



Ajantasainen hiilinielutieto päästöksenteon tukena

– suosituksia kaupungeille ja kunnille

JIRI LUOJUKOSKI
SUOMEN YMPÄRISTÖOPISTO SYKLI



**Euroopan unionin
osarahoittama**



**Euroopan unionin
osarahoittama**

AJANTASAINEN HIILINIELUTIETO PÄÄTÖKSENTEON TUKENA
– suosituksia kaupungeille ja kunnille



Sisältö

Tiivistelmä	5
Johdanto	6
1. Metsakanta.fi-yksinpuintulkinta ja hiilitaseen arviointi	7
1.1 Metsakanta.fi-yksinpuintulkinta	8
1.2 Yksinpuintulkinta hiilitaseen arvioinnissa	9
1.2.1 Hiilivarastojen arviointi (Carbon Stock)	10
1.2.2 Hiilinielujen arviointi ja suunnittelu (Carbon Sink)	10
1.2.3 Biodiversiteetti ja hiili	11
1.3 Johtopäätökset ja kehitysnäkymät	12
Luvun lähteet	12
2. Maaperän hiilinielut ja mahdollisuudet niiden voimistamiseen	13
2.1 Hiilensidonta kaupunkiviheralueilla – taustaa	14
2.2 Tulevaisuuden ilmasto	14
2.3 Hiilensidonnan mallinnus tässä hankkeessa	15
2.3.1 Puustoisten kaupunkiviheralueiden mallinnus	15
2.3.2 Ruohovaltaisten kaupunkiviheralueiden mallinnus	18
2.4 Tulosten tarkastelu ja pohdinta	20
2.4.1 Puustoiset alueet	20
2.4.2 Nurmikot ja niityt	22
2.4.3 Kenttäkoe	22
Luvun lähteet	24
3. Maaperän hiilinielut ja hoitotoimenpiteiden vaikutus	25
3.1 Nurmikoiden perustamis- ja hoitotavat	26
3.2 Hiilensidonta koekentillä	27
3.3 Merkittävimmät hoitonurmikoiden hiilensidontaa ja päästöjä ohjaavat tekijät	28
Luvun lähteet	29
4. Hiiliviisaan 3D-kaupunkimalli-ympäristön toteutus	30
4.1 Yksittäisten puiden hiilivirtojen mallinnus pelimootorissa (Materiaalit ja menetelmät)	30
4.2 Tulokset ja johtopäätökset	34
Luvun lähteet	35

5. Kuntien tietotarpeet hiilinieluista Uudellamaalla ja Kanta-Hämeessä	36
5.1 Uudenmaan kuntien tulokset	37
5.2 Kanta-Hämeen kuntien tulokset	38
5.3 Kyselyn johtopäätökset	40
6. Case Forssa – Hiilinielut osaksi järkivihreää kaupunkikehittämistä	41
6.1 Forssa toimii edelläkävijänä tiellään kohti hiilineutraalia tulevaisuutta	41
6.2 Hiilinielujen merkitys kasvanut	43
Luvun lähteet	43
Johtopäätökset ja suositukset	44

Tiivistelmä

Julkaisussa tarkastellaan kaupunkien ja kuntien hiilinielujen ja hiilivarastojen arviointia sekä niiden vahvistamisen mahdollisuuksia. Keskeisenä havaintona on, että ilmastotavoitteiden saavuttaminen edellyttää tarkkaa, ajantasaista ja monipuolista tietopohjaa sekä yhteisiä toimintamalleja. Hiilinielujen rooli korostuu strategisessa suunnittelussa ja käytännön toimenpiteissä, ja niiden huomioiminen tukee ilmastokestävää kaupunkikehitystä. Suosituksena esitetään paikkatietoaineistojen ja mallinnusmenetelmien hyödyntämistä, koulutuksen ja yhteistyön vahvistamista sekä visuaalisten työkalujen kehittämistä, jotta hiilinielutieto voidaan integroida päätöksentekoon ja viestintään tehokkaasti.

Johdanto

Suomi tähtää hiilineutraaliksi vuoteen 2035 mennessä, mutta uhkaa jäädä tavoitteista erityisesti hiilen poistumien osalta. Ilmastonmuutoksen hillintä on noussut yhdeksi kaupunkien ja kuntien keskeisistä strategisista tavoitteista ja hiilinielujen merkitys osana ilmastotyötä on korostunut viime vuosina. Hiilinielut, kuten kaupunkien viheralueet, metsät ja maaperä, tarjoavat mahdollisuuden sitoa ilmakehän hiilidioksidia ja tukea hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamista. Tehokas hiilinielujen hyödyntäminen edellyttää kokonaisvaltaista ja ajantasaista tietopohjaa, jonka avulla voidaan suunnitella ja toteuttaa vaikuttavia ilmastotoimia.

Tässä julkaisussa esitellään Digitaalinen kaupunkihiili 2.0 hankkeessa kehitettyjä ratkaisuja kuntien ilmastotavoitteiden tukemiseksi rakennetun alueen hiilinielujen osalta. Julkaisussa tarkastellaan kaupunkien ja kuntien hiilinielujen arviointia ja vahvistamista. Painopiste on tiedon saatavuudessa, sovellettavuudessa ja ymmärrettävyydessä sekä yhteisten toimintamallien ja yhteistyön merkityksessä. Julkaisu tarjoaa suosituksia siitä, miten hiilinielutieto voidaan integroida osaksi strategista suunnittelua ja arjen päätöksentekoa, sekä miten osaamista ja työvälineitä voidaan kehittää tukemaan ilmastokestävää kaupunkikehitystä.

1. Metsakanta.fi-yksinpuintulkinta ja hiilitaseen arviointi

JUHA HYYPPÄ • MATTI HYYPPÄ • EERO AHOKAS (Maanmittauslaitos)

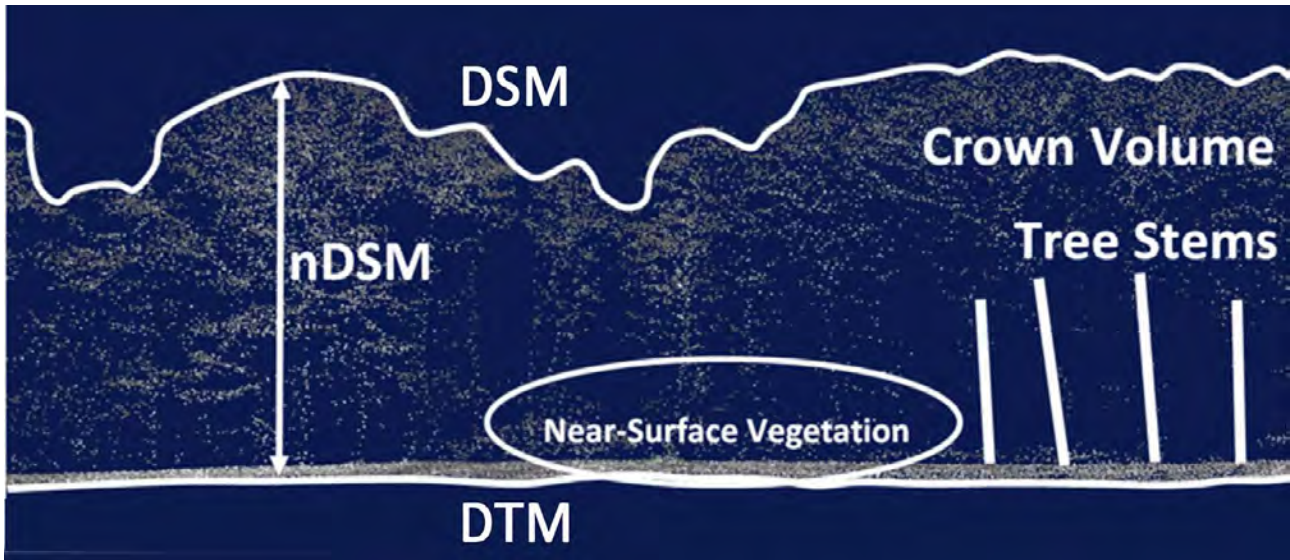
Metsien rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä on kriittinen. Niiden kyky toimia hiilivarastoina (varastoitu hiilen kokonaismäärä) ja hiilinieluinä (sitoutuneen hiilen määrän kasvu) on keskeinen. Tarkka ja ajantasainen metsävaratieto on välttämätöntä, jotta metsänhoitotoimenpiteitä voidaan optimoida hiilensidonnän ja metsien terveyden maksimoimiseksi.

Paikkatietokeskus on tehnyt Metsakanta.fi-palvelun hyödyntämällä yksinpuintulkintaa (engl. Individual Tree Detection, ITD, esitetty ensimmäisen kerran Hyyppä ja Inkinen 1999 julkaisuissa), joka edustaa metsävaratiedon keruun uutta sukupolvea ja tarjoaa tähän merkittäviä etuja.

Yksittäisten puiden havaitseminen laserkeilausaineistoista yksinpuin esitettiin julkaisussa Hyyppä ja Inkinen (1999, Hyyppä ym. 2009). He määrittivät yksinpuinprosessille neljä vaihetta: 1) pistepilven tuottamisen siten, että yksittäiset puut tai puuryhmät erottuvat, 2) normalisoitujen korkeuksien laskeminen (kuvassa nDSM), 3) segmentoinnin/klusteroinnin käyttö yksittäisten puiden tai puuryhmien havaitsemiseen ja 4) puuston ominaisuuksien, kuten tilavuuden tai läpimitan, arviointi suoraan mitattavista piirteistä. Toistensa sisään kasvavien latvusten erottamiseksi on ehdotettu useita menetelmiä. Erilaisia yksinpuinmenetelmiä on vertailtu useassa julkaisussa. Tavanomaisissa toteutuksissa puiden sijainti, pituus, latvuspinta-ala ja latvuksen tilavuus mitataan suoraan, kun taas runkojen



läpimitta ja runkotilavuus ennustetaan ei-parametrisilla estimointimenetelmillä ja erilaisten pistepilvipiirteiden avulla. Puulajin määrittämiseen käytetään intensiteetin ja pistepilven geometrian lisäksi myös muita datalähteitä, kuten RGB-kuvia.

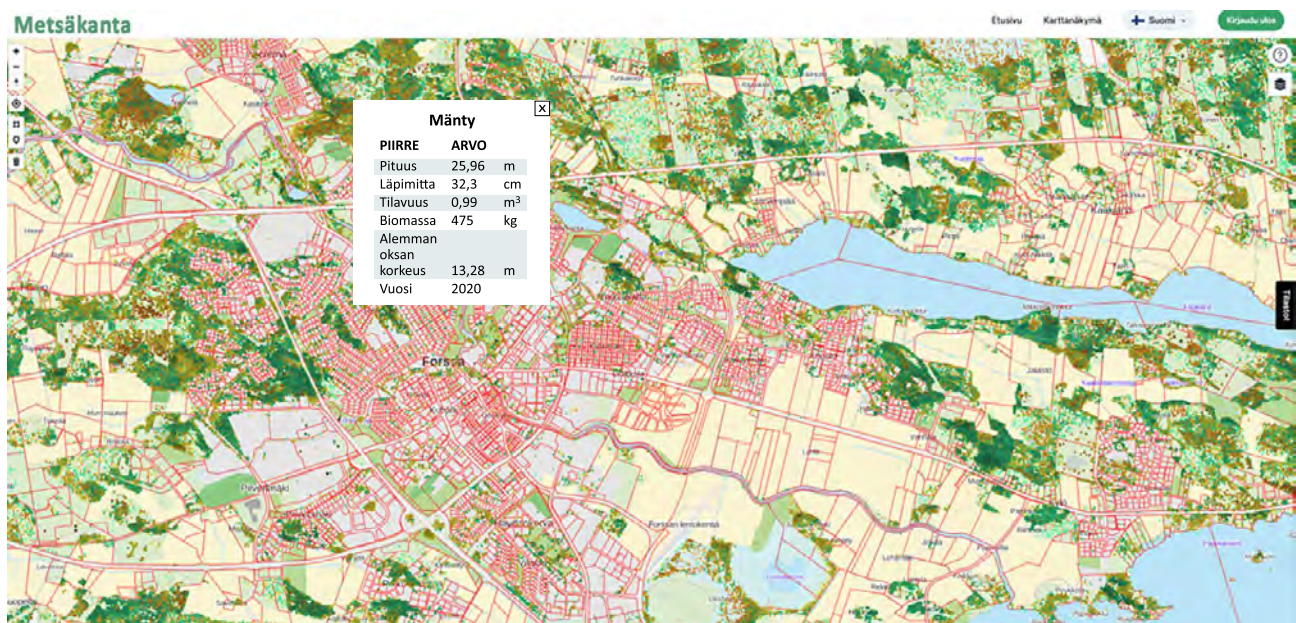


Kuva 1. Ilmalaserkeilauksella tuotettu pistepilvi. DTM (digital terrain model) kuvaa maanpinnan muotoja, DSM (Digital Surface Model) kuvaa puiden latvoja. Niiden erotus (kuvassa nDSM) kuvaa puuston pituutta. Kansallisen keilauksen aineistosta voidaan löytää yksittäisten puiden latvuksia, joiden tunnistamiseen perustuu käytössä olevat yksinpuinmenetelmät. Tiheimmistä aineistoista voidaan löytää puut myös runkokaikujen avulla. Nykyiset syväoppivat menetelmät käyttävät kaikkia näitä apunaan. Copyright TU Wien.

1.1 Metsakanta.fi-yksinpuintulkinta

Metsakanta.fi-palvelu on demonstraattori, joka hyödyntää Paikkatietokeskuksen kehittämää menetelmiä tuottamaan metsävaratietoa yksittäisten puiden tarkkuudella, poiketen perinteisistä hilaruutu- tai metsikkökuviopohjaisista menetelmistä. Tähän mennessä Paikkatietokeskus on laskenut 5,8 miljardin puun tiedot käyttäen kalibroinnissa Metsäkeskuksesta saatuja yksinpuinpuukarttoja. Referenssipuukarttoja on käytetty noin 20 alueelta. Niiden avulla on laskettu 79 laserkeilauksen tuotantoalueen puustotunnukset. Kunkin alueen puukartoissa on noin 30 000 puuta, joista käytimme keskimäärin yli 10 000 puun tiedot opetuksessa. Niinpä yhteensä olemme käyttäneet yli 200 000 referenssipuun tiedot opetuksessa. Metsäkeskuksen puukartoissa on kuitenkin liian vähän haapoja ja kuolleita puita, jotta puukarttoja olisi voitu käyttää niiden tulkintaan. Paikkatietokeskus on analysoinut yksinpuinpuuston pituuden, läpimitan, tilavuuden ja puulajin tarkkuudet. Yksinpuintulkinnassa mallin siirto tuotantoalueelta toiselle onnistuu varsin kohtuullisin virhelisäyksin. Yleisesti ottaen puustotunnukset saadaan parhaiten ennustettua käyttämällä kunkin alueen puukarttoja kuin muiden alueiden tietoja, mutta erot ovat osin pieniä.

Eroja voi lisäksi pienentää käyttämällä selittäjinä puiden koordinaatteja. Merkittäviä tekniisiä esteitä yksittäisten puiden tunnistamiseen kansallisesta 5p/m² laserkeilausaineistosta ei ole, mutta parempia segmentointimenetelmien myötä tulokset tarkentuvat. Käyttämällä useampaa tietokonetta prosessointiin koko maan kattava tulkinta on toteutettavissa ja puustotiedon tuotannossa pystytään helposti vastaamaan laserkeilausohjelman tuotantonopeuteen. Aineistojen suurimmat puutteet liittyivät puulajitulkintaan ja pienten puiden tunnistamiseen. Kuitenkin, tukkipuun kokoluokassa puista pystyttiin tunnistamaan 92 %, jolloin tuotettu aineisto soveltuu jo moniin metsätalouteen liittyviin arvioihin. Metsäkannasta näkyvät myös hyvin pitkäpuustoiset metsät, joista suuri osa on vanhoja metsiä. Laserkeilauksen intensiteettiä käyttämällä puulajitulkinta paranee 3,5–14 prosenttia. Mikäli käytettävissä on puukoealoja lähes jokaiselta tuotantoalueelta, intensiteetin kalibroinnissa riittää mm. etäisyysvirheen kalibrointi ja tulosten laskeminen reflektanssiksi.



