

SELVITYS PÄÄKAUPUNKISEUDUN HIILINIELUISTA JA -VARASTOISTA
HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut - kuntayhtymä

Loppuraportti

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	4
JOHDANTO	6
LÄHDEAINEISTOT JA LASKENNAN RAJAUS	8
LASKENNAN MENETELMÄKUVAUS	9
YLEISET MENETELMÄT	9
RAKENNETUT JA AVOIMET VIHERALUEET	9
KASVILLISUUDEN HIILIVARASTO JA -NIELU	9
MAAPERÄN HIILIVARASTO JA -NIELU	10
METSÄMAAT	11
KASVILLISUUDEN HIILIVARASTO JA -NIELU	11
MAAPERÄN HIILIVARASTO JA -NIELU	11
TULOKSET KAUPUNGEITTAIN	14
ESPOO	14
PINTA-ALAT	14
HIILIVARASTOT JA -VUOT	15
HELSINKI	17
PINTA-ALAT	17
HIILIVARASTOT JA -VUOT	18
KAUNIAINEN	20
PINTA-ALAT	20
HIILIVARASTOT JA -VUOT	21
VANTAA	22
PINTA-ALAT	22
HIILIVARASTOT JA -VUOT	24
TULOSTEN ANALYSOINTI	26
KAUPUNKIEN VÄLISET EROT JA NIIDEN SYYT	26
KOKONAISTULOKSET	26
KASVILLISUUDEN HIILIVARASTOT	28
MAAPERÄN HIILIVARASTOT	31

MUUTOS VUODESTA 2011	33
TULOSAINESTOJEN VERTAILU	33
JOHTOPÄÄTÖKSET VERTAILUSTA ILKKA-AINEISTOON	35
TAPIO - TOIMENPIDESUOSITUKSET METSÄMAALLE	37
AVAINASIAT METSÄMAIDEN HIILIVARASTOJEN JA -NIELUJEN HOIDOSSA	37
METSIEN TOIMENPIDESUOSITUKSET	38
METSÄTUHOIHIN VARAUTUMINEN	38
LAHOPUUSTON JÄTTÄMINEN	39
SEKAPUUSTOISUUDEN LISÄÄMINEN	39
METSÄPALORISKIN HUOMIOIMINEN	39
HAKKUUTÄHTEEN KORJUU	40
METSITYS	41
HAKKUUT	41
JATKUVAN KASVATUKSEN SUOSIMINEN	41
TURVEMAIDEN KÄSITTELY	42
RAMBOLL - TOIMENPIDESUOSITUKSET MUILLE VIHERALUEILLE	43
RAKENNETTUJEN YMPÄRISTÖJEN MERKITYS KAUPUNKIEN HIILITASEESSA	43
TULOSTEN TARKASTELU RAKENNETTUJEN JA AVOIMIEN VIHERALUEIDEN OSALTA	45
RAKENNETTUJEN YMPÄRISTÖJEN HIILITOIMET	47
MAAPERÄ	48
MAANKÄYTÖN SUUNNITTELU:	48
MAANRAKENNUSTYÖT JA VIHERRAKENTAMINEN	49
VIHERALUEIDEN KUNNOSSAPITO	49
AVOIMET ALUEET	49
PUUSTOISET ALUEET	50
RAKENNUKSET JA RAKENTEET	52
YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	53
LIITE 1. VIHERALUEHOITOLUOKAT JA NIIDEN TYYPILLISET KÄYTTÖKOHEET	54
LIITE 2. TULOSAINESTON RAKENNE JA TIEDOT	56
LIITE 3. TULOSAINESTOSSA KÄYTETTY ABC- JA RAMS-LUOKITUKSEN SOVITUS	57

1. TIIVISTELMÄ

Hankkeessa selvitettiin neljän pääkaupunkiseudun kaupungin alueiden kasvillisuuteen sekä viheralueiden maaperään varastoituneen hiilen määrää sekä vallitsevaa hiilivarastojen vuotuista muutosta. Selvitys tehtiin Espoon, Helsingin, Kauniaisen, sekä Vantaan kaupungin alueille. Selvityksen pääpaino oli tuottaa paikkatietopohjainen tulosaineisto hiilivarastojen ja näiden vuotuisen muutoksen maantieteellisestä sijoittumisesta kaupunkien sisällä. Tuotettu paikkatietoaineisto on toimitettu hankkeen tilaajalle (HSY), sekä mukana olleille kaupungeille erikseen.

Selvityksen menetelmällisenä lähtökohtana toimi vuonna 2014 toteutettu hiilitaseselvitys, joka tehtiin osana Ilmaston kestävä kaupunkien suunnitteluopas (ILKKA) -hanketta. ILKKA-selvityksessä mukana olivat nyt tehdyn selvityksen kaupungeista Espoo, Helsinki ja Vantaa. Käytetyssä menetelmässä avainasemassa on alueiden luokitus eri tyyppisiin viheralueisiin. Kuten ILKKA-selvityksessä, myös nyt tehdystä selvityksestä käytettiin ABC-viheraluehoitoluokitusta (liite 1), mutta nyt tuotettuun tulosaineistoon tuotettiin myös vastaavuudet valmisteilla olevaan RAMS-kunnossapitoluokitukseen niiltä osin kuin ne olivat saatavilla (liite 3).

Nyt tehdyn selvityksen lähdeaineistoina käytettiin kaupunkien toimittamia paikkatietomuotoisia metsävaratietoja sekä viheraluehoitoluokitusta. Näitä aineistoja täydennettiin Suomen Metsäkeskuksen (SMK) avoimilla metsävaratiedoilla, valtakunnan metsien inventointitiedoilla (VMI), sekä tarkastelualueelle aiemmin toteutulla seudullisella maanpeiteaineistolla (SMPA). Näiden lähdeaineistojen kautta tulosaineiston ulkopuolelle jäivät pääasiassa vain rakennukset, päällystetyt maanpinnat, sekä vesialueet. Lähdeaineistot vaikuttavat kattavuuden lisäksi olennaisesti myös tulosten tarkkuustasoon käytettyjen laskentamenetelmien - ja oletuksien kautta. Tästä syystä kullekin alueelle on tulosaineistossa sisällytetty kyseiselle alueelle käytetyt tietolähteet. Yleisellä tasolla laskennan tarkkuustason voidaan katsoa olevan paras laskennan perustuessa kaupungin ja SMK:n kuvioitaisiin metsävaratietoihin, ja karkeammalla tasolla laskennan perustuessa hoitoluokittaisiin oletuksiin rakennetuilla ja avoimilla viheralueilla (hoitoluokat A ja B).

Kaupunkien välillä ei tuloksissa havaittu merkittäviä eroja keskimääräisissä hiilivarastoissa viheraluehoitoluokkien sisällä. Tästä syystä kaupunkien välisten hiilivarastojen ja näiden vuotuisen muutoksen kokonaismäärien kannalta olennaiseksi tekijäksi muodostui eri hoitoluokkien absoluuttiset sekä suhteelliset osuudet kaupunkien tarkastelualueen pinta-alasta. Lähtökohtaisesti suurimmat hiilivarastot sijaitsevat metsäalueilla ja suojelualueilla (hoitoluokat C ja S), etenkin turvemaidilla. Seuraavaksi suurimmat varastot ovat avoimilla viheralueilla, etenkin peltojen maaperässä, ja matalimmat varastot rakennetuilla viheralueilla. Hiilinielujen osalta metsäalueiden merkitys korostuu entisestään, sillä muilla alueilla vuotuista muutosta kasvillisuuden määrässä ei oletettu tapahtuvan, jolloin myöskään kasvillisuuden hiilinieluja ei muodostu.

Nyt tehdyn selvityksen tuloksia vertailtiin myös ILKKA-hankkeen tuloksiin. Tuloksissa hiilivarastot olivat keskimäärin samalla tasolla, mutta vallitsevassa vuotuisessa hiilivarastojen muutoksessa havaittiin selviä eroja. Kasvillisuuden keskimääräinen vuotuinen hiilinielu laski nyt tehdystä selvityksestä lähes 50%, kun taas maaperän hiilivarastojen keskimääräinen vuotuinen kasvu nousi 50-100%. Aineistojen tarkempi vertailukelpoisuus osoittautui kuitenkin haasteelliseksi johtuen

tarkastelualuerajauksen, käytettyjen lähdeaineistojen sekä laskentamallien eroista ja päivityksistä. Olennaisena johtopäätöksenä todettiin, että jatkossa tehtävässä seurantatyypissä selvityksessä tulee painottaa tulosaineistojen vertailukelpoisuutta, mikäli halutaan tarkemmin selvittää viheralueiden sisällä tapahtuvien muutoksien sekä maankäytön muutoksien todellisia hiilivaikutuksia. Kattavuudeltaan nyt tuotettu aineisto luo kuitenkin hedelmällisen lähtökohdan tällaiselle seurannalle tulevaisuudessa.

Selvityksessä tuotettu tietovaranto mahdollistaa kaupungeille myös kokonaisvaltaisesti kestävien hiilitoimien suunnittelun, joissa otetaan huomioon eri viheralueiden ja viherrakenteiden erilaiset arvot sekä kasvillisuuden että maaperän merkitys hiilitaseelle. Metsäalueiden kannalta on syytä tiedostaa metsien luonnollinen dynamiikka ja ikääntyvien metsien kasvun taantuminen sekä hiilipoistuman luonnollinen kasvu. Samanaikaisesti ikääntyvät metsät palvelevat kuitenkin luonto- ja virkistysarvoillaan. Jotta haittavaikutukset näihin arvoihin minimoidaan, metsien hiilivarastojen ja hiilinielujen hoito ja ylläpito tulee nähdä pitkäjänteisenä prosessina. Rakennetussa ympäristössä on puolestaan kiinnitettävä huomiota siihen, mitä erilaiset ohjeistukset, vakiintuneet toimintatavat ja -käytännöt merkitsevät hiilivarastojen ja hiilensidonnan näkökulmasta (viheralueisiin kohdistuu jatkuvasti erilaisia toimia esimerkiksi alueiden kunnossapitoon liittyen). Ohjaamalla toimenpiteitä suuntaan, jolla on myönteistä vaikutusta hiilitaseeseen, voidaan rakennetussa ympäristössä saavuttaa nopeastikin vaikuttavuutta.

2. JOHDANTO

Pääkaupunkiseudun kaupungit ovat sitoutuneet hiilineutraalisuustavoitteeseen, mikä tarkoittaa sellaisen tilan saavuttamista, jossa kaupungin hiilidioksidipäästöt ja erilaiset hiiltä sitovat mekanismit eli hiilinielut ovat yhtä suuria. Tämän sitoumuksen piirissä kaupungeilla on tarve arvioida ja seurata maaperään ja kasvillisuuteen sitoutuneen hiilen määrää sekä mahdollisuuksien mukaan pyrkiä ylläpitämään hiilivarastoja ja ohjaamaan hiilinielujen kehittymistä hiilineutraalisuustavoitteen näkökulmasta oikeaan suuntaan.

Tätä tarvetta koskien keväällä 2020 käynnistettiin hanke, "Selvitys pääkaupunkiseudun hiilinieluista ja -varastoista", jonka loppuraportti tämä dokumentti on. Selvitystä koordinoi Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY), ja mukana olivat Espoon, Helsingin, Kauniaisen sekä Vantaan kaupungit. Selvityksen toteutti Simosol Oy, yhteistyössä Tapio Palvelut Oy (Tapio) ja Ramboll Finland Oy (Ramboll) kanssa. Hankkeen ohjausryhmään kuului edustajia kustakin mukana olevasta kaupungista sekä HSY:stä.

Työn tavoitteena oli tuottaa ajantasainen paikkatietoaineisto ja käsitys pääkaupunkiseudun kaupunkien hiilivarastoista ja hiilivarastojen muutoksesta (ts. "hiilivuo") vuositasolla, sekä luoda perusta näiden muuttujien jatkuvalla seurantaprosessille. Aiemmin tehtyjen selvitysten mukaan merkittävin osa kaupunkien hiilivarastoista sijaitsee eri tyyppisillä metsäalueilla, jossa hiili on varastoituneena kasvillisuuteen sekä maaperään. Vastaavasti hiilivaraston vuosittainen kasvu, eli hiilinielu, muodostuu suurimmaksi osaksi metsäalueiden kasvillisuuteen sitoutuvasta hiilestä. Työn tulosaineiston päätarkoituksena oli luoda aineisto, jonka pohjalta mahdollistetaan ymmärrys eri alueiden eroista; mitkä alueet toimivat merkittävinä hiilen sitojina ja varastoina, ja mitkä alueet puolestaan päästölähteinä. Oleellista oli myös muodostaa ymmärrys käynnissä olevasta yleisestä hiilivarastojen kehityksestä sekä tämän pohjalta muodostaa suositellut hoitotoimenpiteet hiilivarastoille ja -nieluille jatkossa.

Koskien hiilivarastoja ja hiilinieluja yleisesti, kasvien yhteyttämisen seurauksena ilmakehästä pois sidottua hiiltä on varastoituneena sekä elävään kasvillisuuteen että maaperään. Maaperässä tämä ns. maaperän orgaanisen hiilen varasto sijaitsee pääosin orgaanisessa pintakerroksessa, sekä ylimmän metrin kivennäismaakerroksessa. Turvemailla maaperään sitoutuneen hiilen määrä on moninkertainen suhteessa kivennäismaihin.

Kasvillisuuteen sitoutuneen hiilen määrä on suorassa suhteessa kasvillisuuden biomassan määrään, jota puolestaan esimerkiksi metsäalueilla kuvataan tyypillisesti puuston tilavuuden kautta. Myös kasvillisuuden hiilivarastojen vuotuinen muutos on suorassa suhteessa biomassan (ja puuston) vuotuisen kasvuun. Esimerkiksi metsämailla puuston vuotuinen kasvu lisää kasvillisuuden hiilivarastoja, kun taas hakkuut ja luonnollinen poistuma vähentävät sitä. Eri-ikäisellä puustolla kasvunopeus ja kariketuotanto eroavat toisistaan merkittävästi. Hiiltä sitoo eniten puiden kasvu, ja siksi hoidetut, etenkin nuoret, metsät kasvavat nopeiten ja ovat näin ollen luonnontilaisia metsiä tehokkaampia hiilinieluja. Luonnontilaiset vanhat metsät puolestaan varastoivat enemmän hiiltä kuin talousmetsät, mutta niistä vapautuu yhtä paljon hiiltä kuin niihin sitoutuu, jolloin hiilivarasto ei juurikaan kasva ja näin ollen hiilinielua ei muodostu.

Kivennäismailla maaperän orgaanisen hiilen varasto heijastelee maanpäällistä kasvillisuutta sen tuottaman karikkeen kautta. Maaperän hiilivaraston muutos riippuu ensisijaisesti karikkeena tulevan hiilen määrästä sekä hiilen hajoamisesta maaperässä vallitsevissa sääolosuhteissa. Täten esimerkiksi metsissä hakkuiden jälkeen, kun puustosta jää hakkuutähteitä ja kantoja maahan lahoamaan, maaperän hiilimäärä kohoaa nopeasti. Huippuunsa kohonnut maaperän hiilen määrä alkaa kuitenkin pienentyä, kunnes kasvavasta puustosta alkaa jälleen kertyä karikesadantana uutta hiiltä maahan enemmän kuin hiiltä ehtii hajota maaperästä ilmakehään.

Selvityksen menetelmällisenä lähtökohtana toimi vuonna 2014 toteutettu hiilitaseselvitys, joka tehtiin osana Ilmaston kestävän kaupungin suunnitteluopas (ILKKA) -hanketta. Hankkeen tulokset on julkaistu sähköisenä Ilmastonkestävän kaupungin suunnitteluoppaassa¹. ILKKA-selvityksessä tuotettiin tulosaineistot nyt tehdyn selvityksen kaupungeista Espoole, Helsingille ja Vantaalle. Menetelmässä avainasemassa on alueiden luokitus eri tyyppisiin viheralueisiin. Kuten ILKKA-selvityksessä, myös nyt tehdyssä selvityksessä käytettiin ABC-viheraluehoitoluokitusta (liite 1), mutta tulosaineistoon tuotettiin myös vastaavuudet valmisteilla olevaan RAMS-kunnossapitoluokitukseen niiltä osin kuin ne olivat saatavilla.

Tämä raportti on jaettu seitsemään kappaleeseen (kappaleet 2-8). Kappaleessa 2. kuvataan selvityksessä käytetyt lähdeaineistot. Kappaleessa 3 kuvataan tulosaineistojen muodostuksessa käytetyt menetelmät ja kuinka laskenta toteutettiin eri hoitoluokille. Kappaleessa 4 on esitetty yleistason yhteenveto selvityksen tuloksista kaupungeittain. Kappaleessa 5 syvennyttään tulosten vertailuun kaupunkien välillä, sekä analysoidaan eroja ja muutosta ILKKA-selvityksen tuloksiin. Kappaleet 6 ja 7 kattavat Tapion sekä Ramboll:n toimenpidesuositukset viheralueiden hoitoon. Lopuksi kappaleessa 8 esitetään yleisen tason johtopäätökset ja yhteenveto selvityksestä kokonaisuutena.

¹ <https://ilmastotyokalut.fi/vihrea-infrastruktuuuri/hiilinielut/>

3. LÄHDEAINEISTOT JA LASKENNAN RAJAUS

Laskennassa käytetyt lähdeaineistot voidaan jakaa kahteen eri kokonaisuuteen hoitoluokittain; 1) tietolähteet rakennetuille ja avoimille viheralueille (hoitoluokat A ja B), sekä 2) tietolähteet metsämaille (hoitoluokka C).

Rakennettujen ja avoimien viheralueiden lähdeaineistona toimi ensisijaisesti kuntien toimittama viheraluehoitoluokitus ja sen aluerajaukset. Tätä täydennettiin seudullisen maanpeiteaineiston (SMPA) luokilla 211 ja 212 niiltä osin kuin nämä jäivät viheraluehoitoluokituksen ulkopuolelle. SMPA:n luokalle 211 (pellot) annettiin hoitoluokka B1 (maisemapelto) ja luokalle 212 (muu avoin matala kasvillisuus) hoitoluokka A1 (edustusviheralueet).

Metsämaiden lähdeaineisto muodostui useasta eri tietolähteestä. Tietolähteet priorisoitiin tarkkuuden mukaan. Maantieteellistä kattavuutta kasvatettiin karkeammilla aineistoilla tarkemman tietolähteen puuttuessa. Tarkkuusjärjestyksessä lähdeaineistoina toimivat:

1. Kuvioittainen metsävaratieto kunnan omasta metsätietoaineistosta.
2. Kuvioittainen metsävaratieto Suomen Metsäkeskuksen (SMK) avoimesta metsävaratiedosta.
3. Seudullisen maanpeiteaineiston (SMPA) luokat 221-224 (yli 2 metriä korkea puusto) yhdistettynä valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) hilatietoihin, vuoden 2017 aineisto.
4. Seudullisen maanpeiteaineiston (SMPA) luokat 221-224.

Kuten rakennetuille ja avoimille viheralueille, myös metsämaiden viheraluehoitoluokitus otettiin ensisijaisesti kuntien toimittamasta viheraluehoitoluokituksesta. Alueille joissa lähdeaineistot olivat viheraluehoitoluokituksen ulkopuolella, asetettiin hoitoluokaksi C4 (talousmetsä), poislukien alueet joille oli vain SMPA lähdeaineistoa. Nämä alueet kattoivat pääsääntöisesti kadunvarsien sekä piha-alueiden puustoja, joten ne asetettiin luokkaan C3. Suojelualueille asetettiin hoitoluokaksi S kaupunkien toimittaman erillisen suojelualuerajausaineiston mukaisesti.

Kaikki aineistot rajattiin kunnittain kuntien hallinnollisiin rajoihin.

4. LASKENNAN MENETELMÄKUVAUS

4.1. Yleiset menetelmät

Laskenta toteutettiin muodostamalla mahdollisimman laaja alueellinen kattavuus yhdistämällä edellä listattuja lähdeaineistoja niin, että jokaiselle tulosaineiston alueelle saatiin osoitettua viheraluehoitoluokka. Laskenta kattoi kaikille hoitoluokille hiilivarastot ja niiden muutoksen kasvillisuudelle ja maaperälle. Menetelmällisiä valintoja näiden laskemiseksi jouduttiin tekemään hoitoluokkakohtaisesti lähdeaineistojen saatavuuden sekä hoitoluokkien ominaispiirteiden vuoksi.

Seuraavissa osioissa kuvatut hoitoluokittaiset laskentamenetelmät keskittyvät pääasiassa kasvillisuuden biomassan määrän ja sen muodostaman maaperän syötteen ja varaston laskentaan. Lopullisissa tulosaineistossa biomassamäärät muunnettiin hiileksi olettamalla hiilen osuuden biomassasta olevan 47%. Tämä poikkeaa hieman ILKKA-hankkeesta, jossa vastaava oletus oli 50%. Oletusta korjattiin, jotta käytetyt oletukset olisivat linjassa kansallisen tason laskennoissa käytetyn IPCC:n² ohjeistuksen kanssa.

Tulosten ja päästötietojen vertailun helpottamiseksi hiilimäärät muunnettiin lopuksi vastaavaksi määräksi hiilidioksidiksi hyödyntäen hiilidioksidimolekyylin hapen ja hiilen moolipainojen suhdetta (44/12).

4.2. Rakennetut ja avoimet viheralueet

4.2.1. Kasvillisuuden hiilivarasto ja -nielu

Rakennettujen ja avoimien viheralueiden kasvillisuuden hiilivarastojen ja -nielujen laskentamenetelmät noudattivat aiempaan ILKKA-hankkeeseen kehitettyjä menetelmiä. Kyseisille hoitoluokille tyypillistä on mitatun tiedon puute kasvillisuuden määrästä. Tästä syystä eri viheraluehoitoluokkien hiilivarastot laskettiin hoitoluokkakohtaisilla keskimääräisillä hiilivarastoilla olettaen tämän edustavan pitkän aikavälin keskimääräistä kasvillisuuden määrää kussakin hoitoluokassa. Hoitoluokittaiset oletusarvot perustuivat kasvillisuuden biomassan määrään suhteessa metsämaan biomassaan, sekä nurmimaisen biomassan oletettuun vuotuisen keräysosuuteen (Taulukko 1). Jäljelle jäävä nurmimainen biomassa muodosti hoitoluokittaisen vuotuisen hiilisyötteen maaperään.

Taulukko 1. A- ja B-hoitoluokkien kasvillisuuden biomassaoletukset.

Hoitoluokka	Osuus metsämaan biomassasta, %	Nurmimaisen biomassan keräysosuus, %
A1 - Edustusviheralueet	2	100
A2 - Käyttöviheralueet	5	90

² IPCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use, Table 4.3.

A ₃ - Käyttö- ja suojaviheralueet	20	70
B ₂ - Käyttöniityt	5	70
B ₃ - Maisemaniityt ja laidunalueet	5	10
B ₄ - Avoimet alueet ja näkymät	10	10
B ₅ - Arvoniityt	5	0

B₁ hoitoluokan (maisemapellot) kasvillisuuden hiilivaraston oletettiin laskennan tuloksissa olevan 0.

