

Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035

Osa 3. Vähähiilisyyden skenaariot



Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 – Vähähiilisyyden skenaarit

Taustaraportti

Lopullinen versio

28.5.2020

Markus Klimscheffskij, Tuomas Raivio, Anna Laine, Anna Heino, Jenny Lehtomäki
Gaia Consulting Oy

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	2
2	Vähähiilisyiden vaikuttavuusmalli	3
3	Skenaariot.....	4
3.1	Tarkasteltavat skenaariot ja niiden ajurit	4
3.2	Perusuraskenaario ja sen ajurit	5
3.3	Innovatiiviset ratkaisut -skenaarion kuvaus.....	8
3.4	Rakentamisen kysyntä skenaarioissa.....	8
3.5	Skenaarioiden vaikutusten arviointitapa	14
4	Tulokset	19
4.1	Perusuraskenaario	19
4.2	Innovatiiviset ratkaisut -skenaario	23
4.3	Yhteenveto skenaarioista	28
4.4	Jälkimmäisen skenaarion toteutumisen edellytyksiä.....	30
5	Yhteenveto	34
	Liite 1: Skenaariokohtaiset Sankey-kuvaajat vuosille 2035 ja 2050	36

1 Johdanto

Käsillä oleva raportti on kolmas taustaraportti Rakennusteollisuus RT:n ”Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035” -tiekarttatyöhön, jota Rakennusteollisuus RT tekee yhteistyössä ympäristöministeriön, työ- ja elinkeinoministeriön ja eri sidosryhmiensä kanssa. Tiekarttatyössä selvitetään keinoja päästöjen tehokkaaseen vähentämiseen rakennetussa ympäristössä. Tiekarttatyön tavoitteena on tunnistaa vähähiilisyiden mahdollistavat toimenpiteet ja keskeiset epävarmuudet sekä asettaa aikataulullisia välitavoitteita rakennusteollisuuden eri toimijoille. Hiilitiekarttatyön lähtökohtana on Suomen hallitusohjelma, jonka mukaan tavoitteena on Suomen hiilineutraalisuus 2035 ja hiilinegatiivisuus nopeasti sen jälkeen. Keskeisiä muita aloja, jotka valmistelevat omia tiekarttojaan, ovat mm. energiateollisuus, kemianteollisuus, metsäteollisuus ja teknologiateollisuus. Lisäksi tiekarttoja valmistelevat useat muut toimialat¹. Lähinnä RT:n työtä on RAKLI:n tiekartta, joka keskittyy kiinteistöjen omistajan ja käyttäjän näkökulmaan.

Tässä raportissa muodostetaan kokonaiskäsitelmä rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön päästöjen kehittymisestä ns. perusrallalla, sekä tilanteessa, jossa kaikki mahdolliset päästövähennyskeinot olisi otettu käyttöön. Lisäksi arvioidaan skenaarioiden talousvaikutuksia ja sitä, mitkä tekijät vaikuttavat jälkimmäisen skenaarion toteutumiseen. Työllisyysvaikutuksia arvioidaan taloudellisten vaikutusten yhteydessä niiltä osin kuin niitä on arvioitavissa. Raportti perustuu laajalti hankkeen edellisiin taustaraportteihin.

Hankkeen ensimmäisessä taustaraportissa laskettiin Suomen rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön hiilijalanjälki ja annettiin esimerkkejä rakennusteollisuuden hiilikädenjäljestä. Samalla kuvattiin rakennusala ja rakennetun ympäristön toimintoja sekä toimintojen toteuttajaa so. rakennusala sekä sen kytkentää ilmastopolitiikkaan.

Hankkeen toisessa taustaraportissa tutkittiin rakennetun ympäristön ja rakentamisen päästöjen syntyä ja keinoja vähähiilisen rakennetun ympäristön ja rakentamisen aikaansaamiseksi. Vähähiilinen rakennettu ympäristö tarkoittaa rakennettua ympäristöä, jonka käytönaikaiset kasvihuonekaasupäästöt (khk-päästöt) ovat mahdollisimman pienet. Vähähiilinen rakentaminen puolestaan tarkoittaa rakentamista, jossa rakentamisen energiankäytön ja materiaalien päästöt ovat mahdollisimman pienet. Käytännössä rajat riippuvat toimialasta itsestään sekä annettavista viranomaisvaatimuksista.

Raportin rakenne on seuraava:

- Luvussa 2 kuvataan vähähiilisyiden vaikuttavuusmalli. Sen perusajatuksena on, että tietyt toimintaympäristön ajurit (esim. päästökauppa, lait, asetukset, vähähiilisyiden kysyntä) saavat aikaan tietynlaista toimintaa ja tuloksia, jotka puolestaan saavat

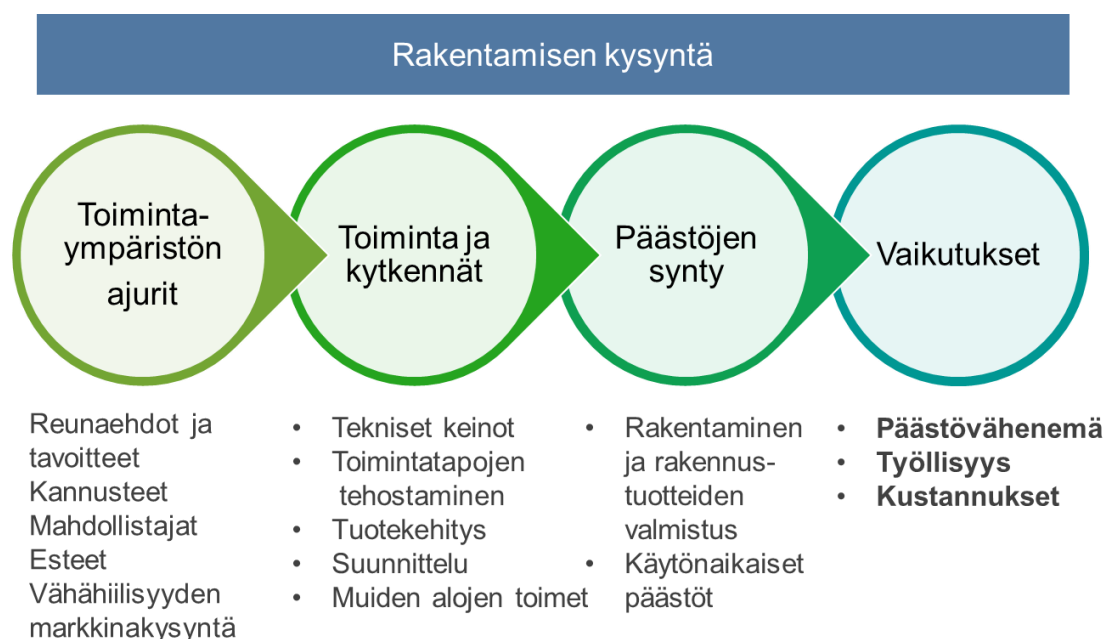
¹ Ks. esim. <https://tem.fi/muut-alat>

aikaan päästövähennyksiä sekä työllisyys- ja kustannusvaikutuksia. Ajureita, toimintaa ja tuloksia on kuvattu raportissa 2 eikä kuvauksia toisteta tässä.

- Luvussa 3 kuvataan skenaariot ja perusraskenaariossa huomioitavat toimintaympäristön ajurit, molemmille skenaarioille yhteinen rakentamisen kysyntäennuste sekä se, miten vaikutukset on arvioitu.
- Luvussa 4 kuvataan skenaarioiden tulokset ja arvioidaan tekijöitä, joita maksimi-päästövähennysten saavuttaminen edellyttäisi.
- Yhteenveto on luvussa 5.

2 Vähähiilisyiden vaikuttavuusmalli

Jotta skenaarioiden synty ja tausta voidaan ymmärtää, tulee tarkastella päästöjen syntyketjua. Kuva 1 on esitetty karkea malli vähähiilisyiden synnylle. Vähähiilisyttä määrittävät ensinnä toimintaympäristön ajurit, joita ovat mm. yhteiskunnan asettaman reunaehdot ja tavoitteet (EU-tavoitteet ja instrumentit, Suomen tavoitteet ja instrumentit), olemassa olevat kannustimet ja mahdollistajat (ml. rahoitusmahdollisuudet), esteet (esim. osaaminen ja kapasiteetti-rajat) sekä vähähiilisyiden markkinakysyntä ja yhteiskunnan arvovalinnat. Teoreettisen tarkastelun rinnalla on syytä muistaa, että jo nyt ajureiden voimasta monet rakennustuotevalmistajat ja rakentajat tekevät merkittävää vähähiilisyystyötä.



Kuva 1 Karkea malli vähähiilisyiden synnylle

Toimintaympäristön ajurit vaikuttavat siihen, millaista toimintaa syntyy. Toimintamahdollisuuksia ovat mm. edellisessä raportissa käsitellyt tekniset päästövähennyskeinot ja toimintatapojen muutokset sekä taloudelliset mahdollisuudet toteuttaa niitä. Suunnittelua ja tuotekehitystä määrittävät osaltaan vähähiilisyiden kysyntä ja yhteiskunnan reunaehdot. Toiminnan

kytkennät muihin aloihin syntyvät erityisesti energiankäytöstä ja käytettävän energian päästökertoimista.

Toimintamahdollisuudet heijastuvat suoraan niihin prosesseihin, joissa päästöt syntyvät so. rakentamiseen sekä rakennusten ja rakenteiden käytönaikaiseen energiankäyttöön. Lopulta toimintaympäristön ajurit, toimintamahdollisuuksien hyödyntäminen ja muutokset prosesseissa saavat aikaan vaikutuksia so. päästövähennyksiä sekä työllisyys- ja talousvaikutuksia.

Kuvaamme luvussa 3 toimintaympäristön ajureita eri skenaarioissa, rakentamisen kysyntää sekä sitä, miten vaikutuksia arvioidaan. Mallissa esitettyjä toimintaa ja tuloksia on kuvattu taustaraporteissa 1 ja 2.

3 Skenaariot

3.1 Tarkasteltavat skenaariot ja niiden ajurit

Tässä työssä tarkastellaan kahta skenaariota, jotka ovat

1. Perusura
2. Innovatiiviset ratkaisut.

Molemmissa skenaarioissa arvioitu rakentamisen kysyntä (ks. luku 3.4) ja siitä seuraavan rakennus- ja rakennekannan muutokset pidetään samoina.

Lähtötasona molemmissa skenaarioissa käytetään hankkeen 1. raportissa ”Rakennetun ympäristön hiilielinkaaren nykytila” tehtyä hiilijalanjälkilaskentaa vuodelle 2017 ja sen tuloksia kuvaavan Sankey-kuvan päästötasoa, mukaan lukien rakennusten käytön aikainen energiankulutus.

Perusura kuvaa kehitystä, joka toteutuisi julkisen sektorin luoman toimintaympäristön ja politiikkatoimien säilyessä nykyisenlaisina. Perusuralla pyritään kuvaamaan khk-päästöjen kehitystä vuosina 2020-2050 huomioiden se päästövähennyskehitys, jonka voidaan arvioida tapahtuvan joka tapauksessa kiinteistö- ja rakennusalalla toimintaympäristön vaatimuksesta ja esimerkiksi teknologian kehittyessä nykyisellä tavalla. Perusuran määrittelevät EU:n toimet, niistä johdettu ja muu kansallinen lainsäädäntö, EU:lle toimitetut viralliset suunnitelmat ja kannanotot ja vastaavat sekä hallinnonalojen tekemä relevantti skenaariotyö. Laeista ja asetuksista on pyritty huomioimaan ne, jotka antavat riittävän konkreettiset suuntaviivat päästövähennyksille. Esimerkiksi ilmastolakia (609/2015), jossa ei ole asetettu toimialakohtaisia tavoitteita tai määritelty tarkempia toimia joihin tavoitteisiin päästään, ei ole otettu huomioon perusuraskenaariossa. Myöskään suunniteltua rakentamisen khk-päästöjä sääntelevää lakia (odotettavissa 2025) ei ole huomioitu, koska laki ei ole voimassa eikä siinä tavoiteltava päästötaso ole tiedossa.

Innovatiiviset ratkaisut -skenaariossa pyritään kuvaamaan se päästövähennys, joka olisi teknisesti mahdollista - skenaariossa oletetaan, että raportissa 2 kuvatut suurimmat mahdolliset päästövähennysoimet toteutetaan teknologian kehittyessä. Innovatiiviset ratkaisut -

skenaariossa otetaan huomioon myös teknologioita, jotka eivät tällä hetkellä ole mahdollisia, mutta ne nähdään alan toimijoiden kesken tulevaisuudessa mahdollisiksi Suomessa.

Nämä kaksi skenaariota määrittelevät rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön khhk-päästöjen todennäköisen vaihteluvälin tulevaisuudessa. Näkökulma perusuralla on deskriptiivinen: kuvataan, millainen päästövähennys kyseisillä toimintaympäristön ajureilla syntyy. Näkökulma innovatiiviset ratkaisut -skenaariossa on preskriptiivinen: päästövähennysten lisäksi arvioidaan, mitä niiden toteuttaminen edellyttää toimintaympäristön ajureilta ja syntyvältä toiminnalta.

Päästöjä kuvataan pääasiassa tavoitevuosina 2035 ja 2050, mutta myös näiden vuosien päästövähennyspotentialista on johdettavissa päästötasoja muina tarkasteluvuosina tarpeen mukaan.

On kuitenkin huomattava, että erityisesti vuosi 2050 on skenaariotyön mittakaavassa hyvin kaukana, ja ennusteet teknologisesta kehityksestä ja jopa poliittisesta ympäristöstä tuolloin ovat varsin epävarmoja.

TEM:n ohjeistuksessa toimialakohtaiseen tiekarttatyöhön pyydetään päästöjen vähentämisen lisäksi myös arvio hiilineutraalisuuden saavuttamisesta, mikäli toimialalle on kohdistettavissa myös nieluvaikutusta. **Hiilineutraalisuus** määritellään tässä raportissa siten, että alan päästöt ovat yhtä suuret kuin rakennetun ympäristön arvioitu nettonieluvaikutus. Nettonieluvaikutus tarkoittaa tässä raportissa Suomen kasvihuonekaasuinventaarion arviota pitkäaikaisiin puutuotteisiin sitoutuvasta hiilestä (Harvested Wood Products, 4 Mt CO_{2e} vuonna 2018) vähennettynä rakentamisen aiheuttamien maankäytön muutosten vaikutuksella Suomen hiinieluihin (-0,7 Mt CO_{2e} vuonna 2018) eli yhteensä nettonieluvaikutus, johon päästöjä on verrattu, on alustavasti 3,3 Mt CO_{2e}². Nettonieluvaikutukseen on mahdollista tulevaisuudessa sisällyttää myös arvio betonin karbonatisoitumisesta kunakin vuotena, varsinkin jos se lisätään Suomen nieluinventaarioon virallisena nieluna. Koska varsinainen tulevaisuuden nielu arviointi toteutetaan rakentamiseen käytettävien pitkäaikaisten puutuotteiden osalta metsäteollisuuden ja sahateollisuuden hiilitiekartoissa ja maankäytön muutosten vaikutusten osalta maa- ja metsätalouden tiekartassa, tämän hankkeen puitteissa käytettiin vuoden 2018 arviota myös vuosille 2035 ja 2050. Lisäksi pieni osa pitkäaikaisista puutuotteista menee muualle kuin rakentamiseen, esimerkiksi huonekaluteollisuuteen. Tämän osuutta ei pystytty tämän hankkeen puitteissa arvioimaan. Arviota hiilineutraalisuudesta voidaan päivittää myöhemmin muiden tiekarttojen valmistuttua.

3.2 Perusuraskenaario ja sen ajurit

EU-tasolla keskeinen rakennustuotteiden päästöjä määrittelevä instrumentti on päästökauppa. Päästökaupassa ovat mukana kaikki energiaintensiivisten rakennusmateriaalien,

² Tilastokeskus, Suomen Kasvihuonekaasupäästöt 1990-2018

kuten sementin, teräksen, raudan, lasin, muovin, kipsin, tiilen ja kuparin valmistus. Myös osa puupohjaisista rakennusmateriaaleista on päästökaupan piirissä, kuten viulun ja puulevyjen valmistus. Päästöoikeuksien kokonaismäärä EU:n päästökaupassa alenee vuodesta 2021 alkaen lineaarisesti 2,2 % vuosittain päästökauppadirektiivin 9 artiklan mukaisesti³. Mikäli nykyinen päästökaton alenemisvauhti säilyy, pienenee kaikkien energiantensiivisten rakennustuotteiden ja -materiaalien yksikköpäästö 2,2 % vuodessa (mikäli tuotettu määrä pysyy ennallaan). Päästökaupan päästökatto on asetettu kokonaispäästöjen mukaan, joten mikäli tuotantomäärä muuttuu huomattavasti, voi tällä olla vaikutusta yksikköpäästövähennykseen. Koska päästöoikeuksien kokonaismäärän alenemisvauhtia tulevaisuudessa ei tiedetä, se oletetaan skenaariossa vakioksi. Skenaariolaskennassa käytetään oletuksena kaikkien päästökaupan alaisten rakennusmateriaalien yksikköpäästön alenevan 2,2 % vuodessa, koska tämä on paras tällä hetkellä saatavilla oleva arvio tulevaisuuden kehityksestä. Päästökaupan vaikutus ei kuitenkaan todellisuudessa kohdistu aivan tasaisesti kaikkiin rakennusmateriaaleihin. Päästökaton kiristys 2,2 % vuodessa kohdistuu koko päästökauppasektoriin kokonaisuutena, ja päästövähennykset tehdään siellä jossa ne ovat kannattavimpia.