Kuva 2. Forssan kaupunki Metsäkannassa. Mänty, kuusi ja koivu kuvattuna kukin omalla värillään. Mitä pidempi puu, sitä isompi merkki puusta kuvassa. Klikkaamalla puuta, saa kyseisen puun tiedot näkyviin. Myös kiinteistön yhteenvetotiedot saa metsäkannasta mukaan lukien kiinteistön arvo ja puustoon varastoituneen hiilen määrä.

1.2 Yksinpuintulkinta hiilitaseen arvioinnissa

Metsakanta.fi:n tuottama erittäin yksityiskohtainen metsävaratieto tarjoaa merkittäviä etuja puiden hiilivarastojen ja -nielujen arviointiin ja hallintaan.

1.2.1 Hiilivarastojen arviointi (Carbon Stock)

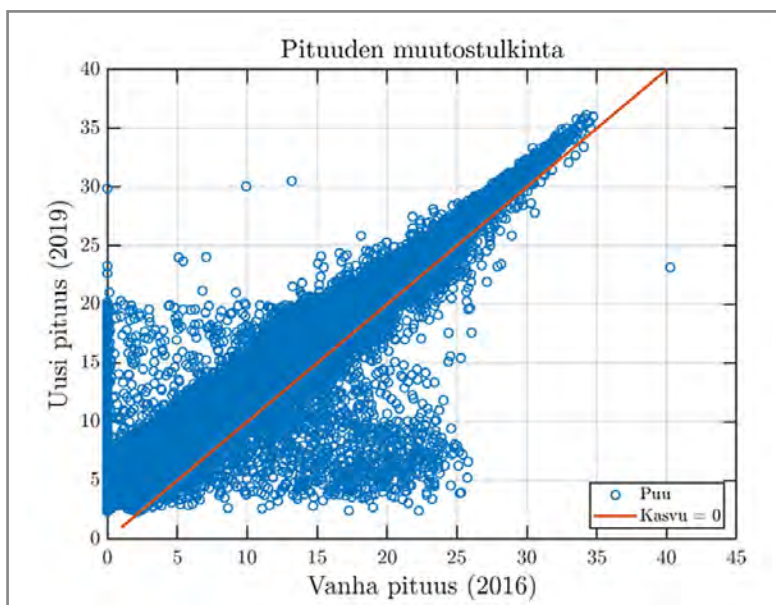
Hiilivarasto puustossa lasketaan arvioidun puuaineksen biomassan perusteella.

- *Tarkempi biomassa-arvio:* Kun yksittäisen puun tilavuus (läpimitta ja pituus) tunnetaan tarkasti, voidaan soveltaa puukohtaisia ja puulajispesifejä allometrisiä malleja puun biomassan laskemiseksi. Tämä parantaa varaston arvioinnin tarkkuutta verrattuna karkeampiin kuviotietoihin. Jos yksittäisten puiden segmentit opetetaan kaikkien puiden tiedolla jotka ovat kyseisen segmentin sisällä, saadaan harhaton tieto biomassasta ja kokonaistilavuudesta. Metsäkanta on stimuloinut Suomen Metsäkeskuksen toteuttamaan Suomen metsävarat yksittäisen puun tekniikalla.
- *Tarkempi tukkipuu-arvio:* Jos yksittäisten puiden segmentit opetetaan isoimman puun tiedolla joka on kyseisen segmentin sisällä, saadaan tarkin tieto tukkipuista.
- *Alueellinen jakauma:* Yksinpuutieto visualisoi hiilivaraston jakauman metsän sisällä, auttaen tunnistamaan tiheät, runsashiiliset alueet sekä puulajien alueellisen jakauman.

1.2.2 Hiilinielujen arviointi ja suunnittelu (Carbon Sink)

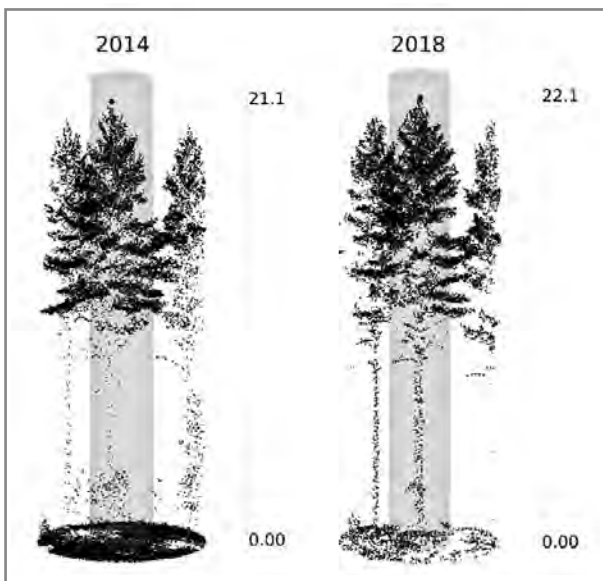
Hiilinielu kuvaa metsän hiilivaraston muutosta ajan kuluessa, joka on suoraan sidoksissa puiden kasvuun.

Tarkempi kasvun ennuste: Yksittäisten puiden tietojen perusteella voidaan tehdä aiempaa tarkempia ennusteita kunkin puun tulevasta kasvusta. Nuoret, nopeasti kasvavat metsät sitovat hiiltä eniten, ja yksinpuintulkinnalla voidaan erottaa nämä kasvullisesti tehokkaimmat kohteet. Puiden kasvun määrittämisestä selvitettiin FGIn osuudessa Digitaalinen kaupunkihiili 2.0, kuva 3. Ne puut, joiden vanha pituus (2016) oli selvästi pienempi kuin uusi pituus (2019), olivat tapauksia, joissa vanhasta datasta ei saatu puun pituutta luotettavasti mm. liian harvan pistepilven takia. Toisinpäin tapahtuessa puut olivat kaadettu, kaatuneet tai katkenneet.



Kuva 3. Kahden keilauksen avulla voidaan määrittää puiden kasvu.

- Niinpä monen ajankohdan laserkeilausmittauksia käytettäessä puuston kasvun mittaukseen, tulee huomioida eri pistetiheydet ja niiden vaikutus yksittäisten puiden pituuden aliarvioon. Koska puuston manuaaliset ja jopa geodeettiset mittaukset eivät ole tarpeeksi tarkkoja, pituuden ja kasvun mittaukseen käytettiin hyvin tiheitä laserkeilauspistepilviä, joita Paikkatietokeskuksella on mm. Evon alueelta. Vuosien 2014–2019 aikana alueelta valittiin koealat, joille on maastomittausten lisäksi tehty 300–3000 pisteen/m² mittaukset laserkeilauksella. Näillä tiheyksillä nähdään myös, onko tutkittavassa segmentissä monta puuta. Mittausten avulla määritettiin kahden 5 pisteen aineiston välinen harha, joka osoittautua olevan 1 cm ja sitä kautta mitätön kasvumittauksissa ja yksittäisille lähes tukkipuille 16 cm satunnaisvirhe, mikä on tarkempi arvio kuin koskaan aikaisemmin on saatu. Harvan laserkeilauksen (ensimmäinen valtakunnallinen keilaus) ja tiheämmän keilauksen (toinen valtakunnallinen keilaus) välille syntyi 60 cm harha, joka nyt tuntien voidaan laskea pituuskasvu ensimmäisen ja toisen keilauksen välille. Koska ensimmäisen keilauksen aineisto on niin harvaa, ei pituuskasvun määrittäminen yksittäisten puiden tasolla onnistu järkevällä tarkkuudella. Siksi puille laskettiin keskimääräiset vuosittaiset pituuskasvut pituusluokittain 3 m välein. Oletuksemme on, että pituusluokittaiset kasvut on määritetty noin 5 cm tarkkuudella mukaan lukien mahdolliset systemaattiset virheet.



Kuva 4. Esimerkki miten hyvin tiheitä pistepilviä voidaan käyttää referenssinä. 300–3000 pisteen/m² saadaan määritettyä puuston pituus alle 10 cm virheellä.

- *Optimoidut hoitotoimenpiteet:* Yksityiskohtainen tieto mahdollistaa tarkemman hakuiden suunnittelun (esim. harvennushakkuut). Poistamalla vain heikompikasvuiset tai huonokuntoiset puut ja jättämällä tilaa parhaimmille, hiilensidontaa tehostaville yksilöille, voidaan metsän nettonielua vahvistaa.

1.2.3 Biodiversiteetti ja hiili

Tarkka tieto yksittäisten puiden, erityisesti järeiden vanhojen puiden, haapojen ja muiden lehtipuiden ja lahopuun esiintymisestä, auttaa myös tasapainottamaan hiilitavoitteita ja biodiversiteetin säilyttämistä. Yksinpuintulkinta mahdollistaa suoraan kartalta nähtävän

tiedon puuston rakenteellisesta monimuotoisuudesta, mikä on tärkeää ekosysteemin hiilivaraston ja terveyden kannalta.

1.3 Johtopäätökset ja kehitysnäkymät

Yksinpuintulkintatekniikat tarjoavat tulevaisuudessa metsänomistajille, metsäalan toimijoille ja ilmastopolitiikan päättäjille ennenäkemättömän tarkan perustan hiilivarastojen ja -nielujen arviointiin ja hallintaan. Tulee muistaa, että Metsakanta.fi on tehty menetelmien demonstroimiseksi ja meillä ei ole ollut käytettävissä niitä resursseja ja dataa, joita operatiivisilla organisaatioilla. Mutta yhteenvetona voidaan todeta, että

- *Hyödyt:* Parantunut tiedon tarkkuus johtaa paremmin kohdennettuihin metsänhoitotoimiin, mikä voi sekä vahvistaa hiilinieluja että tehostaa puuntuotantoa.
- *Tulevaisuus:* Yksinpuintulkintaan pohjautuvaa tietoa voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää yhä enemmän hiilinielujen sertifiointissa ja hiilitaseen läpinäkyvässä raportoinnissa.
- *Tarvittavat kehitysaskeleet:* A) segmentointimenetelmien kehittäminen. Tutkimus Ruoppa ym. (2025) antaa hyvän käsityksen, mitä syväoppivilla verkoilla voidaan saavuttaa. B) muutostulkinnan implementointi voidaan toteuttaa toisen (2020–2025) ja kolmannen (2026–) kansallisen keilauksen aineistoilla. C) Biomassa ja kokonaistilavuuden laskeminen edellä mainituilla kahdella tavalla. D) Läpimitan tarkkuuden parantaminen huomioiden puiden saaman valon ja ravinteiden määrät. E) Puulajitulkinnan kehittäminen käyttämällä eri aineistojen yhdessä syväoppivilla verkoilla.

Yksinpuintulkinta on kriittinen askel kohti ilmastokestävää ja tietoon perustuvaa metsätaloutta Suomessa.

Luvun lähteet

Hyyppä, J., Inkinen, M., 1999. Detecting and estimating attributes for single trees using laser scanner. The Photogrammetric Journal of Finland, 16, pp. 27-42.

Hyyppä, J., Hyyppä, H., Yu, X., Kaartinen, H., Kukko, A., and Holopainen, M., 2009. Forest inventory using small-footprint airborne LiDAR. Topographic Laser Ranging and Scanning: principles and processing, pp.335-370.

Ruoppa, L., Hietala, T., Seppänen, V., Taher, J., Hakala, T., Yu, X., Kukko, A., Kaartinen, H. and Hyyppä, J., 2025. Benchmarking individual tree segmentation using multispectral airborne laser scanning data: the FGI-EMIT dataset. arXiv preprint arXiv:2511.00653.

2. Maaperän hiilinielut ja mahdollisuudet niiden voimistamiseen

ESKO KARVINEN • LIISA KULMALA (Ilmatieteen laitos)

Ilmatieteen laitoksen työnkuvana hankkeessa on ollut mallintaa erityyppisten kaupunkivieral alueiden hiilensidontaa nyt ja tulevaisuuden ilmastossa. Mallinnukset on toteutettu erilaisilla prosessipohjaisilla ekosysteemimalleilla, jotka ovat käytännöllisesti katsoen matemaattisia kuvauksia ekosysteemeissä tapahtuvista luonnollisista prosesseista kuten yhteyttämisestä, ja niiden vuorovaikutuksista ympäristön kanssa. Mallit mahdollistavat erinäisten kiinnostuksen kohteena olevien ilmiöiden – esimerkiksi hiilensidonnasta, puuston kasvun tai viljakasvien tuottaman sadon määrän – tarkastelun analyttisesti ja laskennallisesti.

Mallinnustyö on pohjautunut Ilmatieteen laitoksella aiemmin tehtyyn tutkimukseen aihepiirin parissa sekä toisaalta myös hankkeen sisäisen yhteistyön puitteissa mahdollistuneiden uusien datalähteiden käyttämiseen, menetelmien kehittämiseen ja näiden käytettävyyden arviointiin. Lopulta työn tavoitteena on ollut tuottaa hiilensidontaennusteita, jotka palvelisivat mahdollisimman hyvin yhteistyökaupunkien tarpeita ja toiveita sekä mahdollistaisivat tulosten havainnollisen visualisoinnin osana hankeyhteistyötä.



2.1 Hiilensidonta kaupunkiviheralueilla – taustaa

Hiilen kiertokulku sekä hiilensidonta ilmiöinä ovat saaneet viime vuosikymmeninä osakseen yhä enemmän ja enemmän huomiota ilmastonmuutoksen ja sen seurausten tullessa entistä näkyvämmäksi osaksi ihmisten arkea. Metsien ja maatalousympäristöjen parissa aihetta on tutkittu jo varsin paljon, mutta kaupunkiympäristöihin tutkimus on rantautunut vasta melko hiljattain. Sinänsä kasvillisuus toimii biologisilta ja fysiologisilta pääpiirteiltään samalla tavalla niin kaupungissa kuin maaseudullakin, mutta kaupunkien ympäristöolosuhteet ovat monelta osin huomattavasti erilaiset kuin ei-kaupunkimaisilla alueilla. Tämän takia kaupunkikasvillisuuden hiilensidonnan ymmärtäminen ja luotettava tarkastelu vaatii tutkimusperäistä tietopohjaa nimenomaan kaupungeista. Hiilensidonnan voidaan myös katsoa toimivan indikaattorina kasvillisuuden yleisestä elinvoimaisuudesta: jos hiilensidonta toimii normaalisti, tuottaa kasvillisuus todennäköisesti myös muita ekosysteemipalveluita tavalliseen tapaan.

Ilmatieteen laitoksella aihepiirin tutkimusta on tehty niin kotimaisessa kuin kansainvälisessäkin yhteistyössä jo useita vuosia lähtien liikkeelle kaupunkikasvillisuuden elintoimintojen mittauskampanjoista, prosessipohjaisten ekosysteemimallien toiminnan arvioinnista ja parantamisesta mittausdatan avulla, ja päätyen lopulta tilanteeseen, jossa malleja on pystytty hyödyntämään erilaisten skenaarioiden tutkimisessa – sellaistenkin, joita ei pelkällä mittaustoiminnalla olisi pystytty toteuttamaan ja tutkimaan.

