



## **Maisterintutkielma**

### **Ilmakehätieteiden maisteriohjelma Biogeokemialliset syklit**

Hiilivarastojen ja -nielujen tarkastelu  
tiivissä kaupunkirakenteessa Lahdessa

Elina Nieminen

2022

Ohjaajat: Aino Kulonen ja Timo Vesala  
Tarkastajat: Timo Vesala ja Leena Järvi

Helsingin yliopisto  
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Tiedekunta Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Koulutusohjelma Ilmakehätieteiden maisteriohjelma
Opintosuunta Biogeokemialliset syklit		
Tekijä Elina Nieminen		
Työn nimi Hiilivarastojen ja -nielujen tarkastelu tiiviissä kaupunkirakenteessa Lahdessa		
Työn laji Pro gradu -tutkielma	Aika 2/2022	Sivumäärä 45
Tiivistelmä		
<p>Pariisin sopimuksen lainsäädäntö velvoittaa Suomea pyrkimään sellaisiin toimiin, jotka pitävät maapallon keskilämpötilan nousun selvästi alle 2 °C:ssa, ja joilla tavoitellaan keskilämpötilan nousun rajaamista 1,5 °C:een. Suomen nykyinen hallitus on linjannut kansallisen tavoitteen hiilineutraaliudesta vuoteen 2035 mennessä. Kuntien roolia hiilinielujen edistämässä tai kompensoivana toimijana ei ole vielä määritelty, vaikka kunnilla on tärkeä rooli ilmastotyön alustana paikallisella ja alueellisella tasolla. On kuitenkin jo tiedossa, että parhaillaan uudistettavaan Suomen kansalliseen ilmastolakiin tullaan lisäämään velvoite kunta-, seutu- tai maakuntatasolla tuottaa omat ilmasto-ohjelmat. Ympäristöosaaminen ja ympäristöasioissa kehittyminen ovat olleen Lahdessa tärkeitä asioita jo usean vuosikymmenen ajan. Lahden kaupunki onkin asettanut tavoitteen hiilineutraaliudesta jo vuodeksi 2025, ja se sisältää tavoitteet sekä päästöjen vähentämisestä, kompensoimisesta sekä hiilinielujen lisäämisestä.</p> <p>Tässä työssä keskityttiin hiilen sidonnan ja -nielujen tarkasteluun kaupunkiympäristössä Lahdessa, rajatulla noin 82 hehtaarin suuruisella esimerkialueella, jonka kautta haluttiin saada laajempi käsitys kaupungin mahdollisuuksista kasvattaa hiilen varastoja ja -nieluja tiiviin kaupunkirakenteen sisällä maanpeitteeltään erilaisissa maankäyttöluokissa. Suomen ympäristökeskuksen CORINE-maanpeiteluokituksen perustuen työssä laskettiin kaupunkimaisille maankäyttöluokille hiilen sidonnan nykyinen potentiaali ja tunnistettiin toimenpiteet, joilla hiilensidontakyky voidaan kasvattaa. Työssä selvitettiin valmiin paikkatietoaineiston käytettävyyttä ja puutteellisten tietojen täydentämiseksi käytettiin olemassa olevaa kirjallisuutta aiheesta sekä muita Lahden kaupungin olemassa olevia paikkatietoja ja aiemmin tehtyjä selvityksiä. Suurin hiilinielu havaittiin metsäalueilla, mistä suurimpana sekametsät, joiden pinta-ala oli metsäalueista suurin. Myös pientaloalueiden hiilinielut ja -varastot havaittiin laskennallisesti kasvillisuuden sekä maaperän osalta kirjallisuuteen perustuen merkittäviksi. Hiilinielujen ja -varastojen lisäämistä pientaloalueilla tulee korostaa erityisesti siksi, koska nämä alueet ovat jo valmiiksi kasvillisuuden peittämiä ja hiilen sidonta on suhteellisen korkea. Katu- ja puistopuiden istuttamisessa hiilinielun lisäämistarkoituksessa tärkeintä havaittiin olevan puiden pitkäikäisyys ja sen turvaaminen. Hiilinielujen kasvattaminen on tehokkainta alueilla, joilla hiilen sidonta on valmiiksi korkealla tasolla, mutta kasvillisuuspeitteen lisääminen kaikissa kaupunkimaisissa maanpeitteissä kasvattaa hiilinielua pitkällä aikavälillä.</p> <p>Työn yksi merkittävä johtopäätös oli, että Lahden nykyisessä tavassa kartoittaa hiilinielut ja varastot rakennetussa ympäristössä on ollut puutteita, eivätkä tulevaisuudessa tehtävät hiilivarastojen ja -nielujen ylläpitämiseen, säilyttämiseen ja lisäämiseen liittyvät toimenpiteet näkyisi nykyisellä laskentamenetelmällä tehtävässä laskennassa. Yleisesti tutkimusaineisto ja -menetelmät perustuvat yhä pitkälti havaintoihin ja tuloksiin luonnonekosysteemien toimintaprosesseista ja niitä hyödynnetään kaupunkisuunnittelussa, -rakentamisessa ja kaupunkiviheralueiden ylläpidossa. Puutteellinen tuntemus kaupunkiympäristön ekologisten prosessien toiminnasta on ongelma, joka tuotti haasteita tässäkin työssä. Työn myötä annettava tärkeä viesti Lahden kaupungille ja muille kunnille oli, että todellisuus kaupunkimaisten maankäyttöluokkien hiilinieluista on yhä epävarma. Kaupunkimaisten maankäyttöluokkien hiilinieluista tarvitaan enemmän tutkimustietoa, jotta saadaan kvantitatiivisemmin tarkempia arvioita hiilinieluista ja -varastoista, vaikka käsitys kasvillisuuden yleisestä merkityksestä on jo selvä. Vaikka työssä keskityttiin hiileen kaupunkiympäristössä, on syytä muistaa kaupunkiympäristön moninaisuus ja sen tuottamat muut ekosysteemipalvelut. Maankäytön suunnittelulla sekä kaupunkiympäristön viheralueiden hoidolla voidaan vaikuttaa sekä hiilivarastojen ja -nielujen suuruuteen että luonnon monimuotoisuuteen eikä näiden tavoitteiden tarvitse olla täysin toisistaan erillisiä.</p>		
Avainsanat Kasvillisuus, hiili, hiilinielu, hiilivarasto, maankäyttö, Lahti		
Säilytyspaikka HELDA – Helsingin yliopiston digitaalinen arkisto		
Muita tietoja		

Faculty Faculty of Science		Degree program Atmospheric Science Master program	
Study track Biogeochemical cycles			
Author Elina Nieminen			
Title A study of carbon stocks and sinks in a dense urban structure in Lahti			
Level Master's Thesis	Month and year 2/2022	Number of pages 45	
Abstract			
<p>The legislation of the Paris Agreement obliges Finland to pursue actions that keep the global average temperature rise below 2°C and aim to limit the average temperature rise to 1.5°C. The current Finnish government has aligned the national goal of carbon neutrality by 2035. The role of municipalities in promoting or compensating carbon sinks has not yet been defined, although municipalities play an important role as a platform for climate work at local and regional levels. However, it is already known that the Finnish National Climate Act, which is being reformed at this moment, will be subject to an obligation to produce their own climate programs at municipal, regional or provincial level. Environmental competence and environmental development have been important in Lahti for several decades already. The City of Lahti has set its target for carbon neutrality for 2025 and it includes targets for reducing, compensating, and increasing carbon sinks.</p> <p>This work focused on the examination of carbon sequestration and sinks in an urban environment in Lahti, in the example area of approximately 82 hectares, through which a wider understanding of the city's potential to grow coal stocks and sinks in a tight urban structure within different land use classes and different ground cover between them. Based on the Finnish Environment Agency's CORINE land cover classification, the current potential of carbon sequestration for urban land use classes were calculated in this work and the actions to increase carbon sequestration capacity were identified. The work examined the availability of the finished spatial data and to supplement incomplete information, existing literature on the topic was used, as well as other existing spatial records of the city of Lahti and previously made surveys. The largest carbon sink was observed in forest areas, of which in mixed forests representing the largest forest type in the area. Through the calculations and literature carbon sinks and stocks in residential areas were also found to be significant in terms of vegetation, as well as in terms of soil based on the literature review. In planting street and park trees for the purpose of increasing the carbon sink, the most important thing was found to be the long lifetime of trees and securing it. Growing of carbon sinks is most effective in areas where carbon sequestration is already at a high level but increasing vegetation cover in all urban land covers will increase the carbon sink in the long run.</p> <p>One major conclusion of the work was that Lahti's current method of determining carbon sinks and stocks has been inadequate at least for the determining them in built areas, and future measures to maintain, preserve and increase carbon stocks and sinks would not be seen by the same calculation method in the computing. In general, the research data and methods are still largely based on observations and results from the operational processes of natural ecosystems, and these are utilized in urban planning, construction, and maintenance of urban green areas. An incomplete knowledge of the ecological processes in urban areas is a problem that produced challenges in this work as well. More research data is needed on carbon sinks in urban land use classes to gain a more secure understanding of carbon sinks and stocks, although the common importance of vegetation in urban areas is already clear. Although the work focused on carbon in an urban environment, it is necessary to remember the diversity of the urban environment and the other ecosystem services it produces. Land use planning, as well as the management of green spaces in the urban environment, can enhance both the size of carbon storages and sinks and biodiversity and they do not have to be entirely separate from each other.</p>			
Keywords Vegetation, carbon, carbon sink, carbon storage, land-use, Lahti			
Where deposited HELDA – Digital Repository of the University of Helsinki			
Additional information			

## Esipuhe

Tämä on maisterin tutkintooni sisältyvä pro gradu -tutkielma, joka on toteutettu Lahden kaupungin toimeksiantona ja työ on tehty Lahden kaupungille. Lahden kaupungilla on kunnianhimoinen tavoite olla hiilineutraali vuonna 2025. Tämä tarkoittaa, että päästöjenvähentämistoimenpiteiden jälkeen jäljelle jäävät päästöt hyvitetään kaupungin alueen nettohiilinieluilla ja muilla kompensatiotoimilla. Henkilökohtaisena motivaationa työlle ovat toimineet kiinnostukseni kestävään kaupunkisuunnitteluun ja maankäyttöön. Edellä mainitun lisäksi myös se, että työn lopputulosta tullaan hyödyntämään kunnallisella tasolla maankäytön suunnittelussa.

Tahdon kiittää Lahden kaupunkia, jonka tietotarpeita varten tämä tutkielma toteutettiin sekä kaikkia tämän tutkielman tekoprosessissa mukana olleita ja sen edistymistä edesauttaneita henkilöitä. Erityiskiitokset esitän ohjaajilleni Aino Kuloselle ja Timo Vesalalle, jotka neuvoivat ja tukivat minua prosessin aikana, ja lisäksi Anu Riikoselle, jolta sain apua lähdemateriaalin haussa.

Elina Nieminen

Lahdessa

28.2.2022

# Sisällysluettelo

## Tiivistelmä

## Abstract

## Esipuhe

<b>1. Johdanto</b> .....	<b>7</b>
1.1. Työn tavoite.....	7
1.2. Työn rakenne.....	8
1.3. Työn tausta.....	9
1.3.1. EU:n ilmastopolitiikka ja kansainvälinen ilmastopolitiikka.....	9
1.3.2. Suomen kansallinen ilmastopolitiikka.....	9
1.3.3. Lahden kaupungin ilmastotoimet- ja politiikka.....	10
<b>2. Tutkimuksen teoria</b> .....	<b>11</b>
2.1 Keskeiset käsitteet.....	11
2.2. Hiilen kierto.....	13
2.2.1 Hiilen jakautuminen maapallolla.....	13
2.2.2. Maaekosysteemin hiilen kierto, - varastot ja virtaukset.....	14
2.2.3. Maaperän hiilen varastot ja -nielut.....	15
2.3 Hiilen kierto kaupunkiekosysteemissä.....	16
2.3.1. Kaupungistuminen: vaikutus hiilen kiertoon.....	16
2.3.2. Kaupunkiekosysteemin hiilen lähteet ja -nielut.....	16
2.3.4. Kaupunkipuiden hiili.....	18
2.3.5. Kaupunkimaaperän hiili.....	18
2.4. Hiilinielut ja -varastot Lahden alueella.....	19
2.4.1. Kasvillisuuden hiilivarastot ja -nielut Lahdessa.....	20
2.4.2. Maaperän hiilivarastot ja -päästöt Lahdessa.....	21
2.5. Maankäyttösektorin rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä .....	21
<b>3. Aineisto ja menetelmät</b> .....	<b>22</b>
3.1. Esimerkkialue.....	22
3.1.2. Maaperä esimerkkialueella.....	24
3.2. Laskentamenetelmät.....	24
3.2.1. Maanpeitteiden hiilinielujen laskenta.....	24
3.2.2. Katupuiden hiilivarastojen laskenta.....	27

<b>4. Tutkimuksen tulokset</b> .....	<b>28</b>
4.1. Maanpeitteiden hiilinielulaskennan tulokset.....	28
4.2. Kuvitteellisten niittyjen ja viherkattojen hiilinielut.....	30
4.3. Katupuiden ja puisto- ja leikkialueiden puiden hiilinielut.....	30
<b>5. Tulosten tarkastelu</b> .....	<b>31</b>
5.1. Hiilinielujen tarkastelu.....	31
5.1.1. Maanpeitteiden hiilinieluihin vaikuttavat tekijät.....	31
5.1.2. Puiden hiilivarastoihin ja -nieluihin vaikuttavat tekijät.....	34
5.2. Hiilen sidonnan huomioon ottaminen maankäytön suunnittelussa.....	35
5.3. Toimenpide-ehdotukset hiilensidonnan kasvattamiseksi kaupunkimaisissa maankäyttöluokissa.....	36
5.4. Johtopäätökset .....	38
<b>Kirjallisuus</b> .....	<b>40</b>

# 1. Johdanto

## 1.1. Työn tavoite

Tuoreimman, elokuussa 2021, julkaistun IPCC:n (Intergovernmental Panel on Climate Change) arviointiraportin (AR6) mukaan havaittu nousu ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuuksissa vuodesta 1750 lähtien johtuu yksiselitteisesti ihmisen toiminnasta. Suurimmat päästöt aiheutuvat fossiilisten polttoaineiden käytöstä energianlähteenä sekä maankäytöstä ja maankäytön muutoksista, erityisesti maataloudesta (IPCC, 2013). IPCC:n arviointiraportissa (AR5) raportoituihin pitoisuuksiin verrattuna kasvihuonekaasupitoisuudet ovat edelleen nousseet ilmakehässä, ja hiilidioksidipitoisuuden vuotuinen keskiarvo ilmakehässä on saavuttanut lukeman 410 ppm (IPCC, 2021).

Yhä jatkuva ilmaston lämpeneminen kasvihuoneilmaston voimistumisen seurauksena aiheuttaa entistä voimakkaamman tarpeen tiukoille toimille kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi eri päästösektoreilla sekä hiilen sitomiseksi luonnonekosysteemeihin. Kuudennen arviointiraportin mukaan vuotuisten keskilämpötilojen nousu on Euroopassa ja erityisesti korkeilla leveysasteilla nopeampaa kuin muualla maailmassa (IPCC, 2021). Tämä alleviivaa toimenpiteiden tärkeyttä myös Suomessa ja Lahden kaupungissa. Lahden kaupungilla on käynnissä toimenpiteitä metsien ja peltojen hiilinielujen kasvattamiseksi (Lahden kaupunki, 2020), mutta on mielenkiintoista tarkastella mahdollisuuksia kasvattaa hiilen varastoja ja -nieluja myös muissa kaupungin maankäyttöluokissa. Lindén (2019) esittivät, että ilmakehän hiilidioksidin sitominen ja hiilen varastoiminen kasvillisuuteen ja maaperään urbaaneissa ekosysteemeissä on merkittävä ekosysteemipalvelu. Lahden kaupungin tärkeimmiksi ekosysteemipalveluiksi on määritelty puhdas vesi (pohjavesi ja vesistöt), metsien tarjoamat raaka-aineet, maatalous sekä ulkoilu- ja virkistysmahdollisuudet (FCG, 2019b). Kaupunkiympäristössä muita viherryttämisen ja viheralueiden tuottamia ekosysteemipalveluita ovat pienilmaston säätely, ilman puhdistaminen, melun torjunta, kasvien pölytys, mikrobien hajotustoiminta, kulttuurihistorialliset arvot ja esteettiset kokemukset (Lahden kaupunki, 2013). Hiilinielujen merkitys on esitetty Lahden kaupungin hiilinielu- ja kompensaatiosuunnitelmassa, jota esitellään luvussa 1.3.3.

Tässä työssä keskitytään hiilen sidonnan ja -nielujen tarkasteluun kaupunkiympäristössä Lahdessa, rajatulla noin 82 hehtaarin suuruisella esimerkkialueella, jonka kautta on tarkoitus saada laajempi käsitys kaupungin mahdollisuuksista kasvattaa hiilen varastoja ja -nieluja tiiviin kaupunkirakenteen sisällä maanpeitteeltään erilaisissa maankäyttöluokissa. Esimerkkialueen maankäyttöluokat ovat pientaloalueet, kerrostaloalueet, palveluiden alueet ja teollisuuden alueet, puistot, muut urheilu- ja vapaa-ajan alueet, metsäalueet (lehti-, seka- ja havumetsät) sekä harvapuustoiset alueet. Alue sisältää sekä julkisessa että yksityisessä omistuksessa olevaa maata. Edellä esitettyjen maankäyttöluokkien osalta esitetään hiilen sidonnan nykyinen potentiaali ja

tunnistetaan toimenpiteet, joilla hiilensidontakykyä voidaan kasvattaa. Tarkastelun myötä maankäytön toimenpiteitä ja resursseja saadaan kohdennettua korkeamman hiilensidontapotentiaalinen alueille, ja heikomman hiilensidontapotentiaalinen alueet voidaan rajata muiden ekosysteemipalveluiden edistämiseen, esimerkiksi biodiversiteettityöhön.

Omia mittauksia ja tutkimusaineiston keräämistä tutkimuskysymysten tarkastelemiseksi ei tehdä tätä työtä varten. Työssä selvitetään valmiin paikkatietoaineiston, Kanta-Hämeen ja Päijät-Hämeen maankäytön hiilinielut ja -varastot (FCG, 2021) käytettävyyden paikkatietoanalyysin tekemiseksi sekä käytetään olemassa olevaa kirjallisuutta aiheesta. Lisäksi aineistoina käytetään muita Lahden kaupungin olemassa olevia paikkatietoja ja aiemmin tehtyjä selvityksiä. Edellä mainittuja materiaaleja pyritään jalostamaan käytettäväksi kaupungin maankäytön suunnittelussa, jotta voidaan edistää Lahden kaupunkiympäristön hiilen sidontaa ja -varastoja sekä kehitystä kohti hiilineutraalia Lahtea 2025.