Rakennusten elinkaaren aikaisten päästöjen osalta merkittävin perusrakennusohjaava instrumentti on EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD). Perusrakennusohjauksessa on käytetty ennen vuotta 2020 rakennetun rakennuskannan energiatehokkuuden ennustamiseen EPBD-direktiivin artikla 2a:n mukaista Suomen Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategiaa 2020-2050 ja sen taustalaskelmia.⁴

Khk-päästöjen kannalta oleellinen voimassa oleva **kansallinen lainsäädäntö** koostuu mm. energiatehokkuuteen liittyvästä rakentamismääräyskokoelmasta, josta selkeimmin tulevaisuuden rakentamisen elinkaaren aikaisiin päästöihin vaikuttaa maankäyttö- ja rakennuslakiin pohjautuva Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017)⁵. Lisäksi päästöjen kannalta merkittävä voi olla Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta (2/17)⁶. Perusrakennusohjauksessa luotaessa on kuitenkin arvioitu että mm. Pitkän aikavälin korjausstrategian 2050 vaikutus olemassa olevan rakennuskannan päästöihin on suurempi kuin näiden asetusten vaikutus⁷, joten näiden asetusten päästövähennysvaikutus ei suoraan näy skenaariossa.

³ Laki päästökauppalain muuttamisesta (291/2019). <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20190291>

⁴ Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020-2050. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (2010/31/EU), muutettuna direktiivillä 2018/844/EU, artiklan 2a mukainen ilmoitus 10.3.2020 ja sen taustalaskelmat ”Suomen korjausrakentamisen strategia 2020-2050 tavoitteiden laskenta ja ai-neisto” 27.3.2020.

⁵ Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017) <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B7BFD99E48D-F28B-452E-8175-29EA77ABD4CA%7D/133872>

⁶ <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/700001/43242>

⁷ Lisäksi näiden asetusten vaikutus ei ylitä PITKO-jatkohankkeen ”Hiilineutraali Suomi 2035 - Skenaariot ja vaikutusarviot” perusskenaariot (WEM) vaikutusta tämän hankkeen perusrakennusohjaukseen.

Voimassa on myös ilmastolaki, joka edellyttää -80 % päästövähennystä vuoteen 2050 mennessä. Päästövähennyksiä ei kuitenkaan ole ohjattu eri sektoreille eikä laissa ole sanottu, miten päästövähennykset on tarkoitus saavuttaa. Lakia ollaan uusimassa, ja nähdään, että tämä työ tuottaa tärkeää tietoa uusimistyön pohjaksi. Tämän vuoksi ilmastolakia ei ole huomioitu perusuran lähtökohdissa. Hallitusohjelman hiilineutraalisuustavoitetta 2035 ei myöskään ole huomioitu perusskenaariossa, koska siihen liittyvä lainsäädäntö ei vielä ole voimassa.

Ympäristöministeriö valmistelee rakentamisen kasvihuonekaasupäästöjen rajaamista lainsäädännöllä. Lopulliset raja-arvot eivät kuitenkaan ole tässä vaiheessa tiedossa⁸ eivätkä säädökset ole voimassa, joten suunnitelmia ei huomioida perusuralla. Tämän työn arvioidaan tuottavan tärkeää tietoa myös ko. lain valmisteluun ja raja-arvoista päättämiseen.

Perusuran kannalta tärkeitä **päätöksiä ja suunnitelmia, joihin on valtiovallan tasolla sitouduttu**, ovat seuraavat:

- EU:n taakanjakosektorin keskipitkän aikavälin päästövähennyssuunnitelma KAISU, jolla on merkitystä mm. rakennusten erillislämmitykseen ja työkoneiden päästöihin.
- EPBD-direktiivin toimeenpanosuunnitelma Suomen korjausrakentamisen strategia 2050, jolla on tärkeä merkitys arvioitaessa korjausrakentamisen vaikutuksia rakennusten käytönaikaisiin päästöihin.

Lisäksi perusuralla hyödynnetään hallinnonalojen tekemää skenaariotyötä:

- Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys (PITKO)-hankkeen jatkoselvityksen ”Hiilineutraali Suomi 2035 - Skenaariot ja vaikutusarviot” WEM-perusskenaariot ja YM:n TALO-hankkeen skenaariot määrittävät rakennusten käytönaikaista energiankulutusta perusuralla. Selvitykset ovat kuitenkin alisteisia Suomen korjausrakentamisen strategialle.
- LVM:n tiekartan Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen perusennuste 2020-2050⁹ liikenteen kasvihuonekaasujen kehittymisestä määrittävät rakennusalan kuljetusyksikköpäästöjen kehityksen.
- Edellistä tukee LVM:n asettaman työryhmän ILMO-raportti, joka kuvaa mahdollisen toimenpideohjelman hiilettömään liikenteeseen.¹⁰

⁸ Alustavissa vaikutusarvioissa on käytetty lukua 160 kg CO₂e/m². Lähde: VTT (2018). Rakennusten khk-päästöjen ohjauksen vaikutusten arviointi

⁹ Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen perusennuste 2020-2050 (22.4.2020) https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/d99a3ae3-b7f9-49df-afd2-c8f2efd3dc1d/1ab511f1-aa06-45c0-b3ef-9ac9650838c9/MUISTIO_20200422120412.pdf

¹⁰ Toimenpideohjelma hiilettömään liikenteeseen 2045 - Liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän lopputraportti http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161210/LVM_13_18_Toimenpideohjelma%20hiilettomaan%20liikenteeseen%202045%20Liikenteen%20ilmastopolitiikan%20tyoryhman%20loppuraportti.pdf

- Ostetun energian päästökehitykseen käytetään Energiateollisuuden tiekarttatyöstä saatuja perusuran arvoja sähkön ja kaukolämmön päästökertoimille 2035 ja 2050.

3.3 Innovatiiviset ratkaisut -skenaarion kuvaus

Innovatiiviset ratkaisut -skenaariossa ei käsitellä ajureiden vaikutusta kuten perusuraskenaariossa, vaan skenaario pohjautuu hankkeen 2. raportissa ”Vähähiilisyiden mahdollisuuksien tarkastelu” päästölähteittäin kuvattuihin maksimipäästövähennyspotentiaaleihin. Päästövähennyspotentiaali rakennusmateriaaleittain sekä logistiikan, työmaatoimintojen ja jätteiden osalta on listattu luvun 3.5 Taulukko 1.

Rakennusmateriaalien päästövähennyspotentiaalissa on Innovatiiviset ratkaisut-skenaariossa huomioitu otettavan käyttöön myös sellaisia teknologioita, jotka eivät vielä ole käytössä mutta niiden on arvioitu tulevan mahdollisiksi seuraavien vuosikymmenien aikana. Esimerkiksi sementinvalmistuksen skenaariossa osalta oletetaan CCS-teknologian käyttöönotto ja teräksen valmistuksen osalta päästöttömän vetypelkistykseen pohjautuvan teknologian käyttöönotto aikavälillä 2035-2050. Rakentamisen osalta arvio perustuu raportissa 2 esitettyihin arvioihin. Muiden rakennusmateriaalien kuin sementin osalta CCS:n käyttöönotto ei ole tullut hankkeen aikana ilmi relevanttina päästövähennysmahdollisuutena Suomessa. Rakennusten ja rakenteiden käytönaikaisen energiankäytön ja päästöjen kehitys perustuu hallinnonalojen skenaariotyöhön.

3.4 Rakentamisen kysyntä skenaarioissa

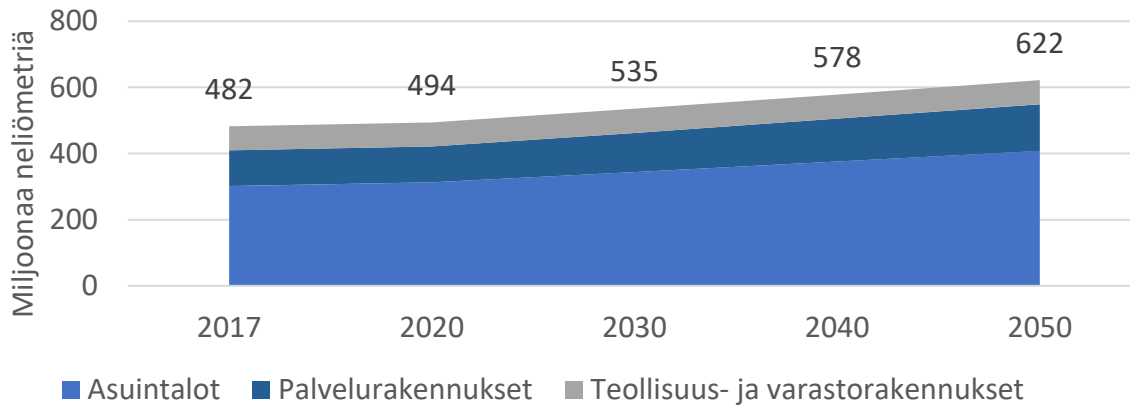
3.4.1 Uudisrakentaminen

Rakennuskannan kehittymisennuste (Kuva 2) perustuu SYKEN ennusteeseen¹¹, jota on hyödynnetty myös esimerkiksi PITKO-skenaariotyössä¹². Asuinrakennusten kantaennuste nojaa väestönkehitysennusteeseen, asumisväljyyden arvioituun kehitykseen sekä eri rakennustyyppien tuotantotrendiennusteeseen. Palvelurakennusten tarve on arvioitu palvelurakennusten ja asuinrakennusten nykyisen suhteen mukaan.

Laskennassa käytetty vuosittainen poistuma on asuinrakennuksille 0,3 % ja palvelurakennuksille 1 % kunkin hetkisestä rakennuskannasta ja rakennusten uudistuotanto on tällöin kannan muutoksen ja poistuman summa. SYKEN ennuste ei sisällä ennustetta teollisuus- ja varastorakennusten osalta, joten tässä työssä teollisuus- ja varastorakennuskannan on oletettu säilyvän 2017 tasolla, siten että vuosipoistuma (oletus: 1 % kannasta) on yhtä suuri kuin vuosittainen uudisrakentaminen.

¹¹ SYKE 2016: Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015-2050

¹² VTT 2020: Hiilineutraali Suomi 2035 - Skenaariot ja vaikutusarviot



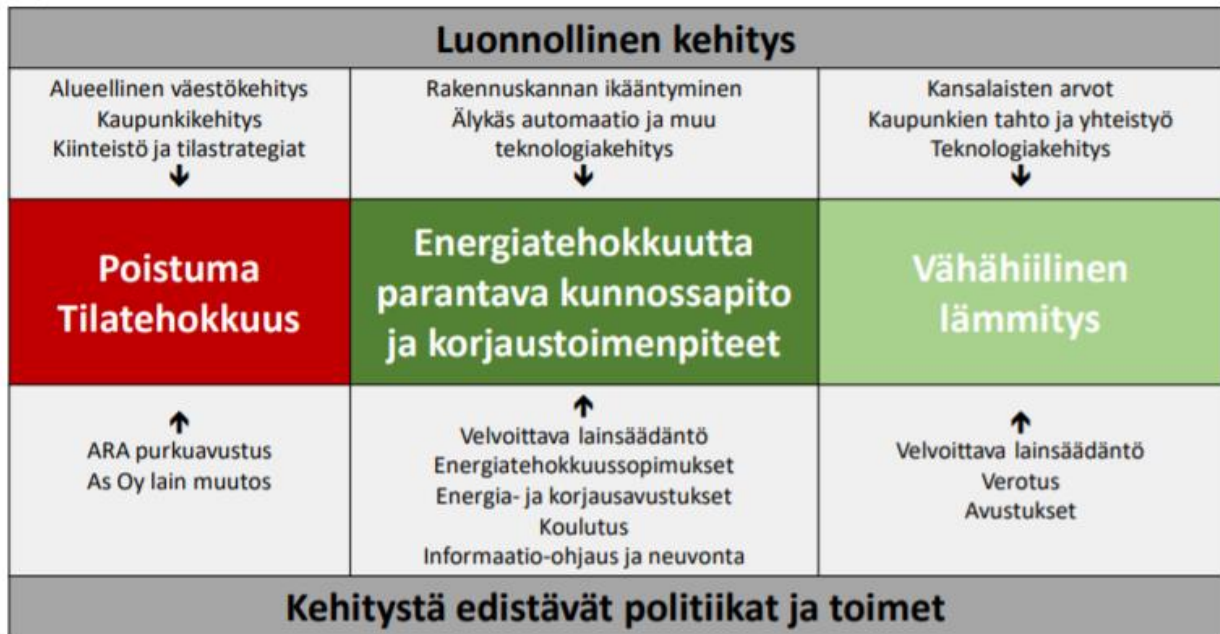
Kuva 2 Työssä käytetty rakennuskannan kehityssennuste (pohjautuen SYKE (2016))

3.4.2 Korjausrakentaminen

Korjausrakentamisen vaikutus rakennusten käytönaikaiselle energiankäytölle pohjautuu sekä perusskenaariossa että innovatiiviset ratkaisut -skenaariossa Suomen Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin artiklan 2a mukaiseen Korjausrakentamisen strategiaan 2050¹³. Strategiaassa on tunnistettu kolme keskeistä keinoa vuoteen 2020 mennessä valmistuneen rakennuskannan muuttamisessa energiatehokkaaksi ja vähähiiliseksi: ”1) Poistuma ja tilatehokkuuden parantaminen; 2) Energiatehokkuuden parannukset kunnossapidon ja korjaustoimien yhteydessä ja 3) Fossiilisista polttoaineista luopuminen lämmöntuotannossa” (Kuva 3). Myös ilmastonmuutoksella on selkeä vähentävä vaikutus lämmitysenergiantarpeeseen tulevaisuudessa¹⁴.

¹³ Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin artiklan 2a mukainen Korjausrakentamisen strategia 2050

¹⁴ Esim: Jylhä ym. (2012): Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista

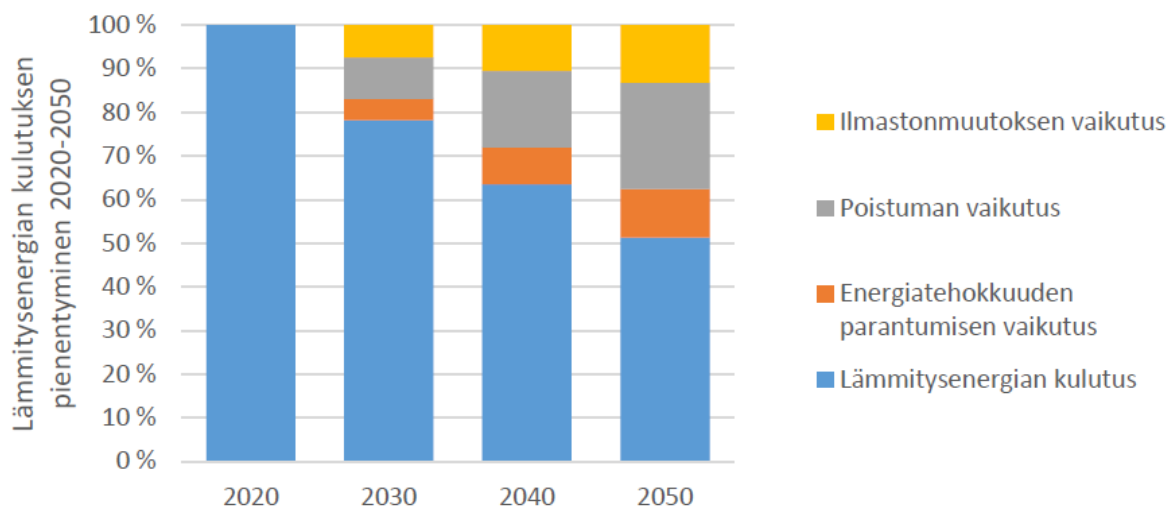


Kuva 3 Keskeiset keinot muuttaa vuoteen 2020 mennessä valmistunut rakennuskanta erittäin energiatehokkaaksi ja vähähiiliseksi (Lähde: Suomen korjausrakentamisen strategia 2020-2050)¹⁵

Energiatehokkuustoimet ovat osa normaalia korjaustoimintaa ja niiden ennustetaan kasvattavan perinteisen korjausrakentamisen määrää 10-15 %. Toteutuneen rakennuskannan kehityksen, korjausrakentamisen ja käyttöön otettujen uusien keinojen ansiosta ennen 2020-lukua valmistuneiden asuinrakennusten ja palvelurakennusten kokonaislämmitysenergiatarve vähenee korjausrakentamisstrategian mukaan noin puoleen 2020-2050 välisenä aikana 70 TWh:sta 36 TWh:iin so. noin 51%:iin. Tästä vähenemästä noin 20 % (6,8 TWh) on energiatehokkuuden parantamisen ansiota (Kuva 4)¹⁶.

¹⁵ Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin artiklan 2a mukainen Korjausrakentamisen strategia 2050

¹⁶ Suomen korjausrakentamisen strategia 2020–2050 tavoitteiden laskenta ja aineisto



Kuva 4 Lämmitysenergian kulutus 2020 olemassa olevassa rakennuskannassa 2020-2050¹⁷

Strategian päästövähennyssuunnitelmassa jäljelle jäävän noin 36 TWh lämmitysenergian tarpeen päästövähennykset tapahtuvat kaukolämmön ja sähkön päästökertoimen kehityksellä sekä lämmitystapamuutoksilla. Suunnitelman kokonaistavoitteena on, että 2020 mennessä valmistuneen rakennuskannan päästöt vähenevät 90 prosenttia vuoteen 2050 mennessä.

3.4.3 Infrarakentaminen (uudis- ja korjausrakentaminen)

3.4.3.1 Liikenneverkot

Liikenneverkkojen kehitys- ja korjaustarpeet riippuvat erityisesti liikennesuorituksen määrästä ja kulku-/kuljetustapajakaumasta. Elinkeinoelämän kannalta on tärkeää, että liikenneinfrastruktuuri mahdollistaa tehokkaan logistiikan sekä työvoiman liikkumisen. Myös liikenteen muuttuminen älykkäämmäksi aiheuttaa kehitystarpeita infralle – tätä kehitystä ei kuitenkaan ole pystytty ennakoimaan tämän hankkeen puitteissa. Todennäköisesti kuitenkin infrarakentamisen perusratkaisut pysyvät khk-päästöjen kannalta melko samanlaisina kuin aiemmin.