2.2 Tulevaisuuden ilmasto

Hiilensidonnan kehittyminen tulevaisuuden ilmastossa on hyvä esimerkki kysymyksestä, jonka vastaus kiinnostaa monia osapuolia, mutta jota ei luonnollisestikaan voida tutkia mitattavallisilla keinoilla nykyhetkestä käsin. Siitä on kuitenkin mahdollista esittää arvioita prosessipohjaisella ekosysteemimallinnuksella perustamalla simulaatiot kansainvälisen ilmastotutkimusyhteisön kehittämiin ilmastoskenaarioihin. Esimerkiksi vuonna 2014 hallitustenvälisen ilmastomuutospaneeli IPCC:n viidennellä raportointikierroksellaan (kts. Ilmatieteen laitos 2025) käyttöön ottamat RCP-skenaariot tarjoavat useita vaihtoehtoisia tulevaisuuskuvia siitä, miten ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuudet kehittyvät vuoteen 2100 saakka ja miten kuvattu kehitys vaikuttaa edelleen ilmasto-olosuhteisiin ympäri maailman.

Koska prosessipohjaiset ekosysteemimallit simuloivat ekosysteemien toimintaa perustuen mm. mallille syötettyihin tietoihin vallitsevista sääolosuhteista tutkittavan jakson aikana, malleja voidaan käyttää tulevien ajanhetkien simulointiin RCP-skenaariossa hahmotellun tulevaisuuden ilmaston pohjalta. Standardoidut skenaariot luovat tieteellisesti uskottavan pohjan tutkimukselle ja mahdollistavat sekä tulosten vertailun muihin samoilla aineistoilla tuotettuihin tutkimustuloksiin että vertailun erilaisten tulevaisuuskuvien – esimerkiksi nykyistä voimakkaammin tai hitaammin kasvavat kasvihuonekaasupäästöt, tai päästöjen kääntyminen laskuun – välillä.

2.3 Hiilensidonnan mallinnus tässä hankkeessa

Tässä hankkeessa toteutettu hiilensidonnan mallinnus pohjautui toisaalta jo aiemmin tekemäämme työhön aihepiirin parissa ja toisaalta uusien mallinnusmenetelmien kehittämiseen hankkeen mahdollistaman yhteistyön kautta. Lähestyimme mallinnusta kolmen erilaisen, kaupunkiviheralueille tyypillisen kasvillisuustyyppin kautta: nurmikoiden, niittyjen sekä puustoisten alueiden eli esimerkiksi puistojen ja kaupunkimetsien.

Vuosina 2020–2024 mallinnusten taustalla käytettiin havaintopohjaista meteorologista uusanalyysidataa ja vuodesta 2025 alkaen mallinnukset toteutettiin kahden eri RCP-skenaarion pohjalta: toinen näistä kuvasi tulevaisuutta, jossa kasvihuonekaasupäästöt kasvavat suunnilleen vuoteen 2040 asti, minkä jälkeen ne kääntyvät laskuun (RCP4.5), kun taas toinen kuvasi tilannetta, jossa juuri minkäänlaisia ilmastomuutoksen hillintätoimia ei saada toteutettua ja kasvihuonekaasupäästöt jatkavat tällä hetkellä vallitsevaa kehitystään päättyen nykytilanteeseen verrattuna kolminkertaisiin päästöihin vuosisadan lopussa (RCP8.5).

2.3.1 Puustoisten kaupunkiviheralueiden mallinnus

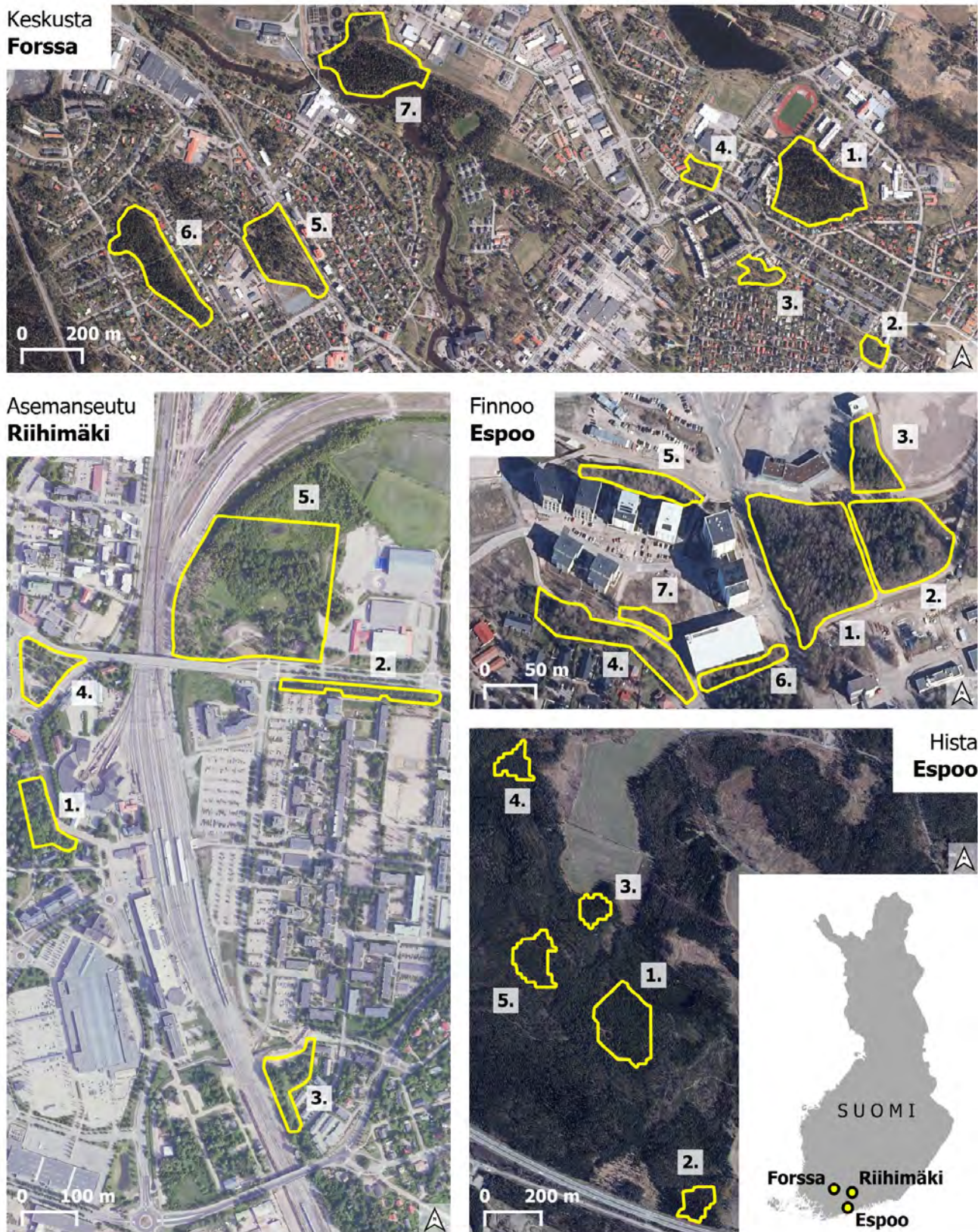
Puustoisten viheralueiden mallinnus toteutettiin käyttäen PREBASSO-mallia, joka on boreaalisten metsien kasvun ja hiilitaseen simulointiin Helsingin yliopistolla kehitetty malli. Mallia ei ole aiemmin käytetty kaupunkiympäristöissä, joten hanketyön kautta arvioitiin myös mallin sopivuutta tällaiseen käyttöön. Malli on laskennallisesti kevyempi verrattuna moniin muihin prosessimalleihin, jotka usein vaativat suurteholaskentaresurssien käyttöä simulaatioiden tekemiseksi. Tästä johtuen PREBASSO-malli voisi olla hyödyllinen väline käytännöllisemmän tason sovellutuksiin ja integroitavaksi osaksi erilaisia sovellusympäristöjä.

Aluksi hankkeen yhteistyökaupungeista Espoosta, Forssasta ja Riihimäeltä rajattiin joukko puustoisia viheralueita mallinnustyön toteuttamista varten (Kuva 5). Alueet valittiin pohjautuen kaupunkien toiveisiin. Espoossa oltiin kiinnostuneita Finnoon uuden, vielä osittain rakenteilla olevan asuinalueen hiilinieluista sekä toisaalta Histan metsäisestä alueesta, jolle suunnitellaan uudisrakentamista tulevaisuudessa. Riihimäellä oltiin kiinnostuneita Asemanseudun alueesta ja Forssassa puolestaan yleisemmin keskusta-alueen viheralueista. Koealueiksi rajattiin keskenään hieman erityyppisiä kohteita, jotta kokonaisuuteen saatiin mukaan puustoltaan tiheämpiä ja harvempia puistoja sekä metsiä, joista osa oli tiiviimmin kaupunkirakenteen keskellä ja osa puolestaan kauempana rakennetusta ympäristöstä. Näin aikaan saatu kokonaisuus mahdollisti mallin toiminnan arvioinnin paremmin kuin se, että simuloinnit olisi toteutettu keskenään hyvin samanlaisilla alueilla.

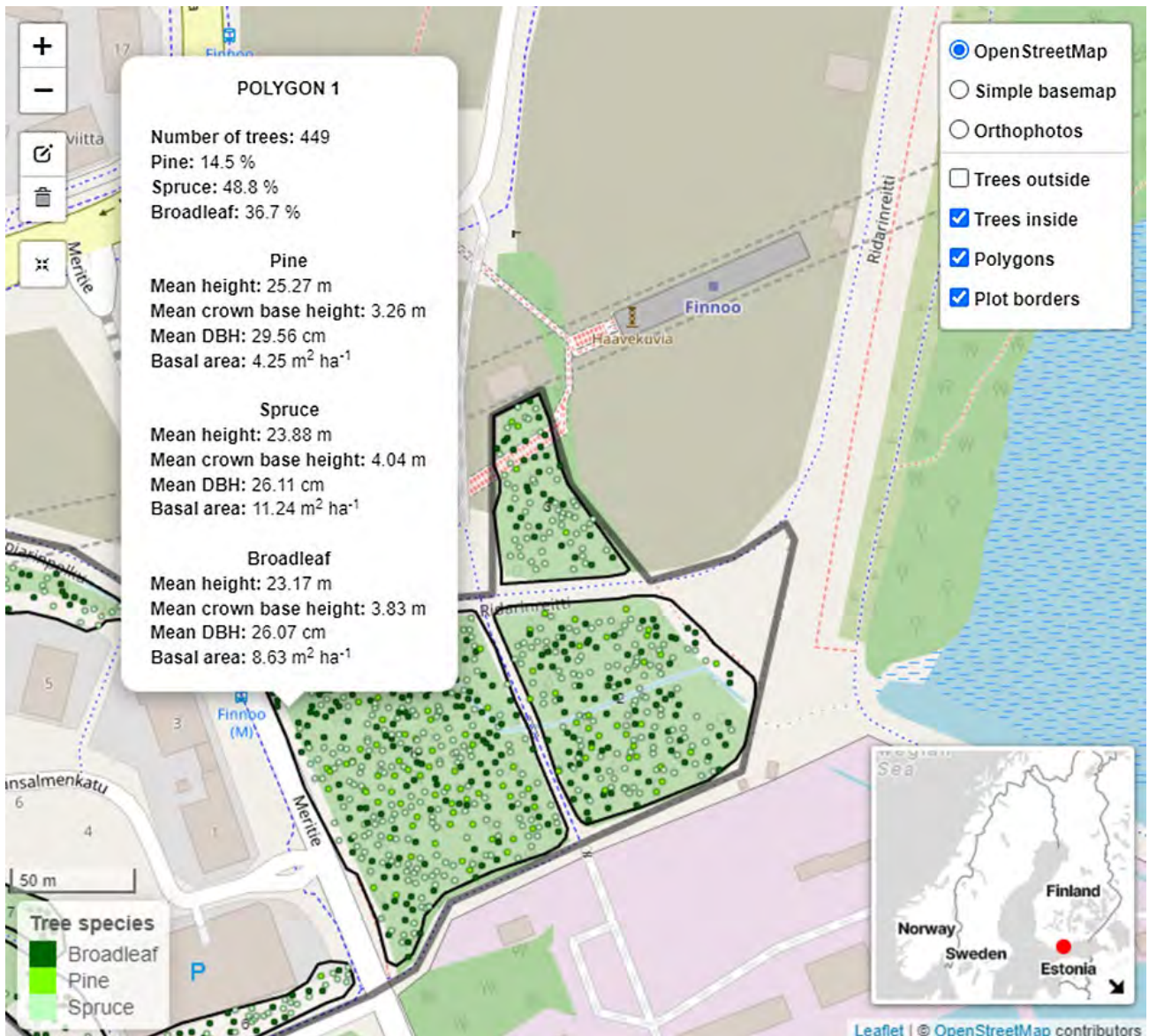
Puuston nykytilanne koealueilla laskettiin pohjautuen Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskuksen toimittamaan yksinpuintulkittuun laserkeilausaineistoon (kts. ensimmäinen luku). Hankkeessa kehitettiin esimerkinomainen interaktiivinen käyttöliittymä simuloitavaksi haluttujen kohteiden rajaamista ja laskentaa varten (Kuva 6). Aineistosta saatiin selville tiedot puuston keskimääräisestä pituudesta, läpimitasta, latvuksen alarajan korkeudesta, pohjapinta-alasta sekä eri puulajien (mänty, kuusi, lehtipuu) esiintymissuhteista.

Simuloinnit pohjattiin näihin arvoihin ja säädettiin alkamaan vuodesta, jolta laserkeilaus-aineisto oli peräisin. Puustotietojen lisäksi mallinuksissa tarvittiin tietoja kasvupaikan ominaisuuksista liittyen maaperän ravinteikkuuteen ja vedenpidätysominaisuuksiin. Näiden osalta mallille annettiin tarkkojen arvojen sijaan vaihteluvälit, jolloin pystyttiin tarkastelemaan, minkälaista vaihtelua tuloksissa esiintyy lähtötietojen ollessa epävarmoja. Lähestymistapa tarjosi oleellista tietoa siitä, kuinka tärkeitä näiden lähtötietojen tarkkuus on suhteessa saavutettujen tulosten tarkkuuteen.

PREBASSO-malli mahdollistaa metsänhoitotoimenpiteiden, kuten harvennus- ja päätehakuiden mallintamisen automaattisesti pohjautuen Tapion hyvän metsänhoidon suositusten ohjeisiin. Vaihtoehtoisesti hakkuiden toteuttamisen kynnsarvot voi halutessaan myös määrittää itse. Hakkuissa poistetun puuston määriä ja ominaisuuksia on myös mahdollista tarkastella ja sitä kautta laskea esimerkiksi hakkuiden taloudellista näkökulmaa. Tämän hankkeen puitteissa tehdyissä simuloinneissa hakkuita ei kuitenkaan toteutettu.



Kuva 5. Hankkeen aluksi valittiin kustakin yhteistyökaupungista joukko puustoisia kaupunkiviheralueita koealueiksi (keltaisella rajatut ja numeroidut alueet), joilla hiilensidonnän mallinnusta toteutettiin. Kuvan tausta-aineistot: GADM (2023), Maanmittauslaitos (2023) ja Maanmittauslaitos (2024).



Kuva 6. Hankkeessa kehitettiin esimerkinomainen käyttöliittymä, jossa mallinnettavaksi halutut puustoiset viheralueet sai manuaalisesti ja interaktiivisesti rajattua samalla laserkeilattua puustodataa ja sen ominaisuuksia tarkastellen. Tässä näkymä Espoon Finnoosta, jossa halutut koealueet on jo rajattu, minkä jälkeen niiden keskimääräisiä puustotietoja saattoi tarkastella ennen mallinnuksen aloittamista. Kuvan tausta-aineistot: OpenStreetMap (2025).

