

Pintamaan hiilivarastot Helsingin aluerakentamisessa

Rakentamisen vaikutus hiilivarastoihin ja pintamaan kierrätyskäytännöt

Tiivistelmä

Tekijä(t) Koutonen, Matti	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2021
	Sivumäärä 58	
Työn nimi Pintamaan hiilivarastot Helsingin aluerakentamisessa Rakentamisen vaikutus hiilivarastoihin ja pintamaan kierrätyskäytänteet		
Tutkinto Insinööri (AMK)		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Eero Puurunen, arkkitehti & vanhempi ympäristöasiantuntija, Sitowise Oy		
Tiivistelmä <p>Työn tavoitteena oli koota tietoa Helsingin aluerakentamishankkeiden vaikutuksesta pintamaan hiilivarastoihin sekä rakentamisessa kuorittavan pintamaan kierrätyskäytänteistä. Lisäksi tavoitteena oli tuottaa teoreettinen tarkastelu uuden rakennettavan puiston hiilivarastojen kehityksestä. Tiedot koostettiin saatavilla olevien kirjallisuuslähteiden, sekä Helsingin kaupunkiorganisaation henkilöstön ja aiheen asiantuntijoiden haastattelujen perusteella.</p> <p>Suomen pintamaan hiilivarastot sijaitsevat pääasiassa rakentamattomilla alueilla. Aluehankkeissa tapahtuvan pintamaan kuorinnan myötä menetettävän hiilivaraston kokoa voidaan arvioida alueen kasvillisuusominaisuuksien perusteella.</p> <p>Helsingin aluehankkeissa kuorittavista pintamaista yli puolet päättyy kierrätettäviksi tuotteistettuihin viherrakentamisen kasvualustoihin. Kierrätysastetta pyritään kasvatamaan ja prosessia sujuvoittamaan. Pintamaahan sekoitettava lehtikomposti kasvattaa kasvualustatuotteen hiilipitoisuutta. Kierrätysmaan sitoutuessa uudeksi kasvualustaksi, sen sisältämä hiilivarasto rakentuu osaksi uutta maannosta ja ajan myötä kehittyvää hiilinielua. Kierrätykseen kelpaamatonta pintamaata päättyy maankaatopaikoille, joissa hiilivarastojen voidaan katsoa vähenevän ajan myötä.</p> <p>Viherrakentamisen myötä syntyy uutta pintamaan hiilivarastoa, jonka hiilensidontaa voidaan arvioida laskennallisesti. Paras ratkaisu hiilivarastojen ja -nielujen ylläpitämiseksi on pyrkiä säästämään jo entuudestaan kasvipeitteistä pinta-alaa, ja sisällyttää tätä alueelle suunniteltaviin viherpinta-aloihin. Viherrakentaminen lisää hiilensidontaa silloin kun se tapahtuu muutoin hiilivarastoiltaan köyhälle maa-alalle. Tällaisia ovat esimerkiksi rakennuskäytöstä tai muusta voimakkaasta maankäytöstä vapautuvat alueet. Alueelta kuorittavien pintamaiden paikallinen kierrätyskäyttö on kannustettavaa. Näin toimimalla säilytetään alueellisen hiilivaraston ohella myös alueen luonnollista maannosta, eliöstöä ja kasvillisuutta.</p>		
Asiasanat hiilivarasto, pintamaa, kierrätyskasvualusta, aluerakentaminen, viherrakentaminen		

Abstract

Author(s) Koutonen, Matti	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2021
	Number of Pages 58	
Title of Publication Topsoil carbon stocks in area construction in Helsinki Effect of construction on carbon stocks and practices of topsoil recycling		
Name of Degree Engineer (UAS)		
Name, title and organization of the client Eero Puurunen, Architect & Senior Environmental Specialist, Sitowise Oy		
Abstract <p>The aim of the study was to collect information on the effects of area construction on topsoil carbon stocks in Helsinki, and on recycling practices of removed topsoil. In addition, the aim was to make a theoretical calculation of the development of carbon stocks in a newly constructed park. The information was collected from available literature sources and interviews with the staff of the Helsinki City Organization and experts in the field.</p> <p>The carbon stocks in Finnish topsoil are mostly located in the unbuilt areas. The amount of the carbon stock lost in topsoil removing of area projects can be estimated based on the vegetation type of the area.</p> <p>In area construction in Helsinki, more than half of the removed topsoil ends up being recycled in the soils used in park construction. The aim is to increase the recycling rate and streamline the process. Leaf compost mixed with the topsoil increases the carbon content of the final product. The recycled topsoil and its carbon stock will be part of the new soil structure and the carbon sinks that develop over time. Non-recyclable topsoil ends up in landfill sites, where carbon stocks can be expected to decrease over time.</p> <p>Park construction creates new topsoil carbon stocks and their amount can be estimated computationally. The best solution for maintaining carbon stocks and sinks is to try to save the existing vegetated areas, and to include them in the green areas planned for the site. Park construction increases carbon sequestration when done in areas that are poor in carbon stocks. Such is, for example, land released from the built environment or from some other heavy use. Recycling of topsoil is recommended. This preserves not only the local carbon stocks but also the natural soil structure, soil organisms and vegetation.</p>		
Keywords carbon stock, topsoil, recycled growing soil, area constuction, park construction		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Ilmasto.....	3
2.1	Hiilidioksidi.....	3
2.2	Ilmastotavoitteet ja päästösektorit.....	5
3	Maaperä.....	8
3.1	Maaperähiili.....	8
3.2	Maaperälajit ja maannos.....	9
3.3	Helsingin maaperä.....	10
4	Helsingin aluekehittäminen.....	12
4.1	Kaavoitus.....	12
4.2	Aluerakentaminen.....	14
4.3	Esirakentaminen aluehankkeissa.....	14
4.4	Viheralueet.....	17
4.5	Viheraluerakentaminen.....	20
5	Viheralueiden hiilivarastot ja -nielut.....	22
5.1	Metsät.....	22
5.2	Turvemaat.....	23
5.3	Pellot ja muut avoimet viheralueet.....	23
5.4	Rakennetut viheralueet.....	24
5.5	Helsingin viheralueet.....	27
6	Hiilivarastot ja -nielut aluehankkeissa.....	30
6.1	Kuorittavan pintamaan hiilivarastot ja -nielut.....	30
6.2	Kierrätysmaita hyödyntävän hankkeen prosessi.....	31
6.3	Pintamaan kierrätyskäytänteet Helsingissä.....	35
6.4	Hiilen kulkeutuminen.....	40
6.5	Rakennettavan viheralueen uudet hiilivarastot ja -nielut.....	41
7	Esimerkkikohde.....	46
7.1	Vennynpuisto.....	46
7.2	Laskenta.....	48
8	Yhteenveto.....	52
	Lähteet.....	53

1 Johdanto

Pariisin ilmastosopimukseen (United Nations 2015, 3) on kirjattu tavoite maapallon keskilämpötilan nousun pitämisestä alle kahdessa celsiusasteessa suhteessa esiteolliseen aikaan. Tiukempaan pyrkimyksenä on rajoittaa lämpötilan nousu 1,5 asteeseen. Tämä asettaa kovia päästöleikkaustavoitteita sopimuksen allekirjoittaneille valtioille. Suomi pyrkii hiilineutraaliuteen vuoteen 2035 mennessä (Valtioneuvosto 2019), ja myös Helsingin kaupunki on osana kaupunkistrategiaansa julkaissut oman Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelmansa (Helsingin kaupunki 2019a). Hiilineutraaliuden saavuttaminen edellyttää paitsi hiilipäästöjen vähentämistä, myös hiilivarastojen ja -nielujen kartoittamista ja kasvattamista.

Kaupunkirakentaminen tuottaa hiilipäästöjä, mutta kaupunkirakenne itsessään voi olla myös hiiltä sitova. Helsingin kokonaispäästölaskennassa ei toistaiseksi ole huomioitu kaupunkialueen viheralueiden hiilivarastoja ja -nieluja, mutta niissä on potentiaalia hiilipäästöjen kompensoimiseksi. Kaavoitukseen kehitettävillä laskentatyökaluilla voidaan verrata kaupunkirakenteen hiilen päästö-, nielu- ja varastomääriä, ja näin vaikuttaa aluerakentamisen ja alueiden käytön aikaiseen hiilijalanjälkeen.

Suomessa on tehty tutkimusta puistojen, sekä metsä- ja peltomaan hiilivarastoista, mutta aluerakennushankkeiden vaikutusta maaperän hiilivarastoihin ei ole selvitetty tarkasti. Aluehankkeissa kuorittavaa orgaanista hiiltä sisältävää pintamaata voidaan kierrättää viherrakentamisen kasvualustoissa. Kierrätyskasvualustojen käyttö edesauttaa hiilivarastojen ylläpitämistä, ja se voi lisätä rakennettavien viheralueiden biologista monimuotoisuutta, säästää luonnonvaroja ja vähentää rakennuskustannuksia.

Opinnäytetyö pyrkii vastaamaan kysymykseen: mitä Helsingin aluerakentamishankkeissa kuorittavien pintamaiden hiilivarastoille tapahtuu.

Tavoitteina on koota tietoa

- pintamaiden lähtökohtaisista hiilivarastoista
- hankkeissa kuorittavien pintamaiden kierrätyskäytännöistä ja pintamaahan varastoituneen hiilen kulkeutumisesta
- sekä rakennettavien viheralueiden uuden pintamaan hiilivarastojen koosta.

Lisäksi tavoitteena on tuottaa

- teoreettinen tarkastelu rakennettavan uuden puiston maaperän ja kasvillisuuden hiilivarastojen ja -nielujen muutoksesta viidenkymmenen vuoden ajanjaksolla.

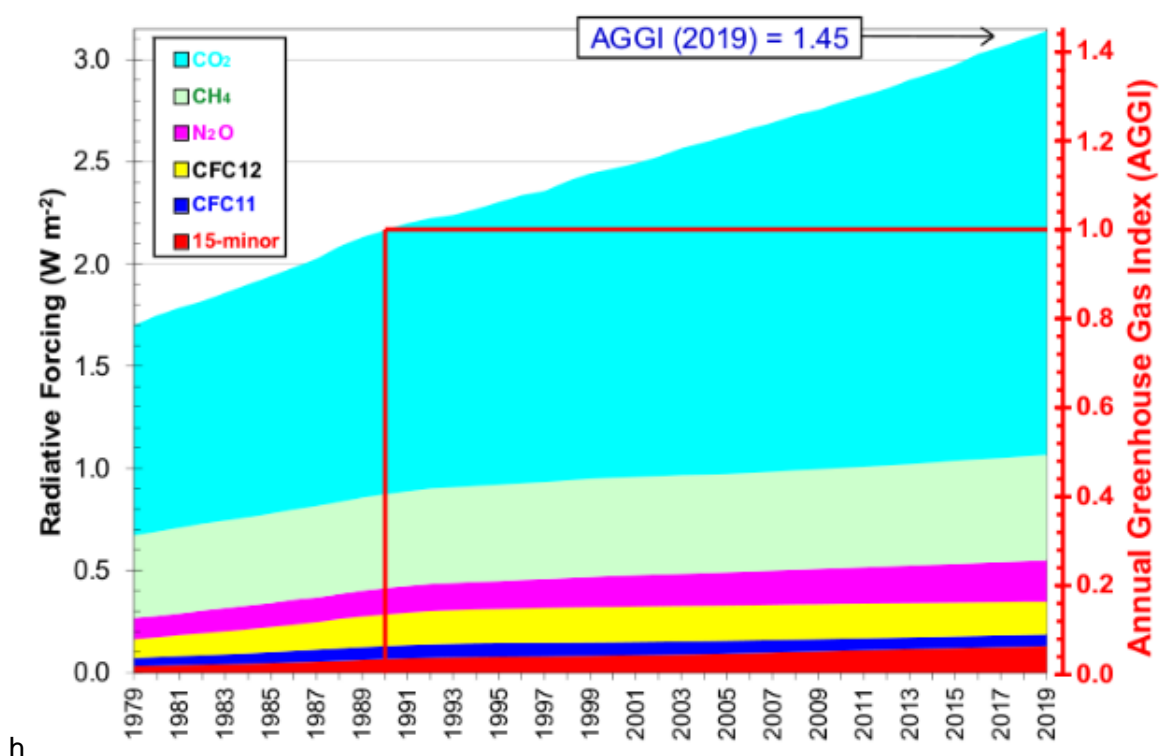
Opinnäytetyö tehdään Sitowise Oy:n toimeksiannosta ja työssä koostettua tietoa tullaan käyttämään osana Helsingin kaupungille kehitettävän asemakaavoituksen hiilijalanjälkilaskuri HAVA:n kehitystä. Aihetta käsitellään Helsingin alueella tapahtuvan viheraluerakentamisen näkökulmasta. Opinnäytetyö tullaan koostamaan saatavilla olevien lähdeaineistojen sekä Helsingin kaupunkiorganisaation henkilöstön ja aiheen asiantuntijoiden haastattelujen perusteella. Opinnäytetyöaihetta pohjustetaan aiheeseen perehdyttävällä taustatiedolla.