Koska hoitoluokkien A ja B kasvillisuuden määrän oletettiin olevan vakio, näille hoitoluokille ei kasvillisuuden osalta muodostunut myöskään vuotuista muutosta (ts. hiilinielua tai -päästöä). Näiden hoitoluokkien hiilinielut tai -päästöt muodostuivat maaperän hiilivarastojen muutoksesta (kts. seuraava osio).

4.2.2. Maaperän hiilivarasto ja -nielu

Maaperän hiilivarastojen laskemiseen käytettiin Yasso15-mallia, joka on päivitetty versio ILKKA-hankkeessa käytetystä Yasso07-mallista. Yasso-mallilla pystytään mallintamaan kivennäismaiden hiilivarastojen kehitystä yli ajan, kun tiedetään a) kasvillisuuden hiilisyöte maaperään, b) maaperän hiilivaraston lähtötaso, ja c) vallitsevat ilmasto-olosuhteet.

Maaperän hiilen varaston määrä hoitoluokille A ja B laskettiin olettamalla nykyisen kasvillisuuden, ja vuotuisen hiilisyötteen vallinneen 50 vuotta. Alkuperäiseksi maanpeitteeksi oletettiin tuoreen kankaan (MT) kasvupaikan maaperän hiilivarasto julkaisusta Liski ym. (1997)³. A ja B hoitoluokkien ilmasto-oletukset laskettiin Vantaan ilmastotiedoilla, ja näitä käytettiin kaikkien kaupunkien laskelmissa sillä näiden hoitoluokkien laskennassa tehtyjen oletusten jälkeen ilmastolliset erot kaupunkien välillä ovat merkityksettömiä.

Kuten ILKKA-hankkeessa, hoitoluokan B₁ kohdalla hyödynnettiin kuntatason maataloustilastointia, josta saatiin kunnittaiset viljelyalat ja käytetyt viljelykasvit sekä kunnittaiset tuotantoeläinmäärät. Näiden tietojen avulla muodostettiin B₁ hoitoluokalle kunnittainen keskimääräinen maaperän hiilisyöte perustuen viljelykasvien kasvikohtaisiin kasvijäänteiden määriin sekä tuotantoeläinkohtaisesti syntyviin eloperäisen lannoitteen määriin.

Laskentateknisesti maaperän hiilivarastojen laskenta toteutettiin laskemalla hoitoluokittaiset kehityssarjat käyttäen edellä mainittuja oletusarvoja lähtötilanteelle, syötteelle ja ilmasto-olosuhteille. Kehityssarjojen avulla saatiin mallinnettua maaperän hiilivaraston hehtaarikohtainen kehitys yli ajan. Näistä kehityssarjoista saatiin otettua hoitoluokittainen maaperän hiilivarasto vuoden 50 kohdalta (nykytila) ja tällä hetkellä vallitseva vuotuinen muutos vuoden 51 ja 50 varastojen välisenä erotuksena.

³ Liski, J. & Westman, C.J. 1997. Carbon storage in forest soil of Finland. Biogeochemistry 36: 261–274.

Vuotuinen muutos on 50-vuoden siirtymäajan jälkeen edelleen jatkuva siirtymä kohti uutta maaperän hiilivaraston vakiotilaa vallitsevan kasvillisuuden alaisuudessa. Koska hoitoluokkien A ja B kasvillisuuden hiilisyöte on alhaisempi kuin oletetun alkuperäisen metsämaanpeitteen hiilisyöte, vuotuinen muutos maaperän osalta muodostaa päästölähteen maaperän hiilivaraston hakeutuessa kohti uutta matalampaa maaperän hiilivaraston tasapainotilaa.

Turvemaiden hiilivarastojen määrää ei voi laskea Yasso15-mallilla, joten niiden osalta tukeuduttiin kirjallisuuteen. Turvemaapeltojen kohdalla hiilivarasto otettiin suoraan kirjallisuudesta. Heikkinen ym. (2013⁴) tutkimuksen mukaan koko maan keskiarvo on 166 000 kgC/ha eli noin 60g tCO₂/ha. Turvepelloille käytetty, kirjallisuudesta otettu keskimääräinen hiilivaraston muutos on -0,3% eli 498 kgC/ha (noin 1,8 tCO₂/ha) hiilipäästö vuodessa (Heikkinen ym. 2013).

4.3. Metsämaat

4.3.1. Kasvillisuuden hiilivarasto ja -nielu

Metsämaiden (hoitoluokka C) osalta laskentamenetelmät olivat asteen monimutkaisempia kuin hoitoluokilla A ja B, johtuen saatavilla olevien tietolähteiden paremmasta tarkkuudesta sekä käytettyjen lähdeaineistojen määrästä.

Niiltä osin, kun kuviottaisia metsävaratietoja oli saatavilla, kaikki kuviot kasvatettiin ensin vuoteen 2019 käyttäen Luonnonvarakeskuksen (LUKE) viimeisimpiä Motti-kasvumalleja. Kuviokohtaisen metsävaratiedon avulla laskettiin kehityssarjoja kuvaamaan kasvillisuuden biomassan ja kasvillisuuden hiilen välistä suhdetta eri hoitoluokissa kolmelle pääpuuljille (mänty, kuusi, koivu) eri metsätyyppien mukaisilla kasvupaikoilla.

Metsämaa-alueille, joille kuviokohtaista metsävaratietoa ei ollut saatavilla johdettiin biomassamäärät vuoden 2017 VMI hila-aineistosta. Biomassan avulla kukin alue sovitettiin vastaavaan kehityssarjaan, minkä jälkeen hiililuvut poimittiin kehityssarjasta sovitettua kohtaa kaksi vuotta myöhäisemmästä kohdasta. Alueille, joille myöskään VMI hila-aineistoa ei ollut saatavilla, seudullisen maanpeiteaineiston (SMPA) puustoluokille (221-224) johdettiin hiilivaraston ja -vuon suuruus luokkakohtaisten puuston keskipituuksien kautta hyödyntäen samoja kehityssarjoja.

4.3.2. Maaperän hiilivarasto ja -nielu

Kuten rakennetuille ja avoimille viheralueille, myös metsämaiden maaperän hiilivarastot ja näiden muutos laskettiin hyödyntäen Yasso15-mallia. Hiilivarastojen lähtötasot kasvupaikkatyypeittäin saatiin julkaisusta Liski ym. (1997)⁵, jossa on kuvattuna erilaisten metsäkasvupaikkojen keskimääräinen maaperän hiilivarasto yli puuston kiertoajan. Yhdistämällä maaperän hiilen lähtötasot, kuntakohtaiset

⁴ Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V. & Regina, K. 2013. Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009. *Global Change Biology* (2013) 19, 1456–1469, doi: 10.1111/gcb.12137.

⁵ Liski, J. & Westman, C.J. 1997. Carbon storage in forest soil of Finland. *Biogeochemistry* 36: 261–274.

keskimääräiset ilmasto-olosuhteet, sekä edellisessä osiossa kuvattu kasvillisuuden biomassan kehitys, muodostettiin kehityssarjat kuvaamaan kasvillisuuden biomassan sekä maaperän hiilen välistä suhdetta.

Kuten ILKKA-hankkeessa, kehityssarjat laskettiin kahden puuston kiertoajan yli. Ensimmäiselle kiertoajalle käytettiin tavanomaisia talousmetsien hakkuu- ja hoitotapoja, kuitenkin ilman hakkuutähteiden keräystä tai kantojen nostoa. Nämä ovat verrattain uusia toimenpiteitä eivätkä nämä näin ollen ole vaikuttaneet nykyiseen maaperän hiilivaraston tilaan. Jälkimmäiselle kiertoajalle käytettiin hoitoluokkakohtaisia metsänkäsitteily oletuksia. C₅ ja S-hoitoluokkien oletettiin olevan kaiken puun korjuun ulkopuolella. Muille luokille käytettiin edelleen tavanomaisia talousmetsän hakkuu- ja hoitosuosituksia, kuitenkin huomioiden hoitoluokkakohtaiset erityispiirteet koskien harvennuksien toteutusta ja hakkuutähteiden keräykseen sekä kantojen nostoon liittyviä oletuksia (Taulukko 2).

Taulukko 2. Hakkuutähteiden keräyksen ja kantojen noston oletusosuudet metsäalueilla.

Hoitoluokka	Hakkuutähteiden keräysosuus, %		Kantojen noston osuus, %	
	Uudistushakkuu	Harvennushakkuu	Uudistushakkuu	Harvennushakkuu
C ₁ - Lähimetsä	100	100	0	0
C ₂ - Ulkoilu- ja virkistysmetsä	33	33	0	0
C ₃ - Suojametsä	33	33	0	0
C ₄ - Talousmetsä	70	70	75	0
C ₅ - Arvometsä	0	0	0	0
S - Suojelualue	0	0	0	0

Kuten rakennetuilla ja avoimilla viheralueilla, turvemaiden hiilivarastojen määrää ei voi laskea Yasso15-mallilla, joten niiden osalta tukeuduttiin kirjallisuuteen myös metsämaiden kohdalla. Turvemaametsien hiilivaraston määrä riippuu turpeen paksuudesta, tiheydestä ja hiilipitoisuudesta (Minkkinen ym. 2013⁶). Tässä tarkastelussa käytettyjen aineistojen perusteella näitä asioita ei saada yksittäisten alueiden osalta selville, joten turvemaan metsän hiilivaraston määräksi otettiin koko Suomen soiden hehtaarikohtainen keskiarvo 533 000 kg/ha eli noin 1 954 tCO₂/ha. Turvemaametsien hiilivaraston muutoksen laskentaan käytettiin maaperän osalta kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion lukuja (taulukko 3).

⁶ Minkkinen, K. & Ojanen, P. 2013. Pohjois-Pohjanmaan turvemaiden kasvihuonekaasutaseet. Metlan työraportteja 258:75-111.

Taulukko 3. Metsäturvemaiden hiilipäästöt ja -nielut.

Kasvupaikka	Hiilipäästö, kgC/ha/v	Hiilinielu, kgC/ha/v
Ruohoturvekangas (Rhtkg)	1 959	
Mustikkaturvekangas (Mtkg)	823	
Puolukkaturvekannas (Ptkg)	125	
Varvoturvekangas (Vatkg)		109
Jäkäläturvekangas (Jätkg)		446

5. TULOKSET KAUPUNGEITTAIN

5.1. Espoo

5.1.1. Pinta-alat

Espoon tulosaineisto kattaa yhteensä noin 23 700 hehtaaria, eli noin 76% kaupungin maapinta-alasta. Tulosaineiston ulkopuolelle jäävät alueet ovat pääosin rakennuksia ja päällystettyä pintaa. Tulosaineiston kattamasta alueesta kolme neljäsosaa (78%) on metsiä (C- ja S-luokat) lopun alueen jakautuessa suhteellisen tasaisesti rakennettuihin ja avoimiin viheralueisiin. Metsä- ja suojelualueet ovat painottuneet Espoon pohjoisosiin (Kuva 1). Pinta-alan jakautuminen ABC-luokkiin on esitetty taulukossa 4.

Kuten aiemmassa osiossa on kuvattu, metsäalueiden laskennassa hyödynnettiin useita eri tietolähteitä ja näiden merkitys on suuri tulosten tarkastelun kannalta. Metsäalueita on taajamametsien (C) lisäksi suojelualueilla (S). Espoossa suurin osa, noin 61%, metsien pinta-alasta laskettiin hyödyntäen kaupungilta sekä Suomen Metsäkeskuksen (SMK) avoimesta tietokannasta saatuja kuviottaisia metsävaratietoja. Näillä alueilla laskennan tulokset perustuvat kuviokohtaisesti metsävaratietojen avulla mallinnettuun biomassamäärään sekä hiililukuihin. Noin 25% laskettiin hyödyntäen VMI hila-aineiston hilakohtaisia biomassamääriä. Jäljelle jäävä metsäalue, noin 13%, laskettiin hyödyntäen SMPA:n puustoluokkien keskipituuksia. Metsäalueiden pinta-alat tietolähteittäin on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 4. Tulosaineiston pinta-alan jakaantuminen ABC-hoitoluokkiin Espoossa.

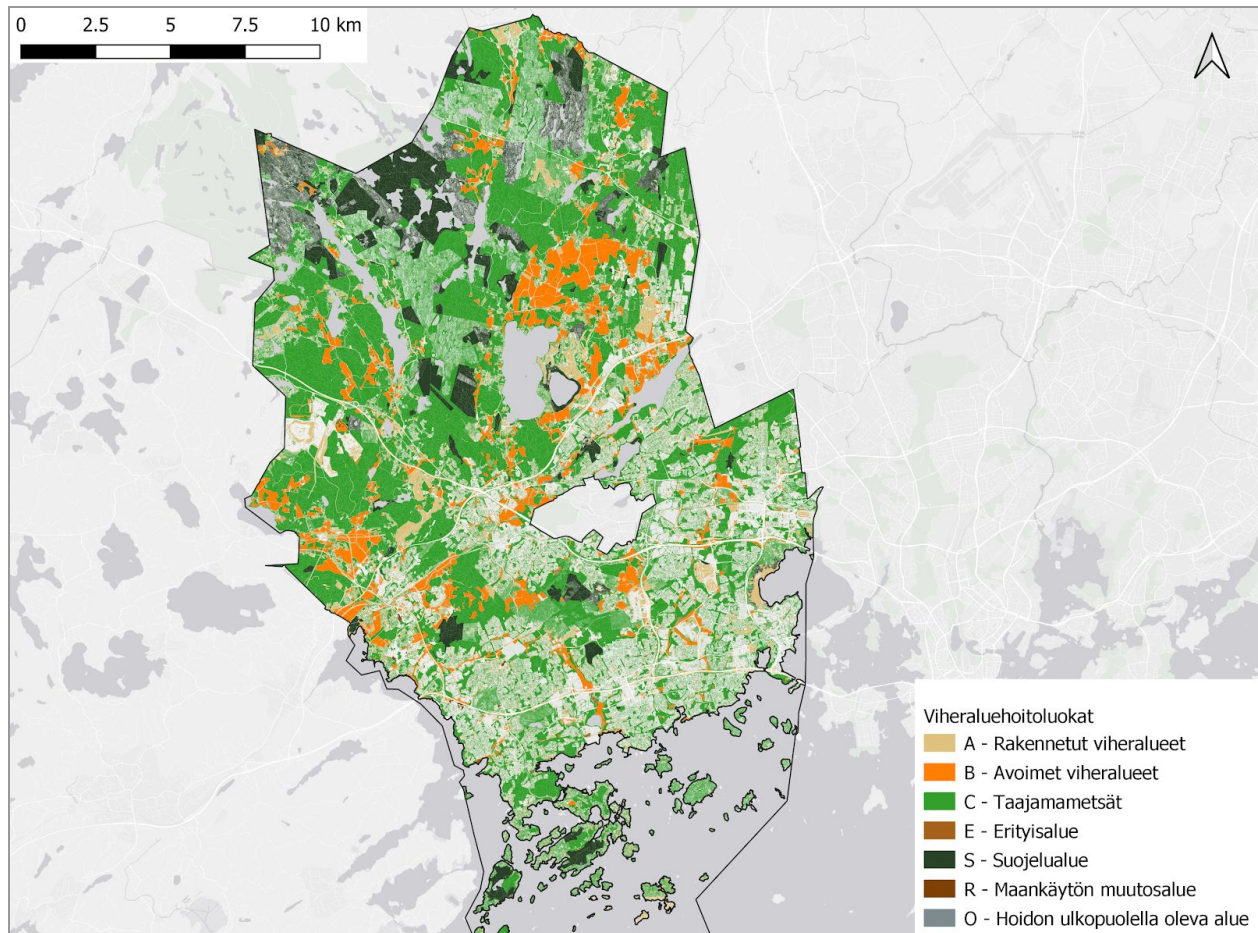
Hoitoluokka	Pinta-ala, ha	Pinta-ala osuus, %
A - Rakennetut viheralueet	2 692	11
B - Avoimet viheralueet	2 484	10
C - Taajamametsät	15 754	66
S - Suojelualueet	2 736	12
Muut (E, O, R)	34	0
Yhteensä	23 698	100

Taulukko 5. Espoon metsäalueiden pinta-alat tietolähteittäin.

Tietolähde	Pinta-ala, ha	Pinta-ala osuus, %
Kaupungin kuviotiedot	4 994	27
SMK kuviotiedot	6 336	34

VMI hila-aineisto	4 647	25
SMPA puustoluokat	2 399	13
Yhteensä	18 376	100

Kuva 1. Viheraluehoitoluokkien sijoittuminen Espoossa.



5.1.2. Hiilivarastot ja -vuot

Espoon kaupungin rajojen sisällä olevien viheralueiden kokonaishiilivarasto vuonna 2019 oli 12 540 500 tCO₂. Tästä noin 4 279 400 tCO₂ (34%) on sitoutuneena kasvillisuuden ja 8 261 100 tCO₂ (66%) maaperään. Vuotuinen hiilivuo kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastoihin oli yhteensä noin 221 500 tCO₂/v positiivinen. Tästä noin 178 700 tCO₂ (81%) sitoutui kasvillisuuteen ja noin 42 800 tCO₂ (19%) varastoitui maaperään.

Tulokset korostavat metsien merkittävää roolia sekä hiilivarastoina että hiilinieluinä. Arvioiduista kasvillisuuden hiilivarastoista lähes 100% on metsäalueilla jakautuneena taajamametsiin ja suojelualueille. Maaperän hiilivarastoistakin n. 90% sijaitsee samoilla alueilla. Hiilinielujen osalta merkitys on vielä suurempi, toki osittain johtuen laskentateknisestä oletuksesta että luokilla A ja B ei vuotuista muutosta kasvillisuuden määrässä tapahdu. Maaperän osalta A ja B luokat ovat pienimuotoinen päästölähde, kun taas taajamametsien ja suojelualueiden maaperän hiilivarastot kasvavat vuosittain. Hiilivarastojen ja -vuon jakaantuminen ABC-luokkiin on esitetty Taulukossa 6 ja Taulukossa 7. Vuoluvut on esitetty ilmakehälähtöisesti, mikä tarkoittaa että negatiivinen vuo pienentää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta ja vastaavasti kasvattaa kasvillisuuden tai maaperän hiilivarastoa.

Taulukko 6. Espoon hiilivarastot ABC-luokittain vuonna 2019.

Hoitoluokka	Kasvillisuuden hiilivarasto		Maaperän hiilivarasto	
	tCO ₂	tCO ₂ /ha	tCO ₂	tCO ₂ /ha
A - Rakennetut viheralueet	16 063	6	367 873	137
B - Avoimet viheralueet	7 954	3	470 723	190
C - Taajamametsät	3 472 759	220	5 921 984	376
S - Suojelualueet	778 978	285	1 489 674	545
Muut (E, O, R)	3 658	109	10 809	321
Yhteensä	4 279 413	181	8 261 062	349

Taulukko 7. Espoon hiilivuot ABC-luokittain vuonna 2019⁷.

Hoitoluokka	Kasvillisuuden hiilivuo		Maaperän hiilivuo	
	tCO ₂	tCO ₂ /ha/v	tCO ₂	tCO ₂ /ha/v
A - Rakennetut viheralueet	0	0.0	1 902	0.8
B - Avoimet viheralueet	0	0.0	856	0.3
C - Taajamametsät	-150 017	-9.4	-29 676	-1.9
S - Suojelualueet	-29 898	-10.9	-16 912	-6.2
Muut (E, O, R)	-144	-0.5	13	0.0
Yhteensä	-180 059	-7.6	-43 657	-1.8

⁷ Negatiiviset arvot edustavat hiilivuota pois ilmakehästä, eli kasvillisuuden tai maaperän hiilivaraston kasvua.

5.2. Helsinki

5.2.1. Pinta-alat

Helsingin tulosaineisto kattaa yhteensä noin 12 400 hehtaaria, eli noin 59% kaupungin maapinta-alasta. Tästä suurin osa, noin 72%, on metsiä (hoitoluokat C ja S). Lopusta alueesta reilu puolet on rakennettuja viheralueita, ja toinen puolikas avoimia viheralueita ja muita alueita. Yhtenäiset metsäalueet ja suojelualueet sijoittuvat etenkin keskuspuistoon, Viikin lahden ympäristöön, Itä-Helsingin rannikkoalueille sekä Sipoon vastaiselle rajalle (Kuva 2). Pinta-alan jakautuminen ABC-luokkiin on esitetty taulukossa 8.

Kuten aiemmassa osiossa on kuvattu, metsäalueiden laskennassa hyödynnettiin useita eri tietolähteitä ja näiden merkitys on suuri tulosten tarkastelun kannalta. Helsingin osalta kaupungin toimittamat kuvioittaiset metsävaratiedot kattoivat noin 36% metsäalueiden pinta-alasta SMK kuviotietojen kattaessa noin 10%. Näillä alueilla laskennan tulokset perustuvat kuviokohtaisesti metsävaratietojen avulla mallinnettuun biomassamäärään sekä hiililukuihin. Jäljelle jääneestä alueesta vajaa puolikas laskettiin hyödyntäen VMI hila-aineiston hilakohtaisia biomassamääriä ja jäljelle jäävä metsäalue, noin 30%, laskettiin hyödyntäen SMPA:n puustoluokkien keskipituuksia. Metsäalueiden pinta-alat tietolähteittäin on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 8. Tulosaineiston pinta-alan jakaantuminen ABC-hoitoluokkiin Helsingissä.