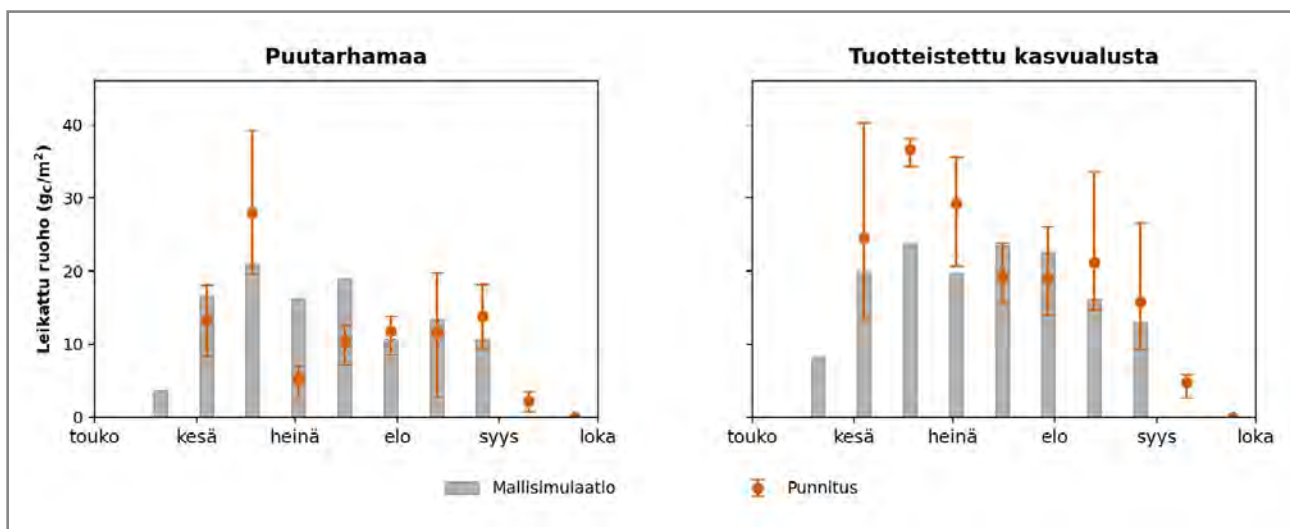
2.3.2 Ruohovaltaisten kaupunkiviheralueiden mallinnus

Nurmikoiden ja niittyjen hiilensidontaa mallinnettiin kansainvälisesti tunnetulla JSBACH-mallilla perustuen vahvasti aiempaan tutkimustyöhömmme kyseisen mallin hyödyntämisessä ruohomaisen kasvillisuuden simuloinnissa. Olemme aiemmin selvittäneet JSBACH:in luotettavuutta kaupunkinurmien ja niittyjen mallintamisessa mittausdataan vertaillen (Trémeau ym., 2024). Laadimme nyt mallilla maakuntakohtaiset arviot keskimääräisten kastelemattoman ja kastellun nurmikon sekä kahden ravinteisuustasoltaan erilaisen niityn hiilensidonnasta.

Hankkeen aikana nurmikoiden mallinnusta kehitettiin tarkastelemalla nurmikon perustamistavan ja hoitotoimenpiteiden vaikutusta hiilensidontaan. Tämän mahdollisti Hämeen ammattikorkeakoulun hankkeen yhteydessä toteuttama kenttäkoe (kts. seuraava luku), josta saatuja mittaustuloksia pystyttiin vertailemaan mallin tuottamiin arvioihin.

Kenttäkokeen mallinnuksessa huomioitiin kaikki kokeella tutkitut hoitotavat mutta perustamistapojen osalta keskityttiin toistaiseksi vain olemassa olleen puutarhamaan kunnostamiseen sekä tuotteistetun kasvualustan levittämiseen olemassa olleen puutarhamaan päälle.

JSBACH-mallin suorituskykyä arvioitiin vertaamalla kenttäkokeella toteutettuja nurmikon leikkuujätteen punnituksia mallin simuloimiin vastaaviin arvoihin. Malli onnistui varsin hyvin toisintamaan nämä poistettavan biomassan määrät kesän eri aikoina suhteessa koekentällä tehtyihin mittauksiin molemmilla eri kasvualustoilla (Kuva 7). Testin jälkeen mallilla simuloitiin yhteensä kolme eri käsittelyvaihtoa eri kasvualustoilla: leikkuujätteen poisto, leikkuujätteen jättäminen keräämättä sekä leikkuujätteen määrän tuplaaminen.



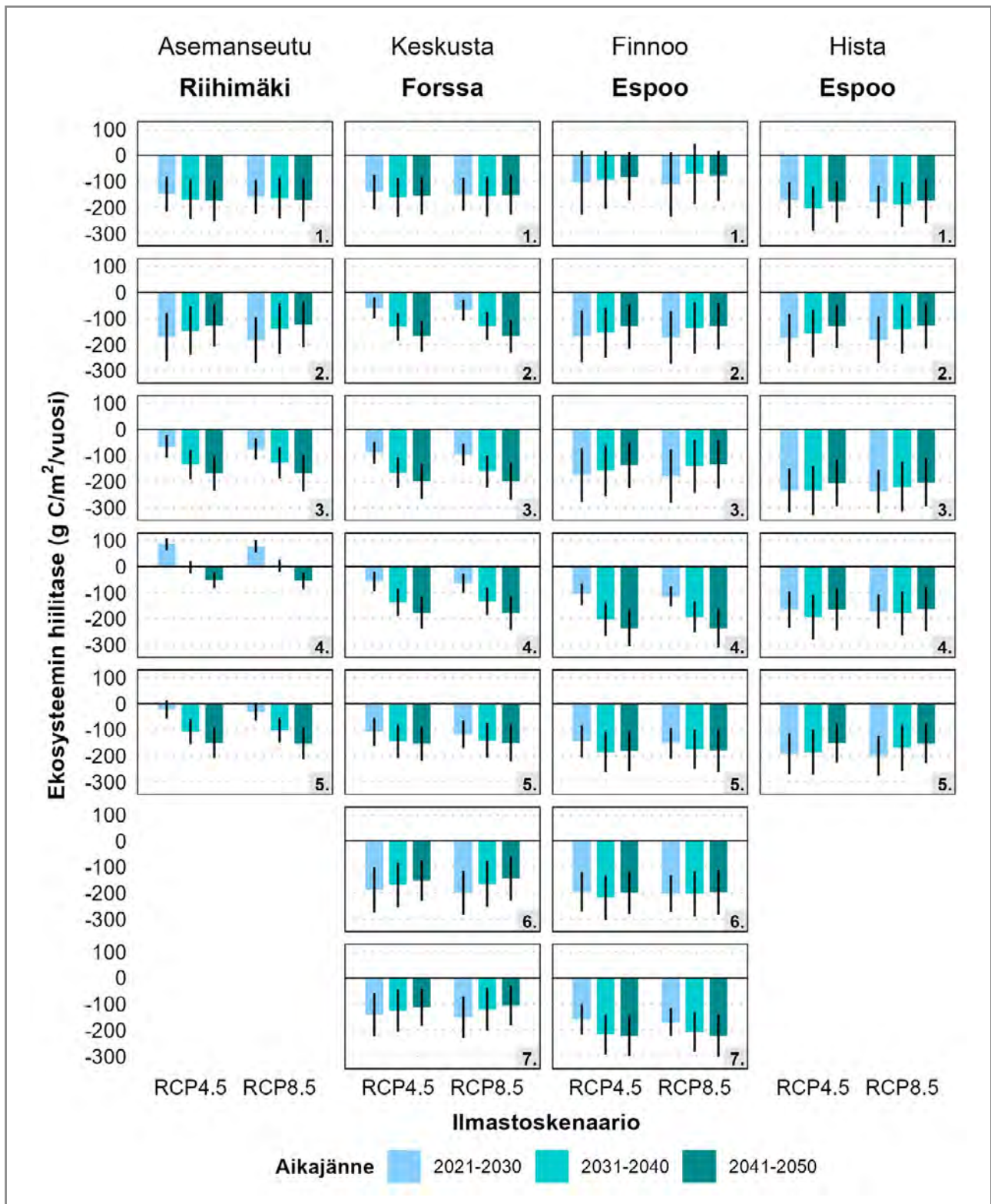
Kuva 7. JSBACH-mallilla toteutetuissa nurmikkosimulaatioissa toisinnettiin nurmikon leikkuu vastaamaan sitä, miten nurmikkoa oli todellisuudessa leikattu Lepaan koekentällä. Leikattu ruoho punnittiin aina leikkuun jälkeen, mistä syntyneitä tuloksia (kuvassa "Punnitus", koeruutujen keskiarvoina ja -hajontoina) verrattiin mallin simuloimaan leikatun biomassan määrään (kuvassa "Mallisimulaatio"). Leikkaukset tehtiin kesäkaudella 2025 kahden viikon välein.

2.4 Tulosten tarkastelu ja pohdinta

2.4.1 Puustoiset alueet

Puustoisten koealueiden vuosittaiset nettohiilitaseet eli ekosysteemistä vapautuvan ja sinne sitoutuvan hiilen erotukset laskettiin mallituloksista vuosille 2020–2050, ja näiden pohjalta laskettiin vuosittaiset keskiarvot kullekin vuosikymmenelle (Kuva 8). Suurin osa tuloksista on suuruusluokaltaan vastaavia kuin aiemmissa tutkimuksissa esiin nousseet arviot. Tarkan vertailun tekemistä vaikeuttaa se, etteivät nyt simuloidut kohteet luonnollisestikaan ole täysin samoja tai ominaisuuksiltaan samanlaisia kuin aiemmissa tutkimuksissa käsiteltyt, mutta yleisesti suuruusluokan voidaan kuitenkin pääsääntöisesti katsoa olevan samankaltainen kuin aiemmissa tutkimuksissa.

Periaatteessa tuloksissa nähtävissä trendeissä yhdistyy kaksi asiaa: toisaalta mallin simuloima metsikön kasvu ja kehitys sekä toisaalta muuttuvan ilmaston vaikutus ekosysteemin toimintaan. Todennäköisesti tuloksissa havaittavista ajallisista trendeistä suurin osa on selitettävissä nimenomaisesti hiilensidonnassa ja vapautumisessa tapahtuvista muutoksista puustoisen ekosysteemin rakenteellisen kehittymisen myötä. Aineistosta onkin havaittavissa sekä nousevia että laskevia trendejä, mitkä edelleen selittynevät puuston erilaisilla lähtötilanteilla simulaatioiden alussa. Ilmastoskenaarioiden välillä ei nähty merkittävän suuria eroja, mikä johtunee pitkälti skenaarioiden luonteesta: suurimmat erot skenaarioiden välillä tapahtuvat vasta vuoden 2050 jälkeen.



Kuva 8. Puustoisten koealueiden keskimääräinen vuotuinen nettohiilitase eli vapautuvan ja sitoutuvan hiilen erotus mallinnettiin PREBASSO-mallilla kolmelle eri aikajänteelle (2021–2030, 2031–2040 ja 2041–2050) kahden eri ilmastoskenaariion mukaisesti (RCP4.5 ja RCP8.5). Palkkien korkeus kuvaa keskiarvoa ja viiva keskihajonnan suuruutta keskiarvon ympärillä. Negatiivinen tase tarkoittaa ekosysteemin olevan vuositasolla hiilinielu, kun taas positiivinen tase viittaa hiilen vapautumiseen ekosysteemistä ilmakehään. Paneelien numerot viittaavat koealueiden numerointiin vastaavasti kuin Kuvassa 5.

Mukana on kuitenkin myös kohteita, joiden mallinnustulokset poikkeavat selkeästi muista koealueista, kuten Riihimäen rajaukset 4 ja 5. Voi olla, että näillä paikoilla hankkeen alkupuolella tehdyt koealarajaukset eivät lopulta olleet mallinnusmenetelmän kannalta parhaat mahdolliset, sillä rajaukset eivät kaikilta osin noudattele tarkasti varsinaisen puustoisen alueen rajoja. Tämä vääristää puuston lähtötilanteen määrittelyä erityisesti pohjapinta-alan osalta, mikä edelleen vaikuttaa mallin tuottamiin tuloksiin.

Kuvassa 8 esitetyissä keskihajonnoissa on mukana sekä vuosikymmenen yli laskettu vuosien välinen vaihtelu että mallinnusten lähtötilanteen määrittämiseen käytettyihin maaperätietoihin syötetty epävarmuus. Tuloksista voidaan todeta, että osin epävarmoista lähtötiedoista huolimatta lopulta lasketut tulokset ovat informatiivisia ja kertovat kohteiden hiilensidonnasta tilasta käyttökelpoisella tavalla. Epävarmuutta ja hajontaa toki on, mutta hiilensidonnasta tai vapautumisesta kertovat keskiarvot ovat pääosin suuruusluokaltaan vaihtelua suurempaa.

2.4.2 Nurmikot ja niityt

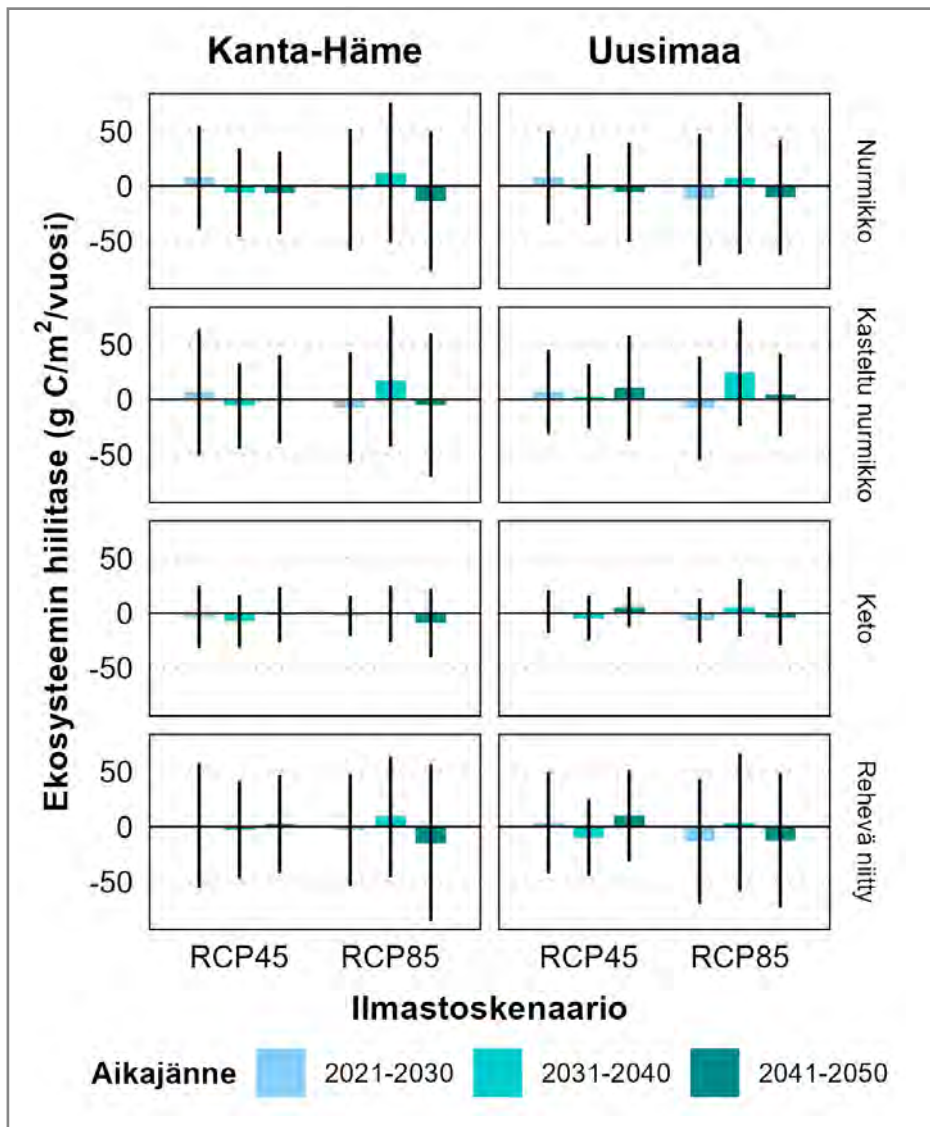
Nurmikoiden ja niittyjen nettohiilitaseista (Kuva 9) käy ilmi, että ruohomainen kasvillisuus on hiilensidonnasta kannalta huomattavasti puita herkempi ilmastolliselle vaihtelulle. Yksittäisen vuoden nettotase voi olla kulloisistakin sääoloista riippuen voimakkaasti negatiivinen (hiilinielu) tai positiivinen (hiilen lähde), jolloin esimerkiksi vuosikymmenen yli lasketut keskiarvot jäävät pieniksi ja keskihajonnat kasvavat suuriksi.

