

SITOWISE

Green dealin lähtötasolaskennan tulokset

Porvoon kaupunki

LAADITTU: 9.10.2026

TYÖRYHMÄ: ANTTON OKSANEN, JUHA SEPPÄLÄ, NOORA AROLA
JA AAPO HUTTUNEN, SITOWISE OY



Laskennan tausta

Laskennan tavoitteena oli laatia Porvoon kaupungille green deal -sitoutumiseen liittyvä lähtötilannelaskenta.

Porvoon kaupungin tavoitteena on vähentää merkittävästi maamassojen hallinnan hiilijalanjälkeä kaavoituskohteiden toteutusvaihtoehtojen välisen tarkastelun kautta. Tässä tapauksessa hiilijalanjäljen vähennyksiä tarkasteltiin maamassojen hallinnan seurauksena vältettyinä kasvihuonekaasupäästöinä BAU-tilanteeseen verrattuna. BAU-tilanne on laskennassa määritetty tilanteena, jossa kaikki tuotetut maamassat viedään loppusijoitukseen kaatopaikoille. Kaupunki sitoutuu selvittämään lähtötason tiedot vuoteen 2027 mennessä ja samalla asettamaan myös sitoumusta kuvaavan numeerisen tavoitteen.

Maamassojen hallinnan toimenpiteissä korostuvat kaavoitus (kaupungin omien maankaatopaikkojen sekä välivarastointi- ja jalostusalueiden esittäminen yleiskaavassa), suunnittelu ja toteutus (esim. esirakentamisen aikatauluttaminen, työmaiden yhteensovittaminen, toimintaohje kaupungin massojenhallinnan toimintatavoista) sekä laaja yhteistyö (esim. kiertotalousyhteistyön kehittäminen naapurikuntien ja alueellisen jätehuoltoyhtiön kanssa, massatyöryhmän perustaminen, massakoordinoinnin edistäminen).

Lähtötiedot (1/2)

Leica-järjestelmä – tiedot kuljetuksista

- Tiedot tehdyistä maamassojen kuljetuksista saatiin Porvoon kaupungin käyttämästä Leica-järjestelmästä
- Järjestelmään ladattiin tehdyt kuljetuskirjaukset vuosilta 2019–2025
- Tiedot sisältävät kuljetuksen ajankohdan, lähtöpaikan ja kohteen, kuljetuskaluston tyypin, kuljetuskaluston lavan tilavuuden ja kuljetetun maamassan tyypin
- Teoriassa Leicaan on tallennettu myös todellinen kuljetusreitti yksityiskohtaisesti, mutta tämän tiedon hyödyntäminen on teknisesti todella haastavaa, joten tätä tietoa ei voitu käyttää laskennassa

	Cut activity	Fill activity	Load time	Dump time	Volume	Material	Unit	 
▼	2025-12-31 (Showing 2 out of 2 hauls)		2025-12-31 07:51:30	2025-12-31 09:04:34	18			
☐	tolkkinen terrawize M...	Kokonniemen infra mu...	2025-12-31 08:22:55	2025-12-31 09:04:34	9	murske 0-56mm	Vieras TEKIPAD06	 
☐	tolkkinen terrawize M...	Kokonniemen infra mu...	2025-12-31 07:51:30	2025-12-31 08:10:54	9	murske 0-56mm	Vieras TEKIPAD06	 
▼	2025-12-30 (Showing 11 out of 11 hauls)		2025-12-30 07:26:34	2025-12-30 13:54:15	105			
☐	tolkkinen terrawize M...	Kokonniemen infra mu...	2025-12-30 13:38:13	2025-12-30 13:54:15	9	murske 0-56mm	Vieras TEKIPAD06	 
☐	tolkkinen terrawize M...	Kokonniemen infra mu...	2025-12-30 13:08:11	2025-12-30 13:26:38	9	murske 0-56mm	Vieras TEKIPAD06	 
☐	tolkkinen terrawize M...	Kokonniemen infra mu...	2025-12-30 12:37:43	2025-12-30 12:55:46	9	murske 0-56mm	Vieras TEKIPAD06	 
☐	tolkkinen terrawize M...	Kokonniemen infra mu...	2025-12-30 12:06:40	2025-12-30 12:25:44	9	murske 0-56mm	Vieras TEKIPAD06	 
☐	tolkkinen terrawize M...	Kokonniemen infra mu...	2025-12-30 11:35:39	2025-12-30 11:54:30	9	murske 0-56mm	Vieras TEKIPAD06	 
☐	Kokonniemen infra mu...	Kokonniemen infra mu...	2025-12-30 10:39:04	2025-12-30 10:47:10	9	murske 0-56mm	Vieras TEKIPAD06	 

Kuvakaappaus Leica-järjestelmässä olevista kirjauksista

Lähtötiedot (2/2)

Kuormien kuljetuksissa käytettävät ajoneuvot:

- Kuljetusautoksi oletettiin maansiirtoauto (32 t)
- Laskenta toteutettiin täydellä lavatilavuudella ja sen lisäksi laskettiin herkkyystarkastelu 85 % täyttöasteella
- Päästökertoimet kuljetusajoneuvoille saatiin SYKE:n Infrarakentamisen päästötietokannasta:
 - Maansiirtoautot 32 t, 80 %, maantieajo: 0,061 kg CO₂e/tkm (tkm = tuhatta kilometriä)
 - Maansiirtoautot 32 t, 100 %, maantieajo: 0,051 kg CO₂e/tkm
 - Näistä interpoloitiin herkkyystarkasteluun päästökerroin 85 % kuljetukselle: 0,059 kg CO₂e/tkm
 - Biopolttoaineita (biodiesel, HVO) käyttävien ajoneuvojen päästöt laskettiin 50 % pienemmällä päästökertoimella

Maamassojen massamäärien laskenta:

- Maamassojen tilavuuspainot yleistettiin kolmeen luokkaan:
 - Murske (kaikki koot): 1,8 t/m³
 - Moreeni ja kitkamaa: 2,0 t/m³
 - Muut/yleinen maa-aines: 1,7 t/m³
- Kuljetettavat maamassat saatiin kertomalla maamassojen tilavuuspainot kuljetuskaluston ilmoitetulla lavatilavuudella

Laskentamenetelmä: Kuljetusetäisyydet (1/4)

Kuljetusten etäisyyslaskenta:

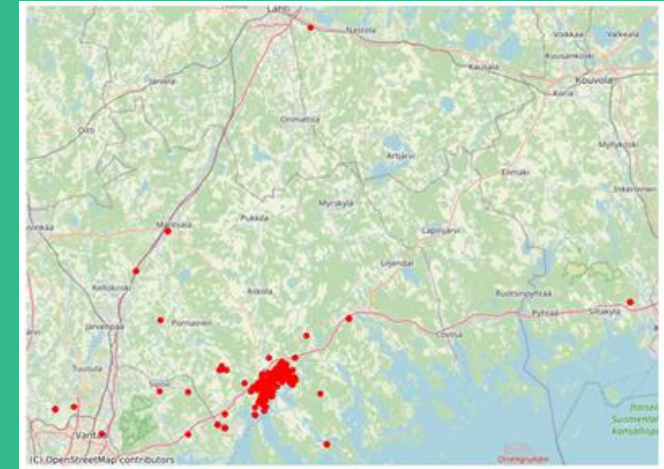
Eri vuosien Leica-kuljetusdatat siistittiin ja yhdistettiin yhdeksi tiedostoksi, jotta prosessointi onnistuisi vaivattomammin. Rivit, joista puuttui lähtö- tai loppusijainti, poistettiin.

Tilaajan antamat osoitteet geokoodattiin Pythonilla osmnx-kirjaston avulla. Osoitteista tehdään kyselyjä, ja kysely palauttaa sijainnin koordinaatteina.

Koordinaatit yhdistettiin Leica-kuljetusdataan eli jokaiselle riville saatiin lähtö- ja loppukoordinaatit. Ajoliikenneverkon graafi, jota tarvittiin reittien laskemiseen, haettiin osmnx-kyselyllä.

Reittien laskenta suoritettiin networkx-kirjaston avulla käyttäen shortest_path-funktiota. Funktio laskee metrisesti lyhimmän reitin pisteestä A pisteeseen B verkkograafia pitkin ja palauttaa matkan pituuden metreinä. Laskenta suoritettiin jokaiselle kuljetusdatan riville.

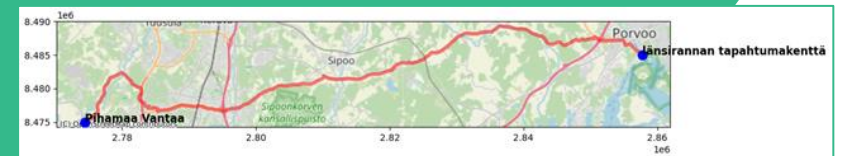
Kuljetuksen laskeminen lyhintä reittiä pitkin oli oletus, joka vaikutti oleellisesti laskennan tuloksiin. Valinta on perusteltu, sillä se on yksinkertainen ja johdonmukainen tapa arvioida kuljetusmatkojen pituutta. Lyhimmän reitin valinta on myös usein polttoaineen kulutuksen kannalta paras vaihtoehto, johon olisi hyvä pyrkiä kuljetuksen suunnittelussa.