Työssä esitetään vastaukset seuraaviin kysymyksiin:

- 1) Millaisilla maankäytön alueilla Lahden kaupunki voi tehokkaimmin kasvattaa hiilivarastoja ja -nieluja tiiviin kaupunkirakenteen sisällä?
- 2) Millä toimenpiteillä hiilivarastoja ja -nieluja on tehokkainta kasvattaa tarkastelluilla maankäyttöalueilla?

## **1.2. Työn rakenne**

Työn ensimmäinen luku esittelee työn taustan ja motivaation työlle. Tausta-osissa luodaan lyhyt katsaus, Euroopan Unionin ilmastopolitiikkaan, Suomen kansalliseen ilmastopolitiikkaan sekä kansainväliseen ilmastopolitiikkaan, jotka ohjaavat ja luovat perustan kuntien ja kaupunkien ilmastopolitiikalle, -tavoitteille ja -työlle. Tällä tavoin tämä tutkimus sidotaan osaksi globaalisti merkittävää kokonaisuutta, johon Lahden kaupungin ilmastotyö- ja kestävät, hiilineutraaliutta edistävät ratkaisut ja toimenpiteet nivoutuvat. Tausta-osion viimeisissä kappaleissa käsitellään Lahden kaupungin ympäristö- ja ilmastotyötä, roolia ilmastotyön paikallisena alustana, kansainvälisenä toimijana, kaupungin hiilineutraaliustavoitetta ja ympäristöpääkaupunkivuotta 2021.

Työn toinen luku käsittelee tutkimuksen teoriaa. Tässä luvussa käydään läpi työn kannalta keskeiset käsitteet, teoriat ja lähteet, joita työssä sovelletaan. Tutkielman aiheen kannalta tärkeät osa-alueet globaali hiilen kierto ja hiilen kierto urbaanissa ympäristössä, kasvillisuuteen ja maaperään sitoutuneen hiilen määrä sekä maaperän hiilidioksidipäästöt Lahden alueella ja maankäyttösektorin rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä käsitellään toisessa luvussa. Kolmannessa luvussa esitellään tarkemmin työssä käytetty aineisto ja menetelmät, tutkimuksessa tarkasteltava esimerkkialue ja siihen liittyvät yksityiskohdat. Maankäyttöluokkien hiilinielujen ja katu- ja puistopuiden hiilivarastojen laskentamenetelmät ja niissä käytetyt lähtöarvot esitellään tässä luvussa.



Esimerkkialueelle lähtöaineiston ja kirjallisuuden pohjalta tehtyjen hiilinielulaskentojen ja herkkyysanalyysin tulokset esitetään luvussa neljä. Viidennessä luvussa tarkastellaan laskennan tuloksia, hiilinielujen suuruutta suhteutetaan yksittäisen henkilöauton vuosittaisiin hiilidioksidipäästöihin sekä Lahden alueen liikenteen päästöihin. Tulosten ja kirjallisuuden kautta pohditaan hiilinielujen huomioon ottamista maankäytön suunnittelussa ja esitetään toimenpide-ehdotuksia hiilen sidonnan ja -nielujen kasvattamiseksi sekä työn johtopäätökset.

### **1.3. Työn tausta**

#### **1.3.1. EU:n ilmastopolitiikka ja kansainvälinen ilmastopolitiikka**

Euroopan Unionin jäsenvaltioiden, Suomen ja Suomen kuntien tämänhetkiset ilmastotoimet perustuvat Pariisin sopimukseen eli ilmastonmuutosta koskevaan Yhdistyneiden Kansakuntien puitesopimukseen, joka koskee vuoden 2020 jälkeistä aikaa. Sopimuksen tavoitteena on vahvistaa toimia ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ja siihen sopeutumiseksi (YM, 2021). Valtioneuvoston asetuksessa Pariisin sopimuksen lainsäädännön alaan kuuluvien määräysten voimaansaattamisesta (HE 76/2016) esitetään sopimuksen lainsäädäntöön kuuluvat artikkelit, joihin Euroopan Unioni ja siten myös Suomi on sitoutunut. Sopimuksen toisessa artiklassa on osapuolten kesken sovittu pyrkimyksestä sellaisiin toimiin, jotka pitävät maapallon keskilämpötilan nousun selvästi alle 2 °C:ssa, ja joilla tavoite keskilämpötilan nousun rajaamisesta 1,5 °C:een suhteessa esiteolliseen aikaan, täytyisi (HE 76/2016).

Pariisin sopimuksen edeltäjä, aiempi kansainvälisesti merkittävä ilmastopuitemuutos on YK:n ilmastopuitemuutosta koskeva puitesopimus (1994). Tässä ilmastopuitemuutoksessa edellytetään, että sopimusosapuolet laativat, päivittävät ja panevat täytäntöön suunnitelmat ilmastopuitemuutokset hillitsemiseksi ja siihen sopeutumiseksi. Sopimus myös velvoittaa raportoimaan kasvihuonekaasupäästöjen tiedoista sekä kehittämään hiilivarastoja ja -nieluja ja edistämään niiden säilyttämistä. YK:n ilmastopuitemuutoksen täydentämistä käsittelevä Kioton pöytäkirja (1997) sisältää sopimusosapuolia oikeudellisesti sitovat kasvihuonekaasupäästöjen pienentämisvelvoitteet teollisuusmaille (YM, 2021.)

#### **1.3.2. Suomen kansallinen ilmastopolitiikka**

Suomen ilmastopolitiikka rakentuu kasvihuonekaasupäästöjen pienentämistavoitteen, ilmastopolitiikan suunnittelujärjestelmän ja ilmastotavoitteiden toteuttamisen seurannan ympärille, joiden säädökset on kirjattu 1.6.2015 voimaan astuneeseen ilmastolakiin (609/2015). Laki määrää Suomen vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä 80 prosentilla vuoteen 2050 mennessä vuoteen 1990 verrattuna. Laissa on myös säädetty työnjaon määrittelystä lakiin liittyvässä viranomastoiminnassa sekä eduskunnan roolin ja yleisön osallistumismahdollisuuksien vahvistamisesta ilmastopoliittisissa asioissa

(YM, 2017.) Ilmastolain uudistaminen on ollut parhaillaan käynnissä, ja Suomen tavoite hiilineutraaliudesta vuoteen 2035 mennessä sekä päästö-vähennystavoitteet vuosille 2030 ja 2040 tullaan lisäämään lakiin (YM, 2021). Tällä hetkellä on jo tiedossa, että lakiin tullaan lisäämään velvoite kunta-, seutu- tai maakuntatasolla tuottaa omat ilmasto-ohjelmat eli kunnille tulee lainvoimainen rooli ilmastotyössä ja Suomen ilmastopolitiikassa (Valtioneuvosto, 2021).

Edellä esitetyt lait, säädökset ja sopimukset toimivat hiilen sidonnan ja hiilinielujen edistämisen velvoittavina tekijöinä ja asettavat kansainväliset tavoitteet. Alueellisella toiminnalla ja tavoitteilla on suuri vaikutus siihen, että tavoitteisiin päästään, ja toisaalta pienestä voi kasvaa suurta – kunnassa toteutunut ratkaisu voi toimia esimerkkinä maailmanlaajuisesti. Ympäristöministeriö (2018) korostaakin Kuntien ilmastoratkaisut 2018–2023 -ohjelmassa, että Suomen tavoitteleman hiilineutraaliuden vuoteen 2035 mennessä saavuttaminen edellyttää kunnilta aktiivisia ja kunnianhimoisia ilmastotoimia. Lahden kaupunki onkin ollut aktiivinen ympäristö- ja ilmastotyössä ja saanut siitä tunnustusta myös kansainvälisesti.

### **1.3.3. Lahden kaupungin ilmastotoimet ja -politiikka**

Lahti on sopimusosapuolena Euroopan Unionin kaupunginjohtajien yhteisessä ilmasto- ja energiasopimuksessa vuoteen 2030 (Covenant of Mayors). Sopimuksen velvoittamana Lahden kaupungin on toteutettava ilmastonmuutoksen riskien ja haavoittuvuuksien arviointi sekä laadittava kaupungille ilmastonmuutokseen sopeutumishjelma ja suunnitelma hillinnän ja sopeutumistoimien toimenpiteistä (SECAP, Sustainable Energy and Climate Action Plan). Lahden kaupungin SECAP-suunnitelma hyväksyttiin vuonna 2019 ja se sisältää yhteensä 97 liikenteeseen, teollisuuteen, julkiseen valaistukseen, sähkön -ja lämmön tuotantoon, rakennuksiin, neuvontaan, hankintoihin, maankäytön suunnitteluun, kiertotalouteen sekä sopeutumiseen ja varautumiseen liittyvää toimenpidettä. Ensisijaisesti kaupungin tavoitteena ovat -80 %:n päästövähennykset, jonka jälkeen kaupunki kompensoi jäljelle jäävät päästöt, joita ei pystytä eliminoimaan. Lahden kestävän energian ja ilmastonmuutoksen toimenpidesuunnitelmassa linjattiin Lahden kaupungin hiilineutraaliustavoite vuoteen 2025 mennessä (Rosberg-Airaksinen, 2019.)

Vuonna 2020 Lahti hyväksyi hiilinielu- ja kompensatiosuunnitelman, joka luotiin Lahden hiilineutraaliustavoitteen 2025 ja Kestävän energian ja ilmastonmuutoksen toimenpidesuunnitelman vuoteen 2030 (SECAP) tueksi. Suunnitelmassa kaupungin maankäytön ja hiilinielujen osalta tärkeitä toimenpiteitä ovat: 1) Hiilinieluja ja kompensatioita edistävät hankkeet paikallisten korkeakoulujen ja organisaatioiden kanssa, 2) Seuraaminen ja osallistuminen kansallisesti tehtävään hiilinielutarkasteluun ja päästökompensatioiden linjauksiin 3) Kaupungin omien hiilinielu- ja kompensatioratkaisujen alkaminen 4) Säännölliset ilmastolaskennat sekä arviot

tarvittavien hiilinielujen ja hiilikompensaatioiden tai lisäpäästövähennysten suuruudesta 5) Hiilinieluista viestiminen, 6) Puurakentamisen edistäminen, siihen liittyvä ohjelma ja pilottialue sekä 7) Vuosittaisen nettohiilinielun uudelleenlaskenta Lahden alueella ja huomioiminen Lahden suunta -työn päivityksen yhteydessä (Rosberg-Airaksinen ja Sieppi, 2020.)

Kunnianhimoisten ilmastotavoitteiden lisäksi Lahti valittiin Euroopan ympäristöpääkaupungiksi vuonna 2021. Euroopan ympäristöpääkaupunki -palkinto (European Green Capital Award, EGCA) on saanut alkunsa aloitteesta, joka tehtiin 15. toukokuuta 2006 Tallinnassa, Virossa 15 Euroopan kaupungin (Tallinna, Helsinki, Riika, Vilna, Berliini, Varsova, Madrid, Ljubljana, Praha, Wien, Kiel, Kotka, Dartford, Tartto ja Glasgow) sekä Viron kaupunkiliiton toimesta (Euroopan komissio, 2021.) Ympäristöpääkaupunkivuosi rakentui Lahdessa neljän teeman ympärille, jotka olivat hiilineutraali elämä, kiertotalous, osallisuus sekä luonto ja vesi (Lahti – Euroopan ympäristöpääkaupunki, 2021). Edellä esitettyihin teemoihin liittyvillä toimilla ja ratkaisuilla Lahden kaupunki pyrkii edelleen kehittymään paikallisesti asuinkuntana sekä globaalisti ympäristö- ja ilmastokuormitustaan pienentäen. Lahden pyrkimykset kasvihuonekaasujen päästöjen puolittamiseen vuoteen 2025 mennessä sekä luonnonvarojen ja ympäristön säästämiseen on määritelty kaupungin strategiassa jo vuonna 2009 (Lahden kaupunki, 2009)

Sen lisäksi, että Lahden kaupungin tehtävä on keskittyä ilmastotavoitteiden saavuttamiseen vastuualueillaan muun muassa kaavoituksessa ja maankäytössä, rakennusten lämmitysvalinnoissa, liikenteen suunnittelussa ja energiayhtiöiden omistajaohjauksessa (YM, 2018) kuntalaisten, yritysten, eri organisaatioiden ja sidosryhmien osallistuminen yksityisten ja yhteisten hankkeiden kautta on tärkeässä asemassa. Kunnilla on rooli ilmastotyön alustana paikallisella ja alueellisella tasolla nostamisen, vauhdittamisen ja mahdollistamisen toimijana (YM,2018), ja tätä on pyritty edistämään Lahdessa erityisesti ympäristöpääkaupunkivuoden aikana avaamalla projektirahoitushaku yhteisöille, yrityksille ja tutkimuslaitoksille sekä tarjoamalla monipuolista ohjelmaa sisältäen esimerkiksi kaupunginosatapahtumia, kansainvälisiä konferensseja ja yhteistyöhankkeita (Lahti –Euroopan ympäristöpääkaupunki, 2021), mutta myös aiemmin. Kuitenkaan kuntien roolia hiilinielujen edistämisessä tai kompensoivana toimijana ei ole vielä määritelty eikä yhteisiä aineistoja hiilinieluista ole vielä saatavilla. Koska kaupunki voi tehdä suoria toimia hiilivarastojen ja -nielujen kasvattamiseksi vain omistamallaan alueilla, toiminnan näkyvyys, avoimuus, siitä viestiminen ja osallistaminen ovat keino aktivoida kuntalaisia ja lisätä vaikuttavien lopputulosten aikaansaamista.

## 2. Tutkimuksen teoria

### 2.1 Keskeiset käsitteet

Autotrofinen hengitys ( $R_a$ ): Vihreiden kasvien, tiettyjen bakteerien ja alkueliöiden toimesta tapahtuvat hengitys, josta vapautuu hiilidioksidia ( $CO_2$ ). Tässä työssä autotrofisella hengityksellä tarkoitetaan kasvien vapauttamaa hiilidioksidia.

Ekosysteemi: Yhtenäinen ja tietyn rajauksen sisälle jäävä toiminnallinen kokonaisuus, jossa tapahtuu vuorovaikutusta alueella elävien eliöiden välillä sekä elottoman luonnon kanssa.

Heterotrofinen hengitys ( $R_h$ ): Tarkoittaa tässä työssä maaperän mikrobien hajotustoiminnasta peräisin olevaa hiilidioksidia ( $CO_2$ ).

Hiilidioksidi ( $CO_2$ ): Suurelta osin ei-reaktiivinen ja nopeasti koko troposfäärissä sekoittuva kaasu, joka ei poistu ja hajoa nieluprosessissa muiden reaktiivisten ilmakehän kaasujen, esimerkiksi metaanin tavoin. Sen sijaan hiilidioksidi jakautuu uudelleen maailmanlaajuisen hiilen kierron eri varastojen kesken, ja päätyy takaisin ilmakehään useilla aikaskaaloilla (IPCC, 2013.)

Hiilineutraalius: Tilanne, jossa ihmisperäiset hiilidioksidipäästöt ilmakehään ovat yhtä suuret kuin hiilinieluihin sitoutuvan hiilidioksidin määrä. Kuntien toiminnassa pyrkimys hiilineutraaliuteen tarkoittaa ensisijaisesti toimenpiteitä kunnan alueella tuotettujen liikenteen, maatalouden, lämmityksen ja kulutuksen päästöjen vähentämiseksi sekä hiilinielujen lisäämistä.

Hiilinielu: Mikä tahansa prosessi, joka poistaa hiilipitoisia kasvihuonekaasuja, aerosoleja tai niiden yhdisteitä ilmakehästä on hiilinielu (esim. Lorenz, 2007). Tässä työssä hiilinielu tarkoittaa aina hiilen (C) nielua.

Hiilivarasto: Kuinka paljon hiiltä on varastoinut tiettyyn pitkäaikaiseen varastoon, tässä työssä nämä varastot ovat kasvillisuus ja maaperä. Hiilivaraston määrä ilmoitetaan yleensä hiilen (C) massayksikkönä tiettyä pinta-alayksikkö kohden esimerkiksi tonnia hiiltä hehtaaria kohden (t C/ha).

GPP = Jonkin tietyn ekosysteemin mittakaavassa tapahtuva fotosynteesi eli brutto perustuotanto.

NBP = Nettobiomituotanto tarkoittaa orgaanisen aineen nettotuotantoa alueella, joka sisältää erilaisia ekosysteemejä (biomeja). Se sisältää heterotrofisen hengityksen lisäksi myös muita prosesseja, jotka johtavat elävien ja kuolleiden orgaanisten aineiden menetykseen. Esimerkiksi ruohikkojen osalta huomioidaan mahdollisesti leikkuun jälkeen korjattu biomassa, joka sisällytetään taseeseen. Tässä työssä ei ole käytetty NBP:tä.

NEE = (-NEP) Ekosysteemin nettovaihto mittaa hiilen (C) nettovaihtoa ekosysteemin ja ilmakehän välillä (pinta-alayksikköä kohden) ja on ensisijainen ekosysteemin hiilen nieluvoimakkuuden mittari. Nettohiilinielu on kasvillisuuden sitoman hiilidioksidin ja maaperän päästöjen ero:  $NEE = -NPP + R_h$ . Hiilinielu on hiilen varaston aikaderivaatta eli se edustaa varaston muutosta tietyllä aikajänteellä.

NEP = Ekosysteemin nettoperustuotannon määrä, josta on vähennetty ekosysteemistä hengityksen kautta poistuvan hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) määrä:  $NEP = NPP - R_a = GPP - R_a - R_h$ . NEP:n taseessa ei huomioida esimerkiksi ruohikkojen osalta mahdollisesti leikkuun jälkeen korjattua biomassaa.

1 PgC = 1 GtC

## 2.2. Hiilen kierto

### 2.2.1 Hiilen jakautuminen maapallolla

Globaali hiilen kierto kuvailee hiilen (C) biogeokemiallista kiertoa ilmakehän, biosfäärin, hydrosfäärin, pedosfäärin ja geosfäärin välillä (Lorenz, 2007). Hiili jakautuu neljään suureen varaston välille: ilmakehään, mereen, maaekosysteemiin (kasvillisuus ja maaperä) sekä sedimentteihin ja kallioperään (esim. Chapin ym. 2011). Ylivoimaisesti suurin määrä, 37 100 Pg C, pintavarastojen hiiltä on varastoituneena keski- ja syvänmereen. Pintameressä hiiltä on varastoituneena noin 900 PgC ja kasvillisuuteen ja maaperään on yhteensä sitoutuneena noin 1950–3050 Pg C (Dolman, 2019). Ilmakehän sisältämä hiilen määrä on noin 600 Pg C (Dolman, 2019), josta pääosa on hiilidioksidina (Chapin ym. 2011). Sedimenteissä ja kallioperässä hiilen määrä on 1750 Pg C ja fossiilisten polttoaineiden varastot kattavat arviolta noin 1002–1940 Pg C. Fossiilisten polttoaineiden kautta hiilen kiertoon lisätyn hiilen vaikutusten ymmärtämiseksi, on syytä ymmärtää hiilen vaihtuminen varastojen välillä sekä arvioida ihmisen aiheuttamia virtoja (Dolman, 2019.) Kahden kuluneen vuosikymmenen ajan maanpäällinen biosfääri on toiminut hiilidioksidinieluna poistaen ilmakehästä noin 2,5 Pg C/vuosi, mikä vastaa 25 % fossiilisten polttoaineiden päästöistä (esim. Liu ym. 2015).

