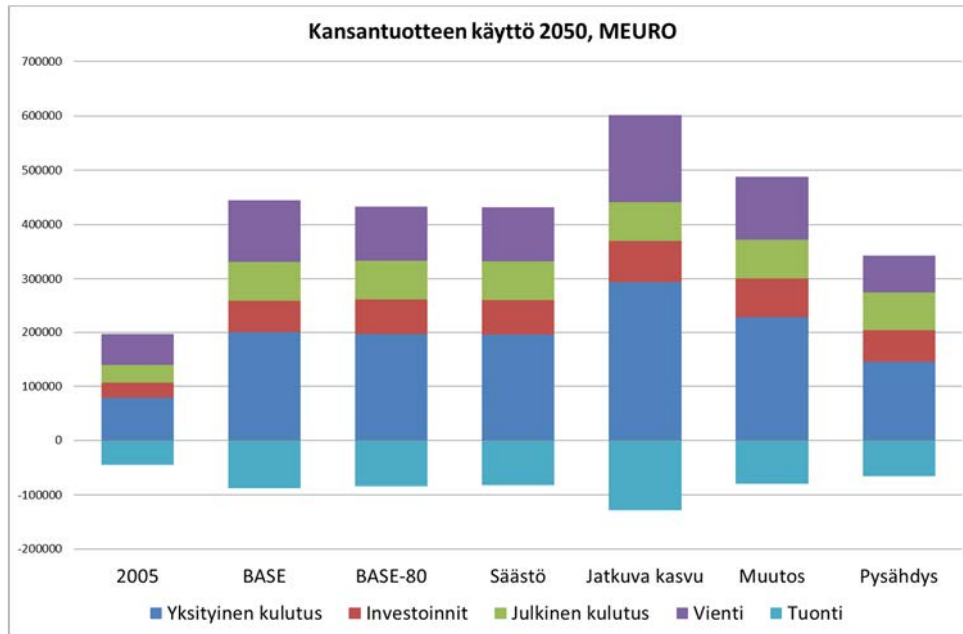


vähennemä ei aiheuta kovin suurta kansantuotteen laskua, osittain siksi, että perusuralla päästöt jo vähenevät kohtuullisen paljon, osittain siksi, että valtaosa vähennyksistä pystytään toteuttamaan teknologian avulla. Talouden rakenteeseen ilmastopoliittikka kuitenkin vaikuttaa siten, että talouden ulkoinen tasapaino heikkenee hieman – vientisektorien osuus jää siis perusuraa pienemmäksi.

Kansantuotetta parempi mittari on kuitenkin kotitalouksien kulutus (**Kuva 3**), koska se mittaa kansantuotetta paremmin sitä hyvinvoinnin tasoa, jonka suomalaiset skenaarioissa saavuttavat. Sen perusteella on selvää, että korkean tuottavuuskasvun ja nopean teknologisen kehityksen Kasvu- ja Muutos-skenaariot loisivat muita skenaarioita korkeamman hyvinvoinnin, kun taas Pysähdys-skenaarioissa kotitalouksien hyvinvointi jäisi alemmalle tasolle. Base-80% ja Säästö-skenaarioissa ei päästäisi aivan samalle tasolle kuin Base-skenaariossa, mutta kovin suureksi ero ei kasva.

Base- ja Base-80%-skenaarioiden perusteella 80 % päästötavoitteeseen siirtymisen kansantaloudellisten kustannusten nousu on lievä, koska jo perusurassa, i. Base-skenaariossa, toteutuu varsin selvä päästöjen väheneminen. Talouden ulkoinen tasapaino kuitenkin heikkenee hieman. Säästö-skenaariossa päästötavoitetta aikaistetaan, mikä merkitsee taloudelle selvää, joskaan ei kovin suurta lisäkustannusta. Skenaariossa kansantuotteen kasvu jää vajaan prosentin perusuraa alemmaksi vuonna 2050. Talouden ulkoinen tasapaino heikkenee sekin hieman Base-80% -skenaariota enemmän.

Demografia muodostaa kaikissa skenaarioissa keskeisimmän rajoitteen kansantuotteen kasvulle. Siten pitkän aikavälin ilmastopoliittikkaa joudutaan toteuttamaan lähtökohdista, joissa kansantaloutta rasittavat kasvavat hoiva- ja eläkemenot. Koska hoivapalvelujen tuottaminen on työvoimaintensiivistä, ne sitovat lähivuosikymmeninä myös entistä suuremman osuuden työvoimasta. LCFinPlat-skenaarioissa oletetaan, että hoivalupauksesta kuitenkin pidetään kiinni, mikä tarkoittaa, että seuraavien kahden vuosikymmenen ajan julkisen sektorin osuus kansantuotteesta pysyy korkeana. Skenaarioissa oletetaan, että julkisen talouden kestävyyydestä pidetään huolta tulevinakin vuosikymmeninä. Käytännössä tämä tarkoittaa kokonaisveroasteen kohoamista. Koska hoivamenojen kasvun takana on demografia, julkisen sektorin koko ei juuri vaihtelee LCFinPlat-skenaarioiden välillä. Kun toisaalta LCFinPlat-skenaarioissa talouden kasvuvauhti on erilainen, julkisen sektorin osuus taloudesta vaihtelee paljonkin. On kuitenkin ilmeistä, että julkisten palvelujen osuus kansantuotteen käytöstä vaihtelee skenaarioiden välillä.



**Kuva 3.** Kansantuotteen kysyntäerät vuonna 2050 (kiinteähintainen).

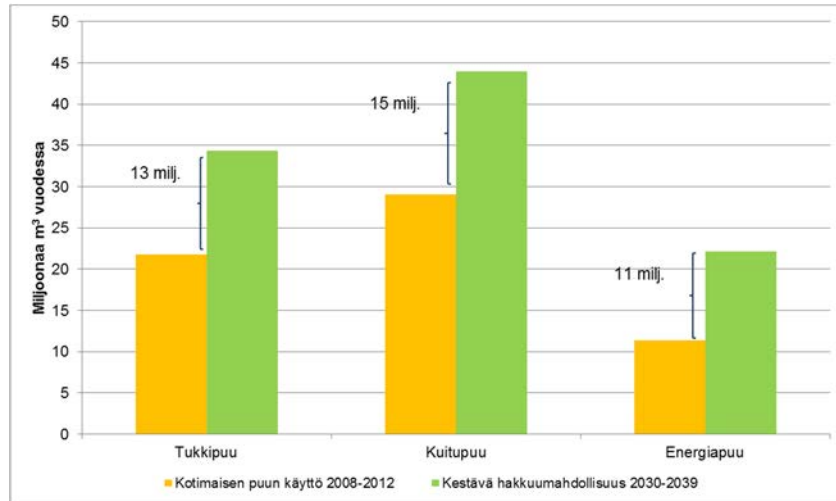
#### *Metsävarat ja niiden käyttö*

Suomen metsien puuston määrä on ollut jo pitkään vahvassa kasvussa. Metsäteollisuuden kotimaisen raakapuun kysyntä ei ole kuitenkaan 2000-luvun puolivälin jälkeen juurikaan kasvanut. Kotimaisen kuitupuun käyttö on pysynyt jokseenkin ennallaan ja tukkipuun käyttö jopa supistunut metsäteollisuuden rakennemuutoksen myötä. Tulevaisuudessa metsäteollisuuden odotetaan jälleen vahvistuvan ja uusiutuvan ja käyttävän aiempaa enemmän puuta. Myös energiasektorin puun kysynnän oletetaan kasvavan vahvasti.

Mahdollisuus käyttää puuraaka-ainetta energian ja biojalosteiden tuotantoon on yksi Suomen vahvuuksista matkalla kohti vähähiilistä yhteiskuntaa. Koska puun käyttö kasvaa ainakin aluksi pienin askelin, metsien hakkuupotentiaalista jää merkittävä osa hyödyntämättä seuraavan parin vuosikymmenen aikana. Siksi puuston volyyymi karttuu edelleen. Tämä merkitsee myös hiilinielujen kasvua. Sitoutuuhan puustoon ja maaperään enemmän uutta hiiltä kuin mitä hakkuiden ja luonnon poistuman myötä häviää.

Alla (**Kuva 4**) on esitetty kotimaisen puuraaka-aineen nykyinen käyttö ja sen taloudellisesti kestävä lisäämispotentiaali. Metsistä korjattava energiapuu jakautuu lähinnä päätehakkuaaloilta kerättyyn latvusmassaan ja kantoihin sekä enimmäkseen metsien harvennuksissa korjattavan runkopuuhun. Energiapuun kysyntä tulee tulevaisuudessa painottumaan yhä suuremmissa määrin runkopuuhun, joka on usein myös kuitupuukokoista, koska tukkipuun kysyntä rajoittaa päätehakkuiden määrää. Bioenergian mahdollisuuksista puhuttaessa nostetaan usein esille sellutehtaiden rooli tulevaisuuden biojalosteiden tuottajana. Ei pitäisi kuitenkaan unohtaa tukkipuuta jalostavan saha- ja vaneriteollisuuden sekä mahdollisesti näiden rinnalle tulevien uusien tukkipuun jalostukseen pohjautuvien

tuotantomuotojen kilpailukyvyen edistämistä. Hyvä tukkipuun kysyntä kotimaisilla puu-markkinoilla edistää paitsi päätehakkuualoilta korjattavan metsähakkeen myös kuitupuun tarjontaa.



**Kuva 4.** Kotimaisen puun nykyinen käyttö ja käytön taloudellisesti kestävä lisäpotentiaali. Lähde: Metsäntutkimuslaitos, Metinfo ja MELA tulospalvelu.

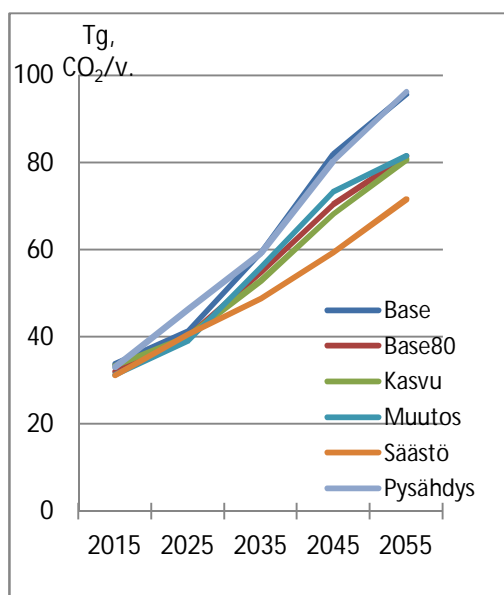
Metsävarat tarjoavat siis paljon vapausasteita sekä puun käytön monipuoliselle lisäämiselle että ekosysteemipalvelujen tarjontaan. Jos ilmastonmuutos ei tuo mukanaan huomattavia metsätuhoja, metsien hiilinielut kasvavat ilman lisäpanostuksia. Riittää, että metsänomistajat pitävät huolta metsistään hyvän metsänhoidon suositusten mukaan. Alla (Kuva 5) on esitetty metsien hiilinielujen kasvu Base- (I. Baseline) ja eri vähähiiliskenaarioissa. Kuvasta nähdään, että nielut kasvavat selvästi kaikissa skenaarioissa. Toisaalta Säästö-skenaariossa, jossa kotimaisen metsäbiomassan käyttö on suurin, metsänielu on tarkastelujakson lopulla noin 30 Mt CO<sub>2</sub> /v pienempi kuin Baseline-skenaariossa.

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ja maankäytön hiilinielujen lisääminen ovat keskeisiä toimenpiteitä, kun pyritään hillitsemään ilmaston muutosta. Metsäsektorin osalta kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttavat eniten metsäteollisuuden energian käyttö ja fossiilisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvalla puubiomassalla energiantuotannossa. Metsäteollisuus on itse tärkeä puuperäisen energian tuottaja ja kuluttaja. Lisäksi erityisesti saha- ja vaneriteollisuuden tukkipuun ostomäärä vaikuttaa välillisesti energiantuotantoon käytettävissä olevan kanto- ja oksahakkeen korjuupotentiaaliin. Puubiomassan korjuumäärä vaikuttaa puolestaan metsien hiilinieluun eli kykyyn lisätä puustoon ja maaperään sitoutuneen hiilen määrää.

Suomen metsät sitovat ilmakehästä vuosittain hiilidioksidia määrän, joka on noin puolet Suomen muiden sektoreiden kasvihuonekaasupäästöistä. Mahdollisuus hyödyntää metsien hiilinieluja kompensoimaan muiden sektoreiden päästöjä on kuitenkin Kioton

pöytäkirjassa ja jatkosopimuksissa hyvin rajallinen. Siksi metsänielun kasvattaminen nykyisestä ei tuo Suomelle lisähyötyä ilmastovelvoitteiden saavuttamisessa. Tästä syystä nielujen kasvua ei käytetty LCFinPlat-hankkeessa päästöjen vähentämiskeinoina, vaikka niiden kehitystä tarkastellaan.

Viimevuosina metsäbiomassan käytön ilmastollisia vaikutuksia on tutkittu laajalti ja tarkastelujen mukaan metsäbiomassan käytön ilmastolliset vaikutukset olisivat jopa negatiiviset (esim. Kallio ym. 2013). Kyseisissä laskelmissa huomioidaan ns. "hiilivelka", joka aiheutuu metsään sitoutuneen hiilen pienemisenä kun lisäksi korvaavan uuden puun kasvunopeus on hidas. Jatkossa metsäbiomassan hiilineutraaliuteen, eli ns. nollapäästöisyyteen, sisältyykin huomattavia epävarmuustekijöitä, jotka tulee huomioida jatkotarkasteluissa ja mahdollisissa poliittisissa päätöksissä. LCFinPlat-hankkeen skenaariotarkasteluissa oletettiin, että biopohjaisten raaka-aineiden käyttö on lähtökohtaisesti edelleen hiilineutraalia, eli niiden käyttö energiatuotannossa tai liikennesektorin energialähteenä ei tuota ilmakehään kasvihuonekaasupäästöjä.



**Kuva 5.** Metsien hiilinielujen kehitys eri skenaariossa, eli hiilivaraston kasvu per vuosi. 1 Tg = 1 Mt.










#### *Mineraali- ja metallivarat*

Monet vähähiiliselle yhteiskunnalle tärkeät, puhtaat energiateknologiat (esim. aurinkosähköpaneelit ja tietyt akkuteknologiat) ovat riippuvaisia tietyistä metalleista, joiden saatavuus ja hinta saattavat muodostua pullonkaulaksi kehitykselle ja uuteen energiateknologiaan investoimiselle. Toisaalta kotimaisen ja EU-alueen metallikaivosteollisuuden vähenemisen myötä Suomen ja Euroopan unionin teollisuus on muuttunut lähes täysin riippu-

vaiseksi metallien tuonnista. EU onkin vuonna 2010 laatinut listan neljästätoista ns. kriittisestä raaka-aineesta (European Commission 2010). Listaa päivitettiin vuonna 2014, jolloin siihen lisättiin kuusi raaka-ainetta (European Commission 2014b). Suomessa tuotetaan tälläkin hetkellä useita kriittisiksi arvioituja metalleja: kobolttia, platinaa ja palladiumia, vuonna 2014 kriittisten raaka-aineiden listalle nostettuja kromia ja fosfaattia, sekä hopeaa, jonka mahdolliset tuotantorajoitukset nousivat esille LCFinPlat-hankkeen tulevaisuusmalleissa ja joka otettiin sen vuoksi GTK:n osahankkeen tarkasteltavaksi varsinaisten kriittisten mineraalien ohella. Lisäksi useiden kriittisten metallien ja mineraalien esiintymiä tunnetaan Suomen kallioperässä ja suurella osalla raaka-aineista on hyvä löytymispotentiaali uusille esiintymille (vrt. kuva 6). Koboltin jalostajana Suomi on maailman suurimpia tuottajamaita ja platinametallien ja hopean osuudet tulevat todennäköisesti tulevaisuudessa kasvamaan. Kyseisten metallien kotimainen tuotanto on kuitenkin omasta kaivostuotannostakin huolimatta hyvin riippuvaista tuodusta raaka-aineesta. Kaivosteollisuusmaana Suomen tilanne raaka-aineiden esiintymispotentiaalin ja osin tuotannon suhteen on keskimäärin parempi kuin monien muiden Euroopan maiden, mutta teollisuuden kannalta on tärkeää selvittää, miten paljon potentiaalia kallioperässämme on kriittisten raaka-aineiden tuottamiselle. Useilla kriittisillä metalleilla ja mineraaleilla on tämänhetkisen tiedon perusteella hyvä esiintymispotentiaali Suomen ja Fennoskandian kallioperässä.

Perusmetalleihin ja rautaan liittyvillä hankkeilla tai toiminnalla on tällä hetkellä Suomessa huomattavasti suurempi merkitys metallikaivostoiminnan kokonaiskehittymiseen kuin kriittisillä metalleilla ja mineraaleilla. Tämä johtuu siitä, että ensin mainittujen osalta Suomessa on merkittävää potentiaalia ja toisaalta tällä hetkellä tunnetut kriittisten metallien ja mineraalien esiintymät ovat pääosin pieniä, lukuun ottamatta joitakin kobolttia, platinaa, palladiumia ja hopeaa sisältäviä perusmetalliesiintymiä. Kriittisiksi luokiteltujen metallien ja mineraalien kysynnän kasvaessa ja näihin erikoistuvan malminetsinnän mahdollisesti lisääntyessä uusien esiintymien löytäminen Suomesta on todennäköistä. Kriittiset metallit ja mineraalit esiintyvät myös usein yhdessä perusmetallien kanssa, mikä osaltaan edistää niiden hyödynnettävyyttä.

EU:n määrittelemät kriittiset metallit ja mineraalit (2010):

Antimoni 	Indium  (luultavasti)
Beryllium 	Koboltti  *
Fluoriitti (mineraali)	Magnesium (metalli ja mineraali)
Gallium	Niobi 
Germanium	Platinaryhmän metallit (PGM) 
Grafiitti (mineraali)	Tantaali 
 Harvinaiset maametallit (REE)	Volframi 

\* 2010 Suomi oli Kiinan jälkeen maailman 2. suurin kobolttinjalostaja

**Kuva 6.** EU:n määrittelemät kriittiset metallit ja mineraalit sekä niiden esiintyminen Suomen kallioperässä tämänhetkisen tiedon mukaan.

*Johtopäätökset*

LCFinPlat-hankkeessa tuotettujen analyysien tarkoituksena ei ollut määrittää yhtä vuo-teen 2050 ulottuvaa vähähiilipolkua, jota olisi "paras" seurata, ja voidaan myös todeta, että tällaisen polun määrittäminen ei ole asiaan liittyvien epävarmuuksien vuoksi käytän-össä mahdollistakaan. Täten on tärkeää pyrkiä kartoittamaan mahdollisia kehityskulkuja mahdollisimman laajalti ja tunnistaa kaikille poluille yhteisiä tärkeitä tekijöitä sekä riskejä, joita mahdollisesti tehdyt valinnat voivat tulevina vuosikymmeninä aiheuttaa.

Skenaariotarkasteluiden ja työpajatyöskentelyiden tuloksena voidaan esittää seuraavat johtopäätökset vähähiiliskenaarioille yhteisistä haasteista ja mahdollisuuksista:

1. Suomi pystyy siirtymään vähähiiliseen yhteiskuntaan, mutta se ei pysty toteuttamaan sitä yksin. Tarvitaan kansainvälisesti sitova sopimus vähentää KHK-päästöt tasolle, joka hillitsee ilmakehän lämpötilan nousun turvalliselle tasolle.
2. Suomelle voidaan osoittaa useita polkuja saavuttaa vähähiilitavoite, eli vähintään 80 % KHK-päästövähennys vuoden 1990 päästötasoon verrattuna. Eri polkujen toteutumiseen sisältyy vielä merkittäviä epävarmuustekijöitä, jonka vuoksi ei pystytä osoittamaan parasta polkua, vaan kaikki mahdollisuudet vähentää KHK-päästöjä tulee säilyttää toimenpidevalikoimassa.
3. Nopeutettu uuden teknologian kehitys ja käyttöönotto voi tuoda Suomelle kilpailuetua. Tässä tulee hyödyntää Suomen mittavia luonnonvaroja sekä clean-tech-osaamistamme. Suomen korkea BKT henkilöä kohden sekä korkea koulutustaso ovat myös valttikortteja moneen muuhun maahan nähden.
4. Suurimmat riskit Suomen näkökulmasta liittyvät hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin (CCS) kaupallistumiseen sekä biomassan käytön kestävyyyteen tulevaisuuden politiikoissa.

**Avainsanat** low carbon energy, low carbon roadmap, Finland, forest energy, forest industries, mining industries, critical metals, Finnish economy

## Low Carbon Finland 2050 -platform

Low Carbon Finland 2050 -platform: vähähiilipolkujen kiintopisteet ja virstanpylväät. Yhteenveto hankkeen tuloksista ja johtopäätöksistä. **Tiina Koljonen, Lassi Similä, Antti Lehtilä et al.** Espoo 2014. VTT Technology 167.

## Extended abstract

The *Low Carbon Finland 2050 platform* (LCFinPlat) project aims at identifying robust roadmaps for a competitive low carbon society and creating sustainable green growth strategies for Finland. The project was carried out in collaboration with VTT Technical Research Centre of Finland, the Government Institute for Economic Research (VATT), the Geological Survey of Finland (GTK), and the Finnish Forest Research Institute (Metla), and coordinated by VTT. The project is a part of the Green Growth Programme of Tekes – the Finnish Funding Agency for Innovation. The project's kick-off meeting was arranged on March 23<sup>rd</sup>, 2012, and its final seminar will be held on November 4<sup>th</sup>, 2014. The main target of the project was inspired by the Government Programme of Prime Minister Katainen, which included a plan for preparing a long-term EU strategy concerning climate policy to achieve the climate targets. In the summer of 2013, the Finnish Government set up a Parliamentary Committee to prepare a parliamentary report to build up strategic guidelines for Finland in order to achieve a low-carbon society. The Committee, chaired by Mr Jan Vapaavuori, Minister of Economic Affairs, was represented by two members from each of the parties represented in the Parliament of Finland. The Energy and Climate Roadmap preparation by the Committee utilised impact assessment of alternative low-carbon pathways by the LCFinPlat project as a central supporting background material.

*The low-carbon objectives of the EU and Finland to mitigate greenhouse gas emissions by 80% compared to the level of 1990 set up a starting point for the low-carbon analysis implemented in the project.* The project defined alternative future set-ups, i.e. scenarios, of Finland's, the EU and global development, as well as including different calculation model-based assessments of cost-efficient pathways in order to achieve the 80% greenhouse gas mitigation targets. The assessments take into account the current infrastructure and the impacts of alternative scenarios on the energy economy and national economy, as well as on the sustainable use of natural resources. The results and sub-areas of the project can be divided into the following categories.

1. The analysis of strategic natural resources, focused on forest biomass resources and minerals
2. The creation of alternative scenarios for a low-carbon society up to 2050, and
3. The build-up of an Interactive Platform which could act as a discussion forum for successful green growth futures for Finland

The sub-areas had interconnections as follows: the creation and analysis of scenarios (2) aimed at broad-based utilisation of viewpoints of different interest groups and consumers (3), and, on the other hand, utilising the assessments of sustainable use of natural resources produced in sub-area (1). The Interactive Platform (3) was implemented by a series of seminars, workshops, consultations between different interest groups and between experts, as well as a broad questionnaire targeted at private consumers, contributing as a whole to the target of interactivity. As a whole, the results of sub-areas 1, 2, and 3, served the target of the project to create robust roadmaps for a competitive low-carbon society, and to analyse the prerequisites for green growth. Additionally, the project included EU-level low-carbon scenario work as a part of a broad-based international network, i.e. the Energy Modelling Forum EU28 study (EMF28). Thirteen organisations took part in the modelling effort and calculation models, including the modelling of energy systems, national economies, and energy markets. The PRIMES modelling team also participated in the EMF28 study, primarily producing the impact assessments of climate and energy policies for the European Commission.

#### *Objectives and methodologies of the scenario analysis*

Due to the practical impossibility of making predictions of the future up to 2050, the analysis of transition to low-carbon society was carried out by exploring alternative scenarios. The elementary approach in the creation of scenarios required them to be sufficiently different in order to make a broad-based assessment of the future from different viewpoints.

The process of creating the scenarios in the projects includes the following sub-areas:

1. "Low-carbon storylines" describing the operational environment and background logics, and
2. Computational analysis

The creation of low-carbon storylines foresight was flexibly contributed by the project's foresight researchers and foresight methodologies. The computational analysis was, correspondingly, contributed by experts, computational models, and databases at VTT, VATT, GTK and Metla. The scenario calculations produced impact assessments concerning the transition towards a low-carbon society on the national economy, energy production and use in transport, buildings, and industrial sectors, greenhouse gas emissions and sectoral emission targets, as well as on use of forest biomass resources and mineral resources in Finland.

#### *General characteristics of scenarios*

Four low-carbon scenarios were created: *Continued growth*, *Stagnation*, *Save* and *Change*. The background and operational environment of the scenarios from a Finnish perspective (Table 1) were mostly based on a workshop process, which applied foresight methodologies. The EU's and Finland's low-carbon targets of 80% emission reductions



compared to the level of 1990 set an elementary framework for the process. Thus, the central assumption for the scenarios is set by a globally binding climate agreement reflecting the 2 degree climate change mitigation target. Additionally, the development of new low-carbon technologies and changes in industrial structure and urban and regional form vary between the scenarios as central drivers of future development

In addition to the four low-carbon scenarios, a Baseline scenario corresponding to the main characteristics of an updated national energy and climate strategy until 2025 (TEM 2013), was analysed. Furthermore, the Base -80% scenario, including similar assumptions as the Baseline, despite the 80% emission reduction target by 2050, was analysed. In addition, sensitivity analyses were conducted with respect to the most essential uncertainties.

**Table 1.** Main characteristics of the low-carbon scenarios.

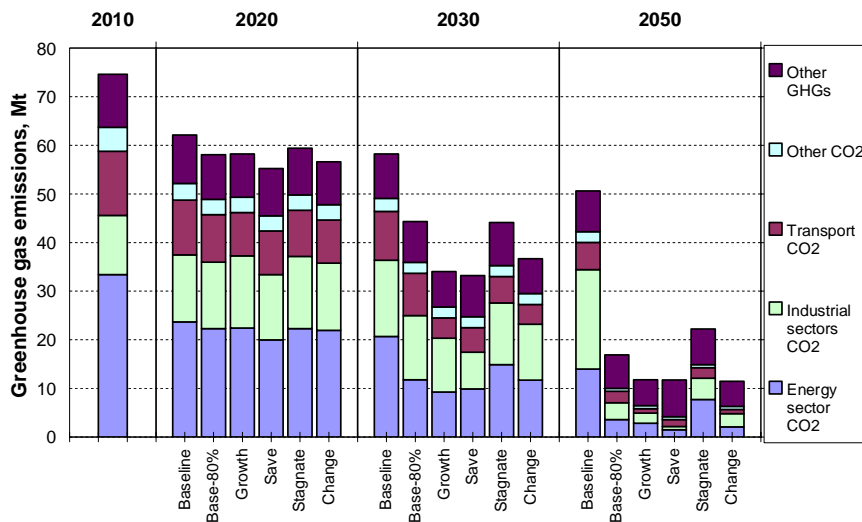
Scenario	Main characteristics from Finland's perspective
<b>Continued growth</b>	"Smart society". Global agreement on 2 degree climate target , economic prosperity , internationalizing, open society, rapid development of technology, structural change in industry, increasing density of urban and regional form
<b>Stagnation</b>	"Climate crisis". Rise of global mean temperature of over 4 degrees => economic crisis, closing society, slow development of technology, current industrial structure, current urban and regional form
<b>Save</b>	"Modern oil crisis": Delayed global agreement on 2 degree climate target => forward-leaning climate policy of the EU, conservative development of technology, emphasis on energy efficiency and material efficiency, current industrial structure, current urban and regional form
<b>Change</b>	"Smart consumer". Global agreement on 2 degree climate target, radical innovations emphasized , developments in economic structure => role of services emphasized, intertwining work and leisure time, internationalizing, open society, slight dispersal in urban and regional form, structural change in industry

### Results of the computational analysis

Computational analysis aims at an approach that is as neutral as possible with respect to technologies in the operational environments of the scenarios. That is, for example, the results of the energy system model analysis represent the most cost-efficient means to achieve the emission reduction targets. However, the calculations are based on assumptions of costs, demographics, options for technological emission reduction, policies, markets, sustainable use of natural resources, etc. However, the computational analysis aims to be based on the best possible knowledge. Assumptions on key parameters are further introduced in this publication and in publications on sub-tasks of the project.

### Development of energy systems and greenhouse gas emissions

Results of the computational model used in the energy system analysis indicate that the national 80% emission reduction target for Finland is achievable, provided the assumed development in climate policy, as well as in technology development and commercialization are realized. According to the results (Figure 2), the Continued growth scenario assuming relatively fast development in introduction and development of new technology, ends up with the lowest emission levels of the scenarios. However, there are no major differences compared to the Save and Change scenarios, as the low-carbon target is achieved in all the scenarios. Results of the Base -80% scenario indicate there might be difficulties in achieving the national low-carbon target for Finland, unless there is substantial acceleration of low-carbon technologies or energy efficiency.



**Figure 2.** Development of greenhouse gas emissions of Finland by sectors.

According to the scenario results of the energy systems, the final energy use in Finland increases slightly in the Baseline scenario, but decreases in all the low-carbon scenarios. In the Save and Change scenarios, the energy consumption decreases by over 20% until 2050 from the level of 2010, whereas in the Base-80% scenario, the decrease is less than 10%.

The price of energy, and, especially, of electricity, is one of the central factors contributing to the competitiveness of energy intensive industry in Finland. In the base cases of the low-carbon scenarios, the price of electricity rises at most by some 40% compared to the level of 2010, which may have a significant impact on the competitiveness of industry. The Continued growth scenario represents the smallest increase in electricity price with a rise of over 20%, whereas the rise is largest in the Base -80 % and Stagnation scenarios. Also, the price increase is modest in the Save scenario. Therefore, the results indicate that acceleration of new technologies contributes to a slower increase in electricity price.

The share of renewable energy is the largest in the Change scenario, representing over twice the 2010 level in 2050. The development is mostly based on a smaller share of nuclear power in comparison to the other scenarios, but also on assumptions on the rapid development of new technologies. With regard to the share of carbon-neutral energy, its share is biggest in the Save scenario including the highest amount of nuclear power. However, the differences between the low-carbon scenarios are small, as the share of carbon-neutral energy rises to 75–80% of final energy use compared to some 50% in 2010. In all the scenarios, bioenergy remains the most important renewable energy source of Finland, with its resources offering multiple opportunities for processed products, bioenergy production, the development of bioenergy-based new technologies and products, and exports of new technologies, products, and services.

The growth of renewable and other carbon-neutral energy is directly reflected in self-sufficiency in energy, which improves in all the low-carbon scenarios. The degree of self-sufficiency can also be inspected through the development of the energy import bill. The results indicate a decrease in the import bill in all the low-carbon scenarios, but significant differences between the scenarios. The “net energy bill” would decrease by over 60% (some €3 billion) compared to its current level by the year 2050. Self-sufficiency is largest in Save and Change scenarios. On the other hand, self-sufficiency shows almost identical levels in the Base and Base -80 % scenarios, implying that even a radical cut in GHG emissions does not just lead to an increase in self-sufficiency, although this argument is often made.

Results on Carbon Capture and Storage (CCS) in the base cases and sensitivity analysis of the scenarios indicate a significant role for CCS in Europe and Finland, provided that it will be successfully commercialized. According to the results, marginal costs of emission reduction would greatly increase, if commercialization of CCS, even on a conservative scale, fails, and CCS will rely on storage potential provided by depleted oil and gas reservoirs in sea areas. From the viewpoint of Finland, CCS may also offer competitive benefits related to the large-scale introduction of bioenergy by applying bio-CCS. Due to significant wood-based biomass resources, Finland possesses a considerable potential for second generation biorefineries with a low-cost installation of carbon capture. Howev-

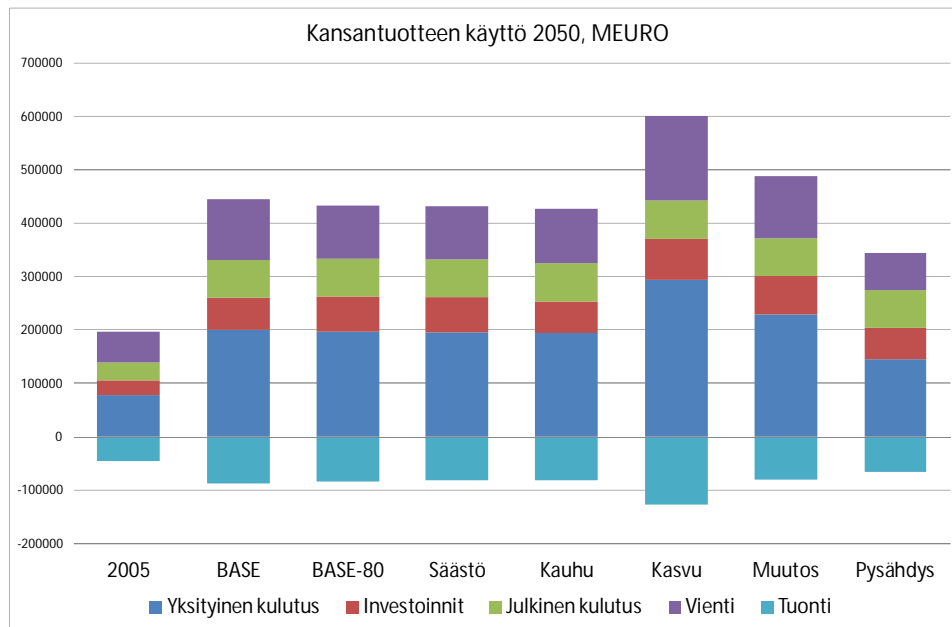
er, a probable over-assessment for the impact of CCS in marginal emission reduction costs in 2050 can also be considered, since technology break-throughs that may be impossible to be included in the model can be expected during a timeframe this long.

### *Economic scenarios*

The build-up of the LCFinPlat scenarios on the national economy did not directly aim at comparability. The Base, Base -80%, Save, and Stagnation scenarios show similarities from an economic viewpoint. Compared to Baseline, the 80% emission reduction does not imply a major decrease in gross domestic product, partly due to the moderate reduction of emissions already in the Baseline, partly due to the fact that majority of the reductions can be implemented by technology. However, climate policy has an impact on the structure of the economy by slightly diminishing the external balance – that is, the share of exporting sectors decreases compared to the Baseline.

However, private consumption provides presents an indicator that is superior to gross domestic product, since it better indicates the level of welfare achieved by the Finns in the scenarios. Based on private consumption, the Continued growth and Change scenarios based on high growth in productivity and rapid development in technology would create a higher standard of welfare, whereas in the Stagnation scenario, the welfare would stay on a lower level. Base -80% and Save scenarios would not produce quite as high welfare levels as the Baseline scenario, but ,however, do not result in in a very big difference. On the basis of the Base and Base -80% scenarios, the macroeconomic effect of 80% emission reduction is mild, due to the fact that already in Baseline, a clear reduction of emissions is represented. However, the external balance of the economy slightly diminishes. In the Save scenario, the emission reduction targets are introduced in advance, implying a clear, but not very great, burden on the economy. In the scenario, the growth of gross domestic product is lower by less than one percent in comparison to the baseline in 2050. The external balance of the economy is also diminished slightly more than in the Base -80% scenario.

Demographics is the central obstacle to GDP growth in all the scenarios. Thus, implementation of a long-term climate policy is started in conditions of burden from growing healthcare and pension costs. Producing health care services is labour-intensive, and, consequently these services demand a growing share of employment in the following decades. The LCFinPlat scenarios assume implementation of the promised health care level. This means that, during the next two decades, the share of the public sector remains high. In the scenarios, sustainability of the public sector will be maintained in the following decades, too. In practise, this means a rise in overall tax rates. Since the growth in health care costs is caused by demographics, the size of the public sector is practically the same in all of the LCFinPlat scenarios. As, on the other hand, the growth of the economy varies between the LCFinPlat scenarios, the share of the public sector varies a great deal. However, it is obvious that the share by public services of the use of GDP varies between scenarios.



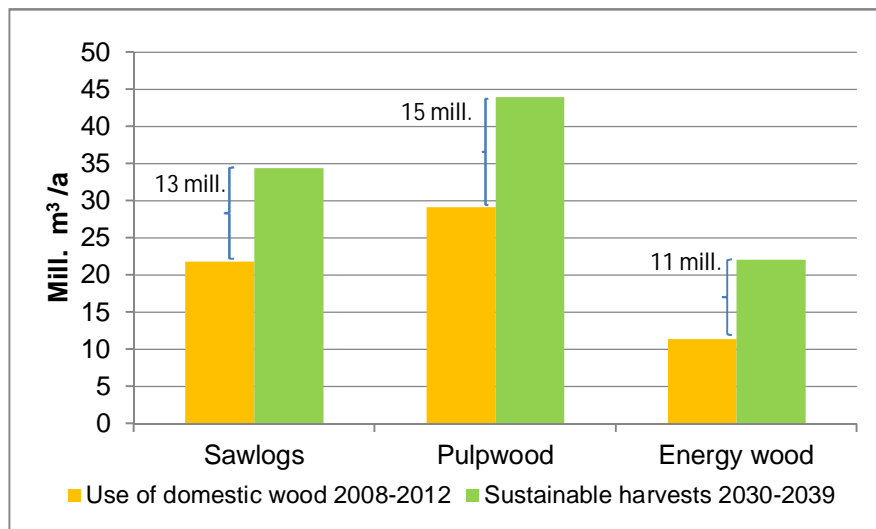
**Figure 3.** Gross domestic product by aggregate demand, 2050.