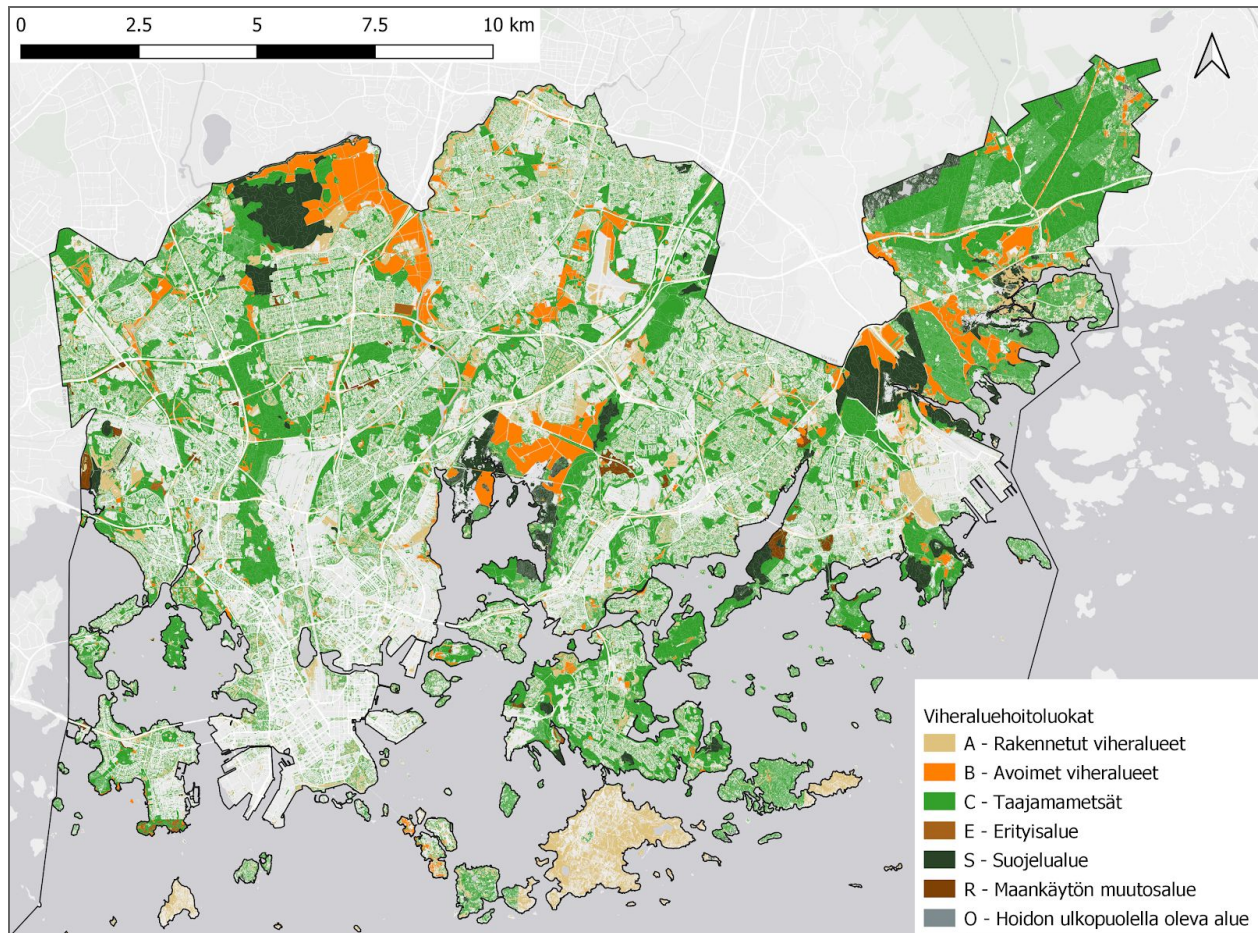
Hoitoluokka	Pinta-ala, ha	Pinta-ala osuus, %
A - Rakennetut viheralueet	1 838	15
B - Avoimet viheralueet	1 196	10
C - Taajamametsät	8 111	65
S - Suojelualueet	931	7
Muut (E, H1, O, R)	373	3
Yhteensä	12 449	100

Taulukko 9. Helsingin metsäalueiden pinta-alat tietolähteittäin.

Tietolähde	Pinta-ala, ha	Pinta-ala osuus, %
Kaupungin kuviotiedot	3 203	36
SMK kuviotiedot	891	10

VMI hila-aineisto	2 149	24
SMPA puustoluokat	2 730	30
Yhteensä	8 973	100

Kuva 2. Viheraluehoitoluokkien sijoittuminen Helsingissä.



5.2.2. Hiilivarastot ja -vuot

Helsingin kaupungin rajojen sisällä olevien viheralueiden kokonaishiilivarasto vuonna 2019 oli 5 610 600 tCO₂. Tästä noin 1 970 784 tCO₂ (35%) on sitoutuneena kasvillisuuden ja 3 639 800 tCO₂ (65%) maaperään. Vuotuinen hiilivuo kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastoihin oli yhteensä noin 95 600 tCO₂/v positiivinen. Tästä noin 78 500 tCO₂ (82%) sitoutui kasvillisuuteen ja noin 17 100 tCO₂ (18%) varastoitui maaperään.

Tulokset korostavat metsien merkittävää roolia sekä hiilivarastoina että hiilinieluinä. Arvioiduista kasvillisuuden hiilivarastoista lähes 98% on metsäalueilla jakautuneena taajamametsiin ja suojelualueille. Maaperän hiilivarastoista noin 85% sijaitsee samoilla alueilla. Hiilinielujen osalta merkitys on vielä suurempi, toki osittain johtuen laskentateknisestä oletuksesta että luokilla A ja B ei vuotuista muutosta kasvillisuuden määrässä tapahdu. Maaperän osalta A ja B luokat ovat pienimuotoinen päästölähde, kun taas taajamametsien ja suojelualueiden maaperän hiilivarastot kasvavat vuosittain. Hiilivarastojen ja -vuon jakaantuminen ABC-luokkiin on esitetty taulukossa 10 ja taulukossa 11.

Taulukko 10. Helsingin hiilivarastot ABC-luokittain vuonna 2019.

Hoitoluokka	Kasvillisuuden hiilivarasto		Maaperän hiilivarasto	
	tCO ₂	tCO ₂ /ha	tCO ₂	tCO ₂ /ha
A - Rakennetut viheralueet	10 611	6	243 349	132
B - Avoimet viheralueet	5 196	4	231 618	194
C - Taajamametsät	1 648 127	203	2 619 578	323
S - Suojelualueet	273 488	294	466 106	501
Muut (E, H1, O, R)	33 363	90	79 175	212
Yhteensä	1 970 784	158	3 639 825	292

Taulukko 11. Helsingin hiilivuot ABC-luokittain vuonna 2019⁸.

Hoitoluokka	Kasvillisuuden hiilivuo		Maaperän hiilivuo	
	tCO ₂	tCO ₂ /ha/v	tCO ₂	tCO ₂ /ha/v
A - Rakennetut viheralueet	0	0.0	1 284	0.7
B - Avoimet viheralueet	0	0.0	421	0.4
C - Taajamametsät	-69 027	-8.5	-13 724	-1.7
S - Suojelualueet	-8 282	-8.9	-4 876	-5.2
Muut (E, H1, O, R)	-1 165	-3.1	-224	-0.6
Yhteensä	-78 474	-6.3	-17 119	-1.4

⁸ Negatiiviset arvot edustavat hiilivuota pois ilmakehästä, eli kasvillisuuden tai maaperän hiilivaraston kasvua.

5.3. Kauniainen

5.3.1. Pinta-alat

Kauniaisen tulosaineisto kattaa yhteensä noin 370 hehtaaria, eli noin 64% kaupungin maapinta-alasta. Tästä valtaosa, noin 86%, on metsiä (hoitoluokat C ja S). Loppu alue on suurimmilta osin rakennettuja viheralueita. Laajemmat yhtenäiset metsäalueet ovat keskittyneinä etenkin kaupungin länsipuolella sijaitsevan Kasavuoren ympäristöön (Kuva 3). Pinta-alan jakautuminen ABC-luokkiin on esitetty taulukossa 12.

Kuten aiemmassa osiossa on kuvattu, metsäalueiden laskennassa hyödynnettiin useita eri tietolähteitä ja näiden merkitys on suuri tulosten tarkastelun kannalta. Kauniaisissa kaupungin toimittamat kuvioittaiset metsävaratiedot kattoivat noin 44% metsien pinta-alasta. Näillä alueilla laskennan tulokset perustuvat kuviokohtaisesti metsävaratietojen avulla mallinnettuun biomassamäärään sekä hiililukuihin. Jäljelle jääneestä alueesta vajaa kolmannes laskettiin hyödyntäen VMI hila-aineiston hilakohtaisia biomassamääriä. Jäljelle jäävä metsäalue, noin 39%, laskettiin hyödyntäen SMPA:n puustoluokkien keskipituuksia. Metsäalueiden pinta-alat tietolähteittäin on esitetty taulukossa 13.

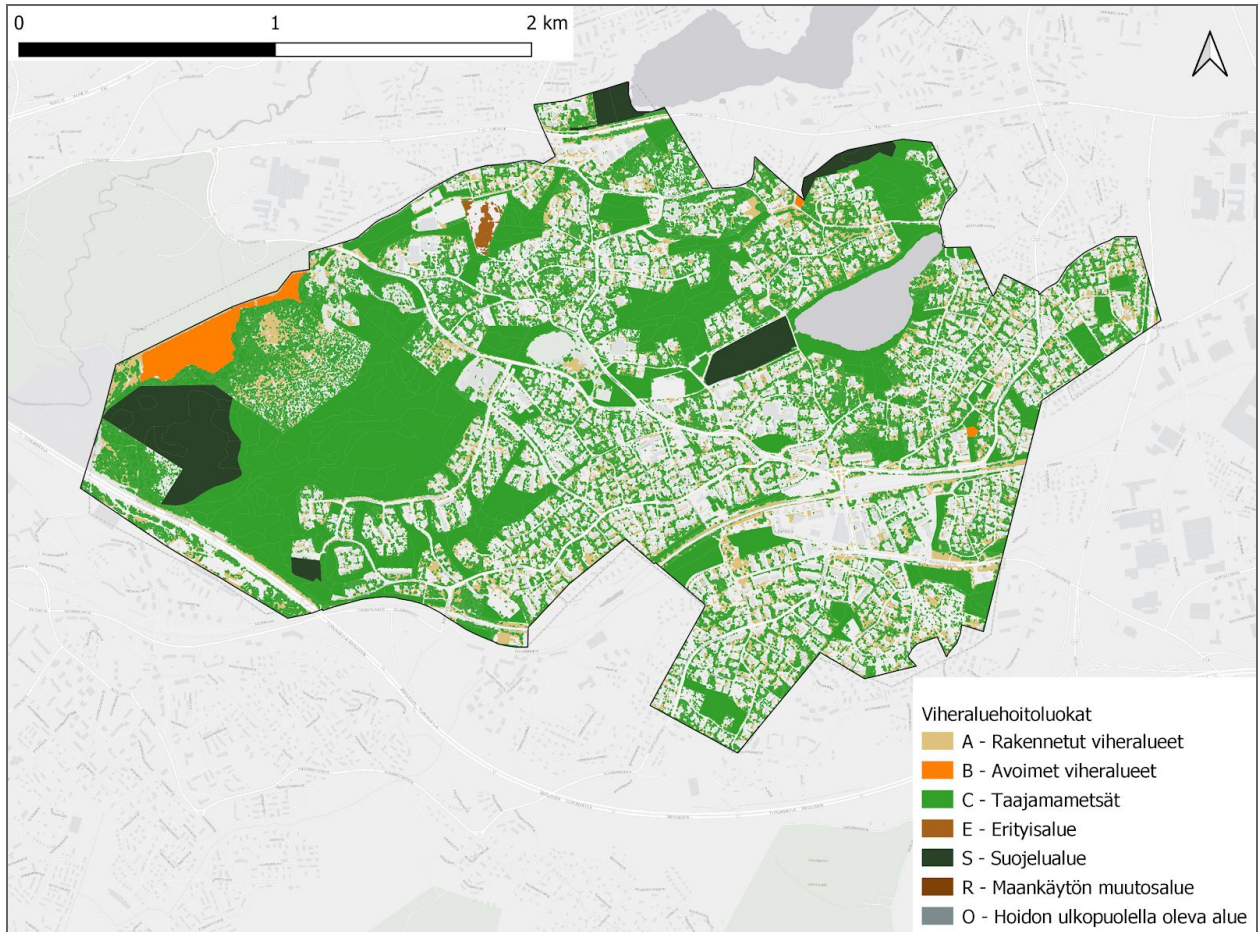
Taulukko 12. Tulosaineiston pinta-alan jakaantuminen ABC-hoitoluokkiin Kauniaisissa.

Hoitoluokka	Pinta-ala, ha	Pinta-ala osuus, %
A - Rakennetut viheralueet	45	12
B - Avoimet viheralueet	7	2
C - Taajamametsät	293	79
S - Suojelualueet	25	7
Muut (D, E, EH, G)	1	0
Yhteensä	382	100

Taulukko 13. Kauniaisen metsäalueiden pinta-alat tietolähteittäin.

Tietolähde	Pinta-ala, ha	Pinta-ala osuus, %
Kaupungin kuviotiedot	140	44
SMK kuviotiedot	0	0
VMI hila-aineisto	52	16
SMPA puustoluokat	125	39

Kuva 3. Viheraluehoitoluokkien sijoittuminen Kauniaisissa.



5.3.2. Hiilivarastot ja -vuot

Kauniaisen kaupungin rajojen sisällä olevien viheralueiden kokonaishiilivarasto vuonna 2019 oli 208 700 tCO₂. Tästä noin 59 900 tCO₂ (29%) on sitoutuneena kasvillisuuteen ja 148 800 tCO₂ (71%) maaperään. Vuotuinen hiilivuo kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastoihin oli yhteensä noin 3 300 tCO₂/v positiivinen. Tästä noin 2 800 tCO₂ (85%) sitoutui kasvillisuuteen ja noin 500 tCO₂ (15%) varastoitui maaperään.

Tulokset korostavat metsien merkittävää roolia sekä hiilivarastoina että hiilinieluinä. Arvioiduista kasvillisuuden hiilivarastoista lähes 100% on metsäalueilla jakantuneena taajamametsiin ja suojelualueille. Maaperän hiilivarastoistakin n. 95% sijaitsee samoilla alueilla. Hiilinielujen osalta merkitys on vielä suurempi, toki osittain johtuen laskentateknisestä oletuksesta että luokilla A ja B ei vuotuista muutosta kasvillisuuden määrässä tapahdu. Maaperän osalta A ja B luokat ovat pienimuotoinen päästölähde, kun taas taajamametsien ja suojelualueiden maaperän hiilivarastot

kasvatavat vuosittain. Hiilivarastojen ja -vuon jakaantuminen ABC-luokkiin on esitetty taulukossa 14 ja taulukossa 15.

Taulukko 14. Kauniaisen hiilivarastot ABC-luokittain vuonna 2019.

Hoitoluokka	Kasvillisuuden hiilivarasto		Maaperän hiilivarasto	
	tCO ₂	tCO ₂ /ha	tCO ₂	tCO ₂ /ha
A - Rakennetut viheralueet	210	5	5 876	131
B - Avoimet viheralueet	2	0	1 412	199
C - Taajamametsät	54 730	187	126 021	430
S - Suojelualueet	4 899	198	15 342	619
Muut (D, E, EH, G))	13	9	198	140
Yhteensä	59 854	161	148 849	401

Taulukko 15. Kauniaisen hiilivuot ABC-luokittain vuonna 2019⁹.

Hoitoluokka	Kasvillisuuden hiilivuo		Maaperän hiilivuo	
	tCO ₂	tCO ₂ /ha/v	tCO ₂	tCO ₂ /ha/v
A - Rakennetut viheralueet	0	0.0	31	0.7
B - Avoimet viheralueet	0	0.0	2	0.3
C - Taajamametsät	-2 521	-8.6	-377	-1.3
S - Suojelualueet	-246	-9.9	-151	-6.1
Muut (D, E, EH, G))	0	0.0	1	0.7
Yhteensä	-2 768	-7.5	-494	-1.3

5.4. Vantaa

5.4.1. Pinta-alat

Vantaan tulosaineisto kattaa yhteensä noin 16 600 hehtaaria, eli noin 70% kaupungin maapinta-alasta. Tästä suurin osa, noin 65%, on metsiä (hoitoluokat C ja S). Lopusta alueesta reilu puolet on

⁹ Negatiiviset arvot edustavat hiilivuota pois ilmakehästä, eli kasvillisuuden tai maaperän hiilivaraston kasvua.

rakennetuille viheralueita ja loput, noin 15%, avoimia viheralueita. Yhtenäisemmät metsäalueet ovat Vantaalla painottuneet sekä itälaidalla sijaitsevan Sipoonkorven yhteyteen että kaupungin länsiosiin (Kuva 4). Pinta-alan jakautuminen Vantaan tulosaineistossa ABC-luokkiin on esitetty taulukossa 16.

Kuten aiemmassa osiossa on kuvattu, metsäalueiden laskennassa hyödynnettiin useita eri tietolähteitä ja näiden merkitys on suuri tulosten tarkastelun kannalta. Vantaan osalta kaupungin toimittamat kuvioittaiset metsävaratiedot kattoivat noin 28% metsäalueiden pinta-alasta SMK kuviotietojen kattaessa selvästi suurimman alan, noin 42%. Näillä alueilla laskennan tulokset perustuvat kuviokohtaisesti metsävaratietojen avulla mallinnettuun biomassamäärään sekä hiililukuihin. Jäljelle jääneestä alueesta vajaa puolikas laskettiin hyödyntäen VMI hila-aineiston hilakohtaisia biomassamääriä ja jäljelle jäävä metsäalue, noin 16%, laskettiin hyödyntäen SMPA:n puustoluokkien keskipituuksia. Metsäalueiden pinta-alat tietolähteittäin on esitetty taulukossa 17.

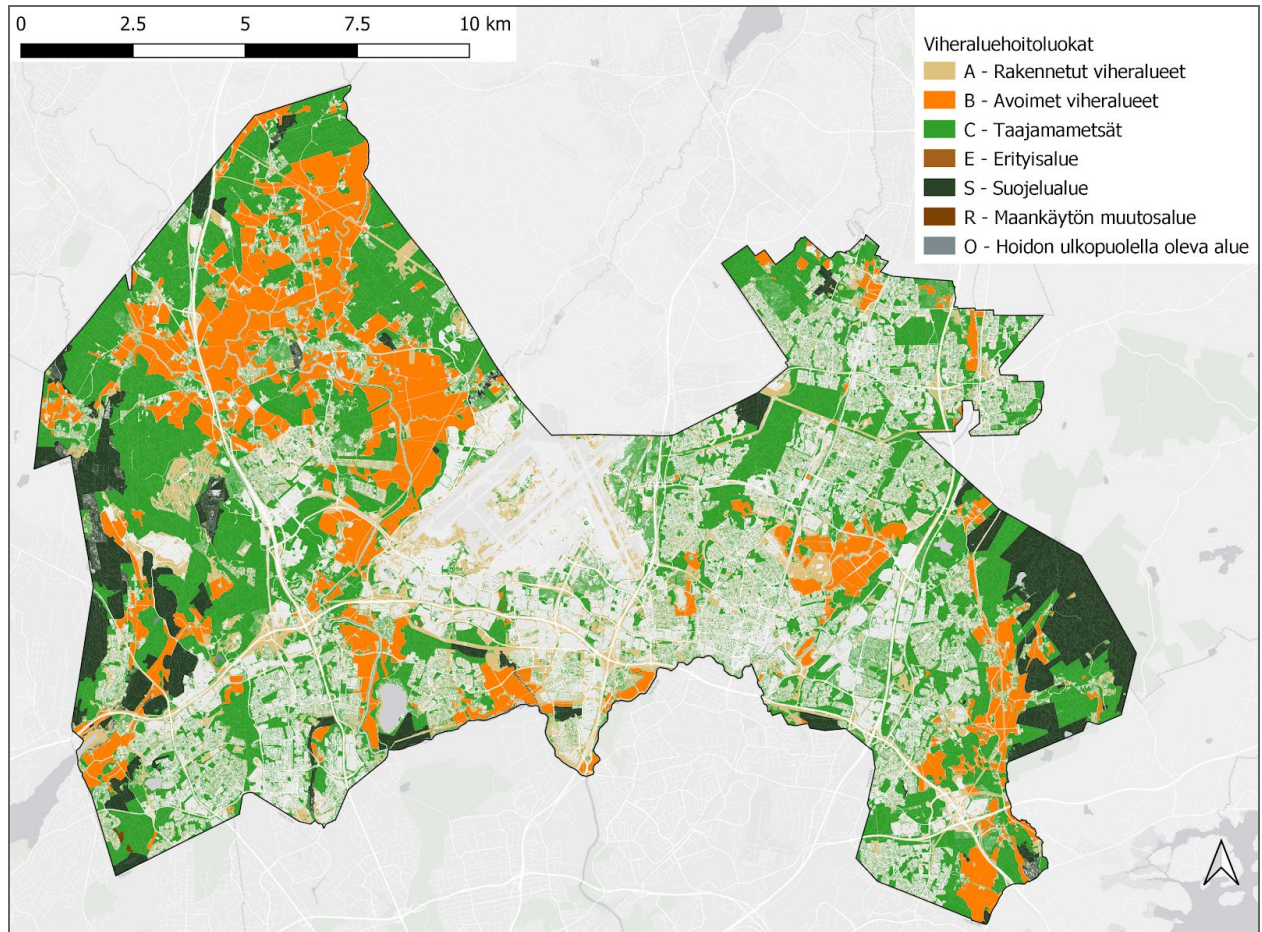
Taulukko 16. Tulosaineiston pinta-alan jakaantuminen ABC-hoitoluokkiin Vantaalla.

Hoitoluokka	Pinta-ala, ha	Pinta-ala osuus, %
A - Rakennetut viheralueet	2 453	15
B - Avoimet viheralueet	3 270	20
C - Taajamametsät	9 105	55
S - Suojelualueet	1 752	11
Muut (E, O, R)	11	0
Yhteensä	16 591	100

Taulukko 17. Vantaan metsäalueiden pinta-alat tietolähteittäin.

Tietolähde	Pinta-ala, ha	Pinta-ala osuus, %
Kaupungin kuviotiedot	3 047	28
SMK kuviotiedot	4 567	42
VMI hila-aineisto	1 495	14
SMPA puustoluokat	1 748	16
Yhteensä	10 857	100

Kuva 4. Viheraluehoitoluokkien sijoittuminen Vantaalla.



5.4.2. Hiilivarastot ja -vuot

Vantaan kaupungin rajojen sisällä olevien viheralueiden kokonaishiilivarasto vuonna 2019 oli 7 790 800 tCO₂. Tästä noin 2 580 900 tCO₂ (33%) on sitoutuneena kasvillisuuden ja 5 209 900 tCO₂ (67%) maaperään. Vuotuinen hiilivuo kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastoihin oli yhteensä noin 133 400 tCO₂/v positiivinen. Tästä noin 107 800 tCO₂ (81%) sitoutui kasvillisuuteen ja noin 25 600 tCO₂ (19%) varastoitui maaperään.

Tulokset korostavat metsien merkittävää roolia sekä hiilivarastoina että hiilinieluinä. Arvioiduista kasvillisuuden hiilivarastoista lähes 100% on metsäalueilla jakautuneena taajamametsiin ja suojelualueille. Maaperän hiilivarastoista noin 81% sijaitsee samoilla alueilla. Hiilinielujen osalta metsäalueiden merkitys on vielä suurempi, toki osittain johtuen laskentateknisestä oletuksesta että luokilla A ja B ei vuotuista muutosta kasvillisuuden määrässä tapahdu. Maaperän osalta A ja B luokat ovat pienimuotoinen päästölähde, kun taas taajamametsien ja suojelualueiden maaperän hiilivarastot

kasvat vuosittain. Hiilivarastojen ja -vuon jakaantuminen ABC-luokkiin on esitetty taulukossa 18 ja taulukossa 19.

Taulukko 18. Vantaan hiilivarastot ABC-luokittain vuonna 2019.

Hoitoluokka	Kasvillisuuden hiilivarasto		Maaperän hiilivarasto	
	tCO ₂	tCO ₂ /ha	tCO ₂	tCO ₂ /ha
A - Rakennetut viheralueet	9 139	4	338 220	138
B - Avoimet viheralueet	40	0	626 750	192
C - Taajamametsät	2 018 078	222	3 127 728	344
S - Suojelualueet	551 399	315	1 110 020	633
Muut (E, O, R)	2 227	206	7 192	667
Yhteensä	2 580 882	156	5 209 911	314

Taulukko 19. Vantaan hiilivuot ABC-luokittain vuonna 2019¹⁰.

Hoitoluokka	Kasvillisuuden hiilivuo		Maaperän hiilivuo	
	tCO ₂	tCO ₂ /ha/v	tCO ₂	tCO ₂ /ha/v
A - Rakennetut viheralueet	0	0.0	1 780	0.7
B - Avoimet viheralueet	0	0.0	870	0.3
C - Taajamametsät	-88 523	-9.7	-18 414	-2.0
S - Suojelualueet	-19 204	-11.0	-9 796	-5.6
Muut (E, O, R)	-101	-9.3	-16	-1.5
Yhteensä	-107 827	-6.5	-25 577	-1.5

¹⁰ Negatiiviset arvot edustavat hiilivuota pois ilmakehästä, eli kasvillisuuden tai maaperän hiilivaraston kasvua.

