Maaperän puhdistuksen kasvihuone-kaasupäästöjen kansantaloudellinen merkittävyys

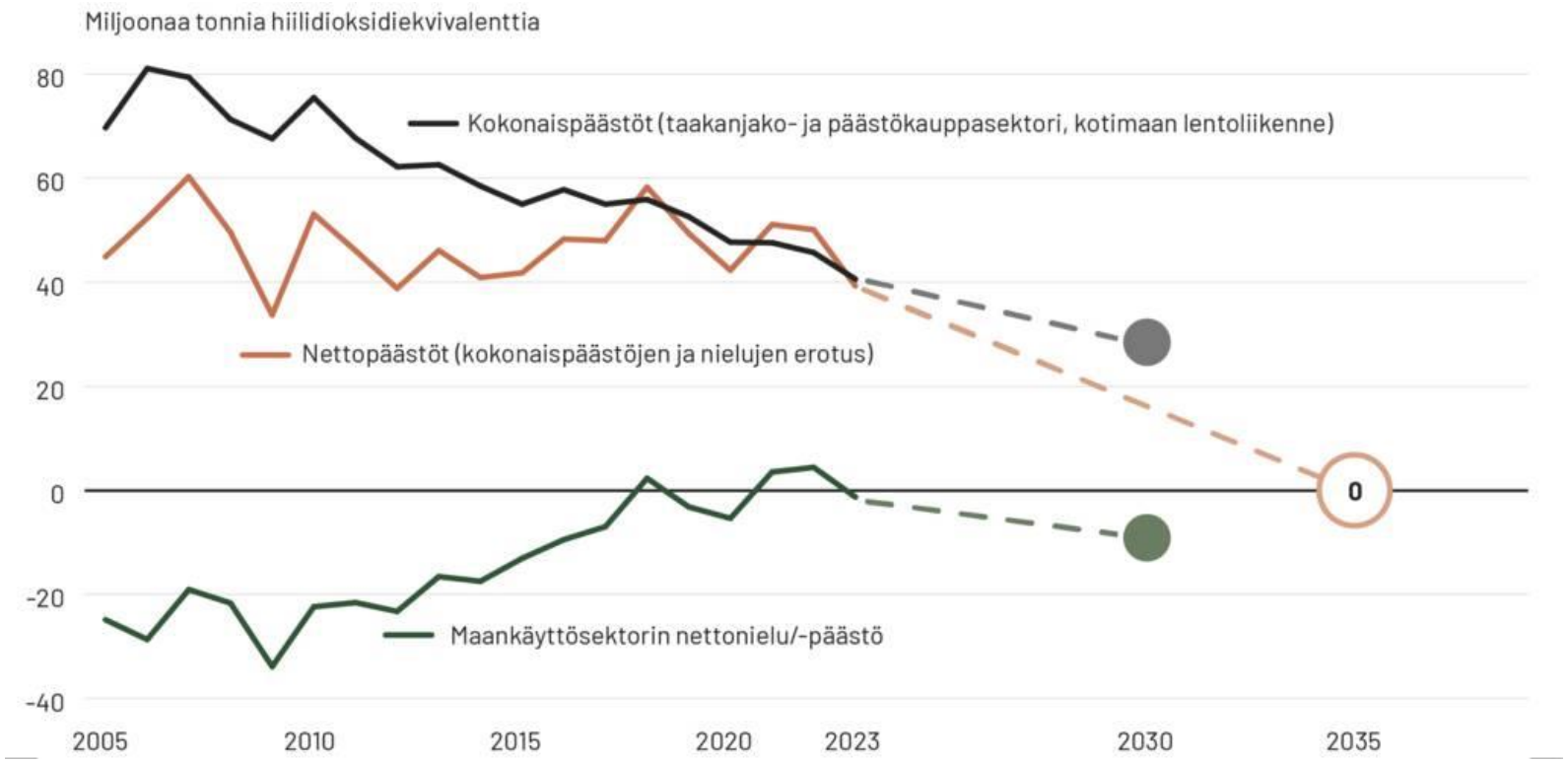
Jarno Laitinen

MUTKU-päivät
12.3.2025, Tampere

RAMBOLL
Bright ideas.
Sustainable change.

Kuva: https://www.europosters.fi/

Suomen kasvihuonekaasupäästöjen (KHK) tilannekuva



Tilanne vuonna 2023

- Kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt olivat ilman maankäyttösektoria (LULUCF) **41,0 milj.t. CO_2-ekv.**
- Taakanjakosektorin päästöt olivat noin 25,1 milj.t. CO_2-ekv., josta
- Taakanjakosektoriin kuuluvan jätesektorin päästöjen osuus oli 4 %, **eli 1,6 milj.t. CO_2-ekv.**
- Taakanjakosektorilla Suomen EU velvoite on vähentää päästöjä 50 % vuoteen 2030 mennessä, 2005 tasoon verrattuna.
- Kansallisesti Suomen tavoite on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä.

