

Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035

Osa 2.

Vähähiilisyyden mahdollisuuksien tarkastelu



Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035

Osa 2: Vähähiilisyyden mahdollisuuksien tarkastelu

Taustaraportti

Lopullinen versio

28.5.2020

*Tuomas Raivio, Anna Laine, Markus Klimscheffskij, Jenny Lehtomäki, Anna Heino,
Håkan Jonsson, Pekka Pokela, Mikael Ahlfors
Gaia Consulting Oy*

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto: Vähähiilinen rakennettu ympäristö	2
2 Rakennetun ympäristön käytön päästövähennystoimet	3
2.1 Taustaa	3
2.2 Energiatehokkuuden parantaminen ja vaikutukset.....	5
2.3 Rakennusten oma lämmöntuotanto ja vaikutukset.....	9
2.4 Rakennusten oma sähköntuotanto ja vaikutukset.....	12
2.5 Taloteknisten laitteiden mahdollisuudet vähentää energiajärjestelmän päästöjä ...	15
3 Rakennusteollisuuden 10+1 keskeisintä päästölähdettä ja niihin liittyvät päästövähennystoimet	17
3.1 Sementti	17
3.2 Betoni	22
3.3 Teräs.....	28
3.4 Puupohjaiset rakennusmateriaalit.....	32
3.5 Poltettu tiili, kipsi ja lasi.....	36
3.6 Rakennusten eristemateriaalit.....	40
3.7 Kivi- ja maa-ainekset.....	44
3.8 Asfaltti	48
3.9 Muut infrarakentamisen materiaalit	53
3.10 Rakennustoiminnan energiankäyttö	56
3.11 Materiaalihukan vähentäminen.....	62
3.12 Yhteenveto.....	66
4 Hiilidioksidin sidonta, talteenotto ja varastointi/hyödyntäminen ...	67
4.1 Teknologioiden käyttöönoton kehitys.....	69
4.2 Tulevaisuuden potentiaali.....	70
5 Vähähiilisyden toteuttaminen.....	71
5.1 Johdanto	71
5.2 EU:n säädökset, päästökauppa, taakanjakosektori ja muut toimet	71
5.3 Valtionhallinnon toimet.....	72
5.4 Kuntien toimet ja maankäyttö	74
5.5 Rahoitus	75
5.6 Kiinteistö- ja rakennusalan omat toimet	77
5.7 Vähäpäästöisyyden mahdollistamisen keinoja	79
6 Yhteenveto ja johtopäätökset	82

1 Johdanto: Vähähiilinen rakennettu ympäristö

Tämä raportti on toinen 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 vähähiilisyyden 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 toimialat. Lähinnä RT:n työtä on RAKLI:n tiekartta, joka keskittyy kiinteistöjen omistajan ja käyttäjän näkökulmaan.

Hankkeen ensimmäisessä taustaraportissa laskettiin Suomen rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön hiilijalanjälki ja kuvattiin mahdollisia rakennusteollisuuden hiilikädenjälkivaikutuksia. Samalla kuvattiin ensin rakennusalaan ja rakennetun ympäristön toimintoja sekä toimintojen toteuttajaa, rakennusteollisuutta sekä rakennusalan kytkentäpintoja ilmastopolitiikkaan. Tässä hankkeen toisessa taustaraportissa tutkitaan keinoja vähähiilisen rakennetun ympäristön ja rakentamisen aikaansaamiseksi. Vähähiilinen rakennettu ympäristö tarkoittaa rakennettua ympäristöä, jonka käytönaikaiset hiilipäästöt ovat mahdollisimman pienet. Vähähiilinen rakentaminen puolestaan tarkoittaa rakentamista, jossa rakentamisen energiankäytön ja materiaalien päästöt ovat mahdollisimman pienet vaarantamatta kuitenkaan rakentamisen teknisiä ja toiminnallisia vaatimuksia tai elinkaarilaatua. Käytännössä rajat riippuvat toimialasta itsestään sekä annettavista viranomaisvaatimuksista.

Raportin rakenne on seuraava:

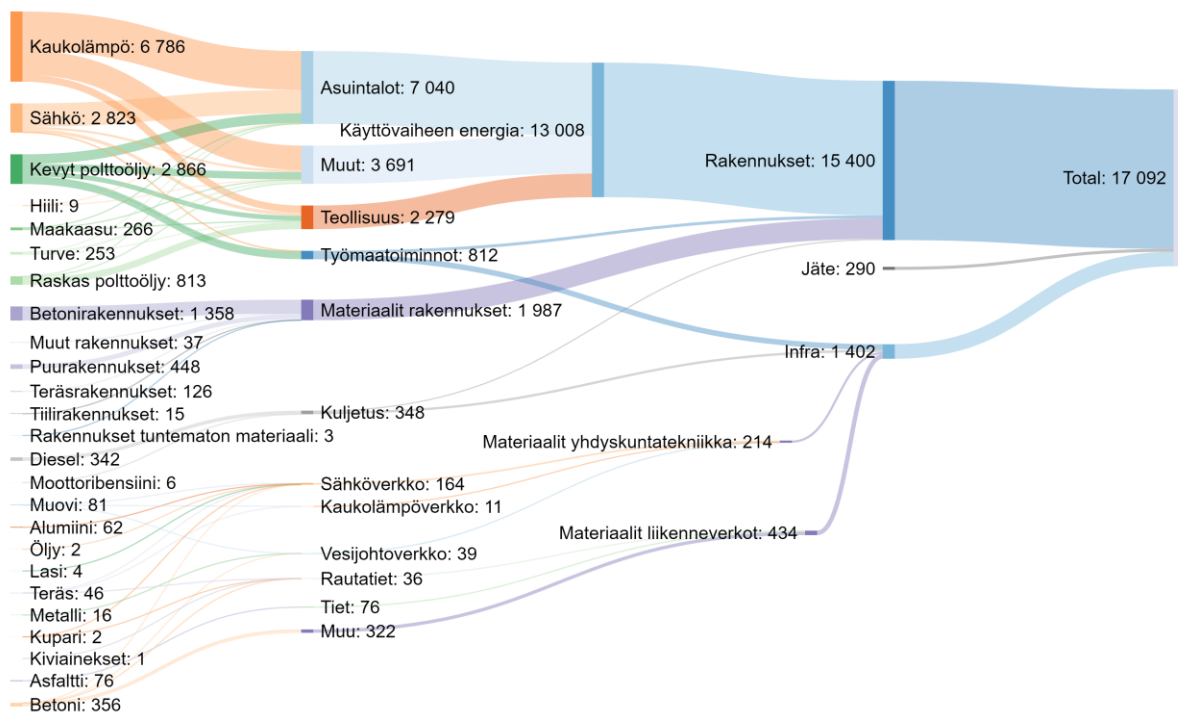
- Luvussa 2 tarkastellaan rakennusten ja rakenteiden käytönaikaista energiankäyttöä ja siihen liittyviä päästövähennystoimia. Tarkastelu jakautuu energiankulutuksen vähentämiseen rakenteellisin keinoin, rakennusten oman energiantuotannon mahdollisuuksiin ja taloteknisten laitteiden mahdollisuuksiin.
- Luvussa 3 tarkastellaan keskeisimpien rakennusmateriaalien raaka-aineiden ja valmistuksen päästöjä ja niiden vähentämismahdollisuuksia, sekä rakennustyömaiden energiankäyttöä ja siihen liittyviä päästövähennysmahdollisuuksia käytönvähentämisen ja työkoneiden yksikköpäästöjen vähentämisen kautta. Yhteenvetona esitetään herkkyysanalyysinomaisesti erilaisten päästövähennystoimien vaikutus rakentamisen ja rakennetun ympäristön päästöihin.
- Luvussa 4 tarkastellaan hiilidioksidin talteenottomahdollisuuksia rakennusmateriaalien valmistamisen yhteydessä.
- Luvussa 5 kuvataan lyhyesti erilaisia toimintatapoja, joiden avulla alalla olisi mahdollista toteuttaa erilaisia päästövähennystoimia. Työllä on tarkoitus pohjustaa myöhemmin varsinaisessa tiekartassa esitettäviä tavoitetasoja ja keinoja.

- Yhteenvedo ja johtopäätökset on esitetty luvussa 6.

2 Rakennetun ympäristön käytön päästövähennystoimet

2.1 Taustaa

Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 -hankkeen ensimmäisessä taustaraportissa ”Rakennetun ympäristön hiilielinkaaren nykytila” selvitettiin rakennetun ympäristön ja rakennusteollisuuden elinkaaren nykyinen hiilijalanjälki eli yhtenä vuonna syntyvät kokonaispäästöt (ks. Kuva 1). Kokonaisuudessaan hiilijalanjälki on 17,1 Mt CO₂e, josta 13,0 Mt CO₂e eli noin 76 % on rakennusten käyttövaiheen energian päästöjä. Käyttövaiheen energiankäytön päästöt jakautuvat edelleen sähkön, kaukolämmön ja erillislämmityksen päästöihin, joista kaukolämmön osuus on yli puolet, erillislämmityksen reilu neljännes (26%) ja sähkön 21%.



Kuva 1 Rakennetun ympäristön elinkaaren hiilijalanjälki (kt CO₂), laskennan kokonaistulos (sis. käyttövaiheen energian päästöt)¹

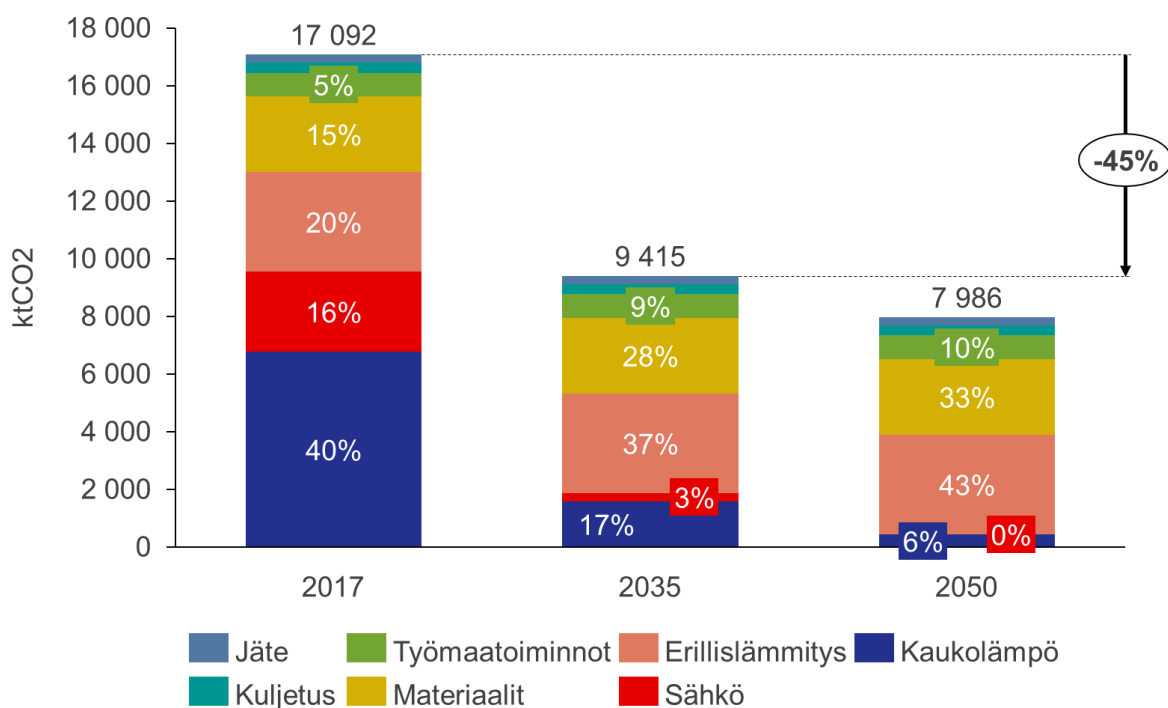
¹ Rakennusten osalta materiaalin päästöjä ei ole datan saatavuussyistä jaoteltu materiaaliikohtaisesti vaan rakennuksen päämateriaalin mukaan siten, että tietystä päämateriaalista valmistetun rakennuksen materiaali-päästöt sisältävät kaikkien rakennuksessa käytettyjen materiaalien päästöt yhteensä.

Energiankäytön päästöjen osalta on keskeistä huomata, että sähkön- ja kaukolämmön kulutuksen päästöt pienenevät rakennusteollisuuden toimista riippumatta ja ovat osa energiateollisuuden hiilitiekarttaa.

Kuva 2:ssa on esitetty rakennetun ympäristön hiilijalanjälki vuonna 2017 laskettuna vuoden 2017, 2035 ja 2050 sähkön ja kaukolämmön päästökertoimilla. Kaikki muut päästökijät (erillislämmitys, materiaalit, logistiikka, työmaatoiminnot, jäte) pysyvät siis samansuuruisina, mutta sähkön ja kaukolämmön päästökertoimet kehittyvät energiateollisuuden tiekartan mukaisesti². Tarkempaa tarkastelua tulevaisuuden skenaarioista tehdään hankkeen kolmannessa raportissa ”Vähähiilisyden skenaarit”.

Kuva 2:n perusteella yllä esitetystä hiilijalanjäljestä katoaa siis lähes puolet (45%) vuoteen 2035 mennessä energiantuotannon päästökertoimien kehityksen seurauksena. Sähkön- ja kaukolämmön kulutuksen osuus hiilijalanjäljestä on 56% vuonna 2017 ja vain 20% vuonna 2035 olettaen kulutuksen säilyvän samansuuruisena.

Yllä esitetystä syistä johtuen tässä työssä keskitytään rakennusten energiankäytön osalta erillislämmitykseen, energiatehokkuuteen sekä omatuotantoon.

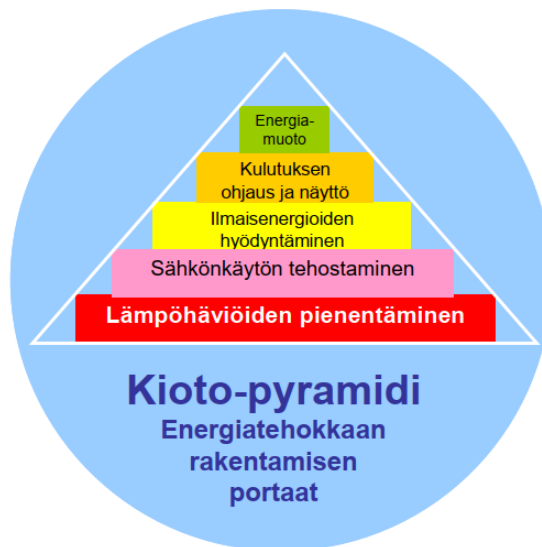


Kuva 2 Hypoteettinen oletus rakennetun ympäristön hiilijalanjäljestä vuosina 2017, 2035 ja 2050 sähkön ja kaukolämmön päästökertoimien kehityksen huomioiden

² Energiateollisuuden perusrassassa kaukolämmön ominaishiilidioksidipäästöt ovat 50 gCO₂/kWh vuonna 2035 ja 15 gCO₂/kWh vuonna 2050, sekä vastaavasti sähkölle ominaishiilidioksidipäästöt ovat vuonna 2035 10 gCO₂/kWh ja vuonna 2050 1 gCO₂/kWh.

2.2 Energiatehokkuuden parantaminen ja vaikutukset

Energiatehokas rakentaminen lähtee suunnittelusta, jossa pyritään minimoimaan rakennusmateriaalien, lämmitettävän pinta-alan ja energiankäytön hiilijalanjälki.³ Energiatehokkuuden parantaminen rakennuksissa koostuu viidestä elementistä. Ensimmäisenä prioriteettina on yleensä lämpöhäviöiden pienentäminen, minkä jälkeen tulevat sähkönkäytön tehostaminen, ilmaisenergioiden hyödyntäminen sekä kulutuksen ohjaus ja näyttö. Viimeisenä keinona on energiamuotoihin vaikuttaminen. Energiatehokkaan rakentamisen portaat on esitetty kuvassa 3.⁴



Kuva 3. Energiatehokkaan rakentamisen portaat.⁵

Rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä säädetään ympäristöministeriön asetuksella 4/13⁶. Siinä määritellään, että uusittujen rakennusosien, kuten ulkoseinien, alapohjan, ikkunoiden ja ovien lämmönpitävyyden pitää olla remontin jälkeen nykyvaatimusten mukainen tai vähentää rakennuksen standardikäytön energiankulutusta tai pienentää rakennuksen E-lukua⁷. Asetuksessa on myös määritetty erilaisten tyyppirakennusten standardikäytön energiankulutuksen raja-arvot, jotka on esitetty Taulukko 1.

³ Ahola & Liljeström (2018) Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti vuokratilohteessa

⁴ Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen (2012)

⁵ Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen (2012)

⁶ Ympäristöministeriö (4/13) Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä

⁷ Energiatodistusopas (2018): ”E-luku lasketaan määrittämällä aluksi rakennuksen vakioituun käyttöön perustuva laskennallinen ostoenergian kulutus, painottamalla laskennallinen ostoenergian kulutus energiamuodoittain kunkin energiamuodon kertoimella, ja lopuksi ilmoittamalla yhteenlaskettu tulos rakennuksen lämmitettyä nettoalaa (Anetto) kohden vuodessa. E-luvun yksiköksi saadaan kilowattitunti E lämmitettyä nettoalaa kohden vuodessa (kWhE/(m² vuosi)).”

Taulukko 1. Ympäristöministeriön energiatehokkuuden standardikäytön energiankulutuksen raja-arvot.

Rakennus	Raja-arvo
Pien-, rivi- ja ketjutalo	≤ 180 kWh/m ²
Asuinkerrostalo	≤ 130 kWh/m ²
Toimisto	≤ 145 kWh/m ²
Opetusrakennus	≤ 150 kWh/m ²
Päiväkoti	≤ 150 kWh/m ²
Liikerakennus	≤ 180 kWh/m ²
Majoitusliikerakennus	≤ 180 kWh/m ²
Muu liikuntahalli kuin jää- ja uimahalli	≤ 170 kWh/m ²
Sairaala	≤ 370 kWh/m ²

Erään vuokratalokohteen (viite 9) hiilineutraalin rakentamisen lähtökohtana ovat passiiviset suunnitteluratkaisut kuten päivänvalon hyödyntäminen, painovoimainen ilmanvaihto, aurinkoenergian hyödyntäminen ja siltä suojautuminen, rakenteellinen energiatehokkuus eli rakennuksen lämmöneristävyys ja tiiveys, tekninen energiatehokkuus eli LVI-järjestelmät, valaistus ja sähkölaitteet sekä uusiutuvien energialähteiden käyttö. Perustuksissa kokonaispäästöihin vaikuttaa mm. paalutuksen tarve. Myös julkisivun materiaaleilla on merkitystä⁸. Painovoimaista ilmanvaihtoa energiatehokkaampi ratkaisu on lämmöntalteenotolla varustettu koneellinen ilmanvaihto. Lämmöntalteenotossa saadaan otettua hukkalämpöä talteen ja koneellisen ilmanvaihdon käyttämä puhallinenergia on suhteellisen pieni otettuun lämpö määrään nähden.

Remppa-hankkeessa¹¹ on kartoitettu energiatehokasta ja vähähiilistä rakennuskantaa vuoteen 2050. Siinä on arvioitu, että poistuman, kunnossapidon ja korjausrakentamisen keinoin rakennuskannan energiankulutusta vähennetään 50 prosenttia. Taulukosta 3 nähdään, että rakennusten energiatehokkuus on parantunut viime vuosikymmenenä ja taulukosta 2 vastavasti, että viimeisen vuosikymmenen aikana ei rakennettu yhtään rakennusta, joka olisi heikoimmassa energialuokassa. Suurin osa viime vuosikymmenellä rakennetuista rakennuksista on parhaimmissa energialuokissa (A-C).

Energiatehokkuutta voidaan myös parantaa useissa rakennuksissa huomattavasti. Huonoin energiatehokkuusluokka poistunee, jolloin energiatehokkuustoimenpiteitä pitäisi keskittää

⁸ ks esim. Ahola & Liljeström (2018) Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti vuokratalokohteessa

energialuokkiin D ja E. Suurin potentiaali energiatehokkuuden parantamiseen on asuinrakennuksissa (omakoti- ja paritaloissa, rivitaloissa ja kerrostaloissa). Palvelurakennuksista suurin osa (54%) on jo peruskorjatuissa energialuokissa. Palvelurakennukset jakaantuvat liike- ja liikenteen rakennuksiin (40%), toimistorakennuksiin (20%) , opetus- ja hoitoalan rakennuksiin (30%) ja kokoontumisrakennuksiin (10%). Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi velvoittaa uusissa rakennuksissa hiilijalanjäljen sääntelyn ja laajamittaisessa peruskorjauksessa hiilijalanjäljen arvioinnin⁹. Hiilijalanjäljen sisällyttäminen säädösohjaukseen Suomessa (ympäristöministeriön Vähähiilisen rakentamisen tiekartan¹⁰ mukaisesti) pohjautuu kuitenkin ennen kaikkea kansallisten päästötavoitteiden edistämiseen, vaikkakaan sektorikohtaisia päästötavoitteita (tai ns. hiilibudjetteja) ei ole asetettu tai näkyvissä rakennussektorille. Vähähiilisen rakennusteollisuuden toimialakohtaisen tiekartan seuraavassa versiossa energiatehokkuustoimenpiteitä arvioitaessa tulisi miettiä energiatehokkuustoimien vaikutuksia tarkemmin myös rakennustyypeittäin.

Taulukko 2. Rakennuskannan jakautuminen peruskorjattuihin rakennuksiin ja heikoimpaan osaan rakennuskannasta kerrosalaosuuksina.¹¹

	-1959	1960-69	1970-79	1980-89	1990-99	2000-09	2010-19	Yhteensä
Peruskorjatut energialuokat: A, B, C								
Omakoti- ja paritaloissa	11 %	14 %	21 %	22 %	19 %	44 %	98 %	26 %
Rivitaloissa	12 %	24 %	26 %	15 %	17 %	44 %	96 %	22 %
Kerrostalot	9 %	6 %	14 %	10 %	9 %	36 %	98 %	23 %
Palvelurakennukset	35 %	47 %	59 %	59 %	43 %	50 %	97 %	54 %
Peruskorjattavat energialuokat: D, E								
Omakoti- ja paritaloissa	77 %	67 %	70 %	77 %	81 %	56 %	2 %	68 %
Rivitaloissa	78 %	73 %	67 %	82 %	80 %	56 %	4 %	74 %
Kerrostalot	67 %	72 %	77 %	88 %	89 %	63 %	2 %	67 %

⁹ Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin artiklan 2a mukainen Korjausrakentamisen strategia 2050 (2020)

¹⁰ https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Vahahiilisen_rakentamisen_tiekartta

¹¹ Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin artiklan 2a mukainen Korjausrakentamisen strategia 2050 (2020)

Palvelurakennukset	44 %	42 %	29 %	29 %	38 %	38 %	3 %	72 %
Heikoin osa rakennuskannasta: F, G								
Omakoti- ja paritaloissa	12 %	19 %	9 %	1 %	0 %	0 %	0 %	6 %
Rivitaloissa	10 %	3 %	7 %	3 %	3 %	0 %	0 %	4 %
Kerrostalot	24 %	22 %	9 %	2 %	2 %	1 %	0 %	10 %
Palvelurakennukset	21 %	11 %	12 %	12 %	19 %	12 %	0 %	14 %

Taulukko 3. Keskimääräinen lämmitysenergian kulutus rakennuskannassa ikäluokittain.¹⁴

Keskimääräinen lämmitysenergian kulutus KWh/m²	-1959	1960-69	1970-79	1980-89	1990-99	2000-09	2010-19
Omakoti- ja paritaloissa	225	240	220	190	175	145	85
Rivitaloissa	195	195	175	165	165	130	100
Kerrostalot	190	185	175	165	175	130	85
Palvelurakennukset	190	165	195	175	170	105	95

Keskeisimpiä toimenpiteitä energiatehokkuuden parantamiseen ovat ilmanvaihdon lämmöntalteenoton tarpeenmukainen parantaminen, lisäerityksen lisääminen ylä- tai alapohjaan, valaistuksen vaihtaminen energiatehokkaisiin LED valaisimiin sekä vaihtaminen energiatehokkaisiin ikkunoihin ja oviin¹². Lisäksi lämmitysmuotojen vaihtaminen öljylämmityksestä maalämpöön tai lisäämällä aurinkopaneeleja vähentää rakennusten hiilijalanjälkeä. Rakennusten omasta energiantuotannosta on kerrottu lisää kappaleissa 2.3 ja 2.4.

Hirvonen et al. (2020) ovat selvittäneet energiatehokkuuden ja päästöjen vähentämistä kustannustehokkaasti tyyppitarkasteluissa erilaisille rakennuksille. Kaukolämmitetyissä kerrostaloissa päästöjä voidaan vähentää kustannusneutraalisti noin 30% ilman elinkaarikustannusten kasvamista. Poistoilma- ja maalämpöpumppuja hyödyntämällä päästöjä saadaan vähennettyä kustannusneutraalisti jopa 50-80%. Kaikissa ikäluokissa jäteveden lämmöntalteenotto oli kustannustehokas energiatehokkuusratkaisu, minkä lisäksi tarpeenmukainen

¹² Kangas et al. (2019): Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin muutosten kansallisen toimeenpanon vaikutusten selvitys ja arviointi. ”Tehokkuustasolla automaatio on usein toteutettu useilla järjestelmillä, jotka sisältävät kiinteistön hoitoon liittyvät keskeiset toiminnot, hallitsevat ohjauksen tarpeen mukaan ja kykenevät laajaan keskinäiseen integraatioon”

ilmanvaihto, ikkunoiden uusiminen ja yläpohjan eristäminen ovat kustannustehokkaita keinoja energiatehokkuuden lisäämiseen.¹³

Talotekniikalla on suuri vaikutus rakennusten energiatehokkuuteen, esimerkiksi älykäs ilmanvaihdon ja lämmityksen ohjausjärjestelmä säästää lämmitysenergiaa. Läsnaoloon tai olosuhdemittaukseen perustuvalla rakennusautomaatiojärjestelmällä voidaan käyttää 20 prosenttia pienempää ulkoilmavirran arvoa.¹⁴ Lisäksi ilmanvaihtojärjestelmissä ulosmenevällä ilmalla voidaan lämmittää sisäänottoilmaa, jolloin säästetään lämmitysenergiassa.

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin muutos asettaa velvollisuuksia asuntojen automaatiojärjestelmille. Ei-asuinrakennuksiin on asennettava tehokkuustason automaatiojärjestelmä¹⁵ tai parannettava olemassa oleva automaatio ja ohjausjärjestelmä tehokkuustasolla, jos lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän nimellisteho on yli 290 kW. Tällaisia rakennuksia on 8500 kpl. Automaatiovaatimuksen ansiosta energiaa säästettäisiin vuosittain vuoteen 2030 mennessä 195-270 GWh.¹⁶

Jos tehokkuustason automaatiovelvoite ulotetaan koskemaan myös uusia ja lämmitysjärjestelmän osalta peruskorjattavia suuria asuinrakennuksia, ohjaus vähentäisi yhteensä 37 GWh energiankulusta vuonna 2021, kun velvoite kattaa 22 000 kerrostaloa, joiden keskimääräinen kerrosala on 2800 m² ja jotka kuuluvat lähes kaikki kaukolämpöverkkoon. Suurissa asuinrakennuksissa saadaan 10 % energian säästö automaatiojärjestelmien myötä, kun pidetään sisätilojen lämpötilat tasaisina, hyödynnetään ilmaisenergiat tehokkaan ja ennakoitavan lämmöntarve säännusteiden perusteella.¹⁶ Nordic Energy Research (2019)¹⁷ on arvioinut energiatehokkuuden parantamisen kokonaispotentiaalia Pohjoismaissa. Tutkimuksen mukaan rakennusten energiaintensiteetti (sisältäen lämmityksen, jäähdytyksen, valaistuksen, laitekäytön ja muun kulutuksen) tippuu vuoden 2016 tasosta (213 kWh/m²) lähes puolella vuoteen 2050 mennessä (126 kWh/m²). Kunnianhimoisemmassa skenaariossa vuoden 2050 energiaintensiteetti olisi 89 kWh/m². Nykyisellä rakennuskannalla (488 miljoonaa neliometriä) vuotuinen energiankulutus laskisi peruskehityksellä jopa 42 TWh ja kunnianhimoisemmassa skenaariossa 60 TWh. Toki on syytä huomioda, että esitetyt intensiteetit on laskettu keskimääräiselle Pohjoismaiselle rakennuskannalle.

2.3 Rakennusten oma lämmöntuotanto ja vaikutukset

Kaukolämmön käyttö muodostaa nykyisin selkeästi suurimman yksittäisen osan rakennusten hiilijalanjäljestä (noin 6,8 MtCO₂ (42 %) vuonna 2017). Kuitenkin, kuten luvussa 2.1 todettiin,

¹³ Hirvonen et al. (2020) Kerrostalojen energiakorjausten päästövähennyspotentiaali

¹⁴ Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 1010/2017. Finlex.

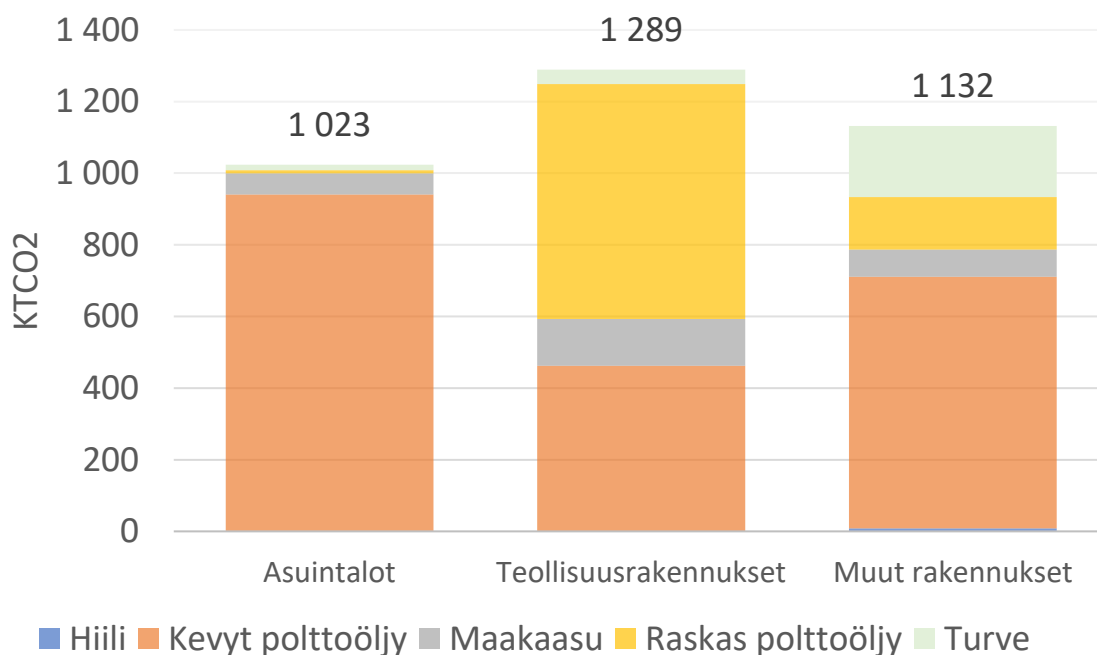
¹⁵ Kangas et al. (2019): ” Tehokkuustasolla automaatio on usein toteutettu useilla järjestelmillä, jotka sisältävät kiinteistön hoitoon liittyvät keskeiset toiminnot, hallitsevat ohjauksen tarpeen mukaan ja kykenevät laajaan keskinäiseen integraatioon”

¹⁶ Kangas et al. (2019) Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin muutosten kansallisen toimeenpanon vaikutusten selvitys ja arviointi.

¹⁷ Nordic Energy Research (2019) Tracking Nordic Clean Energy Progress

sen osuus tulee pienenemään merkittävästi rakennusteollisuuden toimista riippumatta, koska kaukolämmöntuotannon arvioidaan muuttuvan vähäpäästöisemmäksi (vuonna 2035 päästö olisi nykykulutuksella 1,7 MtCO₂). Tässä luvussa keskitytään vähähiilisyiden mahdollisuuksien tarkasteluun rakennusten erillislämmityksessä.

Rakennusten erillislämmityksen yhteenlaskettu päästö vuonna 2017 oli noin 3,4 MtCO₂, josta suurin osa (61%) aiheutui kevyen polttoöljyn käytöstä. Lähinnä teollisuusrakennuksissa käytettävien raskaan polttoöljyn ja maakaasun osuudet olivat noin 25 % ja 8 % erillislämmityksen kokonaispäästöistä (Kuva 4). Mikäli oletettaisiin, havainnollistamisen vuoksi, että rakennusten erillislämmityksen päästöt pysyisivät tulevaisuudessa vuoden 2017 tasolla, olisi erillislämmityksen osuus rakennetun ympäristön hiilijalanjäljestä 37% vuonna 2035 (ks. Kuva 2)¹⁸.



Kuva 4 Rakennusten erillislämmityksen päästöt rakennustyypeittäin ja energialähteittäin¹⁹

Merkittävin vaihtoehto fossiilisen erillislämmityksen sekä kaukolämmön korvaamiseksi ovat erilaiset lämpöpumppuratkaisut sekä suuremmissa kohteissa biomassan tai -kaasun hyödyntäminen. Fossiilista öljyä voidaan korvata myös uusiutuvista energialähteistä tuotetulla öljyllä. Suomen tilastollisen vuosikirjan 2017 mukaan Suomessa on noin 280 000 öljylämmitteistä asuinrakennusta (todellinen luku on kuitenkin pienempi, arviolta 200 000²⁰) ja noin 40 000 öljylämmitteistä muuta rakennusta²¹. Kevyen polttoöljyn kulutus asumis- ja

¹⁸ Tosin on huomioitava, että oletus ei ole kovinkaan realistinen sillä erillislämmitystä korvataan jo nykyisin erityisesti maalämmöllä.

¹⁹ Tilastokeskus (2019): Energia 2018-taulukkopalvelu

²⁰ Rouhiainen (2018) Uusiutuva energia valtaa alaa pientalojen lämmityksessä. <http://www.stat.fi/tietotrendit/artikkelit/2018/uusiutuva-energia-valtaa-alaa-pientalojen-lammityksessa/>

²¹ Tilastokeskus (2018) Suomen tilastollinen vuosikirja 2017: https://www.stat.fi/tup/julkaisut/tiedotot/julkaisuluettelo/yyti_stv_201700_2017_17863_net.pdf (taulukko 1.2)

palvelusrakennuksissa oli noin 6,2 TWh vuonna 2017²². Suomen nykyiseen hallitusohjelmaan on kirjattu tavoite, jonka mukaan ” Fossiilisen öljyn käytöstä lämmityksessä luovutaan asteittain 2030-luvun alkuun mennessä”²³. Mikäli öljylämmitysratkaisu korvattaisiin koko rakennuskannassa vuoteen 2030 mennessä, tarkoittaisi tämä noin 20 000 konversiota vuodessa (aikavälillä 2018 – 2030).

Olettaen, että pientalon lämmitysenergiantarve (lämmitys ja lämmin käyttövesi) on noin 25 MWh/a olisi investoinnin suuruus kotitaloudelle 17 000€²⁴. Koska lämpöpumpun operatiiviset kustannukset (44 €/MWh) ovat alle puolet öljykattilan operatiivisista kustannuksista²⁵ säästäisi investointi vuosittain noin 1 900 € lämmityskustannuksissa ja maksaisi itsensä takaisin noin 9 vuodessa (ilman pääomakustannusta). Luonnollisesti verrannollinen takaisinmaksuaika lyhenee, mikäli öljykattila tulisi joka tapauksessa ikänsä puolesta vaihtaa uuteen.

Oleellista on huomata, että öljylämmityksestä luopuminen on taloudellisesti kannattavaa kohteissa, joissa maalämpö on mahdollista ottaa käyttöön. Toisaalta on huomioitava, että mikäli koko rakennus on kovin vanha tai huonossa kunnossa siihen ei aina haluta lisäinvestoida, vaikka investointi olisikin periaatteessa kannattava.

Myös kohteissa, joissa maalämpöä ei voida hyödyntää, ilma-ilma- ja ilma-vesilämpöpumpuilla (mukaan lukien poistoilmalämpöpumput) voitaisiin kattaa merkittävä osa vuotuisesta lämmöntarpeesta taloudellisesti kannattavasti öljylämmitykseen verrattuna²⁶. Suuremmissa kohteissa öljylämmityksen vaihtoehtona on maalämmön ohella biomassan tai -kaasun käyttö, mikä sekin on operatiivisilta kustannuksiltaan usein öljylämmitystä edullisempaa riippuen raaka-aineen hinnasta²⁷.

Lisäksi on tärkeää muistaa, että erilaiset lämpöpumppuratkaisut eivät toimi yksinomaan erillislämmityksen korvaajina, vaan niitä voidaan hyödyntää merkittävästi myös kauko- ja sähkölämmityksen asemasta rakennuksen pää- tai tukilämmitysmuotona.