Hiilen kierto voidaan eritellä lyhyemmän aikavälin ja pidemmän aikavälin hiilisykliin (esim. Lorenz, 2007 ja Dolman, 2019). Lyhyemmän aikavälin hiilisykli on biologisten prosessien ajama ja se perustuu hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) ja veden (H<sub>2</sub>O) muuntamiseen sokereiksi ja hapeksi (O<sub>2</sub>). Reaktioyhtälö  $6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ , esittää fotosynteesissä auringon säteilyenergian läsnä ollessa tapahtuvan hapen ja sokerin (eli biomassan) tuotannon. Fotosynteesin käänteinen prosessi, haihduttaminen, puolestaan kuluttaa yhteyttämisreaktion lopputuotteita, happea ja sokereita, eksotermisessä eli lämpöä vapauttavassa reaktiossa. Tasapaino näiden reaktioiden välillä säätelee hiilen ja hapen pintavarastojen kokoa (esim. Dolman, 2019.) Ilmakehästä talteen otetun

hiilidioksidin kiertosykli biologisissa järjestelmissä on noin viisi vuotta, jonka jälkeen se palautuu takaisin ilmakehään (Chapin ym. 2011.) Pitkänaikavälin hiilen (C) kierto kuvailee hiilen vaihtoa kivien ja pintajärjestelmien: meren, biosfäärin, ilmakehän ja maaperän välillä (Lorenz, 2007). Linkkinä lyhyen – ja pitkän aikavälin hiilen kierron välillä toimii meri, ja erityisesti syvä meri (Dolman, 2019). Koska tässä työssä keskitytään hiilen sidonnan ja -nielujen tarkasteluun, seuraavissa kappaleissa esitellään hieman tarkemmin maaekosysteemin hiilen kiertoa. Hiilen kiertoa merissä ei käsitellä tarkemmin.

### **2.2.2. Maaekosysteemin hiilen kierto, - varastot ja virtaukset**

Maaekosysteemissä hiilen kiertoa ohjaavat pääasiassa biologiset prosessit. Maaekosysteemin avainprosesseissa aikaskaalat ovat alle vuosisadan mittaisia, minkä vuoksi niiden rooli on verrattain tärkeä hiilen kierrossa lyhytaikaisissa ja keskipitkissä jaksoissa (Dolman, 2019.) Edellisessä luvussa 2.2.1. esiteltiin hapen ja sokerin tuotantoa kuvaava fotosynteesireaktio, jonka myötä suurin osa hiilestä ja kemiallisesta energiasta päätyy ekosysteemeihin. Fotosynteesiä säätelee solu- tai lehtitasolla valoenergian, hiilidioksidin ja typen saatavuus sekä lämpötila, joka toimii reaktionopeuden säätelijänä. Fotosynteesissä vaikuttavien entsyymien tuottamiseen puolestaan tarvitaan typpeä (Chapin, 2011.)

Ekosysteemien mittakaavassa tapahtuvaa fotosynteesiä nimitetään bruttoperustuotannoksi (GPP) (esim. Chapin, 2011 ja Dolman, 2019). Kasvillisuuden bruttoperustuotannon sitoma vuosittainen hiilen (C) määrä on noin 120 Pg C/vuosi (Dolman, 2019). Lyhyellä aikavälillä, nettoperustuotanto (NPP) ja autotrofinen hengitys ( $R_a$ ) tyypillisesti hallitsevat maaekosysteemien hiilitasapainoa:  $NPP = GPP - R_a$  (Lorenz, 2007.) Nettoperustuotanto (NPP) on siis kasvien sitoman hiilen määrä ja se määrittää bruttoperustuotannon ja kasvien hengityksen välillä olevan epätasapainon (Chapin ym. 2011). Ekosysteemin nettotuotanto (NEP) kuvaa sitä nettoperustuotannon määrää, josta vähennetään ekosysteemistä hengityksen kautta poistuvan hiilidioksidin ( $CO_2$ ) määrä:  $NEP = NPP - R_a = GPP - R_a - R_h$ . Ekosysteemin nettovaihto ( $NEE = -NEP$ ) mittaa hiilen (C) nettovaihtoa ekosysteemin ja ilmakehän välillä (pinta-alaa kohden) ja on ensisijainen ekosysteemin hiilen nieluvoimakkuuden mittari. Nettohiilinielu on kasvillisuuden sitoman hiilidioksidin ja maaperän päästöjen ero:  $NEE = -NPP + R_h$ . Hiilinielu on hiilen varaston aikaderivaatta eli se edustaa varaston muutosta tietyllä aikajänteellä. Nettobiomituotanto (NBP) on orgaanisen aineen nettotuotanto alueella, joka sisältää erilaisia ekosysteemejä (biomeja). Se sisältää heterotrofisen hengityksen lisäksi myös muut prosesseja, jotka johtavat elävien ja kuolleiden orgaanisten aineiden menetykseen (Chapin ym. 2011.) Hiilen vaihtoa, eli  $NEE$ :tä, ekosysteemin ja ilmakehän välillä voidaan mitata pyörrekovarianssimittauksilla (eng. Eddy Covariance), mikä mahdollistaa ekosysteemin hiilidioksidivirtausten vuorokausi-, kausi- ja vuosivaihtelun mittaamisen (esim. Bergeron ym. 2011, Nordbo ym. 2012 ja Dolman, 2019).

Hiilidioksidin talteenottoon vaikuttavat auringon säteilyn ja hiilidioksidin määrä, ilmasto (lämpötila ja sademäärä), ravinteiden määrä, maaperätyyppi ja ilman saasteet sekä veden sivuvirtaukset joet, järvet ja suistot ja kasvillisuuden hoitotoimenpiteet (Flexas ym. 2012). Kasvillisuuden kasvukauden pituus selittää suuren osan tuotannon vaihtelevuudesta ekosysteemityyppien välillä (Chapin ym, 2011). Metsien rooli hiilen (C) kierrossa ja potentiaali hiilen sidonnassa on laajasti tunnistettu. Ilmastonmuutoksen hillintään liittyvässä keskustelussa voimakkaimmin esiin nousevat boreaalisten ja trooppisten metsien roolit hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) nieluina. Liski ym. (2006) tutkimus osoittaa, että kaikkien metsän hiilivarastojen (biomassa, karike ja maaperä) merkittävyys on huomioitava oikeanlaisten hiilitasearvioiden tekemiseksi lyhyellä sekä pitkällä aikavälillä. Maantieteellisestä sijainnista johtuen lämpötilat ovat boreaalisella vyöhykkeellä matalia, Lorenz ja Lal (2009) esittivät tämän olevan rajoittava tekijä metsämaaperän eliöiden aktiivisuudelle ja hidastavan orgaanisen aineksen hajoamista. Nettoerustuotantoa rajoittaa typen (N) puute.

### **2.2.3. Maaperän hiilen varastot ja -nielut**

Maaperä muodostaa maaekosysteemeissä suurimman hiilen (C) varaston (esim. Lal ym. 2012a, Chapin ym. 2011, Trammell ym. 2017). Lal ym. (2012a) kirjoittivat, että maaekosysteemin hiilivaranto on pienentynyt merkittävästi maatalouden ajaman metsien hävittämisen, joka alkoi noin 12–14 tuhatta vuotta sitten, ja muun maankäytön muutoksen seurauksena. Tämä on oletettavasti aiheuttanut 476 Pg C kumulatiivisen päästön ilmakehään. Maaperän orgaanisen hiilen (SOC) varastoon, noin kolmen metrin syvyyteen, on maailmanlaajuisesti varastoitunut noin 2 300 Pg C, maaperän epäorgaanisen hiilen (SIC) varastoon sekä ikiroutaan molempiin noin 1 700 Pg C ja 600 Pg C turvemaihin (Lal ym. 2012a).

Maaperään hiili päätty kasveista ja puista peräisin olevan karikkeen eli putoavien lehtien, neulasten ja muun kuolleen kasvillisuuden eli kuolleen orgaanisen aineksen mukana. Maaperän mikrobit hajottavat orgaanista ainesta, jonka seurauksena hiiltä siirtyy hiilidioksidina takaisin. Maaperän orgaanisen hiilen pitoisuudessa on globaalisti suuria eroja, mutta viileän ja kostean ilmaston sekä maan hienojakoisen kivennäisaineksen on havaittu suosivan kertymistä maahan (Heinonsalo ym. 2020.) Näiden lisäksi myös mahdollinen aikaisempi maankäyttö vaikuttaa hiilen sitoutumiseen maaperässä (Jandl ym. 2007). Orgaanisen aineksen sisältämä hiili päätty jopa satoja vuosia maassa säilyvään muotoon mikrobiaineksen ja eri vaiheissa hajotusprosessia syntyvien yhdisteiden reagoidessa maaperän kivennäisaineksen kanssa. Niiden välille syntyy kemiallisia sidoksia, jotka suojaavat orgaanista ainesta hajoamiselta yhdessä maaperän murumaisen rakenteen kanssa (Heinonsalo ym. 2020).

Luonnonmetsissä korkeimmat maaperän hiilivarastot näyttäisivät esiintyvän havupuiden alla olevassa maassa (esim. Jandl et al. 2007), tämä johtuu siitä, että havupuiden neulaskarikerke hajoaa hitaasti. Liski ja Westman (1997) mukaan 28 % maaperän hiilestä (C) on kivennäismailla niiden orgaanisessa kerroksessa, ja suurin osa (68 %) hiilestä on sitoutuneena ylipäin kivennäismaakerrokseen, joka metrin paksuinen. Liski ym. (2006) määrittivät Suomen metsien maaperän keskimääräiseksi hiilipitoisuudeksi kivennäismailla 6,3 kg/m<sup>2</sup>. Ilmaston lämmitessä maapallolla maaperän orgaanisen aineksen hajoaminen kiihtyy ja maaperän hiilivaraston tasapaino muuttuu (Liski ja Westman, 1997 ja Jandl ym. 2007). Metsämaan on havaittu reagoivan tähän muutokseen voimakkaimmin (Jandl ym. 2007). Maaperän hiili (C) voi joko edistää hiilidioksidin sitoutumista, jos orgaanista ainetta varastoituu maaperään tai vapautumista ilmakehään, jos heterotrofinen hengitys vähentää orgaanisen aineksen pitoisuuksia (Pouyat ym. 2006).

## **2.3 Hiilen kierto kaupunkiekosysteemissä**

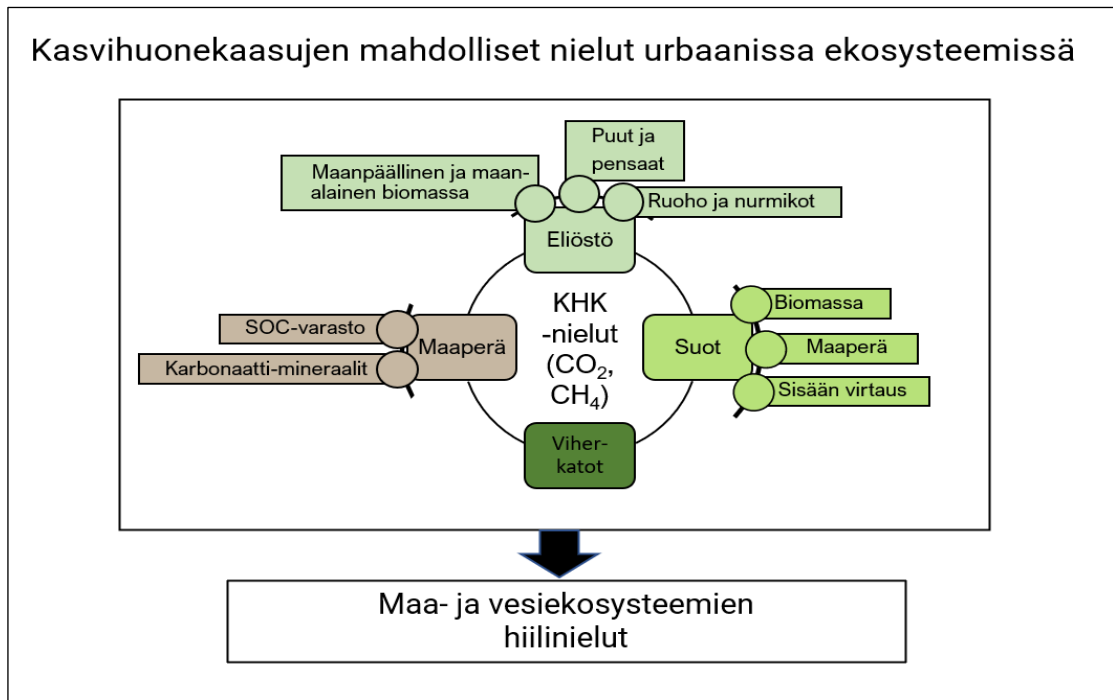
### **2.3.1. Kaupungistuminen: vaikutus hiilen kiertoon**

Kaupunkiekosysteemit ovat ihmisen rakentamia ja hallinnoimia kokonaisuuksia, jotka sisältävät asuinrakennuksia ja infrastruktuuria ihmisyhteiskunnan tarpeisiin. Nykypäivänä suurin osa ihmisasutuksesta sijaitsee kaupungeissa, ja jo useamman vuosikymmenen ajan muuttovirtaus on suuntautunut maaseudulta kaupunkiin. Yhdistyneiden Kansakuntien (UN, 2018) mukaan kaupungistumisen voidaan katsoa alkaneen vuodesta 1950, jolloin kaupunkilaisten osuus oli 30 % maailman väestöstä. Vuoteen 2018 mennessä osuus kasvoi 55 prosenttiin, ja kasvun ennustetaan jatkuvan niin, että vuoteen 2050 mennessä kaupunkilaisten osuus on noin 68 prosenttia maailman väestöstä. Kaupunkiekosysteemit aiheuttavat maailmanlaajuisesti 78 % hiilipäästöjen kokonaismäärästä ja ovat siten suurin maailmanlaajuisen kasvihuonekaasupäästöjen lähde. Tämä vaikuttaa olennaisesti kaupunkiympäristön hiilen kiertoon ja muihin biogeokemiallisiin sykleihin (Lal ja Augustin, 2012.)

### **2.3.2. Kaupunkiekosysteemin hiilinielut**

Pääasiallisia säätelijöitä kaupunkien biogeokemiallisissa sykleissä ovat läpäisemättömät pinnat, suunnitellut veden virtausverkostot, rajut maiseman muutokset sekä häiriintyneet ekologiset prosessit (Lal ja Augustin, 2012a). Nämä aiheuttavat muutoksia urbaanin ympäristön luonnollisissa hiilen (C) nieluissa. Hiilidioksidin mahdolliset nielut kaupunkiekosysteemeissä on esitetty Kuvassa 1.





Kuva 1. Kasvihuonekaasujen potentiaaliset nielut urbaanissa ekosysteemissä. KHK = kasvihuonekaasut, SOC = maaperän orgaaninen hiili. (Muokattu Lal ja Augustin, 2012 pohjalta).

Useat tutkimukset ovat arvioineet kaupunkipuiden hiilen sidontakapasiteettia, muita hyötyjä sekä haittoja (McHale ym. 2009). Monissa kaupunkiekosysteemin hiilivarasto - aiheisissa tutkimuksissa korostuvat kaupunkipuiden biomassatutkimukset ja erilaisten biomassayhtälöiden käyttö hiilen sidonnan määrittämiseksi (esim. Timilsina ym. 2014, Riikonen ym. 2017 ja Lindén. 2019). Niin kuin edellä on esitetty kaupunkiympäristön ainekierrot ovat häiriintyneitä, joten metsäpuiden hiilen sidonnalle soveltuvat biomassayhtälöt eivät ole täysin sovitettavissa kaupunkipuulle, koska ne on kehitetty vastamaan luonnollisia metsäolosuhteita (McHale et al. 2009). Ainekierron näkökulma ja kaupunkikasvillisuuden muodostaman hiilisyötteen merkitys maaperälle on esitetty jo aiemmin (Pouyat ym. 2006), mutta maanpäällisen biomassan hiilensidonnan ja -varastojen määrittäminen on yhä useammin tutkimusten keskiössä (esim. Riikonen ym. 2017). Maapinta-alan lisäksi kaupungeissa on syytä huomioida myös hyödynnettävissä oleva rakennusten kattojen pinta-ala. Viherkattojen potentiaali hiilen sidonnassa on tunnistettu tieteellisissä tutkimuksissa, mutta määrät eivät ole kovin suuria. Viherkattoihin liittyvät tutkimukset ovat osoittaneet niiden hyödyiksi myös tehokkuuden rakennusten energian säästämässä, paremman eristävyuden ja viilentävän vaikutuksen ansiosta, kattopinnan käyttöiän pidentämisen, hulevesien imeytymisen ja hulevesipiikkien hallinnan sekä ilmanlaadun parantumisen ja äänieristävyuden lentomelualueilla (Nurmi ym. 2016).

#### **2.3.4. Kaupunkipuiden hiili**

Lindén ym. (2019) tutkivat puihin varastoituneen orgaanisen hiilen ja maaperän hiilen määrää rakennetuissa kaupunkipuistoissa Helsingissä, Suomessa. Tutkimuksessa määritettiin viheralueiden puiden hiilen varastoksi 22,1 ja 28,1 t C/ha<sup>-1</sup> kahdessa erillisessä määrittäyksessä. Julkaisussaan he korostavat, että Suomessa kaupunkipuistojen puiden määrä on selkeästi pienempi kuin metsissä, minkä vuoksi maanpäällinen hiilen varasto jää pieneksi. Riikonen ym. (2017) arvioivat, että Suomessa katupuun biomassan hiilen (C) kertymä istutuksen jälkeisten 10 vuoden aikana on 18–32 kg puuta kohden. Mikäli heidän tutkimuksessaan määritetty hiilen menetys 170 kg/25 m<sup>3</sup> kasvualustasta otetaan huomioon, puu ja sitä ympäröivä maaperä alkavaa toimia hiilen nieluna, kun istutuksesta on kulunut noin 30 vuotta ja kasvualustasta menetetty hiilen määrä on ehtinyt varastoitua puuhun. Tämä johtuu kasvualustoissa käytettävästä keinotekoisesta orgaanisesta aineesta, joka hajoaa nopeasti, mikä vuoksi uutta orgaanista ainesta ei pääse sekoittumaan maaperään. Kaupunkipuiden on kuitenkin osoitettu toimivan tärkeinä hiilen sidonnan edistäjinä pitkällä aikavälillä (esim. Nowak ym. 2013).