2 Ilmasto

2.1 Hiilidioksidi

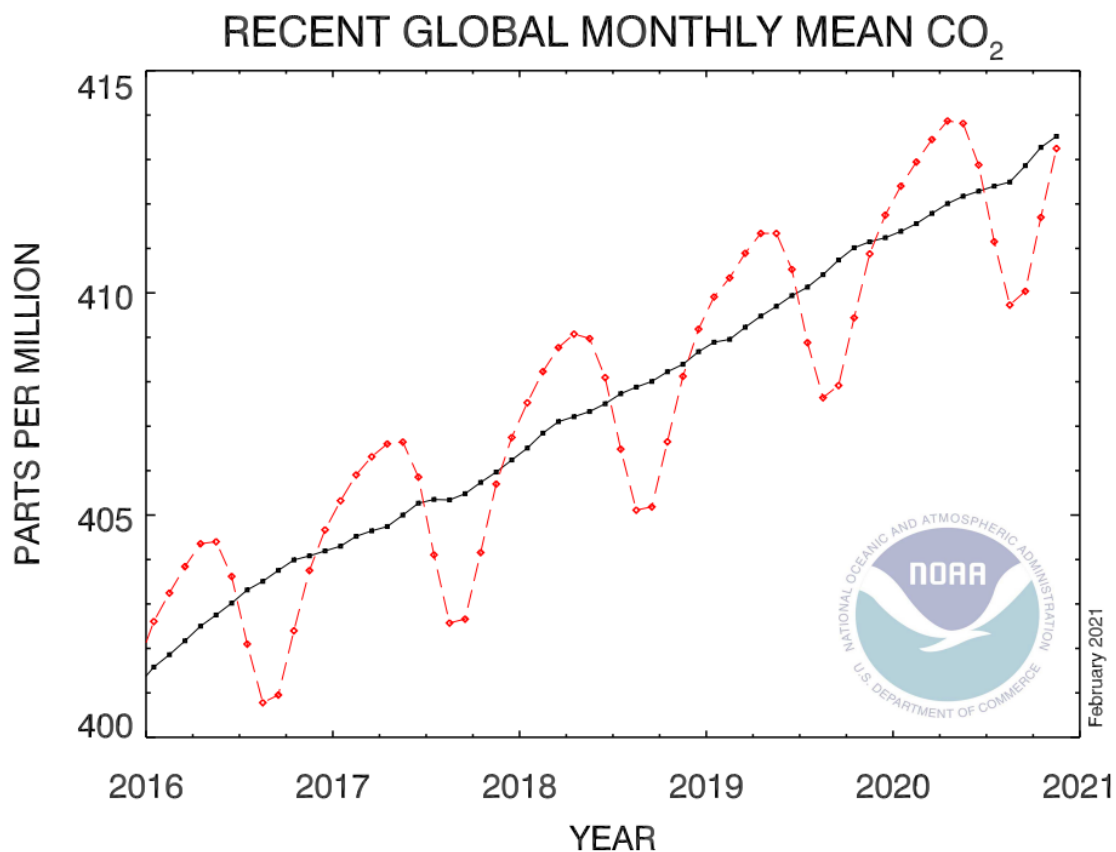
Hiilijalanjäljestä puhuttaessa mittayksikkönä käytetään hiilidioksidiekvivalenttia (CO₂e). Tämä yksikkö kattaa merkittävimpien ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien kaasujen yhteisvaikutuksen hiilidioksidiin suhteutettuna. Määrittelyyn lukeutuvat kaasut ovat: hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄), dityppioksidi (N₂O), HFC-yhdisteet, PFC-yhdisteet, rikkiheksafluoridi (SF₆) ja typpitrifluoridi (NF₃) (United Nations 2012, 4). Myös ilmakehän vesihöyry lisää kasvihuoneilmiötä. Tosin sen pitoisuuksien muutoksia pidetään enemmänkin ilmastomuutoksen seurauksena kuin teollistumisen vaikutuksista johtuvana. (NOAA 2021a.)

Määrittelyyn kuuluvista kasvihuonekaasuista vaikutuksiltaan merkittävin on hiilidioksidi (kuvio 1), jonka osuus on noin 66 % määritettyjen kasvihuonekaasujen kokonaissäteilypakotteesta. Hiilidioksidin pitoisuus ilmakehässä pysytteli teollistumista edeltävällä ajalla pitkään noin 280 ppm:ssa (miljoonasosassa), mutta fossiilisten polttoaineiden käyttöönoton sekä maankäytön muutosten myötä määrä on noussut yli 410 ppm:n ja sen osuus kasvihuonekaasujen kokonaissäteilypakotteesta on pysynyt kasvavana. (NOAA 2020.)



Kuvio 1. Kasvihuonekaasujen osuus säteilypakotteesta suhteessa vuoteen 1750 (NOAA 2020)

Hiilidioksidin määrä ilmakehässä kasvaa tällä hetkellä noin 2 ppm vuodessa (kuvio 2) (NOAA 2021b). Kausittaisen vaihtelun selittää pohjoisen pallonpuoliskon laajojen metsä-alueiden vuodenaikaisvaihtelu.



Kuvio 2. Ilmakehän hiilidioksidimäärän globaalien keskiarvon kehitys miljoonasosina (ppm) (NOAA 2021b)

Hiilidioksidimolekyylin sisältämän hiili- ja kokonaismoolimassan suhde on 12/44. Jos hiilimassan määrä on tiedossa, voidaan se sisällyttää hiilidioksidimassan määrään kaavalla 1. Hiilidioksidin sisältämän hiilimassan voi laskea kaavalla 2.

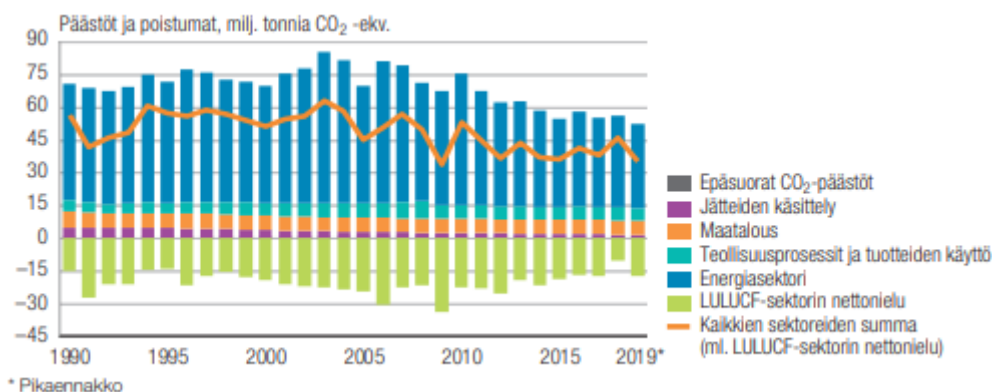
$$C \times \frac{44}{12} = \text{CO}_2 \quad (\text{kaava 1})$$

$$\text{CO}_2 \times \frac{12}{44} = C \quad (\text{kaava 2})$$

2.2 Ilmastotavoitteet ja päästösektorit

Vuonna 1992 allekirjoitetun YK:n ilmastomuutosta koskevan puitesopimuksen tavoitteena on kasvihuonekaasujen pitoisuuksien vakiinnuttaminen sellaiselle tasolle, jolla ihmisen toiminnasta ei aiheutuisi vaarallisen suurta häiriötä ilmastojärjestelmälle (United Nations 1992, 9). Ilmastopuitesopimusta on täydennetty Kioton pöytäkirjalla 1998, Dohan muutoksella 2012 ja Pariisin ilmastopöytäkirjalla vuonna 2015. Merkittävimpinä tavoitteina Pariisin ilmastopöytäkirjassa on maapallon keskilämpötilan nousun rajaaminen alle kahteen asteeseen suhteessa esiteolliseen aikaan, pyrkimyksenä pitää se alle 1,5 asteessa. Tavoitteena on myös kääntää maailmanlaajuiset ilmastopäästöt laskuun mahdollisimman pian ja pyrkiä globaaliin hiilineutraaliuteen vuosisadan loppupuoliskolla. (United Nations 2015, 3–4.)

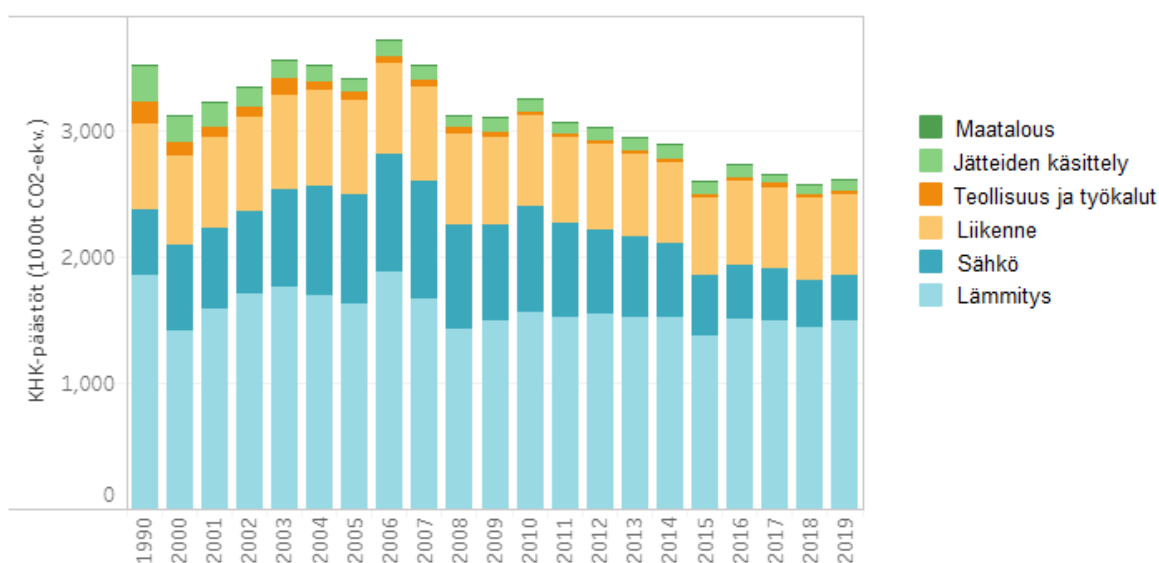
Hallitustenvälinen ilmastomuutospaneli (IPCC) ohjeistaa valtioita raportoimaan päästöt sektoreittain: energia, teollisuusprosessit ja tuotteiden käyttö, jätteiden käsittely, maatalous sekä LULUCF, joka kattaa maankäytön, maankäytön muutosten ja metsätalouden vaikutukset (IPCC 2006, 8–12). LULUCF-sektorin päästöarvo Suomessa on negatiivinen, eli sektori toimii hiilinieluna. Sektorin nettonielu vuonna 2019 oli -17,4 Mt CO₂-ekv. Tilastokeskuksen ennakkotiedon mukaan Suomi on laskenut päästöjään 26 % vuosien 1990-2019 aikana (kuvi 3), ja on näin toteuttamassa Kioton pöytäkirjan 20 % päästöleikkaustavoitteen. (Tilastokeskus 2020, 4–11.)



Kuvio 3. Suomen kasvihuonekaasupäästöt ja -nielut sektoreittain (Tilastokeskus 2020, 9)

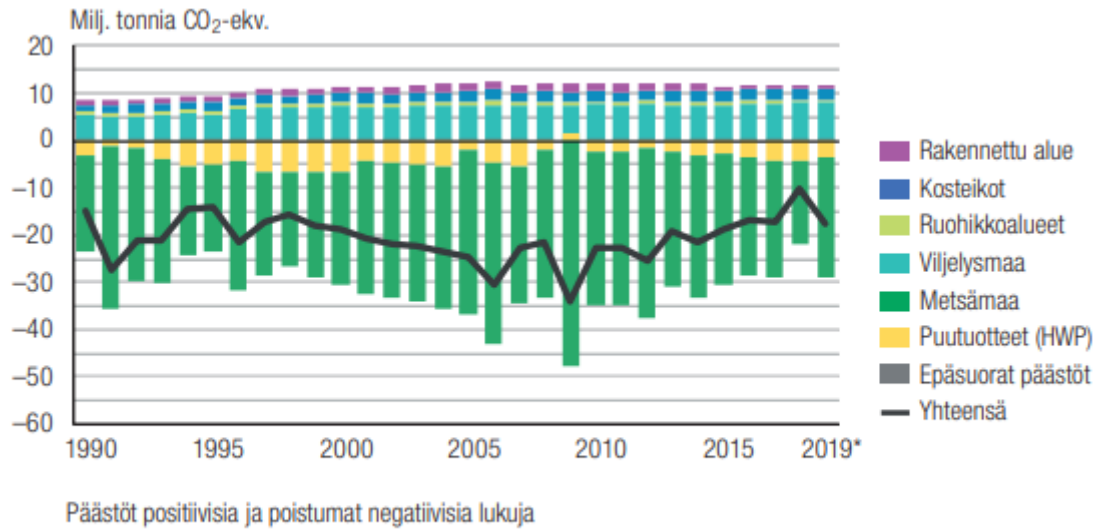
Suomi pyrkii olemaan edelläkävijä ilmastomuutoksen vastaisessa taistelussa ja Marinin hallitusohjelman tavoite on Suomen hiilineutraaliudessa jo vuonna 2035 (Valtioneuvosto 2019). Suomessa myös monet kunnat ovat asettaneet omia ilmastotavoitteitaan. Vuoden

2021 Euroopan ympäristöpääkaupunkina toimiva Lahti tavoittelee hiilineutraaliutta vuonna 2025 (Lahti – Euroopan ympäristöpääkaupunki 2021) ja Helsinki on osana kaupunkistrategiaansa julkaissut oman Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelmansa. Helsingin päästöistä (kuvio 4) puolet syntyy rakennusten lämmityksestä, neljäsosa liikenteestä ja noin 15 % sähköntuotannosta. Tavoitteena on leikata päästöjä 80 % vertailuvuoden 1990 päästöistä vuoteen 2035 mennessä. Jäljelle jäävä osuus on tarkoitus kompensoida muualla saavutettavilla väliaikaisilla päästövähennyksillä tai alueellisilla hiilinieluilla. (Helsingin kaupunki 2019a).