Yllä mainittujen ratkaisujen kannattavuutta edistää myös Asumisen rahoitus- ja kehittämissivuston vastikään lanseeraama energia-avustus, jossa asuinrakennusten

²² Tilastokeskuksen Energia 2018 – taulukkopalvelu (2019): https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2018/html/suomooo6.htm --> taulukko 7.1

²³ 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

²⁴ Sulpu: Yleistä lämpöpumpuista <https://www.sulpu.fi/documents/184029/209175/Yleista-lamp%20pumpuista-SULPU.pdf>

²⁵ Sähkön kokonaisloppukäyttäjähinta oli vuonna 2018 keskimäärin 132,5 €/MWh L1 ja L2 tyyppisille kuluttajille ja lämpöpumpun hyötysuhde 3. Vastaavasti öljyn hinta on noin 100 €/MWh. Oletetaan öljylämmitykselle hyötysuhde 80%. Muut operatiiviset kustannukset oletetaan pieniksi. Sähkön loppukäyttäjähinta: <https://www.stat.fi/til/ehi/> Öljyn loppukäyttäjähinta vuonna 2018: 99,2€/MWh (<https://www.stat.fi/til/ehi/>)

²⁶ Sulpu: Yleistä lämpöpumpuista <https://www.sulpu.fi/documents/184029/209175/Yleista-lamp%20pumpuista-SULPU.pdf>

²⁷ Esim. Pentti Karppanen (2012): Iisalmen kaupungin haja-asutuskoulujen energiaratkaisu <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/42716/Karppanen%20Pentti..pdf?sequence=1>

energiatehokkuutta parantaviin korjaushankkeisiin on mahdollista hakea tukea vuosina 2020-2022²⁸. Tukea on mahdollista saada 4 000 – 6 000 € toimiin, jotka parantavat asuin-kerros tai -rivitalon energiatehokkuutta vähintään 20% ja pien- tai ketjutalon energiatehokkuutta vähintään 30%²⁹. Hyödyn realisoidumiseksi kansalaisten tietoisuutta energia-avustuksista ja sen saamiseen liittyvistä pelinsäännöistä on myös lisättävä, mikä vauhdittaisi fossiilisen lämmityksen vaihtoa parempiin vaihtoehtoihin.

Viime kädessä energiamuodon valinnan määrittää hinta. Päästöttömän (lämmitys)energian tukipolitiikan tulee olla pitkäjänteistä ja läpinäkyvää. Tukipolitiikka ei myöskään voi nojautua yksinomaan yhteen energiaratkaisuun, koska käyttökohteet ovat erilaisia ja koska teknologinen kehitys tarjoaa tulevaisuudessa uusia ratkaisuja

2.4 Rakennusten oma sähköntuotanto ja vaikutukset

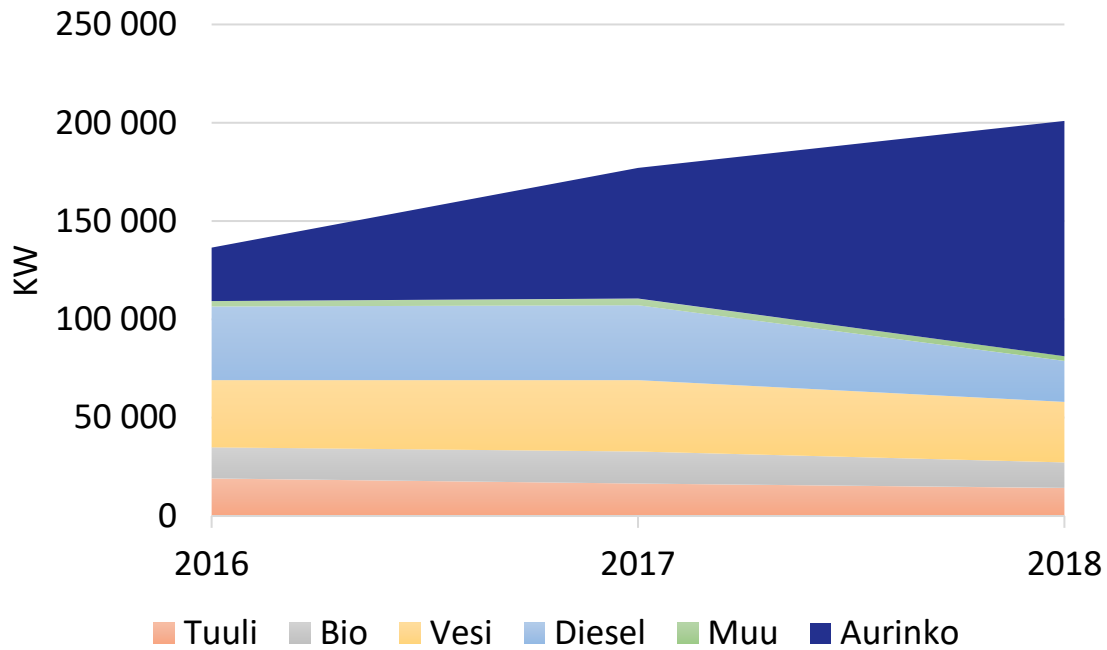
Sähköverkkoon liitetyn pientuotantokapasiteetin määrä on kasvanut liki 50% vuodesta 2016 vuoteen 2018 (Kuva 5). Samalla aikavälillä aurinkoenergian pientuotantokapasiteetti on yli nelinkertaistunut ja sen osuus kokonaiskapasiteetista on kasvanut vuoden 2016 20 %:sta vuoden 2018 60%:iin. Viimeisen 3 vuoden aikana sähköverkkoon liittyneen pientuulivoiman, pienvesivoiman, tai pienbiovoimakapasiteetin määrä on sitä vastoin jopa laskenut. Pääsyyinä kehitykselle on aurinkosähkön ylivoimainen kustannuskilpailukyky sähkön pientuotannossa³⁰.

²⁸ Ara 2020: Energia avustukset https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ja_avustukset/Energiaavustus

²⁹ Finlex 2019: Valtioneuvoston asetus asuinrakennusten energia-avustuksista vuosina 2020–2022 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20191341>

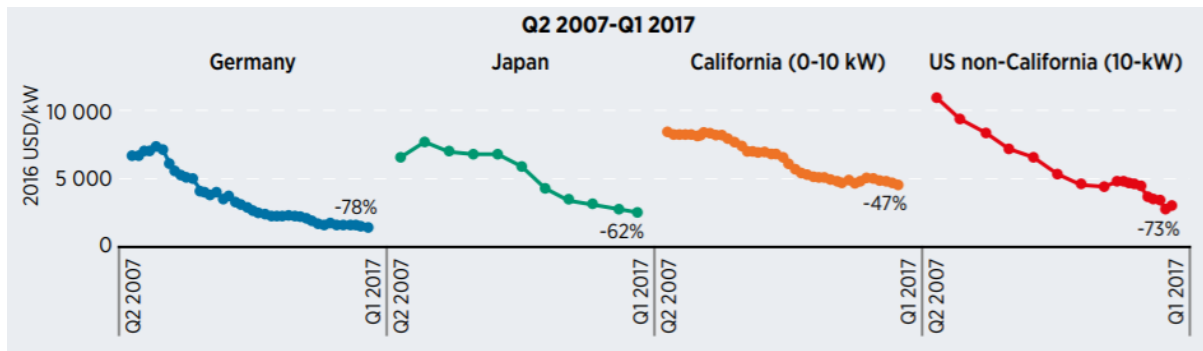
³⁰ Vaikka maatuulivoima on tällä hetkellä edullisin sähkön tuotantomuoto teollisessa mittakaavassa (mm. Vakkilainen ja Kivistö 2017), mm. Pöyry (2017) arvioi pientuulivoiman investointikustannukseksi noin 4-7 €/Wp, ja sen olevan kannattavaa vain erityistapauksissa (esim. sähköverkon ulkopuoliset alueet rannikolla).

- Vakkilainen ja Kivistö (2017): Sähkön tuotantokustannusvertailu
- Pöyry (2017): Hajautetun uusiutuvan energiantuotannon potentiaali, kannattavuus ja tulevaisuuden näkymät Suomessa



Kuva 5 Verkkoon liitetty pientuotanto (nimellisteho alle 1 MW) energialähteittäin 2016-2018³¹

Aurinkosähkön pientuotannon kasvua on vauhdittanut erityisesti aurinkopaneelien kustannuskehitys. Esimerkiksi uusiutuvan energian kansainvälinen kattojärjestö IRENA arvioi paneelien hinnan pudonneen 90% vuosien 2009-2018 aikana (nykyisin noin 0,3 USD/W)³². Vaikka aurinkosähköjärjestelmän hinta koostuu muistakin elementeistä kuin paneeleista (esimerkiksi asennustyö) ovat myös kokonaiskustannukset pudonneet nopeasti, esimerkiksi Saksassa 78 % aikavälillä 2007-2017 kotiaurinkosähköjärjestelmissä (Kuva 6).



Kuva 6 Kotiaurinkosähköjärjestelmien keskimääräinen investointikustannus aikavälillä 2007-2017³³

³¹ Energiavirasto (2020): Verkkotoiminnan julkaisut vuosilta 2016-2018

³² IRENA (2019): Renewable Power Generation Costs 2018: <https://www.irena.org/publications/2019/May/Renewable-power-generation-costs-in-2018>

³³ <https://www.irena.org/publications/2018/Jan/Renewable-power-generation-costs-in-2017>

Suomessa aurinkosähkön investointikustannus on nykyisin kotijärjestelmissä arviolta 1-1,5 €/Wp³⁴ riippuen asennettavan järjestelmän koosta, sijainnista ja toimittajasta³⁵. Mikäli ajatellaan, että 1 Wp tuottaa keskimäärin 850 Wh³⁶, jolla korvataan ostosähköä hinnaltaan keskimäärin 159 €/MWh³⁷, maksaisi asennettu Wp itsensä takaisin 7-11 vuodessa (järjestelmän hinnasta riippuen).

Toki on huomioitavaa, että omalla aurinkosähkötuotannolla ei voi vaikuttaa koko sähköläskuun sillä se sisältää myös eria, jotka eivät riipu kulutettavan sähkön määrästä. Lisäksi läskennassa oletetaan, että koko aurinkopaneelien tuottama energiamäärä saadaan omaan käyttöön, mikä ei välttämättä toteudu ellei paneelitehoa mitoiteta korkeintaan pohjakuormalle. Tulevaisuudessa omakäytön osuutta voidaan kasvattaa myös suuremmilla tehomitoituksilla yhdistämällä akkuratkaisut osaksi pienaurinkosähköjärjestelmiä.

Teknologisen kehityksen ohella myös lainsäädännöllä ja regulaatiolla voidaan merkittävästi edistää aurinkosähkön tuotannon kannattavuutta rakennuksissa esimerkiksi purkamalla rajoitteita kiinteistökohtaisesti (mm. kaupunkikuva, kattorakenteiden takuuasiat) sekä energia-yhteisöjen tieltä. Energiayhteisöjen³⁸ salliminen mahdollistaisi paikallisesti tuotetun sähkön jakamisen esimerkiksi kerrostalon asukkaiden kesken sekä kiinteistörajat ylittäen tietyllä asuinalueella. Näin aurinkosähkönjärjestelmän kannattavuus paranisi entisestään, koska suurempi osa tuotetusta sähköstä päätyisi yhteisön käyttöön myös suuremmilla tehomitoituksilla. Energiayhteisöjä tukevilla teknologisilla ja lainsäädännöllisillä ratkaisuilla on tärkeä rooli sähköjärjestelmän murroksessa keskitetystä hajautetuksi.

Aurinkosähkön pientuotanto on energiatehokkuuden parantamisen ohella osatekijä rakennusten sähköntarpeen vähentämisessä. Lappeenrannan teknillinen yliopisto ja Gaia Consulting Oy arvioivat Suomen valtion selvitys- ja tutkimustoiminnan raportissa, että ”jos Suomen 61 745 kerrostaloon asennettaisiin 14 kW aurinkovoimalaitos ja vastaavasti 81 981 rivitaloon 2,8 kW voimala, muodostuisi tästä yhteensä tuotantokapasiteetiksi 1 094 MW, minkä voidaan katsoa olevan tällaisen kerros- ja rivitaloihin sijoittuvan energiayhteisön teknis-taloudellinen potentiaali Suomessa”³⁹.

³⁴ Wp=huipputehohwatti

³⁵ Perustuen aurinkosähköjärjestelmien avoimen kilpailutuspalvelun tietoihin (<https://www.virtane.fi/aurinkopaneelit/kilpailuta/>) sekä Finnsolarin vuoden 2016 arvioon 1-2€/Wp (<https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>)

³⁶ Finnsolar LCOE kannattavuuslaskurin käyttämä oletus huippukäyttäjälle <https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>

³⁷ Tilastokeskus Energian hinnat-tilaukkipalvelu. K1, K2, L1 ja L2 tyyppikuluttajien keskihinta sähkölle vuonna 2018 <https://www.stat.fi/til/ehi/tau.html>

³⁸ Energiayhteisöllä tarkoitetaan yhden tai useamman pienkuluttajan, yhdistyksen, yrityksen, tms. muodostamaa juridista tahoa, joka jakaa yhteisön tai sen jäsenten hallinnoimien koti-maisten energiaressurssien tuottamia hyötyjä omien periaatteidensa mukaan ja joka vastaa yhteisön toimintaan liittyvistä velvoitteista. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-243-9>

³⁹ Lappeenrannan teknillinen yliopisto ja Gaia Consulting (2019): Selvitys sähkön omatuotantoon, energiayhteisöihin ja energiahankkeiden lupamenettelyihin liittyvistä kysymyksistä

Näin asennettavan kapasiteetin vuosituotanto olisi noin 1 TWh eli noin 4,4% asumisen sähkökulutuksesta vuonna 2017⁴⁰ (vastaten noin 100 ktCO₂ päästöjä nykyisellä sähköntuotannon päästökertoimella 100gCO₂/kWh). Vastaavanlaisia ratkaisuja on mahdollista toteuttaa myös liike-, palvelu- ja teollisuuskiinteistöissä, mikä kasvattaa pienaurinkosähkön vaikutusmahdollisuuksia entisestään.

Toisaalta laskettuun päästösäästöön on syytä suhteuttaa varauksella, sillä aurinkosähkö vähentää muun sähköntuotannon tarvetta erityisesti keväällä ja kesällä, jolloin sähköntuotannon päästökerroin on keskimääräistä alhaisempi. Esimerkiksi Energiateollisuuden kuukausittaisen tilaston perusteella fossiilisten energialähteiden osuus sähkön kokonaistuotannosta oli kesäkuukausina noin 10%, keväällä ja syksyllä noin 20% ja talvella yli 25%⁴¹. Ero päästökerroimessa tuotettua kilowattituntia kohden voi olla 2-4 kertainen kesä ja talvikuukausien välillä, joten todellisuudessa 1 TWh aurinkosähkötuotannon päästövaikutus on merkittävästi pienempi kuin 100ktCO₂, tuotantoprofilista riippuen.

Lisäksi on huomioitava, että tarkastelun kohteena ovat vain energiantuotannon suorat päästöt, jolloin aurinkosähkön tuotanto katsotaan päästöttömäksi. Aurinkopaneelien tuotanto on kuitenkin materiaali- ja energiaintensiivistä ja johtaa siten merkittäviin kasvihuonekaasupäästöihin paneelien tuotantomaassa, useimmiten Kiinassa. Arviot aurinkopaneelien elinkaari-päästöistä vaihtelevat tutkimuslähteestä riippuen, mutta joka tapauksessa niillä on merkittävä vaikutus aurinkosähkön kokonaispäästöihin.

2.5 Taloteknisten laitteiden mahdollisuudet vähentää energijärjestelmän päästöjä

Tulevaisuudessa helposti säädettävän fossiilisen tuotannon osuus energian tuotannossa tulee laskemaan, joten energian kulutuksen on kyettävä entistä paremmin joustamaan saatavilla olevan (uusiutuvan) tuotannon mukaan.

Taloteknisten laitteiden osuus betonirakenteisen kerrostalon materiaali-päästöistä on noin 3% luokkaa⁴². Perinteisesti kiinteistöjen älyratkaisuille⁴³ on ollut markkinoita ainoastaan suurissa kiinteistöissä, koska alkuinvestoinnit ovat olleet melko suuria. Ratkaisujen pääpaino on ollut pitkälti energiatehokkuudessa sekä sähkön kulutusjoustossa. Pienemmissä kiinteistöissä vaikuttaneet rakennusautomaatiojärjestelmät kattavat usein kaikki talotekniikan järjestelmät

⁴⁰ Tilastokeskus (2019): Energia 2018-taulukkopalvelu → taulukko 3.2

⁴¹ Energiateollisuus (2020): sähköntuotannon kk polttoaineet: https://energia.fi/files/1414/a_Sahkontuotannon_kk_polttoaineet_Helmikuu.pdf

⁴² VTT 2018: Rakennusten khk-päästöjen ohjauksen vaikutusten arviointi

⁴³ Kiinteistöjen älyratkaisuille tarkoitetaan tässä yhteydessä kiinteistöjen energian käyttöön liittyviä tietoteknisiä, ohjelmoitua älykkyyttä sisältäviä ratkaisuja, joilla pyritään esimerkiksi pienentämään kiinteistöjen energian kulutusta, energian käytöstä aiheutuvia kustannuksia, energia- tai energian siirtoyhtiön kuormahuippuja, tai edistämään jotakin muuta kiinteistön tai energiayhtiön (siirtoyhtiön) tai molempien kannalta hyödyllistä, energiaan liittyvää asiaa.

(lämmitys, jäähdytys, ilmanvaihto, valaistus, paloturvallisuus, valvonta, jne.). Niiden näkökulma on kiinteistön mahdollisimman tehokas ja edullinen ylläpito.

Perinteisten ratkaisujen lisäksi markkinoille on tullut uusia ratkaisuja, jotka keskittyvät suurten datamäärien ja pilviteknologian hallitsemiseen ja sitä kautta koko energiajärjestelmän tehostamiseen. Teknologioiden kehittyminen, uuden sukupolven älymittarit ja langattomat ratkaisut mahdollistavat älyratkaisujen (esim. älykkäät termostaatit, ohjelmoitavat releet) käyttöönoton myös pienikiinteistöissä. Älykkäitä termostaatteja käytetään esimerkiksi talviaikaisen lämmityspiikkien tasaamiseen ja lämmityksen jatkuvaan optimointiin. Yksinkertaistettuna tämä tarkoittaa automaatiojärjestelmää, joka ohjaa laitteiden kulutusta hintasignaalien perusteella.

Vastaavaa älykkyyttä on mahdollisuus laajentaa esineiden internet (IoT) teknologian kehittymisen myötä myös muihin laitteisiin (sähköautot, pesukoneet, kuivausrummut, lämpöpumput). Erilaiset palveluntarjoajat pystyvät jo nykyisin yhdistämään yksittäisten laitteiden säätökapasiteetin yhdeksi kokonaisuutena hallittavaksi virtuaaliseksi laitteeksi (Virtual Power Plant (VPP)), joka kykenee tarjoamaan merkittävää kulutusjoustokapasiteettia sähkömarkkinoille. Lisäksi, mikäli lohkoketjuteknologia kehittyy kuluttajatuotteisiin asti, yksittäiset laitteet voivat periaatteessa käydä reaaliajassa kauppaa sähkömarkkinoilla ilman keskitettyä ohjausta⁴⁴ ja siten tasapainottaa sähkön kysyntää automaattisesti.

Tässä luvussa lyhyesti kuvatut mahdollisuudet kohdistuvat kiinteistöjen käyttäjien ostoenergiankulutuksen vähentämiseen ja ajoittamiseen. Tätä kautta ne vähentävät rakennetun ympäristön hiilijalanjälkeä ja lisäksi niillä on energiajärjestelmän transformaatiota edistämällä merkittävä vaikutus yhteiskunnan kokonaispäästöihin. Tärkeyttä korostaa myös eri energiasektorien (sähkö, lämpö, kaasu, liikenne) kytkeytyminen toisiinsa entistä vahvemmin, jolloin päästöttömän sähköntuotannon osuuden kasvattaminen on ratkaisevaa koko energiasektorin päästöttömyydelle.

⁴⁴ HBR (2017): How Utilities are using blockchain to modernize the grid. Harvard Business Review <https://hbr.org/2017/03/how-utilities-are-using-blockchain-to-modernize-the-grid>

3 Rakennusteollisuuden 10+1 keskeisintä päästölähdettä ja niihin liittyvät päästövähennystoimet

3.1 Sementti

Sementti

Käytön nykytila: kysyntä ja tarjonta

Sementtiä käytetään pääasiassa betonin sideaineena, mutta myös laasteissa ja tasoitteissa sekä maaperän stabiloinnissa. Kaikki sementti käytetään rakentamiseen. Finnsementti Oy on Suomen ainoa sementin tuottaja, jonka liikevaihto oli 139 miljoonaa euroa vuonna 2018. Sementin kysyntä oli Suomessa vuonna 2018 noin 1,95 miljoonaa tonnia, josta 1,46 miljoonaa tonnia on Finnsementin Suomessa tuottamaa sementtiä ja tuontia oli 0,49 miljoonaa tonnia. Suomessa tuotetussa sementissä käytettiin vuonna 2018 n. 1,19 miljoonaa tonnia klinkkeriä (n. 81 % tuotetun sementin määrästä). Suomessa tuotetun sementin raaka-aineiden kotimaisuusaste on yli 90%.⁴⁵

Tuotantoprosessin kuvaus ja CO₂-päästöjen syntymekanismit

Sementin valmistuksen pääraaka-aine on kotimainen kalkkikivi, joka louhitaan, murskataan ja lajitellaan ennen raakajauhatusta. Kalkkikivestä saatavan kalsiumkarbonaatin (CaCO₃) lisäksi sementin valmistuksessa tarvitaan piioksidia (SiO₂), rautaoksidia (Fe₂O₃) ja alumiinioksidia (Al₂O₃), joita saadaan kalkkikivilouhoksen sivukivistä ja muun teollisuuden sivutuotteista. Yhden klinkkeritonnin valmistukseen tarvitaan noin 1,5 tonnia kalkkikiveä. Sementtiklinkkeri valmistetaan noin 100 metrin mittaisessa kiertouunissa, jossa materiaalin lämpötila nousee +1450°C:een.

Sementin valmistuksen päävaiheet ovat:

- Kalkkikiven louhinta, murskaus ja raakajauhatus
- Portlandklinkkerin poltto
- Sementin jauhatus.⁴⁶

Sementin valmistus kuuluu EU:n päästökauppaan, ja se tuottaa Suomessa päästöjä yhteensä 0,8899 MtCO_{2e} (päästökaupan alaiset Finnsementin päästöt vuonna 2018). Sementintuotannon päästöt ovat n. 1,6 % Suomen kokonaispäästöistä (56,4 MtCO_{2e} vuonna 2018)⁴⁷. Maailmanlaajuisesti sementin valmistus tuottaa eri arvioiden mukaan n. 5-8 % kokonaispäästöistä⁴⁸, joten Suomessa sementtiteollisuuden osuus maan kokonaispäästöistä on huomattavasti keskimääräistä pienempi.

⁴⁵ https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/2018/09/Finnsementti_ymparistoraportti_2018.pdf

⁴⁶ <https://finnsementti.fi/palvelut/tietoa-sementista/valmistus/>

⁴⁷ Tilastokeskus (2019). Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2018.

⁴⁸ Cembureau (2018). The role of cement in the 2050 low carbon economy

Suomessa käytetyn sementin valmistuksen CO₂-päästö tonnia kohti on keskimäärin suuruusluokaltaan noin 730 kg CO₂e. Tästä keskimäärin 60% eli n. 450 kg CO₂e/tonni tulee kalkkikiven kemiallisesta reaktiosta ja loput prosessissa tarvittavan energian käytöstä.

Tuotannon päästövähennysmahdollisuudet sekä arvio vaikutuksista ja toteutettavuudesta (sis. energiatehokkuus ja vaihtoehtoiset polttoaineet)

Polttoaineiden vaihto uusiutuviin/jätämateriaaleihin: Sementin tuottamisen polttoaineet on Suomessa jo osittain vaihdettu uusiutuviin ja jätämateriaaleihin (n. 40 % polttoaineista), kuten kierrätysöljyyn, SRF-polttoaineeseen (Solid Recovery Fuel, kaupan ja teollisuuden erilliskerätty pakkausmateriaalijäte) ja autonrenkasiin. Teoriassa mikä tahansa biopohjainen jätämateriaali soveltuu polttoaineeksi, sillä uunissa on niin korkea lämpötila (kaasu 2000°C, materiaalit 1450°C), että palaminen on hyvin puhdasta. Esimerkiksi autonrenkaiden teräsosat voidaan laittaa uuniin mukaan. Jätämateriaalin energiakäytöstä voi syntyä myös CO₂-päästöjä, mutta vähemmän kuin neitseellisistä fossiilisista energiamuodoista⁴⁹. Palamaton osuus materiaaleista muodostaa osan klinkkeristä, eli siitä ei tule jätettä. Polttoaineiksi hyväksytyjen jätämateriaalien lista on sementtitehtaiden ympäristöluvassa. Noin 60 % nykyään käytössä olevista polttoaineista on ns. neitseellisiä fossiilisia polttoaineita, esimerkiksi öljykoksia, kivihiiltä ja asfalteenia (joka on hiiltä vähäpäästöisempi öljyntuotannon sivutuote). Teoriassa kaikki polttoaine voitaisiin vaihtaa uusiutuvaksi tai jätepolttoaineeksi, jolloin sementin päästö vähenisi n. 280 kg CO₂ / sementtitonni eli n. 40 %. Väliaikaisena toimenpiteenä voidaan myös korvata kivihiiltä asfalteenilla, jonka päästökerroin on n. 11 % alhaisempi.⁵⁰

Raaka-aineiden vaihto: Klinkkerin osuus sementissä on Finnsementin tuotannossa n. 81 %⁵¹ (EU27:n keskiarvo on n. 73,7 %⁵²). Vaihtoehtoisia sementin raaka-aineita, kuten kuonaa, lentotuhkaa ja muita CO₂-päästöttömiä teollisten prosessien sivutuotteita käytetään Suomessa jo melko paljon (Suomessa 15 %, EU:ssa keskimäärin 13 %), mutta näiden käyttöä voidaan vielä lisätä. Teräksenvalmistuksessa syntyvä masuunikuona on kuitenkin jo melko hyvin hyödynnetty, esimerkiksi Euroopassa n. 80 % kaikesta masuunikuonasta on jo käytössä⁵³ ja Suomessa lähes kokonaan. Käyttötarkoituksia masuunikuonalle on sementin/betonin tuottamisen lisäksi maan- ja tienrakennuksessa sekä lannoituksessa.

Koska sementin valmistus on kansallisesti merkittävä päästölähde, Suomessa voitaisiin päästöjen vähentämisen näkökulmasta siirtää masuunikuonan käyttöä sen muista käyttötarkoituksista sementin/betonin valmistukseen. Masuunikuonan saatavuuden arvioidaan kuitenkin vähentyvän merkittävästi SSAB:n uuden vetypohjaisen teknologian käyttöönoton myötä 2026 alkaen, koska uusi teknologia edellyttää masuunien sulkemista.⁵⁴

⁴⁹ https://energia.fi/files/405/ET_Jatteiden_energiakaytto_Loppuraportti_161015.pdf

⁵⁰ http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html

⁵¹ Finnsementti ympäristöraportti 2019

⁵² Cembureau (2018). The role of cement in the 2050 low carbon economy; <https://gccassociation.org/key-facts/>

⁵³ ETH Zurich et al (2019). A sustainable future for the European Cement and Concrete Industry - Technology assessment for full decarbonisation of the industry by 2050

⁵⁴ Tiedonanto SSAB

Lentotuhkaa ei enää synny kivihiilikiellon (Suomessa 2029) jälkeen, mutta siihen saakka sitä voidaan hyödyntää. Muita vaihtoehtoisia materiaaleja ovat esimerkiksi luonnolliset pozzolaanit, kuten savet, liuskelevy ja tietyn tyyppiset sedimenttikivet.⁵⁵ Kalsinoitujen savien päästövähennyspotentialia CEM1-tyyppiseen sementtiin verrattuna on noin 30 %.⁵⁶ Mikäli vaihtoehtoisten materiaalien osuus sementissä nostettaisiin esimerkiksi 25 %:iin nykyisestä 15 %:sta⁵⁷, tällä voitaisiin vähentää sementin tuottamisen päästöjä n. 17 % nykytasosta.⁵⁸

Vähähiilisempi klinkkeri: Klinkkerin tuottamiseen on kehitetty vaihtoehtoisia reseptejä, jotka voivat vähentää päästöjä noin 20-30% tavanomaiseen sementtiin verrattuna. Esimerkkejä näistä ovat sulfoaluminaattiklinkkeri (SAC), ferroaluminaattiklinkkeri (FAC), Belite-Ye'imimite-ferritiiklinkkeri, kalsiumaluminaattiklinkkeri ja amorfinen klinkkeri (X-klinkkeri). Mineralisaattorien käyttö voi myös vähentää hiilidioksidipäästöjä. Vaihtoehtoisia klinkkerityyppejä ei kuitenkaan voi käyttää kaikkiin sementin käyttötarkoituksiin ja toistaiseksi näitä ei voi käyttää rakennussementeissä.⁵⁹

Tuotannon sähköistäminen: Sementin tuotannon sähköistäminen on yksi tulevaisuuden vaihtoehto, mutta vielä teknisesti hyvin alkuvaiheen idea (TRL 4⁶⁰). Sähköistäminen on mahdollista vasta 2030-luvulla, jopa vasta 2040. Mikäli teknologia kehittyy arvioitua nopeammin ja sähköistämistä on mahdollista pilotoida Suomessa jo ennen 2035, sillä voisi olla sementin tuotannon kokonaispäästöihin n. 40 % päästövähennysvaikutus.⁶¹ Finnsementin uunit käyttivät vuonna 2018 polttoainemuodossa 4,2 miljoonaa GJ energiaa. Mikäli Suomessa siirryttäisiin sementin valmistuksessa sähköllä kalsinoimiseen, käytetty kokonaisenergiamäärä oletettavasti pienisi arviolta 10% (n. 3,8 miljoonaan GJ:en), koska polttoaineista ei muodostu savukaasuja ja lämmitettävä massa näin ollen pieneneisi.⁶²

Nykyiset esteet päästövähennystoimien toteuttamiselle

Sementiteollisuus on jo toteuttanut merkittäviä päästövähennystoimia viimeisen 20-30 vuoden aikana, mm. parantanut energiatehokkuutta ja ottanut raaka-aineeksi teollisuuden sivuvirtoja ja polttoaineeksi jättemateriaaleja ja biopolttoaineita. Lisäpäästövähennystoimien pääasialliset esteet ovat uuden teknologian alhainen kehitysaste (esimerkiksi sähköistämisessä, kalsinoitujen savien käyttöönotossa ja hiilen talteenottoon liittyvissä teknologioissa), uusien teknologioiden korkeat kustannukset, kestävästi tuotettujen biopolttoaineiden saatavuus sekä asiakkaiden vähäinen valmius maksaa vähäpäästöisemmästä sementistä huomattavasti korkeampaa hintaa.⁶³

Materiaalin kysynnän hallinta

⁵⁵ Cembureau (2018). The role of cement in the 2050 low carbon economy

⁵⁶ Scrivener, K. et al (2018) Calcined clay limestone cements (LC3)

⁵⁷ Finnsementti tiedonanto

⁵⁸ CEMBUREAU / Finnsementti haastattelu 17.1.2020

⁵⁹ CEMBUREAU / Finnsementti haastattelu 17.1.2020

⁶⁰ Technology readiness level (TRL) 4: technology validated in lab

⁶¹ Finnsementti haastattelu 17.1.2020

⁶² Tiedonanto Finnsementti 27.3.2020

⁶³ Finnsementti haastattelu 17.1.2020

Sementin osuuden vähentäminen betonissa on mahdollista päästöjen vähentämiseksi (ks. betoni-kappale). Lisäksi voitaisiin tukea valtionhallinnon taholta ympäristöystävällisempien sementtilaatujen käytön ja tuottamisen lisäämistä. Haasteena on se, että sementin osuutta valmistettavassa betonissa ei voi loputtomiin vähentää, ilman että sillä on merkittävää vaikutusta saavutettavaan lujuuteen ja muihin teknisiin ominaisuuksiin.

Resurssitehokkuus ja kierrätys

Sementtitehtailla syntyvät jätteet ovat mineraalisia jätteitä, sivutuotteita, talousjätteitä ja tehtaan kunnossapidon jätteitä. Suomen sementtitehtailla syntyy noin 15 000 tonnia jätettä tai sivutuotetta vuodessa. Kaikki syntyvä energiajäte hyödynnetään sementtitehtaan omassa prosessissa. Myös sementin valmistuksen mineraaliset jätteet ja sivutuotteet hyödynnetään omassa tuotannossa uusioraaka-aineena. Noin kymmenesosa syntyvästä jätteestä (1 500 tonnia) lähetetään kaatopaikalle tai muualle kierrätettäväksi. Tästä määrästä 90 prosenttia hyötykäytettiin, ja kaatopaikalle päätyi 150 tonnia.⁶⁴

Sementin raaka-aineena voidaan käyttää myös betonin kierrätyksessä saatavaa materiaalia. Kun betoni murskataan, yritetään ottaa talteen raekooltaan hienommat osat (fines), joita voisi käyttää uudessa sementissä raaka-aineena.⁶⁵

Hiilen talteenoton, sidonnan ja varastoinnin mahdollisuudet

Teknologialoikka sementin valmistusprosessissa muodostuvan hiilidioksidin talteenottamiseksi voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen:

- hiilidioksidin rikastaminen ja talteenotto
- hiilidioksidin hyötykäyttö
- hiilidioksidin varastointi.

Alla on lyhyt kuvaus muutamasta merkittävimmästä hankkeesta.

Hiilidioksidin rikastaminen ja talteenotto:

”Calcium-looping”: Suurimmat sementin päästöt tulevat kalkkikiven kalsinoitumisesta sitä kuumennettaessa, jossa kalsiumkarbonaatti syntyy kalsiumoksidia. Eurooppalaiset sementinvalmistajat tutkivat parhaillaan ”calcium-looping” menetelmää, jossa kalsiumoksidi yhdistetään hiilidioksidia sisältävään palamiskaasuun, jolloin syntyy jälleen kalsiumkarbonaattia. Toistamalla tämä syklistisesti saadaan aikaiseksi CO₂-rikastettu savukaasu. Teknologiaa on testattu EU-hankkeessa lyhyen ajan (n. 120 h), jolloin saavutettiin n. 76 -90 % rikastuminen.⁶⁶

”Direct separation”: Kalsinoinnissa syntyvät päästöt voidaan myös eristää poltosta syntyvistä päästöistä kalsinaattorissa, jonka lämmitys tapahtuu epäsuorasti väliseinän läpi. Tätä teknologiaa testataan parhaillaan sementtiteollisuuden EU-hankkeessa, joka jatkuu vuoden loppuun saakka. Pilottihankkeessa on saavutettu >95 % puhtausaste hiilidioksidille.

⁶⁴ Finnsementti ympäristöraportti 2019. https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/Finnsementti_ymparistoraportti_2019_aukeamittain_lowres-1.pdf

⁶⁵ Finnsementti haastattelu 17.1.2020

⁶⁶ Calcium looping for CO₂ capture in cement plants – pilot scale test

Oxyfuel: Oxyfuel-menetelmässä sementin valmistukseen tarvittava lämpö saadaan polttamalla polttoaineet käyttäen ilman sijaan puhdasta happea. Näin saadaan hyvin puhdasta hiilidioksidia, joka voidaan ottaa talteen sellaisenaan.

Amiiniabsorptiotekniikalla tai CO₂-selektiivisillä membraaneilla savukaasujen sisältämä hiilidioksidi voidaan erotella klinkkeriuunin jälkeen.

Hiilidioksidin hyötykäyttö:

”**Fuel looping**” tarkoittaa poltosta muodostuneiden hiilidioksidipäästöjen talteenottamista ja hyödyntämistä uudelleen uuden polttoaineen valmistuksessa. Näissä teknologioissa hiilidioksidia käytetään esimerkiksi levien kasvun edistämiseksi biomassan tai bionesteiden tuottamiseksi, tai hiilidioksidista ja vedystä valmistetaan synteetin avulla synteettisiä polttoaineita (esimerkiksi liikennepolttoainekäyttöön). Muita hyötykäyttömahdollisuuksia ovat esimerkiksi erilaisten kemikaalien valmistus.

Hiilen varastointi (CCS): Norjassa sijaitsevassa Norcem Brevikissä valmistellaan maailman ensimmäistä tehdasmittakaavaista hiilidioksidin talteenottoa sementtitehtaalla. Norjan valtion arvioidaan tekevän investointipäätöksen (n. 1,1 miljardia €) 2020-2021. Hiilidioksidin varastointi tullaan näillä näkymin aloittamaan vuosina 2023-2024.⁶⁷ Varastointi tapahtuu hyödyntämällä olemassa olevaa öljynporauskenttää Pohjanmerellä. Suomessa vastaavassa CCS-hankkeessa ei ole Finnsementin mukaan realismia vuoteen 2035 mennessä, sillä CCS-investointi on suunnilleen yhtä suurin kuin itse sementtitehtaan, jonka lisäksi hiilidioksidi pitää vielä siirtää Pohjanmerelle varastoitavaksi. Suomen kallioperä ei nykytietämyksen mukaan sovellu hiilidioksidin varastointiin.⁶⁸

CCS:stä ja hiilidioksidin hyötykäytöstä on tarkempi kuvaus kappaleessa 4.