Lähteet: Ympäristöministeriö. Ilmastovuosikertomus (2024)
Tilastokeskus. Kasvihuonekaasutilastot (2025)

Miten määrittää PIMA kunnostusten päästöjen kansantaloudellinen kustannus?

1. Määritetään keskimääräinen PIMA kohde
2. Määritetään tyypilliset kunnostusmenetelmät
3. Määritetään keskimääräiset yksikköpäästöt
4. Lasketaan kansallinen kasvihuonekaasupäästö
5. Määritetään ulkoisen haitan kustannus
6. Määritetään päästöjen kansallinen kustannus

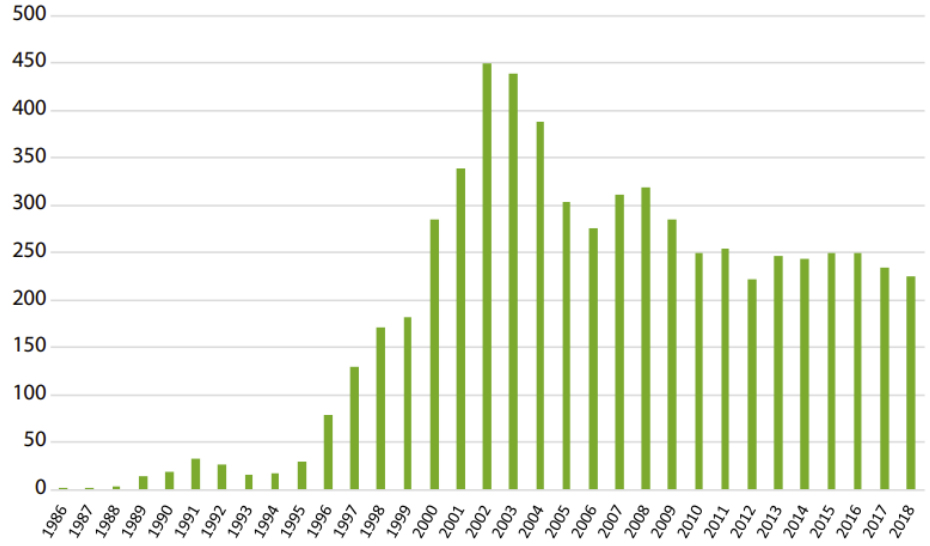
Huomautus
Tämä työ on tehty omalla ajalla, ilman ulkopuolista rahoitusta ja perustuu avoimeen, kaikkien saatavilla olevaan dataan. Sen tarkoituksena on herättää keskustelua toimialan sisällä sen merkittävyydestä ja vaikutuksista.

Antti Aimo-Koivisto / Lehtikuva

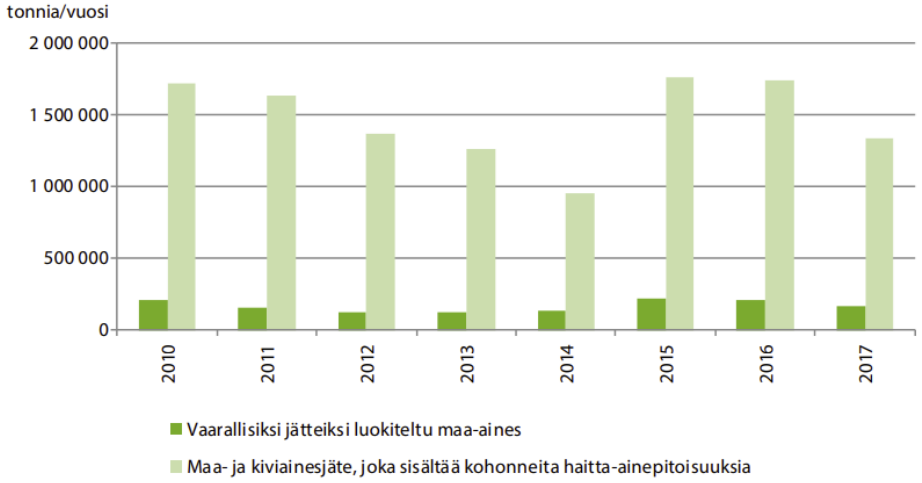
Millainen on tyypillinen PIMA kunnostuskohde?

- Vuonna on viime vuosina tehty **~ 250 PIMA päätöstä** vuodessa, joista **~ 95 %:lla** alueista maa-aineksia kaivettiin ja kuljetettiin muualle loppusijoitettavaksi, välivarastoitavaksi tai käsiteltäväksi.
- Kohonneita haitta-ainepitoisuuksia sisältäviä maa-ainesjätteitä (EWC-koodit 170504P ja 170503*) on vastaanotettu käsittely- ja loppusijoituspaikoille vuosittain **1–2 milj. tonnia** 2010-luvulla.
- Näistä vaaralliseksi jätteeksi luokiteltujen maa-ainesten (EWC-koodi 170503*) osuus on ollut noin 10 %.
- Vastaanottopaikoilta osa maa-ainesjätteestä on jatkanut edelleen matkaa, useimmiten toisille loppusijoituspaikoille.