Työmaiden sijainnit esitettynä kartalla



Uudenmaan, Kymenlaakson ja Päijät-Hämeen ajoliikenneverkon graafi



Esimerkki laskentatuloksesta

Laskentamenetelmä: Päästölaskenta (2/4)

Kuljetustiedon käsittely Excelissä:

- Etäisyyslaskennasta saadut tulokset tallennettiin .csv-formaatissa, jolloin se voitiin viedä Excel-laskentaan. Laskentarivejä oli noin 35 000. Excel-
taulukossa data tarkistettiin ja muun muassa muutamat ääkkösistä johtuneet virhetulkinnat korjattiin.
- Taustadataan oli määritelty aiemmin esitetyt kolmen maamassaluokan tilavuuspainot, jotka haettiin jokaiselle taulukkoriville Leican
materiaalisarakkeen mukaan hyödyntäen IF-, SEARCH- ja XLOOKUP-funktioita. Muodostetun laskentakaavan johdonmukainen toiminta tarkastettiin
taulukosta.
- Kahdelle ajoneuvolle (Kuorma-auto 4 ja Kuorma-auto 8) Tilaaja oli ilmoittanut ajoneuvon kulkevan biopolttoaineilla, joten näille haettiin erilliset
päästökertoimet IF-funktiota hyödyntäen.
- Päästömäärät laskettiin riveittäin kertomalla sarakkeiden ”Tilavuus”, ”Laskettu etäisyys”, ”Materiaalin tiheys” ja ”Ajoneuvon päästökerroin”
keskenään

	B	C	D	E	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Täyttöaktiiviteetti	Lastausaika	Tilavuus	Materiaali	Vuosi	Lähtöyömaa	Lähtöyömaan lisätieto	Loppuyömaa	Loppuyömaan lisätieto	Laskettu etäisyys (m)	Materiaalin tiheys t / m3	Materiaalin massa t	Ajoneuvon päästökeri	Ajoneuvon	Päästömäärä 100% täyttöaste	Päästömäärä 85 % täyttöaste	CO2e
2	koulukatu Murske 0-150 tuonti	29.8.2019 7:42:00	13	murske 0-150mm	2019	tolkinen terrawize	Neitseellisen kiviaineksen hakupaikka	koulukatu	Työmaa	8 292	1,8	23,4	0,0255	0,02925	4,948	5,675	
3	koulukatu Murske 0-150 tuonti	29.8.2019 7:45:00	9	murske 0-150mm	2019	tolkinen terrawize	Neitseellisen kiviaineksen hakupaikka	koulukatu	Työmaa	8 292	1,8	16,2	0,051	0,0585	6,851	7,858	
4	tolkinen maankaatopaikka Kitkamaa	29.8.2019 8:07:00	9	Kitkamaa ja moreeni	2019	koulukatu	Työmaa	Maankaatopaikka tolkinen	Kaatopaikka	4 276	2	18	0,051	0,0585	3,925	4,503	
5	koulukatu Murske 0-150 tuonti	29.8.2019 8:13:00	13	murske 0-150mm	2019	tolkinen terrawize	Neitseellisen kiviaineksen hakupaikka	koulukatu	Työmaa	8 292	1,8	23,4	0,0255	0,02925	4,948	5,675	
6	koulukatu Murske 0-150 tuonti	29.8.2019 8:30:00	9	murske 0-150mm	2019	tolkinen terrawize	Neitseellisen kiviaineksen hakupaikka	koulukatu	Työmaa	8 292	1,8	16,2	0,051	0,0585	6,851	7,858	
7	Maankaatopaikka tolkinen pintamaa	29.8.2019 8:38:00	13	Pintamaa	2019	koulukatu	Työmaa	Maankaatopaikka tolkinen	Kaatopaikka	4 276	1,7	22,1	0,0255	0,02925	2,410	2,764	
8	koulukatu Murske 0-150 tuonti	29.8.2019 9:22:00	13	murske 0-150mm	2019	tolkinen terrawize	Neitseellisen kiviaineksen hakupaikka	koulukatu	Työmaa	8 292	1,8	23,4	0,0255	0,02925	4,948	5,675	
9	tolkinen maankaatopaikka Kitkamaa	29.8.2019 9:35:00	9	Kitkamaa ja moreeni	2019	koulukatu	Työmaa	Maankaatopaikka tolkinen	Kaatopaikka	4 276	2	18	0,051	0,0585	3,925	4,503	
10	tolkinen maankaatopaikka Kiinteä s.	29.8.2019 9:54:00	13	Kiinteä savi	2019	koulukatu	Työmaa	Maankaatopaikka tolkinen	Kaatopaikka	4 276	1,7	22,1	0,0255	0,02925	2,410	2,764	
11	koulukatu Murske 0-150 tuonti	29.8.2019 10:03:0	9	murske 0-150mm	2019	tolkinen terrawize	Neitseellisen kiviaineksen hakupaikka	koulukatu	Työmaa	8 292	1,8	16,2	0,051	0,0585	6,851	7,858	
12	tolkinen maankaatopaikka Kitkamaa	29.8.2019 10:31:0	9	Kitkamaa ja moreeni	2019	koulukatu	Työmaa	Maankaatopaikka tolkinen	Kaatopaikka	4 276	2	18	0,051	0,0585	3,925	4,503	
13	tolkinen maankaatopaikka Kiinteä s.	29.8.2019 10:39:0	13	Kiinteä savi	2019	koulukatu	Työmaa	Maankaatopaikka tolkinen	Kaatopaikka	4 276	1,7	22,1	0,0255	0,02925	2,410	2,764	
14	koulukatu Murske 0-150 tuonti	29.8.2019 11:37:0	13	murske 0-150mm	2019	tolkinen terrawize	Neitseellisen kiviaineksen hakupaikka	koulukatu	Työmaa	8 292	1,8	23,4	0,0255	0,02925	4,948	5,675	
15	koulukatu Murske 0-150 tuonti	29.8.2019 11:50:0	9	murske 0-150mm	2019	tolkinen terrawize	Neitseellisen kiviaineksen hakupaikka	koulukatu	Työmaa	8 292	1,8	16,2	0,051	0,0585	6,851	7,858	
16	Maankaatopaikka tolkinen pintamaa	29.8.2019 12:28:0	13	Pintamaa	2019	koulukatu	Työmaa	Maankaatopaikka tolkinen	Kaatopaikka	4 276	1,7	22,1	0,0255	0,02925	2,410	2,764	
17	tolkinen maankaatopaikka Kitkamaa	29.8.2019 12:35:0	9	Kitkamaa ja moreeni	2019	koulukatu	Työmaa	Maankaatopaikka tolkinen	Kaatopaikka	4 276	2	18	0,051	0,0585	3,925	4,503	
18	koulukatu Murske 0-150 tuonti	29.8.2019 12:49:0	13	murske 0-150mm	2019	tolkinen terrawize	Neitseellisen kiviaineksen hakupaikka	koulukatu	Työmaa	8 292	1,8	23,4	0,0255	0,02925	4,948	5,675	
19	koulukatu Murske 0-150 tuonti	29.8.2019 13:02:0	9	murske 0-150mm	2019	tolkinen terrawize	Neitseellisen kiviaineksen hakupaikka	koulukatu	Työmaa	8 292	1,8	16,2	0,051	0,0585	6,851	7,858	
20	tolkinen maankaatopaikka Kiinteä s.	29.8.2019 13:11:0	13	Kiinteä savi	2019	koulukatu	Työmaa	Maankaatopaikka tolkinen	Kaatopaikka	4 276	1,7	22,1	0,0255	0,02925	2,410	2,764	
21	tolkinen maankaatopaikka Kitkamaa	29.8.2019 13:20:0	9	Kitkamaa ja moreeni	2019	koulukatu	Työmaa	Maankaatopaikka tolkinen	Kaatopaikka	4 276	2	18	0,051	0,0585	3,925	4,503	
22	koulukatu Murske 0-150 tuonti	29.8.2019 13:57:0	13	murske 0-150mm	2019	tolkinen terrawize	Neitseellisen kiviaineksen hakupaikka	koulukatu	Työmaa	8 292	1,8	23,4	0,0255	0,02925	4,948	5,675	
23	koulukatu Murske 0-150 tuonti	29.8.2019 14:09:0	9	murske 0-150mm	2019	tolkinen terrawize	Neitseellisen kiviaineksen hakupaikka	koulukatu	Työmaa	8 292	1,8	16,2	0,051	0,0585	6,851	7,858	
24	tolkinen maankaatopaikka Kiinteä s.	29.8.2019 14:30:0	13	Kiinteä savi	2019	koulukatu	Työmaa	Maankaatopaikka tolkinen	Kaatopaikka	4 276	1,7	22,1	0,0255	0,02925	2,410	2,764	
25	tolkinen maankaatopaikka Kitkamaa	29.8.2019 14:34:0	9	Kitkamaa ja moreeni	2019	koulukatu	Työmaa	Maankaatopaikka tolkinen	Kaatopaikka	4 276	2	18	0,051	0,0585	3,925	4,503	
26	tolkinen maankaatopaikka Kiinteä s.	30.8.2019 7:26:00	9	Kiinteä savi	2019	koulukatu	Työmaa	Maankaatopaikka tolkinen	Kaatopaikka	4 276	1,7	15,3	0,051	0,0585	3,337	3,827	
27	tolkinen maankaatopaikka Kiinteä s.	30.8.2019 7:29:00	13	Kiinteä savi	2019	koulukatu	Työmaa	Maankaatopaikka tolkinen	Kaatopaikka	4 276	1,7	22,1	0,0255	0,02925	2,410	2,764	
28	koulukatu Murske 0-90 tuonti	30.8.2019 7:47:00	9	murske 0-90mm	2019	tolkinen terrawize	Neitseellisen kiviaineksen hakupaikka	koulukatu	Työmaa	8 292	1,8	16,2	0,051	0,0585	6,851	7,858	

Kuvakaappaus laskenta-Excelistä

Laskentamenetelmä: Päästölaskenta (3/4)

Loppusijoitetut maamassat

- Loppusijoitettujen maamassojen laskennan lähtötiedot saatiin kahdesta aineistosta; Leicasta saatavissa tiedoissa oli Porvoon omille kaatopaikoille vietyjen maamassojen kuljetustiedot, ja sen lisäksi Tilaajalta saatiin Excel-tiedosto, johon oli raportoitu vuositasolla Mömossenin kaatopaikalle vietyjen kuljetusten tiedot. Tiedot yhdistettiin ja laskettiin Excelissä.
- Leicaan kirjattujen kaatopaikalle vietyjen maamassojen määrät saatiin laskettua hakemalla kuljetusmäärät kaatopaikoille "Lopputyömaan lisätieto"-sarakkeesta SUMIF-funktiolla.
- Kuljetusten laskennasta keskiarvoistettiin kuljetusmatka työmaalta kaatopaikalle perustuen kaatopaikalle vietyihin kuljetuskirjauksiin. Keskiarvokertoimet laskettiin jokaiselle raportointivuodelle erikseen.
- Saaduilla keskiarvokertoimilla kerrottiin maamassojen määrät, jolloin saatiin kuljetusmäärät tonnakilometreinä.

