

Viite: Forssan datakeskushanke

| 16. tammikuuta 2026

QTS – Forssa Hiilijalanjäljen arviointi

Tämä raportti käännetty englanninkielisestä asiakirjasta

YVA-SELOSTUKSEN LIITE 08

Työnumero

Arup Italia S.r.l.
Corso Italia 1
Milano
20122
Italia
arup.com

Asiakirjan todentaminen

Projektin nimi

Asiakirjan nimi

Työnumero

Asiakirjan viite

Tiedoston viite

Versio	Päivämäärä	Tiedostonimi	121225_FORSSA_Hiilijalanjäljen arviointi		
00	12	Kuvaus	Hiilijalanjäljen arvioinnin luonnos		
			Laatinut	Tarkastanut	Hyväksyjä
		Nimi	MM VG FC FB TM SA		
		Allekirjoitus	PCM		
01	01/16	Tiedostonimi	160126_FORSSA_Hiilijalanjäljen arviointi		
		Kuvaus	Hiilijalanjäljen arviointi		
			Laatinut	Tarkastanut	Hyväksyjä
		Nimi	MM VG FC FB TM SA		
		Allekirjoitus	PCM		
		Tiedostonimi			
		Kuvaus			
			Laatinut	Tarkastanut	Hyväksyjä
		Nimi			
		Allekirjoitus			

Asiakirjan tarkastus asiakirjan kanssa



Sisältö

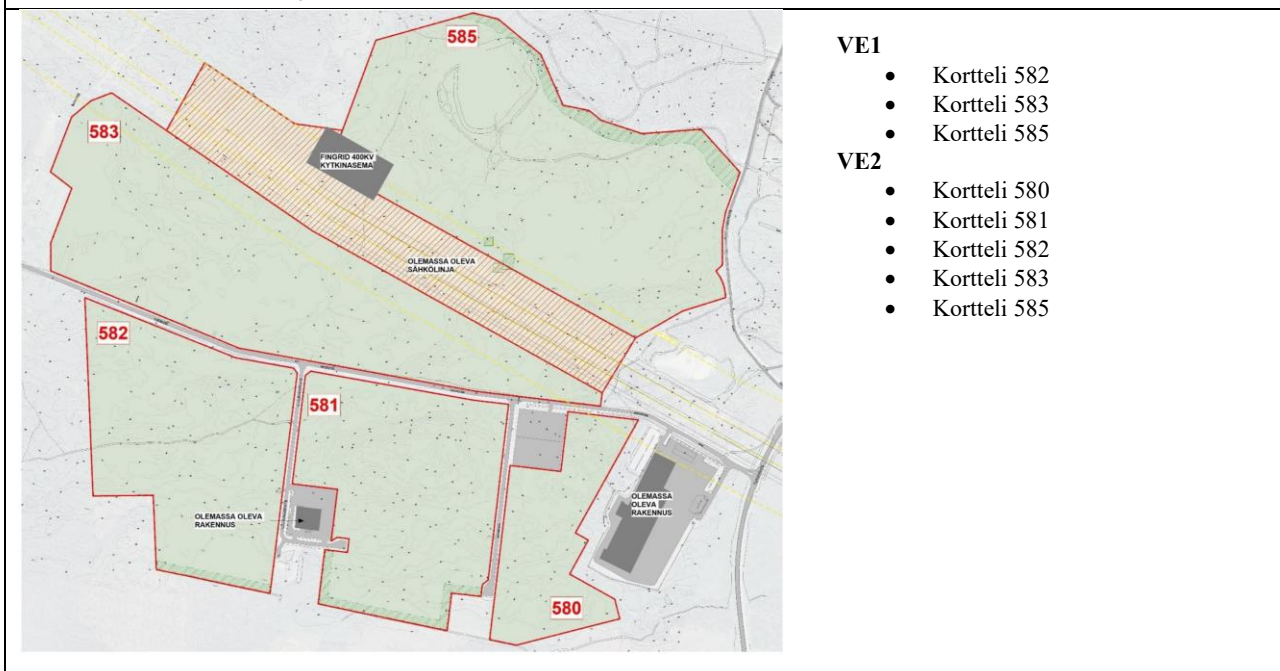
1.	Maankäytön muutoksen vaikutukset hiilivarastoihin ja hiilinieluihin	1
1.1	Nykytilanne	3
1.2	Arviointimenetelmä ja lähtötiedot	4
1.3	CO ₂ Vaikutusten arviointi : maankäytön muutokset	7
1.3.1	VE0 – Nykyinen tilanne säilyy	7
1.3.2	VE1	8
1.3.3	VE2	11
1.3.4	Hankkeen lieventämisstrategiat ja johtopäätökset	14
2.	Elinkaaren aikainen hiilidioksidipäästöjen arviointi (rakenteelliset ja toiminnalliset päästöt)	17
2.1	Nykyinen tilanne ja konteksti	19
2.2	Arviointimenetelmä ja perustiedot – Scope 3:n rajat	21
2.3	CO ₂ -vaikutusten arviointi – Rakennusvaihe	22
2.3.1	Scope 3 -päästöt – Tuote- ja rakennusvaiheet	23
2.3.2	Scope 3 -päästöt – Käyttövaihe (rakennusmateriaalit)	26
2.3.3	Scope 3 -päästöt – Tuote-, rakennus- ja uusimisjaksot (IT-laitteet)	28
2.4	CO ₂ -vaikutusten arviointi – Käyttövaihe	30
2.4.1	Scope 1 -päästöt – Varageneraattorit	31
2.4.2	Scope 2 -päästöt – Ostetun sähkön tuotanto	33
2.4.3	Scope 3 -päästöt – Ostetun sähkön siirto ja jakelu	34
2.4.4	Kokonaispäästöt ja toiminnalliset päästöt	35
2.5	Positiiviset ilmastovaikutukset	37
2.5.1	Jäteveden lämmön talteenottopotentialiaali	37
3.	Tulokset ja johtopäätökset	41
3.1	Skenaarioiden vertailu	41
3.2	Päätelmät	42
4.	Lähdeluettelo	44

1. Maankäytön muutoksen vaikutukset hiilivarastoihin ja hiilinieluihin

Tässä luvussa analysoidaan maankäytön muutoksen vaikutuksia hankealueen hiilivarastoihin. Arviointi osoittaa, että nykyisissä olosuhteissa hankealueella on merkittävä rooli hiilen sitomisessa. Perusskenaario (VE0) osoittaa, että metsän kasvillisuus kasvattaisi hiilivarastointikapasiteettia noin 1,048 tCO₂e vuoteen 2030 mennessä ja 10,483 tCO₂e vuoteen 2075 mennessä, jolloin hankkeen laskennallinen elinkaari (50 v. laskentahetkestä) päättyy. Lisäys vaikuttaa merkittävästi alueen kokonaishiilinielupotentiaaliin, maaperän hiilivarastojen pysyessä suurelta osin vakaina, mikäli alueen maankäyttö ei muutu nykyisestä.

Verrattuna perusskenaarioon molemmat projektivaihtoehdot (VE1 ja VE2) johtavat suuriin muutoksiin hankealueen hiilivarastoissa ja -nieluissa, mikä johtuu pääasiassa metsämaan ja biomassan poistumisesta. Näiden vaikutusten suuruus vaihtelee vaihtoehtojen välillä, johtuen hankevaihtoehtojen alueellisen suuruuden eroista: VE1:n arvioidaan johtavan 30,446 tCO₂e:n vähennykseen, kun taas VE2 johtaa 35,410 tCO₂e:n vähennykseen. Tarkkojen laskelmien varmistamiseksi hankealue jaettiin kahteen erilliseen alueeseen (pohjoinen alue: korttelit 583–585, eteläinen alue: korttelit 580–581–582) niiden maankäyttöominaisuuksien ja kasvillisuuden perusteella.

Kuva1. Hankealueen korttelijako



Esitetyt luvut kuvaavat hiilivarastojen muutoksia, jotka on arvioitu SYKEN hiilikarttatyökalulla (<https://hiilikartta.avoin.org/>). Tämä paikkatietopohjainen työkalu arvioi maankäyttösuunnitelmista johtuvia maaperän ja kasvillisuuden hiilivarastojen muutoksia ja ilmaisee tulokset hiilidioksidiekvivalenttina tonneina (tCO₂e). Se käyttää tarkkoja maantieteellisiä tietokantoja, mukaan lukien kansallisen metsäinventoinnin biomassatiedot ja Luonnonvarakeskuksen elinympäristötyyppitiedot, sekä hiilimallit nykyisten hiilivarastojen määrittämiseksi ja erilaisten kaavoituskenaarioiden analysoimiseksi. Lisätietoja työkalusta ja sen metodologiasta annetaan seuraavissa luvuissa. Alla on yhteenveto tämän analyysin tuloksista.

YVA-SELOSTUKSEN LIITE 08

Taulukko1 . Yhteenveto vaikutuksista maaperän ja kasvillisuuden sitomaan hiilimäärään vuosina 2030 ja 2075 (Arupin laatima, perustuu laskelmiin: SYKEN hiilikarttatyökalu)

2030	VE0		VE1		VE2	
	Korttelit 583-585	Korttelit 580-581- 582	Korttelit 583-585	Kortteli 582 osittain	Korttelit 583-585	Korttelit 580-581 ja osin 582
Kasvillisuuden hiilivarastokapasiteetin muutos [tCO ₂]	663	385	- 8.950	- 1.188	- 8.950	- 2.734
Muutos maaperän hiilivarastokapasiteetissa [tCO ₂]	0	0	- 19.032	- 1.636	- 19.032	- 5.054
Hiilivaraston kokonaismuutos (alue) [tCO₂]	663	385	- 27.982	- 2.824	- 27.982	- 7.788
Hiilivaraston kokonaismuutos [tCO₂]	1.048		- 30.806		-35.770	

2075	VE0		VE1		VE2	
	Korttelit 583-585	Korttelit 580-581- 582	Korttelit 583-585	Kortteli 582 osittain	Kortteli 583-585	Korttelit 580-581 ja osin 582
Kasvillisuuden hiilivarastokapasiteetin muutos [tCO ₂]	6.632	3.851	-5.760	- 234	-5.760	-514
Muutos maaperän hiilivarastokapasiteetissa [tCO ₂]	0	0	-19.032	-1.636	-19.032	-5.054
Hiilivaraston kokonaismuutos (kukin) [tCO₂]	6.632	3.851	-24.792	-1.870	-24.792	-5.568
Hiilivaraston kokonaismuutos [tCO₂]	10.483		- 26.662		-30.360	

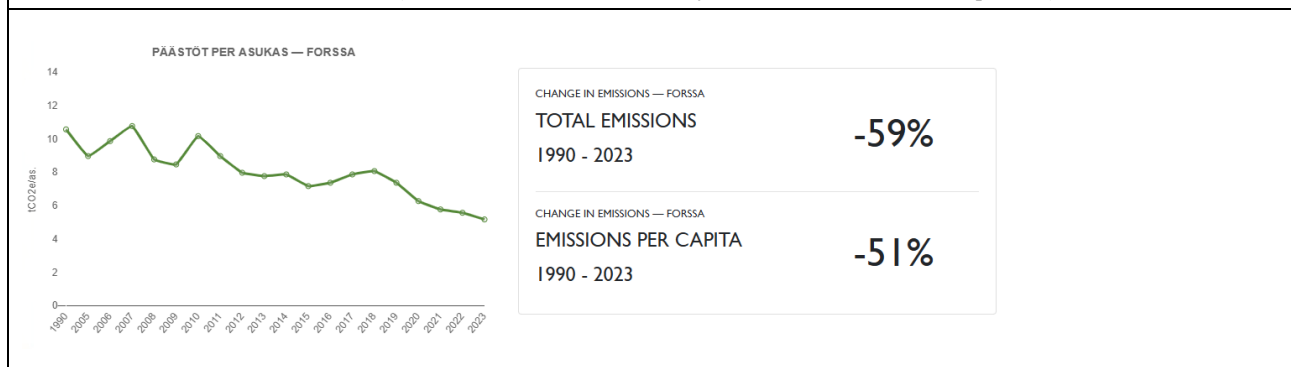
1.1 Nykytilanne

Forssan kaupunki kuuluu **FISU**-verkostoon (Finnish Sustainable Communities), joka kokoaa yhteen 13 edelläkävijäkuntaa, jotka ovat sitoutuneet hiilineutraaliuden, vastuullisen kulutuksen ja jätteettömyyden saavuttamiseen vuoteen 2050 mennessä. FISU-kunnat pyrkivät vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 80 % vuoden 2007 tasosta vuoteen 2030 mennessä ja vähintään 95 % vuoteen 2050 mennessä sekä parantamaan jätehuoltoa ja kierrätystä.

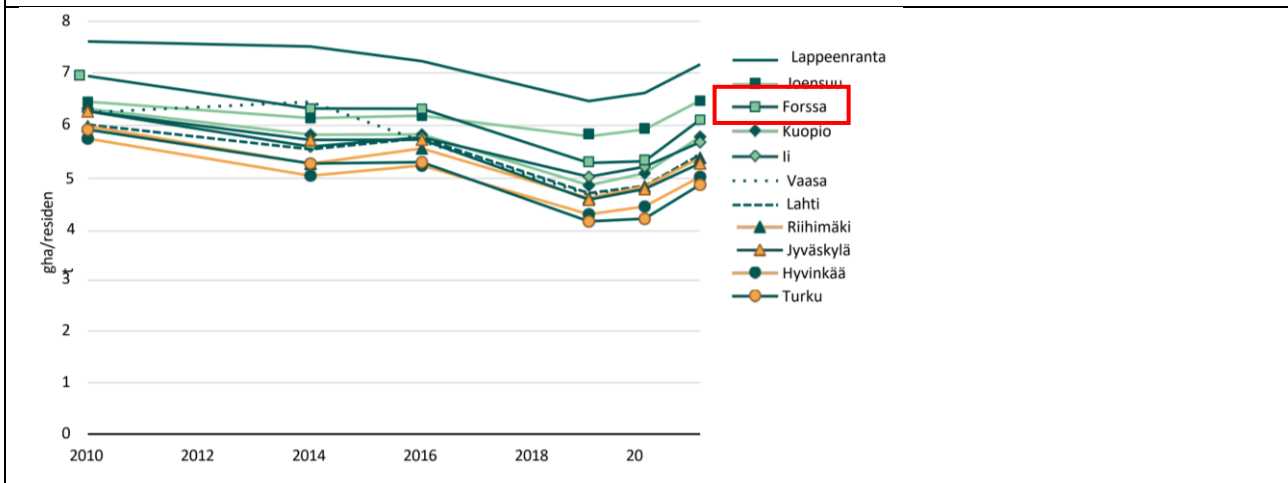
Lisäksi Forssa noudattaa Suomen ilmastolain (423/2022) kansallisia tavoitteita, joissa asetetaan tavoitteeksi 60 %:n vähennys vuoteen 2030 mennessä, 80 %:n vähennys vuoteen 2040 mennessä ja 90–95 %:n vähennys vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoden 1990 tasoon.

Kuten SKYE-alustalta (<https://paastot.hiilineutraalisuomi.fi/>) ja *Fisu-verkoston pitkän aikavälin suunnitelmasta* (*Fisu Network long-term plan 2025*) käy ilmi, FISU-verkoston päästöt ovat vähentyneet 55 % vuodesta 1990 vuoteen 2023 (päästöt henkeä kohti -62 %). FISU-kunnat kannustavat toisiaan saavuttamaan päästövähennystavoitteensa etuajassa, ja tämän trendin mukaisesti Forssan kokonaispäästöt ovat vähentyneet **-59 %** vuoteen 1990 verrattuna. Kun verrataan kunnan päästökehitystä kansalliseen keskiarvoon (-40 %), kunnan päästökehitys on kokonaisuudessaan positiivinen.

Kuva2. Päästöt asukasta kohti, Forssa (Lähde SYKE: *SYKE – Kuntien ja alueiden kasvihuonekaasupäästöt*)



Kestävä kulutus on yksi FISU-verkoston keskeisistä tavoitteista. Tätä tavoitetta seurataan ekologisen jalanjäljen avulla, joka on indikaattori, jolla mitataan ihmisen toiminnan vaikutusta luonnonympäristöön. Kuten Suomen ympäristökeskuksen raportissa Fisu-kuntien ekologinen jalanjälki 2025 todetaan ([Linkki raporttiin](#)), ekologisen jalanjäljen pitkän aikavälin tavoitteena on saavuttaa globaalisti kestävä taso, joka on 1,5 gha henkeä kohti vuoteen 2050 mennessä. Forssan kaupunkistrategiassa on otettu tämä indikaattori huomioon asettamalla tavoitteeksi ylläpitää tai lisätä sekä kokonaispinta-alaa että luonnontilaisen alueen osuutta kaupungin viheralueista, mukaan lukien pienemmät luonnontilaiset kasvillisuusalueet. Alla olevassa kuvassa näkyy FISU-kuntien ekologisen jalanjäljen pienentymisen kehitys vuosina 2010–2021. Erityisesti Forssan kaupunki on pienentänyt jalanjälkeään 7 globaalia hehtaaria asukasta kohti 6,1 hehtaariin.

Kuva3. Ekologinen jalanjälki asukasta kohti FISU-kunnissa (Lähde: *Fisu-kuntien ekologinen jalanjälki : Laskentaperiaatteet ja tulokset*)

1.2 Arviointimenetelmä ja lähtötiedot

Luonnossa hiili sitoutuu sekä kasvillisuuteen että maaperään, ja metsät ovat Suomen tärkein hiilinielu. Metsien ja kasvillisuuden hiilinielut ovat kasvavia hiilivarastoja, joiden säilyttäminen on ilmastonmuutoksen hillitsemisen kannalta ratkaisevan tärkeää, sillä jo pienetkin suhteelliset vähennykset suurissa varastoissa aiheuttavat merkittäviä CO₂-päästöjä. Kasvillisuuteen ja maaperään sitoutuneen hiilen määrä muuttuu ajan myötä: puiden kasvu lisää hiilen sitomiskykyä, kun taas hakkuut ja muu poistaminen vähentävät sitä.

Hankkeen alueella maankäytön muutosten aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt (hiilivarastojen muutokset) lasketaan Suomessa SYKEN hiilikartatyökalulla (<https://hiilikartta.avoin.org/>). Työkalulla voidaan arvioida maankäyttösuunnitelmien aiheuttama maaperän ja kasvillisuuden hiilivarastojen muutos, ja tulokset esitetään hiilidioksidiekvivalenttina tonneina (t CO₂ e). Hiilikartta sisältää tarkat maantieteelliset tiedot, jotka mallintavat maaperän ja kasvillisuuden hiiltä (esim. metsänhoitolaitoksen puustomassa, Luonnonvarakeskuksen luonnontyyppiaineistot), hiilimalleja sekä näihin perustuvia laskelmia. Työkalu laskee kasvillisuuden ja maaperän nykyisen hiilivaraston paikkatiedon perusteella.

Vaikutusten arvioinnit on tehty projektin elinkaaren alkuvaiheelle vuonna 2030 ja projektin elinkaaren arvioidulle päättymiselle 50 vuotta myöhemmin, vuonna 2075. On tärkeää huomata, että maaperän hiilivarastojen vakautuminen maankäytön muutoksen jälkeen voi kestää satoja vuosia, minkä vuoksi pitkän aikavälin ennusteet (esim. 50–100 vuotta) ovat tarpeellisia.

Koska hankealueen kehitys on vaihtelevaa, alue on jaettu kahteen erilliseen vyöhykkeeseen, pohjoiseen ja etelään. Kumpikin vyöhyke koostuu useista lohkoista, jotka on luokiteltu niiden nykyisen maankäytön mukaan. Pohjoiseen vyöhykkeeseen kuuluvat tontit 583 ja 585, jotka molemmat on luokiteltu metsäalueiksi. Eteläinen vyöhyke on osittain rakennettua aluetta, johon kuuluva tontti 582 on luokiteltu metsäalueeksi, ja tontti 581 on luokiteltu teollisuusalueeksi. Tontti 580 on luokiteltu sekavyöhykkeeksi, jonka osat on luokiteltu sekä metsä- että teollisuusalueiksi.

Kuva4. Hankkeen rajat

Eteläinen alue

- Kortteli 580: 10,25 hehtaaria
- Kortteli 581: 21,93 hehtaaria
- Kortteli 582: 22,80 hehtaaria

Pohjoinen alue

- Kortteli 583: 35,33 hehtaaria
- Kortteli 585: 43,95 hehtaaria

Nykyisen tilanteen (perusskenaario VE0) laskennassa oletetaan, että metsä pysyy normaalissa metsätalouskäytössä ja on siten sekä hiilinielu (kaupallisten metsien keskimääräinen puusto) että hiilivarasto (metsämaan keskimääräiset hakkuusäästöt). Hiilitasapaino lasketaan perusskenaarion ja hankeskenaarion välisenä erona. Maankäytön muutoksen vaikutus hiilivarastoihin perustuu kasvillisuuden ja maaperän nykyisiin hiilivarastoihin, kasvillisuuden tyypin perusteella arvioituun hiilen sitoutumiseen ja päästöihin, maankäytön muutoksen maankäyttöluokitukseen sekä hiilivarastojen säilyttämistä koskeviin oletuksiin.

Ensimmäisessä hankevaihtoehdossa (VE1) verrataan rakentamisen kattamia alueita perustason (VE0) tilanteeseen. Tämä projektiskenaario ei kata kaakkoisosan teollisuusalueita (korttelit 580 ja 581), joita ei siten oteta huomioon laskelmissa. Jäljelle jää noin 102,07 hehtaarin alue.

Kuva 5. Vaihtoehto VE1 – yleissuunnitelma



Toisessa vaihtoehdossa (VE2) rakennusalueita verrataan lähtötilanteeseen (VE0). Tämä suunnitelma kattaa kaikki korttelit poikkeuksetta ja käsittää noin 134,25 hehtaarin alueen.

Kuva 6. Vaihtoehto VE2 – Yleissuunnitelma



1.3 CO₂ Vaikutusten arviointi: maankäytön muutokset

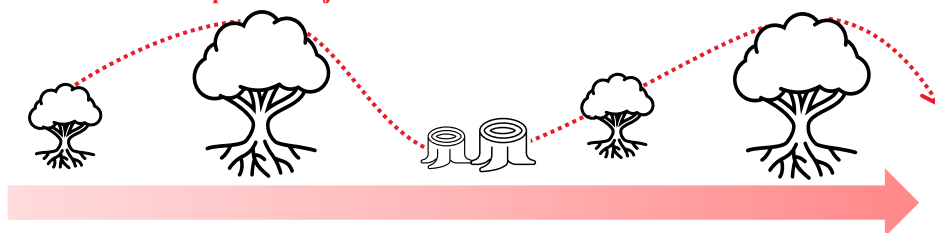
Analyyysi suoritettiin SYKE:n (Suomen ympäristökeskus) kehittämällä Carbon Map Tool -työkalulla, jolla mallinnettiin kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastojen muutoksia erilaisissa maankäyttöskenaarioissa. Tutkimuksessa verrataan lähtötilannetta (VE0) kahteen kehitysvaihtoehtoon (VE1 ja VE2) hiilivarastokapasiteetin lyhyen (2030) ja pitkän (2075) aikavälin vaikutusten arvioimiseksi.