17 05	**maa-ainekset (pilaantuneilta alueilta kaivetut maa-ainekset mukaan luettuina), kiviainekset ja ruoppausmassat**
17 05 03*	maa- ja kiviainekset, jotka sisältävät vaarallisia aineita
17 05 04	muut kuin nimikkeessä 17 05 03 mainitut maa- ja kiviainekset
17 05 05*	ruoppausmassat, jotka sisältävät vaarallisia aineita
17 05 06	muut kuin nimikkeessä 17 05 05 mainitut ruoppausmassat
17 05 07*	ratapenkereiden sorapäällysteet, jotka sisältävät vaarallisia aineita
17 05 08	muut kuin nimikkeessä 17 05 07 mainitut ratapenkereiden sorapäällysteet



Kuva 4. Vuosien 1986–2018 pilaantuneiden alueiden puhdistuspäätökset ja -määräykset.



Kuva 7. Käsittely- ja loppusijoituspaikoille vastaanotettujen, kohonneita haitta-ainepitoisuuksia sisältävien maa- ja kiviainesten määrät (tonnia/vuosi) vuosina 2010-2017. (VAHTI)

Lähteet: Pyy, Outi & Jylhä, Henna. Valtakunnallisen pilaantuneiden maa-alueiden riskinhallintastrategian… (2020); Jätelaki, Liite 2.

Miten jätemäärät ovat kehittyneet viime vuosina?

- YLVA tietojärjestelmän tietojen perusteella vuonna 2022 EWC 170504P luokkaan kuului jätteitä **1,47 milj. tonnia.**
- Vaarallisten jätteiden luokkaan 170503* kuului **0,13 milj. tonnia**.
- Tyypillisesti muutama yleisin jätenimike muodosti **80 %** kaikista luokan jätteistä.
- Tyypillisin maa-ainesten käyttökohde on **loppusijoittaminen jätetäyttöön**
- Toiseksi yleisintä on **hyödyntäminen kaatopaikkarakenteissa**.

Pilaantunut maa- ja kiviaines	**299 243**
Jätteen loppusijoittaminen vaarattoman jätteen kaatopaikalle	146 892
Seulonta	59 411
Jätteen hyödyntäminen penkkatiessä	17 673
Seulonta / lajittelu	14 141
Jätteen hyödyntäminen loppusijoitusalueen esipeitossa	13 127
Varastointi vuoden vaihteen yli	12 634
Jätteen hyödyntäminen heikosti kantavien jätteiden reunapengerrykseen, kuivattaviin kerroksiin ja vastavalliin	11 624
Jätteen hyödyntäminen kaatopaikan esipeitossa	8 653
Jätteen hyödyntäminen loppusijoitusalueen penkkatiessä	5 665
Jätteen hyödyntäminen vaarattoman jätteen kaatopaikalla (asbestin peitto ja ajoluiskien vahvistus)	4 018
Jätteen esikäsittely lajittelemalla jakeita maa-aineksen seasta	2 488
Jätteen hyödyntäminen loppusijoitusalueen pintarakenteessa (kaasunkeräyskerros)	1 863
Jätteen hyödyntäminen heikosti kantavien jätteiden reunapengerrykseen, kuivattaviin kerroksiin ja vastavalleihin	855
Jätteen hyödyntäminen kaatopaikan pohjarakenteen routasuojakerroksessa	180
Jätteen hyödyntäminen asbestin peitossa	21
Pilaantunut maa-aines	**132 155**
loppusijoitus	65 217
Hyödynnetään kaatopaikkarakenteissa	27 376
KP Pystyseinäeristeen tukipenger	15 942
Loppusijoitus vaarattoman jätteen loppusijoitusalueelle	7 493
Raportointivuoden aikana vastaanotettu ja loppusijoitettu vaarattoman jätteen kaatopaikalle.	4 940
KP tie- ja kenttärakenteet TA1-3/4	3 864
Välivarastointi, välppäys	2 280
Hyötykäyttö kenttärakenteissa	1 611
Välivarastointi vuoden vaihteen yli ennen loppusijoittamista	1 388
maa-aineksen seulonta	1 081
Kaatopaikan muotoilu	531
Varastointi vuoden vaihteen yli	344
Loppusijoitus. Poikkeama kirjattu.	89

Minne maa-ainekset kulkeutuvat?