Seuraavassa tietolaatikossa on esitetty ennuste liikennesuorituksen kehityksestä Suomessa. Samaa ennustetta on käytetty liikenteen hiilitiekartassa.^{18, 19}

¹⁷ Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin artiklan 2a mukainen Korjausrakentamisen strategia 2050

¹⁸ Jääskeläinen & Laurikko, Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen perusennuste 2020-2050 (22.4.2020)

¹⁹ Lapp T. & al. (2018) Valtakunnalliset liikenne-ennusteet. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 57/2018.

Liikennesuoritteiden muutossuositukset

Henkilöliikenteen tärkeimmät muutostekijät ennusteissa ovat väestönkasvu ja Suomen bruttokansantuotteen kehittyminen. Tavaraliikenteen ennusteissa tärkeitä muutostekijöitä ovat näiden lisäksi Suomen teollisuuden toimialarakenteen kehittyminen, Suomen teollisuuden vientimarkkinoiden talouden kehittyminen sekä suomalaisten tuotteiden kilpailukykykehittyminen näillä markkinoilla.

Henkilöliikenteen kotimaan kokonaissuoritteiden (henkilökilometrit; ei sisällä kansainvälistä henkilöliikennettä) arvioidaan kasvavan vuoden 2017 tasosta noin 11 % vuoteen 2030 ja 21 % vuoteen 2050 mennessä. Voimakkaimmin kasvaa rautatieliikenne, jonka suoritteiden arvioidaan kasvavan pitkällä aikavälillä noin 40 %. Liikennemuotojen markkinaosuuksissa ei kuitenkaan arvioida tapahtuvan merkittävää muutosta; henkilöautoliikenteen osuus vuonna 2050 on 83,7 %, rautatieliikenteen 5,8 %, linja-autoliikenteen 5,2 % ja lentoliikenteen 1,8 %. Kävelyn ja pyöräilyn yhteenlaskettu osuus on noin 3,5 %.

Tavaraliikenteen kotimaan kuljetussuoritteiden (tonnikilometrit; ei sisällä ulkomaankaupan meriliikennettä ja transitoliikennettä) arvioidaan kasvavan vuoden 2017 tasosta noin 18 % vuoteen 2030 mennessä, jonka jälkeen kuljetussuoritteiden arvioidaan kääntyvän laskuun. Syynä muutokseen ovat mm. teollisuuden tuotantorakenteessa tapahtuvat muutokset ja tuotteiden jalostusasteen kasvu. Tiekuljetusten markkinaosuuden arvioidaan nousevan vuoden 2017 noin 72 %:sta noin 76 %:iin vuoteen 2050 mennessä ja rautatiekuljetusten vastaavasti vähenevän noin 22 %:sta noin 19 %:iin. Sisävesi- ja rannikkoliikenteen markkinaosuuden arvioidaan vähenevän noin 6 %:sta noin 5 %:iin.

Tarve väyläinfrastruktuurin kehittämiseksi on, mutta toteutuakseen se tarvitsee rahoitusta ja hankkeita rajoittaa usein nimenomaan julkisentalouden budjetti. Erityisesti maanteiden ja katu-ten kunto on rapautumassa ja korjausvelkaa on paljon. Valtion väylien korjausvelka oli vuonna 2019 2,5 miljardia euroa - korjausvelan kasvu on saatu viime vuosina pysäytettyä, mutta korjausvelkaa ei ole pystytty pienentämään²⁰. Tieverkon korjausvelka on kertynyt vähitellen ja sen purkaminen tapahtuu pidemmällä aikavälillä.

Keskeisiä kehittämiskohteita liikenneverkkojen (tässä rajattu teihin ja ratoihin) osalta ovat rautatieverkon nopeustason nostaminen, päätieverkon laatutason parantaminen sekä kaupunkiseutujen liikennejärjestelmän modernisointi. WSP on arvioinut tärkeimpiä kehityshankkeita näiden osalta. Näitä ovat ratojen osalta mm. kapasiteetin nosto Helsinki-Oulu-välillä, oikorata Helsinki-Turku-välillä sekä useiden yksiraiteisten osuuksien muuttaminen kak-siraiteisiksi. Pääteiden osalta keskeisiä kehityskohtia ovat mm. kohtaamisonnettomuuksien ehkäisy infrastruktuuriratkaisuilla, tieverkon ja siltojen kantavuuden varmistus raskaam-malle kalustolle HCT (High Capacity Transport) -käytävillä sekä tieverkon korjausvelan

²⁰ Väylä (2019). Väylien kunnossapidon näkymät vuodelle 2019.

purkaminen suunnitelmallisesti. Suurilla kaupunkiseuduilla raideliikenteen kehitys on tärkeässä roolissa kuin myös sujuvan liittymisen mahdollistaminen matkaketjuissa raideliikenteeseen.²¹

Edellä esitettyihin tietoihin perustuen karkea asiantuntija-arvio vuosittaisesta rakennusvolyymistä vuonna 2035 verrattuna nykytilaan, sisältäen sekä uusien väylien rakentamisen että korjausrakentamisen, on tieverkon (rajattu tässä maanteihin ja katuihin) osalta +20 %, ratojen osalta +10 %. Vuonna 2050 volyymi on arviolta hieman matalampi, jos korjausvelkaa on saatu tehokkaasti pienennettyä. Nykytilaan verrattuna sekä teiden että ratojen rakentamisvolyymi olisi tällöin +10 %.

3.4.3.2 Yhdyskuntatekniikka

Yhdyskuntaverkkojen rakennusmäärät riippuvat muun muassa rakennusten rakennusmäärästä ja regulaatiosta.

Sähköverkkojen rakentamisen osalta vaikuttaa erityisesti toimitusvarman sähköverkon rakentaminen. Säävarmaa sähköverkkoa on rakennettu erityisesti vuoden 2013 jälkeen, jolloin valtioneuvosto teki asetuksen säävarmojen sähköverkkojen rakentamisesta²². Lakiasetuksessa veloitetaan jakeluverkkojen haltijat takaamaan toimitusvarmuus vähintään 75 % kaikista jakeluverkon käyttäjistä vapaa-ajan asunnot pois lukien. Sähköverkkojen pitäisi olla säävarmoja kaikilta osin viimeistään vuoteen 2036 mennessä. Valtioneuvoston selvityksessä arvioitiin, että 1/3 verkostojen investoinneista liittyy toimitusvarmuusinvestointeihin ja 2/3 perusinvestointeihin²³. Näihin arvioihin perustuen skenaarioissa on arvioitu, että jakeluverkkojen rakentaminen vähenee lineaarisesti vuodesta 2018 vuoteen 2036 mennessä 33 % ja pysyy tämän jälkeen vakiona. Vuoteen 2035 mennessä jakeluverkkojen rakentaminen vähenee 29%. Siirtoverkkojen suhteen rakentamismäärien on oletettu pysyvän samoina perustuen Fingridin kymmenen vuoden kehittämissuunnitelmaan²⁴.

Kaukolämpöverkkojen rakentaminen on arvioitu energiateollisuuden tietojen perusteella²⁵. On oletettu, että kaukolämpöverkkojen rakentamismäärät eivät muutu ja säilyy nykytasolla, sillä merkittäviä muutoksia ei viime vuosina ole tapahtunut.

Vesijohto- ja viemäriverkkojen rakentamismäärät on arvioitu perustuen rakennusten rakennusmääriin, lisäksi vesi- ja viemäriverkoissa on korjausvelkaa. Asuinrakennusten määrän on arvioitu kasvavan tasaisesti 35 % vuoteen 2050 mennessä verrattuna nykytilaan. Samaa kasvuprosenttia on käytetty vesi- ja viemäriverkkojen rakentamiselle.

²¹ WSP Finland Oy (2017) Liikenteen infrastruktuuri tulevaisuuden mahdollistajana

²² <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588#Pidp446760256>

²³ https://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/1410877/selvitys-sahkon-siirtohintoihin-vai-kuttavista-tekijoista-ja-toimintavarmuuden-toteuttamisen-vaihtoehtoista%20

²⁴ https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/kantaverkon_kehittamissuunnitelma-2019-2030.pdf

²⁵ <https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/kaukolampoverkot>

3.4.4 Infran kunnossapito

Tieverkon osalta tämän hankkeen laskennassa on arvioitu talvihoidon päästöt (sama rajausta kuin hankkeen 1. raportissa). Aurauksen tarve riippuu tieverkon laajuudesta sekä talvien lumisuudesta.

Rataverkon osalta on arvioitu hoito sisältäen koneelliset tarkastukset, määräaikaishuollot, viankorjaukset ja lumityöt. Tämäkin riippuu vastaavasti verkoston laajuudesta.

Kunnossapidon volyymin muutos on arvioitu tässä työssä samaksi kuin rakentamisen muutos.

Yhdyskuntatekniikan kunnossapito rajattiin ulos tarkastelusta raportissa 1.

3.5 Skenaarioiden vaikutusten arviointitapa

3.5.1 Päästölaskennan menetelmät ja keskeiset oletukset

Päästövaikutusten arviointi perustuu työn vaiheessa 1 laskettuun rakennustoiminnan ja rakennetun ympäristön hiilijalanjälkeen vuonna 2017 ("nykytila")^{26, 27}. Vuoden 2017 hiilijalanjäljen ja rakennusvolyymin perusteella määritetään kullekin materiaalin, työmaatoimintojen, logistiikan ja rakennusjätteen hiilijalanjäljen osatekijälle yksikköpäästö. Tätä yksikköpäästöä pienennetään skenaariotyössä kohti vuosia 2035 ja 2050, vaiheessa 2 esitettyjen kehityskulkujen mukaisesti. Vuosittaista yksikköpäästökerrointa käytetään kunkin vuoden rakennusvolyymin mukaisen hiilijalanjäljen laskentaan (Kuva 5). Taulukko 1:een on koottu työssä käytetyt oletukset materiaalien, työmaatoimintojen, logistiikan sekä rakennusjätteen yksikköpäästökkehitykselle perus- ja innovatiiviset ratkaisut skenaarioissa.



Kuva 5 Rakennustoiminnan (pl. käyttövaihe) hiilijalanjäljen laskentametodologia

Vuosittain rakennettavien rakennusten oletetaan jakautuvan eri pääorakennusmateriaaleihin vastaavin osuuksin kuin vuoden 2017 päästölaskennassa, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään ja jotta vältetään eri rakennusmateriaalien keskinäiseltä vertailulta. Koska betoni-

²⁶ Infrastruktuurin osalta laskennassa käytettiin tuoreinta saatavilla olevaa dataa, pääosin vuodelta 2018.

²⁷ Hiilijalanjälki on laskettu yksikössä tCO₂e niiltä osin, kun päästökertoimet ovat olleet saatavissa hiilidioksidiekvivalentteina. Esimerkiksi Tilastokeskuksen energian päästökertoimissa on mukana kasvihuonekaasuista vain CO₂.

ja puurakennukset muodostavat valtaosan rakennettavasta kerrosalasta (hankkeen 1. vaiheen perusteella noin 85%), on muusta päämateriaalista rakennettavien rakennusten merkitys kokonaiskuvassa vähäinen. On kuitenkin huomattava, että esimerkiksi teräksen päästökehitys vaikuttaa olennaisesti rakennuksen muun kuin päämateriaalin päästökehitykseen. Rakennusmateriaalien osalta laskennassa ei tarkasteltu substituutiovaikutusta, eli materiaalien suhteellisten osuuksien muutosta, koska työ pidettiin teknologia-/materiaalineutraalina ja päästöjen vähentämistä tarkasteltiin päästölähteittäin. Rakennusmateriaalien nykyinen jakauma pidettiin laskennassa oletuksena myös tulevaisuuteen. Todellisuudessa substituutiota kuitenkin tapahtuu tulevaisuudessa jonkin verran sekä materiaalien kesken että materiaalien sisälläkin vähähiilisempiin ratkaisuihin. Nämä tekijät todennäköisesti parantavat ja nopeuttavat toimialan vähähiilistymistä.

Rakennusmateriaalien yksikköpäästöä on hankkeen aiemmissa vaiheissa tietopuutteiden vuoksi arvioitu päärakennusmateriaalikohtaisin yksikköpäästökertoimin. Skenaariotyössä tiettyä päärakennusmateriaalia olevan rakennuksen materiaalin yksikköpäästökehitystä arvioidaan erikseen päämateriaalin ja muun kuin päämateriaalin (esim. muovi, teräs, eristeet) osalta²⁸. Yksikköpäästöön vaikuttaa siis sekä päämateriaalin että muun kuin päämateriaalin päästökehitys Taulukko 1:ssä arvioitujen osuuksien mukaisesti (perustuen Bionovan case-tarkasteluun betoni- ja puurakennuksille, mutta arvioiden hieman suurempi päämateriaalin osuus puurakenteisille pientaloille kuin kerrostaloille²⁹).

Perusskenaarion osalta materiaalien päästökertoimien vähenemä mukailee pääasiassa päästökaupan kehitystä. Logistiikan päästökehitys perustuu LVM:n tiekarttaan³⁰ ja työmaatoimintojen kehitys taakanjakosektorin KAISU-suunnitelmaan³¹. Innovatiiviset ratkaisut -skenaarion osalta päästökehitys on työn vaiheessa 2 esitetyn maksimipotentialin mukainen.

Taulukko 1 Laskennassa käytetyt oletukset yksikköpäästövähentämisestä

	Päämateriaalin arvioitu osuus yksikköpäästöstä	Δ Perus 2035	Δ Perus 2050	Δ Inno 2035	Δ Inno 2050
Rakennusmateriaalit		Päästövähentäminen			
Rakennuksen päämateriaali					
Betoni	50 %	22 %	39 %	70 %	100 %
Muu	50 %	28 %	49 %	30 %	60 %
Puu	30 %	14 %	25 %	70 %	100 %
Teräs	60 %	28 %	49 %	45 %	90 %

²⁸ Esimerkiksi, jos betonirakennuksen materiaalin hiilijalanjälki on tällä hetkellä 389 kgCO₂/m², niin taulukon mukaisilla arvoilla 1) betonille ja 2) muulle kuin päämateriaalille, se olisi perusskenaariossa vuonna 2050:

- 389 * 50% * (1-39%) (rakennuksen betonin osuus)
- + 389 * 50% * (1-49%) (rakennuksen muun materiaalin kuin betonin osuus)
- = 119 + 99 = 218 kgCO₂/m²

²⁹ Bionova 2018: Puu- ja betonikerrostalojen elinkaari- ja päästöjen vertailu

³⁰ Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen perusennuste 2020-2050

³¹ <https://www.ym.fi/Ilmastosuunnitelma2030>

Tiili	50 %	28 %	49 %	30 %	60 %
Tuntematon	50 %	28 %	49 %	30 %	60 %
Rakennuksen muu kuin päämateriaali³²		28 %	49 %	45 %	90 %
Logistiikka		33 %	46 %	50 %	100 ³³ %
Työmaatoiminnot					
Sähkö		90 %	99 %	90 %	99 %
Polttoaineet		22 %	70 %	28 %	75 %
Jäte		28 %	49 %	28 %	49 %
Muut rakennusmateriaalit					
Alumiini		28%	49%	45%	90%
Muovi		28%	49%	30%	60%
Kiviainekset		10 %	25 %	25 %	50 %
Asfaltti		15 %	30 %	30 %	75 %

Käyttövaiheen energian osalta asunto- ja palvelurakennusten lämmitysenergiantarve (sisältäen rakennusten erillislämmityksen, sähkölämmityksen, lämpöpumput ja kaukolämmön) ja sitä kautta päästöennuste ennen 2020-lukua valmistuneelle rakennuskannalle perustuu edellä esitettyyn Suomen korjausrakentamisen strategiaan 2050³⁴. Strategian mukaiset toimenpiteet on oletettu toteutettavan ennen 2020-lukua valmistuneille rakennuksille sekä perus- että innovatiiviset ratkaisut skenaarioissa. Perusskenaariossa erillislämmityksen polttoainejakauma vastaa korjausrakentamisen strategian ennustetta, mutta innovatiiviset ratkaisut -skenaariossa koko fossiilinen erillislämmitys oletetaan korvatuksi sähkölämmityksellä, lämpöpumpuilla ja kaukolämmöllä³⁵ vuoteen 2035 mennessä.

Vuoden 2020 jälkeen valmistuneille rakennuksille on oletettu PITKO2-raportin³⁶ mukainen energiatehokkuus, siten että perusskenaariossa on käytetty PITKO2-raportin perusskenaarion mukaista kehitystä ja innovatiiviset ratkaisut skenaariossa, PITKO2-raportin Säästö-skenaarion mukaista kehitystä (Kuva 6). Uusien rakennusten ei oleteta hyödyntävän fossiilista erillislämmitystä vaan niiden lämmitysmuodot on jaettu sähkön, lämpöpumppujen ja kaukolämmön välillä olemassa olevan rakennuskannan lämmitysmuotojen mukaisin suhtein.

³² Rakennusten muiden kuin päämateriaalin päästökehitys on oletettu teräksen päästökehityksen mukaiseksi.

³³ Oletuksena päästötön liikenne 2045: Toimenpideohjelma hiilettömään liikenteeseen 2045

³⁴ Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin artikkelin 2a mukainen Korjausrakentamisen strategia 2050

³⁵ Suhteessa ko. lämmitysmuodon osuuteen kyseisenä vuonna

³⁶ VTT 2020: Hiilineutraali Suomi 2035 -Skenaariot ja vaikutusarviot

Nykyisen ja tulevan rakennuskannan sähkön ja kaukolämmön kulutuksen päästökertoimet perustuvat Energiategollisuuden tiekarttatyön lukuihin.³⁷

	2010	2020	2030	2050
Pientalot				
Baseline	118	96	96	96
Jatkuva kasvu	118	84	66	47
Säästö	118	81	62	42
Kerros- ja rivitalot				
Baseline	82	80	80	80
Jatkuva kasvu	82	66	57	47
Säästö	82	64	53	42
Liike- ja palvelurakennukset				
Baseline	66	57	57	57
Jatkuva kasvu	66	57	52	47
Säästö	66	53	46	39

Kuva 6 Uusien rakennusten keskimääräinen lämpöenergiankulutus (kWh/m²/a), josta tässä työssä käytetty baseline ja Säästö-skenaarioita³⁸

Teollisuus- ja varastorakennusten energiatehokkuuden ja -jakauman osalta ei ole käytettävissä ennustetta, joten niiden energiatehokkuudelle oletetaan palvelurakennusten mukainen kehitys. Teollisuus- ja varastorakennusten fossiilisen erillislämmityksen on oletettu vähenevän perusskenaariossa vain energiatehokkuuden mukaisesti, mutta innovatiiviset ratkaisut -skenaariossa koko fossiilinen erillislämmitys korvataan muilla lämmitysmuodoilla vuoteen 2035 mennessä³⁹. Tällä on huomattava vaikutus perusskenaarion ja innovatiiviset ratkaisut -skenaarion hiilijalanjälkien väliseen eroon.