1.3.1 VE0 – Nykyinen tilanne säilyy

Hankevaihtoehdossa VE0 maankäyttö projektialueella pysyy ennallaan. Mallinnustulosten mukaan maankäytön pysyessä ennallaan hiilivarasto kasvaa vuoteen 2030 mennessä 663 tCO₂e pohjoisella alueella ja 385 tCO₂e eteläisellä alueella, ollen yhteensä 1,048 tCO₂e. Vuoteen 2075 mennessä hiilivarasto kasvaa pohjoisella alueella 6632 tCO₂e ja eteläisellä alueella 3851 tCO₂e, ollen yhteensä 10,483 tCO₂e.

Forssan kaupunki on toteuttanut selvityksen ”Hiilivarastojen korvaaminen Ratasmäen ja Rytökallion kaavoituksen yhteydessä”, joka julkaistiin kesäkuussa 2025. Selvitys osoittaa, että nykyisessä tilanteessa (VE0) metsien hiilivarastointikapasiteetin odotetaan laskevan nykyisen hoidon vuoksi, joka perustuu säännölliseen hakkuuseen, eikä anna maaperän ja biomassan palauttaa menetettyä hiiltä täysin. Selvitys osoittaa, että Forssan kaupungin nykyinen metsänhoidon strategia, joka perustuu säännölliseen päätehakkuuseen, johtaisi hiilivarastojen asteittaiseen menetykseen sekä biomassassa että maaperässä. Ilman uusia toimenpiteitä kaikkia kaupungin metsiä käsiteltäisiin jatkossakin säännöllisin avohakkuina: hiilivarastot kasvaisivat vain tilapäisesti ja romahtaisivat aina jokaisen hakkuukierron myötä. Pitkällä aikavälillä maaperä ei pystyisi palauttamaan menetettyä hiiltä, mikä johtaisi koko metsän hiilensidontakyvyn yleiseen heikkenemiseen.

CO₂ Varastointikapasiteetti ajan kuluessa



1.3.2 VE1

Vaihtoehto VE1 sisältää kuusi datakeskusrakennusta (viisi pohjoisella alueella ja yksi eteläisellä alueella). Yleissuunnitelmaan sisältyy keskeisten alueiden ympärille sijoittuva viherreuna, joka koostuu viheralueista, puista ja pensaista. Lisäksi suunnitelmassa on hulevesien viivytysalueita sekä ekologisista suojavyöhykkeistä ja kosteikkopuskureita kahden lammen (viidestä lammeista) ympärillä hydrologista hallintaa varten. Ekologinen puskurivyöhyke ja potentiaalinen metsänkasvualue säilytetään. Pysäköintialueilla käytetään läpäiseviä pintoja ja minimoidaan nurmialueet. Nämä maankäyttötyypit luokiteltiin työkalussa, jotta hiilivarastojen arviointi olisi tarkkaa.

Carbon Map -työkalun mukaan huomioon otetut maankäyttötyypit ovat seuraavat:

- Tietokeskus, siviilirakennukset (T – *teollisuus- ja varastoalue*)
- Sisäiset tiet, ajoneuvoliikenne, päällyste, laitealue (L – *liikennealue*)
- Generaattorit, podit, muuntaja-alue, voimajohtokäytävä energianhuoltoalueina, sähköasemat ja siipiverkot (EN – *energianhuoltoalue*)
- Vähennysallas, kosteikat, ekologinen suojavyöhyke (W – *vesialue*)
- Leikattu nurmikko, tuoreet niityt (VP – *puistot*)
- Niitty, puut, pensaat (VL – *paikallinen virkistysalue, paikallinen metsä*)
- Suojeltu ekologinen alue – (EV – *suojaviheralue*)

Kuva7. Maankäyttöluokitukset vaihtoehtoiselle VE1:lle (pohjoinen alue – korttelit 583–585, eteläinen alue – korttelit 580–581–582) Carbon Map -työkalussa



Laskentojen mukaan vaihtoehdossa VE1 maankäyttösuunnitelma johtaa hankealueen hiilivarastointikapasiteetin vähenemiseen, $-30,446 \text{ tCO}_2\text{e}$ vuoteen 2030 mennessä verrattuna perusskenaarioon (VE0). Vuoteen 2075 mennessä tämän vähennyksen odotetaan olevan pienempi ($-26,662 \text{ tCO}_2\text{e}$) kehittämättömien alueiden kasvillisuuden osittaisen palautumisen ja ajan mittaan käyttöön otettujen hillitsemistoimenpiteiden vuoksi. Luvuissa verrataan hiilivarastojen muutosta vaihtoehdossa VE1 ja nykytilanteessa VE0 (ilman hankkeen kehittämistä) vuoteen 2030 ja 2075 mennessä (ks. taulukot 2 ja 3).

Merkittävin hiilivarastojen väheneminen vuoteen 2030 mennessä tapahtuu pohjoisella alueella, jonne suurin osa rakentamisesta sijoittuu, eli datakeskusrakennukset, sähköasemat ja sisäinen liikenneverkosto (esim. tiet), jotka on merkitty punaisella ja oranssilla (ks. kuva 6). Pienet vihreät alueet, jotka jäävät rakentamatta, säilyttävät hiilivarastojen tason vakaana em. alueilla. Vuoteen 2075 mennessä kartan vaaleansiniset alueet (ks. kuva 7) osoittavat, että joillakin tietyillä alueilla kompensointistrategiat palauttavat hiilivarastointikapasiteettia hieman, kun taas rakentamattomilla alueilla hiilivarastotaso vakiintuu (keltaiset osat). Datakeskuksen käytössä olevilla rakennetuilla alueilla hiilivarastot kuitenkin jatkavat laskuaan. Eteläisellä alueella hiilivarastot pysyvät sen sijaan suurelta osin muuttumattomina vuoteen 2030 asti (vaaleankeltaiset alueet), koska vain pieni osa tästä alueesta on datakeskuksen käytössä (ks. kuva 6). Vuoteen 2075 mennessä hiilivarastointi pysyy negatiivisena alueilla, joille suurin osa rakennuksista on keskittynyt, mutta se kasvaa hieman kehittymättömillä alueilla, jotka on määritelty suojelualueiksi, kuten tontin 583 itäosassa (vaaleanvihreät alueet, kuva 7).

Taulukoissa 2 ja 3 esitetään vaihtoehtoon VE1 vaikutus kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastoihin verrattuna vaihtoehtoon VE0. Vuoteen 2030 mennessä suurin kokonaisvähenemä tapahtuu pohjoisilla tonteilla (–27 622 tCO₂e). Vuoteen 2075 mennessä kasvillisuuden hiilivarastot ovat osittain palautuneet, ja menetys on pienentynyt –5 760 tCO₂e:ksi tonteilla 583–585, kun taas maaperän hiilivarastot ovat pysyneet ennallaan –19 032 tCO₂e:ssa.

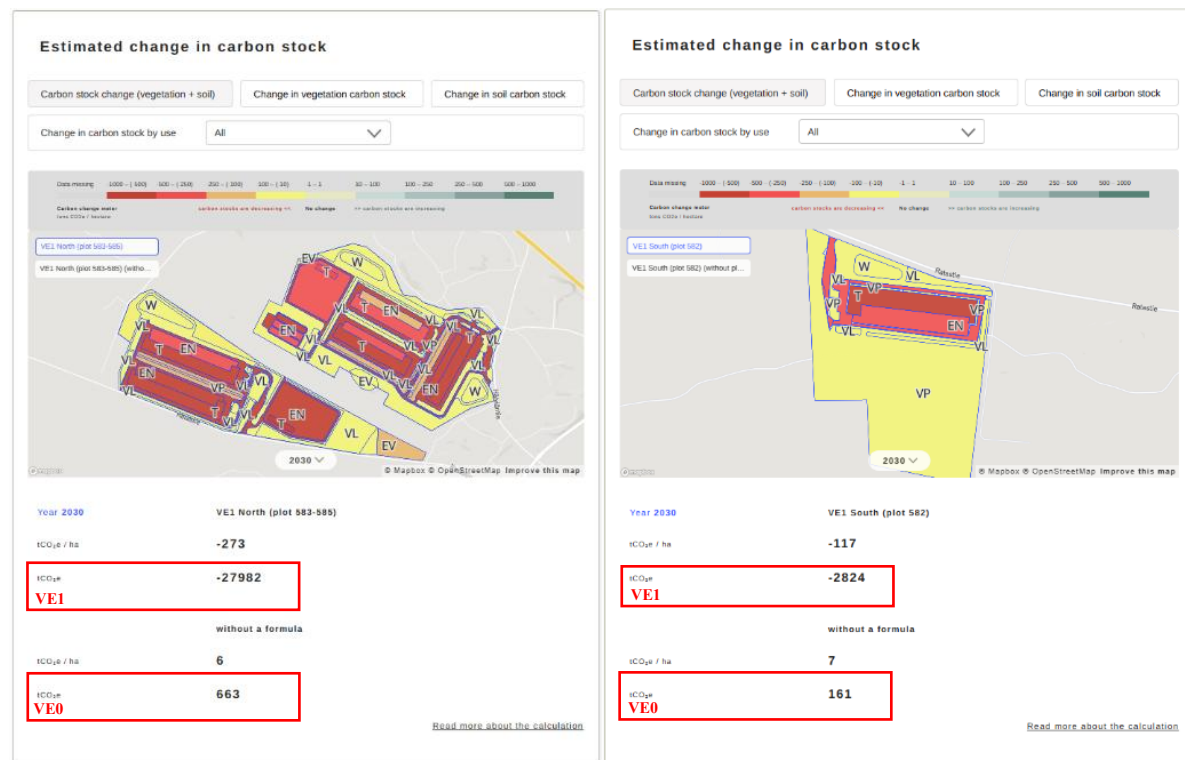
Taulukko2 . Vaihtoehtoisen VE1:n vaikutus alueen hiilivarastoihin verrattuna nykytilanteeseen vuoteen 2030 mennessä (t CO₂e).

2030	VE0		VE1	
	Korttelit 583–585	Kortteli 582	Korttelit 583-585	Kortteli 582
Kasvillisuuden hiilivarastokapasiteetin muutos [tCO ₂]	663	161	- 8.950	- 1.188
Maaperän hiilivarastokapasiteetin muutos [tCO ₂]	0	0	- 19.032	- 1.636
Hiilivarastojen kokonaismuutos (kukin) [tCO₂]	663	161	- 27.982	- 2.824
Hiilivaraston kokonaismuutos [tCO₂]	824		- 30.806	

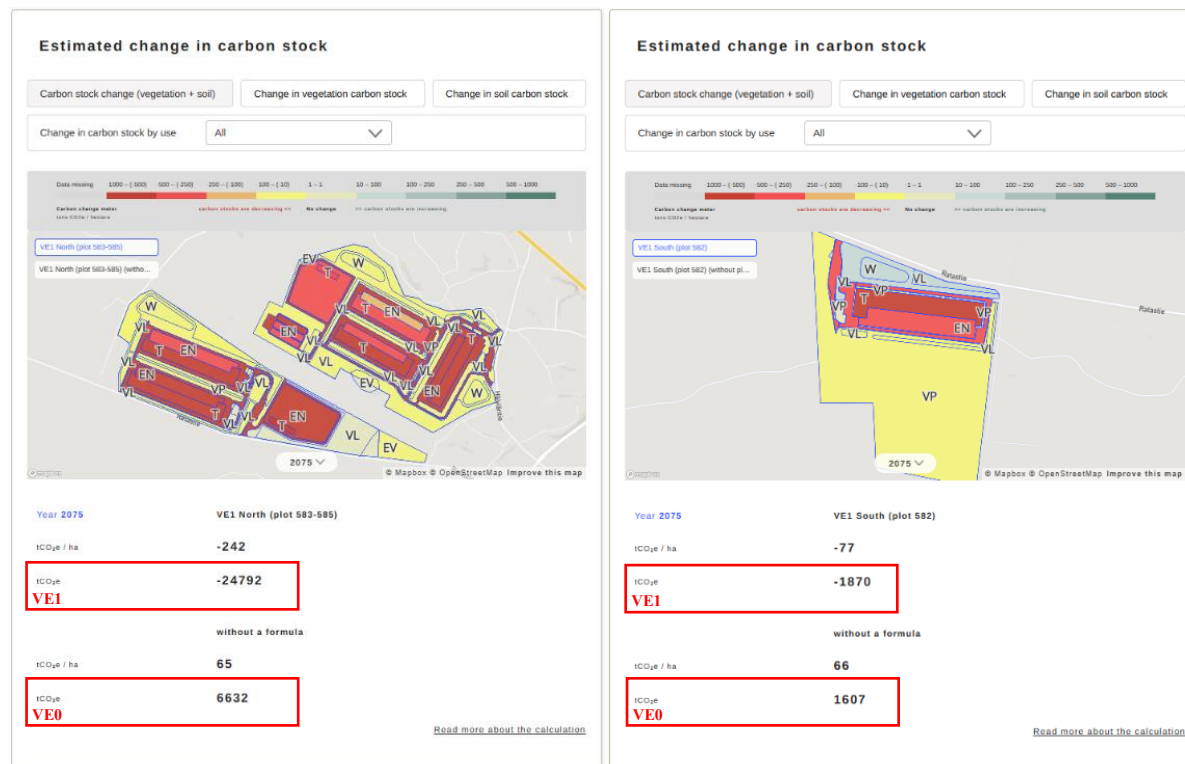
Taulukko3 . Vaihtoehtoon VE1 vaikutus alueen hiilivarastoon verrattuna nykytilanteeseen vuoteen 2075 mennessä (t CO₂e).

2075	VE0		VE1	
	Korttelit 583–585	Kortteli 582	Korttelit 583-585	Kortteli 582
Kasvillisuuden hiilivarastokapasiteetin muutos [tCO ₂]	6.632	1.607	- 5.760	-234
Maaperän hiilivarastokapasiteetin muutos [tCO ₂]	0	0	-19.032	-1.636
Hiilivarastojen kokonaismuutos (kukin) [tCO₂]	6.632	1.607	-24.792	-1.870
Hiilivaraston kokonaismuutos [tCO₂]	8.239		- 26.662	

Kuva8. Hiilityökalun tulokset: Vaihtoehdon VE1 vaikutus hiilinieluun pohjoisella ja eteläisellä alueella verrattuna nykytilanteeseen vuoteen 2030 mennessä.



Kuva9. Hiilidioksidipäästöjen tulokset: Vaihtoehdon VE1 vaikutus hiilidioksidinieluun pohjoisella ja eteläisellä alueella verrattuna nykytilanteeseen vuoteen 2075 mennessä.



1.3.3 VE2

Vaihtoehto VE2, joka sisältää 10 datakeskusrakennusta (viisi pohjoisella alueella ja viisi eteläisellä alueella). Hankealue ulottuu etelään ja sisältää myös korttelit 580 ja 581, jotka eivät sisällyneet vaihtoehtoon VE1. Alueella säilytetään yhtenäinen viheraluejärjestelmä, johon kuuluu niittyjä, kosteikkoja sekä puu- ja pensasryhmiä. Nykytilanteessa kiviainesalueena toimiva tontti 581 on osittain uudistettu muuttamalla nykytilanteen läpäisemättömät pinnat paremmin vettä läpäiseviksi mm. lisäämällä nurmikoita ja puita polkujen varsille. kortteli 580 sisältää lähes koko tontin kattavan datakeskusrakennuksen. Nämä maankäyttötyypit luokiteltiin työkalussa, jotta hiilivarastojen arviointi olisi tarkkaa.

Carbon Map -työkalun mukaan maankäyttö on seuraava:

- Tietokeskus, siviilirakennukset (T – *teollisuus- ja varastotila*)
- Sisäiset tiet, ajoneuvoliikenne, päällyste, laitealue (L – *liikennealue*)
- Generaattorit, podit, muuntaja-alue, voimajohtokäytävä energian toimitusalueina, sähköasemat ja fin-verkot (EN – *energian toimitusalue*)
- Vähennysallas, kosteikot, ekologinen suojavyöhyke (W – *vesialue*)
- Leikattu nurmikko, tuoreet niityt (VP – *puistot*)
- Niitty, puut, pensaat (VL – *paikallinen virkistysalue, paikallinen metsä*)
- Suojeltu ekologinen alue – (EV – *suojaviherialue*)

Kuva10. Maankäyttöluokitukset vaihtoehtoiselle VE2:lle (korttelit 583–585) Carbon Map -työkalussa



Mallinnustulokset osoittavat, että vaihtoehdossa VE2 ehdotetut maankäyttösuunnitelmat johtavat koko hankealueen hiilivarastointikapasiteetin vähenemiseen, joka on –35,410 tCO₂e vuoteen 2030 mennessä verrattuna perusskenaarioon (VE0). Vuoteen 2075 mennessä tämän vähennyksen odotetaan olevan pienempi (–30,360 tCO₂e), koska aiemmin rakennetulle tontille istutetaan kasvillisuutta, mikä kompensoi osittain aikaisemmat menetykset. Luvuissa verrataan hiilivarastojen muutosta vaihtoehdossa VE2 ja nykytilanteessa VE0 (ilman hankkeen kehittämistä) vuoteen 2030 ja 2075 mennessä (ks. taulukot 4 ja 5).

Koska pohjoisen alueen yleissuunnitelma pysyy muuttumattomana vaihtoehdossa VE2 aiemmin kuvatun vaihtoehdon VE1 alueen osalta, on em. alueiden arviointiperuste sama kuin edellisessä kappaleessa.

Laskennan mukaan eteläisen alueen muutokset ovat seuraavat: hiilivarastot pysyvät suurelta osin muuttumattomina vuoteen 2030 asti (vaaleankeltaiset alueet, ks. kuva 10). Tämä vähäinen vaihtelu johtuu siitä, että korttelin 582 suurin osa säilytetään viheralueena ja kaksi muuta tonttia on jo rakennettu ja osoitettu teollisuuskäyttöön (ks. kuva 1 yllä). Vuoteen 2075 mennessä hiilivarastot pysyvät negatiivisina edellä mainituilla rakennetuilla alueilla, mutta kasvavat hieman kehittymättömillä alueilla, jotka on osoitettu suojelualueiksi, kuten korttelin 583 itäosassa (vaaleanvihreät alueet, kuva 11). Alla olevissa taulukoissa esitetään vaihtoehdoisen VE2:n vaikutus kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastoihin verrattuna nykytilanteeseen (VE0) (taulukot 4–5).

Vuoteen 2030 mennessä VE2 johtaa huomattaviin hiilipäästöihin, joista suurin lasku tapahtuu vaihtoehdon VE1 tapaan pohjoisilla lohkoilla (583–585, –27 622 tCO₂) ja lisäpäästöjä syntyy eteläisillä lohkoilla (580–582, –7 788 tCO₂). Vuoteen 2075 mennessä VE2:n mukainen kasvillisuuden hiili palautuu osittain, jolloin menetykset vähenevät pohjoisessa –5 760 tCO₂:iin ja etelässä –514 tCO₂:iin. Maaperän hiili pysyy suurelta osin muuttumattomana. Kaiken kaikkiaan kasvillisuus vaihtoehdossa VE2 palautuu kohtalaisesti, kun taas maaperän hiilivarastot pienenevät edelleen.

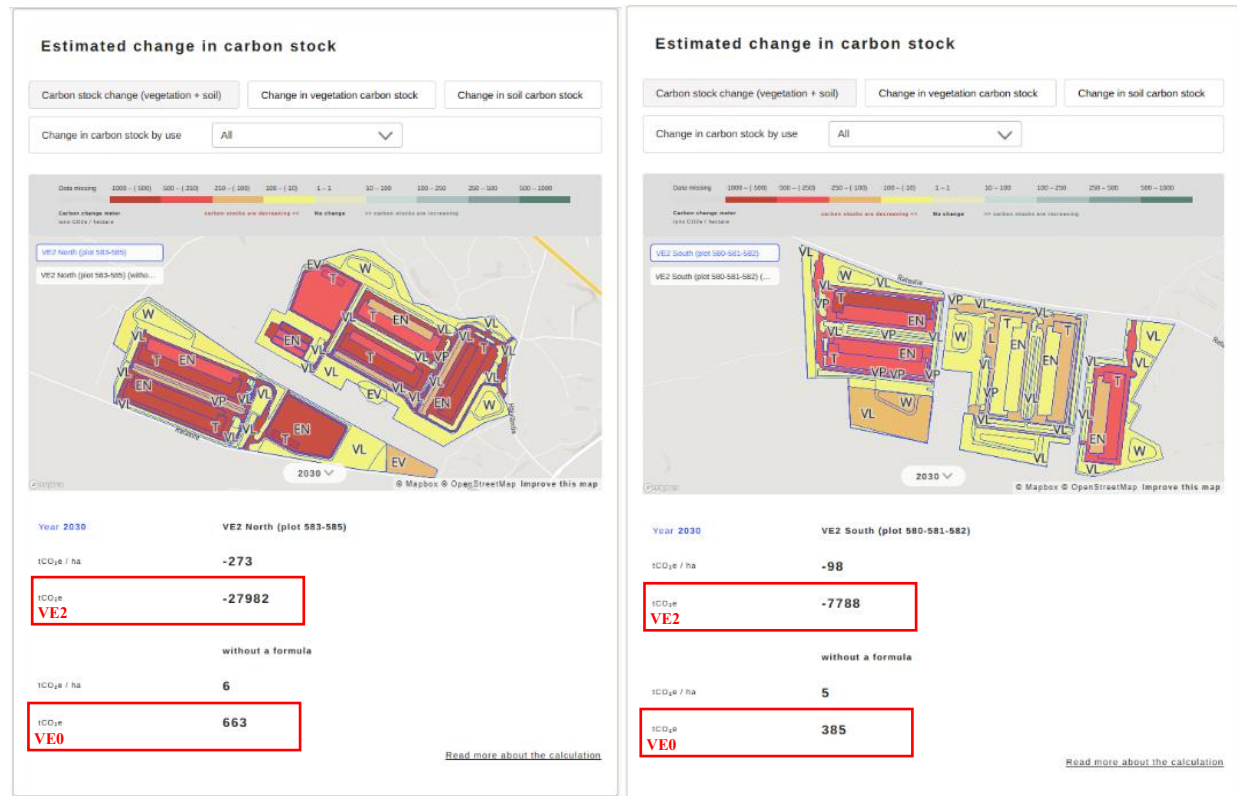
Taulukko4 . Vaihtoehdoisen VE2-skenaarion vaikutus alueen hiilivarastoon verrattuna nykytilanteeseen vuoteen 2030 mennessä (t CO₂e).