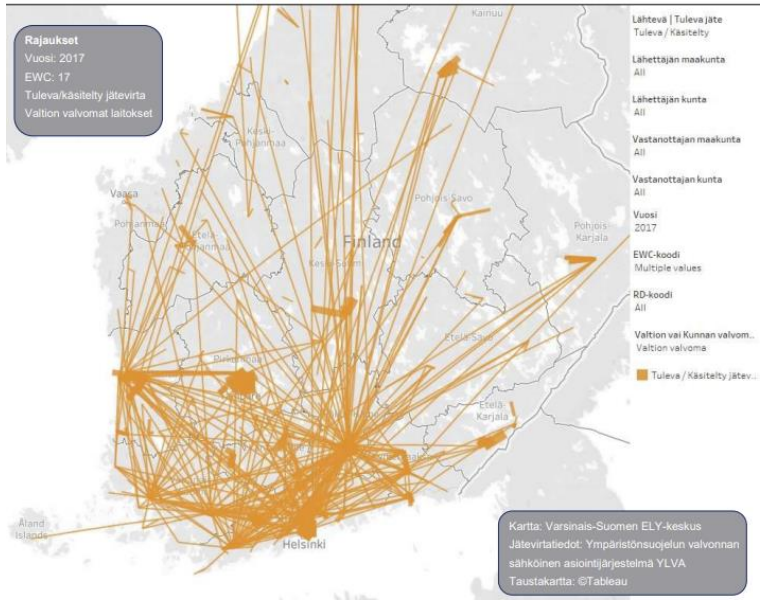
Suurin osa jätehuollon ”jätevirroista” on maa-aineksia, ja ne liikkuvat pääosin Etelä-Suomen kasvukeskuksien välillä.

Visualisoinnin sisältö

Kuva 1 sisältää valtion valvomien ympäristöluvanvaraisten laitosten, joiden päätoimiala on jätteenkäsittely tai kaatopaikka, kirjaaman tulevan/käsitellyn jätteen vuonna 2018. Kuva sisältää kaikki EWC- ja RD-koodit.
Tavallisesti visualisoinneissa tarkastellaan tulevaksi kirjattua jätettä, mutta tässä tapauksessa jätteenkäsittelijöiden kirjaama jätteen kokonaismassa antaa hyvän kuvan eri paikkakunnilla käsiteltävien jätteiden määristä suhteessa muihin alueisiin.
Kuva 2 saman datan jaoteltuna EWC-koodeittain suhteellisessa järjestyksesä (laatikon pinta-ala kertoo suhteellisen massan).

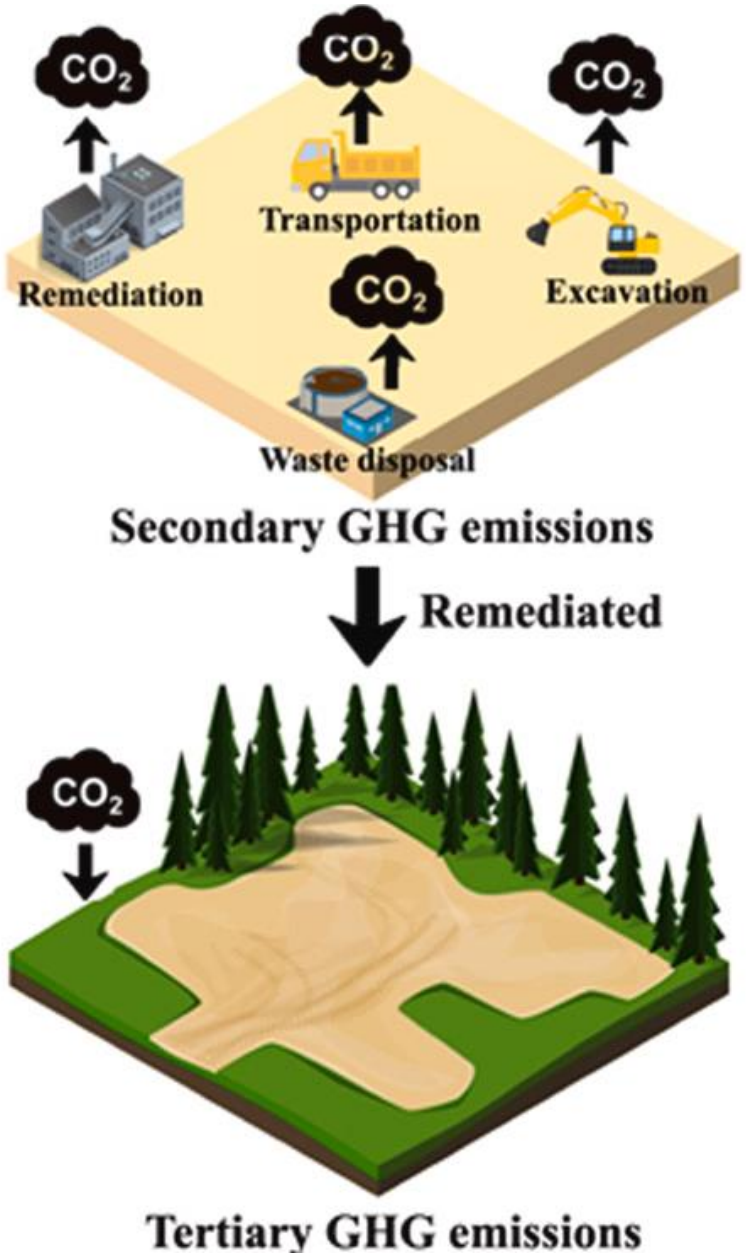
Kuva 2

Kartassa valtion valvomien ympäristöluvanvaraisten laitosten kirjaamat tulevat jätevirrat EWC-koodin nimikeryhmässä 17 vuonna 2017, kunnan keskipisteen tarkkuudella.