Kuvio 4. Helsingin kasvihuonekaasupäästösektorit vuosittain (HSY 2021)

LULUCF -sektoria ei ole toistaiseksi huomioitu Helsingin päästölaskennassa, joten siinä on potentiaalia päästökompensaation saavuttamiseksi. Tämä vaatii LULUCF-sektorin hiilinielujen ja -varastojen koon selvittämistä ja seurantaa (Helsingin kaupunki 2019a). LULUCF-sektorin Suomen päästö ja -nielujakauma on esitetty kuviossa 5.



* Pikaennakkotieto

Kuvio 5. LULUCF –sektorin päästö- ja nielujakauma Suomessa (Tilastokeskus 2020 ,8)

3 Maaperä

3.1 Maaperähiili

Kasvillisuus sitoo hiiltä ilmasta yhteyttämällä. Kun kasvi tuottaa maatuvaan kariketta, erittää juurieritteitä tai kuolee, siirtyy kasviin sitoutunutta hiiltä maaperään. Jos kasviperäisen aineksen, eläinperäisten jätteiden ja lannoitteiden tuottama hiilisyöte maaperään pysyy vakiona, alkaa maaperän hiilivarasto muuttamaan kohti tasoa, jossa maaperän orgaanisen aineksen hajoamisen ja hiilisyötteen osuudet ovat yhtä suuret. Tätä kutsutaan hiilitasapainoksi tai vakioitaksi. Toisin sanoen maaperän hiilivarasto muuttuu riippuen siihen kohdistuvan vuosittaisen hiilisyötteen ja maaperähiilen hajoamisen suhteesta. (Heinonsalo 2020.) Hiilivaraston muutoslukua voidaan kutsua hiilitaseeksi, ilmasta maaperään ja kasvillisuuteen sitoutuvaa hiiltä hiilinieluksi, ja maaperästä ja kasvillisuudesta vapautuvaa hiiltä hiilivuoksi.

Maaperän orgaanisella aineksella tarkoitetaan kaikkea eloperäistä kuollutta ainesta, joka on peräisin kasveista, mikrobeista ja eläimistä. Orgaaninen hiili taas on tähän ainekseen sitoutunutta hiiltä. Lindenin ym. (2020, 3) mukaan Helsingin puistomaaperässä orgaanisen aineksen hiilipitoisuus on 51 %.

Maaperän epäorgaanisella hiilellä tarkoitetaan karbonaattimineraalien rakenneosana esiintyvää hiiltä. Karbonaattimineraalit ovat Suomen maaperässä hyvin harvinaisia, joten Suomen maaperähiilen voidaan nähdä olevan pelkästään orgaanista. (Heinonsalo 2020, 10.)

Lahden keskustassa tehdyssä tutkimuksessa (Lu ym. 2020, 1) havaittiin tutkimusalueen maaperähiilestä vain 6 % sijaitsevan läpäisemättömien, rakennettujen alueiden alla, vaikka läpäisemättömän pinta-alan määrä oli kaksinkertainen viherpinta-alaan nähden. Aluerakentamisessa orgaanista ainesta sisältävä pintamaa poistetaan, joten Suomen maaperähiilivarastojen voidaan nähdä sijaitsevan pääosin vain rakentamattomilla alueilla. Samoin myös aluerakentamisessa syntyviä uusia hiilivarastoja voidaan nähdä syntyvän pääasiassa vain kasvipeitteisenä säilyville tai viherrakennettavalle alueelle.

Maaperän orgaaninen aines on hyvin monimuotoista ominaisuuksiensa puolesta. Sitä esiintyy osana kiintoainesta, mutta myös veteen liuenneena, ja sen monimuotoisuus tekee sen luokittelusta haastavaa. Perusteena luokittelulle käytetään usein aineksen hajoamisnopeutta, jossa liukuman toisessa ääripäässä oleva labiili, tarkoittaa kuukausien tai vuosien kuluessa hajoavaa, ja toisessa ääripäässä oleva stabiili, jopa satoja vuosia maassa säilyvää ainesta. Orgaaninen aines voi stabiloitua, kun hajotuksessa syntyvät yhdisteet ja

mikrobiperäinen aines reagoivat kivennäisaineksen kanssa. Maaperän hiilivarastojen pitkäaikaisessa kasvattamisessa, on stabiililla aineksella merkittävä rooli. (Heinonsalo 2020, 8.)

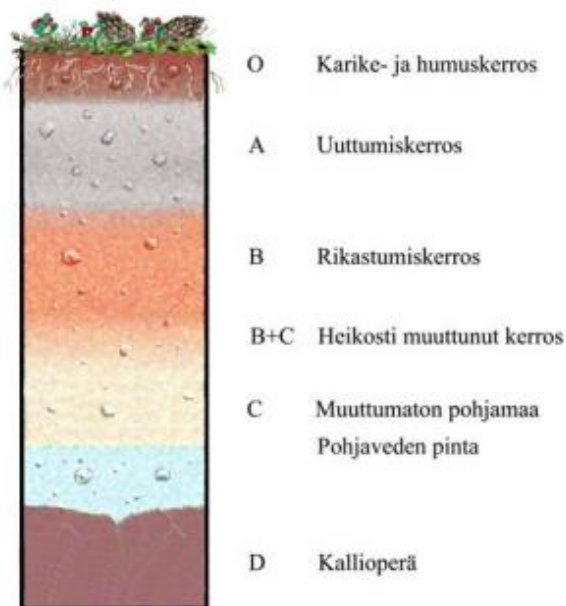
3.2 Maaperälajit ja maannos

Suomen maalajit jaetaan geoteknisen maalajiluokituksen mukaan neljään maalajiryhmään ja yhdeksään maalajiluokkaan (taulukko 1). Jaon perusteina käytetään rakeisuutta, syntytapaa ja orgaanisen aineksen pitoisuutta. Orgaanisen aineksen osuus on yli 20 % vain eloperäisiin maalajeihin kuuluvissa turve- ja liejumaissa. (Ronkainen 2012, 9.)

Maalajiryhmä	Maalaji	Lyhennys	Lajitepitoisuus, paino-%			Raekoko d_{50} , mm
			Savi	Hienoaines	Sora	
Eloperäiset maalajit	Turve	Tv				
	Lieju	Lj				
Hienorakeiset maalajit	Savi	Sa	≥ 30			
	Siltti	Si	< 30	≥ 50	< 5	$\leq 0,06$
Karkearakeiset maalajit	Hiekka	Hk		< 50	≤ 50	$> 0,06...2$
	Sora	Sr		< 5	> 50	$> 2...60$
Moreenimaalajit	Silttimoreeni	SiMr		≥ 50	≥ 5	$\leq 0,06$
	Hiekkamoreeni	HkMr		$5...50$	$5...50$	$> 0,06...2$
	Soramoreeni	SrMr		≥ 5	> 50	> 2

Taulukko 1. Geotekninen maalajiluokitus (Ronkainen 2012, 10)

Maannoksella kuvataan maaperän pintakerrosta, sen koostumusta ja kerroksellisuutta. Maannos syntyy pitkien aikajaksojen aikana, ja suurin osa Suomen maaperän maannoksesta onkin yli 7 000 vuotta vanhaa (Liski & Westman. 1997, 270). Maannokset eroavat toisistaan ravinteikkuudeltaan, kosteudeltaan ja lämpötilaltaan. Suomi kuuluu pääosin boreaaliseen havumetsävyöhykkeeseen, jolle ovat tunnusomaisia havumetsän happamat Podzol- ja turvemaan runsashiiliset Histosol-maannokset. Podzol-maannoksen osuus on 50 % ja Histosol-maannoksen 25 % Suomen metsäalasta. Heikosti kehittyneitä Arenosol-maannoksia ja kallioisia Leptosol-maannoksia on noin 11 % ja 9 % kokonaismetsäalasta, mutta ne ovat selvästi yleisimpiä rannikoilla ja saaristossa. (Tamminen & Tomppo 2008, 15–17.) Kuviossa 6 on esitetty Podzol-maannoksen kerroksellisuus.



Kuvio 6. Podzol -maannoksen kerrokset (Kutvonen 2007, 13)

Metlan valtakunnan metsien inventointi -aineiston (VMI) mukaan metsämaalla, maanpinnan yläpuolisen karikekerroksen keskiarvoinen hiilipitoisuus vaihtelee 40 % molemmin puolin maannoksesta ja maalajista riippumatta. Maaperässä, 0–5 cm syvyydessä metsämaan hiilipitoisuus vaihtelee 1,7–15 % välillä, 5–20 cm syvyydessä 0,8–2,3 % välillä, ja 20–40 cm syvyydessä 0,1–0,9 % välillä. (Lilja ym. 2009, 57–60.) Liskin & Westmanin (1997, 266) mukaan metsän maaperähiilestä 28 % on orgaanisessa pintakerroksessa, 69 % mineraali- maassa 0–1 m syvyydessä ja 3 % tätä syvemmillä.

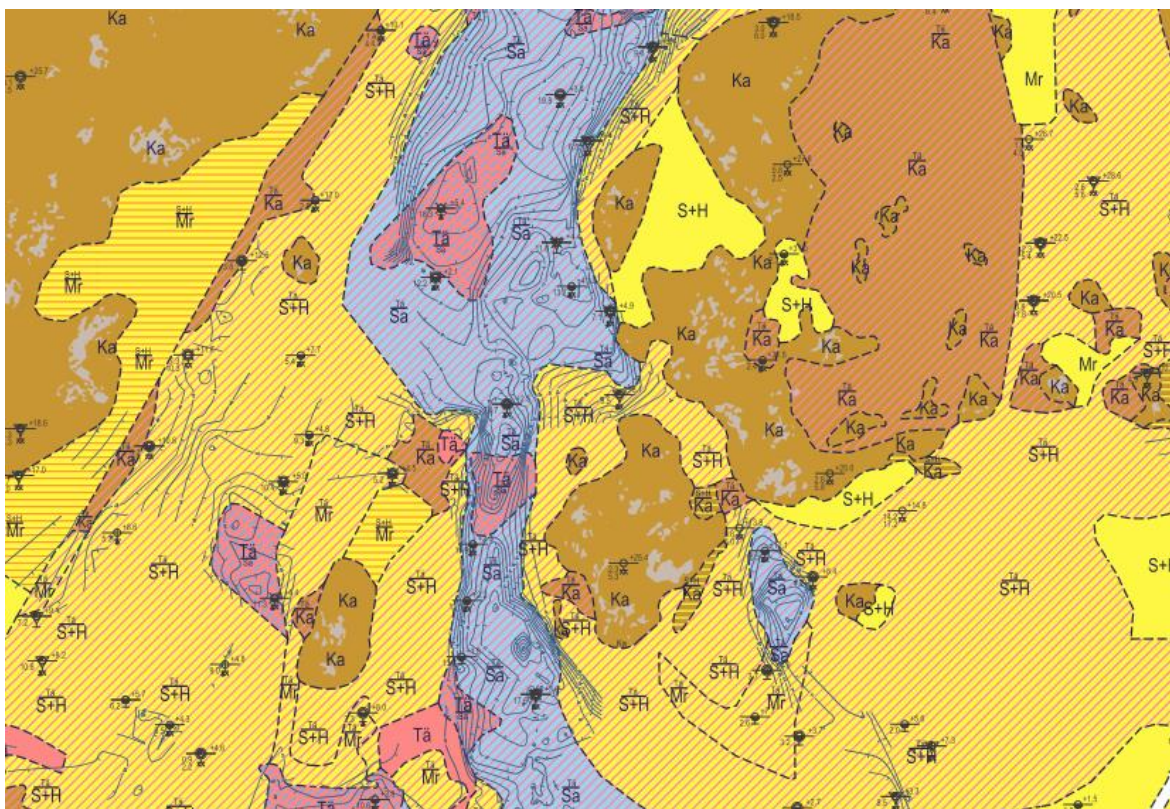
3.3 Helsingin maaperä

Helsingin maaperän tyypillisessä kerrosrakenteessa peruskallion päällä on maksimissaan muutaman metrin paksuinen silttimoreeni- tai hiekkamoreenikerros. Kaupungin alueesta noin 35 % on kallioalueita, 30 % saven peittämää, 20 % moreenia ja 15 % sora- ja hiekkaluoteita. (Helsingin kaupunki 2020b.)

Helsingin maaperä on vahvasti mannerjään muokkaamaa, ja moreeniselänteiden ja harjujen suunta on usein kaakkoinen tai eteläkaakkoinen. Maakerroksen paksuus ylittää vain harvoin muutamaa metriä. Kallioisia mäkiä reunustaa moreeni, jonka päällä on usein hiekkakerroksia ja toisinaan jopa 20 m paksuja savikerroksia. Näiden päällä on yleensä ohut kerros eloperäisiä maalajeja, turvetta ja liejua. Suurin osa soista on kuivattu ja täytetty,

lukuun ottamatta muutamia pieniä lähes luonnontilaisina säilyneitä soita. (Helsingin kaupunki 2020b.)