Maamassojen kuljetukset loppusijoitukseen		Tiedot Mömossenin massojen kokonaismääristä tuotu tiedostosta "Ulkopuoliset loppusijoituspaikat.xlsx"									
Vuosi	Keskiarvoinen kuljetusmatka maankaatopaikalle [m]	Mömossenille loppusijoitetut massat [m3]	Muille kaatopaikoille sijoitettujen massojen kokonaismäärä [m3]	Loppusijoitettujen massojen kokonaismäärä [m3]	Massan tiheys [t / m3]	Loppusijoitettujen massojen kokonaismäärä [t]	Kuljetusmäärä loppusijoitukseen [tkm]	Kuljetuksesta syntyvät päästöt 100 % täyttöaste [kg CO2e]	Kuljetuksen päästö per irtokuutio [kg CO2e / irt-m3], 100 % täyttöaste	Kuljetuksesta syntyvät päästöt 85 % täyttöaste [kg CO2e]	Kuljetuksen päästö per irtokuutio [kg CO2e / irt-m3], 85 % täyttöaste
2019	5025,18		3309	3309	1,7	5625	28268	1441,7	0,44	1653,7	0,50
2020	11010,17		8055	8055	1,7	13694	150768	7689,2	0,95	8819,9	1,09
2021	22831,66	351,83	4538	4890	1,7	8313	189793	9679,4	1,98	11102,9	2,27
2022	9399,77	280,00	10055	10335	1,7	17570	165149	8422,6	0,81	9661,2	0,93
2023	17510,81	32702,44	2141	34843	1,7	59234	1037233	52898,9	1,52	60678,1	1,74
2024	31573,77	498,94	164	663	1,7	1127	35584	1814,8	2,74	2081,7	3,14
2025	23205,66	7200,00	471	7671	1,7	13041	302618	15433,5	2,01	17703,2	2,31
Yhteensä	17222,43	41033,22	28733	69766	1,7	118603	1909413	97380,1	1,40	111700,7	1,60

Kuvakaappaus laskenta-Excelistä

Laskentamenetelmä: Päästölaskenta (4/4)

Päästölaskennan tulokset:

- Päästölaskennasta tavoitteena oli selvittää vuosikohtaisesti sekä keskiarvallisesti vuosilta 2019–2025:
 - Hyötykäyttöaste
 - Kokonaispäästöt toteutuneista kuljetuksista
 - Kokonaispäästöt kuljetuksista BAU-skenaariossa
 - Maamassojen hallinnan hiilikädenjäljet
- Kaikki yllä mainitut tulokset pystyttiin laskemaan SUMIF-funktioiden avulla kuljetusten rivikohtaisesta laskennasta ja loppusijoitettujen maamassojen laskennasta.
- Hyötykäyttöasteen laskennassa huomattiin, että lähtötiedoissa on myös neitseellisen materiaalin kuljetustietoja, joten hyötykäyttöaste laskettiin kolmella tavalla:
 1. Hyötykäyttöaste, jossa hyötykäytetty osa sisältää neitseelliset materiaalit
 2. hyötykäyttöaste, josta on vähennetty neitseelliset materiaalit hyötykäytetystä maamassasta
 3. Hyötykäyttöaste, jossa neitseelliset materiaalit on vähennetty myös maamassojen kokonaismäärästä
- Vähennykset maamassojen hallinnan hiilijalanjälkiin laskettiin vähentämällä toteutuneiden kuljetusten vuositason oleva päästökerroin BAU-skenaariotason vuositason päästökertoimesta, jossa kaikki massat kuljetetaan loppusijoitukseen

Kaavat hyötykäyttöasteille:

$$1. \text{ hyötykäyttöaste} - \% = \frac{\text{neitseelliset maamassat} + \text{kierrätetyt maamassat}}{\text{neitseelliset} + \text{kierrätetyt} + \text{loppusijoitetut}}$$

$$2. \text{ hyötykäyttöaste} - \% = \frac{\text{kierrätetyt maamassat}}{\text{neitseelliset} + \text{kierrätetyt} + \text{loppusijoitetut}}$$

$$3. \text{ hyötykäyttöaste} - \% = \frac{\text{kierrätetyt maamassat}}{\text{kierrätetyt} + \text{loppusijoitetut}}$$

Laskentamenetelmä: Kustannuslaskenta

Kustannuslaskenta:

- Kustannuslaskenta toteutettiin päästölaskentaan käsitellyn aineiston pohjalta.
- Kustannuslaskennassa laskettiin syntyneet kustannukset maamassojen kuljetuksista, vastaanottomaksuista ja käsittelykustannuksista. Hinnastot saatiin Porvoon kaupungilta.

Kuljetuskustannuksien laskenta:

- Maamassojen kuljetuksista aiheutuvat kustannukset laskettiin kertomalla kuljetukseen kulunut aika ja käytetyn ajoneuvon tuntihinta keskenään.
 - Kuljetukseen kulunut aika saatiin Leica-tiedoista ja tuntihinnat Porvoon kaupungin kilpailutusraporteilta.
 - Kuljetuksen ajoneuvotyyppi valittiin perustuen ajoneuvon ilmoitettuun lavatilavuuteen.
- Osa kuljetuksista oli kestänyt useita päiviä eli luultavasti lastattu kuorma on seisonut esimerkiksi viikonlopuista ja loma-ajoista johtuen. Näin ollen käyttöaikoihin perustuvat kustannukset nousivat erittäin korkeiksi virheellisesti. Tämä kierrettiin rajaamalla laskennasta ulos kuljetukset, jotka kestivät yli 2 tuntia. Noin 98 % kuljetuksista kesti alle 2 tuntia.

Tuntihinnat ajoneuvoille € / h

Ajoneuvo / vuosi	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
4-akseli	60	60	64,53	64,53	73,76	59,5	58,19
5-akseli	63,5	63,5	69,26	69,26	79,16	69,9	68,36
Kasettiauto	92,5	92,5	92,66	92,66	105,92	94	91,92

Ajoneuvotyyppi	Lavatilavuus
4-akseli	15 m ³ tai vähemmän
5-akseli	Yli 15 m ³ ja alle 20 m ³
Kasettiauto	20 m ³ tai enemmän

Laskentamenetelmä: Kustannuslaskenta

Vastaanottomaksujen laskenta:

- Maamassojen vastaanottomaksuista aiheutuvat kustannukset laskettiin maamassan lajin perusteella Porvoon kaupungin ilmoittamista sopimushinnoista.
- Vastaanottomaksut laskettiin Mömossenille viedyille kuormille Porvoon toimittamista sopimushinnoista.
- Porvoon kaupungin omille kaatopaikoista allokoitiin irto-m³ kohtainen vastaanottomaksu käsittelypaikkojen vuosikustannuksista. Sisäisten kaatopaikkojen vastaanottomaksuksi allokoitui 2,80 €/irto-m³.
- Osa hinnoista oli kuormaa vastaavana vastaanottomaksuna ja osa oli tonnia tai kuutiota vastaavana hintana. Nämä kaikki laskettiin riveillä kuormaa vastaaviksi hinnoiksi perustuen ajoneuvon lavatilavuuteen.
- Kuormien vastaanottohinnat haettiin rivilaskentaan XLOOKUP- ja IF-funktioilla.

Jätelaji	Kuormakoko	Yksikkö	Hinnat € ALV 0 %
Murske	Kaikki	kuorma	0
Kitkamaa	4-akseli	kuorma	65
Kitkamaa	5-akseli	kuorma	83
Kitkamaa	Kasettiauto	kuorma	153
Savi ja humusmaa	4-akseli	kuorma	81
Savi ja humusmaa	5-akseli	kuorma	103
Savi ja humusmaa	Kasettiauto	kuorma	188
Pilaantunut maa	Kaikki	tonni	17,81
Kannot	Kaikki	kuutio	10,26

Vastaanottomaksut Mömossenilla.

Laskentamenetelmä: Kustannuslaskenta

Käsittelykustannuksien laskenta:

- Käsittelykustannukset on laskettu IHKU-laskentamenetelmiin perustuen.
- Käsittelykustannuksilla tarkoitetaan tässä laskennassa maamassojen kaivua ja kuormausta lähtöpaikassa sekä massojen läjitystä ja mahdollista välivarastointia kohteessa.
- Käsittelykustannukset laskettiin jakamalla Porvoon kaupungin kilpailutussopimuksista saadut tuntihinnat (€/h) kaivinkoneille IHKU:sta saatavilla kaivinkoneiden tuntikohtaisilla työsaavutuksilla (m^3/h), jolloin saatiin käsiteltävää irtokuutiota kohden olevat yksikköhinnat.
- Yksikköhinnat kerrottiin rivikohtaisessa laskennassa kuljetetun massan määrillä.
- Mömossenille viedyille kuormille ei laskettu läjityksestä syntyviä kustannuksia, sillä niiden oletettiin sisältyvän vastaanottomaksuun.

Työvaihe	Vuosi	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Läjitys ja välivarastointi, KKH 17-21	Hinta €/h	60	60	66,08	66,08	75,53	65,98	64,52
	Työsaavutus m^3/h	60	60	60	60	60	60	60
	Yksikköhinta €/m ³	1,00	1,00	1,10	1,10	1,26	1,10	1,08
Maankaivu ja kuormaus, KKH 21-35	Hinta €/h	72,00	72,00	86,05	86,05	98,35	85,00	83,12
	Työsaavutus m^3/h	75	75	75	75	75	75	75
	Yksikköhinta €/m ³	0,96	0,96	1,15	1,15	1,31	1,13	1,11

Työvaiheiden hinnat ja työsaavutukset.