Kaupunkiympäristöön istutettaville puulajeille on omia kriteereitä johtuen esimerkiksi stressitekijöistä, joita kaupunkialueiden puihin kohdistuu. Sæbø ym. (2003) kirjoittivat, että kaupunkien pienilmasto, veden kierto, valotaso ja maaperän olosuhteet sekä teiden suolaaminen, ilmansaasteet, kaupunkiarkkitehtuuri ja turvallisuus vaikuttavat puiden kasvuolosuhteisiin. Korkea plastisuus eli kyky menestyä hyvin erilaisissa kasvuympäristöissä (Sæbø ym. 2003), kiteyttää hyvin kaikki kaupunkiympäristössä vaaditut ominaisuudet. Suomessa lajivalinnat ovat painottuneet kaupunkiluonnon monimuotoisuuden ylläpitämiseen sekä katu- ja puistopuiden lajivalikoiman monipuolistamiseen (esim. Helsingin kaupunki, 2014b ja Lahden kaupunki, 2013). Toisaalta esimerkiksi kaupunkipuiden pitkäaikaisen hyvinvoinnin turvaaminen edistää myös hiilen sidontaa ja -nielua. Helsingin kaupungin rakennusviraston kaupunkipuuselvityksen (Helsingin kaupunki, 2014a) mukaan yleisempiä kaupunkipuita Helsingissä ovat lehmukset, koivut ja vaahterat. Lahden kaupungilta ei löytynyt samanlaista kaupunkipuulajiselvitystä, mutta kaupungin paikkatietojen perusteella yleisimmät kaupunkipuulajit ovat samat myös Lahdessa.

#### **2.3.5. Kaupunkimaaperän hiili**

Luvussa 2.2. esitettyjen maaperän hiilen pitoisuuteen vaikuttavien tekijöiden lisäksi, kaupunkiympäristön maaperän hiilen määrään vaikuttavat ihmisen aiheuttamat häiriöt, eksoottiset kasvilajit sekä kasvien lannoitus, kastelu ja leikkaaminen (Pouyat ym. 2006). Kirjallisuuteen ja mittausaineistoon perustuneessa tutkimuksessa (Pouyat ym. 2006) arvioitiin kuuden Pohjois-Amerikkalaisen kaupungin maaperän orgaanisen hiilen (SOC) varastot ja maankäytön muutoksesta aiheutunut nettovaikutus maaperänhiilen varastoon. Maankäytön muutoksen huomioiminen on keskeistä maaperän hiilen varaston

määrityksessä, sillä se on rakennettujen viheralueiden elinkaaren alkupiste (esim. Pouyat et al. 2006 ja Trammell et al. 2017). Pouyat ym. (2006) tutkimuksen tulokset korostavat kaupunkialueista erityisesti pientaloalueiden potentiaalia sitoa ja varastoida suuria määriä maaperän orgaanista hiiltä johtuen maaperän häiriytymättömyydestä ja hoidosta. Suomessa asuinpihujen hiilen sidonnan potentiaalia ovat selvittäneet Ariluoma ym. (2020) tutkivat mallintamiseen perustuneessa tutkimuksessaan asuinpihujen puuston ja maaperän hiilivarastosta ja biohiilen lisäyksestä. Erityisesti maaperä, johon oli lisätty biohiiltä, vaikutti tulosten perusteella tehokkaalta hiilen varastointipotentiaalin lisäämiseksi asuinpihoilla. Suomessa kasvipeitteisten rakennettujen viheralueiden hiilivaraston kehittymistä on tutkittu 0–90 cm syvyydessä maankäytön muutoksen jälkeen ja sen on havaittu kasvavan muutosta seuraavan viiden kymmenen vuoden ajan (Setälä ym. 2016 ja Lindén ym. 2019).

Luvussa 2.2.3. esitettiin, että luonnonkosysteemeissä ikivihreät havupuut tuottavat maahan korkeimmat hiilivarastot. Setälä ym. (2016) esittivät, että luonnonmetsien lisäksi myös vanhojen kaupunkipuistomaiden havupuiden alla olevan maaperän orgaanisen aineksen osuus, ja siten hiilen on määrä, on korkeampi verrattuna osuuteen lehtipuiden ja nurmikkoalueiden alla. Lindén ym. (2019) esittivät, maaperän hiilen määräksi 19,5, 16,5 ja 14,2 kg C/m<sup>2</sup> luokan A1, A2 ja A3 mukaisesti hoidetuilla puistoalueilla. Setälä ym. (2016) tutkimuksessa puistomaaperän hiilivarastoksi nuorissa nurmivaltaisissa puistoissa määritettiin 14,9 kg C/m<sup>2</sup>, lehtipuuvaltaisissa 21,4 kg C/m<sup>2</sup> ja havupuuvaltaisilla 18,9 kg C/m<sup>2</sup>. Lu ym. (2020) esittivät tutkimustuloksissaan, että Lahdessa läpäisemättömien pintojen alla olevissa maarakenteissa hiiltä oli 15 kertaa vähemmän kuin puistojen läpäisevillä pinnoilla. Nämä tutkimukset nostavat esiin kaupunkipuiston maaperän potentiaalin hiilen varastona, mikä voi olla suurempi kuin aiemmin luvussa 2.2.4. esitetty kivennäismaiden metsien maaperän 6,3 kg C/m<sup>2</sup> hiilen varasto.

#### **2.4. Hiilinielut ja -varastot Lahden alueella**

Finnish Consulting Group Oy:n (FCG) toimesta Lahden kaupungin kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastot ja -nielut määritettiin vuonna 2021 Kanta-Hämeen ja Päijät-Hämeen maankäytön hiilinielut ja -varastot -selvityksessä. Selvityksessä määrittäminen kattaa 351 016 704 m<sup>2</sup> suuruisen alueen, joka on Lahden kaupungin kuivan maapinta-alan suuruus. Vuosittaiset nettohiilinielut ilmoitetaan usein yksikössä kgCO<sub>2</sub>/ha/vuosi tai tCO<sub>2</sub>/ha/vuosi. Jos hiilen määrä (esim. kg) tiedetään, voidaan hiilen massa ja hiilidioksidin massa sisällyttää toisiinsa kaavan 1. mukaisesti ja hiilidioksidin sisältämä hiilimassa kaavan 2. mukaisesti.

$$\frac{M(CO_2)}{M(C)} \times kg(C), \quad (1)$$

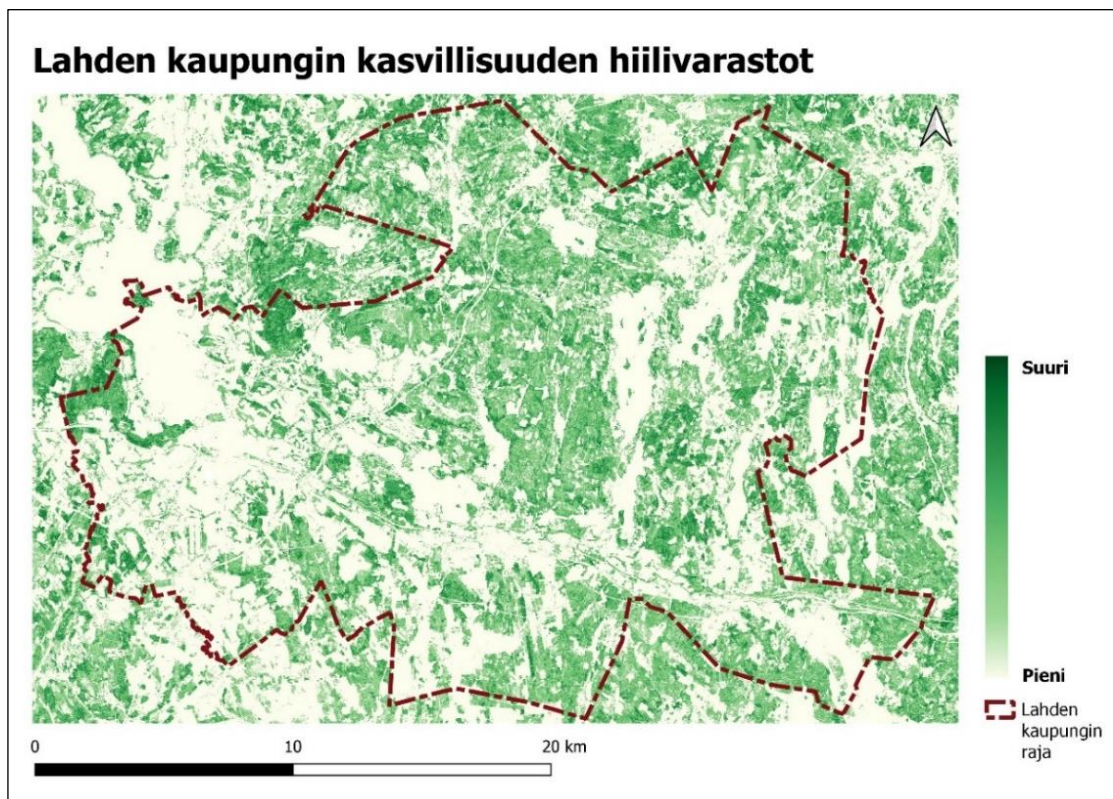
$$\frac{M(C)}{M(CO_2)} \times kg (CO_2), \quad (2)$$

joissa  $M (CO_2) = 44,01$ ,  $M(C) = 12,01$ .

Edellä mainitun selvityksen mukaan Lahden kokonaishiilivarastot ovat yhteensä noin 3,7 miljoona tonnia hiiltä (C) (FCG, 2021). Vuosittaiset nettohiilinielut Lahdessa olivat kokonaisuudessaan vuonna 2021, 20 767 tCO<sub>2</sub>/vuosi, joka siis tarkoittaa kokonaishiilivarastojen muutoksen suuruutta. Jos tämän muutoksen suhteuttaa kokonaishiilivarastoon, varaston muutos tarkoittaa 0,15 %:n kasvua vuosittain. Seuraavissa kappaleissa esitellään hiilivarastojen ja -nielujen jakautuminen kasvillisuuden ja maaperän osalta sekä maaperän hiilidioksidipäästöt Lahden alueella vuoden 2021 selvityksen laskennan tulosten mukaisesti.

#### 2.4.1. Kasvillisuuden hiilivarastot ja -nielut Lahdessa

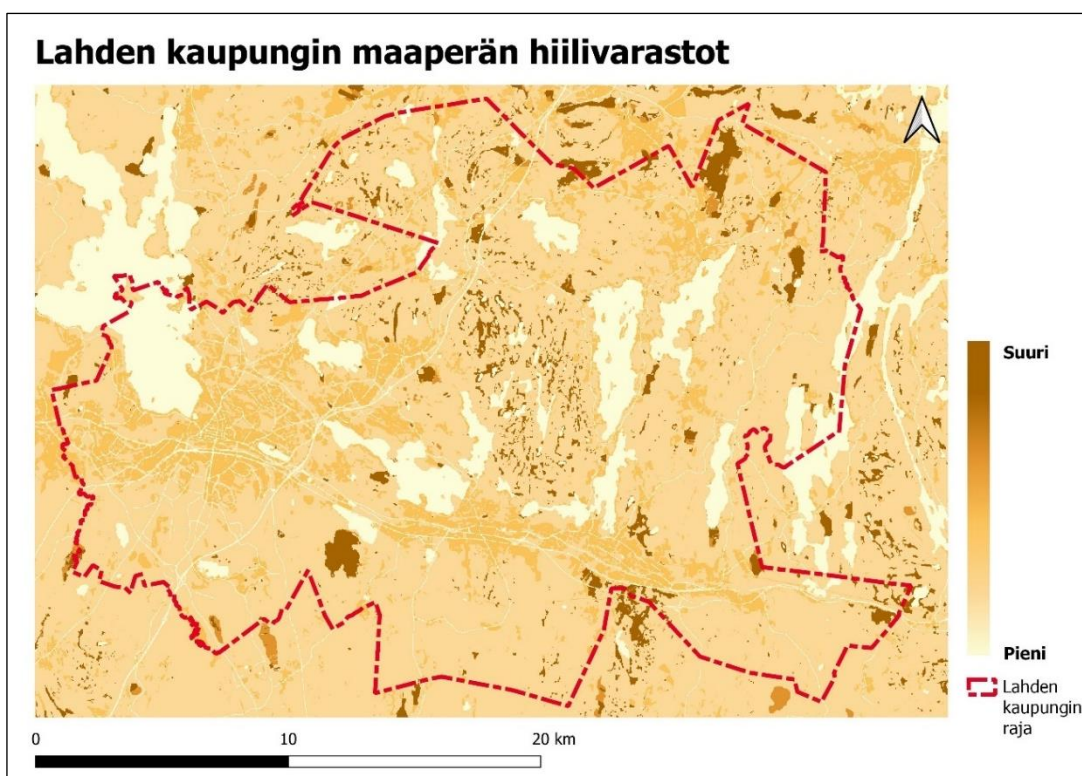
Kanta-Hämeen ja Päijät-Hämeen maankäytön hiilinielut ja -varastot -selvityksen (2021) paikkatietojen ja kartta-aineiston mukaan Lahden alueen kasvillisuuden hiilivarastot ovat 654 320 t/C ja kasvillisuuden hiilinielut ovat 125 658 tCO<sub>2</sub>/vuosi. Kasvillisuuden nettohiilinielut olivat yhteensä 20 767 tCO<sub>2</sub>/vuosi. Kartta Lahden kasvillisuuden hiilivarastoista vuonna 2021 on esitetty Kuvassa 2. Kuvaan liittyvää aineistoa kasvillisuuden hiilivarastoista ei ole käytetty tässä työssä muuten kuin kartan esittämiseksi yleisen informaation vuoksi.



Kuva 2. Karttaesitys Lahden kasvillisuuden hiilivarastoista.

## 2.4.2. Maaperän hiilivarastot ja -päästöt Lahdessa

Kanta-Hämeen ja Päijät-Hämeen maankäytön hiilinielut ja -varastot -selvityksen (2021) paikkatietoaineiston mukaan Lahden maaperän hiilivarastot ovat 2 954 952 t/C. Lahden kaupungin maaperän hiilivarastojen jakautuminen on esitetty Kuvassa 3. Maaperän vuosittaiset päästöt olivat 104 891 tonnia CO<sub>2</sub>ekv/ vuosi. Samoin kuin kasvillisuuden hiilivarastoja esittävää kuvaa varten myöskään maaperän hiilivarastoihin liittyvää aineistoa käytettiin vain yleisen informaation esittämiseksi.



Kuva 3. Kartta-esitys Lahden maaperän hiilivarastoista.

## 2.5. Maankäyttösektorin rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä

Maailmanlaajuisesti maankäytöstä, maankäytön muutoksista ja metsätaloudesta aiheutuu nettohiilidioksidivirtaus ilmakehään (esim. Friedlingstein ym. 2020 ja IPCC, 2013). On olemassa yksimielisyys siitä, että maankäytön ja maanpeitteen muutoksen aiheuttamat päästöt (LULCC) ovat toiseksi suurin ihmisen aiheuttama hiilen lähde ilmakehään fossiilisten polttoaineiden poltosta aiheutuvien päästöjen jälkeen. Tutkimuksissa on arvioitu, että 25–50 % maaperän hiilestä menetetään, kun alkuperäistä kasvillisuutta muunnetaan viljelysmaaksi. Tällä hetkellä maaperän hiilivaikutuksia ei oteta suoraan huomioon useimmissa päästöjen vähentämispolitiikoissa (Scharlemann ym. 2014.) Maankäyttöä, maankäytön muutoksia ja metsätaloussektorin nieluja ja

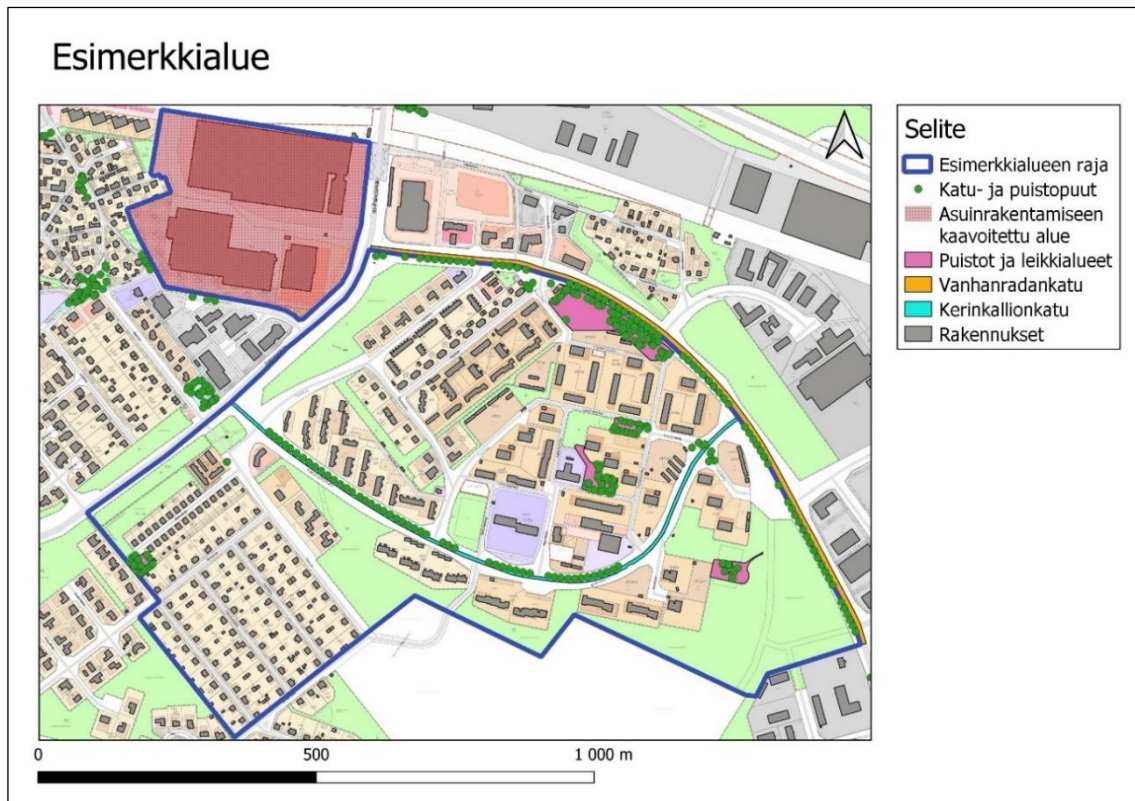
päästöjä sekä niiden huomioon ottamista koskevat laskentasäännöt on määritetty LULUCF-asetuksessa (EU) 2018/841 EU:n ilmastotavoitteiden mukaisiksi (MMM, 2018). Osa maankäyttöön liittyvästä toiminnasta johtaa hiilidioksidipäästöihin ilmakehään ja osa ekosysteemeistä voi toimia hiilidioksidinieluinä (Friedlingstein ym. 2020) niin kuin on aiemmin tässä työssä esitetty. Suomen ilmasto-oloissa maankäyttö infrastruktuurin ja rakennusten luomiseksi tarkoittaa yleensä maaperän ylimmän ja hiilirikkaimman osan korvaamista teknisillä maarakenteilla, jolloin hiilivarastot ja hiilinielut menetetään (Simosol Oy ym. 2020).