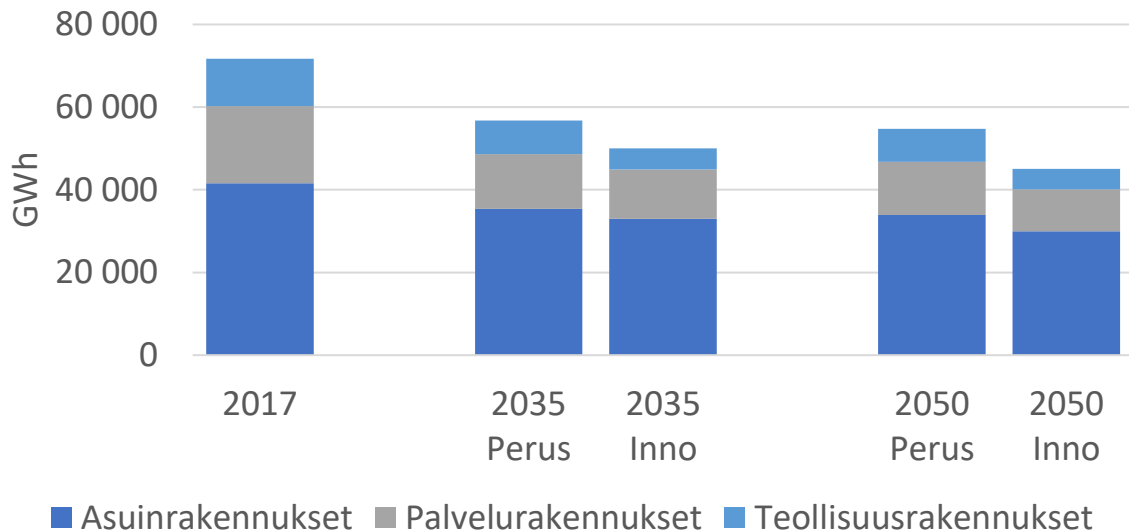
Kuva 7 esittää työssä ennustetun rakennusten lämmitysenergiankulutuksen ilman puun energiakäyttöä, joka oletetaan laskennallisesti päästöttömäksi. Lämmitysenergiankulutus pitää sisällään korjausrakentamisen strategian mukaisen ennen 2020-lukua valmistuneiden rakennusten kulutuksen sekä PITKO2-raportin mukaisen 2020-luvulla ja sen jälkeen valmistuneiden rakennusten kulutuksen⁴⁰. Ero perusuraskenaarion ja innovatiiviset ratkaisut -skenaarioiden välillä johtuu erosta uusien rakennusten oletetussa energiatehokkuudessa (ks. Kuva 6)

³⁷ Oletuksena Energiategollisuuden tiekartan sähköntuotannon päästökertoimet: 10gCO₂/kWh (2035) ja 1 gCO₂/kWh (2050) ja kaukolämmöntuotannon päästökertoimet 50 gCO₂/kWh (2035) ja 15gCO₂/kWh (2050)

³⁸ VTT 2020: Hiilineutraali Suomi 2035 -Skenaariot ja vaikutusarviot

³⁹ VNK 2019: Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019 http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN_2019_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y

⁴⁰ VTT 2020: Hiilineutraali Suomi 2035 -Skenaariot ja vaikutusarviot



Kuva 7 Rakennusten lämmitysenergiankäyttö (ei sisällä puun lämmitysenergiakäyttöä)

Laitesähkön kulutuksen asuinrakennuksissa on oletettu kehittyvän suoraan verrannollisesti rakennuskannan kasvuun. Rakennusten tuottaman aurinkosähkön on oletettu innovatiiviset ratkaisut skenaariossa pienentävän niiden sähkönkulutusta 0,5 TWh vuonna 2035 ja 1 TWh vuonna 2050 suhteessa perusskenaarion sähkönkulutukseen. Muiden rakennusten osalta laitesähköä ei ole huomioitu 2017 hiilijalanjäljessä eikä ennusteissa.

3.5.2 Taloudelliset vaikutukset

Taloudellisina vaikutuksina tarkastellaan investointeja ja tuotantokustannuksia. Päästövähennysten toteuttaminen erityisesti uudella teknologialla vaatii usein merkittävän alkuinvestoinnin (ns. CAPEX) esimerkiksi rakennusmateriaaleja tuottavaan tehtaaseen. Myös korjausrakentamisen kustannukset voidaan nähdä alkuinvestoinnin kaltaiseksi kustannukseksi. Tämän lisäksi vähähiilisempi ratkaisu voi vaikuttaa tuotanto/käyttökustannuksiin (ns. OPEX), sekä tuotannossa käytettävien materiaalien että käytettävän energian hintakehityksen myötä. Vähähiilisempi ratkaisu kuten energiatehokkuuden lisääminen voi myös vähentää käyttökustannuksia. Päästövähennyskeinoja, joilla on kustannuksiin merkittävä vaikutus tarkastellaan mahdollisuuksien mukaan ja karkein arvioin toimenpidekohtaisesti. Kaikista päästövähennysmahdollisuuksista ei ole voitu arvioida taloudellisia vaikutuksia, koska tietoa ei ole ollut saatavilla. Kustannusarvio ei siis tuota kokonaiskuvaa koko toimialan päästövähennysten kustannuksista.

Työllisyysvaikutukset

Myös skenaarioiden työllisyysvaikutuksista tuloksissa on esitetty joitain alustavia kvalitatiivisia arvioita ja päätelmiä. Työllisyysvaikutusten arviointia hankaloittavat merkittävästi puutteelliset tiedot alan tuottavuuden kehittymisestä ja investointien henkilötyöosuuksista. Myös työllisyysvaikutusten kohdentuminen avoimilla EU:n työmarkkinoilla tekee laskelmista kansantaloudellisesti epävarmoja.

4 Tulokset

4.1 Perusuraskenaario

4.1.1 Ajureiden arvioidut vaikutukset päästövähennyksiin

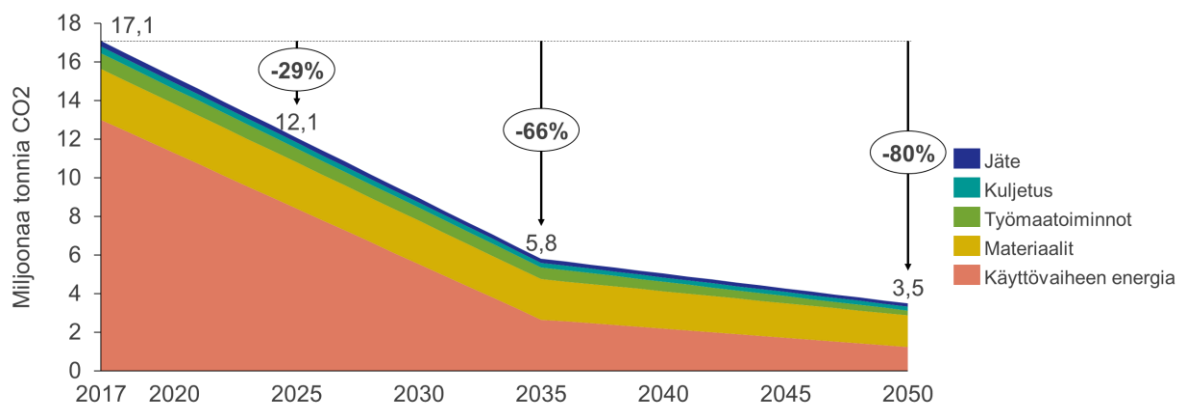
Perusskenaariossa tärkeimmät toimintaympäristön ajurit ja niiden karkeasti arvioitu vaikutus rakennetun ympäristön kokonaispäästöihin vuosina 2035 ja 2050 on esitetty Taulukko 2:ssa. Koska käytönaikainen energia muodostaa valtaosan vuoden 2017 rakennetun ympäristön hiilijalanjäljestä, sen pienentämiseen kohdistuvilla toimintaympäristön ajureilla on selvästi suurin vaikutus. Toisaalta on huomattava, että esimerkiksi EU:n päästökauppa vaikuttaa paitsi rakennusmateriaalien päästöihin myös esimerkiksi sähkön ja lämmön päästökertoimiin, mutta taulukossa on pyritty havainnollistamaan kunkin ajurin keskeisin suora vaikutus rakennusteollisuuteen ja rakennettuun ympäristöön. Ajurien yhteenlaskettu prosenttivähennämä muodostaa perusskenaarion hiilijalanjäljen päästövähennämän.

Taulukko 2 Perusuraskenaarion toimintaympäristöajureiden vaikutus vuosien 2035 ja 2050 rakennetun ympäristön kokonaihiilijalanjälkeen (käytönaikainen energiankulutus ja vuosittainen rakentaminen)

Toimintaympäristön ajuri	Arvio vaikutuksesta vuoden 2035 kokonaispäästöihin	Arvio vaikutuksesta vuoden 2050 kokonaispäästöihin
EU:n päästökaupan vaikutus rakennusmateriaalien päästöihin.	-4 %	-6 %
Taakanjakosektorin KAISU-suunnitelman vaikutus työmaatoimintojen päästöihin.	-1 %	-3 %
Korjausrakentamisen strategia vaikutus rakennusten käytönaikaiseen energiankäyttöön ja päästöihin.	-24 %	-30 %
Energiateollisuuden tiekartan (osatekijänä päästökauppa) vaikutus rakennusten hankitun energian päästöihin.	-37 %	-39 %
Liikenne- ja Viestintäministeriön tiekartan vaikutus logistiikan päästöihin.	-1 %	-1 %
Yhteensä	-66 %	-80 %

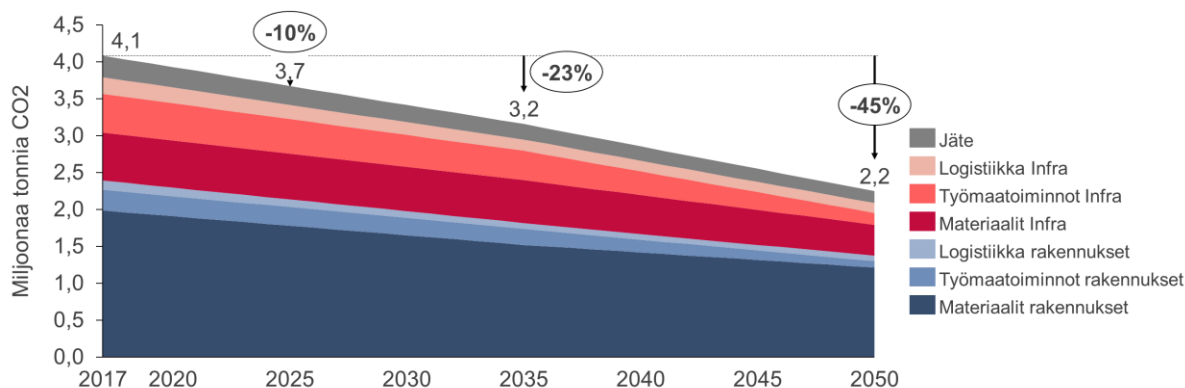
4.1.2 Päästöjen kehitys toiminnoittain ja materiaaleittain

Perusskenaarion mukainen arvioitu päästökehitys on esitetty Kuva 8:ssa. Suurin päästövähennys tapahtuu käyttövaiheen energiassa, johon vaikuttavat huomattavasti sekä korjausrakentamisen strategian toimenpiteet että sähkön ja kaukolämmön päästökertoimien kehitys. Muutosprosentit ja yhteenlasketut päästöt kaikissa kuvaajissa on esitetty vuosille 2027, 2035 ja 2050 suhteessa vuoteen 2017. Kappaleessa 3.5.1 esitellyn laskentametodologian mukaisesti, päästövähennysennusteet on annettu vuosille 2035 ja 2050 ja kehityksen oletetaan olevan lineaarista näiden pisteiden välillä.



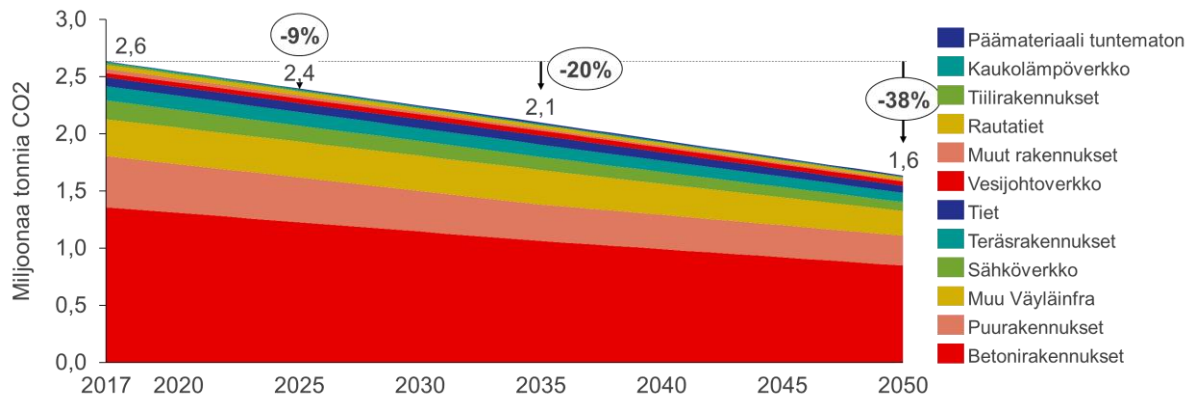
Kuva 8 Rakennetun ympäristön hiilijalanjäljen kehitys perusskenaariossa.

Rakennustoiminnan (ilman käyttövaiheen energiaa) päästövähennys on huomattavasti maltillisempaa ja mukalee päästökaupan kehitystä, koska rakennusmateriaalit ovat tässä tapauksessa suurin yksittäinen päästötekijä (Kuva 9). Logistiikan ja työmaatoimintojen polttoainekäyttö on jaettu rakennustuotannon ja infrarakentamisen välillä vaiheen 1 raportin mukaisesti, siten, että 65 % rakennustoiminnan polttoainekäytöstä allokoidaan infrarakentamiselle.



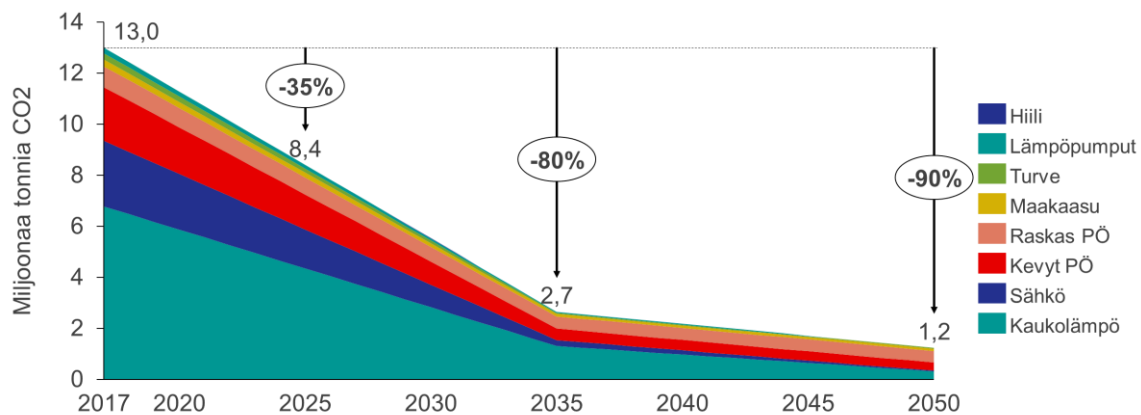
Kuva 9 Rakennustoiminnan hiilijalanjäljen kehitys perusskenaariossa

Materiaalien osalta Kuva 10:ssa on esitetty tarkempi jaottelu perusskenaarion päästökehityksestä, joka laskee vajaat 40 %:a vuoteen 2050 mennessä. Betonirakennusten osuus materiaalin hiilijalanjäljestä on karkeasti puolet. Betonirakennukset, puurakennukset sekä väyläinfra muodostavat yli 80 % käytettävien rakennusmateriaalien hiilijalanjäljestä.



Kuva 10 Rakennustoiminnan materiaalinkäytön hiilijalanjäljen kehitys perusskenaariossa

Käyttövaiheen energian päästöt laskevat perusskenaariossa jopa 90 % vuoteen 2050 mennessä (Kuva 11). Suurin vaikutus on kaukolämmön päästökertoimen muutoksella sekä lämmitysenergian tarpeen vähenemisellä.



Kuva 11 Rakennusten käyttövaiheen energiankäytön hiilijalanjäljen kehitys perusskenaariossa

4.1.3 Kustannusvaikutusten arviointi

Tässä luvussa esitettyihin laskelmiin on syytä suhtautua suurella varauksella, koska ne perustuvat hyvin karkeisiin olettamuksiin.

Korjausrakentaminen: Luvussa 3.4.2 esitetty korjausrakentamisen strategian mukainen energiatehokkuuden parannus vuoteen 2020 mennessä valmistuneessa rakennuskannassa tuottaisi arviolta 3,7 TWh energiasäästön vuoteen 2035 mennessä ja 6,8 TWh energiasäästön vuoteen 2050 mennessä. SYKE (2016)⁴¹ käyttää laskelmissaan karkeaa arviota energiatehokkuustoimien kustannuksesta, jonka mukaan korjaustoiminnan energiansäästötoimenpiteiden investoitua euromäärää kohti tuottama energiasäästö on noin 0,8 GWh/Milj.€.