Aineiston tarkastelu yhdessä puustoisten koealueiden mallitulosten kanssa havainnollistaa myös suuruusluokkaerot kasvillisuustyyppien välillä: puustoisten alueiden hiilensidonta oli usein 100–200 grammaa hiiltä neliömetrille vuodessa, siinä missä ruohomaiset kasvillisuustyytit jäivät selvästi tämän alle. Tulos osoittaa osaltaan puuston tärkeyden hiilinieluna kaupunkiympäristössä.

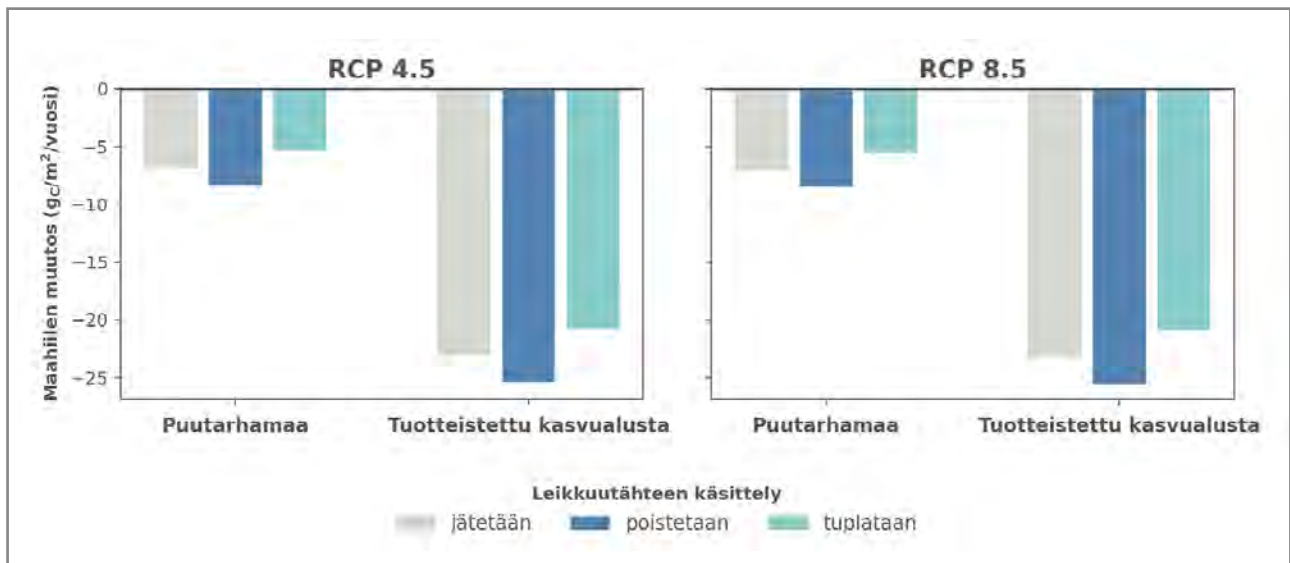
2.4.3 Kenttäkoe

Kaikissa tutkituissa käsittelyvaihtoehdoissa mallinnettu maaperän hiilivaraston trendi oli laskeva (Kuva 10) eli maaperän hiilivarasto pieneni ajan kuluessa suhteessa kokeen ja simulaatioiden lähtötilanteeseen. Erityisen huomattavaa lasku oli perustamistavalla, jossa paikalle oli tuotu tuotteistettua kasvualustaa. Tämä johtuu siitä, että maaperän mikrobitoiminta saa lähtötilanteessaan olemassa ollutta puutarhamaata huomattavasti runsashiilisemmän kasvialustan hiilen hajoamaan ja vapautumaan takaisin ilmakehään erityisen nopeasti ja tehokkaasti.

Käsittelyillä oli kuitenkin vaikutusta hajotusprosessin kulkuun: leikkuujätteen vieminen pois sai aikaan jyrkimmän laskun, kun taas leikkuujätteen tuplaaminen pehmensi laskun suuruutta. Leikkuujätteen jättäminen paikoilleen puolestaan tuotti näiden ääripäiden väliin jäävän tuloksen.



Kuva 9. Neljän erityyppisen ruohomaisen kasvillisuuden (kastelematon nurmikko, kasteltu nurmikko, keto ja rehevä niitty) keskimääräinen vuotuinen nettohiilitase eli vapautuvan ja sitoutuvan hiilen erotus mallinnettiin JSBACH-mallilla kolmelle eri aikajänteelle (2021–2030, 2031–2040 ja 2041–2050) kahden eri ilmastoskenaaron mukaisesti (RCP4.5 ja RCP8.5). Mallinnukset toteutettiin maakuntatasolla Uudellemaalle ja Kanta-Hämeelle. Palkkien korkeus kuvaa keskiarvoa ja viiva keskihajonnan suuruutta keskiarvon ympärillä. Negatiivinen tase tarkoittaa ekosysteemin olevan vuositasolla hiilinielu, kun taas positiivinen tase viittaa hiilen vapautumiseen ekosysteemistä ilmakehään.



Kuva 10. Maaperän hiilivarastoa mallinnettiin kenttäkokeen perustamisesta alkaen vuoteen 2050 saakka kahden eri ilmastoskenaarioiden mukaisesti seuraten kolmea eri käsittelytapaa nurmikon leikkuutähteiden suhteen. Palkit kuvaavat keskimääräistä vuosittaista muutosta hiilivarastossa vuosina 2024–2050.

Luvun lähteet

GADM. (2023). Maps and data. ver 4.1. <https://gadm.org/index.html>

Ilmatieteen laitos. (2025). IPCC:n arviointiraportit: Kirjoittajina laaja joukko huippuasiantuntijoita. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/arviointiraportit>

Maanmittauslaitos. (2023). Maanmittauslaitoksen ortokuva. <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/aineistot-ja-rajapinnat/tuotekuvaukset/ortokuva>

Maanmittauslaitos. (2024). Hallinnolliset aluejaot (vektori). <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/aineistot-ja-rajapinnat/tuotekuvaukset/hallinnolliset-aluejaot-vektori>

OpenStreetMap. (2025). Copyright and License. <https://www.openstreetmap.org/copyright>

Trémeau J., Olascoaga B., Backman L., Karvinen E., Vekuri H., Kulmala L. (2024). Lawns and meadows in urban green space – a comparison from perspectives of greenhouse gases, drought resilience and plant functional types. *Biogeosciences* 21: 949–972. [dx.doi.org/10.5194/bg-21-949-2024](https://doi.org/10.5194/bg-21-949-2024)

3. Maaperän hiilinielut ja hoitotoimenpiteiden vaikutus

OUTI-MAARIA SIETIÖ • OUTI TAHVONEN (HAMK)

Nurmikot ovat tärkeä osa kaupunkien vihreää infrastruktuuria ja vaikuttavat merkittävästi kaupunkien ilmastokestävyyteen. Suomessa hoitonurmikot sijoittuvat julkisilla alueilla pääosin puisto- ja liikenne-alueille, hautausmaille sekä golf-kentille (Viheralan tunnusluvut 2014–2015, 2016) ja yksityisillä alueilla asuinympäristöjen pihoille. Aiemmin nurmikot on nähty ennemmin esteettisenä arvontuottajana ja näennäisesti helppohoitoisena vaihtoehtona, mutta viime vuosina myös niiden ekologiseen rooliin on alettu kiinnittää yhä enemmän huomiota. Nykyisin maisemasuunnittelussa pyritäänkin ottamaan nurmikoiden ympäristövaikutukset aiempaa laajemmin huomioon, ja kehittämään viheralueita, joissa yhdistyvät ekologiset, esteettiset ja sosiaaliset tarpeet.

Nurmikoilla on oma paikkansa virkistysalueilla ja hulevesien imeyttämisessä, mutta maaperään on sitoutunut myös merkittävä määrä hiiltä (Heinonsalo, 2020). Pohjoisissa ekosysteemeissämme alhainen vuoden keskilämpötila on edistänyt hiilen sitoutumista maaperään. Ilmaston muuttuessa ja keskilämpötilojen noustessa maaperän hiilitaseen on myös arveltu muuttuvan.



Hämeen ammattikorkeakoulun Lepaan kampukselle perustettiin vuonna 2024 koekenttä, jossa tutkittiin nurmikoiden perustamistapojen ja hoitotapojen vaikutusta maaperän hiileen. Keskeiset kysymykset olivat: ”Miten nurmikon hiilivarasto kehittyy rakentamistai muokkausvaiheen jälkeen?” ja ”Miten nurmikon leikkuujätteen käsittely (valittu hoitostrategia) vaikuttaa perustamisvaiheen jälkeen nurmikon hiilivarastoon?”

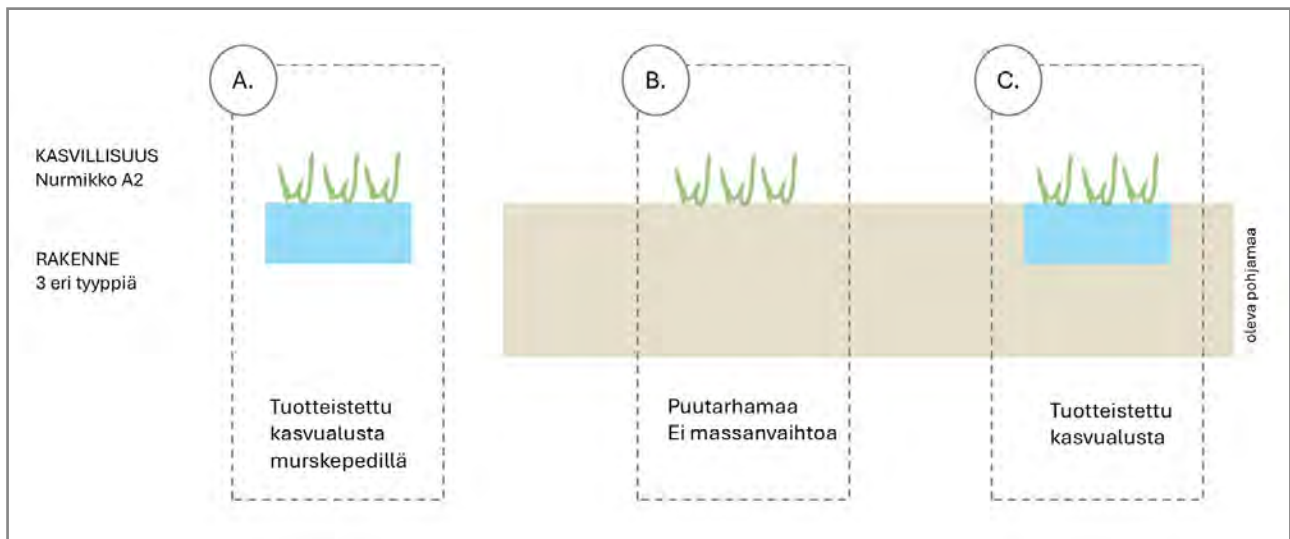
3.1 Nurmikoiden perustamis- ja hoitotavat

Suomessa nurmikot ovat syntyneet kehittymällä luontaisesti esimerkiksi tilakeskusten pihamaiden kovan kulutuksen seurauksena, mutta nykyisin nurmikot perustetaan yhä useammin määrätietoisesti. Nurmikon perustamisen lähtökohtana on varmistaa vettä- ja ravinteita pidättävä kasvualusta, jossa kiviainespitoisuudella on merkittävä vaikutus nurmikon kantavuuteen. Pitkäjänteisen tuotekehityksen tuloksena markkinoille on tullut nurmikoille soveltuvia kasvualustoja, joiden keskeisinä tavoitteina on varmistaa hyvä kasvuunlähtö, rehevä kasvusto sekä nopeasti saavutettava viherpeitteisyys.

Tarkasteltaessa nurmikoiden perustamistapoja on helppo keskittyä vain uusien nurmikoiden perustamiseen ja niiden ohjeistukseen. On kuitenkin huomioitava, että nurmikon kasvukunto ja nurmikolla tapahtuvat ekologiset prosessit kuten veden, ravinteiden ja hiilen kierto muokkautuvat ajan saatossa hoitokäytänteiden mukaan. Julkisilla ja puolijulkisilla alueilla hoitonurmikoiden perustamistavat ja hoitokäytännöt määrittävät valtakunnallisissa Viherympäristöliiton julkaisemissa vakiotyöselosteissa.

Vakio-ohjeistukseen ja käytännön työmaakokemukseen perustuen voidaan tunnistaa kolme nurmikon perustamistavan päätyyppiä: a) tuotteistetun kasvualustan tuominen erilaisille rakentamisen yhteydessä syntyville murskepedeille, b) olemassa olevan vanhan puutarhamaan tai nurmikon kunnostus ilman maa-aineksen vaihtoa, ja c) pintamaan (20 cm) vaihto tuotteistetuksi kasvualustaksi niin, että kasvualustan ja pohjamaan välinen yhteys säilyy.

Perustetulla koekentällä vertailtiin edellä mainittuja nurmikon perustamistapoja (Kuva 11). Tuotteistetun kasvualustan koeruuduista poistettiin pintamaa 20 cm:n syvyydeltä koneellisesti, ja tilalle tuotiin tuotteistettua kasvualustaa eli nurmikkomultaa. Kunnostettavilla nurmikkoruuduilla olemassa oleva puutarhamaa kunnostettiin jyrsimällä pintamaa, jonka jälkeen maasta poistettiin suurimmat ruohotupakset, tasattiin ja kylvettiin uudet nurmiksiemenet. Murskepetipohjaiset koeruudet perustettiin murskepatjalle (#0–32) ja murske vaihdettiin tuotteistettuun kasvualustaan 20 cm:n syvyydeltä, jonka jälkeen pintaan kylvettiin nurmiksiemenet. Koeruudet (1,5 x 1,5 m) perustettiin toisistaan erilleen niin, että niiden väliin jäi 1,5 m koeasetelman perusmaata. Jokaisesta perustamistavasta (3 kpl) on koekentällä yhdeksän ruutua, jolloin ruutujen yhteismäärä oli 27 ruutua.