Laskentamenetelmä: Maalajikohtainen laskenta

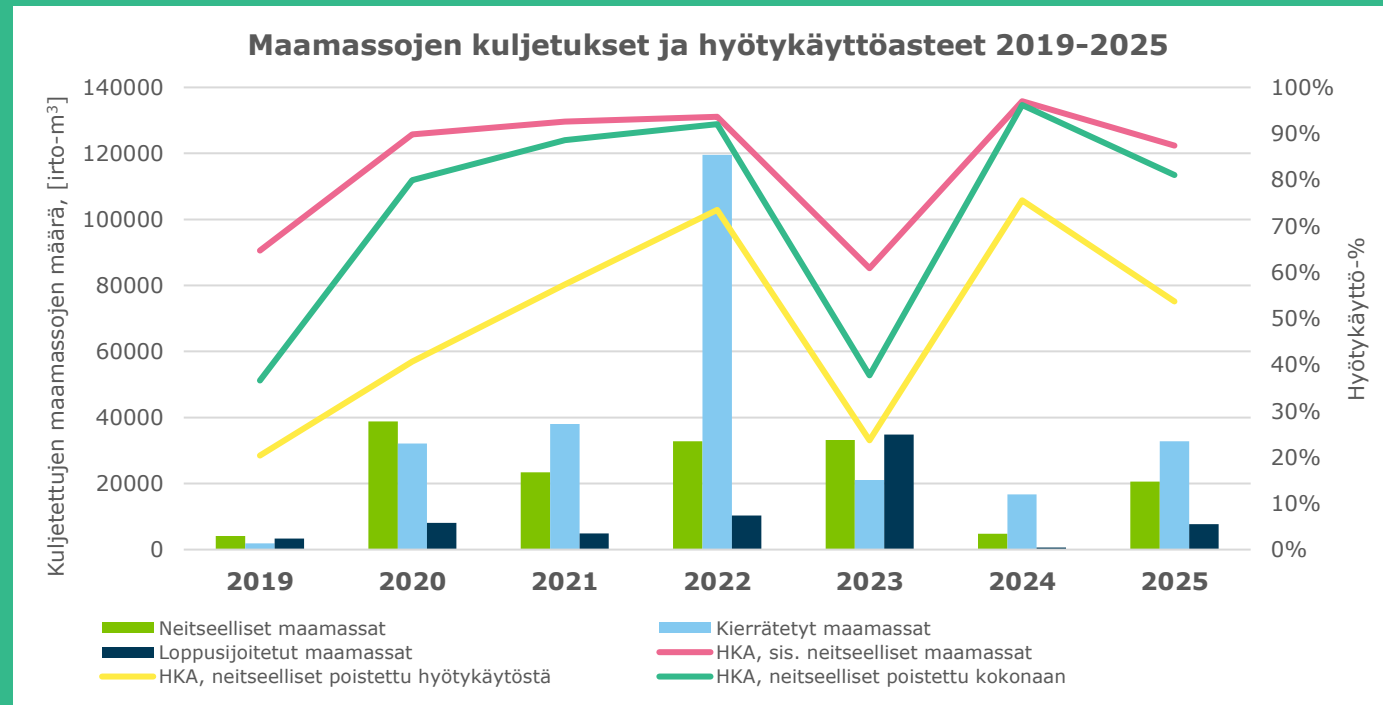
- Maalajikohtainen laskenta toteutettiin päästölaskennassa ja kustannuslaskennassa käsiteltäyn aineistoon pohjautuen.
- Maalajeille laskettiin hyötykäyttöasteet, syntyvät päästöt ja kustannukset maalajin käsittelystä.
- Leicasta saatavassa tiedossa oli ilmoitettu kuljetettu materiaali, ja nämä materiaalit jaettiin maalaji-/materiaaliluokkiin, jotta laskentaan saatiin luokitettua maalajit/materiaalit, joille laskentatulokset kohdistettiin. Luokat määritettiin Leica-tietojen ja Porvoon kaupungilta saatujen aiempien raporttien perusteella.
- Määritetyt luokat olivat:
 - Kiviaines
 - Moreeni ja kitkamaa
 - Savi ja humusmaa
 - Kynnysarvomaa
 - Louhe
 - Välpätty kiviaines
 - Puuaines
 - Betoni
 - Asfaltti
 - Muut
- Rivikohtaiseen kuljetustietoon nämä luokat saatiin lisättyä hakemalla luokka XLOOKUP-funktiolla Leican materiaalitiedot ja nämä luokat yhdistävästä taulukosta.

Laskennan tulokset: hyötykäyttöaste ja päästölaskenta

Hyötykäyttöaste (HKA) vuosilta 2019–2025:

- Keskiarvoinen HKA sisältäen neitseellisten massojen kuljetukset: **85,8 %**
- Keskiarvoinen HKA, josta vähennetty neitseellisten massojen kuljetukset kierrätetystä osuudesta: **53,5 %**
- Keskiarvoinen HKA, josta vähennetty neitseelliset massat kokonaan: **79,0 %**

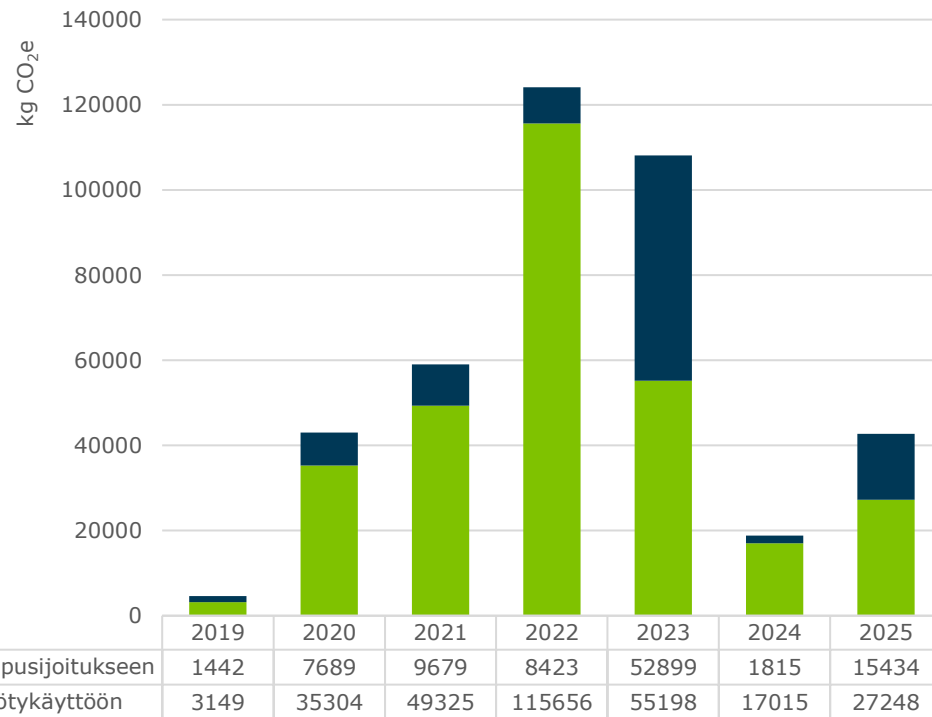
Vuosi	Neitseelliset maamassat [irto-m ³]	Kierrätetyt maamassat [irto-m ³]	Loppusijoitetut maamassat [irto-m ³]	HKA, sis. neitseelliset maamassat	HKA, neitseelliset poistettu hyötykäytöstä	HKA, neitseelliset poistettu kokonaan
2019	4163	1909	3309	64,73 %	20,35 %	36,58 %
2020	38848	32137	8055	89,81 %	40,66 %	79,96 %
2021	23407	38075	4890	92,63 %	57,37 %	88,62 %
2022	32836	119587	10335	93,65 %	73,48 %	92,05 %
2023	33162	21055	34843	60,88 %	23,64 %	37,67 %
2024	4749	16742	663	97,01 %	75,57 %	96,19 %
2025	20628	32775	7671	87,44 %	53,66 %	81,03 %
Yhteensä	157793	262280	69766	85,76 %	53,54 %	78,99 %



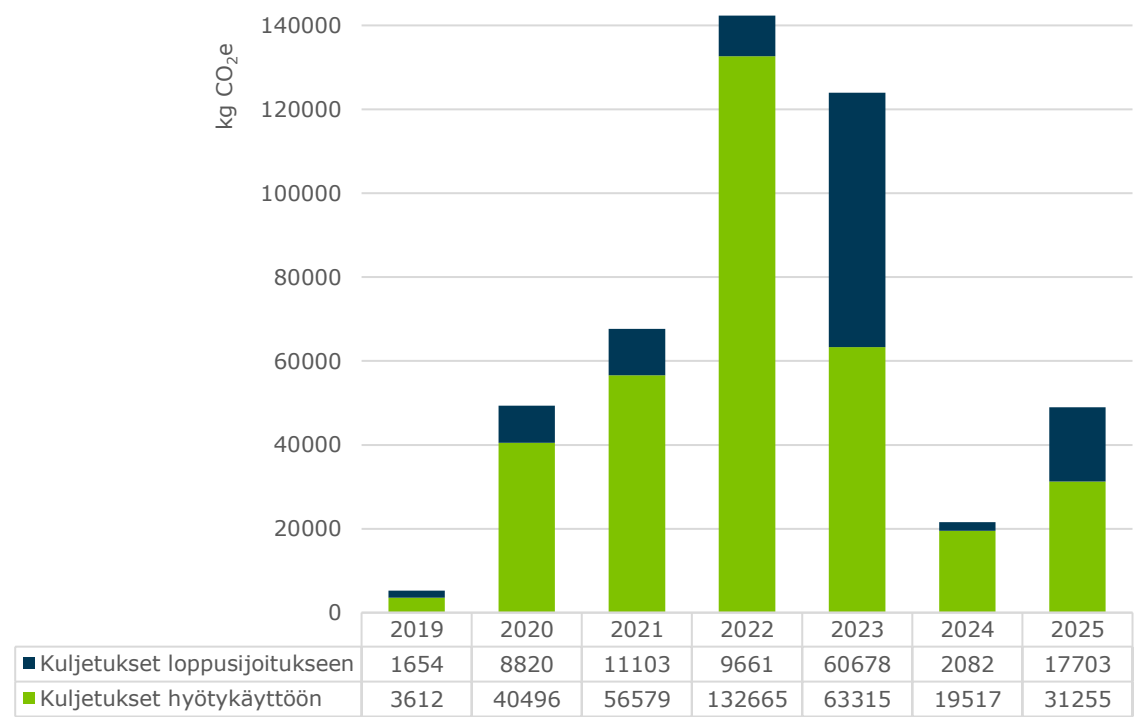
Laskennan tulokset: hyötykäyttöaste ja päästölaskenta