2030	VE0		VE2	
	Korttelit 583–585	Korttelit 580–581–582	Korttelit 583–585	Korttelit 580–581–582
Kasvillisuuden hiilivarasto [tCO ₂]	663	385	- 8.950	- 2.734
Maaperän hiilivarastokapasiteetti [tCO ₂]	0	0	- 19.032	- 5.054
Hiilivarastojen kokonaismuutos (kukin) [tCO₂]	663	385	- 27.982	- 7.788
Hiilivaraston kokonaismuutos [tCO₂]	1.048		-35.770	

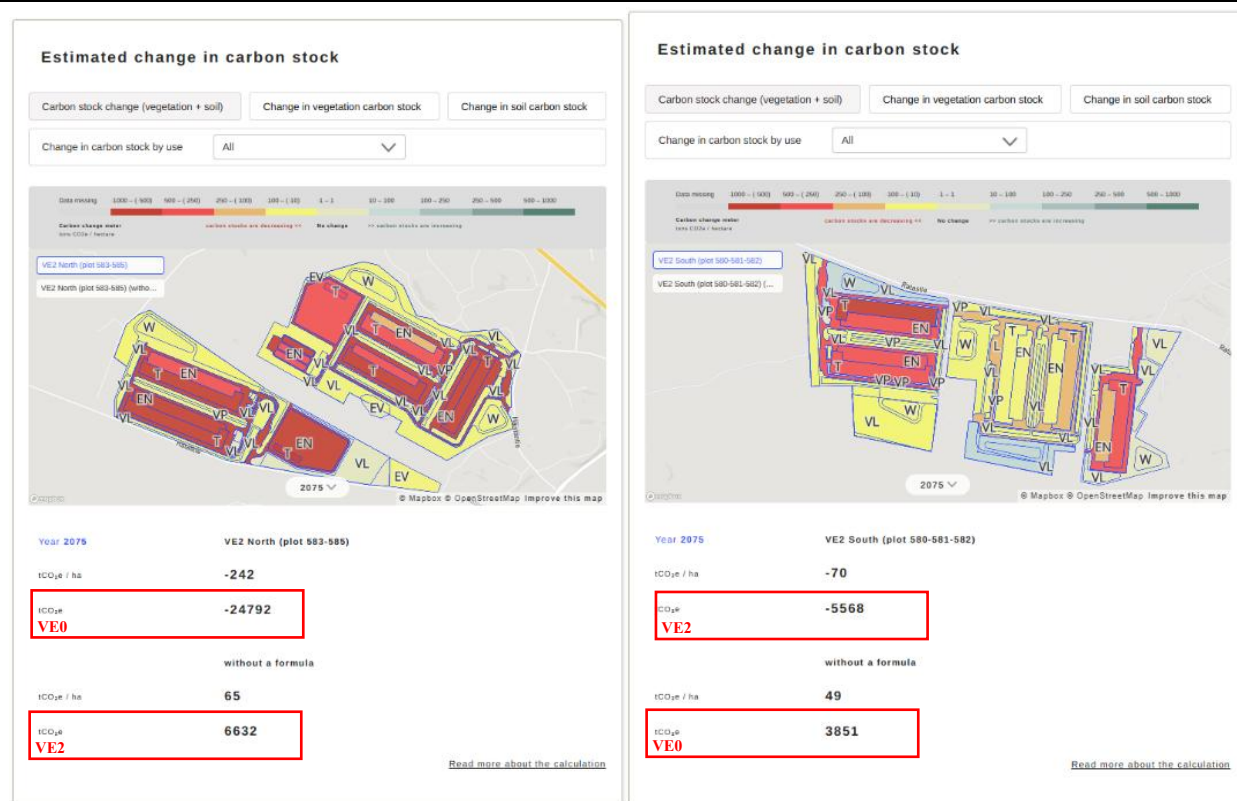
Taulukko5 . Vaihtoehdon VE2 vaikutus alueen hiilivarastoon verrattuna nykytilanteeseen vuoteen 2075 mennessä (t CO₂e).

2075	VE0		VE2	
	Korttelit 583–585	Korttelit 580–581–582	Korttelit 583–585	Korttelit 580–581–582
Kasvillisuuden hiilivarasto [tCO ₂]	6.632	3.851	-5.760	-514
Maaperän hiilivarastokapasiteetti [tCO ₂]	0	0	-19.032	-5.054
Hiilivaraston kokonaismuutos (kukin) [tCO₂]	6.632	3.851	-24.792	-5.568
Hiilivaraston kokonaismuutos [tCO₂]	10.483		-30.360	

Kuva11. Hiilityökalun tulokset: Vaihtoehdon VE2 vaikutus hiilinieluun pohjoisella ja eteläisellä alueella verrattuna nykytilanteeseen vuoteen 2030 mennessä.



Kuva12. Hiilityökalun tulokset: Vaihtoehdon VE2 vaikutus hiilinieluun kokonaispinta-alan vertailussa nykyiseen tilanteeseen vuoteen 2075 mennessä.



1.3.4 Hankkeen lieventämisstrategiat ja johtopäätökset

Arvioinnin tulokset osoittavat, että hankesuunnitelmassa esitetyt toimenpiteet eivät riitä kompensoimaan täysin projektin toteuttamisesta aiheutuvaa varastointikapasiteetin menetystä kummassakaan ehdotetussa vaihtoehdossa. Tämä korostaa tarvetta harkita lisätoimenpiteitä hiilidioksidin varastoinnin kompensoimiseksi. Tällaisten toimenpiteiden toteuttaminen on erityisen tärkeää, kun otetaan huomioon Forssan kaupungin strategia hiilipäästöjen hallinnassa.

Kuten aiemmin mainittiin, kunta soveltaa tällä hetkellä metsänhoidon käytäntöjä, jotka perustuvat säännölliseen hakkuuseen ja uudistamiseen, mikä pitkällä aikavälillä vähentää hiilivarastoja, koska maaperä ei pysty sitomaan yhtä paljon hiiltä kuin lopullisessa hakkuussa menetetään. Tämän vaikutuksen torjumiseksi ja Ratasmäki- ja Rytökallio-alueilla (hankkeen kohdealue) rakentamisen aiheuttamien menetysten kompensoimiseksi kaupunki ehdottaa 16.6.2025 julkaistussa maankäyttösuunnitelmassa, että kehitettävien alueiden kokoiset kypsät kunnalliset metsät suojellaan pysyvästi. Tämä toimenpide estää hiilivarastojen romahtamisen ja edistää samalla biodiversiteettiä ja vihreiden käytävien luomista. Hiilivarastojen korvaamisen myötä pitkän aikavälin tuloksena on hiilivarastojen kasvu. Korvaavia alueita valittaessa kiinnitetään erityistä huomiota turvesoihin, joiden hiilivarastojen oletetaan olevan suuremmat kuin kivennäismaiden, jotta korvaaminen toteutuu myös tässä suhteessa täysimääräisesti. Samalla näiden alueiden sijainti lähellä asuinalueita tekee niiden suojelupäätöksestä myös alueiden virkistysarvon kannalta kannattavan.

Korvausmenetelmä:

Kuva 13 . Korvattava hankealue



Hiilivarastojen korvaamista vaativat alueet.

Kuvio 14 . Vaihtoehtoisten hiilivarastojen tunnistaminen



Korvausalueet, uudet hiilinielut

Korvattavat alueet ovat korttelit 585-583 ja osin 582, jotka vastaavat noin 100 hehtaarin nettopinta-alaa, jolla hiilivarastojen korvaaminen on tarpeen, koska ne olivat aiemmin metsämaata ja ovat nyt kaavoituksen mukaisesti maankäytön muutoksen kohteena. Forssan kaupunki on mahdollistanut hiilinielujen korvaamisen tunnistamalla 180 hehtaaria (ks. kuva 12) kunnan omistamaa metsäaluetta, josta korvaavat alueet voidaan valita, ja näistä vain 103 hehtaaria tulisi suojella, jotta saavutettaisiin tavoite palauttaa hankkeen toteuttamisen vuoksi menetetty hiilen varastointikapasiteetti.

Korvattavien alueiden hiilivarastot arvioitiin noin 67 500 tCO₂e:ksi käyttäen puustojen ja maaperän keskiarvoja Forssan kaupungin raportissa ”*Hiilivarastojen korvaaminen Ratsmäen ja Rytökallion kaavoituksen yhteydessä*” kuvatus menetelmän mukaisesti.

Laskentojen perusteella, kun otetaan huomioon pahin skenaario vuonna 2030, eli vuosi, jolloin molemmat ratkaisut (VE1 ja VE2) osoittavat suurinta hiilivarastointikapasiteetin menetystä, sovelletaan seuraavia arvoja:

- VE2: menetys 35 410 tCO₂e
- VE1: menetys 30 446 tCO₂e

Soveltamalla Forssan kaupungin selvityksessä käytettyä menetelmää, jossa käytetään keskimääräistä arvoa 655,34 tCO₂e/ha (laskettu jakamalla 67 500 tCO₂e 103 ha:lla) suojellun metsäalueen kautta tapahtuvan kompensoinnin arvioimiseksi, tarvittavat hehtaarit ovat seuraavat:

Raportissa käytetty keskiarvo: $\text{tCO}_2\text{e per hectare} = \frac{67,500}{103} = 655.34 \text{ tCO}_2\text{e/ha}$

VE1: **Required Hectares for new Carbon sinks** = $\frac{30,446}{655.34} = 46.44 \text{ ha}$

VE2: **Required Hectares for new Carbon sinks** = $\frac{35,410}{655.34} = 54.03 \text{ ha}$

Taulukko 6. Uudet hiilinielualueet

	Hiilivarastojen korvaamista vaativa nettoala (ha)	Hiilihävikki (tCO ₂ e)	Tarvittava pinta-ala (ha)
VE1	103	30,806	46.00
VE2	134 (vain 113,25 ei aiemmin kehitetty)	35,770	54.58

Forssan kaupungin selvitys osoittaa, että maaperän ominaisuudet ovat ratkaisevassa asemassa uusien hiilinielualueiden valinnassa, erityisesti koska maaperätyyppien välillä on huomattavia eroja hiilensidontakyvyssä. Kuivattamattomilla turvesoilla on poikkeuksellisen suuret hiilivarastot, keskimäärin 1 955 tC/ha, kun taas kivennäismailla hiilivarastot ovat vain 241 tC/ha. Tämä merkittävä ero korostaa turvesoiden, erityisesti kuivattamattomien turvesoiden, priorisoinnin tärkeyttä sopivien korvaavien alueiden tunnistamisessa, koska niiden luontainen hiilivarastointipotentiaali on huomattavasti suurempi ja siten tehokkaampi pitkän aikavälin hiilidioksidipäästöjen kompensointitavoitteiden saavuttamisessa.

Helsingin kaupungin hiilijalanjälkitutkimuksen mukaan maankäytön muutoksen aikana syntyvän hiilipäästöjen vähentämiseksi suunnittelussa tulisi priorisoida¹ :

- Olemassa olevien metsien ja vihreiden käytävien säilyttäminen mahdollisimman laajasti.
- Päälystettyjen pintojen ja rakentamiseen käytettävien alueiden minimoiminen.
- Viherkattojen ja muiden vihreiden rakenteiden sisällyttäminen.

¹ Laajemmassa kontekstissa Suomen metsät varastoivat maaperään noin 383 tonnia hiilidioksidiekvivalenttia hehtaaria kohti ja kasvillisuuteen 241 tonnia hiilidioksidiekvivalenttia, kun taas luonnontilaiset suot voivat varastoida jopa 1 955 tonnia hiilidioksidiekvivalenttia hehtaaria kohti. Rakennetut viheralueet varastoivat sen sijaan huomattavasti vähemmän, noin 104 tonnia hiilidioksidiekvivalenttia hehtaaria kohti. Nämä luvut osoittavat, kuinka tärkeää on säilyttää hiilipitoiset ekosysteemit, kuten metsät ja kosteikot.

- Puurakentamisen edistäminen, sillä puu toimii hiilivarastona ja vähentää päästöjä betoniin verrattuna.
- Käyttämättömien tai käytöstä poistettujen alueiden metsittäminen.

Näitä toimenpiteitä tulisi harkita yhdessä projektin vaihtoehtojen kanssa hiilinielujen säilyttämiseksi ja kasvihuonekaasupäästöjen minimoimiseksi.

Katso tämän selvityksen viimeisestä osasta lopullinen hiilitasapaino.

2. Elinkaaren aikainen hiilidioksidipäästöjen arviointi (rakenteelliset ja toiminnalliset päästöt)

Tässä raportin osiossa tarkastellaan yksityiskohtaisesti Forssan datakeskushankkeeseen liittyviä sisäänrakennettuja ja toiminnallisia hiilipäästöjä käyttäen GHG-protokollan kehystä Scope 1, 2 ja 3 -arviointille. Analyysi on rakennettu kahden projektivaihtoehdon, VE1 ja VE2, ympärille (skenaario VE0 säilyttää projektialueen nykytilassaan, eikä siinä ole toiminnassa olevia päästöjä, koska rakentamista tai rakennettua aluetta ei ole mukana) ja siinä tarkastellaan kolmea aikahorisonttia (nykyhetki, 20 vuotta ja 50 vuotta):

Taulukko 6 . Yhteenveto datakeskusten kokoonpanoista skenaariossa VE0.

Skenaario	DC	Rakennuksen bruttoala [m2]	Kerrosten lukumäärä	Datasalien lukumäärä kerroksessa
VE0	Ei mitään	0	0	0

Taulukko 7 . Yhteenveto VE1-skenaarion datakeskuksen kokoonpanoista.

Skenaario	DC	Rakennuksen bruttoala [m2]	Kerrosten lukumäärä	Datasalien lukumäärä kerroksessa
VE1	1	53.614	3	3
	2	53.614	3	3
	3	53.614	3	3
	4	43.043	2	3
	5	43.043	2	3
	6	35.743	2	3

Taulukko8 . Yhteenveto VE2-skenaarion datakeskuksen kokoonpanoista

Skenaario	DC	Rakennuksen bruttoala [m2]	Kerrosten lukumäärä	Datasalien lukumäärä kerroksessa
VE2	1	53.614	3	3
	2	53.614	3	3
	3	53.614	3	3
	4	43.043	2	3
	5	43.043	2	3
	6	35.743	2	3
	7	35.743	2	3
	8	35.743	2	3
	9	35.743	2	3

Skenaario	DC	Rakennuksen bruttoala [m ²]	Kerrosten lukumäärä	Datasalien lukumäärä kerroksessa
	10	15.698	1	2

Kunkin datakeskusrakennuksen kokoonpano vaikuttaa suoraan sekä energiankulutukseen että kunkin skenaarion hiilidioksidipäästöihin: kunkin skenaarion osalta on arvioitu Scope 1 -luokan (suorat), Scope 2 -luokan (ostettu sähkö) ja Scope 3 -luokan (energian tuotantoon liittyvät toimet) päästöt. Tarkemmin sanottuna Scope 1 -päästöt lasketaan varageneraattoreiden säännöllisten testien perusteella, sillä niitä käytetään vain huolto- ja hätätilanteissa. Tämän seurauksena nämä päästöt ovat vähäisiä kaikissa skenaarioissa ja aikaväleillä. Scope 2 -päästöt, jotka ovat ostetun sähkön välillisiä päästöjä, sekä Scope 3 -päästöt (jotka ovat sähköverkon siirto- ja jakeluhäviöitä), lasketaan käyttämällä PUE-arvoa (Power Usage Effectiveness) 1,2 ja soveltamalla Suomen sähköverkon päästökertoimia⁽ⁱ⁾, jotka heijastavat sekä nykyistä että ennustettua hiilidioksidipäästöjen vähentämistä. Erityisesti kun Suomen sähköverkko muuttuu ajan myötä yhä vihreämmäksi, Scope 2 -päästöjen osuus pienenee, kun taas Scope 3 -päästöjen merkitys kasvaa niiden suhteellisen merkityksen kasvaessa tasaisesti.

Lisäksi tässä osiossa esitetään alustava arvio QTS Forssan datakeskuksen projektissa lämmön talteenottojärjestelmän avulla saavutettavista hiilidioksidipäästöjen vähennyksistä. Analyysi perustuu samoihin skenaarioihin kuin Scope 1-, 2- ja 3-analyysit (VE1 ja VE2), mutta siinä tarkastellaan vain kahta aikahorisonttia: nykyhetkeä ja 50 vuoden päähän ulottuvaa tarkastelua.

Yhteenvedona laskettuja skenaarioita ovat:

- VE1 2025: 441 MW:n IT-kuormitus ja vuoden 2025 hiilidioksidipäästökertoimet tietokannoille.
- VE1 2025–2075: 441 MW:n IT-kuormitus ja tietokannan tulevat (2025–2075) hiilidioksidipäästökertoimet.
- VE2 2025: 627 MW:n IT-kuormitus ja vuoden 2025 hiilidioksidipäästökertoimet.
- VE2 2025–2075: 627 MW:n IT-kuormitus ja tietokannan tulevat (2025–2075) hiilidioksidipäästökertoimet.

Luvussa 2.3.5 tarkemmin selitetyt laskelmat osoittavat, että olettaen energian uudelleenkäyttökertoimeksi 20 % ja datakeskuksen täyden kuormituksen, kahdessa skenaariossa talteen otettava lämpöenergia on seuraava:

Taulukko9 . Talteenotettu lämpöenergia ja lämmitettävien asuntojen lukumäärä

Skenaariot	Talteenotettu lämpöenergia [MW _{th}]	Talteenotettu lämpöenergia [GWh _{th}]	Lämmitettävien asuntojen lukumäärä [-]
VE1	88	773	77.000
VE2	125	1.099	110.000

Kuten taulukosta käy ilmi, tällä energiamäärällä voidaan lämmittää lähes 100 000 asuntoa molemmissa skenaarioissa, kun otetaan huomioon 100 m²:n asunto, jonka vuotuinen lämmitystarve on 100 kWh_{th}/m².

Koska osa datakeskuksen jäähdytystarpeesta siirtyy läheisten kotitalouksien hyödynnettäväksi, vältetty jäähdyttimen energiankulutus näissä kahdessa skenaariossa on seuraava (huomioiden jäähdytyksen kausittainen energiantehokkuuskerroin eli SEER 23):

Taulukko10 . Vältetty jäähdyttimen energiankulutus

Skenaario	Vältetty jäähdyttimen energiankulutus [Mwh _{el}]
VE1	33.593
VE2	47.761

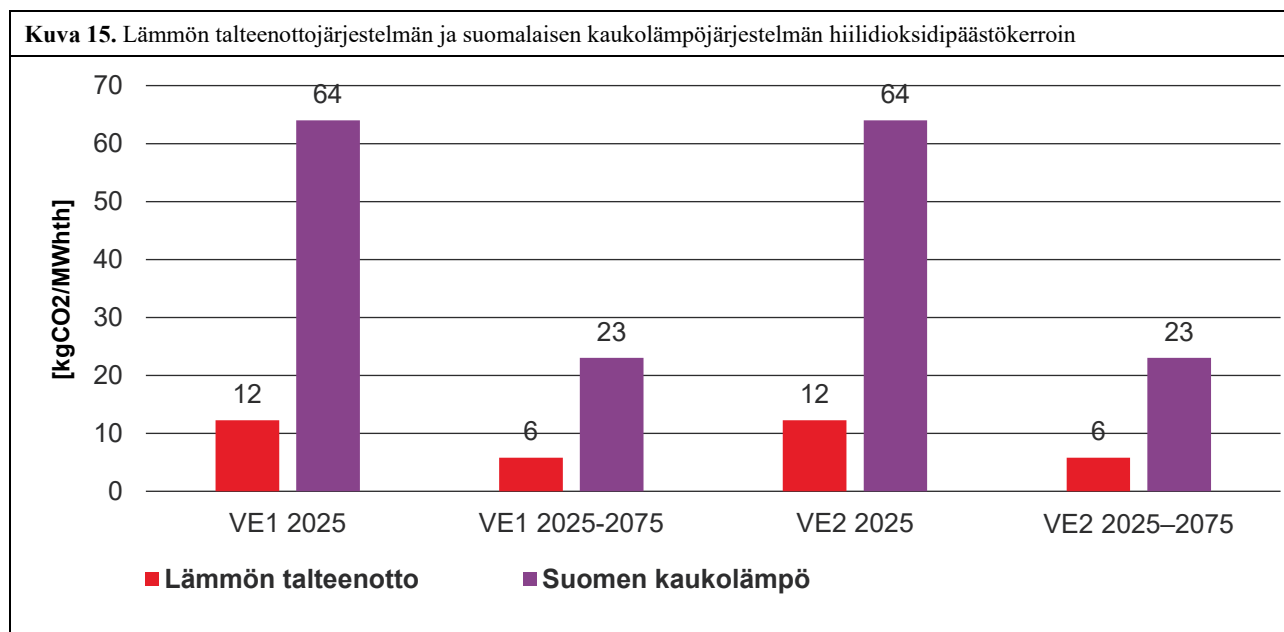
Vaikka lämmön talteenotto vaikuttaa positiivisesti hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen, siihen liittyvä infrastruktuuri aiheuttaa myös päästöjä, sekä materiaalisia että toiminnallisia. Tässä raportissa arvioidaan vain toiminnalliset hiilidioksidipäästöt, keskittyen kahden lisälaitteen sähkönkulutukseen: lämmön talteenoton kiertovesipumppu ja paikalliset lämpöpumppuyksiköt.

Kiertopumpun energiankulutuksen laskemisen jälkeen suoritettiin hiilitasapainon arviointi datakeskuksen toiminnan näkökulmasta. Tässä analyysissä kiertopumppujen aiheuttamat lämmön talteenoton lisähiilidioksidipäästöt otettiin huomioon positiivisena tekijänä ja jäähdyttimen energiankulutuksen vähenemisestä johtuvat hiilidioksidisäästöt negatiivisena tekijänä.

Taulukko 11. Lämmön talteenoton ansiosta saavutetut hiilidioksidisäästöt datakeskuksessa

Skenaariot	Sähköverkko CF	Pumpun kulutus	Vältetty jäähdyttimen kulutus	Pumpun päästöt	Vältetyt jäähdyttimen päästöt	Hiilidioksidisäästöt
	[tCO ₂ /MWh _{el}]	[MWh _{el}]	[MWh _{el}]	[tCO ₂]	[tCO ₂]	[tCO ₂]
VE1 2025	0,051	3.415	33.593	174	1.713	1.539
VE1 2025–2075	0,024	3.415	33.593	82	806	724
VE2 2025	0,051	4.855	47.761	248	2.436	2.188
VE2 2025–2075	0,024	4.855	47.761	117	1.146	1.030

Tuloksena on laskettu lämmön talteenottojärjestelmän ja keskimääräisen suomalaisen kaukolämpöjärjestelmän hiilidioksidipäästöjen vertailua varten lämmön talteenoton hiilidioksidikerroin, eli lisälaitteiden (pumput ja lämpöpumput) hiilidioksidipäästöt kilogrammoina CO₂ MWh_{el} kohti.



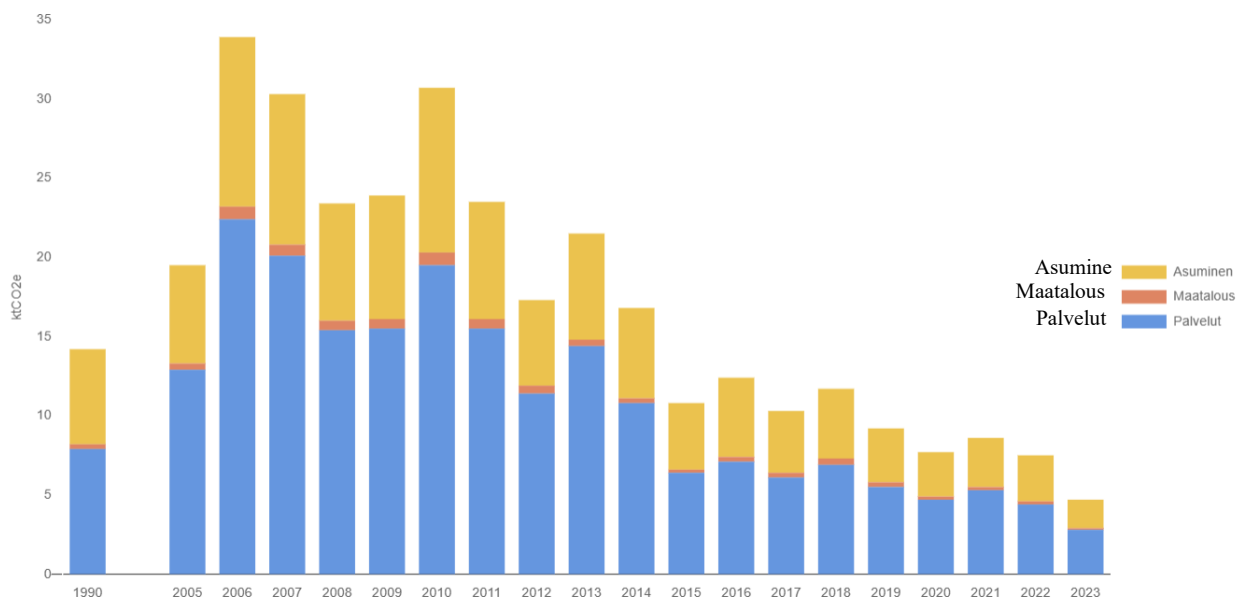
Lämmön talteenottojärjestelmän hiilikerroin on sama kaikissa EV-skenaarioissa, koska jakelupumppujen, lämpöpumpun ja talteenotetun lämpöenergian hiilidioksidipäästöjen suhde pysyy vakiona.