6. TULOSTEN ANALYSOINTI

6.1. Kaupunkien väliset erot ja niiden syyt

6.1.1. Kokonaistulokset

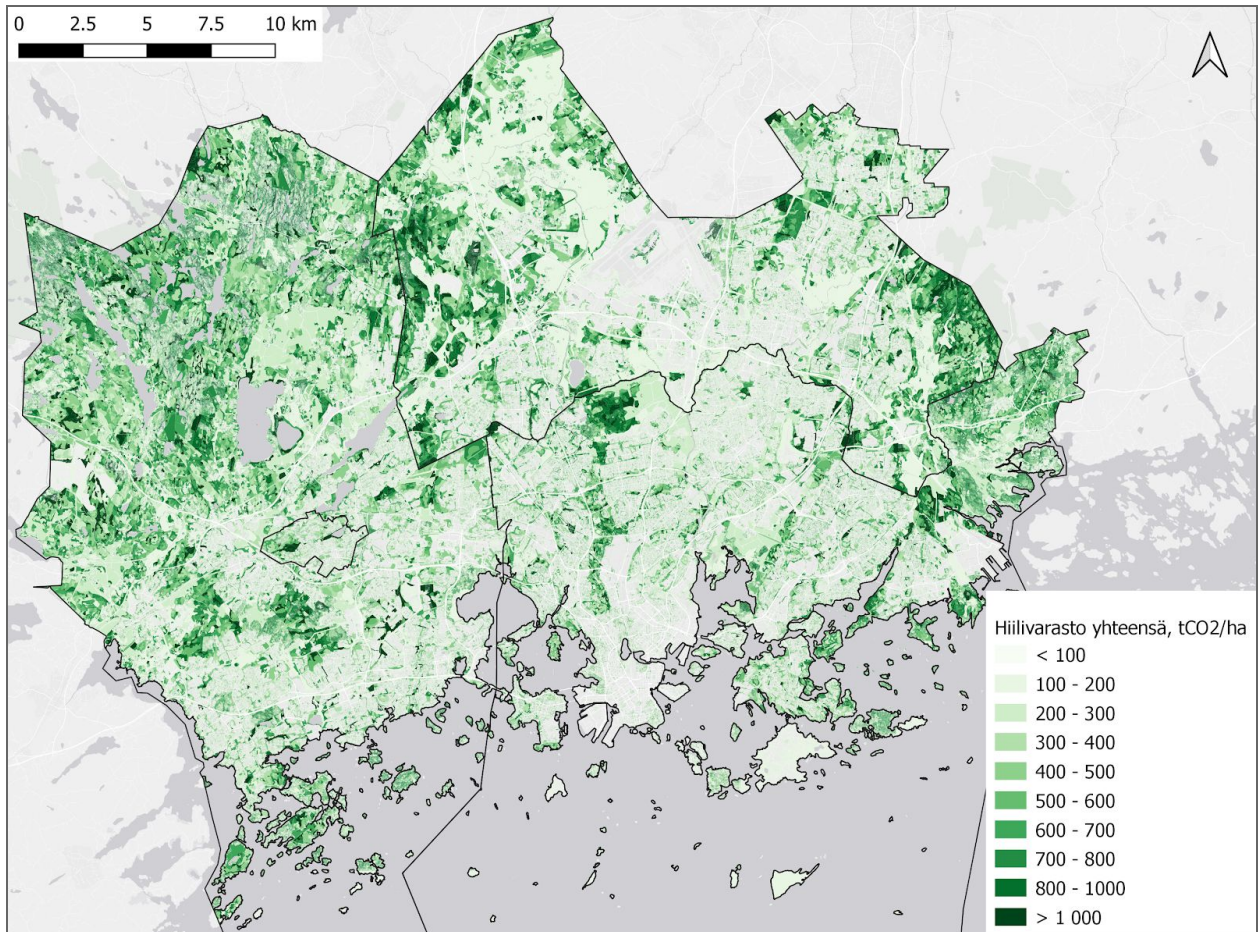
Espoon, Helsingin, Kauniaisen ja Vantaan viheralueiden hiilivarastojen ja hiilivuon kokonaiserot selittyvät pitkälti eri kaupunkien tulosaineistojen kokonaispinta-aloilla. Tästä syystä vertailu on syytä tehdä hehtaarikohtaisten tulosten välillä. Kuten taulukosta 20 nähdään, erot kaupunkien välillä keskimääräisissä viheralueiden hiilivarastoissa ja -vuossa ovat suhteellisen pieniä, etenkin kasvillisuuden osalta. Maaperän osalta vaihtelu keskimääräisen varaston koossa on suurempaa, johtuen pitkälti turvemaiden vaihtelevasta osuudesta kaupunkien välillä. Turvemaiden hiilivarastot ovat monikymmenkertaiset kivennäismaihin verrattuna.

Taulukko 20. Keskimääräiset hiilivarastot ja -vuot sekä turvemaan pinta-alan osuus tulosaineistosta kaupungeittain.

Kaupunki	Kasvillisuus		Maaperä		
	varasto, tCO ₂ /ha	vuo, tCO ₂ /ha/v	varasto, tCO ₂ /ha	vuo, tCO ₂ /ha/v	Turvemaan osuus, %
Espoo	181	-7.6	349	-1.8	5
Helsinki	158	-6.3	292	-1.4	3
Kauniainen	161	-7.5	401	-1.3	9
Vantaa	156	-6.5	314	-1.5	3
Kaikki yhteensä	167	-6.9	325	-1.6	4

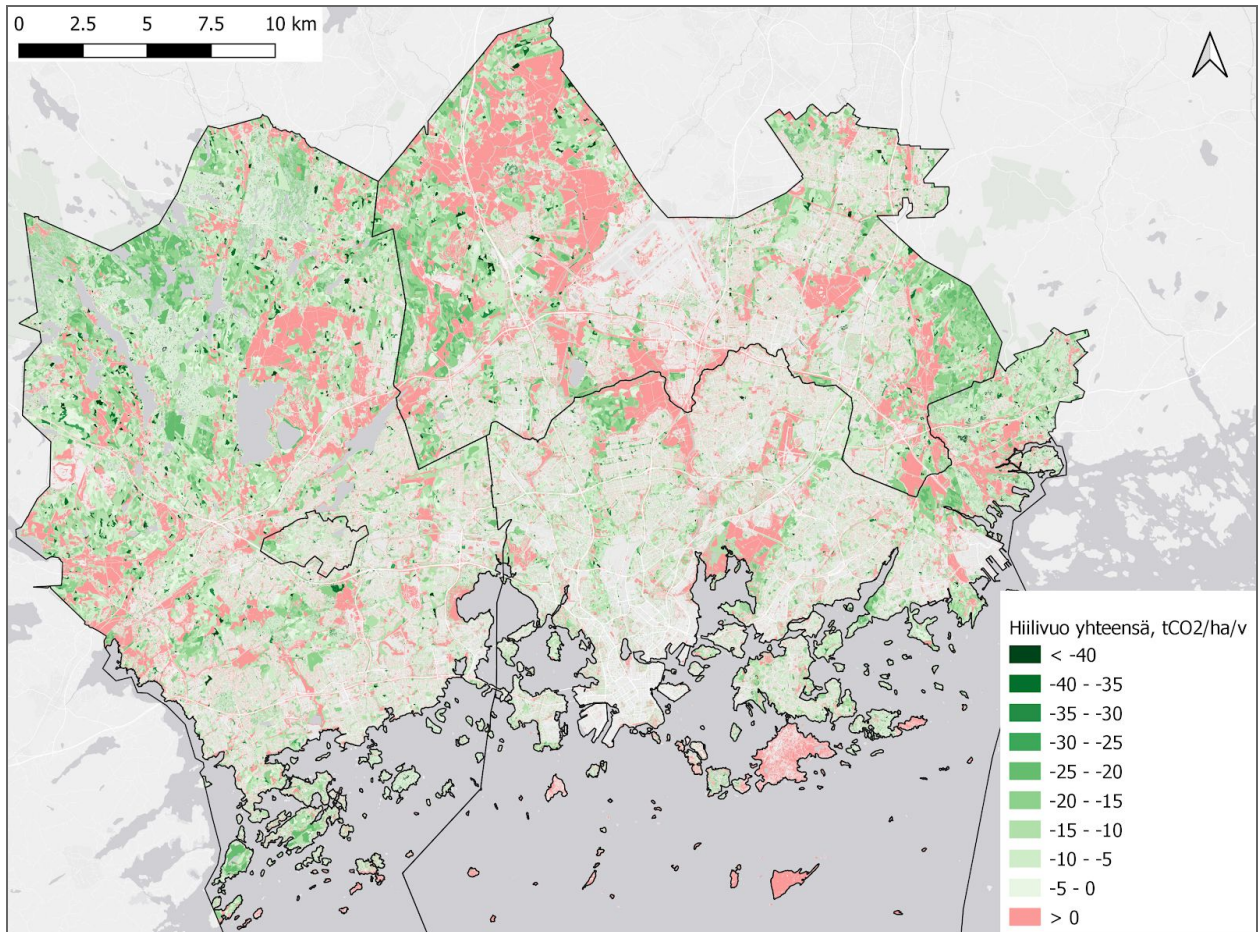
Kuvassa 5 on esitetty tarkastelualueen kokonaishiilivarastot kartalla sisältäen sekä kasvillisuuden että maaperän. Metsäalueet erottuvat aineistossa selvästi tummemman vihreän sävyillä. Esimerkiksi Helsingin keskuspuisto erottuu selvänä pohjois-etelä-suuntaisena kaistaleena tarkastelualueen keskivaiheilla. Myös Vantaan itäreunalla oleva Sipoonkorpi sekä Espoon pohjoisosien metsäalueet erottuvat kartalla selvästi.

Kuva 5. Kokonaishiilivarastojen sijoittuminen tarkastelualueella.



Kuvassa 6 on esitetty tarkastelualueen kokonaishiilivuot sisältäen sekä kasvillisuuden että maaperän. Kartalla erottuvat selvästi rakennetut ja avoimet viheralueet (hoitoluokat A ja B) haalean punaisella sävyllä. Tämä aiheutuu siitä että näillä hoitoluokilla kasvillisuuden oletetaan pysyvän vuositasaalla saman suuruisena, kun taas maaperän hiilivarastot ovat hienoisessa laskussa. Tämä johtaa kokonaishiilivuon osalta nettopäästöihin (kartalla arvo suurempi kuin nolla). Metsäalueilla (hoitoluokat C ja S) kasvillisuuden määrä kasvaa vuosittain, mikä puolestaan nähdään hiilivuon osalta hiilinieluna (kartalla negatiivinen arvo). Kuten hiilivarastojen kohdalla, myös hiilivuon alueellisessa jakaantumisessa korostuu metsäalueiden sijoittuminen tarkastelualueen sisällä.

Kuva 6. Kokonaishiilivuon jakaantuminen tarkastelualueella.



6.1.2. Kasvillisuuden hiilivarastot

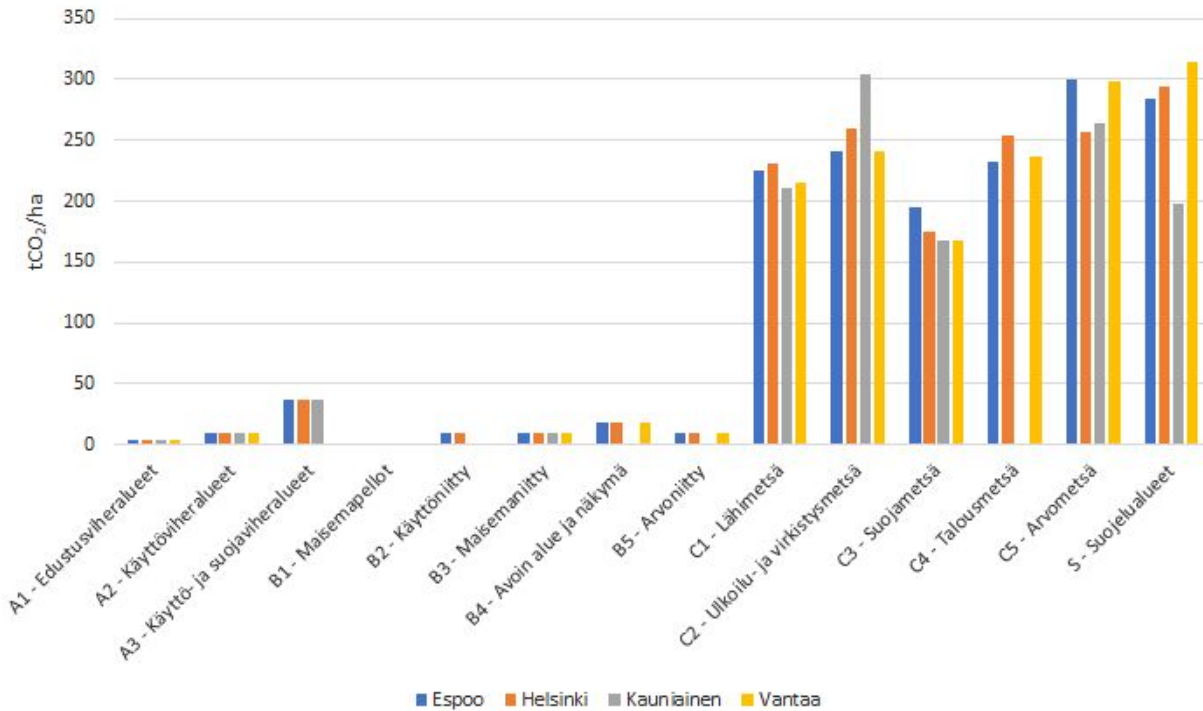
Kaupunkien väliset erot kasvillisuuden hiilivarastoissa muodostuvat pääasiassa metsäalueilta, joille muista hoitoluokista poiketen muodostuu laskennasta eroja myös hoitoluokkien sisälle johtuen metsien erilaisesta rakenteesta. Tämä kuvastaa metsien nykytilan eroa; esimerkiksi nuoremmilla metsäalueilla hiilivarasto on yleisesti alhaisempi, mutta vuotuinen hiilivuo korkeampi kuin vanhemmissa metsissä. Silti molemmat saattavat hoitoluokituksessa olla esimerkiksi C₄-luokan sisällä. Lisäksi eroa syntyy kaupunkikohtaisesta pinta-alajakaumasta hoitoluokkien välillä; esimerkiksi luokalla A₃ (käyttö- ja suojaviheralueet) on suurempi hiilivarasto-oletus kuin luokalla A₁ (edustusviheralueet), jolloin A-luokan sisäinen jako näiden luokkien välillä vaikuttaa olennaisesti luokan keskimääräiseen hiilivarastoon.

Keskimääräiset kasvillisuuden hiilivarastot hoitoluokittain ja kaupungeittain on esitetty kuvaajassa 1. Kuvaajassa 2 on puolestaan pinta-alojen suhteellinen jakautuminen eri hoitoluokkiin kaupungeittain. Kauniaisien tapauksessa keskimääräistä korkeammat kasvillisuuden hiilivarastot selittyvät pitkälti otannan koolla; Kauniaisissa C₂-luokka kattaa vain 0.3 ha (yksi kuvio). Kyseinen alue on keskimääräistä

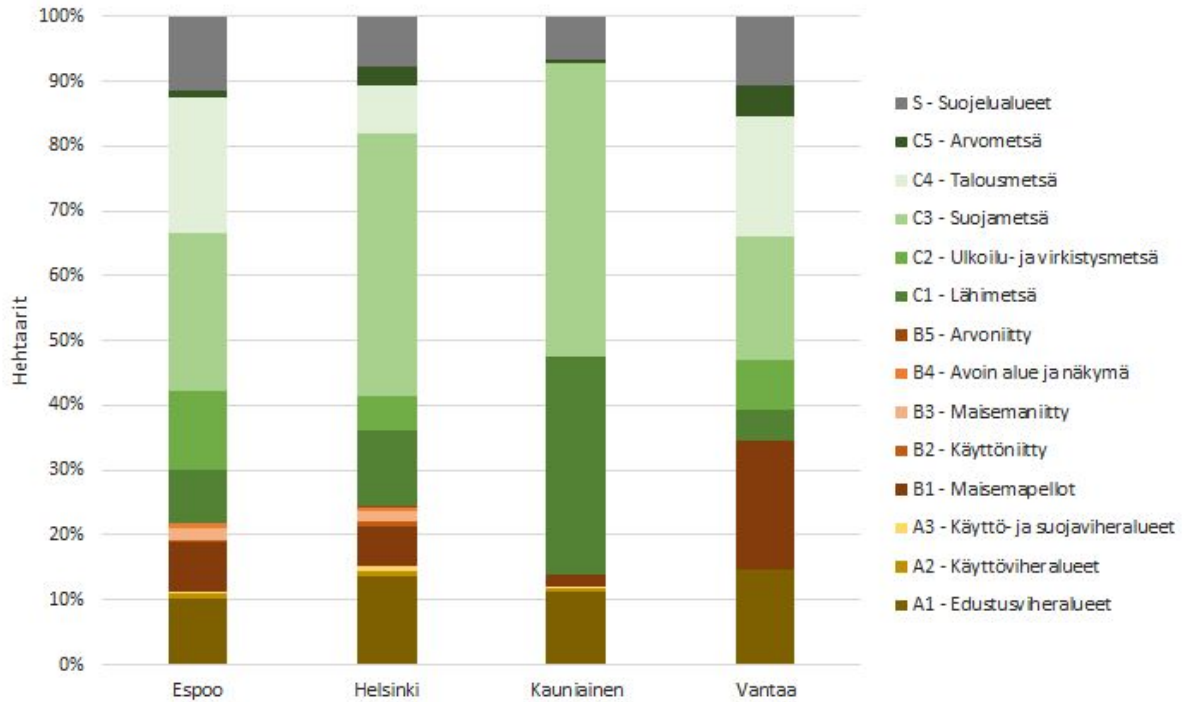
puustoisempi metsäalue mikä johtaa verrattain suurin keskimääräisiin hiilivarastoihin. Suojelualueilla Kauniaisilla puolestaan on selvästi pienempi keskimääräinen kasvillisuuden hiilivarasto, mikä heijastaa Kauniaisien suojelualueiden pienempää puuston määrää ja suojelualueiden käyttömuotoja. Toki Kauniaisissa myös suojelualueiden laajuus, n. 25 ha, on huomattavasti pienempi kuin muilla kunnilla, joissa suojelualueita on lähes 1 000 ha tai enemmän.

Kasvillisuuden hiilivarastojen muutokset koskevat vain metsäalueita, sillä muiden alueiden kasvillisuuden hiilivarastoissa ei oletettu tapahtuvan merkittävää vuotuista muutosta. Metsäalueilla kasvillisuuden hiilivaraston muutos on sidoksissa puuston biomassan vuotuisen kasvuun. Keskimääräisesti nämä metsien "hiilinielut" ovat verrattain samaa tasoa eri kaupunkien välillä. Poikkeuksena Kauniaisien hoitoluokka C2 (yksittäinen 0,3 ha kuvio), jolla kasvu on huomattavasti keskimääräistä pääkaupunkiseudun metsien kasvua korkeampi (Kuvaaja 3).

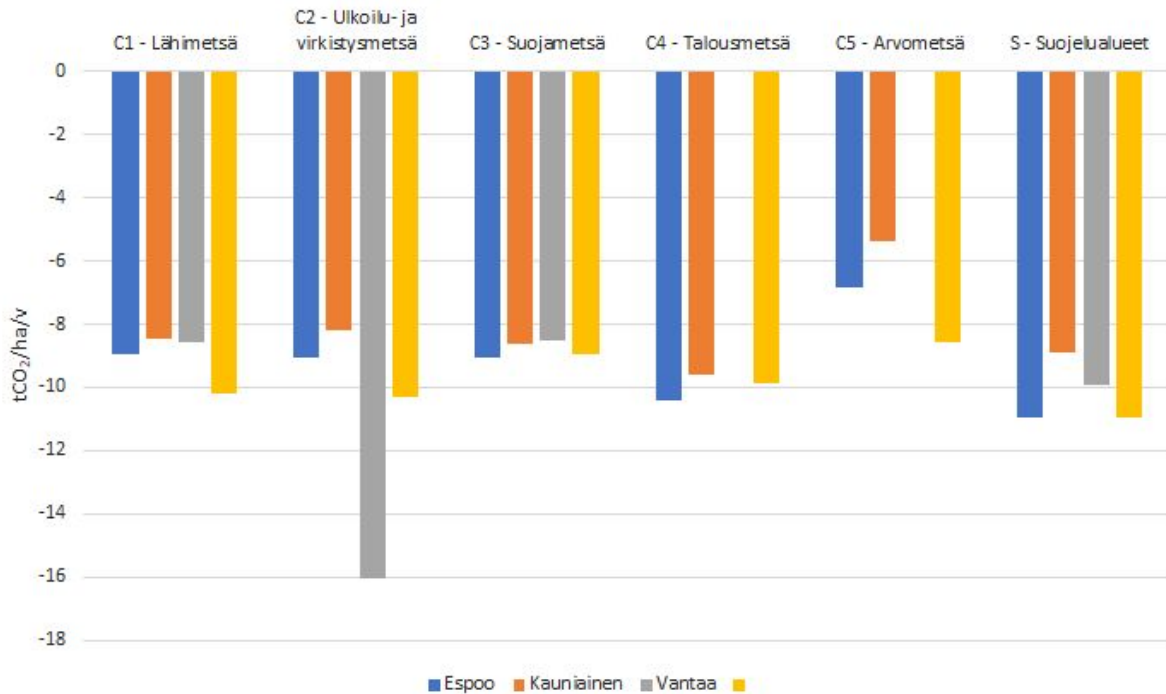
Kuvaaja 1. Keskimääräinen kasvillisuuden hiilivarasto hoitoluokittain eri kaupungeissa.



Kuvaaja 2. Hoituluokkien pinta-alaosuudet eri kaupungeissa.



Kuvaaja 3. Keskimääräinen metsäalueiden kasvillisuuden vuotuinen hiilinielu hoituluokittain¹¹.



¹¹ Negatiiviset arvot tarkoittavat "negatiivisia päästöjä", eli hiilen sidontaa pois ilmakehästä.