Kuviossa 7 on ote maaperäkartasta Helsingin Roihuvuoren alueelta. S+H tarkoittaa siltti- ja hiekkakerroksen, Ka kallion, Sa savikerroksen, ja Mr moreenikerroksen päälle muodostunutta enimmillään 1-3 m paksua täyte- tai turvekerrosta. Tä tarkoittaa yli 3 m:n paksuista täytemaakerroksen paksuutta (Helsingin kaupunki 2021a).



Kuvio 7. Ote maaperäkartasta Helsingin Roihuvuoren alueelta (Helsingin kaupunki 2021a)

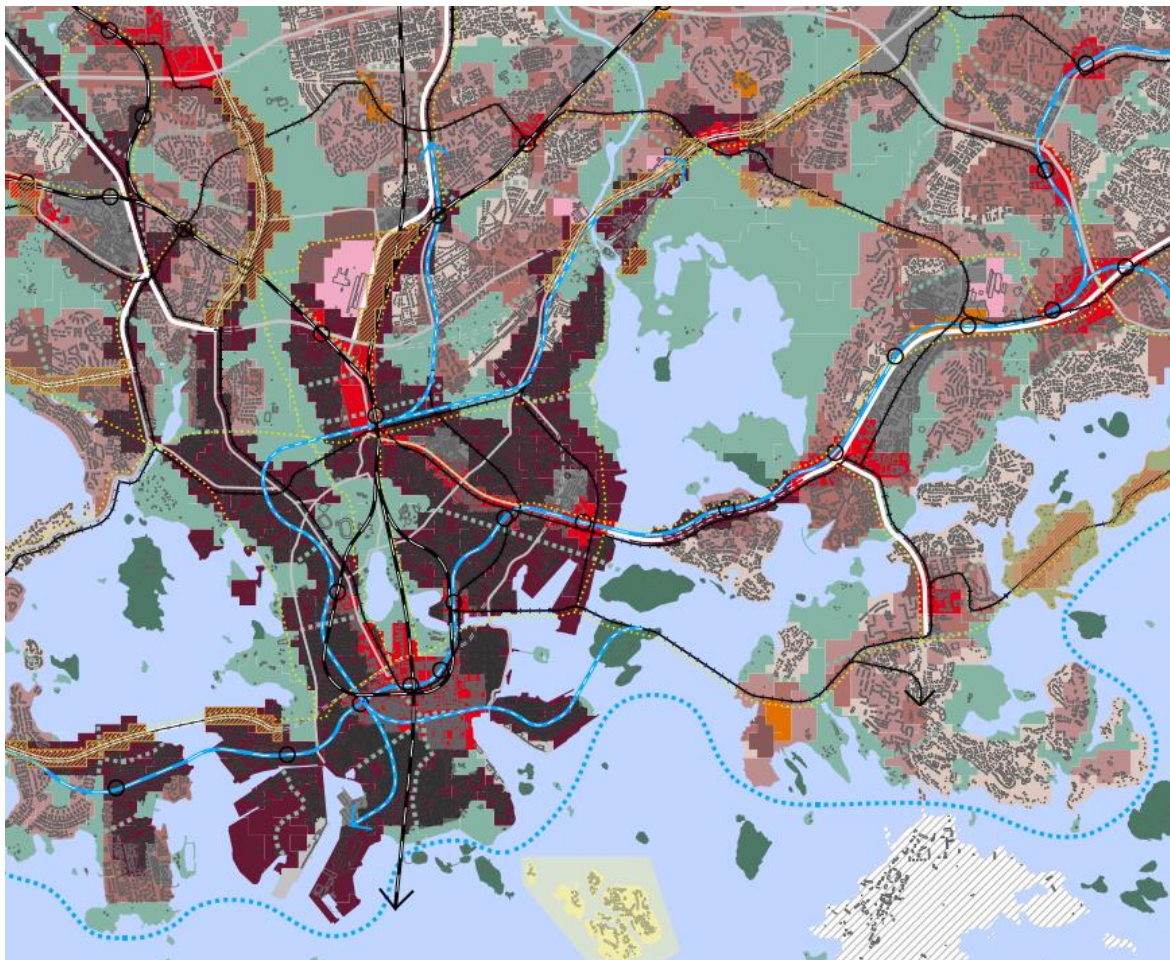
4 Helsingin aluekehittäminen

4.1 Kaavoitus

Suomen nykyiset valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet ovat tulleet voimaan 2017. Tavoitteiksi on asetettu: toimivat yhteiskunnat ja kestävä liikkuminen, tehokas liikennejärjestelmä, terveellinen ja turvallinen elinympäristö, elinvoimainen luonto- ja kulttuuriympäristö sekä luonnonvarat, ja uusiutumiskykyinen energiahuolto. (Valtioneuvoston päätös valtakunnallisista alueidenkäyttötavoitteista YM/2017/81, 1–8.) Valtakunnallisten alueidenkäyttötavoitteiden tehtävinä on toimia viranomaisten vuorovaikutustyön välineenä, sekä varmistaa että kaavoituksessa huomioidaan kansallisesti merkittävät tavoitteet, kansainvälisten sopimusten täytäntöönpano, sekä maankäyttö- ja rakennuslain tavoitteet. (Ympäristöministeriö 2018.)

Kaavahierarkiassa ylimpänä on maakuntakaava. Helsinki kuuluu Helsingin seudun vaihe-
maakuntakaavaan, jonka aikatahtain on vuodessa 2050. Kaava sisältää yleispiirteisen suunnitelman maakunnan alueiden käytöstä. Tärkeinä teemoina on nostettu esiin kansainväliset yhteydet, kasvuun varautuminen ja viherrakenteen vaaliminen tiivistyvässä kaupunkirakenteessa. (Uudenmaan liitto 2021.)

Maakuntakaavaa pienipiirteisemmällä tasolla on yleiskaava. Helsingissä on voimassa Yleiskaava 2016 (kuvio 8), joka tuli lainvoimaiseksi 2018 (Helsingin kaupunki 2016). Kaava kattaa koko kaupungin lukuun ottamatta Östersundomia, jossa on voimassa Helsingin, Siipoon ja Vantaan yhteinen yleiskaava (Östersundom-toimikunta 2018). Helsingin hallinto-oikeus ja korkein oikeus kumosivat yleiskaava 2016:sta tiettyjä kaupunkibulevardeiksi muutettavia moottoritiemäisiä alueita, sekä alueita Tuomarinkylässä, Pornaistenniemessä, Vartiosaarella, Ramsinniemessä, Ilmalassa ja Viikintien ympäristössä. Kyseisille alueille jäi voimaan vanhempi yleiskaava 2002 sekä voimassa olevat osayleiskaavat (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto 2016a, 2–6).



Kuvio 8. Karttaote Helsingin yleiskaava 2016:sta (Helsingin kaupunki 2016)

Yleiskaava on pitkän aikavälin maankäytön suunnitelma, jonka tavoite on ohjata kunnan yhdyskuntarakenteen yhteen sovittamista ja kehittämistä. Yleiskaava on uusittu Helsingissä noin kymmenen vuoden välein ja nykyisen kaavan vision aikajänne on sama kuin maakuntakaavan, eli se ylittää vuoteen 2050 saakka. Vision tavoitteena on kehittää Helsingistä raiteliikenteen verkostokaupunki. Pääkeskusta laajennetaan ja nykyisiä esikaupunkikeskuk- sia kehitetään urbaaneimmiksi keskustoiksi. Arjen palvelut halutaan pitää helposti saavu- tettavissa, ja laajemmat palvelut tulee pystyä saavuttamaan joukkoliikenteen avulla. Kävely, pyöräily ja joukkoliikenne halutaan tuoda arkiliikenteessä varteenotettaviksi vaihtoehdoiksi henkilöautoilulle. Myös yritysten liiketoiminnan kasvun edellytykset, viherverkostot ja virkis- tysalueiden saavutettavuus nähdään yleiskaavassa tärkeinä seikkoina. (Helsingin kaupun- kisuunnitteluvirasto 2016a, 7; 9.)

Yleiskaavaa tarkempaa aluekohtaista rakentamis- ja käyttötarkoitusta ohjaavia asemakaa- voja on Helsingissä satoja (Helsingin kaupunki 2021a). Niiden koko vaihtelee

tonttikohtaisista kaavoista kokonaisen asuinalueen kattaviin kaavoihin. Asemakaavoissa määritellään mm. rakennusten, katujen sekä puistojen koko ja sijainti. (Helsingin kaupunki 2019b.)

Osana kaupunkikehittämistä Helsinki käyttää myös yleisten alueiden suunnitelmia. Suunnitelma-alue voi koskea yhtä tai useampaa kaupunginosaa. Suunnitelmissa kartoitetaan katu- ja viheralueiden palveluiden, rakenteiden ja varusteiden nykytila, ja laaditaan niille parantamissuunnitelma. (Helsingin kaupunki 2020.)

4.2 Aluerakentaminen

Helsingin kaupunkistrategiaan 2017–2021 on merkitty tavoite 6000–7000 asunnon vuosittaisesta rakentamistavoitteesta. Tämä tarkoittaa 600 000–700 000 kerrosneliömetrin asuin-kerrosalan vuosittaista kaavoittamista. Helsingin väestönkasvuennusteen mukaan asukasluku kasvaa vuoden 2021 tammikuun 657 000:sta (Tilastokeskus 2021) vuoteen 2050 mennessä 758 000:een. (Helsingin kaupunki 2018, 22.)

Merkittävänä osana Helsingin aluerakentamisessa on raideliikenteen parantaminen. Uusia raideyhteyksiä rakennetaan mm. Jätkäsaaren, Kalasataman ja Laajasalon alueille (Helsingin kaupunki 2021b), sekä Helsingin Itäkeskuksen ja Espoon Keilaniemen välisen uuden kehäradan, Raide-Jokerin, varrelle (Raide-Jokeri 2021).

Yleiskaavassa osoitetuista maankäyttövarauksista uudelle asuntorakentamiselle noin kolmannes sijaitsee moottoritiemäisten alueiden ympäristöissä ja lähes saman verran täydennysrakentamiskohteissa. Myös viheralueiden reunoja on tarkistettu, joista suurin yksittäinen muutosalue sijaitsee Keskuspuiston länsireunan moottoritien ramppi- ja melualueella. Muutos on osa Hämeenlinnanväylän muuttamista kaupunkibulevardiksi. Laajimmat rakentamishankkeet on suunnattu raideliikenteen nykyisille ja tuleville asemanseduille kuten Jätkäsaareen, Kalasatamaan, Kruunuvuorenrantaan ja Keski-Pasilaan (Helsingin kaupunki 2019b), kaupunkibulevardeille ja Malmin lentokenttäalueelle. (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto 2016a, 10.)

4.3 Esirakentaminen aluehankkeissa

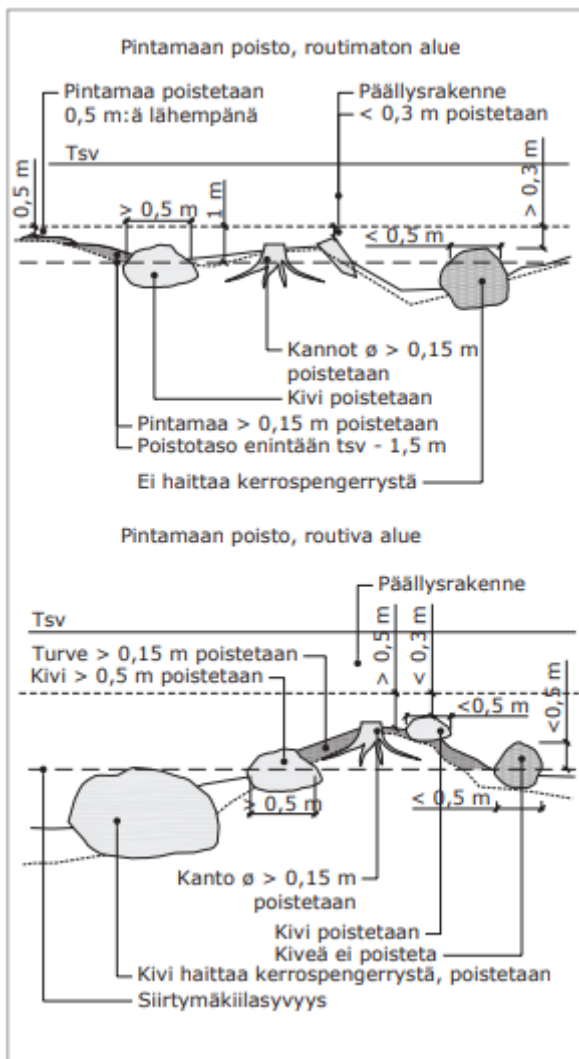
Esirakentamisella tarkoitetaan rakentamisedellytysten luomista rakentamattomille maapohjille ennen alueen varsinaista rakentamista (Rakennustieto 2020), ja sen tarkoituksena on vähentää rakennettavan alueen sortumis- ja painumisriskiä.

Esirakentamiskäytännöt vaihtelevat rakennettavan maaperän ominaisuuksien mukaan. Rakennettava pohjamaa voi vaatia tiivistystä tai stabilointia. Helsingin aluerakentamisen

ideaalitulanteessa rakennettava pohjamaa tiivistetään ylipengertämällä, jossa ylimääräinen täyttömaa puristaa alapuolista pehmeämpää kerrosta. Savimaaperälle rakennettaessa joudutaan maaperää stabiloimaan tai paaluttamaan, josta aiheutuu suuria lisäkustannuksia. Meritäyttöä vaativassa rakentamisessa käytetään Helsingissä täyttömaana usein tunnelikaivussa syntyvää louhetta. (Suominen 2021.)