2.1 Nykyinen tilanne ja konteksti

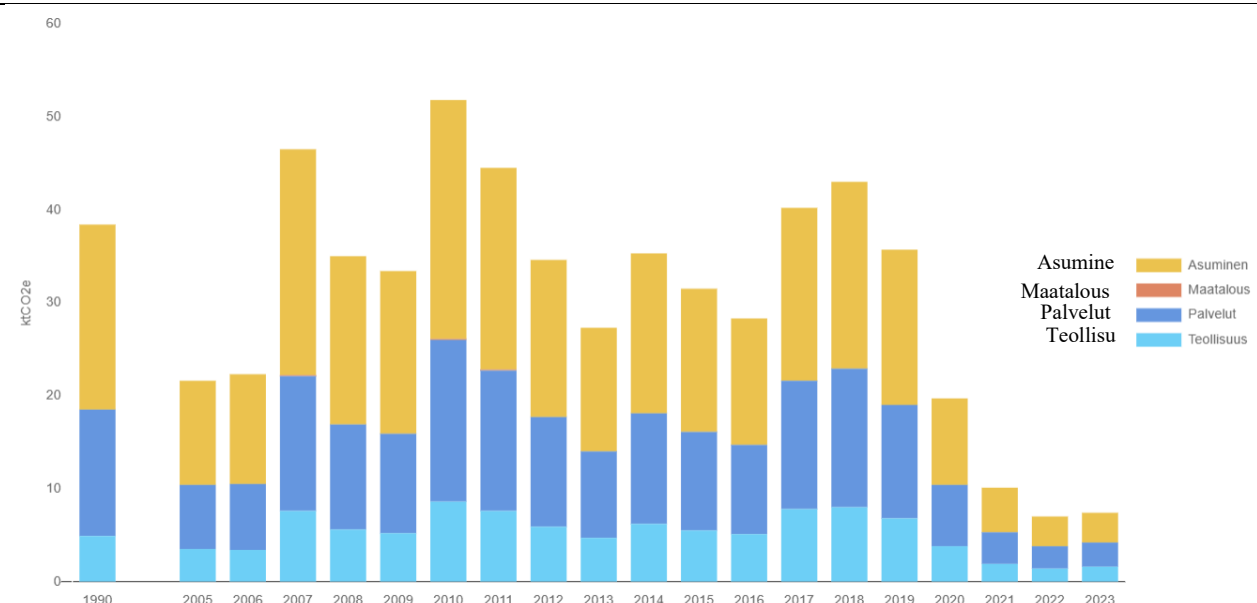
Forssa on osoittanut vahvan sitoutumisensa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen Suomen kansallisen ilmastoneutraaliustavoitteen mukaisesti vuodelle 2035. Viimeisen vuosikymmenen aikana kunta on saavuttanut hiilidioksidipäästöjen johdonmukaisen laskusuhdanteen energiatehokkuuden parantumisen ja asteittaisen uusiutuviin energialähteisiin siirtymisen ansiosta. Tämä edistys heijastaa sekä paikallisia aloitteita että laajempia kansallisia politiikkoja, joiden tavoitteena on energiateknologian hiilidioksidipäästöjen vähentäminen.

Energiakulutuksen kannalta kaksi tärkeintä tekijää ovat sähkö ja kaukolämpö. Sähkönkulutus perustuu pääasiassa palveluihin ja kotitalouksiin, kun taas kaukolämpö on edelleen tärkeä osa asuin- ja julkisia rakennuksia, vaikka asumisesta aiheutuvat päästöt ovatkin viime vuosina vähentyneet merkittävästi. Tämä johtuu siitä, että turve (hiilipitoinen materiaali) on vähitellen korvattu biopolttoaineilla lämmönlähteenä. Yksityiskohtaisten indikaattoreiden mukaan kaukolämmön kulutus on Forssassa merkittävää, ja sen hiilijalanjälki riippuu, kuten edellä on korostettu, suurelta osin lämmöntuotannossa käytetystä polttoaineyhdistelmästä. Kansallisella tasolla kaukolämmön tuotanto oli 33 200 GWh vuonna 2023, ja lämmön talteenotto ja lämpöpumput ovat yhä tärkeämmässä roolissa (kasvu 40 % edelliseen vuoteen verrattuna). Tämä suuntaus viittaa siihen, että vastaavia teknologioita voitaisiin hyödyntää paikallisesti päästöjen vähentämiseksi entisestään. Sähkön osalta päästöt ovat vähentyneet merkittävästi, kun uusiutuvan energian osuus paikallisessa verkossa on kasvanut. CO₂-päästöt ovat itse asiassa vähentyneet 75 % vuodesta 1990, ja vuonna 2023 ne ovat 50 tCO₂/GWh.

Kuva 16. Forssan sähkön CO₂-päästöjen historiatiedot (Lähde: *Fisu-kuntien ekologinen jalanjälki: Laskentaperiaatteet ja tulokset*)



Kuva 17. Forssan kaukolämmön CO₂-päästöjen historialliset tiedot (Lähde: *Fisu-kuntien ekologinen jalanjälki: Laskentaperiaatteet ja tulokset*)



Forssan hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä on saavutettu merkittäviä tuloksia: päästöt ovat vähentyneet tasaisesti vuosi vuodelta teollisuuden innovaatioiden ja puhtaampien energiaratkaisujen käyttöönoton ansiosta. Esimerkiksi paikallinen teollisuus on ottanut käyttöön biokaasun ja vesivoiman, mikä on vähentänyt suurten laitosten vuotuisia hiilidioksidipäästöjä noin 1 500 tonnilla. Nämä toimet yhdistettynä lämmön talteenoton ja sähköistämisen laajentamismahdollisuuksiin tekevät Forssasta aktiivisen kunnan matkalla kohti hiilineutraaliutta.

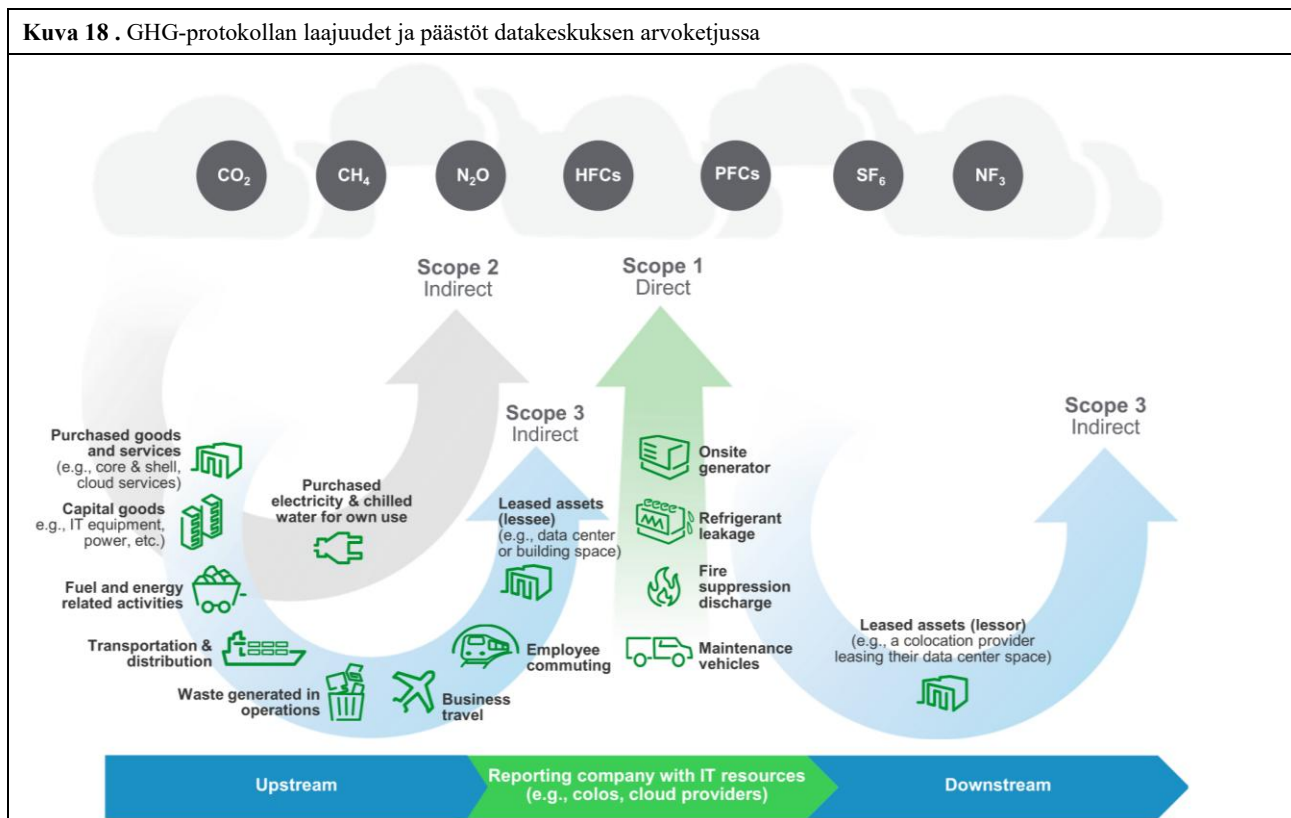
2.2 Arviointimenetelmä ja perustiedot – Scope 3:n rajat

Tässä luvussa analysoidaan QTS Forssa -hankkeen toimintavaiheeseen liittyvät hiilidioksidipäästöt yhteensä. Arviointi sisältää GHG-protokollan Scope 1, Scope 2 ja Scope 3 – laajuuksien mukaisesti lasketut päästöt. Ennen analyysin aloittamista on hyödyllistä selvittää ero näiden kolmen laajuuden välillä, jotka luokittelevat päästöt niiden lähteen ja hallinnan tason mukaan:

- Scope 1: suorat päästöt, jotka syntyvät datakeskuksen operaattorin omistamista tai hallinnoimista lähteistä, kuten varageneraattoreiden polttoaineen polttamisesta;
- Scope 2: välilliset päästöt, jotka syntyvät datakeskuksen kuluttaman ostetun sähkön, höyryn, lämmityksen tai jäähdytyksen tuotannosta. Nämä päästöt syntyvät energiantuottajalla, mutta ne kohdistetaan datakeskuksen energiankulutukseen.
- Scope 3: kaikki muut epäsuorat päästöt, jotka syntyvät arvoketjussa, mukaan lukien toimittajien, kuljetusten, työntekijöiden työmatkojen sekä laitteiden tuotannon ja hävittämisen päästöt.

Tietokeskusteollisuuden siirtyessä uusiutuvaan energiaan Scope 3 -päästöt ovat yhä tärkeämpiä, koska ne edustavat epäsuoria päästöjä koko tietokeskuksen arvoketjussa eivätkä ole operaattorin suoraan hallittavissa.

Kuva 18 . GHG-protokollan laajuudet ja päästöt datakeskuksen arvoketjussa



Kuvassa 18 esitetään Scope 3:n ja Scope 1:n ja 2:n välinen suhde sekä Scope 3:n erilliset raportointiluokat. Tässä raportissa Scope 3 -päästölaskelmiin sisältyvät kategoriat kattavat ostetut tavarat ja palvelut (kuten ydin ja kuori), pääomahyödykkeet (kuten IT-laitteet) ja energiaan liittyvät alkupään toiminnot.

2.3 CO₂-vaikutusten arviointi – Rakennusvaihe

Rakennusvaiheen osalta tämän arvioinnin piiriin kuuluvat elinkaarimoduulit liittyvät tuotteen, rakentamisen ja käytön vaiheisiin. Tällaisia moduuleja ovat raaka-aineiden hankinta (A1), kuljetus (A2), valmistus (A3), kuljetus (A4) sekä rakennus- ja asennusprosessit (A5) – tuotteen ja rakentamisen osalta – sekä huolto (B2), korvaaminen (B4) ja kunnostus (B5) – käytön osalta – kuten alla olevassa taulukossa 12 on esitetty.

Taulukko 12. Rakennusvaiheen laajuudessa tarkastellut elinkaaren moduulit.

Tuotevaihe			Rakennusvaihe			Käyttövaihe					Elinkaaren loppuvaihe				Rakennuksen elinkaaren vaiheen jälkeen			
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	D	D
✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓									
Raaka-aineiden toimitus	Kuljetus	Valmistus	Kuljetus	Rakennus- ja asennusprosessi	Käyttö	Huolto	Korjaus	Vaihto	Kunnostus	Käytöenergia	Käyttöön liittyvä vesi	Purku/hävitäminen	Kuljetus	Jätteiden käsittely	Hävitäminen	Uudelleenkäyttö	Hyödyntäminen	Kiertävy/spotentiali

Analyysissä käytetyt järjestelmän rajat sisältävät projektissa käytetyt tärkeimmät rakennusjärjestelmät. Rakenne (teräs), pohjalevy (betonikannet), ulkoseinät (eristetyt komposiittipaneelijulkisivut), katto (yksikerroksinen kalvokatto), sisätilojen viimeistely (kipsilevyseinät ja komposiittilattiat) ja perustukset (teräspaalut). Palvelut ja MEP-komponentit jätettiin tämän arvioinnin ulkopuolelle, koska projekti on vielä alustavassa vaiheessa.

Laskelmamenetelmä perustuu bottom-up-lähestymistapaan, jossa materiaalien määrät ja rakennuskomponentit yhdistetään viitetietokantojen ympäristötietoihin. Hankkeen nykyisen vaiheen huomioon ottaen nämä määrät on arvioitu yleissuunnitelman tietojen ja ehdotetun rakennuksen vastaavien lattiapinta-alojen perusteella. Analyysissä on käytetty hankkeelle 50 vuoden elinkaarta.

Analyysi suoritettiin One Click LCA -ohjelmistolla, joka on kansainvälisesti tunnustettu työkalu rakennusten elinkaariarviointiin (LCA) ja joka täyttää standardien EN 15978, ISO 14040 ja ISO 14044 vaatimukset. One Click LCA tarjoaa työkalun – Carbon Designer 3D – jonka avulla voidaan luoda projektin geometrista ja kvantitatiivista tietoa pohjakerroksen pinta-alan perusteella yhdistämällä materiaalit ja rakennusjärjestelmät tiettyihin ympäristötietokantoihin ja vastaaviin ympäristötuoteselosteisiin (EPD). One Click LCA sovelsi myös Euroopan komission kehittämää European Level(s) -kehystä, jonka tarkoituksena on yhdenmukaistaa kestävä kehityksen suorituskyvyn mittaamista rakennusalalla.

Analyysissä käytetyt ympäristötietojen lähteet ovat pääasiassa toissijaisia, ottaen huomioon projektin nykyisen kehitysvaiheen. Ensisijaiset ja toissijaiset tietolähteet erotetaan toisistaan seuraavien määritelmien mukaisesti:

- **Ensisijaiset tiedot:** saatu suoraan EN 15804 -standardin mukaisesti varmennetuista EPD-tuoteselosteista, riippuen niiden saatavuudesta OneClick-tietokannassa, joka koostuu eurooppalaisista EPD-tuoteselosteista (esim. EPD International, IBU, Eco Platform).

- **Toissijaiset tiedot:** OneClick LCA:han integroiduista yleisistä tietokannoista, kuten Ecoinvent v3, GaBi ja ohjelmistokohtaisista tietokannoista. Näitä tietoja käytetään, kun erityisiä EPD-tuoteselosteita ei ole saatavilla, valitsemalla tyypin ja maantieteellisen alueen mukaan edustavat tietokannat.

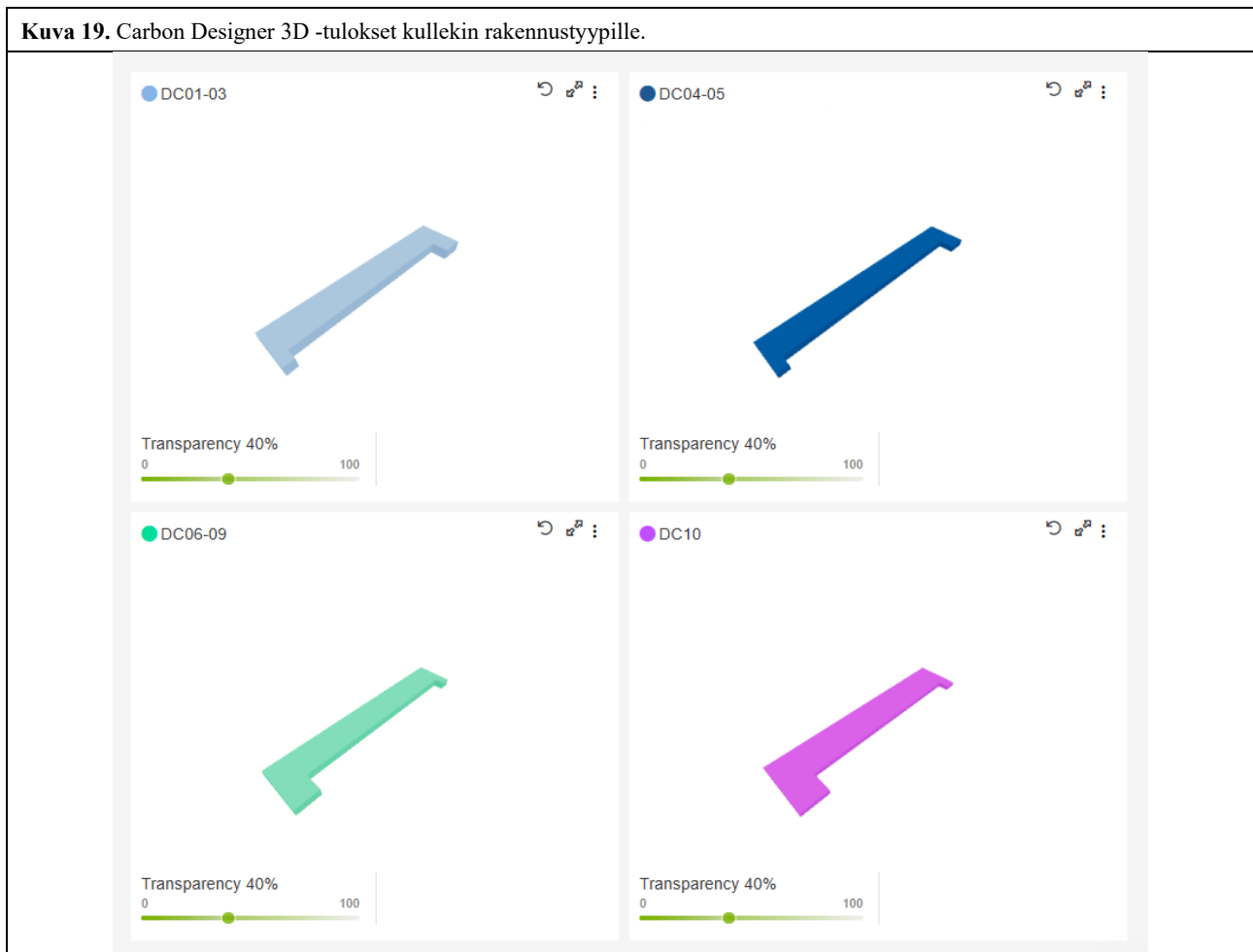
Hiilijalanjälki lasketaan tuotteiden ja materiaalien elinkaaren aikana päästettyjen kasvihuonekaasujen ilmaston lämpenemispotentiaalin (GWP) summana.

2.3.1 Scope 3 -päästöt – Tuote- ja rakennusvaiheet

Kuten aiemmin mainittiin, rakennusten mallintamiseen käytettiin OneClick LCA -työkalun Carbon Designer 3D -ominaisuutta, joka sisältää standardin EN 15978 edellyttämät laskentamenetelmät. Koska suunnitteluvaihe oli vielä yleissuunnitelman tasolla ja rakennusten ominaisuuksista oli saatavilla vain vähän yksityiskohtaisia tietoja, työkalun avulla voitiin tehdä alustava arvio rakennusmateriaalien määristä. Tämä arvio, joka tehtiin ilman määrälaskentaa, perustuu rakennuksen käyttötarkoitukseen, rakennuksen bruttopinta-alaan (GBA) sekä maanpäällisten ja maanalaisien kerrosten lukumäärään. Siinä käytetään kenkälaatikkomallia, joka on yksinkertaistettu malli, jossa rakennus esitetään elementaarisenä tilavuutena, jonka parametrit on standardoitu alan standardien ja tyyppillisten rakennusten sisäisten tietokantojen perusteella. Neljä rakennustyyppiä luotiin kahden masterplan-vaihtoehdon, VE1 ja VE2, neljän eri tyypin perusteella. Alla olevassa kuvassa 18 esitetään tällaisten rakennustyyppien geometriset tilavuudet.

Laskelman mallinnus sisälsi myös manuaalisen ja räätälöidyn rakennuselementtien luokittelun, jonka Arup kehitti asiakkaan toimittamien rakennustekniikoiden kuvausten perusteella ja mukautti laskentaohjelman arvioimiin määriin.

Kuva 19. Carbon Designer 3D -tulokset kullekin rakennustyyppille.



Päästöt aliarvioidaan yleensä alustavissa suunnitteluvaiheissa, ja ne yleensä kasvavat projektin edetessä. Tämä ilmiö tunnetaan nimellä ”hiilidioksidipäästöjen kasvu”, ja se johtuu alkuperäisestä epävarmuudesta materiaalien määristä sekä yleisten päästökertoimien käytöstä.

Aliarvioinnin riskin vähentämiseksi katsottiin aiheelliseksi ottaa käyttöön epävarmuustekijä, joka kattaa epävarmuuden ja rakennusmateriaalien määriä ja päästökertoimia koskevien kvantitatiivisten tietojen rajallisen saatavuuden sekä ohjelmiston shoebox-mallilla arvioimien määrien oletukset.

Tämä kokonaisepävarmuustekijä arvioitiin 25 prosentiksi RICS:n (Royal Institution of Chartered Surveyors) menetelmän mukaisesti, joka on esitetty julkaisussa ”Whole-life carbon assessment for the built environment (2. painos, syyskuu 2023)”. Se jakautuu seuraavasti:

- **15 %:n varaus** alustavan suunnitteluvaiheen vuoksi. Tämä tekijä ottaa huomioon suunnitteluvaiheeseen liittyvän epävarmuuden: mitä alustavampi projekti on, sitä suurempi on virhemarginaali (esim. puutteelliset tiedot, suunnitteluolettamukset).
- **7 % epävarmuustekijä** liittyen materiaalien päästökertoimiin, koska tuotteita ei ole vielä valittu. Tämä tekijä heijastaa käytettyjen päästötietojen laatua: yleiset tiedot aiheuttavat suuremman epävarmuuden kuin projektissa tosiasiallisesti käytettyjen tuotteiden EPD-tietojen sisältämät tarkat tiedot.
- **4 % epävarmuustekijä**, joka liittyy ohjelmiston arvioimiin määriin. Tämä tekijä mittaa syötettyjen materiaalimäärien luotettavuutta: arvioidut määrät aiheuttavat suuremman epävarmuuden kuin mitatut määrät.