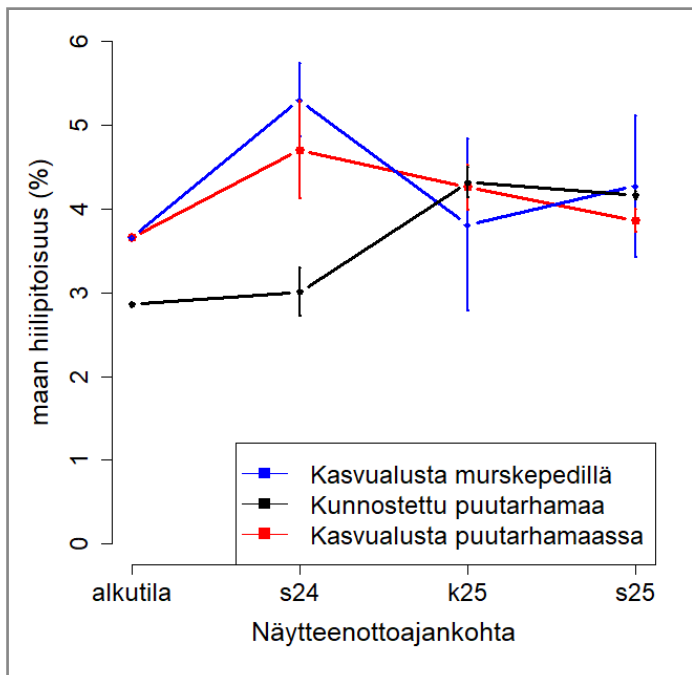
Kuva 11. HAMKin Lepaan kampuksen nurmikoekentällä käytetyt perustamistavat.

Perustettuja nurmikoita hoidettiin leikkaamalla ne kasvukaudella (touko-lokakuu) kahden viikon välein. Lisäksi leikkuutähteiden vaikutusta maaperän hiileen tutkittiin käsittelemällä se kolmella eri tavalla: i) leikkuutähteet haravoitiin pois, ii) leikkuutähteet jätettiin paikalleen ja iii) leikkuutähteet tuplattiin siirtämällä koejäsenten ”i” leikkuutähteet näille ruuduille.

3.2 Hiilensidonta koekentillä

Alustavien tulosten mukaan nurmikon kasvuvauhti leikkuukertojen välillä oli suurempaa koejäsenessä ”c” eli nurmikkoruuduilla, johon olemassa olevaan puutarhamaahan oli tehty massanvaihto. Nurmikon kasvuvauhti oli puolestaan hitainta murskepedin päälle perustetussa nurmikossa (koejäsen ”a”).

Koejäsenissä ”a” ja ”c” käytettiin tuotteistettua kasvualustaa, jolla oli alkujaan suuri hiilipitoisuus. Näiden koejäsenten hiilipitoisuus pysyi lähes samana koko kahden kasvukauden seurantajakson ajan (Kuva 12). Koejäsenen ”b” eli kunnostetun vanhan puutarhamaan (ei massanvaihtoa) hiilipitoisuus oli alussa merkittävästi muita koejäseniä matalampi, mutta kasvoi kokeen aikana. Tähän saattoi vaikuttaa se, että jysintä kuohkeutti maan rakennetta, mikä mahdollisti nurmikon juuriston kasvamisen syvemmälle ja siten myös hiilen kertymisen syvemmälle maaprofiiliin.



Kuva 12. Maaperän ylimmän 20 cm:n hiilipitoisuuden muutos kokeen aikana eri perustamistavoilla tavanomaisin hoitotavoin (leikkuu kahden viikon välein, leikkuutähteet jätettiin paikalleen).

3.3 Merkittävimmät hoitonurmikoiden hiilensidontaa ja päästöjä ohjaavat tekijät

Maan hiilivaraston suuruus vaihteli suuresti niillä koeruuduilla, joissa nurmikko oli perustettu murskepedeille, jotka ovat erityisen tyypillisiä ratkaisuja tiivistyvässä kaupunkirakenteessa, joissa murskepedit rajautuvat perustusten ja kovien pinnoitteiden väliin. Näissä ruuduissa käytetty tuotteistettu kasvualusta on toki nurmikon kasvuille optimoitua. Suuri maan hiilivaraston vaihtelu kahden ensimmäisen vuoden aikana voi johtua koeruutujen eristyneestä luonteesta, sillä murske rajasi niitä sekä alta että sivuilta, jolloin ympäristöstä leviävä ja maan hiilivarastoa kasvattava maaperän mikrobiston ja -eliöstön kehittyminen on ollut ruutujen välillä sattumanvaraista.

Kun vanha nurmikko kunnostetaan jyrsimällä ja hyödyntämällä olemassa olevaa maata, näyttää se nostavan maaperän hiilivarastoja. Nousun taustalla voi olla uuden kasvusyklin käynnistyminen, maan rakenteen parantuminen ja juuribiomassan lisääntyminen sekä orgaanisen aineksen kertyminen. Samalla kuitenkin tiedetään, että jyrsimä ja maan muokaus voivat myös vapauttaa hiiltä. Tämän vertailun perusteella vanhan nurmikon kunnostus kasvattaa kahden ensimmäisen vuoden aikana maan hiilivaraston 1,5-kertaiseksi (2,86:sta 4,16:een) mikäli nurmikkoa hoidetaan tavanomaisesti, ja leikkuutähteet jätetään paikalleen.

Olemassa olevan pintamaan vaihto nurmikon maksimaaliseen kasvuun tähtäävään kasvualustaan ei muuttanut merkittävästi maan hiilipitoisuutta. Silmäämäärisesti arvioituna näissä ruuduissa kasvusto oli kuitenkin rehevää ja viherpeitteisyys lisääntyi nopeimmin.

Näiden koeruutujen välillä on ollut erotuskaistana vanha puutarhamaa, jota kautta mikrobisto on päässyt leviämään helposti kaikille koeruuduille toisin kuin niillä ruuduilla, jotka oli perustettu murskepedille.

Nurmikon hoitokäytännöt leikkuutähteiden käsittelyn osalta käsiteltiin tässä vertailussa kolmen työtavan kautta. Leikkuutähteet joko jätettiin paikalleen, haravoitiin pois tai se kaksinkertaistettiin. Leikkuutähteiden siirto toisaalle (koeasetelmassa kaksinkertaistetuilla ruuduilla) ei ole normaalisti käytössä oleva työtap, mutta sillä pyrittiin kuvaamaan jatkuvaa orgaanisen aineksen syötettä nurmikkopinnalle.

Nurmikolle jätetyt leikkuutähteet vaikuttavat hiilivarastoihin useilla eri tavoilla: se tuo maahan orgaanista ainesta, ylläpitää ja lisää mikrobitoimintaa ja parantaa lisäksi maan kosteutta ja rakennetta. Ruohosilpun käsittely on nurmikon hoidossa keskeinen ja säännöllisesti toistuva toimenpide läpi nurmikon koko elinkaaren, joten sen vaikutus maan hiilivarastoon on merkittävä.

Hiilivarastoja saattaa puolestaan vähentää ns. priming-ilmiö, jossa maaperän mikrobisto reagoi runsaaseen helppokäyttöisen hiilen tarjontaan lisääntymällä ja toimimalla tavanomaista vilkkaammin. Tässä kokeessa leikkuutähteet voivat toimia helppokäyttöisenä hiilenlähteenä ja edistää maaperän mikrobien orgaanisen aineen hajotustoimintaa, joka lisää maahengitystä ja hidastaa maaperän hiilivarastojen kasvua tai joskus jopa vähentää hiilivarastoja.

Käytännössä orgaanisen aineksen lisäämisessä on siis tasapainoitava riittävän orgaanisen aineksesta muodostuvan syötteen ja priming-ilmiön välillä. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että leikkuutähteiden kaksinkertaistaminenkaan ei vielä näy priming-ilmiönä, ja mallinnuksen perusteella saattaisi tulevaisuudessa jopa hiljalleen lisätä hiilivarastoja. Jatkossa kasvualustojen tuotekehityksessä tulisi huomioida viherpeitteisyyden maksimoinnin ja hyvän kasvuunlähdon lisäksi myös hiilinäkökulma.

Luvun lähteet



Heinonsalo, J. (toim.) (2020). Hiiliopas – Katsaus maaperän hiileen ja hiiliviljelyn perusteisiin (1. painos). Kaarina: Paino-Kaarina. Baltic Sea Action Group. Saatavilla: <https://www.bsag.fi/wp-content/uploads/2020/01/BSAG-hiiliopas-1.-painos-2020.pdf>

Viheralan tunnusluvut 2014–2015. (2016). Selvitysraportti. Viherympäristöliitto ry. Julkaisu 58. Helena Tajakka (toim.). Helsinki: Viherympäristöliitto ry. ISBN 978-952-5225-70-9.

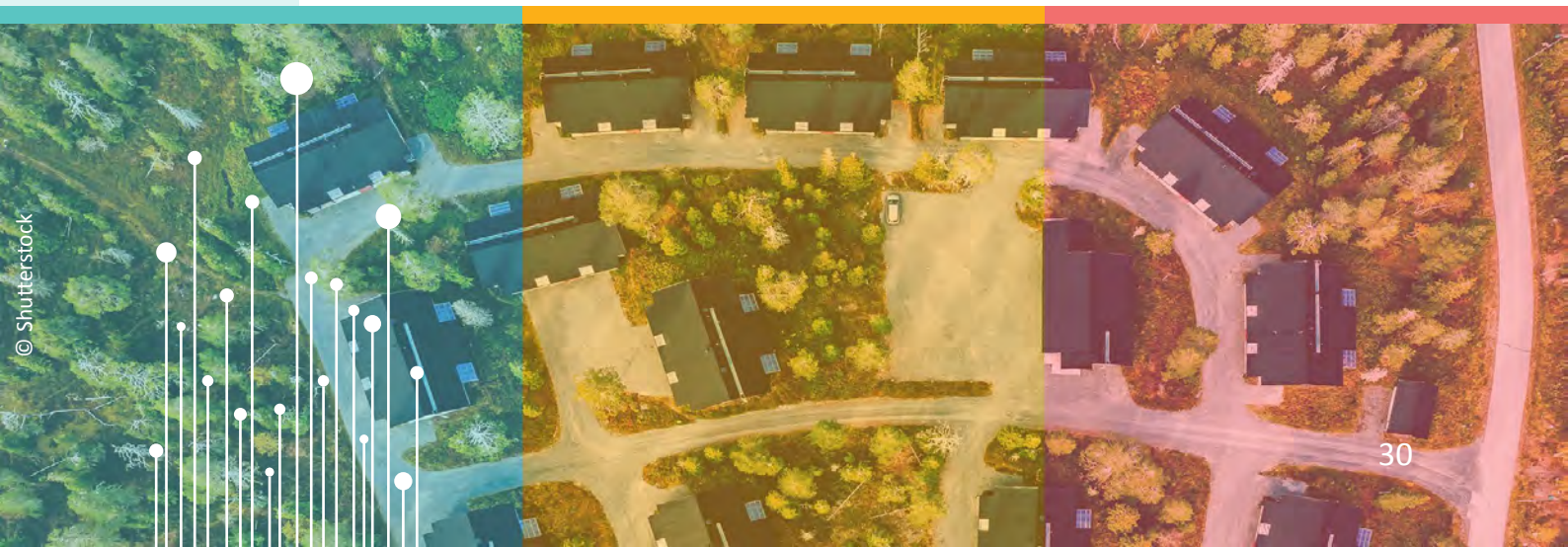
4. Hiiliviisaan 3D-kaupunkimalli- ympäristön toteutus

HEIKKI KAUFANEN • LAURA IKONEN • MATTI VAAJA (Aalto yliopisto)

Aalto-yliopisto tuotti tässä hankkeessa konseptia hiiliviisaan kaupunkivihreän digitaalisesti kaksoiseksi. Digitaalinen kaksonen sisältää tietojärjestelmän vaatimusmäärittelyä, mutta osin 3D-visualisointeja. Tavoitteena oli luoda koealueista pilotoiva 3D-kaupunkimalli ympäristö, jonka kautta on mahdollista saada visuaalista tietoa koealueiden hiilensidonnasta ja, jonka perusteella voidaan arvioida esitystavan tietotarpeita ja ominaisuuksia.

4.1 Yksittäisten puiden hiilivirtojen mallinnus pelimoottorissa (Materiaalit ja menetelmät)

3D-kaupunkimalli ympäristön lähtöaineistona oli hankkeen käytävissä ollut Maanmittauslaitoksen kehittämä Metsäkanta-aineisto. Metsäkanta perustuu yksinpuintulkintaan ja siihen on laskettu n. 6 miljardin puun tiedot Suomen metsistä. Hankkeen alkuvaiheessa pyrittiin selvittämään, miltä osin ja miten Metsäkantaa voitaisiin hyödyntää hiiliviisaan kaupunkivihreän digitaalisen kaksonen kehittämisessä. Selvityksessä päädyttiin hyödyntämään Metsäkannan tietoja yksittäisille puille mallinnettuja ominaisuustietoja, kuten puun pituutta, läpimittaa, tilavuutta ja biomassaa. Näiden tietojen avulla voidaan muokata yksittäisiä 3D-kaupunkimallin mallipuita.



Tätä varten tarvitaan kuitenkin mitattuja tai mallinnettuja puita aihioiksi. Modernit pelimoottorit, kuten Unreal Engine mahdollistavat näyttävän paikkatiedon visualisoinnin ja tarjoavat runsaasti erilaisia geometrioita mallikirjastojen kautta (kts. Kauhanen ym. 2025). Tässä hankkeessa pyrittiin kuitenkin ensisijaisesti tuottamaan mahdollisimman lähelle Suomen puustoa esittävä visualisointi, joten alkuvaiheessa selvitettiin omien puumallien tuottoa laserkeilausta ja fotogrammetriaa hyödyntäen.

Puumallien rakentamista varten kokeiltiin kolmea pistepilveä sisältäen kaksi mäntyä ja yhden lehtipuun. Ne toimivat syötteenä Procedural_tree_modelling, AdTree, AdQSM, TreeQSM, SpeedTree ja Treelt sovelluksiin. Mitatun paikkatiedon käyttö mallipuiden luontiin mahdollistaa mallikirjastoja paremman vastaavuuden paikalliseen puustoon. Mikään kokeiluista ei kuitenkaan tuottanut visuaalisesti parempaa mallia kuin pelimoottorin mallikirjastoista löytyvät, joten kaupunkimallissa päädyttiin käyttämään Metsäkanta-aineiston parametritiedoilla muokattuja mallikirjaston puita. Unreal Engine pelimoottoriin on kuitenkin tulossa aiempaa parempi tuki parametriselle mallipuiden generoinnille, joten laserkeilauksen ja fotogrammetrien käyttö mallipuiden luontiin kannattaa pitää jatkossa mielessä.

Tämä toteutettiin Unreal Engine pelimoottorissa lukemalla sisään ote Metsäkanta-aineistosta tekstimuotoisena, luomalla sen pohjalta mallikirjastosta haetun puumallin perusmuotoinen malli Metsäkanta-aineiston koordinaattitietojen määrittämään paikkaan ja skaalaamalla mallipuun koko hyödyntäen Metsäkannan puukohtaisia parametritietoja. Näin saatiin luotua 3D-kaupunkimalli ympäristöön kolmea puulajityyppiä käyttävä esitys Metsäkanta-aineiston mukaisesta puustosta kahdelle koealueelle. Koealueet olivat Finnoo ja Hista. Histan osalta kesällä 2025 toteutettiin lisäksi 12,5 hehtaaria kattava dronekartointus vertailumateriaaliksi ja visualisoimaan eroja mitattujen ja mallipuiden välillä. Muilta osin 3D-kaupunkimalli ympäristö hyödyntää Googlen ja OpenStreetMapin aineistoja, joten mallilla on periaatteessa globaali kattavuus. Tarkemman puuston osalta tarkastelu kuitenkin rajoittuu kymmenisen hehtaarin kokosiin alueisiin Finnoossa ja Histassa.