### *Forest biomass resources and their use*

The total volume of forest growing stock in Finland has been increasing since the 1950s. However, demand for domestic wood raw material by the forest industry has been practically stable since the middle of the first decade of the 2000s. The use of domestic pulpwood has remained somewhat constant, and the use of sawlogs has even decreased due to structural changes. In the future, the forest industry is expected to strengthen, renew and to use a growing volume of wood. Also, the demand for wood by the energy sector is expected to increase strongly.

Opportunities to use wood biomass for the production of energy and processed products is one of Finland's advantages in the transition towards a low-carbon society. Since the use of wood begins to grow stepwise, the felling potential of forests will still be underutilised during the next two decades. Because the planned use of wood is below the growth, the volume of Finnish forests keeps on growing. This also contributes to a growth of carbon sinks. That is, forests store carbon from the atmosphere more than it is emitted back due to felling and the decaying process of natural mortality. Figure 4 represents the use of domestic wood raw material and the economically sustainable harvest potential. Energy wood harvested from forests consists of logging residues and stumps harvested from regeneration fellings, and stem wood harvested from thinnings. The volume of regeneration fellings is constrained by the demand for roundwood by the forest industries, in particular by industries processing sawlogs. Therefore, the future supply of energy

wood will increasingly be concentrated on stem wood, often pulpwood-sized. The role of pulp mills as transforming into biorefineries is often emphasized when bioenergy potential is considered. However, measures to ensure the competitiveness of the sawnwood and plywood industries processing sawlogs should not be forgotten. Demand for sawlogs in domestic wood markets promotes both the supply of forest chips and pulpwood from regeneration fellings.



**Figure 4.** Current domestic use of wood and economically sustainable increase potential. Source: Metla Metinfo.

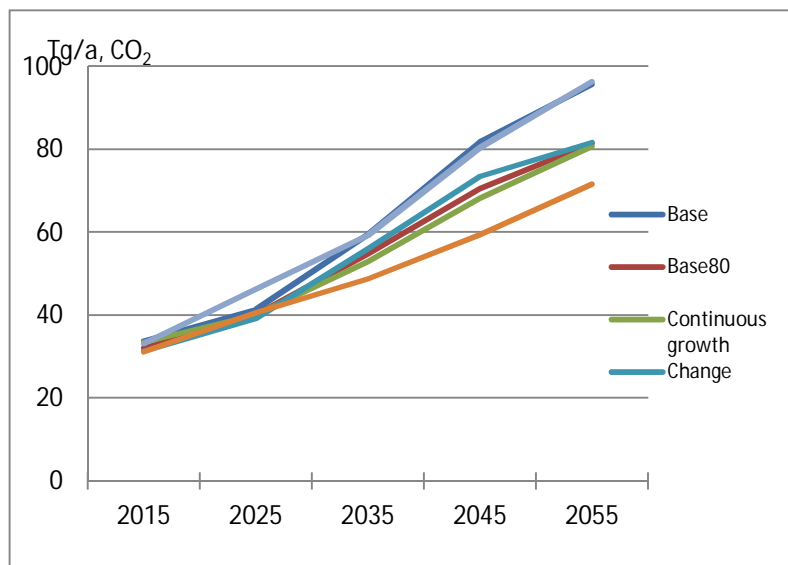
The vast forest biomass resources offer a variety of options for a versatile increase in wood use, as well as for the supply of ecosystem services. If climate change does not induce significant forest decline, carbon sinks in forests will grow without additional measures. Figure 5 represents the the carbon sinks in the low-carbon scenarios. A clear growth in sinks is observed in all the scenarios. On the other hand, in the Save scenario, with the largest use of domestic forest biomass resources, sinks amount annually to 30 Mt CO<sub>2</sub> smaller than in the Base scenario at the end of the period.

Greenhouse gas emission reductions and increases in carbon sinks from land use are central measures in efforts to mitigate climate change. In the forest sector, greenhouse gas emissions are mostly impacted by energy use of the forest industry and by the replacement of fossil fuels by renewable wood-based biomass in energy production. The forest industry itself is an important user and producer of wood-based energy. Additionally, particularly the demand for roundwood by sawnwood and plywood industry has an indirect effect on the harvesting potential of stumps and harvest residues available for energy production. The harvested amount of wood-based biomass, in turn, has an effect

on the carbon sinks of forests, i.e. the potential of the forests to store and sequester carbon from the atmosphere.

The annual amount of carbon dioxide sequestered by forests in Finland equals approximately half of the greenhouse gas emissions from other sectors. Opportunities to employ forest sinks to offset the emissions from the other sectors are, however, very limited in the Kyoto Protocol and in consecutive agreements. Therefore, the increase in forest sinks does not give additional benefits for Finland to meet its climate obligations. Thus, the increase of forest sinks was not considered in the LCFinPlat project as an emission mitigation measure even if their development is studied.

In recent years, the climate impacts of forest biomass have been subjected to considerable research, and results suggest even a negative impact (e.g. Kallio et al. 2013). These calculations take into account “carbon debt” caused by a decrease in carbon sequestered in forests and also slow growth rate of replacing wood. In the future, the question of the climate neutrality of biomass and the associated zero-emissions makes for considerable uncertainties to be taken into account in forthcoming research and in policy decisions. Scenario calculations conducted in the LCFinPlat project assumed that wood biomass will continue to be held as carbon neutral also in the future, so that its use in energy production or as an energy source in transport does not cause greenhouse gas emissions in the atmosphere.



**Figure 5.** The development of carbon sinks of forests in the scenarios (i.e. the annually sequestered carbon in forests). 1 Tg = 1 Mt.

### *Critical metals reserves and resources*

Many green energy technologies, such as photovoltaic panels or various battery technologies, are dependent on critical metals. Critical metals might become a bottleneck to a large scale implementation of green energy technologies either through higher market prices or even supply constraints. European industry is heavily reliant on imported raw materials, partly due to closures in the own mining sector. In 2010 the EU published a list of 14 critical raw materials (European Commission 2010), and the list has been updated in 2014 after including six more raw materials (European Commission 2014b).







Finland currently produces several raw materials classified as critical: cobalt, platinum, palladium, chrome and phosphorus, which have been classified as critical by the EU in 2014. Silver is not included in the EU list; however, the future green energy projections of the LCFinPlat project indicated a clear supply risk for silver, and thus silver has been included in the analysis conducted by Geological Survey of Finland. Additionally to the producing mines, several critical metals reserves and resources are known in Finland, and for some metals there is a good discovery potential (Table 2). The refining of cobalt in Finland has global importance and the production of the platinum group metals and silver are likely to increase in the future. The production of the above-mentioned metals is, however, heavily dependent on imported raw materials despite the existence of domestic mines.

In comparison to other European countries, Finland has a better than average discovery potential for many of the critical metals. Some critical metals are mined in the current state but it would be beneficial for the mining industry to explore discovery potential in greater detail. Several critical metals are thought to have good discovery potential in Finland and in the Fennoscandian bedrock.

Currently, the projects and activities focused on base metals and iron have more impact on the future development of the metals mining industry in Finland than the activities associated with critical metals. This is due to the good overall mineral potential of the former and small size of most of the currently identified critical metal deposits, although cobalt, platinum group metals and silver are also present in some base metal mines and deposits. However, possible combined growth of demand for the critical metals and their exploration activities will increase the probabilities of discovering economically viable critical metal resources also in Finland.



**Table 2.** EU list of critical metals and minerals and deposits in Finland according to current knowledge.

<b>Antimony</b>		<b>Indium (probably)</b>	
<b>Beryllium</b>		<b>Cobalt</b>	
<b>Fluorspar (mineral)</b>		<b>Magnesium (metal and mineral)</b>	
<b>Gallium</b>		<b>Niobium</b>	
<b>Germanium</b>		<b>Platinum group metals (PGM)</b>	
<b>Graphite (mineral)</b>		<b>Tantalum</b>	
<b>Rare earth metals (REE)</b>		<b>Tungsten</b>	

### *Conclusions*

The analysis of the LCFinPlat project did not aim at defining the “best” pathway to be followed until the year 2050. Due to uncertainties, it is safe to say that, practically, no such pathway can be determined. Therefore, it is important to broadly map possible development paths and recognize factors and risks common for all the pathways potentially emerging from the choices in the following decades.

On the basis of scenario calculations and interactive workshops, following the conclusions of the challenges and opportunities of the low-carbon scenarios, can be formulated.

1. Low-carbon society is achievable for Finland, but not unilaterally. An international, binding agreement is called for in order to reduce greenhouse gas emissions to limit an atmospheric temperature rise to a safe level.
2. Several pathways can be introduced for Finland to achieve the low-carbon target of 80% emission reductions compared to a level of 1990. Due to considerable uncertainties, the best pathway cannot be determined, which favours a wide variety of options to be maintained in potential measures.
3. A boost to the development of new technology and its introduction may yield competitive advantages for Finland. Here, Finland’s vast natural resources and its knowledge base for cleantech are to be exploited. High GDP per capita in Finland and a high level of education are further advantages in comparison to many other countries

4. Main risks from Finland's viewpoint are related to commercialization of Carbon Capture and Storage (CCS) as well as sustainability of biomass use in the future policies.

**Keywords** low carbon energy, low carbon roadmap, Finland, forest energy, forest industries, mining industries, critical metals, Finnish economy

## Alkusanat

*Low Carbon Finland 2050 -platform* -hankkeen (LCFinPlat) tavoitteena oli luoda vankkoja tiekarttoja vähähiiliselle ja kilpailukykyiselle yhteiskunnalle sekä tarkastella vihreään teknologiaan liittyvän kasvun edellytyksiä. Hankkeen osapuolina toimivat VTT, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus (VATT), Metsäntutkimuslaitos (Metla) ja Geologian tutkimuskeskus (GTK) koordinaation ollessa VTT:n vastuulla. Hanke kuuluu Tekesin Green Growth – Tie kestävään talouteen -ohjelmaan.

Tässä julkaisussa on esitetty yhteenveto VTT:n, VATT:n, Metlan ja GTK:n toteuttamien vaikutusarvioiden keskeisistä tuloksista, johtopäätöksistä ja havainnoista. Analysoituja osa-alueita ovat mm. kansantalouden kehitys, energiantuotanto, energian kulutus liikenteessä, rakennuksissa ja teollisuudessa, metsä- ja mineraalivarojen käyttö sekä teollisuuden, maatalouden ja jätesektorin kehitykset. Lisäksi julkaisussa on esitetty yhteenveto kuluttajakyselyn keskeisistä tuloksista, jossa selvitettiin suomalaisten asenteita, valmiuksia ja esteitä siirryttäessä vähähiiliseen tulevaisuuteen.

LCFinPlat-tutkimusta rahoittivat Tekesin lisäksi VTT, VATT, Metla ja GTK. Hankkeen vastuullisena johtajana toimi Tiina Koljonen (VTT). Muina osahankkeiden vastuullisina johtajina toimivat Juha Honkatukia (VATT), Maarit Kallio (Metla) sekä Laura Lauri (GTK). Projektin johtoryhmän puheenjohtajana toimi Pekka Tervo (TEM). Lisäksi johtoryhmään kuuluivat Magnus Cederlöf (YM), Outi Honkatukia (VM), Anne Vehviläinen (MMM), Saara Jääskeläinen (LVM) huhtikuusta 2013 alkaen, Raija Pikku-Pyhältö (Tekes) huhtikuuhun 2012 asti, sekä Christopher Palmberg (Tekes) ja Mikko Ylhäisi (Tekes) toukokuusta 2012 alkaen, Tuomo Suortti (Tekes) huhtikuuhun 2013 asti ja Kari Herlevi (Tekes) siitä alkaen, Riina Antikainen (Spinverse) marraskuuhun 2012 asti ja Kaisu Leppänen (Spinverse) siitä lähtien aina huhtikuuhun 2013 asti, Antti Asikainen (Metla), Maarit Kallio (Metla), Laura Lauri (GTK), Saku Vuori (GTK) kesäkuuhun 2012 saakka ja taas tammi-kuusta 2013 alkaen sekä Pekka Nurmi (GTK) ajalla 1.6.2012–31.12.2012, Tuomo Heikkilä (VATT), Juha Honkatukia (VATT), Satu Helynen (VTT), Tiina Koljonen (VTT), Kai Sipilä (VTT) ja Nina Wessberg (VTT). Johtoryhmän sihteerinä toimi Lassi Similä (VTT).

Hankkeen tutkijat haluavat kiittää johtoryhmää erittäin aktiivisesta osallistumisesta ja ohjauksesta.

Lokakuussa 2014

## Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	3
Extended abstract.....	14
Alkusanat.....	26
Symboliluettelo.....	29
<b>1. Mikä on vähähiilinen yhteiskunta ja miten se voitaisiin toteuttaa?.....</b>	<b>30</b>
<b>2. Vähähiiliyhteiskunnan puitteet ja polut .....</b>	<b>34</b>
2.1 Vähähiiliskenaarioiden puitteet.....	35
2.2 Vähähiilipolkujen muodostus, mallinnus ja analyysi.....	36
2.3 Vaihtoehtoiset vähähiilipolut.....	37
2.4 Vähähiilipolkujen toimintaympäristöjen ja tausta-ajatusten kuvaus.....	38
2.4.1 Jatkuva kasvu.....	38
2.4.2 Pysähdys.....	39
2.4.3 Säästö.....	39
2.4.4 Muutos .....	40
2.4.5 Ilmasto- ja energiapolitiikkaa koskevat oletukset .....	41
<b>3. Tiekartta Suomen vähähiiliseen tulevaisuuteen .....</b>	<b>43</b>
3.1 Keskeiset lähtökohdat sekä nykyinen päästö- ja energiatase.....	43
3.2 Suomen luonnonvarat – vähähiiliyhteiskunnan tukijalka .....	46
3.2.1 Metsävarat ja niiden käyttö.....	46
3.2.2 Mineraali- ja metallivarat.....	49
3.1 Uudistuva teollisuus vähähiilisessä yhteiskunnassa .....	51
3.1.1 Metsäteollisuuden kehityspolut.....	51
3.1.2 Kaivosteollisuuden kehityspolut.....	52
3.1.3 Perusmetalliteollisuus .....	54
3.1.4 Muu teollisuus ja polttoaineiden jalostus .....	56
3.2 Maatalouden kehitys.....	57
3.3 Yhdyskuntarakenne energiatehokkaiden rakennusten ja liikenteen mahdollistajana .....	58
3.3.1 Rakennuskannan kehitys .....	58

3.3.2 Liikenteen suoritteiden kehitys.....	59
3.4 Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys.....	61
3.5 Vähähiiliyhteiskunnan taloudelliset reunaehdot ja vaikutukset kansantalouteen .....	63
3.6 Vaikutukset Suomen energiajärjestelmään ja -talouteen.....	67
3.6.1 Energiankysyntä ja -tuotanto .....	67
3.6.2 Rakennettu ympäristö, rakennukset ja liikenne.....	74
3.7 Investoinnit hiilidioksidin talteenottoon ja infrastruktuuriin .....	77
3.8 Sähkötalouden ja sähkönhinnan kehitys.....	78
3.9 Energiaomavaraisuus .....	80
<b>4. Kuluttajien valmiudet siirtyä vähähiilliseen yhteiskuntaan .....</b>	<b>81</b>
4.1 Kuluttajakyselyn lähtökohdat ja toteutus .....	81
4.2 Tulokset: yleinen suhtautuminen vähähiilisyystavoitteeseen ja sitä edistäviin keinoihin .....	81
<b>5. Vähähiilitulevaisuuden haasteet ja mahdollisuudet .....</b>	<b>84</b>
5.1 Vähähiillisen Suomen SWOT-analyysi .....	84
<b>6. Johtopäätökset .....</b>	<b>92</b>
6.1 Vähähiilliskenaarioille yhteiset haasteet ja mahdollisuudet .....	92
6.2 Ratkaisut, haasteet ja mahdollisuudet eri toimialojen näkökulmasta ...	93
6.2.1 Energiajärjestelmän kehitys ja energianhankinta .....	93
6.2.2 Energiaintensiivinen teollisuus.....	95
6.2.3 Rakennukset.....	95
6.2.4 Liikenne.....	96
6.2.5 Maatalous.....	97
6.2.6 Jätehuolto ja F-kaasut.....	98
6.2.7 Metsäteollisuus, metsäbiomassan hankinta sekä metsänhoitosektorin hiilinielut.....	98
6.2.8 Kaivosteollisuus .....	99
6.3 Kansantalous .....	99
6.4 Kuluttajien valmiudet ja näkökulmat.....	99
6.5 Jatkotutkimustarpeet.....	100
6.6 Miten tästä eteenpäin – kiintopisteet ja virstanpylväät .....	101
<b>Kirjallisuusviitteet.....</b>	<b>103</b>

## **Liitteet**

Liite A: Skenaarioiden keskeisimmät oletukset

## Symboliluettelo

BECCS	Bioenergy Carbon Capture and Storage, eli hiilidioksidin erotus savu- ja prosessikaasuista ja varastointi bioperäistä raaka-ainetta käyttäviin laitteisiin
CCS	Carbon Capture and Storage eli hiilidioksidin erotus savu- ja prosessikaasuista ja varastointi
EMF28	Energy Modelling Forum EU28 -mallinnushanke
IEA	International Energy Agency
KHK	Kasvihuonekaasu
LCFinPlat	Low Carbon Finland 2050 -platform -hankkeen lyhennys

## 1. Mikä on vähähiilinen yhteiskunta ja miten se voitaisiin toteuttaa?

Suomen pitkän aikavälin tavoitteena on hiilineutraali yhteiskunta, joka tarkoittaa vähintään 80 % kasvihuonekaasu (KHK) -päästötavoitetta vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 KHK-päästöihin verrattuna. Low Carbon Finland 2050 -platform -hankkeen (LCFinPlat) tavoitteena oli tarkastella Suomen mahdollisuuksia ja haasteita siirtyä vähähiiliseen yhteiskuntaan ja tässä julkaisussa on esitetty yhteenveto VTT:n, VATT:n, Metlan ja GTK:n toteuttamien vaikutusarvioiden keskeisistä tuloksista, johtopäätöksistä ja havainnoista. Analysoituja osa-alueita ovat mm. kansantalouden kehitys, energiantuotanto, energian kulutus liikenteessä, rakennuksissa ja teollisuudessa, metsä- ja mineraalivarojen käyttö sekä teollisuuden, maatalouden ja jätesektorin kehitykset. Lisäksi julkaisussa on esitetty yhteenveto kuluttajakyselyn keskeisistä tuloksista, jossa selvitettiin suomalaisten asenteita, valmiuksia ja esteitä siirryttäessä vähähiiliseen tulevaisuuteen.

LCFinPlat-hankkeen käynnistyskokous pidettiin 23.3.2012 ja hankkeen päättöseminaari 4.11.2014. Hankkeen päätavoitteen taustalla oli pääministeri Kataisen hallitusohjelma, johon oli kirjattu, että ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi hallitus laatii pitkän aikavälin ilmastopoliittisen EU-strategian (VNK 2011). Kesällä 2013 hallitus asetti parlamentaarisen energia- ja ilmastokomitean valmistelemaan mietintöä, joka toimii strategisen tason ohjeena matkalla kohti hiilineutraalia Suomea. Elinkeinoministeri Jan Vapaavuoren vetämään komiteaan kuului kaksi edustajaa jokaisesta eduskuntapuolueesta<sup>1</sup>. Tämän energia- ja ilmastotiekartan valmistelun keskeisenä taustamateriaalina käytettiin LCFinPlat-hankkeen tuottamia vaikutusarvioita vaihtoehtoisista vähähiiliskenaarioista.

LCFinPlat-hankkeessa tarkasteltiin vaihtoehtoisia vähähiilipolkuja, jotka muodostettiin yhteistyössä laajan asiantuntijaryhmän kanssa. Vaihtoehtoisia vähähiilipolkuja analysoitin laskennallisesti skenaariotarkasteluin ja suurin osa tässä esitetyistä johtopäätöksistä perustuvat laskennallisiin analyysiin. Vaihtoehtoiset vähähiilipolut muodostavat Suomen vähähiilitiekartan, mutta nykytiedon valossa ei pystytä arvioimaan, mikä poluista olisi Suomelle paras vaihtoehto. Tämä vuoksi on tärkeää tunnistaa kaikille poluille yhteisiä tärkeitä tekijöitä sekä riskejä, joita mah-

---

<sup>1</sup> Ks. [http://www.tem.fi/files/41174/Energia- ja\\_ilmastotiekartta\\_2050.pdf](http://www.tem.fi/files/41174/Energia- ja_ilmastotiekartta_2050.pdf)

---

dollisesti tehdyt valinnat voivat tulevina vuosikymmeninä aiheuttaa. Tiekartta on parhaimmillaan erinomainen apuväline muodostettaessa pitkän aikavälin energia-, ilmasto-, ja innovaatiostrategiaa kilpailukykyiselle Suomelle.

Globaali ilmastomuutoksen hillintä ja ilmakehän lämpötilan nousu maksimissaan kahteen asteeseen esiteolliseen aikaan nähden edellyttää maailman kasvihuonekaasupäästöjen radikaalia vähentämistä ja nykytieteen mukaan (IPCC 2014) teollisuusmaiden osalta edellytetään 80–95 % kasvihuonekaasupäästövähennyksiä vuoden 1990 päästötasoon verrattuna, joka on lähtökohtana myös EU:n julkaisemassa vähähiilitiekartassa (EC 2011). EU:n pitkän aikavälin tavoitteena onkin siirtyä vähähiilliseen talouteen ja samalla lisätä EU-alueen kilpailukykyä, energiavarmuutta, sosiaalista hyvinvointia sekä pienentää ympäristövaikutuksia. *Low Carbon Finland 2050 -platform hankkeessa lähtökohtana oli, että EU ja Suomi toteuttavat vähähiilitavoitteet ja asettavat KHK-päästövähennyksille 80 % vähimmäistavoitteen vuoteen 2050 mennessä ja vuoden 1990 päästötasoon verrattuna.*

On selvää, että 80 % päästövähennys edellyttää merkittäviä toimia ja investointeja kaikilla yhteiskunnan sektoreilla ja siten radikaalia, systeemitason muutosta, jonka toteuttamiseksi tarvitaan yhteistä tahtotilaa ja suuntaa, eli käytännössä niin sanottua vähähiilitiekarttaa. Vähähiiliyhteiskunnan toteuttamiseksi voidaan osoittaa lukuisia määriä eri polkuja, joissa korostuvat teknologiset valinnat sekä oletukset yhteiskunnan rakenteesta (l. elinkeinorakenne, teollinen rakenne, yhdyskuntarakenne, väestörakenne jne.), kestävästä luonnonvarojen käytöstä, uuden teknologian kehityksestä ja käyttöönnotosta sekä yhä merkittävimmässä määrin yksityisten kuluttajien asenteista, arvoista ja valinnoista. On selvää, että poliittisilla päätöksillä tulee olemaan keskeinen rooli vähähiilitavoitteen saavuttamisessa. Toisaalta vähähiilistrategioiden kääntäminen toiminnaksi edellyttää laaja-alaista eri alojen toimijoiden mukaantuloa. Vaikka tässä raportissa esitettyjen vaihtoehtoisten vähähiiliskenaarioiden ei lähtökohtaisesti oleteta toteutuvan, niiden avulla voidaan kuitenkin hahmottaa, minkälaisia toimenpiteitä ja välitavoitteita tarvitaan jo lähivuosina ja -vuosikymmeninä.

Siirtymistä vähähiiliyhteiskuntaan on tutkittu Suomessa jo pitkään. Vuonna 2009 valtioneuvoston kanslia julkaisi Tulevaisuusselonteon (VNK 2009), jonka lähtökohtana oli, että Suomi vähentää KHK-päästöjä 80 % vuoteen 2050 mennessä. VTT julkaisi vuoden 2012 lopulla tutkimustyön, jossa tarkasteltiin laajalti Suomen mahdollisuuksia siirtyä vähähiiliyhteiskuntaan erityisesti teknologisesta näkökulmasta ja kyseisessä työssä VATT arvioi myös kansantaloudellisia vaikutuksia. Lisäksi arvioita on tehty kansainvälisessä yhteistyössä, joista mainittakoon pohjoismainen tutkimus "Nordic Energy Technology Perspectives 2013" yhteistyössä International Energy Agency:n (IEA), pohjoismaisen energiatutkimusohjelman sekä pohjoismaisten tutkimuslaitosten kanssa (IEA 2013). Kyseisessä työssä arvioitiin Pohjoismaiden mahdollisuuksia siirtyä vähähiilliseen yhteiskuntaan verrattuna Eurooppaan ja muuhun maailmaan. Syksyllä 2014 on käynnistynyt uusi pohjoismainen hanke "Nordic Energy Technology Perspectives 2016" yhteistyössä IEA:n kanssa, jossa keskitytään tarkastelemaan kysymyksiä, joiden osalta todettiin esiintyvän merkittävintä epävarmuutta. Näitä kriittisiä kysymyksiä ovat muun muassa pohjoismaisen energijärjestelmän integroituminen Keski-Eurooppaan, ener-



giaintensiivisen teollisuuden rakennemuutos Pohjoismaissa ja kestävän bioenergian rooli pohjoismaisessa energiajärjestelmässä. Molemmissa hankkeissa VTT on ollut yksi päätoteuttajista.

LCFinPlat-hankkeen yhtenä kokonaisuutena oli myös arvioida EU:n mahdollisuuksia siirtyä vähähiiliseen yhteiskuntaan. Tämä työ toteutettiin osana kansainvälistä mallinnushanketta ”Energy Modelling Forum 28”, eli EMF28 (ks. Knopf *et al.* 2013a ja 2013b). Mallinnushankkeeseen osallistui kolmesta organisaatiota ja eri laskentamallia, ml. energiajärjestelmä-, kansantalous- ja energiamarkkinamallintajat. Hankkeeseen osallistui myös PRIMES-mallinnustiimi, joka pääasiassa tuottaa EU:n ilmasto- ja energiapolitiikkojen vaikutusarvot.

Kaikkien edellä mainittujen tutkimusten johtopäätöksenä on ollut, että niin Suomi kuin Pohjoismaat ja koko EU pystyvät toteuttamaan 80 % KHK-päästövähennyksen. Merkittävänä lähtöoletuksena kuitenkin on ollut, että globaalisti on saatu sovittua sitova ilmast sopimus, joka perustuu 2 asteen hillintätavoitteeseen. Lisäksi toinen merkittävä oletama on ollut, että uudet vähäpäästöiset teknologiat kehittyvät riittävän nopeasti ja ne saadaan markkinaehtoisesti käyttöön, lukuun ottamatta alkukehitysvaihetta. Nykytilanteen näkökulmasta vähähiiliyhteiskuntaan siirtymiseen sisältyy siten merkittäviä poliittisia haasteita ja lisäksi edellytetään merkittäviä panostuksia uuden vähäpäästöisen teknologian kehitykseen ja markkinoille saattamiseen. Lisähaasteen tilanteeseen tuo nykyinen infrastruktuuri, eli teolliset laitokset sekä rakennus- ja autokanta, jotka uusiutuvat hitaasti. Näin ollen jo nykyisillä päätöksillä ja investoinneilla on vaikutuksia jopa vuoteen 2050 asti.

Koska tulevaisuuden tulevan kehityksen ennustaminen varmuudella on käytännössä mahdotonta, siirtymistä vähähiiliyhteiskuntaan on tarkasteltu vaihtoehtoisten skenaarioiden avulla niin tässä kuin aiemmissakin edellä mainituissa hankkeissa. Skenaariot ovat myös erinomainen työkalu yhteiseen kommunikointiin ja ymmärryksen kasvattamiseen, viestintään sekä toisaalta myös riskien ja uusien mahdollisuuksien kartoittamiseen. Tässä hankkeessa skenaarioiden muodostus ja analysointi toteutettiin seminaarisarjan, työpajojen, eri sidosryhmien ja asiantuntijoiden kuulemisten sekä laajan yksityisille kuluttajille suunnatun kyselyn perusteella. Merkittävin ero tässä hankkeessa aiempiin nähden oli ehkä kuitenkin laaja laskennallinen työ, joka toteutettiin VTT:n, VATT:n, Metlan ja GTK:n laskentamallien avulla. Skenaariolaskelmissa arvioitiin, mitä vaikutuksia siirtymisellä vähähiiliseen yhteiskuntaan voisi olla kansantalouteen, energian tuotantoon ja käyttöön liikenteessä rakennuksissa ja teollisuudessa, kasvihuonekaasupäästöihin ja päästövähennystarpeeseen eri sektoreilla sekä Suomen metsä- ja mineraalivarojen käyttöön. Mallilaskelmissa päätötavoite saavutetaan kustannustehokkaimman ratkaisun kautta huomioiden eri skenaarioille määritetyt reunaehdot ja kehityskulut. Taas tulee kuitenkin huomata, että laskelmat ja analyysit on tehty nykytiedon valossa, eli käyttämällä laskelmissa nykyistä tietoa kustannuksista, väestönrakenteesta, teknisistä mahdollisuuksista vähentää KHK-päästöjä, politiikoista, markkinoista, kestävästä luonnonvarojen käytöstä jne. On selvää, että vuoteen 2050 mennessä esimerkiksi jonkin läpimurtoteknologian kehitys ja käyttöönotto sekä ihmisten arvot ja asenteet voivat muuttaa vähähiilipolkujen suuntaa radikaalisti. Parhaillaan tutkitaan esimerkiksi bio-, aurinko-, metaani- ja vetytaloutta, joissa

---

kaikissa oletetaan jonkin läpimurtoteknologian, -tuotteen tai uuden koko teollisen rakenteen aikaansaavan systeemisen muutoksen yhteiskunnassamme. Tämän hankkeen puitteissa ei lähtökohtaisesti tehty valintoja minkään edellä esitettyjen kehitysten osalta, vaan pyrittiin mahdollisimman neutraaliin lähestymistapaan. Toisaalta, kaikissa tässä julkaisuissa esitetyissä vähähiilipoluissa on elementtejä niin bio-, aurinko- kuin ns. kaasutaloudestakin, joita tutkitaan sekä arvoidaan parillaan Tekesin ohjelmissa sekä strategisissa tutkimusavauksissa. Tekesin ohjelmista mainittakoon Green Growth – tie kestävään talouteen (2011–2015) ja Groove – Uusiutuva energia, kasvua kansianvälistymisestä<sup>2</sup>. Parhaillaan on käynnissä Tekesin strateginen tutkimusavaushanke NeoCarbon<sup>3</sup>, jossa arvoidaan siirtymistä ns. metaanitalouteen, jonka lähtökohtana on yhteiskunta, jossa energian, ml. liikenteen polttoaineet, tuotanto perustuu merkittävässä määrin aurinko- ja tuuli-voimaan. Lisäksi on käynnissä työ- ja elinkeinoministeriön koordinoimat strategiset ohjelmat liittyen esimerkiksi metsäalaan<sup>4</sup> ja cleantechin<sup>5</sup>.

---

<sup>2</sup> Ks. <http://www.tekes.fi/ohjelmat-ja-palvelut/ohjelmat-ja-verkostot/>

<sup>3</sup> Ks. <http://www.tekes.fi/rahoitus/tutkimusorganisaatiot/strategiset--tutkimusavaukset/>

<sup>4</sup> Ks. [https://www.tem.fi/ajankohtaista/vireilla/strategiset\\_ohjelmat\\_ja\\_karkihankkeet/metsaalan\\_strateginen\\_ohjelma](https://www.tem.fi/ajankohtaista/vireilla/strategiset_ohjelmat_ja_karkihankkeet/metsaalan_strateginen_ohjelma)

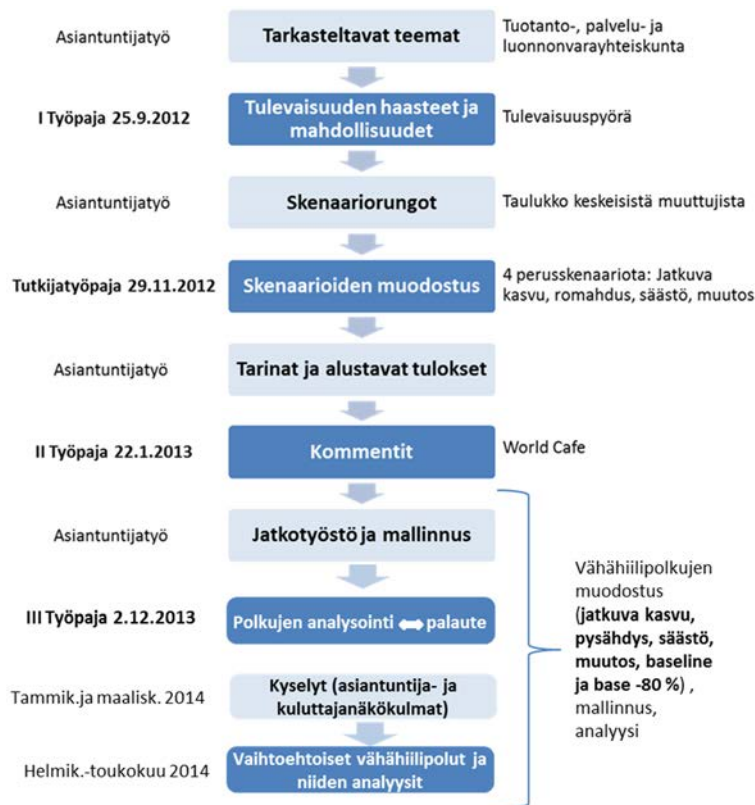
<sup>5</sup> Ks. [https://www.tem.fi/ajankohtaista/vireilla/strategiset\\_ohjelmat\\_ja\\_karkihankkeet/cleantechin\\_strateginen\\_ohjelma](https://www.tem.fi/ajankohtaista/vireilla/strategiset_ohjelmat_ja_karkihankkeet/cleantechin_strateginen_ohjelma)

## 2. Vähähiilyhteiskunnan puitteet ja polut

Vähähiiliseen yhteiskuntaan siirtyminen koskettaa laajaa joukkoa ja edellyttää muutoksia yhteiskunnan kaikilta toimijoilta, kuten yrityksiltä, järjestöiltä ja hallinnolta – unohtamatta yksityisiä kuluttajia. Lisäksi tarvitaan poliittinen tahtotila, niin kansallisesti kuin kansainvälisestikin, koska Suomi ei pysty yksinään siirtymään vähähiilyhteiskuntaan. Tarvitaan markkinoiden tuomaa joustoa, kuten päästökauppa, sekä globaalisti sitova ilmastopimus, jotta vältetään hiilivuoto- ja kilpailukykyriskeiltä. Toisaalta globaali ilmastopimus toisi globaalit puhtaan teknologian markkinat, joka on myös edellytys uusien teknologioiden kehitykselle ja kaupallistamiselle.

Jotta eri tahojen osaaminen ja näkemykset saataisiin tehokkaasti hyödynnettyä yhteisen tulevaisuuden laatimisessa, hankkeen tavoitteena oli osallistaa toimijoita ja saattaa tietoa yleisesti arvioitavaksi jo työskentelyvaiheessa. Tämän tavoitteen palvelemiseksi LCFinPlat-hankkeessa kehitettiin *yhteistoimintamalli eli platform*, jonka osa-alueita hankkeessa olivat työpajojen sarja, asiantuntijoille ja kuluttajille suunnatut kyselyt ja eri toimijatahoille pidetyt esittely- ja keskustelutilaisuudet (vrt. **Kuva 5**). Interaktiivisuus eri tahojen välillä on hankkeen eri vaiheissa toteutunut yhteistoimintamallin mukaisesti, aluksi vaihtoehtoisten tulevaisuuskuvien laadinnan osalta, joiden pohjalta laadittiin laskennalliset vähähiiliskenaariot. Seuraavassa vaiheessa haettiin palautetta liittyen laskennallisten analyysien lähtöoletuksiin, alustaviin tuloksiin sekä skenaarioita kuvaileviin taustatarinoin. Palaute on antanut mahdollisuutta arvioida mm. skenaarioiden uskottavuutta ja pullonkauloja eri toimijoiden näkökulmista sekä lisännyt erityisesti monimutkaisen ja -ulotteisen asian ymmärrettävyyttä ja helpottanut viestinnällisiä haasteita.

Skenaarioiden laadinnan peruslähtökohtana oli, että skenaarioiden tulisi olla riittävän erilaiset, jotta tulevaisuutta voitaisiin arvioida mahdollisimman laajalti eri näkökulmista. Skenaarioiden lähtökohtia kuvailevien ”vähähiilitarinoiden”, muodostuksessa hyödynnettiin monipuolisesti eri ennakointityömenetelmiä sekä hankkeen ennakointiasiantuntijoita (vrt. Similä *et al.* 2014). Skenaarioiden lähtöarvojen määrittelyissä ja laskennallisessa analysoinnissa hyödynnettiin puolestaan laajalti VTT:n, VATT:n, Metlan ja GTK:n asiantuntijoita, mallinnustyökaluja ja tietokantoja (vrt. Lehtilä *et al.* 2014, Honkatukia 2014, Kallio *et al.* 2014, Kihlman *et al.* 2014).