Rakennuskohteiden maaperä ja kasvillisuus tutkitaan ja määritellään ennen esirakennustöitä. Olemassa oleva puusto poistetaan tai määritellään säilytettäväksi ja suojataan. Jos alkuperäistä aluskasvillisuutta halutaan säästää, sitä voidaan joko siirtää tai suojata rakentamisen ajaksi. Poistettava puusto eritellään hyöty- ja energiapuuksi. Jos alueella on jo olemassa olevia rakennuksia tai muuta infraa, tulee myös se tarpeen ja suunnitelman mukaan joko poistaa, siirtää tai suojata. Syntyvä purkujäte toimitetaan käsiteltäväksi jätelain 646/2011 ja paikallisten ohjeiden mukaisesti. (Rakennustieto 2020.)

Rakennettavalta alueelta poistetaan pintamaa. Pintamaan poistolla tarkoitetaan aluskasvillisuuden, orgaanisen pintamaan, kantojen ja maanpinnan yläpuolelle ulottuvien alle 1 m³:n kivien poistoa sekä pintamaan poistoalueiden pengeralustan muotoilua. Toimenpiteellä pyritään tasalaatuiseen rakennusalustaan, joka tasaa kantavuuseroja ja helpottaa rakentamista. Pintamaan poistossa noudatetaan kuvion 9 mukaisia syvyyksiä, leveyksiä ja vaatimuksia. (Rakennustieto 2020.)



Kuvio 9. Pintamaan poisto-ohje (Rakennustieto 2020)

Pintamaan poisto tapahtuu kerroksittain maan laadun mukaan. Poistettu pintamaa pyritään hyödyntämään. Kasvualustaksi kelpaava pintamaa varastoidaan rakentamisen ajaksi ja rakentamiseen kelpaamaton maa- ja kiviaines kuljetetaan sille osoitettuun paikkaan. Poisto pyritään tekemään kuivalla säällä ja massat varastoidaan erillisiksi aumoiksi maan laadun mukaan. Aumojen pinta tiivistetään sadeveden imeytymisen estämiseksi. Mikäli poisto joudutaan tekemään märällä säällä, kasataan massat ensin kuivumaan löyhiksi kasoiksi ja kuivumisen jälkeen aumoiksi. Aumat pidetään puhtaina rikkakasveista tai rikkakasvit poistetaan ennen uusiokäyttöä. Pilaantuneiksi tai haitallisia vieraslajeja sisältäviksi tiedetyt tai työn aikana pilaantuneiksi tai haitallisilla vieraslajeilla saastuneiksi todetut massat käsitellään viranomaisohjeistuksen mukaan. Kivien ja kantojen poistossa syntyneet kuopat täytetään ja kuorinnassa syntyneet muut kaltevuudet tasoitellaan loivemmiksi (kuvio 10). (Rakennustieto 2020.)



Kuvio 10. Kuoppien ja kohoumien tasoitus (Rakennustieto 2020)

Helsingissä kuorittavat pintamaat pyritään kierrättämään ja hyödyntämään rakennettavan uuden pintamaan kasvualustamateriaalina. Toimenpide pyritään tekemään paikan päällä, mutta kovin usein tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, vaan massat viedään kierrätysalueille käsiteltäviksi ja sitä kautta uudelleenhyödynnettäviksi. Pintamaan poistossa pyritään lajittelevaan kaivutapaan, jotta maa-ainekset eivät sekoittuisi keskenään. Helsingissä kuorittavasta pintamaasta yli puolet pystytään kierrättämään. (Suominen 2021.) Yleisesti maa- ja kiviainesten kierrätysaste Helsingissä on noin 90 % (Nevalainen 2021).

Hyödynnettäväksi kelpaamatonta pintamaata päätyy maankaatopaikalle (Suominen 2021). Syitä voi olla maaperän pilaantuneisuus, haitalliset vieraslajit tai maaperän sisältämä rakennusjäte. Jotkin pilaantuneisuuden raja-arvot ylittävien kynnyksarvomaiden käyttöä selvitetään. Käyttökohteita voisi olla esimerkiksi moottoriteiden viherrakentamisessa. Haitallisia vieraslajeja sisältävästä, muuten kierrätyskelpoisesta maa-aineksesta tutkitaan vieraslajien tukahduttamisen ja niiden siemenpankin tuhoamisen mahdollisuutta (Knuuti 2021).

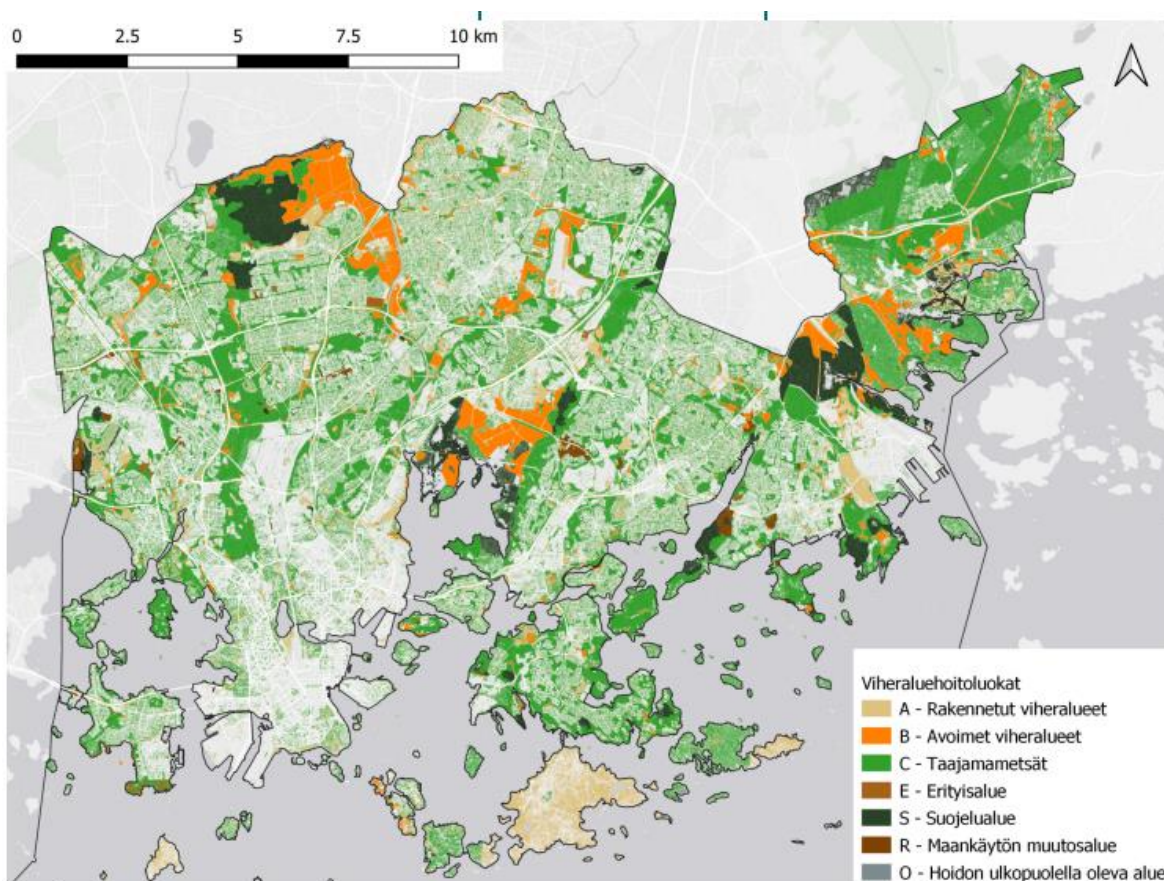
4.4 Viheralueet

Viheralueiden luokittelussa käyttötarkoituksen ja hoitotarpeen mukaan on käytetty valtakunnallista Viherympäristöliiton ABC-hoitoluokitusta. Vuonna 2020 liiton julkaisemassa luokituksessa ABC-hoitoluokitus korvattiin RAMS-kunnossapitoluokituksella. Molemmissa luokituksissa alueet jaetaan pääluokkiin, alaluokkiin ja pääluokkia täydentäviin luokkiin. Luokitukset ovat soveltuvia sekä julkisilla, että yksityisillä alueilla käytettäviksi. (Viherympäristöliitto 2020, 2–7.) ABC- ja RAMS-luokitukset, sekä niiden vastaavuus, on esitetty taulukossa 2.

VIHERALUEIDEN HOITOLUOKITUS (ABC-LUOKITUS)	VIHERALUEIDEN KUNNOSSAPITOLUOKITUS (RAMS-LUOKITUS)	VIHERALUEIDEN HOITOLUOKITUS (ABC-LUOKITUS)	VIHERALUEIDEN KUNNOSSAPITOLUOKITUS (RAMS-LUOKITUS)
PÄÄLUOKAT JA NIIDEN ALALUOKAT		PÄÄLUOKKIA TÄYDENTÄVÄT LUOKAT	
A Rakennetut viheralueet	R Rakennetut viheralueet	E Erityisalueet	-
A1 Edustusviheralue	R1 Rakennettu arvoviheralue	S Suojelualueet	S Suojelualueet
A2 Käyttöviheralue	R2 Toimintaviheralue	R Maankäytön muutosalueet	x Maankäytön muutosalueet: Rx Muutosalue, jota kunnossapidetaan rakennetun viheralueen mukaisessa ulkoasussa Ax Muutosalue, jota kunnossapidetaan avoimen viheralueen mukaisessa ulkoasussa Mx Muutosalue, jota kunnossapidetaan metsän mukaisessa ulkoasussa
A3 Käyttö- ja suojaviheralue	R3 Käyttöviheralue R4 Suoja- ja vaihtumisviheralue	0 Luokittelemattomat alueet	-
B Avoimet viheralueet	A Avoimet viheralueet	P Puhtaanapitoluokitus	P Viheralueiden puhtaanapitoluokitus
B5 Arvoniitty	A1 Arvoniitty	P1 Päivittäin (ma-la)	P1 Päivittäin (ma-la)
B2 Käyttöniitty	A2 Käyttöniitty	P2 Työpäivinä (ma-pe)	P2 Työpäivinä (ma-pe)
B3 Maisemaniitty ja laidunalue	A3 Maisemaniitty	P3 Viikoittain	P3 Viikoittain (3 krt/vk)
B4 Avoimet alueet ja näkymät	A4 Avoin alue	-	P4 Viikoittain (2 krt/vk)
B1 Maisemapelto	A5 Maisemapelto	-	P5 Viikoittain (1 krt/vk)
C Taajamametsät	M Metsät	P4 Kuukausittain	P6 Kuukausittain
C5 Arvometsä	M1 Arvometsä	P5 Vuosittain	P7 Vuosittain
C1 Lähimetsä	M2 Lähimetsä	P6 Määrä vuosin	-
C2 Ulkoilu- ja virkistysmetsä	M3 Ulkoilu- ja virkistysmetsä		
C3 Suojametsä	M4 Suojametsä		
C4 Talousmetsä	M5 Talousmetsä		

Taulukko 2. ABC- ja RAMS-luokitus, sekä niiden vastaavuus (Viherympäristöliitto 2021)

Pääkaupunkiseudun hiilinieluista ja -varastoista tehdyn selvityksen (Simosol Oy ym. 2020, 4–17) mukaan Helsingin viherpinta-ala on noin 12 400 ha, eli noin 59 % kaupungin maapinta-alasta (kuvio 11). Selvityksen pohjatietona on käytetty Helsingin ABC-viheraluehoito-luokituksen tietoja, ja aineistoa on täydennetty Helsingin kaupungin ja Suomen Metsäkeskuksen metsävaratiedoilla, sekä seudullisen maanpeiteaineiston (SMPA) ja valtakunnan metsien inventointitiedoilla (VMI). Lähdeaineistotulokset kattavat pääasiassa muun pinta-alan paitsi rakennukset, päällystetyt maanpinnat ja vesialueet. Tiedoissa on havaittavissa virheellinen luokitus ainakin puolustusvoimien hallinnoimilla alueilla. Yleiskaava 2016:ssa viheralueiden kattavuudeksi maapinta-alasta on arvioitu n. 40 % (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto 2016a, 167).



Kuvio 11. Helsingin viheralueet ABC-viheraluehoitoluokittain (Simosol Oy ym. 2020, 16)

Yleiskaava 2016 mukaan merkittävimpiä uusia kunnallisia viher- ja virkistysalueita perustetaan puolustusvoimilta vapautuviin saariin (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto 2016a, 10). Puolustusvoimilta jo vapautuneita saaria Helsingissä on Lonna, Harakka, Koirasaari, Rysäkari, Vallisaari ja Kuninkaansaari. Lisäksi siviilien ja puolustusvoimien yhteiskäyttö on mahdollistunut Isosaassa. (Uudenmaan liitto 2018,14.) Merellisen virkistysvyöhykkeen lisäksi yleiskaavassa nostetaan esille Helsingin seudulle tyypilliset vihersormet, poikittaiset viheryhteydet ja muut laajemmat viheralueet. Alueet pyritään nivomaan yhtenäiseksi ekologiseksi verkostoksi, jossa virkistys-, kulttuuri- ja luontoarvot turvataan verkoston metsäinen luonne säilyttäen. (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto 2016a, 46–47.) Viherverkostoa on kuvattu yleiskaavan liitteenä olevassa kaupunkiluonnon temakartassa (kuvio 12).