⁴¹ SYKE 2016: Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015-2050

- Mikäli oletetaan, että korjausrakentamisen strategian energiatehokkuustoimet noudattavat tätä kustannusarviota, syntyisi niistä vuoteen 2035 mennessä noin 4,6 Mrd.€ ja vuoteen 2050 mennessä noin **8,5 Mrd.€ kumulatiiviset kustannukset**.
- Mikäli lisäksi oletetaan, että pienentyneen lämmitystarpeen arvo olisi noin 80€/MWh⁴², olisi vuonna 2050 saavutettava energiansäästö **vuosittain noin puolen miljardin euron arvoinen**⁴³.
- Tällöin koko investoinnin koroton takaisinmaksuaika olisi 8,5/0,5 eli **noin 17 vuotta**.

Erilaisten **lämpöpumppujen** arvioidaan molemmissa skenaarioissa tuottavan vuonna 2035 noin 5-6 TWh ja vuonna 2050 noin 10 TWh enemmän lämpöenergiaa kuin vuonna 2017.

- Mikäli arvioidaan, että tarvittava teho on noin 0,66 kW/MWh ja investointikustannus noin 1000€/kW, vaatisivat lämpöpumput noin **3,6 Mrd.€ lisäinvestoinnit vuoteen 2035 mennessä ja 6,6 Mrd.€ vuoteen 2050 mennessä**.
- Vaiheessa 2 arvioitiin lämpöpumppujen operatiiviseksi kustannukseksi noin 44 €/MWh jolloin kustannussäästö olisi noin 30-60€/MWh (**noin 450 M€ vuonna 2050**) riippuen korvattavasta lämmitysmuodosta.
- Tällöin koko investoinnin koroton takaisinmaksuaika olisi 6,6/0,45 eli **noin 15 vuotta** (alempi mikäli korvattava lämmitysmuoto on öljy ja korkeampi jos kaukolämpö).

Perusuraskenaarion kustannuksia rakennusmateriaaleihin liittyen ei ole arvioitu, sillä päästökauppa ohjaa materiaalien päästövähennyksiä perusurassa ja tämä vähennys tapahtuu joka tapauksessa päästökaton pienentyessä. Toteutuakseen päästövähennykset edellyttävät kuitenkin merkittäviä investointeja, mutta niitä ei ole huomioitu tässä laskelmassa, koska ei voida olla varmoja millä teknologioilla ja investoinneilla yritykset toteuttavat EU:n päästökaupan vaatiman päästövähennyksen. Rakennusmateriaalien tuotanto on kansainvälisesti kilpailtua, joten se on pääosin EU:n päästökaupan ”hiilivuotolistalla⁴⁴” eli ilmaisjaon piirissä, jolloin kustannukset päästökaupasta ovat pienempiä kuin muilla sektoreilla. Ilmaisjako ja hiilivuotolista saattavat kuitenkin poistua jossain vaiheessa tulevaisuudessa, kun EU pohtii erilaisia hiilituliratkaisuja EU:n ulkopuolelta tuotaville tuotteille. *Työllisyysvaikutukset*

Alustavasti voidaan arvioida, että korjausrakentamisen lisääntyminen Suomen korjausrakentamisen strategian 2050 mukaisesti tulee lisäämään alan työllisyyttä jonkin verran, mutta tässä tulee huomioida myös alan osaajien saatavuus ja koulutustarpeet – tällä hetkellä Suomessa ei ole saatavilla tarpeeksi korjausrakentamisen ammattilaisia saavuttamaan

⁴² ET Kaukolämpötilasto 2018: Kaukolämmön verollisen hinnan aritmeettinen keskiarvo oli 81,38 €/MWh ja yritysten myynnillä painotettu keskiarvo 79,11 €/MWh

⁴³ Tosin on syytä huomata, että kaukolämmön kustannukset ovat osittain kiinteitä, jolloin energiatehokkuustoimilla ei säästetä koko kustannusta.

⁴⁴ Komission tiedonanto, Alustava hiilivuotoluettelo, 2021–2030 [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018XC0508\(01\)&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018XC0508(01)&from=EN)

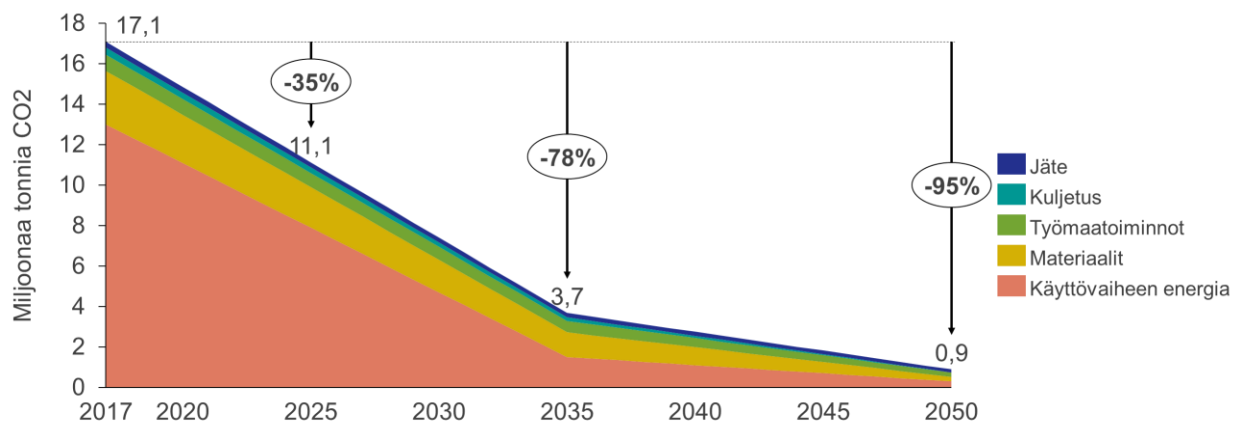
korjausrakentamisen strategian tavoitteita. Mahdollista on saavuttaa myös balanssi uudis- ja korjausrakentamisen välillä, jolloin henkilötyövuosien lisäys ei olisi kovin merkittävä.⁴⁵

Suurin osa päästövähennysmahdollisuuksista voidaan arvioida työllisyyden kannalta melko neutraaleiksi, kuten rakennusmateriaalien päästöjen vähentäminen päästökaupan vaatimusten mukaisesti, joka usein pystytään toteuttamaan nykyisellä työvoiman tasolla. Yhteenvedona voidaan karkeasti arvioida, että skenaarion työllisyysvaikutukset edustavat tyypillistä alan kehittymistä. Päästövähennystoimilla voi olla myös välillisiä työllisyysvaikutuksia muilla toimialoilla, esimerkiksi suunnittelu- ja konsulttialalla, sekä teknologia- tai metsäteollisuudessa.

4.2 Innovatiiviset ratkaisut -skenaario

4.2.1 Yhteenvedo päästöjen kehityksestä

Innovatiiviset ratkaisut skenaarion mukainen arvioitu päästökehitys on esitetty Kuva 12:ssä. Skenaarion kehityksellä kokonaishiilijalanjälki supistuisi 95 % vuoden 2017 tasosta vuoteen 2050 mennessä ollen tällöin noin 0,9 MtCO₂. Selkeänä erona perusskenaarioon on, että rakennustoiminnan päästöt tippuvat 85 % (Kuva 13) vuoden 2017 tasosta siinä missä lasku on 45 % perusskenaariossa. Käyttövaiheen energian osalta eroa perusskenaarioon syntyy uusien rakennusten oletetun energiatehokkuuden sekä erityisesti teollisuusrakennusten fossiilisen lämmitysenergian korvaamisen kautta. Muutosprosentit ja yhteenlasketut päästöt kaikissa kuvaajissa on esitetty vuosille 2027, 2035 ja 2050 suhteessa vuoteen 2017. Kappaleessa 3.5.1 esitellyn laskentametodologian mukaisesti, päästövähennysennusteet on annettu vuosille 2035 ja 2050 ja kehityksen oletetaan olevan lineaarista näiden pisteiden välillä.

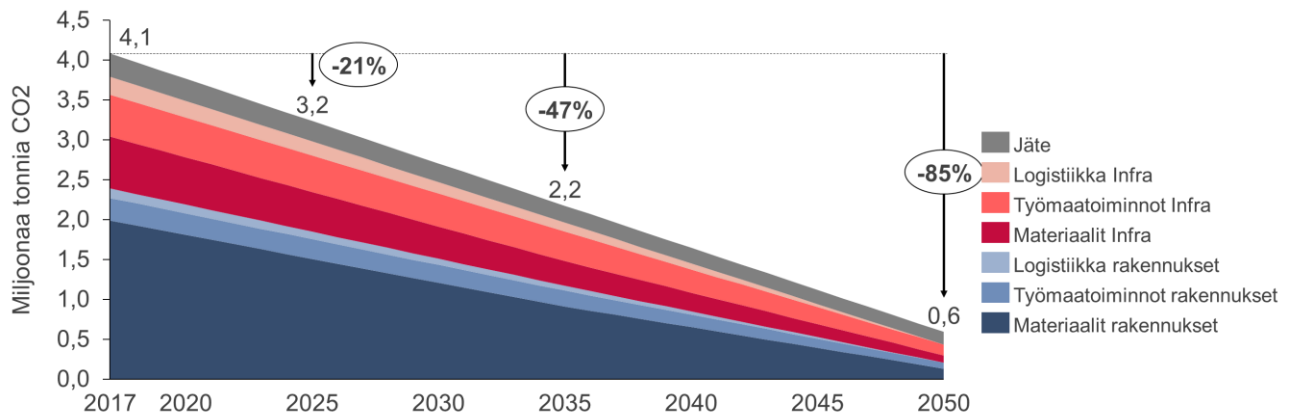


Kuva 12 Rakennetun ympäristön hiilijalanjäljen kehitys innovatiiviset ratkaisut skenaariossa.

Rakennustoiminnan (ilman käyttövaiheen energiaa) päästövähennys on vauhdikkaampaa innovatiiviset ratkaisut -skenaariossa kuin perusskenaariossa (Kuva 13). Päästöintensiivisten materiaalien yksikköpäästön on oletettu laskevan vaiheen 2 raportin maksimipotentiaalin

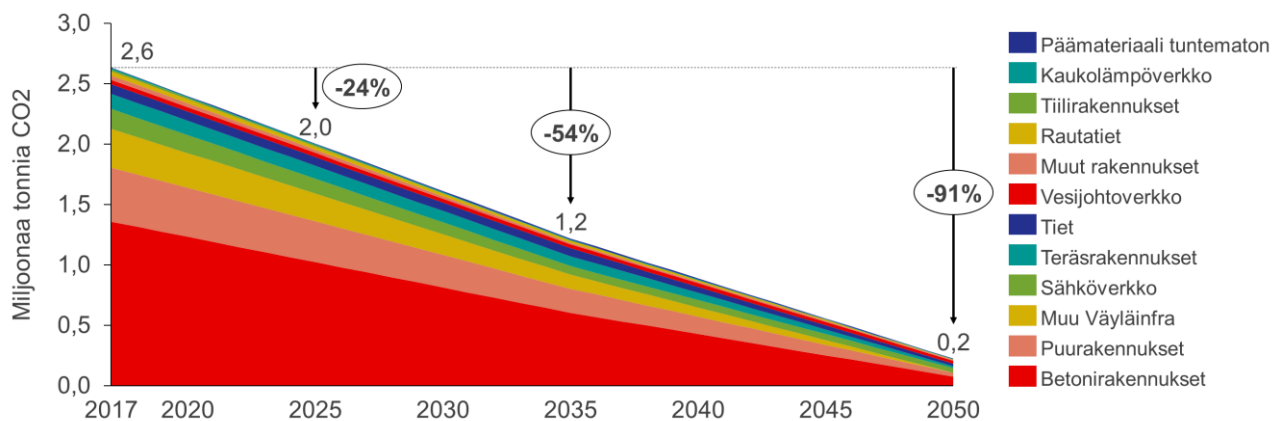
⁴⁵ Tiedonanto hankkeen ohjausryhmältä

mukaisesti (ks. Taulukko 1). Lisäksi työmaatoimintojen polttoainekäytön oletetaan vähenevän raportin 2 mukaisesti 75 % rakennettua neliötä kohden vuoden 2017 tasosta ja logistiikan olevan päästötöntä vuoteen 2050 mennessä ILMO-raportin mukaisesti. Logistiikan ja työmaatoimintojen polttoainekäyttö on jaettu rakennustuotannon ja infrarakentamisen välillä vaiheen 1 raportin mukaisesti, siten, että 65 % rakennustoiminnan polttoainekäytöstä allokoitetaan infrarakentamiselle.

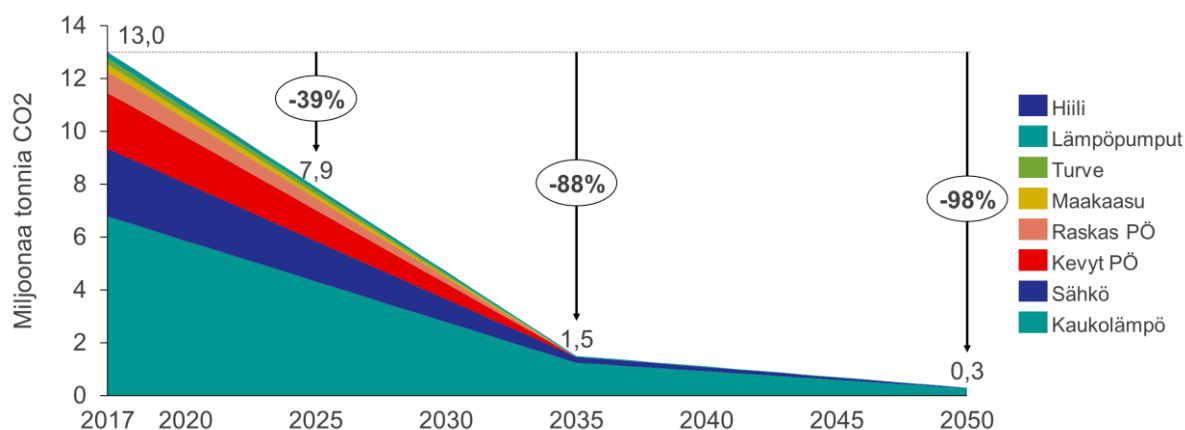


Kuva 13 Rakennustoiminnan hiilijalanjäljen kehitys innovatiiviset ratkaisut -skenaariossa

Materiaalien osalta Kuva 14:ssä on esitetty tarkempi jaottelu innovatiiviset ratkaisut -skenaarion päästökehityksestä. Mikäli materiaalien valmistuksen päästöt kehittyvät skenaarion mukaisesti, jäljelle jäävä materiaalin tuotannon päästö vuonna 2050 olisi 0,2 MtCO₂. Myös käytösvaiheen energian päästöt laskevat lähelle nollaa innovatiiviset ratkaisut skenaariossa (Kuva 15).



Kuva 14 Rakennustoiminnan materiaalinkäytön hiilijalanjäljen kehitys innovatiiviset ratkaisut -skenaariossa



Kuva 15 Rakennusten käyttövaiheen energiankäytön hiilijalanjäljen kehitys innovatiiviset ratkaisut -skenaariossa

4.2.2 Keskeisten kustannusvaikutusten arviointi

Energiaan liittyvät toimet

Lämpöpumppujen ja energiatehokkuustoimien osalta skenaarion investointitarve on karkeasti sama kuin perusskenaariossa.

Innovatiiviset ratkaisut skenaariossa rakennusten tuottama aurinkosähkö oletetaan perusskenaariota 0,5 TWh suuremmaksi vuonna 2035 ja 1 TWh suuremmaksi vuonna 2050.

- Olettamalla, että investointikustannus on aikavälillä 2020-2050 noin 700€/kW⁴⁶ ja että kapasiteettia vastaava keskimääräinen vuosituotto noin 900kWh/kW olisi **kumulatiivinen investointitarve noin 400 M€ vuoteen 2035 mennessä ja noin 800 M€ vuoteen 2050 mennessä.**
- Toisaalta, mikäli sähkön kuluttajahinta olisi esimerkiksi 10 c/kWh, toisi 1 TWh vuosituotanto noin **100 M€ vuosisäästön.**

Tällöin investoinnin suora **takaisinmaksuaika olisi noin 8 vuotta.**

Sementin valmistus

Innovatiiviset ratkaisut-skenaariossa oletetaan että esimerkiksi sementinvalmistuksen päästöt otetaan talteen ja varastoidaan CCS:n avulla vuosien 2035-2050 välillä. CCS:n kustannukset vaihtelevat huomattavasti erityyppisten CCS-teknologioiden välillä. Vuonna 2018 valmistuneessa opinnäytetyössä on arvioitu Chemical absorption (Monoethanolamine absorption, MEA) -teknologian kustannukseksi hiilidioksidin talteenotossa Suomessa 65-68 €/tCO₂, jonka lisäksi kustannuksia CO₂:n kuljettamisesta tulisi noin 0,11-0,16 €/tCO₂/km⁴⁷ ja tämän

⁴⁶ Sisältää oletuksen, että aurinkosähköjärjestelmiin sisällytetään tulevaisuudessa myös akkuratkaisuja omakäytön maksimoimiseksi. Kotiaurinkojärjestelmien kustannuskehityksestä: NREL 2018: Cost-Reduction Roadmap for Residential Solar Photovoltaics (PV), 2017-2030

⁴⁷ Zhaurova, M. (2018). Utilization possibilities of CO₂ from cement industry in different products. LUT School of Energy Systems, Masters Thesis.

lisäksi vielä hiilidioksidin pysyvistä offshore-varastoinnista koituisi kustannuksia noin 6-20 €/tCO₂⁴⁸. Yhteensä kustannukset MEA-teknologialla, kuljetuksen pituudesta riippuen, voisivat siis olla noin 79 – 111 €/tCO₂ tai enemmänkin mikäli kuljetusmatka on pitkä (tässä arvioitu max. 200 km). Calcium Looping (CaL) -teknologialla kustannukset olisivat hieman pienemmät. Itse talteenoton kustannus voisi CaL-teknologialla olla noin 30-40 €/tCO₂, muiden kustannuserien (kuljetukset, varastointi) pysyessä samoina. Kokonaiskustannukset CaL-teknologialla Suomessa voisivat siis olla noin 44 – 83 €/tCO₂. Huomattavaa on, että MEA-teknologian kehitysaste on korkeampi kuin CaL-teknologian. MEA-teknologia on käytössä myös Norjan Norcem Brevikissä, jossa ollaan ottamassa käyttöön ensimmäinen sementtitehtaan CCS-järjestelmä. Norjan laitoksen investointikustannukseksi on arvioitu n. 1,1 miljardia €. ⁴⁹

Ennen CCS-teknologian käyttöönottoa on mahdollista vähentää sementin päästöjä esimerkiksi kalsinoitujen savien käyttöönoton ja uusien sementtityyppien avulla, tai mahdollisesti tuotannon sähköistämisen avulla. Kalsinoitujen savien ja uusien sementtityyppien käyttöönotolla ei ole arvioitu olevan kovin merkittävää lisäystä käyttökustannuksiin, mutta ne vaatisivat investoinnin, joka on todennäköisesti yli 50 milj. € sementtitehdasta kohden. ⁵⁰ Tuotannon sähköistämisen osalta investointikustannus on todennäköisesti suurempi, kuin kalsinoitujen savien osalta, mutta kustannuksesta ei ole vielä arviota, sillä sähköistyksen toteuttamisen keinoja ei olla valittu. Käyttökustannus tulee lisääntyneestä sähköstä ja säästöä saadaan toisaalta vähentyneestä polttoaineen käytöstä. Kokonaisvaikutus käyttökustannuksiin riippuu sähkön tulevasta hinnasta. Polttoaineiden osuus sementin valmistuksen kustannuksista tänä päivänä vaihtelee suuresti (5-50 %) tehtaasta toiseen. Näin ollen on siis mahdotonta arvioida yleispätevästi sähköistämisen käyttökustannusta tässä vaiheessa. Oletus kuitenkin on, että kustannukset nousevat nykytasosta.