**Kuva 5.** Low Carbon Finland 2050 -platform -hankkeen työskentelyprosessin osa-alueet. Eri vaiheissa hyödynnettiin mm. laskentamalleja että ennakoinnin menetelmiä.

## 2.1 Vähähiiliskenaarioiden puitteet

Hankkeen järjestämässä ensimmäisessä työpajassa hahmoteltiin vähähiilisen Suomen mahdollisuuksia, jotka muodostavat puitteet, eli "rakennuspalikat", vähähiiliyhteiskunnalle. Tarkasteluissa oli kolme eri näkökulmaa:

1. Luonnonvarayhteiskunta
2. Palveluyhteiskunta
3. Teollisuusyhteiskunta

Tarkastelun tavoitteena oli arvioida, miten yhteiskunnan eri osa-alueet voivat muuttua vähähiilisessä Suomessa, kun tuotanto-, palvelu- tai luonnonvarayhteiskuntapainoitteinen kehitys on Suomen vihreän kasvun näkökulmasta toivottava. Aihetta lähestyttiin toisaalta teknologianäkökulmasta ja toisaalta toimijoiden ja käyttäytymisen näkökulmista. Alla on esitetty tekijät (ml. sekä sisäiset että ulkoi-

set), jotka olisivat vahvuuksia Suomen siirtymässä vähähiilyhteiskuntaan, ja jotka tulivat esille kaikissa näkökulmissa:

1. *Luonnonvarojen kestävä ja tehokas käyttö ml. ekosysteemipalvelut:* Suomen ehdoton vahvuus on sen rikkaat luonnonvarat ja niiden ympärille kehittynyt osaaminen. Erityisesti metsävarojen hyödyntäminen ja sen ympärille kehittyvä teollinen ja palveluliiketoiminta on Suomelle tärkeää. Materiaalitehokkuus ja kierrätys ovat myös tärkeät tekijät.
2. *Energiatehokas rakennettu ympäristö:* Eheytyvä ja tiivis yhdyskuntarakenne luo edellytykset hiilineutraaleille liikkumiskonsepteille, rakennusten tehokäytölle ja teollisille symbiooseille ml. kiertotalous.

Näkemykset puolestaan poikkesivat esimerkiksi energiantuotannon rakenteen, teollisuuden rakenteen, maatalouden ja poliittisen ohjauksen osalta. Näitä tekijöitä oli siis erityisesti tarpeen tarkastella vaihtoehtoisissa skenaariossa.

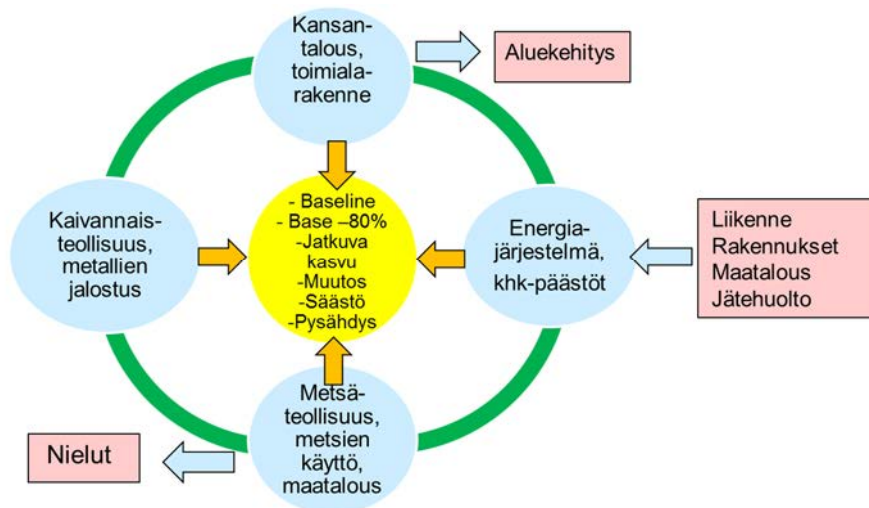
## 2.2 Vähähiilipolkujen muodostus, mallinnus ja analyysi

Kehityspolkuja kohti vähähiilistä yhteiskuntaa tutkittiin skenaarioiden keinoin. Skenaarioiden laatimisessa hyödynnettiin sekä laskentamalleja että ennakkoinnin menetelmien avulla laadittuja kvalitatiivisia kuvauksia, "vähähiilitarinoita". Hankkeen eri vaiheissa skenaarioiden laadinta käsitti seuraavat osa-alueet:

- *Skenaarioiden muodostus:* skenaarioiden puitteet ja skenaarioita kuvailevat tarinat
- *Skenaarioiden mallinnus ja analyysi*
  - Laskentamallien oletusten määrittäminen
  - Laskentamallien toiminta ja tulokset

*Laskennallisten skenaarioiden tuloksena saatiin arvioita kustannustehokkaista poluista vähähiilitavoitteiden toteuttamiseksi eri ympäristöissä.*

Skenaarioiden oletusten määrittelyissä ja laskennallisessa analysoinnissa hyödynnettiin laajalti VTT:n, VATT:n, Metlan ja GTK:n asiantuntijoita, mallinnustyökaluja ja tietokantoja (vrt. Lehtilä et al. 2014, Honkatukia 2014, Kallio et al. 2014, Kihlman et al. 2014). Laskennallisten analyysien lopputuloksena saadaan monipuolisesti yhteiskunnan eri sektorit kattavaa tietoa vuoteen 2050 asti ulottuvista vähähiilipoluista (esimerkiksi kansantalouden kehitys, energiantuotanto ja kulutus, kasviuonekaasupäästöjen kehitys, metsien käyttö ja kehitys, kaivosteollisuus) (ks. kuva 7).



**Kuva 6.** LCFinPlat-hankkeen mallinnuskokonaisuus. Keskiössä näkyy kuusi skenaariota, jotka koostuvat vähähiilisen yhteiskunnan eri sektorien mallianalyseistä eli laskennallisista vaikutusarvioista. Jokaisen pallon ja laatikon tulokset tuottavat eri mallit, jotka myös käyttävät lähtötietoina muiden mallien tuloksia. Kokonaisuuden avulla kullekin skenaariolle saadaan omat sektoreiden kehitystä kuvaavat tunnusluvut.

### 2.3 Vaihtoehtoiset vähähiilipolut

LCFinPlat-hankkeessa muodostettiin neljä erilaista vähähiiliskenaariota, jotka nimettiin:

- Jatkuva kasvu
- Pysähdys
- Säästö
- Muutos.

Näiden lisäksi laskettiin Baseline, eli ns. perusskenaario, joka noudattaa päivitetyn energia- ja ilmastostrategian (TEM 2013) lähtökohtia vuoteen 2025 asti sekä Base -80%, jossa oletukset ovat samat kuin Baselineissa lukuun ottamatta 80 % KHK-päästövähennystavoitetta vuoteen 2050 mennessä. Baseline-skenaariossa on siten mukana EU:n Suomelle asettamat tavoitteet vuodelle 2020, eli uusiutuvien energialähteiden osuus 38 % energiankäytöstä ja päästökaupan ulkopuolisen sektorin päästövähennys -16 % vuoden 2005 KHK-päästöihin verrattuna. Missään skenaariossa ei sen sijaan ole huomioitu EU:n esittämiä ilmasto- ja energiatavoit-

teita vuodelle 2030, koska tavoitteista ei ollut edes alustavaa tietoa, ennen kuin hankkeen loppupuolella.

Lähtökohtaisesti kaikissa skenaarioissa lukuun ottamatta Baselinea Suomi ja muu EU toteuttavat 80 % KHK-päästövähennystavoitteen vuoteen 2050 mennessä. Skenaario-oletuksissa globaali ilmastopimus toteutuu muissa, paitsi Pysähdys- ja Baseline-skenaariossa. Jatkuvan kasvun skenaariossa teknologinen kehitys on suotuisaa ja vastaavasti Pysähdys-skenaariossa vaatimatonta. Säästöskenaariossa uuden osan teknologian kehitys on myös hitaampaa kuin jatkuvan kasvun skenaariossa, mutta toisaalta panostetaan erityisesti energia- ja resurssitehokkuuteen. Muutos-skenaario edustaa ns. radikaalia muutosta, sekä teknologisesta näkökulmasta että koko yhteiskunnan näkökulmasta. Alla (luku 2.4, **Kuva 7**) on esitetty tiivistelmä skenaarioiden tausta-ajatuksista ja yleiseen toimintaympäristöön liittyvistä oletuksista.

## **2.4 Vähähiilipolkujen toimintaympäristöjen ja tausta-ajatusten kuvaus**

Työssä analysoidut vähähiilipolut perustuvat erilaisiin oletuksiin olennaisesti seuraavien vuosikymmenten aikana kehitykseen vaikuttavien muuttujien kehityskuluista. Erilaiset oletukset kuvaavat erilaisia tulevaisuuden toimintaympäristöjä, joiden asettamisessa reunaehdoissa vähähiilipolut lasketaan.

Seuraavassa kuvataan vähähiilipolkujen tausta-ajatuksia yleisellä tasolla. Kuvauksen tarkoitus on viestiä toimintaympäristöjen ja niiden taustalla olevien ajatusten välisistä eroista ja peruslogiikasta.

Tässä esitetyt kuvaukset perustuvat pääasiassa skenaarioiden lähtökohtia kuvaileviin "vähähiilitarinoihin" sekä niistä johdettuihin oletuksiin merkittävimpien taustamuuttujien yleislinjoista. Tarkemmin kunkin vähähiilipolun oletuksia ja laskentatuloksia on esitetty eri osaraporteissa ja myöhemmin tässä julkaisussa.

### **2.4.1 Jatkuva kasvu**

*Globaali ilmastopimus vähintään 80 %:n kasvihuonekaasupäästövähennyksistä teollisuusmaissa on voimassa, jolloin KHK-päästöoikeuksilla on selkeä globaali hinta. Globaalin ilmastopimuksen myötä ilmastonmuutos kyetään hillitsemään noin kahteen asteeseen kustannustehokkaasti. Kansainvälinen järjestelmä ja poliittinen ilmapiiri ovat vakaat, mikä mahdollistaa tehokkaasti toimivan kansainvälisen kaupan ja jatkuvan talouskasvun.*

*Jatkuvan kasvun skenaariossa panostetaan voimakkaasti uusien teknologioiden ja palvelukonseptien kehitykseen ja käyttöönottoon. Luonnonvarojen käyttö toteutetaan tehokkaasti intensiivituotantoon varatuilla alueilla, minkä johdosta suomalaisten ekosysteemipalveluiden merkitys kasvaa. Biotalous innovaatiot muodostavat perustan elinvoimaiselle ja kasvavalle, mutta rakenteeltaan nykyisestä poikkeavalle metsäteollisuudelle. Kaivosteollisuus on Suomessa kasvava teollisuudenala etenkin korkean teknologian tuotteiden aiheuttaman kysynnän kasvun*

---

ansioista. Uusien tuotteiden vienti vetää, ja vaihtosuhte kehitty Suomen kannalta suotuisasti.

Kaupungistuminen on voimakasta, ja keskittymät yhdyskuntarakenteessa tarjoavat alustan innovaatioiden syntymiselle ja hillitsevät liikennesuoritteiden kasvua. Edellytykset myös maaseutumaisempaan asumiseen säilyvät hyvinä vakaiden olojen ja suotuisan talouskasvun ansiosta.

#### 2.4.2 Pysähdys

Kansainvälisessä taloudessa on suuria häiriöitä, joiden seurauksena protektionismi ja alueellinen klikkiytyminen voimistuvat. Epävakaassa ympäristössä prioriteetit muuttuvat, jolloin globaalia ilmastopimusta ei pystytä solmimaan, jolloin globaali ilmaston lämpeneminen etenee ja aiheuttaa sosiaalisia, ympäristöllisiä ja taloudellisia vahinkoja. EU ml. Suomi pyrkii joka tapauksessa toteuttamaan sovitun 80 %:n KHK-päästövähennystavoitteen vuoteen 2050 mennessä. EU:n talouskehitys ajautuu pitkäaikaiseen hitaan kasvun vaiheeseen.

Suomen BKT-kehitys on kituliasta, uusien teknologioiden kehitys ja käyttöönotto on vaatimatonta, ja Suomen vienti on vaikeuksissa myös lähialueille. Suomen tuottavuuskasvu on heikkoa ja vaihtosuhte heikkenee. Julkisten palveluiden osuus kansantuotteen kasvusta korostuu.

Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (CCS) saadaan vain rajoitetusti käyttöön<sup>6</sup>, mikä vaikeuttaa ilmastotavoitteiden kustannustehokasta saavuttamista. Kotimaiset, perinteiset ratkaisut korostuvat teollisuustuotannossa. Metsien käyttö kohdistuu perinteiseen perusteellisuuteen ja energiantuotantoon, myös kaivosteollisuudessa perusmetallien tuotanto on suhteessa merkittävämpää. Teknologian kehityksen ja käyttöönoton hitauden vuoksi luonnonvarojen saatavuus heikkenee, energian ja resurssien käytön kokonaisuhyötysuhde pienenee ja energiaketjun osuus arvonnäköisestä kasvaa.

Yhdyskuntarakenteen uudistuminen hidastuu, ja julkisen liikenteen kehittymisenäkymät ovat heikot. Myös rakennuskannan uusiutuminen ml. korjausrakentaminen on hitaampaa.

#### 2.4.3 Säästö

Ilmastopimus 80 %:n kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksistä on voimassa. EU toteuttaa päästövähennyksiä nopeutetulla aikataululla muuhun maailmaan verrattuna, ja sen toimet keskittyvät erityisesti energiansäästöön. Päästöjen aikais-tettu hillintä näkyy suoraan tuotteiden hinnoissa siten, että ”kaikki on kallista”, ml. kuljetuskustannukset. Uuden teknologian kehitys ja käyttöönotto on hidasta ja

---

<sup>6</sup> CCS:n oletetaan olevan käytössä ainoastaan öljyn- ja kaasutuotannon, sementin valmistuksen ja terästeollisuuden yhteydessä. Hiilidioksidin varastointi on mahdollista toteuttaa ainoastaan hiipuviin ja käytöstä poistettuihin öljy- ja kaasukenttiin.



alueellinen regulaatio voimakasta. Kaiken kaikkiaan kansainvälisen kaupan edellytykset ovat heikkommat, joten Suomen vienti kohdistuu suurimmaksi osaksi lähimarkkinoille.

Viennin merkitys Suomen taloudessa vähenee, jolloin julkisen kulutuksen merkitys kasvaa. Energiaomavaraisuus korostuu: kotimaisten energialähteiden käyttöä edistetään voimakkaasti, ja ydinvoiman lisärakentamista energiavaihtoehtona ei rajoiteta.

Metsää hyödynnetään tehokkaasti raaka-ainelähteenä tuotteille, joilla on kysyntää Suomen lähialueilla. Tuotantorakenne uusiutuu, mutta hitaahkosti. Kaivannais-teollisuuden tuotannossa etenkin perusmetallien tuotanto on merkittävässä osassa.

Rakentamisen voimakas sääntely parantaa rakennusten energiatehokkuutta myös korjausrakentamisessa. Liikenteen toimenpiteet keskittyvät ennen kaikkea suoritteiden vähentämiseen, jolloin erityisesti panostetaan julkisen liikenteen kehittämiseen. Kulutustottumukset ja kuluttajien arvot muuttuvat kestävyyttä suosiviksi, jolloin kulutus kohdistuu enenevästi ”välttämättömiin” tuotteisiin. Tuotteiden kestävyys, käytettävyys ja käyttöikä ovat arvossaan. Säästö-skenaarion toimintaympäristö ajaa tehokkaaseen resurssien käyttöön ja energiatehokkuuteen, mikä luo uusia mahdollisuuksia myös Suomen vientiteollisuudelle.

#### 2.4.4 Muutos

Globaali yhteiskunta toimii monessa mielessä idealistisesti: samat säännöt, tasainen tulonjako, valistuneet kansalaiset sekä rauhalliset ja vakaat olot mahdollistavat ihmisten vapaan valinnan. Globaali ilmastopöytäkirja on voimassa, ilmastomuutos pystytään hillitsemään noin kahteen asteeseen.

Suorittavan työn merkitys vähenee, kun robotiikka ja muut innovaatiot korvaavat työvoimaa. Työ ja vapaa-aika sekoittuvat, yhdyskuntarakenne hajaantuu ja asuntokanta pientalovaltaistuu. 3D-tulostuksen kehitys ja yleistyminen muuttavat perinteisiä tavarantuotanto- ja hankintaketjuja. Tämä voi vaikuttaa esimerkiksi palvelualojen ja kotitalouksien sähkönkäyttöön.

Suomessa kukoistavan biotalouden innovaatiot mahdollistavat esimerkiksi muovien, rehujen, energian, lääkkeiden, kemikaalien ja ruoan tuotannon bioraaka-aineista. Metsiin ja puuhun perustuvista uusista tuotteista merkittäviksi nousevat 3D-tulostukseen soveltuvat biomateriaalit, fibrilliselluloosa, tekstiilikuidut, päällystämateriaalit ja rakentamiseen soveltuvat komposiitit. Kaivosteollisuus kasvaa korkean teknologian tuotteiden valmistuksessa tarvittavien kriittisten mineraalien osalta. Perusmetallien kysyntä laskee tehostuneen kierrätyksen, korvaavuuden ja materiaalitehokkuuden ansiosta.

Liikenteessä teknologia kehittyy nopeasti, mahdollisuuksia tarjoavat esimerkiksi automaattiset kimppe-autot ja itseohjautuvat autot. Sähköntuotanto-, verkko- ja ICT-teknologian innovaatiot sekä vakaat olot nostavat esiin mahdollisuudet uusiutuvan energian tehokkaasta hyödyntämisestä ja sähkön siirrosta jopa EU:n, Afrikan ja Aasian laajuisesti (esim. ns. SuperGrid). Edellytykset uusiutuvien energialähteiden läpimurrolle ovat muutenkin hyvät: hiilidioksidin talteenotto ja varastointi

(CCS) saadaan teknisistä, taloudellisista tai poliittisista syistä vain rajoitetusti käyttöön. Ydinvoiman lisärakentaminen Suomessa rajoittuu rakenteilla olevaan viidenteen reaktoriin.

Skenaario	Pääkohdat Suomen näkökulmasta
<b>Jatkuva kasvu</b>	"Äly-yhteiskunta": Globaali 2 asteen ilmastopöimus toteutuu, taloudellinen menestys, kansainvälistyvä, avoin yhteiskunta, nopea teknologian kehitys, teollisuuden rakennemuutos, tiivistyvä yhdyskuntarakenne
<b>Pysähdys</b>	"Ilmastokriisi": Ilmakehän lämpötilan nousu yli 4 astetta => taloudellinen kriisi, sulkeutuva yhteiskunta, teknologian kehitys hidasta, nykyinen teollinen ja yhdyskuntarakenne
<b>Säästö</b>	"Moderni öljykriisi": Globaali 2 asteen ilmastopöimus toteutuu viivästyneesti => EU:n ilmastopoliittinen etunoja, konservatiivinen teknologiankehitys, energia- ja resurssitehokkuus korostuu, hidastuva talouskasvu, sulkeutuva yhteiskunta, nykyinen teollinen ja yhdyskuntarakenne
<b>Muutos</b>	"Älykäs kuluttaja": Globaali 2 asteen ilmastopöimus toteutuu, korostaa radikaaleja innovaatioita, talousjärjestelmä erilainen => palvelut korostuvat, työ ja vapaa-aika sekoittuvat, kansainvälistyvä, avoin yhteiskunta, hieman hajaantuva yhdyskuntarakenne, teollisuuden rakennemuutos

**Kuva 7.** Vähähiiliskenaarioiden kuvaukset. Pysähdys-skenaariossa EU toteuttaa vähähiilitavoitteen, mutta muu maailma ei. Muissa skenaarioissa on globaalisti sitouduttu hillitsemään ilmastonmuutos kahteen asteeseen.

#### 2.4.5 Ilmasto- ja energiapolitiikkaa koskevat oletukset

Työssä kasvihuonekaasuina tarkasteltiin kaikkia kuutta Kioton sopimuksen käsittelemää kasvihuonekaasua CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>-, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub>, HFC- ja PFC. Vähähiilitavoitteet ilmaistiin EU:n osalta näiden kasvihuonekaasujen kokonaispäästöjen vähentämistavoitteina, ja koko maailman osalta maapallon keskilämpötilan nousulle asetettuna kattona. Asetetut EU:n päästötavoitteet koskevat EU:n päästöjä kokonaisuutena, ilman sitovia maakohtaisia tavoitteita.

Perusskenaariossa (Baseline) oletettiin ilmasto- ja energiapolitiikasta seuraavaa:

- Nykyiset vuoden 2020 politiikat ovat voimassa vuoteen 2030 asti (päästökaupan ulkopuolisen sektorin tavoitteet -16 % vuoteen 2005 verrattuna, uusiutuvien energialähteiden käyttö 38 % loppuenergiankulutuksesta).
- Nykyisten verojen ja tukien oletetaan olevan voimassa koko tarkasteluhorisontin ajan, syöttötariffeja lukuun ottamatta.
- Syöttötariffien taustalla olevia uusiutuvan energian lisäystavoitteita simuloitiin asettamalla tavoitteiden mukaisia vähimmäistasoja, esimerkiksi tuulivoiman tuotannolle ja metsähakkeen käytölle.
- EU:n päästökauppajärjestelmän hintatason oletettiin nousevan tasaisen hitaasti, vain 20 €/n tasolle vuonna 2035 ja 30 €/n tasolle vuonna 2050.

Päästökaupan hintaa lukuun ottamatta myös vähähiiliskenaarioissa käytettiin edellä mainittuja ilmasto- ja energiapolitiikan perusoletuksia. Päästökaupan sijasta niissä asetettiin EU:n vähähiilitiekartan mukainen vähintään 80 %:n kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoite vuodelle 2050 verrattuna vuoden 1990 päästöihin, ja siihen johtava välitavoitteiden polku. Välitavoitteina olivat noin 25 %:n vähennys vuonna 2020, 40 %:n vähennys vuonna 2030 ja 60 %:n vähennys vuonna 2040, kun vuoden 2050 tavoite oli 80 %. Säästö-skenaariossa oletettiin kuitenkin 80 %:n vähennystavoite asetettavan jo vuodelle 2040, jolloin myös välitavoite vuodelle 2030 oli hieman tiukempi, ja myös vuoden 2050 tavoitetta kiristettiin vähän, 83 %:iin.

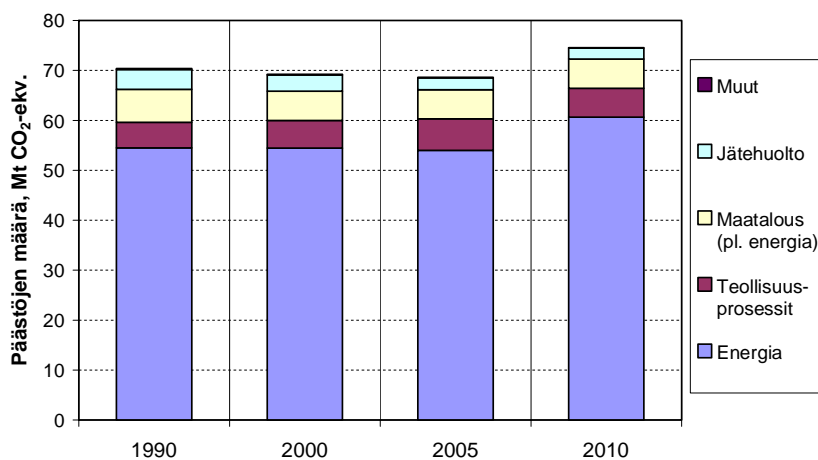
Globaalia ilmastopöimusta simuloitiin asettamalla 2°C:n enimmäislämpenemistä koskevan tavoitteen mukainen yläraja kasvihuonekaasujen pitoisuuden kasvun aiheuttamalle säteilypakotteelle. Pysähdys-skenaariossa simuloitiin vastaavasti 4°C lämpenemistä asettamalla säteilypakotteelle sitä vastaava rajoite.

---

### 3. Tiekartta Suomen vähähiiliseen tulevaisuuteen

#### 3.1 Keskeiset lähtökohdat sekä nykyinen päästö- ja energiatase

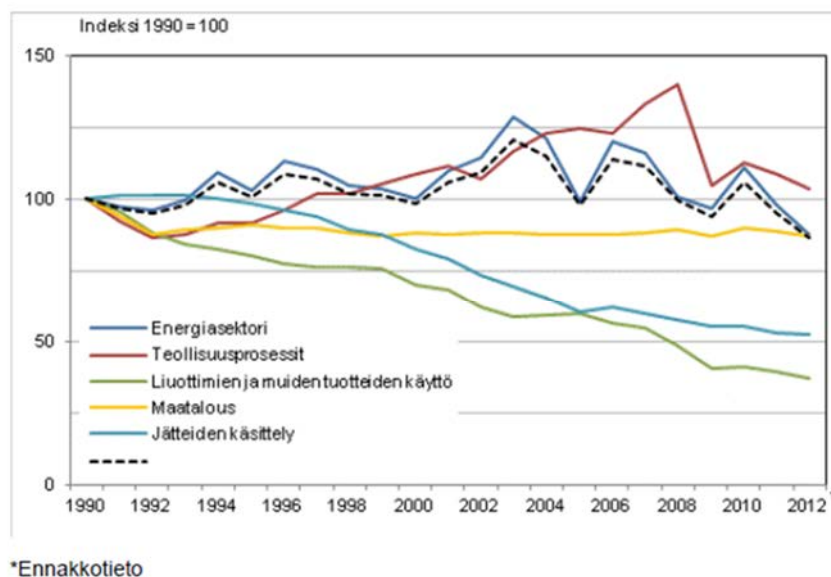
Energian kokonaiskulutus eli primaarienergian kulutus ja sen jakautuminen eri energialähteisiin on kasvihuonekaasupäästöjen kannalta keskeinen kehitystekijä. Viime vuosikymmeninä Suomen kasvihuonekaasujen päästöistä noin 80 % on aiheutunut energian kulutuksesta (**Kuva 8**).



**Kuva 8.** Suomen kasvihuonekaasupäästöt päälähteittäin vuosina 1990–2010. Data: Tilastokeskus (2014a).

Tarkasteltaessa Suomen KHK-päästöjen vuosittaista vaihtelua nähdään, että energiasektorin ja siten myös Suomen yhteenlasketut KHK-päästöt vaihtelevat vuosittain hyvinkin paljon. Tämä johtuu pääosin säävaihteluista, joka toisaalta

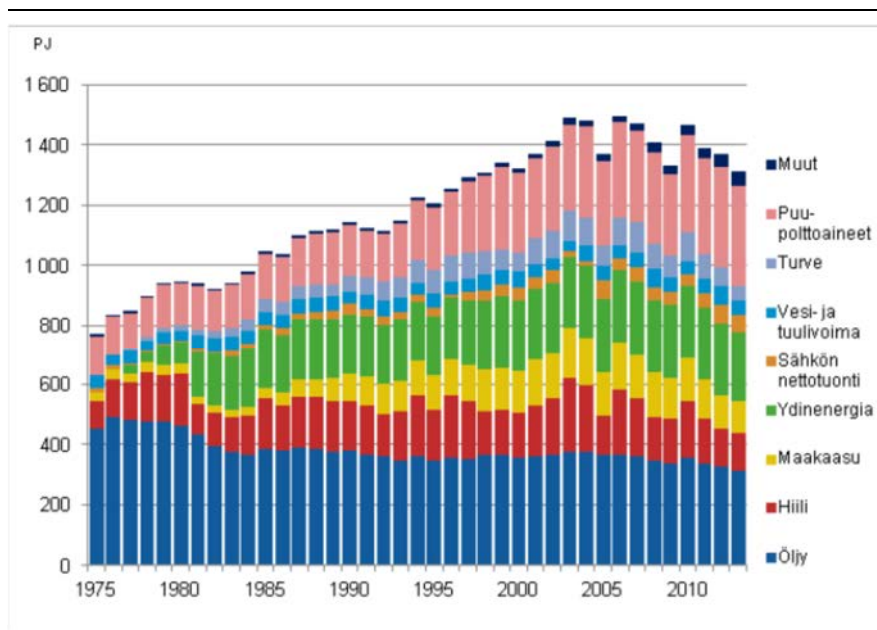
vaikuttaa rakennusten lämmitystarpeeseen ja toisaalta vuosittaisen vesivoimatuotannon määrään. Kylminä ja/tai vähäsateisina vuosina erityisesti kivihiililauhdetuotanto kasvaa, joka lisää Suomen KHK-päästöjä. Teollisuuden KHK-päästöt kasvoivat aina vuoteen 2008 asti, mutta erityisesti energiaintensiivisen vientiteollisuuden hiipuminen on johtanut KHK-päästöjen laskuun viime vuosina. Maatalouden KHK-päästöt ovat olleet vuodesta 1992 lähes vakiot. Sen sijaan jätteiden sekä muiden KHK-päästöjen määrät ovat olleet merkittävässä laskussa, kun molemmilla sektoreilla regulaatiota ollaan tiukennettu.



**Kuva 9.** Suomen KHK-päästöjen kehitys sektoreittain vuosina 1990–2012 (Tilastokeskus 2014b).

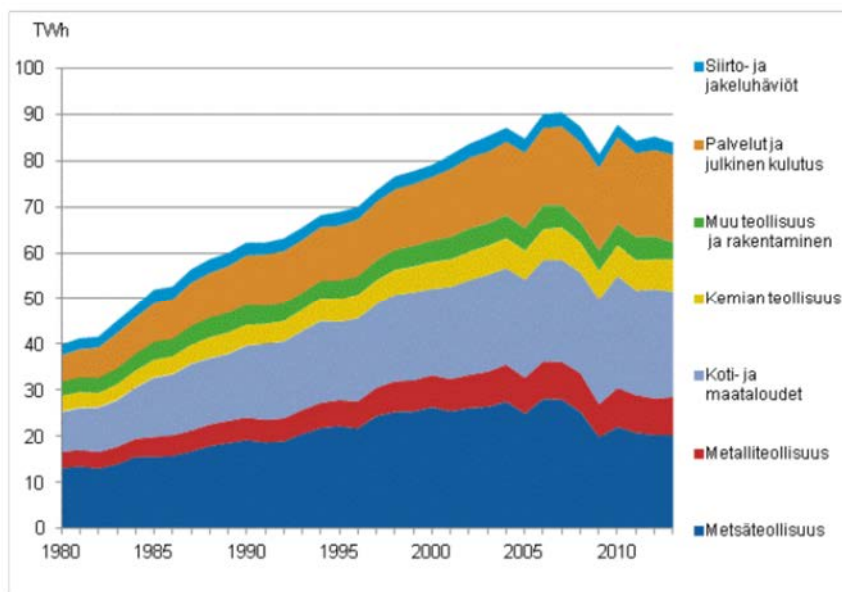
Energian kokonaiskulutus oli Tilastokeskuksen (2014) ennakkotietojen mukaan noin 373 TWh eli noin 1341 PJ vuonna 2013 (

**Kuva 10).** Uusiutuvan energian osuus energian loppukulutuksesta oli vuonna 2013 31 %, kun EU:n Suomelle asettama tavoite on 38 % vuonna 2020. Sähkön kulutus oli 83,9 TWh ja vuonna 2013 ja vajaa 19 % katettiin tuontisähköllä (**Kuva 11**). Sähkön kulutuksen osalta nähdään, kuinka erityisesti metsäteollisuuden sähkönkulutus on laskenut vuodesta 2007. Toisaalta kotitalouksien ja palvelusektorin sähkönkulutus on vuodesta toiseen kasvanut.



\* ennakkollinen

**Kuva 10.** Energian kokonaiskulutus 1975–2013. Vuosi 2013 ennakkollinen (Tilastokeskus 2014b).



**Kuva 11.** Sähkön kulutus sektoreittain 1980–2013. Vuosi 2013 ennakkollinen (Tilastokeskus 2014b).

## 3.2 Suomen luonnonvarat – vähähiilyhteiskunnan tukijalka

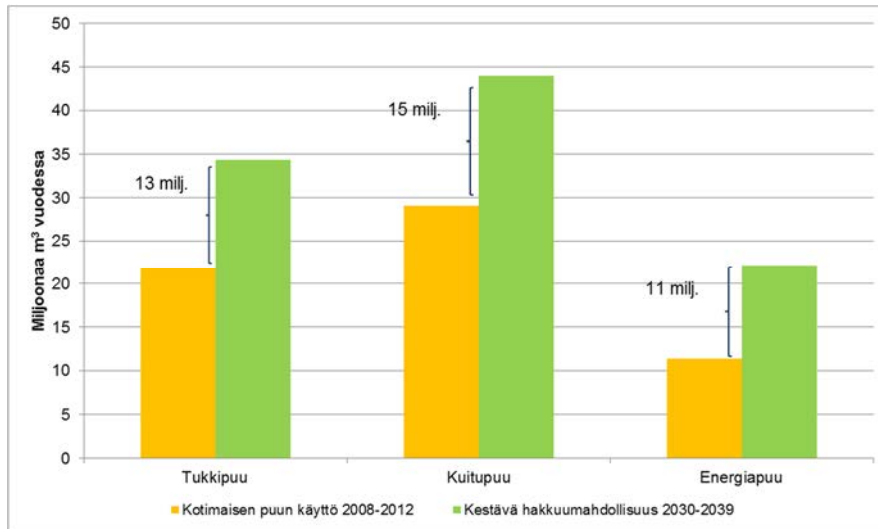
Siirtyminen kohti vähähiilistä taloutta vaikuttaa energiavarojen lisäksi suuresti myös muiden resurssien ja strategisten luonnonvarojen käyttöön. LCFinPlat-hankkeessa tarkasteltiin erityisesti Suomen metsä- ja mineraalivarantojen käyttöä vuoteen 2050 saakka eri vähähiiliskenaarioissa. Skenaariotarkasteluissa on toki huomioitu muutkin luonnonvarat, kuten peltobiomassat, mutta niiden osalta hyödynnettiin muita tutkimuksia (Pahkala & Lötjönen 2012, Regina et al. 2014).

### 3.2.1 Metsävarat ja niiden käyttö

Suomen metsien puuston määrä on ollut jo pitkään vahvassa kasvussa. Metsäteollisuuden kotimaisen raakapuun kysyntä ei ole kuitenkaan 2000 luvun puolivälin jälkeen juurikaan kasvanut. Kotimaisen kuitupuun käyttö on pysynyt jokseenkin ennallaan ja tukkipuun käyttö jopa supistunut metsäteollisuuden rakennemuutoksen myötä. Tulevaisuudessa metsäteollisuuden odotetaan jälleen vahvistuvan ja uusiutuvan ja käyttävän aiempaa enemmän puuta. Myös energiasektorin puun kysynnän oletetaan kasvavan vahvasti.

Mahdollisuus käyttää puuraaka-ainetta energian ja biojalosteiden tuotantoon on yksi Suomen vahvuuksista matkalla kohti vähähiilistä yhteiskuntaa. Koska puun käyttö kasvaa ainakin aluksi pienin askelin, metsien hakkuupotentiaalista jää merkittävä osa hyödyntämättä seuraavan parin vuosikymmenen aikana. Siksi puuston volyyymi karttuu edelleen. Tämä merkitsee myös hiilinielujen kasvua. Sitoutuuhan puustoon ja maaperään sitoutuu enemmän uutta hiiltä kuin mitä hakkuiden ja luonnon poistuman myötä häviää.

Alla (**Kuva 12**) on esitetty kotimaisen puuraaka-aineen nykyinen käyttö ja sen taloudellisesti kestävä lisäämispotentiaali. Metsistä korjattava energiapuu jakautuu lähinnä päätehakkuualoilta kerättyyn latvusmassaan ja kantoihin sekä enimmäkseen metsien harvennuksissa korjattavan runkopuuhun. Energiapuun kysyntä tulee tulevaisuudessa painottumaa yhä suuremmissa määrin runkopuuhun, joka on usein myös kuitupuukokoista, koska tukkipuun kysyntä rajoittaa päätehakkuiden määrää. Bioenergian mahdollisuuksista puhuttaessa nostetaan usein esille sellutehtaiden rooli tulevaisuuden biojalosteiden tuottajana. Ei pitäisi kuitenkaan unohtaa tukkipuuta jalostavan saha- ja vaneriteollisuuden sekä mahdollisesti näiden rinnalle tulevien uusien tukkipuun jalostukseen pohjautuvien tuotantomuotojen kilpailukyvyä edistämistä. Hyvä tukkipuun kysyntä kotimaisilla puumarkkinoilla edistää paitsi päätehakkuualoilta korjattavan metsähakkeen myös kuitupuun tarjontaa.



**Kuva 12.** Kotimaisen puun nykyinen käyttö ja käytön taloudellisesti kestävä lisäpotentiaali. Lähde: Metsäntutkimuslaitos, Metinfo ja MELA tulospalvelu<sup>7</sup>.