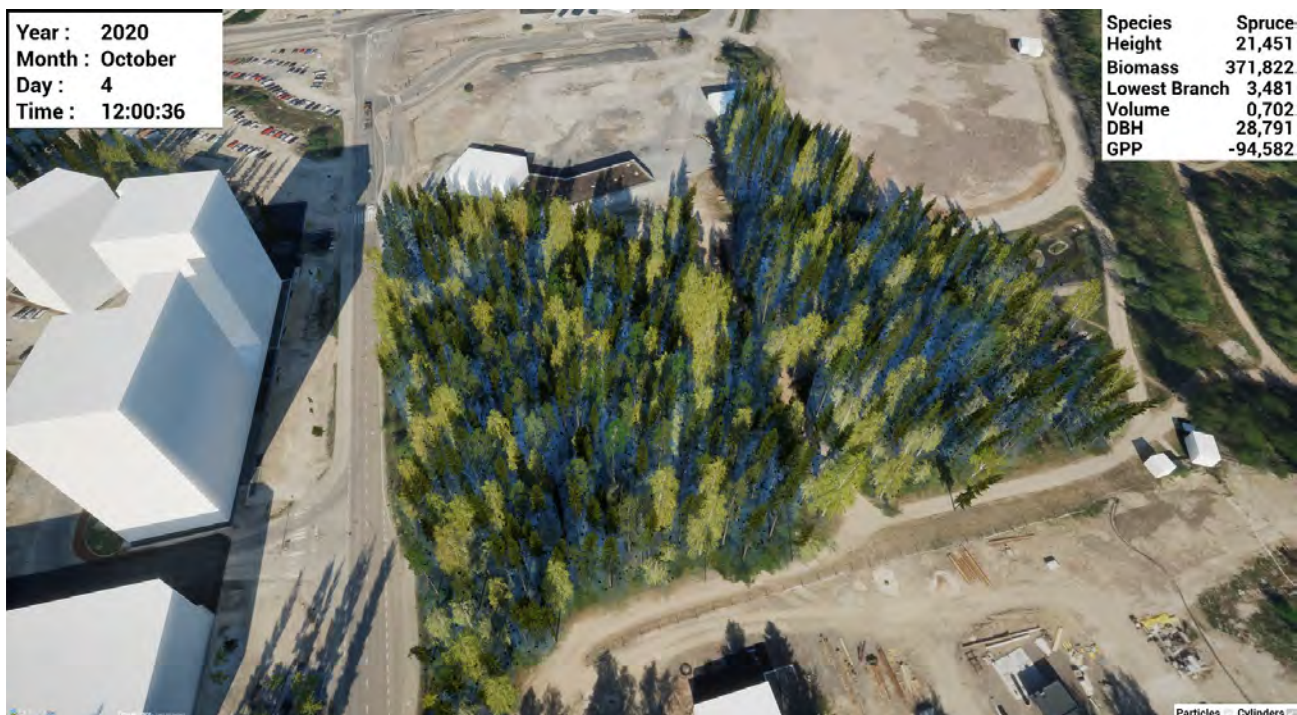
Pelimoottori ympäristö mahdollistaa reaaliaikaisen interaktiivisen mallin tarkastelun lisäksi esimerkiksi säteenseurantaan perustuvan valaistuksen. Sen avulla malliin voidaan laskea minkä tahansa halutun ajankohdan mukaiset valot ja varjot. Tämä simulaatio ottaa huomioon myös yllä mainitut mallipuut, mahdollistaen immersiiivisemmän mallin tarkastelun. Lisäksi menetelmää voidaan hyödyntää esimerkiksi varjoanalyysin muodossa. Myös esimerkiksi Googlen ja OpenStreetMapin rakennustietojen perusteella esitettyjen talojen varjostavuus on mukana mallissa.

Hiilivirtojen visualisointia varten hankkeessa hyödynnettiin Ilmatieteen laitoksen simulatiodataa, joka mallintaa puiden kasvua sekä hiilidioksidin sitoutumista tai vapautumista tietyllä alueella. Puiden kasvua koskeva data käsiteltiin MATLAB:ssa, jossa jokaiselle puulle laskettiin vuosittainen kumulatiivinen kasvu. Unreal Engine:ssä kasvu simuloidaan malli-

puun uudelleen skaalauksella. Hiilidatan prosessoiminen automatisoitiin QGIS:in Model Designer-työkalua käyttäen, joka mahdollistaa eri operaatioiden yhdistämisen yhdeksi prosessointi malliksi. Koska visualisoinnissa pyrittiin hyödyntämään Metsäkanta-aineiston yksinpuintulkinnan luomia mahdollisuuksia, päädyttiin hankkeessa jakamaan Ilmatieteen laitoksen alueelliseen hiilivuohon perustuva simulaatio puukohtaiseksi hiilivisualisoinniksi painottamalla aineistoa puukohtaisesti yksittäin jokaisen puun biomassalla. Tämä menetelmä toimii alustavana keskustelunavauksena yksittäisten puiden hiilivuon mallinnuksen osalta. Tämän hankkeen pääpaino menetelmän käytölle on yksittäisen puun tarkkuudella tapahtuvan hiilenvaihdunnan visualisoinnin toteutus, eikä niinkään hiilivuon laskenta yksittäiselle puulle. Hiilivuon visualisointia varten jokaisen puun ympärille luotiin läpikuultava pilari, jonka korkeus vaihtelee hiilenvaihdunnan voimakkuuden mukaan. Koska yksittäisen puun hiilensidonnan voimakkuutta ei ole varmennettu, läpikuultavuus pidettiin melko hallitsevana, jolloin useamman ison pilarin alueet summautuvat yhteen ja esiintyvät klustereina, joissa hiilenvaihdunnan oletetaan olevan voimakkaampaa. Lisäksi sitoutuvaa ja vapautuvaa hiiltä visualisoitiin animoiduilla partikkeleilla, jotka ohjautuvat puuta kohti sitoutumisen tapauksessa ja puusta pois vapautumisen tapauksessa. Kuvissa 13–15 esitetään hiilen sitoutumista kahtena eri ajankohtana. Oikealla ylhäällä näkyvät tiedot ovat kaikissa esimerkeissä samasta puusta, jolloin lokakuun esimerkissä hiilen sitoutuminen (GPP) on vähäisempää ja siten myös vaaleansiniset pilarit ovat pienempiä ja partikkeleita virtaa vähemmän.



Kuva 13. Voimakasta hiilen sitoutumista kesältä Finnoossa.



 **Kuva 14.** Vaimeampaa hiilen sitoutumista syksyltä Finnoossa.



 **Kuva 15.** Hiilen sitoutumista katutasosta Finnoossa.



Kuva 16. Pistepilvestä puoliautomaattisesti (vasen) tuotettu lehtipuumalli (oikea), jota ei päädytty käyttämään demossa.

4.2 Tulokset ja johtopäätökset

Hankkeessa toteutettu pelimoottoripohjainen 3D-kaupunkimalli ympäristö yhdistää kahden eri tieteenalan mallinnuksia yhdeksi visualisoinniksi, jossa pyritään esittämään mahdollisuuksia hakea eri aineistoista synergiaetuja ja viestiä tieteellisiä tuloksia popularisoidussa muodossa. Kolmiulotteinen visualisointi mahdollistaa vapaasti valittavan perspektiivin, jolloin käyttäjä voi valita painottaa haluamiaan asioita visualisoinnissa. Visualisoinnin eri osia voidaan myös reaaliaikaisesti kytkeä päälle tai pois, jolloin voidaan paremmin keskittyä tiettyyn visualisoitavaan asiaan. Mallikirjaston puiden skaalaaminen Metsäkannan parametritiedoilla luo visualisoinnin, jossa puut eivät enää näytä yhtä selvästi kopioilta toisistaan ja vastaavat paremmin todellisuutta. Vastaavasti Ilmatieteen laitoksen simulaatioiden skaalaus Metsäkannan yksittäisiin puihin avaa mahdollisuuksia yksittäisten puiden hiilenvaihdunnan tutkimukseen ja viestintään. Mallia käyttäen voidaan havainnollistaa hiilenvaihdunnan mekanismeja, eri ilmastoskenaarioiden vaikutuksia ja mahdollisesti myös kaavailtujen muutoksien vaikutusta esimerkiksi poistamalla tai lisäämällä puustoa virtuaalisesti. Tästä demossa on esimerkkinä Ilmatieteen laitoksen laskemat arviot puuston kasvulle koealueilla vuoteen 2100 asti. Demo kattaa päiväkohtaisen hiilen sitoutumisen vuosien 2020–2024 osalta sekä vuosikohtaisen sitoutumisen ja vapautumisen vuosien 2025–2100 osalta.

Luvun lähteet

Jääskeläinen, A. 2025. Kaupunkipuiden hiilivarastojen paikkatietoanalyysi ja aineistojen vertailu. Diplomityö, Geoinformatiikan maisteriohjelma, Aalto-yliopisto.

Kauhanen, H., Rantanen, T., Rönnholm, P., Shafaat, O.B., Jaalama, K., Julin, A. and Vaaja, M., 2025. Three-Dimensional Multitemporal Game Engine Visualizations for Watershed Analysis, Lighting Simulation, and Change Detection in Built Environments. ISPRS International Journal of Geo-Information, 14(7), p.265. <https://doi.org/10.3390/ijgi14070265>

Shafaat, O.B., Kauhanen, H., Julin, A., Jaalama, K., and Vaaja, M.T., 2025. Comparing airborne laser scanning and UAV photogrammetry for estimating aboveground biomass of individual urban trees in Helsinki, Urban Forestry & Urban Greening, Vol. 112, 128936, ISSN 1618-8667, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.128936>

Shafaat, O.B., Kauhanen, H., Julin, A. and Vaaja, M.T., 2025. 3D Change Detection of Urban Vegetation Using Integrated TLS and UAV Photogrammetry Point Clouds. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2025.3612739>

5. Kuntien tietotarpeet hiilinieluista Uudellamaalla ja Kanta-Hämeessä

RIKU MUSTONEN (Sykli)

Toteutimme vuoden 2024 aikana kysely- ja haastattelututkimuksen, jonka tavoitteena oli selvittää Uudenmaan ja Kanta-Hämeen kuntien tietotarpeita ja näkemyksiä hiilinieluihin liittyen. Kyselyyn vastasi 12 kuntaa. Kyselyyn vastanneista kunnista kuusi kutsuttiin syventäviin ja täydentäviin haastatteluihin (3 kuntaa Kanta-Hämeestä ja 3 Uudellamaalta). Selvityksen tarkoituksena oli tukea kuntia hiilinielutiedon hyödyntämisessä päätöksenteossa, ilmastostrategioissa ja viestinnässä.

Tutkimuksen taustalla on kunnille asetetut kasvavat paineet vastata ilmastotavoitteisiin ja hiilineutraaliustavoitteisiin. Hiilinielujen rooli on korostunut, koska pelkkä päästövähennysten tavoittelu ei riitä – tarvitaan myös tehokkaita toimia hiilensidonnan lisäämiseksi. Kunnilla on kuitenkin erilaisia valmiuksia ja resursseja, mikä näkyy sekä tavoitteiden asettelussa että käytännön toteutuksessa.

Tässä dokumentissa oleva kirjoitus on tiivistelmä lopullisesta raportista. Laajempi raportti aiheesta löytyy [Syklin sivuilta](#).



5.1 Uudenmaan kuntien tulokset

Uudenmaan kunnissa hiilinielut on huomioitu osana strategioita ja ilmastosuunnitelmia, mutta niiden integrointi kokonaisvaltaiseen ilmastotyöhön on vielä kesken. Useat kunnat ovat sitoutuneet päästövähennyksiin, ja jäljelle jäävien päästöjen kompensoinnissa hiilinielut nähdään tärkeänä keinona. Kunnissa tunnistetaan viheralueiden ja ekosysteemi-palvelujen arvo laajasti, mutta konkreettisia toimenpiteitä hiilinielujen vahvistamiseksi on vielä rajallisesti.

Näkykö hiilensidonta kunnan strategiatyössä?

Kyllä 87 %

Ei 12 %

En osaa sanoa 0 %

Haastatteluissa nousi esiin, että vihreillä alueilla on paljon arvoa, jota ei voida mitata pelkästään taloudellisin mittarein. Kunnissa arvostetaan niiden tuottamia ekosysteemi-palveluja: puhdasta ilmaa, virkistysmahdollisuuksia ja monimuotoisuuden turvaamista. Kuitenkin käytännön tasolla resurssien rajallisuus ja tiedon hajanaisuus hidastavat toimenpiteiden laajempaa käyttöönottoa.

Kunnissa on käytössä metsätietokantoja ja rekistereitä, jotka kattavat puuston ja viher-alueet. Lisäksi osa kunnista on asettanut puuistutustavoitteita kaavoituksen yhteydessä. Hiilinielutietoa käytetään kuitenkin vielä hajanaisesti, eikä sitä ole helppo muuntaa päätöksenteon kannalta ymmärrettävään muotoon. Haastatteluissa nousi esiin tarve saada selkeämpää ja visuaalisempaa tietoa – esimerkiksi kolmiulotteiset visualisoinnit voisivat auttaa havainnollistamaan hiilinielujen sijaintia ja laajuutta.

Onko teillä tietoa kunnan alueen hiilivarastojen määrästä maaperässä ja kasvillisuudessa?

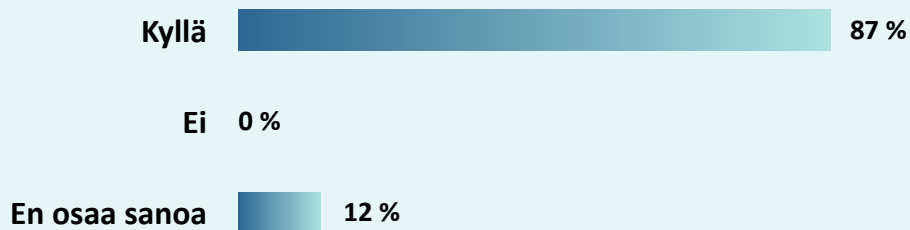
Kyllä 37 %

Ei 37 %

En osaa sanoa 25 %

Koulutustarve on merkittävä. Kuntien henkilöstö kaipaa lisää osaamista hiilinielujen toiminnasta, niiden arvioinnista ja mahdollisuuksista tukea ilmastotavoitteita. Erityisen tärkeäksi koettiin se, että myös poliittisille päättäjille tarjotaan selkokielistä koulutusta. Tämä voisi lisätä päätöksenteon laatua ja auttaa nostamaan hiilinielut yhdeksi keskeiseksi argumentiksi kunnallisessa ilmastopolitiikassa.

Tarvitseeko kunnan henkilöstö lisätietoa tai koulutusta hiilinieluihin ja -varastoihin liittyen?

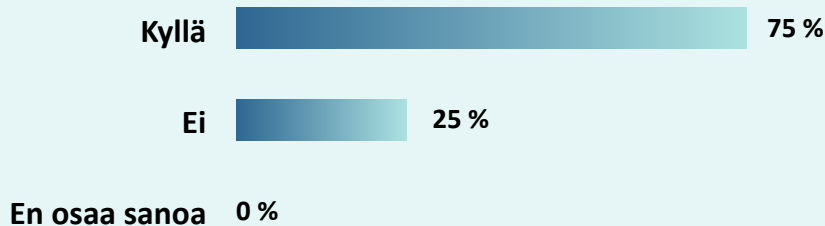


Yhteistyö nähtiin tärkeänä. Moni alueen kunta on ollut oallisena tutkimushanketoiminnassa ja esimerkiksi laserkeilauksien avulla on saatu tarkempaa tietoa metsävarannoista. Kunnat toivovat kuitenkin laajempaa, alueellisesti koordinoitua yhteistyötä sekä yhteisiä toimintamalleja hiilinielujen hallintaan. Haasteeseen voitaisiin vastata tuottamalla valtakunnallinen hiilinieluopas joka olisi kaikkien kuntien käytettävissä.