2021.) Nurmikkojen rakentamisessa päädytään lähtökohtaisesti pintamaiden vaihtoon, sillä alkuperäinen ravinteikkaus ja koostumus eivät riitä vaadittavaan tasoon. (Suominen 2021.)

Infrarakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa (InfraRYL) on kuvattu kaupunkien puistorakentamisessa käytettävien kasvualustojen paksuuksia ja käytettävän maa-aineksen koostumusta (Rakennustieto 2020). Helsingissä käytetään InfraRYL:n kasvualustapaksuuksia. Tästä poiketen on tehty uudet ohjeet maaperää säästävästä istuttamisesta, jossa esimerkiksi puita voidaan istuttaa kaivamiselta säästettävään pintamaahan rakennettaville kasvualustakummuille. (Knuuti 2021.)

Kierrätysmaiden käytöstä kasvualustoissa Helsingin kaupungin puisto- ja katuhankkeissa on laadittu ohje suunnittelijoille. Helsingin kierrätyskasvualustaratkaisut perustuvat joko maaperän säilyttämiseen, maa-aineksen ja kasvillisuuden siirtoon, maa-aineksen käyttöön perusmaana tai kasvualustavalmistuksen raaka-aineena. Kasvualustojen suunnittelussa lähtökohtana on lähtömateriaalien selvittäminen ja tavoiteltu kasvillisuus. Kierrätyskasvualustoiksi sopivia maa-aineksia on sekä pintamaissa että syvemmissä perusmaissa. Kierrätettävien maa-aineksien sisältämää siemenpankkia ja juuristoa voidaan käyttää kasvillisuussuunnittelun resurssina ja lähtökohtana. (Helsingin kaupunki 2020c, 1; 16.)

Kierrätetyillä pintamailla perustettuja viheralueita Helsingissä on mm. Vuosaarenhuippu, joka on perustettu vanhalle kaatopaikka- ja ylijäämämaiden läjitysalueelle, Ida Aalbergin puisto, joka on entinen ampumarata-alue, sekä Alakivenpuisto, Vuosaaren liikuntapuisto, Pukinmäen rantapuisto, Kaitalahdenkuru sekä Viikinojan viljelypastat (Yli-Jama 2020, 17). Vuosaarenhuippu on merkittävä kierrätettyjen ylijäämämaiden ja kasvualustojen pioneeri-kohte Helsingissä. Alueen rakentaminen on ollut maa-ainesten uusiokäyttöä testaavaa koerakentamista. Rakentamisen yhteydessä on kehitetty maa-ainesten otossa käytettäviä kaivutapoja ylijäämämaiden hyötykäyttöä edistävämmäksi. Kasvillisuuden suunnittelun lähtökohtana on ollut luoda monipuolisia kasvillisuus- ja elinympäristöjä hyödyntäen kierrätettävien pintamaiden alkuperäistä koostumusta, maaperäeliöstöä sekä kasvillisuutta. (Laulumaa 2017.)

Viherrakentamisen vaatima erilaisten koneiden käyttö, massojen kuljetus ja tuotteiden valmistus aiheuttaa hiilipäästöjä. Tässä työssä ei laskennallisesti tarkastella näitä osa-alueita, mutta todettakoon, että aluerakentamisen kokonaishiilijalanjälkeä laskettaessa nämä tulisi ottaa huomioon. Todettakoon myös, että vaikka työssä keskitytään puistorakentamiseen hiilensidonnasta näkökulmasta, on puistojen perustamisella ensisijaisesti sosiaalinen, esteettinen ja kaupunkiluonnon monimuotoisuutta lisäävä merkitys.

5 Viheralueiden hiilivarastot ja -nielut

5.1 Metsät

Suomessa on metsätalousmaata 26,2 Mha eli 86 % maapinta-alasta. Tästä 77 % on metsämaata ja loput kitumaata, puutonta joutomaata sekä metsäautoteitä. Valtakunnan metsien tuoreimman 2014–2018 inventoinnin (VMI) mukaan, puuston kokonaisbiomassa on 1745 Mt. (Luke 2018,15; 32.) Puuston hiilivaraston koko laskettuna puumassan hiilipitoisuudella 47 % (IPCC, 2006b) on tällöin 820 Mt ja pinta-alakohtainen keskiarvo noin 3,1 kg/m².

Liskin ym. (2006, 691) mukaan kangasmetsien biomassan hiilivarasto oli vuonna 2004 yhteensä 823 Mt, keskimääräisen varaston ollessa 4,0 kg/m². Biomassan määrä lisääntyi vuosien 1922–2004 tarkastelujaksolla noin 0,011 kg/m²/a. Maaperän hiilivaraston arvioitiin olevan 959 Mt, ja keskimääräisesti 6,3 kg/m². Maaperän hiilivaraston todettiin kasvaneen 0,2 kg/m² koko tarkastelujakson aikana, kun hiilen siirtyminen metsien ja muiden maankäyttömuutosten välillä otettiin huomioon. Maaperämittaus tehtiin 1 metrin syvyyteen saakka.

Kramarenkon (2012, 21; 34) mukaan kangasmetsien maaperähiiltä on sitoutunut eniten pintakerrokseen (taulukko 3). Hiilen määrän todettiin kuitenkin kasvavan eniten mittauksen syvimmässä kerroksessa (taulukko 4). Keskiarvoisen maaperähiilivaraston laskettiin olevan tutkimuksessa 5,65 kg/m² mitattuna karikkekerroksesta 40 cm syvyyteen saakka.

Maakerros	Keskiarvo C, kg m ⁻²	Mediaani C, kg m ⁻²
Orgaaninen kerros	2,10	1,95
Kivennäismaa 0-20 cm	2,26	1,95
Kivennäismaa 20-40 cm	1,30	1,15
Kivennäismaa 0-40 cm	3,56	3,07
Yhteensä	5,65	5,18

Taulukko 3. Kangasmetsän maaperähiilen varastomääriä eri syvyyskerroksissa (Kramarenko 2012, 21)

Maakerros	Keskiarvo, C, g m ⁻² a ⁻¹	Mediaani, C, g m ⁻² a ⁻¹
Orgaaninen kerros	11,4	8,6
Kivennäismaa 0-20 cm	6,8	4,5
Kivennäismaa 20-40 cm	15,7	11,3
Kivennäismaa 0-40 cm	22,5	13,2
Yhteensä	33,9	29,1

Taulukko 4. Kangasmetsän maaperähiilinielu eri syvyyskerroksissa (Kramarenko 2012, 34)

5.2 Turvemaat

Suomen maapinta-alasta noin 30 % on turvemaita. Vuonna 2000 vajaat 55 % turvemaista oli ojitettu metsätaloukseen ja 38,4 % oli kuivaamattomia. Loppuosuus oli maatalouskäytössä, pintavesien peittämänä, teiden alla ja turvetuotannossa. (Turunen 2008, 320.)

Turvemaiden hiilivarastot ovat moninkertaiset metsämaihin verrattuna. Turvemaiden kokonaishiilivarastoksi on arvioitu vuonna 2000 noin 5960 Mt. Turpeen osuus tästä on noin 5300 Mt, elävän kasvillisuuden noin 300 Mt, maaperän noin 300 Mt ja loput sitoutuneena hautautuneeseen puuainekseen. (Turunen 2008, 325–328.) Turvekerroksen paksuus turvemaidella vaihtelee suuresti, joten keskimääräistä pinta-alakohtaista hiilivarastoarvoa ei ole mielekäästä laskea.

Vuosien 1950 ja 2000 välisen tarkastelujakson aikana turvemaiden kasvillisuuden sisältämä hiilivarasto kasvoi 124 Mt, keskiarvoisen vuosikasvun ollessa 2,5 Mt/a. Maaperän hiilivarasto kasvoi saman jakson aikana 147 Mt, keskiarvoisen vuosikasvun ollessa 2,9 Mt/a. (Turunen 2008, 328.)

5.3 Pellot ja muut avoimet viheralueet

Heikkinen ym. (2013, 1462) ovat kartoittaneet Suomen viljelysmaiden maaperän hiilivarastot. Kivennäismaiden peltojen keskimääräinen hiilivarasto vaihteli 4,1 kg/m²–6,7 kg/m² välillä, keskiarvon ollessa 5,4 kg/m². Kivennäismaiden peltojen hiilivuon laskettiin keskiarvoisesti olevan 0,02 kg/m²/a. Orgaanisen maaperän peltojen hiilivarasto vaihteli 12,8 kg/m²–20,2 kg/m² välillä, keskiarvon ollessa 16,6 kg/m². Orgaanisen maaperän peltojen hiilivuon laskettiin olevan 0,05 kg/m²/a. Mittaukset suoritettiin 15 cm syvyyteen saakka. Viljelysmaiden mittauksien yleinen käytäntö syvemmän maakerroksen huomiotta jättämisestä, tekee vertailusta muihin maaperätyyppeihin hankalaa (Linden ym. 2020, 7). Syvemmissä

maakerroksessa hiilivarasto on tosin paljon pienempi kuin pintakerroksessa (Heikkinen ym. 2013, 1465). Koska viljelyiltä pelloilta kerätään kasvimateriaali sadonkorjuun yhteydessä pois, voidaan kasvillisuuden hiilivarastojen nähdä olevan yhtä kuin 0.

Muiden avointen viheralueiden kuten erilaisten niittyjen ja näkemäalueiden kasvillisuuden hiilivaraston arvioinnissa on Simosolin ym. (2020, 10) selvityksessä käytetty arviota kasvillisuuden suhteellisesta osuudesta metsän biomassaan verrattuna. Osuuden on arvioitu olevan 5–10 %. Tällöin niittyjen ja näkemäalueiden kasvillisuuden hiilivarasto kangasmetsän biomassan keskimääräisestä hiilivarastoarvosta $4,0 \text{ kg/m}^2$ (Liski ym. 2006, 691) laskettuna olisi $0,2\text{--}0,4 \text{ kg/m}^2$.

5.4 Rakennetut viheralueet

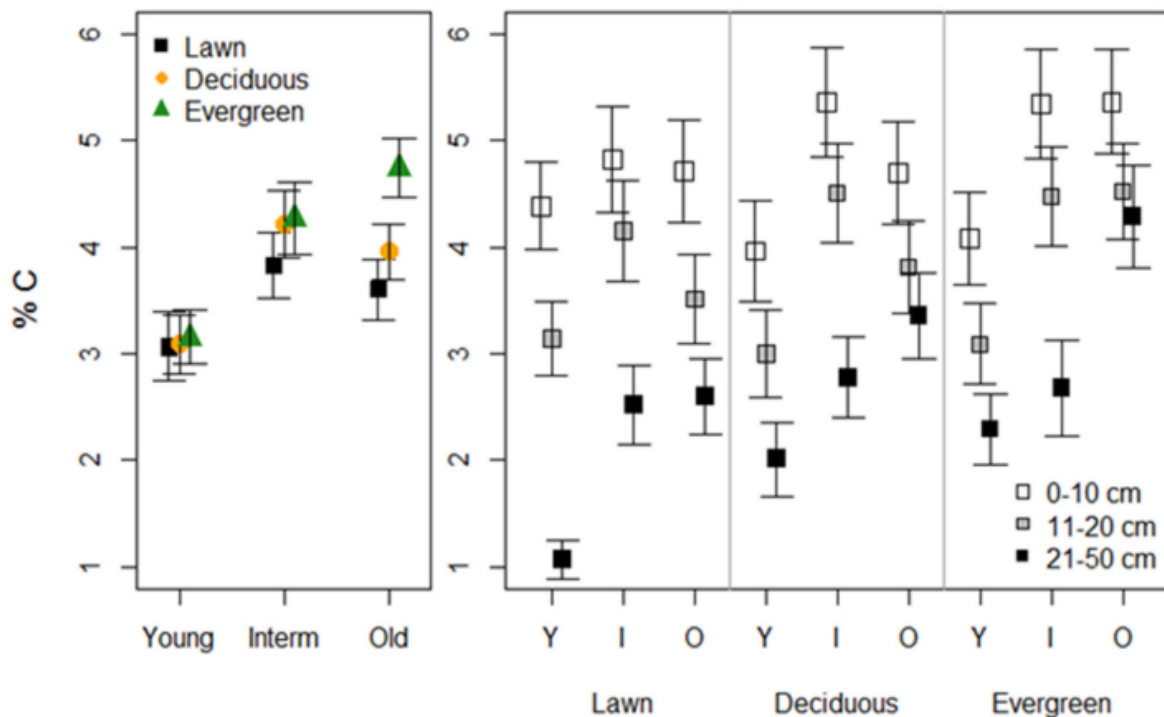
Lindenin ym. (2020, 1; 5) tutkimuksessa mitattiin Helsingin A-hoitoluokkien puistopuiden ja -maaperän hiilipitoisuutta. Keskiarvoinen kokonaishiilivarasto sisältäen myös puistojen ei kasvipeitteiset alat oli 13 kg/m^2 . Tästä $2,5 \text{ kg/m}^2$ oli sitoutuneena puihin, ja $10,4 \text{ kg/m}^2$ maaperään. Kasvipeitteisen maaperän keskimääräinen hiilivarasto oli $15,5 \text{ kg/m}^2$. Laskettuna maaperähiilen lukuarvojen suhteella, puiden keskiarvoiseksi hiilivarastoarvoksi kasvipeitteiselle alalle saadaan $3,7 \text{ kg/m}^2$. Pinnoitettujen alojen alla ei oletettu olevan merkittävää hiilivarastoa, koska pintojen rakentaminen tapahtuu paksun sorakerroksen päälle. Lun ym. (2020, 1) tutkimuksessa arvioitiin läpäisemättömäksi rakennetun kaupunkimaaperän voivan sisältää $1,20 \text{ kg/m}^2$ hiiltä. Hiilen määrä pintakerroksessa oli huomattavasti pienempi kasvipeitteisiin alueisiin verrattuna, mutta metrin syvyydessä ero kaventui.