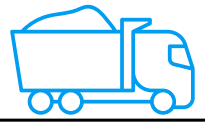
Mistä KHK-päästöt syntyvät maaperän kunnostuksessa?

- Kunnostuksen päästöt voidaan jakaa primääri-, sekundääri- ja tertiääripäästöihin.
  - **Primääripäästöihin** kuuluvat varsinaisessa puhdistusvaiheessa syntyvät päästöt, kuten massanvaihto, kuljetukset, pilaantuneiden maa-ainesten käsittely ja uusien maa-ainesten tuotanto.
    - Suurin osa kunnostuksen päästöistä syntyy primäärivaiheessa.
  - **Sekundaaripäästöihin** kuuluuvat varsinaisen kunnostusvaiheen ulkopuolella olevat, mutta toimintaan oleelliset kytkeytyvät päästöt, kuten tutkimukset, suunnittelu, monitorointi ja käsittelyinfran rakentaminen.
  - **Tertiääripäästöihin** kuuluvat päästöt, jotka syntyvät toiminnan seurauksena, kuten hiilivarastojen väheneminen ja muutokset hiilensidonnan kapasiteetissa – kohteessa ja laajemmin.



Lähteet: Cai, et al. Investigation of greenhouse gas emissions in soil remediation activities… (2024)

Millaiset ovat keskimääräisen PIMA kohteen KHK-päästöt?



Keskimääräinen PIMA kohde?

- Suomessa ~ 250 kohdetta / vuosi
- Massanvaihto ~ 95 % kohteista
- Maa-ainesjätteitä ~ 1,5 milj.t/a
  - Maa-ainesta ~ 5000 t/kohde
  - Tilavuus ~ 3000 m3/kohde
- Kuljetusmatkat ~ 50 km
- Kohteesta kaivettuja ja suoraan uudelleenkäytettyjä maa-aineksia ei huomioida, sillä laskenta tehdään massaperustaisesti.
- Sekundääri- tai tertiääripäästöjä ei huomioida.

Taulukko. Keskimääräisen Suomalaisen PIMA kohteen KHK-päästöt, arvioituna PIIP-laskentatyökalulla.

Menetelmä: massanvaihto	kgCO2e	%
Työssä tarvittavien työmaakaluston kuljetus	260	0 %
Maa-ainesten poisto ja muu kaivu	1 756	3 %
Poistettavien maa-ainesten kuljetukset	15 682	27 %
Poistetun maa-aineksen käsittely kohteen ulkopuolella	683	1 %
Poistettavia maa-aineksia korvaavat maa-ainekset	26 775	46 %
Korvaavien maa-ainesten kuljetukset alueelle	10 662	18 %
Kaivantojen täyttö ja tiivistys	1 464	3 %
Jätteiden loppusijoitus	683	1 %
Hiilijalanjälki, yhteensä	**57 964**	**100 %**
Hiilijalanjälki, ominaispäästö per m^3	**19**	
Hiilijalanjälki, ominaispäästö per tonni	**13**	

Lähteet: FCG. PIIP-Laskentatyökalu (versio 18.02.2025)

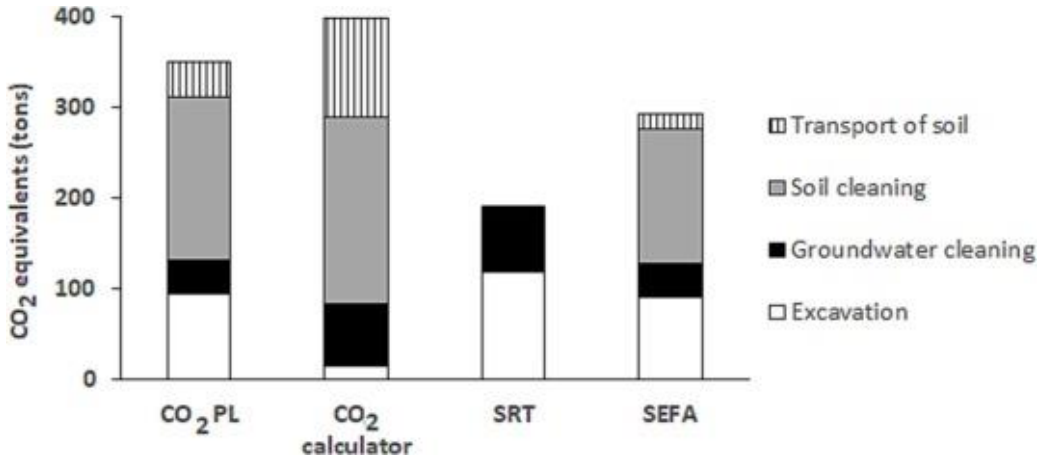
Millaiset ovat keskimääräiset päästöt tutkimusten perusteella?