Alustava arvio päästöjen kehittämisestä 2035 ja 2050

Perusura: Koska sementtiteollisuus on mukana EU:n päästökaupassa, sitä kautta päästöt alenevat vuodesta 2021 alkaen keskimäärin 2,2 % vuodessa kun vuosittainen päästökatto tiukentuu⁶⁹. Tämä tarkoittaisi vuoteen 2035 mennessä n. 28 % päästövähennystä. Tämä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi korvaamalla suurin osa fossiilisesta energiasta tuotannossa uusiutuvalla tai jättemateriaalilla. Mikäli sama 2,2% päästökaton vuosittainen tiukennus olisi voimassa vuoteen 2050 saakka, se tarkoittaisi n. 49 % päästövähennystä päästökaupan kautta.

⁶⁷ <https://www.norcem.no/en/CCS%20at%20Brevik>

⁶⁸ Finnsementti haastattelu 17.1.2020

⁶⁹ Laki päästökauppalain muuttamisesta (291/2019). Päästövähennystavoite koskee organisaation toimintaa. Oletamme kuitenkin, että muut kuin valmistuksen päästöt ovat vähäisiä, ja päästökaupan vaikutukset siirtyvät suoraan tuotteiden valmistuksen päästöihin.

Vähähiilisyysknaario: Energiamuodon vaihdolla päästöjä voidaan vähentää maksimissaan n. 40%. Lisäksi raaka-aineiden innovatiivisella vaihdolla ja vähäpäästöisemmällä klinkkerityypeillä voitaisiin saavuttaa n. 20-30 % lisäpäästövähennys (osa päästövähennyksestä tulee alhaisemmasta polttolämpötilasta, eli ei voi summata maksimi-polttoainekorvauksen kanssa). Kokonaisuudessaan päästöt voisivat näillä toimilla vähentyä enintään 50 % vuoteen 2035 mennessä. Mikäli CCS-tekniologia voidaan ottaa käyttöön, voidaan sementintuotannon päästöt saada lähes nolliin. Tämä ei kuitenkaan ole realistista Suomessa ennen vuotta 2035, mutta ennen vuotta 2050 CCS voisi olla mahdollinen.

3.2 *Betoni*

Rakennukset, joiden päämateriaali on betoni, aiheuttavat n. 1,36 Mt CO₂e-päästöjä vuodessa ilman käyttövaiheen energiankäytön huomioon (Kuva 1). Luvussa on mukana kaikki materiaalit, joita betonirakennukset keskimääräisessä tapauksessa sisältävät (teräs, puu, lasi, muovi, ym.), mutta suurin osa päästöstä muodostuu sementin valmistuksesta.

Betoni

Käytön nykytila: kysyntä ja tarjonta

Betoni on eniten käytetty rakennusmateriaali. Kaikki betoni käytetään rakentamiseen. Betonia käytetään rakennusteollisuudessa monenlaisissa kohteissa; asuintaloissa ja muissa rakennuksissa, tie-rakenteissa, tukimuureissa, silloissa, tunneleissa, tuulivoimaloissa, vesitorneissa, rautateissä, satamalaitureissa, aallonmurtaajissa ja lentokentillä. Lisäksi betonia käytetään esimerkiksi teiden ja rakennusten perustuspaaluissa, maabetonina ja väestönsuojissa.⁷⁰ Betonin monimuotoinen käyttö ei kaikissa tilanteissa ole korvattavissa muilla materiaaleilla, erityisesti kun vaaditaan lujuutta. Betonia käytetään myös puurakenteisten talojen perustuksissa.

⁷⁰ <https://www.kemia-lehti.fi/wp-content/uploads/2020/02/1-2020-Betonin-hiilijalanj%C3%A4lki-kutistuu.pdf>

Suomessa on useita betonin valmistajia, ja Betoniteollisuuden jäsenyritysten nettomyynti (betonielementit, valmisbetoni, betonituotteet, asennustoiminta ja vienti) oli vuonna 2018 yhteensä yli 1211 miljoonaa euroa.⁷¹ Betonin valmistajista kansainväliseen CRH-konserniin kuuluva Rudus⁷² on suurin valmisbetonitoimittaja (nettomyynti 237,7 miljoonaa euroa vuonna 2018) ja Consolis-konserniin kuuluva Parma⁷³ on suurin betonielementtien valmistaja (nettomyynti 159,1 miljoonaa euroa vuonna 2018).⁷⁴ Suomessa käytettävästä valmisbetonista kaikki tuotetaan Suomessa, mutta betonielementtejä tuodaan n. 5 % kokonaiskulutuksesta ulkomailta, pääosin Virossa.⁷⁵ Vuotuinen betonin valmistusmäärä kotimaan kulutukseen on noin 5 miljoonaa kuutiometriä (m³).⁷⁶

Betoniteollisuuden kysyntä on ollut kasvussa viime vuosina: valmisbetonin tuotanto kasvoi kaksi prosenttia ja betonielementtien valmistusmäärät kasvoivat yhteensä 14 prosenttia vuonna 2017.⁷⁷ Tulevaisuudessa puurakentamisen tukemisen kasvaessa⁷⁸ betonin kysyntä saattaa vähentyä.

Tuotantoprosessin kuvaus ja CO₂-päästöjen syntymekanismit

Sementti on betonin tärkein raaka-aine ja betonin päästöjen suurin lähde, ja sen osuus betonista vaihtelee laadun ja tarpeen mukaan. Keskimäärin betonissa on sementtiä noin 300 kg/m³.⁷⁹ Betonin raaka-aineista n. 80 % on kuitenkin vähäpäästöisiä, kuten kiviaines, sementin seosaineet ja vesi. Valmisbetonin tuotanto on tarkka teollinen prosessi, ja valmisbetonia käytetään myös betonielementtien valmistuksessa. Betonielementtien valmistus on valmisbetonin tuotantoa monimutkaisempi teollinen prosessi, jossa hyödynnetään mm. raudoitusta. Elementit tarvitsevat myös CE-merkinnän.⁸⁰

Betonin valmistus ei kuulu päästökauppaan, sillä se ei prosessina ole kovin päästöintensiivistä. Betoniteollisuuden hiilijalanjälkeä Suomessa ei ole kokonaisuudessaan laskettu, mutta on arvioitu että kaikkiaan betonin hiilipäästöistä n. 70-90 % tulee raaka-aineista (sementistä, kiviaineksesta ja elementeissä myös raudoituksesta) ja loput 10-30 % itse valmistusprosessin energiankäytöstä ja kuljetuksista.⁸¹ Aalto-yliopisto on arvioinut betonirakenteiden tyypillisiksi päästöiksi 100-200 kg CO₂e betonitonnia kohti.⁸²

⁷¹ <https://betoni.com/wp-content/uploads/2019/09/Betoniteollisuuden-suuruusj%C3%A4rjestys-2018.pdf>

⁷² <https://www.rudus.fi/rudus-yrityksena/rudus-konserni>

⁷³ <https://parma.fi/tietoa-parmasta/>

⁷⁴ <https://betoni.com/wp-content/uploads/2019/09/Betoniteollisuuden-suuruusj%C3%A4rjestys-2018.pdf>

⁷⁵ Haastattelu Betoniteollisuus ry 13.2.2020

⁷⁶ Mikko Viljakainen, Puuinfo: Rakentamisen hiilineutraalisuus. PowerPoint-esitys, helmikuu 2020.

⁷⁷ Rakentaminen 2018–2019 - Rakennusalan suhdanneryhmä 27.3.2018

⁷⁸ https://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/ymparistoministerion-tukiohjelmasta-rahoitusta-puurakentamisen-kiertotalouteen-ja-kayttajalahtoiisiin-ratkaisuihin

⁷⁹ Haastattelu Betoniteollisuus ry 13.2.2020

⁸⁰ <https://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23913/Betonituotteiden%20CE-%20merkint%C3%A4%20laajenee.pdf>

⁸¹ Haastattelu Betoniteollisuus ry 13.2.2020

⁸² Jouni Punkki, Aalto-yliopisto: Hiilipihi valmistus- ja betoniteknologia. <https://betoni.com/wp-content/uploads/2019/08/10.-Jouni-Punkki.pdf>

Betonin valmistusprosessissa käytetään energiamuotona Suomessa lähinnä öljyä, puupellettejä tai puuhaketta. Sähköä ei käytetä merkittävässä määrin itse prosessissa.⁸³ Tosin rautakaupoissa myytävä säkkitavara muuttuu betonirakenteiksi useimmiten sähkön avulla (betonimyllyt). Mikäli betonin valmistuksen energiamuoto on fossiilinen kuten öljy, on valmistuksen energiankäytön osuus suurempi kuin bioenergiaa käyttävissä.

Tuotannon päästövähennysmahdollisuudet sekä arvio vaikutuksista ja toteutettavuudesta (sis. energiatehokkuus ja vaihtoehtoiset polttoaineet)

Sementin vähentäminen betonissa: Sementin osuutta betonissa voidaan vähentää käyttämällä osittain teräs- ja energiatehokkuuden sivuvirtoja, kuten masuunikuonaa terästeollisuudesta, lentotuhkaa kivihiilivoimaloista ja silikaa piiraudan valmistuksesta.⁸⁴ Betoniteollisuus käyttää jo nyt sementtiä korvaavana aineena lentotuhkaa ja masuunikuonaa yli 300 000 tonnia vuosittain.⁸⁵ Nämä ovat sivuvirtoina päästöttömiä vaihtoehtoja, ja niillä voidaan vähentää betonin hiilijalanjälkeä. Saatavuudessa on kuitenkin haasteita: masuunikuona on jo paljon käytössä Suomessa, joten sen määrän lisäämisessä ei ole kovin merkittävää potentiaalia. Kuitenkin masuunikuonan käyttäminen betonissa/sementissä voisi olla päästövähennyspotentiaalilta kannalta parempi vaihtoehto kun sen muut käyttötarkoitukset (maan- ja tienrakennus ja lannoitus). On hyvä huomioida, että masuunikuonan saatavuuden arvioidaan vähentyvän merkittävästi SSAB:n uuden vetypohjaisen teknologian käyttöönoton myötä 2026 alkaen, koska uusi teknologia edellyttää masuunien sulkemista. Lentotuhkaa puolestaan ei synny enää kivihiilikiellon tultua voimaan 2029.⁸⁶

Myös betonimursketta voidaan käyttää uuden betonin kierrätysraaka-aineena, jolloin betonissa ei tarvita yhtä paljon neitseellistä sementtiä ja päästöt ovat alhaisemmat.

Neitseellisen materiaalin puolelta luonnollisia pozzolaaneja kuten **kalsinoituja savia** voidaan käyttää kuonan tilalla. Niiden saatavuus on sivuvirtoja parempi, mutta toisaalta niiden tuottamiseen tarvitaan energiaa. Yksi kalsinoiduista savista on metakaoliini, jonka käytöstä betonissa on jo olemassa standardi Britanniassa.⁸⁷ Metakaoliinin valmistuksessa syntyvät hiilidioksidipäästöt ovat vähintään puolet pienemmät verrattuna sementin valmistukseen.⁸⁸ Tutkimusten mukaan vaihtoehtoisilla materiaaleilla voitaisiin saavuttaa 5-39 % päästövähennys Portland-sementin käyttöön verrattuna, siten että betonin lujuus pysyy vastaavalla tasolla.⁸⁹ Kalsinoituja savia käytettäessä kovettumisaika voi olla hieman tavanomaista lyhyempi, mutta silti sementille normaalilla alueella. Esimerkiksi korkeiden lämpötilojen kestävyyttä tutkitaan parhaillaan mm. Intiassa.⁹⁰

⁸³ Haastattelu Betoniteollisuus ry 13.2.2020

⁸⁴ https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/08/BET1502_38-43.pdf

⁸⁵ <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ekologisuus/kierratys/>

⁸⁶ Tiedonanto SSAB.

⁸⁷ Betoniteollisuus ry haastattelu 13.2.2020

⁸⁸ Ahola, A.; Puominen, M. (2010) Metakaoliinin käyttö betonissa sementin korvaajana yhdessä lentotuhkajalosteiden kanssa

⁸⁹ Folagbade, S. (2017) Mitigating Climate Change Through the Use of Cement Combinations in Concrete Construction

⁹⁰ Scrivener, K. et al (2018) Calcined clay limestone cements (LC3)

Uusiutuvan energian käyttö valmistuksessa: Betonin valmistuksessa käytettävän öljyn voisi korvata uusiutuvilla energiamuodoilla kuten biodieselillä tai biomassalla, jolloin päästöt vähenisivät öljyn käytöstä tulevien päästöjen verran. Tarkkaa osuutta öljyn tämänhetkisestä käytöstä betoninvalmistuksessa Suomessa ei ole tiedossa. Päästövähennyspotentiaali kaiken prosessissa käytettävän energian vaihtamisesta uusiutuvaksi olisi betonin kokonaispäästöistä 10-30 %.

Nykyiset esteet päästövähennystoimien toteuttamiselle

Rakentaminen on hyvin säädeltyä, ja vaihtoehtoiset materiaalit eivät vielä mukana kaikissa säädöksissä ja standardeissa. Uuden tyyppisten rakennusmateriaalien kestävydestä ei vielä ole tarpeeksi tietoa, sillä kyse on jopa yli 100 vuoden käyttöiästä. Esimerkiksi kalsinoituja savia on Suomessa saatavilla, ja toistaiseksi on ollut eniten kustannuskysymys, ettei niitä ole otettu käyttöön betoninvalmistuksessa.⁹¹

Merkittävä osa käytetystä betonista ja sementistä sijoittuu huonoissa perustamisolosuhteissa maan alle, perustuksiin, paaluihin, stabilointiin jne. Tämä korostunee tulevaisuudessa, kun täydennysrakentaminen sijoittuu entistä enemmän huonoihin perustamisolosuhteisiin.

Materiaalin kysynnän hallinta

Rakenteiden keventäminen: Esimerkiksi silloissa käytetään usein varmuuden vuoksi huomattavasti tarvetta enemmän betonia ja tarvetta korkeampaa lujuusluokkaa. Digitalisaation avulla voidaan tulevaisuudessa seurata tarkemmin betonirakenteiden lujuuskehitystä anturiteknikalla, joka voi luoda mahdollisuuksia vähentää ylimääräistä betonin käyttöä.⁹² Keventämisen potentiaalista anturien käytön myötä ei ole vielä tarkkaa tutkimustietoa, mutta tälle voidaan alustavasti arvioida päästövähennyspotentiaaliksi n. 10%.

Korvaaminen vähäpäästöisemmillä materiaaleilla: Tulevat rakennusmateriaalien hiilidioksidipäästöjen vähentämisvaatimukset voivat johtaa siihen, että betonia korvautuu vähempipäästöisillä materiaaleilla.⁹³

Resurssitehokkuus ja kierrätys

⁹¹ Betoniteollisuus ry haastattelu 13.2.2020

⁹² Finnsementti haastattelu 17.1.2020

⁹³ Tässä työssä ei ole otettu kantaa materiaalien korvaamiseen toisilla. Betonin korvaamisesta puulla puhutaan kuitenkin paljon, joten avaamme asiaa hiukan. Tapaustutkimusten perusteella esimerkiksi puurunkoisen kerrostalon kaikkien materiaalien valmistuksen päästö (A1-A3) on n. 240 kgCO₂/m², verrattuna betonirakenteisen kerrostalon päästöön, joka on n. 390 kg CO₂/m² (VTT 2018), eli puukerrostalon rakentamisen päästö neliometriä kohti on noin 60% betonirakenteisen kerrostalon päästöstä. Puurakenteisia kerrostaloja on vain n. 5% kaikista kerrostaloista, joten puukerrostalojen osuuden nostaminen esimerkiksi 10 %:iin voisi vähentää rakentamisen päästöjä n. 10 000 tCO₂e vuodessa (n. 0,25% rakentamisen päästöistä ilman käytönaikaista energiankulutusta), olettaen että vuosittain rakennettaisiin 30 000 kerrostaloasuntoa á 50 m². Myös hybridiratkaisut, kuten ei-kantavien väliseinien tekeminen muista materiaaleista betonirakennuksissa, ovat mahdollisia. Lisäksi infrarakentamisessa voidaan selvittää puun käyttöä esimerkiksi silloissa. Ei ole kuitenkaan täysin selvää, mikä materiaalien elinkaarivastaavuus on. Ennen tällaisten ratkaisujen käyttöönottoa on tarpeen tarkastella tarkkaan elinkaaren aikaista päästövähennyspotentiaalia ja muita ominaisuuksia (mm. pitkäaikaiskestävyys ja turvallisuusnäkökohdat).

Suomessa purkubetonista kierrätetään 70–80 prosenttia. Vuodessa 700 000–1 000 000 tonnia betonia pääsee uusiokäyttöön. Purkubetonin kierrätyksellä korvataan neitseellisten kallio- ja hiekka- raaka-aineiden käyttöä. Betonimurske on erinomaista infrarakentamisen raaka-ainetta, koska sillä on hyvät lujitusominaisuudet. Tien, kadun tai kentän pohjarakenteissa sitä tarvitaan yleensä vain puolet siitä määrästä, mitä luonnonkiviainesta tarvittaisiin⁹⁴. Murskeella voi korvata sora- ja kalliomurskeita jakavissa ja kantavissa kerroksissa, täyttötöissä ja joissain tilanteissa myös putkijohtokaivantojen täyteenä. Se käy myös uuden betonin raaka-aineeksi.⁹⁵ Kun betoni murskataan, siitä voidaan ottaa talteen raekooltaan hienommat osat (fines), joita voisi käyttää sementin raaka-aineena.⁹⁶ Betonin kierrätys tapahtuu markkinaehtoisesti ilman yhteiskunnan tukea.

Hiilen talteenoton, sidonnan ja varastoinnin mahdollisuudet

Hiilidioksidikövetetty betoni / ”carbon curing”: Menetelmässä injektoidaan plastiseen betoniin hiilidioksidia betonitehtaassa valmistettavien tuotteiden valmistusprosessissa, jolloin tuloksena on uudentyypisiä, jopa ”hiilenegeatiivisia” betonielementtejä. Suomessa tällaisia ei vielä ole tuotannossa, mutta teknologian kehittyessä tämä voisi olla mahdollinen tapa sitoa hiilidioksidia betoniin. VTT tutkii parhaillaan hiilenegeatiivisia rakennuselementtejä. Kanadalainen CarbonCure on alan johtava toimija, jonka teknologiaa on jo käytössä Pohjois-Amerikassa ja Aasiassa⁹⁷. Yksi eurooppalainen esimerkki on belgialainen Orbix, joka pilotoi ”Carbstone”-teknologiaa, jossa masuunikuonaa ja hiilidioksidia yhdistämällä voidaan korvata sementti kokonaan betonielementtien kaltaisessa rakennusmateriaalissa⁹⁸.

Uudenlaiset elementit eivät sovi kaikkiin käyttötarkoituksiin - arviolta 15 % kaikesta betonista voitaisiin Suomessa korvata tulevaisuudessa tällaisilla uusilla rakennuselementeillä.⁹⁹ Uudenlaisten betonielementtien käyttöä vaikeuttaa merkittävästi standardien puuttuminen. Koska tuotteilta vaaditaan monia ominaisuuksia kuten kestävyyttä ja lujuutta, uusien materiaalien käyttöön hyväksyntä on hyvin hidasta¹⁰⁰.

⁹⁴ Lujusominaisuudet ovat yksi kerrospaksuutta määrittävä tekijä, mutta joskus on muitakin reunaeh-toja, jolloin tämä ei välttämättä toteudu. Tiedonanto Infra ry.

⁹⁵ <https://www.rakennusteollisuus.fi/INFRA/Tietoa-alasta/Purku-ja-kierratys/>

⁹⁶ Finnsementti haastattelu 17.1.2020

⁹⁷ <https://www.carboncure.com/technology>

⁹⁸ <https://www.orbix.be/en/technologies/carbonation>

⁹⁹ Alustava arvio, perustuen siihen oletukseen että uudentyypisillä elementeillä voidaan korvata vain ei-kantavia sisäseiniä

¹⁰⁰ Betoniteollisuus ry

Betonin karbonatisoituminen: Betoni sitoo hiiltä kemiallisesti reagoidessaan ilmassa olevan hiilidioksidin ja veden kanssa. Ilmiö alentaa betonin pH-arvoa, mistä syystä sitä on jo tutkittu paljon, mutta erityisesti raudituskorroosion kontekstissa. Vasta viime aikoina tämä on tunnistettu potentiaalisena hiilinieluna, eikä sitä vielä käsitellä esimerkiksi Suomen päästöinventaarissa. Karbonatisaatioon vaikuttaa erityisesti betonin määrä, partikkelikoko ja altistumisaika – eli miten suuri pinta-ala on ilman ja veden kanssa kosketuksissa ja kuinka pitkään. Käytössä olevassa rakennuskannassa karbonisaation potentiaali on arviolta noin 15-20% kalsinoinnin päästöistä ja rakennuksen purkamisen jälkeen pieneen raekokoon murskattuna potentiaali on arviolta n. 80 % kalsinoinnin päästöistä.¹⁰¹ Karbonatisoitumisen potentiaalia ja kestoa Suomessa selvitetään parhaillaan esimerkiksi CANEMURE-hankkeen CO₂NCRETE SOLUTION-osahankkeessa. Alustavien arvioiden mukaan 80 % potentiaalın saavuttaminen ei välttämättä edellytä muutamaa kuukautta pidempää aikaa, kunhan betoni murskataan riittävän pieneksi ja mursketta mahdollisesti käännellään siten, että aktiivista pintaa saadaan esille murskekasassa.¹⁰² Betonirakennukset sitovat hiiltä myös käytön aikana ennen purkamista. Betonirakentamisen hiilivarastoa on selvitetty esimerkiksi VTT:n raportissa vuodelta 2017. Esimerkiksi rakennusten yläpohjaratkaisuissa betonielementin hiilivarastoksi on arvioitu 62 kg CO_{2e}/m².¹⁰³

Hiilidioksidin sitomiskapasiteetti betonin raaka-aineena olevassa sementtiklinkkerissä on suoraan verrannollinen sen sisältämän kalsiumoksidin (CaO) määrään. Sementin normaali sitomiskapasiteetti on laskennallisesti 349 kgCO₂/tonni sementtiä. Korkeampi ilman hiilidioksidipitoisuus nopeuttaa karbonisaatiota. Betonin hiilidioksidin sitouttamista käsittelevissä tutkimuksissa on suurta vaihtelua tuloksissa, mikä johtuu karbonisaation kompleksisuuteen ilmiönä. Aiheesta tarvitaan lisää tutkimusta ja tarvitaan pilotteja betonimurskeen todellisesta karbonisaatiopotentiaalista Suomessa, sillä sen potentiaali rakennusteollisuuden hiilinieluna on merkittävä.¹⁰⁴

Alustava arvio päästöjen kehittymisestä 2035 ja 2050

Perusura: Betonin tuotanto ei ole päästökaupassa, mutta sen suurimman päästölähteen sementin tuotanto on – sementin tuotannon päästövähennykseksi päästökaupan kautta on arvioitu 28 % vuoteen 2035 mennessä. Jos betonin päästöistä 70-90% tulee sementistä, tätä kautta voitaisiin saada n. 20-25 % päästövähennys.

Vähähiilisyyskenaario: Mikäli kaikki energiankäyttö betonin valmistuksessa vaihdetaan uusiutuvaan, on päästövähennyspotentiaali enintään -30%. Jos lisäksi otetaan huomioon maksimipotentiaali vaihtoehtoisten raaka-aineiden (kuten teollisuuden sivuvirrat ja kalsinoidut savet) käytössä, voitaisiin yhteensä päästövähennyspotentiaaliksi arvioida noin -70 % vuoteen 2035 mennessä.

¹⁰¹ CANEMURE-hankkeen CO₂NCRETE SOLUTION-osahankkeen raportti Q1/2020, Kirjallisuusreferaatti

¹⁰² Tiedonanto Finnsementti 3.4.2020.

¹⁰³ <https://cris.vtt.fi/en/publications/rakentamisen-hiilivarasto> Taulukko 7

¹⁰⁴ CANEMURE-hankkeen CO₂NCRETE SOLUTION-osahankkeen raportti Q1/2020, Kirjallisuusreferaatti

3.3 Teräs

Teräksen tuotannon päästövähennyspotentiaalia ja tulevaisuuden skenaarioita tarkastellaan **teknologiateollisuuden** hiilitiekartassa. Tässä luvussa esitetään kuitenkin yleiskatsaus teräksen käytöstä, sen tuotannon päästölähteistä ja käytöstä rakennusteollisuudessa.

Teräs
Käytön nykytila: kysyntä ja tarjonta
<p>Terästeollisuus on osa Suomen metalliteollisuutta, joka on Suomen teollisuudenaloista suurin. Merkittävimmät Suomessa toimivat valmistajat ovat Outokumpu, SSAB ja Ovako Steel. Teräksentuotanto Suomessa oli 2016 noin 4.1 miljoonaa tonnia¹⁰⁵, arvoltaan noin 1,6 miljardia euroa¹⁰⁶. Rakentamiseen käytetään terästä satoja tuhansia tonneja¹⁰⁷.</p> <p>Maa­il­mas­sa teräksentuotanto oli 2016 noin 1600 miljoonaa tonnia¹⁰⁸. On ennustettu, että 2050 teräksen tuotanto maailmassa olisi 2800 miljoonaa tonnia. Teräksestä rakenteita valmistavan teräsrakenneteollisuuden tuotannon arvo Suomessa oli 2017 noin 900 miljoonaa euroa ja tuotannosta vientiin meni kolmannes¹⁰⁹. Keskeiset valmistettavat rakentamisen tuotteet ovat betoniraudotteet, ohutlevyt ja sandwich-paneelit, raudotteet ja liitososat ja täydentävät osat kuten ovet, portaat ja ritilät. Keskeisiä rakennusratkaisuja ovat teräsrungot ja liittopalkit ja -pilarit, joissa teräsrakenne täytetään betonilla. Infrarakentamisessa keskeisessä roolissa ovat siltojen teräsrakenteet ja energiarakentaminen (esim. tuulivoima).</p>
Tuotantoprosessin kuvaus ja CO ₂ -päästöjen syntymekanismit
<p>Rauta esiintyy luonnossa erilaisina oksidi- ja muina yhdisteinä, joista se on jalostettava metalliseen muotoon. Teräs on raudan ja hiilen seos. Ruostumaton teräs sisältää raudan ja hiilen lisäksi kromia noin 10-12%. Kromin lisäksi teräs voi sisältää monia erilaisia seoslisäaineita, joiden kaikkien tarkoituksena on parantaa teräksen mekaanisia ja / tai korroosio-ominaisuuksia.</p>

¹⁰⁵ http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/894/2a11a70/9_Esitys_Komi.pdf

¹⁰⁶ Hinta (LME Steel Rebar): 380 EUR/tonni (6.3.2020); <https://www.lme.com/en-GB/Metals/Ferrous/Steel-Rebar#tabIndex=2>

¹⁰⁷ Suomen teräksen vuosituotannosta noin 10%, 400.000 tonnia, oli suomalaisten yritysten Suomessa käytettyjä vai vientiin menneitä rakennustuotteita. Noin 60% tästä (240.000 tonnia) käytetään asiantuntija-arvion mukaan Suomessa. Lisäksi rakentamisessa käytetään merkittävä määrä betoniraudotteita, joita ei valmisteta Suomessa. Raudotteita on betonikuutiossa asiantuntija-arvion mukaan keskimäärin 40 kg. Betonin käyttömäärät ovat noin 5.000.000 kuutiota, joten raudotteita käytettäneen noin 200.000 tonnia. Muiden terästen kuin raudotteiden tuontimääristä ei ole löydetty luotettavaa tietoa. Käyttö on siis vähintään 440.000 tonnia.

¹⁰⁸ http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/894/2a11a70/9_Esitys_Komi.pdf

¹⁰⁹ <http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/terasrakenneteollisuus/teraksen-tuotanto/>

Rautaa ja terästä voidaan valmistaa malmista pelkistämällä tai romuteräksestä sulattamalla. Koksiin perustuvassa pelkistyksessä rautamalmi muuttuu masuunissa teräkseksi hiilen ja lämmön avulla. Prosessissa syntyy hiilidioksidi; pelkistysreaktiot tuottavat noin 85–95 prosenttia hiilidioksidin kokonaismäärästä malmipohjaisessa valmistuksessa¹¹⁰¹¹¹. Näin valmistetun teräksen hiilijalanjälki on noin 1600-1830 kgCO₂e/t¹¹².

Vetypelkistyksessä rautamalmi muutetaan vedyn avulla raudaksi ja sulattamalla edelleen teräkseksi. Kun koksiin perustuvassa pelkistämisessä hiili reagoi raudan oksidien kanssa hiilidioksidiksi, vetypelkistyksessä raudan oksidit reagoivat vedyn kanssa vedeksi. Näin ollen vetypelkistysprosessissa ei synny hiilidioksidiä. Vedyn valmistukseen ja sulatukseen tarvitaan kuitenkin merkittävä määrä sähköä.

Romupohjaisessa valmistuksessa teräsromu sulatetaan valokaariuunissa sähköllä. Romupohjaisen valmistuksen energiakulutus (laskettu kilowattitunteina tuotettua terästonnia kohti), on noin viidesosa verrattuna malmipohjaiseen terästuotantoon¹¹³, ja hiilijalanjälki riippuu valokaariuunissa käytetyn sähkön tuotantotavasta. Tyypillisesti romuteräksen hiilijalanjälki riippuu valokaariuunissa käytettävän sähkön päästökertoimesta ja on Euroopassa noin 500 kg/tonni eli merkittävästi pienempi verrattuna koksilla pelkistetyn teräksen hiilijalanjälkeen¹¹⁴. Toisin kuin monet muut materiaalit, keran tuotettu teräs säilyy (korroosiota lukuun ottamatta) käytössä lähes ikuisesti. Jos uudelleenkäytettävyys huomioidaan, ero päästökertoimessa ei ole kovin suuri. Kaikesta maailman teräksestä 25 % tehdään kierrätyspohjaisesti valokaariuunilla tällä hetkellä. Euroopassa kierrätysteräksen osuus on 48%. Pohjoismaisen teräksentuotannon hiilipäästöt ovat 7% EU-keskiarvoa, 16% venäläistä ja jopa 40% intialaista tuotantoa matalammat¹¹⁵.

Yksityiskohtaisempi kuvaus raudan ja teräksen valmistuksesta on teknologiateollisuuden hiilitiekartassa.

Tuotannon päästövähennysmahdollisuudet sekä arvio vaikutuksista ja toteutettavuudesta (sis. energiatehokkuus ja vaihtoehtoiset polttoaineet)

Mahdollisuuksia pienentää teräksenvalmistuksen hiilipäästöjä tarkastellaan pääasiassa Teknologiateollisuuden tiekartassa. Esitämme tässä lyhyen katsauksen asiaan.

Hiilipohjaisen pelkistuksen haaste on prosessissa välttämättä syntyvä hiilidioksidi. Suuren energiankulutuksen vuoksi energiatehokkuuteen on jo kiinnitetty paljon huomiota. Esimerkkinä vähähiilisemmästä polttoaineesta voidaan mainita Outokummun Tornion terästehtaan sekä SSAB:n Raahen tehtaan siirtyminen käyttämään maakaasua, jonka yksikköpäästöt energiasisältöä kohti ovat polttoaineen pienemmän hiilisisällön takia noin 25% pienemmät kuin esimerkiksi aiemmin käytetyn propanin.

¹¹⁰ <https://www.hybritdevelopment.com/>

¹¹¹ https://ssabwebsitecdn.azureedge.net/-/media/hybrit/files/hybrit_brochure.pdf?m=20180201085027

¹¹² <https://www.worldsteel.org/publications/position-papers/steel-s-contribution-to-a-low-carbon-future.html>

¹¹³ <https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/processer/>

¹¹⁴ Ks myös <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-016-1081-1>

¹¹⁵ Tieto Janne Tähtikunnas, Rakennusteollisuus

Vetypelkistys tähtää hiilipäästöttömään teräkseen vuoteen 2035 mennessä. Vetypelkistyksen haasteena ovat uusiutuvan sähkön saatavuus, vedyn varastointi ja erilaiset uuden teknologian riskit. Tämä edellyttää kuitenkin merkittäviä määriä uusiutuvalla energialla tuotettua sähköä. Käynnissä oleva SSAB:n siirtyminen vetypelkistykseen voi yksinään vähentää Suomen kasvihuonekaasupäästöjä 7% ja Ruotsin jopa 10%¹¹⁶.

Nykyiset esteet päästövähennystoimien toteuttamiselle

Erilaisia energiatehokkuuden parantamiseen ja vähähiiliseen energiantuotantoon tähtäviä inkrementaalisia toimenpiteitä on alalla tehty paljon. Radikaali toimi - vetypelkistyksen käyttöönotto – sisältää paljon riskejä (esim. tekniikan toimivuus, uusiutuvan sähkön saatavuus, vedyn varastointi ja väistämättä tapahtuva 20-30% lopputuotteen hinnannousu) ja tarvittavat investoinnit ovat yrityksille erittäin suuria, joten ne tulevat kyseeseen vasta kun riskejä voidaan hallita, julkinen sektori osallistuu riskinjakoon (esim. rahoittamalla muutokseen liittyvää tutkimusta) ja korvausinvestointeja tarvittaisiin muutenkin.

Materiaalin kysynnän hallinta

Rakennusteollisuudessa käytetään terästä monissa sovelluksissa:

- Rakennuksissa terästä käytetään betonirauδοoituksiin, teräsrakenteisiin ja erilaisiin levytuotteisiin (kattopelti, rankarungot) sekä sisäisiin kiinnikkeisiin ja varusteisiin, kuten kiskoihin, hyllyihin ja portaisiin.
- Liikenneverkkorakentamisessa terästä tarvitaan siltoihin, tunneleihin, kiskoihin ja rakennettaessa satamia ja lentokenttiä. Noin 60% teräksen käytöstä alalla on teräsbetonia ja loput profiileja, levyjä ja kiskoja.
- Verkostorakentamisessa laitoksissa terästä voidaan käyttää pylväiden ja putkistojen materiaalina.

Huolellisella suunnittelulla teräksen rakenteellista massaa voidaan vähentää uusissa monikerroksisissa teräsrakenteissa joidenkin lähteiden mukaan jopa 50%^{117 118}. Lujemman teräslaadun käytöllä voidaan keventää suunniteltavia rakenteita ja saada aikaan huomattavia menekinsäästöjä¹¹⁹, esimerkiksi ristikkorakenteissa arvioidaan suurlujuusteräksillä saavutettavan jopa 20% materiaalisäästö¹²⁰. Esimerkiksi käyttämällä lujempaa teräslaatua Ruotsin kansallisen jalkapalloareenan Friends-Arenan -katon rakentamisessa painoa saatiin vähennettyä 13% ja kasvihuonekaasupäästöjä 900 tonnia CO₂e¹²¹. Käytännössä menekkiä voitaneen suunnittelun ja tuotekehityksen keinoin vähentää joitakin kymmeniä prosentteja.

Resurssitehokkuus ja kierrätys

¹¹⁶ <http://www.hybritdevelopment.com/>

¹¹⁷ <http://sustainability.hammerson.com/assets/Constructionprospectus030415mediumpdf.pdf>

¹¹⁸ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4075790/>

¹¹⁹ <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/94659>

¹²⁰ Terästeollisuuden haastattelut

¹²¹ https://media.sbi.se/Huvudmeny/Om_oss/friends-arena.pdf

Teräs on täysin kierrätettävää. Maailmanlaajuisesti kierrätysaste on noin 80 % ja Suomessa noin 100 (97) %¹²². Teräs on riittävän arvokasta siihen, että kierrättäminen on kannattavaa kaikille osapuolille ilman erityisiä toimia. Kierrätys on luonnollinen osa tuotantoprosessia jo tällä hetkellä.

Kierrätyksen edut ovat merkittävät. Jos esimerkiksi austeniittista ruostumatonta terästä valmistetaisiin yksinomaan romusta, energiankulutus olisi 67 % pienempi kuin malmipohjaisessa tuotannossa, ja hiilidioksidipäästöt vähenisivät 70 %¹²³. Vuoteen 2050 mennessä romupohjaisen teräksen odotetaan kattavan 50 % kysynnästä¹²⁴. Toisaalta lähes kaikki neitseellinen teräs kierrätetään lopulta, mikä tulisi huomioida päästötarkasteluissa.

Mielenkiintoinen suunta ovat kierrätettävät teräsrakenteet, joissa kierrättäminen tapahtuisi ilman romuvaihetta ja metallin sulatusta. Tällöin sulatuksen ja muokkaamisen kustannukset ja ympäristövaikutukset jäävät syntymättä. Tämä edellyttää kierrätettävyyden näkökulmien huomioimista jo rakenteiden suunnitteluvaiheessa. Uudelleen käytettäviä rakennuselementtejä ovat esimerkiksi rakeneteräs ja teräsportaalikehykset¹²⁵. Myös muiden teollisuudenalojen terästuotteita voidaan käyttää rakentamisessa, esim. pääasiassa öljy- ja kaasuteollisuudesta talteen otetut teräsputket on käytetty uudelleen useisiin suuriin rakennushankkeisiin¹²⁶.