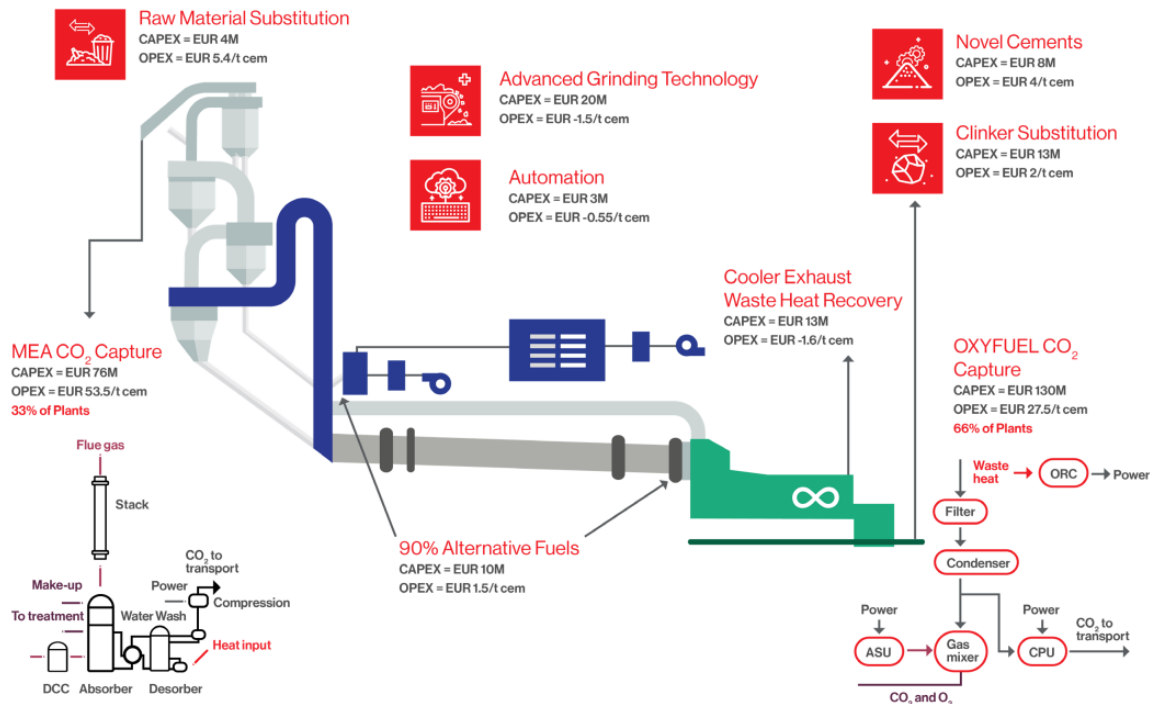
Sementtiteollisuuden eurooppalaisen kattojärjestön CEMBUREAU:n laatimassa kuvassa (Kuva 16) on koottu tietoa CAPEX- ja OPEX-kustannuksista sementtiteollisuuden päästövähennyksiin liittyen, olettaen hiilineutraalisuus vuonna 2050.

⁴⁸ <https://www.globalccsinstitute.com/archive/hub/publications/119816/costs-co2-storage-post-demonstration-ccs-eu.pdf>

⁴⁹ <https://www.norcem.no/en/CCS%20at%20Brevik>

⁵⁰ Tiedonanto Finnsementti 21.4.2020

CAPEX and OPEX for a 2050 Carbon Neutral 1 mtepa Cement Plant



Kuva 16 Sementin valmistuksen päästövähennysmahdollisuuksien kustannuksia koottuna (CEMBUREAU).⁵¹

Sementin valmistuksen päästövähennystoimien kustannukseksi on tehty myös Material Economicsin arvio, että sementin valmistuskustannukset kasvaisivat CCS:n ja tuotannon sähköistämisen myötä noin +70 – 115 % nykytasosta per tonni sementtiä.⁵²

Betonin valmistus

Sementille vaihtoehtoisia betonin valmistusmateriaaleja (esim. sivuvirrat, kalsinoidut savet) käytettäessä elementtien tuotantokierto hidastuu, joka kasvattaa ns. vihreän betonin valmistuskustannuksia asiantuntija-arvion mukaan n. 15-25 % tavanomaiseen betoniin verrattuna. Tuotantolaitosinvestointeja tarvittaneen myös betonin valmistamisessa, mutta näiden kustannus ei ole tiedossa. Mikäli muutos vihreisiin betoneihin tehdään nopeasti, eli muutaman vuoden aikahaarukassa, hinnat nousevat todennäköisesti jonkin verran tätä enemmän, koska muutos pienentää valmistuskapasiteettia ja aiheuttaa siten niukkuutta markkinaa. Hintajousto riippuu suhdanteista sekä kilpailevien tuotteiden tarjonnasta ja hinnasta. Uusiutuvan energian hyödyntäminen (uusiutuvan sähkön muodossa) ei vaatisi merkittäviä lisäinvestointeja betonitehtaisiin. Kustannusvaikutus tulisi lähinnä uusiutuvan sähkön tulevasta hinnasta. Uusiutuvan energian käyttö valmistuksessa ei siis nostaisi betonin kustannusta merkittävästi.

⁵¹ CEMBUREAU (2020). Cementing the European Green Deal – Reaching climate neutrality in the cement and concrete value chain by 2050

⁵² Material Economics (2019). Industrial Transformation 2050 - Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry. Exhibit 1.13.

Myöskään hiilidioksidikövetetun betonin osalta ei merkittävää lisäkustannusta ole näköpiirissä käyttökustannuksiin, koska teknologia on jo laajasti käytössä Pohjois-Amerikassa tavanomaisen tuotannon rinnalla.⁵³ Hiilidioksidikövetetun betonin tuotanto kuitenkin edellyttää merkittävää tehdasinvestointia, mikäli teknologia otettaisiin käyttöön Suomessa. Investointien suuruudesta ei ole saatavilla arviota tällä hetkellä.⁵⁴

Teräksen valmistus

Teräksen tuottaminen tulevaisuudessa vetypelkistyksen avulla (esim. ns. HYBRIT-teknologia) voi asiantuntija-arvion mukaan nostaa teräksenvalmistuksen yksikkökustannusta noin 10-20 %. Toisen arvion (Material Economics, 2019) mukaan vähäpäästöiset teräksen valmistusteknologiat nostaisivat teräksen hintaa n. 20-30 % per tuotettu tonni.⁵⁵

Työmaiden energiankäyttö

Suurehko osa työmaiden polttoaine-energiankäytön päästövähennyksistä tulee työkoneiden energiatehokkuuden paranemisesta ja mahdollisesta hybridisaatiosta/sähköistymisestä. Lisäksi mahdolliset biopolttoaineiden sekoitusvelvoitteet nostavat polttoöljyn hintaa jonkin verran. Kehitys on pitkälti myös työkonevalmistajien käsissä. Työkoneet hankitaan korvausinvestointeina ja polttoainekulujen nousu on todennäköisesti kohtuullinen, joten päästövaikutusten kustannusvaikutukset eivät ole todennäköisesti järin suuria.

Työllisyysvaikutukset

Työllisyysvaikutusten osalta skenaarioon liittyy paljon investointeja, jotka työllistävät hetkelisesti. Näitä ovat esimerkiksi aurinkopaneelien ja lämpöpumppujen asennukset sekä terästeollisuuden vetypelkistyksen ja sementtiteollisuuden CCS-teknologian toteutus. Teräs- ja sementtiteollisuuden uudet teknologiat ovat sellaisessa kehitysvaiheessa, että investointien työllisyysvaikutuksia ei voida toistaiseksi arvioida. Investointitarpeiden vuoksi tässä skenaariossa todennäköisesti syntyy isompia työllisyysvaikutuksia kuin perusuralla.

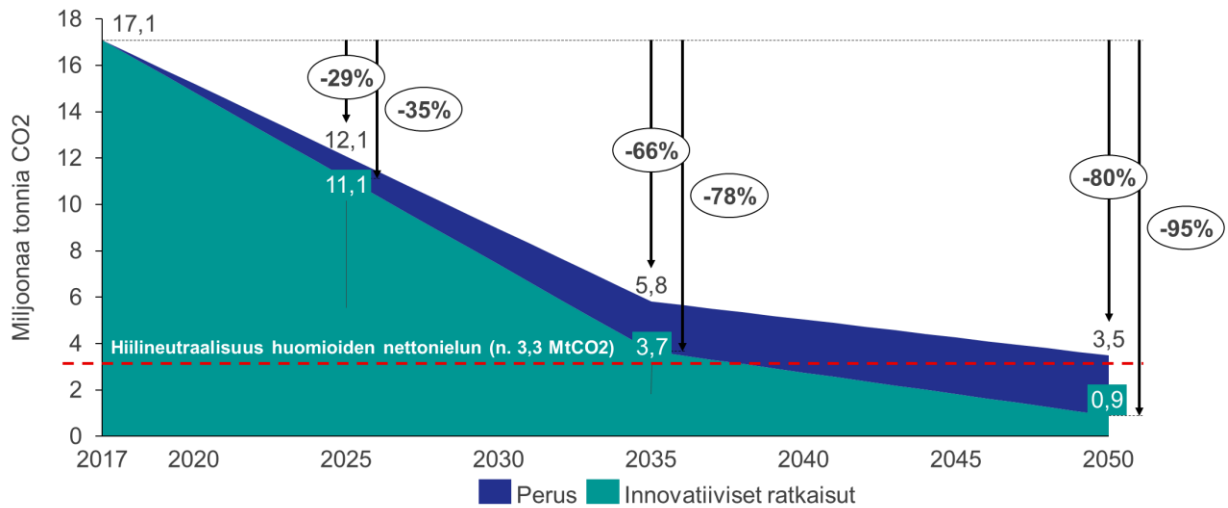
4.3 Yhteenveto skenaarioista

Kuva 17:ssä on esitetty rakennetun ympäristön hiilijalanjälkikehitys perus- ja innovatiiviset ratkaisut skenaarioissa. Hiilijalanjäljen ero vuonna 2035 on noin 2,1 MtCO₂ ja vuonna 2050 noin 2,6 MtCO₂. Olettamalla, että hiilineutraalisuus edellyttää noin 3,3 MtCO₂ hiilijalanjälkeä (ks. luku 3.1), saavutettaisiin hiilineutraalisuus innovatiiviset ratkaisut skenaarioissa noin vuonna 2037 ja perusskenaariossa vasta 2050 jälkeen. Vuonna 2050 innovatiiviset ratkaisut skenaarion mukainen kokonaishiilijalanjälki on noin 2,4 MtCO₂ pienempi kuin hiilineutraalisuuden edellyttämä taso.

⁵³ Tiedonanto Betoniteollisuus 23.4.2020

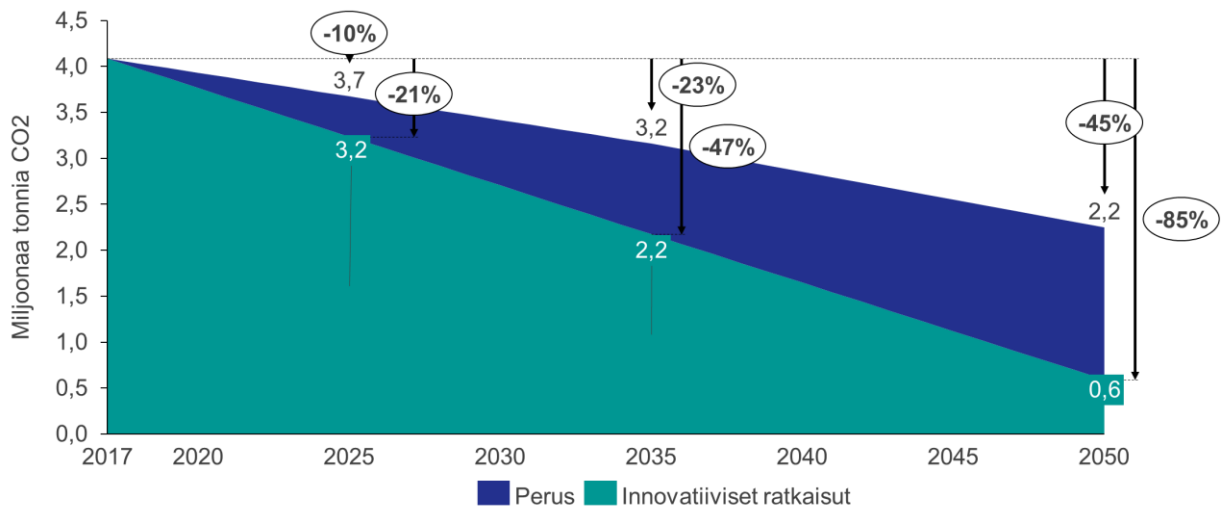
⁵⁴ Tiedonanto Betoniteollisuus 12.5.2020

⁵⁵ Material Economics (2019). Industrial Transformation 2050 - Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry. Exhibit 1.13.



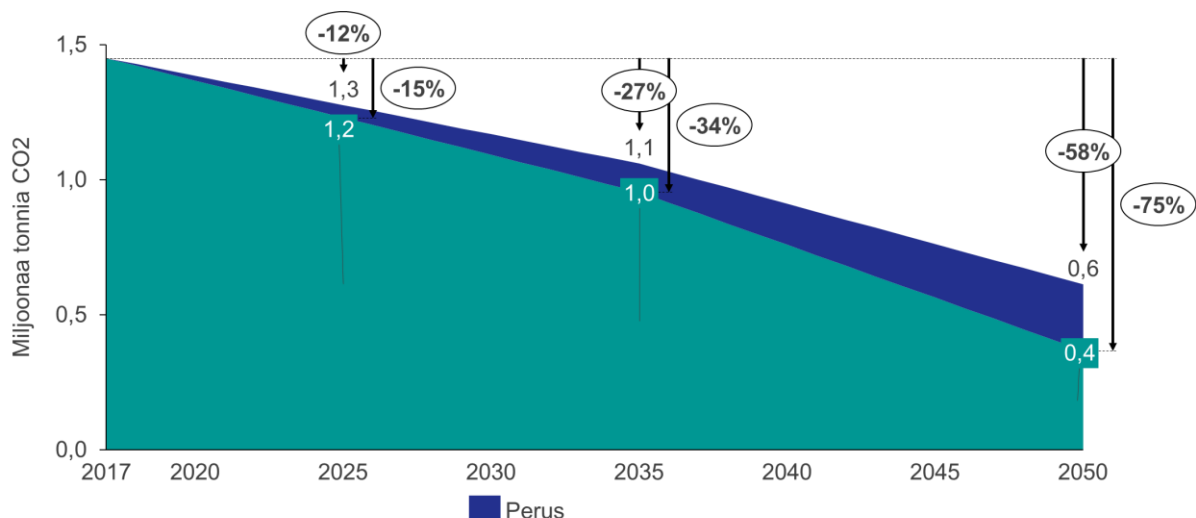
Kuva 17 Rakennetun ympäristön hiilijalanjäljen kehitys perus- ja innovatiiviset ratkaisut skenaarioissa

Ilman rakennusten käyttövaihetta suhteellinen ero skenaarioiden välillä on suurempi, sillä innovatiiviset ratkaisut -skenaarioissa huomioitavat lisätoimet vaikuttavat erityisesti rakennustoiminnan päästöihin (Kuva 18). Innovatiiviset ratkaisut -skenaario vähentää rakennustoiminnan päästöjä noin 1 MtCO₂ enemmän kuin perusskenaario vuoteen 2035 mennessä ja noin 1,6 MtCO₂ vuoteen 2050 mennessä.