Metsävarat tarjoavat siis paljon vapausasteita sekä puun käytön monipuoliselle lisäämiselle että ekosysteemipalvelujen tarjontaan. Jos ilmastonmuutos ei tuo mukanaan huomattavia metsätuhoja, metsien hiilinielut kasvavat ilman lisäpanostuksia. Riittää, että metsänomistajat pitävät huolta metsistään niin sanotun hyvän metsänhoidon suositusten mukaan. Alla (**Kuva 13**) on esitetty metsien hiilinielujen kasvu Base- ja eri vähähiiliskenaarioissa. Kuvasta nähdään, että nielut kasvavat selvästi kaikissa skenaarioissa. Toisaalta Säästö-skenaariossa, jossa kotimaisen metsäbiomassan käyttö on suurin, metsänielu on tarkastelujakson lopulla noin 30 Mt CO<sub>2</sub>/v pienempi kuin Base-skenaariossa.

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ja maankäytön hiilinielujen lisääminen ovat keskeisiä toimenpiteitä, kun pyritään hillitsevän ilmaston muutosta. Metsäsektorin osalta kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttavat eniten metsäteollisuuden energian käyttö ja fossiilisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvalla puubiomasella energiantuotannossa. Metsäteollisuus on itse tärkeä puuperäisen energian tuottaja ja kuluttaja. Lisäksi erityisesti saha- ja vaneriteollisuuden tukkipuun ostomäärä vaikuttaa välillisesti energiantuotantoon käytettävissä olevan kanto- ja oksahakkeen korjuupotentiaaliin. Puubiomassan korjuumäärä vaikuttaa puolestaan metsien hiilinieluun eli kykyyn lisätä puustoon ja maaperään sitoutuneen hiilen määrää.

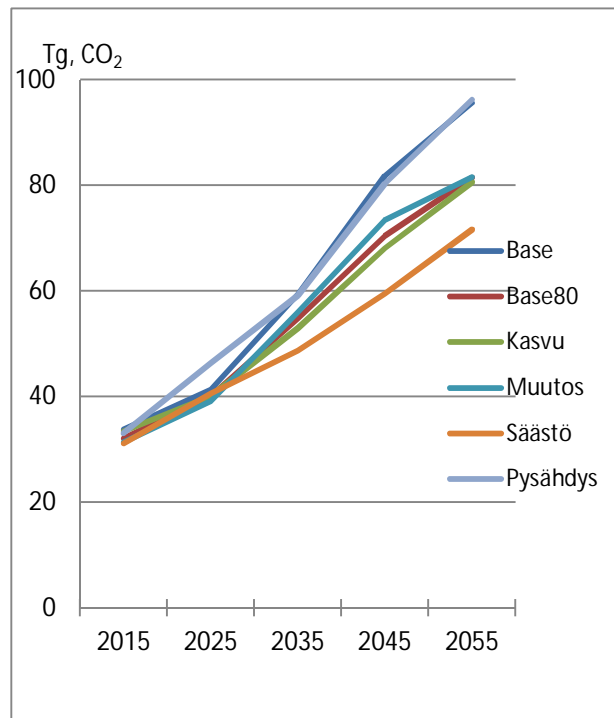
Suomen metsät sitovat ilmakehästä vuosittain hiilidioksidia määrän, joka on noin puolet Suomen muiden sektoreiden kasvihuonekaasupäästöistä. Mahdollisuus hyödyntää metsien hiilinieluja kompensoimaan muiden sektoreiden päästöjä

<sup>7</sup> Ks. <http://mela2.metla.fi/mela/laatuselosteet/2012/laskelmatyypit.php>



on kuitenkin Kioton pöytäkirjassa ja jatkosopimuksissa hyvin rajallinen. Siksi metsänielun kasvattaminen nykyisestä ei tuo Suomelle lisähyötyä ilmastovelvoitteiden saavuttamisessa. Tästä syystä nielujen kasvua ei käytetty LCFinPlat-hankkeessa päästöjen vähentämiskeinoina, vaikka niiden kehitystä tarkastellaan.

Viime vuosina, metsäbiomassan käytön ilmastollisia vaikutuksia on tutkittu laajalti ja tarkastelujen mukaan metsäbiomassan käytön ilmastolliset vaikutukset olisivat jopa negatiiviset (Matthews *et al.* 2014, Kallio *et al.* 2013). Kyseisissä laskelmissa huomioidaan ns. "hiilivelka", joka aiheutuu metsään sitoutuneen hiilen pienemisenä kun lisäksi korvaavan uuden puun kasvunopeus on hidas. Jatkossa metsäbiomassan hiilineutraaliuteen, eli ns. nollapäästöisyyteen, sisältyykin huomattavia epävarmuustekijöitä, jotka tulee huomioida jatkotarkasteluissa ja mahdollisissa poliittisissa päätöksissä. LCFinPlat-hankkeen skenaariotarkasteluissa oletettiin, että biopohjaisten raaka-aineiden käyttö on lähtökohtaisesti edelleen hiilineutraalia, eli niiden käyttö energiatuotannossa tai liikennesektorin energialähteenä ei tuota ilmakehään kasvihuonekaasupäästöjä. Skenaariotarkastelujen herkkyytarkasteuissa kuitenkin oli mukana laskentatapaus, jossa arvioitiin bioenergian ja liikenteen biojalosteiden kilpailukykyä tilanteessa, jossa päästökerroin ei olisikaan nolla (vrt. luku 5.1).












**Kuva 13.** Metsien hiilinielujen kehitys eri skenaariossa, eli hiilivaraston kasvu per vuosi. 1 Tg = 1 Mt

### 3.2.2 Mineraali- ja metallivarat

Monet vähähiiliselle yhteiskunnalle tärkeitä, puhtaat energiateknologiat (esim. aurinkosähköpaneelit ja tietyt akkuteknologiat) ovat riippuvaisia tietyistä metalleista, joiden saatavuus ja hinta saattavat muodostua pullonkaulaksi kehitykselle ja uuteen energiateknologiaan investoimiselle. Toisaalta kotimaisen ja EU-alueen metallikaivosteollisuuden vähenemisen myötä Suomen ja Euroopan unionin teollisuus on muuttunut lähes täysin riippuvaiseksi metallien tuonnista. EU onkin laatinut listan ns. kriittisistä metalleista. Suomessa tuotetaan tälläkin hetkellä useita kriittisiksi arvioituja metalleja: kobolttia, platinaa, palladiumia ja hopeaa. Lisäksi useiden kriittisten metallien ja mineraalien esiintymiä tunnetaan Suomen kallioperässä ja suurella osalla raaka-aineista on hyvä löytöpotentiaali uusille esiintymille (vrt. **Kuva 14**). Kobolttin jalostajana Suomi on maailman suurimpia tuottajamaita ja platinametallien ja hopean osuudet tulevat todennäköisesti tulevaisuudessa kasvamaan. Kyseisten metallien kotimainen tuotanto on kuitenkin omasta

kaivostuotannostakin huolimatta hyvin riippuvaista tuodusta raaka-aineesta. Kaivosteollisuusmaana Suomen tilanne raaka-aineiden saannin suhteen on keskimäärin parempi kuin monien muiden Euroopan maiden, mutta teollisuuden kannalta on tärkeää selvittää, miten paljon potentiaalia kallioperässämme on kriittisten raaka-aineiden tuottamiselle. Useilla kriittisillä metalleilla ja mineraaleilla on tämänhetkisen tiedon perusteella hyvä esiintymispotentiaali Suomen ja Fennoskandian kallioperässä.

#### EU:n määrittelemät kriittiset metallit ja mineraalit (2010):

Antimoni 	Indium  (luultavasti)
Beryllium 	Koboltti  *
Fluoriitti (mineraali)	Magnesium (metalli ja mineraali)
Gallium	Niobi 
Germanium	Platinaryhmän metallit (PGM) 
Grafiitti (mineraali)	Tantaali 
 Harvinaiset maametallit (REE)	Volframi 

\* 2010 Suomi oli Kiinan jälkeen maailman 2. suurin kobolttinjalostaja

**Kuva 14.** EU:n määrittelemät kriittiset metallit ja mineraalit sekä niiden esiintymisen Suomen kallioperässä.

LCFinPlat-hankkeessa arvioitiin globaalilla energiasektorilla lähivuosikymmeninä tapahtuvaa muutosta huomioiden muutoksesta aiheutuvat erityismetallien tarpeet (ks. Grandell 2014, Grandell & Thorenz 2014). Arvoissa huomioitiin seuraavat teknologiat: aurinkosähkö (sekä aurinkosähköpaneelit että keskittävä aurinkovoima), tuulivoima, polttokennot, elektrolyysi, vetyvarastot, akkuteknologia, sähköautot ja energiaa säästävä valaistus. Näissä teknologioissa esiintyviä erityismetalleja ovat:

- Hopea (Ag) ja puolijohteet (In, Te): aurinkoteknologiat
- Platinaryhmän metallit (Ru, Pt, Pd): katalyytit
- Koboltti: elektrolyysi, polttokennot ja akkuteknologiat:
- Harvinaiset maametallit (Nd, Dy, Tb, Pr): kestomagneetit tuulivoimaloissa ja sähköautojen moottoreissa
- Muut harvinaiset maametallit (Tb, Y, La, Ce, Eu, La, Ce, Y): energiansäästö valaisimet, akkuteknologiat, polttokennot.

VTT:n mallinnustarkasteluiden mukaan erityisesti hopean, indiumin ja telluurin osalta voidaan ennustaa kiristyvää markkinatilannetta, johon tulisi reagoida joko lisäämällä malmin etsintää tai kehittämällä joko korvaavia materiaaleja tai korvaavia teknologioita. Kaikki kolme metallia ovat keskeisiä aurinkoenergian infrastruktuurin rakentamisessa ja siten metallien saatavuus ja hintakysymykset saattavat

toimia esteenä aurinkoenergian roolin merkittävälle kasvattamiselle. Myös harvinaisten maametallien (Nd, Dy, La), koboltin, sekä platinaryhmän metallien (Pt, Ru) osalta voimme odottaa kysynnän merkittävää kasvua.

### 3.1 Uudistuva teollisuus vähähiilisessä yhteiskunnassa

#### 3.1.1 Metsäteollisuuden kehityspotit

Metsäteollisuuden tuotteiden kysynnän ja sitä myöden Suomalaisen metsäteollisuuden kehitykselle oletettiin erilaisia kehityspotteja perustuen toisaalta päivitetyn energia- ja ilmastostrategian (TEM 2013) oletuksiin ja toisaalta olettaen voimakkaasti uudistuva metsäteollisuus, joka panostaa korkeamman jalostusasteen tuotteisiin. Metsäsektorin kehityksen kuvailemiseksi käytettiin asiantuntija-arvioita ja niitä tukevia mallityökaluja. Tässä on esitetty yhteenveto metsäteollisuuden skenaarioiden lähtökohdista ja tarkempi kuvaus löytyy Metlan osaraportista (Kallio *et al.* 2014).

Alla (**Taulukko 1**) on esitetty yhteenveto mekaanisen metsäteollisuuden sekä massa- ja paperituotteiden tuotannon kehityksistä eri Baseline- ja vähähiiliskenaarioissa. Sahatavaran kysynnän oletetaan pysyvän ennallaan reilussa 10 miljonnassa kuutiometrissä Baseline ja Base-80% -skenaariossa. Suomalaisen sahataran kysynnän kasvu on voimakkainta Säästö-skenaariossa, jossa korjausrakentaminen kasvaa ripeästi rakentamista koskevien säännösten myötä ja jossa puurakentamista suositetaan uudisrakentamisessa. Lisäksi puun oletetaan lisäävän suosiotaan kestäväenä ja ekologisena materiaalina huonekaluteollisuudessa ja sisustamisessa. Myös skenaarioissa Pysähdys ja Jatkuva kasvu Suomessa tuotetulle sahatavaraletta oletetaan perusskenaariota suurempaan kysynnän nousua puurakentamisen suosion kasvun myötä. Skenaariossa Muutos sekä sahatavaran että vanerin kysyntä sen sijaan pienenee voimakkaasti uusien korvaavien puupohjaisten materiaalien myötä.

**Taulukko 1.** Yhteenveto mekaanisen metsäteollisuuden sekä massa- ja paperituotteiden tuotannon kehityksistä eri skenaarioissa.

		Base-line	LowC-skenaariot	Base-line	LowC-skenaariot
Mekaaninen metsäteoll.	2010	2025	2025	2050	2050
Sahatavara	9,5	10,4	9,9-11,0	10,5	5,5-13,4
Vaneri	1,0	1,5	1,1-1,5	1,5	0,9-1,1
Lastu- ja kuitulevyt	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Uudet tuotteet	n.a.	0,1	0,3-2,0	0,1	0,5-5,2
<b>Yhteensä</b>	<b>10,7</b>	<b>12,1</b>	<b>12,4-14,0</b>	<b>12,1</b>	<b>11,6-17,0</b>

<b>Massa- ja paperituotteet</b>	<b>2010</b>	<b>2025</b>	<b>2025</b>	<b>2050</b>	<b>2050</b>
Paino- ja kirjoituspaperit	7,5	6,6	4,2-5,0	6,4	1,2-3,0
Kartongit, nykyiset	2,8	3,6	2,6-3,2	3,9	2,0-3,0
Muut paperit, nykyiset	1,5	1,6	1,2-1,4	1,6	0,9-1,4
Vientimassa, perinteiset	2,2	2,9	2,6-3,1	2,9	1,8-3,8
Uudet paperi-, kartonki- ja massatuotteet	0,1	0,3	0,3-1,6	0,3	0,3-3,1
<b>Yhteensä, Mt</b>	<b>14,1</b>	<b>15,1</b>	<b>11,1-13,3</b>	<b>15,1</b>	<b>8,4-12,1</b>

Monet nykyisistä metsäteollisuustuotteista ovat tulleet elinkaarensa käännekohtaan. Erityisesti paino- ja kirjoituspaperien kysyntä on viime vuosikymmenellä hiipunut Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa digitaalisen median kasvun sekä viime vuosina myös maailmantalouden heikon kehityksen seurauksena. Tarkasteluissa skenaarioissa Suomen paino- ja kirjoituspaperien kysyntä supistuu, lukuun ottamatta Baseline ja Base-80% -skenaarioita, joissa kysynnän oletetaan pysyvän lähempänä Suomen nykyisen tuotantokapasiteetin tasoa tarkastelujakson loppuun asti. Paino- ja kirjoituspaperien kysyntä alenee voimakkaimmin skenaarioissa Muutos, Jatkuva kasvu ja Pysähdys, kahdessa ensiksi mainitussa teknisen kehityksen ja kuluttajien hyvän ostovoiman vauhdittamana, jälkimmäisessä heikon talouskehityksen ja maailmankaupan sirpaloitumisen seurauksena. Tarkastelujakson lopulla pienin kysyntä on skenaariossa Muutos, jossa uusien nykyisiä papereita korvaavien keksintöjen oletetaan vähentävän paperien ja paperisen median käyttöä kaikissa käyttäjäryhmissä. Skenaarioissa Jatkuva kasvu ja Muutos osa perinteisten paino- ja kirjoituspaperien kulutuksesta suuntautuu mahdollisesti uusiin vanhoja paperilaatua korvaaviin mediasisällöllä ladattaviin älypapereihin ja kirjoituslaitteisiin. Nykyisten kaltaisten pakkauskartonkien kysynnän oletetaan pysyvän ennallaan vuoteen 2025 asti kansainvälisen kaupan kasvun ja nettikaupan yleistymisen myötä. Perinteisten massa- ja paperituotteiden rinnalle tai sijaan oletetaan tulevan jonkin verran uusia massa- ja kuitutuotteita kaikissa skenaarioissa, mutta erityisesti niiden kysyntä ja tuotanto kasvavat skenaariossa Jatkuva kasvu ja Muutos, joissa vuonna 2050 tuotetaan kolme miljoonaa tonnia tällaisia uusia tuotteita Suomessa.

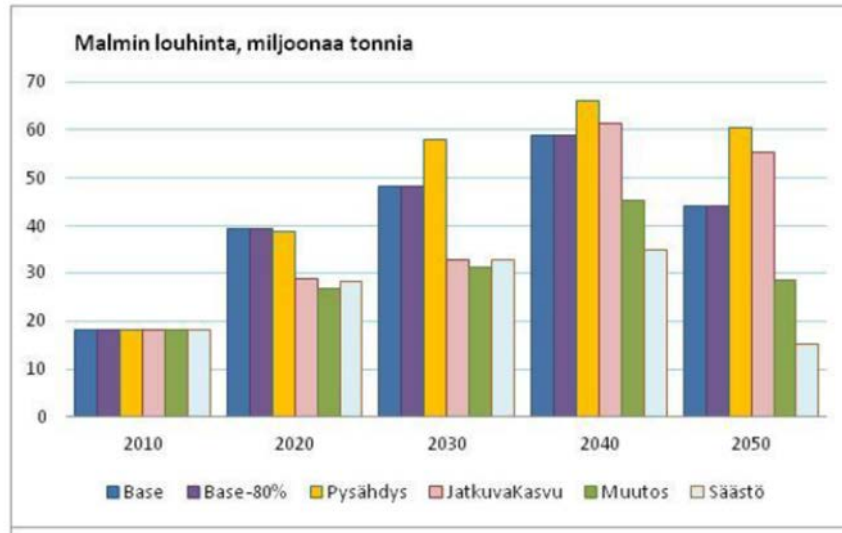
### 3.1.2 Kaivosteollisuuden kehityspolut

Metallikaivostoiminta muodosti yhden tarkastellun kokonaisuuden, jota tarkasteltiin tarkemmin GTK:n osaraportissa (Kihlman et al. 2014). Kaikissa kehityspoluissa otettiin huomioon kaivostoiminnan tämänhetkinen sekä lähitulevaisuuden toden-

---

näköisin kehitystilanne Suomessa. Kaivostoiminnan kehittymisen arviointia vaikeuttaa lähtökohtaisesti se, että ko. teollisuuden ala on voimakkaasti sidoksissa kansainvälisen taloustilanteen ja mineraalimarkkinoiden kehittymiseen. Muutokset Suomessa tai edes EU:ssa eivät näin ollen välttämättä vaikuta kaivosteollisuuteen merkittävästi, jos samat muutokset eivät heijastu kansainväliselle tasolle (tai kansainväliseltä tasolta Suomeen ja EU:iin). Kaivostoiminnan kehityspotentiaali rakennettiin sen pohjalta, miten arvioitiin kaivostoiminnan reagoivan yleisissä kehityspotentiaaleissa oletettuihin muutoksiin taloudessa, politiikassa ja metallien kysynnässä. Laskennan perusaineiston muodostavat toimivat kaivokset, rakenteilla ja suunnitteilla olevat kaivokset ja mahdollisesti tulevaisuudessa kaivoksiksi etenevät etsintäkohteet (vrt. **Kuva 15**).

Baseline ja Base -80% -skenaariossa oletettiin kaivostoiminnan kehittyvän Suomessa vuoden 2013 tilanteen pohjalta ilman suuria muutoksia, toisin sanoen oletettiin pitkälle edenneiden kaivoshankkeiden toteutuvan suunnitellusti ja nykyisten kaivoshankkeiden jatkavan toimintaansa suunnitellusti. Jatkuvan kasvun – skenaariossa kaivosteollisuus on kasvava teollisuudenala. Sekä kriittisten metallien, että perusmetallien kysyntä kasvaa, joskin perusmetallien kysynnän kasvu maltillistuu. Kehityspotentiaali kuvaa käytännössä nykyistä kehitystä, johon kohdistuu markkinoilta kasvavan kierrätyksen ja korvaavuuden ajamana perusmetallien maltillisempi kysynnän kasvu ja toisaalta uuden energiateknologian ja clean tech:n vaativa kriittisten metallien kysynnän kasvu. Muutos -skenaariossa korkean teknologian tuotteiden valmistuksessa tarvittavien kriittisten mineraalien kysyntä on korkea. Sitä vastoin perusmetallien kysyntä laskee tehostuneen kierrätyksen, korvaavuuden ja materiaalitehokkuuden ansiosta. Ympäristötietoisuus on korkealla tasolla ja esimerkiksi kullin kysyntä ja louhinnan sosiaalinen hyväksyttävyyden laskee, jolloin sen hyödyntäminen ainoana metallina rajoittuu. Pysähdys-skenaariossa Suomeen ja EU-alueelle oletettiin talous, joka ei pysty samalla tavoin tukeutumaan kansainväliseen kauppaan kuin aiemmin. Siten perusmetallien raaka-aineet on hankittava omalta markkina-alueelta, jotta metalliteollisuuden toimintaedellytykset voidaan turvata. Koska Suomi on yksi EU-alueen rikkaimmista maista geologisten luonnonvarojen osalta, oletettiin kaivostuotteiden kysynnän kohdistuvan tässä tapauksessa myös tänne. Näin ollen mallinnettiin kehitys, jossa erityisesti perusmetallien raaka-aineiden kysyntä Suomessa nousee ja oletettiin, että suurimpien/kannattavimpien esiintymien hyödyntämiseen löytyy rahoitus ja kaivosta operoiva yhtiö. Kaivostoiminta on Säästö-skenaariossa taantuva toimiala erityisesti vähentyvän perusmetallien kysynnän vaikutuksesta. Myöskään kriittisten metallien kysyntä ei Säästö-skenaariossa kasva. Säästö-skenaariossa ydinvoiman osuus energiantuotannossa on suurempi, mikä näkyy uraania sisältävien esiintymien profiiliin nousuna. Myös kullin investointiarvo on korkea.



**Kuva 15.** Arvioitu malmin louhinta eri skenaariossa.

Talvivaaran kaivos Sotkamossa on Suomen muihin kaivoksiin verrattuna louhintamäärältään suuri ja vaikuttaa siten merkittävästi skenaarioiden tuloksiin. Kaivoksen viimeaikaisten tuotanto- ja rahoitusongelmien vuoksi päätettiin kaivostoiminnan jatkuminen Talvivaarassa sisällyttää Base, Base-80% ja Pysähdys-skenaarioihin (heijastaen perusmetallien kysynnän kasvua ja perinteisiä arvoja) ja toisaalta kaivostoiminnan mahdollinen loppuminen Talvivaarassa Muutos, Säästö ja Jatkuva kasvu -skenaarioihin (heijastaen perusmetallien kysynnän heikkenemistä ja korkeita ympäristöarvoja). Lisäksi Jatkuva kasvu -skenaariossa mallinnettiin kaivostoiminnan uudelleen käynnistäminen Talvivaarassa vuonna 2040 hypoteettisellä clean tech -menetelmällä. Jatkuva kasvu -skenaariossa näkyvä voimakas kasvu vuoden 2030 ja 2040 välillä selittyi paitsi kaivostoiminnan uudelleen käynnistämällä Talvivaarassa, myös Lapin platinametalliesiintymien osittaisella hyödyntämisellä. Platinametallien kysynnän oletettu kasvu näkyy myös Muutos-skenaarioiden tuloksissa samalla aikavälillä.

### 3.1.3 Perusmetalliteollisuus

Perusmetalliteollisuus on yksi Suomen vientiteollisuuden keskeisistä perinteisistä toimialoista. Rauta- ja terästeollisuus on mainittu Suomen kasvihuonekaasuinventareissa yhdeksi merkittävimmistä päästölähteistä. Perusmetallien valmistuksen osuus Suomen kasvihuonekaasujen kokonaispäästöistä oli noin 7 % vuonna 1990 ja noin 8 % vuonna 2010. Myös toimialan osuus sähkön kokonaiskulutuksesta on varsin suuri, noin 7 %.

Perusmetalliteollisuuden päästöjen tärkeimpiä vähentämiskeinoja ovat tuotantoprosessien energiatehokkuuden parantaminen, uudet polttoaineet ja tuotantoprosessit sekä hiilidioksidin erotus ja varastointi (CCS). Suomessa käytössä ole-

---

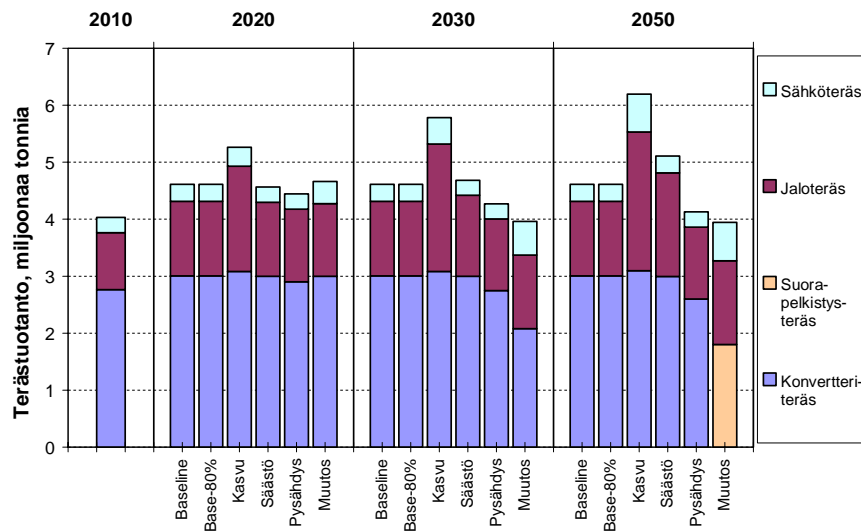
van teräksen valmistuksen tuotantoteknologian energiatehokkuutta ei voida radikaalisti parantaa, sillä prosessien energiatehokkuus ei ole enää kaukana termodynaamisesta minimikulutuksesta. Hiiliteräksen tuotannossa käytetään koksishiiltä metallin pelkistysprosessissa, jonka vuoksi hiiliteräksen tuotannon CO<sub>2</sub>-päästöt ovat suuret. Päästöjä voitaisiin korvaamalla fossiilista hiiltä biopelkistimillä, mutta tarvittavan biomassan määrä muodostuisi valtavaksi, ja toisaalta kestäväälle bio-raaka-aineelle on lukuisia muita käyttökohteita.

Skenaariotarkasteluissa on merkittävää, miten perusmetalliteollisuuden tuotantovolyymien oletetaan kehittyvän eri skenaarioissa. Terästeollisuuden kehityksen osalta oletettiin kaikissa skenaarioissa, että suomalaisen teräksen tuotanto on kilpailukyistä globaaleilla markkinoilla ja että terästä tuotetaan nykyisillä paikkakunnilla nykyisenkaltaisilla prosesseilla. Muutos-skenaariota lukuun ottamatta, jossa oletetaan uusien teräksenvalmistusprosessien tulevan markkinaehtoisiksi.

Alla (

**Kuva 16)** on esitetty teräksen tuotannon kehitys eri skenaarioissa tuotantoprosesseittain ja lisäksi Liitteessä A on esitetty perusmetallien valmistuksen toimialan kehitystä koskevat keskeiset skenaario-oletukset. Konvertteriteräksen (l. hiiliteräksen) tuotannon osalta oletuksena oli, että tuotanto on maksimissaan nykyisen tuotantokapasiteetin tasolla. Konvertteriteräksen KHK-päästöjen vähentämisen osalta on merkittävää, että hiilidioksidin erotus ja varastointi (CCS) kaupallistuvat riittävän ajoissa. Tässä työssä hyödynnettiin aiempia tutkimuksia terästeollisuuden integroitavasta CCS:ä (ks. Teir et al. 2011). Muutos-skenaariossa oletettiin, että terästuotannon kokonaisvolyymi on alhaisempi kuin muissa skenaarioissa, mutta että terästuotteet olisivat enenevässä määrin korkeamman jalostusasteen omaavia erikoistuotteita.





Kuva 16. Terästeollisuuden kehitys eri skenaarioissa.

Suomessa tuotetaan lisäksi jaloterästä ja sähköterästä. Erityisesti sähköteräksen tuotannon kilpailukyvyyn näkökulmasta on tärkeää, miten sähkön hinta kehittyi Suomessa verrattuna kilpaileviin markkina-alueisiin. Muiden merkittävien perusmetallien, eli sinkin, kuparin ja nikkelin valmistusprosessit ovat myös merkittäviä sähkön kuluttajia ja niiden tuotannon kilpailukyky on myös riippuvainen sähkön hinnan kehityksestä Suomessa.

### 3.1.4 Muu teollisuus ja polttoaineiden jalostus

Energia- ja päästöskenaariotarkastelujen kannalta tärkeitä muita teollisuustoimialoja ovat polttoaineiden jalostus (öljy- ja kivihiilituotteiden valmistus), kemikaalien ja kemiallisten tuotteiden valmistus ja rakennusaineteollisuus (l. lähinnä sementin valmistus). Skenaariotarkasteluissa on kuitenkin huomioitu myös muiden teollisten toimialojen energiankulutus ja KHK-päästöt. Kansantaloustarkasteluissa toimialaluokittelu on puolestaan huomattavasti yksityiskohtaisempi, joten kaikki Suomen teolliset toimialat on huomioitu jollain tasolla tarkasteluissa.

Edellä esitetyn muun teollisuuden toimialojen osalta skenaarioissa on varioitu toimialojen tuotannon volyymejä sekä jossain määrin volyyymiin verrannollisten loppukäyttäjien energian ominaiskulutusten kehitystä. Muilta osin työssä ei ollut mahdollista hahmotella tarkemmin toimialojen mahdollisia kehityspolkuja, eli skenaarioissa niille oletettiin käytännössä nykyisen kaltaiset teollisuustuotteet.

Joillakin muilla kuin edellä mainituilla teollisuuden toimialoilla CCS voi kaupallistuessaan tulla merkittäväksi päästöjen vähennyskeinoksi. Mineraaliöljynjalostuk-

sen yhteydessä tuotetaan vetyä ns. höyryreformointiprosessilla, joka tuottaa lähes puhdasta, helposti talteenotettavaa hiilidioksidia. Suomessa tämä CO<sub>2</sub> otetaan jo nykyisin talteen ja myydään teollisuuskaasuksi. Myös biodieselin ja biobensiinin valmistuksessa FT-prosessilla saadaan sivutuotteena pienin lisäkustannuksin talteenotettavissa olevaa hiilidioksidia. Muussa teollisuudessa CCS voi Suomessa tulla kyseeseen lähinnä sementin valmistuksessa, jonka prosessikuvauksissa on mukana hiilidioksidin talteenoton sisältävä teknologiavaihtoehto.

### 3.2 Maatalouden kehitys

Maatalouden KHK-päästöt olivat vuonna 2010 noin 11 % vuoden 1990 KHK-päästöistä, joten on ilmeistä, että pyrittäessä jopa 80–90 %:n vähennyksiin Suomen kokonaispäästöissä myös maatalouden päästöjen vähentämismahdollisuudet on otettava huomioon. Skenaariotarkastelussa käytettiin maatalouden kehityksestä ja päästöjen vähennyspotentiaalista kussakin skenaariossa hieman erilaisia oletuksia. Baseline-skenaarion mukainen viljellyn peltoalan ja kotieläinkannan kehitys vastaa kohtuullisen hyvin MTT:n julkaisemaa perusarviota (Regina *et. al* / 2014). Keskeisten oletusten eroavaisuudet on koottu taulukkoon (**Taulukko 2**). Tarkemmat skenaario-oletukset mm. oletuksista päätövähennyspotentiaaleihin on esitetty VTT:n osaraportissa (Lehtilä *et al.* 2014).

**Taulukko 2.** Skenaario-oletukset liittyen maatalouden kehitykseen Suomessa.

	Baseline / Base-80%	Jatkuva kasvu	Säästö	Pysähdys	Muutos
Viljelty peltoala	Vähenee (-2 %)	Vähenee (-28 %)	Kasvaa (+8 %)	Kasvaa (+1 %)	Vähenee (-31 %)
Luomutuotannon max osuus peltoalasta	Varovainen (max 20 %)	Kohtalainen (max 25 %)	Suuri (max. 45 %)	Kohtalainen (max 25 %)	Melko suuri (max. 35 %)
Turvemaiden osuus viljelyalasta	Vakio	Vakio	Vakio	Vakio	Vakio
Nautakarjan määrä	Vähenee (-26 %)	Vähenee (-50 %)	Vähenee (-11 %)	Vähenee (-18 %)	Vähenee (-57 %)
Sikakarjan määrä	Vähenee (-4 %)	Vähenee (-36 %)	Kasvaa (+15 %)	Vähenee (-5 %)	Vähenee (-49 %)
Siipikarjan määrä	Vähenee (-4 %)	Vähenee (-25 %)	Kasvaa (+14 %)	Vähenee (-4 %)	Vähenee (-15 %)

### **3.3 Yhdyskuntarakenne energiatehokkaiden rakennusten ja liikenteen mahdollistajana**

Eheä yhdyskuntarakenne on tärkeä sekä energiatehokkaiden rakennusten että liikenteen näkökulmista. Rakennukset ovat entistä enemmän osa energijärjestelmää, eivätkä pelkkiä kulutuskohteita. Toisaalta sähköisen liikenteen lisääntymisen myötä myös liikenne integroituu energijärjestelmään aiempaa enemmän. Joukkoliikenteen osuuden lisääminen sekä henkilöliikenteen suorituserien pienetäminen onnistuu tehokkaasti tiiviimmässä yhdyskuntarakenteessa. Toisaalta tulevaisuudessa eri teknologiat antavat enemmän mahdollisuuksia toteuttaa erilaisia yhdyskuntarakenteita vähäpäästöisesti.

Rakennusten energiatehokkuuden lisäksi tulee muistaa myös tilojen käytön tehokkuus. Sama pätee esimerkiksi tavaraliikenteeseen. Kuljetusten tehokkuutta voi lisätä parantamalla kuljetusten logistiikkaketjuja, eli minimoimalla kuljetusvälineiden tyhjänä liikkuminen ja lisäämällä erilaisia kuljetuspalveluja, joista hyvänä esimerkkinä ovat ruokaostosten kotiinkuljetukset. Toisaalta älykkäät energijärjestelmät, eli älykkäät rakennukset ja liikenne älykkäissä energijärjestelmissä luovat mahdollisuuden tehokkaampaan energiankäyttöön ja lisäävät kuluttajien hyvinvointia ja mukavuutta.

#### **3.3.1 Rakennuskannan kehitys**

LCFinPlat-skenaarioissa oletettiin erilaisia kehityspolkuja toisaalta yhdyskuntarakenteen osalta ja toisaalta uusien teknologioiden kehityksen ja käyttöönoton osalta. Alla (Taulukko 3) on esitetty yhteenveto rakennuskannan kehityksistä eri skenaarioissa. Baseline ja Base -80%, Säästö- ja Pysähdys -skenaarioissa oletettiin nykyisen kaltainen yhdyskuntarakenne. Jatkuvan kasvun -skenaarioissa oletuksena oli tiivistyvä, smart city-tyyppinen yhdyskuntarakenne, eli keskittymisen tiiviimmille rakennetuille alueille oletetaan voimistuvan. Liike- ja palvelurakennuksille tämä kehitys tarkoittaa haja-asutusalueiden tilantarpeen Baseline-skenaariota nopeampaa pienenemistä ja siten vanhojen rakennusten kannasta poistumisen nopeutumista. Muutos-skenaariossa puolestaan radikaali teknologinen murros mahdollistaa hieman hajaantuvan yhdyskuntarakenteen. Tämä näkyy omakotitalojen osuuden voimakkaana lisääntymisenä ja hajaantuvan asutuksen palvelemiseen tarvittavien julkisten rakennusten määrän kasvuna. Muutos-skenaariossa taustajatuksena myös oli, että robotit korvaavat työtekoa ja työntekemisen käsite muuttuu. Työtä voidaan siten tehdä helpommin riippumatta asuinpaikasta. Samoin sähköiset palvelut korvaavat perinteisiä palveluja ja 3D-tulostamisen merkitys kasvaa. Uudet teknologiset ratkaisut, esimerkiksi energianvarastoinnin osalta, mahdollistavat myös muita skenaarioita paremmin hajautetun energiantuotannon.

**Taulukko 3.** Rakennuskannan kehitys eri skenaarioissa. Base-80%, Säästö ja Pysähdys-skenaarioissa rakennuskanta on sama kuin Baseline-skenaariossa.

Rakennuskanta 1000 m <sup>2</sup>	2010	Baseline 2050	Jatkuva kasvu 2050	Muutos 2050
Omakotitalot	147 000	171 000	147 000	207 000
Rivitalot	31 000	35 000	37 600	31 900
Asuinkerrostalot	88 000	94 000	99 600	86 800
Vapaa-ajan rakennukset	21 000	24 000	24 000	19 800
Liike- ja toimistorakennukset	69 000	80 000	69 800	64 200
Julkiset palvelurakennukset	36 000	40 000	35 500	43 800
Tuotantorakennukset	118 000	110 000	79 100	79 900
<b>Yhteensä, 1000 m<sup>2</sup></b>	<b>510 000</b>	<b>554 000</b>	<b>492 600</b>	<b>533 400</b>

Rakennuskannan energiankulutuksen kehityksen osalta on oletettu etenevän joko Baseline mukaisesti, perustuen rakennussäädösten odotettavissa olevaan tiukentamiseen, tai nopeutettua tahtia kaikissa vähähiiliskenaarioissa. Baseline-skenaariossa energiakorjauksia on oletettu tehtävän vain, kun rakennus- tai rakennusosa on päätetty korjata jostakin muusta syystä. Korjaukset etenevät Baseline-skenaarion mukaisesti myös Muutos- ja Jatkuva kasvu ja Pysähdys -skenaarioissa, mutta nopeutetulla kehityksellä. Säästö-skenaariossa on oletettu tehostettu energiakorjaustoiminta siten että rakennukset korjataan uudisrakennuksen tasoon ja korjauksia tehdään noin kaksinkertainen määrä Baseline-skenaarioon verrattuna.