Terästehtaissa syntyy kuonaa, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi maa- ja tierakentamisessa, maanparannusaineena sekä betoniteollisuudessa¹²⁷. Tätä on kuvattu sementtiä ja betonia koskevissa kappaleissa 3.1. ja 3.2. Kuonalla on myös muita sovelluksia mm. lannoitteena, sillä se sisältää runsaasti fosfaattia, silikaattia, magnesiumia, kalkkia, mangaania ja rautaa) ja täyteaineena väylärakentamisessa.

Hiilen talteenoton, sidonnan ja varastoinnin mahdollisuudet

Teräksenvalmistuksessa ei ole endogeenisiä mahdollisuuksia hiilen sidontaan tai talteenottoon. Kyseeseen tulisivat lähinnä erilaiset CCS-piipunpääteknologiat masuunipohjaiseen pelkistykseen. Näiden käyttöönotto ei kuitenkaan ole kannattavaa, mikäli Suomessa siirrytään vetypelkistykseen suunnitellusti.

Alustava arvio päästöjen kehityksestä 2035 ja 2050

¹²² http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/894/2a11a70/9_Esitys_Komi.pdf

¹²³ <https://www.mgg-recycling.com/wp-content/uploads/2013/06/The-Energy-Benefit-of-Stainless-Steel-Recycling.pdf>

¹²⁴ https://www.ssab.fi/ssab-konserni/kestava-kehitys/kestavat-toiminnot/hybridit?utm_source=alma&utm_campaign=dpt_ssab_susexp&utm_content=studio

¹²⁵ https://www.steelconstruction.info/Recycling_and_reuse#Steel_construction_and_recycling

¹²⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=hAbIgXGx07I&t=13s>

¹²⁷ http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/40/66e53a5/Teras_web.pdf

Perusura: Koska terästeollisuus on mukana EU:n päästökaupassa¹²⁸, sitä kautta päästöt alan alenevat vuodesta 2021 alkaen keskimäärin 2,2 % vuodessa, kun vuosittainen päästökatto tiukentuu¹²⁹. Tämä tarkoittaisi vuoteen 2035 mennessä n. 28 % päästövähennystä. Tämä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi korvaamalla suurin osa fossiilisesta energiasta tuotannossa uusiutuvalla tai jättemateriaalilla. Mikäli sama 2,2 % päästökaton vuosittainen tiukennus olisi voimassa vuoteen 2050 saakka, se tarkoittaisi n. 49 % päästövähennystä päästökaupan kautta.

Vähähiilisyyskkenaario: Mikäli kaikki energiankäyttö teräksen valmistuksessa vaihdetaan uusiutuvaan sekä tuotantoprosessissa käytetään vetyä, voidaan vähentää Suomen hiilidioksidipäästöjä 7 % (ja Ruotsin 10 %). Tämä teema käsitellään tarkemmin Teknologiateollisuuden tiekartassa.

Edellä esitetyt kysynnän hallinnan päästövähennysmahdollisuudet ovat merkittäviä. Mikäli vetypelkistykseen siirrytään, kysynnän hallinnassa ajuriksi saattaa nousta teräksen yksikköhinta päästövähennysten sijaan. Voitaneen olettaa, että 2050 suuri osa teräksestä on vetypelkistettyä, suunnittelu minimoi menekin ja käytettävät laadut ovat paljolti suurlujuuksia.

3.4 Puupohjaiset rakennusmateriaalit

Puupohjaisten rakennusmateriaalien tuotannon päästövähennyspotentiaalia ja tulevaisuuden skenaarioita tarkastellaan **metsäteollisuuden ja sahateollisuuden hiilitiekarttatöissä**. Tässä luvussa esitetään kuitenkin yleiskatsaus puupohjaisista rakennusmateriaaleista, niiden tuotannon päästölähteistä ja käytöstä rakennusteollisuudessa.

Puupohjaiset rakennusmateriaalit

Käytön nykytila: kysyntä ja tarjonta

Puutuoteteollisuuden, poislukien huonekaluteollisuus, kokonaisliikevaihto Suomessa on TEM:in arvon mukaan noin 8,5 miljardia euroa. Puutuoteteollisuus on merkittävä osa Suomen kansantaloutta – Suomi on 7. suurin sahatavaran tuottajamaa maailmassa. Puutuoteteollisuuden tuotteista suurin osa menee suoraan tai välillisesti rakentamiseen. Tuotannosta suuri osa menee vientiin, esimerkiksi sahatavaran tuotannosta jää kotimaahan noin 30 %. Suomessa yksityinen pientalorakentaminen on puutuotevaltaista (88 % pientaloista on puurunkoisia) mutta julkisessa rakentamisessa ja kerrostalorakentamisessa puun osuus on edelleen vähäinen. Puurunkoisten kerrostalojen osuus uusista kerrostaloista on tällä hetkellä vain 5 %.

¹²⁸Energiavirasto (2020). Päästökaupan piiriin kuuluvat toiminnanharjoittajat, joilla on voimassa oleva päästölupa

¹²⁹ <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20190291>

Toimialan yritysten määrä on vähentynyt viimeisen vuosikymmenen aikana: lopettaneiden yritysten määrä ylittää aloittaneiden yritysten määrä joka vuosi ajanjaksolla 2007–2016.¹³⁰ Suomalainen puuteollisuus käyttää vuosittain noin 30 miljoonaa kuutiometriä tukkipuuta.¹³¹ Kotimaan käyttöön rakennustuotteiksi päätyy kuitenkin vain noin 2,5 milj. m³ puuta.¹³²

Puusta voidaan valmistaa esimerkiksi kantavia seiniä, rankarunkoisia suurelementtejä, CLT (Cross Laminated Timber) -elementtejä, pilareita, palkkeja, tilaelementtejä ja hirsirakenteita. Puuta käytetään paljon myös vuoraus- ja verhoilumateriaaleina erityisesti pientaloissa.

CLT on monikäyttöinen rakennusmateriaali, jota voidaan käyttää esimerkiksi kerrostaloissa, julkisissa rakennuksissa, pientaloissa, vapaa-ajan rakennuksissa ja porrarakenteissa.¹³³ Laminoituja hirsiseinä-rakenteita ja kuivattua sahatavaraa käytetään eniten pientaloissa. Viilupuuta (LVL) on uusi puutuote, jota voidaan käyttää rakenteellisissa kohteissa kuten pilareina, palkkeina ja rankarakenteiden jäykistyksessä.¹³⁴ LVL voi toimia jossain tapauksissa myös teräksen korvaajana.

Tuotantoprosessin kuvaus ja CO₂-päästöjen syntymekanismit

Puupohjaisia rakennusmateriaaleja on useita erilaisia. Raakapuusta tulee kahta puutuotteen raaka-ainetta: sahatavaraa ja viilua. Sahatavaraa käytetään sellaisenaan, tai siitä liimataan liimapuuta tai CLT:tä, liimatut hirret perustuvat järeään sahatavaraan. Viilusta liimataan vaneria tai LVL:ää. Sahatavaran tuotannon hiilidioksidipäästöt ovat alhaiset. Jalosteiden päästöissä merkittävä osuus tulee fossiilispohjaisten liimojen päästöistä. Tässä kappaleessa käsitellään joitakin Suomessa yleisesti käytössä olevia rakennusmateriaalityyppejä, niiden tuotantoprosesseja ja päästöjä, mutta ei tehdä kaiken kattavaa tarkastelua.

CLT (Cross Laminated Timber) koostuu useista toisiinsa nähden ristikkäin laminoituista lautelevyistä. CLT-levyjä valmistetaan kahdella liimaustavalla, jotka ovat syrjäliimattu ja syrjäliimaamaton. Ulkoseinä-rakenteessa CLT-levy tavallisesti eristetään ja pinnoitetaan.¹³⁵ Päästöt tulevat valmistusprosessissa erityisesti fossiilisen energian käytöstä raaka-aineen hankinnassa eli mm. metsäkoneissa ja kuljetuksissa, sekä jossain määrin materiaaleista kuten liimasta ja pinnoitteista. Esimerkiksi Stora Enson CLT-valmistuksen EPD:n (2017) mukaan tuotevaiheen päästöt ovat 60 kg CO₂e/m³ eli 128 kgCO₂e/tonni CLT:tä.

Tuotevaiheessa (A1-A3) käytetään energiamuotona pääosin uusiutuvia energianlähteitä (72 %) mutta loput 27 % eli 370 kWh/CLT-tonni uusiutumattomia energianlähteitä, josta suuri osa on puun korjuun päästöjä (mm. metsäkoneista ja kuljetuksista). Lisäksi 338 MJ/m³ käytetään uusiutumattomia materiaaleja (esim. liimaukseen ja pinnoitukseen). Hiilen sidonta CLT-elementtiin on -731 kg CO₂-eq/m³.¹³⁶ Hiilen sidontaa ei kuitenkaan voi suoraan katsoa CO₂-päästövähennykseksi, sillä se on ns. hiilikädenjälkeä, jota ei voi vallitsevan laskentakäytännön mukaan vähentää päästöistä hiilijalanjälkilaskennassa.

¹³⁰ TEM (2018). Toimialaraportit – Puutuoteteollisuus. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 37/2018

¹³¹ <https://puutuoteteollisuus.fi/puutuoteteollisuus/tietoa-toimialasta>

¹³² Mikko Viljakainen, Puuinfo: Rakentamisen hiilineutraalius. PowerPoint-esitys, helmikuu 2020.

¹³³ <https://www.crosslam.fi/suunnittelijat/crosslam-levyn-kayttokohteet.html>

¹³⁴ <https://www.puuinfo.fi/puutieto/insin%C3%B6C3%B6ripuutuotteet/viilupuuta-lvl>

¹³⁵ Puuinfo: <https://www.puuinfo.fi/puutieto/insin%C3%B6C3%B6ripuutuotteet>

¹³⁶ CLT by Stora Enso. EPD, hyväksytty 1.6.2017

Laminoidut hirsiseinärakenteet: Laminoitu puu on valmistettu uunikuivatusta mitoitettu sahatavarasta ja liimattu yhteen kahdesta tai useammasta kappaleesta. Päästöt tulevat valmistusprosessissa fossiilisen energian käytöstä mm. metsäkoneissa ja kuljetuksissa, sekä jossain määrin materiaaleista kuten fossiilispohjaisesta liimasta. Viiden tuottajan keskimääräiset tiedot kokoavan Hirsitaloteollisuuden EPD:n (2019) mukaan CO₂-päästöjä syntyy tuotevaiheessa (A1-A3) yhteensä 159 kg CO₂e/m³ eli 360 kgCO₂e/tonni hirsiseinärakenteita ilman biogeenisiä vaikutuksia. Tuotantoon käytetään 3260 MJ/m³ ja tuotettua hirsiseinärakennetta kohti 7392 MJ eli 2053 kWh uusiutumattomia energianlähteitä, joiden lisäksi uusiutumattomia materiaaleja käytetään 176 MJ/m³. Hiilen sidonta hirsiseinärakenteeseen on -701 kg CO₂e/m³.¹³⁷

Suomalaisen kuivatun sahatavaran valmistusprosessi koostuu puun kuorinnasta, sahauksesta, kuivaamisesta ja pakkaamisesta. Valmistuksen A1-A3 vaiheista päästöjä syntyy Puutuoteteollisuuden EPD:n mukaan 72,45 kg CO₂e/m³. Uusiutumattoman primäärienergian kokonaiskäyttö (energiankäyttö ja materiaalit) tuotevaiheessa on 1629 MJ/m³, ja sahatavaran hiilen sidontapotentiaali on -728 kg CO₂/m³.¹³⁸

Viilupuu eli LVL (Laminated Veneer Lumber) on sorvatuista viiluista liimaamalla valmistettu uudenvuoden rakenteellinen puutuote, jota käytetään mm. palkkeina, seinärankoina, sekä lattia- ja seinälevyinä. Viilupuu sopii kestävyytensä ansiosta kantaviin rakenteisiin. Suomalainen viilupuu valmistetaan liimaamalla 3 mm paksuisia kuusiviiluja yhteen. CO₂-päästöjä syntyy valmistusprosessissa fossiilisen energian käytöstä mm. metsäkoneissa, kuljetuksissa, polttoaineen ja fossiilispohjaisen liiman valmistuksesta, vaikka itse valmistusprosessissa käytetäänkin pääosin uusiutuvia energiamuotoja. Lisäksi materiaaleista kuten liimasta tulee jonkin verran päästöjä tuotantovaiheessa. Stora Enson LVL:n ympäristöselosteen mukaan tuotevaiheen päästöt ovat 156 kgCO₂e/m³ eli n. 306 kg CO₂e/tonni. Hiilen sidonta viilupuuhun on n. -804 kg CO₂e/m³, eli hieman suurempi kuin muissa käsitellyissä puutuotteissa.¹³⁹

Liimapuulla (GLT, Glue Laminated Timber) tarkoitetaan lamelleista liimaamalla valmistettua rakenteellista puutuotetta. Liimapuun valmistuksen päävaiheet ovat: puutavaran kuivaus, lujuuslajittelu ja sormijatkaminen; lamellien höyläys, liiman levitys ja liimaus, kannatteiden höyläys ja muotoilu; pintakäsittely ja pakkaus.¹⁴⁰ Päästöt tulevat valmistusprosessissa erityisesti fossiilisen energian käytöstä raaka-aineen hankinnassa eli mm. metsäkoneissa ja kuljetuksissa, sekä jossain määrin materiaaleista kuten liimasta ja pintakäsittelyaineista energiankäytöstä.

Yleisesti puupohjaiset rakennuselementit ovat huomattavasti kevyempiä kuin esimerkiksi betoni. Elementit ovat lisäksi painoonsa nähden lujempia, jolloin tonnimääräisesti niitä tarvitaan vähemmän rakenteissa saman lujuuden saavuttamiseksi. Esimerkiksi valmisbetonin tiheys on noin 2400 kg/m³ ja CLT:n noin 470 kg/m³, eli betoni on 5 kertaa painavampi materiaali. Eri materiaaleista valmistettuja rakennus-elementtejä (tai -osia) voidaan verrata suoritusperusteisesti.

¹³⁷ Suomen Hirsitaloteollisuus ry Laminoitu hirsiseinäelementti EPD, hyväksytty 27.6.2019. Hirsiseinäelementin tiheys on 441 kg/m³

¹³⁸ EPD Ympäristöseloste, nro. RTS_27_19: Suomalainen kuivattu sahatavara kuusi- tai mäntypuusta, hyväksytty 25.2.2019

¹³⁹ LVL (Laminated Veneer Lumber) by Stora Enso. EPD, hyväksytty 12.11.2019

¹⁴⁰ Puuinfo: <https://www.puuinfo.fi/puutieto/insin%C3%B6C3%B6ripuutuotteet>

Tuotannon päästövähennysmahdollisuudet sekä arvio vaikutuksista ja toteutettavuudesta (sis. energiatehokkuus ja vaihtoehtoiset polttoaineet)

Päästövähennysmahdollisuuksia käsitellään erityisesti metsäteollisuuden ja sahateollisuuden hiilietikarttatyössä, joten tässä raportissa ei käsitellä yksityiskohtaisesti tuotannon päästövähennyspotentiaalia. Joitakin päästövähennysmahdollisuuksia voisivat olla esimerkiksi vähäpäästöisen energian hyödyntäminen metsäkoneissa (sähkö, biodiesel), ja uusiutuvan polttoaineen käyttö kuljetuksissa. Suomalainen Logset on kehittänyt ensimmäisen hybridi-metsäkoneen, joka vähentää päästöjä keskimääräiseen metsäkoneeseen verrattuna noin 25 %¹⁴¹. Myös ruotsalainen Elforest kehittää hybridi- ja sähkökoneita markkinoille.¹⁴² Lisäksi tulevaisuudessa voi olla mahdollista kehittää edelleen vähäpäästöisempiä liimoja, pinnoitteita ja muita puutuotteiden raaka-aineita.

Puurakentamisen lisääntymisellä on myös mahdollisuuksia vähentää rakennusalan päästöjä materiaalien keveyden vuoksi esimerkiksi kevyempien tai vähempien kuljetusten kautta.

Nykyiset esteet päästövähennystoimien toteuttamiselle

Päästövähennystoimia ja niiden esteitä tarkastellaan metsäteollisuuden ja sahateollisuuden tietokarttatyössä.

Materiaalin kysynnän hallinta

Puuta voidaan käyttää esimerkiksi betonia ja terästä korvaavana materiaalina (silloin kun puu täyttää vaaditut tekniset ja toiminnalliset vaatimukset), ja puurakennukset toimivat laskennallisesti hiilivarastona, eli pitkäaikaisen puutuotteiden kysynnän voi odottaa kasvavan pyrittäessä hiilineutraalisuuteen.

Resurssitehokkuus ja kierrätys

Suomessa syntyy puujätettä yli 3 miljoonaa tonnia vuodessa, ja suurin osa eli 90% siitä poltetaan suoraan energiaksi. Puun kierrätystä uusiksi tuotteiksi ei Suomessa juurikaan ole, pääasiassa järkevien jatkokäyttökohteiden puutteen ja energiatehokkuuden biomassatarpeiden vuoksi.¹⁴³

Hiilen talteenoton, sidonnan ja varastoinnin mahdollisuudet

¹⁴¹ <https://www.electrificationstory.com/logset-hybrid-forest-harvester>

¹⁴² <http://elforest.se/eng/references.html>

¹⁴³ <https://www.eura2014.fi/rrtiepa/projekti.php?projektikoodi=A74532>

Hiilen biologisella sidonnalla puutuotteisiin on merkittävä hiilinielupotentiaali tulevaisuudessa. Tällä hetkellä Suomen LULUCF-inventaarion mukaan Suomessa on sitoutunut puutuotteisiin n. 4 Mt CO₂e vuosittain vuosina 2017 ja 2018.¹⁴⁴ Mikäli puun käytöstä Suomessa suurempi osa käytettäisiin pitkäaikaisiin puutuotteisiin ja pienempi osa lyhytaikaisiin tuotteisiin ja energiakäyttöön, voisi sitoutunut määrä ja siten Suomen hiilinielu kasvaa. Jos pitkäikäisten puupohjaisten rakennusmateriaalien käyttö Suomessa esimerkiksi tuplaantuisi, voisi puutuotteisiin sitoutua noin 8 MtCO₂e vuodessa. On kuitenkin huomattava, että hiilinielu ja tuotannon hiilipäästö ovat kaksi eri asiaa.

Puurakenteissa hiilivarastona on mahdollinen riski kosteudelle alttiissa rakenteissa, kuten silloissa, joissa on havaittu lahottajasienten aiheuttamaa nopeaa lahoamista. Koska puun kyllästysaineissa on kielletty vuodesta 2004 alkaen arseenin ja kromin käyttö, nykyisillä kyllästysaineilla lahottajasieni-infektiot voivat runsastua, kun kuparia sietävät lajit leviävät puurakenteisiin.¹⁴⁵ Tämä aihe on otettu kyllästysteollisuuden tutkittavaksi.¹⁴⁶

Alustava arvio päästöjen kehittymisestä 2035 ja 2050

Päästöjen kehittymistä arvioidaan metsäteollisuuden ja sahateollisuuden tiekarttatyössä. Kuitenkin voidaan alustavasti arvioida, että mikäli raaka-aineiden hankintaketjun päästöt kuten metsäkoneiden ja kuljetusten päästöjä saadaan merkittävästi pienennettyä esimerkiksi sähköistämisen tai biodieselin käytön avulla, saadaan puutuotteiden valmistusprosessi lähes päästöttömäksi.

3.5 Poltettu tiili, kipsi ja lasi

Energiaintensiiviset tuotteet: tiili, kipsi, lasi

Käytön nykytila: kysyntä ja tarjonta

Poltettu tiili (erotuksena muilla menetelmillä valmistettuihin tiiliin) on keraaminen rakennusmateriaali, joka valmistetaan polttamalla savea yli 1000 asteen lämpötilassa¹⁴⁷. Merkittävin tiilen käyttökohde ovat julkisivut, piiput ja tulisijat. Tiiltä käytetään Suomessa vuosittain noin 110 000 tonnia (pl. Kahi-tiilet ja -harkot noin 85 000 tonnia).

¹⁴⁴ Tilastokeskus (2019): Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2018

¹⁴⁵ Tiedonanto Väylävirasto.

¹⁴⁶ Tiedonanto Puutuoteteollisuus

¹⁴⁷ Tässä käsitellään poltettuja tiiliä. Ns. kalkkahiiekkatiilet ja -harkot valmistetaan puristamalla kalkkahiiekkää muottiin ja karkaisemalla materiaali höyryllä. Kalkkahiiekkatiilien ja -harkkojen EPD:n mukaan (esim. <https://www.fi.weber/files/fi/2019-04/Kahi-tiilet-ja-harkot-EPD-ymparistoseloste.pdf>) niiden ominaisenergiankulutus on noin 2.5 MJ/kg ja ominaispäästö noin 150 kg CO₂e/t

Kipsin tärkein käyttö on kipsilevyissä, joita käytetään rakenteissa monenlaisiin tarkoituksiin, kuten saavuttamaan rakenteilta vaadittavat lujuusominaisuudet sekä äänen- ja paloneristävyysvaatimukset. Levyt valmistetaan joko luonnonkipsistä tai voimalaitoskaasujen puhdistuksessa syntyvästä kemiallisesti puhtaasta sivuainekipsistä. Kasvavassa määrin käytetään myös kierrätettyä kipsiä¹⁴⁸. Kipsi kalsinoidaan so. kidevesi haihdutetaan ja kipsimassa pursotetaan kartonkien väliin. Kipsiä, lähinnä kipsilevyä, käytetään Suomessa vuosittain arviolta noin 200 000 tonnia.

Lasiksi kutsutaan materiaaleja, jotka on saatu eräitä epäorgaanisia aineita, lähinnä silikaatteja tai niiden seoksia, sulattamalla 1200-1500 °C lämpötilassa ja antamalla näin saadun sulatteen jäähtyä. Tasolasia käytetään ikkunoissa ja terassilasituksissa sekä julkisivuissa.

Yhteistä näille materiaaleille on valmistuksen energiaintensiivisyys. Poltettujen tiilien uusiutumaton energiasisältö vaihtelee 2,2-4,0 MJ/kg ja uusiutuva energiasisältö n. 0,5 MJ / kg¹⁴⁹. Neliometri 12 mm kipsilevyä sitoo energiaa noin 35 MJ (n. 3,5 MJ/kg), josta 7 MJ paperinvalmistukseen, 10 MJ stukkokipsin tuotantoon ja 18 MJ levyn kuivaamiseen¹⁵⁰. Tarvittavat lämpötilat ovat kuitenkin merkittävästi matalampia kuin esim. tiilenpoltossa tai lasinvalmistuksessa. Tasolasin valmistus sitoo energiaa suuruusluokaltaan noin 8 MJ/kg¹⁵¹.

Tuotantoprosessin kuvaus ja CO₂-päästöjen syntymekanismit

Poltettu tiili valmistetaan muotoilemalla tiilet savesta, hiekasta, sahanpurusta ja tiilimurskasta ja lisäaineista. Kuivatut tiilet poltetaan uunissa yli 1000 asteen lämpötilassa. CO₂-päästö (noin 220 kg CO₂e/t)¹⁵² syntyy lähes täysin polttoenergiasta (öljy tai maakaasu).

Kipsilevy valmistetaan kalsinoimalla (kuumentamalla siten että kidevesi poistuu) kipsiä, muodostamalla saadusta stukkokipsistä massaa, joka levitetään kahden kartongin väliin, ja kuivaamalla levyt. CO₂-päästö (noin 185-390 kg CO₂e/t¹⁵³) syntyy pintapaperin valmistuksesta, kipsin kalsinoinnista ja levyn kuivauksesta.

Lasi valmistetaan sulattamalla raaka-aineet yli 1000 °C lämpötilassa ja vetämällä sula lasimassa sulan metallin, yleensä tinan, päälle jähmettymään. Tasolasin päästökerroin on noin 660 kg CO₂e/t¹⁵⁴ ja päästö syntyy lähes täysin sulatusenergiasta.

Tuotannon päästövähennysmahdollisuudet sekä arvio vaikutuksista ja toteutettavuudesta (sis. energiatehokkuus ja vaihtoehdot polttoaineet)

¹⁴⁸ Esim. <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/knauf-kierrattaa-kipsilevyt/93108d69-1cbo-3eb0-b51c-c32bedoof005>

¹⁴⁹ <https://www.tiili-info.fi/tiili-materiaalina/tiilen-valmistus/>; https://cer.rts.fi/wp-content/uploads/rtsepd_46-19_wienerberger_redclaybricks_en.pdf

¹⁵⁰ https://calculatelca.com/wp-content/themes/athenasmissoftware/images/LCA%20Reports/Gypsum_Wallboard.pdf

¹⁵¹ Esim. <https://www.cnudefco.com/news/energy-consumption-float-glass-lehr/>

¹⁵² SYKE ja Pöyry (2010): Materiaalitehokkuus ja hiilijalanjälki, lähtötiedot ja hiilijalanjälkilaskennan tuloslomakkeet.

¹⁵³ Valmistajan ilmoitus EPD:n perusteella; SYKE ja Pöyry (2010): Materiaalitehokkuus ja hiilijalanjälki, lähtötiedot ja hiilijalanjälkilaskennan tuloslomakkeet.

¹⁵⁴ SYKE ja Pöyry (2010): Materiaalitehokkuus ja hiilijalanjälki, lähtötiedot ja hiilijalanjälkilaskennan tuloslomakkeet.

Polttoaineiden vaihto uusiutuviin/jätämateriaaleihin: Valmistajat ovat jo kiinnittäneet jos-sain määrin huomiota energiatehokkuuteen ja hukkaenergian käyttöön; esimerkiksi tiilenpoltossa tiilet kuivataan polton hukkalämmöllä. Usealla toimijalla käytettävä sähkö on uusiutuvaa, mikä pienentää esimerkiksi kipsilevyn päästöjä 10-15%¹⁵⁵. Perustuen julkaistuihin ympäristöselosteisiin tiilien osalta uusiutuvan energian osuus on tällä hetkellä noin 15% kaikesta sitoutuvasta energiasta¹⁵⁶ ja kipsilevyn osalta suhde on samaa luokkaa¹⁵⁷. Karmit sisältävien ikkunoiden valmistuksen uusiutuvan energian osuus on suuruusluokaltaan noin viidennes kaikesta sitoutuvasta energiasta.

Tarvittava kuumentaminen tapahtuu tällä hetkellä pääasiassa polttoainein, joista osa on uusiutuvia. Kuumennusenergia olisi mahdollista periaatteessa vaihtaa sähköksi ja neste- ja maakaasupolttojen osalta biokaasuksi.

Raaka-aineiden vaihto: Energiaintensiivisillä rakennusmateriaaleilla raaka-aineiden vaihdolla ei ole oleellista merkitystä päästövähennyksiin.

Nykyiset esteet päästövähennystoimien toteuttamiselle

Erityisesti tiilen ja lasin vaatimien korkeiden lämpötilojen tuottaminen kierrätyspolttoaineilla on haastavaa. Energiamuodon vaihtaminen edellyttäisi merkittäviä investointeja ja lisäksi todennäköisesti menetettäisiin mahdollisuus käyttää uusiutuvia ja/tai kierrätyspolttoaineita itse.

Neste- ja maakaasu olisivat korvattavissa suoraan biokaasulla, mutta keskeinen este on biokaasun saatavuus ja hinta.

Materiaalin kysynnän hallinta

Poltetun tiilen ja kipsilevyn kysyntää ei voida hallita korvaamalla niitä toisilla tuotteilla. Tuotekehitysmielessä olisi todennäköisesti mahdollista kehittää tuotteita, jotka tarjoavat samat ominaisuudet vähemmällä materiaalilla, mutta sekä tiilen että kipsilevyn tapauksissa keskeinen tarjottava ominaisuus on tietty lujuus, pitkäaikaiskestävyys, huoltovapaus, ääneneristys ja palo-ominaisuudet, jota on hyvin vaikea saavuttaa, jos materiaalia vähennetään. Toisaalta kipsilevyjen tuotekehityksessä tavoitteena on vähentää tiettyyn vaatimustasoon tarvittavien levyjen määrää esimerkiksi lisäainestamalla kipsiä. Näin saatavilla ratkaisuilla voidaan korvata jopa esimerkiksi huoneistojen välisten väliseinien betonirakenteita.

Lasin ikkunakäyttöä voidaan vähentää joko ikkunapinta-aloja pienentämällä tai lasiratkaisujen eristyskykyä parantamalla. Molempia säädellään rakentamismääräyksissä. Muuta lasinkäyttöä (terassi/parvekelasit ja julkisivut) voidaan vähentää käyttämällä korvaavia materiaaleja. Terassi- ja parvekelasitukset tuottavat kustannustehokkaasti puolilämmintä asuintilaa ja suojaavat muita rakenteita säävaikutuksilta pidentäen niiden elinkaarta, joten suoralla käytön vähentämisellä saattaisi olla merkittäviä sivuvaikutuksia.

¹⁵⁵ Valmistajan ilmoitus

¹⁵⁶ Esim. https://cer.rts.fi/wp-content/uploads/rtsepd_46-19_wienerberger_redclaybricks_en.pdf

¹⁵⁷ Esim. https://www.tervemaja.ee/wp-content/uploads/2017/02/EPD_feracell_Gypsum_Fibre-board_EN.pdf

Ikkunapinta-alojen pienentäminen johtaisi muiden rakennusmateriaalin käytön lisääntymiseen (joilla saattaisi keskimäärin kuitenkin olla pienempi päästökerroin). Ikkunoiden ja ovien osuus lämpövähiöistä rakennuksessa on noin viidennes, mikä on samaa suuruusluokkaa muiden seinärakenteiden häviöiden kanssa. Täten ikkunoiden hiilikädenjälkivaikutus, so. käytönaikaisen energiankäytön väheneminen valmistuksenaikaisen päästön kustannuksella on merkittävä. Lisäeristyskykyä saadaan tällä hetkellä mm. erilaisin pinnoittein, lasikerroksia lisäämällä ja lämpölaselementtien jalokaasutäytöllä.

Resurssitehokkuus ja kierrätys

Tiili voidaan kierrättää kuten betonijäte lähinnä korvaamaan neitseellisten luonnonvarojen käyttöä. Tiilimurskan lujuusominaisuudet murskana eivät kuitenkaan ole yhtä hyvät kuin betonilla. Murskauskierätyksellä ei ole hiilipäästöjen kannalta oleellista suoraa merkitystä. Tiilen valmistuksessa voidaan käyttää tiilimurskaa sekä muita savipohjaisten tuotteiden jätevirtoja. Tiili voidaan myös yrittää irrottaa ehjänä, puhdistaa ja myydä uudelleenkäyttäväksi, jolloin lisäenergiaa sitoutuu varsin vähän ja kierrätyksen päästöt olisivat. Toiminta on kuitenkin pienimuotoista, lainsäädännöllisesti ongelmallista ja usein kannattamatonta.

Kipsilevyä valmistetaan Euroopassa vaihtelevasti luonnonkipsistä ja voimalaitosten rikinpoiston sivutuotteena syntyvästä FGD/DSG-kipsistä. Esimerkiksi Suomessa keskeinen valmistaja Knauf käyttää pääraaka-aineena FGD/DSG- ja luonnonkipsiä ja kierrättää 5-10% tuotteeseen kipsilevyjätettä¹⁵⁸. Euroopassa kipsin ja kipsilevypaperin kierrätysaste on FGD mukaan lukien noin 36%. On arvioitu, että ilman FGD/DSG:tä lasketun kipsin kierrätyksen nostaminen nykyisestä noin 5%:sta 18.5%:iin vähentäisi kipsilevyn elinkaaren aikaisia päästöjä noin 9%, mikä säästäisi Euroopan tasolla GHG-päästöjä noin 200 kt¹⁵⁹. Rikinpoistokipsin saatavuus vähenee kuitenkin koko ajan rikinpoistotarpeen vähetessä.

Lasi: Tilastokeskuksen jätetilaston¹⁶⁰ mukaan noin puolet Suomessa tuotetusta lasijätteestä (2017 142000 tonnia; rakentamisen osuus 95 t) menee materiaalihyödyntämiseen. Lasivillaeristeet tehdään noin 70-prosenttisesti kierrätyslasista. Kierrätykseen kelpaamattomasta lasista valmistetaan vaahtolasia, joka on kevytsoraa vastaava tuote. Lasituotannon hiilipäästöjen kannalta kierrätyslasin käytöllä ei ole merkittävää vaikutusta, koska prosessissa merkittävin hiilipäästö syntyy raaka-aineiden, myös kierrätyslasin, sulattamisesta. Jonkin verran on merkitystä sillä, että lasimurske raaka-aineseoksessa laskee sen sulamispistettä.

Hiilen talteenoton, sidonnan ja varastoinnin mahdollisuudet

Valmistusprosessispesifejä hiilen sidonta- tai talteenottoprosesseja ei ole. Kyseeseen tulisivat poltto-prosessien piipun päähän asennettavat järjestelyt.

Alustava arvio päästöjen kehittymisestä 2035 ja 2050

¹⁵⁸ <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/knauf-kierrattaa-kipsilevyt/93108d69-1cbo-3ebo-b51c-c32bed00fo05>

¹⁵⁹ <http://gypsumtogypsum.org/wp-content/uploads/2016/01/GTOG-action-C1-1-Life-cycle-gypsum-GHG-emissions-1.pdf>

¹⁶⁰ https://www.stat.fi/til/jate/2018/jate_2018_2020-01-15_tie_001_fi.html

Perusura: Tiilenpoltto (jos kapasiteetti yli 75 t/d), lasinvalmistus (jos kapasiteetti yli 20 t/d) ja kipsilevynvalmistus (jos nimellinen kokonaislämpöteho on yli 20 MW) kuuluvat päästökaupan piiriin. Tätä kautta päästöt alan alenevat vuodesta 2021 alkaen keskimäärin 2,2 % vuodessa kun vuosittainen päästökatto tiukentuu¹⁶¹. Tämä tarkoittaisi vuoteen 2035 mennessä n. 28 % päästövähennystä. Tämä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi korvaamalla suurin osa fossiilisesta energiasta tuotannossa uusiutuvalla tai jättemateriaalilla. Mikäli sama 2,2% päästökaton vuosittainen tiukennus olisi voimassa vuoteen 2050 saakka, se tarkoittaisi n. 49 % päästövähennystä päästökaupan kautta.

Vähähiilisyyskenaario: Valmistuksen polttoaineiden muuttamisella uusiutuviksi (esim. bio-kaasu) tai polttoenergiamuodon vaihdolla sähköön voitaneen saavuttaa merkittävä tuotehiilijalanjäljen pienenemä huomioiden nykyinen uusiutuvan energian suhteellinen vähäinen osuus valmistuksessa. Jälkimmäinen edellyttää suuria investointeja valmistajilta. Investointeja voidaan kuitenkin odottaa, sillä eräät valmistajat ovat jo sitoutuneet hiilineutraalisuuteen tietyllä aikavälillä.

3.6 Rakennusten eristemateriaalit

Lämpöeristeitä käytetään rakennusten ala- ja yläpohjissa sekä seinissä. Lämmöneristyksen tehtävä on muodostaa rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välille lämpöä eristävä kerros, jotta sisätilojen lämpötila voidaan pitää haluttuna mahdollisimman vähällä energian käytöllä.

Rakennusten eristemateriaalit

Käytön nykytila: kysyntä ja tarjonta

Keskeiset käytettävät materiaalit tällä hetkellä ovat¹⁶²

- Kivi- ja lasivilla (yhteisnimeiltään mineraalivillat, lämmönjohtavuus n. 0.03-0.04 W/m K)
- Sellukuitueristeet, esim. selluvilla (0.04-0.05 W/m K)
- Polystyreenipohjaiset solumuovit (EPS [”styroksi”]/XPS [suulakepuristettu umpisolurakenne], 0.03-0.04 W/m K)
- Polyuretaanipohjaiset solumuovit (PUR[polyuretaani]/PIR [polyisosyanuraatti], 0.02-0.03 W/ m K)

Muita eristetyyppejä ovat mm. kevytsora, vaahtolasimurske, fenolivaahtoeristeet ja solulasieristeet. Alapohjissa käytetään yleensä muovipohjaisia eristeitä, seinissä muovipohjaisia tai villaeristeitä, ja yläpohjissa puhallettavaa puukuitu- tai mineraalivillaa.

Suomessa on useita merkittäviä eristevalmistajia.

¹⁶¹ Laki päästökauppalain muuttamisesta (291/2019)

¹⁶² <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2014/T169.pdf>

Käytönaikaisen energiankäytön kannalta eristeet ovat oleellisessa asemassa. Uudisrakentamisessa eristeiden käyttöä säädellään rakentamismääräysten kautta vaatimalla rakenteilta korkeintaan tiettyä lämmönläpäisevyyttä.