Syntyneet päästöt toteutuneista maamassojen kuljetuksista:

Päästöt kuljetuksista 100 % täyttöasteella

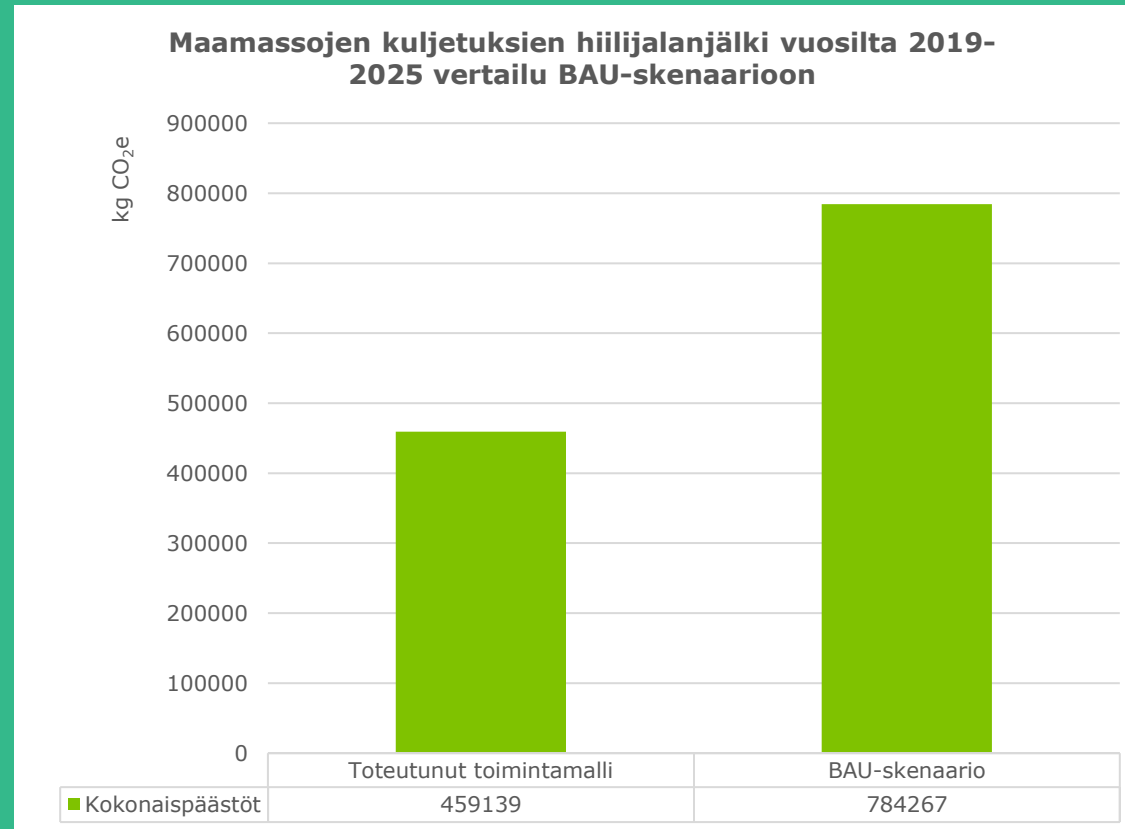


Päästöt kuljetuksista 85 % täyttöasteella



Laskennan tulokset: hyötykäyttöaste ja päästölaskenta

Maamassojen hyötykäytöllä on saavutettu 41 % vähennys maamassojen kuljetusten hiilijalanjälkeen. Syntyneet päästöt toteutuneista maamassojen kuljetuksista verrattuna BAU-skenaarioon:



Laskennan tulokset: hyötykäyttöaste ja päästölaskenta

Skenaariotarkastelu 2019–2025: Toteutuneet kuljetukset vs. BAU-skenaario

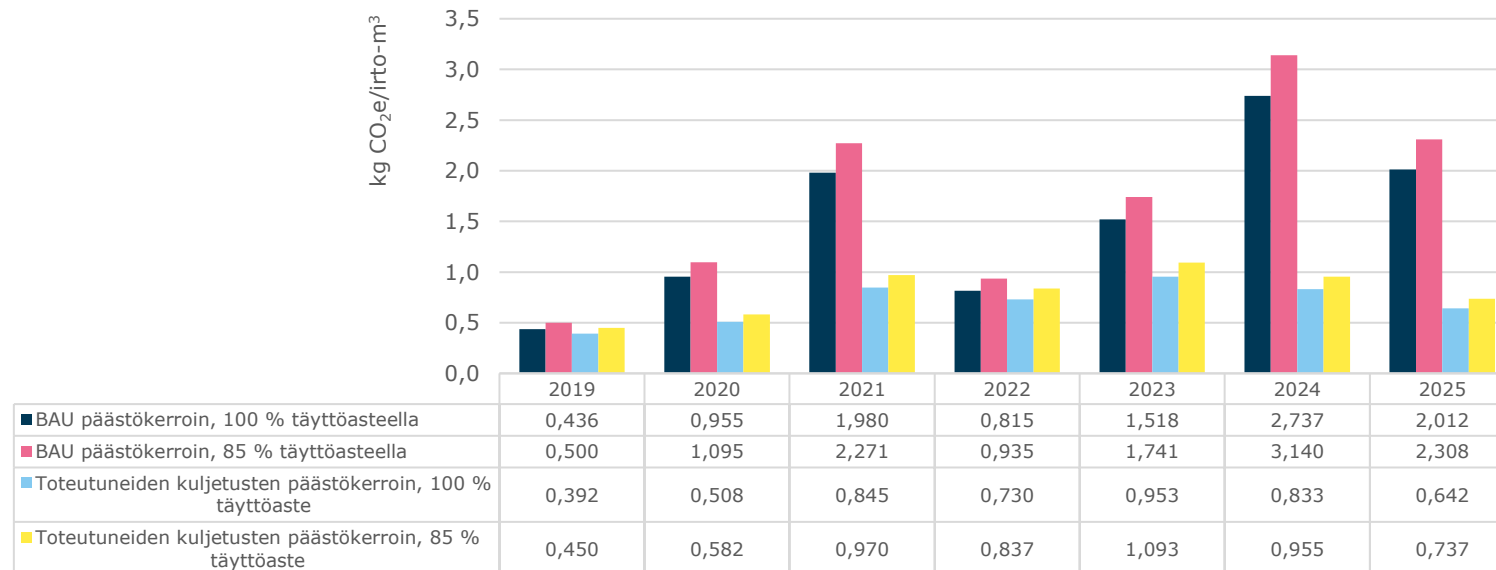
BAU-skenaario:

- Keskiarvoinen BAU-päästökerroin, 100 % täyttöasteella:
1,396 kg CO₂e/irto-m³
- Keskiarvoinen BAU-päästökerroin, 85 % täyttöasteella:
1,601 kg CO₂e/irto-m³

Toteutuneet kuljetukset:

- Keskiarvoinen päästökerroin toteutuneille kuljetuksille, 100 % täyttöaste: **0,817 kg CO₂e/irto-m³**
- Keskiarvoinen päästökerroin toteutuneille kuljetuksille, 85 % täyttöaste: **0,937 kg CO₂e/irto-m³**

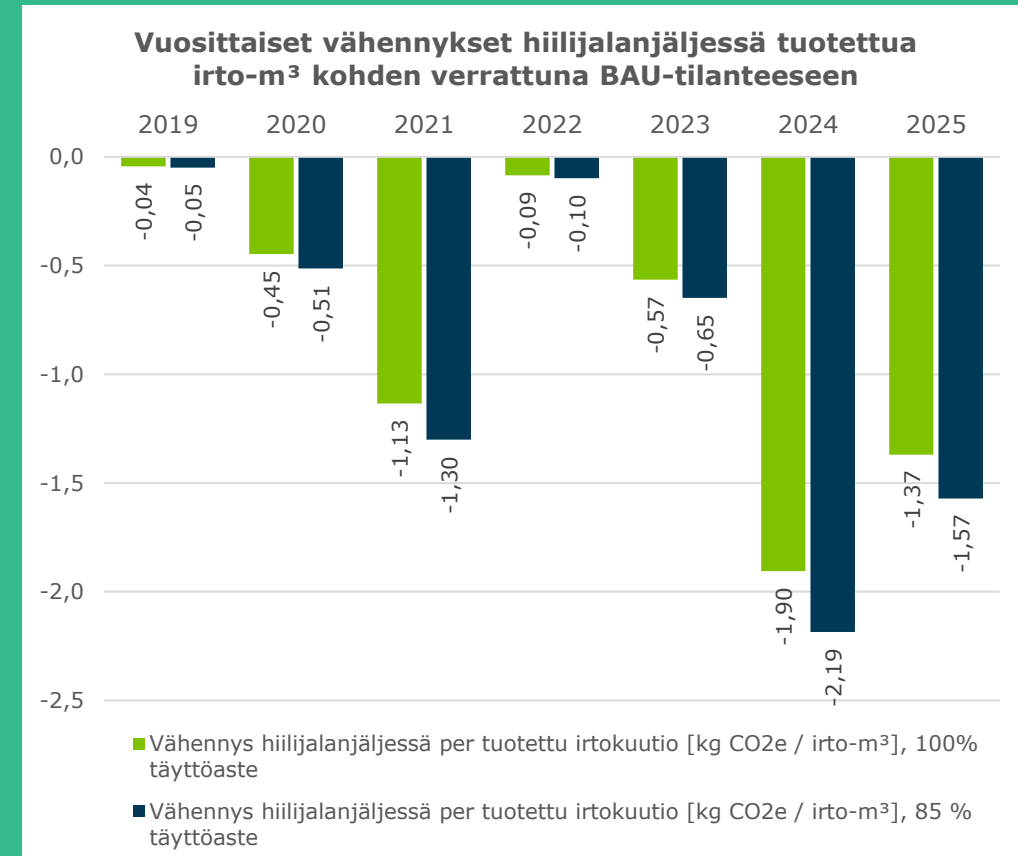
Vuosittaiset päästökertoimet maamassojen kuljetuksille