6.1.3. Maaperän hiilivarastot

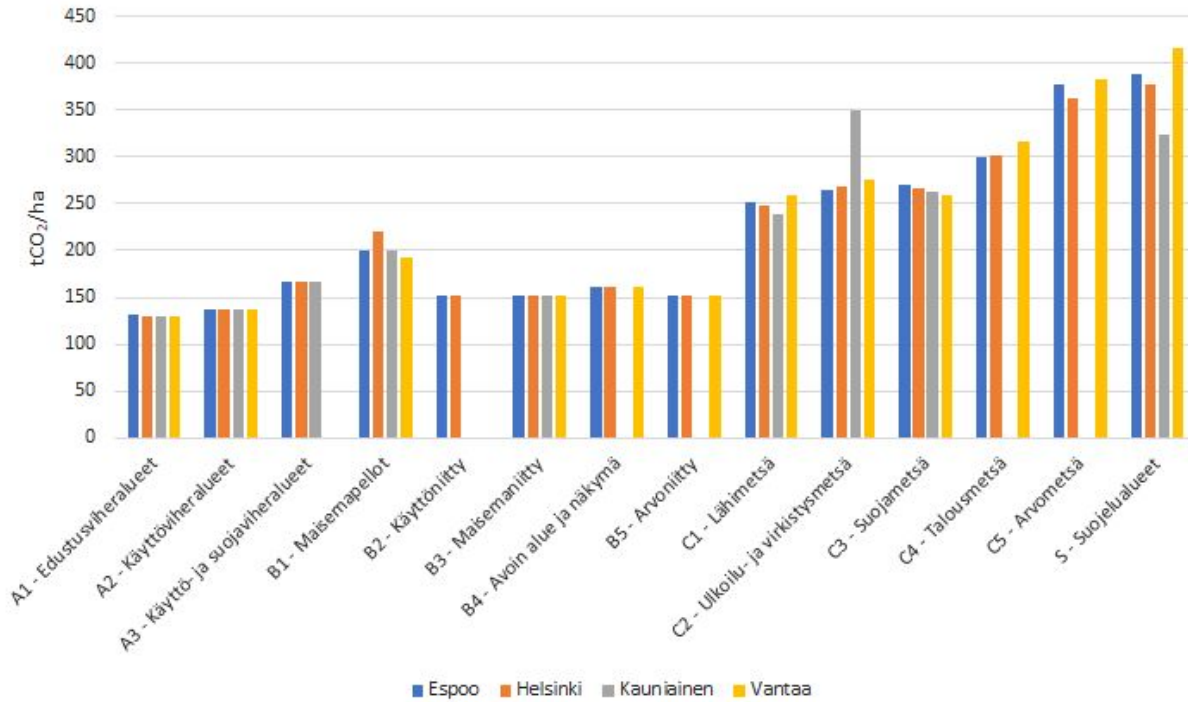
Maaperän osalta tarkastelussa on syytä eritellä turvemaat ja kivennäismaat. Turvemaille maaperän hiilivarastot ovat moninkertaiset kivennäismaihin verrattuna, mutta turvemaakuviokohtaista tietoa turvekerroksen paksuudesta ei ole saatavilla, mikä estää turvemaiden hiilivarastojen koon ja vuotuisten muutosten laskemisen. Tästä syystä kaikille metsäalueiden turvemaille on käytetty keskimääräistä Suomen metsäturvemaiden hiilivarastoa, noin 1 954 tCO₂/ha metsäalueilla ja noin 609 tCO₂/ha muilla alueilla.

Kivennäismailla erot kaupunkien välillä noudattelevat pitkälti samaa logiikkaa kuin kasvillisuuden varastot, eli heijastavat hoitoluokittaisia keskimääräisiä varastoja ja näiden luokkien kaupunkikohtaista pinta-ala jakaumaa. Nyrkkisääntönä korkea kasvillisuuden hiilivarasto (kts. aiempi kuvaaja) ylläpitää myös korkeaa maaperän hiilivarastoa. Metsämaiden osalta eroa syntyy hoitoluokkien välille myös hoitoluokkakohtaisista metsänkäsittelyoletuksista ja etenkin hakkuutähteiden keräysosuuksista (osio 3.3.2, Taulukko 2). Rakennettujen ja avoimien viheralueiden osalta käytettiin kaikille kaupungeille samoja hoitoluokkakohtaisia oletusarvoja, paitsi B1-luokan kohdalla, jossa kaupunkien väliset erot syntyvät eroista viljelykasveissa sekä tuontoeläinmäärissä (kts. osio 4.2.2). Keskimääräiset maaperän hiilivarastot kivennäismailla kaupungeittain on esitetty kuvaajassa 4.

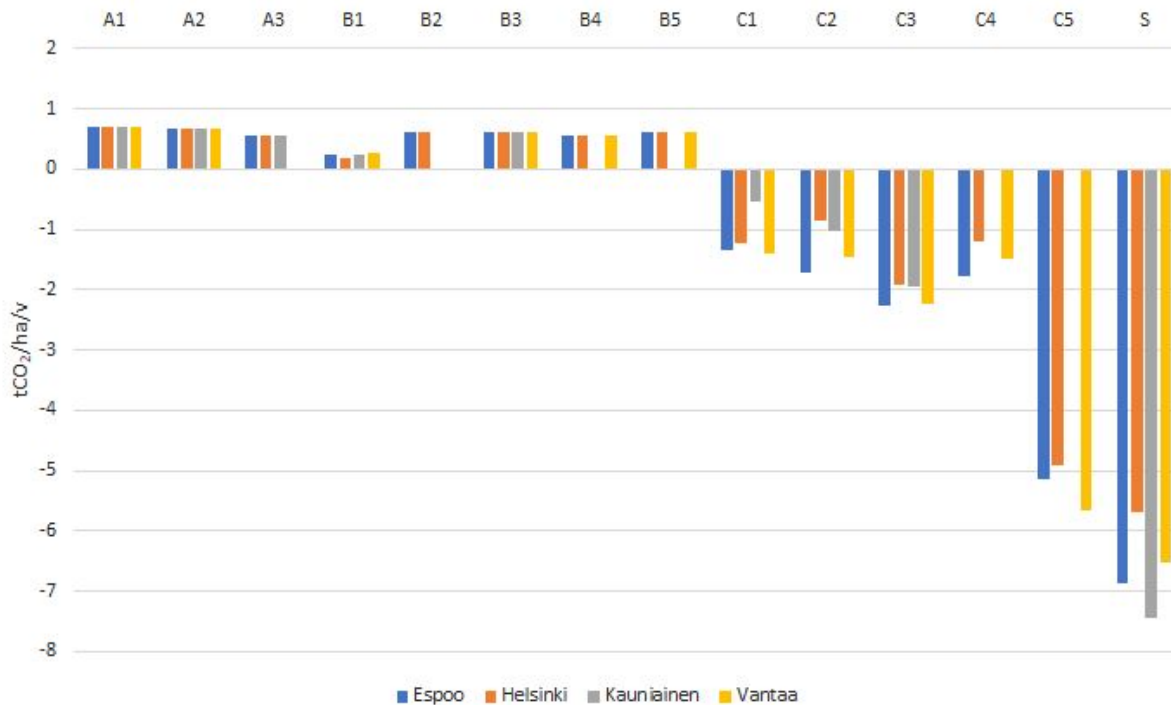
Maaperän hiilivarastojen muutosten osalta erottelu kivennäis- ja turvemaihin on oleellinen. Koska maaperän hiilivarastojen ja hiilivaraston muutoksien laskemiseen käytetty Yasso15-malli ei sovellu turvemaille, otettiin turvemaiden maaperän päästöoletukset kirjallisuudesta (kts. osiot. 4.2.2 ja 4.3.2). Kivennäismaiden kohdalla maaperän hiilivarastojen muutos laskettiin Yasso15-mallilla, jolloin maaperän hiilivaraston dynamiikassa saadaan todenmukaisemmin huomioitua maankäyttö ja maanpäällinen kasvillisuus.

Keskimääräisessä maaperän hiilivaraston muutoksessa ei tuloksissa nähdä merkittävää eroa kaupunkien välillä. Kaikilla kaupungeilla rakennettujen ja avoimien viheralueiden (A- ja B-luokat) maaperät toimivat hienoisena päästölähteenä, johtuen vaiheittaisesta siirtymästä kohti uutta matalampaa maaperän hiilivaraston tasapainotilaa vallitsevan maankäytön ja kasvillisuuden alaisuudessa (kts. 4.2.2). Metsäalueiden osalta maaperän hiilivaraston muutos on koko tarkastelualueella kautta linjan päinvastainen, eli metsien maaperään sitoutuu vuodessa enemmän hiiltä kuin sieltä hajoamisen kautta vapautuu. Erityisen suurta maaperän hiilivarastojen kasvu on hoitoluokilla C5 ja S, joilla puuston määrän ja kehitysvaiheen johdosta maaperään siirtyy karikkeen ja luonnollisen poistuman kautta enemmän hiiltä kuin muilla hoitoluokilla. Keskimääräiset kivennäismaiden maaperän hiilivaraston vuotuiset muutokset on esitetty kuvaajassa 5.

Kuvaaja 4. Keskimääräinen maaperän hiilivarasto kivennäismailla hoitoluokittain.



Kuvaaja 5. Keskimääräinen kivennäismaiden maaperän hiilivaraston muutos hoitoluokittain¹²



¹² Negatiiviset arvot tarkoittavat "negatiivisia päästöjä", eli hiilen sidontaa pois ilmakehästä.

6.2. Muutos vuodesta 2011

6.2.1. Tulosaineistojen vertailu

Muutos vuodesta 2011 perustuu vertailuun ILKKA-hankkeen hiilitaseselvityksen tuloksiin vuodelta 2014. ILKKA-hankkeen tarkasteluvuosi oli 2011. ILKKA-hankkeessa mukana oli nyt tehdyn selvityksen kaupungeista kaikki paitsi Kauniainen, joten muutosanalyysia Kauniaisen osalta ei voitu tehdä. Tässä osiossa nyt tehdyn selvityksen tuloksiin viitataan tarkasteluvuoden mukaisesti "2019", ja ILKKA-hankkeen tuloksiin vastaavasti tarkasteluvuoden mukaan "2011".

Tulosaineiston kokonaispinta-alat kasvoivat kaikilla kaupungeilla merkittävästi uusien lähdeaineistojen ja erityisesti seudullisen maanpeiteaineiston (SMPA) johdosta. Tämä siitä huolimatta, että tarkastelualue rajattiin nyt tehdystä selvityksestä kuntarajoihin, toisin kuin ILKKA-hankkeessa, jossa huomioitiin myös kaupungin omistamat maat kuntarajojen ulkopuolella. Pinta-alan kasvun johdosta myös tulosaineiston kokonaishiilivarastot ja -nielut kasvoivat merkittävästi. Pinta-alojen kasvu ei kuitenkaan yksinään kerro koko totuutta, sillä myös keskimääräisissä hehtaarikohtaisissa arvoissa tapahtui muutosta etenkin kasvillisuuden osalta; Espoon ja Helsingin osalta alaspäin (-5% ja -14%), Vantaan kohdalla hieman ylöspäin (+1%). Maaperän osalta pinta-alojen kasvu on läheisemmässä suhteessa pinta-alan muutoksen kanssa etenkin Espoon ja Vantaan kohdalla. Helsingissä myös maaperän hehtaarikohtainen varasto tippui noin 10%. Tarkastelualueen pinta-alat sekä hiilivarastojen koot ja niiden suhteellinen muutos kaupungeittain vuosina 2011 ja 2019 on esitetty taulukossa 21.

Taulukko 21. Hiilivarastot ja suhteellinen muutos kaupungeittain vuosina 2011 ja 2019.

	Vuosi	Espoo	%	Helsinki	%	Vantaa	%
Tarkastelualueen pinta-ala, ha	2011	19 509		8 971		13 162	
	2019	23 698	+21	12 449	+39	16 591	+26
Kasvillisuuden hiilivarasto, tCO ₂	2011	3 728 179		1 663 772		2 023 894	
	2019	4 279 413	+15	1 970 784	+18	2 580 882	+28
Maaperän hiilivarasto, tCO ₂	2011	6 820 854		2 905 654		4 201 831	
	2019	8 261 062	+21	3 639 825	+25	5 209 911	+24
Keskimääräinen kasvillisuuden hiilivarasto, tCO ₂ /ha	2011	191		185		154	
	2019	181	-5	158	-14	156	+1
Keskimääräinen maaperän hiilivarasto, tCO ₂ /ha	2011	350		324		319	
	2019	349	0	292	-10	314	-2

Pinta-alojen kokonaismuutosta enemmän keskimääräisten varastojen muutokseen vaikuttaa hoitoluokkakohtaisten pinta-alojen muutos. Hoitoluokkakohtaiset pinta-alojen muutokset heijastavat osaltaan muutosta käytetyissä lähdeaineistoissa. ILKKA-hankkeessa käytettävissä oli kaupungin kuviotietojen, viheraluehoitoluokituksen sekä VMI hila-aineistojen lisäksi koko EU:n kattava Corine 2006-maankäyttöluokitus, jonka avulla hoitoluokat asetettiin alueille, joille sitä ei kaupungin aineistoissa valmiiksi ollut. Nyt tehdyssä selvityksessä Corine 2006-aineisto korvattiin pitkälti seudullisella maanpeiteaineistolla (SMPA). Lisäksi kuviotietoja täydennettiin sittemmin saataville tulleilla avoimilla ykstyismetsien metsävaratiedoilla Suomen Metsäkeskukselta (SMK) (kts. osio 3. 'Lähdeaineistot ja laskennan rajaus').

Pinta-alojen muutos hoitoluokittain kuvastaa eroja lähdeaineistoissa. Kaikilla kaupungeilla pinta-alojen kasvu tapahtui A- ja C-hoitoluokkien pinta-aloissa (Taulukko 22). Sen sijaan B-hoitoluokan kokonaisalat sekä niiden suhteellinen osuus aineistossa tippuivat merkittävästi. Tämä johtuu muutoksista lähdeaineistoissa ja niiden oletusluokituksessa. Pinta-alaosuus siirtymä A- ja B-hoitoluokkien välillä ei kuitenkaan vaikuta merkittävästi hiilivarastojen suhteelliseen muutokseen sillä keskimääräiset hiilivarastot eivät näillä hoituluokilla eroa kovin merkittävästi tulosaineiston kokonaisuuden kannalta.

Taulukko 22. Suhteellinen pinta-ala muutos hoitoluokittain tarkasteluvuosien välillä.

Hoitoluokka	Espoo	Helsinki	Vantaa
A - Rakennetut viheralueet	+72%	+28%	+86%
B - Avoimet viheralueet	-39%	-42%	-29%
C - Taajamametsät	+33%	+65%	+47%

Kasvillisuuden ja maaperän keskimääräisten hiilivarastojen muutoksen osalta Helsinki erottuu muita kaupunkeja suuremmalla pudotuksella. Tämän muutoksen syynä on pitkälti SMPA-aineiston tuoma lisäys metsäpinta-alaan. Näillä alueilla hiilivarastot ovat keskimäärin alhaisemmat kuin muilla metsäalueilla. Tämä johtaa siihen, että vaikka tulosaineiston metsäpinta-ala etenkin Helsingissä kasvoi merkittävästi, suurilta osin SMPA-aineiston ansiosta (ilman SMPA aineistoa metsämaan kasvu Helsingissä vain 15% vs 65%), keskimääräinen metsämaiden hiilivarasto on tällöin alhaisempi. Tämä ei kuitenkaan kerro koko totuutta, sillä metsäalueilla keskimääräinen hiilivarasto on silti muita hoitoluokkia suurempi. Tällöin pelkän metsämaan osuuden kasvun pitäisi nostaa keskimääräisen hiilivaraston määrää.

Hiilivuon osalta tarkasteluvuosien välille syntyy merkittäviä eroja. Kasvillisuuden hiilivuot (koskevat vain metsämaita, koska muilla hoituluokilla merkittävää vuotuista muutosta kasvillisuudessa ei tapahdu) tulivat kaikilla vertailtavilla kaupungeilla selvästi alaspäin (yli 30%). Samaan aikaan maaperän hiilivuot kaksinkertaistuivat Espoossa ja Helsingissä, Vantaalla melkein kolminkertaistuivat. Pinta-alaan suhteutettuna kasvillisuuden vuotuisen hiilivuon tiputus on vielä merkittävämpi, lähes 50% (koska kokonaisvuo tippui vaikka pinta-ala kasvoi). Maaperän osalta myös keskimääräinen vuotuinen hiilivuo

kasvoi merkittävästi (60-100%), pinta-alan kasvusta huolimatta. Hiilivuot ja suhteellinen muutos tarkasteluvuosien välillä on esitetty taulukossa 23.

Taulukko 23. Vuotuiset hiilivuot ja suhteellinen muutos kaupungeittain vuosina 2011 ja 2019

	Vuosi	Espoo	%	Helsinki	%	Vantaa	%
Kasvillisuuden hiilivuo, tCO ₂ /v	2011	273 834		121 517		158 118	
	2019	178 654	-35	78 474	-35	107 827	-32
Maaperän hiilivuo, tCO ₂ /v	2011	22 425		8 265		8 763	
	2019	42 792	+91	17 119	+107	25 577	+192
Keskimääräinen kasvillisuuden hiilivuo, tCO ₂ /ha/v	2011	14.0		13.5		12.0	
	2019	7.5	-46	6.3	-53	6.5	-46
Keskimääräinen maaperän hiilivuo, tCO ₂ /ha/v	2011	1.1		0.9		0.7	
	2019	1.8	+64	1.4	+56	1.5	+114

6.2.2. Johtopäätökset vertailusta ILKKA-aineistoon

Kuten aiemmassa osiossa on esitetty, ILKKA-hankkeen (tarkasteluvuosi 2011) ja nyt tehdyn selvityksen (tarkasteluvuosi 2019) viheralueiden hiilivarastot ja etenkin hiilivuot eroavat tarkasteluvuosien välillä. Osa tästä muutoksesta selittyy tulosaineistojen pinta-alojen muutoksella (tarkastelualueen muutos), osa käytettyjen laskentamenetelmien ja -mallien sekä oletuksien muutoksella, ja osa puolestaan maankäytön todellisella muutoksella.

Selvityksien välillä on merkittäviä eroja lähdeaineistoissa ja näiden tarkkuudessa, jotka puolestaan vaikuttavat tulosaineistoihin sisällytettäviin alueisiin ja kokonaispinta-alaan. Nyt tehdyssä selvityksessä merkittävät uudet aineistot olivat Suomen Metsäkeskuksen (SMK) yksityismetsien kuvioittainen metsävaratieto sekä seudullinen maanpeiteaineisto (SMPA). Yleisellä tasolla SMK-aineistolla saatiin tarkennettua metsäalueiden analyysiä, kun taas SMPA:n avulla saatiin laajennettua tarkastelualueita, sekä saavutettiin korkea spatiaalinen tarkkuus (yksittäisten kadunvarsi- ja pihapuiden tasolle). Nämä lisäykset korvasivat suhteellisesti karkeamman Corine-maankäyttöluokitusaineiston.

Nyt tehdyssä selvityksessä päivitettiin myös tulosaineiston laskentamenetelmiä ja -malleja. Metsäalueiden varastot sekä niiden vuotuinen muutos laskettiin uusimmalla Suomen Luonnonvarakeskuksen julkaisemilla Motti-kasvumalleilla. Myös kivennäismaiden maaperän hiilivarastot ja niiden muutos laskettiin uusimmalla Yasso-malliversiolla, Yasso15. ILKKA-hankkeessa käytettiin silloisia parhaita saatavilla olevia malleja; metsänkasvua mallinnettiin MELA2002-malleilla ja

maaperää Yassoo7-malliversiolla. Myös biomassan hiilipitoisuuden oletusarvoa tarkennettiin hieman, (50%:sta 47%:iin) käytettyjen oletusten yhdenmukaistamiseksi yleisesti käytettyihin IPCC oletusarvoihin.

Yllä esitetyt lähdeaineistoja ja tulosaineistojen laskentamenetelmiä koskevat erot selittävät osan tarkasteluvuosien välillä havaitusta muutoksesta, esimerkiksi keskimääräissä hiilivarastoissa maaperän osalta Espoossa ja Vantaalla. Hiilivuon osalta muutokset ovat kuitenkin niin suuria, että kasvumallien ja maaperämallin päivitys, ja etenkin näiden erot ikääntyvien metsien kasvun mallinnuksessa korostuvat tuloksissa ja kuntametsien kontekstissa.

Osa havaituista muutoksista heijastelee kuitenkin myös todellisuutta. Koska metsiä ei tarkastelualueilla juurikaan uudisteta, metsien kasvu väistämättäkin taantuu puuston ikääntyessä, mikä johtaa myös laskevaan vuotaiseen hiilinieluun. Toki tällöinkin kasvillisuuden hiilivarastot kasvavat, mutta hidastuvasti. Maaperän hiilivuot ja niiden muutos tarkasteluvuosien välillä heijastelee myös metsien ikääntymisen dynamiikkaa. Ikääntyvän puuston kasvava luonnollinen poistuma ja karikesadanta aiheuttavat kasvavan hiilisyötteen maaperään johtaen kiihtyvään maaperän hiilivuon kasvuun. Maankäytön muutoksen (eli tarkasteluvuosien välillä tietyn alueen siirtyminen uuteen maankäyttömuotoon) vaikutusta ei saatavilla olevien aineistojen ja hankerajauksen puitteissa analysoitu tarkemmin.

Näiden kahden tulosaineiston vertailu ja havaitut erot, etenkin kasvillisuuden ja maaperän hiilinieluissa korostavat laskentamenetelmien, oletuksien sekä käytettyjen mallien vaikutusta, sillä tulosaineistojen erot eivät yksinään selity todellisella muutoksella. Etenkin vertailevassa ja seurantatyypissä laskennassa onkin syytä jatkossa arvioida mallien ja oletusten päivityksestä saavutettavat hyödyt suhteessa historiallisten tulosaineistojen vertailukelpoisuuteen sekä maankäytön todellisten muutoksien ja sen aiheuttamien hiilivaikutuksen arvioimiseen.

Maankäytön muutoksen havainnoimiseksi on olennaista jatkossa seurata alueiden maankäyttöluokituksen (hoitoluokitus) siirtymää, esim. hiiliarvojen puolesta merkittävien taajamametsäalueiden siirtymää muihin luokkiin tai alueiden tippuminen kokonaan viheraluerajauksen ulkopuolelle (= uusien alueiden rakentaminen). Tämän muutosanalyysin kustannustehokas toteutus edellyttää jatkossa aluerajauksen ja tulosaineiston geometrioiden yhdenmukaistamista vertailuvuosien välillä.

7. TAPIO - TOIMENPIDESUOSITUKSET METSÄMAALLE

7.1. Avainasiat metsämaiden hiilivarastojen ja -nielujen hoidossa

Tässä kappaleessa annetut suositukset koskevat yhtenäisiä metsäalueita, käytännössä hoitoluokkia C₂, C₄ ja C₅, olettaen suojelualueiden (S) olevan toimenpidekielossa. Koskien hoitoluokkia C₁ ja C₃, hiililaskennan puitteissa nämä on luokiteltu osaksi hoitoluokkaa C puustosta johtuen. Käytännössä nämä hoitoluokat kuuluvat osaksi rakennettua ympäristöä, ei varsinaista metsämaata. Rakennetun ympäristön toimenpidesuosituksia käsitellään seuraavassa kappaleessa 8.

Taajamametsille on tyypillistä sovittaa yhteen erilaisten käyttäjien tavoitteita ja odotuksia. Taajamametsien kestävässä käytössä huomioidaan siten metsien taloudellinen, ekologinen ja sosiaalinen kestävyys. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen, hillinnän ja hiilen sidonnan lisäksi taajamametsissä painottuvat luonto- ja virkistysarvot. Metsiä täytyy pyrkiä hyödyntämään myös kestävällä tavalla huolehtien siitä, että metsät kasvavat hyvin ja ovat elinvoimaisia huomioiden metsiä nyt ja tulevaisuudessa uhkaavat riskit. Taajamametsissä korostuu myös turvallisuus virkistyskäytön kannalta.