Tuotantoprosessin kuvaus ja CO₂-päästöjen syntymekanismit

- Kivivilla valmistetaan sulattamalla soveltuvaa kiviainesta ja kuiduttamalla sula massa. Kuidut sidotaan yhteen sideaineella. Kivivillan elinkaaren aikainen päästökerroin on noin 1100-1700 kgCO₂e/t¹⁶³. Päästö syntyy lähes täysin tuotevaiheessa. Osa päästöstä syntyy alkali- ja maa-alkalikarbonaattien hajoamisesta sulatuksessa.
- Lasivilla valmistetaan sulattamalla kierrätyslasia tai lasin raaka-aineita ja kuiduttamalla sula massa. Kuidut liimataan yhteen sideaineella. Lasivillan elinkaaren aikainen päästökerroin on suuruusluokaltaan noin 1000-1400 kgCO₂e/t¹⁶⁴. Päästö syntyy lähes täysin tuotevaiheessa.
- Sellukuitueristeet valmistetaan yleensä kierrätyspuukuiduista. Kuituun lisätään palonsuoja-aineita (usein haihtumattomia boorimineraaleja) noin kymmenesosa painosta. Sellukuitueristeiden päästökerroin on noin 99-240 kgCO₂e/t¹⁶⁵. Lisäksi sellukuitueristeet sitovat hiiltä 1240 kgCO₂e/t. Päästö syntyy tuote- ja purkuvaiheissa kun sitoutunut hiili vapautuu.
- EPS ja XPS valmistetaan polystyreenistä, joka on öljypohjainen muovi. Eristeiden päästökerroin on noin 3300-7000 kgCO₂e/t¹⁶⁶. Noin puolet päästöistä syntyy tuotevaiheessa ja puolet purkuvaiheessa, koska tuotevaiheessa sitoutuneen hiilen arvioidaan purkujätteen käsittelyssä vapautuvan.
- Polyuretaanieriste valmistetaan di-isosyanaateista ja polyoleista, jotka ovat öljypohjaisia¹⁶⁷. Polyoleja voidaan valmistaa myös uusiutuvista raaka-aineista. Ponneaineena vaahdotuksessa käytetään usein pentaania. Polyuretaanin päästökerroin on luokkaa 3900-4200 kgCO₂e/t¹⁶⁸. Päästö syntyy pääasiassa tuotevaiheessa, mutta myös osin purkuvaiheessa, mikäli öljypohjainen tuote hävitetään polttamalla.

Kivi- ja lasivillan valmistuksessa päästöt syntyvät valmistusprosessin energiankäytöstä sekä osin kivistä ja lasin raaka-aineista vapautuvasta hiilestä, ja polystyreeni- ja polyuretaanieristeiden valmistuksessa päästöt liittyvät pääosin fossiilisiin raaka-aineisiin, joskin myös tuotannossa tarvittava höyry edellyttää energiaa.

Tuotannon päästövähennysmahdollisuudet sekä arvio vaikutuksista ja toteutettavuudesta (sis. energiatehokkuus ja vaihtoehtoiset polttoaineet)

¹⁶³ Esim. <https://www.rockwool.fi/siteassets/o2-rockwool/dokumentit-ja-sertifikaatit/dokumentit/hyvaksynnat/environmental-product-declaration/environmental-product-declaration.pdf?f=20190201075531>

¹⁶⁴ Valmistajan ilmoitus EPD:n pohjalta

¹⁶⁵ Valmistajan ilmoitus EPD:n pohjalta; <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2013/T115.pdf>

¹⁶⁶ ¹⁶⁶ <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2013/T115.pdf>; <https://eumeps.construction/downloads>

¹⁶⁷ PUR- ja PIR-polyuretaanien valmistus ja lopputuotteen kemiallinen rakenne eroavat jossain määrin toisistaan, mutta käsittelemme tässä niitä yhtenä laatuna.

¹⁶⁸ <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2013/T115.pdf>; Gaian omat laskelmat

Polttoaineiden vaihto uusiutuviin/jätämateriaaleihin:

Kivi- ja lasivillan raaka-aineiden sulattaminen ja lasivillan osalta myös kuiduttaminen ja leikkaaminen vaativat runsaasti energiaa, ja valmistajat ovat jo kiinnittäneet merkittävästi huomiota energiatehokkuuteen ja hukkaenergian käyttöön. Niiltä osin kuin sulattaminen tapahtuu sähköllä, on mahdollista lisätä uusiutuvan sähkön käyttöä. Kivivillan koksipohjaisessa sulatuksessa koksi osallistuu jossain määrin materiaalin tuotantoon mm. pelkistämällä kiviaineksen oksideja, ja sen korvaaminen muilla polttoaineilla ei ole itsestään selvää. Lasivillan raaka-aineen sulatus tapahtuu usein jo nyt sähköllä, ja vain kypsytykselinjoilla käytetään kaasupolttimia, jotka voivat olla biokaasukäyttöisiä. Myös kevytsoran valmistuksessa käytetään merkittäviä määriä kierrätyspolttoaineita.

Muovipohjaisten eristeiden ja puukuitueristeiden valmistuksessa polttoaineilla ei ole oleellista merkitystä.

Raaka-aineiden vaihto: Mineraalivillojen osalta raaka-aineiden vaihdolla ei ole oleellista merkitystä yksikköpäästöihin. Myöskään kierrätysmateriaalien käyttö ei erityisesti vaikuta päästöihin, ellei materiaalien sulamispiste ole oleellisesti matalampi. Kierrätyslasin käyttö vähentää lasin raaka-aineiden käyttöä ja välillisesti CO₂-päästöjä. EPS ja XPS valmistetaan määritelmän mukaan polystyreenistä. PUR/PIR-valmistuksessa öljypohjaiset polyolit on mahdollista korvata ainakin jossain määrin uusiutuvista raaka-aineista valmistetuilla polyoleilla¹⁶⁹.

Nykyiset esteet päästövähennystoimien toteuttamiselle

Katsaus Suomessa toimivien mineraalivilla- ja kevytsoravalmistajien ympäristölupiin osoittaa, että mineraalivilla- ja kevytsorateollisuus on jo toteuttanut merkittäviä päästövähennystoimia viimeisen 20-30 vuoden aikana, mm. parantanut energiatehokkuutta ja ottanut raaka-aineeksi teollisuuden sivuvirtoja ja polttoaineeksi jätämateriaaleja ja biopolttoaineita. Lisäpäästövähennystoimien pääasialliset esteet ovat korvaavien valmistusteknologioiden puuttuminen tai teknologian alhainen kehitysaste. Puukuitupohjaisten eristeiden päästöt ovat jo tällä hetkellä suhteellisen alhaiset. Muovipohjaisten eristeiden suurimmat päästöt liittyvät prosessien raaka-aineisiin, joita voidaan korvata vain rajallisesti ei-fossiililla materiaaleilla (lähinnä PUR/PIR-valmistuksen polyolit).

Uudet eristeet: VTT on raportissaan arvioinut erilaisten uusien eristeteknologioiden kypsyttä¹⁷⁰. Arvion mukaan tuotekehitys- ja demonstraatiovaiheessa (joiden voitaisiin olettaa olevan kaupallisessa käytössä 2035) ovat seuraavat teemat: biopolymeerit eristeissä, faasimuutosmateriaalit, aerogeerieristeet ja tyhjiöeristetyt paneelit.

- Biopolymeerit eristeinä ovat tyypillisesti biopolymeereistä valmistettuja vaahtoja¹⁷¹.
- Faasimuutosmateriaali on aine, joka sulaa ja kiinteytyy tietyssä lämpötilassa sekä kykenee sitomaan ja luovuttamaan suuria määriä energiaa faasimuutoksen yhteydessä.
- Aerogeeelit ovat hyvin kevyitä kiinteitä, avohuokoisia materiaaleja.

¹⁶⁹ Ks. Esim. <https://www.emeryoleo.com/eco-friendly-polyols>

¹⁷⁰ <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2014/T169.pdf>

¹⁷¹ Ks. esim. <https://www.vttresearch.com/services/bioeconomy/biobased-materials/biopolymer-foams>

- Tyhjiöeristepaneelit perustuvat tyhjiön lämmöneristyskykyyn. Kaasutäytteiset paneelit perustuvat eräiden kaasujen ilmaan heikompaan lämmönjohtavuuteen.

Materiaalien valmistustavat eivät ole täysin vakiintuneet, joten hiilipäästön ja eristävyys suhdetta on aikaista arvioida.

Materiaalin kysynnän hallinta

Lämmöneristykseen hiilikädenjälki (so. vaikutus rakennuksen käytönaikaiseen energiankulutukseen) on ratkaisevassa roolissa verrattuna eristeen omaan elinkaarenaikaiseen päästöön, joten lämpöeristämisen vähentäminen olosuhteiden pysyessä vakiona ei ole perusteltua.

Resurssitehokkuus ja kierrätys

Lasivilla valmistetaan Suomessa jo tällä hetkellä lähes täysin kierrätyslasista, ja ylipäätään mineraalivillaprosesseissa huomioidaan erilaiset resurssitehokkuuskysymykset laajalti. Valmistajat pyrkivät rakentamishukan kierrätykseen¹⁷². Lasivillan kierrätyksen osalta on käynnissä paljon tutkimusta ja käytännön kokeiluja¹⁷³. Sellukuitueristeet, EPS/XPS ja PUR/PIR voidaan polttaa elinkaaren jälkeen energiaksi tai kierrättää. Sellukuitu voidaan käyttää esimerkiksi asfalttikuituna. EPS-jäte voidaan hyödyntää myös suoraan kierrätykseen; raaka-aineesta voidaan korvata 5...70 % rouhitulla kierrätysraaka-aineella. EPS-eristeiden valmistuksessa voidaan hyödyntää myös kertakäyttöisistä EPS-pakkauksista tulevaa uusioraaka-ainetta. EPS-rakeita voidaan käyttää kevytbetonin, kevyttiilien ja muurausharkkojen valmistukseen¹⁷⁴. Myös XPS voidaan kierrättää samalla tavalla, esim. Finnfoam on 2019 aloittanut muovieristejätteiden kierrätyksen¹⁷⁵. Euroopassa on hankkeita, jotka tähtäävät EPS:n suljettuun kiertoon¹⁷⁶. EPUR/PIR-valmistuksessa käytettäviä polyoleja voidaan myös rekombinoida aiemmin valmistetusta eristeestä.

Hiilen talteenoton, sidonnan ja varastoinnin mahdollisuudet

Valmistusprosessispesifejä hiilen sidonta- tai talteenottoprosesseja ei ole. Kyseeseen tulisivat poltto-prosessien piipunpäähän asennettavat järjestelyt. Puukuitueristeet varastoivat hiiltä elinkaarensa aikana noin 1200 kg CO₂e/t.

Alustava arvio päästöjen kehitymisestä 2035 ja 2050

¹⁷² Esim. <https://www.paroc.fi/kampanjat/rewool>

¹⁷³ Ks. Esim. www.wool2loop.eu

¹⁷⁴ <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK00s705.pdf>

¹⁷⁵ <https://rakennusmaailma.fi/eristevalmistaja-finnfoam-aloittaa-muovieristejatteiden-kierrattamisen/>

¹⁷⁶ Esim. <https://polystyreneloop.eu/>

Perusura: Koska mineraalivilla- ja kevytsorasteollisuus ovat mukana EU:n päästökaupassa, sitä kautta päästöt alan alenevat vuodesta 2021 alkaen keskimäärin 2,2 % vuodessa kun vuosittainen päästökatto tiukentuu¹⁷⁷. Tämä tarkoittaisi vuoteen 2035 mennessä n. 28 % päästövähennystä. Tämä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi korvaamalla suurin osa fossiilisesta energiasta tuotannossa uusiutuvalla tai jättemateriaalilla. Mikäli sama 2,2 % päästökaton vuosittainen tiukennus olisi voimassa vuoteen 2050 saakka, se tarkoittaisi n. 49 % päästövähennystä päästökaupan kautta.

Vähähiilisyyskenaario: Mahdollisesti sulatusenergiamuodon vaihdoilla voitaisiin saavuttaa suuruusluokaltaan 50 % lisäpäästövähennys (luokkaa 20 kt CO₂) Suomen mineraalivillatuotannossa¹⁷⁸. Lasivillan tuotannossa sulatus tapahtuu jo pääosin sähköllä. Erilaisilla polttoainemuutoksilla ja energiatehokkuustoimilla voitaneen saavuttaa luokkaa 10-20 % lisäpäästösäästö. Arviot ovat hyvin karkeita. Uusien eristeiden ominaispäästökertoimia ei tässä vaiheessa voida arvioida.

3.7 Kivi- ja maa-ainekset

Kiviaineksia tarvitaan erityisesti liikenneväylien mutta myös rakennusten rakentamiseen sekä väylien ja piha-alueiden ylläpitoon (mm. liukkauden torjunta talvisin). Suomen maaperä ja ilmasto edellyttävät runsasta kiviainesten käyttöä, kun kaikki rakenteet ja rakennukset on perustettava routarajan alapuolelle. Kiveä käytetään myös rakennusmateriaalina (rakennuskivi), mutta tässä raportissa ei tarkemmin käsitellä tätä osa-aluetta, sillä sen volyymi on suhteessa pientä verrattuna kiviaineksen muuhun käyttöön.

Kivi- ja maa-ainekset

Käytön nykytila: kysyntä ja tarjonta

Kiviaineksia on käytetty Suomessa 2010-luvulla 130-145 miljoonaa tonnia vuodessa. Kiviaineksiin kuuluvat hiekka ja sora, kallioista louhitut jalostetut kiviainekset (murskeet ja sepelit), teolliset kiviainekset, joita valmistetaan esim. metallinjalostuksen kuonista ja kierrätyskiviainekset (esim. betonimurske).¹⁷⁹ Jalostetusta kiviaineksestä 10 % kuluu betonin ja 10 % asfaltin valmistukseen.^{180, 181}

¹⁷⁷ Laki päästökauppalaan muuttamisesta (291/2019)

¹⁷⁸ Karkea laskelma perustuen Paroc Oy:n ympäristöluvassa raportoituihin päästöihin; ks. myös https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/ets/allowances/docs/bm_study-mineral_wool_en.pdf

¹⁷⁹ Nippala (2019). Inframarkkina ja kiviaineksen käyttö Suomessa 2019-2020.

¹⁸⁰ <https://www.rakennusteollisuus.fi/INFRA/Tietoa-alasta/Louhintaja-kiviaines/>

¹⁸¹ Lonka H. et al. (2015). Kiviaines- ja luonnonkiviteollisuuden kehitysnäkymät. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 54/2015.

Kiviainesten tarpeisiin vaikuttavat rakennushankkeen muut materiaalivalinnat. Esimerkiksi radanrakennuksessa teräksisten ratapölkkyjen käyttö vähentää sepellystarvetta verrattuna puiisiin tai betoniin ratapölkkyihin¹⁸². Keskimäärin 20-30 % rakennus- tai infrahankkeessa tarvituista kiviainekista saadaan rakentamisaikalta ja loput tuodaan ulkopuolelta. Suomessa on runsaasti sekä sora-, hiekka- että kalliokiviainesvarantoja, mutta niiden laadussa ja riittävydessä on suuria alueellisia eroja. Käyttökelpoiset varannot eivät ole jakautuneet parhaalla mahdollisella tavalla sen suhteen, missä kiviainekista tarvitaan. Useiden suurten asutuskeskusten läheisyydessä on jo pulaa hyvälaatuisesta luonnonsorasta ja laadukkaasta kalliokiviaineksesta.¹⁸³

Tuotantoprosessin kuvaus ja CO₂-päästöjen syntymekanismit

Kiviainesten tuotantoprosessi riippuu siitä, onko kyseessä kallio- vai sora-alue. Kallioalueilla kiviaines irrotetaan poraamalla ja räjäyttämällä. Sen jälkeen kiviaines tarvittaessa murskataan, yhteen tai useampaan kertaan. Murskauslaitoksen energianlähteenä on sähkö, joka tuotetaan yleisimmin kevyttä polttoöljyä käyttävällä aggregaatilla tai liittymällä verkkovirtaan. Murskattu kiviaines seulotaan eri tuotteisiin. Soranoton yhteydessä kiviaines voidaan pelkästään seuloa eri jakeisiin ja poistaa hienoaines. Seulontalaitos käyttää energialähteenä sähköä, jota saadaan niinkään liittymällä verkkovirtaan tai aggregaatilla.¹⁸⁴

Kuljetukset muodostavat suuren osan kiviainesten päästöistä erityisesti tarvittavien massojen määrän mutta myös varantojen ja käyttökohteiden välisten etäisyyksien vuoksi. Kolmen eri tiehankkeen perusteella massojen kuljetus oli välillä 20-45 % hankkeen kokonaispäästöistä^{185, 186}. Aineksia pyritään jo kustannussyistä hyödyntämään mahdollisimman paikallisesti. Myös hankkeiden ylijäämämassoja joudutaan kuljettamaan läjitettäväksi (esim. tiehankkeissa n. 20 % tielinjan massoista läjitetään¹⁸⁷).

¹⁸² Valli R. et al. (2019). Infran ja väylänpidon vaikutus liikenteen kasvihuonekaasupäästöihin – Tilanekatsaus. Väyläviraston julkaisu 47/2019.

¹⁸³ Lonka H. et al. (2015). Kiviaines- ja luonnonkiviteollisuuden kehitysnäkymät. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 54/2015.

¹⁸⁴ Lonka H. et al. (2015). Kiviaines- ja luonnonkiviteollisuuden kehitysnäkymät. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 54/2015.

¹⁸⁵ Rapal Oy (2019) Päästölaskennan kehityshanke.

¹⁸⁶ Aulakoski A. et al. (2014). Panospohjaisen CO₂-laskennan pilotointi väylähankkeessa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 18/2014.

¹⁸⁷ Väyläviraston maantierakentamisen materiaalilasto 2010-2018 (saatu Tuula Säämäselältä 24.1.2020)

Jalostetun kiviaineksen päästökerroin on noin 2,3-2,9 kgCO₂/m³ (noin 1,5 kgCO₂/t) sisältäen louhinnan ja jalostuksen^{188, 189}. Soran päästökerroin on noin eri lähteiden mukaan 0,9-3,3 kgCO₂/t^{190,191}. Kuljetus rakennuspaikalle ei sisälly näihin kertoiimiin. Vaikka päästökerroin tonnia kohden on matala, tulee kiviainesten käytöstä huomattavat päästöt niiden suuren käyttömäärän vuoksi.

Tuotannon päästövähennysmahdollisuudet sekä arvio vaikutuksista ja toteutettavuudesta (sis. energiatehokkuus ja vaihtoehtoiset polttoaineet)

Kiviainesten tuotannon päästöjä voisi vähentää ennen kaikkea energiankäyttöä tehostamalla sekä vähäpäästöisiä polttoaineita tai sähköä suosimalla. Lisäksi kaikki kuljetusten vähennykset näkyvät suoraan päästöissä eli materiaalit kannattaa hyödyntää mahdollisimman pitkälti hankkeen sisällä tai hankkia mahdollisimman läheltä hanketta. Uusiomaa-ainesten käyttö on myös merkittävä päästösäästämöhdöllisyys, josta on tarkempaa tietoa myöhempänä tässä kappaleessa.

Tampereella tehdyssä rakennushankkeen esimerkkilaskennassa (Tesoman koulu) maamassat vietiin maankaatopaikalle, louhitusta kalliosta vain 40 % hyödynnettiin kohteen täytöissä ja loput täyttöjen kalliomurskeesta tuotiin kohteen ulkopuolella. Vaihtoehtoisessa tarkastelussa kaikki maamassat hyödynnettiin hankkeen sisällä eikä kalliomursketta tarvinnut tuoda hankkeen ulkopuolelta. Näillä toimilla hankkeen kuljetuspäästöjä saatiin vähennettyä 75 %.¹⁹²

Helsingissä Kivikon tieliittymähankkeessa (2014–2016) on toteutusvaiheessa tehdyillä ratkaisulla vähennettiin laskentojen mukaan infrarakentamisesta aiheutuneita päästöjä 50 %. Kivimurske korvattiin betonimurskeella, stabiloinnin sideaine optimointiin, massoja hyötykäytettiin kohteessa sekä louhetta murskattiin työmaalla.¹⁹³

Nykyiset esteet päästövähennystoimien toteuttamiselle

Esteitä päästövähennysten toteuttamiselle ovat mm. vaihtoehtoisten polttoaineiden hinta sekä laadukkaiden kiviainesten saatavuus. Kuljetusyrietykset eivät tiukan hintakilpailun vuoksi pysty hankkimaan uutta, vähäpäästöisempää kalustoa tai biopolttoaineita, jos tätä ei kilpailutuksissa edellytetä. Yrietykset ajavat esim. kiviainesten ottoaikkojen merkitsemistä kaavaan, lähelle tulevia rakentamispaiikkoja. Näin kiviaineksen kuljetuksista aiheutuvat raskaan liikenteen päästöt vähenisivät ja rakentamisen hinta alenisi.¹⁹⁴

¹⁸⁸ Aulakoski A. et al. (2014). Panospohjaisen CO₂-laskennan pilotointi väylähankkeessa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 18/2014.

¹⁸⁹ Väyläviraston päästökerrointietokanta (saatu Ari Huomolta 6.2.2020). Tietokanta on kuvattu raportissa Rapal Oy (2019) Päästölaskennan kehityshanke.

¹⁹⁰ Väyläviraston päästökerrointietokanta (saatu Ari Huomolta 6.2.2020). Tietokanta on kuvattu raportissa Rapal Oy (2019) Päästölaskennan kehityshanke.

¹⁹¹ VTT (2013). Carbon footprint for building products ECO₂ data for materials and products with the focus on wooden building products

¹⁹² Rauhala K. Kiertotalous rakentamisessa – Tampere. Esitys (saatu Juha Laurilalta Infra ry:stä 18.12.2019).

¹⁹³ ROTI – Rakennetun omaisuuden tila 2019

¹⁹⁴ <https://www.rakennusteollisuus.fi/INFRA/Tietoa-alasta/Louhinta-ja-kiviaines/>

Uusiomateriaalien käyttöä rajoittaa lainsäädäntö, koska kaivetut maa-ainekset luokitellaan jätteeksi (ks. lisätietoa seuraavana). Puhtaita kaivumaita ei luokitella jätteeksi jos ne hyödynnetään samalla työmaalla tai viedään suoraan hyötykäyttöön toiselle työmaalle.

Materiaalin kysynnän hallinta

Luonnon kiviaineksia voidaan korvata uusiomateriaaleilla, joita saadaan ylijäämämaista, teollisuuden sivutuotteista ja jätteistä, lievästi pilaantuneista maista sekä vanhojen maarakenteiden materiaaleista. Niitä voidaan käyttää maarakentamisessa joko sellaisenaan tai komponentteina korvaamaan neitseellisiä kiviaineksia tai parantamaan niiden ominaisuuksia.¹⁹⁵ Esimerkiksi Suomen tierakentamisessa vuonna 2018 vajaa 9 % (0,14 milj. tonnia) tielinjan ulkopuolisista maa-aineksista oli sivutuotteita. Tästä tuhkaa ja kuonaa on ollut keskimäärin 48 % (vuosien 2010-2018 keskiarvo), betonia 39 % ja muita sivutuotteita 13 %.¹⁹⁶

Suomessa syntyy vuosittain kymmeniä miljoonia tonneja maarakentamiseen sopivia uusiomateriaaleja. Uusiomateriaalien hyötykäyttämiseksi maarakentamisessa tarvitaan ympäristölainsäädännön lupa- tai rekisteröintimenettelyjä. Helppoiten hyödynnettävissä ovat MARA-asetuksen mukaiset esimerkiksi teollisuuden sivutuotteina syntyvät hyödyntämiskelpoiset jätteet. Uusiomateriaalien käyttöä voidaan lisätä merkittävästi materiaaleja tuotteistamalla ja kaupallistamalla sekä rakentamistekniikkaa, suunnittelua ja hankintamenettelyä kehittämällä.¹⁹⁷

Uusiomateriaalien keräys olisi järkevä aloittaa ajoissa, kun tiedetään tulossa olevasta rakennushankkeesta. Käytännön haaste on se, että urakan kilpailutuksen ratketessa kerääminen on usein jo myöhäistä eli materiaalien keräämisen vastuu pitäisi olla riippumaton urakan toteuttajasta.

Tampereella tehdyissä esimerkkilaskelmissa katuhankkeessa (Kauhakorvenkatu) käytettyjen kiviainesten päästöjä olisi voitu vähentää 42 % korvaamalla hiekka pohjatuhkalla ja lisäksi jakavan kerroksen murskeesta 80 % sekä muualta tuotu kiviaines massanvaihdon täytössä betonimurskeella. Lisäksi laskelmassa oletettiin jäljelle jäävä neitseellinen kiviaines tuotavan 20 km etäisyyden sijasta 3 km etäisyydeltä (kierrätysmateriaali 20 km etäisyydeltä).¹⁹⁸

Uusiomateriaalien käyttö saattaa kuitenkin toisaalta joskus nostaa hankkeen hiilidioksidipäästöjä, jos jatkojalostuksessa syntyy paljon päästöjä verrattuna neitseellisen materiaalin käyttöön. Myös jätevero voi johtaa erittäin pitkiin kuljetuksiin ja lisätä siten ympäristövaikutuksia, ja tämän vuoksi jäteveroa olisi mahdollisesti hyvä sopeuttaa paremmin uusiokäytön tapauksiin. Resurssitehokkuutta tulisi näistä syistä arvioida nämä ristiriidat huomioiden, tai esimerkiksi koko organisaation kaikkien hankkeiden tasolla eikä yksittäisen hankkeen osalta.¹⁹⁹

Resurssitehokkuus ja kierrätys

¹⁹⁵ <http://www.uusiomaarakentaminen.fi/>

¹⁹⁶ Väyläviraston maantierakentamisen materiaalitilasto 2010-2018 (saatu Tuula Säämäselältä 24.1.2020)

¹⁹⁷ <http://www.uusiomaarakentaminen.fi/>

¹⁹⁸ Rauhala K. Kiertotalous rakentamisessa – Tampere. Esitys (saatu Juha Laurilalta Infra ry:stä 18.12.2019).

¹⁹⁹ Mannola (2019). Väylänpidon hiilijalanjälki ja sen laskeminen. Väyläviraston julkaisuja 50/2019.

Kuten aiempaan todettu, maa-aineksia voi käyttää uudelleen sekä hankkeen sisäisesti että lähellä olevissa hankkeissa. Käyttö on kuitenkin tarkkaan säädeltyä lainsäädännössä, koska kaivetut maa-massat luokitellaan jätteiksi. Massojen hyödyntäminen kaivuualueella ja muualla kuin kaivuualueella tulee kuulumaan ns. MASA-asetuksen soveltamisalaan. MASA-asetus eli valtioneuvoston asetus maa-ainejätteen hyödyntämisestä maarakentamisessa on YM:ssä valmisteluvaiheessa ja se annettaneen vuoden 2020 aikana.^{200, 201}

Hiilen talteenoton, sidonnan ja varastoinnin mahdollisuudet

Kiviaineissa on teoreettinen hiilen sidonnan potentiaali, jos kiihdytettyä rapautumista (enhanced weathering) hyödynnettäisiin ja kytkettäisiin viljelysmaiden tai maarakentamisen toimiin. Kansainvälisissä tutkimuksissa esitetään tälle aika isojakoinen hiilensidonta-arvioita. Suomessakin on tähän sopivia kivilajeja (mm. oliiviini). Esim. Outokumpu-Kainuu oliiviini-vyöhykkeen hiilensidontapotentiaali on arviolta 2-3 GtCO₂²⁰².

Alustava arvio päästöjen kehittämisestä 2035 ja 2050

Alla olevat alustavat arviot on tehty olemassa olevien case-tarkastelujen pohjalta (kuvattu aiemmin tässä kappaleessa). Arviot ovat hyvin karkealla tasolla tässä vaiheessa ja voivat muuttua tarkempien laskelmien myötä. Kuljetusten päästöjä ei ole huomioitu päästökehityksen arvioinnissa.

Perusura: Päästöjen väheneminen 10 % 2035 mennessä ja 25 % 2050 mennessä.

Vähähiilisyyskkenaario: Päästöjen väheneminen 25 % 2035 mennessä, kun uusiomateriaalien hyödyntämistä lisätään nopeasti. Päästöjen väheneminen 50 % 2050 mennessä.

3.8 Asfaltti

Asfaltti

Käytön nykytila: kysyntä ja tarjonta

Asfalttia käytetään teiden päällysteenä sekä kaduilla, pihalla ja parkkialueilla. Esimerkiksi maantieverkkoa (valtion tieverkko) on päällystetty vuosittain 1700-3200 km 2010-luvulla²⁰³.

²⁰⁰ Nippala (2019). Inframarkkina ja kiviainekäyttö Suomessa 2019-2020.

²⁰¹ https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Ymparistonsuojelun_valmistella_oleva_lainsaadanto/Jatteiden_hyodyntaminen_maarakentamisessa

²⁰² YM:n välittämä tieto perustuen Åbo Akademin tutkimukseen.

²⁰³ Sähköpostitiedonanto Magnus Nygårdilta 3.2.2020

Suomessa asfaltin tuotanto on ollut viime vuosina noin 6 miljoonaa tonnia vuodessa (5,5 Mt vuonna 2019)^{204, 205}. Vanhaa asfalttia talteen otettiin kierrätystä varten vuonna 2018 1,3 Mt²⁰⁶. Vuosittainen käytöstä poisto on kuitenkin tätä enemmän, osa vanhasta asfaltista käytetään maarakentamiseen (MARA sallii 1000 t/kohde ja ympäristöluvalla suuremmat määrät).

Tuotantoprosessin kuvaus ja CO₂-päästöjen syntymekanismit

Asfaltti on suurimmalta osaltaan kivimursketta, jossa sideaineen eli bitumin osuus on noin 5 %. Bitumi tislataan raakaöljystä öljynjalostamoissa. Bitumia esiintyy myös luonnossa sellaisenaan ns. luonnonasfalttina. Asfaltin valmistuksessa käytettävä kiviaines on pääasiassa kalliomursketta. Jonkun verran käytetään myös luonnonsoraa tai hiekkaa. Joihinkin asfalttilaatuihin lisätään täyteaineksi kalkkikiveä tai kivituhkaa, polymeerejä, kuituja tai asfaltin kiinnittymistä edistäviä ainesosia.²⁰⁷

Asfalttia valmistetaan asfalttiasemilla sekoittamalla kuumennettuun kiviainekseen juoksevaksi lämmitettyä bitumia. Huoneenlämmössä bitumi on kiinteä tai puolikiinteä materiaali, joka lämmitettäessä notkistuu ja kuumana muuttuu juoksevaksi. Asfaltin normaalissa valmistuslämpötilassa 100–180 °C:ssa bitumi sekoittuu tasaisesti kiviainekseen.²⁰⁸ Asfalttiaseman energiankulutus muodostaa noin 70 % asfalttimassan päästöistä (polttoaineena yleisimmin raskas polttoöljy)²⁰⁹. Asfalttiaseman energiankulutus vastaa yleensä suurimmasta osasta asfalttipäällysteiden hiilijalanjälkeä. Muita kuin (raskasta) polttoöljyä käyttäviä asemia on vielä verrattain vähän, ja ne ovat sijoittuneet maakaasuverkon varrelle.²¹⁰ Bioperäisten öljyjen käyttöön sopisi samankaltainen prosessi kuin fossiiliselle öljylle, mutta biopolttoaineiden saatavuus ja hinta rajoittavat käyttöönottoa. Myös propaanin käyttöön on tekniikka olemassa, mutta käyttöönottoa hidastaa hidas lupaprosessi. Valmis asfalttimassa kuljetetaan kuumana asfalttiasemalta kohteeseen, levitetään asfaltinlevittimellä 20–80 mm paksuiseksi päällystekerrokseksi ja tiivistetään jyrällä. Asfalttipäällyste on jäähtyttyään valmis käyttöön ja liikennöitäväksi.²¹¹

²⁰⁴ Infra ry. Asfaltin massatilastot 2019.

²⁰⁵ EAPA. Asphalt in figures 2018.

²⁰⁶ EAPA. Asphalt in figures 2018.

²⁰⁷ PTL (2012). Uusioasfalttiesite. Saatavilla: <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/tietoa-ja-tilastoja/uusioasfalttiesite.pdf>

²⁰⁸ <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/tietoa-ja-tilastoja/uusioasfalttiesite.pdf>

²⁰⁹ Aulakoski A. et al. (2014). Panospohjaisen CO₂-laskennan pilotointi väylähankkeessa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 18/2014.

²¹⁰ Merenheimo T. et al. (2020). Energiankulutusta ja kasvihuonepäästöjä vähentävien vaatimusten kehittäminen päällystehankinnoissa. Väyläviraston julkaisuja 1/2020.

²¹¹ <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/tietoa-ja-tilastoja/uusioasfalttiesite.pdf>

Tiehankeissa päällysteiden osuus koko hankkeen CO₂-päästöistä on suunnilleen 10-15 %²¹². Skanskan tutkimuksen mukaan asfalttoinnin päästöistä keskimäärin 57 % syntyy asfalttiaseman energiankulutuksesta, 39 % raaka-aineiden tuotannosta ja 4 % työkoneista levitystyömaalla. Kuljetusta työmaalle ei ole huomioitu luvuissa, koska se riippuu pääosin asfalttiaseman ja työmaan etäisyydestä. Asfalttiaseman päästöistä kiviaineksen kuumennus aiheuttaa 45 %, kiviaineksen kuivaus 30 %, lämpösaiteily 18 % ja varailman lämmitys 7 % CO₂-päästöistä. Raaka-aineista bitumi vastaa 68 % päästöistä, kiviaineksen murskaus 16 % ja raaka-aineiden kuljetukset 16 % päästöistä. Päästöjä on Skanskan mukaan pystytty vähentämään yhteensä 18 % seuraavilla toimilla: asfalttimassan lämpötilan lasku 30 asteella (5 % vähennys asfalttiaseman päästöissä), kosteusprosentin muutos yhdellä prosenttiyksiköllä (3 % vähennys asfalttiaseman päästöissä) sekä uusien asfalttiasemien parempi eristäminen (2 % vähennys asfalttiaseman päästöissä) sekä nostamalla kierrätysmateriaalin osuus 40 %:iin (30 % vähennys raaka-aineiden päästöissä).²¹³ Uusioasfaltin käyttö vähentää myös kuljetustarvetta.

Valmiin asfalttibetonin (yleisin päällystelaji) päästökerroin ilman kuljetusta ja työmaatoimintoja on nykyisin 36-39,5 kgCO₂/t^{214, 215}. Matalalämpöasfaltilla ja keskimääräistä korkeammalla kierrätysasfaltin osuudella arvioitu päästö on n. 30 kgCO₂/t ja biopolttoaineita käyttämällä tätäkin alempi.

Tuotannon päästövähennysmahdollisuudet sekä arvio vaikutuksista ja toteutettavuudesta (sis. energiatehokkuus ja vaihtoehtoiset polttoaineet)

Matalammassa lämpötilassa (alle 140 tai 150 astetta) valmistettua asfalttia kutsutaan matalalämpöasfaltiksi. Viskositeetin laskemisessa pääasiallinen menetelmä on vaahdotus. Suomessa tehdyissä kokeiluissa on jo todettu hyvissä olosuhteissa ja suhteellisen matalilla kierrätysasfalttiosuuksilla voitavan saavuttaa laadultaan normaaleja päällysteitä vastaavaa laatua.²¹⁶ Viskositeettia voidaan vaihtoehtoisesti laskea käyttämällä erilaisia orgaanisia ja epäorgaanisia lisäaineita, mutta tämä saattaisi rajoittaa tulevaisuudessa asfaltin uusiokäyttöä. Pohjoismaissa näiden käyttö onkin jäänyt kokeiluasteelle.

Mm. Norjassa panostetaan voimakkaasti matalalämpöasfaltin lisäämiseen. Tavoite on valmistaa 40 % asfalttipäällysteistä matalalämpöteknikalla (vaahdotuksella) vuonna 2020. Myös Ruotsissa matalalämpöasfalttia käytetään jo yleisesti. Suomessa käyttö on ollut vielä vähäistä. Paraikaa Suomessa laaditaan PANK:in Ympäristövaliokunnan ja Asfalttinormitoimikunnan yhteistyönä säännöstöä matalalämpöasfaltin käytölle.

²¹² Rapal Oy (2019). Päästölaskennan kehityshanke.

²¹³ Hirvilammi V. (2019) CO₂-päästöjen vähentäminen asfalttointiprosessissa. Esitys Yhdyskuntateknikka 2019 -messuilla. Saatavilla: https://www.tieyhdistys.fi/site/assets/files/1745/co2_-_paastojen_vahentaminen_asfalttointiprosessissa_ville_hirvilammi.pdf

²¹⁴ Aulakoski A. et al. (2014). Panospohjaisen CO₂-laskennan pilotointi väylähankkeessa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 18/2014.

²¹⁵ Väyläviraston päästökerrointietokanta (saatu Ari Huomolta 6.2.2020). Tietokanta on kuvattu raportissa Rapal Oy (2019) Päästölaskennan kehityshanke.

²¹⁶ Merenheimo T. et al. (2020). Energiankulutusta ja kasvihuonepäästöjä vähentävien vaatimusten kehittäminen päällystehankinnoissa. Väyläviraston julkaisuja 1/2020.