### **3. Aineisto ja menetelmät**

Tämän työn aineiston on muodostanut Finnish Consulting Group Oy:n Kanta- ja Päijät-Hämeen kunnille tekemä selvitys kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastoista ja -nieluista, joka on esitelty aiemmin työssä sekä selvityksen puutteellisuudesta johtuen työn aihepiiriin liittyvä kirjallisuudesta saatavilla ollut tieto. Menetelmällisesti tässä työssä tärkein keino oli tiedonkeruutyö ja tutkimustiedon yhdisteleminen, jonka tuloksena pyrittiin muodostamaan kokonaiskuva aiheesta ja laskettiin hiilen (C) nettohiilinielut. Lisäksi työssä laskettiin Lahden kaupungin paikkatietojen ja kirjallisuuden esimerkkiarvojen perusteella kahden kadun katupuiden hiilivarastot sekä alueella olevien neljän puisto- ja leikkialueen puiden hiilivarastot. Edellä esitetyillä menetelmillä selvitettiin vastaukset työlle asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Työssä esitetyt kartat tehtiin QGIS Desktop 3.16.11 -ohjelmalla.

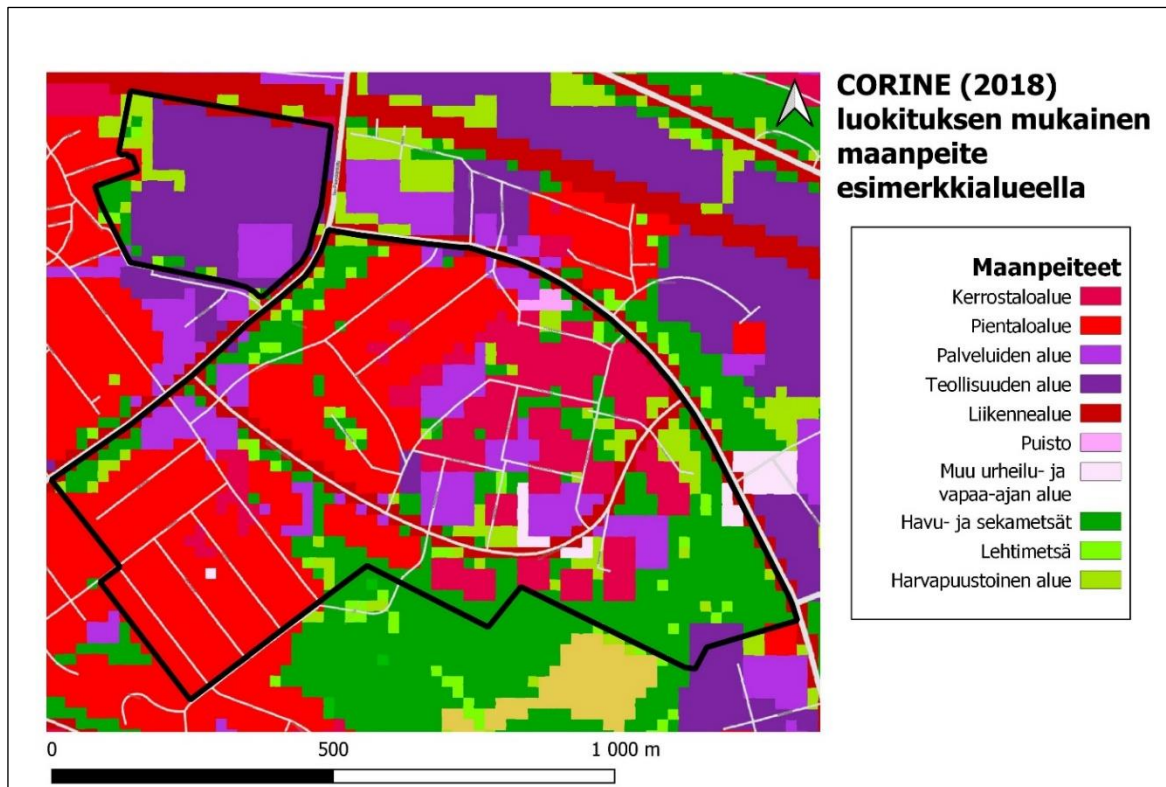
#### **3.1.1. Esimerkkialue**

Tässä työssä kasvillisuuden ja maaperän hiilensidontaa ja hiilinieluja tarkasteltiin 815 079 m<sup>2</sup> suuruisella esimerkkialueella (Kuva 4.) Lahdessa Saksalan kaupunginosassa (60°58'10.0"N 25°40'30.0"E). Lahti kuuluu boreaaliseen mantereiseen ilmastovyöhykkeeseen (Lilja ym. 2006), jossa vuosittainen keskilämpötila on 5,4 °C ja sademäärä on 630,2 mm (Ilmatieteen laitos, 2021).



Kuva 4. Työssä tarkasteltu esimerkkialue Saksalan kaupunginosassa. Karttaesitys on koottu Lahden kaupungin paikkatietojen pohjalta.

Esimerkkialueella maankäyttöluokat olivat pientaloalueet, kerrostaloalueet, palveluiden alueet, teollisuuden alueet, liikennealueet, puistot, muut urheilu- ja vapaa-ajan alueet, lehti-, seka- ja havumetsät sekä harvapuustoiset alueet. Edellä mainitut Kanta-Hämeen ja Päijät-Hämeen maankäytön hiilinielut ja -varastot (2021) -selvityksessä käytetyn CORINE (2018) -maanpeiteluokituksen mukaiset maankäyttöluokat on esitetty Kuvassa 5. Selvityksessä rakennetussa ympäristössä kerrostaloalueiden, pientaloalueiden, palveluiden alueiden ja teollisuuden alueiden hiilinielulle oli käytetty samaa kirjallisuudesta saatua oletusarvoa  $-0,0003 \text{ t CO}_2/\text{m}^2/\text{vuosi}$ , joka hiilen määränä ilmaistuna on  $0,081 \text{ kg C}/\text{m}^2/\text{vuosi}$ . Koska tässä työssä tarkastelua tehtiin hiilen varastojen ja -nielujen osalta erilaisissa kaupunkiympäristön maankäyttöluokissa, selvityksen paikkatietoanalyysin tarkkuus ei ollut riittävä hyödynnettäväksi sellaisenaan työssä tarkasteltavan esimerkkialueen hiilinielujen laskennassa.



Kuva 5. Maankäytön jakautuminen esimerkkialueella Suomen Ympäristökeskuksen CORINE -maanpeiteluokituksen mukaisesti. Rastereiden suuruus on 20x20m.

### 3.1.2. Maaperä esimerkkialueella

Esimerkkialueella Geologiatutkimuskeskuksen (GTK) maaperänkartan mukaiset pohjamaalajit olivat hienohieta, hiekkamoreeni, karkea hieta, hiesu ja kallioma. Lisäksi alueen itäreunassa oli hieman savimaata ja asuinrakentamiselle kaavoitetulla alueella on kartoittamatonta maata. Tässä tutkimuksessa tarkastelu rajattiin kivennäismaihin.

## 3.2. Laskentamenetelmät

### 3.2.1. Maankäyttöluokkien hiilinielut

Kerrostalo-, pientalo-, palvelu- ja teollisuusalueiden osalta lähtöaineistoa täydennettiin etsimällä muita kirjallisuudesta löytyneitä arvoja, jotta saatiin laskettua arviot maanpeiteluokkien hiilinielulle. Taulukossa 1. esitetään FCG:n selvityksestä ja kirjallisuudesta hiilinielujen laskentaa varten kootut arvot kasvillisuuden hiilivarastolle, nurmimaisen biomassan osuudelle, maaperän päästöille esimerkkialueella sekä viherkaton kasvillisuuden hiilivarasto  $\text{kg C/m}^2$ .



Taulukko 1. Kirjallisuudesta saadut kasvillisuuden hiilivarastot, nurmimaisen biomassan osuus pinta-alasta ja maaperän hiilipäästöt kerrostalo-, pientalo-, palvelu- ja teollisuusalueilla, liikennealueilla, puistoissa ja muilla urheilu- ja vapaa-ajan alueilla sekä kasvillisuuden hiilivarasto viherkatolla kg C/m<sup>2</sup>.

<b>CORINE -maanpeitteen mukainen maankäyttö</b>	<b>Kasvillisuuden hiilivarasto kg C/m<sup>2</sup></b>	<b>Nurmimaisen biomassan osuus pinta-alasta %</b>	<b>Maaperän hiilipäästöt (R<sub>h</sub>) kg C/m<sup>2</sup></b>
<i>Kerrostaloalueet</i>	-	10 <sup>[1]</sup>	0,0317 <sup>[1]</sup>
<i>Pientaloalueet</i>	0,79 <sup>[2]</sup>	25 <sup>[1]</sup>	0,03 <sup>[1]</sup>
<i>Palveluiden alueet</i>	-	20 <sup>[1]</sup>	0,0238 <sup>[1]</sup>
<i>Teollisuuden alueet</i>	-	20 <sup>[1]</sup>	0,0238 <sup>[1]</sup>
<i>Liikennealueet</i>	0 <sup>[1]</sup>	0 <sup>[1]</sup>	0 <sup>[1]</sup>
<i>Puistot (nurmi)</i>	0,15 <sup>[2]</sup>	80 <sup>[1]</sup>	0,0238 <sup>[1]</sup>
<i>Muut urheilu- ja vapaa-ajan alueet</i>	-	50 <sup>[1]</sup>	0,0272 <sup>[1]</sup>
<i>Viherkatot</i>	0,162 <sup>[3]</sup>	100	-
<small>[1] FCG, 2019a                  [2] Davies ym. 2011                  [3] Getter ym. 2009</small>			

Muiden urheilu- ja vapaa-ajan alueiden hiilinielut laskemiseksi käytettiin puistojen kasvillisuuden hiilivaraston arvoa (Taulukko 1.). FCG:n hiilinielut ja varastot -selvityksen (FCG, 2021) mukaiset vuosittaisten hiilinielujen arvot lehti-, havu- ja sekametsäalueille sekä harvapuustoisille alueille esitetään Taulukossa 2. Arvot vaikuttivat liian pieniltä verrattuna taajamametsien hiilinielujen arvoihin, jotka esitettiin Simosol Oy ym. (2020) raportissa pääkaupunkiseudun kaupunkien Espoon, Helsingin, Kauniaisen ja Vantaan hiilinieluista. Tästä syystä työssä lehti-, havu- ja sekametsien hiilinielut laskettiin Simosol Oy ym. (2020) määrittämällä taajametsien keskimääräisellä hiilinielun arvolla 9,15 tCO<sub>2</sub>/ha eli 0,25 kg C/m<sup>2</sup>.

Taulukko 2. Lehti-, havu- ja sekametsien ja harvapuustoisten alueiden hiilinielut FCG:n laskennassa (FCG, 2021)

<b>CORINE-maanpeitteen mukainen maankäyttö</b>	<b>Hiilinielu, kg C/m<sup>2</sup>/vuosi</b>
<i>Lehtimetsät</i>	0,126
<i>Havumetsät</i>	0,101
<i>Sekametsät</i>	0,103
<i>Harvapuustoiset alueet</i>	0,081

Metsäalueilla kasvillisuuden hiilinieluista ja -varastosta merkittävin osa muodostuu kasvavasta puustosta ja nurmimaisen biomassan osuus oli FCG:n raportin (FCG, 2021) mukaisesti vain kaksi prosenttia. Harvapuustoisilla alueilla nurmimaisen biomassan osuus oli samassa raportissa määritelty olevan 80 %. Työssä oletettiin, että nurmimaisen biomassan osuus oli otettu huomioon hiilinielun laskennassa edellä mainitussa raportissa, joten sitä ei erikseen huomioitu lehti-, havu-, ja sekametsien tai harvapuisten alueiden hiilinielun laskennassa.

Nettohiilinielut laskettiin kaavan 3. mukaisesti jokaisen maanpeitealueen yhteenlasketulle pinta-alalle esimerkkialueella.

$$\begin{aligned} \text{Nettohiilinielu} = \\ \text{Nurmimaisen biomassan osuus pinta – alasta} \times \\ \text{Kasvillisuuden hiilivaraston muutos /aika} - \text{Maaperän hiilipäästö} \quad (3) \end{aligned}$$

Maanpeiteluokkien pinta-alat laskettiin rasterikartan ruuduista, jossa yhden rasterin suuruus oli 20x20m. Alle yhden ruudun kokoiset rasterit laskettiin puolikkaina. Pinta-alat eri maanpeitteille olivat: kerrostaloalueet: 125 600 m<sup>2</sup>, pientaloalueet: 234 920 m<sup>2</sup>, palvelualueet 81 400 m<sup>2</sup>, teollisuusalueet: 86 200 m<sup>2</sup> ja liikennealueet: 31 200 m<sup>2</sup>. Puistojen määrä 2 800 m<sup>2</sup> edustaa alueella Vanhanradankadun varressa olevan puiston avointa viheraluetta. Muita urheilu- ja vapaa-ajan alueita on 7 600 m<sup>2</sup>, lehtimetsiä 12 600 m<sup>2</sup>, sekametsiä 80 600 m<sup>2</sup>, havumetsiä 65 000 m<sup>2</sup> ja harvapuustoisia alueita 60 200 m<sup>2</sup>. Alueella sijaitsevista teistä ja kaduista ainoastaan Kerinkallionkatu oli merkitty CORINE-maanpeitteeseen, joten liikennealueiden yhteenlaskettu pinta-ala tässä työssä oli edellä mainitun kadun pinta-alan suuruus. Todellisuudessa tiealueita oli enemmän ja ne olivat pääosin pieniä asuinkatuja. Koska kaikki liikennealueet olivat alueella asfaltoituja, niiden hiilinielun oletettiin olevan nolla Kanta-Hämeen ja Päijät-Hämeen maankäytön hiilinielut ja -varastot (2021) -selvityksen mukaisesti.

Kerrostaloalueiden, palveluiden -ja teollisuuden alueiden kasvillisuuden hiilivarastolle ei löytynyt erillisiä arvoja kirjallisuudesta, joten hiilinielun laskemiseksi näille maankäytön alueille käytettiin pientaloalueiden kirjallisuusarvoa kasvillisuuden sitomalle hiilidioksidille ja FCG:n selvityksestä saatuja arvoja maaperän hiilidioksidipäästöille (Taulukko 1). Edellä mainittujen kolmen maanpeitteen kasvillisuuden hiilivaraston arvolle tehtiin herkkyysanalyysi, jotta saatiin käsitys hiilinielun suuruuden muutoksesta ja epävarmuudesta. Herkkyysanalyysin kertoimiksi valittiin 0,5 ja 1,5. Näillä kertoimilla analyysin tulokset saatiin kuvastamaan 50 %:n virhettä kerrostaloalueiden, pientaloalueiden, palveluiden alueiden ja teollisuuden alueiden hiilinielulle lasketuissa arvoissa, joihin oli käytetty pientaloalueiden kirjallisuusarvoa. Tulosten kannalta tämä tarkoittaa, että epävarmoille maapeiteluokille voidaan esittää minimi- ja maksimi -arvot, joiden avulla voidaan pohtia suuruutta jonkin toisen verrattavan suureen arvoon ja nähdään, savutetaanko edes 50 % epävarmuudella järkevä taso vai ei.

Koska esimerkkialueesta valtaosa on pientaloalueita, joilla vallitseva kasvillisuus on nurmea, työssä laskettiin esimerkkinä myös nurmikoiden muuttaminen niityiksi. Hiilinielun laskemiseksi niittymäisten nurmien kasvillisuuden hiilensidonnalle käytettiin ruotsalaisen Poeplau ym. (2016) tutkimuksen mukaista arvoa  $2,1 \text{ Mg C/ha}^{-1}$  eli  $0,21 \text{ kg C/m}^2$  ja maaperän hiilensidonnalle FCG (2021) hiilinieluselvityksen mukaista arvoa  $0,0272 \text{ kg C/m}^2$  maaperän hiilipäästöille. Lisäksi esimerkkialueella sijaitsevalle asuinrakentamiselle kaavoitetulle alueelle (Kuva 4.), jonka pinta-ala oli  $117\,422,5 \text{ m}^2$ , laskettiin kuvitteellisten viherkattojen kasvillisuuden hiilen varasto  $\text{kg C/m}^2$  ja vuosittainen nettohiilinielu,  $\text{kg C/m}^2/\text{vuosi}$ . Pitkänen (2009) mukaan tasakattoisen 5-kerroksisen, 48 asuntoa sisältävän kerrostalon kattopinta-ala voisi olla noin  $900 \text{ m}^2$ , joten tämä oletettiin yhden viherkaton pinta-alaksi. Laskennassa käytetty arvo kasvillisuuden hiilivarastolle on esitetty Taulukossa 1. Viherkaton hiilinielun laskemiseksi käytettiin Heusingerin ja Weberin (2017) tutkimuksessa määritettyä nettohiilenvaihdon arvoa  $-85 \text{ g C/m}^2/\text{vuosi}$ .

### 3.2.2. Katupuiden hiilivarastojen laskenta

Kerinkallionkadun ja Vanhanradankadun katupuiden määrät saatiin Lahden kaupungin paikkatiedoista. Näiden kahden kadun varsilla oli yhteensä 117 puistolehmusta (*Tilia x vulgaris*), joista oli 53 Kerinkallionkadulla ja 64 Vanhanradankadulla. Yksittäisen lehmuksen hiilivaraston vuosittaiselle muutokselle käytettiin Riikonen ym. (2017) tutkimustulosten mukaista arvoa, joka tässä työssä muutettiin vuosittaiseksi arvoksi  $2,25 \text{ kgC/puu/vuosi}$ . Lisäksi laskettiin esimerkkialueella sijaitsevien puistojen – ja leikkialueiden (Kuva 4.) puiden hiilen varastot. Lajisto oli puistoissa ja leikkialueilla hyvinkin heterogeenistä, joten puut ryhmiteltiin lehti- ja havupuihin ja hiilivaraston laskenta tehtiin tämän jaottelun mukaisesti. Koska puistoissa ja leikkialueilla lehtipuut olivat yhtä puuta lukuun ottamatta muita kuin lehmuksia, muille yksittäisille lehtipuulle käytettiin hiilivaraston arvona Riikonen ym. (2017) tutkimuksesta saatujen lehmuksen (*Tilia*) ja lepän (*Alnus*) hiilivarastojen vuosittaisen muutoksen arvoista laskettua keskimääräistä vuosittaista hiilivaraston määrää  $3,125 \text{ kg C/lehtipuu/vuosi}$ . Koska Suomen olosuhteisiin sopivaa vuosittaista hiilen sidonnan arvoa, jossa rakentamisesta aiheutuneet ja istuttamisen jälkeiset maaperän hiilipäästöt olisi huomioitu, ei löytynyt, joten työssä käytettiin yksittäiselle havupuulle Helsingin yliopiston Hyytiälän tutkimusaseman mäntymetsän mittausaineistoon perustuneita laskelmia (esim. Ilvesniemi ym. 2009). Niiden mukaan yksittäisen havupuun (*Pinus sylvestris*) vuosittainen hiilivaraston on noin  $6,5 \text{ kg CO}_2/\text{vuosi}$ . Tässä määrässä hiilidioksidia on  $1,77 \text{ kg}$  hiiltä (Kaava 1.).