Suomalaiset arviot

- Kurikassa sijainneen *Rajalan sahan* päästöt olivat noin **19 kg CO_2-e/tonni** poistettua maata. (PIIP)
- Samansuuntaisia lukuja raportoitiin myös *Helsingin Hermannin rantatien* massanvaihtokohteessa, jonka hiilijalanjäljeksi saatiin noin **18 kg CO_2-e/tonni** maa-ainesta. (ZERO-Infra by Ramboll)
- Suomalaiset luvut vastaavat käytännössä luokkaa **0,03 t CO_2-e/m^3** maa-ainesta

Kansainväliset arviot

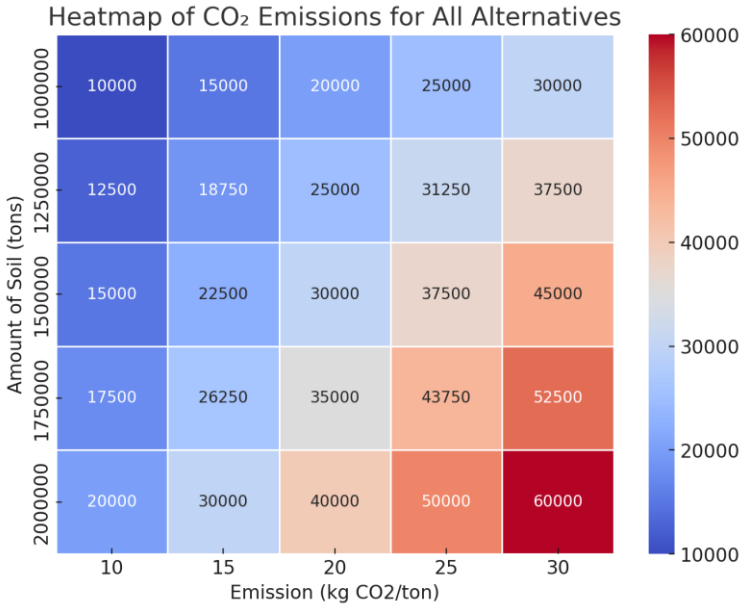
- Kansainvälisten tutkimusten arvioissa pilaantuneen maaperän kunnostuksen ominaispäästöt asettuvat luokkaan **0,01–0,05 t CO_2-e/m^3**.
- Päästöarvojen vertailussa on hyvä huomioida, että eri laskureiden ja laskentamenetelmien välillä on tyypillisesti suurta hajontaa, vaikka taustaoletukset olisivat samat.



Kuvaaja. Päästölaskennan tulosten välinen vaihtelu saman kohteen päästöjen laskennassa eri työkaluilla (Cappuyns et al.)

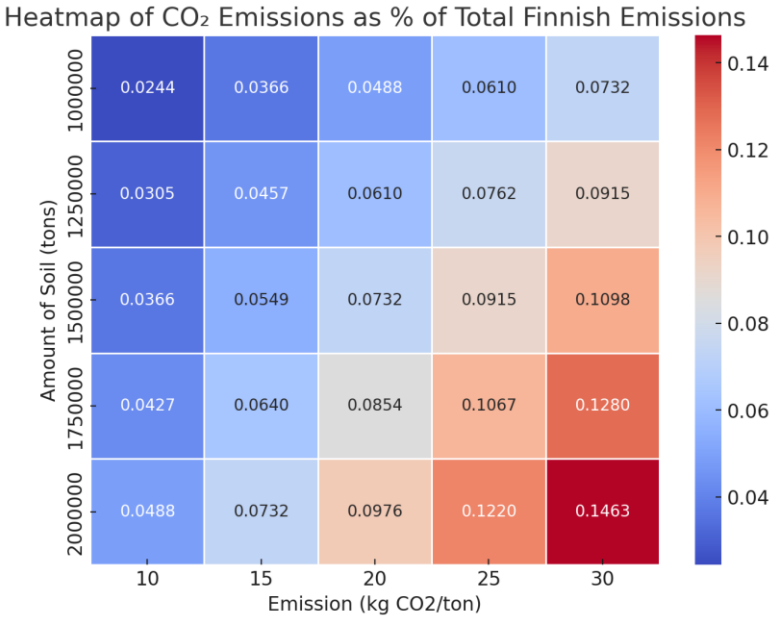
Lähteet: Cai, et al. Investigation of greenhouse gas emissions in soil remediation activities… (2024); Cappuyuns. Carbon footprint calculations in the soil remediation sector: A comparative analysis (2024); Roope Reiman. Zeroinfra-palvelun hyödyntäminen maaperän kunnostuksen arvioinnissa (2024); FCG. Maaperän puhdistusmenetelmien ilmastovaikutukset (2024)

Millainen on PIMA kunnostuksen hiilijalanjälki toimialana Suomessa?