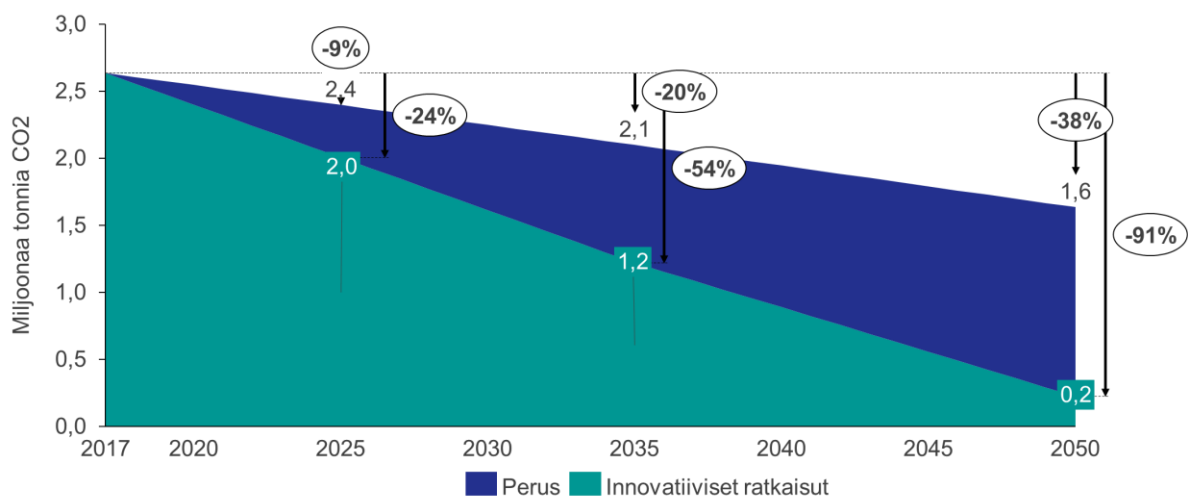
Kuva 18 Rakennustoiminnan hiilijalanjäljen kehitys perus- ja innovatiiviset ratkaisut skenaarioissa

Kuva 19 esittää skenaarioiden päästöeron työmaatoimintojen, logistiikan ja jätteen osalta. Tässä tarkastelussa erot skenaarioiden välillä ovat maltillisia.



Kuva 19 Työmaatoimintojen, logistiikan ja jätteen hiilijalanjäljen kehitys perus- ja innovatiiviset ratkaisut skenaarioissa

Kuva 20:ssä esitetään skenaarioiden päästöero materiaalinkäytön osalta. Innovatiiviset ratkaisut ajavat materiaalin hiilijalanjäljen lähelle nollassa vuonna 2050.



Kuva 20 Materiaalin hiilijalanjäljen kehitys perus- ja innovatiiviset ratkaisut skenaarioissa

Liitteessä 1 on esitetty skenaariokohtaiset Sankey-kuvaajat vuosille 2035 ja 2050.

4.4 Jälkimmäisen skenaarion toteutumisen edellytyksiä

Perusuran ylittävät päästövähennykset voivat olla reaktiivisia tai proaktiivisia. Reaktiivinen muutos perustuu alalle asetettaviin konkreettisiin vaatimuksiin. Vaatimukset voivat olla sääntelyä tai markkinavetoisia. Sääntely realisoituu kansallisena lainsäädäntönä, josta hyvä

esimerkki on suunnitteilla oleva rakentamisen päästöjä rajaava laki⁵⁶ sekä ilmastolaki, joka nykymuodossaan kuitenkin on varsin yleisellä tasolla. Hyvä sääntely antaa selkeät tavoitteet, allokoi tavoitteet läpinäkyvällä tavalla, vaatii osoitettavuutta ja on teknologianeutraali. Perusrakenteella huomioitu alalle asetettu konkreettinen vaatimus on EU:n päästökauppa, jota myös oletettavasti kiristetään tulevina vuosina EU:n hiilineutraalisuustavoitteen 2050 toteuttamiseksi.

Rakennusteollisuuden ja erityisesti infrarakentamisen osalta julkiset hankinnat muodostavat keskeisen markkinavetoisuuden työkalun. Julkisiin hankintoihin käytetään vuosittain yli 30 mrd. euroa, joten niiden painoarvo on iso. Päästöjen tuloksellinen vähentäminen hankinnoissa edellyttää kuitenkin sekä lainsäädännön että tuotteiden ja palvelujen päästöjen asian- tunteudesta, ja hankintayksiköt tarvitsevat tukea hankintakriteerien oikeisiin muotoiluihin.

Proaktiivinen muutos viittaa tuotteiden ja palvelujen tarjoajien omaehtoiseen päästövähennyksiin tai niihin sitoutumiseen ilman yhteiskunnan reunaehtoja tai niitä kunnianhimoisem- malle tasolle. Proaktiivinen muutos pyrkii vahvistamaan vähähiilisyttä tuotteen tai palvelun hyvyyskriteerinä, jolloin vähähiiliselle toiminnalle syntyy kilpailuetu. Tämä kuitenkin edellyt- tää, että markkinoilla on riittävä vähähiilisuuden arvostus tai että arvostuksen kehittymisno- peus on riittävän suuri. Koska edun synty ei ole varmaa ja kustannukset voivat olla korkeat, liittyy muutokseen taloudellisia riskejä.

Käytännössä proaktiivisesti vähähiilisyttä voivat ajaa rakentamisen ja rakennustuoteteolli- suuden suuret veturiyritykset, kun taas pienet tuotevalmistajat ja alalle tyypilliset alihankkijat joutuvat pääasiassa mukautumaan reaktiiviseen muutokseen. Suuressa osassa alan yrityksiä alalle tyypilliset katteet ja uusiutumiskyky, joita käsiteltiin ensimmäisessä taustaraportissa, eivät mahdollista merkittäviä proaktiivisia ponnistuksia. Näiden yritysten kannalta reaktiivi- sen muutoksen lähde voi olla myös veturiyritys, joka välittää omat tai asiakkaansa tavoitteet hankintaketjuun. Monet suomalaiset rakentamisen veturiyritykset sekä kansainväliset raken- nustuotekonsernit ovat jo julkisesti sitoutuneet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen ja hiilineutraalisuuteen pitkällä aikavälillä. Sekä reaktiivinen että proaktiivinen muutos edellyt- tävät alan toimijoiden sitoutumista päästöjen vähentämiseen. Sitoutumisen tulee olla liiketa- loudellisesti perusteltua, teknistaloudellisesti mahdollista ja toteutettavissa käytettävissä ole- villa tuotannon tekijöillä.

Teknisiä ja taloudellisia mahdollisuuksia on käsitelty laajalti hankkeen 2. taustaraportissa. Yhteenvetona voidaan todeta, että päästöjen kannalta tällä hetkellä keskeisimpien rakennus- materiaalien, sementin/betonin ja teräksen, osalta päästövähennyksiin tarvitaan erittäin suu- ria investointeja, jotka väistämättä nostavat tuotteiden hintoja. Eräänä edellytyksenä on täten rahoituksen saatavuus, riittävä päästöttömän energian saatavuus ja riittävä markkinariskien jakaminen tai tarvittaessa hallinta esimerkiksi niin, että tuotteilla säilyy riittävä kysyntä, tar- vittaessa vaikka sääntelyn keinoin.

⁵⁶ Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa (RAHI- raportti)

Työmaatoimintojen ja kuljetusten polttoainepäästöjen osalta tilanne on pääasiassa työkone- ja kuorma-autovalmistajien käsissä, mutta esimerkiksi kiviainesten osalta kuljetusmatkojen lyhentäminen kiviainesten ottopaikkoja lisäämällä pienentäisi kuljetuksen päästöjä. Edellytyksenä tälle olisi kuitenkin nykyistä kokonaisvaltaisempi maankäytön suunnittelu ja sujuvammat lupakäytännöt. Maa-ainesten kuljetuksia lisää myös se, että maamassojen välivarastointi edellyttää ympäristölupaa. Koska ympäristölupaprosessi on raskas, välivarastointi suuntautuu luvitetuille alueille vaikka ne olisivat kaukana.

Irrotettujen maamassojen tehokkaampaa/parempaa alueellista hyödyntämistä edistäisivät myös kelpoisuutta määrittävien määräysten ja kriteerien edelleen kehittäminen ja niiden yhdenmukaiset tulkinnat.

Työmaatoimintojen ja kuljetusten polttoainepäästöjen osalta tilanne on pääasiassa työkone- ja kuorma-autovalmistajien käsissä, mutta esimerkiksi kiviainesten osalta kuljetusmatkojen lyhentäminen kiviainesten ottopaikkoja lisäämällä pienentäisi kuljetuksen päästöjä. Edellytyksenä tälle olisi kuitenkin nykyistä notkeampi lupapolitiikka. Maa-ainesten kuljetuksia syntyy myös tiukkojen laatumääräysten vuoksi paljon. Laatumääräysten tarkistaminen vähentäisi todennäköisesti kuljetusmääriä. Työmaatoimintojen sähkönkäytön päästöjä voidaan vähentää uusiutuvan sähkön avulla; läpileikkaava kysymys kuitenkin on, riittääkö uusiutuva sähkö Suomessa.

Monella painoarvoltaan pienemmällä energiaintensiivisellä rakennustuotteella keskeinen päästövähennysten edellytys olisi kyky käyttää uusiutuvia polttoaineita tai sähköä. Useasti uusiutuvien polttoaineiden käyttämisen esteenä ei niinkään ole investointi- tai tuotantokustannus kuin uusiutuvan polttoaineen saatavuus. Esimerkiksi neste- tai maakaasun vaihtaminen biokaasuun on teknistaloudellisesti yksinkertaista, mutta pullonkaulana on biokaasun saatavuus.

Eräs merkittävä edellytys skenaarion toteutumiselle on esteiden purkaminen. Keskeisenä esteenä alalla pidetään esimerkiksi yritysten korjausrakentamiskapasiteettia, joka ei ole suhteessa siihen korjausrakentamistarpeeseen, jota käytönaikaisen energiankäytön ja sen päästöjen vähentäminen edellyttäisi.

Yleisesti ottaen keskeinen muutoksen edellytys on alalla meneillään olevan vähähiilisyyskehityksen vahvistaminen yritysten toimintakulttuurissa ja rakentamisen ketjuissa kaikilla tasoilla. Vähähiilisyys alkaa maankäytön suunnittelusta, kulkee suunnittelun kautta toteutukseen ja realisoituu pitkänä käyttövaiheen energiankäyttönä. Kaikissa näissä vaiheissa tulisi ymmärtää vähähiilisyysvaatimukset ja vahvistaa edellytyksiä vähähiilisyydelle.

Taulukko 3:ssa on esitetty yhteenveto siitä, mitä erilaiset alan teemoittaiset päästövähennystoimet vaikuttavat rakentamisen päästöihin ja mitkä ovat keskeiset päästövähennysten toteutumisen edellytykset. Tarkastelu on teknologianeutraali eikä oletta materiaalien korvautumista toisilla. Kuten edellä todettiin, rakennus- ja rakennekannan käytönaikaisen energiankulutuksen vähentämisen keskeinen edellytys on riittävä korjausrakentamisen kapasiteetti sekä rahoituksen saatavuus. Korjausrakentamisen kapasiteetti on joidenkin arvioiden mukaan Suomessa tällä hetkellä riittämätön.

Taulukko 3 Rakennusalan ja rakennetun ympäristön teemoittaisten päästövähennystoimien vaikutukset ja keskeiset päästövähennysten toteutumisen edellytykset. Oletuksena nykyinen rakennusmateriaalien jakauma.

	Osuus rakentamisen päästöistä ⁵⁷	Tekniset päästövähennysmahdollisuudet koko Suomen tasolla ⁵⁸	Keskeiset toteutuksen edellytykset
Sementti	(sisältyy betoniin)	hyvä	rahoitus, teknologinen kehitys, tuotantokustannuksen nousun hyväksyttävyyttä
Betoni	suuri	hyvä	ks. sementti
Teräs	suuri	hyvä	rahoitus, teknologinen kehitys, tuotantokustannuksen nousun hyväksyttävyyttä
Puupohjaiset materiaalit	pienehkö	yksikköpäästöt jo pienet	teknologinen kehitys ⁵⁹ , uusiutuvan energian käyttö ja saatavuus (hankintaketjussa)
Poltettu tiili	pieni	kohtalainen	uusiutuvan energian käyttö ja saatavuus
Kipsi	pieni	hyvä	uusiutuvan energian käyttö ja saatavuus
Lasi	pienehkö	kohtalainen	uusiutuvan energian käyttö ja saatavuus
Eristeet	pienehkö	kohtalainen	uusiutuvan energian käyttö ja saatavuus; rahoitus, t&k-toiminta
Kivi- ja maa-ainekset	pienehkö	yksikköpäästöt jo pienet	kuljetusmatkojen lyhentäminen, logistiikan tehostaminen; kuorma-autojen päästöjen sääntely
Asfaltti	pienehkö	yksikköpäästöt jo pienet	uusiutuvan energian saatavuus, kuljetusmatkojen lyhentäminen; kuorma-autojen päästöjen sääntely
Muut infran materiaalit	pienehkö	hyvä	uusiutuvan energian käyttö ja saatavuus
Rakentamisen energiankäyttö	suuri	kohtalainen	työkoneiden käytön tehostaminen, työkoneiden tuotekehitys, uusiutuvan energian käyttö ja saatavuus

⁵⁷ Perustelut esitetty taustaraportissa 2 (suuri = kymmenien prosenttien osuus materiaalien kokonaispäästöistä vuoden aikana, pienehkö = prosenttien osuus, pieni = alle prosentin osuus)

⁵⁸ Ks. Taustaraportti 2

⁵⁹ Esimerkiksi vähäpäästöisten liimojen kehitys

5 Yhteenveto

Käsillä olevassa raportissa on esitetty kaksi skenaariota rakennetun ympäristön ja rakentamisen hiilijalanjäljen kehittymisestä vuoteen 2050 asti. Skenaarioiden pohjaksi on kuvattu päästöjen synnyn karkea vaikuttavuusmalli, jossa erilaiset yhteiskunnan ja toimintaympäristön ajurit tuottavat toimintaa, joka puolestaan tuottaa muutoksia prosesseissa, mistä edelleen syntyy vaikutuksina päästösäästöjä, kustannusvaikutuksia ja työllisyysvaikutuksia.

Ensimmäinen skenaario on ns. perusura, joka kuvaa vuosipäästöjen kehittymistä tilanteessa, jossa ainoastaan tiedossa olevat toimintaympäristön pakottavat ajurit ohjaavat päästöjen vähenemistä. Toisessa skenaariossa on puolestaan laskettu yhteen toisessa taustaraportissa arvioidut rakentamisen maksimaaliset päästösäästöt. Kummassakin skenaariossa rakentamisen kysyntää on arvioitu kansallisen hallinnonalojen skenaariotyön pohjalta. Käytönaikaisen energiankäytön kehitystä skenaarioissa on arvioitu kansallisen EPBD-direktiivin toteutus-suunnitelman perusteella, ja ostoenergian päästökertoimet on arvioitu Energiategollisuuden tiekarttatyön perusteella. Myös muita ohjaavia tiekartta- ja skenaariotöitä on käytetty.

Perusuraskenaariossa on arvioitu, miten toimintaympäristön ajurit ohjaavat päästöjä, kun taas innovatiiviset ratkaisut -skenaarion yhteydessä on pyritty arvioimaan, mitä toimia skenaarion toteuttaminen täysimääräisenä edellyttäisi. Skenaarioiden näkökulmat ovat siis erilaiset. Skenaarioissa päästövaikutukset pystytään arvioimaan kohtuullisella tarkkuudella, mutta kustannus- ja työllisyysvaikutuksia on pystytty arvioimaan vain suuntaa antavasti.

Perusuraskenaariossa Suomen rakennetun ympäristön ja rakentamisen hiilijalanjälki pieneni 2035 mennessä noin 66 % ja 2050 mennessä noin 80 %. Vaikka perusurassa ei huomioitu ilmastolain vaikutusta, on lopputulos vuonna 2050 sama kuin ilmastolain nykyinen tavoite. Suurin osa päästösäästöstä syntyy korjausrakentamisesta, joka muuttaa lämmitystapoja ja vähentää rakennusten energiankulutusta sekä sähkön ja kaukolämmön päästökertoimien pienentymisestä. Rakentamisen päästöt pienenevät perusuralla 25 % 2035 mennessä ja 47 % 2050 mennessä. Suurin päästösäästö syntyy rakennustuotteiden päästöjen vähenemisestä EU:n päästökaupan ajamana 2,2 % vuodessa.

Innovatiiviset ratkaisut -skenaariossa Suomen rakennetun ympäristön ja rakentamisen hiilijalanjälki pieneni 2035 mennessä noin 80 % ja 2050 mennessä noin 95 %. Suurin osa päästösäästöstä syntyy edelleen korjausrakentamisesta ja ostoenergian päästökertoimien pienentymisestä. Rakentamisen päästöt pienenevät skenaariossa 53 % 2035 mennessä ja 88 % 2050 mennessä. Päästökaupan lisäksi suuri päästösäästö syntyy sementinvalmistuksen CCS-ratkaisuista sekä teräksenvalmistuksesta vetypelkistyksen avulla. Molempien ratkaisujen kustannukset ovat kuitenkin varsin korkeat. Lisäksi merkittäviä päästövähennyksiä on saatavissa teräksen käytön suunnittelun optimoinnista ja rakenteiden kierrätettävyyden lisäämisestä. Muissa rakennustuotteissa päästösäästöä tuottaa uusiutuviin polttoaineisiin ja sähkөөn siirtyminen, mutta haasteena on uusiutuvan energian saatavuus.