### 3.3.2 Liikenteen suoritteiden kehitys

Oletukset liikenteen kehitykset perustuvat suurelta osin VTT:n aiemmassa Low Carbon Finland -hankkeessa (VTT 2012) laadittuihin kysyntä- ja teknologia-arvioihin. Henkilöliikenteen kysyntään ja sen liikennemuodoittaiseen jakaumaan vaikuttavat erityisesti väestön ja yhdyskuntarakenteen sekä ostovoiman kehitys, ja tavaraliikenteen kehitykseen näiden lisäksi talouden rakenteellinen kehitys. Myös väestön ikääntyminen vaikuttaa omalta osaltaan sekä henkilö- että tavaraliikenteen määriin.

Alla (**Taulukko 4**) on esitetty liikenteen suoritteiden kehitys eri skenaarioissa. Suoritteet on esitetty sekä henkilöliikenteen kehitykselle (1000 henkilö-km) ja tavaraliikenteelle (1000 kuljetettu tonni-km). Tarkastelluista skenaarioista Baseline-skenaarion liikenteen kysyntä on pyritty muodostamaan siten, että liikenteen kysynnän kehitys vastaa mahdollisimman hyvin oletettuja talouden ja yhdyskuntarakenteen kehitysarvioita Suomen energijärjestelmän perusrakenteessa (LVM 2009, LVM 2013). Taulukosta nähdään, että suurimmat liikennesuoritteet ovat Baseline-skenaariossa ja pienimmät Jatkuva kasvu-skenaariossa, jossa tiivistyvä yhdyskuntarakenteen, älykäs liikenne, tehostetut tavarakuljetukset sekä joukkoliikenteen kasvu johtavat liikennesuoritteiden laskuun. Muutos-skenaariossa on käytetty

liikenteen osalta samoja lähtötietoja kuin Jatkuva kasvu -skenaariossa, koska lähtökohtana oli sekä teknologinen murros että oletettu ihmisten käyttäytymisen muutos. Näin ollen hieman hajaantuvasta yhdyskuntarakenteesta huolimatta liikennesuoritteiden määrään ei oletettu kasvavan Muutos-skenaariossa. Säästö-skenaariossa panostetaan erityisesti joukkoliikenteeseen, mutta toisaalta nykyisen kaltainen yhdyskuntarakenne sekä jatkuvaa kasvua konservatiivisempi teknologian kehitys hidastavat liikenteen tehostumista.

Liikenneteknologian on oletettu kehittyvän tavanomaiseen tahtiin Baseline-, Base-80% ja Säästö-skenaarioissa. Jatkuva kasvu ja Muutos -skenaarioissa uusien ajoneuvotekniikoiden kehitys ja käyttöönotto on sen sijaan oletettu nopeaksi. Pysähdys-skenaariossa uuden tekniikan oletetaan tulevan markkinoille kaikkein hitaimmin, sillä muun muassa kuluttajien ostovoiman muita skenaarioita heikompi kehitys johtaa kysynnän kohdistumiseen tavanomaista teknologiaa edustaviin ajoneuvoihin.

Uuden teknologian kehitystä koskevat oletukset kohdistuvat pääosin hybridi-ajoneuvoihin, sähköautoihin ja polttokennoajoneuvoihin. Näitä tekniikoita edustavien ajoneuvoluokkien hankintakustannusten, energiatehokkuuden ja enimmäismarkkinaosuuksien on oletettu kehittyvän Jatkuva kasvu ja Muutos -skenaarioissa muita skenaarioita suotuisammin.

**Taulukko 4.** Kuljetussuoritteet eri skenaarioissa.

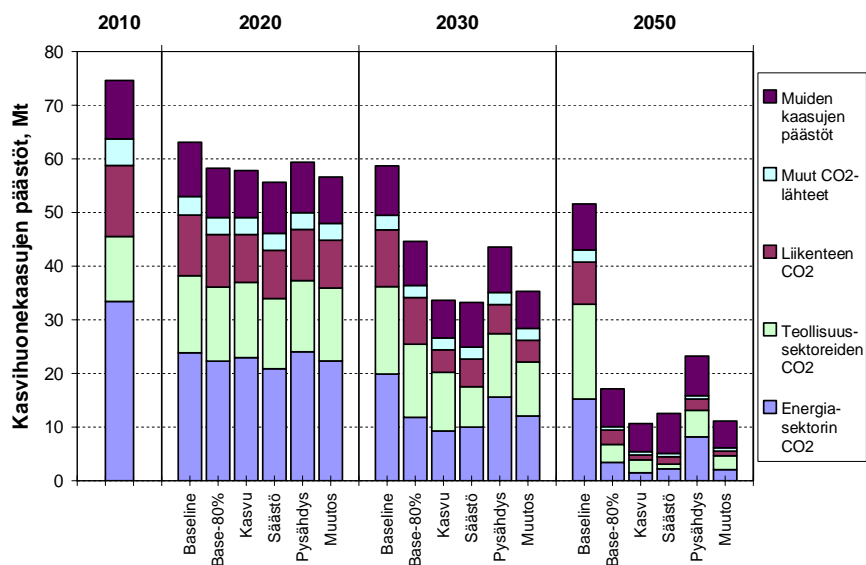
<b>Henkilöliikenne</b>			<b>Baseline</b>	<b>Jatkuva</b>	<b>Säästö</b>	<b>Pysähdys</b>
<b>1000 hlö km</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>	<b>2050</b>	<b>kasvu</b>	<b>2050</b>	<b>2050</b>
Henkilöautot	55,7	64,7	80,9	67,5	72,8	71,6
Moottoripyörät	0,9	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
Linja-autot	7,7	7,5	7,7	7,7	10,2	7,4
Raideliikenne	3,9	4,6	5,4	5,2	9,5	5,1
Lentoliikenne	1,3	1,1	1,4	1,2	1,4	1,2
<b>Yhteensä</b>	<b>65,9</b>	<b>78,8</b>	<b>96,3</b>	<b>82,7</b>	<b>94,8</b>	<b>86,4</b>
<b>Tavaraliikenne</b>			<b>Baseline</b>	<b>Jatkuva</b>	<b>Säästö</b>	<b>Pysähdys</b>
<b>1000 tonni km</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>	<b>2050</b>	<b>kasvu</b>	<b>2050</b>	<b>2050</b>
Pakettiautot	1,0	0,9	1,3	1,3	1,3	1,3
Rekat	27,7	26,0	41,4	35,3	33,5	38,8
Junakuljetukset	10,1	9,8	10,5	10,5	16,5	10,5
Laivakuljetukset	2,9	3,9	4,0	4,0	4,0	4,0
<b>Yhteensä</b>	<b>41,7</b>	<b>40,6</b>	<b>57,2</b>	<b>51,1</b>	<b>55,3</b>	<b>54,6</b>

---

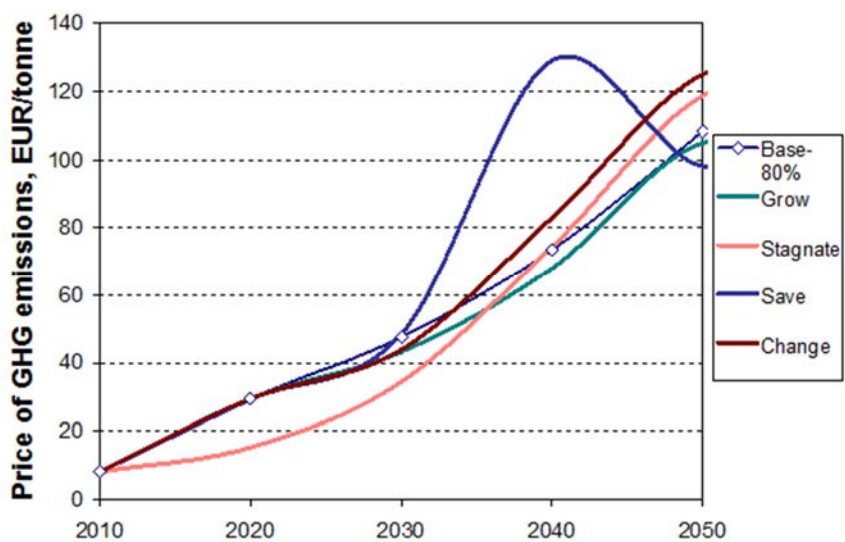
### 3.4 Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys

Kasvihuonekaasujen vähennystavoitetta verrataan vuoden 1990 tilastolliseen päästömäärään, joka oli 70,5 Mt CO<sub>2</sub> ekv. Suomen KHK-päästöjen tulisi siten vähentyä tasolle 14,1 Mt CO<sub>2</sub> ekv. vuonna 2050, mikäli se toteuttaisi päästövähennykset omin toimin. Laskelmissa on kuitenkin oletettu, että Suomi voi ostaa ja myydä päästöoikeuksia EU:n sisällä. Lisäksi on oletettu, että kaikki sektorit ja kaikki Kioton pöytäkirjassa mainitut kasvihuonekaasut ovat mukana päästökaupan piirissä, toisin kuin nykyisessä EU:n päästökauppajärjestelmässä, jossa ainoastaan suuri osa energiantuotannon ja teollisuuden KHK-päästöistä kuuluu päästökaupan piiriin.

Alla on esitetty skenaariolaskemien tuloksena saatu Suomen KHK-päästöjen kehitys ja päästöoikeuden hintakehitys (l. päästöjen vähentämisen marginaalikustannus) eri skenaariossa (Kuva 3 ja **Kuva 18**). Päästökuvasta nähdään, että Suomi olisi päästöoikeuksien myyjä vuonna 2050 Jatkuvan kasvun, Säästö- ja Muutos-skenaarioissa, koska Suomen KHK-päästöt ovat pienemmät (l. alle 14,1 Mt CO<sub>2</sub> ekv.) kuin oletettu EU-tason tavoite -80 %. Suurimmat KHK-päästöt vuonna 2050 olisivat laskelmien mukaan peräisin muista kuin CO<sub>2</sub>-päästöistä, eli lähinnä F-kaasupäästöjä sekä maankäytön ja maataloussektorin KHK-päästöjä, joiden vähentäminen on hyvin kallista, jopa mahdotonta, mikäli esimerkiksi halutaan turvata kotimaisen ruoan tuotanto (vrt. luku 3.2). Energian tuotannon ja teollisuuden KHK-päästövähennysten osalta on merkittävää, toteutuuko hiilidioksidin erotus ja varastointi (CCS) riittävän ajoissa kaupalliselle tasolle (vrt. luku 3.7).



Kuva 17. Suomen kasvihuonekaasupäästöjen kehitys sektoreittain.



Kuva 18. Päästöoikeuden hinnan kehitys vähähiiliskenaariossa.

---

Merkillepantavaa on myös KHK-päästökehitys ennen vuotta 2050. Laskelmien perusteella KHK-päästövähennys nykypolitiikalla olisi noin 28 % vuoteen 2030 mennessä ja vähähiiliskenaarioissa vastaavasti 36-43 %. EU on tammikuussa 2014 julkaistussa tiedonnannossa (EC 2014) esittänyt, että EU:n tulisi vähentää KHK-päästöjään 40 % vuoteen 2030 mennessä vuoden 1990 päästöihin verrattuna. Tiedonnannossa esitetään, kuinka KHK-päästövähennys tulisi jakaa päästökauppasektorin ja päästökaupan ulkopuolisen sektorin välillä. LCFinPlat-hankkeen skenaariolaskelmissa ehdotettua EU 2030-politiikkaa ei ole huomioitu, mutta tulosten perusteella Jatkuvan kasvun ja Säästö-skenaariossa KHK-päästöt vähenisivät alle EU:n ehdottoman 40 % tavoitteen. Jatkuvan kasvun skenaariossa nopeutettu uuden teknologian kehitys ja käyttöönotto nopeuttaa päästöjen vähennystä. Säästö-skenaariossa EU:n "etunoja" päästövähennysten suhteen ja korkeammat päästöoikeuden hinnat ajavat puolestaan kehitystä. Toisaalta EU:n "etunoja" tiukkoihin päästövähennyksiin näkyy myös päästöoikeuden hinnan kehityksessä, joka on korkeimmillaan jo vuonna 2040.

### **3.5 Vähähiilyhteiskunnan taloudelliset reunaehdot ja vaikutukset kansantalouteen**

Kansantaloudellisia vaikutuksia on arvioitu VATT:n kokonaistaloudellisen VATTAGE-mallin avulla. Arviossa verrataan vaikutuksia perusskenaarioon, jolla oletetaan toteutettavan ainoastaan jo päätetyt ilmasto- ja energiapolitiittiset tavoitteet vuoteen 2020 mennessä. Talouskehityksen osalta arvio hyödyntää VATT:n talous- ja toimialakehityksen pitkän aikavälin ennakointihankkeen tuloksia, jotka tässä tutkimuksessa on ulotettu vuoteen 2050 saakka. Arvion makrotaloutta koskevat oletukset perustuvat vuoteen 2016 saakka VM:n kansantalousosaston keskipitkän aikavälin ennusteeseen.

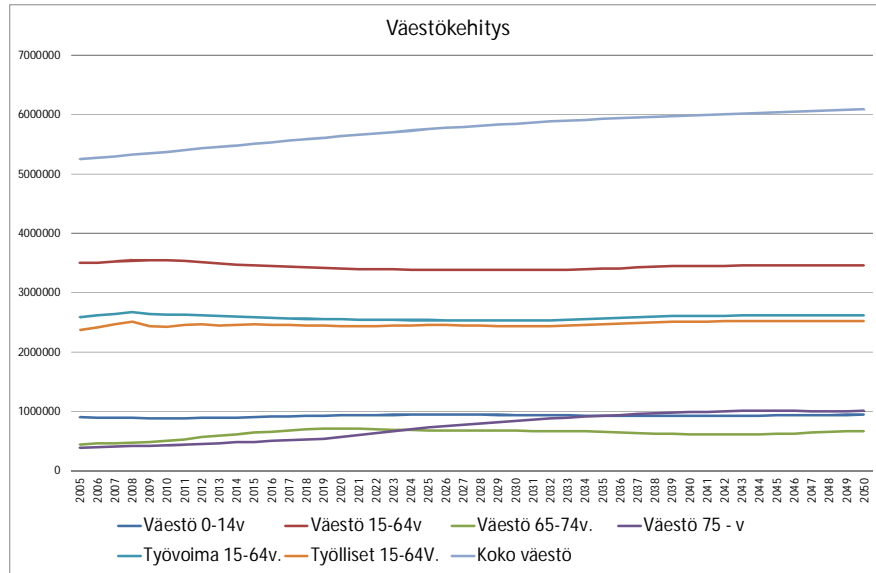
Ennusteessa kansantalouden toipumisen vuoden 2009 finanssikriisin aiheuttamasta viennin sukelluksesta ennustetaan kestävä useita vuosia. Perusskenaariossa oletetaan työn tarjonnan kehittyvän Tilastokeskuksen ennusteen mukaisesti, jolloin 2010-luvun jälkipuolella työn tarjonta alkaisi kuitenkin supistua, jolloin talouskasvu riippuu ennen kaikkea tuottavuuskehityksestä. Energia- ja ilmastopolitiikka ei välttämättä vaikuta tuottavuuskehitykseen yksittäisillä toimialoilla, mutta se saattaa vaikuttaa kokonaistuottavuuden kasvuun muuttamalla toimialarakenteen kehitystä. Perusskenaariossa toimialarakenne muuttuu työvoimavaltaisemmaksi, mikä korostaa sellaisten toimialojen vaikutusta kokonaistuottavuudesta, joiden tuottavuuskehitys on historiallisesti ollut pääomavaltaisempia, teollisia toimialojen hitaampaa. Osittain tämä kehitys on peräisin vientirakenteen ennakoidusta muutoksesta, joka pienentää ennen kaikkea elektroniikkateollisuuden viime vuosien suurta osuutta kokonaistuottavuuden kasvusta (Honkatukia et al. 2014).

Kaikissa skenaarioissa talouden rakennemuutoksen ajurit ovat silti historiallisesti tunnistettavia. Tuottavuuserot toimialojen välillä johtavat teollisuuden työvoimaosuuden pienenemiseen ja palvelujen työvoimaosuuden kasvuun. Demografiset syyt nostavat julkispalvelujen osuutta, kun taas väestön vaurastuminen kanavoituu yksityisten palvelujen osuuden kasvuun.



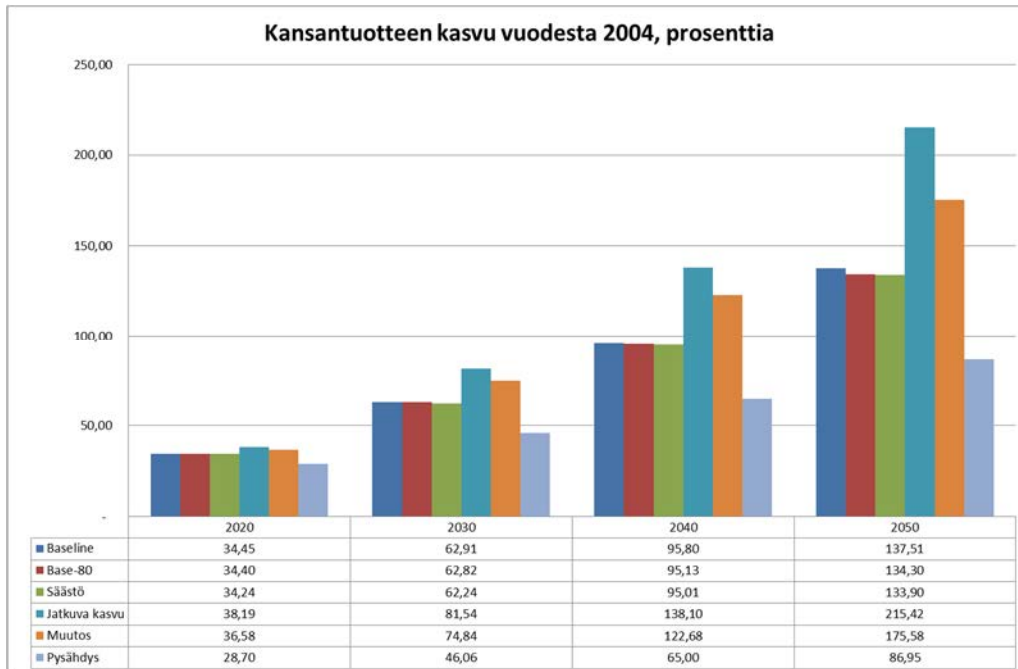
Kuten edellä on esitetty, laskennan perusskenaariossa oletetaan, että 2020-luvulla ei aseteta uusia tavoitteita päästöjen rajoittamiselle tai uusiutuvalla energialle jo päätettyjen toimenpiteiden lisäksi. Vuotta 2050 koskevat tavoitteet vaativat siis lisätoimenpiteitä. Näistä keskeinen on päästökauppasektoria koko EU:n tasolla koskeva vähennystavoite, joka vaikuttaa Suomen talouteen päästöoikeuksien kohoavan hintatason kautta. LCFinPlat-skenaarioista kaikissa paitsi Pysähdys-skenaariossa oletetaan, että muu maailma on omaksunut sitovan päästötavoitteen, johon EU:n päästökauppa kytkeytyy. Oletus on merkittävä, koska se poistaa vielä nykyisin eurooppalaista teollisuutta koskevan kilpailukykyhaitan sekä vientimarkkinoilla että tuonnin kanssa kotimaassa kilpailtaessa.

Demografia muodostaa siten kaikissa skenaarioissa keskeisimmän rajoitteen kansantuotteen kasvulle. Vuoteen 2050 mennessä Suomen väkiluku nousee kuuheen miljoonaan, paljolti vuotuisen, noin 15000 henkilön nettomaahanmuuton ajamana (vrt. Kuva 19). Vanhushuoltosuhde kuitenkin heikkenee 2020-luvun lopulle saakka. Siten pitkän aikavälin ilmastopolitiikkaa joudutaan toteuttamaan lähtökohdista, joissa kansantaloutta rasittaa kasvavat hoivamenot ja eläkkeet. Koska hoivapalvelujen tuottaminen on työvoimaintensiivistä, ne sitovat lähivuosikymmeninä myös entistä suuremman osuuden työvoimasta. LCFinPlat-skenaarioissa oletetaan, että hoivalupauksesta kuitenkin pidetään kiinni, mikä tarkoittaa, että seuraavien kahden vuosikymmenen ajan julkisen sektorin osuus kansantuotteesta pysyy korkeana. Skenaarioissa oletetaan kuitenkin, että julkisen talouden kestävydestä pidetään huolta tulevinakin vuosikymmeninä. Käytännössä tämä tarkoittaa kokonaisveroasteen kohoamista. Koska hoivamenojen kasvun takana on demografia, julkisen sektorin koko ei juuri vaihtele LCFinPlat-skenaarioiden välillä. Kun toisaalta LCFinPlat-skenaarioissa talouden kasvuvauhti on erilainen, julkisen sektorin osuus taloudesta vaihtelee paljonkin.



**Kuva 19.** Väestökehitys kaikissa skenaarioissa perustuen Tilastokeskuksen (2012) ennusteeseen.

Alla (Kuva 26) on esitetty koko kansantuotteen kasvu vuodesta 2004 vähähiiliskenaarioissa. Kaikissa skenaarioissa kansantuote kasvaa lähes kaksinkertaiseksi tai jopa kolminkertaiseksi vuoteen 2044 verrattuna, jopa Pysähdys-skenaariossa. Keskeinen syy tähän on tuottavuuden kasvussa. Päästöjen vähentäminen ei missään skenaarioista vaaranna tuottavuuskasvua, itse asiassa päinvastoin – skenaarioissa oletetaan, että uusi teknologia mahdollistaa esimerkiksi metallien jalostamisen tulevaisuudessakin, vaikka myös prosessipäästöjä joudutaan 2030-luvulta alkaen leikkaamaan. Tämä on mahdollista vain jatkuvan teknologisen kehityksen myötä.



**Kuva 20.** Kansantuotteen käyttö eri skenaarioissa.

Esitetyistä skenaarioista Baseline, Base-80% ja Säästö-skenaariot ovat lähellä toisiaan. Perusuraan verrattuna 80 % päästöjen vähenemä ei aiheuta kovin suurta kansantuotteen laskua, osittain siksi, että perusuralla päästöt jo vähenevät kohtuullisen paljon, osittain siksi, että valtaosa vähennyksistä pystytään toteuttamaan teknologian avulla. Talouden rakenteeseen ilmastopolitiikka kuitenkin vaikuttaa siten, että talouden ulkoinen tasapaino heikkenee hieman – vientisektorien osuus jää siis perusuraa pienemmäksi. Säästö-skenaariossa päästötavoitetta aikaistetaan, mikä merkitsee taloudelle selvää, joskaan ei kovin suurta lisäkustannusta. Skenaariossa kansantuotteen kasvu jää vajaan prosentin perusuraa alemmaksi vuonna 2050. Talouden ulkoinen tasapaino heikkenee sekä hieman Base-80% skenaariota enemmän.

Pysähdys-skenaariossa kansantuote jää 20 % perusuraa alemmaksi, jolloin julkisen talouden kestävyys on jo koetuksella ja talouden ulkoisen tasapainon heikkeneminen voi muodostua ongelmaksi.

Korkeinta talouden kasvu on Muutos- ja Jatkuva kasvu -skenaarioissa, joissa molemmissa vientiteollisuus elpyy ja löytää uusia kasvun lähteitä. Osin tämä tapahtuu arvonlisän osuutta kohottamalla, osin – varsinkin Jatkuva kasvu-skenaariossa – nykyisen teollisuuden viennin elpymisenä. Kummassakin skenaariossa julkinen talous kohenee muihin skenaarioihin verrattuna ja talouden ulkoinen tasapaino on hyvä. Jatkuva kasvu-skenaariossa viennin osuus kansantuot-

---

teen kasvuun on suurempi, mutta siinä myös välituotteiden tuonti kasvaa voimakkaasti. Teollinen rakenne säilyy siis nykyistä muistuttavana, vaikka käyttöön tulee uusia teknologioita, ennen kaikkea hiilen talteenotto prosessiteollisuudessa. Muutos-skenaariossa kansantuotteen kasvu jää hieman pienemmäksi, ja siinä tuonnin osuus jää jonkin verran alemmaksi tuotantorakenteiden muuttuessa.

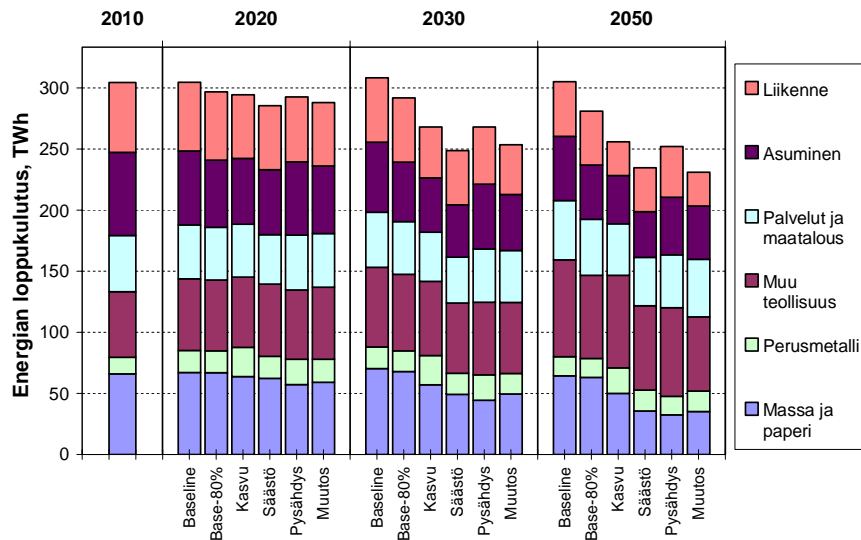
Oheisessa kuvassa (Kuva 21) on esitetty yhteenveto kansantuotteen käyöstä eri skenaarioissa. Skenaariot eroavat toisistaan myös kulutusrakenteen osalta. Vielä vuonna 2030 erot skenaarioiden välillä eivät vielä ole suuria, mutta sen jälkeen Kasvu- ja Muutos-skenaarioiden nopeampi kasvuvauhti alkaa näkyä, samoin Pysähdys-skenaariota hitaampi kehitys. Base-80% ja Säästö –skenaariot eroavat vuonna 2030 toisistaan vain vähän. Vähähiiliskenaarioita ei ole varsinaisesti rakennettu vertailtavuutta silmällä pitäen, mutta kotitalouksien kulutusta voidaan pitää sellaisena hyvinvoinnin mittarina, joka on vertailukelpoinen. Sen perusteella on selvää, että korkean tuottavuuskasvun ja nopean teknologisen kehityksen Kasvu- ja Muutos-skenaariot loisivat muita skenaarioita korkeamman hyvinvoinnin, kun taas Pysähdys-skenaariossa kotitalouksien hyvinvointi jäisi alemmalle tasolle. Base-80% ja Säästö-skenaarioissa ei päästäisi aivan samalle tasolle kuin Baseline-skenaariossa, mutta kovin suureksi ero ei kasva. Julkisen kulutuksen suhteellinen kasvukontribuutio on suurempi hitaamman kasvun skenaariossa kuin nopean kasvun – hoivalupaus on niissä suhteellisesti suurempi haaste. Investointien kasvukontribuutio heijastaa sekä ilmastopolitiikkaa että tuottavuuden kasvua. Nopeaan tuottavuuden kasvuun liittyy pääomavaltistuminen, joka näkyy investointien korkeana kasvukontribuutiona Jatkuva kasvu- ja Muutos-skenaarioissa ja Baseline-skenaariota korkeampana kontribuutiona myös Base-80% ja Säästö-skenaarioissa. Hitaamman teknologisen kehityksen skenaarioissa investointien kontribuutio sen sijaan jää alemmaksi. Kuvasta myös nähdään, että viennillä on Jatkuva kasvu-skenaarioissa kansantuotteen käytöstä muita skenaarioita suurempi osa. Toisaalta on ilmeistä, että tässä skenaariossa kasvu rakentuu paljonkin myös välituotteiden vilkkaaseen tuontiin ja niinpä siinä tuonninkin osuus muodostuu suuremmaksi kuin muissa skenaarioissa. Tarkasteltaessa julkisen sektorin suhteellista rasiutusta voidaan todeta, että kun Kasvu- ja Muutos-skenaarioissa julkisen kulutuksen kansantuoteosuus jää 15–17 prosenttiin kansantuotteesta, on se neljännes Pysähdys-skenaariossa – jossa talouskasvu on hitainta – noin 20 prosenttia muissa skenaarioissa.

### **3.6 Vaikutukset Suomen energiajärjestelmään ja -talouteen**

#### **3.6.1 Energiankysyntä ja -tuotanto**

Tarkasteltaessa Suomen loppuenergiankysyntää (**Kuva 21**) nähdään, että energiankysyntä hieman kasvaa nykytasosta Baseline-skenaariossa, mutta laskee kaikissa vähähiiliskenaarioissa. Säästö- ja Muutos-skenaarioissa energiankulutus laskee reilut 20 % vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoden 2010 energiankulutukseen, mutta Base-80% -skenaariossa alle 10 %.

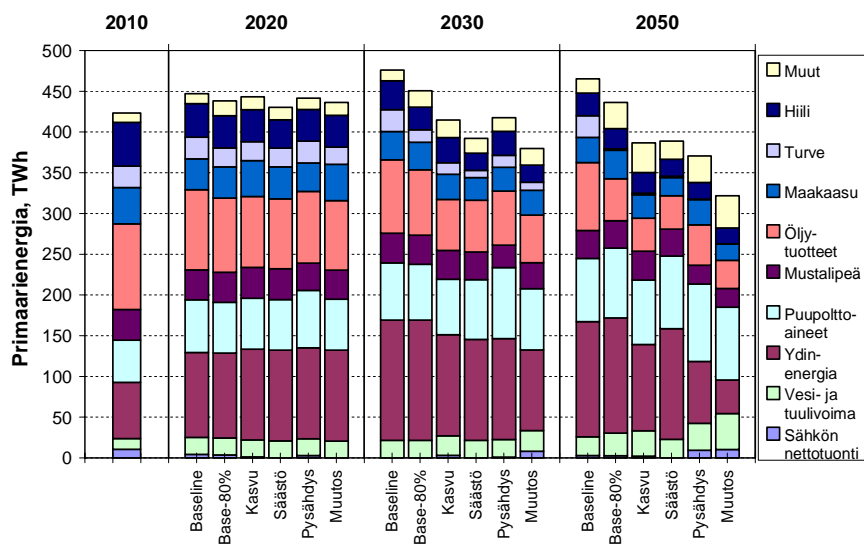
Merkittävää on teollisuuden osuus Suomen kokonaisenergiankulutuksesta, joka on noin puolet kaikissa vähähiiliskenaarioissa. Suurimmillaan teollisuuden osuus loppuenergiankulutuksesta on Jatkuva kasvu-skenaariossa, jossa se kasvaa 57 %:iin vuoteen 2050 mennessä nykytasosta (l. 43 % v. 2010). Jatkuva kasvu-skenaariossa oli oletettu merkittävä teollisuuden rakenteellinen muutos, jossa siirrytään energiain-  
tensiivisten metsä- ja -terästeollisuuden perinteisten tuotteiden tuotannosta korkeamman jalostusasteen tuotteiden tuotantoon, jolloin teollisuuden energiankulutus pienenee. Toisaalta jatkuvan kasvun skenaariossa liikenteen ja kotitalousten energiankulutus pienenee merkittävästi joten teollisuuden osuus loppuenergiankulutuksesta säilyy edelleen korkeana. Säästö-skenaariossa puolestaan oletettiin nykyisenkaltainen, mutta hieman supistuva energiain-  
tensiivisen teollisuuden rakenne ja lisäksi nopeutetut investoinnit energian säästöön erityisesti rakennusten ja liikenteen osalta, jolloin teollisuuden osuudeksi loppuenergiankulutuksesta saatiin 52 % vuonna 2050.



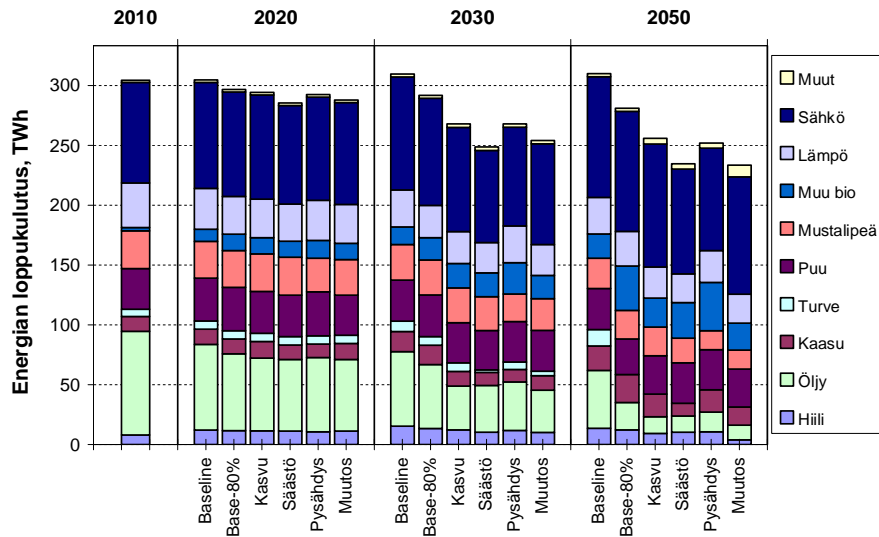
**Kuva 21.** Loppuenergiankulutus eri skenaarioissa.

Suomen energiarakente on nykyisellään monipuolinen ja eri vähähiiliskenaarioiden perusteella se myös pysyisi monipuolisena (vrt. Kuva 22 ja Kuva 23), edellyttäen että hiilidioksidin erottaminen ja varastointi (CCS) saadaan kaupalliseksi teknologiaksi riittävän ajoissa. Primäärienergian kulutus laskee kaikissa muissa paitsi Base-80%-skenaariossa alle nykykulutuksen. Eniten primäärienergian kulutus laskee Muutos-skenaariossa (n. 35 % verrattuna nykytasoon), jossa on oletettu radikaali teknologinen muutos, radikaali teollisen rakenteen muutos ja lisäksi merkittävä kuluttajien käyttäytymisen muutos edistämään KHK-päästöjen vähentämistä ja energiatehokkuden kasvua. Myös globaali kehitys noudattaa Muutos-skenaariossa oletettuja arvoja ja valin-

toja. Tarkasteltaessa primaarienergian kulutuksen kehitystä tulee kuitenkin huomata, että ydinvoimalla on merkittävä vaikutus kokonaiskulutukseen, sillä sen keskimääräinen energiahyötysyhyde jää alle 37 % (nykytilastoissa hyötysuhteeksi ilmoitetaan 33 %). Vaikutus on suurin Muutos-skenaariossa, jossa on vähiten ydinvoimaa.



**Kuva 22.** Primäärienergian kulutuksen kehitys eri skenaariossa. Sektori "Other" on pääasiassa aurinkoenergiaa, lämpöpumppujen tuottamaa lämpöenergiaa ja jätteen energiakäyttöä.



**Kuva 23.** Loppuenergian kulutuksen kehitys energialähteittäin eri skenaarioissa.

Uusiutuvan energian käyttö kasvaa kaikissa skenaarioissa, myös nykypoliitikalla Baseline-skenaariossa (Kuva 24). Vähähiiliskenaarioissa uusiutuvien energialähteiden yhteenlaskettu osuus kasvaa 40–60 %:iin vuonna 2050. Merkittävin uusiutuvan energian lähde on puubiomassa, jonka käyttö kasvaa yli 50 % vähähiiliskenaarioissa ja lähes 50 % Baseline-skenaariossa. Tässä tulee kuitenkin huomioida, että Baseline-skenaariossa kemiallisen metsäteollisuuden tuotannon taso oletettiin korkeammaksi kuin muissa skenaarioissa, joka vaikuttaa mustalipeän määrään ja siten myös bioenergian tuotantoon. Tuuli- ja aurinkoenergian osuudet kasvavat erityisesti Jatkuva kasvun ja Muutos-skenaarioissa, joissa molemmissa on oletettu merkittävä teknologinen kehitys. Tuulienergian osuus Muutos-skenaariossa kasvaa yli neljäsosaan kaikesta uusiutuvasta energiasta. Vaihtelevan tuuli- ja aurinkosähkön tuotannon voimakkaan kasvun Muutos-skenaariossa mahdollistaa oletus uusien energiavarastoteknologioiden kaupallistumisesta, joita tarvitaan taasaamaan vaihtelevan uusiutuvan energian tuotantoa.