Nykyiset asfalttinormit sallivat kulutuskerroksissa käytettävän 50 % asfalttirouhetta. Vilkasliikenteisten teiden kulutuskerroksessa ei tilaaja (Väylä / ELY-keskukset) ole kuitenkaan välttämättä sallinut käytettävän asfalttirouhetta, mikäli tiedossa on ollut tietä tultavan lähtökoisesti korjaamaan uusiomenetelmillä, kuten remix-menetelmällä. Muissa sidotuissa rakennekerroksissa sallitaan nykyisellään 70 % rouhetta. Todellisuudessa on käynyt ilmi, että joissakin urakoissa on voitu asettaa asfalttinormeissa kuvattuja käyttömääriä tiukempia vaatimuksia rouheen käytölle ilman yhtenäistä linjausta.²¹⁷

Esim. Skanska on Ruotsissa lanseerannut asfalttituotteen, jossa kierrätysmateriaalin osuus on perinteistä korkeampi (65–80 %) ja joka on tuotettu uusiutuvalla energialla. Päälyste soveltuu vähäliikenteisille teille, joilla vuoden keskimääräinen päivittäinen liikennemäärä on alle 2000 ajoneuvoa. Tuotteen hiilidioksidipäästöt ovat Skanskan mukaan 75 % matalammat kuin perinteisen, fossiilisilla polttoaineilla tuotetun asfaltin.²¹⁸ Vastaavia ratkaisuja on muillakin urakoitsijoilla.

Polttoainetta vaihtamalla asfalttiaseman fossiilisia CO₂-päästöjä voitaisiin merkittävästi pienentää (neste- tai maakaasua käyttämällä) tai jopa nollata ne (biopolttoainetta käyttämällä)²¹⁹.

Nykyiset esteet päästövähennystoimien toteuttamiselle

Asfalttiasemien vaihtoehtoiset polttoaineet aiheuttavat lisäkustannuksia ja investointikustannuksia²²⁰. Raskas polttoöljy on edullisin vaihtoehto ja hinta ratkaisee kilpailutukset. Muutoksen pitäisi alkaa yhteisistä pelisäännöistä (lainsäädännöstä), jotta säännöt ja tavoitteet olisivat kaikille toimijoille samat.²²¹ Lisäksi urakka-asiakirjoissa olisi mahdollista asettaa minimivaatimuksia urakan osalta mm. biopolttoaineen käytölle sekä kuljetus- ja levityskalustolle.

Materiaalin kysynnän hallinta

Maaperän routiminen ja tieverkoston suuri korjausvelka pitävät yllä suurta kysyntää asfaltille. Hyvä asfalttipäälyste on myös liikenteen energiakäytön kannalta tehokkain ratkaisu sillä hyvällä päälysteellä autojen vierintävastus ja siten polttoainekulutus on pienempi (n. 5 % pienempi kulutus²²²).

Materiaalia voi lähinnä korvata kierrättämällä vanhaa asfalttia mahdollisimman tehokkaasti uusioasfalttiin.

²¹⁷ Merenheimo T. et al. (2020). Energiankulutusta ja kasvihuonepäästöjä vähentävien vaatimusten kehittäminen päällystehankinnoissa. Väyläviraston julkaisuja 1/2020.

²¹⁸ Merenheimo T. et al. (2018). Ympäristönäkökohtien huomioiminen päällystehankintojen kehittämisessä. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 61/2018.

²¹⁹ Hirvilammi V. (2019) CO₂-päästöjen vähentäminen asfaltointiprosessissa. Esitys Yhdyskuntatekniikka 2019 -messuilla. Saatavilla: https://www.tieyhdistys.fi/site/assets/files/1745/co2_-_paastojen_vahentaminen_asfaltointiprosessissa_ville_hirvilammi.pdf

²²⁰ Merenheimo T. et al. (2020). Energiankulutusta ja kasvihuonepäästöjä vähentävien vaatimusten kehittäminen päällystehankinnoissa. Väyläviraston julkaisuja 1/2020.

²²¹ Hirvilammi V. (2019) CO₂-päästöjen vähentäminen asfaltointiprosessissa. Esitys Yhdyskuntatekniikka 2019 -messuilla. Saatavilla: https://www.tieyhdistys.fi/site/assets/files/1745/co2_-_paastojen_vahentaminen_asfaltointiprosessissa_ville_hirvilammi.pdf

²²² <https://www.eupave.eu/resources/road-pavement-industries-highlight-huge-co2-savings-offered-by-maintaining-and-upgrading-roads-by-eupave-eapa-fehrl/>

Resurssitehokkuus ja kierrätys

Lähes kaikki vanha asfaltti on 100 % kierrätyskelpoista. Poikkeuksen tekevät vanhat terva-asfaltit ja tietyt likaantuneet tai saastuneet asfalttipäällysteet, jotka täytyy kuljettaa jätteiden vastaanottoalueelle ja käsitellä erikoismenetelmin. Poistettu asfaltti otetaan talteen ja kuljetetaan lähimmälle asfalttiasemalle tai muulle tarkoitukseen sopivalle vastaanotto paikalle. Asfalttiasemalla käytetty asfaltti murskataan ja rouhe käytetään uuden asfalttimassan valmistamiseen. Osa kerätystä vanhasta asfaltista uusiokäytetään tie- ja pohjarakentamisen materiaaliksi MARA-asetuksen tai ympäristöluvan edellyttämällä tavalla.²²³

Kierrätysasfaltti on arvokas raaka-aine asfaltin valmistuksessa, koska siinä on paljon bitumia. Bitumi on asfaltin kallein komponentti. Kierrätysasfaltin kuumentaminen ja uudelleen käyttäminen on yksinkertaista. Jos vanhan asfaltin kuljetusmatka pysyy kohtuullisena, asfaltin kierrätys uusioasfaltiksi on myös päästöjen kannalta paras vaihtoehto.²²⁴

Uusiokäytön menetelmiä²²⁵:

- Kuumakierrätyksessä asfalttirouhe kuumennetaan ja käytetään uuden asfaltin raaka-aineena. Käytettäessä suuria määriä vanhaa asfalttia asfalttirouhe on kuumennettava ennen muihin raaka-aineisiin sekoittamista.
- Paikalla kierrätyksessä (in-situ) käytetään remix- laitteistoa, jolla tien vanha asfalttipinta kuumennetaan ja jyrsitään. Jyrsitettyyn, kuumaan kierrätysrouheeseen sekoitetaan uutta asfalttia tasaiseksi seokseksi, joka levitetään takaisin asfaltoitavalle pinnalle. Paikalla kierrättäminen on tehokkainta suurilla, yhtenäisillä tienpäällystystyömailla. Uutta, paljon kierrätysmateriaalia sisältävää asfalttipintaa syntyy tehokkaasti ja nopeasti. Logistiikkakustannuksissa ja -päästöissä säästetään merkittävästi. Yleistyneissä remix-käsittelyissä vanhan päällysteen osuus on jopa 80–90 %²²⁶.
- Joissakin tapauksissa käytetään ns. kylmäkierrätystä. Bitumiemulsioiden avulla voidaan kylmää kierrätysasfalttia sekoittaa kylmään kiviainekseen massaksi, jota voidaan käyttää tien rakenteen parantamiseen.

Hiielen talteenoton, sidonnan ja varastoinnin mahdollisuudet

Ei ole.

Alustava arvio päästöjen kehittymisestä 2035 ja 2050

²²³ PTL (2012). Uusioasfalttiesite. Saatavilla: <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/tietoa-ja-tilastoja/uusioasfalttiesite.pdf>

²²⁴ PTL (2012). Uusioasfalttiesite. Saatavilla: <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/tietoa-ja-tilastoja/uusioasfalttiesite.pdf>

²²⁵ PTL (2012). Uusioasfalttiesite. Saatavilla: <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/tietoa-ja-tilastoja/uusioasfalttiesite.pdf>

²²⁶ <https://www.rakennusteollisuus.fi/INFRA/Tietoa-alasta/Purku-ja-kierratys/>

Alla olevat alustavat arviot on tehty olemassa olevien case-tarkastelujen pohjalta (kuvattu aiemmin tässä kappaleessa). Arviot ovat hyvin karkealla tasolla tässä vaiheessa ja voivat muuttua tarkempien laskelmien myötä. Kuljetusten päästöjä ei ole huomioitu päästökehityksen arvioinnissa.

Perusura: Päästöjen väheneminen 15 % 2035 mennessä ja 30 % 2050 mennessä.

Vähähiilisyyskenaario: Päästöjen väheneminen 30 % 2035 mennessä, kun asfalttiasemat muutetaan nopeasti toimimaan päästöttömällä energialla ja kierrätysmateriaalin käyttöä lisätään nopeasti. Lisäksi matalalämpöasfalttia otetaan käyttöön perusuraa nopeammassa aikataulussa ja kuljetuksissa hyödynnetään enemmän biopolttoaineita. Päästöjen väheneminen 75 % 2050 mennessä.

3.9 Muut infrarakentamisen materiaalit

Muut infrarakentamisen materiaalit

Käytön nykytila: kysyntä ja tarjonta

Yhdyskuntatekniikan materiaaleissa merkittävimmät päästölähteet ovat alumiini, teräs, muovi ja betoni. Betoni ja teräs on käsitelty jo luvuissa 3.2 ja 3.3. Viherrakentaminen on rajattu pois raportin tarkastelusta.

Suomessa käytetään **muoveja** tuotteiden valmistukseen noin 600 000 tonnia vuodessa²²⁷, josta 20% menee rakentamiseen²²⁸. Yhdyskuntatekniikan rakentamisessa muoveja käytetään sähkö-, kaukolämpö- ja vesijohtoverkkojen rakentamisessa. Sähköverkkojen rakentamisessa muovia käytetään johtojen eristeenä. Maailman raakaöljyn kulutuksesta n. 4-6 % käytetään muovituotteiden valmistukseen. Kun raakaöljystä valmistetaan polttoaineita, tuotannon yhteydessä syntyy hiilivetyjä, monomeereja (eteeni, propeeni jne). Muoveja valmistetaan näitä pienimolekyylisistä orgaanisista yhdisteistä polymeroimalla eli liittämällä samanlaisia toistuvia yksiköitä (esim. eteeni) peräkkäin pitkiksi ketjuiksi, erittäin suuriksi molekyyliksi (polyeteeni).²²⁹

Alumiinia käytetään sähköverkoissa johtimina. Sähköverkot ovat tärkeä tekijä Suomen huoltovarmuudessa, kuten myös kaukolämpöverkot ja vesijohtoverkot. Vuonna 2013 voimaan tullut sähkömarkkinalaki 588/2013 edellyttää sähköjakeluverkkojen toimitusvarmuuden parantamista. Sähkömarkkinalaissa määrätään, että asemakaava-alueella verkon käyttäjälle ei saa aiheutua yli 6 tuntia kestävä sähköjakelun keskeytystä. Laissa on myös asetettu siirtymäsäännös jakeluverkon toimintavarmuudelle siten, että vuoden 2019 loppuun mennessä 50 prosentilla jakeluverkon kaikista käyttäjistä, pois lukien vapaa-ajan asunnot, on toimitusvarmaa sähköä. Vuoden 2023 loppuun mennessä vastaava tavoite on 75 prosenttia.²³⁰

²²⁷ <https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/>

²²⁸ Häkkinen, Kuittinen & Vares (2019) *Plastics in buildings – A study of Finnish apartment buildings and day-care centre*. Ministry of the Environment

²²⁹ <https://plasthouse.fi/mista-muovit-valmistetaan-ja-miten-biomuovit-siihen-liittyy/>

²³⁰ Sähkömarkkinalaki 588/2013

Suomessa ei valmisteta primääristä alumiinia, mutta romualumiinia kerätään ja sulatetaan jatko-työstöä varten. Alumiinia valmistettiin Euroopassa 2179 kt (vuonna 2016), mutta suurin osa alumiinin tuotannosta on tällä hetkellä Kiinassa (55%)²³¹. Alumiinin tuotannon päästöt olivat Euroopassa 492 kgCO₂eq/t²³².

Tuotantoprosessin kuvaus ja CO₂-päästöjen syntymekanismit

Alumiinin tuotanto:

Alumiinia valmistetaan bauksiitista yleisimmin ns. Hall–Héraultin menetelmällä, jossa 950-asteiseksi kuumennettuun alkuainealumiiniliuokseen johdetaan sähkövirtaa. Liuoksessa käytetään hiilimateriaalia sähkövirran johtamiseen. Hiili palaa prosessissa. Tuloksena syntyy puhdasta alumiinia ja hiilidioksidia.

Muovin tuotanto:

Muovit ovat pääosin petrokemian tuotteita. Ne valmistetaan polttoaineiden tuotannosta ylijäävistä hiilivetyvirroista polymeroimalla niitä eli liittämällä samanlaisia molekyyliä pitkiä ketjuiksi.²³³

Muovilaatuja valmistetaan useita erilaisia. Valtamuovit käsittävät noin 75% kaikesta muovin tuotannosta. Polyeteeni PE (eri laatusena) n. 30%, Polypropeeni PP n. 20%, Polyvinyylikloridi PVC n. 10%, Polyeteenitereftalaatti PET n 7% ja Polystyreeni PS n. 7%. Näistä laaduista perinteisesti öljy- ja maakaasupohjaisia ovat PE, PP ja PS. PVC:n merkittävin raaka-aine on ruokasuola.²³⁴

Euroopassa muovintuotannosta aiheutui vuonna 2017 132 MtCO₂eq²³⁵ päästöjä, kun EU:ssa koko tuotantosektorin päästöt olivat vuonna 2018 800 MtCO₂eq²³⁶. Yleisimpien muovien päästökertoimet ovat seuraavat: PE 2600-3177 kgCO₂eq/t (riippuen yhdisteestä), PP 3072 kgCO₂eq/t, PVC 3413 kgCO₂eq/t, PET 4052 kgCO₂eq/t, PS 3777 kgCO₂eq/t²³⁷.

Tuotannon päästövähennysmahdollisuudet sekä arvio vaikutuksista ja toteutettavuudesta (sis. energiatehokkuus ja vaihtoehtoiset polttoaineet)

Päästövähennysmahdollisuuksia käsitellään erityisesti kemianteollisuuden ja teknologiateollisuuden hiilitekarttatyössä, joten tässä raportissa ei käsitellä yksityiskohtaisesti tuotannon päästövähennyspotentiaalia.

Muoveja voidaan valmistaa biopohjaisista raaka-aineista tai lisätä muovin kierrätystä, siten että muoveista saadaan suljettu kierto.²³⁸

²³¹ Sitra (2018) The circular economy - a powerful force for climate mitigation

²³² <https://www.european-aluminium.eu/data/environmental-data/greenhouse-gas-emissions-in-the-aluminium-industry/>

²³³ <https://plasthouse.fi/mista-muovit-valmistetaan-ja-miten-biomuovit-siihen-liittyy/>

²³⁴ <https://plasthouse.fi/mista-muovit-valmistetaan-ja-miten-biomuovit-siihen-liittyy/>

²³⁵ <https://www.statista.com/statistics/1046028/net-co2-plastics-emissions-in-the-eu/>

²³⁶ <https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>

²³⁷ <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2019>

²³⁸ Haastattelu Muoviteollisuus ry 26.2.2020

Muoveja voidaan valmistaa myös muistakin hiilivedyistä, joita saadaan biologisista prosesseista.²³⁹ Muovien osalta päästöjä voidaan vähentää seuraavilla keinoilla²⁴⁰:

1. Valmistamalla muovia biomassasta (esim. metsäteollisuuden jätteiden hyödyntäminen)
2. Kiertotalouden avulla (tunnetut jätehierarkian mukaiset toimet ja kemiallisen kierrätyksen kautta orgaanisten jätevirtojen hyödyntäminen)
3. Valmistamalla muovia synteettisinä hiilivetyinä (vety + hiilidioksidi reitti)

Biopohjaisia muoveja valmistetaan esimerkiksi sokerista, maissista, viljoista, selluloosasta, risiiniöljystä ja maidosta. Yleisistä muovilaaduista (joita tyypillisesti valmistetaan fossiilisista lähteistä) tänä päivänä teollisessa mittakaavassa valmistetaan myös biopohjaisina esim. polyeteeniä (sokeriruoko) ja polyamidia (risiiniöljy).²³⁹ Biopohjaisia muoveja on vielä toistaiseksi vain alle 1% muovintuotannosta. Toisaalta öljynjalostuksen sivutuotteet hyödynnetään muovinvalmistuksessa.²⁴¹ Kierrätysmuoveilla voidaan vähentää 90% muovintuotannon päästöistä.²⁴³

Alumiinille on kehitetty hiilivapaa valmistusprosessi, jota käytetään Kanadassa²⁴². Valmistusprosessissa vapautuu hiilidioksidin sijaan hapetta ja siinä käytetään sähköä.

Kierrätetyn alumiinin valmistus vaatii vain 5% energiasta verrattuna neitseelliseen raaka-aineen käyttöön ja päästöt vähenisivät 98% käyttämällä kierrätettyä alumiinia. Lisäksi alumiinituotannon päästöt pienenevät jos käytetään fossiilivapaata energiaa, sillä alumiinin valmistus on energiain-
tensiivistä. Alumiinihukkaa syntyy 25-30%, joten hukkan vähentämisellä vähennetään myös päästöjä.²⁴³

Nykyiset esteet päästövähennystoimien toteuttamiselle

Esteitä päästövähennysten toteuttamiselle ovat mm. vaihtoehtoisten materiaalien saatavuus, sekä tuotantolinjojen joustamattomuus vaihtaa esimerkiksi biopohjaisiin raaka-aineisiin.

Päästövähennystoimia ja niiden esteitä tarkastellaan kemianteollisuuden ja teknologiateollisuuden tiekarttatyössä. Muovien osalta esteenä on raaka-aineen riittävyys, jos siirrytään biopohjaisiin muoveihin. Suljetussa kierrossa ongelmaksi muodostuu energian/sähkön riittävyys²⁴⁴. Keskeisiä esteitä muovin päästöjen vähentämiselle on teknologian kannattavuus ja kypsymättömyys²⁴⁵.

Alumiinin osalta keskeisintä on parantaa kierrätettävyyttä ja materiaalivirtojen hukkaa²⁴⁶.

Materiaalien kysynnän hallinta

²³⁹ <https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/>

²⁴⁰ Tietopyyntö Kemianteollisuus ry Rasmus Pinomaa 28.02.2020

²⁴¹ <https://plasthouse.fi/mista-muovit-valmistetaan-ja-miten-biomuovit-siihen-liittyy/>

²⁴² <https://news.alcoa.com/press-release/alcoa-and-rio-tinto-announce-worlds-first-carbon-free-aluminum-smelting-process>

²⁴³ Sitra (2018) The circular economy - a powerful force for climate mitigation

²⁴⁴ Haastattelu Muoviteollisuus ry 26.2.2020

²⁴⁵ Tietopyyntö Kemianteollisuus ry Rasmus Pinomaa 28.02.2020

²⁴⁶ Sitra (2018) The circular economy - a powerful force for climate mitigation

Alumiinin ja muovin vähentämiseen infrarakentamisessa on vain vähän vaihtoehtoja. Yhdyskunta-tekniikan rakentaminen on huoltovarmuustekijä, joten käytön vähentäminen ei ole todennäköistä.

Alumiinin käyttö sähköjohtojen johtimina ja muovin eristemateriaalina on vain vähän vaihtoehtoja korvaamiseen. Keskeisimpiä toimenpiteitä olisi valmistaa materiaaleja hiilineutraalilla tavalla ja vaikuttaa siten infrarakentamisen päästöihin.

Resurssitehokkuus ja kierrätys

Muovia kierrätetään tällä hetkellä jo, tällä hetkellä muovista kierrätetään 65-70%²⁴⁷. Kierrätysmuovien käyttö rakennusmateriaalien valmistuksessa on vielä vähäistä²⁴⁸. Kierrätysmuovien käytöllä voidaan vähentää päästöjä 90%²⁴⁶.

Alumiinista kierrätetään 3/4 Suomessa, mutta sen kierrätyskelpoisuus on 100%. Kierrätysalumiinin käytöllä voidaan vähentää päästöjä huomattavasti.

Hiilen talteenoton, sidonnan ja varastoinnin mahdollisuudet

Muovin ja alumiinin osalta materiaalinvalmistuksen päästöjen vähentäminen on käsitelty tarkemmin kemianteollisuuden ja teknologiateollisuuden tiekartassa.

Alumiinin tuotannossa jopa 55% CO₂-päästöistä voidaan ottaa talteen²⁴⁹ kustannustehokkaasti.

Alustava arvio päästöjen kehittymisestä 2035 ja 2050

Päästöjen kehittymistä arvioidaan kemianteollisuuden ja teknologiateollisuuden tiekartatyössä. Kuitenkin voidaan alustavasti arvioida, että mikäli alumiinin osalta saadaan maailmanlaajuisesti kierrätettävyyttä lisättyä ja vaihdettua teknologiaa hiilineutraaliksi, materiaalipäästöt pienenisivät jopa 90%.

Muovin osalta teknologian kypsyydet ja kannattavuus ovat vielä kynnyskysymyksiä, mutta päästöjen vähentämisen potentiaali on niiden osalta myös suuri. Muovien kierrättämisen ja uudelleen valmistuksen avulla muovien materiaalien päästöjä saadaan vähennettyä 60%.

3.10 Rakennustoiminnan energiankäyttö

3.10.1 Energiankäytön jakautuminen

Hankkeen ensimmäisessä raportissa esitettiin, että rakennustoiminnan päästöt olivat noin 800 kt vuonna 2017 jakautuen seuraavasti:

²⁴⁷ http://www.uusiomuovi.fi/fin/suomen_uusiomuovi/ajankohtaista/2018/07/minne-menee-kaytetty-muovipakkaus/

²⁴⁸ Haastattelu Muoviteollisuus ry 26.2.2020

²⁴⁹ Mathisen et al (2014) Cost Optimised CO₂ Capture from Aluminium Production

- Kevyt polttoöljy: 760 kt
- Sähkö: 40 kt
- Kaukolämpö (ei merkityksellinen määrä)

Lisäksi kuljetusten päästöt ovat noin 350 kt. Arvio perustuu verollisen polttoaineen tilastointiin.

Keveyen polttoöljyn osalta arvio perustuu Tilastokeskuksen energiatilastointiin, joka puolestaan perustuu VTT:n LIPASTO-päästölaskentajärjestelmän TYKO-työkonemalliin. TYKO on VTT:ssä kehitetty Suomen työkoneiden päästölaskentamalli. Mallilla tuotetaan Suomen viralliset vuosittaiset päästömäärät EU:lle, YK:lle ja Suomen tilastoihin. TYKO on baseline-malli, eli toimenpiteet (biosekoitevelvoite, energiatehokkuusvaatimukset jne.) otetaan ennusteissa huomioon vain niille vuosille, joille toimenpiteet on määrätty. Konetyyppejä on kaikkiaan 50. Malli sisältää työkoneiden lisäksi myös maastoajoneuvot.

Laskenta perustuu kahteen pääelementtiin: suoritteeseen eli kunkin työkoneityypin vuotuiseseen työn määrään (kWh/a) ja suoritekohtaisiin päästökertoimiin ja kulutukseen (g/kWh). Laskentamenetelmä on pääosin sama kuin USA:n ympäristöviraston mallissa (EPA, Environmental Protection Agency). Menetelmää on mukautettu Suomen olosuhteisiin mm. työkoneiden iän, poistuman ja muun vastaavan suhteen. TYKO-malli on teoreettinen laskentamalli, joka ei perustu tilastointiin.

Rakentamisen tilastointiin poimitaan TYKO-mallista seuraavien konetyyppien päästöt:

- Nosturit
- Jyrät
- Traktorikaivurit
- Kaivukoneet, pyöräalusta
- Teleskooppikurottajat
- Minikaivukone
- Dieselgeneraattorit
- Kompressorit
- Täryttimet.

Seuraavien konetyyppien päästöt huomioidaan rakentamiseen 60-prosenttisesti ja kaivannaisteollisuuteen 40-prosenttisesti:

- Telapuskutraktorit
- Pyöräkuormaajat
- Kaivukoneet, tela-alusta
- Dumpperit
- Muut siirrettävät.

Jaottelu on Tilastokeskuksen asiantuntija-arvio.²⁵⁰ Sähkön ja kaukolämmön tilastointi perustuu Tilastokeskuksen energiatilaston taulukoihin 3.2 ja 4.1.²⁵¹

Energiankäytön jakautuminen infrarakentamisen ja talonrakentamisen välillä

Käytetty tilastointitapa ei ota kantaa siihen, missä energia käytetään. Voidaan olettaa, että sähkö ja kaukolämpö käytetään pelkästään talonrakentamisessa. Sähköä käytetään koneisiin ja laitteisiin, mutta keskeisin käyttökohde sähköllä ja kaukolämmöllä on rakenteiden kuivataminen.

Polttoöljyn kannalta yksikäsitteistä jakoa ei voida antaa. Verkostojen osalta voidaan käyttää raportissa 1 mainittuja rakentamismääriä ja kilometrikohtaisia päästökertoimia, jotka kuitenkin perustuvat tapaustutkimuksiin ja vaihtelevat paljon. Arviot uusien teiden määrästä ovat tilastointisyyistä epävarmoja, ja tienrakentamisen päästökertoimet perustuvat niin ikään tapaustutkimuksiin. Karkea arvio infra- ja talonrakentamisen työkoneiden energiankäytön jakautumisesta saadaan arvioimalla käytön jakautuminen konetyypeittäin. Taulukko 4 on esitetty subjektiivinen asiantuntija-arvio. Sen perusteella noin kolmasosa polttoöljystä syntyvistä päästöistä syntyisi talonrakentamisessa (maansiirtotyöt, perustustyöt, paalutus, nostot, työmaalogistiikka) ja kaksi kolmannesta infrarakentamisessa. Edelleen voidaan arvioida karkeasti edellä mainittujen päästökerrointen ja verkostoille arvioitujen lisärakentamiskilometrien perusteella, että verkostojen osuus infrarakentamisen päästöistä on 100 kt luokkaa. On kuitenkin huomattava, että sekä TYKO-malli että tässä esitetty arvio ovat teoreettisia.

Taulukko 4 Arvio polttoöljyenergian päästöjen jakautumisesta infra- ja talonrakennusalan kesken 2017.

TYKO-konetyyppi	Päästö 2017, t (TYKO)	Arvioitu osuus, infrarakentaminen, %	Arvioitu osuus, talonrakentaminen, %
Minikaivukone	16600	0	100
Kaivukone pyörä	74160	50	50
Traktorikaivuri	28670	50	50
Nosturit	15283	0	100
Jyrät	8449	100	0
Teleskooppikurottajat	26582	0	100
Dieselgeneraattorit	106568	30	70
Kompressorit	28501	50	50
Täryttimet	2450	50	50
Kaivukone tela (60 %)	210925	80	20
Pyöräkuormaajat (60 %)	221345	90	10
Dumpperit (60%)	12406	90	10
Telapuskutraktori (60%)	3563	100	0

²⁵⁰ Kuvaus perustuu keskusteluun Tilastokeskus/Pekka Lösönen, Minna Niininen 6.3.2020. Keskustelussa todettiin, että Tilastokeskuksen energiatilastoinnissa on toistaiseksi huomioitu myös kaivannais-teollisuuden osuus, joten tässä esitetty arvio on pienempi.

²⁵¹ <https://www.stat.fi/meta/luokitukset/toimiala/001-2008/f.html>

Muut siirrettävät (60%)	4248	50	50
Yhteensä t / %	760000	492000 / 65%	268000 / 35%

Yhteenveto arviosta on esitetty Taulukko 5 alla.

Taulukko 5 Yhteenveto sektorittaisista päästöistä energiatyypeittäin 2017.

Sektori	Sähkönkäytön päästöt, t	Polttoöljyn päästöt, t
Liikenneverkot (infrarakentaminen)	0	392000
Yhdyskuntatekniikka (infrarakentaminen)	0	100000
Talonrakentaminen	40000	268000

Sähkönkäytön päästöt ovat suhteellisen pienet kokonaisuuteen verrattuna. Sähkönkäyttöä voidaan vähentää edelleen energiatehokkuutta parantamalla, esimerkiksi LED-valaistuksella. Periaatteessa työmailla voitaisiin tuottaa myös aurinkosähköä. Seuraavassa keskitytään diesel- ja polttoöljypäästöjen hallintaan.

3.10.2 Energian käytön hallinta (diesel ja polttoöljy)

Rakennushankkeen energian ja kuljetusten kysyntään voidaan vaikuttaa suosimalla ratkaisuja, joissa työkonien käyttö on tehokasta, kuljetusmatkat ovat lyhyitä, hukka-ajat minimoidaan ja hankkeen massansiirrot ja kuljetusmatkat (sisäiset ja ulkoiset) optimoidaan. Hankkeessa tulisi käyttää paikallisia materiaaleja sekä käyttää kierrätysmateriaaleja, ja materiaalihukka tulisi minimoida. Työnaikaisen liikenteen tulee olla sujuvaa ja ylimääräisiä rakennusvaiheita tulee välttää.²⁵²

Hankinnat tulisi tehdä niin, että urakoitsijalla on mahdollista hyödyntää omaa osaamistaan ja toimintamalleja energiatehokkuuden parantamiseksi. Pelkkä hintakilpailu rajaa mahdollisuuksia myös vähäpäästöisempien mutta kalliimpien polttoaineiden käyttöön.

Olennaista on myös hyvä tiedonjako eri hankkeiden ja toimijoiden välillä. Nyt esimerkiksi samoja katuja kaivetaan auki useita kertoja, kun eri toimijat eivät tiedä yhdistää hankkeitaan samaan kaivuu-urakkaan. Osoptimointi syö elinkaaren päästätehokkuutta.

Väylärakentamisessa suurin päästö syntyy maamassojen ja kiviaineksen siirtelystä, kun taas verkostorakentamisessa päästöt syntyvät kaapeloinnissa ja putkien asentamisessa maankaivuusta ja maamassojen sekä kiviainesten kuljettamisesta ja ilmajohtotyössä johtoaukeiden raivaamisesta, pylväiden asennuksesta sekä johdinten asentamisesta.

3.10.3 Työkoneiden energiankäytön hallinta

Työkoneet ovat liikkuvia koneita, jotka on suunniteltu erilaisiin työsovelluksiin. Bensiinikäyttöisten työkoneiden kulutus on työkoneiden polttoaineenkulutuksesta alle 10 %, joten

²⁵² Rapal Oy (2019). Päästölaskennan kehityshanke.

tarkastelussa voidaan keskittyä dieselmootoreilla varustettuihin työkoneisiin, joiden polttoaineen käytetään kevyesti verotettua moottoripolttoöljyä.

Kuorma-autoista puhuttaessa on huomattava, että kaluston kehitys itsessään on vähentänyt hiilidioksidipäästöjä hyvin vähän²⁵³. VTT:n LIPASTO -tietokannan yksikköpäästöjen perusteella uusimmat EURO VI tason kuorma-autot tuottavat kuljetettua tonnikilometriä kohden korkeintaan joitain prosentteja vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin lähes 15 vuotta vanhemmat EURO III tason kuorma-autot. Hiilidioksidiekvivalenteissa ero on muista yhdisteistä joltuen hieman suurempi, mutta silti niin vaatimaton, ettei uudempien kuorma-autojen käyttö vähentäisi päällystysurakan mittakaavassa kasvihuonekaasupäästöjä kuin marginaalisesti.

Nykyaikaiset työkonedieselmoottorit ovat turboahdettuja yhteispaineruiskutuksella varustettuja moottoreita, joissa on elektroninen moottorinohjaus. Työkoneille ominaisia päästöjä lisääviä tekijöitä ovat mm. tarve jäähdyttää konetta ilman ajoneuvon nopeuden tuottamaa ilmavirtaa sekä yleisesti käytössä olevan hydrostaattisen voimansiirron huono hyötysuhde.

Suurehko osa käytössä olevista työkoneista on EU:ssa vuodesta 2014 voimassa olleen Stage IV -päästörajojen mukainen. Rajat koskevat CO-, HC-, PM- ja NO_x-päästöjä mutta eivät CO₂-päästöjä. Valmistaja on velvollinen ilmoittamaan päästön. Vuonna 2019 voimaan tulleessa Stage V -sääntelyssä rajoja on kiristetty ja mukaan on otettu hiukkaslukumäärämittaus PN. EU:ssa on pitkään ollut valmisteilla työkoneiden CO₂-päästöjen vähentäminen, mutta konkreettisia askelia ei toistaiseksi ole otettu.

VTT:n mukaan²⁵⁴ energiatehokkuuden parantaminen ja CO₂-päästöjen vähentäminen työkoneissa voidaan jakaa neljään osin toisistaan riippuvaan vaihtoehtoon:

1. Energiatehokkuuden parantaminen moottoritasolla
2. Vähähiiliset polttoaineet
3. Energiatehokkuuden parantaminen ajoneuvotasolla
4. Työkoneen käytön tehostaminen

Energiatehokkuuden parantaminen moottoritasolla (VTT:n arvioima päästövähennyspotentiaali noin 15 %) tarkoittaa moottorin hyötysuhteen parantamista. On arvioitu, että esimerkiksi kitkaa, kaasunvaihtoa, palamista ja lämmönhallintaa kehittämällä olisi saavutettavissa sellainen hyötysuhteen nousu, jolla päästöt pienenisivät mainitun 15 %.

Uuden sukupolven **biopolttoaineet** (VTT:n arvioima päästövähennyspotentiaali 0-90 %) ovat teknisesti täysin sopivia suurimpaan osaan dieselkäyttöisistä työkoneista. Parhaimmilla polttoaineilla voidaan saavuttaa 80-90 % päästövähennys fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. Tällä hetkellä ei kuitenkaan ole olemassa mitään mekanismia, joka ohjaisi työkoneita biopolttoaineiden käyttöön. Myös biopolttoaineiden saatavuus on merkittävä haaste tällä hetkellä. Esimerkiksi Nesteen biodieselin maailmanlaajuinen vuosituotanto on noin 3 miljardia

²⁵³ https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2020-01_energiankulutusta_kasvihuonepäästöjä_web.pdf

²⁵⁴ VTT (2016). Työkoneiden CO₂ päästöt ja niihin vaikuttaminen. <https://www.ym.fi/download/none/%7BEC3AFE90-B3FC-446B-90C3-4A8B253B4256%7D/125900>

litraa²⁵⁵ eli noin 30 GWh, kun työkoneiden energiankäyttö on tässä arvioitu tuhansiksi GWh:ksi, ja tieliikenteen energiankulutus on vuositasolla 44 000 GWh. Kaasu polttoaineena edellyttäisi ilmeisesti varsin syvällistä työkonemarkkinan muutosta, mitä tuskin tapahtuu tämän tarkastelun aikajänteellä.

Työkonetasolla energiatehokkuuden parantaminen (VTT:n arvioima päästövähennyspotentiaali 50 %) tarkoittaa hydrauliiikan ja muun voimansiirron toiminnan kehittämistä tai koneiden hybridisointia tai sähköistämistä. Kehitystyön päästövähennyspotentiaaliksi arvioidaan jopa 50 %. Energiatehokkuusratkaisuja on jo markkinoilla, ja niiden takaisinmaksuajaksi on arvioitu jopa vain muutamia vuosia.

Työkoneen käytön tehostaminen: (VTT:n arvioima päästövähennyspotentiaali jopa 35%) käyttämällä työkoneita nykyistä taloudellisemmin (moottorin optimikierroslukua, tyhjäkäynnin välttäminen, kuljettajaa taloudelliseen käyttöön opastavat järjestelmät) sekä optimoimalla operointia (esim. tehtävän työn ennakointi ja siihen perustuva energiatehokas suorittaminen) voidaan vähentää polttoaineenkulutusta ja päästöjä. Pienentynyt kulutus ja tuottavuuden kasvaminen tehostavat toimintaa ja säästävät kustannuksia.

Arvio päästöistä perusuralla

Työkoneiden päästöt kuuluvat EU:n taakanjakosektorille ja muodostavat sektorin päästöistä Suomessa noin 10 % eli 2,5 Mt. Teollisuus ja rakentaminen muodostavat mainitusta 10%:sta noin puolet. Taakanjakosektorin päästövähennystavoite on 39 % vuoteen 2030 vuoden 2005 tasoon verrattuna. KAISU-suunnitelma asettaa tavoitteita työkoneiden päästöille; tavoiteltu päästövähennys on 0,35-0,55 Mt. KAISU:ssa esitettyjä päästövähennystoimia ovat mm.

- Moottoripolttoöljyn biokomponenttisekoitusvelvoite
- Osallistutaan EU-tasolla työkoneiden CO₂-päästöjen sääntelyn kehittämiseen
- Edistetään vähäpäästöisten ja energiatehokkaiden työkoneiden osuutta
- Edistetään työkoneiden energiatehokasta käyttöä informaatio-ohjauksen keinoin
- Vahvistetaan työkoneiden CO₂-päästöjen tietopohjaa.

Oletetaan että rakentamisen työmaakäytön energiankulutuksen kysyntä ei oleellisesti muutu. Jos työkoneiden keski-ikäksi oletetaan 15 vuotta, voidaan olettaa että 2035 puolet työkonekannasta on uusiutunut. Oletetaan että

- energiatehokkuus uusien koneiden moottoreissa tänä aikana paranisi keskimäärin 10%,
- Energiatehokkuus ajoneuvotasolla paranisi 20 %
- Uusien työkoneiden käytön tehostaminen vähentäisi polttoaineenkulutusta 15 % .

Tällöin uusien koneiden päästöt olisivat noin 40 % pienemmät, ja koko konekannan päästöt olisivat noin 20 % pienemmät kuin nyt.