Työssä on arvioitu myös jossain määrin skenaarioiden kustannus- ja työllisyysvaikutuksia. Tyhjentävää arviota ei pystytä tälle tarkasteluajavälille antamaan. Sekä kustannus- että työllisyysvaikutusten laskentaa tulisi koordinoita tarkemmin tiekarttojen välillä ja toteuttaa

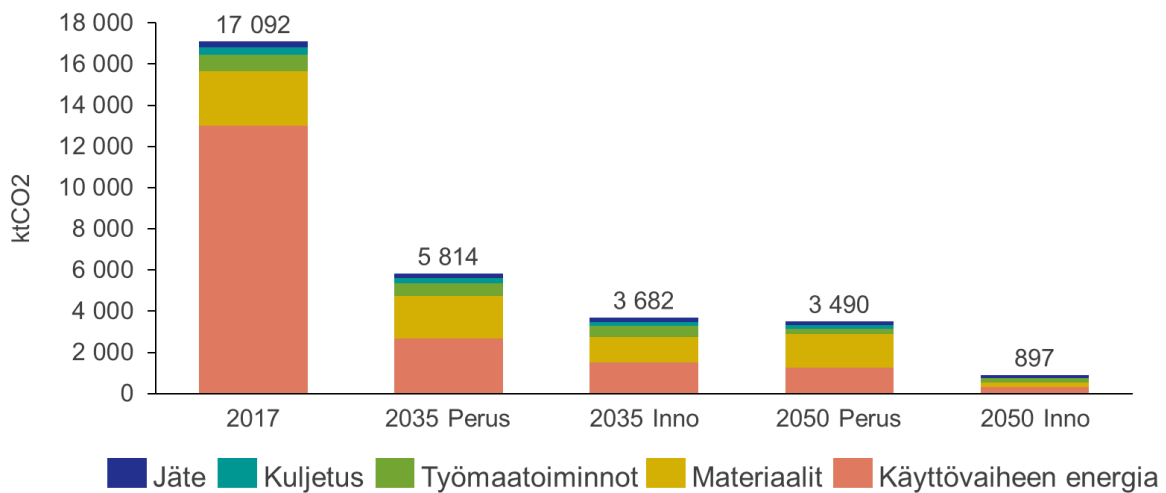
varsinainen laskenta TEM:n johdolla esimerkiksi seuraavissa versioissa tiekartoista tai erillisinä tutkimushankkeina.

Mikäli alalle jyvitetään puurakentamiseen liittyvät nettonielut ja niiden laskentatapa tai määrä ei tulevaisuudessa merkittävästi muutu nykyisestä, perusura johtaa rakennusalan ja rakennetun ympäristön hiilineutraalisuuteen noin vuonna 2050. Innovatiiviset ratkaisut -skenaario johtaisi hiilineutraalisuuteen jo 2035, joka vastaa Suomen hiilineutraalisuustavoitetta.

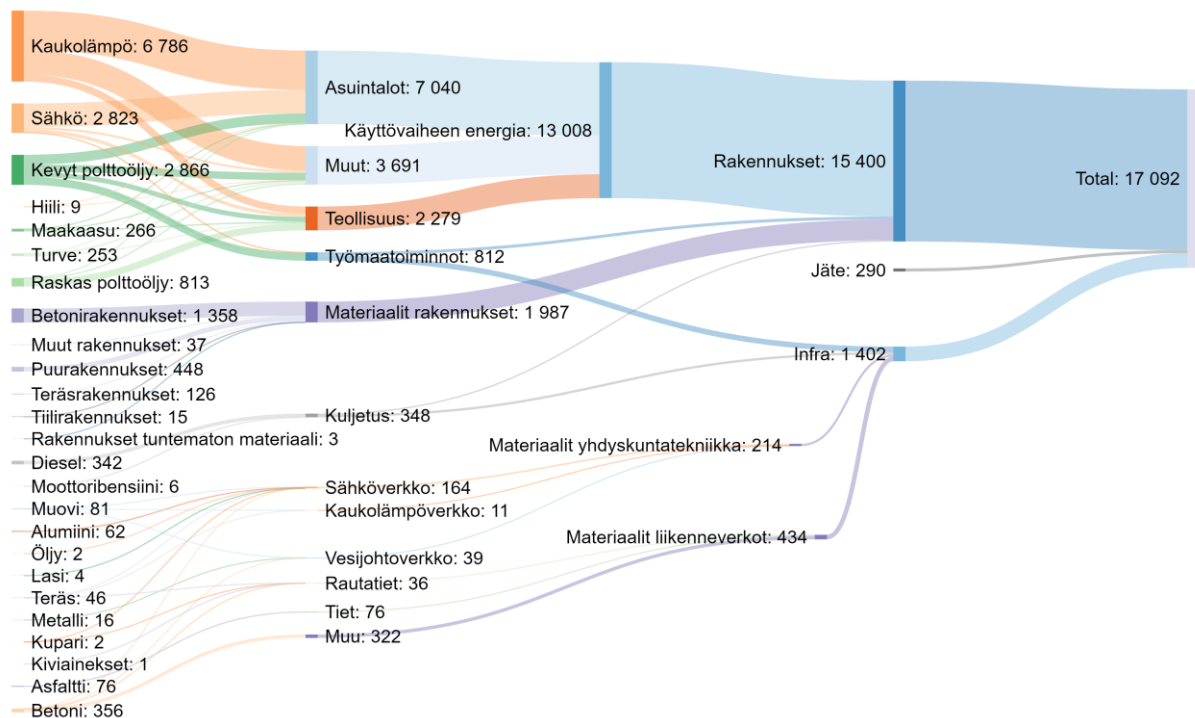
Todellinen rakennetun ympäristön ja rakentamisen hiilijalanjäljen kehitys on todennäköisesti jossakin näiden ääriskenaarioiden välimaastossa. Perusuraskenaarioita voimallisempia päästösäästöjä voidaan saada aikaan reaktiivisesti sääntelyllä ja vaatimalla hankintatilanteissa vähähiilisyyttä toimittajilta. Proaktiivinen muutos syntyy alan veturiyritysten sitoutumisesta vähähiilisyteen, mikä voidaan osin havaita jo nyt.

Liite 1: Skenaariokohtaiset Sankey-kuvaajat vuosille 2035 ja 2050

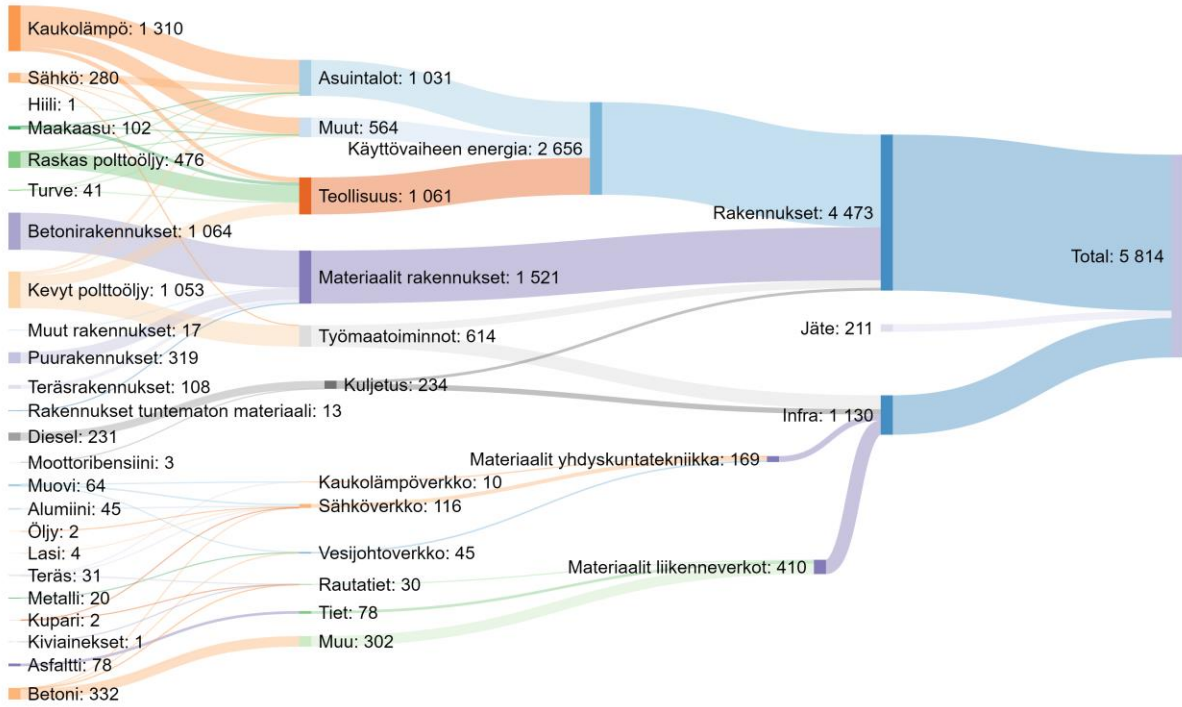
Tässä liitteessä esitetään rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön hiilijalanjäljen muodostuminen Sankey-kuvaajalla vuonna 2017 sekä vuosina 2035 ja 2050 perus- ja innovatiiviset ratkaisut skenaarioissa. Sankey-kuvaajat ovat keskenään samansuuruisia, mutta niiden esittämät kokonaispäästöt eroavat merkittävästi. Kuva 21:ssä on esitetty hiilijalanjäljen kokonaismäärä kunakin vuonna eri skenaarioissa, mikä osoittaa Sankey-kuvaajien välisen keskinäisen mittasuhteen.



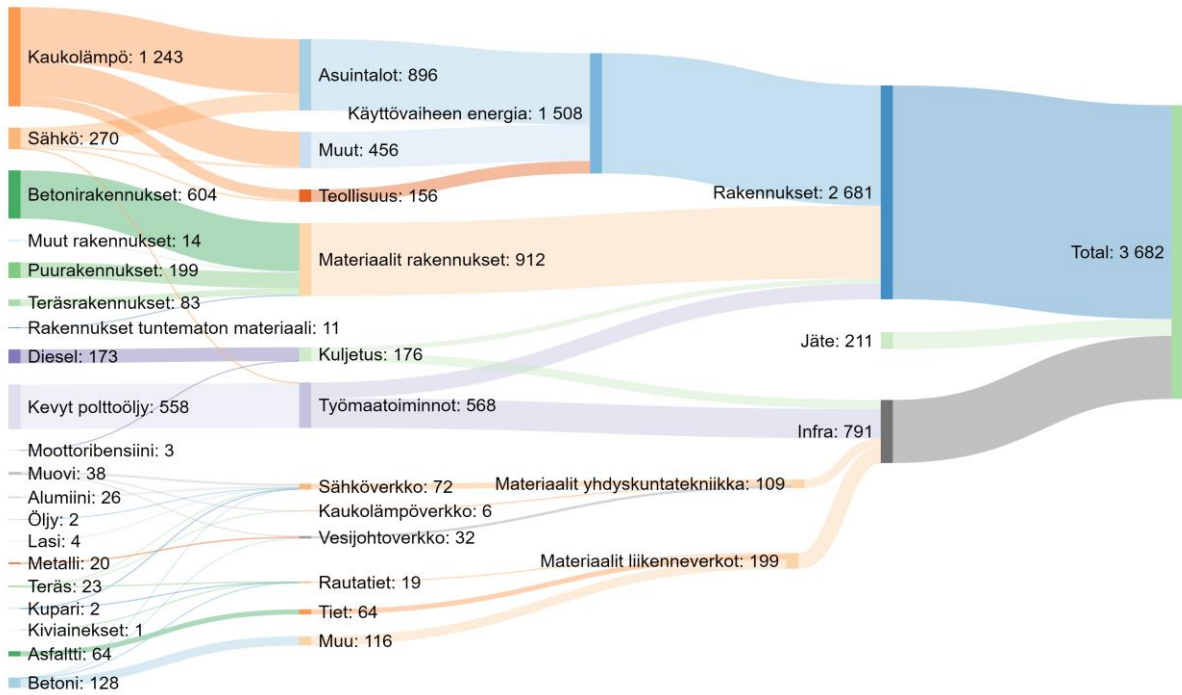
Kuva 21 Rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön hiilijalanjälki 2017, 2035 ja 2050 perus- ja innovatiiviset ratkaisut skenaarioissa



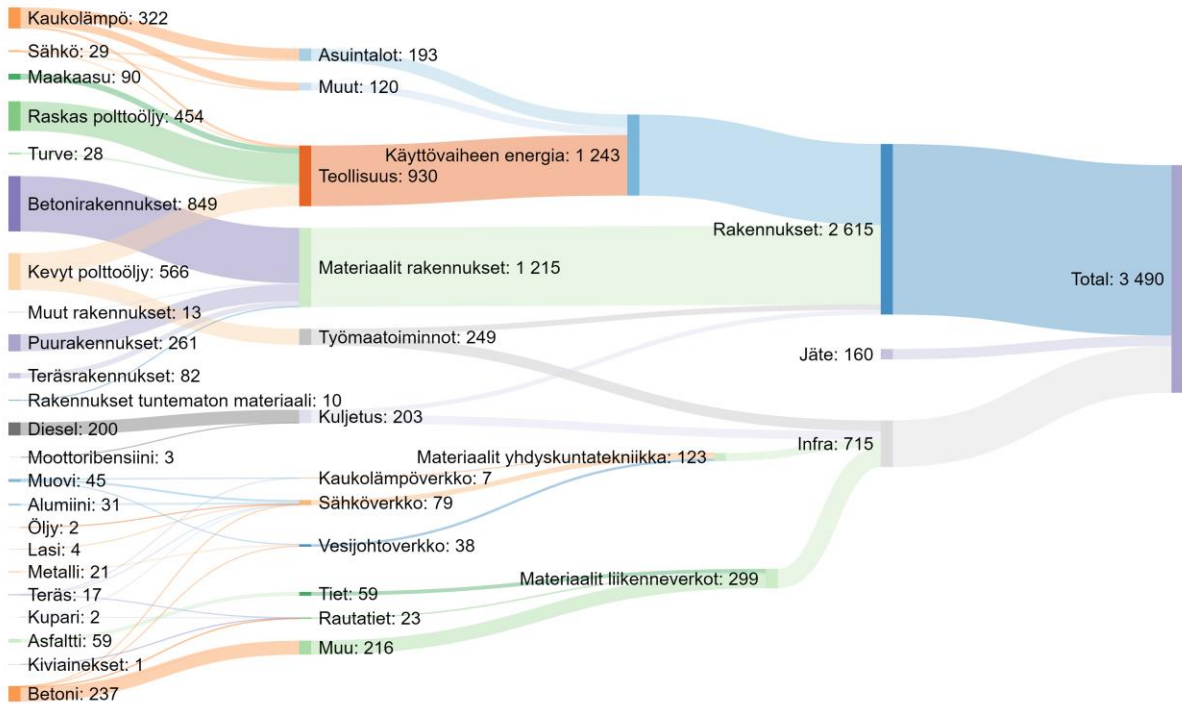
Kuva 22 Rakennetun ympäristön hiilijalanjälki vuonna 2017, kt CO2e (skenaarioiden lähtötaso)



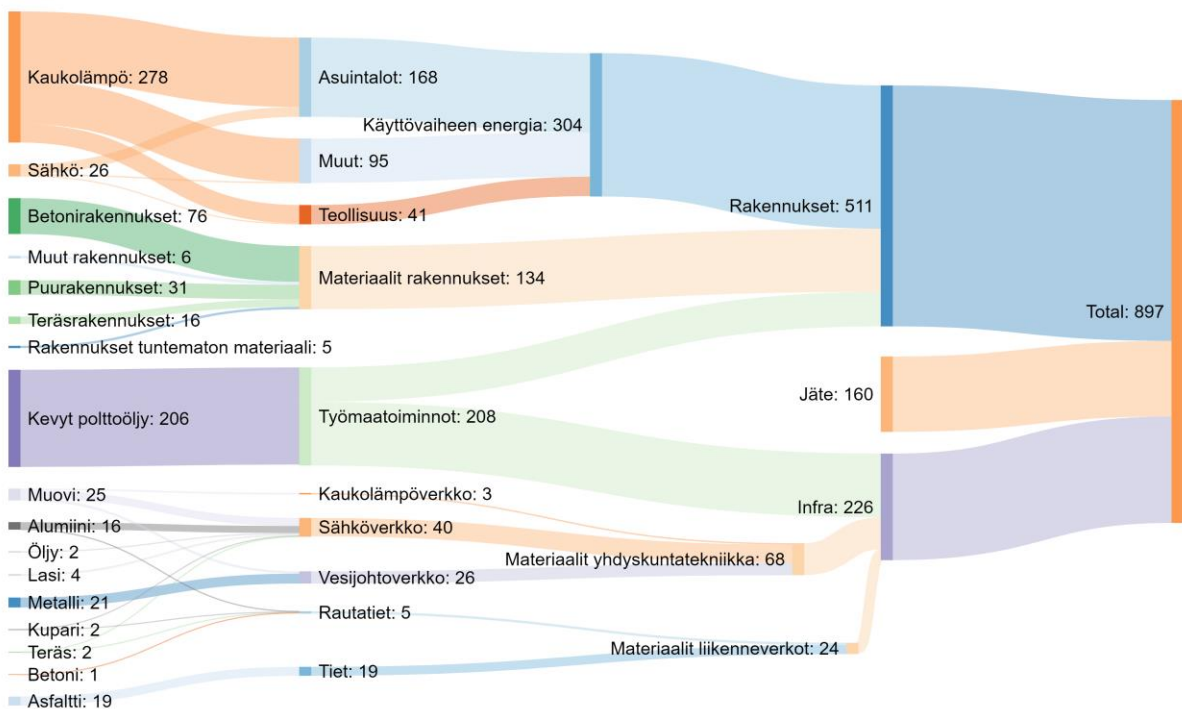
Kuva 23 Rakennetun ympäristön hiilijalanjälki vuonna 2035 perusskenaariossa, kt CO₂e (huomaa mittasuhteet, päästö yhteensä 5,814 Mt CO₂e)



Kuva 24 Rakennetun ympäristön hiilijalanjälki vuonna 2035 innovatiiviset ratkaisut skenaariossa, kt CO₂e (huomaa mittasuhteet, päästö yhteensä 3,682 Mt CO₂e)



Kuva 25 Rakennetun ympäristön hiilijalanjälki vuonna 2050 perusskenaariossa, kt CO₂e (huomaa mittasuhteet, päästö yhteensä 3,49 Mt CO₂e)



Kuva 26 Rakennetun ympäristön hiilijalanjälki vuonna 2050 innovatiiviset ratkaisut skenaariossa, kt CO₂e (huomaa mittasuhteet, päästö yhteensä 0,897 Mt CO₂e).



Gaia Group Oy

Bulevardi 6 A,

FI-00120

HELSINKI, Finland

Tel +358 9686 6620

Fax +358 9686 66210

ADDIS ABABA | BEIJING |
BUENOS AIRES | GOTHENBURG |
HELSINKI | SAN FRANCISCO |
TURKU | ZÜRICH

You will find the presentation
of our staff, and their contact
information, at www.gaia.fi