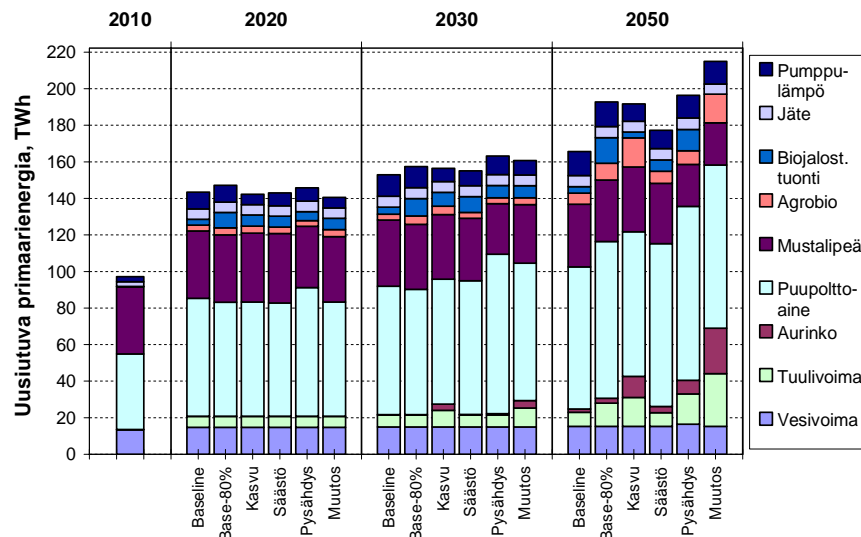
Puubiomassaa tarvitaan sähkön ja lämmöntuotantoon sekä nestemäisten biogastojen valmistukseen. Erityisesti liikenteen fossiilisten polttoaineiden korvaamisen tarve tulee esiin kaikissa vähähiiliskenaarioissa. Alla (

Taulukko 5) on esitetty energiapuun korjuu Suomessa. Lisäksi peltobiomassoitaa saadaan merkittävä lisä bioenergian tuotantoon Jatkuva kasvu- ja Muutos-skenaarioissa, joissa ruoantuotantoon käytetty peltoala vähenee.

**Taulukko 5.** Energiapuun korjuu Suomessa aikajaksolla 2040–49. Sisältää metsähakkeen ja polttopuun.

m <sup>3</sup>		Baseline	Base-80%	Jatkuva kasvu	Säästö	Pysähdys	Muutos
	<b>2013</b>	2040-2049	2040-2049	2040-2049	2040-2049	2040-2049	2040-2049
Oksat ja latvat	2,8	5,1	5,7	6,1	6,8	5,4	5,3
Kannot	1,2	2,4	3,1	3,4	4,4	2,3	1,2
Runkopuu <sup>1)</sup>	10,1	13,8	20,4	18,2	22,7	26,4	23,8
<b>Yhteensä</b>	<b>14,1</b>	<b>21,3</b>	<b>29,2</b>	<b>27,7</b>	<b>34,0</b>	<b>34,1</b>	<b>30,3</b>

<sup>1)</sup> Sisältää pientalojen metsähakkeen käytön ja polttopuun. Runkopuulla tarkoitetaan jäereää runkopuuta ja pienpuuta ml. kuitupuun.

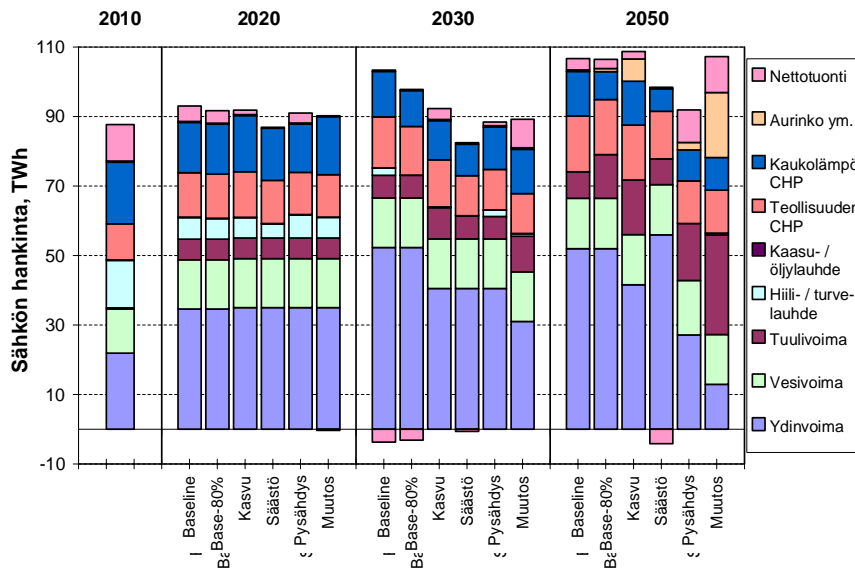


**Kuva 24.** Uusiutuvan energian käyttö eri skenaarioissa.

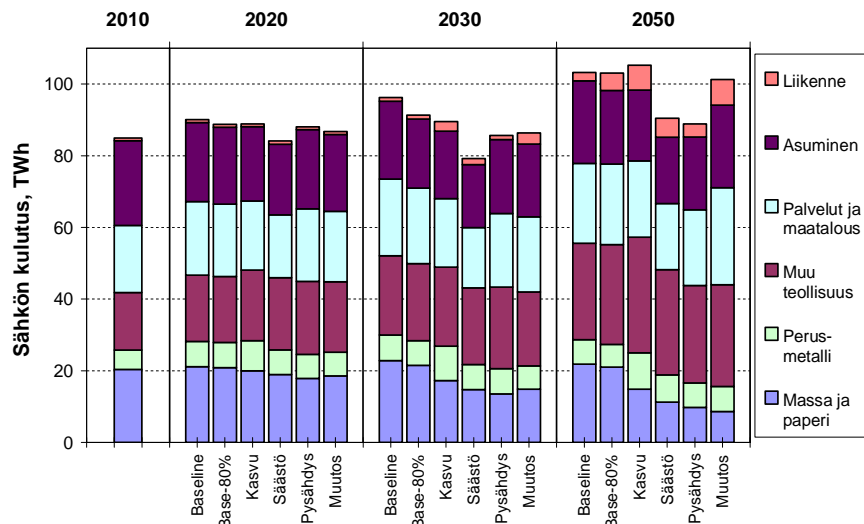
Alla on esitetty kokonaissähkön hankinta (Kuva 25) ja kulutus (Kuva 26) sekä erikseen uusiutuvan sähköntuotannon (Kuva 27) kehitys eri skenaarioissa. Vähähiilisen Suomen energiahuollossa sähkön tuotannon on oltava käytännössä lähes kokonaan päästötöntä tai jopa päästötaseeltaan negatiivista, sillä muilla sektoreilla päästöjen voimakas vähentäminen tulee ainakin nykyinäkin vielä kalliimmaksi. Käytännössä tämä tarkoittaa, että Sähkön hankinta koostuu uusiutuvasta sähköntuotannosta, ydinvoimasta ja/tai fossiilista polttoaineista tuotetusta sähköstä, jossa on mukana hiilidioksidin talteenotto savukaasuista. Suurimman haasteen tämä asettaa kaukolämpövoiman tuotannolle, jolla on Suomen sähköhuollossa varsin suuri merkitys. Ydinvoiman osalta skenaarioiden lähtöoletukset pohjautuvat osittain päivitetyn energia- ja ilmastostrategian mukaisiin tietoihin (TEM 2013). Tämä



näky Base-line, Base-80% ja Säästö-skenaariossa, joissa on asetettu ydinvoimakapasiteetille yläraja, joka vastaa Pyhäjoen (1200 MW) ja Olkiluoto V:n (1600 MW) ydinvoimalupia. Lisäksi laskelmissa on sallittu, että Loviisan vanhat ydinreaktorit voi korvata uusilla, vastaavan kokoluokan reaktoreilla, mutta kyseiset investoinnit ovat laskennan optimoinnin tulos. Jatkuvan kasvun skenaariossa ydinvoiman ylärajaksi on astettu Pyhäjoen ja Olkiluoto V:n ydinlupien mukainen kapasiteetti. Pysähdys skenaariossa on puolestaan oletettu, että ainoastaan toinen ydinluvan saaneista investoinneista toteutuu ja Muutos-skenaariossa vastaavasti oletuksena oli, että lisäydinvoimaa ei rakenneta, jolloin vuonna 2050 on käytössä enään nykyinen, rakenteilla oleva Olkiluodon IV reaktori. Tässä yhteydessä tulee huomata, että skenaarioiden oletukset ja skenaariolaskelmat on toteutettu ennen kesää 2014, jonka jälkeen molemmat ydinluvat ovat olleet uudelleen käsittelyn alla. Olla olevasta kuvasta nähdään, että sähkön ja lämmön yhteistuotannon (CHP) osuus pienenee, kun ydinvoiman ja/tai uusiutuvan sähkön tuotannon osuudet kasvavat. Fossiilinen lauhdevoima poistuu sähköntuotannon rakenteesta lähes täysin kaikissa skenaarioissa. Tässä tulee kuitenkin huomata, että etenkin Muutos-skenaariossa on oletettu, että uudet, suuren mittakaavan energiavarastot on otettu laajamittaisesti kaupalliseen käyttöön.

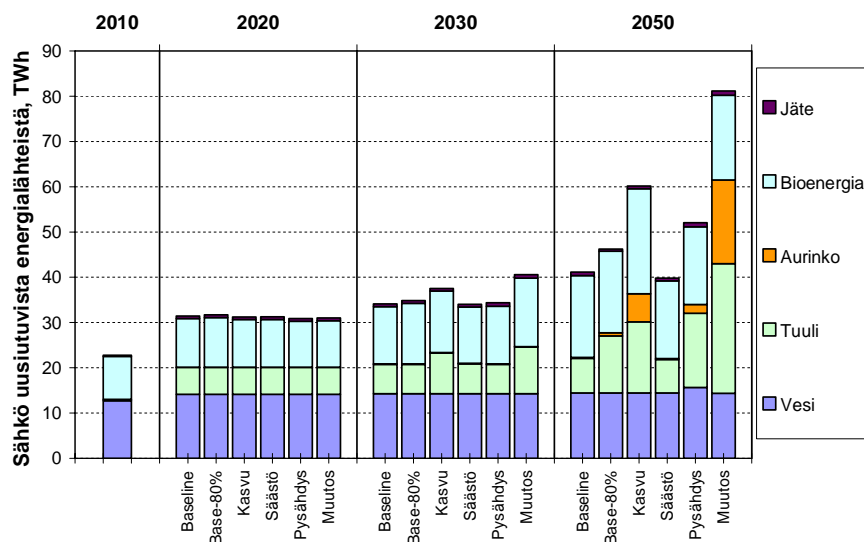


Kuva 25. Sähkön kokonaishankinnan kehitys.



Kuva 26. Sähkön loppukulutus eri skenaarioissa.

Tarkasteltaessa uusiutuvan sähkön tuotantoa (**Kuva 27**) nähdään, että tuulienergia nousee kaikissa skenaarioissa vesi- ja bioenergian rinnalle kolmanneksi keskeiseksi uusiutuvan sähkön energialähteeksi. Sen kokonaistuotanto kasvaa Muutos-skenaariossa lähes 29 TWh:iin sekä Jatkuva kasvu ja Pysähdys-skenaarioissa noin 16 TWh:iin vuonna 2050. Bioenergiaan perustuva sähköntuotanto kasvaa vähähiiliskenaarioissa vähintään noin kaksinkertaiseksi vuoteen 2010 verrattuna, ja voimakkaimmin Jatkuva kasvu -skenaariossa. Vesivoiman tuotanto kasvaa skenaarioissa vain hitaasti, kun jäljellä olevaa kannattavaa vesivoiman lisäspotentiaalia otetaan käyttöön ja vanhoja laitoksia uusitaan.

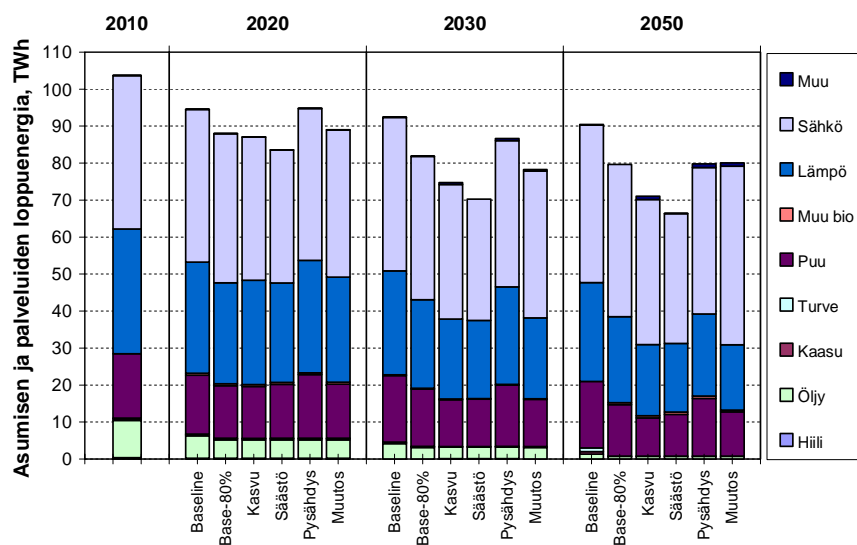


Kuva 27. Uusiutuvan sähkön tuotanto eri skenaarioissa.

### 3.6.2 Rakennettu ympäristö, rakennukset ja liikenne

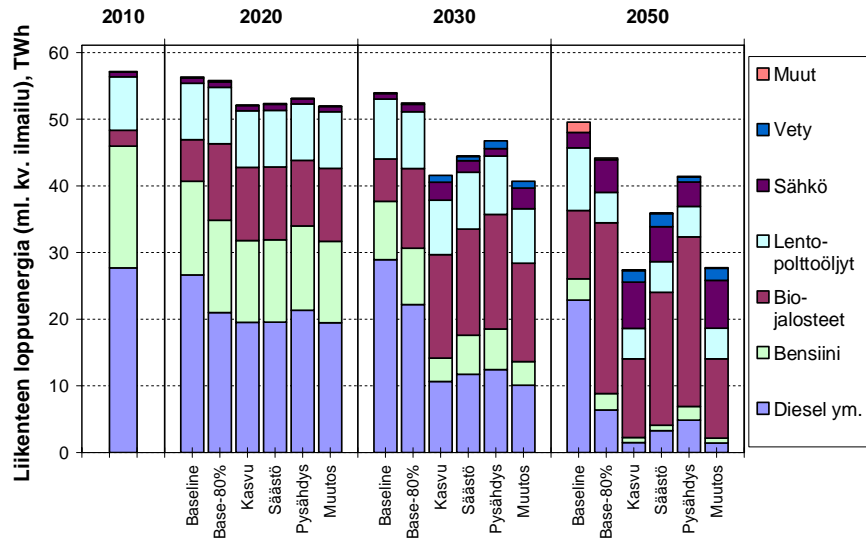
Alla (Kuva 28) on esitetty asumisen ja palveluiden loppuenergiankulutuksen kehitys energialähteittäin. Kuvan energiankulutus sisältää käytännössä kaikki rakennusten kuluttaman energian teollisuus- ja maatalousrakennuksia lukuun ottamatta. Nykyisin suurin osa rakennuksissa kulutetun energian rakennusten loppuenergian käytöstä on lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden valmistukseen kuluva energiaa, mutta sähkölaitteisiin, valaistukseen ja jäähdytykseen kuluva muun energiakäytön osuus on ollut jatkuvassa kasvussa ja osuuden kasvu jatkuu tulevaisuudessa.

Baseline-skenaarion tuloksista nähdään, mikä on nykyisten rakennussäädösten ja odotettavissa olevan tiukentamisen vaikutukset asumisen ja palveluiden energiankulutukseen, ml. EU-direktiivin mukaiset lähes 0-energiarakennusmääräykset ensin uusille rakennuksille vuoden 2020 jälkeen ja lisäksi vanhoille rakennuksille vuoden 2030 jälkeen. Lisäksi Jatkuva kasvu-, Säästö- ja Muutos-skenaarioissa energiatehokkuusnormien oletettu voimakkaampi kiristyminen tuo lisäsäästöjä erityisesti lämmityksessä. Kuvasta nähdään, että asumisen ja palveluiden energiankulutus laskee vuoden 2010 kulutustasosta vajaat 15 % vuoteen 2050 mennessä ja vähähiiliskenaarioissa vastaavasti 23–38 %. Merkittävää on sähkön käytön osuuden kasvu kotitalouksissa ja palvelusektorilla kokonaisenergiankulutuksesta. Vastaavasti vastaavasti kaukolämmityksen osuus pienenee. Öljylämmityksestä luovutaan käytännössä kokonaan kaikissa vähähiiliskenaarioissa vuoteen 2050 mennessä.



Kuva 28. Asumisen ja palveluiden loppuenergian kulutus energialähteittäin.

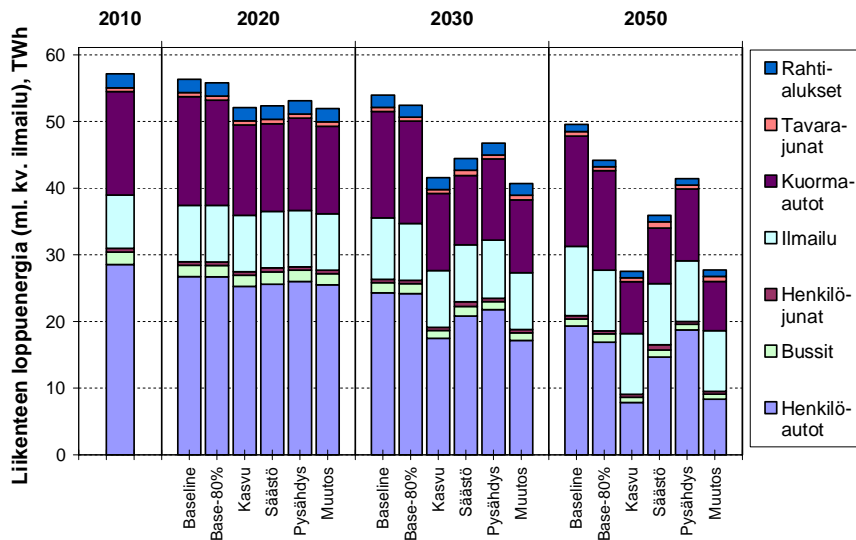
Liikenteen loppuenergiankulutusta tarkasteltaessa (Kuva 29) nähdään selvästi liikenteen energiankäytön tehostuminen erityisesti Jatkuva kasvu- ja Muutos-skenaarioissa, joissa oletuksena oli nopeutettu uuden teknologian käyttöönotto. Biojalosteet korvaavat fossiilisia polttoaineita erityisesti Base-80%, Säästö- ja Pysähdys-skenaariossa. Jatkuva kasvu- ja Muutos-skenaarioissa sähköautojen markkinaosuus kasvaa biojalosteiden rinnalla. Näissä skenaarioissa myös fossiilisten polttoaineiden käyttö tieliikenteessä tippuu noin 3 TWh:in ja liikenteen energiankulutus noin puoleen nykytasosta.



**Kuva 29.** Liikenteen loppuenergiankulutus energialähteittäin. Biojalosteet sisältävät liikenteen biopolttoaineet, eli bioetanolin, biodieselin ja biokaasun.

Skenaariotulosten mukaan biopolttonesteiden tuotantoa tulisi kasvattaa Suomessa merkittävästi siirryttäessä asteittain vähähiiliseen yhteiskuntaan. Suurin osa tuotannosta on biodieselin valmistusta, kun taas bensiinin biokomponentit jäävät pääosin tuonnin varaan. Kotimainen kulutus jää pienimmäksi Jatkuva kasvu ja Muutos-skenaarioissa. Muutos-skenaariossa biojalosteiden tuotannosta tulee siten myös huomattava vientiteollisuuden haara.

Tarkasteltaessa liikenteenkehitystä käyttövoimittain nähdään, että erityisesti laskee henkilöautoliikenteen energiankulutus, mikä johtuu toisaalta oletuksista entistä tehokkaamman uuden ajoneuvoteknologian käyttöönotosta ja toisaalta liikkumistarpeen ja -tottumusten muutoksista.

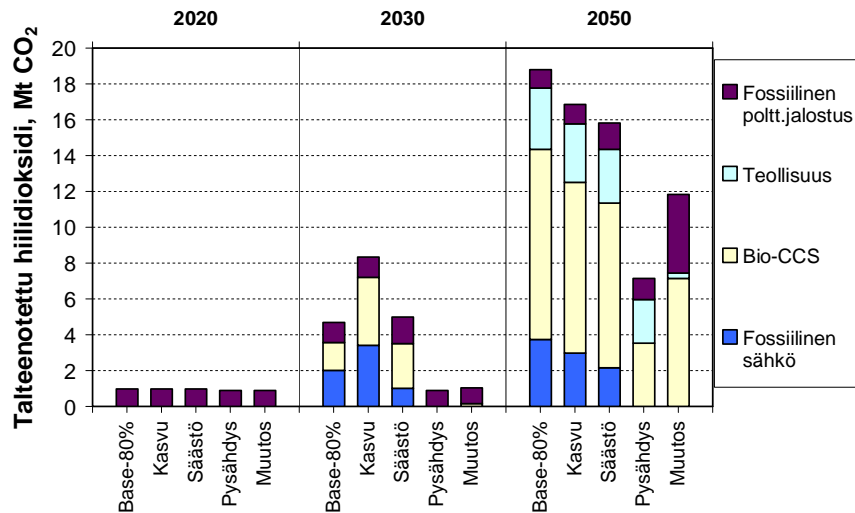


Kuva 30. Liikenteen loppuenergiankulutus liikennemuodoittain.

### 3.7 Investoinnit hiilidioksidin talteenottoon ja infrastruktuuriin

Skenaariolaskelmien mukaan hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (CCS) on yksi merkittävimmistä KHK-päästöjen vähennyskeinoista Suomessa, erityisesti päästötavoitteiden kiristyessä merkittävästi vuosina 2040–2050 (Kuva 31). Suomen olosuhteissa erityisesti bio-CCS, eli BECCS-sovellukset voivat nousta houkuttelevaksi päästöjen vähennysteknologiaksi. BECCS-sovelluksissa hiilidioksidin erotusteknologia on sama kuin mitä fossiilisia polttoaineita käyttävissä laitoksissa, mutta laskennallisesti päädytään negatiivisiin KHK-päästöihin (olettaen että biomassan KHK-päästöt luokitellaan nolaksi tai ainakin lähes nolaksi). Nykypolitiikka ei sisällä näitä negatiivisia KHK-päästöjä, mikä luonnollisesti käytännössä edellyttäisi muutoksia päästäkauppajärjestelmään. Ilman BECCS:iä CCS:n merkitys jää skenaarioissa verrattain pieneksi, enimmillään noin 8 miljoonaan tonniin. Hiilidioksidin talteenotto on erityisen edullista biopolttoaineiden jalostuksen yhteydessä, mikä voi tarjota suomalaiselle suuren mittakaavan puupohjaisille biojalostamoille kilpailuetua. Myös kivihiilen käyttöön perustuva happipolttol-CHP-teknologia tulisi tulosten mukaan kilpailukykyiseksi CCS-sovelluskohteena vuoden 2030 jälkeen.

Teollisuudessa CCS:llä on merkittävä rooli etenkin konverteriteräksen tuotannossa. Mallilaskelmien mukaan happimasuuniteknologiaan yhdistetty CCS tulisi kannattavaksi vuoden 2030 jälkeen. Sen sijaan esimerkiksi puuhiilen käyttö pelkistimenä ei tulosten mukaan tulisi riittävän kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi.



**Kuva 31.** Hiilidioksidin talteenottotekniikan (CCS) soveltaminen skenaarioissa vuosina 2020–2050.

### 3.8 Sähkömarkkinoiden ja sähkönhinnan kehitys

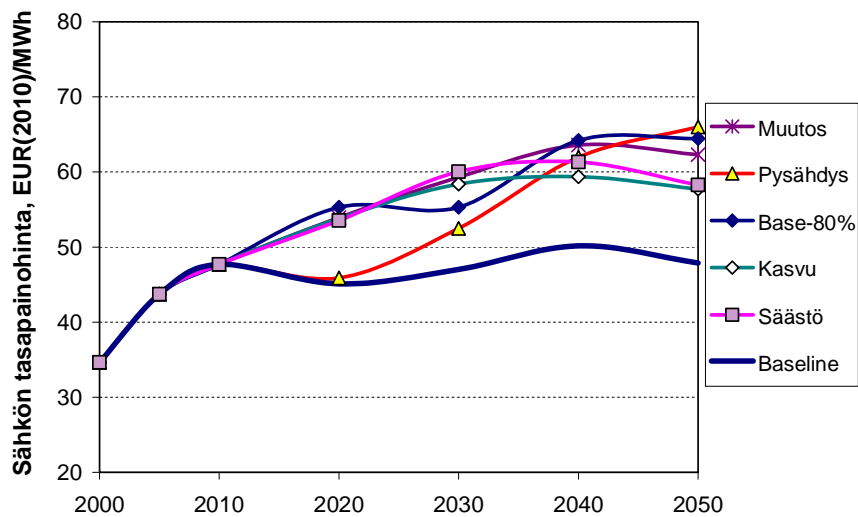
Suomi on osa Pohjoismaista sähkömarkkinaa, joka enenemässä määrin integroituu Keski-Euroopan sähkömarkkinoihin, kun investoidaan uuteen sähkönsiirtokapasiteettiin Pohjoismaiden ja Keski-Euroopan välillä. Sähkökauppaa tehdään myös Suomen ja Venäjän välillä. Koska käytetty laskentamalli sisältää myös kuvaukset muiden Pohjoismaiden sekä Keski-Euroopan ja Venäjän energijärjestelmistä, sen avulla pystytään myös arvioimaan sähkön markkinahinnan sekä sähkön tuonnin ja/tai viennin kehityksiä.

Tärkeimmät sähkön markkinahintatasoon vaikuttavat tekijät ovat sähkön kysynnän kehitys eri sektoreilla, sähkön tuotantoteknologioiden ja -kapasiteettien kehitykset, kilpailevien energialähteiden hintojen kehitykset sekä päästöoikeuden hinnan kehitys. Sähkön markkinahinta kuvaa ns. lyhyen aikavälin marginaalihintaa, joka muodostuu marginaaliasemassa olevan energiantuotannon käyttökustannusten perusteella. Tässä on kuitenkin esitetty sähkön hankinnan pitkän aikavälin hinnan kehitystä, joka sisältää myös investointien kustannusvaikutuksen. Pitkän aikavälin tasapainohinta ei siten vastaa todellista hintaa Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla, mutta sähkön hinnan muutoksia voidaan silti pitää suuntaantavina.

Laskentamallin tulosten mukaan sähkön hankinnan pitkän aikavälin marginaalihinta on Baseline-skenaariossa verraten vakaa ja pysyy karkeasti vuoden 2010 tasolla (**Kuva 32**). Vähähiiliskenaarioista vain Pysähdys-skenaariossa hinta pysyy vuoteen 2020 saakka Baseline-skenaariota tasolla, mutta muissa skenaariossa

hinta nousee jo siihen mennessä noin 20 % korkeammaksi. Vuoteen 2050 mennessä hintaero Baseline-skenaarioon jää kaikissa vähähiiliskenaarioissa alle 40 %:n, ja se on pienimmillään Jatkuva kasvu -skenaariossa, jossa sähkön hinta on vain noin 20 % Baseline-skenaariota korkeampi. Korkeimmaksi sähkön hinta nousee vuonna 2050 Pysähdys- ja Base-80%-skenaarioissa.

Muutokset sähkön pitkän aikavälin tasapainohinnassa jäävät siten skenaarioiden perustapausten tulosten mukaan verrattain maltillisiksi ja merkittävästi pienemmiksi, kuin vaikkapa päästöoikeuksien hintojen kehityksen perusteella voisi suoraan arvioida. On huomattava, että mallin tuottama pitkän aikavälin tasapainohinta ei vastaa todellista hintaa Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla, mutta sähkön hinnan muutoksia voidaan silti pitää suuntaa-antavina.

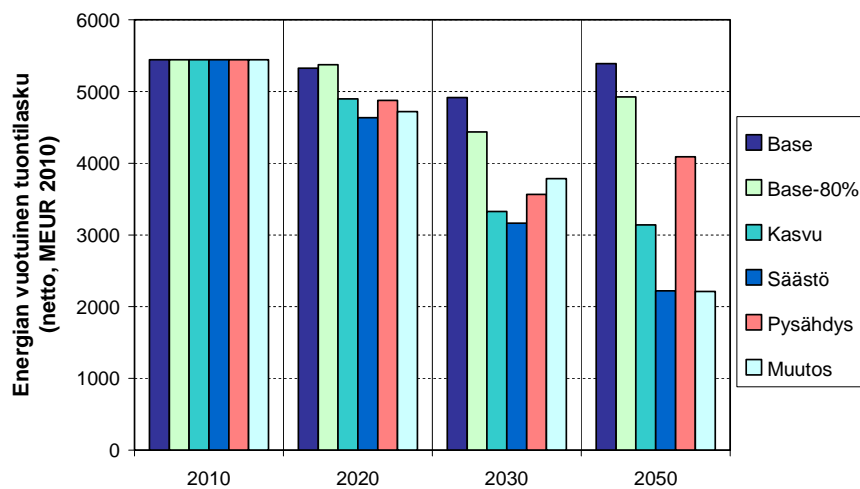


**Kuva 32.** Sähkön pitkän aikavälin reaalisen tasapainohinnan kehitys skenaarioissa vuosina 2010–2050.



### 3.9 Energiaomavaraisuus

Alla (Kuva 33) on esitetty Suomen energiaomavaraisuuden kehitys eri skenaarioissa ilmaistuna energian vuotuisena nettotuontilaskuna. Kuvasta nähdään, että skenaarioiden välillä on merkittävät erot ja että parhaimmillaan Suomen ”nettoenergialasku” pienenesi yli 60 % nykyisestä tasosta vuoteen 2050 mennessä. Suomen energiaomavaraisuus on suurin Säästö- ja Muutos-skenaarioissa. Säästöskenaariossa erityisesti panostettiin kotimaisiin energialähteisiin ja ydinvoimaan, mutta toisaalta uusien energiatehokkaiden teknologioiden käyttöön otto oli hitaampaa kuin muissa vähähiiliskenaarioissa. Muutos-skenaariossa puolestaan panostettiin erityisesti uusiutuvan energian lisäämiseen ja lisäksi oletettiin merkittävässä määrin uusien energiatehokkaiden teknologioiden käyttöönotto kaikilla sektoreilla. Sen sijaan Base- ja Base-80% -skenaarioissa energiaomavaraisuus on lähes samalla tasolla kuin nykyään, jonka perusteella voidaan päätellä, että KHK-päästöjen radikaalikaan vähentäminen ei yksistään johda energiaomavaraisuuden kasvuun, vaikka niin usein esitetäänkin. Vähähiiliskenaarioissa primäärienergian tuonnin netto-osuus laskee 20–30 %:iin, kun se nykyään on noin 50 %, ja kun ydinvoimaa ei huomioida kotimaiseksi energialähteeksi.



Kuva 33. Energiaomavaraisuuden kehitys eri skenaarioissa.

---

## 4. Kuluttajien valmiudet siirtyä vähähiiliseen yhteiskuntaan

LCFinPlat-hankkeessa toteutetun kuluttajakyselyn ensisijaisena tavoitteena oli selvittää kuluttajien arvoja, asenteita, valmiuksia, ja esteitä siirryttäessä vähähiiliseen tulevaisuuteen. Täten sen eräänä vahvuutena on mallilaskelma- ja tietokantatarkasteluja sekä asiantuntijänäkökulmaa täydentävän tiedon tuottaminen.

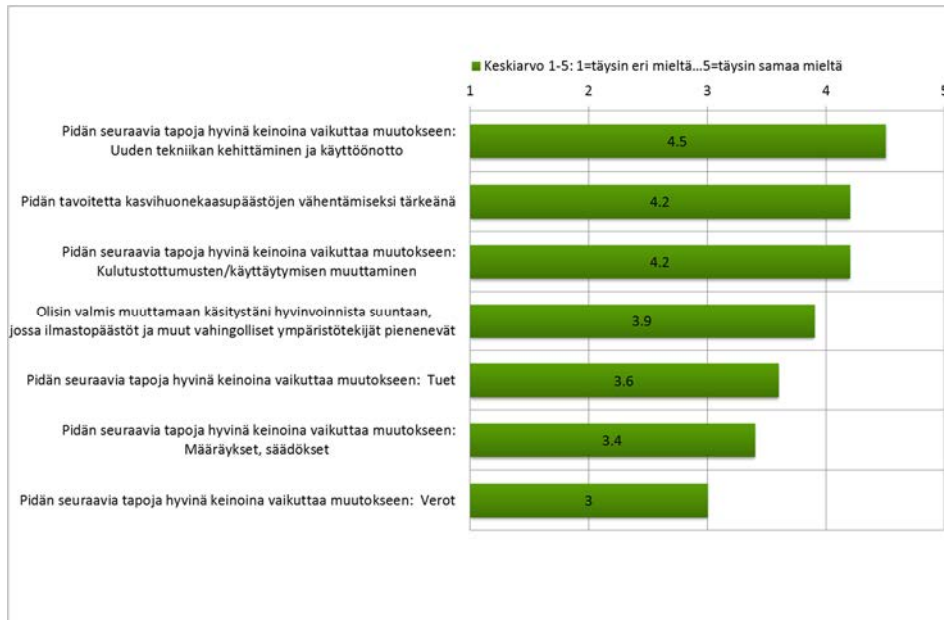
### 4.1 Kuluttajakyselyn lähtökohdat ja toteutus

Kuluttajakyselyn kohderyhmänä oli Manner-Suomen 18–84-vuotias väestö. Tutkimusaineisto kerättiin monikanavaisesti puhelinhaastattelujen ja internet –paneelin yhdistelmänä. Aineisto kerättiin maaliskuussa 2014. Kyselyn otoskoko oli 1000 vastaajaa. Otos painotettiin vastaamaan tutkimusalueen väestöä. Tutkimuksen virhemarginaali on maksimissaan 3,1 prosenttiyksikköä suuntaansa. Kuluttajakyselyn toteutti Tietoykkönen Oy, jonka laatimasta raportista tässä luvussa esitetyt tulokset ovat peräisin.

Kuluttajakyselyssä pyrittiin selvittämään vastaajien päätöksenteon perusteita ja asenteita, kuten sitä, miten tärkeänä tavoitteena kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä pidetään. Niiltä vastaajilta, jotka eivät olleet pyrkineet vähentämään kasvihuonekaasupäästökuormitustaan, tiedusteltiin syitä tälle. Vastaukset indikoivat vähähiiliratkaisujen toteutumisen esteitä eri kuluttajaryhmissä. Kyselyssä käsitellään myös vastaajien suhtautumista vaikutuskeinoihin sekä yleisellä tasolla että tarkemmin sektoreittain.

### 4.2 Tulokset: yleinen suhtautuminen vähähiilisyystavoitteeseen ja sitä edistäviin keinoihin

Kuluttajakyselyn tulosten perusteella itse tavoitetta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi pidetään tärkeänä: kaikista vastaajista melko tai täysin samaa mieltä on neljä viidestä (79 %). Toisaalta yksityisistä kuluttajista merkittävällä osalla valmiuksissa toteuttaa vähentämistoimia on puutteita – esteet ovat ennen kaikkea puhtaasti taloudellisia, mutta myös mm. puutteellisesta tiedosta aiheutuvia.



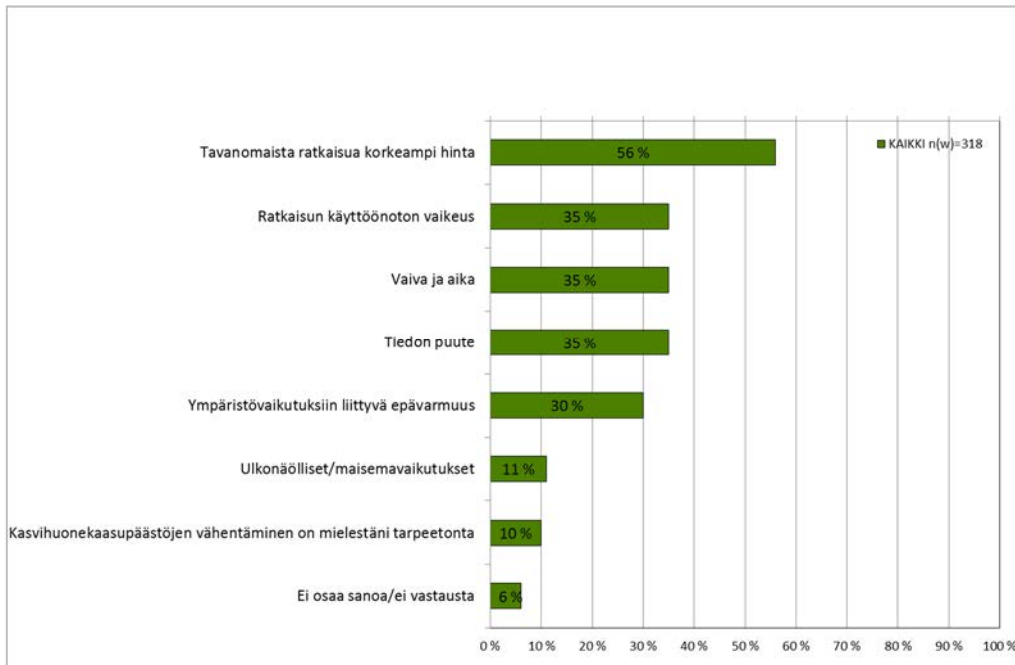
**Kuva 34.** Kuluttajien suhtautuminen vähähiilisyystavoitteisiin ja keinoihin vaikuttaa muutokseen.