Laskennan tulokset: hyötykäyttöaste ja päästölaskenta

Vähennykset maamassojen hallinnan hiilijalanjäljessä:

- Vertailussa tarkasteltiin toimintatavalla vältettyä hiilidioksidiekvivalenttikiloa verrattuna BAU-skenaarioon
- Laskettu keskiarvoinen vähennys hiilijalanjäljessä, 100 % täyttöasteella: **-0,58 kg CO₂e/irto-m³**
- Laskettu keskiarvoinen vähennys hiilijalanjäljessä, 85 % täyttöasteella: **-0,66 kg CO₂e/irto-m³**



Laskennan tulokset: hyötykäyttöaste ja päästölaskenta

Vertailu hiilijalanjälkiin muussa elämässä:

- Suomalaisen hiilijalanjälki: 9,6 t CO₂/hlö/vuosi
- Autolla ajettu kilometri: 0,211 kg CO₂e/km
- Menopaluu lentomatka Kanarialle (4 700 km): 760 kg CO₂e/hlö
- Keskiarvoinen EU ETS päästökaupan hinta vuosilta 2020-2025: 67 €/t CO₂e

Vuosilta 2019–2025 lasketut kokonaishiilijalanjäljet vastaavat:

BAU-skenaariossa:

- 82 suomalaisen hiilijalanjälkeä
- 3,7 miljoonaa autolla ajettua kilometriä
- 1 032 edestakaista lentomatkaa Kanarialle
- 52 500 € päästökompensaationa

Toteutuneina kuljetuksina:

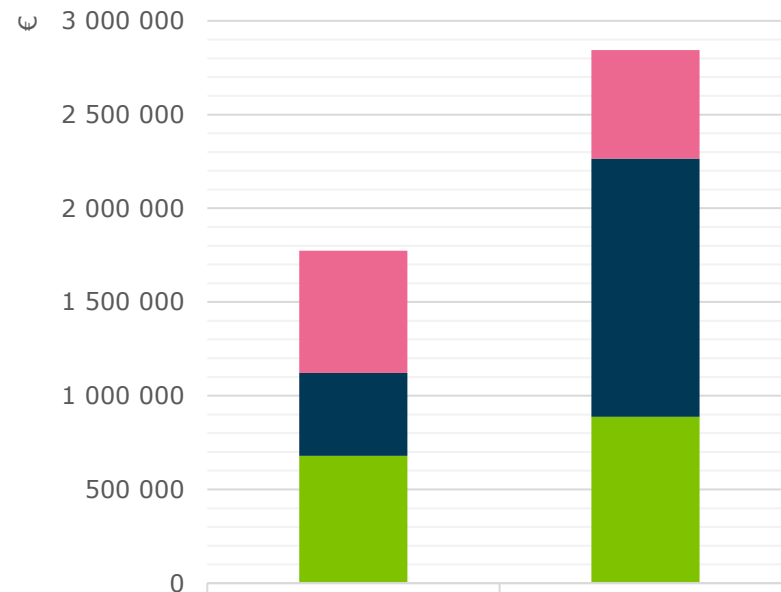
- 47 suomalaisen hiilijalanjälkeä
- 2,2 miljoonaa autolla ajettua kilometriä
- 604 edestakaista lentomatkaa Kanarialle
- 30 700 € päästökompensaationa

Laskennan tulokset: Kustannuslaskenta

Toteutuneet toimintamallin kustannukset ovat noin 38 % pienemmät kuin BAU-skenaarion kustannukset olisivat.

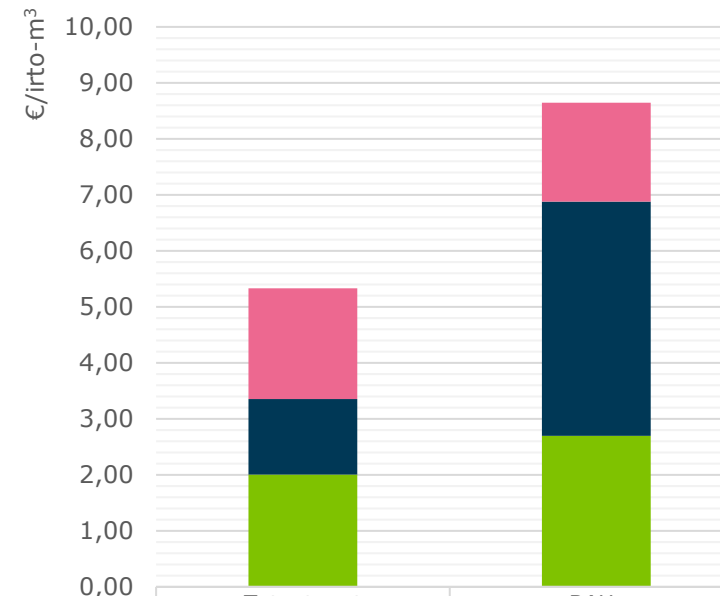
Syntyneet kustannukset maamassojen käsittelystä vuosina 2019–2025:

Maamassojen käsittelystä syntyneet kokonaiskustannukset vuosina 2019–2025



■ Käsittelykustannukset	651 425 €	580 042 €
■ Vastaanottomaksut	442 634 €	1 376 663 €
■ Kuljetukset	678 905 €	888 091 €

Maamassojen käsittelystä syntyneet keskiarvoiset kustannukset vuosina 2019–2025 per irto-m³



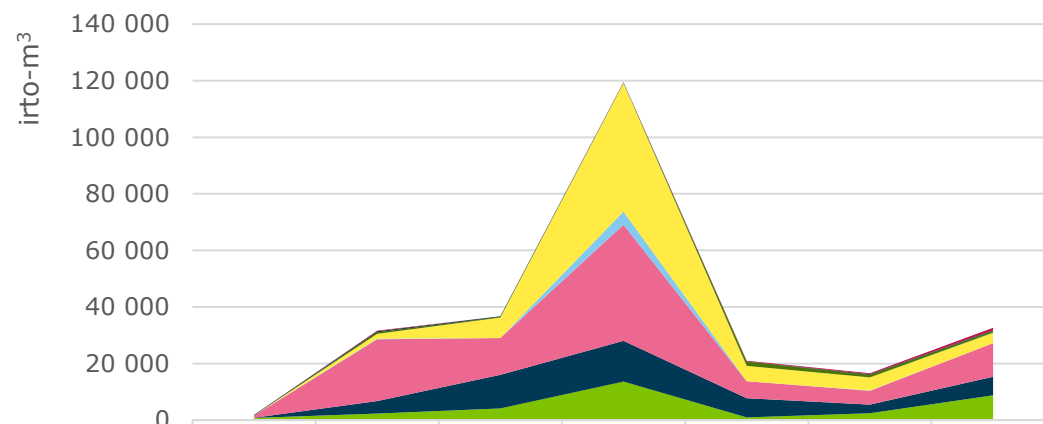
■ Käsittelykustannukset	1,98	1,76
■ Vastaanottomaksut	1,35	4,18
■ Kuljetukset	2,01	2,70

Laskennan tulokset: Maalajikohtaiset tulokset

Suurimmat massavirrat syntyivät saven ja humusmaan, moreenin ja kitkamaan, louheen ja kiviaineksen kuljetuksista.

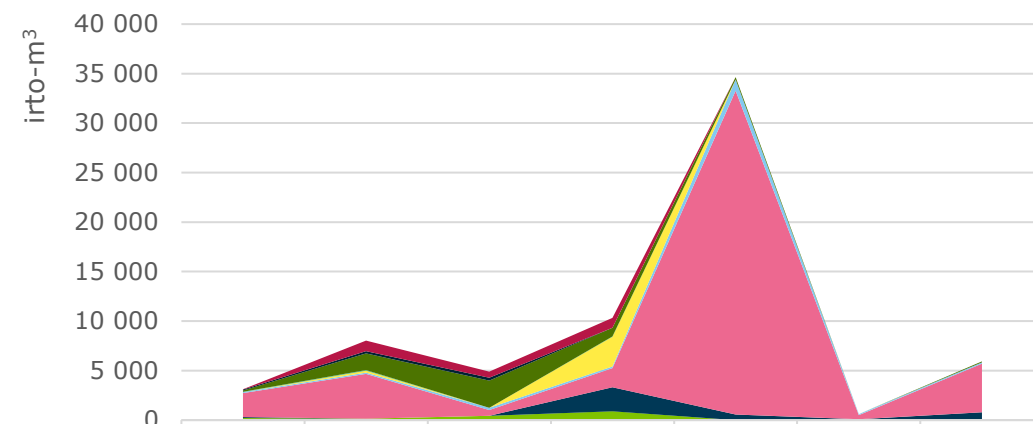
Kierrätetyt ja loppusijoitetut maamassat maalajeittain vuosina 2019–2025:

Kierrätetyt maamassat maalajeittain



■ Puuaines	31	222	74	121	252	379	959
■ Betoni	205	287	238	81	148	247	166
■ Asfaltti	0	565	188	151	1492	841	621
■ Välpätty kiviaines	0	0	14	24	0	0	60
■ Louhe	22	1704	7172	45391	5345	4711	3661
■ Kynnysarvoma	0	217	27	4649	15	13	9
■ Savi ja humusmaa	844	21836	12976	41036	6004	4875	11880
■ Moreeni ja kitkama	36	4462	11965	14364	6760	3107	6488
■ Kiviaines	771	2303	4093	13684	1009	2425	8817