Tiedot puiden istuttamisesta saatiin Lahden kaupungin kunnallistekniikalta. Kerinkallionkadun katupuut on istutettu vuonna 1975. Vanhanradankadulla on kolmen eri ikäluokan puita. Katuosuudella, joka sijoittuu välille Iso-Paavolankatu – Poppelikatu puut on istutettu vuonna 1968, osuudella Poppelikatu - Kerinkallionkatu vuonna 1972 ja

osuudella Kerinkallionkatu – Kasaajankatu vuonna 1991. Leikki- ja puistoalueiden osalta tarkka tieto puiden istuttamisvuosista oli puutteellista, mutta kohteiden perustamisvuodet saatiin selville, joten työssä oletettiin, että puut on istutettu samana vuonna kuin alueet on perustettu. Vanhanradankadun puiston perustamisesta tai puiden istuttamisesta ei saatu tietoja, joten siellä kasvavien puiden osalta laskentaa ei tehty. Lätkäpuisto on perustettu vuonna 2015, ja siellä oli 8 lehtipuuta ja 15 havupuuta. Kerinkallionpuistossa, joka on perustettu vuonna 1988, ja sen yhteydessä olevalla leikkialueella, joka on perustettu vuonna 1992 suurin osa kasvillisuudesta oli pensaita ja perennoja. Kaikki puut olivat havupuita, joita oli 3. Saksalan leikkialueet 1. ja 2. on perustettu vuonna 1975. Leikkialueella 1. lehtipuita oli 19 ja havupuita oli 6. Leikkialueella 2. oli pelkästään lehtipuita ja niiden lukumäärä oli 19. Ajantasaista tietoa pensaiden ja perennojen lukumääristä puistoissa ja leikkialueilla ei ollut saatavilla, joten laskentaa niiden osalta ei tehty. Katu- ja puistopuiden hiilivarastot laskettiin kaavan 4. mukaisesti. Puiden lukumäärien perusteella laskettiin puiden yhteenlaskettu hiilivarasto katua tai puisto- ja leikkialuetta kohden.

$$\text{Puun hiilivarasto} = (\text{Nykyhetki} - \text{Istutusvuosi}) \times \text{Vuosittainen hiilivaraston muutos} \quad (4)$$

Riikonen ym. (2017) esittivät, että istutuksesta 10 ensimmäisen vuoden jälkeen puun kasvualustastaan menettämä hiilen määrä on sitoutunut puuhun parhaimmillaan 30 vuoden aikana. Kaavan 4. laskelman lisäksi, katupuille laskettiin myös pelkästään niiden sitoma hiilen määrä 30 vuoden jälkeiseltä ajalta.

$$\text{Hiilivarasto kasvualustan päästön huomioimisen jälkeen} = (\text{Puun kasvuaika} - 30 \text{ vuotta}) \times \text{vuosittainen hiilivaraston muutos} \quad (5)$$

## 4. Tutkimuksen tulokset

### 4.1. Maanpeitteiden hiilinielulaskennan tulokset

Kerrostaloalueiden, pientaloalueet, palveluiden -ja teollisuuden alueiden hiilinielut kg/m<sup>2</sup>/vuosi pientaloalueiden arvolla sekä samoille maanpeitteille tehdyn herkkyysanalyysin tulokset kertoimilla 0,5, ja 1,5 esitetään taulukossa 3.

Taulukko 3. Hiilinielu kaupunkimaisissa maanpeitteissä kg C/m<sup>2</sup>/vuosi.

Maanpeite	Hiilinielu kgC/m <sup>2</sup> /vuosi	0,5	1,5
<i>Kerrostaloalueet</i>	0,047	0,024	0,071
<i>Pientaloalueet</i>	0,168	0,084	0,251
<i>Palveluiden alueet</i>	0,134	0,067	0,201
<i>Teollisuuden alueet</i>	0,134	0,067	0,201

<b>Liikennealueet</b>	0	-	-
-----------------------	---	---	---

Pientaloalueiden, palveluiden alueiden ja teollisuuden alueiden laskennalliset hiilinielut ovat melko lähellä toisiaan johtuen siitä, että nurmimaisen biomassan osuus näissä kolmessa luokassa oli 20–25 %. Kerrostaloalueilla nurmimaisen biomassan osuus tässä työssä oli 10 %, joten vuosittainen hiilinielu jäi selvästi alhaisemmaksi (0,047 kg C/m<sup>2</sup>/vuosi) (Taulukko 3.). Maanpeitteiden kokonaispinta-alalle lasketut hiilinielut herkkyyksianalyysin eri kertoimilla esitetään Taulukossa 4. Pientaloalueiden osuus esimerkkialueen pinta-alasta oli suurin, joten luonnollisesti suurin vuosittainen hiilinielu 39 349 kg C/vuosi (Taulukko 4.) laskettiin kirjallisuusarvon perusteella niiden peittämälle 234 920 m<sup>2</sup>:n alalle. Kerrostaloalueiden hiilinielu 125 600 m<sup>2</sup>:n alalla oli 5 941 kg C/vuosi (Taulukko 4.). Palvelu- ja teollisuuden alueiden hiilinielut olivat 10 924 kg C/vuosi ja 11 568 kg C/vuosi pinta-aloilla 81 400 m<sup>2</sup> ja 86 200 m<sup>2</sup> (Taulukko 4.).

*Taulukko 4. Esimerkkialueen hiilinielut kg C/vuosi kaupunkimaisten maanpeitteiden kokonaispinta-alalle laskettuna herkkyyksianalyysin eri kertoimilla*

<b>Maanpeite</b>	<b>Pinta-ala m<sup>2</sup> (osuus % esimerkkialueen pinta- alasta)</b>	<b>Yhteenlaskettu hiilinielu kg C/vuosi</b>	<b>0,5</b>	<b>1,5</b>
<b>Kerrostaloalueet</b>	125 600 (15)	5 941	2 970	8 911
<b>Pientaloalueet</b>	234 920 (30)	39 349	19 675	59 024
<b>Palveluiden alueet</b>	81 400 (10)	10 924	5 462	16 386
<b>Teollisuuden alueet</b>	86 200 (11)	11 568	5 784	17 352
<b>Liikennealueet</b>	31 200 (4)	0	-	-
<b>Maanpeitteet yhteensä</b>		67 782	38 071	101 673

Puistojen, muiden urheilu- ja vapaa-ajan alueiden, lehti-, seka- ja havumetsäalueiden sekä harvapuustoisten alueiden kokonaispinta-aloille lasketut hiilinielut esitetään Taulukossa 5. CORINE-maanpeitteen mukaisesti puistoalueiden sekä muiden urheilu- ja vapaa-ajan alueiden pinta-alojen osuus oli alueella vähäinen, joten niiden muodostaman hiilinielun osuus jäi hyvin pieneksi. Metsäalueet muodostivat kaikista esimerkkialueen maanpeitteistä suurimmat hiilinielut. Lehti-, seka- ja havumetsien kesken suurimman hiilinielun muodostivat 80 600 m<sup>2</sup>:n pinta-alallaan sekametsät, joiden vuosittaisen hiilinielun suuruus oli 20 150 kg C/vuosi (Taulukko 5.). Lehtimetsien pinta-ala oli 15 % sekametsien pinta-alasta ja noin 20 % havumetsien pinta-alasta ja sen vuoksi lehtimetsien kokonaispinta-alan hiilinielu jäi muihin metsäpeitteisiin verrattuna alhaiseksi 3 150 kg C/vuosi (Taulukko 5.). Harvapuustoisilla alueilla puuston osuus pinta-alasta oli pienempi kuin 10 %. Ne muodostivat 60 200 m<sup>2</sup>:n kokonaispinta-alalle laskettuna 3 943 kg C/vuosi suuruisen hiilinielun (Taulukko 5.).

Taulukko 5. Esimerkkialueen hiilinielut kg C/vuosi laskettuna puistojen muiden urheilu- ja vapaa-ajan alueiden, lehti-, seka- ja havumetsäalueiden sekä harvapuustoisten alueiden kokonaispinta-alalle.

<b>Maanpeite</b>	<b>Pinta-ala m<sup>2</sup> (osuus % esimerkkialueen pinta-alasta)</b>	<b>Yhteenlaskettu hiilinielu kg C/vuosi</b>
<b>Puistot</b>	2 800 (0,5)	269
<b>Muut urheilu- ja vapaa-ajan alueet</b>	7 600 (1)	363
<b>Lehtimetsät</b>	12 600 (2)	3 150
<b>Sekametsät</b>	80 600 (10)	20 150
<b>Havumetsät</b>	65 000 (8)	16 250
<b>Harvapuustoiset alueet</b>	60 200 (7)	3 943
<b>Maanpeitteet yhteensä</b>		44 125

Koko esimerkkialueen (81,5 ha) kaikki maanpeitteet nielevät vuosittain yhteensä 111 907 kg C eli 410 077 kgCO<sub>2</sub> (kaava 1.), mikä on noin 2 % FCG:n (FCG, 2019a) määrittämistä Lahden kaupungin vuosittaisista nettohiilinieluista 20 767 t CO<sub>2</sub>/vuosi.

#### 4.2. Kuvitteellisten niittyjen ja viherkattojen hiilinielut

Nurmimaisen biomassan osuuden ollessa 100 % niityn hiilinieluksi saatiin 0,1828 kg C/m<sup>2</sup>/vuosi. Työn laskennassa käytetty nurmimaisen biomassan osuus pientaloalueilla oli 25 %, jonka ottaminen huomioon antoi vuosittaisen hiilinielun suuruudeksi 0,0457 kg C/m<sup>2</sup>/vuosi. Asuinrakentamiselle kaavoitetun alueen kuvitellun 900 m<sup>2</sup>:n suuruisen viherkaton kasvillisuuden hiilivarastoksi saatiin 145,8 kg C. Mikäli tontin pinta-alasta, 117 422,5 m<sup>2</sup>, puolet täyttyisi asuinrakennuksista kasvillisuuden hiilivaraston suuruus olisi 17 120 200,5 kg C eli 17 120 t C. Viherkaton hiilinielun suuruudeksi saatiin 280,3 gCO<sub>2</sub>/vuosi eli 0,076 kg C/vuosi. Yhteenlaskettu hiilinielu viherkatoille, jotka kattavat puolet tontin pinta-alasta oli 16 351 kg CO<sub>2</sub>/vuosi. Hiilen massa tässä määrässä hiilidioksidia on 4 462 kg C (kaava 2.)

#### 4.3. Katupuiden ja puisto- ja leikkialueiden puiden hiilinielut

Tarkasteltavalla alueella kadunvarsilehmuksen keskimääräinen hiilivaraston suuruus oli 113,25 kg C/puu. Kerinkallionkadulla yksittäisen lehmuksen hiilivarasto oli 105,75 kg C. Vanhanradankadulla katuosuudella, joka sijoittui välille Iso-Paavolankatu – Poppelikatu yksittäisen lehmuksen hiilivarastoksi saatiin 121,5 kg C, osuudella Poppelikatu - Kerinkallionkatu 112,5 kg C ja osuudella Kerinkallionkatu – Kasaajankatu 69,75 kg C. Taulukossa 6. esitetään Kerinkallionkadun ja Vanhanradankadun katupuiden yhteenlasketut hiilivarastot koko kasvuajalta ja yhteen hiilivarastot 30 vuoden jälkeiseltä

ajalta, kun ensimmäisten 10 vuoden aikana puusta ja kasvualustasta muodostuvan pienen ekosysteemin menettämä hiilen määrä on sitoutunut puuhun takaisin.

*Taulukko 6. Kerinkallionkadun ja Vanhanradankadun katupuiden yhteenlasketut hiilivarastot koko kasvuajalta ja yhteenlasketut hiilivarastot 30 vuoden jälkeiseltä ajalta*

<b>Katupuut</b>	<b>Puiden kasvu-aika vuosina</b>	<b>Yhteenlaskettu hiilivarasto kg C</b>	<b>Yhteenlaskettu hiilivarasto 30 vuoden jälkeiseltä ajalta kg C</b>
<b>Kerinkallionkatu</b>	47	5 288	1 913
<b>Vanhanradankatu</b>	31–54	6 527	2 005

Puisto- ja leikkialueilla puiden istutusiät olivat hyvin vaihtelevia ja keskimääräinen hiilivaraston suuruus puuta kohden oli 61,5 kg C. Lätkäpuistossa puiden istutuksesta oli kulunut vasta 7 vuotta ja yksittäisen lehtipuun hiilivarasto oli 21,9 kg C ja lehtipuiden yhteenlaskettu hiilivarasto oli 175 kg C. Yksittäisen havupuun hiilivarasto oli 12,4 kg C ja havupuiden yhteenlaskettu hiilivarasto oli 186 kg C. Kaikkien puiden yhteenlaskettu hiilivarasto oli 361 kg C. Kerinkallionpuistossa oli vain havupuita. Yksittäisen havupuun hiilivarasto oli 60,2 kg C ja kaikkien havupuiden yhteenlaskettu hiilivarasto oli 180,5 kg C. Saksalan leikkialueilla 1. ja 2. yksittäisen lehtipuun hiilivarasto oli 146,9 kg C. Yhden lehmuksen hiilivarasto oli 105,75 kg C. Yhden havupuun hiilivarasto oli 83,2 kg C. Leikkialueella 1. kaikkien puiden yhteenlaskettu hiilivarasto oli 3249,1 kg C. Saksalan leikkialueella 2. oli vain lehtipuita ja niiden yhteenlaskettu hiilivarasto oli 2790,6 kg C.

Todellisuudessa puiden hiilivarastot ovat hieman suurempia, koska istutettavien puuntaimien biomassassa on kertyneenä hiiltä. Puustotietojen tarkastelun perusteella suurin osa katu- ja puistopuista oli kohtalaisessa tai hyvässä kunnossa, mutta osa puista oli esimerkkialueella luokiteltu huonoksi. Huonokuntoinen puu ei ole tehokas hiilensitoja.

## **5. Tulosten tarkastelu**

### **5.1. Hiilinielujen tarkastelu**

#### **5.1.1. Maanpeitteiden hiilinieluihin vaikuttavat tekijät**

Ilmakuvista silmämääräisesti katsottaessa esimerkkialueen pientaloalueilla nurmimaisen kasvillisuuden osuus pinta-alasta vaikuttaa olevan pääsääntöisesti suurempi, noin 50 % ja osassa tonteista jopa hieman enemmän. Näin ollen, pientaloalueiden hiilinielu voisi esimerkkialueella todellisuudessa olla hieman suurempi. Herkkyyksianalyysissä kertoimella 1,5 lasketun mukainen nielu 0,251 kg C/m<sup>2</sup>/vuosi (Taulukko 3.) vaikuttaa kuitenkin liian suurelta pientaloalueille. Nowak ym. (2013) esittivät kaupunkimetsän vuosittaiseksi nieluvoimakkuudeksi keskimäärin 0,28 kg C/m<sup>2</sup> tutkimuksessaan kaupunkipuiden hiilivarastoista ja hiilen sidonnasta. Koska hiilinielun laskennassa käytettiin Davies ym. (2011) tutkimuksen (Leicester, Iso-Britannia)

mukaista vuosittaista kasvillisuuden hiilivaraston arvoa on huomioitava, että tulokset saattavat olla hieman yliarvioituja johtuen erilaisista ilmasto-oloista. Palveluiden -ja teollisuuden alueilla nurmimaisen kasvillisuuden osuus pinta-alasta voi sen sijaan todellisuudessa olla pienempi kuin 20 %, jota tämän työn laskennassa käytettiin. Ilmakuvista katsottaessa erityisesti asuinrakentamiseen kaavoitetulla alueella (Kuva 4.) nurmimaisen kasvillisuuden osuus pinta-alasta on selvästi alhaisempi kuin 20 %, sen osuus voisi todellisuudessa olla lähempänä 5:ttä tai enintään 10:tä prosenttia. Näin ollen, tällä alueella hiilinielun suuruus voisi todellisuudessa olla lähempänä herkkyyškertoimella 0,5 laskettua hiilinielun arvoa 0,067 kg C/m<sup>2</sup>/vuosi (Taulukko 3.) tai jopa sitäkin vähemmän. Koska kerrostalo-, palveluiden -ja teollisuuden alueiden hiilinielua ei tiedetä tarkkaan, tuloksissa on epävarmuutta.

Liikennekäytössä olevan henkilöauton keskimääräisen hiilidioksidipäästön ja vuosittaisten ajokilometrien avulla voimme suhteuttaa herkkyyshanalyysin vaihteluväliä liikenteen hiilidioksidipäästöihin Lahdessa. Liikennekäytössä olevan henkilöauton keskimääräinen hiilidioksidipäästö on Päijät-Hämeen alueella 151,3 g CO<sub>2</sub>/km (Traficom Liikenne- ja viestintävirasto, 2021). Hiilen massa tässä määrässä hiilidioksidia on 41,3 g C/km (Kaava 2.). Yhden auton kotitalouksissa autolla ajetaan vuosittain keskimäärin 14 400 kilometriä ja kahden auton kotitalouksissa keskimäärin 33 000 kilometriä (Liikennevirasto, 2018). Vuosittain 14 400 km ajokilometriä tuottaa 594,7 kg C hiilipäästöjä. Esimerkkialue sisälsi 23 ha pientaloaluetta, jonka vuosittaiseksi hiilinieluksi laskettiin 39 349 kg C/vuosi. Näin ollen, noin 23 hehtaarin kokoinen pientaloalue toimii hiilinieluna 66 auton päästöille vuosittain. Mikäli vuosittainen hiilinielu olisi herkkyyškertoimen 1,5 mukaisesti 50 % suurempi, joka käytännössä tarkoittaisi, että pientaloalueiden pihat metsitettäisiin, vuosittaisen hiilinielun suuruus olisi 23:n hehtaarin kokoisella pientaloalueella 59 024 kg C/vuosi, jolloin edellä mainittu pientaloalue toimisi hiilinieluna 99 auton vuosittaisille hiilipäästöille. Jos hiilinielu puolestaan olisi herkkyyshanalyysin kertoimen 0,5 (19 675 kg C/vuosi) mukainen eli 50 % pienempi kuin kirjallisuuden lähtöarvo, 23:n hehtaarin pientaloalue toimisi hiilinieluna 33:n auton vuosittaisille hiilipäästöille.

Palveluiden alueiden kokonaispinta-alalle laskettuna 50 % prosentin vähenemä hiilinielussa, joka on lähimpänä todellista tilannetta, tarkoitti että nykyisellään esimerkkialueen palvelualueiden kasvillisuus (5 462 kg C) sitoisi 9 auton vuosittaiset päästöt. Teollisuuden alueilla luku on 10 autoa. Kuitenkaan täyttä varmuutta siitä, ollaanko edes 50 % epävarmuudella lähellä todellista hiilinieluvoimakkuutta, ei ole. Jos molemmilla maankäytön alueilla saavutettaisiin herkkyyškertoimen 1 mukainen hiilinielu eli kasvillisuuden maapeitteen osuus vastaisi todellisuudessa työn laskennassa käytettyä 20 %:a, kasvillisuuden hiilinielut voitaisiin saada vastaamaan 18:n auton vuosittaisia päästöjä palvelualueiden ja 19:n auton vuosittaisia päästöjä teollisuusalueiden kokonaispinta-alaa kohti.