5.2 Kanta-Hämeen kuntien tulokset

Kanta-Hämeen kunnissa hiilensidonta on kytketty strategioihin, mutta se ei useimmiten näy erillisenä teemana, vaan osana hiilineutraaliustavoitteita ja ympäristöpolitiikkaa. Haastatteluissa todettiin, että hiilinielujen vahvistaminen on välttämätöntä, jotta kunnianhimoiset ilmastotavoitteet voidaan saavuttaa. Kuntien lähestymistavat kuitenkin vaihtelevat.

Onko tietoa siitä, kuinka paljon kunnan alueella on eloperäistä (ts. turve tai multamaa) tai kivennäismaata?



Osa kunnista on asettanut tavoitteita hiilinielujen kasvattamiselle, mutta usein ne jäävät yleiselle tasolle. Tavoitteita ei ole konkretisoitu esimerkiksi määrällisiksi päämääriksi tai aikatauluiksi. Yksi kunnista on määritellyt, että maankäytön päästöjen on oltava vähäisiä ja päästöt tulisi kompensoida maaperän nieluilla tai muilla ratkaisuilla. Useat kunnat ovat teettäneet hiilitaseselvityksiä, joiden pohjalta on tarkoitus laatia tarkempia toimenpiteitä.

Kuntien toimenpiteet hiilensidonnan edistämiseksi vaihtelevat alueiden luontotyyppien ja resurssien mukaan. Haastatteluissa mainittuja keinoja olivat esimerkiksi soiden ennallistaminen, puurakentamisen lisääminen, lahoppuun määrän kasvattaminen puistoissa, uusien luonnonsuojelualueiden perustaminen, turvetuotantoalueiden jatkokäyttö sekä joutomaiden metsittäminen. Näiden lisäksi osa kunnista on päättänyt olla hakematta tuottoa omistamistaan metsistä, mikä tukee pitkäjänteistä hiilivarastojen kasvattamista.

Onko kunnalla käytössä jokin paikkatietopohjainen alusta koskien viheralueita tai hiilinieluja?

Kyllä 75 %

Ei 25 %

En osaa sanoa 0 %

Hiilinieludata perustuu pääosin alueellisiin selvityksiin, kuten HSY:n pääkaupunkiseudun hiilinieluselvytys (2021). Kunnilla on myös puurekistereitä, joiden aineisto saattaa sisältää tiedot jopa yksittäisistä puista. Paikkatietopohjaisia alustoja, kuten Trimblen sovellusta, käytetään viheralueiden hallinnassa. Kunnilla ei kuitenkaan yleensä ole käytössään omia maaperärekistereitä, mikä rajaa tietojen tarkkuutta. Hiilinielutietoa hyödynnetään erityisesti maankäytön suunnittelussa ja viestinnässä.

Tietotarpeet liittyvät erityisesti siihen, miten hiilinieluja voidaan lisätä tehokkaasti ja millaisia vaikutuksia eri toimenpiteillä on. Kunnat kaipasivat myös tietoa hiilinielujen taloudellisesta arvosta, joka toisi konkretiaa päätöksentekoon. Lisäksi kunnissa tunnustetaan tarve seurata hiilinielujen kehittymistä luotettavasti ja säännöllisesti. Myös rakennuskannan hiilivarastojen arviointi nousi uutena kiinnostuksen kohteena.

Koulutuksen tarve nousi esiin voimakkaasti. Haastatteluissa todettiin, että hiilensidontaan liittyvä osaaminen on usein keskittynyt harvoille asiantuntijoille, ja osaamisen jatkuvuus on uhattuna esimerkiksi eläköitymisen myötä. Kunnat toivovat sekä käytännönläheistä koulutusta hiilinielutoimenpiteiden suunnittelusta että laajempaa strategisen tason koulutusta. Myös kuntapäättäjille suunnattu koulutus nähtiin olennaisena, koska juuri he tekevät päätöksiä hiilinieluihin liittyen.

Onko olemassa tarvetta lisätä yhteistyötä?

Kyllä 75 %

Ei 0 %

En osaa sanoa 25 %

Yhteistyötä muiden kuntien, tutkimuslaitosten ja maakuntaliittojen kanssa toivottiin lisää. Kahdessa kunnassa oli jo käynnissä yhteistyöhankkeita, mutta tarvetta on yhteiselle, koko maakuntaa koskevalle tekemiselle. Maakuntaliiton roolia pidettiin tärkeänä koordinaattorina.

5.3 Kyselyn johtopäätökset

Selvitys osoittaa, että kunnilla on kasvava kiinnostus ja tarve hyödyntää hiilinielutietoa ilmastotyössä, mutta käytännön toimissa ja tiedonhallinnassa on vielä haasteita. Vaikka hiilinielut on sisällytetty strategioihin, kunnilla on vaihtelevasti konkreettisia tavoitteita ja toimenpiteitä. Keskeisiä kehittämiskohteita ovat tiedon saatavuus, selkeys ja sovellettavuus päätöksenteossa.

Kunnat hyötyisivät yhteisistä ohjeista, standardoidusta tiedonkeruusta sekä vertailukelpoisista malleista. Lisäksi visuaalisten työkalujen, kuten paikkatietojärjestelmien ja 3D-visualisointien, kehittäminen tukisi tiedon ymmärrettävyyttä ja vaikuttavuutta. Selkeän ja yksinkertaisen tiedon tarjoaminen on erityisen tärkeää poliittisille päättäjille, jotta hiilinielujen merkitys tulisi ymmärretyksi.

Koulutus ja osaamisen vahvistaminen on välttämätöntä, jotta hiilinielutietoa voitaisiin hyödyntää tehokkaammin. Tarvetta on sekä käytännön toimien suunnitteluun että yleiseen tietoisuuden lisäämiseen. Esimerkiksi kuntapäättäjille suunnattu koulutus voisi tukea päätöksenteon haasteita. Lisäksi tarvitaan alueellista ja kansallista yhteistyötä, jotta hyvät käytännöt ja opit voidaan jakaa laajasti.

Kokonaisuudessaan selvitys vahvistaa käsitystä siitä, että hiilinielujen huomioiminen on välttämätöntä kunnallisessa ilmastopolitiikassa. Kuntien työ on jo käynnissä, mutta sen vaikuttavuus riippuu siitä, kuinka hyvin hiilinielutieto saadaan osaksi strategista suunnittelua ja arjen päätöksentekoa. Yhteinen toimintamalli, koulutus ja yhteistyö voivat merkittävästi vahvistaa kuntien mahdollisuuksia edistää hiilineutraaliustavoitteita.

6. Case Forssa – Hiilinielut osaksi järkivihreää kaupunkikehittämistä

JOONAS RAASKA (Sykli)

Forssan kaupunki oli yksi kolmesta Digitaalinen kaupunkihiili 2.0 hankkeen yhteistyökaupungeista. Yhteistyö kaupungin edustajien kanssa oli tiivistä koko hankkeen ajan ja vuorovaikutuksella voitiin vaikuttaa esimerkiksi koealueiden valintaan.

6.1 Forssa toimii edelläkävijänä tiellään kohti hiilineutraalia tulevaisuutta

Forssa on jo pitkään profiloitunut kestävän kehityksen ja resurssi-
viisauden suunnannäyttäjänä. Forssan historia kestävän kehityksen
saralla on alkanut jo 1990-luvulla, jolloin kaupunginvaltuusto hyväksyi
Euroopan kaupunkien yhteisen kestävän kehityksen asiakirjan ohjeel-
lisesti noudatettavaksi kaupungin suunnittelussa ja päätöksenteossa
sekä saatiin valmiiksi kestävän kehityksen toimintaohjelma. Kaupungin
sittemmin laatiman ”Järkivihreä Forssa 2030” strategian ajatuksena on
edistää forssalaisten hyvinvointia ja Forssan elinvoimaa kestävän kehi-
tyksen periaatteita aktiivisesti noudattaen. Järkivihreys on forssalainen
toimintatapa, joka näkyy kaupunkiorganisaation lisäksi mm. asukkai-
den, yritysten, oppilaitosten ja yhdistysten arjessa.



Ekologinen järkivihreys on yksi kaupungin kolmesta strategisesta painopisteestä taloudellisen ja ihmisystävällisen järkivihreyden rinnalla. Ekologisella järkivihreydellä pyritään saavuttamaan jätteen, päästön ja ylikulutuksen kaupunki vuoteen 2050 mennessä. Välitavoitteina vuoteen 2030 mennessä Forssan on määrä vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 60–80 prosenttia vuoden 2007 tasosta, puolittaa kulutusperäinen hiilijalanjälki vuoden 2005 tasosta, sekä vähentää syntyvän kotitalousjätteen määrää ja nostaa kierrätysaste 65 %:n. Tavoitteen päästäkseen Forssa hillitsee ilmastonmuutosta, edistää kiertotaloutta, ja huolehtii luonnon ja rakennetun ympäristön tasapainosta.



Forssan Ekologisen järkivihreyden tiekartta kokoa kaupungin resurssiviisauteen, kiertotalouteen ja vähähiilisyyteen liittyvät sitoumukset yhdeksi toimintamalliksi. Tiekartta ohjaa konkreettisia toimenpiteitä ja seuraa niiden vaikutuksia osana kaupungin vuosittaista suunnittelua. Tiekartan mukaisesti Forssa on linjannut muun muassa:

- Hiilinielujen aktiivisen kasvattamisen ja luopumisen puumyyntin euromääräisistä tavoitteista.
- Uusiutuvan energian ja energiatehokkuuden edistämisen osana kaupungin omaa toimintaa.
- Kiertotalouden ja ekologisen rakentamisen kokeilujen kehittämisen yhteistyössä mm. HAMKin, yritysten ja muiden sidosryhmien kanssa.

Tiekartan avulla Forssa edistää kansallisen kiertotalousohjelman mukaista siirtymää kohti hiilineutraalia kiertotalousyhteiskuntaa.

6.2 Hiilinielujen merkitys kasvanut

Hankkeen myötä hiilinielut ovat muodostuneet yhä tärkeämmäksi tekijäksi kaavoituksessa Forssassa. Vaikka hiilensidontatyökalua tai laserkeilausaineistoja ei ole vielä hyödynnetty laajasti, Forssan hiilinieluosaaminen on kasvanut merkittävästi hankkeen aikana. Kaupunkivihreän merkitys on tunnistettu uutena näkökulmana ja mahdollisuutena korvaavien hiilinielujen etsimisessä. Hankkeen myötä keskeiseksi kehityskohteeksi on tunnistettu osaamisen ja tiedon jakaminen organisaation sisällä liittyen hiilinieluteemaan.

Forssa on edistänyt useita käytännön toimia, jotka tukevat hiilinielujen kasvua ja luonnon monimuotoisuutta. Hankkeen aikana kaupungissa on muun muassa

- perustettu niittyjä, jotka toimivat hiilinieluina ja tukevat luonnon monimuotoisuutta;
- Laadittu ja hyväksytty ”Ekologiset vyöhykkeet ja virkistysalueet” -suunnitelma, joka tunnistaa kaupungin viherrakenteen ja hiilensidonnann kannalta keskeiset alueet sekä varmistaa viheryhteyksien jatkuvuuden. Ekologiset vyöhykkeet muodostavat verkoston, joka yhdistää kaupungin kansallisen kaupunkipuiston ympäröivään viherakenteeseen. Suunnitelma tukee paitsi luonnon monimuotoisuutta myös hiilivarastojen säilymistä ja kasvua pitkällä aikavälillä;
- Kehitetty kaupunkivihreän roolia osana ilmastotyötä, esimerkiksi viheralueiden ja virkistysreittien suunnittelussa;
- Toteutettu metsittämisteemaa ”uuden sukupolven istutustalkoilla”, joissa paikalliset yhdeksäsluokkalaiset ovat itse istuttaneet oman puunsa kaupungin viheralueille

Luvun lähteet



Forssan kaupunki. (2022). Kaupunkistrategia 2030: Järkivihreä Forssa [PDF]. Forssan kaupunki. <https://www.forssa.fi/client/forssa/userfiles/kaupunkistrategia-2030-jarkivihrea-forssa-kv-12122022.pdf>

Forssan kaupunki. (2023). Ekologisen järkivihreyden tiekartta [PDF]. Forssan kaupunki. <https://www.forssa.fi/client/forssa/userfiles/ekologisen-jarkivihreyden-tiekartta.pdf>

Forssan kaupunki. (2025). Ekologiset vyöhykkeet ja virkistysalueet -suunnitelma [PDF]. Forssan kaupunki.

Sähköpostihaastatteluaineisto: Forssan kaupungin vastaukset Digitaalinen kaupunkihiili -hankkeen haastattelukysymyksiin (2025).

Johtopäätökset ja suositukset

Tämän julkaisun perusteella voidaan todeta, että kaupunkien ja kuntien hiilinielujen ja hiilivarastojen arviointi sekä niiden vahvistaminen edellyttää kokonaisvaltaista, ajantasaista tietoon ja monipuolisiin menetelmiin perustuvaa lähestymistapaa. Hiilinielujen merkitys ilmastotavoitteiden saavuttamisessa on kasvanut, ja niiden huomioiminen strategisessa suunnittelussa sekä käytännön toimenpiteissä on välttämätöntä. Tarkka ja yksityiskohtainen tieto kaupunkien viheralueista, puustosta ja maaperästä mahdollistaa tehokkaampien ja vaikuttavampien ilmastotoimien suunnittelun ja toteutuksen.

Jatkossa suositellaan, että kaupunkien ja kuntien ilmastotyössä hyödynnetään mahdollisimman tarkkoja ja ajantasaisia paikkatietoaineistoja sekä mallinnusmenetelmiä, jotka tukevat hiilinielujen arviointia ja seuranta. Hiilinielutiedon tulee olla helposti saatavilla ja ymmärrettävässä muodossa, jotta se voidaan integroida päätöksentekoon ja viestintään. Koulutuksen ja osaamisen vahvistaminen on tärkeää, jotta hiilinielujen merkitys ja mahdollisuudet tunnistetaan laajasti organisaatioissa ja niiden sidosryhmissä.

Lisäksi suositellaan, että hiilinielujen hallintaan kehitetään yhteisiä toimintamalleja, ohjeistuksia ja standardeja, jotka mahdollistavat tiedon vertailtavuuden ja sovellettavuuden eri alueilla. Visuaaliset työkalut, kuten paikkatietojärjestelmät ja 3D-visualisoinnit, tukevat tiedon ymmärrettävyyttä ja vaikuttavuutta. Alueellista ja kansallista yhteistyötä tulee vahvistaa, jotta hyvät käytännöt ja opit voidaan jakaa laajasti ja tukea kuntien mahdollisuuksia edistää hiilineutraaliustavoitteita.

Yhteenvetona voidaan todeta, että hiilinielujen huomioiminen ja vahvistaminen on olennainen osa ilmastokestävää kaupunkikehitystä. On tärkeää varmistaa, että tieto, osaaminen ja työkalut ovat riittävällä tasolla, jotta kunnianhimoiset ilmastotavoitteet voidaan saavuttaa ja kaupunkien sekä kuntien rooli ilmastomuutoksen hillinnässä vahvistuu entisestään.



**Euroopan unionin
osarahoittama**

AJANTASAINEN HIILINIELUTIETO PÄÄTÖKSENTEON TUKENA – suosituksia kaupungeille ja kunnille

Raportti on julkaistu 2025.