Kun laskentamenetelmä on vahvistettu ja siihen liittyvät epävarmuustekijät on määritetty, tulokset saadaan alla olevien taulukoiden mukaisesti.

Taulukko13 . Tuotevaiheeseen (A1-A5) liittyvät hiilidioksidipäästöt skenaariossa VE1.

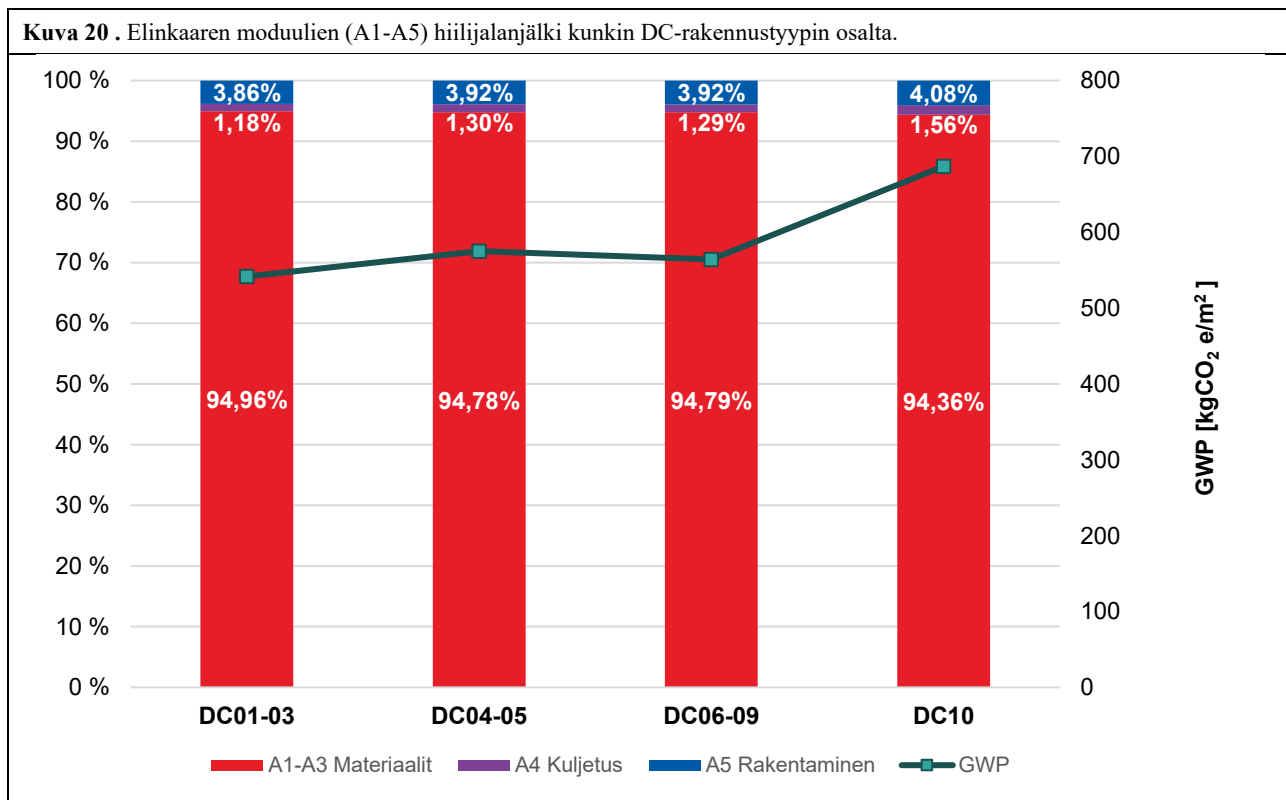
Skenaari o	DC	Rakennuksen bruttoala [m ²]	A1-A3 [tCO ₂ e]	A4 [tCO ₂ e]	A5 [tCO ₂ e]	GWP YHTEENSÄ [kgCO ₂ e/m ²]	GWP 25 % varaus [kgCO ₂ e/m ²]
VE1	1	53.614	2.206.0319	274.810	896.355	433	541
	2	53.614	2.206.0319	274.810	896.355	433	541
	3	53.614	2.206.0319	274.810	896.355	433	541
	4	43.043	1.876.7859	256.943	776.094	460	575
	5	43.043	1.876.7859	256.943	776.094	460	575
	6	35.743	1.529.6209	208.189	632.743	451	564

Taulukko14 . Skenaario VE2:n tuotantovaiheeseen (A1-A5) liittyvät hiilidioksidipäästöt.

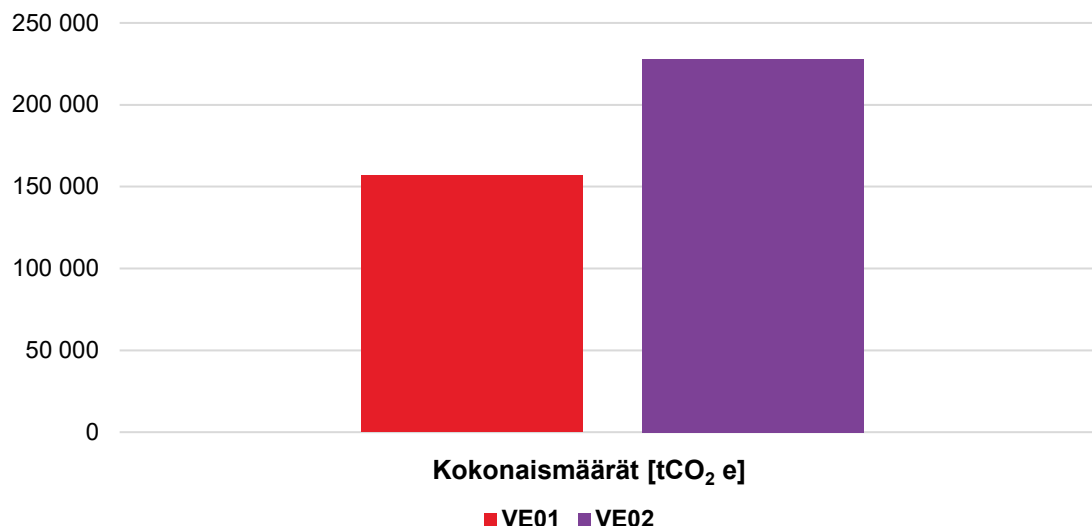
Skenaari o	DC	Rakennuksen bruttoala [m ²]	A1-A3 [tCO ₂ e]	A4 [tCO ₂ e]	A5 [tCO ₂ e]	GWP YHTEENSÄ [kgCO ₂ e/m ²]	GWP 25 % varaus [kgCO ₂ e/m ²]
VE2	1	53.614	2.206.0319	274.810	896.355	433	541
	2	53.614	2.206.0319	274.810	896.355	433	541
	3	53.614	2.206.0319	274.810	896.355	433	541
	4	43.043	1.876.7859	256.943	776.094	460	575
	5	43.043	1.876.7859	256.943	776.094	460	575

Skenaari o	DC	Rakennuksen bruttoala [m ²]	A1-A3 [tCO ₂ e]	A4 [tCO ₂ e]	A5 [tCO ₂ e]	GWP YHTEENSÄ [kgCO ₂ e/m ²]	GWP 25 % varaus [kgCO ₂ e/m ²]
	6	35.743	1.529.6209	208.189	632.743	451	564
	7	35.743	1.529.6209	208.189	632.743	451	564
	8	35.743	1.529.6209	208.189	632.743	451	564
	9	35.743	1.529.6209	208.189	632.743	451	564
	10	15.698	8140.127	134.581	351.673	549	686

Absoluuttisina lukuina mitattuna vaikutukseltaan merkittävin rakennustyyppi on DC01-03, koska sen bruttopinta-ala on suurin. Kun kuitenkin tarkastellaan vaikutusta pinta-alan mukaan normalisoituna, havaitaan, että rakennustyyppi, jolla on korkein GWP-arvo (kontingenssilla), on DC10, jonka arvo on **686 kgCO₂ e/m²**. Tällainen tulos on odotettavissa, koska kyseisessä rakennustyyppissä on vain yksi kerros maanpinnan yläpuolella. Rakennustyypeissä, joissa on enemmän kerroksia, materiaalien käyttö on optimoitu paremmin, minkä vuoksi niiden GWP-vaikutukset ovat pienemmät. Nämä havainnot on esitetty kuvassa 19.



Rakennusvaiheen kokonaisvaikutusten osalta vaihtoehto VE2, joka sisältää kaksi lisärakennustonttia ja neljä lisärakennusta, aiheuttaa 45 % enemmän hiilidioksidipäästöjä kuin vaihtoehto VE1. Tämä tulos on esitetty alla olevassa kuvassa.

Kuva 21. Tuotteiden ja rakennusmoduulien hiilijalanjälki kunkin yleissuunnitelman vaihtoehdossa (VE1 ja VE2).

2.3.2 Scope 3 -päästöt – Käyttövaihe (rakennusmateriaalit)

Ylläpitoon ja laitteiden uusimiseen liittyvät päästöt riippuvat merkittävästi rakennusmateriaalien jatkuvasta käytöstä, korvaamisesta ja kunnostamisesta koko omaisuuden elinkaaren ajan. Nämä päästöt syntyvät korvaavien materiaalien ja viimeistelyjen hiilijalanjäljestä, jotka vaativat säännöllistä korjausta tai uusimista kulumisen tai rappeutumisen vuoksi. Ylläpitotoiminnot tuottavat päästöjä raaka-aineiden louhinnasta, valmistuksesta ja kuljetuksesta.

Kuten aiemmin luvussa 2.3 on mainittu, rakennusten ja arvioitujen moduulien B4 ja B5 mallintamiseen käytettiin Carbon Designer 3D -työkalua, joka sisältää EN 15978 -standardin edellyttämät laskentamenetelmät. Moduuli B2 arvioitiin RICS-vertailuarvon mukaisesti olettaen, että sen arvo on 1 % moduulien A1–A5 summasta, huollon vaikutusten arviointia koskevien viitekäytäntöjen mukaisesti.

Kun laskentamenetelmä on vahvistettu, epävarmuustekijät huomioon ottaen, tulokset saadaan alla olevien taulukoiden mukaisesti.

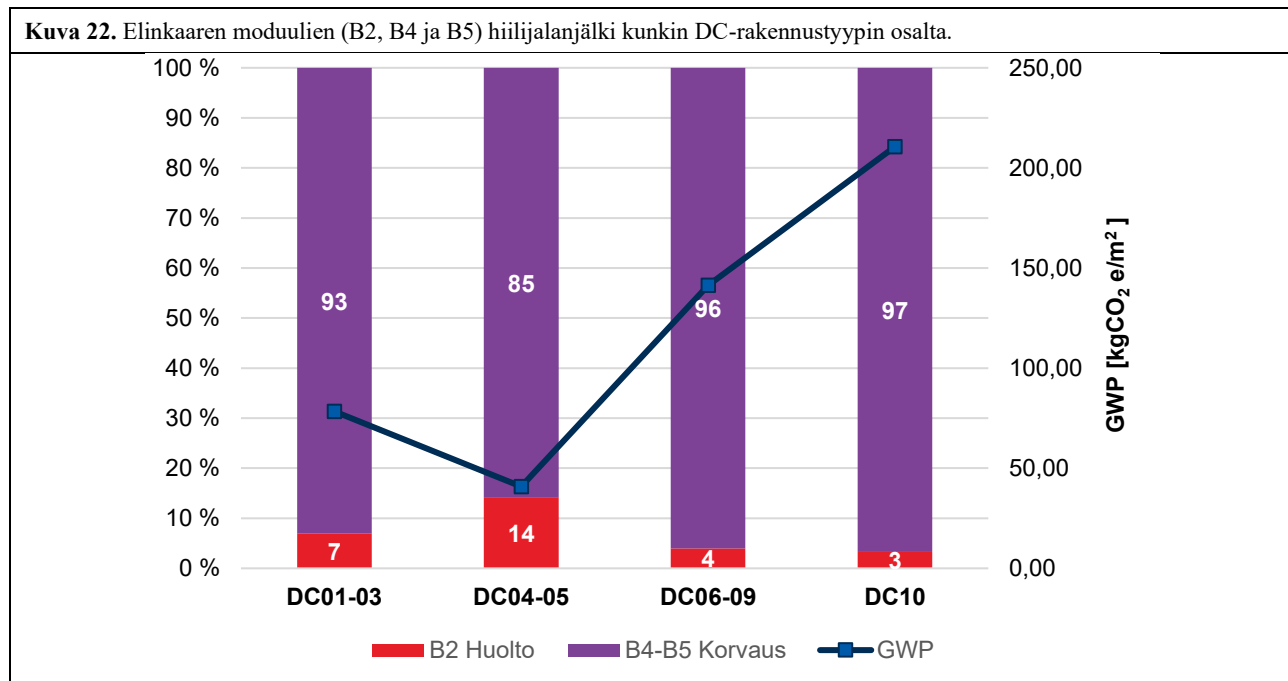
Taulukko15. Skenaario VE1:n käyttövaiheeseen (B2, B4 ja B5) liittyvät hiilidioksidipäästöt.

Skenaari o	DC	Rakennuksen bruttoala [m ²]	B2 [tCO ₂ e]	B4-B5 [tCO ₂ e]	GWP YHTEENSÄ [kgCO ₂ e/m ²]	GWP 25 %:n varautuminen [kgCO ₂ e/m ²]
VE1	1	53.614	232.314	3.127.933	62	78
	2	53.614	232.314	3.127.933	62	78
	3	53.614	232.314	3.127.933	62	78
	4	43.043	198.008	1.209.055	32	40
	5	43.043	198.008	1.209.055	32	40
	6	35.743	161.371	3.880.385	113	141

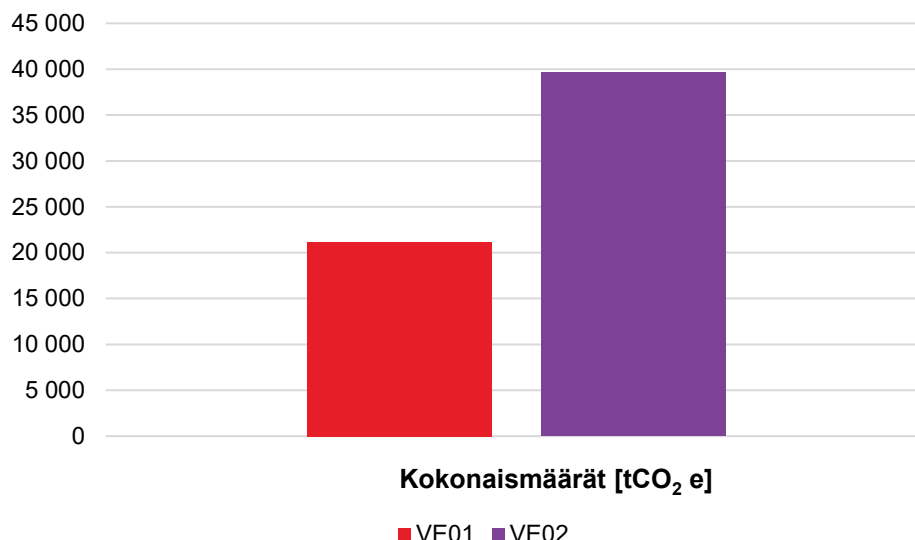
Taulukko16. Skenaario VE1:n käyttövaiheeseen (B2, B4 ja B5) liittyvät hiilidioksidipäästöt.

Skenaario	DC	Rakennuksen bruttoala [m ²]	B2 [tCO ₂ e]	B4-B5 [tCO ₂ e]	GWP YHTEENSÄ [kgCO ₂ e/m ²]	GWP 25 % varaus [kgCO ₂ e/m ²]
VE2	1	53.614	232.314	3.127.933	62	78
	2	53.614	232.314	3.127.933	62	78
	3	53.614	232.314	3.127.933	62	78
	4	43.043	198.008	1.209.055	32	40
	5	43.043	198.008	1.209.055	32	40
	6	35.743	161.371	3.880.385	113	141
	7	35.743	161.371	3.880.385	113	141
	8	35.743	161.371	3.880.385	113	141
	9	35.743	161.371	3.880.385	113	141
	10	15.698	86.263	2.558.245	168	210

Luvussa 2.3 esitettyjen moduulien A1–A5 tulosten mukaan absoluuttisina lukuina mitattuna vaikutuksiltaan merkittävin rakennustyyppi on DC01–03. Kun vaikutusta tarkastellaan pinta-alan mukaan normalisoituna, havaitaan kuitenkin, että käyttövaiheen GWP-arvo (kontingenssilla) on suurin rakennustyyppillä DC10, jonka arvo on **210 kgCO₂ e/m²**. Rakennustyyppit, joissa on enemmän kerroksia, ovat materiaalien käytön optimoinnin kannalta parempia, ja siksi niiden GWP-vaikutukset ovat pienemmät. Nämä havainnot on esitetty kuvassa 22.



Käyttövaiheen kokonaisvaikutuksen osalta vaihtoehto VE2, joka sisältää kaksi lisärakennustonttia ja neljä lisärakennusta, aiheuttaa 87 %:n kasvun hiilidioksidipäästöissä verrattuna vaihtoehtoon VE1. Tulos on esitetty alla olevassa kuvassa.

Kuva 23 . Kunkin yleissuunnitelman vaihtoehdon (VE1 ja VE2) kokonaiskäyttövaiheen hiilijalanjälki.

Kun otetaan huomioon sekä tuotanto- ja rakennusvaiheen että käyttövaiheen vaikutukset, ensimmäisen vaihtoehdon VE1 hiilijalanjälki on 142 370 tCO₂ e, kun taas VE2:n hiilijalanjälki on 214 177 tCO₂ e. Nämä arvot edustavat 50 %:n eroa kahden vaihtoehdon välillä.

Taulukko17 . Skenaarioiden VE1 ja VE2 hiilidioksidipäästöjen kokonaismäärä.

Skenaariot	Tuote- ja rakennusvaiheet A1–A5 [tCO ₂ e]	Käyttövaihe B2, B4–B5 [tCO ₂ e]	Kokonaishiilidioksidipäästöt [tCO ₂ e]
VE1	156.792	21.171	177.963
VE2	228.089	39.633	267.722

2.3.3 Scope 3 -päästöt – Tuote-, rakennus- ja uusimisjaksot (IT-laitteet)

IT-laitteet ovat yksi merkittävimmistä epäsuorien kasvihuonekaasupäästöjen lähteistä datakeskuksen arvoketjussa. Vaikka edellisissä osioissa on esitetty yksityiskohtainen kvantifiointi rakennusmateriaaleihin liittyvistä päästöistä, niissä ei vielä ole arvioitu IT-laitteisiin liittyviä Scope 3 -päästöjä.

Pääomahyödykkeiksi luokiteltujen IT-laitteiden päästöjen arviointi on haastavaa, koska käytettävissä ei ole tietoa käytettävistä palvelimista, tallennusjärjestelmistä ja verkkolaitteista, odotettavissa olevista uusimisjaksoista eikä valmistajien välisistä eroista hiilijalanjäljen suhteen (esim. erilaiset materiaalisekoitukset tai kierrätyskomponenttien käyttö).

Jotta projektin ilmastovaikutukset voitaisiin esittää kattavammin, tässä alaluvussa esitellään alustava menetelmä IT-laitteiden Scope 3 -päästöjen arvioimiseksi. Menetelmä perustuu Schneider Electricin⁽¹⁾ kehittämän työkalun vertailutietoihin, joiden avulla voidaan arvioida IT-laitteiden Scope 3 -päästöt palvelimien ja verkkolaitteiden keskimääräisen hiilijalanjäljen perusteella. Nämä hiilijalanjäljen arvot ovat yleensä IT-valmistajien toimittamia tai johdettuja alan tunnustamilla menetelmillä, kuten PAIA-mallilla (Product Attribute to Impact Algorithm), joka on verkkopohjainen alusta tietotekniikka- ja viestintäteknologiatuotteiden ympäristöjalanjäljen arvioimiseksi.

Tätä analyysia varten tutkittiin kahta vaihtoehtoa:

- **Suurivaikutteinen vaihtoehto:** korkeampi oletusarvo **9 tCO₂/kW**, joka vastaa hypoteettisen telineen hiilijalanjälkeä, joka sisältää edustavan valikoiman Dellin, HP:n, Lenovon ja IBM:n palvelimia, kuten Schneider Electricin työkalussa⁽¹⁾ on määriteltä.
- **Vähävaikutteinen vaihtoehto:** vähiten tai kohtalaisesti konfiguroitu arvo **5 tCO₂/kW**, lähde: Schneider Electricin valkoinen kirja 99⁽¹⁾.

Nämä arvot edustavat keskimääräistä hiilidioksidipäästöä palvelinkapasiteetin yksikköä kohti, ja ne kattavat laajasti IT-laitteiden tuotteeseen, rakentamiseen ja säännöllisiin päivityssykleihin liittyvät vaikutukset.

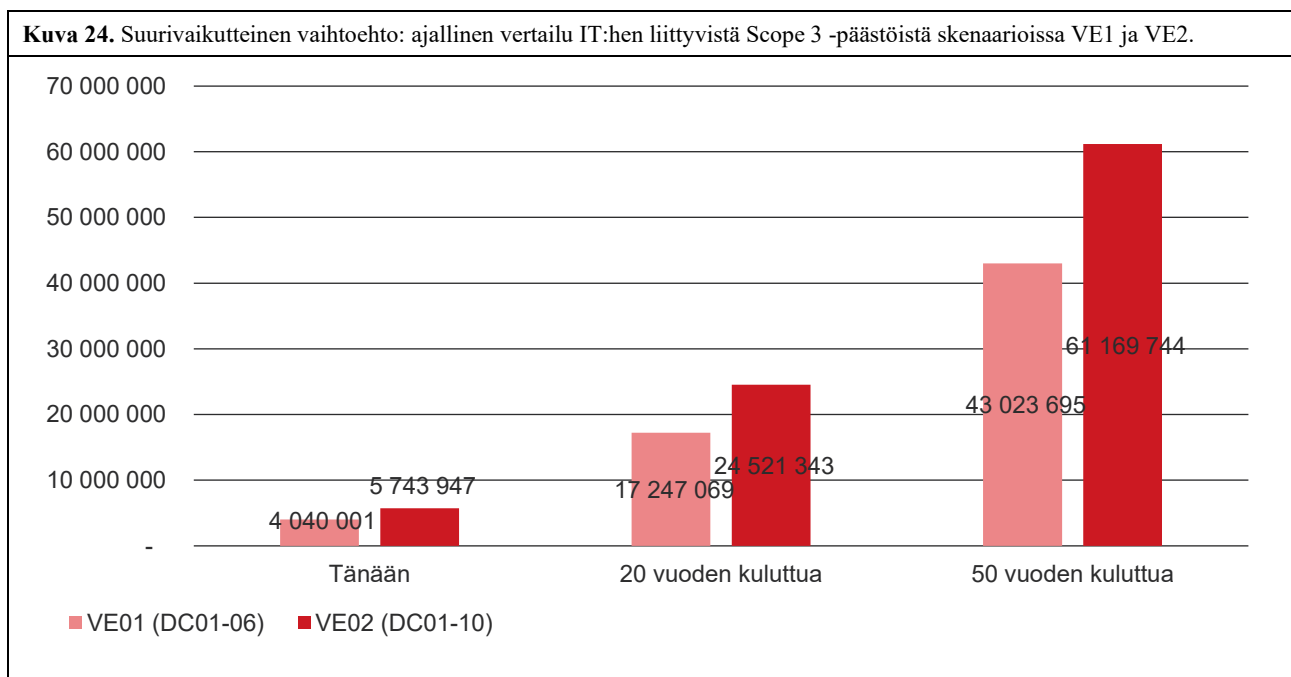
Tässä arvioinnissa käytetty käyttöpäästökerroin on sama sähköyhdistelmä, jota on käytetty käyttövaiheen laskelmissa ja jota on käsitelty yksityiskohtaisesti luvussa 2.4. Tämä varmistaa IT-laitteiden Scope 3 -arvioinnin ja käytön hiilidioksidipäästöjen arvioinnin välisen johdonmukaisuuden.