**Kuva 34** esittää tuloksia, joita kuluttajakyselystä saatiin päätöksenteon perusteisiin ja keinoihin suhtautumiseen liittyvässä osiossa. Itse tavoitetta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi pidettiin tärkeänä. Vastaajista näin ajattelee (melko samaa mieltä tai täysin samaa mieltä) neljä viidestä (79 %). Kaikista vastanneista 2 % oli täysin eri mieltä. Naiset pitivät tavoitetta tärkeämpänä (keskiarvo 4,5) kuin miehet (keskiarvo 4,0). Naiset suhtautuivat tutkittuihin väittämiin miehiä myönteisemmin. Tuloksista viittaavat yleisesti siihen suuntaan, että mitä korkeampi koulutusaste, sitä myötäilevämmät arviot tavoitteen tärkeyden suhteen, jolloin myös keinoja vaikuttamiseen pidetään parempina. Myös vastaajat, joilla ei ole autoa arvioivat väittämiä myönteisemmin kuin vastaajat, joilla on auto. Pääkaupungissa ja muissa suuremmissa kaupungeissa asuvat arvioivat väittämiä myönteisemmin kuin maaseudulla ja pienemmissä kaupungeissa asuvat.

Uuden teknologian kehittämistä ja käyttöönottoa pidettiin parhaana tapana vaikuttaa muutokseen. Vastaajaryhmien väliset erot vaikuttavat pienehköiltä, kannatusta tälle keinolle oli kaikissa tutkituista kuluttajaryhmissä. Ryhmittäinen keskiarvo oli pienimmillään 4,1. Keinoista naiset suhtautuvat kulutustottumusten/käyttäytymisen sekä hyvinvointikäsitteen muuttamiseen myönteisemmin kuin miehet. Keinoista verotuksella sekä määräyksillä ja säädöksillä oli vastaajien piirissä vähiten kannatus-

ta. Tuet, määräykset ja säädökset ja verot ovat vastaajien mielestä vähiten hyviä tapoja vaikuttaa.

Kyselyyn vastaajista 59 % ilmoitti vähentäneensä määrätietoisesti kasvihuonekaasupäästökuormitustaan. Vastauksissa oli selvä ero naisten (70 %) ja miesten (50 %) välillä. **Kuva 35** esittää niiden vastaajien syitä, jotka kertoivat, että eivät ole määrätietoisesti vähentäneet ilmastokuormitustaan. Kuvasta nähdään selvästi, että tavanomaista ratkaisua korkeampi hinta nousee merkittävimmäksi esteeksi. Miehillä (61 %) korkea hintataso vaikutti naisia (47 %) enemmän. Mitä nuorempi vastaaja, sitä enemmän hintatasolla on merkitystä. Vastaajien osuus, jotka pitävät kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä tarpeettomana, on 10 %. Kuluttajakyselyn täydelliset tulokset ovat ladattavissa hankkeen verkkosivuilta<sup>8</sup>.



**Kuva 35.** Merkittävimmät syyt siihen, miksi vastaaja ei ole ottanut käyttöön kasvihuonekaasupäästöjä ja ilmastokuormitusta vähentäviä ratkaisuja. Kysymys esitettiin niille vastaajille, jotka kertoivat, etteivät ole määrätietoisesti pienentäneet kasvihuonekaasupäästö-/ilmastokuormitustaan.

<sup>8</sup>[http://www.lowcarbonplatform.fi/docs/Kuluttajakysely\\_VTTLowCarbonFinland2050\\_platform\\_taulukot.pdf](http://www.lowcarbonplatform.fi/docs/Kuluttajakysely_VTTLowCarbonFinland2050_platform_taulukot.pdf)

## 5. Vähähiilitulevaisuuden haasteet ja mahdollisuudet

### 5.1 Vähähiilisen Suomen SWOT-analyysi

Alla on esitetty yhteenveto vähähiilisen Suomen omia vahvuuksista ja heikkouksista sekä mahdollisuuksista ja uhista verrattuna muuhun EU:hun ja globaalisti. SWOT-analyysi perustuu toisaalta laskenalliseen työhön, jossa on vertailtu eri vähähiiliskenaarioiden kehityksiä. Lisäksi materiaaleina on käytetty työpajojen, haastatteluiden ja kyselyiden tuloksia.

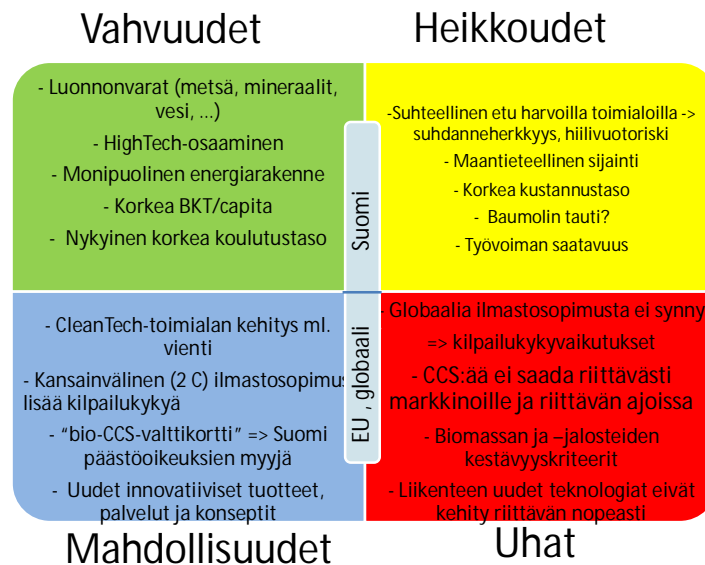
Kuten edellä on jo esitetty, Suomen ehkä suurimmaksi vahvuudeksi verrattuna muihin EU-maihin koetaan rikkaat luonnonvarat. Lisäksi esille nousi Suomen vahva cleantech-osaaminen, nykyinen korkea koulutus- ja elintaso. Cleantech-toimialan, ml. uuden teknologian ja palvelujen vienti, kehittyminen koettiin myös Suomen merkittävänä mahdollisuutena. Mahdollisuudeksi koettiin myös teollisuuden uudistuminen siten, että perinteisistä teollisuustuotteista siirrytään uusien innovatiivisten tuotteiden ja palveluiden tarjoaksi.

Suurimmat pelot liittyivät riskiin, että globaalia kaikkia osapuolia sitovaa ilmastopöytäkirjaa ei saataisi sovittua, mikä vaarantaisi Suomen globaalia kilpailukykyä ja lisäksi aiheuttaisi hiilivuotoriskin. Toisaalta riittävän kunnianhimoisen kansainvälinen ilmastopöytäkirja toteutuessaan lisäisi Suomen kilpailukykyä, mikäli tässä tutkimuksessa esitetyt päästövähennysoimet on mahdollista toteuttaa ja mikäli Suomi panostaa kunnianhimoisesti uuden teknologian kehitykseen ja käyttöönottoon.

Teknologisista epävarmuustekijöistä, eli uhkista, suurimmaksi koettiin CCS:n toteutuminen markkinaehtoisesti riittävän ajoissa. Mikäli CCS ei toteutuisi, Suomen teollisuuden KHK-päästöjä ei pystytä riittävästi vähentämään, joka voisi johtaa joko energiantensiivisen teollisuuden osittaiseen alasajoon Suomessa tai merkittävään päästöoikeuksien oston, joka puolestaan heikentää teollisuuden kilpailukykyä. Toisaalta mikäli CCS toteutuisi, bio-CCS (l. BECCS) tarjoaisi Suomelle kilpailuedun. Tässä yhteydessä tulee kuitenkin todeta, että nykyinen päästökauppajärjestelmä ei tunnista negatiivisia nettopäästövähennyksiä, joten päästökauppajärjestelmän tulisi uudistua tältä osin.

Kaikissa vähähiiliskenaarioissa puuperäisen biomassan käyttö energiantuotannossa ja 2. sukupolven biojalosteiden tuotannossa kasvaa merkittävästi. Uhkana kuitenkin on mahdollisten kestävyyskriteerien kohdistuminen puuperäiseen bio-

massaan, jolloin puubiomassaa ei laskettaisi enää hiilineutraaliksi polttoaineeksi, vaan sille kohdistettaisiin jokin päästökerroin.



**Kuva 36.** Yhteenvedo vaihtoehtoisten vähähiiliskenaarioiden SWOT-analyyseistä.

Alla (**Kuva 37–Kuva 41**) on esitetty SWOT-analyytit erikseen kaikille vähähiiliskenaarioille. Globaalin ilmastopimuksen viivästymisen (l. EU:n "etunoja") vaikutuksia Suomelle on arvioitu Säästö-skenaariossa ja vastaavasti tilannetta, jossa globaalia ilmastopimusta ei synny, on arvioitu Pysähdys-skenaariossa. Molemmisssa skenaariossa teknologian kehitys edustaa konservatiivista polkua, jonka vuoksi KHK-päästöjen vähentämisen kustannukset nousevat. Tämä näkyy erityisesti Säästö-skenaariossa päästöoikeuden hinnan nopeana nousuna tasolta 50 €/t CO<sub>2</sub> vuonna 2030 tasolle 130 €/t CO<sub>2</sub> vuonna 2040, kun muissa skenaarioissa päästöoikeuden hinta nousee 100–120 €/t CO<sub>2</sub> -tasolle vasta vuonna 2050. Pysähdys-skenaariossa Suomi ei saavuta 80 % päästövähennystavoitetta, vaan Suomi joutuu ostamaan päästöoikeuksia.

CCS saa useissa vähähiiliskenaarioissa varsin merkittävän roolin myös Suomen päästöjen vähentämisessä. Ainoastaan Muutos-skenaariossa CCS:n ei lähtökohtaisesti oletettu laajamittaisesti toteutuvan joko taloudellisista tai hyväksyttävyyssyistä. CCS:n toteutumiseen liittyvää riskiä tarkasteltiin herkkyyssanalyysinä olettaen, että CCS ei laajassa mitassa kaupallistu, vaan sen soveltaminen rajoittuu ainoastaan öljyn ja kaasun tuotantoon, joissa sitä käytetään jo nykyisin. Herkkyyssanalyysin tulosten mukaan CCS:n poissulkeminen vaikeuttaa päästöjen vähen-

tämistä Suomessa jopa voimakkaammin kuin EU:ssa keskimäärin, sillä kotimaisten päästöjen määrä jää herkkyystupauksissa huomattavasti suuremmaksi. Mikään kolmesta tarkastellusta skenaariosta (Base-80%, Jatkuva kasvu, Säästö) ei enää yllä päästöjen 80 %:n vähennystavoitteeseen, joten tulosten perusteella voidaan luonnehtia vähähiilitavoitteen saavuttamisen epäonnistuvan. CCS:n vaikutusta Suomen päästönvähennyksiin selittää nimenomaan BECCS, eli bio-CCS, josta mallilaskelmien tulosten perusteella saattaa tulla Suomelle kilpailuetua luova tekijä EU:n ilmastopolitiikassa, mikäli hiilidioksidin varastointipalveluiden markkinat vain syntyvät. Lisäksi päästöjen vähentämisen kustannukset kasvavat merkittävästi – ilman CCS:ää päästöoikeuden hinnat nousevat laskentatulosten perusteella yli kaksinkertaisiksi vuoteen 2050 mennessä, jolloin päästöoikeuden hinta olisi noin 300 €/t CO<sub>2</sub>.

Bioenergian tuotannon kestävyttä voidaan siten jossain määrin simuloida asettamalla bioenergian käytölle ns. GWP (Global Warming Potential)-kerrointa vastaava päästökerroin, jolloin päästömarkkinoiden hintaohjausmekanismi kohdistuu laskelmissa perustellusti myös bioenergian käyttöön. Bioenergian kestävyteen liittyviä riskejä simuloitiin asettamalla metsähakkeelle sekä pien ja kuitupuulle päästökertoimet (GWP-kerroimet 25 t (CO<sub>2</sub>-ekv)/TJ ja 65 t (CO<sub>2</sub>-ekv)/TJ) . Lisäksi energiakasvien käytölle asetettiin 15 t (CO<sub>2</sub>-ekv)/TJ lisäpäästökerroin. Herkkyyksianalyyseissa tarkastellut skenaariot ovat Jatkuva kasvu, Säästö ja Muutos. Herkkyystarkasteluiden mukaan puubiomassan kokonaiskäyttö supistuisi merkittävästi herkkyyksianalyyseihin tapauksissa. Pienintä vaikutus on Jatkuva kasvu -skenaariossa ja suurin Muutos-skenaariossa. Vaikutusten erot selittyvät huomattavalta osin biopolttonesteiden kotimaisella tuotannolla, sillä sen kilpailukykyyn puubiomassan kestävyys näyttää tulosten mukaan vaikuttavan voimakkaimmin. Säästö-skenaariossa biopolttoaineet ovat perustapauksessa keskeisin liikenteen päästöjen vähennyskeino ja Muutos-skenaariossa taas biopolttonesteet ovat merkittävä vientituote. Toinen huomattavia vaikutuksia kokeva sektori on tulosten mukaan kiinteistöjen lämmitys, jossa kiinteät biopolttoaineet menettävät markkinaosuuttaan merkittävästi kestävyyskriteerien herkkyystarkastelussa. Niitä korvataan muun muassa sähkökäyttöisillä lämpöpumppuratkaisuilla ja lisätehostustoimilla. KHK-päästöjen vähentämisen rajakustannuksiin herkkyystarkasteluiden oletuksilla kestävyyskriteereistä ei ollut yhtä suurta vaikutusta kuin edellä CCS-herkkyystarkastelussa. Tulosten mukaan simuloidun tasoisten bioenergian kestävyyskriteerien asettaminen nostaisi marginaalihintoja 20–24 % vuonna 2050, ja voimakkaimmillaan vaikutukset olisivat Säästö-skenaariossa.

Ydinvoiman asema tulevaisuuden energiahuollossa jakaa varsin voimakkaasti mielipiteitä niin Suomessa kuin muualla, jonka vuoksi on hyvin vaikea arvoida, missä määrin investoidaan uusiin ydinvoimaloihin EU-alueella. Toisena herkkyyksianalyyseinä tarkasteltiin tapausta, jossa uusia ydinvoimalaitoksia ei rakenteilla olevien lisäksi enää rakenneta sen paremmin Suomessa kuin muualla Euroopassa. Suomen osalta tämä tarkoittaa sitä, että rakenteilla olevan Olkiluoto 3 -laitoksen jälkeen uusia laitoksia ei enää rakennettaisi, eli vireillä olevat uudet laitoshankkeet peruuntuisivat. Analyyseissä tarkastellut skenaariot ovat Base-80%, Jatkuva kasvu ja Säästö. Herkkyystarkasteluiden mukaan ydinvoiman lisäraken-

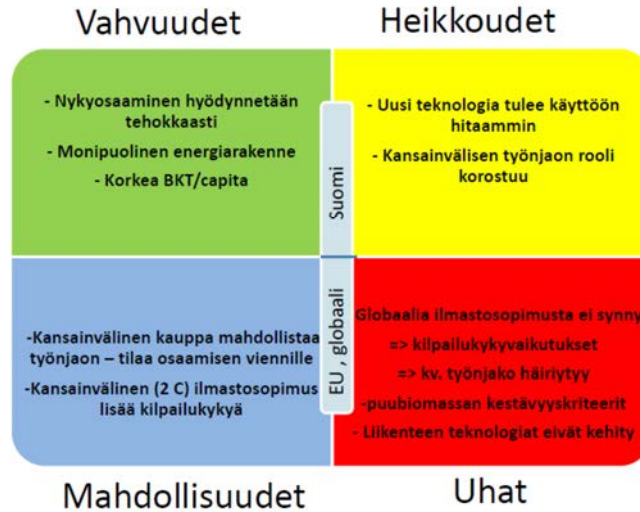
---

tamisen jääminen toteutumatta muuttaa tuloksia voimakkaasti muun muassa sähkön ja lämmön yhteistuotannon osalta. Tulosten mukaan yhteistuotannon kilpailukyky ja laajuus paranevat ratkaisevasti, jos uudet ydinvoimalat jäävät toteutumatta. Yhteistuotannon lisäyksestä suuri osa perustuu CCS:n hyödyntämiseen suurissa laitoksissa. Myös tuulivoiman ja minivesivoiman lisärakentaminen tulee entistä laajemmin kannattavaksi jos lisäydinvoimaa ei rakenneta. Merkittävä muutos on myös sähkön kulutuksen huomattava aleneminen kaikissa kolmessa tarkastellussa skenaariossa. Kolmas merkittävä muutos on sähkön tuonnin merkityksen korostuminen, jolloin omavaraisuus sähkön hankinnassa heikkenee. Tulosten mukaan ydinvoiman lisärakentamisen toteutumisella ei ole merkittävää vaikutusta kasvihuonekaasujen päästöihin Suomessa, ja myös vaikutus päästöjen marginaalihinointoihin jää varsin pieneksi. Sen sijaan päästöjen vähentämisen kokonaiskustannukset kasvavat Suomessa pahimmillaan 700 M€ vuodessa, mikäli lisäydinvoimaa ei rakennettasi.

Vielä kattavamman kuvan saamiseksi tärkeimpien uhkatekijöiden vaikutuksista tehtiin lopuksi analyysi myös kolmen edellä esitetyn riskitekijän liittyen CCS:än, bioenergian kestävyteen ja ydinvoimaan yhtaikaisen toteutumisen vaikutuksista. Näiden kolmen tekijän riskikasauman herkkyyksianalyyssissa tarkastellut skenaariot ovat jälleen Base-80%, Jatkuva kasvu ja Säästö. Riskikasauman vaikutukset näkyvät tuloksissa odotusten mukaisesti voimakkaampina kuin tekijöiden vaikutukset erillisinä. Kun päästöjen kotimaiset vähennyskeinot käyvät riskikasauman toteutuessa vähiin, sähkön tuonnin lisäämisestä tulee merkittävä päästöjen rajoituskeino. Tuonti kasvaa Base-80% ja Jatkuva kasvu -skenaarioissa oletettuun enimmäismääräänsä, noin 20 TWh:iin vuodessa. Ilman tuonnille asetettua enimmäisrajoitusta kotimainen tuotanto olisi siis supistunut vielä pienemmäksi. Yhdyskuntien yhteistuotannon kilpailukyky heikkenee. Tuulivoiman tuotanto kasvaa voimakkaasti perustapauksiin verrattuna, ja myös vesivoiman oletettu lisäyspotentiaali hyödynnetään lähes täysimääräisesti. Lisäksi sähkön kulutus pienenee merkittävästi perustapauksiin verrattuna. Esimerkiksi Säästö-skenaariossa sähkön kokonaiskulutus jää vuonna 2050 enää noin 85 TWh:n määrään, kun perustapauksessa se oli noin 100 TWh. Vähähiilitavoitteisiin liittyvien keskeisten riskien toteutuessa epäedulliset vaikutukset ovat Suomessa voimakkaampia kuin Euroopassa keskimäärin, ja Suomessa on siten vaikeampaa saavuttaa yhtä voimakkaita päästöjen vähennyksiä kuin muualla Euroopassa. Päästöjen marginaalihinnot eivät riskikasauman tapauksessa enää ratkaisevasti nouse pelkän CCS-herkkyyksianalyyssin tuloksista. Hinnat nousevat skenaariolaskelmien mukaan vuonna 2050 noin kolminkertaiseksi perustapauksen mukaisista hinnoista, eli suunnilleen tasolle 300 €/t(CO<sub>2</sub>-ekv.). Nämä tulokset vahvistavat johtopäätöstä CCS:n mahdollisesta merkittävästä potentiaalista vähähiilisen yhteiskunnan saavuttamiseksi Euroopassa vuoteen 2050 mennessä.

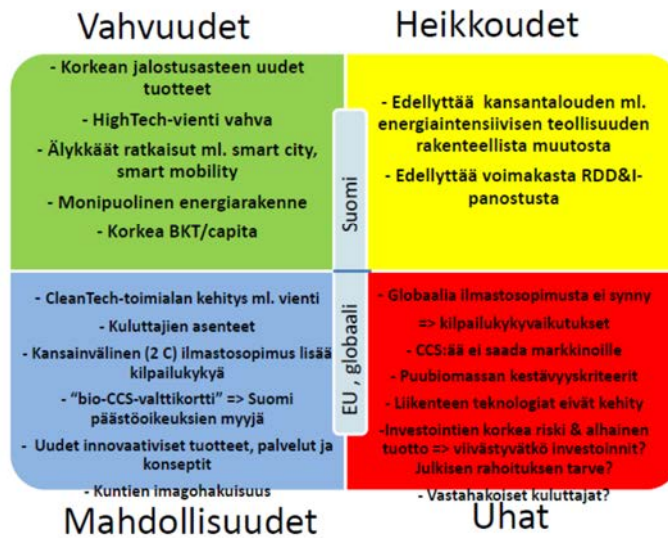


## BASE-80



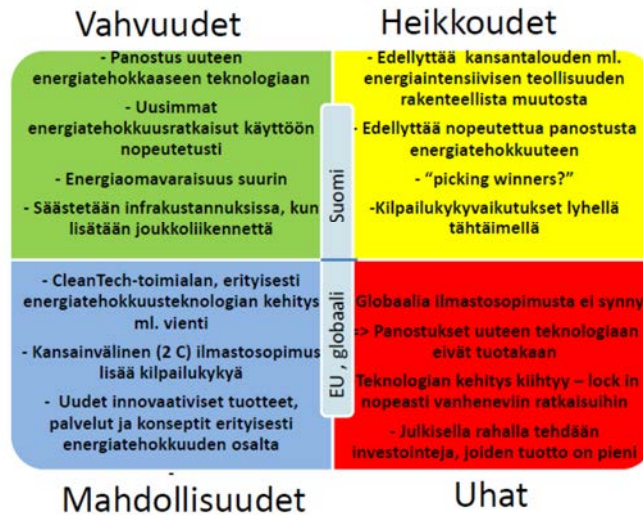
Kuva 37. SWOT-analyysi Base-80% -skenaariolle.

## Jatkuva kasvu



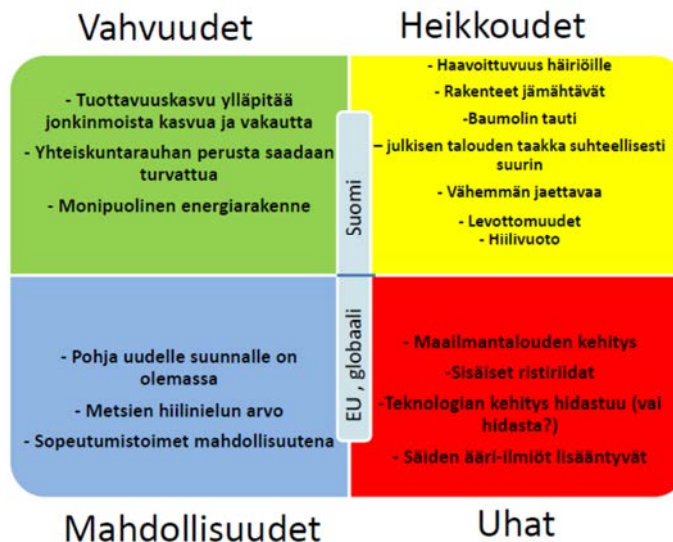
Kuva 38. SWOT-analyysi Jatkuva kasvu-skenaariolla.

## Säästö – “moderni öljykriisi”



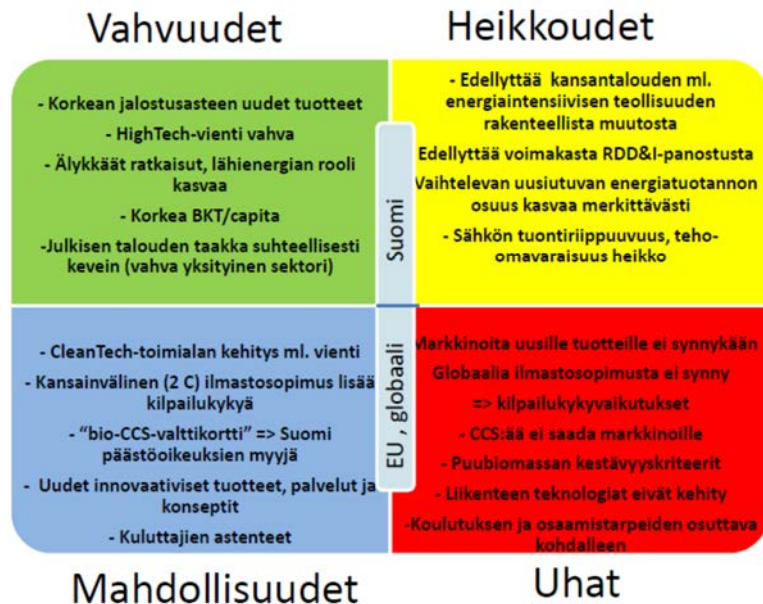
Kuva 39. SWOT-analyysi Säästö-skenaariolle.

## Pysähdys



Kuva 40. SWOT-analyysi Pysähdys-skenaariolle.

# Muutos – “älykäs plus”



Kuva 41. SWOT-analyysi Muutos-skenaariolle.

Kuten esitetystä SWOT-analyysistä ja skenaaroiden herkyystarkasteluista voidaan todeta, kaikkien skenaarioiden kuvaamat maailmat ovat omalla tavallaan haavoittuvat, eli skenaarioiden joukosta ei voida valita yhtä polkua. Herkyystarkasteluiden perusteella CCS:n kaupallinen toteutuminen näyttäisi olevan Suomen näkökulmasta erityisen kriittistä. Muutos-skenaariossa, jossa ei oletettu CCS:n toteutuvan EU-alueella, lähtökohtana oli radikaalinen teknologinen murros sekä sekä Suomen koko teollisen ja elinkeinorakenteen muutokset. Lisäksi oletettiin, että Suomi ja muu maailma panostavat erittäin voimakkaasti uusien teknologioiden kehitykseen ja demonstroiintiin, jotta uudet teknologiat olisivat kaupalliset riittävän ajoissa. Jatkuva kasvu-skenaarioiden vahvuus perustuu myöskin teolliseen rakennemuutokseen kohti korkeamman jalostusasteen tuotteita sekä älykkäiden ja vähähiilisten teknologioiden laajamittaiseen kehitykseen ja käyttöönottoon. Jatkuva kasvu-skenaarioiden vahvuutena on myös monipuolinen energiarakenne sekä energian käytön merkittävä tehostuminen kaikilla energiankäyttösektoreilla. Merkittävä epävarmuus ja riski liittyy kuitenkin globaaliin ilmastopimukseen, jonka syntyessään loisi markkinat suomalaisille cleantech-osaamiselle sekä uusille tuotteille ja palveluille. Säästö-skenaariossa cleantech-viennin oletetaan myös lähtökohtaisesti kasvavan, mutta vientituotteet perustuisivat lähinnä energiatehokkuuteen ja siihen liittyvään palveluliiketoimintaan. Säästö-skenaarioiden vahvuus on myös korkea energiaomavaraisuus, mutta heikkoutena korkeat päästöjen vähentämisen kustannukset aikajaksolla 2030–40 kuin muissa vähähiiliskenaarioissa, joissa

---

päästötavoite oletuksen mukaan saavutetaan vasta 2050, jolloin vähäpäästöiset teknologiat ovat laajamittaisesti käytössä ja päästöjen keinovalikoima päästöjen vähentämiseen on laajempi.

## 6. Johtopäätökset

Tässä raportissa on esitetty vaihtoehtoisia polkuja Suomelle saavuttaa EU:n asettamat KHK-päästötavoitteet vuoteen 2050 mennessä, mikä tarkoittaa vähintään 80 % KHK-päästöjen vähennystä vuoden 1990-päästötasosta. On selvää, että Suomen, EU:n ja muun maailman kehitystä ei voi ennustaa, jonka vuoksi on pyritty luomaan vaihtoehtoisia skenaarioita, jotka kuvaisivat mahdollisimman erilaisia maailmoja vuonna 2050. Työ on keskittynyt arvoimaan Suomen kustannustehokkaita ja ympäristön kannalta kestäviä keinoja saavuttaa vähähiilitavoite sekä arvioimaan päästötavoitteen vaikutuksia Suomen kansantalouteen, luonnonvarojen kestävään käyttöön sekä Suomen energijärjestelmään.

Low Carbon Finland 2050 –platform -hanke käynnistyi keväällä 2012 ja se päättyi syksyllä 2014. Näin ollen kaikkia esimerkiksi vuoden 2014 energia- ja ilmastopoliittisia päätöksiä tai suunnitelmia ei ole huomioitu tarkasteluissa, kuten Suomen ydinlupiin liittyvät päätökset sekä EU:n esittämät ilmasto- ja energiatavoitteet vuodelle 2030. Koska skenaarioiden laskenta on sisältänyt useita laskentakierroksia, uusimmat tilasto ja ennustetiedot on kuitenkin voitu huomioida tarkasteluissa. Toisaalta hankkeen yksi keskeinen tavoite oli luoda interaktiivinen platform, joka voisi toimia välineenä vähähiilitiekartan muodostamisessa, vähähiilipolkujen analysoinnissa sekä kommunikoinnissa eri ryhmien ja toimialojen välillä. Hankkeen aikana tuli selväksi, että pitkä projektin kesto oli tärkeä edellytys työn kokonaisvaltaselle onnistumiselle.

Alla on esitetty yhteenedenomaisesti johtopäätöksiä ja havaintoja, jotka perustuvat pääasiassa VTT:n, VATT:n, Metlan, ja GTK:n tuottamiin laskennallisiin vaikutusarvioihin, mutta myös laadullisiin tuloksiin, joita on kerätty kuluttajakyselyn muodossa, asiantuntijatyöpajoissa sekä monissa muissa tilaisuuksissa, joissa skenaarioiden alustavia tuloksia on esitelty ja joissa on myös saatu arvokasta palautetta eri toimialoilta, hallinnon edustajilta, poliittisilta päätöksentekijöiltä sekä ympäristöjärjestöiltä.

### 6.1 Vähähiiliskenaarioille yhteiset haasteet ja mahdollisuudet

Skenaariotarkasteluiden ja työpajatyöskentelyiden tuloksena voidaan esittää seuraavat johtopäätökset:

- 
1. Suomi pystyy siirtymään vähähiiliseen yhteiskuntaan, mutta se ei pysty toteuttamaan sitä yksin. Vähähiilisen kehityksen tueksi tarvitaan kansainvälisesti sitova sopimus vähentää KHK-päästöt tasolle, joka hillitsee ilmakehän lämpötilan nousun turvalliselle tasolle.
  2. Suomelle voidaan osoittaa useita polkuja saavuttaa vähähiilitavoite, eli vähintään 80 % KHK-päästövähennys vuoden 1990 päästötasoon verrattuna. Eri polkujen toteutumiseen sisältyy vielä merkittäviä epävarmuustekijöitä liittyen esimerkiksi uuden teknologian kaupallistumiseen, kansainväliseen ilmasto- ja energiapolitiikkaan sekä kuluttajien ja investoijien valintoihin. Näin ollen kaikki mahdollisuudet vähentää KHK-päästöjä tulee säilyttää toimenpidevalikoimassa.
  3. Nopeutettu uuden teknologian kehitys ja käyttöönotto voi tuoda Suomelle kilpailuetua. Tässä tulee hyödyntää Suomen mittavia luonnonvaroja sekä cleantech-osaamistamme. Suomen korkea BKT henkilöä kohden sekä korkea koulutustaso ovat myös valttikortteja moneen muuhun maahan nähden.
  4. Suurimmat epävarmuudet Suomen näkökulmasta liittyvät hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin (CCS) kaupallistumiseen sekä biomassan käytön kestävyys- ja tulevaisuuden politiikoissa.

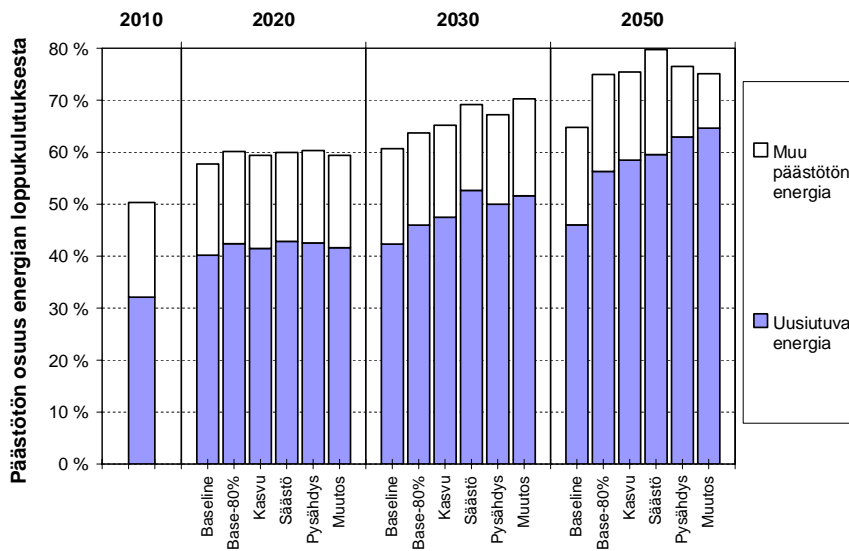
## 6.2 Ratkaisut, haasteet ja mahdollisuudet eri toimialojen näkökulmasta

### 6.2.1 Energiajärjestelmän kehitys ja energianhankinta

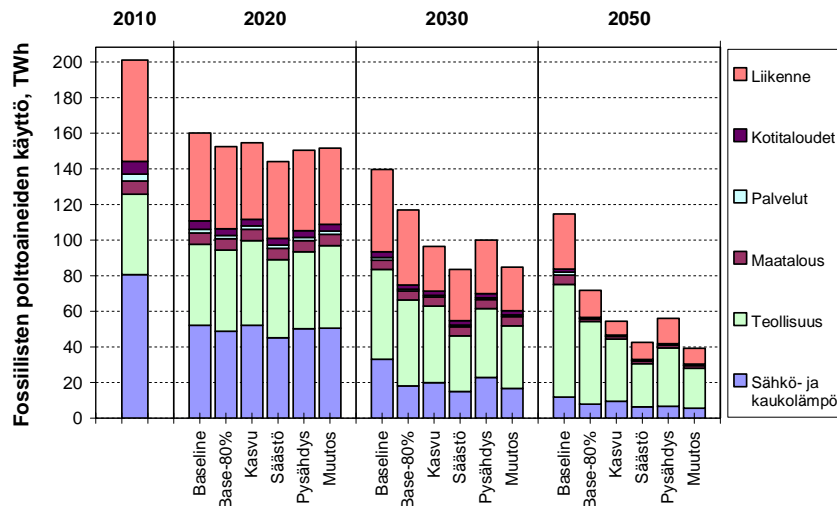
- **Kaikkien päästöttömien energialähteiden osuus** energian loppukulutuksesta oli Suomessa vuonna 2010 jo noin 50 %. Kaikissa vähähiiliskenaarioissa osuus **nousee vuoteen 2050 mennessä 75–80 %:iin (Kuva 42)**. Suurin osuus, 80 %, saavutetaan Säästö-skenaariossa, muun muassa laajimman ydinvoimatuotannon ansiosta.
- Fossisten polttoaineiden käyttö kohdistuu vähähiiliskenaarioissa lähinnä liikenteeseen ja teollisuuteen (vrt. **Kuva 43**).
- **Energiantuotannossa** sähkön ja kaukolämmön tuotantojärjestelmä voidaan tulosten mukaan saattaa **Suomessa 90–100 %:sesti hiilivapaaksi vuoteen 2050 mennessä**. Kun otetaan lisäksi huomioon mahdollisuus CCS:n soveltamiseen myös biopolttoaineiden polton päästöihin, energiantuotannon päästötasossa voidaan päästä jopa negatiivisiin nettopäästöihin. Keskeiset keinot päästöjen vähentämiseen ovat Suomessa bioenergian, sekä ydin- tuuli- ja aurinkoenergian lisäys.
- Suomen etuna on sen **monipuolinen energiarakenne**, joka **tulisi säilyttää** monipuolisena vähähiiliyhteiskunnassa, jotta KHK-päästötavoitteet voitaisiin tavoittaa mahdollisimman kustannustehokkaasti siten, että Suomen energiaomavaraisuus myös kasvaisi. Fossii-

listen energialähteiden käytön edellytyksenä on kuitenkin hiilidioksidin erotus ja varastointiteknologian (CCS) kaupallistuminen.

- Vaihtelevan tuuli- ja aurinkovoiman tuotannon osuuden nostaminen yli 25 %:n tuotannosta lisää säätövoiman ja kysynnän ohjauksen tarvetta jo merkittävästi. Tulosten mukaan **älykkäillä sähköverkon ohjausjärjestelmillä ja sähkön varastointiteknikoilla Suomessa voitaisiin tuottaa vuoteen 2050 mennessä tuuli- ja aurinkovoimalla jopa 45 % sähkön tarpeesta**, vaikkakin tarvittavat investoinnit riittävään tuotantokapasiteettiin olisivat suuria.



**Kuva 42.** Uusiutuvan ja muun hiilineutraalin energian osuus energian loppukulutuksesta.



Kuva 43. Fossiilisten polttoaineiden käyttö vähähiiliskenaarioissa.

### 6.2.2 Energiaintensiivinen teollisuus

- Teollisuuden päästöjen vähentäminen on energiantuotantoa vaikeampaa sillä energiaintensiivisen prosessiteollisuuden monille prosesseille on vaikeata löytää taloudellista vähäpäästöistä vaihtoehtoa.
- **Teollisuuden päästöjen voimakkaaseen vähentämiseen tarvitaan CCS-tekniologiaa**, jotta teräs- tai sementtiteollisuuden tuotanto voisi säilyä Suomessa nykyisenkaltaisiin prosesseihin perustuvana. Metsäteollisuudessa bio-CCS:n soveltaminen metsäteollisuuden integroiduissa biojalostamoissa voi tulosten perusteella muodostua yhdeksi Suomen kilpailueduksi.
- **Energiatohokkuutta voidaan parantaa** teollisuudessa vuoteen 2050 mennessä monilla aloilla **20–40 %**, mutta se ei vielä riitä syviin päästöjen vähennyksiin.
- Myös integroidut konseptit kaasutuskombiteknikoilla on merkittävä potentiaali metsäteollisuuden sähkön ja lämmön yhteistuotannon rakennusasteiden nostamisessa.