Jos kuvitteellisen viherkaton hiilinielua suhteutetaan liikenteen päästöihin, yhden henkilöauton vuosittaisten hiilipäästöjen sitomiseksi tarvittaisiin 43 kappaletta 900m<sup>2</sup>:n suuruista viherkattoa, tässä työssä käytetyn hiilinielun arvon mukaisesti (0,28 kg CO<sub>2</sub>/vuosi) olettaen, että viherkaton koko pinta-ala olisi täynnä nurmimaista kasvillisuutta. Nurmi ym. (2016) esittivät viherkaton kustannus-hyötyanalyysissään viherkaton lisäkustannuksiksi Suomessa noin 50–60 €/m<sup>2</sup>, joka on heidän vertailussaan tavallista kattoa yli kaksi kertaa kalliimpi. Pelkästään hiilinielujen lisäämistarkoituksessa viherkatot eivät Suomessa liene kustannustehokkain investointi, mutta niiden lisääminen kaupunkialueella tuottaa muitakin hyötyjä, joita esitettiin aiemmin työssä luvussa 2.3.2., ja siksi niiden asentamisen mahdollisuutta ja hyötyjä tulisi tarkastella kokonaisvaltaisemmin. Pientaloalueiden nurmikoiden muuttaminen niityiksi näytti vaikuttavat hiilinielun suuruuteen sitä pienentäen, mutta koska tässä työssä ei tarkasteltu NBP:tä vaan ainoastaan NEP:tä, joka ei sisällä mahdollisesti piholla pois korjattua biomassaa, emme pysty kommentoimaan varsinaista varaston muutosta. Poeplau ym. (2016) osoittivat tutkimuksessaan, että nurmen leikkaustiheydellä voi olla merkittävä vaikutus maaperän hiileen, koska alkutuotanto ja hiilisyöte maaperään lisääntyvät. He korostivat kuitenkin todennäköisyyttä sille, että leikkuujätteen paikallaan jättäminen paikalleen on merkittävässä roolissa. Niittyjen lisäämistä kaupunkialueilla on perusteltu erityisesti monimuotoisuuden lisäämisellä.

Lehti-, seka- ja havumetsäalueiden kokonaispinta-alalle lasketut hiilinielut erottuivat tuloksissa selkeästi rakennettujen alueiden hiilinieluista. Yhdessä lehti-, seka- ja havumetsien pinta-ala esimerkkialueella oli 158 200 m<sup>2</sup>, joka oli 67 % pientaloalueiden pinta-alasta. Metsäalueiden pinta-aloille lasketut hiilinielut yhteensä 39 550 kg C/vuosi suuruisen nielun, mikä oli odotettavissa. Näin ollen, tämän työn tulokset yhtyvät jo yleistyneeseen käsitykseen metsien merkityksestä tärkeinä hiilinieluinä, ja korostavat maankäytön toimenpiteenä erityisesti metsäalueiden säilyttämistä ja sellaisten alueiden metsittämistä, joilla ei ole sille muita rajoitteita. Erikseen tarkasteltuna vuoden aikana esimerkkialueen lehtimetsät (12 600m<sup>2</sup>) toimivat nieluna 5:n auton hiilidioksidipäästöille, alueen sekametsät (80 600 m<sup>2</sup>) 33:n auton päästöille ja alueen havumetsät (65 000 m<sup>2</sup>) 27:n auton päästöille, jos vuosittaiset ajokilometrit ovat edempänä käytetyn 14 400 km:n suuruiset. Harvapuustoiset alueet 60 200 m<sup>2</sup>:n pinta-alallaan sitoivat hiiltä laskennan mukaisesti 3 943 kg C/vuosi. Näillä alueilla kasvillisuuden osuus pinta-alaa kohden ei kuitenkaan yltänyt laskennassa CORINE-maanpeitteen mukaiseen 80 %:iin, sillä niiden paikalla oli parkkialueita, joilla kasvillisuuden osuus oli todellisuudessa lähes nolla.

Koko esimerkkialueen (81,5 ha) kaikki maanpeitteet muodostivat 111 907 kg C eli 410 077 kgCO<sub>2</sub> suuruisen nielun ja tämän esitettiin olevan noin 2 % Lahden kaupungin vuosittaisista nettohiilinieluista 20 767 t CO<sub>2</sub>/vuosi. Kahden prosentin osuus kuulostaa suurelta, mutta suuruus johtuu siitä, että tässä työssä käytettiin metsien hiilinielulle eri arvoa kuin FCG:n selvityksessä (FCG 2019a), josta koko Lahden vuosittainen nettohiilinielun luku on peräisin.

### 5.1.2. Puiden hiilivarastoihin ja -nieluihin vaikuttavat tekijät

Työn laskennassa käytettyjen katu- ja puistopuiden istutusajankohdat vaihtelivat ja vanhimpien puiden istuttamisesta oli kulunut 54 vuotta ja nuorimpien 7 vuotta. Niin kuin aiemmin jo esitettiin, istutettavien katupuiden kasvualustasta vapauttama hiilen määrä on vuosittain 21,25 kg C/puu/vuosi ja yksittäisen katupuun ja sen kasvualustan muodostama pieni ekosysteemi alkaa toimia nettohiilensitojana parhaimmillaan noin 30 vuoden kuluttua istutuksesta. Suurin osa katu- ja puistopuista oli istutettu 30–50 vuotta sitten, ja näin ollen useimmat työssä tarkastellut puut ja niiden kasvualusta toimisivat tänä päivänä hiilinieluinä.

Myös katupuita suhteutettiin tulosten tarkastelemiseksi liikenteen päästöihin. Yhden 54 vuotta paikallaan kasvaneen lehmuksen hiilivaraston suuruus oli esimerkkialueella 121,5 kg. Jos oletetaan, puu olisi varastoinut istutuksen jälkeen maaperästä vapautuneen hiilen määrän 30 vuoden kuluttua ja toiminut sen jälkeisen 24 vuoden ajan hiilinieluna yhden henkilöauton vuosittaisten ajokilometrien 14 400 km, jotka tuottivat 594,7 kg C hiilipäästöjä, sitomiseksi katupuihin tarvitaan 11 katulehmusta, jotka ovat kasvaneet 54 vuoden ajan. Lahdessa kunnan omistamalla teillä tapahtuvan henkilö-, paketti-, linja-kuorma-autojen päästöt ovat vuosittain 60 251 tCO<sub>2</sub>:a ja Liikenneviraston hallinnoimilla teillä, jotka kulkevat Lahden alueella päästöt ovat 95 569 tCO<sub>2</sub>:a eli yhteensä siis 158 084 tCO<sub>2</sub> (VTT, 2020). Hiilen massa edellä mainitussa hiilidioksidin määrässä olisi 43 140 t C (kaava 2.), ja sen sitomiseksi katupuihin tarvittaisiin 72 540 lehmusta, jotka ovat kasvaneet paikallaan 54 vuoden ajan.

Lätkäpuiston vuonna 2015 istutetut puut, joiden istuttamisesta on kulunut vasta 7 vuotta, todennäköisesti vapauttavat vielä kasvualustasta enemmän hiilidioksidia kuin puiden biomassaan on sitoutunut. Yleisesti puistopuiden kohdalla kasvualustan hiilidioksidipäästön voisi kuitenkin olettaa olevan hieman pienempi kuin Riikonen ym. (2017) tutkimuksessa esitetty kasvualustan päästö, koska puistoissa maahan päätyy hiiltä kasvillisuuden ja karikkeen mukana, jolloin puistopuut alkaisivat toimia hiilen nieluna jonkin verran katupuita aikaisemmin. Koska puistojen ja leikkialueiden havupuiden hiilivaraston laskennassa käytettiin eteläsuomalaisessa metsässä kasvavan männyn vuosittaista hiilivaraston arvoa, on huomionarvoista mainita näiden tulosten epävarmuus. Puun kasvu riippuu paljon sen saamasta valon, veden ja ravinteiden määrästä. Puistoalueilla puiden määrä on paljon vähäisempi verrattuna metsään eikä samanlaista kilpailua edellä mainituista resursseista puiden välillä ole, minkä vuoksi katu- tai puistopuuna kasvava havupuuna kasvaa paljon vauhdikkaammin kuin metsäpuu. Havupuiden osalta tässä työssä lasketut hiilivarastot voivat siis olla hieman alhaisempia kuin puistossa kasvavien havupuiden hiilivarastot todellisuudessa ovat. Toisaalta puihin voi kohdistua muita stressitekijöitä, niin kuin luvussa 2.3.4. esitettiin, jotka vaikuttavat puiden kasvuun kaupunkiympäristössä.

## 5.2. Hiilen sidonnan huomioon ottaminen maankäytön suunnittelussa

Edellisten kappaleiden perusteella tunnemme kaupunkien hiilen kiertoon ja maanpeitteisiin liittyvät yhteydet sekä tämä työn tulokset, ja voimme olla yhtä mieltä siitä, että hiilen sidonnan, -varastojen ja -nielujen kannalta olisi pyrittävä välttämään biomassan ja orgaanista ainesta sisältävän maa-aineksen poistamista kaupunkiympäristössä. FCG (2019a) korostaa, että hiilinielujen säilyttämisen ja lisäämisen huomioimiseksi tärkein prosessi on eri kaavatasoilla tapahtuva maankäytön suunnittelu, jolla voidaan ohjata rakentamista kaupungin tärkeimpien alueiden säilyttämiseksi. Niin kuin on jo aiemmin kirjallisuuden ja tämän työn tulosten perusteella esitetty, näitä tärkeimpiä alueita ovat erityisesti metsät, jotka sitovat tehokkaasti hiilidioksidia puiden kasvuun sekä maaperään. Rasinmäki ja Känkänen (2014) korostavatkin metsien sekä muiden laaja-alaisten viheryhteyksien säilyttämisen takaamista kaupunkialueilla ja sitä, että yhdyskuntarakennetta tulisi lähtökohtaisesti täydentää eikä laajentaa, mikäli se on mahdollista. He esittivät, että rakentamisessa tulisi hyödyntää jo valmiiksi rakentamiskäytössä olevia alueita, joiden aiempi käyttö lakkautettu tai joiden tuottavuus ja puusto on vähäistä.

Metsäalueiden säilyttämisen ja turvaamisen ohella työn tulokset korostavat rakennetussa ympäristössä asuinpihojen merkitystä hiilen nieluina ja -varastoina. Tulos on yhtenevä sekä Poyat ym. (2006) että Ariluoman ym. (2020) tutkimuksen kanssa. Jälkimmäiseksi mainitun tutkimuksen tulokset korostavat, että hiilen sidonnan potentiaalia voidaan asuinalueiden pihoilla parantaa merkittävästi neljällä toimenpiteellä: 1) lisäämällä puiden määrää, 2) valitsemalla puulajeja, joilla on suuri kyky sitoa hiiltä ja kasvaa suuriksi rajatulla maa-alalla, 3) maksimoiden pihoilla olevat kasvillisuusalueet sekä 4) biohiilen lisäämisellä istutusalueisiin. Näitä samoja toimenpiteitä voidaan ja on suotavaa käyttää myös muilla maankäytön alueilla, kuten teollisuuden ja palveluiden alueilla, joissa kasvillisuuden osuus on alhainen, hiilen sidonnan ja nielujen kasvattamiseksi. Pataki ym. (2021) pohtivat, että siirtyminen etätyöhön COVID-19-pandemian myötä voi tulevaisuudessa saada aikaan kaupunkien rakenteessa uudelleenjakoa liike- ja toimistohuoneistojen sekä asuinmaankäytön välillä. He esittivät, että pandemian myötä on avautunut mahdollisuus kaupunkimaisemien muokkaamiseen tavoilla, jotka yhdistävät puita, metsäalueita ja viherkäytäviä rakennettuun ympäristöön. Mikäli etätyö jää pysyväksi käytänteeksi esimerkiksi puiden istuttamiseen liittyvät kriteerit voivat muuttua.

Kaupunkipuilla on rajalliset mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Hiilen (C) sitominen on vain yksi puiden tarjoamista ekosysteemipalveluista, ja yleensä sen arvon on arvioitu olevan pieni verrattuna hulevesien hallintaan ja omaisuuden arvoon, puhumattakaan virkistys- ja kulttuuriarvoista sekä ihmisten terveydellisistä eduista (esim. Riikonen ym. 2017). Näin ollen, kaupunkipuiden istuttamisessa niiden tarjoamien muiden hyötyjen tulisi korostua eikä istuttamisesta aiheutuva maaperän hiilidioksidi päästö saisi olla syy olla istuttamatta kaupunkipuita. Jos puuta ei ole ollenkaan

maaperä päästää kuitenkin tietyn määrän hiilidioksidia, mutta puiden istuttamisen yhteydessä maata muokataan ja päästö voi kasvaa.

### **5.3. Toimenpide-ehdotukset hiilensidonnan kasvattamiseksi kaupunkimaisissa maankäyttöluokissa**

Tässä työssä haluttiin selvittää millaisilla maankäytön alueilla Lahden kaupunki voi tehokkaimmin kasvattaa hiilinieluja ja -varastoja tiiviin kaupunkirakenteen sisällä. Työn tulosten perusteella Lahden kaupungille merkittävintä on kaupunkirakenteen maankäytön suunnittelussa pyrkiä viheralueiden lisäämiseen palveluiden ja teollisuuden alueilla, sillä näillä alueilla kasvillisuuden määrä ja tuottavuus, sekä maaperän hiilivarastot ovat vähäisimmät. Lisäksi, koska esimerkkialueella sijaitsee paljon asuinmaankäyttöä, huomiota tulisi kiinnittää hiilensidonnan tehostamiseen kerrostalo- ja pientaloalueiden kasvillisuudessa ja maaperässä. Tässä työssä ei laskettu maaperän hiilinielujen ja -varastojen suuruutta, mutta työssä esitettiin niiden merkitys kirjallisuuteen perustuen. Kirjallisuus lähteet korostivat erityisesti pientaloalueiden ja puistojen maaperän roolia merkittävinä pitkäaikaisina hiilivarastoina. Koska maanpäällisen kasvillisuuden määrä lisää hiilen päätymistä maaperään, maahan putoavan lehtikarikkeen hajoamisen myötä, mahdollisimman suuri kasvillisuuden määrä kasvattaa sekä kasvillisuuden että maaperän hiilinieluja ja -varastoja. Toimenpiteet, joilla hiilinieluja on tehokkainta kasvattaa esimerkkialueen maankäyttöalueilla, esitetään Taulukossa 6.

Taulukko 6. Työn tuloksiin ja työssä esitettyyn kirjallisuuteen perustuvat toimenpiteet hiilinielujen kasvattamiseksi esitettyinä työssä tarkastellun esimerkkialueen maanpeitteille.

<b>Toimenpiteet hiilinielujen kasvattamiseksi</b>	
<b>Maanpeite</b>	<b>Toimenpiteet</b>
<b>Kerrostaloalueet</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Puiden, pensaiden ja viheralueiden määrän maksimointi</li> <li>2. Valitaan puulajit suuren hiilen sidontakyvyn ja mahdollisuuden kasvaa suuriksi rajatulla maa-alalla mukaan</li> <li>3. Lehtikarikkeen ja leikatun nurmen jättäminen paikalleen tai sijoittaminen tiettyyn paikkaan hiilensidonnan edistämiseksi</li> <li>4. Biohiilen lisääminen istutusalueisiin</li> </ol>
<b>Pientaloalueet</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Puiden, pensaiden ja viheralueiden määrän maksimointi</li> <li>2. Valitaan puulajit suuren hiilen sidontakyvyn mukaan</li> <li>3. Lehtikarikkeen ja leikatun nurmen jättäminen paikalleen tai sijoittaminen tiettyyn paikkaan hiilensidonnan edistämiseksi</li> <li>4. Biohiilen lisääminen istutusalueisiin</li> </ol>
<b>Palveluiden alueet</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Puiden, pensaiden ja viheralueiden määrän maksimointi</li> <li>2. Valitaan puulajit suuren hiilen sidontakyvyn mukaan ja mahdollisuuden kasvaa suuriksi rajatulla maa-alalla mukaan</li> <li>3. Läpäisemättömien pintojen vähentäminen/poistaminen</li> <li>4. Käytöstä poistuneiden alueiden muuntaminen alueiksi, joilla kasvipeitteisten alueiden osuus tontista on ainakin 50 % suurempi</li> </ol>
<b>Teollisuuden alueet</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Puiden, pensaiden ja viheralueiden määrän maksimointi</li> <li>2. Läpäisemättömien pintojen vähentäminen/poistaminen</li> <li>3. Käytöstä poistuneiden alueiden muuntaminen alueiksi, joilla kasvipeitteisten alueiden osuus tontista on ainakin 50 % suurempi</li> </ol>
<b>Liikennealueet</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Katupuiden säilyttäminen</li> <li>2. Huonokuntoisten puiden poistaminen ja korvaaminen uusilla</li> <li>3. Uusien puiden istuttaminen</li> </ol>
<b>Puistot</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kasvipeitteisten alueiden maksimointi</li> <li>2. Lehtikarikkeen ja leikatun nurmen jättäminen paikalleen tai sijoittaminen tiettyyn paikkaan hiilensidonnan edistämiseksi</li> <li>3. Puiden lisääminen, mikäli mahdollista</li> </ol>
<b>Muut urheilu- ja vapaa-ajan alueet</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Olemassa olevan hyväkuntoisen kasvillisuuden säilyttäminen</li> <li>2. Kasvillisuuden lisääminen</li> </ol>
<b>Metsäalueet</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Olemassa olevien alueiden säilyttäminen ja asianmukainen metsänhoito</li> </ol>
<b>Harvapuustoiset alueet</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Olemassa olevien alueiden säilyttäminen</li> <li>2. Alueiden metsittäminen, mikäli alueella ei ole sitä estävää muuta käyttöä</li> </ol>

## 5.4. Johtopäätökset

Kanta- ja Päijät-Hämeelle 2021 tehdyn hiilen varastot ja -nielut -selvityksen tarkoituksena on ollut taustatiedon tuottaminen kuntien maankäytön suunnitteluun paikkatietomenetelmien avulla (FCG, 2021). Selvityksessä oli käytetty asiantuntija-arvioiden lisäksi oletuksia tieteellisistä julkaisuista. Tämän työn yhtenä tavoitteena oli selvittää edellä mainitun selvityksen käytettävyys ja sen paikkatietojen hyödyntäminen Lahden kaupungin maankäytön suunnittelussa. Jo työn alkupuolella tehdyn tarkastelun myötä todettiin yhtenä merkittävänä johtopäätöksenä, että Lahden nykyisessä tavassa kartoittaa hiilinielut ja varastot, on epätarkkuutta, sillä useiden kaupunkimaisten maankäyttöluokkien hiilinieluksi oli esitetty sama arvo. Tämä tarkoittaa, että nykyisellä hiilivarastojen ja -nielujen laskentamenetelmällä mahdollisesti tulevaisuudessa tehtävät hiilivarastojen ja -nielujen ylläpitämiseen, säilyttämiseen ja lisäämiseen liittyvät toimenpiteet eivät tulisi näkymään laskennassa. Tällä hetkellä tutkimusaineisto ja -menetelmät perustuvat pitkälti havaintoihin ja tuloksiin luonnonekosysteemien toimintaprosesseista, joita pyritään hyödyntämään kaupunkisuunnittelussa, -rakentamisessa ja kaupunkien viheralueiden ylläpidossa (Järvi, 2021.) Tämä onkin juuri syy sille aukolle, joka meillä on tietämyksessämme kaupunkiekosysteemien toimintaprosesseista, ja sille miksi arviot hiilinieluista kaupunkiympäristön eri maanpeitteissä ovat epävarmoja.