25.000…55.000

tonnia CO_2/vuosi



0,06…0,12 %

Suomen kansallisista päästöistä

- Kunnostuksen hiilijalanjäljen määrittäminen tehtiin seuraavien oletusten perusteella:
  - Kunnostusmenetelmä on 95%:ssa massanvaihto.
  - Jäljelle jäävien 5% päästöjä ei huomioida
  - Massanvaihdon keskimääräiset ominaispäästöt Suomessa ovat 20 kgCO2-e/t maa-ainesta.
  - Massanvaihdon seurauksena loppusijoitettavaa maa-ainesjätettä syntyy noin 1,5 milj. t. vuodessa.
  - Tarkemman datan puuttuessa, päästöjen ja massamäärien vaihtelua varioidaan +/- 20% muutoksilla
- Arvioinnin tuloksena saadaan arvio, joka kattaa enemmistön tilastoiduista kunnostuksista ja massavirroista laskettuna suomalaisilla päästökertoimilla.

Miten päästöjen haittoja voidaan määrittää?

Ulkoinen haitta tarkoittaa taloudellista vahinkoa, joka ei sisälly markkinahintoihin, mutta jonka vaikutukset kohdistuvat yhteiskuntaan, kuten ilmastonmuutos ja terveysvaikutukset. Päästöjen taloudellisen haitan arvioimiseksi on kehitetty useita laskentamenetelmiä, jotka auttavat määrittämään näiden vaikutusten rahallista arvoa.

Social Cost of Carbon

Arvioi kuinka paljon yhteiskunta menettää tai säästää jokaisesta lisätonnista CO_2-päästöjä.

Esimerkiksi:

- Yhdysvaltain hallinnon SCC **51 USD/tCO_2**
- Tutkimusarviot vaihtelevat **20–400 USD/tCO_2** välillä riippuen diskonttokorkotasoista ja ilmastovaikutusten vakavuudesta.

Shadow Pricing

Yritykset ja julkishallinto käyttävät usein hiilen varjohintaa sisäiseen kustannuslaskentaan.

Esimerkiksi:

- Maailmanpankin suositus **40–80 USD/tCO_2**
- EU:n rahoituslaitokset jopa **100 EUR/tCO_2**

Markkinahinnoittelu

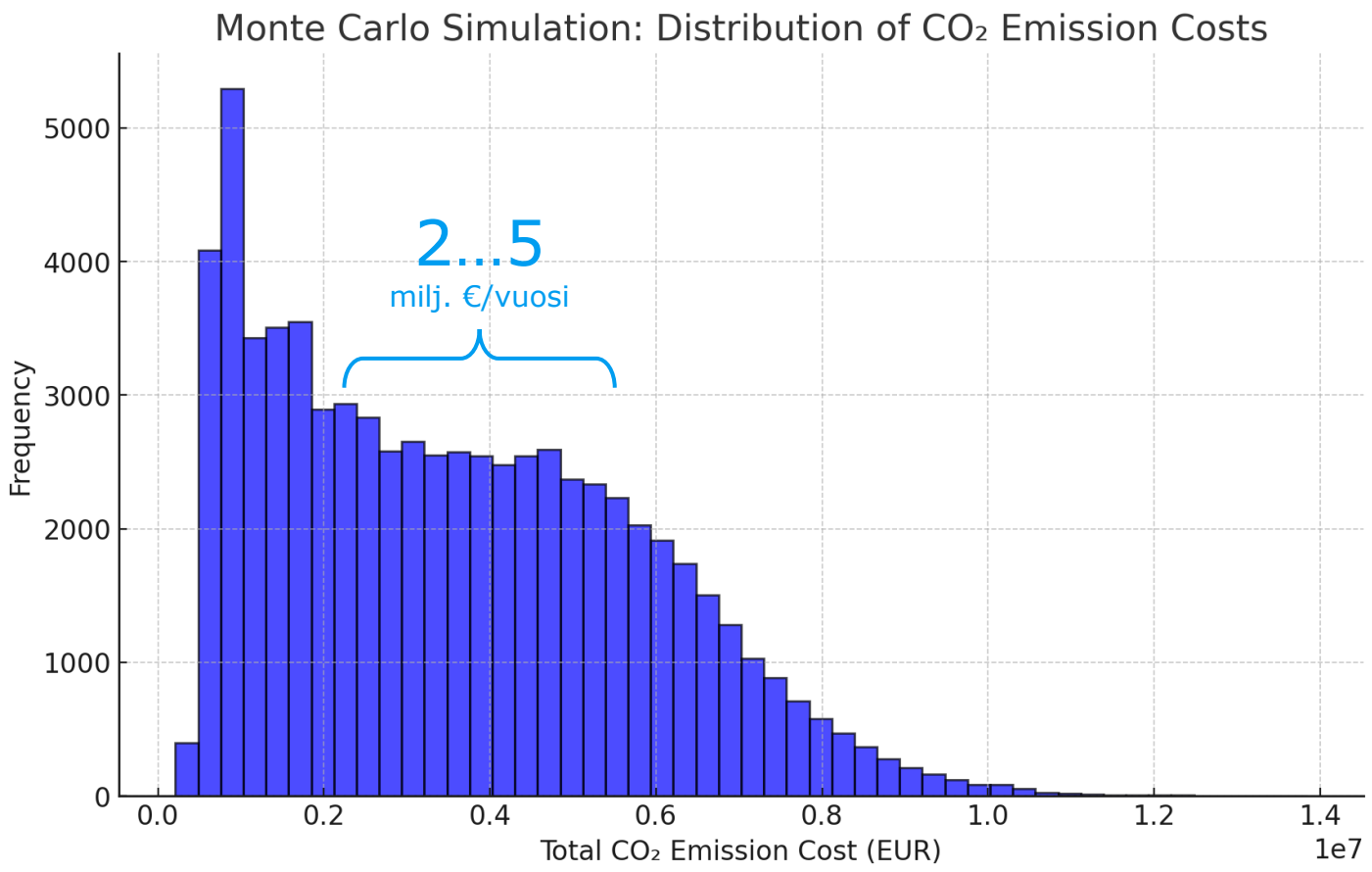
Vertaavat päästöjä hiilimarkkinoiden hintaan.