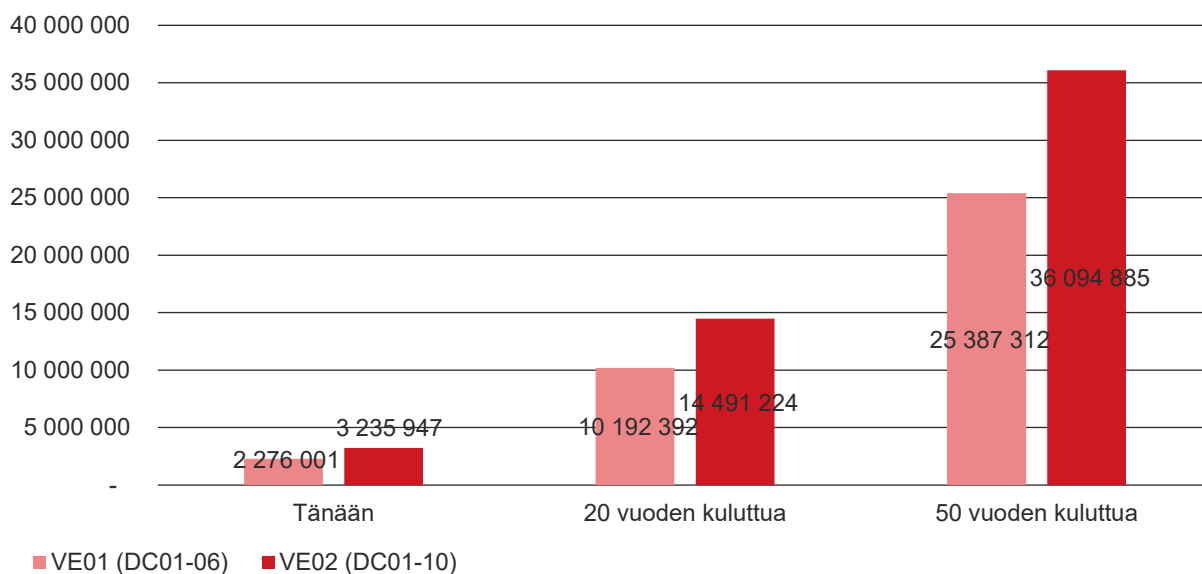
Lisäksi sovellettiin seuraavia mallinusoletuksia:

- Palvelin- ja verkkoalokaatio: 95 %/5 %-jako palvelinlaitteiden ja verkkolaitteiden välillä, Schneider Electricin mallissa käytetyn kokoonpanon mukaisesti.
- Tietojen tallennus: ei mainittu erillisenä syöttötietona, koska mallissa oletetaan, että 100 % IT-tallennustilasta on integroitu palvelinlaitteistoon.
- Päivittämisväli: sekä palvelin- että verkkolaitteilla oletetaan olevan 5 vuoden vaihtoväli, perustuen Schneider Electricin ilmoittamaan laitteiden keskimääräiseen käyttöikänsä.
- Huomioon otettu IT-teho: arvio perustuu projektin kokoonpanotaulukoissa määriteltyyn IT-kuormituksen kokonaismäärään, joka on 441 MW skenaariossa VE1 ja 627 MW skenaariossa VE2.

IT-laitteisiin liittyvät Scope 3 -päästöt on esitetty alla sekä vähäisen että suuren vaikutuksen vaihtoehdoille kahdessa projektiskenaariossa (VE1 ja VE2). Koska skenaario VE0 säilyttää projektialueen nykytilassaan, päästöjä ei synny, koska rakentamista tai rakennettua aluetta ei ole mukana.

Kuva 24. Suurivaikutteinen vaihtoehto: ajallinen vertailu IT:hen liittyvistä Scope 3 -päästöistä skenaarioissa VE1 ja VE2.



Kuva 25 . Vähävaikutteinen vaihtoehto: ajallinen vertailu skenaarioiden VE1 ja VE2 IT-laitteisiin liittyvistä Scope 3 -päästöistä.

Kuten odotettua, skenaario VE2, joka sisältää suuremman määrän datakeskuksia ja siten suuremman IT-kuormituksen (627 MW), tuottaa jatkuvasti suurempia päästöjä verrattuna skenaarioon VE1 (441 MW) kaikilla aikaväleillä ja molemmissa vaikutusvaihtoehtoissa.

Suuren vaikutuksen oletuksessa päästöt nousevat jyrkästi ajan myötä, mikä heijastaa laitteiden uusimisjaksoista aiheutuvan hiilijalanjäljen kumulatiivista vaikutusta. Vuoteen 50 mennessä skenaario VE2 saavuttaa yli 60 miljoonan tonnin hiilidioksidiekvivalenttisen arvon, kun VE1:n arvo on noin 43 miljoonaa tonnia. Tämä osoittaa IT-infrastruktuurin koon merkittävän vaikutuksen pitkän aikavälin Scope 3 -päästöihin.

Vaikutusten ollessa vähäiset oletukset, vaikka ne johtavatkin pienempiin absoluuttisiin lukuihin, osoittavat samat suhteelliset trendit. Päästöt kasvavat tasaisesti 50 vuoden analyysijakson aikana laitteiden säännöllisen uusimisen vuoksi, ja VE2-skenaario osoittaa jälleen korkeampia arvoja kuin VE1-skenaario. Jopa vähäisen vaikutuksen tapauksessa päästöt saavuttavat yli 35 miljoonaa tonnia hiilidioksidiekvivalenttia VE2-skenaariossa ja yli 25 miljoonaa tonnia hiilidioksidiekvivalenttia VE1-skenaariossa 50. vuoteen mennessä.

Yleisesti ottaen molemmissa skenaarioissa vaikutukset kasvavat 70 % vähäisten vaikutusten vaihtoehtoon ja suurten vaikutusten vaihtoehtoon välillä kaikilla aikaväleillä, mikä johtuu IT-laitteiden toistuvista uusimisjaksoista.

2.4 CO₂ -vaikutusten arviointi – Käyttövaihe

Määriteltyä järjestelmän rajat Scope 3 -päästöille yleisen metodologisen kehyksen mukaisesti, QTS Forssa -projektin käyttövaiheen hiilivaikutusten arviointi kehitettiin strukturoidun lähestymistavan mukaisesti.

Käyttövaiheen kokonais-CO₂-vaikutusten laskemisen yleinen kehys on esitetty alla, ja kukin laajuus on käsitelty yksityiskohtaisesti omassa alaosassaan, mukaan lukien syöttöparametrit, oletukset ja laskentamenetelmät.

1. Scope 1 -päästöjen arviointi, joka kattaa varageneraattoreiden testikäytön. Flex Power -käyttövaatimus päättyy vuonna 2033, joten sitä ei ole huomioitu laskennoissa.
2. Scope 2 -päästöjen arviointi, jotka syntyvät datakeskuksen ostaman sähkön tuotannosta. Vaikka nämä päästöt syntyvät sähköyhtiön tiloissa, ne kohdistetaan datakeskukseen, koska ne johtuvat sen sähkönkulutuksesta.

3. Scope 3 -päästöjen arvionti, sähköverkon siirto- ja jakeluhäviöihin (T&D) liittyvistä lisäpäästöistä. Ne syntyvät ostetun sähkön toimituksen aikana, ja datakeskus raportoi ne osana kokonaisenergiakäyttöön liittyviä päästöjään.

Seuraavissa osioissa esitetään kattava arvio CO₂-vaikutuksista ja analysoidaan Scope 1-, 2- ja 3-päästöjä skenaarioissa VE1 ja VE2. Koska skenaariossa VE0 projektialue pysyy nykyisessä tilassaan, toiminnassa ei synny päästöjä, koska rakentamista tai rakennettua aluetta ei ole.

2.4.1 Scope 1 -päästöt – Varageneraattorit

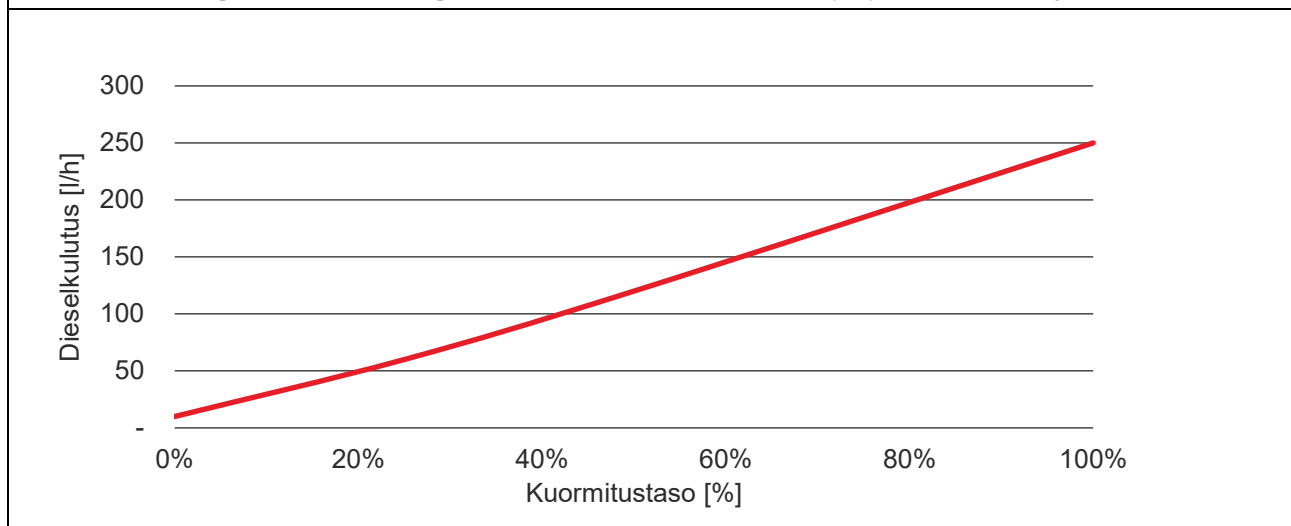
Scope 1 -päästöjen arviointi, joka kattaa varageneraattoreiden testikäytön, riippuu testiohjelmasta ja käytetyn polttoaineen tyypistä. EIA-asiakirjojen mukaan varageneraattoreiden nimelliskapasiteetti on 2,5 MW / 3,125 MVA kukin ja ne toimivat dieselpolttoaineella.

Suunniteltu testiohjelma:

- Kuukausittaiset testit:
Jokaista generaattoria käytetään 20 minuuttia 0 %:n kuormituksella, yksi kerrallaan. Ilmanlaadun arvioinnissa oletetaan 10 %:n kuormitus (valmistajan tietoja 0 %:n kuormituksen päästöistä ei ole saatavilla).
- Vuosittainen kuormitustesti:
Yksi generaattori datahallia/ryhmää kohti (esim. 1 generaattori 7:stä 9 MW:n data-hallissa) käy läpi vaihteittaisen kuormitustestin:
 - 25 %:n kuormitus 15 minuutin ajan;
 - 50 %:n kuormitus 15 minuutin ajan;
 - 100 %:n kuormitus 60 minuuttia;
 - Jälkeen jäähdytysjakso.

Tämä testausaikataulu muodostaa perustan generaattorin käyttöön liittyvien Scope 1 -päästöjen arvioinnille. Käyttämällä alla olevaa diesलगeneraattoreiden keskimääräistä osakuormakäyrää, johdettiin vastaavat polttoaineenkulutusarvot eri testiolosuhteille ja sovellettiin niitä laskelmissa.

Kuva 26 . Markkinaperusteisiin oletuksiin perustuva diesलगulutuksen osakuormakäyrä yleiselle dieselvarageneraattorille.



Alla olevassa taulukossa on kattava yhteenveto kaikista parametreista, joita on käytetty päästölaskelmissa kussakin skenaariossa (VE1 ja VE2). Tässä analyysissä datakeskukset DC 1–3, DC 4–5 ja DC 6–9 katsotaan vastaaviksi, koska niiden IT-kuormitus on identtinen, ja ne on siksi ryhmitelty vastaavasti.

YVA-SELOSTUKSEN LIITE 08

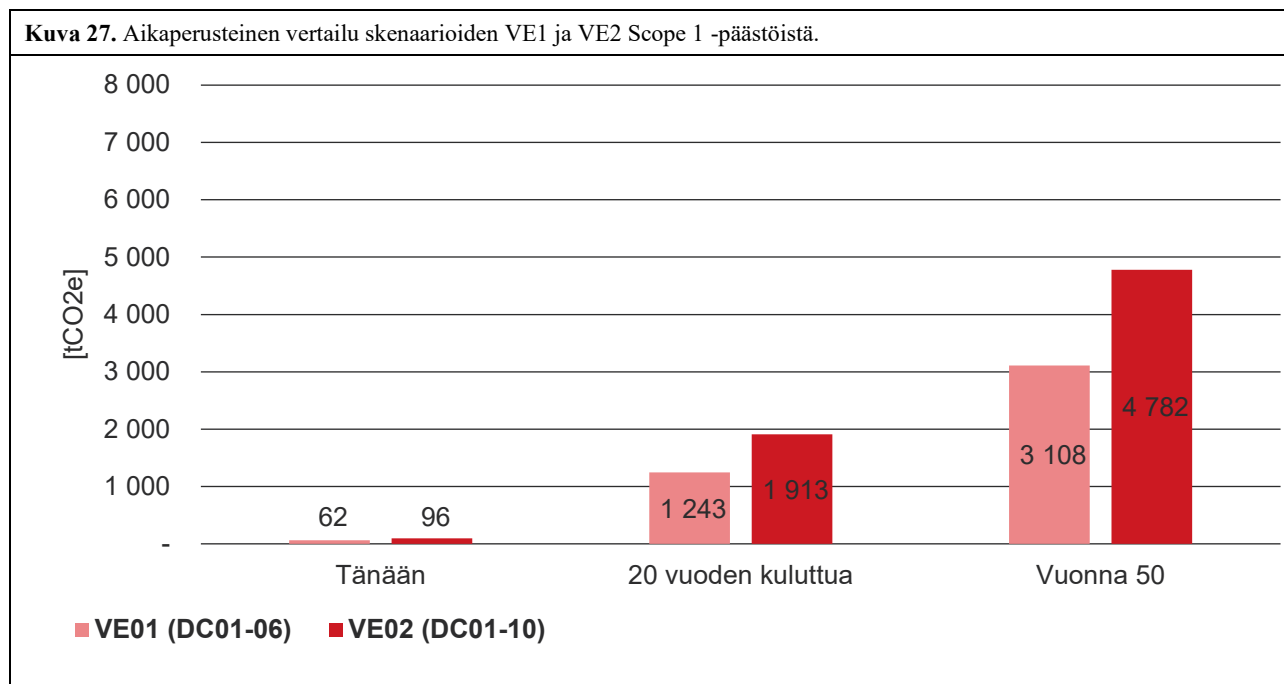
Taulukko18. Yhteenvedo kaikista syöttöparametreista, joita on käytetty kunkin skenaarion ja datakeskuksen Scope 1 -päästölaskelmissa vastaavan IT-kuormituksen perusteella.

Kuvaus	Mittayksikkö	DC 1–3	DC 4-5	DC 6-9	DC 10
Generaattorin kapasiteetti	MW	2.50	2.50	2.50	2.50
Generaattoreiden lukumäärä	n	63	54	42	19
Generaattoriryhmä	generaattori/dh	7	9	7	9
n° datahalli	dh/DC	9	6	6	2
generaattoreiden kokonaismäärä	generaattoreiden lukumäärä	63	54	42	18
Kuukausittainen	min	20	20	20	20
	kertaa vuodessa	12	12	12	12
	h/generaattori	4	4	4	4
	testattujen generaattoreiden lukumäärä	63	54	42	18
	h, tot	252.00	216.00	168.00	72.00
	kulutettu l	2,520	2,160	1,680	720
	m3 kulutettu	2.52	2.16	1.68	0.72
Vuosittain	min	90	90	90	90
	kertaa vuodessa	1	1	1	1
	h/generaattori	1.50	1.50	1.50	1.50
	testattujen generaattoreiden lukumäärä	7	9	7	9
	h tot	10.50	13.50	10.50	13.50
	kulutettu l ²	2,065	2,655	2,065	2,655
	kulutettu m3	2.07	2.66	2.07	2.66
Yhdistetty polttoaineenkulutus	m3 yhteensä	5	5	4	3

² Polttoaineenkulutus laskettiin osakuormilla käytetyn dieselin painotettuna keskiarvona kunkin kuormitustilan testien keston perusteella. Tuloksena saatu keskimääräinen kulutus on noin 200 l/h dieselinä.

Kunkin datakeskuksen tyypin vuotuisen dieselkulutuksen perusteella (riippuen IT :stä) päästöt laskettiin käyttämällä dieselin alemmaa lämpöarvoa (LHV) 46 GJ/t (World Nuclear Association, päivitetty 2025) ja päästökerrointa 58,6 t CO₂/TJ^(k) (Dieselöljy, Suomi – Hiilijalanjälki-alusta – OpenCO₂.net) ja dieselöljyn tiheydellä 850 kg/m³. Näitä parametreja käytettiin päästöjen arvioimiseen kussakin skenaariossa: VE1 (DC

1–6) ja VE2 (DC 1–10), ottaen huomioon sekä vuotuiset päästöt että 20 vuoden (2045) ja 50 vuoden (2075) aikana ennustetut kumulatiiviset päästöt.



2.4.2 Scope 2 -päästöt – Ostetun sähkön tuotanto

Suorien päästöjen (Scope 1) lisäksi analyysissä otetaan huomioon myös sähkönkulutukseen liittyvät epäsuorat päästöt, jotka luokitellaan Scope 2 -luokkaan. Nämä päästöt arvioitiin kunkin datakeskuksen IT-kuormituksen perusteella, ja laskennassa käytettiin PUE-arvoa (Power Usage Effectiveness) 1,2 kuvaamaan laitoksen kokonaisenergiankulutusta. Tätä arviointia varten oletettiin, että kukin datakeskus toimii täydellä IT-kuormituskapasiteetilla.

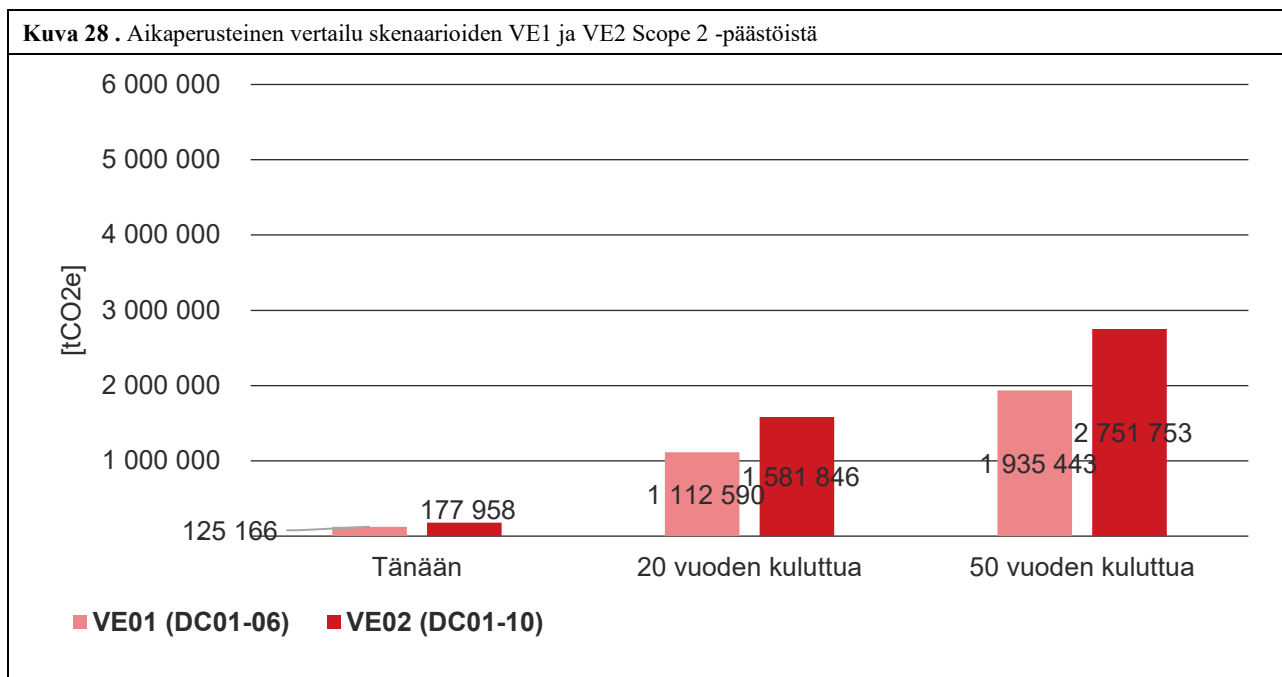
Tämän jälkeen sovellettiin Scope 2⁽ⁱ⁾ (Talorakentamisen päästötietokanta) mukaista Suomen sähköverkon päästökerrointa. Koska analyysi tehtiin kolmelle aikavälille – nykyhetki (2025), 20 vuotta ja 50 vuotta – päästökertoimia sovellettiin vastaavasti:

- Vuoden 2025 skenaariossa käytettiin vuotta 2025 vastaavaa kerrointa (0,027 kgCO₂e/kWh).
- 20 vuoden skenaariossa laskettiin keskimääräiset päästökertoimet ajanjaksolle 2025–2045 (0,012 kgCO₂e/kWh), jotta voitiin ottaa huomioon odotettavissa olevat vaihtelut ajan mittaan ja varmistaa pitkän aikavälin suuntausten tasapainoinen esittäminen.
- 50 vuoden ennusteiden osalta laskettiin keskimääräiset päästökertoimet ajanjaksolle 2025–2075 (0,0084 kgCO₂e/kWh), jotta voitiin ottaa huomioon odotettavissa olevat vaihtelut ajan mittaan ja varmistaa pitkän aikavälin suuntausten tasapainoinen esittäminen.

Taulukko19. Syöttöparametrit, sähkönkulutus ja niihin liittyvät päästölaskelmat kullekin skenaariolle ja analyysijaksolle.