²⁵⁵ <https://www.biotalous.fi/neste-my-uusiutuva-diesel-vahentaa-kasvihuonepaaostoja-jopa-90-prosenttia/>

Oletetaan että biopolttoaineiden sekoitusvelvoite ulotetaan moottoripolttoöljyyn esimerkiksi siten että 80 % päästöjä vähentävää biopolttoainetta tulisi olla polttoaineessa 5 %. Tällöin saavutettaisiin polttoainetasolla 4% päästövähennys. Tällöin kokonaispäästövähennys olisi vanhalle ja uudelle konekannalle 4% so. lisäpäästövähennys olisi noin 3 % luokkaa nykytasoon verrattuna. **Täten työkoneiden päästöt perusuralla 2035 olisivat 20-23 % pienemmät kuin nyt.** Arvio on suuruusluokaltaan linjassa KAISU:n tavoitteen kanssa.

Vuonna 2050 koko työkonekanta on uusiutunut kahteen kertaan. Teknologisesti ollaan käytännössä liian kaukana luotettavien ennusteiden laatimiseksi. Oletetaan tätä varten että

- Energiatohokkuus uusien koneiden moottoreissa tänä aikana olisi parantunut keskimäärin 15 %,
- Energiatohokkuus ajoneuvotasolla paranisi 40 %
- Työkoneiden käytön tehostaminen vähentäisi polttoaineenkulutusta 25 %

Oletetaan myös, että rakentamisen työmaakäytön energiankulutuksen kysyntä ei oleellisesti muutu. Tällöin koko konekannan päästöt olisivat noin 60 % pienemmät kuin nyt. Mikäli biopolttoaineiden saatavuus olisi parantunut oleellisesti, voitaisiin karkeasti olettaa, että puolet käytettävästä polttoaineesta olisi biopohjaista ja biopolttoaineiden yksikköpäästövähennys olisi 90 %. Tällöin lisäpäästövähennys nykytilanteeseen verrattuna olisi 18 prosenttiyksikköä. **Täten työkoneiden päästöt 2050 olisivat 60-78 % pienemmät kuin nyt.**

Arvio päästöistä vähähiilisyysuralla

Edellä kuvattu kehitys on varsin realistinen. Päästöjen leikkaaminen lisää edellyttäisi merkittävää panostusta työkoneiden tuotekehitykseen ja/tai biopolttoaineiden saatavuuden merkittävää lisäämistä.

Karkeasti voidaan arvioida, että jos rakentamisen energiankulutuksen kysyntä ei muutu, vähähiilisyysuralla päästöt voisivat olla 2035 25-30 % pienemmät kuin nyt, ja 2050 70-90 % pienemmät kuin nyt.

3.11 Materiaalihukan vähentäminen

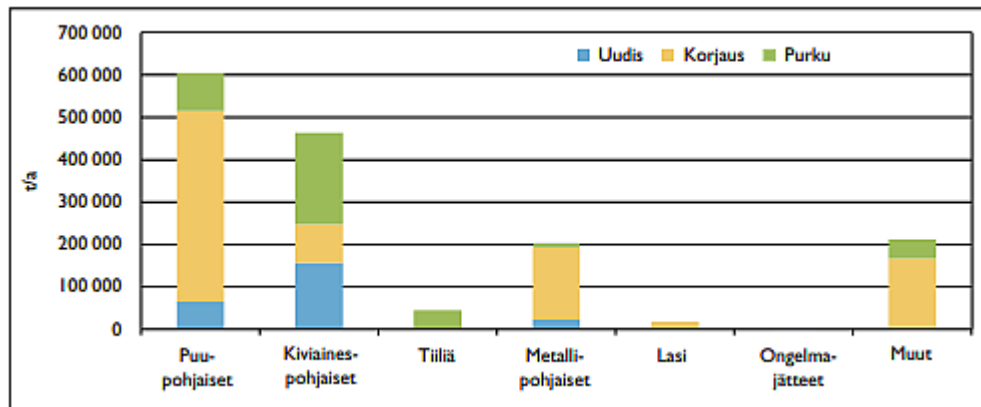
Rakentamisen materiaalitehokkuus viittaa pitkäikäisyyteen, korjattavuuteen, kierrätysintensiivisiin materiaaleihin, käytön muunneltavuuteen, purettavuuteen ja materiaalihukan välttämiseen rakentamisvaiheessa. Materiaalihukka syntyy tyypillisesti puutteellisista tai virheellisistä suunnitelmista, poikkeamista, ajoitusvirheistä sekä kosteudenhallinnan, kuten sääsuojauksen, laiminlyömisestä. Tarkastelemme seuraavassa lähinnä talonrakentamista. Materiaalihukalla tarkoitetaan tässä lisäksi suunniteltujen materiaalmäärien ylittämistä; oma kysymyksensä on turhan suuren materiaalimenekin suunnittelu.

Erilaisissa määrälaskentaohjeissa materiaalimenekki jaetaan usein menetelmämenekkiin, työvaihemenekkiin ja työmaamenekkiin, joka on edellisten summa. Hukat koostuvat erilaisista lisistä näihin menekkeihin. Menetelmälisä tarkoittaa työtavasta tai materiaalin toimitusmitoista johtuvia pieniä hukkapaloja, joille ei löydetä työmaalla käyttöä. Työnvaihelisät syntyvät työmaiden virheellisistä työsuorituksista (esim. väärät sahaukset, tiilen katkaiseminen väärästä kohdasta). Työmaalisät johtuvat turhasta tilaamisesta työmaalle, työmaalla

tapahtuvasta hukasta, esimerkiksi väärästä säilyttämisestä, hajoamisesta siirtelyssä tai varkauksista. Kokonaishukka on näiden lisien summa.

Eräissä tapaustutkimuksissa esimerkiksi tiilijulkisivun lopullinen materiaalihukka oli tiilien osalta lähes 10 % ja muurauslaastin osalta 4,5 %²⁵⁶, kun teoreettinen hukka oli noin 3 %.

Kuva 7 on esitetty talonrakennuksen jätteiden jakautuminen erityyppisille rakennushankkeille jätetyypeittäin.



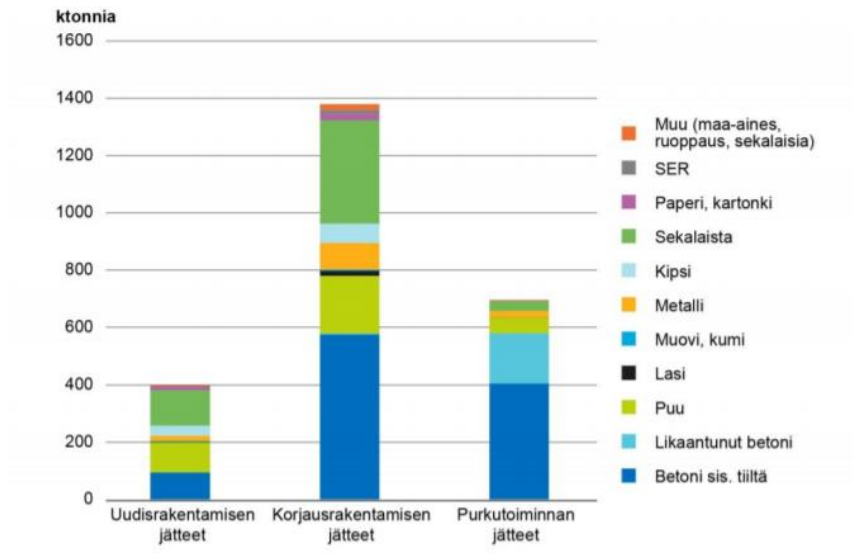
Kuva 7 Talonrakennuksen jätteiden jakautuminen erityyppisille rakennushankkeille jätetyypeittäin²⁵⁷

Valtakunnallisessa rakennusjätetilastoinnissa on ehdotettu käytettäväksi taulukon 6 mukaisia uudisrakentamisen jätteen ominaismääräkertoimia²⁵⁸. Rakentamisen jätteitä on arvioitu esimerkiksi vuonna 2016 toteutetussa hankkeessa Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan hankkeesta (Kuva 8). Hukan osuutta tästä ei pystytä arvioimaan.

²⁵⁶ Polvinen, H. (2019). Rakennusmateriaalien hukat ja niiden vähentäminen rakentamisessa ja varastoinnissa. <https://www.theseus.fi/handle/10024/166435>

²⁵⁷ Kojo, R., Lilja, R. (2011). Talonrakentamisen materiaalitehokkuuden edistäminen <http://www.ym.fi/download/noname/%7BF23DDA2A-1E58-4771-ACA8-90D06AB4FBE6%7D/32103> (uudempaa tietoa ei ole tunnistettu)

²⁵⁸ <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1936.pdf>



Kuva 8 Jättekertoimiin perustuva arvio jätemäärien- ja koostumuksen jakautumisesta eri rakentamistoimintoihin.²⁵⁹

²⁵⁹Salmenperä et al (2016). Kohdenneet keinot kierrätyksen kasvuun. Valtioneuvoston selvitysja tutkimustoiminnan julkaisusarja 53/2016

Taulukko 6 Valtakunnalliseen jätetilastointiin uudisrakentamisessa ehdotetut ominaismääräkertoimet.

Rakennusjätteen määrä uudisrakentamisessa (kg/r-m ³)	Betonituotteet kg/r-m ³	Tiilet kg/r-m ³	Muut kivip. tuotteet kg/r-m ³	Saha-tavara kg/r-m ³	Muut puutuotteet kg/r-m ³	Teräslevyt kg/r-m ³	Muut terästuotteet kg/r-m ³	Yhteensä kg/r-m ³
Erill. pientalot	3,97	1,74	0,89	3,60	0,44	0,36	0,14	11
Kyt. pientalot	2,42	1,16	1,20	3,38	0,20	0,31	0,16	9
As.kerrostalot	3,38	0,82	0,71	0,84	0,02	0,19	0,23	6
Vapaa-aj. as.	3,45	0,18	0,41	10,74	0,19	0,29	0,14	15
Myymälät	2,94	0,42	0,37	0,42	0,03	0,36	0,21	5
Hoitoalan rak.	3,64	1,12	0,51	0,30	0,01	0,36	0,31	6
Toimistot	3,14	0,51	0,41	0,24	0,01	0,37	0,38	5
Kokoontumisr.	3,13	0,95	0,21	0,54	0,04	0,27	0,47	6
Opetusrak.	2,62	0,98	0,22	0,42	0,03	0,32	0,30	5
Teollisuusrak.	2,00	0,18	0,15	0,24	0,03	0,48	0,34	3
Varastot	1,93	0,11	0,12	0,30	0,01	0,39	0,21	3
Maatalousrak.	3,97	0,17	0,09	0,45	0,02	0,48	0,17	5
Liikenteen rak.	4,88	0,49	0,31	2,63	0,03	0,29	0,31	9

Suurelle osalle rakennusjätteestä on jäteasetuksen (179/2012) mukaan järjestettävä erilliskeräys. Vaikka materiaalit kierrätettäisiin, erityisesti energiaintensiivisten materiaalien osalta tällä ei ilmastopäästöjen kannalta ole juurikaan merkitystä: materiaalit on valmistettu turhaan tai kierrätys edellyttää lisäenergian sitomista materiaaleihin (esim. sulattamista). Päästöjen lisäksi materiaalihukka aiheuttaa rakentajalle kustannuksia hankinta-, kuljetus- ja jätekulujen muodossa.

Suuruusluokan arvioimiseksi lasketaan uudisrakentamisen jätteiden päästöt 2017 yo. kertomilla olettaen, että jäte on täysin materiaalihukkaa. Vuoden 2017 aloitusmäärillä rakennustyypeittäin painotettu **jätteen ominaispäästö olisi noin 1,8 kg/m³ ja kokonaismäärä 70 kt** jos lasketaan pelkkä turhan valmistamisen päästö. Jättemäärissä on kuitenkin todennäköisesti tapahtunut merkittävää vähenemistä 22 vuoden aikana, joten laskelma on suuntaa antava. Myös rakentamisen painopisteen siirtyminen korjausrakentamiseen on muuttanut kokonaiskuvaa.

Keinot hukan vähentämiseksi keskittyvät suunnittelun kehittämiseen, oikeaan määräarviointiin ja tilaamisen aikataulutukseen, työmenetelmien kehittämiseen, työmaan varastointiolosuhteiden kehittämiseen. Rakentamisen komponenttivalmistus, esim. elementtituotanto, siirtää hukan työmailta tehtaille mutta todennäköisesti pienentää sitä jonkin verran ja tekee siitä helpommin hallittavaa.

3.12 Yhteenveto

Taulukossa 7 on esitetty arvio eri materiaalien ja työmaatoimintojen vuosikäytön suuruusluokasta, yksikköpäästön suuruusluokasta, materiaalin/toiminnon osuudesta rakentamisen päästöistä, materiaalin kierrätyksen merkityksestä ilmastopäästöjen kannalta, millaiseksi materiaalityönteon tai energiankäytön päästövähennyspotentiaali on arvioitu sekä miten aiemmin on arvioitu päästövähennysten toteutettavuutta.

Vuosikäytön suuruusluokka ja yksikköpäästön suuruusluokka on arvioitu hankkeen tiedonhankinnan perusteella. Osuus rakentamisen päästöistä on arvioitu karkeasti kunkin materiaalin tai energiankäytön osuutena arvioidusta kokonaispäästöstä:

- **Suuri** viittaa kymmenien prosenttien osuuteen tässä karkeassa laskelmassa
- **Pienuhkö** viittaa prosenttien osuuteen
- **Pieni** viittaa tätä pienempään osuuteen.

Kierrätystä on arvioitu ilmastopäästöjen kannalta seuraavasti:

- **Erittäin hyvä:** kierrätys vähentää merkittävästi neitseellisten materiaalien valmistustarvetta ja energiaa joka tässä valmistuksessa sitoutuisi
- **Kohtalainen:** kierrätyksen kautta on saavutettavissa jossain määrin päästövähennyksiä tai osa materiaaleista on kierrätettävissä kuten yllä
- **Kierrätyksellä rajallinen merkitys:** kierrätys ei vähennä juurikaan päästöjä tai kierrätyksellä ei ole merkittävää potentiaalia.

Materiaalityönteon päästövähennysmahdollisuudet viittaavat teoreettisiin mahdollisuuksiin vähentää tuotteen tai energiankäytön hiilijalanjälkeä pienentävien toimenpiteiden tunnettutena ja olemassaolona:

- **Hyvä:** päästövähennyskeinot ja niiden potentiaali tunnetaan ja keinoja on demonstroitu
- **Kohtalainen:** päästövähennyskeinoja on hahmoteltu ja niitä tunnetaan periaatteessa
- **Yksikköpäästöt jo pienet:** yksikköpäästöt ovat sitä kokoluokkaa, että päästövähennyskeinot ei ole juuri pohdittu.

Lisäpäästövähennysten toteutettavuus viittaa päästövähennyskeinojen esteisiin:

- **Vaikea:** päästövähennyskeinoja ei ole tai ne ovat niin kalliita että niitä ei ole taloudellisesti mahdollista toteuttaa
- **Kohtalainen:** päästövähennyskeinot ovat niin kalliita etteivät ne tällä hetkellä ole taloudellisesti mahdollisia tai esimerkiksi biopoltoaineiden saatavuus rajoittaa toteutusta
- **Paljon toteutettu jo:** merkittäviä lisäpäästövähennyskeinoja ei ole näköpiirissä tai niiden toteutusta ei pidetä järkevänä.

Taulukon sisällöt ovat karkeita ja materiaalityönteiden sisällä on suurtakin vaihtelua, esimerkiksi sellukuitueristeiden yksikköpäästöt ovat huomattavasti pienemmät kuin vaikkapa muovipohjaisten eristeiden. Taulukon tarkoitus on antaa karkea yleiskatsaus eri

materiaaliryhmien ja energiankäytön keskinäisistä päästösuhteista ja päästövähennyskeinojen vaikutuksista ja toteutettavuudesta jatkotyön pohjaksi, ei niinkään yksittäisen tuotteen hiilijalanjäljestä.

Taulukko 7 Arvio eri materiaalien ja työmaatoimintojen vuosikäytön suuruusluokasta, yksikköpäästön suuruusluokasta, arvio osuudesta rakentamisen päästöistä, arvio kierrätyksen merkityksestä ilmastopäästöjen kannalta, millaiseksi materiaalityönteon tai energiankäytön päästövähennyspotentiaali on arvioitu sekä miten aiemmin on arvioitu päästövähennysten toteutettavuutta. Taulukko ei kuvaa yksittäisen tuotteen hiilijalanjälkeä.

	Vuosikäytön suuruusluokka	Yksikköpäästön (CO ₂ e/t) suuruusluokka	osuus rakentamisen päästöistä	Kierrätettävyyden ilmastopäästöjen kannalta	Materiaalityönteon päästövähennyspotentiaali	Lisäpäästövähennysten toteutettavuus
Sementti	suuri, miljoona tonnia	satoja kiloja	(sisältyy betoniin)	kohtalainen	hyvä	kohtalainen
Betoni	erittäin suuri, miljoonia tonneja	satoja kiloja	suuri	kohtalainen	hyvä	kohtalainen
Teräs	Keskisuuri, satoja tuhansia tonneja	satoja/tuhansia kiloja	suuri	erittäin hyvä	hyvä	kohtalainen
Puupohjaiset materiaalit	suuri, miljoona tonnia	kymmeniä/satoja kiloja	pienehkö	kierrätyksellä rajallinen merkitys	yksikköpäästöt jo pienet	vaikea
Poltettu tiili	pieni, 100 000 tonnia	satoja kiloja	pieni	kierrätyksellä rajallinen merkitys	kohtalainen	kohtalainen
kipsi	pienehkö, satoja tuhansia tonneja	satoja kiloja	pieni	kierrätyksellä rajallinen merkitys	hyvä	kohtalainen
lasi	ei tiedossa, arvio < 100 000 tonnia; pieni	tuhansia kiloja	pienehkö	kierrätyksellä rajallinen merkitys	kohtalainen	kohtalainen
Eristeet	ei tiedossa, arvio < 100 000 tonnia; pieni	tuhansia kiloja	pienehkö	kierrätyksellä rajallinen merkitys	kohtalainen	kohtalainen
Kivi- ja maa-ainekset	Erittäin suuri, satoja miljoonia tonneja	kiloja	pienehkö	-	yksikköpäästöt jo pienet	vaikea
Asfaltti	erittäin suuri, miljoonia tonneja	kymmeniä kiloja	pienehkö	kierrätyksellä rajallinen merkitys	yksikköpäästöt jo pienet	paljon toteutettu jo
Muut infran materiaalit	pienehkö, satoja tuhansia tonneja	tuhansia kiloja	pienehkö	erittäin hyvä	hyvä	kohtalainen
Rakennustoiminnan energiankäyttö	Työmaatoiminnot suuruusluokka 1 000 000 tonnia		suuri	-	kohtalainen	kohtalainen

4 Hiilidioksidin sidonta, talteenotto ja varastointi/hyödyntäminen

Hiilen biologinen sidonta: Yhteyttäminen eli fotosynteesi on prosessi, jossa kasvit ja jotkin muut eliöt sieppaavat auringonvalon avulla ilmakehästä hiilidioksidia (CO₂) kasvuun, elintoimintojen raaka-aineeksi ja energianlähteeksi. Yhteyttämiseenkin kuluu energiaa ja sen seurauksena hiiltä vapautuu ilmakehään, mutta pääosan hiilestä puut käyttävät kasvuun sekä ylläpito- ja kasvuhengitykseen. Elävät puut sitovat siis kasvaessaan ilmakehän hiilidioksidia, joka säilyy puuaineksessa hiilenä (C) koko sen ajan, jonka siitä valmistettu tuote on olemassa.²⁶⁰ Rakennushankkeissa tehdään useimmiten myös viherrakentamista, jolla voi olla merkitystä hiilen sidonnan potentiaalilta (sidonta maaperään ja kasvillisuuteen). Tätä potentiaalia ei ole arvioitu tässä hankkeessa, mutta voi olla kiinnostava jatkotutkimuksen kohde.

²⁶⁰ Tiedonanto Puutuoteteollisuus 2.4.2020

Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (CCS) perustuu hiilidioksidin talteen ottamiseen savu- tai prosessikaasuista suurissa pistelähteissä, kuten teollisuuslaitoksissa ja voimalaitoksissa. Talteenoton jälkeen hiilidioksidi puhdistetaan muista yhdisteistä, nesteytetään ja kuljetetaan pysyvään varastoon. Pitkillä matkoilla (yli 1000 km) tai maantieteellisen sijainnin vuoksi bulkkikuljetus esim. laivalla voi olla putkikuljetusta edullisempi ratkaisu. Hiilidioksidin kuljetus merirahtina ja sen välivarastointi vastaa periaatteessa LPG- tai LNG-kuljetusta. CCS:ssä käytettäviä pysyviä varastoja voivat olla esimerkiksi geologiset muodostumat, kuten käytetyt öljy- ja kaasukentät, suolaisen veden täyttämät huokoiset sedimenttiset tai sedimenttikivikerrokset tai sopivasti huokoiset kivihiihkerrostumat.²⁶¹

Jotta CCS:n toteuttaminen olisi järkevää, vaaditaan suuret hiilidioksidipäästöt ja soveltuva varastointikohde. Suomessa ei nykytiedon valossa ole varastoksi soveltuvia kallioperän muodostelmia, joten CO₂ pitäisi siirtää Suomesta esimerkiksi Pohjanmeren alle varastoitavaksi.²⁶²

Hiilidioksidin talteenotto ja hyödyntäminen (CCU) on varastointia lukuun ottamatta samanlainen teknologia kuin CCS, mutta siinä talteen otetusta, puhdistetusta ja kokoon puristetusta hiilidioksidista tehdään myytäviä tuotteita.²⁶³ Hiilidioksidin hyödyntämiskohteet voidaan luokitella neljään kategoriaan: a) suora käyttö, b) mineraalien karbonointi, c) polttoaineiden tuotanto ja d) kemikaalien tuotanto.

Suoraa käyttöä on esimerkiksi elintarviketeollisuuden käyttö mm. juomien hiilihapottamisessa ja ruoan pilaantumisen estämisessä. Lisäksi metalliteollisuudessa CO₂:a voidaan käyttää osien jäähdyttämiseen ja kovettamiseen, sellun- ja paperintuotannossa PH:n alentamiseen sekä mm. piirilevyjen tuotannossa puhdistusnesteenä. Kaupallisissa kasvihuoneissa hiilidioksidia käytetään kasvien kasvun edistämiseen.

Mineraalien karbonoinnissa hiilidioksidi saatetaan kosketukseen mineraalikuormitetun alkalisen jättevirran (joko kiinteä tai nestemäinen) kanssa, jolloin siitä saostuu mineraalikarbonaattia. Aihetta on käsitelty betonia käsittelevässä luvussa 3.2. nimellä ”hiilidioksidikovetettu betoni”.

Polttoaineiden tuotannossa hiilidioksidia voidaan hyödyntää esimerkiksi metanolin tuotannossa. Metanolilla on merkittävää tulevaisuuden potentiaalia esimerkiksi laivojen ja liikenteen polttoaineena. Myös Suomessa tutkitaan metanolin kehitystä sementtiteollisuuden tuotannosta hiilidioksidista: Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT ja ryhmä yrityksiä, Finnsementti mukaan lukien, ovat käynnistäneet synteettisten polttoaineiden pilottilaitoksen toteutettavuustutkimuksen, jossa suunnitellaan teollisen mittakaavan power-to-x-teknologiaan perustuva pilottilaitos. Pilottilaitoksessa tuotettaisiin hiilineutraalia metanolia

²⁶¹ VTT (2011). Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (CCS) - Teknologiakatsaus.

²⁶² Finnsementti haastattelu 17.1.2020

²⁶³ VTT (2011). Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (CCS) - Teknologiakatsaus

liikennepolttoaineeksi Finnsementin Lappeenrannan tuotantolaitoksen päästöistä talteen otettavasta hiilidioksidista ja Kemiran tehtaan tuotannon ylijäämävedystä²⁶⁴.

Kemikaalien tuotannossa on laaja valikoima kemikaaleja, jotka voivat ainakin teoreettisesti käyttää hiilidioksidia tuotannon raaka-aineena, mukaan lukien orgaaniset hapot, alkoholit, esterit ja sokerit. Lisäksi hiilidioksidia voidaan hyödyntää raaka-aineena polykarbonaattien, kuten polypropeenikarbonaatin (PPC) ja polyeteenikarbonaatin (PEC), tuottamisessa.²⁶⁵

4.1 Teknologioiden käyttöönoton kehitys

CCS:llä voisi rakennusteollisuudessa tulevaisuudessa olla potentiaalia lähinnä sementin tuotannossa, ja tätä suunnitellaan pilotoitavaksi ensimmäistä kertaa maailmassa Norjassa Norcem:n tehtaalla, joka pyrkii päästöttömään tuotantoon vuoteen 2030 mennessä ja CCS-tekniikan osittaiseen käyttöönottoon vuoteen 2024 mennessä²⁶⁶ (ks. luku 3.1.). Kansainvälisissä tutkimuksissa on arvioitu että sementtitehtaissa hiilidioksidin talteenoton hinta voisi olla luokkaa 65 €/tCO₂ tai enemmän.²⁶⁷ Tämä hintataso tarkoittaisi, että EU:n päästöoikeuden hinnan tulisi noin kolmikertaistua nykytasosta²⁶⁸, jotta CCS-toiminta olisi kannattavaa. Investointitarpeet vielä kehitteillä olevaan teknologiaan ovat suuria.

CCS-hankkeita on muilla sektoreilla maailmanlaajuisesti käynnissä tällä hetkellä viisitoista, joista kymmenen sijaitsee Yhdysvalloissa ja kaksi Euroopassa (Sleipner ja Snøhvit Norjassa). Suunnittelun eri vaiheissa on lisäksi kymmeniä laitoksia. EU:lla oli tavoitteena 12 käynnissä olevaa CCS-laitosta vuoteen 2015 mennessä, mutta tämä tavoite ei toteutunut. Syinä tavoitteiden epäonnistumiselle ovat olleet mm. investointien suuret riskit ja riskien jakamisen epäselvyys kehittymässä olevalla markkinalla sekä vielä kehittymättömät poliittiset ohjaukeinit CCS:n tukemiseen. Esimerkiksi EU:n päästökaupassa kauppakaudella 2013-2020 ollut päästöoikeuksien merkittävä ylijäämä ja alhainen hinta aiheuttivat sen, ettei päästökaupan alaisilla laitoksilla ollut tarpeeksi insentiivejä investoida CCS-teknologiaan.²⁶⁹ Tämän voidaan olettaa muuttuvan 2021 käynnistyvällä kauppakaudella, koska päästöoikeuskattoa kiristetään vuosittain aiempaa enemmän ja markkinavakausmekanismi ottaa pois ylimääräisiä päästöoikeuksia. Lisäksi CCS:lle lisätään myös EU:n tukimekanismeja, kuten investointitukia. Myös ensimmäinen EU:n laajuinen "CO₂-varastointiatlas" on laadittu, jossa kartoitetaan Euroopassa soveltuvat varastointikohteet²⁷⁰.

²⁶⁴ <https://finnsementti.fi/nosto/finnsementti-mukana-synteettisten-polttoaineiden-tuotannon-toeutettavuustutkimuksessa/>

²⁶⁵ Pieri, T. et al. (2018). Holistic Assessment of Carbon Capture and Utilization Value Chains

²⁶⁶ <https://www.norcem.no/en/CCS%20at%20Brevik>

²⁶⁷ Kuramochi, K. et al. (2012). Comparative assessment of CO₂ capture technologies for carbon-intensive industrial processes. *Prog. Energy Combust.* 2012, 38, 87–112

²⁶⁸ EUA:n hinta 17.4.2020 oli n. 21.8 euroa. <https://www.theice.com/products/197/EUA-Futures>

²⁶⁹ Kapetaki, Z., Scowcroft, J. (2017). Overview of Carbon Capture and Storage (CCS) Demonstration Project Business Models: Risks and Enablers on the Two Sides of the Atlantic

²⁷⁰ <https://ec.europa.eu/jrc/en/research-topic/carbon-capture-utilisation-and-storage>

CCU:lla voi mahdollisesti olla CCS:ää laajempaakin potentiaalia ja myös pienimuotoisemmin toteutettuna, koska ei tarvita monimutkaista varastointijärjestelmää. Esimerkkinä tästä on Suomessa tehtävä toteutettavuusselvitys metaanin tuottamiseksi Finnsementin hiilidioksidista ja Kemiran vedystä. Hiilidioksidilla on raaka-aineena markkinahinta, joten sen hyödyntämisestä voidaan saada lisätuloja, ja sen kustannukset ovat hieman alemmat verrattuna CCS:ään, jossa varastoinnista koituu merkittäviä kustannuksia. Yksi suurimpia haasteita CCU:ssa ja hiilen uusiokäytön kannattavuudessa on VTT:n mukaan kohtuuhintaisen vähähii- lisellä energialla tuotetun vedyn saatavuus²⁷¹.

4.2 Tulevaisuuden potentiaali

CCS:llä on merkittävä päästövähennyspotentiaali (jopa 100% teollisuuslaitoksen päästöistä, esimerkiksi Suomen sementtiteollisuuden tapauksessa nykypäästötasosta arvioituna noin 0,89 MtCO₂e), joten se on varteenotettava teknologia pyrittäessä kohti hiilineutraalisuutta ja tuotannon päästöttömyyttä tulevaisuudessa. Esimerkiksi sementin tuotannon päästöjä on ilman CCS:ää käytännössä mahdoton nollata, sillä 60% sen päästöstä tulee kalkkikiven kemiallisesta reaktiosta ja vain osa kalkkikivestä on korvattavissa muilla materiaaleilla. Suomessa sementin valmistuksessa harkitaan CCS:n käyttöönottoa, mutta sitä ei nähdä teknologian kehityksasteen ja suurten investointien kannalta realistiseksi ennen vuotta 2035. Vuoteen 2050 mennessä Suomessa voitaisiin kuitenkin mahdollisesti ottaa käyttöön CCS-teknologiaa sementin valmistuksessa, mikäli Norjan Norcem-pilotoinnista saadaan hyviä tuloksia.²⁷² CCU:n päästövähennyspotentiaali riippuu jonkin verran siitä, mihin kohteeseen sitä käytetään, joten tarkkoja arvioita päästövähennyspotentiaalista ei voida antaa ennen teknologian käyttöönottoa ja esiselvitystä. Mikäli hiilidioksidi päätyy käytön jälkeen ilmakehään, ei CCU:lla ole yhtä suurta tai yhtä pysyvää päästövähennyspotentiaalia kuin CCS:llä.²⁷³

Suomessa CCS:n käyttöönotto sementtitehtaissa ei ole realistista ennen vuotta 2035, mutta vuosien 2035-2050 välillä tämä voisi mahdollista. Pienimuotoista CCU-toimintaa kuten toteutettavuusselvitysvaiheessa oleva Finnsementin ja Kemiran metaanihanke, voitaisiin toteuttaa Suomessa mahdollisesti jo 2020-luvulla. Suurempi potentiaali olisi kuitenkin vasta vuosien 2035-2050 välillä.

²⁷¹ <https://vttblog.com/2017/06/29/ovatko-ccu-ja-hiilen-uusiotalous-osa-ratkaisua/>

²⁷² Finnsementti haastattelu 17.1.2020

²⁷³ Kätelhön, A. et al (2019). Climate change mitigation potential of carbon capture and utilization in the chemical industry

5 Vähähiilisyys toteuttaminen

5.1 Johdanto

Rakennetun ympäristön päästöt jakaantuvat nykytilanteessa päästölähteittäin seuraavasti (Kuva 1):

- 76% tulee elinkaaren aikaisesta energiankäytön päästöistä
- 15% tulee rakennusmateriaaleista (rakennukset, liikenneverkot, yhdyskuntatekniikka)
- 7% tulee kuljetuksista ja työmaatoiminnoista
- alle 2%- tulee kaikesta muusta (purkaminen, jätteet).

Kuten edellä todettiin, energia kehittyy vähäpäästöisemmäksi ja siten energiankäytön päästökertoimet tulevat muuttumaan lähivuosina siten, että kiinteistöjen energiankäytön suhteellinen osuus tulee pienenemään. Tässä luvussa kuvataan, mitä rakennusallalla ja sen toimintaympäristössä tulee tehdä, jotta hiilineutraalisuustavoitteiden on mahdollista toteutua.

Päästöjen vähentämisen keinovalikoimaa on tarkasteltu erilaisten keinojen luokissa (ns. ylhäältä alaspäin), joita ovat

- EU:n säädökset, päästökauppa, taakanjakosektori ja muut toimet
- Valtionhallinnon toimet
- Kuntien toimet ja maankäyttö
- Rahoitus
- Kiinteistö- ja rakennusalan omat toimet.

5.2 EU:n säädökset, päästökauppa, taakanjakosektori ja muut toimet

Kuvaus rakennusalan kytkennästä ilmastotavoitteisiin EU-tasolla ja kansallisesti on esitetty raportin 1 luvussa 5. Tiivistettynä voidaan todeta, että EU on määritellyt päästökauppajärjestelmän keskeiseksi keinoksi ohjata ja toteuttaa ilmastotavoitteitaan jo vuodesta 2005 lähtien ja että Euroopan komissio on tiukentamassa tavoitteitaan ja tuomassa käsittelyyn toimia, joilla varmistettaisiin EU:n hiilineutraalisuus vuoteen 2050 mennessä.²⁷⁴ Päästökauppa vaikuttaa rakennusallalle erityisesti sähkön ja kaukolämmön sekä energiantensiivisten rakennusmateriaalien ominaispäästöjen kautta. Taakanjakosektori ja sen päästövähennystavoitteet puolestaan kytkeytyvät rakennusalaan liikenteen ja kuljetusten, kiinteistökohtaisen lämmityksen ja työkoneiden päästöjen kautta.

Hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin (CCS) kehittäminen on EU-tasolla yksi keino varmistaa rakennusmateriaalien kuten sementin tuotannon päästöttömyyden kehittyminen.²⁷⁵

²⁷⁴ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_335

²⁷⁵ <https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/carbon-capture-and-storage>

Kehittyäkseen kilpailukykyiseksi ratkaisuksi CCS tarvitsee tuekseen uusia kannusteita, joita ovat esim. päästökaupan kautta saatava korkeampi hiilen hinta sekä tuet investointi- ja käyttökustannuksiin.

EU:n uudessa Vihreän kehityksen ohjelmassa (European Green Deal)²⁷⁶ investointien rahoitukseen kiinnitetään erityistä huomiota, ks. esim. ”Investoiminen ilmastoneutraaliin kiertotalouteen”²⁷⁷. Ohjelman tavoitteena on mm. saavuttaa ilmastoneutraalius vuoteen 2050 mennessä. EU on myös julkaissut luonnoksen uudesta ilmastolaista (Climate Law), jossa määritellään miten tavoitteeseen päästään²⁷⁸.

Vihreän kehityksen investointiohjelman tavoitteena on saada 2020-luvun aikana liikkeelle vähintään 1 000 miljardin euron kestävät investoinnit. Tähän summaan ei vielä ole tarkemmin määritelty mikä osuus kohdistuisi rakentamiseen, mutta aiheesta on paljon keskusteluja ja ideoita tarvittavista toimenpiteistä²⁷⁹, joista tärkeimmät liittyvät rakennuskannan korjaamiseen²⁸⁰. Yksi keskeinen EU:n rahoitustyökalu on vuonna 2020 käynnistyvä Innovation Fund, jonka kautta voidaan rahoittaa innovatiivisten päästöjä vähentävien teknologioiden demonstroimista. Rahaston suuruus määräytyy sitä varten myytyjen EU:n päästöoikeuksien (450 miljoonaa kappaletta) tuottamasta rahasummasta, ja rahaston koko yhteensä voi olla jopa 10 miljardia euroa, tehden siitä yhden maailman suurimmista vastaavista rahastoista. Innovation Fund voi rahoittaa esimerkiksi CCS- ja CCU-hankkeita sekä energiaintensiivisen teollisuuden (kuten sementti-, teräs-, lasi- ja kipsiteollisuuden) suurimuotoisia uudenlaisia päästövähennysteknologioita tai uudentyyppisten materiaalien kehitystä.²⁸¹

EU:n keskeisiä energiatehokkuuteen liittyviä säädöksiä ovat myös Ekosuunnitteludirektiivi (2009/125/EY) ja sen asetukset. Direktiivi määrittelee energiaa käyttävien tuotteiden suunnittelun ja tuotekehityksen ekologiset vaatimukset²⁸². Tuotteiden (kuten lamppujen) energiatehokkuusvaatimuksilla on Suomessa laskettu saatavaksi sähkönsäästöä vuonna 2020 jo runsaat 3 TWh.²⁸³

5.3 Valtionhallinnon toimet

Suomen hallitusohjelmaan kirjatut kansalliset tavoitteet, kuten hiilineutraalisuus vuonna 2035 ovat EU:n tavoitteita kunnianhimoisempia, mikä luo Suomelle paineita synnyttää uusia

²⁷⁶ A European Green Deal <https://ec.europa.eu/info/node/123797>

²⁷⁷ Investing in a climate-neutral and circular economy https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_20_40

²⁷⁸ Commission proposes European Climate Law https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_335

²⁷⁹ <https://www.weforum.org/agenda/2020/01/eu-green-deal-real-estate-industry/>

²⁸⁰ <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/housing-renovation-plan-will-be-flagship-of-european-green-deal/>

²⁸¹ https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation-fund_en

²⁸² <https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/ekosuunnitteludirektiivi>

²⁸³ https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Ekosuunnittelu-direktiivi_ja_energiamerkintadirektiivi

kansallisia toimia ja kannusteita sekä päästökauppa- että taakanjakosektorille. Toimialakoh- tainen tiekarttatyö katsoo kuitenkin vielä pidemmälle, vuoteen 2050 saakka, ja hallitusohjel- ma laajemmin. Valtioneuvosto julkisti helmikuussa 2020 myös valtionhallinnon linjauksen nimeltä ”Reilulla siirtymällä kohti hiilineutraalia Suomea – tiekartta hiilineutraaliustavoit- teen saavuttamiseksi”, jossa tavoitellaan 17-24,6 Mt päästövähennyksiä jo käynnissä olevien 16Mt päästövähennysten lisäksi. Yhteensä noin 6-8 Mt lisäpäästövähennys on tässä linjauk- sessa nähty tulevan toimialakohtaisista tiekartoista mm. sähköistymisen ja vähähiilisten tek- nologioiden avulla.²⁸⁴

Suomen kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa (Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030)²⁸⁵ linjataan toimia, joilla Suomi saavuttaa halli- tusohjelmassa sekä EU:ssa sovitut tavoitteet vuoteen 2030 ja etenee johdonmukaisesti kohti kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä 80–95 prosentilla vuoteen 2050 mennessä. Sanna Marinin hallitusohjelma tavoittelee hiilineutraalia Suomea vuoteen 2035 mennessä ja listaa useita toimia, joilla on vaikutuksia päästöihin.²⁸⁶ Merkittävimmät keinot liittyvät energiantuo- tantoon ja -käyttöön (verotus, päästöttömät polttoaineet, energiatehokkuus, sähkönsiirto ja - varastointi). Monet näistä keinoista vaikuttavat myös rakennetun ympäristön päästöjä vähen- tävästi (erityisesti kiinteistöjen energiankäyttö). Hallitus on sitoutunut kehittämään myös oh- jauskeinoja ja kannustimia metsien ja maaperän hiilinielujen ja -varastojen vahvistamiseksi, ja näillä keinoilla on myös välillinen kytkös rakennettuun ympäristöön maankäytön suunnit- telun kautta. Hallitusohjelmassa on mainittu lisäksi seuraavaa: ”Vähähiiliseen talouteen siir- tymiseksi tarvitaan lisäpanostuksia erityisesti biotalouden, kiertotalouden, puhtaan teknolo- gian ratkaisujen, energiatehokkuuden, päästöttömien energiantuotantomuotojen, energian varastointiratkaisujen ja hiilen talteenoton ja hyödyntämisen kehittämiseksi ja markkinoille saattamiseksi sekä tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimintaan.”