Lindenin ym. (2020, 4–8) maaperämittaukset suoritettiin 90 cm syvyyteen saakka. Hiilipitoisuus 0–30 cm syvyydessä oli keskiarvoisesti 4,45 %, 31–60 cm syvyydessä 3,63 % ja 61–90 cm syvyydessä 2,88 %. Pensas- ja perennaistutusten huomattiin lisäävän maaperän hiilipitoisuutta nurmialueisiin nähden. Hoitoluokkakohtaisesti vertailtaessa havaittiin A1 luokassa hieman suurempi 3,99 %:n arvo A3:n 3,39 % arvoon verrattuna. Puiston rakentamisajankohdasta tai perusparannuksesta kulunut aika oli verrannollinen maaperähiilen määrään 50 vuoteen saakka.

Puuston koko vaikutti kasvillisuuden hiilivarastoihin merkittävimmin. Vaikka pienikokoiset, halkaisijaltaan 2,5–14,9 cm, olevat puut edustivat 47 %:a otannasta, oli niiden hiilipitoisuus kuitenkin vain 3 % kokonaisuudesta. Kaksi kolmannesta hiilivarastosta sijaitsikin halkaisijaltaan 30–60 cm olevissa keskikokoisissa puissa. Puistoluokkien A1, A2 ja A3 välillä ei havaittu suuria eroja kasvillisuuden hiilivarastojen välillä. Puiston ikä sen sijaan vaikutti positiivisesti kasvillisuuden hiilivaraston kokoon 100 ikävuoteen saakka. (Linden ym. 2020, 4.)

Turusen (2013, 23) mukaan Helsingin puistojen A-hoitoluokan puutiheys on 150 kpl/ha puistojen kokonaisalalla. Puiden keskimääräinen hiilivarasto on 2,81 kg/m² ja vuosittainen hiilinielu 0,10 kg/m².

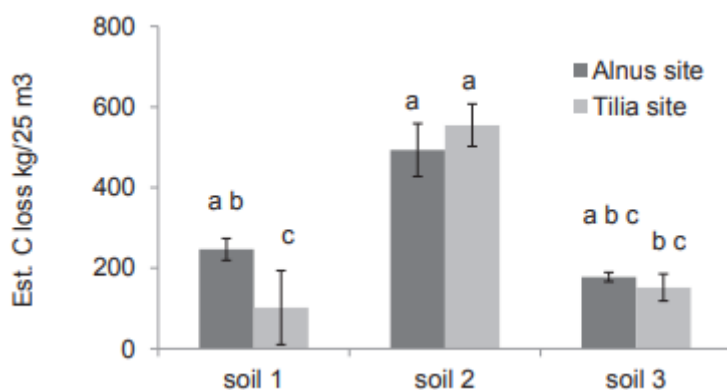
Setälä ym. (2016, 4–5; 14) on mitannut puiston iän ja lehti- ja havupuiden vaikutusta puistomaaperän hiilivarastoon. Tutkimuksessa mitattiin Helsingin ja Lahden alueen nuorien puistojen (7–15 vuotta), keski-ikäisten puistojen (40–60 vuotta) ja vanhojen (yli 100 vuotta) puistojen maaperän hiilipitoisuutta nurmivaltaisilla, lehtipuuvallaisilla ja havupuuvallaisilla puistoalueilla. Mittaus tehtiin 50 cm syvyyteen saakka ja tuloksissa on huomioitu vain puiston kasvipeitteinen pinta-ala. Nurmivaltaiset ja nuoret puistomaaperät sisälsivät vähiten hiiltä, ja vanhat ja havupuuvallaiset puistomaaperät eniten (kuvio 13). Puistomaaperän hiilivarasto oli nuorilla nurmivaltaisilla puistoilla 14,90 kg/m², lehtipuuvallaisilla 21,40 kg/m² ja havupuuvallaisilla 18,90 kg/m². Vanhojen nurmivaltaisten puistomaaperien hiilivarasto oli 22,02 kg/m², lehtipuuvallaiten 23,40 kg/m² ja havupuuvallaiten 35,50 kg/m². 50 vuotta todettiin olevan riittävä aika puistomaaperän hiilitasapainon saavuttamiseen.



Kuvio 13. Kasvillisuuden ja puiston iän vaikutus puistomaaperän hiilipitoisuuteen eri syvyyksillä (Setälä ym. 2016, 9)

Katupuut istutetaan Riikosen ym. (2017, 85; 90) mukaan usein muuhun katurakenteeseen rajautuvaan maaperään. Istutusmaana käytetään keinotekoista, sekoitettua maa-ainesta, jolla on suuri 40–50 kg/m² hiilipitoisuus. Kantavan kasvualustan tilavuudesta 2/3–3/4 on kiviä, ja noin 1/3–1/4 kasvualustaa, jolloin koko kasvualustarakenteen hiilipitoisuus on 10–20 kg/m². Kasvualusta on usein pinnoitettu maan pinnalta, eikä puustosta syntyvää lehtikariketta pääse sekoittumaan takaisin kasvualustaan. Katupuiden istutusmaaperän hiilivaraston muutosta on mitattu ja siinä on havaittu suuri hiilivuo istutusrakentamisen jälkeisinä vuosina. Keinotekoisien kasvualustan orgaaninen aine hajoaa nopeasti, eikä suljettuun kasvualustaan pääse juuri sekoittumaan uutta orgaanista ainesta. Tämän vuoksi hiiltä menetetään ilmakehään. Rakentamista seuraavien 10 vuoden aikana menetetyt hiilivaraston laskettiin sitoutuneen takaisin katupuihin 30–55 vuoden aikajaksolla. (Riikonen ym. 2017.) Myös puistojen rakentamista seuraavien vuosien aikana pintamaan hiilivarastoa todennäköisesti menetetään jonkin verran. Menetyksen ollessa kasvillisuuden ja karikkeen tuoman hiilisyötteen vuoksi todennäköisesti pienempi katupuiden maaperään verrattuna.

Lepän ja lehmuksen katupuuistutusmaaperän hiilivuon tutkimustuloksia on esitetty kuviossa 14. Maaperä 1 sisälsi lähinnä hiekkaa, savea ja turvetta. Maaperä 2:n hienoaines oli johdettu kompostoidusta jätevesilietteestä, johon oli sekoitettu turvetta, hiekkaa ja männyn kuorta. Maaperä 3:n raaka-aineina oli hienoa soraa, hiekkaa, savea ja lehtikompostia. (Riikonen ym. 2017, 86.)



Kuvio 14. Katupuiden istutusmaaperän hiilivuo eri maaperälaaduissa maaperärakentamista seuraavien ensimmäisen 10 vuoden aikana (Riikonen ym. 2017, 89)

5.5 Helsingin viheralueet

Pääkaupunkiseudun hiilinieluista ja -varastoista tehdyssä selvityksessä (Simosol Oy ym. 2020, 4–17) on laskettu Helsingin kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastot (taulukko 5) ja hiilivuot (taulukko 6). Hiilivuon negatiivinen arvo kuvaa hiilivaraston kasvua. Tulokset on jaettu ABC-hoitoluokittain ja ilmoitettu hiilidioksidimäärinä. Selvityksen pohjatietona on käytetty Helsingin ABC-viheraluehoitoluokituksen tietoja, ja aineistoa on täydennetty Helsingin kaupungin ja Suomen Metsäkeskuksen metsävaratiedoilla, sekä seudullisen maanpeiteaineiston (SMPA) ja valtakunnan metsien inventointitiedoilla (VMI). Lähdeaineistotulokset kattavat pääasiassa muun pinta-alan paitsi rakennukset, päällystetyt maanpinnat ja vesialueet.

Maaperän hiilivarastojen koon laskemisessa on hyödynnetty Yasso15-maaperämallia, jolla pystytään mallintamaan kivennäismaiden hiilivarastojen kehitystä. Peltoalojen (B1) hiilisyöteen laskennassa on hyödynnetty kunnan maataloustilastointia. Kasvillisuuden biomassan ja maaperähiilen välistä kehitystä on laskettu lähtöarvoja, kuntakohtaisia ilmasto-olosuhteita ja biomassan kehitysodotuksia hyödyntäen. A ja B -hoitoluokissa kasvillisuuden määrän oletettiin pysyvän vakiona, joten vuotuista hiilinielua ei oletettu olevan. Maaperän hiilivarastojen muutosta laskettiin nurmimaisen biomassan keräysosuuden perusteella. (Simosol Oy ym. 2020, 4–17.)

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

Taulukko 5. Helsingin viheralueiden hiilivarastot 2019 (Simosol Oy ym. 2020, 17)

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

Taulukko 6. Helsingin viheralueiden hiilivuot 2019 (Simosol Oy ym. 2020, 17)

Selvityksessä on suuria eroavaisuuksia A-hoitoluokan osalta Lindenin ym. (2020), Setälän ym. (2016) ja Turusen (2013) tutkimustuloksiin verrattuna. Käytetty Yasso 15-maaperämalli on parametrisoitu metsä- ja maatalousmaille, ja kaupunkiympäristön ja rakennettujen viheralueiden parametrisointi on vielä kehitteillä (Havu ym. 2019). Selvityksessä puolustusvoimien hallinnoimat alueet on laskettu A-hoitoluokkaan kuuluviksi. A ja B -hoitoluokkien hiilisyötteen on oletettu vallinneen maaperään 50 vuotta. Tämä on aika, jolloin puistomaaperä on saavuttanut hiilitasapainotilan. Tämän vuoksi hiilinieluarvo ei sovellu käytettäväksi uusien puistojen hiilinielujen laskennassa.

B-hoitoluokka sisältää suuren määrän peltopinta-alaa. Peltujen jokavuotinen muokkaus kasvattaa maaperän hiilivuota (Heikkinen ym. 2013, 1466) verrattuna laitumiin, niittyihin ja avoimiin alueisiin, joita ei vuosittain muokata. Peltomailla kasvaa harvoin myöskään puustoa, jota muilla B-hoitoluokan viheralueilla saattaa vähäisessä määrin kasvaa. Tämän vuoksi B-hoitoluokan nieluarvoa ei voi täysin yleistää rakennettavan niittymaaperän hiilinieluarvoksi. Tarkempia tutkimustuloksia Suomen niittyjen hiilensidonnasta ei tosin ole saatavilla.

Lindenin ym. (2020, 1) tutkimuksen mukaan Helsingin A-puistoluokan keskiarvoinen hiilivarausto hiilidioksidimääräksi muutettuna (kaava 1) on 92 tCO₂/ha kasvillisuuden ja 381 tCO₂/ha maaperän osalta. Kasvillisuuden keskiarvoinen hiilinielu (Turunen 2013, 17) muutettuna hiilidioksidiksi on Helsingin puistoissa 3,6 tCO₂/ha/a, puuston koon tietysti vaikuttaessa nielun kokoon. Puistomaaperän hiilinielun keskiarvoiseksi määräksi Helsingin A-puistoluokassa laskin 4,4 tCO₂/ha/a (kaava 3) (kaava 1).

Kaavalla 3 laskin Setälän ym. (2016, 11) tutkimustulosten perusteella puistomaaperän hiilinielun. Laskin vanhan nurmivaltaisen puiston maaperähiilen kasvun määrän nuoreen puistoon nähden, ja jaoin arvon hiilitasapainon saavuttamisiällä (50 vuotta) vähennettynä

nuoren (10 vuotta) puiston iällä. Nuoren puiston iän vähensin sen vuoksi, koska muutosta kohti hiilitasapainoa oli jo tapahtunut puiston iän verran. Täten tulokset ilmaisevat keskiarvoisen hiilinielun määrän puiston iän ollessa 10–50 vuotta. Setälän ym. (2016) tutkimustulokset koskevat puiston kasvipeitteistä pinta-alaa, joten kerroin tuloksen vielä Lindenin ym. (2020) tutkimuksessa käytetyllä Helsingin puistojen A-hoitoluokkien keskiarvoisella kasvipeitteisen alueen osuudella 67,3 %. Laskettu keskiarvo on 0,12 kgC/m²/a.

$$\frac{\text{vanhan puiston maaperän hiilivarasto} - \text{nuoren puiston maaperän hiilivarasto}}{50a - \text{nuoren puiston ikä}} \times$$

$$\text{puiston kasvipeitteisen alan osuus} = \text{hiilinielu kgC/m}^2/\text{a} \quad (\text{kaava 3})$$

6 Hiilivarastot ja -nielut aluehankkeissa

6.1 Kuorittavan pintamaan hiilivarastot ja -nielut

Aluehankkeissa menetettävän hiilivaraston kokoa voidaan arvioida kuorittavan pintamaan pinta-alan ja sen ominaisuuksien mukaan. Taulukoin menetettäviä hiilivarastoja ja -nieluja taulukkoihin 12 ja 13. Jos rakentaminen tapahtuu viheralueille, voidaan menetettävien hiilivarastojen ja -nielujen määrinä karkeasti yleistäen käyttää taulukkojen lukuja. Jos rakentaminen tapahtuu maankäytön muutosalueelle tai vastaavalle, jolla on runsasta kasvipeitteistä alaa, voidaan soveltaa luokkaa ”muut”. Jos rakennettavalla alalla ei ole merkittävää kasvipeitettä, voidaan hiilivarastojen ja -nielujen menetyksen katsoa olevan merkityksettömät.