Esimerkiksi:

- EU ETS:n päästökauppajärjestelmä: **80–100 EUR/tCO_2**
- Vapaaehtoisten hiilikrediittien hinta: **2–15 USD/tCO_2**

Lähteet: Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases (IWG), Technical Support Document (2021); WRI: Social Cost of Carbon; World Bank, State and Trends of Carbon Pricing (2023); OECD: Effective Carbon Rates; European Commission, EU ETS Handbook (2023); World Bank Carbon Pricing Dashboard

Paljonko PIMA kunnostusten päästöjen kustannus sitten on?



Kustannus kansallisesti

- Jos oletetaan, että keskimääräinen KHK-päästöjen ulkoinen kustannus on **80 €/t CO_2-e**
- Kansallisten kustannusten kokoluokkaa arviotiin hyödyntämällä Monte Carlo simulaatiota, jossa
  - Päästöjen kustannuksia varioitiin **+/- 20%**
  - Päästöjen määrää varioitiin **25…55.000 tonnia/vuosi**
- Simuloinnin perusteella kustannusten enemmistö osuu **2…5 m€** välille ja mediaani **5 m€**
- Jos ed. kustannus jaetaan **kohdetasolle**, niin yksittäisen kohteen päästöjen kustannus on **10…20 t€**

Yhteenveto

- Pilaantuneen maaperän kunnostuksen KHK-päästöt ovat Suomessa noin **25 000–55 000 t. CO_2-e vuodessa**.
- Toimiala muodostaa noin **0,06–0,12 %** Suomen kansallisista KHK-päästöistä.
- Päästöjen kansantaloudelliset kustannukset ovat vuositasolla arviolta **2–5 milj. €**.
- Keskimääräisen PIMA-kohteen ilmastovaikutus ylittää helposti **100 t. CO_2-e** ja sen yhteiskunnallinen kustannus **10 000 €**

Tarkemman tutkimuksen tarve?

- Vastaavaa sektorikohtaista analyysiä PIMA toimialan päästöistä ja lähteistä ei ole aiemmin toteutettu tutkimuskentällä.
- Tulosten tarkentaminen auttaisi ymmärtämään paremmin yksittäisen toimialan vaikutuksia ympäristöön ja yhteiskuntaan.
- Tarkempi vaikutusten ymmärtäminen auttaisi konkreettisten tavoitteiden asettamisessa – ja toimialan omassa työssä kohti vähäpäästöisyyttä.
- Miltä kuulostaisi maailman ensimmäinen PIMA toimialan ilmastovaikutusten arviointi ja toimenpidesuunnitelma vähäpäästöisyyteen? PIMA Green Deal?

Päästöjen vähentäminen: mitä voimme tehdä jo nyt?

1. Tee riskinarvioinnin lisäksi **elinkaariarviointi** ja/tai laajempi **kestävyysarviointi**.
2. Suunnittele kunnostus **kestävän kunnostamisen** periaatteiden mukaisesti.
3. Aseta riittävän kunnianhimoiset **tavoitteet** päästöjen vähentämiseksi.

Bright
ideas.
Sustainable
change.

RAMBOLL