Loppusijoitetut maamassat maalajeittain

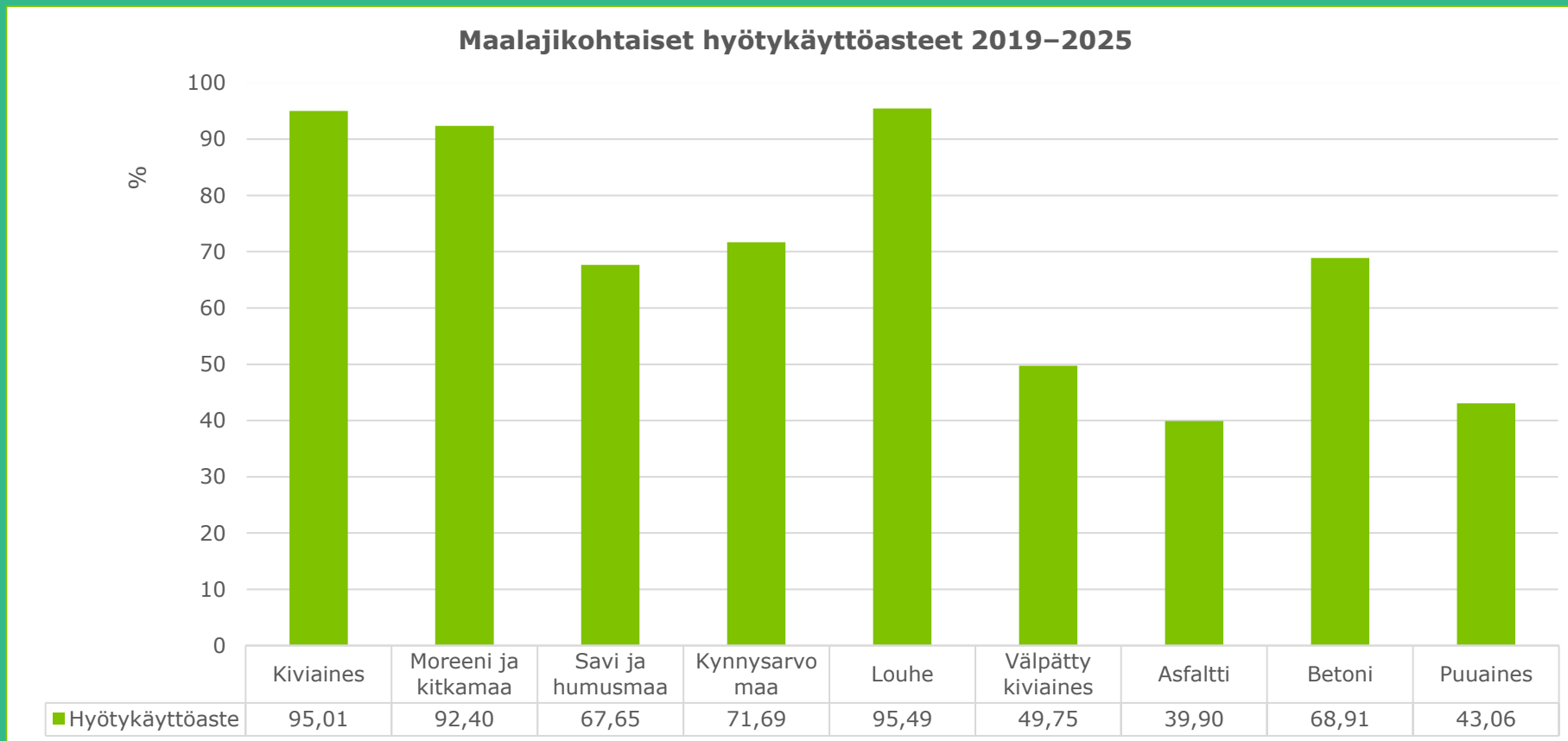


■ Puuaines	26	1065	607	997	0	0	0
■ Betoni	92	232	277	18	0	0	0
■ Asfaltti	139	1687	2765	868	236	0	116
■ Välpätty kiviaines	18	36	0	45	0	0	0
■ Louhe	0	211	0	3004	0	0	0
■ Kynnysarvoma	119	116	207	159	1137	101	108
■ Savi ja humusmaa	2428	4539	595	1922	32714	421	4945
■ Moreeni ja kitkama	90	10	0	2420	558	78	727
■ Kiviaines	201	133	439	902	0	13	49

Laskennan tulokset: Maalajikohtaiset tulokset

Korkeimmat hyötykäyttöasteet olivat kiviaineksella, louheella sekä moreenilla ja kitkamaalla. Hyötykäyttöaste on laskettu kokonaan ilman neitseellisiä maamassoja.

Maalajikohtaiset hyötykäyttöasteet vuosina 2019–2025:

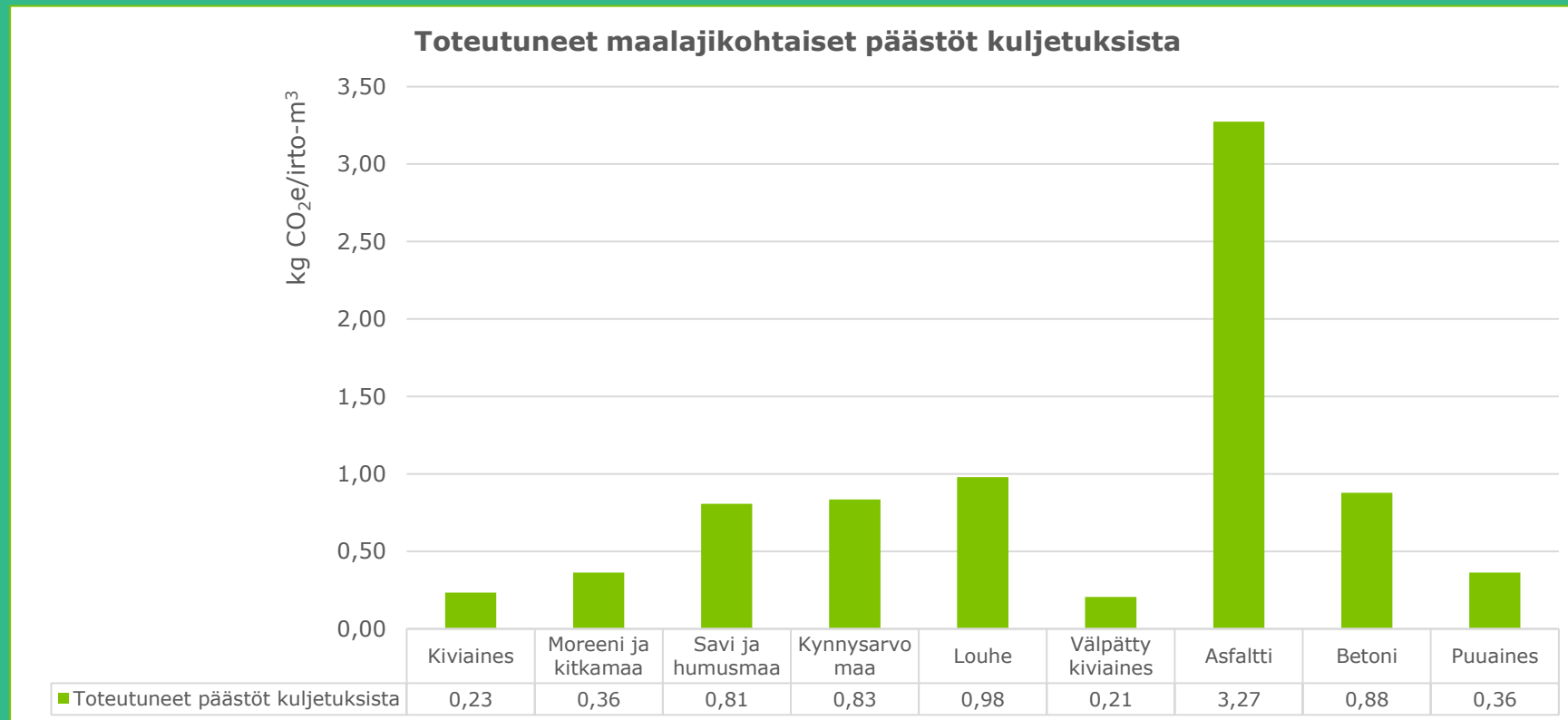


Laskennan tulokset: Maalajikohtaiset tulokset

Tuloksista voidaan todeta, että suurimmat toteutuneet päästöt per irto-m³ maamassaa on syntynyt asfaltin kuljetuksista.

Kiviaineksilla sekä moreeni- ja kitkamailla on pienemmät päästöt irto-m³ kohden kuin savi- ja humusmailla. Toteutuneiden päästöjen suuruus noudattaa pitkälti maamassojen hyötykäyttöasteita. Mitä parempi hyötykäyttöaste, sitä pienemmät päästöt.

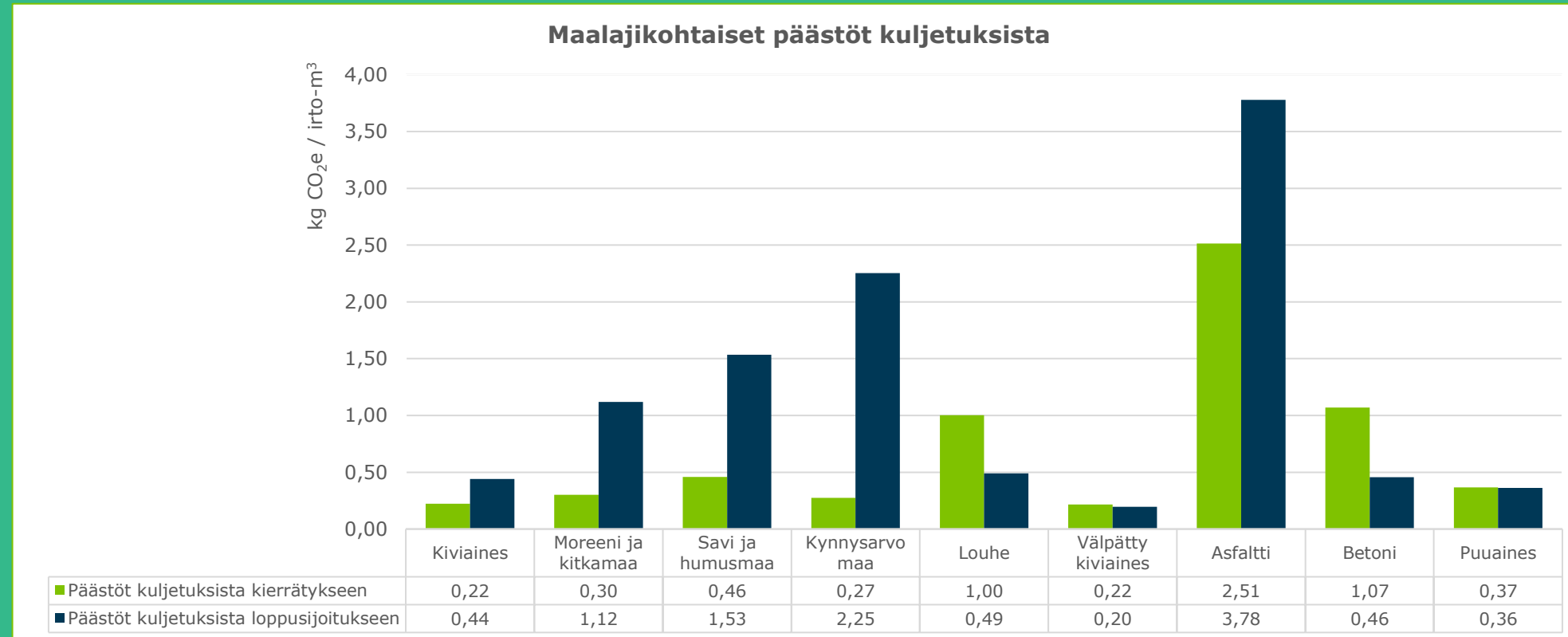
Maalajikohtaiset kuljetuksista syntyvät päästöt per irto-m³ keskiarvona vuosilta 2019–2025:



Laskennan tulokset: Maalajikohtaiset tulokset

Tuloksista voidaan todeta, että kuljetuksista hyötykäyttöön syntyy merkittävästi pienemmät päästöt suurimmalla osalla materiaaleista kuin kuljetuksista loppusijoitukseen.

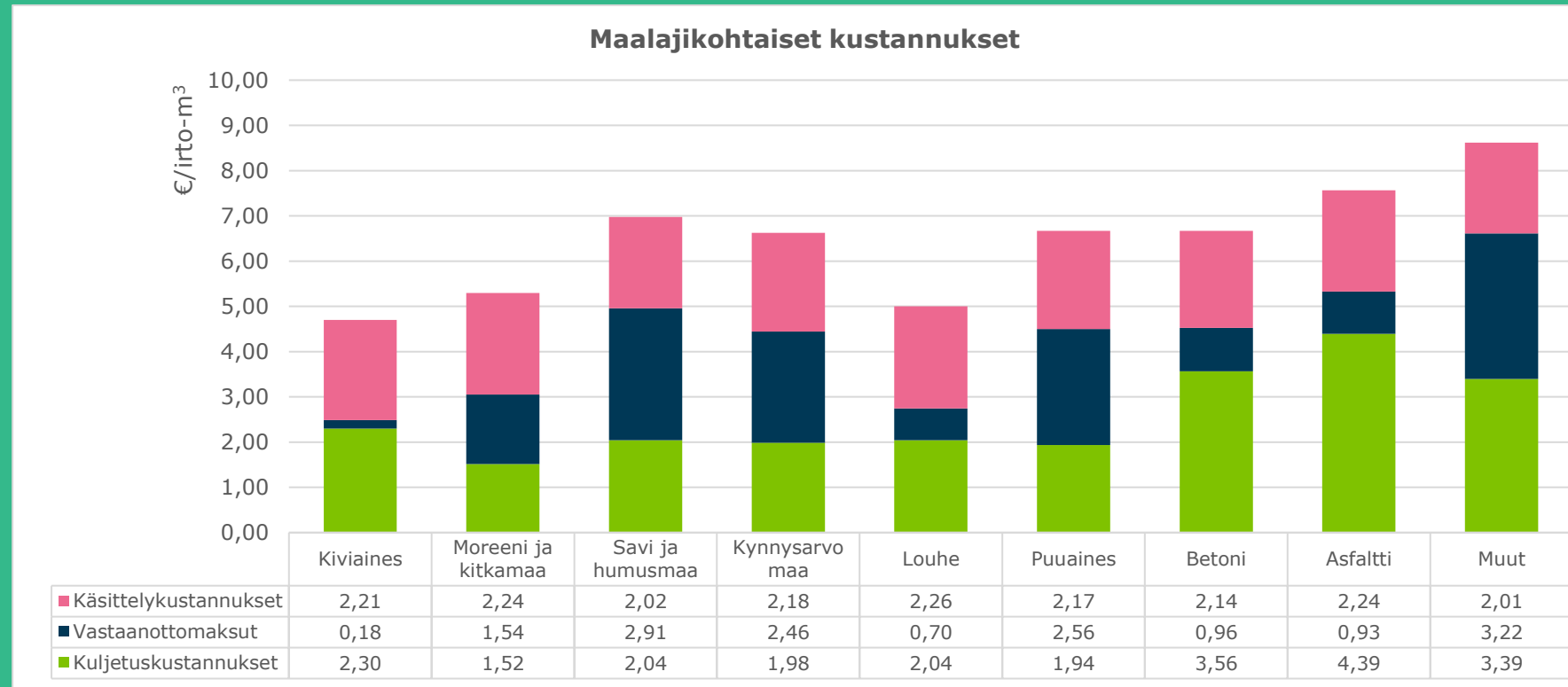
Maalajikohtaiset kuljetuksista syntyvät päästöt per irto-m³ jaettuna kierrätykseen ja loppusijoitukseen keskiarvoina vuosilta 2019–2025:



Laskennan tulokset: Maalajikohtaiset tulokset

Tuloksista voidaan todeta, että kiviaineksilla, louheella, moreenilla ja kitkamaalla on pienimmät kustannukset per irto-m³. Savi ja humusmaalla, kynnysarvomailla, betonilla ja asfaltilla on korkeimmat kustannukset per irto-m³.

Maalajikohtaiset kustannukset per irto-m³ keskiarvona vuosilta 2019–2025:



Huomioita laskennan toteutuksesta

Työkonesuoritteita (esim. maamassojen lastaukset) ei otettu huomioon päästölaskennassa.

- Työkonesuoritteista ei ollut saatavilla tietoja ja lisäksi niiden päästövaikutukset arvioitiin olevan pieniä koko maamassan kuljetuksen tarkastelussa.
- Työkonesuoritteiden rajaaminen ulos päästölaskennasta ei vaikuta merkittävästi skenaariotarkastelun tuloksiin, sillä on oletettavaa, että kummassakin skenaariossa (toteutunut ja BAU) tapahtuu samat työkonesuoritteet.
- Kustannuslaskennassa työkonesuoritteita arvioitiin kuitenkin käsittelykustannuksissa IHKU-menetelmiin perustuen.

Tulevaisuudessa tehtävää vastaavaa laskentaa saisi tehostettua huomattavasti massakuljetusten kirjausjärjestelmällä, josta on saatavilla tarkat kuljetusetäisyydet suoraan järjestelmän puolesta.

Kuljetettujen maamassojen massamäärät (punnitut kuormat) tekisivät laskennasta huomattavasti tarkempaa. Päästölaskennassa maamassat jouduttiin jakamaan karkeasti kolmeen luokkaan oletetun tilavuuspainon mukaan, jotta kuljetusmäärät pystyttiin arvioimaan.

Maamassojen kuljetusten hiilidioksidipäästöjen laskenta on teoriassa yksinkertaista, mutta saatavilla olevan lähtötiedon laatu vaikuttaa merkittävästi laskennan työmäärään.

Johtopäätökset

Tulokset osoittavat, että Porvoon kaupungin maamassojen hyötykäytöllä ja massojenhallinnan käytännöillä on saavutettu merkittäviä päästövähennyksiä verrattuna perinteiseen loppusijoitukseen perustuvaan toimintamalliin.

Tulosten perusteella maamassojen hyötykäyttö tuottaa selvästi pienemmät päästöt kuin toimintamalli, jossa kaikki maamassat kuljetetaan loppusijoitukseen. Käytännössä tämä tarkoittaa, että:

- maamassojen ohjaaminen hyötykäyttöön,
- työmaiden yhteensovittaminen,
- välivarastointi sekä
- massojen jalostus ja uudelleenkäyttö

vähentävät sekä kuljetusmatkoja että kuljetettavien massojen kokonaismäärää. Kaavatalouteen on hyvä kiinnittää huomiota jo kaavoituksesta lähtien.

On tärkeää tiedostaa, että vuosittaiset vaihtelut maamassojen hyötykäyttöasteissa ja kuljetusten päästöissä eivät johdu yksinomaan toimintatapojen tehokkuudesta vaan myös kaava-alueiden ominaisuuksista. Osalla alueista syntyvät maamassat ovat laadultaan tai käyttökelpoisuudeltaan sellaisia, että niiden hyötykäyttömahdollisuudet ovat rajalliset, mikä on voinut lisätä loppusijoituksen tarvetta ja kasvattaa kuljetuksista aiheutuvia päästöjä kyseisinä vuosina. Näin ollen toiminnan alueellinen vaihtelu voi aiheuttaa vaihtelua vuosittaisiin hiilijalanjälkiin.

Maamassojen hallinta on konkreettinen keino edistää kaupungin ilmasto- ja kiertotaloustavoitteita.

Johtopäätökset

Päästölaskennan pohjalta tehty kustannuslaskenta osoittaa, että Porvoon kaupungin toteuttamilla massojenhallinnan kiertotaloustoimilla on saavutettu myös merkittäviä taloudellisia hyötyjä. Taloudellisia säästöjä voidaan erityisesti saavuttaa kaatopaikkojen vastaanottomaksujen välttämisestä, kun maamassa saadaan hyötykäytettyä toisessa kohteessa.

Maalajikohtaisessa tulosten tarkastelussa havaittiin, että kiviaineksilla sekä moreeni- ja kitkamailla on huomattavasti pienemmät kuljetuksista syntyvät päästöt sekä kustannukset kuin esimerkiksi savi- ja humusmailla. Nämä tulokset myös korreloivat hyvin suoraan maalajien hyötykäyttöasteen kanssa. Näitä tuloksia olisi hyvä hyödyntää kaavatalouden suunnittelussa.