Taajamametsissä ilmastonmuutos täytyy huomioida nykyisissä metsänhoidon toimenpiteissä. Tulevaisuuden metsät, jotka istutetaan nyt, tulevat kasvamaan ilmastonmuutoksen johdosta kohonneiden metsätuhoriskien alaisuudessa. Tulevaisuuden puiden kasvu ja kestävä hiilen sidonta perustuvat hyvään sopeutumiseen näissä vaihtelevissa ja muuttuvissa ympäristöoloissa. Ilmastonmuutoksen hillinnässä metsät toimivat uusiutuvan raaka-aineen ja energian lähteinä, mutta myös tärkeänä hiilen nieluna ja varastona.

Pääkaupunkiseudun metsien hiilinielu todennäköisesti pienenee tulevaisuudessa, mikä on seurausta metsien luontaisesta kehitysrytmistä. Tämä on myös nähtävissä nyt tehdyn selvityksen tuloksissa. Metsät ovat jo nykyisin varsin runsaspuustoisia, mikä on seurausta vuosikymmeniä jatkuneista huomattavasti puuston kasvua pienemmistä hakkuista. Varttuneiden ja vanhojen metsien kasvu on siten luontaisesti taantumassa. Puuston kasvun ja hiilinielun kiihdyttäminen edellyttää nykyisen puustopääomaa pienentämistä, eli hakkuita. Tällöin luodaan tilaa uudelle kasvulle. Puuston kasvu ja hiilinielu tulee heikentymään tulevaisuudessa, jos puuston määrän ja hiilivaraston annetaan jatkuvasti kasvaa. Puuston hiilinielu on suurin silloin, kun puusto on suhteellisen nuori ja elinvoimainen, hyödyntää hyvin kasvutilansa ja kasvaa nopeasti eli biomassan tuotanto on huipussaan.

Vanhoissa metsissä puuston kasvu, eli hiilen kertyminen, hidastuu, mutta maaperän ja kuolleen puuston hiilivaraston kasvu jatkuu ja jopa voimistuu ajan myötä. Vanhan metsän puustoon ja maaperään on kertynyt varastoon huomattavasti enemmän hiiltä kuin nuoreen metsään¹³. Rehevät ja ravinteikkaat kasvupaikat tuottavat enemmän maanpäällistä ja maanalaista biomassaa ja myös varastoivat enemmän hiiltä. Maanpäällisen karikkeen hajotessa osa siitä varastoituu maaperään.

¹³ Saksa, T., Repo, T., Sarkkola, S., Akujärvi, A., Repo, A., Soimakallio, S. ja Lehtonen, A. 2020. Ilmastonmuutos ja metsänhoito. Yhteenveto ilmastonmuutoksen vaikutuksista metsänhoitoon. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. Käsikirjoitus.

Hiilen varastot eivät ole ikuisia, joten niiden kehittämisessä tulee ottaa huomioon kasvun taantuminen ja varaston menetykseen kohdistuvat riskit. Hiilen määrää vähentää maankäytön muutokset, hakkuut ja luonnonpoistuma. Yleisesti voidaan todeta, että nuoret metsät ovat hyvä hiilen nielu, mutta vanhat metsät suuri hiilen varasto.

7.2. Metsien toimenpidesuosituksiset

Metsien kestävä käytön toimenpiteet löytyvät Tapion metsänhoidon suosituksista¹⁴. Metsänhoidon suositukset tarjoavat keinoja ilmastonmuutokseen sopeutumiseen. Ilmastonmuutoksen hillinnän keinoja käsitellään suositusten uudistusprosessissa. Uudet metsänhoidon suositukset julkaistaan vuonna 2023.

Yleisellä tasolla taajamametsissä on suositeltavaa:

- Turvata metsän kasvu ja elinvoima oikea-aikaisilla ja laadukkaasti tehdyillä metsänhoitotoimenpiteillä.
- Lisätä metsien kasvua puustopääomaa hallitusti pienentämällä.
- Estää bioottiset (esim. tuhohyönteiset) ja abiottiset (esim. myrskyt) tuhot metsänhoidollisin keinoin.
- Ylläpitää metsien monimuotoisuutta.
- Jättää erikokoista lahopuuta muodostumaan.
- Lisätä lehtipuiden määrää, jolloin parannetaan metsien monimuotoisuutta ja ilmastokestävyttä.
- Suosia metsien eri-ikäiskasvatusta erityisesti turvemailla.
- Metsittää potentiaaliset alueet.
- Välttää metsien pinta-alan vähenemistä maankäytön muutoksissa.
- Pyrkii vähentämään metsäpaloriskiä.
- Korjata hakkuutähteet sopivilta kohteilta.

Metsätuhoihin varautuminen

Tuhojen vaikutus hiilensidontaan voi olla suuri, mikäli taajamametsissä ei huomioida tuhoihin varautumista. Ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvät metsätuhot heikentävät puuston kasvua ja hiilensidontaa. Tuhot myös heikentävät puun jalostusarvoa ja hyödyntämistä tukkipuuna esimerkiksi pitkäikäisissä puutuotteissa.

Kesien yleistyvä kuivuus etenkin kuusimetsissä lisää muita tuhoriskejä. Etelä-Suomessa vanhat kuusimetsät ovat altteimpia tuuli- ja hyönteistuhoilta. Etelä-Suomen metsissä tuhot voivat pahimmillaan ketjuttua niin, että roudan puutteen ja myrskyn seurauksena syntyy paljon tuulituhoja. Roudattomuus myös vaikeuttaa myrskyn vaurioittamien puiden korjuuta. Jos voimakkaan myrskyn jäljiltä jää korjaamatta suuri määrä tuoretta puuta kesän ylitse, se altistaa metsän hyönteistuholaisille.

¹⁴ <https://metsanhoidonsuosituksiset.fi/fi>

Tästä syystä myrskyjen jälkeiset tuulituhoalueet tulee paikantaa nopeasti ja tuhopuut korjata kiireisiä toimenpiteitä vaativilta kohteilta ¹⁵.

Kirjanpainajatuhojen ja muiden hyönteistuhojen yleistymisen tulee huomioida taajamametsien hoidossa. Suurimmat todennäköisyydet kirjanpainajan voimakkaalle esiintymiselle kuusella on löydetty taajamametsissä puille, jotka kasvoivat ravinteikkailla kasvupaikoilla (lehto tai lehtomainen kangas)¹⁶. Kirjanpainaja voi tuottaa kaksi sukupolvea kesän aikana, jos kesän lämpösumma ylittää 1500 astepäivää. Tällaisten kesien todennäköisyys on ollut pieni, mutta jo tämän vuosisadan puolivälissä se voi olla Etelä-Suomessa yli 80 %. Myös muut aiemmin erittäin harvinaiset tuohyönteiset voivat yleistyä lämpenemisen seurauksena ¹⁷.

Ilmastonmuutos lisää myös juurikääpätuhojen riskiä ja puiden lahovikaisuutta Etelä-Suomessa. Juurikääpää torjutaan kantojen käsittelyllä ja pahoin saastuneilla kuvioilla puulaji vaihdetaan lehtipuustoon. Lehtipuuston lisääminen altistaa puustoa sorkkaeläintuhoille.

Lahopuuston jättäminen

Lahopuuston jättäminen lisää hiilen varastointia. Erityisesti järeän lahopuuston jättämisellä hakkuiden yhteydessä on suuri positiivinen merkitys alueen monimuotoisuudelle. Lahopuuta jättäessä tulee kuitenkin huomioida kaiken kokoisen lahopuuston jättäminen.

Sekapuustoisuuden lisääminen

Lehtipuuston määrä parantaa metsien monimuotoisuutta ja ilmastonmuutokseen sopeutumista, kun tuhoriskit kohdistuvat useamman eri puulajin kesken¹⁸. Lehtipuun määrää lisäämällä voidaan lisätä heijastusvaikutusta, jolla voi olla ilmastonmuutosta hidastava vaikutus. Vaikutus on osin epävarma¹⁹. Lehtipuista etenkin haapa on metsien monimuotoisuuden avainlaji. Lisäksi lepän osuuden kasvattaminen lisää monimuotoisuutta ja samalla lisää metsäekosysteemiin kertyvän typen määrää biologisen typensidonnan kautta. On huomattava, että tavanomaisista suomalaisista lehtipuista koivu kestää heikosti varjostusta, joten mikäli koivun osuuden halutaan metsissä lisääntyvät, on niille tehtävä riittävästi kasvutilaa. Luonnonvaraisia jaloja lehtipuita tulisi säästää mahdollisuuksien mukaan.

Metsäpalariskin huomioiminen

¹⁵ Lehtonen, I., Venäläinen, A., ja Gregow, H. 2020. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa metsänhoidon näkökulmasta. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2020:5.

¹⁶ Kosunen M. (2020). Insect and storm disturbance in boreal forests — predisposing site factors and impacts on ecosystem carbon. Dissertationes Forestales 300. 48 p. <https://doi.org/10.14214/df.300>.

¹⁷ Lehtonen, I., Venäläinen, A., ja Gregow, H. 2020. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa metsänhoidon näkökulmasta. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2020:5.

¹⁸ Huuskonen, S., Domisch, T., Finér, L., Hantula, J., Hynynen, J., Matala, J., Miina, J., Neuvonen, S., Nevalainen, S., Niemistö, P., Nikula, A., Piri, T., Siitonen, J., Smolander, A., Tonteri, T., Uotila, K. ja Viiri, H. 2021. What is the potential for replacing monocultures with mixed-species stands to enhance ecosystem services in boreal forests in Fennoscandia? *Forest Ecology and Management*, Volume 479. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118558>.

¹⁹ Lehtonen, I., Venäläinen, A., ja Gregow, H. 2020. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa metsänhoidon näkökulmasta. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2020:5.

Kuivuuden ja siitä aiheutuvan metsäpalariskin ennakoidaan lisääntyvän jonkin verran Etelä-Suomessa. Tehokkaan sammutusverkoston vuoksi vaikutukset metsien hiilensidontaan ja varastointiin oletetaan melko pieniksi. Palojen torjunnan näkökulmasta keskeistä on pystyä ylläpitämään korkealla tasolla oleva valmius palojen torjunnassa ja sammuttamisessa. Metsäpalojen syttymis- ja leviämiskäviä voidaan pienentää pidättäytymällä metsäkonetöistä kuivimpaan aikaan kesällä ja korjaamalla metsistä pois paloja lisäävää ainesta, kuten hakkuutähteitä ja tuhopuita^{20,21}.

Hakkuutähteen korjuu

Hakkuutähteen korjuu pienentää etenkin pienikokoisen lahopuun määrää ja voi heikentää metsäekosysteemin monimuotoisuutta²². Etenkin kuusikoissa hakkuutähteen mukana poistetaan ravinteita moninkertaisesti pelkkään runkopuun korjuuseen verrattuna, joka voi heikentää seuraavan puusukupolven kasvua ja samalla myös hiilinielua ja varastoa. Hakkuutähteen korjuu vähentää metsämaan karikesyötettä, jolloin metsämaan hiilivarasto ja -nielu pienenevät. Maaperän hiilivaraston pienenemisen johdosta hakkuutähteen energiakäytön ilmastohyödyt suhteessa fossiilisiin polttoaineisiin saavutetaan vasta vuosikymmenten viiveellä²³. Metsään jätettynä hakkuutähteet lopulta myös lahoavat ja vapauttavat merkittävän osan hiilestään ilmaan²⁴.

Hakkuutähteen korjuu pienentää ravinteiden huuhtoutumista, metsäpalariskiä ja helpottaa kaupunkimetsien virkistyskäyttöä, kun metsissä liikkuminen helpottuu. On myös viitteitä, että hakkuutähteen korjuu voi vähentää kaarnakuoriaisriskiä²⁵.

Hakkuutähteen korjuu tulee arvioida kohdekohtaisesti. Mikäli hakkuutähteet jätetään korjaamatta, ne tulee levittää metsänpohjalle tasaisesti. Tällä pienennetään hiilen ja typen häviöitä ilmakehään ja vesistöihin²⁶.

²⁰ Lehtonen, I., Venäläinen, A., ja Gregow, H. 2020. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa metsänhoidon näkökulmasta. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2020:5.

²¹ Nieminen, A. (toim.) 2020. Metsäpalariskin ennakointi metsätöissä. Tapion julkaisu.

²² Ranius, A., Hämäläinen, A., Egnell, G., Olsson, B., Eklöf, K., Stendahl, J., Rudolphi, J., Stens, A. ja Felton A. 2018. The effects of logging residue extraction for energy on ecosystem services and biodiversity: A synthesis. *Journal of Environ. Manage.* 209, 409-425.

²³ Saksa, T., Repo, T., Sarkkola, S., Akujärvi, A., Repo, A., Soimakallio, S. ja Lehtonen, A. 2020. Ilmastonmuutos ja metsänhoito. Yhteenveto ilmastonmuutoksen vaikutuksista metsänhoitoon. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. Käsikirjoitus.

²⁴ Pingoud, K., Ekholm, T., Soimakallio, S. ja Helin, T. 2016. Carbon balance indicator for forest bioenergy scenarios. *GCB Bioenergy* 8 (1): 171-182.

²⁵ Foit, J. 2015. Bark- and wood-boring beetles on Scots pine logging residues from final felling: Effects of felling date, deposition location and diameter of logging residues. *Ann. For. Res.* 58: 67-79.

²⁶ Törmänen, T., Lindroos, A.J., Kitunen, V., ja Smolander A. 2020. Logging residue piles of Norway spruce, Scots pine and silver birch in a clear-cut: Effects on nitrous oxide emissions and soil percolate water nitrogen, *Science of The Total Environment*, Volume 738, 139743, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139743>.

Kannot toimivat metsäekosysteemin pitkäaikaisina hiilivarastoina. Niiden korjaaminen vähentää metsien monimuotoisuutta, hiilivarastoa ja heikentää metsämaan rakennetta²⁷. Kantojen korjaamista ei suositella.

Metsitys

Joutoalueiden ja vajaatuottoisten alueiden metsityspotentiaali on suuri. Metsitys nähdään keskeisenä toimenpiteenä metsäpinta-alan lisäämiseksi ja siten keinona lisätä metsien hiilinieluja ja varastoja. Jos pintakasvillisuutta on vähän tai se on lähinnä ruohoja, alue ei kykene sitomaan maaperästä vapautuvia päästöjä. Metsityksessä tulee huomioida, että se ei heikennä alueen muita luontoarvoja. Tapion toteuttaman analyysin mukaan HSY:n alueella potentiaalista metsitettävää pinta-alaa on noin 623 hehtaaria. Tästä alasta noin 380 hehtaaria sijaitsee Vantaalla, 204 hehtaaria Espoossa ja 39 hehtaaria Helsingissä.

Hakkuut

Hakkuilla annetaan kasvutilaa jätettävälle tai uudelle puustolle, mutta hakkuut myös pienentävät metsien hiilivarastoja nopeasti. Viivyttelämätön, tehokas metsän uudistaminen lyhentää päätehakkuun jälkeistä hiilipäästöjaksoa ja edistää puuston hiilen sidontaa. Päätehakkuun jälkeen maaperä on päästölähde orgaanisen aineksen hajoamisen ja karikesyötteen puuttumisen takia. Maanpinta altistuu myös korkeammille lämpötiloille sekä maanmuokkauksen vaikutuksille, jotka voivat lisätä hiilihäviötä lyhyellä aikavälillä²⁸. Päätehakkuun jälkeen maaperä toimii 10–20 vuotta päästölähteenä. On todettu, että koko metsän hiilivarasto palautuu päätehakkuuta edeltävään tilaan 60–100 vuoden aikana²⁹. Se, kuinka paljon runkopuuhun sitoutuneesta hiilestä päätyy ilmakehään eri aikajäniteillä, riippuu puusta tehtyjen tuotteiden elinkaaresta³⁰.

Jatkuvan kasvatuksen suosiminen

Pitkillä tarkastelujaksoilla jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen on esitetty kasvattavan maaperän hiilivarastoa, koska karikesyöte maaperään pysyy jatkuvana ja päätehakkuun jälkeisen avoimen vaiheen puuttuessa maan pinta ei altistu korkeille lämpötiloille tai maanmuokkauksen vaikutuksille. Siirtyminen jatkuvapeitteiseen kasvatukseen voi kuitenkin myös pienentää maaperän hiilivarastoa, jos käsittely on intensiivistä. Kokonaishiililyhyty voi pienentyä, mikäli puuston tilavuuskasvu on

²⁷ Kaarakka, L. 2018. Soil changes and long-term ecosystem recovery from physical and chemical load : stump harvesting and sprinkling infiltration as case studies. Dissertations Forestales. <https://doi.org/10.14214/df.260>.

²⁸ Saksa, T., Repo, T., Sarkkola, S., Akujärvi, A., Repo, A., Soimakallio, S. ja Lehtonen, A. 2020. Ilmastonmuutos ja metsänhoito. Yhteenveto ilmastonmuutoksen vaikutuksista metsänhoitoon. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. Käsikirjoitus.

²⁹ Peltoniemi, M., Mäkipää, R., Liski, J. ja Tamminen, P. 2004. Changes in soil carbon with stand age – and evaluation of a modelling method with empirical data. *Global Change Biology* 10: 2078–291. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2486.2004.00881>.

³⁰ Saksa, T., Repo, T., Sarkkola, S., Akujärvi, A., Repo, A., Soimakallio, S. ja Lehtonen, A. 2020. Ilmastonmuutos ja metsänhoito. Yhteenveto ilmastonmuutoksen vaikutuksista metsänhoitoon. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. Käsikirjoitus.

jatkuvapeitteisen kasvatuksen menetelmin käsitellyissä puustoissa pienempää kuin tasaikäisessä kasvatuksessa³¹. Jatkuvapeitteinen kasvatusta on kuitenkin suositeltavaa taajamametsissä, jolloin voidaan välttää myös avohakkuun negatiiviset maisemavaikutukset.

Turvemaiden käsittely

Suot ja turvemaat ovat metsäekosysteemin tärkein hiilivarasto. Soiden turve on kasvavaa puustoa moninkertaisesti suurempi hiilivarasto.

Turvemailla jatkuvapeitteisellä metsänkasvatuksella pyritään pitämään yllä riittävä ja hyväkuntoinen puustopääoma ja jatkuva haihdutusvaikutus siten, että vedenpinta pysyy n. 30 cm syvyydellä. Tällöin puuston kasvu ei häiriinny. Vedenpinnan ei tulisi laskea toisaalta liian syvälle, koska tällä minimoidaan turpeen hajotus ja siitä aiheutuva CO₂ päästö. Toisaalta vedenpinnan ei tulisi nousta liian korkealle, jolla pyritään minimoidaan vesistökuormitus ja metaanipäästöt. Riittävänä puustomääränä voidaan pitää Etelä-Suomessa noin 125 m³ ha⁻¹. Raja-arvoja sovellettaessa tulee ottaa huomioon, että myös hakuiden jälkeen puuston määrän tulee täyttää em. rajat³².

Turvemaiden puustoissa esiintyy jo ennestään erirakenteisuutta, taimettumiskyky on yleensä hyvä (lukuunottamatta paksukunttaiset ja kohteet, joilla on voimakas pintakasvillisuus) ja hyödyntämiskelpoisia alikasvoksia esiintyy paljon. Siksi edellytykset ojitusaluemetsien jatkuvalla kasvatukselle on usein hyvät³³.

Turvemailla hiilen hävikkiä turpeesta voidaan pienentää välttämällä liian tehokasta kuivatusta ja suosimalla jatkuvapeitteistä metsänkasvatusta korvaamaan ojaverkoston kunnostus. Lyhyellä aikavälillä tuhkalannoitus on keino kasvattaa ojitusaluemetsien hiilivarastoa ja säädellä suometsän vesitaloutta, koska kasvava puusto lisää veden haihtumista. Turvemailla ei suositella maanmuokkausta.

³¹ Saksa, T., Repo, T., Sarkkola, S., Akujärvi, A., Repo, A., Soimakallio, S. ja Lehtonen, A. 2020. Ilmastonmuutos ja metsänhoito. Yhteenveto ilmastonmuutoksen vaikutuksista metsänhoitoon. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. Käsikirjoitus.

³² Ibid.

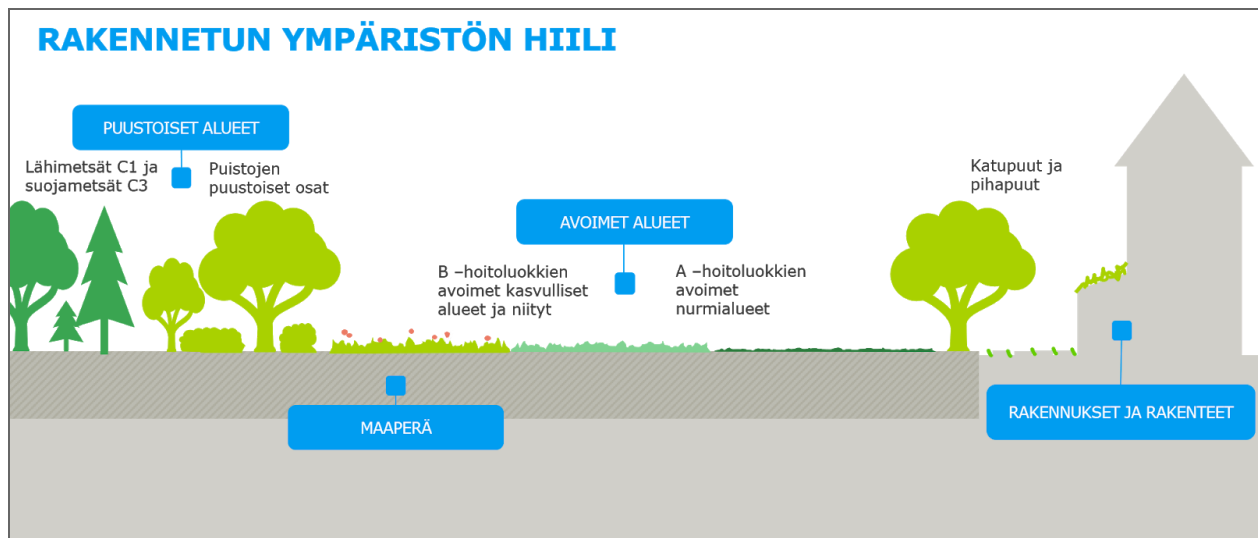
³³ Ibid.

8. RAMBOLL - TOIMENPIDESUOSITUKSET MUILLE VIHERALUEILLE

8.1. Rakennettujen ympäristöjen merkitys kaupunkien hiilitaseessa

Tässä kappaleessa annetut suositukset koskevat rakennettua ympäristöä, joka kattaa hoitoluokat A ja B, lukuunottamatta SMPA:sta tulkittuja peltoalueita. Rakennettuun ympäristöön on toimenpidesuosituksen kontekstissa sisällytetty myös rakennettujen alueiden puustoisia osia. Tällaisia ovat asutuksen välittömässä läheisyydessä olevat metsät, eli hoitoluokat C1 (lähimetsät) ja C3 (suojametsät), sekä puistojen, pihojen ja kadunvarsien puut ja puuryhmät (kuva 7).