Skenaario	IT-kuormat yhteensä [MW]	Kokonaissähköteho [MW]	Kuormitustaso [%]	Sähkönkulutus [MWh/vuosi]	Analyysintajako [vuotta]	Laajuus 2 [tCO ₂ e]
VE1 (DC01-06)	441	529	100%	4,635,792	1	125,166
				92,715,840	2	1,112,590
				231,789,600	50	1,935,443
VE2 (DC01-10)	627	752	100%	6,591,024	1	177,958
				131,820,480	20	1,581,846

Skenaario	IT-kuormat yhteensä [MW]	Kokonaissäh köteho [MW]	Kuormitustaso [%]	Sähkönkulutus [MWh/vuosi]	Analysointijakso [vuotta]	Laajuus 2 [tCO ₂ e]
				329,551,200	50	2,751,753



2.4.3 Scope 3 -päästöt – Ostetun sähkön siirto ja jakelu

Suorien päästöjen (Scope 1) ja ostetun sähkön epäsuorien päästöjen (Scope 2) lisäksi analyysissä otetaan huomioon myös sähköverkon siirto- ja jakeluhäviöistä aiheutuvat päästöt, jotka luokitellaan Scope 3 -päästöiksi. Nämä häviöt syntyvät sähkön toimittamisen aikana datakeskuksiin, ja ne raportoidaan osana datakeskusten kokonaisenergiakustannuksiin liittyviä päästöjä. Laskelma perustui kunkin datakeskuksen IT-kuormitukseen, jossa sovellettiin 1,2:n tehonkäyttötehokkuutta (PUE) kuvaamaan laitoksen kokonaisenergiankulutusta. Tässä arvioinnissa oletettiin, että kukin datakeskus toimii täydellä IT-kuormituskapasiteetilla.

Tämän jälkeen sovellettiin Scope 3:een liittyvää suomalaisen verkkoenergian päästökerrointa⁽ⁱ⁾ (Talorakentamisen päästötietokanta). Koska analyysi tehtiin kolmelle aikavälille – nykyhetki (2025), 20 vuotta ja 50 vuotta – päästökertoimia sovellettiin vastaavasti:

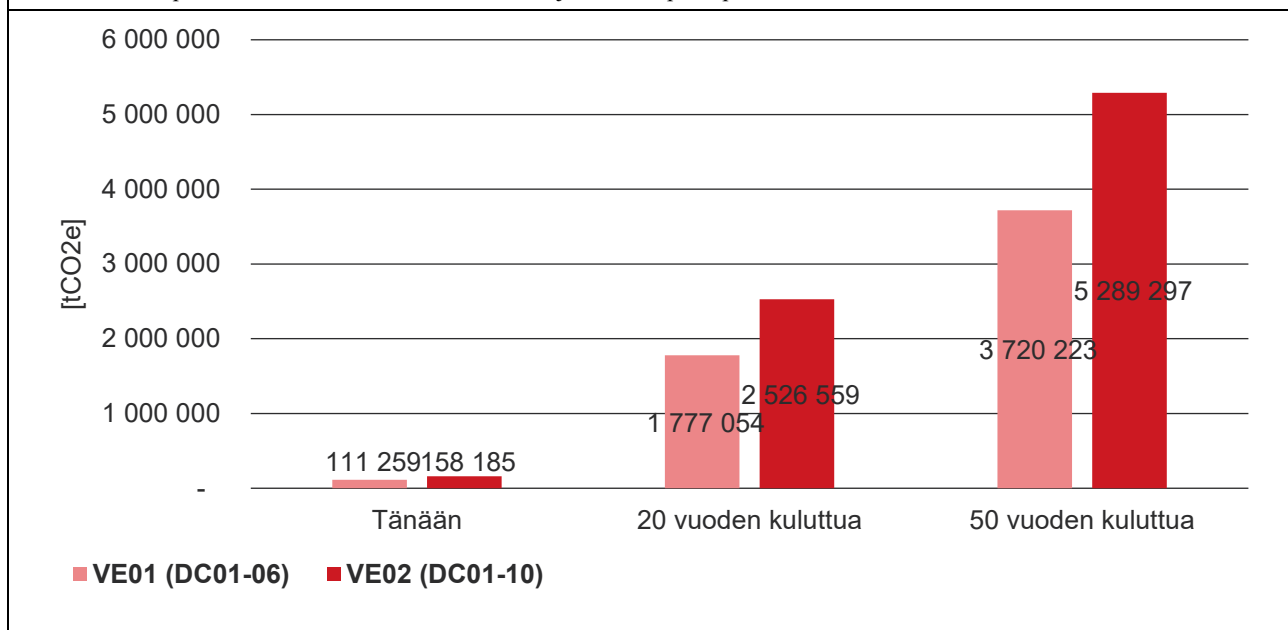
- Vuoden 2025 skenaariossa käytettiin vuotta 2025 vastaavaa kerrointa (0,024 kgCO₂e/kWh);
- 20 vuoden skenaariossa laskettiin keskimääräiset päästökertoimet ajanjaksolle 2025–2045 (0,0192 kgCO₂e/kWh), jotta voitiin ottaa huomioon odotettavissa olevat vaihtelut ajan mittaan ja varmistaa pitkän aikavälin suuntausten tasapainoinen esittäminen.
- 50 vuoden ennusteiden osalta laskettiin keskimääräiset päästökertoimet ajanjaksolle 2025–2075 (0,0161 kgCO₂e/kWh), jotta voitiin ottaa huomioon odotettavissa olevat vaihtelut ajan mittaan ja varmistaa pitkän aikavälin suuntausten tasapainoinen esittäminen.

Taulukko20. Syöttöparametrit, sähkönkulutus ja niihin liittyvät päästölaskelmat kullekin skenaariolle ja analyysijaksolle.

Skenaario	IT-kuormat yhteensä [MW]	Kokonaissäh köteho [MW]	Kuormitustaso [%]	Sähkönkulutus [MWh/vuosi]	Analysointijakso [vuotta]	Laajuus 3 [tCO ₂ e]
	441	529	100%	4,635,792	1	111,259

Skenaario	IT-kuormat yhteensä [MW]	Kokonaissähkäteho [MW]	Kuormitustaso [%]	Sähkönkulutus [MWh/vuosi]	Analysointiajako [vuotta]	Laajuus 3 [tCO ₂ e]
VE01 (DC01-06)				92,715,840	20	1,777,054
				231,789,600	50	3,720,223
VE02 (DC01-10)	627	752	100%	6,591,024	1	158,185
				131,820,480	20	2,526,559
				329,551,200	50	5,289,297

Kuva 29 . Aikaperusteinen vertailu skenaarioiden VE1 ja VE2 Scope 3 -päästöistä.



2.4.4 Kokonaispäästöt ja toiminnalliset päästöt

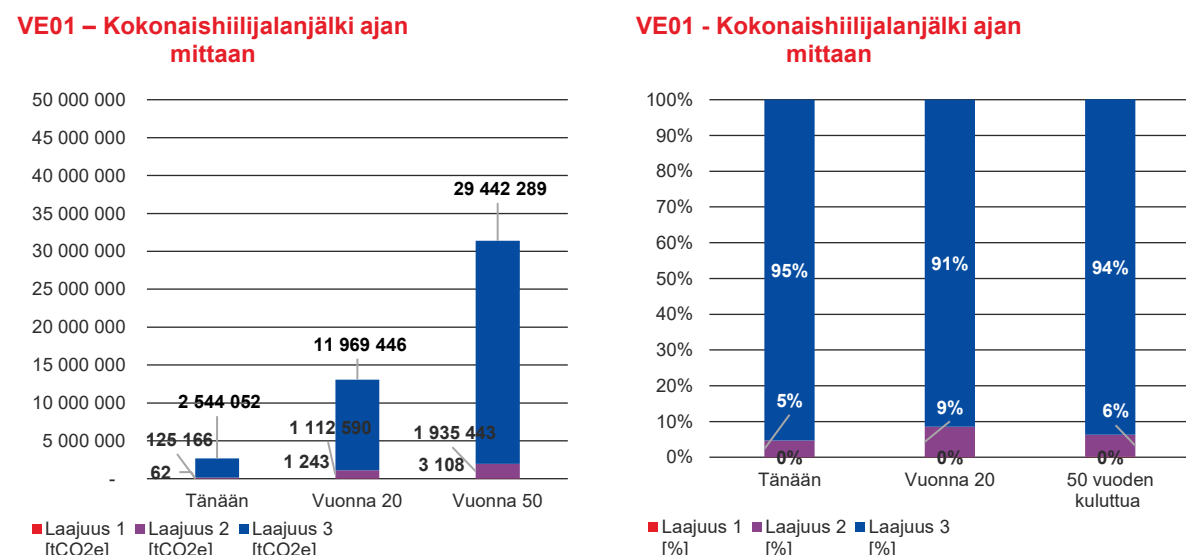
QTS Forssa -hankkeen toiminnan aikana syntyvien hiilidioksidipäästöjen kokonaisanalyysi skenaarioissa VE1 ja VE2 paljastaa selkeitä muutoksia kunkin päästöluokan suhteellisessa osuudessa:

- **Scope 1 -päästöt** (dieselgeneraattorien testaus) ovat lähes merkityksettömiä kaikilla aikaväleillä, ja ne edustavat **alle 1 % kokonaispäästöistä** nykyään ja ovat merkityksettömiä myös pitkän aikavälin ennusteissa. Tämä johtuu siitä, että varageneraattoreiden päästöt on laskettu vain suunniteltujen testien perusteella, koska nämä yksiköt eivät ole jatkuvassa käytössä, vaan ne aktivoidaan vain hätätilanteissa.
- **Scope 2 -päästöt** (sähkön tuotanto) edustavat tällä hetkellä noin **5 % kokonaispäästöistä** molemmissa skenaarioissa. Vaikka absoluuttiset kumulatiiviset päästöt nousevat 20 ja 50 vuoden aikajänteellä progressiivisen kertymisen vuoksi, niiden **suhteellinen osuus muuttuu hieman ajan mittaan**. Tämä trendi heijastaa Suomen sähköverkon jo nyt alhaista hiili-intensiteettiä sen hiilidioksidipäästöjen vähentymisen jatkuessa sekä IT-laitteisiin liittyvien päästöjen kasvavaa määrää.
- **Scope 3 -päästöt** ovat **hallitseva lähde** kaikissa pitkän aikavälin skenaarioissa. Kumulatiivisten päästöjen merkittävä kasvu – noin **29 MtCO₂e skenaariossa VE1** ja **41 MtCO₂e skenaariossa VE2:ssa** 50 vuoden kuluttua – johtuu pääasiassa IT-laitteiden hiilijalanjäljestä (näiden lopullisten tulosten osalta on valittu vähävaikutteinen skenaario. On kuitenkin huomattava, että korkeasti konfiguroitu ratkaisu voi johtaa jopa kaksinkertaiseen IT-laitteiden Scope 3 -päästöihin), mukaan lukien laitteiden käyttöä aikana tapahtuvat säännölliset uusimisjaksot. Sähköverkon hiilidioksidipäästöjen

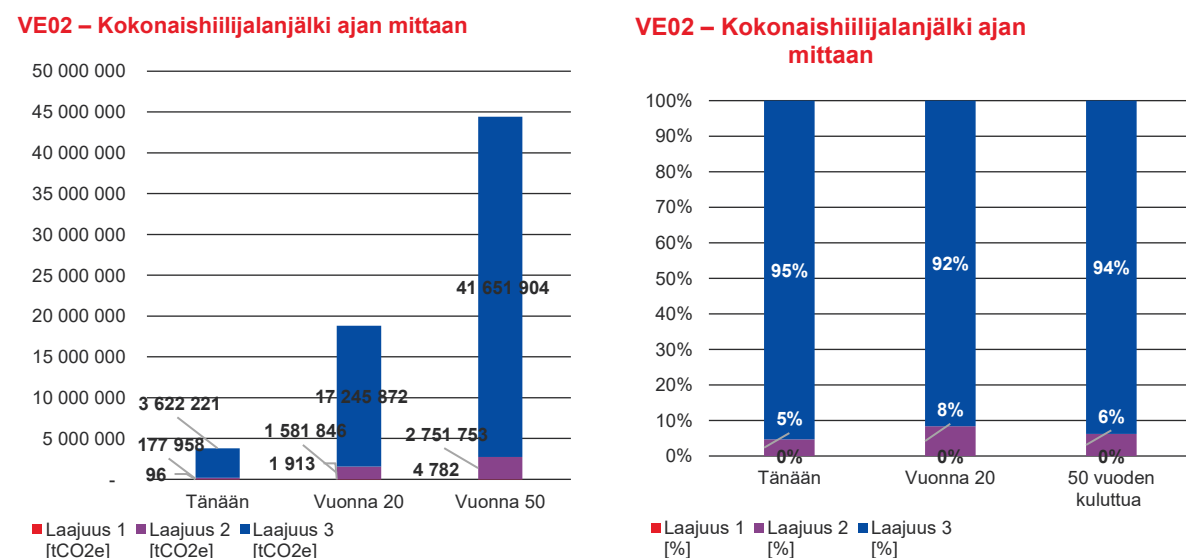
vähentymisen ja Scope 2:n suhteellisen merkityksen edelleen heikkenemisen myötä **Scope 3 on edelleen suurin päästöjen aiheuttaja**, jonka osuus kokonaispäästöistä on pitkällä aikavälillä **91–94 %**.

- **Päästöjen yleinen kehitys:** vaikka kokonaispäästöt kasvavat absoluuttisesti kumulatiivisen laskennan vuoksi, suhteellinen jakauma pysyy suurelta osin muuttumattomana: projektin hiilijalanjälki koostuu pääasiassa Scope 3 -päästöistä (johtuen pääasiassa IT-laitteiden hiilijalanjäljestä), ja Scope 1 ja Scope 2 -päästöjen osuus on vain marginaalinen.

Kuva 30. Kokonaishiilipäästöt (vasemmalla) ja hiilipäästöjen osuus (oikealla) ajan kuluessa skenaariossa VE1.



Kuva 31. Kokonaishiilidioksidipäästöt (vasemmalla) ja hiilidioksidipäästöjen osuus (oikealla) ajan kuluessa skenaariossa VE2.



Kun verrataan kahta skenaariota, VE2 (DC 1–10) johtaa selvästi suurempaan energiankulutukseen ja kokonaispäästöihin kuin VE1 (DC 1–6). Tämä ero on odotettavissa, koska VE2 sisältää suuremman määrän toiminnassa olevia datakeskuksia, mikä lisää suhteessa Scope 1-, Scope 2- ja Scope 3 -päästöjä. Esimerkiksi 50 vuoden kumulatiiviset päästöt ovat VE1-skenaariossa **31 MtCO₂e** ja VE2-skenaariossa **44 MtCO₂e**, mikä on noin **40 %:n** lisäys. Vaikka suhteellinen jakautuminen laajuuksien välillä seuraa samaa trendiä

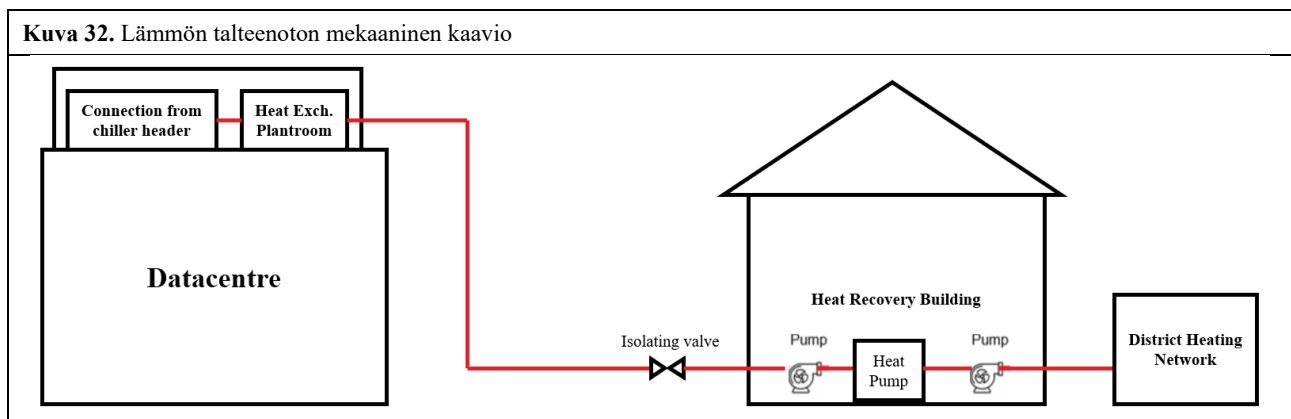
molemmissa skenaarioissa, VE2:n absoluuttiset arvot ovat merkittävästi korkeammat kaikilla aikaväleillä. Tämä korostaa suorassa korrelaatioissa olevan laitosten lukumäärän ja hiilijalanjäljen kokonaismäärän, jopa olettaen sähköverkon hiilidioksidipäästöjen vähentämisen ja tehokkuuden parantamisen.

2.5 Positiiviset ilmastovaikutukset

2.5.1 Jäteveden lämmön talteenottopotentiali

Jäteveden talteenotto datakeskuksen jäähdytysjärjestelmistä on keskeinen strategia datakeskushankkeiden hiilijalanjäljen pienentämisessä. Hyödyntämällä datakeskuksen järjestelmistä syntyvää jäännöslämpöä voidaan muuten hukkaan menevä energia käyttää läheisten rakennusten lämmitykseen, mikä tuo konkreettisia etuja paikallisille yhteisöille. Lisäksi lämmön talteenotto tarjoaa taloudellisia etuja datakeskuksen hallinnalle: lämmön siirtäminen ympäröiviin rakennuksiin vähentää jäähdytysjärjestelmän energiankulutusta, parantaa kokonaistehokkuutta ja alentaa käyttökustannuksia.

Alla oleva yksinkertaistettu kaavio kuvaa Forssan datakeskusten lämmön talteenottojärjestelmän keskeisiä komponentteja ja esittelee sen yleisen lämmön talteenottostrategian.



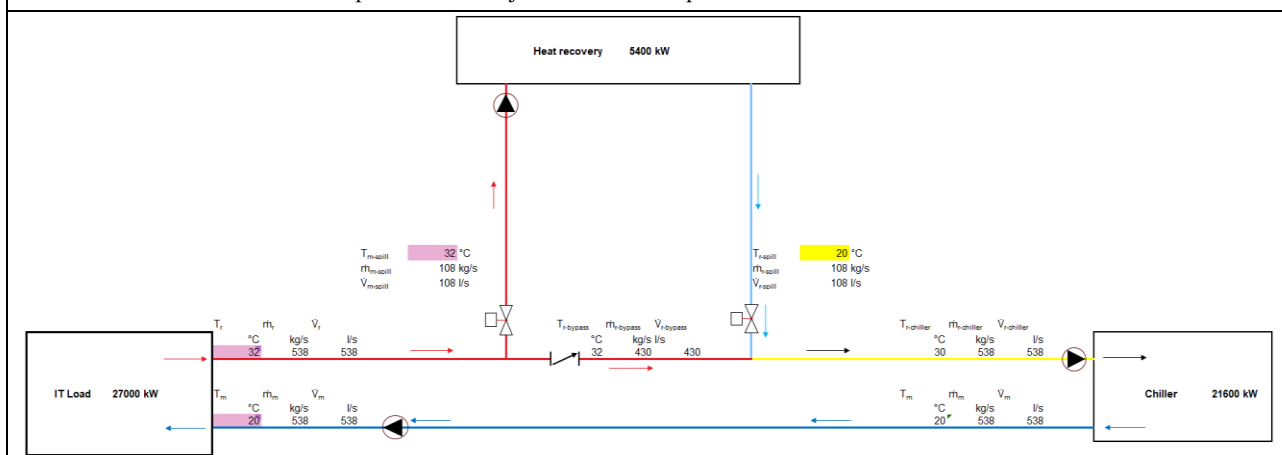
Kuten kuvasta näkyy, lämmönvaihtinjärjestelmä on sijoitettu katolle, jotta hydraulinen etäisyys keskusjäähdytysjärjestelmän ja lämpöenergian talteenottojärjestelmän välillä olisi mahdollisimman lyhyt. Lämmönvaihtimesta poistuva lämmin vesi, joka toimii lämmönsiirtoväliaineena, kuljetetaan maanpäällisten eristettyjen putkien kautta lämpöenergian talteenottoon tarkoitettuun rakennukseen. Siellä lämpöpumppu nostaa veden lämpötilan kaukolämpöverkoston vaatimalle tasolle ennen kuin vesi syötetään järjestelmään.

Kunkin datakeskuksen rakennuksen lämpöenergian talteenotto on asetettu 20 prosentiksi IT-kuormituksen tehosta.

Taulukko 21 . Vaihtoehtojen VE1 ja VE2 lämpöteho

DC	IT-kuormitus [MW _{el}]	Takaisinotettu lämpöteho [MW _{th}]
VE1 6 Datakeskusta	441	88
VE2 10 Datakeskusta	627	125

Järjestelmän kokoonpanon havainnollistamiseksi tarkemmin, alla kuvataan datakeskuksen 1 lämmön talteenottojärjestelmä. Datakeskus 1 on varustettu kolmella itsenäisellä jäähdytysjärjestelmällä, joiden nimellisteho on 27 MW. Lämmön talteenoton osuuden ollessa 20 %, kukin jäähdytysjärjestelmä voi siten tuottaa 5,4 MW talteen otettavaa lämpötehoa. Alla olevassa yksinkertaistetussa kaaviossa esitetään yksittäisen jäähdyttimen lämmön talteenottojärjestelmän kunkin komponentin lämpökapasiteetti ja veden virtausnopeus.

Kuva 33. Lämmön talteenottokomponenttien teho ja veden virtausnopeudet

Tässä raportin osassa esitetään alustava arvio lämmön talteenoton avulla saavutettavista hiilidioksidipäästöjen vähennyksistä, olettaen että kaikki talteen otettu lämpöenergia voidaan hyödyntää lähellä sijaitsevassa kulutuspaikassa. Toisin sanoen oletetaan, että ympäröivillä rakennuksilla on riittävä lämpötarve koko talteen otetun energian hyödyntämiseksi.

Olettaen, että energian uudelleenkäyttökerroin (ERF) on 20 % ja IT-kuormitus on vakio 100 %:ssa koko vuoden ajan, datakeskus toimii täydellä kapasiteetilla joka tunti. Näissä olosuhteissa talteen otettavan lämpötehon arvioidaan olevan 88 MW_{th} VE1-skenaariossa ja 125 MW_{th} VE2-skenaariossa, mikä vastaa vuotuista lämpöenergian tuotantoa noin 773 GWh_{th} ja 1 098 GWh_{th}. Tämä lämpöenergian määrä riittäisi lämmittämään noin 77 000 ja 110 000 asuntoa, joiden pinta-ala on 100 m², kun vuotuinen lämmitystarve on 100 kWh_{th}/m², mikä on Arupin aiempien projektien perusteella kohtuullinen arvo asuinrakennuksille Suomessa.

Taulukko22 . Eri skenaarioiden palautunut lämpöteho ja energia.

Skenaarios	Takaisin saatu lämpöteho [MW _{th}]	Talteenotettu lämpöenergia [GWh _{th}]	Lämmitettävien asuntojen lukumäärä [-]
VE1	88	773	77.000
VE2	125	1.099	110.000

Kuten aiemmin ennakoitiin, lämmön siirtäminen ympäröivään rakennukseen vähentää lämmön talteenoton jäähdytysenergian tarvetta, mikä puolestaan vähentää jäähdyttimien energiankulutusta. Tämän energiansäästön arvioimiseksi on laskettu jäähdyttimien energiankulutus ilman lämmön talteenottoa olettaen, että kausittainen keskimääräinen EER-arvo on 23. Tämä arvo perustuu vertailuanalyysiin, jossa on käytetty Arupin aiemman, ominaisuuksiltaan samanlaisen projektin (tulon ja lähdön lämpötila 32 °C ja 20 °C) suorituskysytaulukkoita. Arvo on suhteellisen korkea, koska jäähdyttimen sähkönkulutus on huomattavasti alhaisempi, kun ulkolämpötila on alhainen ja jäähdytetyn veden lämpötilan asetusarvo on 20 astetta.