Metsien rooli hiilinieluna ja -varastoina on merkittävä ja tämänkin työn tulokset korostavat metsien säilyttämistä ja lisäämistä. Kerrostalo-, pientalo- ja palvelu- ja teollisuus alueille tässä työssä tehdyn herkkyysanalyysin tulokset antoivat käsityksen hiilinielujen suuruuden muutoksesta ja epävarmuudesta kuvastaen 50 %:n virhettä hiilinielulle lasketuissa arvoissa. Pientaloalueiden hiilinielut sekä kasvillisuuden että maaperän osalta todettiin merkittäväksi. Hiilinielujen ja -varastojen lisäämistä pientaloalueilla tulee korostaa erityisesti, koska nämä alueet ovat jo valmiiksi kasvillisuuden peittämiä ja hiilen sidonta on suhteellisen korkea. Palveluiden -ja teollisuuden alueilla hiilinielujen voidaan arvioida todellisuudessa olevan jopa -50 %:n virheprosentin mukaista arvoa pienemmät, joten näillä alueilla kasvillisuuspinna-alan kasvattaminen lisääisi rakennetun alueen hiilinielua ja -varastoja kasvillisuudessa sekä maaperässä. Alueiden maankäytön muokkaaminen aiheuttaa kuitenkin päästöjä, jotka vaikuttavat siihen, että alueet eivät tule toimimaan heti hiilinieluna, vaan kuluu useampi vuosikymmen ennen kuin rakentamisesta aiheutuneet päästöt ovat sitoutuneet puihin ja muuhun kasvillisuuteen, ja että sekä kasvillisuus että maaperä alkavat toimia hiilinieluna. Viherkattojen asentamista kerrostalo-, palvelu- ja teollisuuden alueilla tulisi arvioida tarkastelemalla kokonaisvaltaisesti niiden hyötyjä. Katu- ja puistopuiden istuttamisessa hiilinielun lisäämistarkoituksessa tärkeintä on puiden kasvun ja pitkäikäisyyden turvaaminen. Tämän työn tulokset ovat suuntaa antavia arvioita kaupunkimaisten maakäyttöluokkien ja kaupunkipuiden hiilinieluista ja varastoista, ja on muistettava, että todellisuus on monimutkaisempi.

Työn myötä annettava tärkeä viesti Lahden kaupungille ja muille kunnille on, että todellisuus kaupunkimaisten maankäyttöluokkien hiilinieluista on yhä epävarma. Tarkempien hiilinielujen ja -varastojen määrittämiseksi pitäisi valita yksittäisiä kohteita eri maankäytön luokista ja tehdä oikeita mittauksia valituilla alueilla, jolloin näitä tuloksia voitaisiin hyödyntää käytettäväksi laajemmin, olettaen, että hiilinielujen ja -varastojen kehitys on samankaltaista. Yleisesti sekä Suomessa että globaalistikin hiilinielujen -ja varastojen laskentamenetelmien yhdenmukaistuminen tulevaisuudessa on toivottavaa, jotta kaupunkialueiden hiilinieluista- ja varastoista saadaan varmempaa tietoa ja laskentojen keskinäinen vertailu on mielekästä. Kaupungeissa erilaisten maankäyttöalueiden kirjo on laaja, joten on huomionarvoista nostaa esiin kysymys, voiko kaupunkien erilaisia pieniä palasia saada yhtenäistettyä esimerkiksi kansallisiin laskentoihin järkevästi?

Lahti on mukana yhteistyökumppanina Helsingin yliopiston, Aalto-yliopiston, Ilmatieteen laitoksen, Hämeen ammattikorkeakoulun ja Kööpenhaminan yliopiston yhteistyönä toteutuvassa strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittamassa CO-CARBON-hankkeessa, jossa määritetään kaupunkivihreän hiilensidontaa mittauksin ja mallinuksin. Tutkimuksella tavoitellaan kehitystä hiiliviisaan kaupunkivihreän suunnitteluun sekä käytäntöjen ja ratkaisujen toteutukseen ja ylläpitoon, joilla kaupunkiympäristön laadussa ja hiiliviisaudessa voidaan saavuttaa pitkäaikaisia vaikutuksia (CO-CARBON-hanke, 2022). Toivon mukaan edellä mainitusta hankkeesta saadaan toimivia ratkaisuja hyödynnettäväksi Lahden ja muiden kaupunkien ja kuntien maankäytössä.

Vaikka tässä työssä on keskitytty hiileen kaupunkiympäristössä, on syytä muistaa kaupunkiympäristön moninaisuus ja sen tuottamat muut ekosysteemipalvelut. Maankäytön suunnittelulla sekä kaupunkiympäristön viheralueiden hoidolla voidaan vaikuttaa sekä hiilivarastojen ja -nielujen suuruuteen että luonnon monimuotoisuuteen eikä näiden tavoitteiden tarvitse olla täysin toisistaan erillisiä. IPCC:n 6:n arviointiraportin (2021) mukaan ilmaston lämpenemisen myötä kaupunkialueisiin kohdistuu useita sään ääri-ilmiöitä, kuten lämpöaaltoja sekä merenpinnan nousua rannikkoalueilla, pyörremyrskyjen ja hurrikaanien sekä sateiden voimakkuuden lisääntymistä, josta aiheutuu tulvia. Näihin kaikkiin haasteisiin varautuminen pitää myös huomioida kaupunkien maankäytössä ja viheralueiden suunnittelussa.

## Kirjallisuus

Ariluoma, M. 2020. Carbon sequestration and storage potential of urban green in residential yards: A case study from Helsinki. *Urban Forestry & Urban Greening*, 57. Haettu osoitteesta: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126939>

Bergeron, O. ym. 2011. CO<sub>2</sub> sources and sinks in urban and suburban areas of a northern mid-latitude city. *Atmospheric Environment*, 45 (8), s. 1564–1573. Haettu osoitteesta: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.12.043>

Chapin, F. 2011. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*, 2nd ed. ISBN- 978-1-4419-9503-2

Dolman, H. 2019. *Biogeochemical cycles and climate*. ISBN-13: 9780198779308. DOI:10.1093/oso/9780198779308.001.0001

CO-CARBON-hanke. 2022. Haettu osoitteesta: <https://cocarbon.fi/> 25.1.2022.

Davies, Z. ym. 2011. Mapping an urban ecosystem service: quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. *Journal of Applied Ecology* (48) s. 1125–1134 Haettu osoitteesta: doi: 10.1111/j.1365–2664.2011.02021.x

Euroopan komissio. 2021. *Background to the European Green Capital Award* Haettu osoitteesta: [European Green Capital \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/eip/eip-award/) 3.10.2021

FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy. 2019a. Lahden alueen hiilinielut ja -varastot. Haettu osoitteesta: <https://www.lahti.fi/tiedostot/lahden-alueen-hiilinielut-ja-varastot/>

FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy. 2019b. Lahden alueen hiilinielut ja -varastot. Haettu osoitteesta: <https://docplayer.fi/131694469-Selvitys-lahden-tarkeimmista-ekosysteemipalveluista.html>

FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy. 2021. Kanta-Hämeen ja Päijät-Hämeen maankäytön hiilinielut ja -varastot. Haettu osoitteesta: [Kanta-Hämeen ja Päijät-Hämeen maankäytön hiilinielut ja -varastot \(pajjat-hame.fi\)](https://www.pajjat-hame.fi/)

Flexas, J. ym. 2012. *Terrestrial Photosynthesis in a Changing Environment: A Molecular, Phycological, and Ecological Approach*. Cambridge University Press, Cambridge. Part III: Photosynthetic response to single environmental factors. s. 237–348. Haettu osoitteesta: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139051477>

Friedlingstein, P. ym. 2020. Global Carbon budget *Earth Syst. Sci. Data*, 12, s. 3269–3340. Haettu osoitteesta: <https://doi.org/10.5194/essd-12-3269-2020>



Getter, K. ym. 2009. Carbon Sequestration Potential of Extensive Green Roofs  
Environ. Sci. Technol, 43, 7564–7570 Haettu osoitteesta: <https://pubs-acsc-org.libproxy.helsinki.fi/doi/pdf/10.1021/es901539x>

Heinonsalo, J. ym. 2020. Hiiliopas - Katsaus maaperän hiileen ja hiiliviljelyn perusteisiin.  
1.painos. Haettu osoitteesta: <https://carbonaction.org/wp-content/uploads/2020/01/BSAG-hiiliopas-1.-painos-2020.pdf>

Helsingin kaupunki. 2014a. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut 2014:4.  
Rakennusviraston kaupunkipuuseelvitys. Taustaselvitys ja nykytilan kuvaus. ISBN , 978-  
952-272-712-1 (verkkoversio). Haettu osoitteesta:  
[https://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/2014/kaupunkipuu/taustaselvitys\\_web\\_osa1.pdf](https://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/2014/kaupunkipuu/taustaselvitys_web_osa1.pdf)

Helsingin kaupunki. 2014b. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut 2014:8.  
Kaupunkipuulinjaus. ISBN 978-952-272-812-8 (verkkoversio) Haettu osoitteesta:  
[kaupunkipuulinjaus a4 su web.pdf \(hel.fi\)](http://kaupunkipuulinjaus.a4.su.web.pdf(hel.fi))

Ilmatieteenlaitos. 2021. Haettu osoitteesta:  
<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

Ilvesniemi, H. ym. 2009. Long-term measurements of the carbon balance of a boreal  
Scots pine dominated ecosystem. Boreal Environment research, 14, s.731.753. ISSN  
1797-2469 (online).

IPCC. 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science  
Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the  
Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L.  
Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K.  
Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B.  
Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press. Haettu osoitteesta:  
[IPCC AR6 WGI SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/)

IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working  
Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate  
Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels,  
Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United  
Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CB09781107415324.

Jandl, R. ym. 2007. How strongly can forest management influence soil carbon  
sequestration? Haettu osoitteesta: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.09.003>

Järvi, L. 2021. Puheenvuoro Nordic Pavilion: New leadership for climate action in the  
cities! — Networks for co-creating and constructing carbon-smart and resilient cities.

United Nations Climate Change Conference 26. Haettu osoitteesta: [COP26 Backdoor \(wedonthavetime.org\)](https://wedonthavetime.org)

Lahti – Euroopan ympäristöpääkaupunki. 2021. Haettu osoitteesta: [Mikä on Euroopan ympäristöpääkaupunki? \(greenlahti.fi\)](https://greenlahti.fi)

Lahden Kaupunki. 2019. Lahti\_EGCA2021\_Application s.131. Haettu osoitteesta: [Lahti EGCA2021 Application.pdf \(greenlahti.fi\)](https://greenlahti.fi)

Lahden kaupunki. 2020. Lahden ympäristövahti. Toimenpiteet. Haettu osoitteesta: [Toimenpiteet | Lahden ympäristövahti \(lahdenymparistovahti.fi\)](https://lahdenymparistovahti.fi)

Lahden Kaupunki. 2013. Lahden viheralueohjelma 2013–2025. Haettu osoitteesta: <https://www.lahti.fi/tiedostot/viheralueohjelma-2013-2025-2/>

Lahden kaupunki. 2009. Lahden kaupungin strategia 2025. s. 11. (pdf)

Lal, R. ym. 2012a. Terrestrial Biosphere as a Source and Sink of Atmospheric Carbon Dioxide, 1, ISBN 978-94-007-4159-1 (eBook) DOI 10.1007/978-94-007-4159-1

Lal, R. ja Augustin, B. 2012. Carbon Sequestration in Urban Ecosystems. e-ISBN 978-94-007-2366-5. DOI 10.1007/978-94-007-2366-5

Liikennevirasto. 2018. Henkilöliikennetutkimus 2016. Suomalaisten liikkuminen. Haettu osoitteesta: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti\\_2018\\_01\\_henkiloliikennetutkimus\\_2016\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti_2018_01_henkiloliikennetutkimus_2016_web.pdf)

Traficom, Liikenne- ja viestintävirasto. 2021. Liikennefakta. Hiilidioksidipäästöt. Haettu osoitteesta: <http://www.jstor.org/stable/1469206>

Lilja, H. ym. 2006. Suomen maannostietokanta. MTT:n selvityksiä 114. ISBN 9252-487-019-3 (Verkkojulkaisu) s.12. Haettu osoitteesta: [www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts114.pdf](http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts114.pdf)

Lindén, L. ym. 2019. Quantifying carbon stocks in urban parks under cold climate conditions. Haettu osoitteesta: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126633>

Liu ym. 2015. Recent reversal in loss of global terrestrial biomass. DOI: 10.1038/NCLIMATE2581 Haettu osoitteesta: <http://www.nature.com/doi/10.1038/nclimate2581>

Liski, J. ja Westman, C. 1997. Carbon storage in forest soil of Finland. 2. Size and regional patterns. Biogeochemistry, 36 (3), s.261–274. Haettu osoitteesta: <http://www.jstor.org/stable/1469206>

Liski, J. ym. 2006. Carbon accumulation in Finland's forests 1922–2004 - an estimate obtained by combination of forest inventory data with modelling of biomass, litter and

soil. *Annals of Forest Science*, 63, s. 687–697 DOI: 10.1051/forest:200604 Haettu osoitteesta: <https://doi.org/10.1051/forest:2006049>

Lorenz, K. 2007. Carbon sequestration in forest ecosystems. 1.3 The Global Carbon Cycle and Climate Change. s 5–6

Lorenz, K. ja Lal, R. 2009. The Natural Dynamic of Carbon in Forest Ecosystems. *Carbon Sequestration in Forest Ecosystems*. 10 (13), s. 23. ISBN 978-90-481-3266-9 (online). Haettu osoitteesta: [https://doi.org/10.1007/978-90-481-3266-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-90-481-3266-9_2)

Lounasheimo, J. ym. 2021. Ympäristöministeriö. Ilmastovuosikertomus 2021. Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:19 Haettu osoitteesta: [Ilmastovuosikertomus 2021 \(valtioneuvosto.fi\)](https://www.valtioneuvosto.fi/julkaisut/ilmastovuosikertomus-2021)

Lu, C. ym. 2020. Soil sealing causes substantial losses in C and N storage in urban soils under cool climate. *The Science of the Total Environment*, 725. Haettu osoitteesta: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138369>

Nurmi, V. ym. 2016. Cost-benefit analysis of green roofs in urban areas: case study in Helsinki. Haettu osoitteesta: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40150/2013nro2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Maa- ja metsätalousministeriö. 2018. Maankäyttösektorin sisällyttäminen EU:n ilmastotavoitteisiin. Haettu osoitteesta: [LULUCF-asetus - Maa- ja metsätalousministeriö \(mmm.fi\)](https://www.mmm.fi/julkaisut/lulucf-asetus)

McHale, M. ym. 2009. Urban forest biomass estimates: is it important to use allometric relationships developed specifically for urban trees? Haettu osoitteesta: <https://doi.org/10.1007/s11252-009-0081-3>

Timilsina, N. ym. 2014. Tree biomass, wood waste yield, and carbon storage changes in an urban forest. Haettu osoitteesta: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.04.003>

Nordbo, A. ym. 2012. Fraction of natural area as main predictor of net CO<sub>2</sub> emissions from cities. Haettu osoitteesta: <https://doi.org/10.1029/2012GL053087>

Nowak, D. ym. 2013. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*. 173, s.229–236. Haettu osoitteesta: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.019>

Pataki, D. ym. 2006. Urban ecosystems and the North American carbon cycle. Haettu osoitteesta: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01242.x>

Pataki, D. ym. 2021. The Benefits and Limits of Urban Tree Planting for Environmental and Human Health. *Front. Ecol. Evol.* Haettu osoitteesta:

<https://doi.org/10.3389/fevo.2021.603757>

Pitkänen, J. 2009. Asuinkerrostalojen rakentamisen ohjauksen kustannustarkasteluja. Helsingin kaupungin talous- ja suunnittelukeskuksen julkaisusarja 6. ISBN 978-952-223-560-2 (pdf).

Poeplau, C. ym. 2016. Effect of grassland cutting frequency on soil carbon storage – a case study on public lawns in three Swedish cities. *SOIL* (2) s. 175–184

<https://doi.org/10.5194/soil-2-175-2016>

Pouyat, R. ym. 2006. Carbon storage by urban soils in the United States. *Journal of environmental quality*. 35 (4), s.1566–1575. doi:10.2134/jeq2005.0215 Haettu osoitteesta: <https://pubag.nal.usda.gov/download/3822/pdf>

Rasinmäki J. ja Känkänen, R. 2014. Kuntien hiilitasekartoitus, osa 2. Hiilitaselaskuri ja toimenpidevalikoima. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 10/2014. Haettu osoitteesta:

[https://ilmastotyokalut.fi/files/2014/06/hiilitase\\_osa2\\_julkaisu\\_ymk\\_2014.pdf](https://ilmastotyokalut.fi/files/2014/06/hiilitase_osa2_julkaisu_ymk_2014.pdf)

Riikonen, A. ym. 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, s. 85-94. Haettu osoitteesta: [High carbon losses from established growing sites delay the carbon sequestration benefits of street tree plantings – A case study in Helsinki, Finland \(sciencedirectassets.com\)](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1874466817300000)

Rosberg-Airaksinen, E. 2019. Lahden kaupungin kestävä energia ja Ilmastonmuutoksen toimenpidesuunnitelma vuoteen 2030. Haettu osoitteesta: <https://www.lahti.fi/tiedostot/lahden-kestavan-energian-ja-ilmastonmuutoksen-toimenpidesuunnitelma-2030-secap/>

Rosberg, E. ja Sieppi, P. 2020. Lahden hiilinielu- ja kompensatiosuunnitelma. Tavoitteena hiilineutraalius 2025. Haettu osoitteesta: <https://www.lahti.fi/tiedostot/lahden-hiilinielu-ja-kompensaatiosuunnitelma/>

Scharlemann, J. ym. 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management*, 5 (1). s. 81–91. DOI: 10.4155/CMT.13.7

Sæbø, A. ym. 2003. Selection of trees for urban forestry in the Nordic countries *Urban greening and forestry*, 2 (2). s 101–114. Haettu osoitteesta:

<https://doi.org/10.1078/1618-8667-00027>