Kuva 7. Rakennettu ympäristö ja siihen kuuluvat viheralueet



Rakennettujen ympäristöjen kasvulliset osat, kuten viheralueet, pihat ja katupuut, voidaan määrittellä kaupunkiympäristön vihreäksi infrastruktuuriksi. Tavallisesti infrastruktuurin käsite on liitetty esimerkiksi vesi- ja viemäriverkostoihin tai tiestöön. Käsitteen laajeneminen kasvullisiin ympäristöihin nostaa kuitenkin esille luonnon monimuotoisuuden, toimivien ekosysteemien ja luonnonprosessien (mm. hiilen-, veden- ja ravinteiden kierron) mahdollisuudet ratkaista osaltaan yhteiskunnallisia ongelmia ja tuottaa hyvinvointia ihmisille.

Hiileen liittyvät prosessit - hiilen sitoutuminen ja varastoituminen kasvillisuuteen ja maaperään sekä vapautuminen ilmakehään - vaikuttavat myös kaupunkiympäristön viherrakenteissa. Rakennetuissa ympäristöissä viherrakenne ja maaperä ovat toistuvien muutosten kohteena ja hiilivarastot ovat jatkuvassa muutostilassa ulkoisten seikkojen vuoksi. Tästä syystä rakennettujen ympäristöjen vihreälle vyöhykkeelle kohdistuvia toimenpiteitä olisi hyvä tarkastella myös hiilinäkökulmasta. Maaperän hiilivaraston osalta on merkityksellistä, montako kertaa putkikaivanto avataan, kuinka laajalta alalta maaperää kaivetaan tai saavatko kadunreunan puut jatkaa kasvuaan katuremontista huolimatta.

Seuraavassa taulukossa (24) on esitetty kuntakohtaisesti rakennettuun ympäristöön sijoittuvien viherrakenteiden ja viheralueiden määrät ja pinta-alaosuudet koko laskentapinta-alasta. Kauniaisten viheralueista ja viherrakenteista n. 80 % ja Helsingin viherrakenteista ja viheralueista n. 60 % voidaan

luokitella rakennettuun ympäristöön sijoittuviksi. Espoossa ja Vantaalla vastaava osuus on n. 30 % . Yleiskuva alueiden sijainnista kaupunkirakenteessa on kuvassa 8.

Vaikka tässä laskennassa rakennettujen ympäristöjen viherrakenteiden ja viheralueiden hiilivarastot ja hiilensidonta olivat muiden hoitoluokkien metsiin sekä suojelualueisiin verrattuna huomattavasti pienempiä, ovat pinta-alaosuudet niin suuria, että näihin alueisiin ja rakenteisiin kohdistuvilla hiilitoimilla on merkitystä koko alueen hiilitaseeseen. Vastaavasti merkitystä on myös sillä, jätetäänkö hiili huomiotta esimerkiksi maanrakennustöissä tai viheralueiden ja pihojen suunnittelussa, toteutuksessa ja kunnossapidossa.

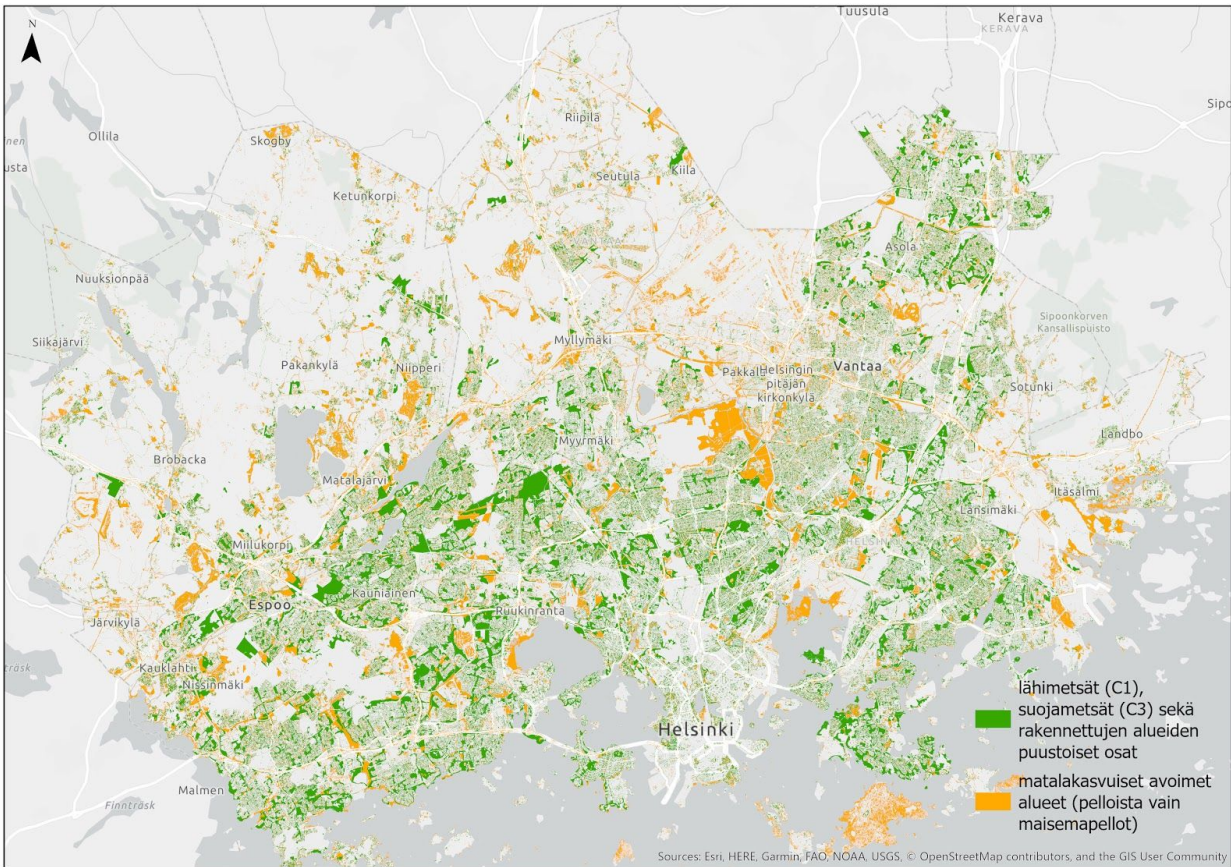
Taulukko 24. Rakennetun ympäristön viheralueiden pinta-alat kaupungeittain.

Rakennetun ympäristön viherrakenteet ja viheralueet (hoitoluokkien perusteella), ha				
	Espoo	Kauniainen	Helsinki	Vantaa
Avoimet alueet (lukuun ottamatta SMPA:n peltoja) kuten pihojen ja puistojen nurmialueet, pellot ja niityt *	3188	45	2721	2457
Lähi- ja suojametsät sekä puustoiset alueet rakennetussa ympäristössä **	4550	258	4394	2645
Yhteensä (ha)	7738	303	7116	5102
Laskennan kokonaispinta-alasta	32 %	79 %	57 %	30 %

* sisältää hoitoluokat A1 (kaupungin määrittämä), A1 (laskennassa määritelty matala avoin kasvillisuus), A2, A3, B1 (kaupungin määrittämä) sekä hoitoluokat B2-B6; seudullisen maanpeiteaineiston perusteella määritellyt pellot eivät ole mukana

** sisältää hoitoluokat C1, C3 (kaupungin määrittämä), C3 (laskennassa määritelty puustoinen alue rakennetussa ympäristössä seudullisen maanpeiteaineiston (SMPA) perusteella)

Kuva 8. Laskennassa rakennetun ympäristön viherrakenteiksi ja viheralueiksi tulkitut alueet.



8.2. Tulosten tarkastelu rakennettujen ja avoimien viheralueiden osalta

Rakennettujen ympäristöjen viheralueiden maaperän hiilivaraston arviointiin on saatavilla varsin vähän tietolähteitä ja mallinnuksessa tarvittavia parametritietoja. Arvioinneissa joudutaankin usein soveltamaan metsiin ja muihin luonnonympäristöihin liittyvää tietämystä. Maaperään liittyen on tältä osin otettava huomioon myös maaperän ominaisuuksien vaihtelevuus, johon luonnollisen maaperän vaihtelevuuden ohella vaikuttavat rakennetussa ympäristössä maaperään laikuittaisuutta luovat tekijät kuten maankäyttö, maankäytön historia, erilaiset maanrakennustyöt sekä lämpö- ja kosteusolosuhteiden vaihtelevuus ja erot luonnonympäristöihin verrattuna (mm. Brown, 2012³⁴).

Laikuittainen vaihtelevuus korostuu pohjoisissa oloissa, joissa rakennettavilla alueilla maaperän hiilipitoisin pintaosa joudutaan usein korvaamaan kokonaan teknisillä vähähiilillä maarakenteilla. Lu

³⁴ Brown, S., Miltner, E. ja Cogger, C. 2012. Carbon Sequestration Potential in Urban Soils. Teoksessa Carbon Sequestration in Urban Ecosystems pp 173-196

ym. (2020³⁵) ovatkin tutkimuksessaan arvioineet, että Lahdessa läpäisemättömien pintojen alla olevissa maarakenteissa hiiltä oli 15 kertaa vähemmän kuin puistojen läpäisevillä pinnoilla.

Laskennassa hoitoluokattomien, rakennettujen alueiden viherrakenne on määritetty hoitoluokkiin c3 (puustoiset alueet) ja A1 (avoimet alueet). Näihin hoitoluokkiin liittyvät lähtöoletukset vaikuttavat lopputulokseen. Hiilitaselaskennassa pitäydyttiin vertailtavuuden vuoksi rakennettujen alueiden maaperän hiilivaraston lähtötilanteen ja hiilisyötteen osalta ILKKA-hankkeen oletuksissa. Avoimilla viheralueilla maaperän hiilivaraston lähtötaso vastasi näin ollen tuoreen kankaan (MT) hiilivarastoa ja hiilisyöte maaperään oli suurella osalla avoimia viheralueita simulointijaksolla varsin pieni. Tuloksiin tämä heijastuu siten, että avoimien viheralueiden keskimääräinen hehtaarikohtainen hiilivarasto oli esimerkiksi Espoossa A1 hoitoluokassa vain 1/3 C1 hoitoluokan vastaavasta hiilivarastosta ja avoimet alueet olivat hiilen osalta päästölähteitä. Tutkimusten mukaan hiilen määrä rakennettujen alueiden viherympäristössä voi kuitenkin olla merkittävä, ja suurempi kuin aiemmin on arvioitu (mm. Edmonson ym. 2012³⁶ sekä Lindén ym. 2020³⁷). Myös avointen alueiden laatu vaikuttaa hiilivarastoihin. Esimerkiksi niityillä hiilivarastot ovat huomattavasti suuremmat kuin rakennetuilla viheralueilla.

A1-hoitoluokkaan on tässä laskennassa koottu kaikki avoimet, matalakasvuiset alueet, joilla ei ole erikseen määritelty muuta hoitoluokkaa. Laskentaoletuksissa on puolestaan määritelty, että A1-alueilta poistetaan kaikki leikkuutähde. Tällöin hiilisyötteen puute johtaa hiilivaraston laskevaan trendiin. A1-luokkaan sisältyy avoimia alueita, joita ei hoideta lainkaan tai joiden leikkuutähdettä ei kerätä. Näiden alueiden hiilitase on siten todellisuudessa erilainen kuin intensiivisesti hoidettujen nurmialueiden.

Lindén ym. (2020) arvioivat tuoreessa tutkimuksessa kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastojen kokoa Helsingin puistoalueilla. Maaperän osuus hiilivarastosta oli huomattava ja selvästi suurempi kuin kasvillisuuden hiilivarasto. Puistoalueiden maaperän hiilivarasto oli myös selvästi suurempi kuin kivennäismailla kasvavien metsien maaperän hiilivarasto (Lindén ym. 2020). Tämä on syytä ottaa huomioon arvioitaessa tässä hiilitaselaskennassa määritettyjä maaperän hiilivarastoja. Maaperän hiilivarasto rakennetuilla alueilla voi siten olla suurempi kuin nyt arvioitu varaston koko, etenkin, kun hiilisyöte maaperään on hiilivaraston simuloinnissa ollut näillä alueilla hyvin pieni. Myös Setälä ym. (2016³⁸) toteavat tutkimuksessaan puistojen maaperän olevan hiilirikasta. Kasvillisuustyyppien osalta tutkimuksessa arvioidaan myös, että kasvillisuustyyppien muutos sekametsästä puistoalueeksi ei välttämättä johda merkittäviin muutoksiin hiilensidonnassa pohjoisissa ilmasto-oloissa ainakaan silloin kun puisto on puustoinen. Puiston perustamisen jälkeen hiilen, typen ja orgaanisen aineksen määrät

³⁵ Lu, C., Kotze, J.D. ja Setälä, H.M. 2020. Soil sealing causes substantial losses in C and N storage in urban soils under cool climate. *Science of the Total Environment*, 725, [138369]. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138369>

³⁶ Edmondson, J.L., Davies, Z.G., McHugh, N., Gaston, K.J. ja Leake, J.R. 2012. Organic carbon hidden in urban ecosystems. *Scientific Reports volume 2*, Article number: 963 (2012)

³⁷ Lindén L., Riikonen, A., Setälä, H. ja Yli-Pelkonen, V. 2020. Quantifying carbon stocks in urban parks under cold climate conditions. *Urban Forestry & Urban Greening* 49 (2020) 126633.

³⁸ Setälä, H.M., Francini, G., Allen, J.A., Hui, N., Jumpponen, A. ja Kotze D.J. 2017. Vegetation type and age drive changes in soil properties, nitrogen and carbon sequestration in urban parks under cold climate. *Frontiers in Ecology and Evolution*. August 2016, Vol 5. Article 93. 14 s

³⁹ Akujärvi, A. 2020. Coupling carbon sequestration of forests and croplands with ecosystem service assessments. Finnish Environment Institute, Biodiversity Centre

kasvat ajan myötä puiston kehittyessä. Puuston tuottama karike on rakenteeltaan karkeampaa ja hajoaa hitaammin kuin esimerkiksi pehmeä nurmikon leikkuujäte. Siksi puistopuiden karikesyötteellä on merkitystä maaperän hiilen ylläpitäjänä (Akujärvi 2020¹⁹).

Verrattuna aiempaan ILKKA-hankkeeseen, tässä laskennassa pystyttiin arvioimaan myös rakennettujen alueiden kasvillisuuden hiilitasetta hyödyntämällä seudullisen maanpeiteaineiston (SMPA) puustoisia luokkia 221-224. Aineistona käytetty maanpeiteaineisto on näiltä osin kattava, mutta tietosisällöltään varsin suppea. Puustoa kuvaavana tietona on saatavissa latvuston kattama ala sekä pituusluokat (2-10 m; 10-15 m, 15-20 m ja yli 20 m).

Laskennassa SMPA-aineistosta johdettiin biomassa ja edelleen hiili SMPA-aineiston luokkakohtaisten keskipituuksien avulla. Laskenta perustui tuoreiden kangasmetsien kuusikoiden, männiköiden ja koivikoiden kehityssarjoihin, joiden hiililuvuista otettiin keskiarvo kyseiselle keskipituudelle hoitoluokassa C3. Kuten maaperänkin osalta, myös rakennetun ympäristön kasvillisuuden hiilitaseen arvioinnissa joudutaan usein soveltamaan metsiin ja metsäpuihin liittyvää tietämystä. Tältä osin kehityssarjat eivät pysty kuvaamaan kovin hyvin kaupunkiympäristölle tyypillistä puulajeiltaan, puuston tiheydeltään sekä puuston iältään vaihtelevaa ja monipuolista puujoukkoa.

Huolimatta laskentatapaan liittyvistä epävarmuuksista tuotetun aineiston selkeä etu on, että rakennettujen ympäristöjen kasvillisuus tulee laskennan myötä näkyviin myös hiilitaseessa. Merkittävää on myös se, että tuotettu paikkatietoaineisto kattaa myös rakennetut alueet ja mahdollistaa aiempaa monipuolisemmat hiilitaseeseen liittyvät tarkastelut sekä hiileen liittyvien suositusten antaminen mm. kaavoituksen yhteydessä.

8.3. Rakennettujen ympäristöjen hiilitoimet

Kaupunkiympäristössä viherrakenteilla on monia tehtäviä. Kasvilliset ympäristöt ovat mm. mukana vedenkierrossa ja pienilmaston säätelyssä sekä luonnon monimuotoisuuden turvaamisessa ja ne tarjoavat asukkaille virkistävää ja elvyttävää ympäristöä. Kestävän kehityksen mukaisilla hiilitoimilla pyritään ottamaan huomioon viherrakenteiden tuottamat hyödyt monipuolisesti ja turvaamaan mm. luonnon monimuotoisuutta sekä kulttuuri- ja virkistysarvoja. Rakennettujen ympäristöjen osalta suositukset hiilivarastojen turvaamisen sekä hiilensidonnan kehittämisen osalta on ryhmitelty seuraavasti:

- Maaperä
- Avoimet alueet
- Puustoiset alueet
- Rakennukset ja rakenteet

8.3.1. Maaperä

Maaperä on hiilensidontan ja hiilivarastojen näkökulmasta erittäin suuri hiilivarasto ja arvokas luonnonvara. On arvioitu, että maailmanlaajuisesti maaperän ylimmässä 2 metrin paksuisessa maakerroksessa orgaanista hiiltä on n. 2500 Gt. (Batjes, 1996³⁹). Tämä on lähes kolme kertaa enemmän kuin ilmakehässä on hiiltä (Heinonsalo, 2020⁴⁰). Tutkimuksissa on tunnistettu, että maaperään liittyy jopa 18 erilaista ekosysteemipalvelua (Haygarth ja Ritz, 2009⁴¹), joten pitämällä huolta maaperästä, pidämme hiilen ohella huolta lukuisista muista arvokkaista ekosysteemipalveluista. Maaperän hiilivaraston säilyminen voidaan ottaa huomioon maankäytön suunnittelussa, kehittämällä hiilivarastoa säästäviä maanrakennustoimia sekä turvaamalla maaperän elinvoimaisuutta viheralueiden ylläpidossa.

Maaperään liittyvissä ratkaisuissa on pyrittävä kokonaisvaltaisesti kestäviin ratkaisuihin. Maaperään vaikuttavissa toimissa on arvioitava toimien vaikutusta hiilitaseeseen ja tunnistettava toimien vaikutus muihin ekosysteemipalveluihin.

Maankäytön suunnittelu:

- Sijoitetaan rakentaminen mahdollisuuksien mukaan rakentamiskäytössä oleville tai käytöstä poistetuille alueille. Rakentamisen sijoittaminen tällaisille alueille säästää luonnontilaisia alueita rakentamiselta ja tiivistää yhdyskuntarakennetta. Alueiden uudelleenkäyttö tarjoaa viherrakentamiselle mahdollisuuksia lisätä alueelle kasvillisuutta ja hiilivarastoja.
- Tunnistetaan erityisen hiilirikkaat alueet ja maaperät ja pyritään välttämään niille rakentamista. Turvemilla hiiltä on erityisen runsaasti, mutta myös rehevähköillä varttuneen metsän alueilla hiilivarastot ovat suuria. Esimerkiksi rehevähköillä lehtomaisella metsämaalla maaperän hiilivarasto ylimmässä metrin paksuisessa kerroksessa voi olla lähes 120 t/C/ha (440 t CO₂/ha) (Liski ja Westman, 1995⁴²). Nyt toteutetussa laskennassa hiiltä oli maaperässä näin runsaasti useissa metsäisissä C-hoitoluokissa eri kaupungeissa sekä suojelualueilla. Turvemaiden osalta myös vesitalouden muutokset heijastuvat nopeasti negatiivisina vaikutuksina niiden hiilitaseeseen. Esimerkiksi pohjavedenpinnan lasku nopeuttaa orgaanisen aineksen hajotusta.
- Pyritään kaavoituksessa suunnitteluratkaisuihin, jotka säästävät kasvullista viherympäristöä ja luontaista maaperää. Rakentamisen massatalouden hallinta ja rakentamisen korkeustasot suunnitellaan huolellisesti asemakaavavaiheessa sekä kunnallisteknisten yleissuunnitelmien yhteydessä.

³⁹ Batjes, N.H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. European Journal of Soil Science · June 1996. DOI: 10.1111/j.1365-2389.1996.tb01386.x

⁴⁰ Heinonsalo, J. (toim.). 2020. Hiiliopas - katsaus maaperän hiileen ja hiiliviljelyn perusteisiin. <https://carbonaction.org/wp-content/uploads/2020/01/BSAG-hiiliopas-1.-painos-2020.pdf>

⁴¹ Haygarth, P. ja K. Ritz. 2009. The future of soils and land use in the UK: Soil systems for the provision of land-based ecosystem services. Land Use Policy 26 (2009): 11 s.

⁴² Liski, J. ja Westman, C.J. 1995. Density of organic carbon in soil at coniferous forest sites in southern Finland. Biogeochemistry 29(3): 183–197

- Turvataan alueen luontainen vesitalous ja pyritään hyödyntämään alueen hulevedet lähellä syntypaikkaa. Tällä turvataan olevan kasvillisuuden elinvoimaisuutta sekä mahdollistetaan uuden kasvillisuuden riittävä vedensaanti ja siten rehevä kasvu.

Maanrakennustyöt ja viherrakentaminen

- Pyritään suunnittelussa, hankinnassa ja maanrakennus- ja viherrakentamistöissä sekä kunnossapidossa maaperää säästäviin ja maa-ainesten hyötykäyttöä tukeviin ratkaisuihin ja suunnitellaan huolellisesti tähän liittyvät maanrakennustyöt, viherrakentaminen ja maa-ainesten hallinta.
- Suositaan viherrakentamisessa paikalla tehtyä kasvualustaa ja hyödynnetään olevaa maaperää ja sen siemenpankkia myös sellaisenaan ilman käsittelyä. Tämä edellyttää suunnitelmallista ja kattavaa laadunhallintaa (mm. vieraslajien leviäminen on estettävä) ja yhteistyötä kunnossapidon kanssa jo suunnittelu- ja rakennusvaiheessa. Lisätietoa kierrätysmaiden käytöstä viherrakentamisessa on Viherympäristöliiton "Kierrätysmaiden käyttö viherrakentamisen kasvualustoissa" -ohjeessa (Viherympäristöliitto, 2019⁴³)

Viheralueiden kunnossapito

- Valitaan eri alueille tarkoituksenmukainen kunnossapitoluokka (hoitoluokka), ja suositaan hoitoluokkia, joilla lisätään/ylläpidetään hiilisyötettä maaperään. Esimerkiksi luonnonmukaisten, vähän kunnossapitoa vaativien niittyjen hiilivarastot ovat huomattavasti suuremmat kuin rakennetuilla, intensiivisesti hoidetuilla viheralueilla.
- Vältetään yllannoitusta ja keinolannoitteita sekä suositaan luonnollisia lannoitteita, esim. leikkuutähdettä.

8.3.2. Avoimet alueet

Avoimet viheralueet ovat erilaisia matalakasvuisia rakennettuja tai avoimia viheralueita, joilla valtakasveina ovat nurmi- ja niittylajit. Avoimet viheralueet ovat hiilensidonnan ja –varastoinnin lisäksi tärkeitä luonnon monimuotoisuuden näkökulmasta sekä virkistysympäristöinä. Paikoin avoimiin ympäristöihin liittyy myös kulttuurihistoriallisia arvoja. Tunnistamalla avointen alueiden erilaiset arvot voidaan hiilitoimet, esimerkiksi metsittäminen, kohdentaa kokonaisuudessaan kestävästi.