### 6.2.3 Rakennukset

- Rakennusten energiakäytöstä suoria päästöjä aiheuttaa pääosin kiinteistöjen lämmitys, johon käytetyt fossiiliset polttoaineet voidaan korvata biopolttoaineilla ja siirtymisellä sähkөөn tai kaukolämpöön. Myös aurinkolämpö- ja lämpöpumppuratkaisut yleistyvät vähähiiliskenaarioissa. Välillisiä sähkön ja kaukolämmön tuotannon päästöjä voidaan

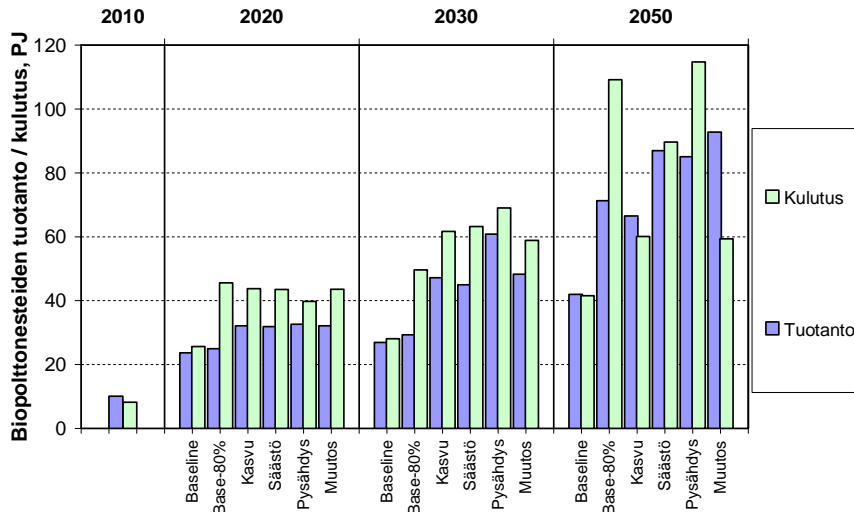


taas rakennussektorilla vähentää parantamalla rakennusten energia-  
tehokkuutta.

- Vähähiiliskenaarioissa **uusien rakennusten suorissa päästöissä voidaan saavuttaa 90 %:n vähennys ja koko rakennuskannan keskimääräisiä ominaiskulutuksia voidaan pienentää parhaimmillaan alle puoleen nykytasosta** vuoteen 2050 mennessä.
- **Rakennusten älykkäät ohjausjärjestelmät** vähentävät niin lämmitysenergian kuin laite- ja valaistussähkön kulutusta ja ovat **tärkeä osa älykkäitä sähköverkkoja**, joita tarvitaan laajan vaihtelevan uusiutuvan sähköntuotannon integroinnissa tuotantojärjestelmään.
- Rakennusten energiakäytön kokonaishiilitase saadaan selvästi pienemmäksi skenaarioissa, joissa uuden teknologian rooli on merkittävin (Jatkuva kasvu- ja Muutos-skenaariot).

#### 6.2.4 Liikenne

- Liikennettä pidetään päästöjen voimakkaan vähentämisen kannalta yhtenä haasteellisimmista sektoreista. Vähähiiliyhteiskunnan kannalta **yhdyskuntarakenteen kehityksen ohjaaminen entistä tiiviimmäksi** mahdollistaisi **tehokkaan julkisen liikenteen ja taajamien henkilöautoliikenteen tarpeen vähenemisen**. Yhdyskuntarakenteen muutokset ovat kuitenkin väistämättä varsin hitaita, joten ne voivat toimia vain vähähiilitavoitteiden saavuttamiseen tarvittavia teknologisia muutoksia tukevin.
- Suomessa bioenergiaresurssit ovat niin suuret, että **liikenteen vähähiilitavoitteet voitaisiin saavuttaa suurelta osin kotimaisiin biopolttoaineisiin perustuvan ajoneuvoteknologian avulla**. Kehityspo-  
luissa, joissa liikenteessä otetaan monipuolisesti myös muita uusia teknologioita käyttöön (Jatkuva kasvu- ja Muutos-skenaariot) biopolttonesteistä voi tulosten mukaan tulla jopa merkittävä nettovientituote (Kuva 44).
- **Sähkömoottoreihin tai polttokennoihin perustuva uusi ajoneuvo-  
teknologia** voi laajamittaisena kaupallistuessaan merkittävästi vähentää kotimaista biopolttonesteiden tarvetta jo ennen vuotta 2050, mikä luo mahdollisuuden syvempiin kotimaisiin päästönvähennyksiin.



**Kuva 44.** Biopolttonesteiden tuotanto ja kulutus skenaarioissa vuosina 2010–2050. Jatkuva kasvu- ja Muutos-skenaarioissa Suomi on biojalosteiden nettoviejä.

### 6.2.5 Maatalous

- **Maataloudessa syvien päästövähennysten aikaansaaminen** lienee keskeisimpien päästöjä tuottavien sektoreiden joukossa **teknologisesti kaikkein vaikeinta**, kuten myös EU:n vähähiilitiekartassa on arvioitu (EC 2011).
- Tarkastelluista skenaariosta Base-80%, Säästö- ja Pysähdys-skenaarioissa maatalouden päästöjen erot Baseline-skenaarioon johduttavat pääasiassa eroista maataloustuotannon kehitystä koskevissa oletuksissa. Varsinaisten päästövähennystoimien kilpailukyky jää näissä skenaarioissa maatalouden piirissä suppeaksi, vaikka **pieniä vähennyksiä saadaan muun muassa biokaasun tuotannon laajenemisella**.
- Ainoastaan Jatkuva kasvu ja Muutos-skenaarioissa maataloudessa kyetään näkyvästi vähentämään myös **kotieläinten ruoansulatuksen päästöjä karjan ruokintamuutosten kautta ja maaperän N2O päästöjä typpilannoitteiden käytön vähentämisellä**. Vuoteen 2010 verrattuna **vähennykset ovat korkeimmillaan 44 % vuonna 2050**, mikä on sopusoinnussa EU:n vähähiilitiekartan arvioiden kanssa.

### 6.2.6 Jätehuolto ja F-kaasut

- Jätehuollossa **metaanipäästöjen vähentäminen toteutuu suurimaksi osaksi jo perusskenaariossa** (Baseline), jossa on huomioitu orgaanisen ja muun biohajoavan jätteen kaatopaikkasijoittamisen EU-tasoinen rajoitus vuodesta 2016. Vähähiiliskenaarioiden lisävähennykset jäävät verrattain pieniksi.
- Myös F-kaasujen päästöt alenevat jo Baseline-skenaariossa tuntuvasi, sillä huomattava osa vähennyspotentiaalista on verrattain edullista.

### 6.2.7 Metsäteollisuus, metsäbiomassan hankinta sekä metsänhoitosektorin hiilinielut

- **Suomen metsävarat tarjoavat paljon vapausasteita sekä puun käytön monipuoliselle lisäämiselle että ekosysteemipalvelujen tarjontaan.**
- Tulevaisuudessa metsäteollisuuden odotetaan uusiutuvan ja vahvistuvan sekä käyttävän aiempaa enemmän puuta. Myös energiasektorin puun kysynnän oletetaan kasvavan vahvasti. **Koska puun käyttö kasvaa ainakin aluksi pienin askelin, metsien kestävästä hakkuupotentiaalista jää merkittävä osa hyödyntämättä seuraavan parin vuosikymmenen aikana. Siksi puuston volyymi karttuu edelleen. Tämä merkitsee hiilinielujen kasvua olettaen, että metsien kasvu kiihtyy lähitulevaisuudessa.**
- Metsistä korjattava energiapuu koostuu pääasiassa päätehakkuualoilta kerättävästä latvusmassasta ja kannoista sekä enimmäkseen metsien harvennuksista korjattavasta runkopuusta. Energiapuun kysynnän kasvu painottuu tulevaisuudessa yhä suuremmissa määrin pieniläpimittaiseen runkopuuhun (joka tyypillisesti täyttää kuitupuun mitat), koska tukkipuun kysyntä rajoittaa päätehakkuilta saatavien hakkuutähteiden ja kantojen määrää.
- Bioenergian mahdollisuuksista puhuttaessa nostetaan usein esille sellutehtaiden rooli tulevaisuuden biojalosteiden tuottajana. Ei pidä unohtaa tukkipuuta jalostavan saha- ja vaneriteollisuuden sekä mahdollisesti näiden rinnalle tulevien uusien tukkipuun jalostukseen pohjautuvien tuotantomuotojen kehitystä. Hyvä tukkipuun kysyntä kotimaisilla puumarkkinoilla edistää paitsi päätehakkuualoilta korjattavan metsähakkeen myös kuitupuun tarjontaa.
- Suomen metsänhoitosektorin hiilinielu on hyvin merkittävä suhteessa Suomen KHK-päästöihin ja tämä suhde voi korostua entisestään tulevaisuudessa. Metsien hiilinielu tarjoaa mahdollisuuksia asettaa sellaisia hiilineutraaliteet-

---

titavoitteita, jotka perustuvat sekä päästöjen että nielujen huomioon ottamiseen.

### 6.2.8 Kaivosteollisuus

- Perusmetalleihin ja rautaan pohjautuvalla kaivostoiminnalla on tällä hetkellä huomattavasti suurempi merkitys kaivostoiminnan kokonaiskehittämiseen kuin kriittisillä metalleilla ja mineraaleilla. Tämä johtuu siitä, että Suomessa tällä hetkellä tunnetut kriittisten metallien ja mineraalien esiintymät ovat pääosin pieniä, lukuun ottamatta joitakin kobolttia, platinaa, palladiumia ja hopeaa sisältäviä perusmetalliesiintymiä. Kriittisiksi luokiteltujen metallien ja mineraalien kysynnän kasvaessa ja näihin erikoistuvan malminetsinnän lisääntyessä uusien esiintymien löytäminen Suomesta on kuitenkin todennäköistä. Kriittiset metallit ja mineraalit esiintyvät myös usein yhdessä perusmetallien kanssa, mikä osaltaan edistää niiden hyödynnettävyyttä.
- Kaivosteollisuuden energian käyttö tulee todennäköisesti kasvamaan, mutta erityisesti sähkön käyttöön liittyvät epäsuorat KHK-päästöt tulevat pieneneään johtuen sähköntuotannon muutoksesta kohti vähähiilisiä tuotantotapoja. Suorat, polttoaineiden käyttöön ja kemiallisiin prosesseihin liittyvät KHK-päästöt eivät todennäköisesti tule vähenemään suhteessa yhtä paljon.
- Tulokset osoittavat, että hiilineutraalien tuotantotapojen hyödyntäminen kansallisessa sähköntuotannossa voi merkittävästi vähentää myös kaivostoiminnan epäsuoria KHK-päästöjä. Näin ollen parhaita tapoja vähentää kaivosten ilmastovaikutusta ovat energiatehokkuuden parantaminen, toimintojen sähköistäminen, öljypohjaisten polttoaineiden korvaaminen biopolttoaineilla ja tuotantoprosessien optimoiminen.

## 6.3 Kansantalous

### 6.4 Kuluttajien valmiudet ja näkökulmat

- Kuluttajakyselyn tulosten perusteella itse **tavoitetta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi pidetään tärkeänä**: kaikista vastaajista melko tai täysin samaa mieltä on neljä viidestä (79 %). Kyselyyn vastaajista 59 % ilmoitti vähentäneensä määrätietoisesti kasvihuonekaasupäästökäytöstään. Vastauksissa oli selvä ero naisten (70 %) ja miesten (50 %) välillä.
- Toisaalta yksityisistä kuluttajista merkittävässä osassa valmiuksissa toteuttaa vähentämistoimia on puutteita – **esteet ovat ennen kaikkea puhtaasti taloudellisia, mutta myös mm. puutteellisesta tiedosta aiheu-**

**tuvia.** Miehillä (61 %) korkea hintataso vaikutti naisia (47 %) enemmän. Mitä nuorempi vastaaja, sitä enemmän hintatasolla on merkitystä.

- **Uuden teknologian kehittämistä ja käyttöönottoa pidettiin parhaana tapana vaikuttaa muutokseen.**
- Keinoista verotuksella sekä määräyksillä ja säädöksillä oli vastaajien piirissä vähiten kannatusta. **Tuet, määräykset ja säädökset ja verot ovat vastaajien mielestä vähiten hyviä tapoja vaikuttaa.**

## 6.5 Jatkotutkimustarpeet

Tässä raportissa on esitetty, mitä haasteita ja mahdollisuuksia siirtymisessä vähähiiliseen yhteiskuntaan voidaan osoittaa nykytiedon perusteella. On selvää, että mikään esitetyistä vähähiiliskenaarioista ei toteudu, vaan vähähiilitulevaisuutta tulee tarkastella systemaattisesti tiedon karttuessa. Alla on esitetty joitain avoimia kysymyksiä ja ehdotuksia jatkotutkimus- ja selvityskohteista:

- Skenaariotyö yhdistettynä kvantitatiiviseen mallinnukseen on osoittautunut erinomaiseksi työkaluksi, kun tarkastellaan tulevaisuutta pitkälle eteenpäin ja kun tulevaisuuden arviointiin liittyy suuria epävarmuustekijöitä. Jatkossa skenaariotyössä ja mallinnuksessa tulisi entistä paremmin pystyä kuvaamaan ja arvioimaan muun muassa kuluttajien ja investoijien käyttäytymisen vaikutuksia. Myös kriittisten resurssien saatavuus ja käyttö, kuten kestävät luonnonvarat tai vaikkapa koulutettu työvoima, tulisi huomioida aiempaa paremmin.
- Tässä työssä lähtökohtana oli arvioida Suomen kehitystä osana EU-aluetta. Jatkossa tarkasteluja tulisi tehdä Suomen alueellisella ja/tai kaupunkitasolla sekä toisaalta myös globaalilla tasolla. Alueellisen tason tarkastelut ovat tärkeitä aluetalouden näkökulmasta sekä arvioitaessa energijärjestelmien kehitystä huomioiden alueelliset erityispiirteet, kuten paikallisen teollisuuden kehitys, väestön ja väestörakenteen kehitykset sekä paikalliset energiavarat ja niiden teknistaloudelliset potentiaalit. Globaaleissa tarkasteluissa erityisen tärkeää on arvioida Suomen globaalia kilpailukykyä, ml. hiilivuotoriski.
- Uuden teknologian kehitys ja käyttöönotto on havaittu kaikista ehkäpä keskeisimmäksi tekijäksi siirryttäessä vähähiiliseen kilpailukykyiseen yhteiskuntaan. Esitetyissä skenaarioissa on oletettu merkittävää uuden teknologian kehitystä ja kaupallistumista, jolloin uusien teknologoiden kustannukset pienevät hyvin merkittävästi nykytasosta. Uusien teknologioiden kehittämisellä ja demonstroimisella saadaan realistista lisätietoa eri teknologioiden kehityksistä. Suomen näkökulmasta erityisesti CCS, ml. bio-CCS on osoittautunut kriittiseksi teknologiaksi siirtyessä vähähiiliseen yhteiskuntaan, jonka osalta tarvitaan erityisesti teknistaloudellista lisätietoa.
- Cleantech on tunnistettu yhdeksi Suomen menestyksen tukijalaksi myös tulevaisuudessa. Raportissa esitetyissä korkeimpen kansantalouden

---

kasvun skenaarioissa oli lähtökohtaisesti oletettu, että vientiteollisuus elpyy ja löytää uusia kasvun lähteitä. Nykyiset laskenta- ja arvointimentelmät ovat kuitenkin puutteelliset, jotta cleantech-alaa ja sen kehitystä voisi systemaattisesti ja läpinäkyvästi arvioida. Tarvitaankin menetelmäkehitystä, ml. tilastoinnin kehitystä, jotta cleantech-toimialaa ja sen merkitystä Suomen kansantalouteen ja työllisyyteen, pystytään entistä paremmin arvioimaan.

- Pääministeri Kataisen hallitus nosti toukokuussa 2014 tekemässään periaatepäätöksessä biotalouden yhdeksi Suomen tulevan kasvun kärjeksi. Myös tässä tutkimuksessa tunnistettiin, että metsävarat ja niiden luomat mahdollisuudet ovat Suomen ehdoton kilpailuetu siirryttäessä vähähiiliseen yhteiskuntaan. Metsäbiomassan kestävään käyttöön liittyy kuitenkin epävarmuuksia, koska jatkossa ei voida olla täysin varmoja, luokitellaanko metsäbiomassa ns. hiilineutraaliksi vai kohdistetaanko sille jokin päästökerroin. Tarvitaankin lisätutkimusta liittyen biomassan ilmastovaikutuksiin.

## 6.6 Miten tästä eteenpäin – kiintopisteet ja virstanpylväät

Suomi pystyy siirtymään vähähiiliseen yhteiskuntaan. Muutos edellyttää jo lähivuosina merkittäviä investointipäätöksiä ja uusien teknologioiden käyttöönottoa, jotta tavoitteeseen päästään kustannustehokkaasti. Erilaisia toteutusvaihtoehtoja on useita, mutta parasta polkua ja voittajateknologioita ei voi vielä osoittaa. Kyseilytutkimuksen mukaan 79 % suomalaisista pitää tavoitetta tärkeänä ja yli puolet ilmoitti vähentäneensä määrätietoisesti kasvihuonepäästökuormitustaan. Parlamentarisen energia- ja ilmastokomitean julkaisema vähähiilitiekartta osoitti myös osaltaan, että poliittista tahtotilaa löytyy läpi puoluerajojen, mutta keinoista ollaan vielä erimielisiä.

Vuoteen 2050 mennessä energiantuotannon tulisi olla hiilivapaata, joten energiantuotannon päästöjen vähentäminen on tärkeää jo nykyisiä investointipäätöksiä tehtäessä. Vuodelle 2020 on asetettu 38 % uusiutuvan energian osuus loppuenergiankulutuksesta. Tämän pitäisi nousta vuoteen 2030 mennessä noin 50 %:in ja vuoteen 2050 mennessä noin 60 %:in. Uusiutuvien energialähteiden osuuteen vaikuttavat tehdyt ydinnvoimapäätökset. Hiilineutraalin energian osuuden tulee joka tapauksessa nousta lähelle 80 % loppuenergiankulutuksesta vuoteen 2050 mennessä.

Puhtaiden teknologioiden on oltava kaupallisesti saatavilla riittävän ajoissa. Siksi jo lähitulevaisuudessa Suomessa on panostettava uuden teknologian kehittämiseen ja kaupallistamiseen. Teknologioihin on panostettava monipuolisesti, koska parhaat niistä eivät ole vielä tiedossa. Kriittisten metallien saatavuus on varmistettava pitkällä aikavälillä kehitettäessä uusia energiateknologioita, jotteivät ne koidu esteeksi puhtaiden teknologioiden laajalle käyttöönotolle.

Suomen vahvuuksia ovat sen merkittävät luonnonvarat: erityisesti metsäbiomassa, jota voidaan hyödyntää liikenteen biopolttoaineiden tuotannossa, teolli-

suudessa ja energian tuotannossa. Suomen maaperästä löytyy myös edellä mainittuja kriittisiksi luokiteltuja metalleja.

80 % Suomen kasvihuonekaasupäästöistä on peräisin energiankulutuksesta: Suurin muutostarve kohdistuu liikenteen, rakennusten ja teollisuuden energiankäyttöön. Haasteena on Suomen hitaasti uusiutuva infrastruktuuri teollisine laitoksineen ja rakennuksineen ja autokantoineen.

Nopeimmin muutospaineet kohdistuvat liikenteeseen, jotta EU:n esittämät ilmasto- ja energiatavoitteet vuodelle 2030 saavutetaan. Nykyisessä autokannassamme voidaan käyttää toisen sukupolven liikenteen biopolttoaineita, mutta esimerkiksi sähköiseen tai kaasua hyödyntävään liikenteeseen siirtyminen edellyttää autokannan ja infrastruktuurin uusimista.

Asumiseen ja jätteenkäsittelyyn liittyvät päätökset ovat jo hyvin pitkälti oikeasuuntaisia, mutta niidenkin suhteen tarvitaan lisätoimia erityisesti vuoden 2020 jälkeen.

Hankkeessa toteutetun kuluttajakyselyn mukaan 79 % vastaajista piti vähähiilitavoitetta tärkeänä. Kaikista vastanneista 2 % oli täysin eri mieltä. Vastanneista 59 % ilmoitti jo vähentäneensä määrätietoisesti kuormitustaan. Kyselyn perusteella esteitä oman päästökuormituksen vähentämiseksi olivat tavanomaista ratkaisua korkeampi hinta, käyttöönoton vaikeus ja tiedon puute. Tämä luo haasteita uuden teknologian kehittäjille: heidän on osoitettava vähähiilisen vaihtoehdon toimivuus ja kustannustehokkuus. Myös koulutusta ja kuluttajille suunnattua tiedotusta tarvitaan.

80 %:n päästöjen vähenemä ei aiheuta kovin suurta kansantuotteen laskua perusuraan verrattuna, koska päästöt jo vähenevät perusrallalla kohtuullisen paljon ja koska valtaosa vähennyksistä pystytään toteuttamaan teknologian avulla. Oleellista on toimenpiteiden ja investointien ajoitus. Liian aikaiset toimenpiteet voivat aiheuttaa lisäkustannuksia, mikäli teknologia ei ole vielä kypsää. Toisaalta liian myöhäiset toimenpiteet lisäävät kustannuksia, mikäli matkalla vähähiilisyteen on tehty investointeja, jotka eivät ole enää kilpailukykyisiä vähähiilisessä yhteiskunnassa.

Vähähiilisen yhteiskunnan toteutuminen edellyttää, että paitsi Suomessa myös globaalisti pystytään sitoutumaan ilmastopöytäkirjaan, jolla rajoitetaan ilmakehän lämpötilan kohoamista kahteen celsiusasteeseen. Uusia vähäpäästöisiä teknologioita on kehitettävä ja ne on saatava nopeasti markkinoille. Suomessa tämä merkitsee radikaalia muutosta ja edellyttää poliittisten päätöksentekijöiden, elinkeinoelämän ja kansalaisten yhteistä tahtotilaa.

## Kirjallisuusviitteet

EC 2010. EU:n määrittelemät kriittiset metallit.

EC 2011. Euroopan komissio. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. Etenemissuunnitelma – siirtyminen kilpailukykyiseen vähähiiliseen talouteen vuonna 2050. Bryssel 8.3.2011. KOM(2011) 112 lopullinen. 16 s. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0112:FIN:FI:PDF>

EC 2014. Euroopan komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. Ilmasto- ja energiapolitiikan puitteet vuosille 2020–2030. Brussels 22.1.2014. MOM(2014) 15 lopullinen. [http://ec.europa.eu/clima/policies/2030/documentation\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/2030/documentation_en.htm)

Grandell, L. 2014. Kriittiset metallit vihreässä energiateknologiassa. VTT Technology 162. VTT, Espoo. 86 s. + liitt. 2 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2014/T162.pdf>

Grandell, L. & Thorenz, A. 2014. Silver supply risk analysis for the solar sector. Renewable Energy. Elsevier. Vol. 69, No: September, s. 157–165. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148114001785>

Honkatukia 2014. Low Carbon Finland 2050 -platform -hankkeen kansataloudelliset vaikutusarviot. VATT.

Honkatukia J., Ahokas J. & Simola, A. 2014. Kriisien jälkeen - Suomen talouden rakenteellinen kehitys vuosina 2013–2030. VATT Tutkimukset 176. VATT, Helsinki. 82 s. [http://www.vatt.fi/file/vatt\\_publication\\_pdf/t176.pdf](http://www.vatt.fi/file/vatt_publication_pdf/t176.pdf).

IEA 2013 (ed.). Nordic Energy Technology Perspectives 2013. Pathways to a Carbon Neutral Energy Future. IEA/OECD, Paris. 204 s.

IPCC 2014. Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahanni, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlomer, S., von Stechow, C., Zwickel, T. & Minx, J.C. (eds.) 2014. IPCC, 2014: Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA Kallio, A.M.I., Salminen, O. & Sievänen, R. 2013. Sequester or substitute – Conse-



quences of increased production of wood based energy on the carbon balance in Finland. *Journal of Forest Economics* 19, s. 401-415.

Kallio, M., Salminen, O. & Sievänen, R. 2014. Low Carbon Finland 2050 -platform. Skenaariot metsäsektorille. Metla työraportteja. Valmistuu marraskuussa 2014.

Kihlman, S., Lauri, L. & Tuusjärvi, M. 2014. Kriittisten metallien ja mineraalien maailmanlaajuinen tuotanto ja malmipotentiali Suomessa, sekä Suomen metallikaivosteollisuuden mahdolliset kehityspolut matalahiilisessä yhteiskunnassa. GTK.

Knopf, B., Chen, Y.-H.H., De Cian, E., Förster, H., Kanudia, A., Karkatsouli, I., Keppo, I., Koljonen, T., Schumacher, K. & van Vuuren, D.P. 2013. Beyond 2020 – Strategies and costs for transforming the European energy system. *Climate Change Economics*, Vol 4, Suppl. 1.

Knopf, B., Bakken, B., Carrara, S., Kanudia, A., Keppo, I., Koljonen, T., Mima, S., Schmid, E. & van Vuuren, D. 2013. Transforming the European energy system: Member States's prospects within the EU frameworks. *Climate Change Economics*, Vol 4, Suppl. 1.

Lehtilä 2014. Energijärjestelmäraportti.

LVM 2009. Liikenne- ja viestintäministeriö. Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnon alan ilmastopoliittinen ohjelma 2009-2020. LVM Ohjelmia ja strategioita 2/2009.

LVM 2013. Liikenne- ja viestintäministeriö. Liikenteen ympäristöstrategia 2013–2020. Julkaisuja 43/2013.

Pahkala, K. & Lötjönen, T. (toim.) 2012. Peltobiomassat tulevaisuuden energiareurssina. Jokioinen: MTT, MTT raportti 44.

Regina, K., Lehtonen, H., Palosuo, T. & Ahvenjärvi, S. 2014. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt ja niiden vähentäminen. MTT Raportti 127. ISBN 978-952-487-504-2.

Similä, L., Wessberg, N., Dufva, M. & Koljonen, T. 2014. Low Carbon Finland 2050 –platform. Yhteistoimintamallin kuvaus. VTT Technology 166. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2014/T166.pdf>

Teir, S., Arasto, A., Tsupari, E., Koljonen, T., Kärki, J., Kujanpää, L., Lehtilä, A., Nieminen, M., Aatos, S. 2011. Hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin

- (CCS:n) soveltaminen Suomen olosuhteissa. VTT Tiedotteita - Research Notes 2576. VTT, Espoo. 76 s. + liitt. 3 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2011/T2576.pdf>
- TEM 2013. Työ- ja elinkeinoministeriö. Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. Taustaraportti. 21.3.2013. 179 s. [https://www.tem.fi/files/36279/Kansallinen\\_energia-\\_ja\\_ilmastostrategia\\_taustaraportti.pdf](https://www.tem.fi/files/36279/Kansallinen_energia-_ja_ilmastostrategia_taustaraportti.pdf).
- Tilastokeskus 2012. Väestörakenne 2012, vuosikatsaus. <http://www.tilastokeskus.fi/til/vaerak/2012/01/index.html>
- Tilastokeskus 2014a. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2012. Katsauksia 2014/1. Ympäristö ja luonnonvarat. [http://www.tilastokeskus.fi/tup/khkinv/suominir\\_2014.pdf](http://www.tilastokeskus.fi/tup/khkinv/suominir_2014.pdf)
- Tilastokeskus 2014b. Energian hankinta ja kulutus. 2013. 4. neljännes. [http://www.tilastokeskus.fi/til/ehk/2013/04/ehk\\_2013\\_04\\_2014-03-24\\_fi.pdf](http://www.tilastokeskus.fi/til/ehk/2013/04/ehk_2013_04_2014-03-24_fi.pdf)
- VNK 2009. Valtioneuvoston kanslia. Valtioneuvoston tulevaisuusselonteko ilmast- ja energiapolitiikasta: kohti vähäpäästöistä Suomea. Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 28/2009. Helsinki: Yliopistopaino. 180 s. VNK 2011. Valtioneuvoston kanslia. Pääministeri Jyrki Kataisen hallitusohjelma. 22.6.2011. 70 s. + liitt. 10 s. <http://valtioneuvosto.fi/tietoarkisto/aiemmat-hallitukset/katainen/hallitusohjelma/pdf/fi.pdf>
- VTT 2012. Koljonen & Similä (ed.) Low Carbon Finland 2050. VTT clean energy technology strategies for society. VTT Visions 2. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/visions/2012/V2.pdf>

## Liite A: Skenaarioiden keskeisimmät oletukset

Kohde \ skenaario	Baseline Base-80%	Jatkuva kasvu	Säästö	Pysähdys	Muutos
Paperien tuotanto	Lähes nykytasolla	Vähenee alle puoleen	Vähenee noin puoleen	Vähenee yli kolmanneksella	Vähenee lähes puoleen
Kartonkien tuotanto	Kasvaa huomattavasti	Vähenee hieman	Lähes nykytasolla	Vähenee hieman	Lähes nykytasolla
Uudet paperituotteet	Ei juuri uusia tuotteita	Nopeasti kasvava tuotanto	Vähäinen merkitys	Ei juuri uusia tuotteita	Nopeasti kasvava tuotanto
Uudet kuitutuotteet	Vähäinen merkitys	Kuitua tekstiileihin ja hygieniatarvikkeisiin, nanoselluloosa	Tuntuva määrä (noin miljoona tonnia)	Vähäinen merkitys	Kuitua tekstiileihin ja hygieniatarvikkeisiin, nanoselluloosa
Perinteisen vientisel-lun tuotanto	Kasvaa jonkin verran	Kasvaa tuntuvasti	Kasvaa tuntuvasti	Kasvaa jonkin verran	Vähenee hieman
Sahatavaran tuotanto	Kasvaa vähän	Kasvaa jonkin verran	Kasvaa merkittävästi	Kasvaa jonkin verran	Vähenee reippaasti
Uudet puutuotteet	Vähäinen merkitys	Komposiitit ja gluelam kasvualoja	Jonkin verran	Vähäinen merkitys	Komposiitit voimakas kasvuala
Prosessiteknologia	Tavanomainen kehitys	Nopea kehitys	Energiatehokkuus kasvaa	Tavanomainen kehitys	Nopea kehitys
Integroidut bio-polttoainjalostamot	Väh. muutama tuotantoyksikkö	Laaja tuotanto (väh. 0,6 Mt)	Laaja tuotanto (väh. 0,6 Mt)	Väh. muutama tuotantoyksikkö	Laaja tuotanto (väh. 0,6 Mt)

Kohde \ skenaario	Baseline	Base-80%	Jatkuva kasvu	Säästö	Pysähdys	Muutos
Konvertteriteräksen tuotanto	Nykyinen kapasiteetti	Nykyinen kapasiteetti	Lievää kasvua	Nykyinen kapasiteetti	Nykyinen kapasiteetti	Laskee 2020 jälkeen
Jaloteräksen tuotanto	Nykyinen kapasiteetti	Nykyinen kapasiteetti	Tuntuva kasvu	Kasvaa 2020 jälkeen	Nykyinen kapasiteetti	Kasvaa 2030 jälkeen
Sähköteräksen tuotanto	Nykyinen kapasiteetti	Nykyinen kapasiteetti	Kasvua 2030 jälkeen	Nykyinen kapasiteetti	Nykyinen kapasiteetti	Kasvua
Ferrokromin tuotanto	Nykyinen kapasiteetti	Nykyinen kapasiteetti	Lisälaajennus noin 2030	Nykyinen kapasiteetti	Nykyinen kapasiteetti	Nykyinen kapasiteetti
Muiden perusmetallien tuotanto	Hidas kasvu	Hidas kasvu	Tuntuva kasvua vuoteen 2030	Hidas kasvu	Hidas kasvu	Kääntyy laskuun 2030
Prosessiteknologian kehitys	Tavanomainen	Tavanomainen	Uutta teknologiaa	Nopeampi tehostuminen	Tavanomainen	Uutta teknologiaa, vetypelkistys
CCS-mahdollisuus (konvertteriteräs)	Ei	Pesuri	Pesuri, Happimasuuni	Pesuri	Pesuri	Ei
Biohiilen injektio masuuniin	Ei	Valinnainen CCS:n kanssa	Valinnainen CCS:n kanssa	Valinnainen CCS:n kanssa	Valinnainen CCS:n kanssa	Ei

Liite A: Skenaarioiden keskeisimmät oletukset

Kohde \ skenaario	Baseline / Base-80%	Jatkuva kasvu	Säästö	Pysähdys	Muutos
Viljelty peltoala	Vähenee (-2 %)	Vähenee (-28 %)	Kasvaa (+8 %)	Kasvaa (+1 %)	Vähenee (-31 %)
Luomutuotannon max osuus peltoalasta	Varovainen (max 20 %)	Kohtalainen (max 25 %)	Suuri (max. 45 %)	Kohtalainen (max 25 %)	Melko suuri (max. 35 %)
Lannoituksen päästöjen vähennyspotentiaali	Konventionaalinen kehitys	Täsmälannoitus ja ravinteiden kierrätys lisäävät	Konventionaalinen kehitys	Konventionaalinen kehitys	Täsmälannoitus ja ravinteiden kierrätys lisäävät
Turvemaiden osuus viljelyalasta	Vakio	Vakio	Vakio	Vakio	Vakio
Nautakarjan määrä	Vähenee (-26 %)	Vähenee (-50 %)	Vähenee (-11 %)	Vähenee (-18 %)	Vähenee (-57 %)
Sikakarjan määrä	Vähenee (-4 %)	Vähenee (-36 %)	Kasvaa (+15 %)	Vähenee (-5 %)	Vähenee (-49 %)
Siipikarjan määrä	Vähenee (-4 %)	Vähenee (-25 %)	Kasvaa (+14 %)	Vähenee (-4 %)	Vähenee (-15 %)
Ruoansulatuksen päästöjen vähennyspotentiaali	Konventionaalinen kehitys	Ravinnon ja mikrobikannan kehitys lisäävät	Konventionaalinen kehitys	Konventionaalinen kehitys	Ravinnon ja mikrobikannan kehitys lisäävät
Biokaasutuksen osuus lannankäsittelyssä	Kustannustehokkuuden mukaan	Kustannustehokkuuden mukaan	Kustannustehokkuuden mukaan	Kustannustehokkuuden mukaan	Kustannustehokkuuden mukaan

Kohde \ skenaario	Baseline / Base-80%	Jatkuva kasvu	Säästö	Pysähdys	Muutos
Ydinvoima (MW)	6600 v. 2030 max. 6550 v. 2050	max. 6600 v. 2030 max. 5200 v. 2050	max. 6600 v. 2030 max. 7000 v. 2050	max. 5050 v. 2030 max. 4300 v. 2050	3850 v. 2030 1600 v. 2050
Vesivoiman potentiaali	Max. 16 TWh vuonna 2050	Max. 16 TWh vuonna 2050	Max. 16 TWh vuonna 2050	Max. 16 TWh vuonna 2050	Max. 16 TWh vuonna 2050
Tuulivoima	Tavanomainen tekn. kehitys, väh. 7 TWh v. 2050	Nopea teknologian kehitys, väh. 12 TWh v. 2050	Tavanomainen tekn. kehitys, väh. 7 TWh v. 2050	Tavanomainen tekn. kehitys, väh. 7 TWh v. 2050	Nopea teknologian kehitys, väh. 12 TWh v. 2050
Aurinkoenergia	Tavanomainen teknologian kehitys	Nopea teknologian kehitys	Tavanomainen teknologian kehitys	Tavanomainen teknologian kehitys	Erittäin nopea kehitys, suuri potentiaali
Sähkön ja lämmön yhteistuotanto	Tavanomainen teknologian kehitys	Nopea teknologian kehitys	Tavanomainen teknologian kehitys	Tavanomainen teknologian kehitys	Nopea teknologian kehitys
Matalalämpö-kaukolämpöverkot	Ei kaupallistu	Vuodesta 2030 alkaen	Ei kaupallistu	Ei kaupallistu	Vuodesta 2030 alkaen
CCS, fossiiliset	Kaupallistuu täysimittaisesti	Kaupallistuu täysimittaisesti	Kaupallistuu täysimittaisesti	Rajoitettu potentiaali, korkeat kustannukset	Rajoitettu potentiaali, korkeat kustannukset
BECCS (bio-CCS)	Kaikki kohteet mukana	Kaikki kohteet mukana	Kaikki kohteet mukana	Vain polttoaineiden jalostuksessa	Vain polttoaineiden jalostuksessa
Sähkön varastointitekniikka	CAES	CAES (+ älykkäät verkot)	CAES	CAES	CAES, superkondensaattorit



## **Low Carbon Finland 2050 -platform: vähähiilipolkujen kiintopisteet ja virstanpylväät**

Yhteenvedo hankkeen tuloksista ja johtopäätöksistä

ISBN 978-951-38-7440-7 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (verkkojulkaisu)