Ympäristöministeriö vastaa Suomessa rakentamisen ohjauksesta. Ympäristöministeriö on laatinut vähähiilisen rakentamisen säädösohjauksen tiekartan vuonna 2017, jonka perusteella syntyvät uudet ohjausmekanismit on suunniteltu otettavaksi käyttöön vuoteen 2025 men- nessä.²⁸⁷ Osana maankäyttö- ja rakennuslain (MRL) kokonaisuudistusta vuosien 2019-2024 ai- kana mm. valmistellaan uutta säädösohjausta, kehitetään mahdollisia uusia kannusteita, luo- daan kytkentä kaavoitukseen ja energiaohjaukseen, laajennetaan pilottihankkeita ja kehite- tään rakennusten päästötietojen seurantaa sekä tilastointia. Ympäristöministeriö on julkais- sut korjausrakentamisen strategian, jonka tavoitteena on nostaa nollaenergiarakennusten

²⁸⁴ <https://valtioneuvosto.fi/documents/10616/20764082/hiilineutraaliuden+tie- kartta+03022020.pdf/1f1dfbea-f623-9197-5352-23a7f1b83703/hiilineutraaliuden+tie- kartta+03022020.pdf>

²⁸⁵ <https://valtioneuvosto.fi/documents/1410877/3506436/Valtioneuvoston+selonteko+kansallis- esta+energia-+ja+ilmastostrategiasta+vuoteen+2030.pdf>

²⁸⁶ <https://valtioneuvosto.fi/marinin-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-moni- muotoisuuden-turvaava-suomi>

²⁸⁷ https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_ ra- kentaminen/Vahahiilisen_rakentamisen_tiekartta

osuus 10%:sta 90%:iin aikajaksolla 2020-2050.²⁸⁸ Tämä tarkoittaa, että Suomen rakennuskannan päästöjen tulee laskea 90% vuoteen 2050 mennessä. Fossiilisista polttoaineista luopuminen lämmityksessä ja sähköntuotannossa kattaa tuosta 90%:n vähenemästä noin 40%, energiatehokkuuden parantaminen 20%, ja loppu 30% vähenee vanhojen rakennusten poistuman ja tilatehokkuuden parantamisen avulla, arvioi ympäristöministeriö. Toimia vauhdittavat myös kannusteet, joita ovat erityisesti energiatehokkuuden parantamiseen tarkoitettut Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA:n energia-avustukset (2020-2022). Vuodelle 2021 valmisteillaan avustuksia myös öljylämmityksestä luopumiseen.

Maankäyttö- ja rakennuslakia (MRL) ollaan parhaillaan uudistamassa.²⁸⁹ Uudistuksen tavoitteena on yksinkertaistaa alueidenkäytön suunnittelujärjestelmää, kehittää rakentamisen ohjausta, tukea kansalaisten mahdollisuuksia vaikuttaa omaa elinympäristöä koskevaan suunnitteluun ja päätöksentekoon sekä varmistaa, että lakiteksti on selkeä ja johdonmukainen. Valmistelusta vastaa ympäristöministeriö. Tavoitteena on, että hallituksen esitys uudeksi maankäyttö- ja rakennuslaiksi valmistuu vuoden 2021 loppuun mennessä.

5.4 Kuntien toimet ja maankäyttö

Kun EU ja valtionhallinto asettavat raameja, tavoitteita ja ohjauskeinoja rakentamiselle, kuntien maankäyttö luo konkreettiset säännöt tehokkaalle rakentamiselle ja vähäpäästöisille alueille. Maankäytön suunnittelussa voidaan parhaimmillaan yhdistää vähähiiliset energiaratkaisut, vähäpäästöinen ja tehokas liikkuminen sekä vähäpäästöinen rakentaminen. Esim. asema-kaavoituksella voidaan vaikuttaa merkittävästi CO₂e-päästöihin ja ilmastotavoitteiden toteutumiseen²⁹⁰.

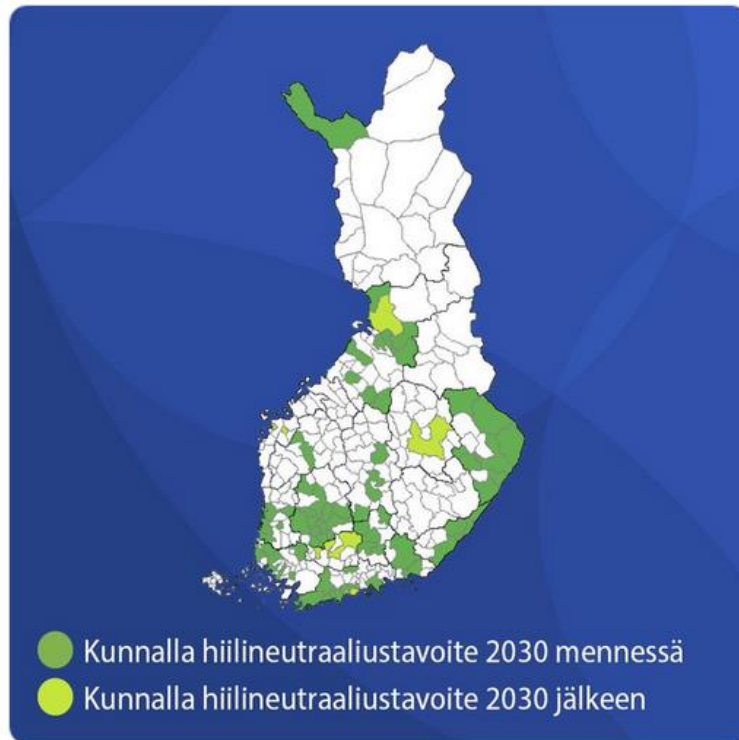
Suomessa SYKE:n koordinoimassa Hiilineutraalit kunnat (Hinku)-verkostossa on mukana jo yli 70 kuntaa sekä 4 maakuntaa, jotka ovat sitoutuneet 80 % päästövähennystavoitteeseen vuoteen 2030 mennessä vuoden 2007 tasosta. Päästöjä vähennetään Hinku-kunnissa erityisesti parantamalla energiatehokkuutta ja lisäämällä uusiutuvan energian käyttöä. Kunnat voivat vaikuttaa päätöksenteolla muun muassa maankäytön, energiantuotannon ja liikenteen päästöihin alueellaan.²⁹¹ Monet kunnat tähtäävät jo vuoteen 2030 hiilineutraalisuutavoitteeseen, eli seuraavan kymmenen vuoden toimilla on keskeinen merkitys merkittävässä osassa Suomea (Kuva 9).

²⁸⁸ [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Pitkan_aikavalin_peruskorjausstrategia_k\(54175\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Pitkan_aikavalin_peruskorjausstrategia_k(54175))

²⁸⁹ <https://mrluudistus.fi/>

²⁹⁰ Ks. Esim. <https://www.sitra.fi/julkaisut/ilmastotavoitteita-toteuttava-asemakaavoitus/>

²⁹¹ <https://www.syke.fi/hankkeet/hinku>



Kuva 9 Kunnat, jotka ovat asettaneet hiilineutraalisuustavoitteen 2030 mennessä tai sen jälkeen²⁹²

5.5 Rahoitus

Julkinen rahoitus Suomessa

Erityisesti ympäristöministeriö toteuttaa rakentamisalaa koskevia kehittämissuunnitelmia, joissa olevia rahoitusmahdollisuuksia myös yritykset voivat jossain määrin hyödyntää. Esimerkkejä ovat esim. Kestävä kaupunki -ohjelma²⁹³ sekä juuri käynnistymässä oleva Lähiöohjelma.²⁹⁴ Lisäksi valtioneuvostolla on käynnissä ympäristöministeriön hallinnoima puurakentamisen ohjelma (2016–2021), jonka tavoitteena on lisätä puun käyttöä niin kaupunkien rakentamisessa, julkisessa rakentamisessa kuin suurissa puurakenteissakin, kuten silloissa ja halleissa. Rahoitusta ohjelman kautta myönnetään yhteensä 2,5 miljoonaa euroa.²⁹⁵

Business Finland myöntää rahoitusta päästöjen vähentämiseen pyrkiviin kehittämissuunnitelmiin. Business Finlandin rahoitus kohdistetaan valituille ohjelma-alueille (esimerkkinä Smart Energy -ohjelma²⁹⁶) tai suoraan yrityksen osoittamaan, rahoituskelpoiseksi arvioituun kehittämissuunnitelmaan. Kestävään rakentamiseen tai esim. rakennustuotteiden päästöjen

²⁹² Ympäristöministeriön Twitter-tilillä oleva kuva, tehty yhteistyössä CANEMURE-hankkeen kanssa.

²⁹³ <https://www.kestavakaupunki.fi/fi-FI>

²⁹⁴ https://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/lahioohjelmasta-hyvinvointia-ja-vetovoimaa-suurimpien-kaupunkien-lahioihin-panostuksia-kuntien-kehityshankkeisiin-ja-lahiotutkimukseen

²⁹⁵ https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Ohjelmat_ja_strategiat/Puurakentamisen_toimenpideohjelma/Kasvua_ja_kehitysta_puusta_tukiohjelma

²⁹⁶ <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/ohjelmat/smart-energy-finland/>

vähentämiseen liittyvää ohjelmaa ei ole tällä hetkellä käynnissä. Business Finland tarjoaa myös suoria rahoituspalveluita yritysten omiin, itsenäisiin kehittämiskohteisiin.²⁹⁷

Valtion kehitysyhtiö Vake Oy:lle ollaan rakentamassa roolia digi- ja ilmastoinvestointien vauhdittajana, jotta haastaviin päästötavoitteisiin voidaan päästä. Vakeen suunnitellaan ilmastorahastoa, josta tarkempia tietoja on saatavilla arviolta huhtikuussa 2020. Vaken tehtävänä tulisi olemaan kirittää investointeja tapahtumaan aikaisemmin ja laajempina kuin ne puhtaasti yksityisin voimin tapahtuisivat. Keskeinen pullonkaula ilmastoratkaisujen rahoituksessa liittyy teolliseen mittakaavaan skaalaavaan, markkinapuutetta korjaavaan rahoitukseen.

298

Muita keskeisiä rahoittajia Suomessa ovat mm. Kuntarahoitus, joka rahoittaa esimerkiksi kestävän rakentamisen investointihankkeita²⁹⁹ sekä Sitra, joka rahoittaa toimintansa teemoihin (mm. Uudistumiskyky, Hiilineutraali kiertotalous) liittyviä hankkeita, kokeiluja ja tutkimuksia³⁰⁰.

Vihreä rahoitus

Velkapääomamarkkinoilla vihreällä rahoituksella tarkoitetaan yleensä kahdentyyppistä rahoitusinstrumenttia: 1) vihreät joukkokirjalainat ja 2) ensisijaisesti yrityksille suunnatut vihreä lainat (ympäristölainat).

Vihreä joukkokirjalaina toimii kuin tavallinen joukkokirjalaina, mutta lainalle asetetaan joitakin erityisiä vaatimuksia. Nämä voivat olla esimerkiksi, että lainan varat käytetään kestäviin hankkeisiin, kuten ympäristöllisten tavoitteiden edistäminen, ja että liikkeeseenlaskija sitoutuu raportoimaan sijoittajille projektin etenemisestä. Vihreitä joukkovelkakirjalainoja on käytetty mm. kiinteistöjen rahoittamiseen ja tämä on ollut nouseva trendi esim. Ruotsissa³⁰¹.

Vihreisiin joukkovelkakirjoihin liittyy kuitenkin tärkeitä kysymyksiä, kuten millä tavalla velkakirjan ”vihreys” määritellään, miten vihreyteen liittyvistä ominaisuuksista tulisi tiedottaa sijoittajille, ja mitä mahdollisista väärinkäytöksistä seuraa. Näihin kysymyksiin vastaaminen on tärkeää toimivien vihreiden joukkovelkakirjojen markkinoiden toiminnan ja sijoittajien luottamuksen kannalta. Vihreiden joukkovelkakirjalainojen markkinoilla ei tällä hetkellä vielä ole yleisesti hyväksyttäviä säännöksiä, mikä tarkoittaa, että kukin yritys voi päättää, mitä se määrittelee ”kestäviksi hankkeiksi”.

Vihreisiin joukkovelkakirjoihin liittyvään sääntelykenttään on luvassa merkittäviä muutoksia, kun EU:n kestävän rahoituksen sääntelypaketin säädökset tulevat voimaan. EU:n perustama

²⁹⁷ <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/>

²⁹⁸ <https://vake.fi/vake-valmis-ilmastotalokoiisiin/>

²⁹⁹ <https://www.kuntarahoitus.fi/palvelut/vihrea-rahoitus/>

³⁰⁰ <https://www.sitra.fi/aiheet/rahoitus-hankkeisiin/#rahoituksen-hakeminen>

³⁰¹ <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/statens-offentliga-utredningar/2018/01/sou-2017115/>

asiantuntijaryhmä on maaliskuussa 2020 julkaissut vihreistä joukkovelkakirjoista raportin, jossa määritellään periaatteet vihreälle joukkovelkakirjalle.³⁰²

Vihreitä lainoja tarjoavat rahoituslaitokset, jotka yleensä myös ovat laskeneet liikkeelle vihreitä joukkovelkakirjoja, asettavat lainoille saman tyyppisiä ehtoja kuin heidän joukkovelkakirjoihin on asetettu. Tämä tarkoittaa, että lainanottaja sitoutuu käyttämään lainan vastuullisiin hankkeisiin, jotka täyttävät nk. Green Bond -standardeja³⁰³ (tulevaisuudessa EU:n määrittämiä ehtoja). Hyväksyttäviä hankkeita voivat olla mm. energiatehokkuus ja hiilidioksidipäästöjen vähentäminen, sekä vihreät rakennukset (sertifioidut rakennukset).

ESCO-liiketoimintamallit

Energiatehokkuus- ja ESCO-palvelut ovat palveluliiketoimintaa, jossa ulkopuolinen energia-asiantuntija toteuttaa asiakasyrityksessä investointeja ja toimenpiteitä energian käytön tehostamiseksi sekä energiansäästämiseksi. Palvelun kustannukset, energiansäästöinvestointi mukaan luettuna, maksetaan säästöillä, jotka syntyvät alentuneista energiakustannuksista. Palveluun liittyy takuu syntyvästä energiansäästöstä³⁰⁴.

Palveluntarjoaja toteuttaa energiatehokkuustoimenpiteet asiakkaalle kokonaistoimituksena. Kokonaistoimitukseen voi sisältyä palveluntarjoajan hankkima rahoitus, mutta asiakas voi halutessaan itse huolehtia rahoituksesta. Jos hankkeeseen sisällytetään energiateknisten järjestelmien uusimista tai korjaamista, säästörahoituksen lisäksi hankkeeseen voi sisältyä asiakkaan omarahoitusosuus, jotta palvelukauden pituus säilyy kohtuullisena. Joissakin tapauksissa hankkeisiin voidaan kytkeä valtion investointitukea.

ESCO-toimintaa harjoittava yritys voi olla urakoitsija, energiayhtiö tai energiatehokkaita laitteita tai järjestelmiä valmistava ja urakoiva yritys. ESCO-toimintamallilla on mm. rahoitettu rakennusten talotekniikkajärjestelmiä.

5.6 Kiinteistö- ja rakennusalan omat toimet

Rakennetun ympäristön suunnittelu lähtee niistä reunaehdoista, joita kaavoitus ja rakentamismääräykset antavat. Suunnitteluvaiheilla on merkittävä vaikutus rakennetun ympäristön kokonaispäästöihin. Suunnitteluala, arkkitehdit, rakennuttajat, rakentajat, rakennusmateriaalien ja kiinteistötekniikan yritykset voivat esimerkiksi optimoida uuden rakentamista ja vanhan korjaamista, tehostaa kuljetuksia ja rakennustoimintaa, minimoida materiaalitarkpeita ja tehostaa kiinteistön käytön resurssitehokkuutta.

Kansainvälinen standardisointijärjestö ISO laatii kansainvälisiä ISO-standardeja. Niillä pyritään helpottamaan kansainvälistä kauppaa ja luomaan yhteisiä pelisääntöjä. Monet ISO-standardit julkaistaan joko sellaisenaan tai pienin muutoksin myös eurooppalaisina EN-

³⁰² https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/200309-sustainable-finance-teg-green-bond-standard-usability-guide_en.pdf

³⁰³ <https://www.climatebonds.net/market/best-practice-guidelines>

³⁰⁴ https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatehokkuus- ja_esco-palvelut luettelu 10.3.2020

standardeina, joita laatii eurooppalainen standardisointijärjestö CEN³⁰⁵. Rakennustuoteteollisuus RTT vastaa Suomen Standardisointiliitto SFS:n toimialayhteisönä rakennussektorin standardisoinnista Suomessa (ISO- ja EN-standardit). Työhön osallistuvat yritykset, joilla on ko. standardisointiin kansainvälinen liiketoimintaintressi. Rakennusalaan liittyviä standardointivastuita on myös Muoviteollisuus ry:llä ja Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry:llä.³⁰⁶

Rakennustieto Oy:n tehtävä on edistää hyvää rakennustapaa toimimalla talonrakentamisen, talotekniikan, kiinteistönpidon sekä infra-alan tiedon tuottajana ja välittäjänä suunnittelusta ylläpitoon asti. Rakennustieto Oy toimii kiinteistö- ja rakentamisalan tietopalveluiden ja julkaisujen kustantajana, ja se tuottaa tietopalveluita ja alan kirjallisuutta rakentamisen, infran, talotekniikan, sisustamisen ja kiinteistönpidon tarpeisiin sekä alan ammattilaisille että kuluttajille.³⁰⁷ Alan omia käytäntöjä ovat myös mm. RT-kortit ja RTS-ympäristöluokitus, joita on esitelty jo raportissa 1.

Rakennusalan oma vähähiilisyysyteen liittyvä keinovalikoima koostuu yleisellä tasolla kymmenestä kokonaisuudesta:

- 1) Aktiivinen vaikuttaminen EU:n ja valtionhallinnon toimiin, jotta ne ovat tavoitteiltaan realistisia ja jotta ne ovat toimivia rakennusalan kannalta myös käytännön suunnittelussa, toteutuksessa ja teknologioiden kehittämisessä. Vaikuttaminen myös tilastoinnin parantamiseen rakennus- ja infrakantaan liittyen Suomessa, mukaan lukien talotekniset järjestelmät. Koulutuksen lisäämistarpeiden kommunikointi. Tämä hiilitiekarttatyö on yksi keskeinen osa tätä vaikuttamisprosessia.
- 2) EU:n ja Suomen hiilineutraalisuustavoitteita palvelevien rakentamisen kestävyysarvioinnin standardien, ohjeistuksen ja laskentamenetelmien tehokas kehittäminen ja käyttöönotto laajassa rakentamisalan arvoketjussa, esimerkiksi standardien nopea kehittäminen uudentyyppisille rakennusmateriaaleille.
- 3) Olemassa olevan rakennuskannan energiatehokkuuden parantaminen peruskorjausten, energiaremonttien sekä tehokkaiden ja älykkäiden taloteknisten laitteiden avulla. Oma vähäpäästöinen energiantuotanto rakennuksissa. Rakennus- ja korjausprosessien tehostaminen, esim. lean-toteutusmallit, ryhmäkorjaukset, allianssit, elinkaarimalli. Digitalisaation tuottamat mahdollisuudet prosessin tehostamiselle.
- 4) Erilaisten teknisten päästövähennyskeinojen (ks. luku 3) pilotointi ja käyttöönotto jo ennen velvoittavia valtionhallinnon säädöksiä, ja tiedon levittäminen alalla pilotoinnista saaduista kokemuksista.

³⁰⁵ <https://www.rakennusteollisuus.fi/Rakennusteollisuus-RT/standardisointi2/Standardisoinnin-toimintatapa-ja-ohjeet-RTTssa/>

³⁰⁶ https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_rakentaminen/Yhteentoimivuus/Standardisointi

³⁰⁷ <https://www.rakennustieto.fi/>

- 5) Vähäpäästöinen suunnittelu: Vähäpäästöisten (mutta kestävien, pitkäikäisten, turvallisten ja terveellisten) rakennusmateriaalien ja kierrätysmateriaalien valinta jo hankkeen suunnitteluvaiheessa ja niiden käytön tukeminen koko rakentamisen arvoketjussa. Rakennuksen elinkaariominaisuuksien edistäminen: muunneltavat, korjattavat, vaihdettavat, purettavat ja uudelleenkäytettävät rakenteet ja materiaalit. Digitalisaation hyödyntäminen (mm. BIM, an-turitekniikka).
- 6) Julkisten rahoitusmahdollisuuksien laaja ja tehokas hyödyntäminen prosessien ja tekno-logioitten kehittämisessä (Business Finland), tuotantomittakaavan kehittämisinvestoinnit (Vake, EU-rahoitus) sekä hankekohtaiset avustukset (ARA, YM).
- 7) Vihreän rahoituksen (mm. vihreät lainat, vihreät joukkovelkakirjat) hyödyntäminen suu-rissa rakennushankkeissa.
- 8) Vaikuttaminen jatkossa rakennettavien rakennusten energiatehokkuuteen.
- 9) Suunnitelmanmukaisuus ja rakennusvirheiden välttäminen.
- 10) Kohteen luovutukseen liittyvä käyttäjän ohjeistaminen, jotta kohteen käyttö, huollot ja korjaukset toteutuisivat mahdollisimman vähähiilisesti.

5.7 Vähäpäästöisyyden mahdollistamisen keinoja

Vähäpäästöisyyden keinoja on tässä lueteltu eri päästölähteiden mukaisesti, ja kullekin kei-nolle on määritelty alustava vastuutaho. Keinojen valinnassa on keskitytty nimenomaan ra-kennusalaan ja sen rooliin. Esimerkiksi energiasektorin omia keinoja energiatehokkuuden ja energian päästöttömyyden osalta ei tässä tarkastella, koska se työ tehdään energiateollisuuden tiekarttahankkeessa. **Tässä kuvatut keinot ovat alustavia ja esimerkinomaisia ja ne alustavat myöhempää tiekarttayötä.**

Kun keinovalikoimaa jatkossa priorisoidaan ja tarkennetaan, on tärkeää, että työssä huomioi-daan neljä tärkeää periaatetta:

- rakennusalan oma rooli päästöjen vähentämisessä
- keinoon liittyvän päästölähteen osuus rakennetun ympäristön hiilijalanjäljessä
- keinon vaikutus ja aikataulu päästöjen vähentämisessä sekä
- keinon kustannus suhteessa saavutettuun elinkaareen, laatuun, päästövähennemään ja hyötyyn.

Keinojen ideointia, priorisointia ja jalostamista tulee tehdä yhdessä rakennusalan yritysten sekä toimialan sidosryhmien kanssa. Edellä kuvatun keinojen kriteeristön perusteella yhdessä valitut keinot luovat pohjan varsinaisen tiekartan tuottamiselle.

5.7.1 Energiatehokkuus ja energian päästöttömyys

EU, valtionhallinto ja kunnat

- Maankäyttö- ja rakennuslain uudistuksessa mahdollistettava aluerakenteiden päästötömyys (liikkuminen, liikenne, energia ja muu ympäristötekniikka) sekä maankäytön ja tilankäytön tehokkuus.
- Valtion ja kuntien omistamien kiinteistöjen energiaremonttien toteuttaminen olemassa olevassa rakennuskannassa.
- Uudisrakentamisessa kunnianhimoiset energiatehokkuustavoitteet ja uusiutuvan energian hyödyntäminen.
- Kulutusjouston mahdollistaminen, lähellä tuotetun päästöttömän energian tuotannon edistäminen ja kannustaminen (siirtohinnoittelu, sähkövero, energiayhteisöt).

Rakennusala

- Vaikuttaminen EU:n ja valtiovallan toimiin, jotta ne ovat realistisia, tukevat yritysten kansainvälistä kilpailukykyä ja palvelevat myös Suomen kunnianhimoisia tavoitteita.
- Rakennusten elinkaaren aikaisen energiatehokkuuden ja sitä tukevan talotekniikan kehittäminen: mm. eristysratkaisut, sähköistys, reaaliaikaisuus (digitalisaatio), olosuhteiden optimointi, resurssitehokkuus ja tilankäyttö, rakentamisen energiankulutuksen hillintä, lämmöntalteenotto, tarpeenmukainen käyttäminen ja lähellä tuotettu energia.

5.7.2 Rakennusmateriaalit ml. purkaminen ja jätteet

EU ja valtionhallinto

- Rakentamismateriaalien tuotannon yhteydessä toteutettavien hiilen talteenotolle ja varastoinnille luotavat uudet kannusteet (esim. päästökaupan kautta saatava korkeaampi hiilen hinta sekä tuet investointi- ja käyttökustannuksiin).
- Päästökaupan ohjausvaikutuksen lisääminen esimerkiksi markkinavakauseron käyttöönnoton myötä, päästöoikeuksien ilmaisjaon muutoksilla ja päästöoikeuksien mitätöinnillä.
- Rakennustuotteiden ja rakennusten hiilijalanjäljen EU-tasoisesta sääntelyn kehittäminen.
- Päästöoikeuksien mitätöintimahdollisuuden käyttäminen.
- Vähähiilisyttä koskeviin rakennusmääräyksiin siirtyminen aikataulussa 2020-luvun puoliväliin mennessä.³⁰⁸

³⁰⁸ Kysymyksiä ja vastauksia vähähiilisestä rakentamisesta. <https://www.ymp.fi/fi-FI/Maankaytto-ja-rakentaminen/Rakentamisen-ohjaus/Vahahiilinen-rakentaminen/Kysymyksiä-ja-vastauksia-vahahiilisesta-rakentamisesta>

- Informaatio- ja talousohjauksen lisääminen normiohjauksen rinnalla.
- Kuntien rakennusvalvonnan resurssien kehittäminen.³⁰⁹
- Koulutustarpeiden huomiointi ja koulutuksen järjestäminen vähähiilisyyden tavoitteiden saavuttamiseksi.

Kunnat

- Vähähiilisyyden painottaminen julkisissa hankinnoissa hankintalain uudistuksen mahdollistamalla tavalla.²⁷
- Vähähiilisyyden parempi huomiointi esimerkiksi asemakaavoituksessa.
- Kuntien rakennusvalvonnan osaamisen, valmiuksien ja työkalujen kehittäminen.

Rakennusala

- Vähähiiliset materiaaliratkaisut mahdollistava ja elinkaarilaadun eri tekijät huomioiva suunnittelu, mm. rakennusten hiilijalanjäljen laskennan sisällyttäminen suunnittelu- palveluihin.³¹⁰
- Vähähiilisten materiaalivalintojen priorisoiminen hankinnoissa.
- Purkukatselmusten toteuttaminen rakennusmateriaalien uusiokäytön ja kierrättämisen lisäämiseksi.³¹¹
- Rakennus- ja purkujätteen hyödyntämistason nostaminen.
- Ympäristöluokituksen (esim. LEED, BREEAM, RTS rakennushankkeen ympäristöluokitus) ja omaehtoisen ympäristöarvioinnin lisääminen.²⁷
- Omien, vähähiilisten tai päästöttömien ratkaisujen kehittäminen ja sitä tukevien julkisten rahoitusmahdollisuuksien hyödyntäminen.

5.7.3 Kuljetukset ja työmaatoiminnot

Valtionhallinto

- Polttoaineen sekoitevelvoitteen nosto ja ulottaminen työkoneisiin
- Polttoaineverotuksen mahdollinen kiristäminen

³⁰⁹ Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Vahahiilisen_rakentamisen_tiekartta

³¹⁰ Vihreä julkinen rakentaminen. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80653/YO_2017_Vihrea_julkinen_rakentaminen_hankintaopas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

³¹¹ RAKLI ry:n ja ympäristöministeriön solmima green deal edistää kestävästä purkamisesta. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/RAKLI_ryn_ja_ymparistoministerion_solmima\(54710\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/RAKLI_ryn_ja_ymparistoministerion_solmima(54710))

- Sähköisen tai biokaasupohjaisen liikenteen (ml. raskas liikenne) edistäminen mm. kattavan lataus- tai tankkausverkoston luomisella.

Kunnat

- Vähäpäästöisten ratkaisujen suosiminen julkisissa hankinnoissa.³¹²
- Päästöttömien työmaiden sisällyttäminen kaupunkien ja kuntien ilmasto-ohjelmiin esimerkiksi hyödyntämällä vapaaehtoisia Green Deal -sopimuksia.
- Työmaiden päästöttömyyden nostaminen kriteeriksi kilpailutuksiin.³¹³

Rakennusala

- Biopohjaisten polttoaineiden käytön lisääminen työkoneissa mahdollisuuksien mukaan sekä vähäpäästöisten ja sähkökäyttöisten koneiden suosiminen hankinnoissa.
- Aktiivinen osallistuminen Green Deal -sopimuskeskusteluihin (vrt. Teknisen kaupan liitto ry, työkonealan green deal -sopimus).³¹⁴
- Resurssitehokkaiden työmaaprosessien kehittäminen.
- Vähäpäästöisyyteen ohjaava informaatio-ohjaus ja koulutus.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Käsillä olevassa raportissa on arvioitu keinoja vähentää rakennetun ympäristön hiilipäästöjä. Tarkastelu on jakautunut yhtäältä rakennetun ympäristön käytönaikaisen energiankäytön tuottamiin päästöihin ja toisaalta rakentamisvaiheen, so. rakennusmateriaalien ja rakennustoiminnan energiankäytön, päästöihin.

Rakennetun ympäristön käytönaikainen energiankäyttö on tällä hetkellä merkittävässä roolissa kokonaishiilipäästön kannalta. Energian päästökerrointen pienentyessä käytönaikaisen energiankäytön absoluuttinen merkitys päästölähteenä vähenee. On huomattava, että päästövähennyksiä tapahtuu todennäköisesti myös kaikilla sektoreilla, joten energiankäytön suhteellinen tärkeys päästövähennyksissä säilyy.

Vaikka käytönaikaisen energiankäytön merkitys päästölähteenä pienenee, maamme päästövähennysponnistelujen kannalta on tärkeää vähentää energian käyttöä siellä missä se voidaan

³¹² Info- ja lähtölaukaustilaisuus Green Deal-sopimuksesta kiinnostuneille. https://www.hankinta-keino.fi/sites/default/files/media/file/Hankintojen.Green_Deal_%20tyokoneet.ja_urakat_lahtolaukaus.4.9.18_Esitys.pdf

³¹³ Fossiilivapaat rakennustyömaat yleistyvät Suomessa - näin ne toimivat Norjassa. <https://kuntatekniikka.fi/2020/01/07/fossiilivapaat-rakennustyomaat-yleistyvat-suomessa-nain-ne-toimivat-norjassa/>

³¹⁴ Työkonealan green deal -sopimus. <https://sitoumus2050.fi/tyokone#/>

tehdä kustannus- ja päästötehokkaasti. Päästötöntä energiaa ei ole saatavilla rajattomasti, ja usein energiantuotannon päästövähennykset maksavat, mikä näkynee tulevaisuudessa energian hinnoissa. Kun rakennuskannan energiatehokkuuden parantamista jatketaan, kaikkein kalleimpia energiantuotannon päästövähennyksiä ei välttämättä tarvitse toteuttaa. Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen on siis oleellista korjausrakentamisen yhteydessä esimerkiksi parantamalla rakenteellista energiatehokkuutta sekä parantamalla talotekniikkaa koko tarkasteluvälillä.

Rakennustoiminnan osalta on tarkasteltu päästöjen kannalta merkittävimpinä pidettyjä rakennusmateriaaleja, joita ovat sementti ja betoni, teräs, muut energiaintensiiviset materiaalit (tiili, kipsilevy, lasi), puupohjaiset rakennusmateriaalit, rakennusten eristemateriaalit, kivi- ja maa-ainekset, asfaltti, sekä muut infrarakentamisen materiaalit. Rakennustoiminnan energiankäyttö on jaoteltu karkeasti talonrakentamiseen, väylärakentamiseen ja verkostorakentamiseen. Myös uudisrakentamisen materiaalihukkaa ja sen merkitystä on selvitetty.

Katsaus osoittaa, että alalla tehdään jo nyt merkittävää työtä rakennusmateriaalien päästöjen vähentämiseksi. Energiaintensiivisten materiaalien valmistuksen polttoaineita on jo muutettu uusiutuviksi ja kierrätyspolttoaineiksi ja energiatehokkuuteen on kiinnitetty paljon huomiota. Prosessinaikaisten yksikköpäästöjen kannalta merkittäviä avauksia ovat myös terästeollisuuden vetypelkistyksen käyttöönoton valmistelu sekä sementti- ja betoniteollisuuden tuotekehitys.

Eräs konkreettinen mahdollisuus rakennusmateriaalien päästöjen vähentämiseksi on hiilidioksidin talteenotto ja varastointi tai uudelleenkäyttö. Maailmalla on jo useita investointihankkeita käynnissä. On kuitenkin arvioitu, että vielä 2035 mennessä tekniikka ei ole todennäköisesti käytettävissä Suomessa teknologian kypsyttömyyden, loppusijoituskohteiden puuttumisen ja erittäin suurien investointikulujen vuoksi. Uudelleenkäyttöhankkeita testataan Suomessa pilottimittakaavassa, mutta synergioiltaan soveltuvien kohteiden löytäminen voi olla haasteellista.

Yhteistä monille päästöintensiivisille materiaaleille on, että myös materiaalimenekkiä pystytään vähentämään tuotekehityksen ja kehittyneemmän suunnittelun avulla merkittävästi. Eristeiden ja lasin osalta on kuitenkin huomattava, että ainakin nykyilmastossa Suomessa niiden merkitys rakennuksen energiankäytön hillinnässä on merkittävästi suurempi kuin niiden omat päästöt.

Työmaatoimintojen ja kuljetusten päästöjen hillitsemiseksi voidaan vähentää yhtäältä energian kysyntää ja toisaalta energian yksikköpäästöjä vaikuttamalla työkoneiden suunnitteluun ja käyttöön. Energian kysynnän kannalta keskeistä on infrarakentamisen maamassojen kuljetusmatkojen lyhentäminen ja toiminnan yleinen järkipäätämisen. Yksikköpäästöjen kannalta tärkeää olisivat biopolttoaineiden käyttö sekä työkoneiden ja niiden moottoreiden sekä käyttötapojen energiatehokkuuden parantaminen.

Merkittävä kysymys erityisesti päästövähennystoimien kustannusten noustessa on se, miten ne saadaan aikaan. EU ja valtio määrittelevät todennäköisesti ne kehykset, joissa rakentamistoiminnan tulee kyetä operoimaan. EU:n päästökaupan ja taakanjakosektorin

päästötavoitteiden kiristyminen tulee vaikuttamaan monien energiaintensiivisten rakennusmateriaalien sekä työkoneiden päästöihin. Tärkeitä kysymyksiä ovat se, miten ja millä keinoin rakennusteollisuus sopeutuu vaatimuksiin, mitä ala itse voi tehdä ja mitkä ovat keskeiset tarpeet muille aloille.



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