Viheralueiden hoitoluokista tähän ryhmään kuuluvat rakennettujen viheralueiden hoitoluokkien A1-A3 nurmipintaiset osat sekä avoimet viheralueet eli hoitoluokat B1-B5, ja vastaavasti RAMS-kunnossapitoluokitukselta rakennettujen viheralueiden R1-R4 nurmipintaiset osat sekä avoimet viheralueet A1-A5.

⁴³ Viherympäristöliitto, 2019. Kierrätysmaiden käyttö viherrakentamisen kasvualustoissa. Kestävän ympäristörakentamisen mukainen ohje 2019. https://www.vyl.fi/site/assets/files/3060/kierra_tyskasvualustaohje_2019.pdf.

Toimenpiteet:

- Metsitetään avoimia alueita kestävästi. Tunnistetaan ennen metsittämistä alueen arvot monipuolisesti ja kohdennetaan metsittäminen niin, että muut arvot eivät heikenny. Tunnistetaan myös metsittämisen mahdollisuudet metsäverkoston vahvistamiseen.
- Harvennetaan leikkuukertoja nurmialueilla, joilla nurmea leikataan nykyisin tiheästi. Myös leikkuukorkeutta voidaan nostaa. Tämä voi vaikuttaa mm. nurmen juuristorakenteeseen ja siten maaperän hiilivarastoon sekä vähentää leikkuun päästöjä.
- Monipuolistetaan nurmialueita niittymäisillä osilla – tämä tukee myös luonnon monimuotoisuutta sekä vähentää nurmikon ylläpidon päästöjä.
- Nurmea perustettaessa suositetaan monipuolista nurmilajikeseosta, jossa on myös syväjuurisempaa nurmilajistoa. Tällöin maaperään kertyy juuribiomassan kautta hiiltä myös syvempiin maakerroksiin. Esimerkiksi ruokonata (*Festuca arundinacea*) on syväjuurinen nurmikasvi.
- Jätetään leikkuutähdettä nurmelle ja silputaan syksyllä myös lehtibiomassaa nurmen sekaan. Tällöin maaperään tulee lisää hiilisyötettä.

8.3.3. Puustoiset alueet

Rakennettujen ympäristöjen puustoiset alueet muodostuvat katupuista, piha- ja puistopuista sekä pienialaisista rakennettujen alueiden lomaan jääneistä metsäalueista. Puu- ja kasvilajivalikoima on monipuolinen. Esimerkiksi Helsingissä julkisilla viheralueilla suositeltava puulajivalikoima sisältää yhteensä lähes 200 havu- ja lehtipuulajia (Helsingin kaupunki, 2020⁴⁴).

Kaupunkipuilla ja puustoisilla alueilla on rakennetussa ympäristössä monia tehtäviä. Niiden merkitys hiilen sidonnassa ja varastoinnissa on vain yksi niiden tuottama hyöty. Kaupunkiympäristö on puustolle monin tavoin vaativa kasvuympäristö ja puustoon kohdistuu usein niiden kasvukuntoa heikentäviä toimia, kuten kaivutöitä tai maapohjan voimakasta kulumista juuristoalueella.

Kaupunkien puustoiset alueet kasvavat rakenteeltaan ja ominaisuuksiltaan vaihtelevassa maaperässä. Katupuut kasvavat paikalle tuodussa maakuutiassa, liikenneväylän suojapuusto kasvaa rakennetussa luiskassa ja kaupunkimetsikkö kasvaa muokkaamattomalla metsämaalla. Kun arvioidaan rakennettujen alueiden puuston merkitystä hiilitaseelle, joudutaan tekemään yleistyksiä ja perustamaan tietoja metsämaalle tehdyillä tutkimuksilla etenkin maaperän osalta. Rakennettu maaperä on ns. häiriintynyttä maata, joka hakee hiilitasapainoaan pitkän ajanjakson kuluessa. Borealaisen havumetsävyöhykkeen podsolimaannoksen lajittuminen kestää noin tuhat vuotta. Maaperän ja etenkin luonnonmukaisen maaperän säilyttäminen ja sen prosessien hoitaminen on keskeistä hiilitasapainon ja luonnon muiden prosessien toiminnan kannalta.

⁴⁴ Helsingin kaupunki, 2020. Helsingin kaupunkikasviopas. <https://kaupunkikasviopas.hel.fi/>

Toimenpiteet:

- Säilytetään hiiltä sitovat kasvillisuusalueet ja viheryhteydet mahdollisimman laajoina. Rakennettujen alueiden lähimetsien ja niiden ylläpitämien luonnonprosessien säilyminen on keskeistä sekä hiilitasapainon että muiden hyötyjen vuoksi. Laajat yhtenäiset metsäalueet ja niiden luonnonmukainen maaperä säilyttää maaperän hiilivarastoja ja ylläpitää puuston hiilinielua.
- Elinvoimainen, monipuolinen puusto sitoo hiiltä ja tuottaa maaperään kariketta. Säilytetään olevaa hiiltä sitovaa ja varastoivaa puustoa ja tuetaan puuston kasvukuntoa siten, että puusto säilyy elinvoimaisena mahdollisimman pitkään. Varttunut puusto tuottaa hiilensidonnan ohella myös monia muita hyötyjä. Puiden ja puuryhmien verkosto tukee kaupunkiympäristössä mm. ekologisia yhteyksiä ja siten luonnon monimuotoisuutta. Puuston elinvoimaisuuteen liittyviä toimia ovat mm. paikkaan sopivat puulajivalinnat sekä oikea-aikaiset hoitotoimet sekä puuston terveydestä huolehtiminen. Tämän ohella puiden juuristoalueilla tapahtuvat kaivutyöt on toteutettava huolellisesti puustoa ja juuristoa säästäen.
- Viihtyisät lähimetsät tarjoavat virkistysmahdollisuuden ilman päästöjä tuottavaa kulkuvälinettä. Toisaalta voimakas virkistyskäyttö kuluttaa maapohjaa ja aiheuttaa häiriötä sekä puuston kasvulle että maaperän prosesseille. Mitä kuluneempi metsän pohja on, sitä heikompi on metsämaan ja puuston kyky sitoa hiiltä. Tämän vuoksi kiinnitetään lähimetsissä erityistä huomiota reittisuunnitteluun ja kulkemisen ohjaamiseen.
- Uusia alueita rakennettaessa kiinnitetään huomiota hulevesien hallintaan ja alueen luontaisen vesitalouden ylläpitämiseen. Hulevesiä saatetaan kustannussyistä purkaa maastoon. Alueen luontaisesta vesitaloudesta poikkeava vesimäärä yhdessä rakentamisen aiheuttamien muutosten kanssa vaikuttaa kuitenkin heikentävästi puuston kuntoon ja niiden kykyyn sitoa hiiltä. Samalla puuston elinikä lyhenee.
- Uutta puustoa istutettaessa kiinnitetään erityistä huomiota kasvualustaan. Tältä osin on otettava huomioon, että uudet katupuuistutukset voivat toimia hiilivarastoa kartuttavina hiilinieluinä vasta n. 30 vuoden kuluttua istutuksesta, koska kasvualustasta voi vapautua hiiltä enemmän kuin puusto sitoo sitä biomassaan. (Riikonen ym. 2017⁴⁵)
- Lisätään mahdollisuuksien mukaan lahoppua myös rakennetuille puistoalueille ja lähimetsiin. Lahopuut ovat varsin pitkäikäisiä hiilivarastoja ja lisäksi ne edistävät luonnon monimuotoisuutta sekä monipuolistavat virkistysympäristöä.
- Metsitykset, joiden tavoitteena on lisätä hiilensidontaa, toteutetaan kestävästi, alueiden monenlaiset arvot huomioon ottaen. Hallitsematon metsitys saattaa heikentää esim. avointen alueiden monimuotoisuusarvoja sekä avoimiin alueisiin liittyviä maisema- ja kulttuuriarvoja.

⁴⁵ Riikonen, A., Pumpanen, J., Mäki, M. ja Nikinmaa, E. 2017. High carbon losses from established growing sites delay the carbon sequestration benefits of street tree plantings – A case study in Helsinki, Finland. *Urban Forestry & Urban Greening*. 26. 10.1016/j.ufug.2017.04.004.

8.3.4. Rakennukset ja rakenteet

Rakennusten ja rakenteiden hiilitoimet liittyvät rakentamisen materiaaleihin, rakentamistapaan sekä resurssiviisaaseen maankäyttöön.

- Kohdistetaan täydennysrakentamista mahdollisuuksien mukaan rakentamiskäytössä oleville tai käytöstä poistetuille alueille. Tällöin voidaan turvata laajoja ja yhtenäisiä metsä- ja suoalueita, jotka ovat kaupunkien hiilitaseen kannalta arvokkaimpia.
- Minimoidaan rakennuskäyttöön otettujen tai päällystettyjen alueiden pinta-ala. Ilmasto-oloissamme rakennusten ja infrarakenteiden toteutus tarkoittaa yleensä olevan maaperän ylimmän ja hiilirikkaimman osan korvaamista teknisillä maarakenteilla, jolloin hiilivarastot ja hiilinielut menetetään. Tuoreen tutkimuksen mukaan Lahdessa läpäisemättömien pintojen alueilla maaperässä hiiltä oli jopa 15 kertaa vähemmän kuin puistojen kasvillisilla alueilla (Lu ym. 2020⁴⁶).
- Otetaan kaavojen ilmastovaikutusten arvioinnissa huomioon maaperään ja kasvillisuuden kohdistuvat vaikutukset hiilitaseen näkökulmasta. Tunnistetaan rakentamisen alle jäävien viheralueiden lisäksi myös muutosherkät viheralueet (esim. vanhat kuusimetsät), joiden kunnan heikkeneminen vähentää hiilen sidontaa.
- Kiinnitetään tiivistyvillä alueilla erityistä huomiota pihasuunnitteluun: minimoidaan päällystettyjen alueiden pinta-ala, käytetään läpäiseviä pinnoitteita, säilytetään mahdollisuuksien mukaan tontilla luonnonvaraisia ja maanvaraisia kasvullisia osia sekä täydennetään niitä erilaisilla kasvullisilla rakenteilla mm. mahdollisilla kansipihoilla. Näillä toimilla tuetaan sekä hiilensidontaa että -varastointia, ja tämän ohella mm. hulevesien hallintaa.
- Työmaan käyttöön varattu alue on hyvä määritellä suunnitelmissa, jotta säilytettävien alueiden suojele voidaan varmistaa. Joissakin tapauksissa on järkevää kuoria kasvillisuuden pintamaakerros ja varastoida se työmaa-ajaksi siten, että pintamaan varastointialueilla ei liikuta. Työmaan päätyttyä pintamaat voidaan levittää takaisin. Näin luonnonkasvillisuus voidaan palauttaa alueelle.
- Asetetaan tavoitteet hiiltä sitovien ratkaisujen osalta yleiskaavan ja asemakaavan tavoitteissa (puurakentaminen, viherkatot yms. sekä viheralueet).
- Uusia puistoja ja viheralueita rakennettaessa säilytetään mahdollisimman suuri osa maapohjaa koskemattomana ja suunnitellaan istutuksia ja kasvillisuusalueita, joissa kasvaa luonnonkasveja. Toteutetaan rakennettuja viheralueita vain niihin kohtiin, joissa rakennettu ja tehokkaasti hoidettu viheralue on tarpeellinen.

⁴⁶ Lu, C., Kotze, J.D. ja Setälä, H.M. 2020. Soil sealing causes substantial losses in C and N storage in urban soils under cool climate. *Science of the Total Environment*, 725, [138369]. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138369>

9. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Selvityksen tulokset kuvastavat kaupunkien erilaisten viheralueiden moninaisuutta. Kuten aiemmissa selvityksissä, metsäalueiden merkitys hiilivarastoina sekä nieluina korostuvat myös tämän selvityksen tuloksissa. Samanaikaisesti korostuvat myös erot eri lähtötietojen tasossa. Metsäalueille lähtötiedot kasvillisuuden biomassamäärästä ovat laajalti suhteellisen tarkkoja. Rakennetussa ympäristössä puolestaan joudutaan tukeutumaan karkeampiin oletuksiin, luokitteluun, sekä luokkakohtaisiin keskiarvoihin. Nyt tehdyn selvityksen ja tuotetun tulosaineiston punaisena lankana on kuitenkin ollut tuottaa mahdollisimman kattava aineisto saatavilla olevista lähdeaineistoista. Periaatetasolla siis karkeammankin tarkkuuden tulos on parempi kuin ei tulosta ollenkaan. Tästä samasta syystä kuitenkin tulosaineiston tarkastelussa on avainasemassa tiedostaa kullekin alueelle käytetyt tietolähteet. Tästä syystä nämä on tallennettu luokittelevana ominaisuustietona myös osaksi tulosaineistoa (kts. liite 2).

Selvityksen pääasiallisena lopputuotteena toimii tuotettu tulosaineisto, joka täyttää hankkeelle asetetut päätavoitteet. Aineisto on ajantasainen ja kattava tietovaranto pääkaupunkiseudun tämän hetken hiilivarastoista ja hiilivarastojen vuotuisesta muutoksesta. Tulosaineiston tuottamiseen kehitetty prosessi rakennettiin myös niin että tulosaineiston päivitys on tehokasta toteuttaa esim. tietolähteiden päivityksen kautta.

Tuotettu tietovaranto osaltaan mahdollistaa kaupungeille kokonaisvaltaisesti kestävien hiilitoimien suunnittelun, joissa otetaan huomioon myös viheralueiden ja viherrakenteiden erilaiset arvot sekä kasvillisuuden että maaperän merkitys hiilitaseelle. Rakennetussa ympäristössä on kiinnitettävä huomiota siihen, mitä erilaiset ohjeistukset, vakiintuneet toimintatavat ja -käytännöt merkitsevät hiilivarastojen ja hiilensidonnan näkökulmasta (viheralueisiin kohdistuu jatkuvasti erilaisia toimia esimerkiksi alueiden kunnossapitoon liittyen). Tällöin ohjaamalla toimenpiteitä suuntaan, jolla on myönteistä vaikutusta hiilitaseeseen, saadaan nopeasti vaikuttavuutta.

Laskennassa havaittiin, että avointen viheralueiden yhteenlaskettu pinta-alaosuus on merkittävä. Siksi niiden kunnossapidossa tehdyillä hiilivaraston ja hiilensidonnan kasvattamiseen tähtäävillä toimenpiteillä on merkitystä. Toimenpiteet ovat helposti toteuttavia: esimerkiksi uusien viheralueiden suunnittelu maaperälähtöisesti, luonnonmukaisten viheralueiden suosiminen ja leikkuutähteiden keräämättä jättäminen parantavat hilitasetta samalla kun kustannuksia säästyy.

Metsäalueiden kannalta on syytä tiedostaa metsien luonnollinen dynamiikka ja ikääntyvien metsien kasvun taantuminen sekä hiilipoistuman luonnollinen kasvu. Samanaikaisesti ikääntyvät metsät palvelevat kuitenkin luonto- ja virkistysarvoillaan. Jotta haittavaikutukset näihin arvoihin minimoidaan, metsien hiilivarastojen ja hiilinielujen hoito ja ylläpito tulee nähdä pitkäjänteisenä prosessina.

Tässä raportissa esitetyt toimenpidesuosituksukset ovat esimerkkejä siitä, miten kuntien ilmastostrategioiden tavoitteita jalkautetaan käytäntöön. Keskeistä on tunnistaa merkittävät toimenpiteet, kehityksen suunta, sekä tiedostaa toimenpiteiden ja toimenpidemuutosten aikaulottuvuus, sillä esimerkiksi metsien ja puuston kasvun kehitys on vuosikymmenien prosessi.

LIITE 1. VIHERALUEHOITOLUOKAT JA NIIDEN TYPILLISET KÄYTTÖKOHTEET

Hoitoluokka	Alueen hoidon pääpiirteet
A - Rakennetut viheralueet	
A1 - Edustusviheralueet	Tärkeiden julkisten rakennusten pihoja, keskeisiä kaupunkipuistoja, -aukioita tai niiden osia
A2 - Käyttöviheralueet	Kaupunkipuistoja ja -aukioita, leikkipuistoja, liikenneviheralueita keskusta-alueella, pihoja sekä liikuntaan ja toimintaan tarkoitettuja viheralueita.
A3 - Käyttö- ja suojaviheralueet	Yleensä laajoja rakennetun ja luonnonympäristön välimaastoon sijoitettavia puistoja, suojavyöhykkeitä tai kiinteistöjen piha-alueiden luonnonmukaisemmin hoidettavia osia, liikuntavihreyttä sekä katuviheralueita ydinkeskustan ulkopuolella.
B - Avoimet viheralueet	
B1 - Maisemapelto	Muokattuja ja käytettyjä maa-alueita, joilla viljellään maisemakasveja.
B2 - Käyttöniitty	Avoimia tai puoliavoimia yleensä koko pinta-alaltaan käytettävissä olevia niittyjä
B3 - Maisemaniitty	Maisemaniityt ovat avoimia tai puoliavoimia niittyjä, joissa kulku on ohjattu esimerkiksi poluille. Laidunalueet ovat niittyjä, jotka hoidetaan laiduntamalla.
B4 - Avoin alue ja näkymä	Alueita, joita ylläpidetään avoimina näkymien säilyttämiseksi tai esimerkiksi alueella olevan teknisen verkoston ylläpitämiseksi (sähkölinjat).
B5 - Arvoniitty	Kulttuuriperinteen, maiseman tai luonnon monimuotoisuuden kannalta merkittäviä niittyjä
C - Taajamametsät	
C1 - Lähimetsä	Lähellä asutusta sijaitsevia metsiä, joihin kohdistuu runsaasti käyttöä ja kulutusta
C2 - Ulkoilu- ja virkistymetsä	Taajamassa tai sen ulkopuolella olevia laajempia metsäalueita, jotka on tarkoitettu ulkoiluun ja retkeilyyn.
C3 - Suojametsä	Asutuksen ja muun rakennetun ympäristön sekä erilaista häiriötä aiheuttavien toimintojen välissä sijaitsevia metsiä.

C ₄ - Talousmetsä	Talousmetsän hoito ja käyttö toteutetaan kestävän metsätalouden periaatteiden mukaisesti
C ₅ - Arvometsä	E erityisen arvokas kohde maiseman, kulttuurin, luonnon monimuotoisuusarvojen tai muiden ominaispiirteiden vuoksi.
S - Suojelualueet	Pysyvästi suojellut alueet joilla ei toteuteta merkittäviä toimenpiteitä.
E - Erityisalue	Kaupunkien osoittama maankäytön erityisalue.
R - Maankäytön muutosalue	Kaupunkien osoittama maankäytön muutosalue.
O - Hoidon ulkopuolella oleva alue	Kaupunkien osoittama alue, joka hoidon ja kunnossapidon ulkopuolella.

LIITE 2. TULOSAINEISTON RAKENNE JA TIEDOT

Sarakkeen otsikko tulosaineistossa	Selite
id	Kaupunkikohtaisesti yksilöllinen kuvio ID
hoitoluokka	ABC-viheraluehoitoluokituksen mukainen luokitus
rams	RAMS-kunnospitoluokituksen mukainen luokitus
maahiili_ha	Hehtaarikohtainen maaperän hiilivarasto, tCO ₂ /ha
puuhiili_ha	Hehtaarikohtainen kasvillisuuden hiilivarasto, tCO ₂ /ha
maavuo_ha	Hehtaarikohtainen maaperän hiilivuo, tCO ₂ /ha/v
puuvuo_ha	Hehtaarikohtainen kasvillisuuden hiilivuo, tCO ₂ /ha/v
maahiili_yht	Kuvion maaperän hiilivarasto, tCO ₂
puuhiili_yht	Kuvion kasvillisuuden hiilivarasto, tCO ₂
maavuo_yht	Kuvion maaperän hiilivuo, tCO ₂ /v
puuvuo_yht	Kuvion kasvillisuuden hiilivuo, tCO ₂ /v
kokonaisvarasto_yht	Kuvion yhdistetty kokonaishiilivarasto, tCO ₂
kokonaisvuo_yht	Kuvion yhdistetty kokonaishiilivuo, tCO ₂ /v
kokonaisvarasto_ha	Hehtaarikohtainen yhdistetty kokonaishiilivarasto, tCO ₂ /ha
kokonaisvuo_ha	Hehtaarikohtainen yhdistetty kokonaishiilivuo, tCO ₂ /ha/v
kasvupaikka	Metsän kasvupaikkatyyppiluokitus
turvemaa	0 = ei turvemaa, 1 = turvemaa
tilavuus	Puuston kaupallinen tilavuus
tl_puusto	Metsäalueiden puuston määrään käytetty tietolähde (tl)
tl_hoitoluokka	ABC-hoitoluokituksen tietolähde (tl)
tl_hiili	Kasvillisuuden hiililaskentaan käytetty tietolähde (tl)
pa_ha	Kuvion pinta-ala, ha
ilkka_kokonaisvarasto_ha	ILKKA-aineiston hehtaarikohtainen hiilivarasto kuvion alueella, tCO ₂ /ha
ilkka_kokonaisvuo_ha	ILKKA-aineiston hehtaarikohtainen hiilivuo kuvion alueella, tCO ₂ /ha
ilkka_pa_ha	ILKKA-aineiston pikselien kattama pinta-ala kuvion alueella, ha

LIITE 3. TULOSAINEISTOSSA KÄYTETTY ABC- JA RAMS-LUOKITUKSEN SOVITUS

ABC-viheraluehoitoluokitus	RAMS-kunnossapitoluokitus
A - Rakennetut viheralueet	R - Rakennetut viheralueet
A ₁ - Edustusviheralueet	R ₁ - Rakennettu arvoviheralue
A ₂ - Käyttöviheralueet	R ₃ - Käyttöviheralue
A ₃ - Käyttö- ja suojaviheralueet	R ₄ - Suoja- ja vaihettumisviheralue
B - Avoimet viheralueet	A - Avoimet viheralueet
B ₁ - Maisemapelto	A ₅ - Maisemapelto
B ₂ - Käyttöniitty	A ₂ - Käyttöniitty
B ₃ - Maisemaniitty	A ₃ - Maisemaniitty
B ₄ - Avoin alue ja näkymä	A ₄ - Avoin alue
B ₅ - Arvoniitty	A ₁ - Arvoniitty
C - Taajamametsät	M - Metsät
C ₁ - Lähimetsä	M ₂ - Lähimetsä
C ₂ - Ulkoilu- ja virkistysmetsä	M ₃ - Ulkoilu- ja virkistysmetsä
C ₃ - Suojametsä	M ₄ - Suojametsä
C ₄ - Talousmetsä	M ₅ - Talousmetsä
C ₅ - Arvometsä	M ₁ - Arvometsä
S - Suojelualueet	S - Suojelualueet
E - Erityisalue	Ei oletettua vastaavuutta (Kauniaisissa A ₄)
R - Maankäytön muutosalue	Ei oletettua vastaavuutta
O - Hoidon ulkopuolella oleva alue	Ei oletettua vastaavuutta



TAPIO 