Jäähdyttimen energiansäästö on laskettu talteen otetusta lämpöenergiasta ottaen huomioon keskimääräisen kausittaisen SEER-arvon. Tulokset ovat 33,593 MWh_{el} VE1:lle ja 47,761 MWh_{el} VE2:lle.

Taulukko23 . Jäähdyttimen energiansäästö lämpöenergian talteenotolla.

Skenaario	Vältetty jäähdyttimen energiankulutus [Mwhe _l]
VE1	33.593
VE2	47.761

Lämmön talteenotto vaikuttaa myönteisesti hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen, mutta siihen liittyvä infrastruktuuri aiheuttaa myös päästöjä, sekä materiaalisia että toiminnallisia. Tässä raportissa arvioidaan vain toiminnalliset hiilidioksidipäästöt, keskittyen kahden lisälaitteen sähkönkulutukseen: lämmön talteenoton kiertovesipumppu ja paikalliset lämpöpumppuyksiköt. Kaukolämpöverkon (DHN) kiertovesipumppujen päästöjä ei ole otettu huomioon, koska verkkoa ja siihen liitettyjä rakennuksia ei ole vielä määritelty.

Lämmön talteenoton kiertovesipumpun kulutus on arvioitu olettaen, että se toimii jatkuvasti täydellä kuormalla koko vuoden ajan. Pumpun teho on laskettu kertomalla pumpun ominaisteho 222 W/(L/s) (ASHRAE 90.1, kohta G3.1.3.5) veden virtausnopeudella (L/s).

Taulukko24 . Lämmön talteenoton lisäpumpujen energiankulutus.

Skenaariot	Pumpun ominaisteho	Lämmönvaihdin Kapasiteetti	Tw,in	Tw,out	Qw	Pumpun teho	Pumpun energiankulutus
	[W/(L/s)]	[MW]	[°C]	[°C]	[L/s]	[kW]	[MWh]
VE1	222	88	32	20	1.756	390	3.415
VE2	222	125	32	20	2.496	554	4.855

Koska DHN-veden lämpötila on yleensä yli 32 °C, lämpöpumppu tarvitaan lämmittämään lämmön talteenottojärjestelmästä tuleva vesi DHN-veden lämpötilaan. DHN:n on oletettu toimivan 80 °C:ssa, koska se on realistinen veden lämpötila nykyaikaisissa DHN-järjestelmissä. Olettaen, että koneen suoritussykykerroin (COP) on 4.2, lämpöpumpun energiankulutus lasketaan seuraavasti:

$$E_{pdc} = \frac{E_{th,recovered}}{COP}$$

Missä:

1. E_{pdc} on lämpöpumpun energiankulutus [MWh]
2. $E_{th,recovered}$ on datakeskuksesta talteenotettu lämpöenergia [MWh]

Taulukko25 . Lämpöpumpun energiankulutus.

Skenaariot	Tw,in	Tw,out	COP	E _{pdc}
	[°C]	[°C]	[-]	[MWh]
VE1	32	80	4,2	182.319
VE2	32	80	4,2	259.216

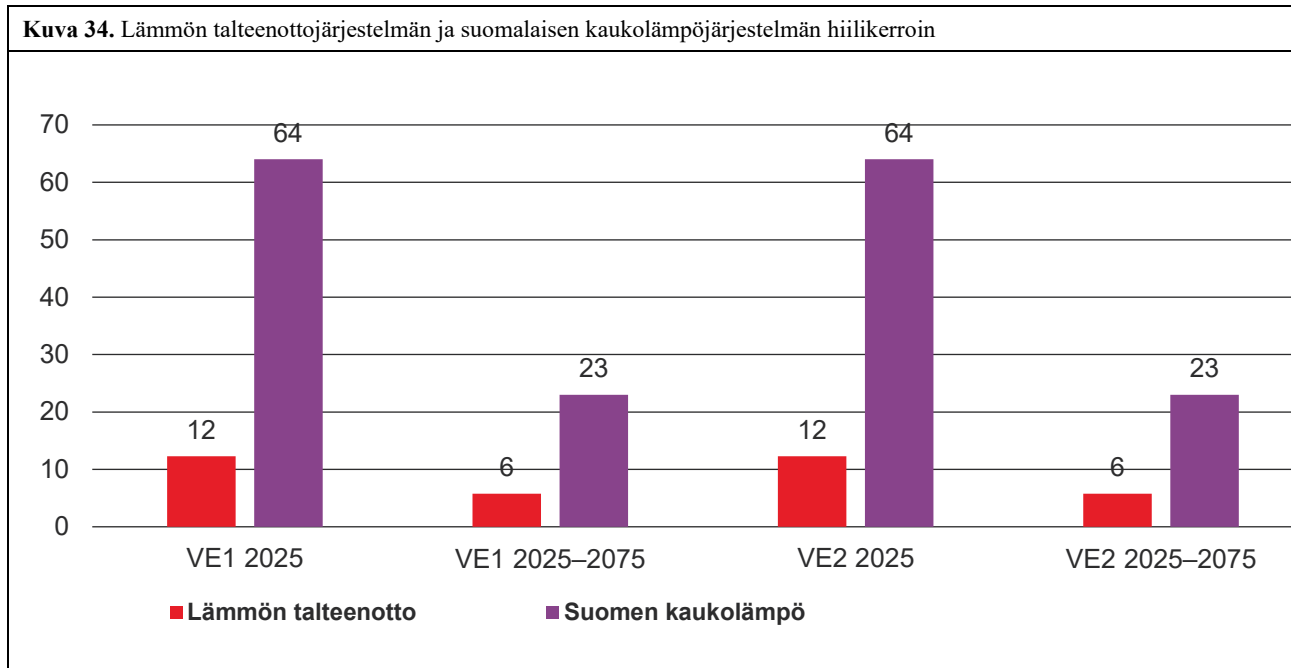
Tietokeskuksen hiilidioksidipäästöjen kannalta on suoritettu tasapainolaskelma, jossa on otettu huomioon lämmön talteenoton aiheuttamat lisäpäästöt kiertovesipumppujen vuoksi ja hiilidioksidisäästöt, jotka johtuvat jäähdyttimen energiankulutuksen vähenemisestä. Laskelmassa ei ole otettu huomioon lämpöpumpun kulutuksesta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä, koska oletetaan, että lämpöpumppujärjestelmää hallinnoi kolmas osapuoli (energian toimittaja tai kaukolämmön omistaja).

Energian muuntamisessa hiilidioksidipäästöiksi on käytetty viitteenä tietokannan ([Suomen hiilidioksidipäästötietokanta](#)) verkkoemissio-kertoimia.

Taulukko26 . Hiilidioksidipäästöjen vähenemä, kun otetaan huomioon jäähdyttimen säästöt ja pumppujen lisäpäästöt.

Skenaariot	Sähköverkko CF	Pumpun kulutus	Vältetty jäähdyttimen kulutus	Pumpun päästöt	Jäähdyttimen päästöt	Hiilidioksidisäästöt
	[tCO ₂ /MWh _{el}]	[MWh _{el}]	[MWh _{el}]	[tCO ₂]	[tCO ₂]	[tCO ₂]
VE1 2025	0,051	3.415	33.593	174	1.713	1.539
VE1 2025–2075	0,024	3.415	33.593	82	806	724
VE2 2025	0,051	4.855	47.761	248	2.436	2.188
VE2 2025–2075	0,024	4.855	47.761	117	1.146	1.030

Hiilidioksidipäästöjen kannalta on laskettu lämmön talteenottojärjestelmän ja keskimääräisen suomalaisen kaukolämpöjärjestelmän tuottaman energian vertailua varten lämmön talteenoton hiilidioksidikerroin, eli lisälaitteiden (pumput ja lämpöpumput) tuottama hiilidioksidipäästö (kg CO₂) jaettuna talteen otetulla lämpöenergialla. Kaikissa neljässä skenaariossa lämmön talteenottojärjestelmän hiilikerroin on lähes 80 % pienempi kuin Suomen kaukolämpöjärjestelmän keskimääräinen hiilikerroin, kun otetaan huomioon käytetty tietokanta ([Suomen hiilidioksidipäästötiedot](#)).



Lämmön talteenottojärjestelmän hiilikerroin on sama kaikissa EV-skenaarioissa, koska jakelupumppujen, lämpöpumpun ja talteen otetun lämpöenergian hiilidioksidipäästöjen suhde pysyy vakiona.

3. Tulokset ja johtopäätökset

3.1 Skenaarioiden vertailu

Alla olevissa taulukoissa on yhteenveto edellisissä luvuissa esitetyistä analyysistä ja vertailu kolmesta skenaariosta kolmen vaikutusluokan osalta: maankäytön muutos hiilivarastokapasiteettiin sekä QTS Forssan datakeskushankkeeseen liittyvät toiminnalliset ja sisäänrakennetut hiilipäästöt. Luvut eivät yksinään kuvaa tilanteen monimutkaisuutta, vaan niiden merkitys selitetään ja käsitellään yksityiskohtaisesti seuraavassa kappaleessa.

Toiminnalliset ja sisäänrakennetut hiilidioksidipäästöt on arvioitu 50 vuoden ajanjaksolle rakentamisvaiheesta (2025) rakennuksen arvioitun käyttöiän loppuun (2075). Vuoden 2025 valinta toiminnallisten päästöjen lähtökohdaksi takaa konservatiivisen lähestymistavan, koska sähköverkon hiili-intensiteettiarvojen odotetaan olevan korkeammat tuolloin. Maankäytön osalta arviointi alkaa projektisyklin varhaisessa vaiheessa (2030), mikä on erityisen merkityksellistä tässä kategoriassa, ja jatkuu vuoteen 2075, mikä vastaa suunnilleen käyttöiän loppua ja samaa aikajännettä kuin toiminnallisissa päästöissä.

Taulukko27 Yhteenveto vaikutuksista maaperän ja kasvillisuuden sitomaan hiilen määrään vuosina 2030 ja 2075

2030	VE0	VE1	VE2
Maankäyttö: Hiilivarastojen kokonaismuutos (tCO₂)	1.048	- 30.806	-35.770
2075			
Maankäyttö: Hiilivarastojen kokonaismuutos (tCO₂)	10.483	-26.662	-30.360

Taulukko28 Yhteenveto päästöjen (käyttöön liittyvät ja sisäänrakennetut) vaikutuksista vuosina 2025 ja 2075

20	VE0	VE1	VE2
Toiminnallinen hiili (tCO₂ e)	0	236.488	336.238
Sisältyvä hiili – Rakennusmateriaalit (tCO₂ e)	0	156.792	177.963
Hiilijalanjälki – IT-laitteet (tCO₂ e)* *Vähävaikutteinen vaihtoehto	0	2.276.001	3.235.947
2075			
Operatiivinen hiilidioksidipäästö (tCO₂ e)	0	5.658.774	8.045.831
Sisältyvä hiili (tCO₂ e)	0	228.089	267.722
Hiilijalanjälki – IT-laitteet (tCO₂ e)* *Vähävaikutteinen vaihtoehto	0	25.387.312	36.094.885

Taulukko29 Yhteenveto vältetyistä päästöistä (jätteiden lämmön talteenotto) rakennusvuonna 2025 ja 50 vuoden ajanjaksolla 2075

2025	VE0	VE1	VE2
Jäteveden lämmön talteenotto: vältetyt päästöt (tCO ₂)	0	1.539	2.188
2075			
Jäteveden lämmön talteenotto: vältetyt päästöt (tCO ₂)	0	724	1.030

3.2 Päätelmät

Mallinnustulokset osoittavat, että yleissuunnitelmassa esitetyt toimenpiteet eivät riitä kompensoimaan varastointikapasiteetin menetystä kokonaan ja että molemmat kehitysvaihtoehdot (VE1 ja VE2) johtavat alustavasti projektialueen hiilivarastointikapasiteetin kokonaisvähennykseen verrattuna perusskenaarioon (VE0).

- **Vaihtoehto VE1:** Hiilivarastointikapasiteetti vähenee -30,446 tCO₂e vuoteen 2030 mennessä, ja se palautuu osittain vuoteen 2075 mennessä, jolloin menetys pienenee -26,662 tCO₂e:hen.
- **Vaihtoehto VE2:** Alkuvaikutus on hieman suurempi, -35,410 tCO₂e vuoteen 2030 mennessä, ja vähentyminen -30,360 tCO₂e vuoteen 2075 mennessä johtuu kasvillisuuden palauttamisesta aiemmin rakennetuille tonteille.

Paikkatietojen analyysi korostaa, että pohjoisella alueella (tontit 583–585) tapahtuu molemmissa vaihtoehtoissa merkittävimmät vähennykset, koska siellä sijaitsee suurin osa aiemmin rakentamattomalle maalle rakennetuista rakenteista. Korvaustoimenpiteet ja rakentamattomat viheralueet edistävät vähäistä palautumista vuoteen 2075 mennessä, mutta hiilivarastot pysyvät negatiivisina rakennetuilla alueilla. Sitä vastoin eteläisellä alueella (tontit 580–581–582) muutokset ovat vähäisiä vuoteen 2030 asti, koska suurin osa tonteista oli jo rakennettu tai säilytetty viheralueina. Vuoteen 2075 mennessä nimetyillä ”suojelualueilla” tapahtuu lieviä parannuksia.

Vertailevat tulokset:

- **Vaihtoehtojen vaikutukset:** VE2 johtaa suurempiin hiilipäästöihin kuin VE1 sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä, mikä johtuu pääasiassa eteläisten tonttien lisärakentamisesta. Suhteellisesti päästöt ovat kuitenkin pienemmät, koska ratkaisu VE2 toteutetaan jo kaupungistuneella alueella ja siinä otetaan käyttöön vihreitä ratkaisuja.
- **Trendinäkömät:** Alkuperäisistä vähennyksistä huolimatta hiilen sitomiskapasiteetti paranee asteittain vuoden 2075 jälkeen, mikä viittaa siirtymiseen lähes positiiviseen trendiin nykyisten hillitsemisstrategioiden puitteissa.
- **Palautumispotentiaali:** Molemmat vaihtoehdot osoittavat kasvillisuuden hiilivarastojen osittaisen (mutta riittämättömän) palautumisen vuoteen 2075 mennessä, kun taas maaperän hiili pysyy suurelta osin muuttumattomana, mikä viittaa pitkäaikaisiin menetyksiin.
- **Keskeiset tekijät:** Maankäytön intensiteetti pohjoisilla tonteilla on hallitseva tekijä, joka vaikuttaa hiilivarastojen vähennykseen, kun taas viheralueiden säilyttäminen ja kasvillisuuden lisääminen rakennetuilla tonteilla ovat kriittisiä palautumisen kannalta.

Hiilijalanjäljen arvioinnissa tässä raportissa tarkasteltiin datakeskusten rakentamisvaiheen vaikutuksia tutkimalla valittuja elinkaaren moduuleja tuotteen, rakentamisen ja käytön vaiheissa. Arvioinnin laajuus kattoi raaka-aineiden hankinnan (A1), kuljetuksen (A2), valmistuksen (A3), kuljetuksen työmaalle (A4) sekä rakennus- ja asennusprosessit (A5) sekä huollon (B2), korvaamisen (B4) ja kunnostuksen (B5). Tulokset osoittavat, että moduulit A1–A3 olivat suurin tekijä hiilijalanjäljen kokonaismäärässä, mikä johtui pääasiassa rakenteellisten vaatimusten täyttämiseen tyypillisesti tarvittavasta suuresta materiaalmäärästä. Sen sijaan moduulit B2 ja B5 olivat suhteellisesti pienempiä tekijöitä.

Hiilidioksidipäästöjen osalta vaihtoehto VE2, joka sisältää kaksi lisärakennustonttia ja neljä lisärakennusta, aiheuttaa **45 %:n** kasvun verrattuna vaihtoehtoon VE1, kun otetaan huomioon vain tuote- ja rakennusvaiheet. Tämä arvo kasvaa entisestään, kun otetaan huomioon vain käyttövaihe, jolloin hiilidioksidipäästöt kasvavat 87 % vaihtoehdosta VE2 vaihtoehtoon VE1. Kaiken kaikkiaan ensimmäisen vaihtoehdon, VE1:n, hiilijalanjälki on **177,963 tCO₂ e**, kun taas VE2:n hiilijalanjälki on **267,722 tCO₂ e**. Nämä arvot edustavat **50 %:n** eroa kahden vaihtoehdon välillä.

Analyysi osoittaa, että tuotevaiheessa olevat moduulit vaikuttavat merkittävästi datakeskuksen kokonaishiilijalanjälkeen, erityisesti kun otetaan huomioon vain rakennusmateriaalit ilman talotekniikkaa (MEP) ja palveluja. Kaiken kaikkiaan tulokset korostavat varhaisten suunnittelupäätösten kriittistä roolia datakeskushankkeiden hiilijalanjäljen hallinnassa. Strategiat, kuten kierrätysmateriaalien, erityisesti teräksen, käytön lisääminen ja paikallisen tai alueellisen hankinnan suosiminen kuljetuksiin liittyvien päästöjen rajoittamiseksi, voivat vaikuttaa merkittävästi hiili-intensiivisiin vaiheisiin, erityisesti rakenteellisiin järjestelmiin ja koteloihin liittyviin komponentteihin.

QTS Forssa -projektin toiminnallinen hiilidioksidipäästöarviointi, joka kattaa skenaariot 1, 2 ja 3 useissa skenaarioissa ja aikahorisontissa, antaa selkeän kuvan siitä, miten eri päästölähteet muokkaavat projektin pitkän aikavälin hiilijalanjälkeä. Analyysi kvantifioi kunkin skenaarion osuuden, tunnistaa näiden osuuksien kehityksen ajan mittaan ja tarkastelee lämmön talteenoton mahdollista roolia hillitsemistoimenpiteenä. Kaikissa skenaarioissa varageneraattoreiden Scope 1 -päästöt ovat vähäisiä, alle 1 % kokonaispäästöistä. Tämä on odotettavissa, koska generaattorit ovat käytössä vain suunnitelluissa testeissä tai hätätilanteissa, eivätkä ne ole jatkuvassa käytössä. Nykyään suurin osa toiminnallisista päästöistä on peräisin Scope 2 -sähkökulutuksesta. Scope 2:n osuus kuitenkin pienenee ajan myötä, kun Suomen sähköverkko jatkaa hiilidioksidipäästöjen vähentämistä ja uusiutuvan energian osuus kasvaa. Sen sijaan Scope 3:n energiaan liittyvien päästöjen osuus kasvaa pitkällä aikavälillä. Alun perin tämä johtuu siirto- ja jakeluverkon häviöistä, jotka säilyvät sähköverkon hiili-intensiteetin laskiessa. Kun muut lähteet vähenevät, näiden häviöiden osuus toiminnallisista päästöistä kasvaa. Kun analyysiin sisällytetään myös IT-laitteiden hiilijalanjälkeen liittyvät Scope 3 -päästöt, ne nousevat hallitsevaksi tekijäksi. Koska palvelimia, tallennuslaitteita ja verkkolaitteita on suuri määrä ja ne on vaihdettava säännöllisesti, IT-laitteiden hiilijalanjälki ylittää selvästi datakeskuksen toimintaan liittyvät päästöt. Ajan myötä IT-laitteiden hiilijalanjälki nousee kokonaispäästöjen tärkeimmäksi tekijäksi, joka on suurempi kuin sekä operatiivinen sähkökulutus että generaattorien käyttö.

Lämmön talteenottojärjestelmän hiilidioksidipäästöjen vähennysten arviointi, joka tehtiin eri skenaarioissa ja aikajäniteillä, osoittaa, että datakeskusten jäähdytysjärjestelmistä saatava lämmön talteenotto tarjoaa vankan hiilidioksidipäästöjen vähentämisstrategian, joka vähentää toiminnasta aiheutuvia päästöjä ja tukee Suomen ilmastotavoitteita. Jopa varovaisilla oletuksilla (20 % ERF, täysi kuorma) järjestelmä tuottaa huomattavia hiilidioksidipäästöjen vähennyksiä verrattuna perinteiseen kaukolämpöön. Laskelman ja sen oletusten mukaan talteen otetulla energialla voitaisiin lämmittää jopa 110 000 asuntoa, mikä osoittaa järjestelmän skaalautuvuuden ja integroitumismahdollisuudet kaukolämpöverkkoihin. Tämä asettaa datakeskukset keskeiseen asemaan kaupunkien energiavarmuuden kannalta. Vaikka absoluuttiset toiminnalliset hiilidioksidipäästöt pienenevät ajan myötä sähköverkon hiilidioksidipäästöjen vähentymisen vuoksi (alhaisemmat päästökertoimet vuonna 2075), lämmön talteenoton suhteellinen etu säilyy vahvana, mikä takaa sen merkityksen vähähiilisenä ratkaisuna. Lisäksi kiertovesipumppujen aiheuttamat lisäpäästöt ovat merkityksettömiä verrattuna vältettyihin jäähdytinpäästöihin, mikä vahvistaa järjestelmän positiivisen vaikutuksen.

Yhteenvetona voidaan todeta, että kansallisen sähköverkon hiilidioksidipäästöjen vähentäminen ja energiatehokkuusratkaisujen, kuten lämmön talteenoton käyttöönotto ovat välttämättömiä datakeskusten pitkän aikavälin toiminnallisten ilmastovaikutusten vähentämiseksi. Verkkohäviöistä aiheutuvat epäsuorat päästöt (Scope 3) ovat kuitenkin edelleen suurin haaste ilmastoneutraaliustavoitteiden saavuttamiselle alalla.

4. Lähdeluettelo

- a) Forssan kaupunki (2025). Rakennusohjeet: Ekologisen kestävyysperiaatteet Forssan kaupungissa. Haettu osoitteesta [kaav-ekologisen-kestavyysperiaatteet-22.pdf](#)
- b) Forssan kaupunki (2025). Hiilivarastojen korvaaminen Ratasmäen ja Rytökallion kaavoituksen yhteydessä.
- c) Helsingin kaupungin ympäristöasema (2014). Kunnan hiilijalanjälkitutkimus, osa 2: Hiilijalanjälkilaskuri ja toimenpidevalikoima.
- d) Bright Green Forssa Kestävä elinvoima Kaupunkistrategia 2030 [forssa-kaupunkistrategia-2030-eng.pdf](#)
- e) SKYE Kuntien ja alueiden kasvihuonekaasupäästöt [SYKE - Kuntien ja alueiden kasvihuonekaasupäästöt](#)
- f) FISU-verkoston pitkän aikavälin suunnitelma (2025)
- g) RAMS (2020) Päätöksentekijän opas viheralueiden hoidon luokitteluun
- h) Tapaustutkimus Helsinki (2023) Kaupunkimetsän ikärakenteen muutos vaikuttaa tarjottujen ekosysteemipalvelujen arvoon. <https://doi.org/10.3389/frsc.2023.1265610>
- i) CO2data Syke Suomen kansallinen päästötiedosto, [Talonrakentamisen päästötietokanta](#)
- j) Tietokeskuksen Scope 3 -kasvihuonekaasupäästöjen kvantifiointi vähentämistoimien priorisoimiseksi, White Paper 99, Schneider Electric, Paul Lin, Robert Bunger, Victor Avelar
- k) OpeCO2Net Euroopan päästötietokanta, [Dieselöljy, Suomi – Hiilijalanjälki-alusta – OpenCO2.net](#)
- l) Tietokeskuksen elinkaaren CO2e-laskin, Schneider Electric, [Tietokeskuksen elinkaaren CO2e-laskin](#)