Taulukoissa 12 ja 13 olen muuttanut Simosol Oy:n ym. (2020, 17) selvityksessä annetut hiilidioksidimäärät hiilimääriksi (kaava 2). Muutin hehtaarikohtaiset luvut neliömetrialoiksi, ja lisäsin tutkimusaineistoista (Turunen 2013, 17; Setälä ym. 2016, 11; Linden ym. 2020, 1) poimitut ja lasketut (kaava 3) hiiliarvot vertailtaviksi A-hoitoluokan osalle. Hiilinielun negatiivinen arvo kuvaa tässä hiilen sitomista pois ilmasta. A-hoitoluokan osalta pidän tutkimustuloksiin viittaavia lukuja todenmukaisempina.

	Kasvillisuuden hiilivarasto	Maaperän hiilivarasto
Hoitoluokka	kgC/m ²	kgC/m ²
A - Rakennetut viheralueet*	0,16	3,60
A - Rakennetut viheralueet**	2,50	10,40
B - Avoimet viheralueet*	0,11	5,29
C - Taajamametsät*	5,54	8,81
S - Suojelualueet*	8,02	13,66
Muut (E, H1, O, R)*	2,46	5,78

Taulukko 12. Kuorittavien pintamaiden kasvillisuuden ja maaperän hiilivarastot, mukailtu lähteistä (* Simosol Oy ym. 2020, 17; ** Linden ym. 2020, 1)

	Kasvillisuuden hiilinielu	Maaperän hiilinielu
Hoitoluokka	kgC/m ² /a	kgC/m ² /a
A - Rakennetut viheralueet*	0	0,02
A - Rakennetut viheralueet	** -0,10	*** -0,12
B - Avoimet viheralueet*	0	0,01
C - Taajamametsät*	-0,23	-0,05
S - Suojelualueet*	-0,24	-0,14
Muut (E, H1, O, R)*	-0,09	-0,02

Taulukko 13. Kuorittavien pintamaiden kasvillisuuden ja maaperän hiilinielut ja -vuot, mukailtu lähteistä (* Simosol Oy ym. 2020, 17; ** Turunen 2013, 17; *** Setälä ym. 2016, 11)

6.2 Kierrätysmaita hyödyntävän hankkeen prosessi

Viherympäristöliitto (WSP Finland Oy, 2019) on julkaissut ohjeet kierrätysmaiden käytöstä viherrakentamisen kasvualustoissa. Ohjeet sisältävät aiheeseen liittyvät määritelmät, tavoitteet, riskien hallinnan, kierrätysmaiden käytön soveltuvuuden, sekä urakoitsijoille asetettavien vaatimusten, laadunvarmistuksen ja omavalvonnan osiot.

Ideaalissa kierrätysmaaprosessissa edetään hankkeen tavoitteiden asettamisesta, selvitysten ja suunnittelun myötä rakentamiseen ja kunnossapitoon. Ensin alueelliset kierrätystavoitteet tulee olla asetettuna ja kierrätysmahdollisuudet selvitettyinä. Tämän jälkeen kierrätystavoitteet voidaan asettaa yksittäisille hankkeille. Edellytyksenä kierrätykselle on, ettei maaperä ole pilaantunutta eikä se sisällä haitallisia vieraslajeja. (WSP Finland Oy, 2019 14.)

Kierrätysmaahankealueen kasvillisuus kartoitetaan, ja alue jaetaan sen perusteella maaperältään yhtenäisiin lohkoihin, joista pintamaat tutkitaan tarkemmin (kuvio 15). Lohkoista arvioidaan maaperän kerrostuneisuus ja laatu, sekä teetetään tarkempi maa-analyysi. Tulokset ja tiedot esitetään kartoin, kuvin ja tekstein. (WSP Finland Oy, 2019.)



Kuvio 15. Pintamaiden yleiskarttoitus (WSP Finland Oy 2019, 16)

Tuloksia käytetään kasvillisuus- ja kasvualustasuunnittelun lähtökohtina. Tulosten perusteella tehdään tarvittaessa pintamaiden käyttösuunnitelma (kuvio 16). Suunnittelija muodostaa rakennettavan viheralueen vision, joka toteuttaa kierrätyksen tavoitteita ja kuvaa tavoiteltua laatua. (WSP Finland Oy, 2019.)



Kuvio 16. Pintamaiden käyttösuunnitelma (WSP Finland Oy 2019, 17)

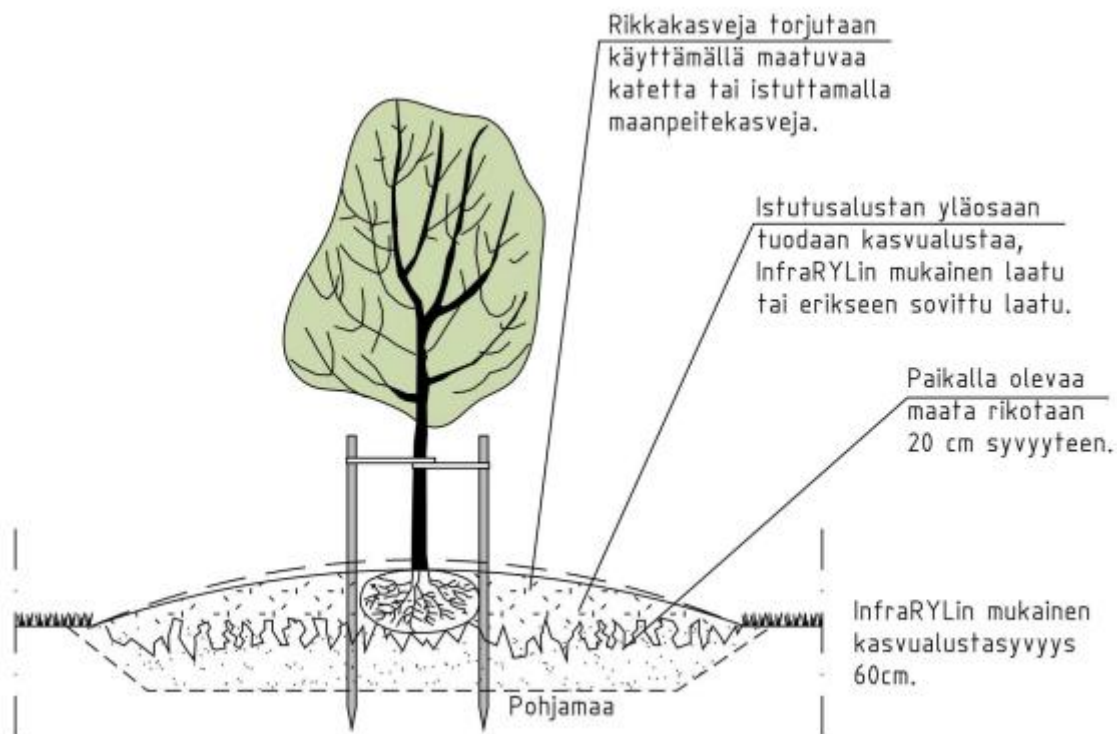
Suunnitelmien ja kartoitusten perusteella suoritetaan hankkeessa tarvittavien ja saatavien maa-ainesten määrän ja laadun arviointi. Määrät taulukoidaan esimerkiksi taulukon 7 mukaisesti. (WSP Finland Oy, 2019 17–18.)

Hankkeessa syntyvät pintamaalajitteet	Ohje	määrä
Luonnonmaannos podsoli: karike- ja humuskerrokset	Karike + humuskerros eritellään tarvittaessa. Useimmiten huuhtoutumiskerroksen yläosa voi olla mukana. Määritetään talteenottosyvyyks. Otetaan kantaa kiviin, mättäisiin ja kantoihin	m ³ ktr
Luonnonmaannos podsoli: huuhtoutumis- ja rikastumiskerrokset	Tarvittaessa	m ³ ktr
Luonnonmaannos ruskomaannos	Karike- ja humuskerros sekä alapuolista maata, talteenottosyvyyks määritellään.	m ³ ktr
Kulttuurimaannos	Pellon muokkauskerros tai istutuksen kasvualustakerros	m ³ ktr
Kivet		kpl tai m ³ ktr
Lisäksi arvioidaan kohteesta saatavat kivennäismaalajitteet		m ³ ktr

Hankkeessa tarvittavat kasvualustat ja katteet	Ohje	määrä
Luonnonmaannos podsoli: karike ja humuskerrokset	Karike + humuskerros eritellään tarvittaessa. Useimmiten huuhtoutumiskerroksen yläosa voi olla mukana. Otetaan kantaa kiviin, mättäisiin ja kantoihin	m ³ ktr
Luonnonmaannos podsoli: uuttumis- ja rikastumiskerrokset	Mahdollisesti	m ³ ktr
Luonnonmaannos ruskomaannos	Karike- ja humuskerros sekä alapuolista maata	m ³ ktr
Pintamaat, kulttuurimaannos	Pellon muokkauskerros tai istutuksen kasvualustakerros	m ³ ktr
Pintamaata muista kohteista	Määritetään laatu, mm. seulonta/sallittu kivien koko	m ³ ktr
Lehtikomposti	Tarkempi määrittely rakennussuunnittelussa	m ³ ktr
Hiekka	Tarkempi määrittely rakennussuunnittelussa	m ³ ktr
Sora	Tarkempi määrittely rakennussuunnittelussa, voi olla seulonnan ylijäämä	m ³ ktr
Kivet	Tarkempi määrittely rakennussuunnittelussa, voi olla seulonnan ylijäämä	kpl tai m ³ ktr
Lisäksi määritetään kohteeseen tarvittavat kivennäismaalajitteet, esim. pohjamaaksi tai vettä pidättäväksi kerrokseksi tarvittavat maat tai kasvualustojen valmistukseen tarvittavat maat	Tarkempi määrittely rakennussuunnittelussa	m ³ ktr

Taulukko 7. Hankkeessa syntyvien ja käytettävien pintamaiden määrän arviointi (WSP Finland Oy 2019, 18)

Rakentamissuunnitelmassa InfraRYL:istä poikkeavat ratkaisut esitetään havainnollisin kuvin (kuvio 17). Rakentamisen aikaisen ja jälkeisen hoitosuunnitelman lisäksi laaditaan pitkän ajan hoitosuunnitelma yhdessä kunnossapitäjän kanssa. (WSP Finland Oy, 2019 19.)



Esimerkki kumpareistutuksesta (WSP Finland Oy 2019, 19)

6.3 Pintamaan kierrätyskäytänteet Helsingissä

Myös Helsingin kaupunki (2020c) on julkaissut ohjeet kierrätysmaiden käytöstä viherrakentamisen kasvualustoissa. Helsingin kaupungin ohje on yhä päivittyvä ja sisältää kaupungin omaksumia käytänteitä. Helsinki pyrkii aktiivisesti kehittämään kierrätysmaiden käyttöä kasvualustoissa ja kaupunki voidaan nähdä Suomessa edelläkävijänä kierrätysmaiden käytössä. Helsingin maaperän kierrätystavoitteet suunnittelun eri tasoilla ovat:

Kaavoitus- ja aluesuunnitteluvaiheessa tunnistetaan maaperän suojelun tarve ja kierrätysmaakohteet.

Hankeohjelmavaiheessa asetetaan tavoitteet ja hahmotetaan esiselvitystarpeet.

Katu- ja puistosuunnitelmissa suunnitellaan talteenotto tavoitteena massatasapaino ja pintamaiden sijoittaminen alueelle. Suunnitellaan kasvillisuuden ja kasvualustojen yhteensopivat periaatteet.

***Rakennussuunnitelmissa** määritetään maaperän säilyttäminen, suojaus ja siirto sekä yksityiskohtaiset kasvualustaratkaisut, laaditaan massanhallintataulukko (S10). Suunnitellaan työmaa-aikainen hoito, takuuajan hoito ja laaditaan hoitosuunnitelma. (Yli-Jama 2020, 5.)*

Helsingin kierrätyskasvualustaratkaisut perustuvat joko maaperän säilyttämiseen, maa-aineksen ja kasvillisuuden siirtoon, maa-aineksen käyttöön perusmaana tai kasvialustavalmistuksen raaka-aineena (Helsingin kaupunki 2020c, 16). Uusissa puistorakennussuunnitelmissa tulee olemaan ohjeet pintamaan talteenotosta (Knuuti 2021). Pintamaat pyritään kierrättämään hankkeissa paikan päällä, mutta usein se ei ole mahdollista, vaan kierrätyskelpoiset pintamaat viedään kierrätyskentille, missä niistä valmistetaan tuotteistettuja, kaupungin viherrakentamisessa käytettäviä kierrätyskasvualustoja. (Suominen 2021.) Helsingin kaupunki noudattaa kierrätysmaiden käytössä neljää pääperiaatetta:

1. Massatasapaino

Rakentamisessa pyritään massatasapainoon tai massa-alijäämään, jolloin alueelle voidaan sijoittaa myös ylijäämämaita. Kierrätettävien materiaalien ja maa-ainesten käytölle asetetaan tavoitteet pienissäkin hankkeissa.

2. Maa-ainesten kierrätys kasvualustoissa

Kasvialustojen maa-aineksina voidaan käyttää pintamaita, pohjamaita, lehtikompostia ja muita pilaantumattomia maita tai materiaaleja.

3. Ekologinen monimuotoisuus

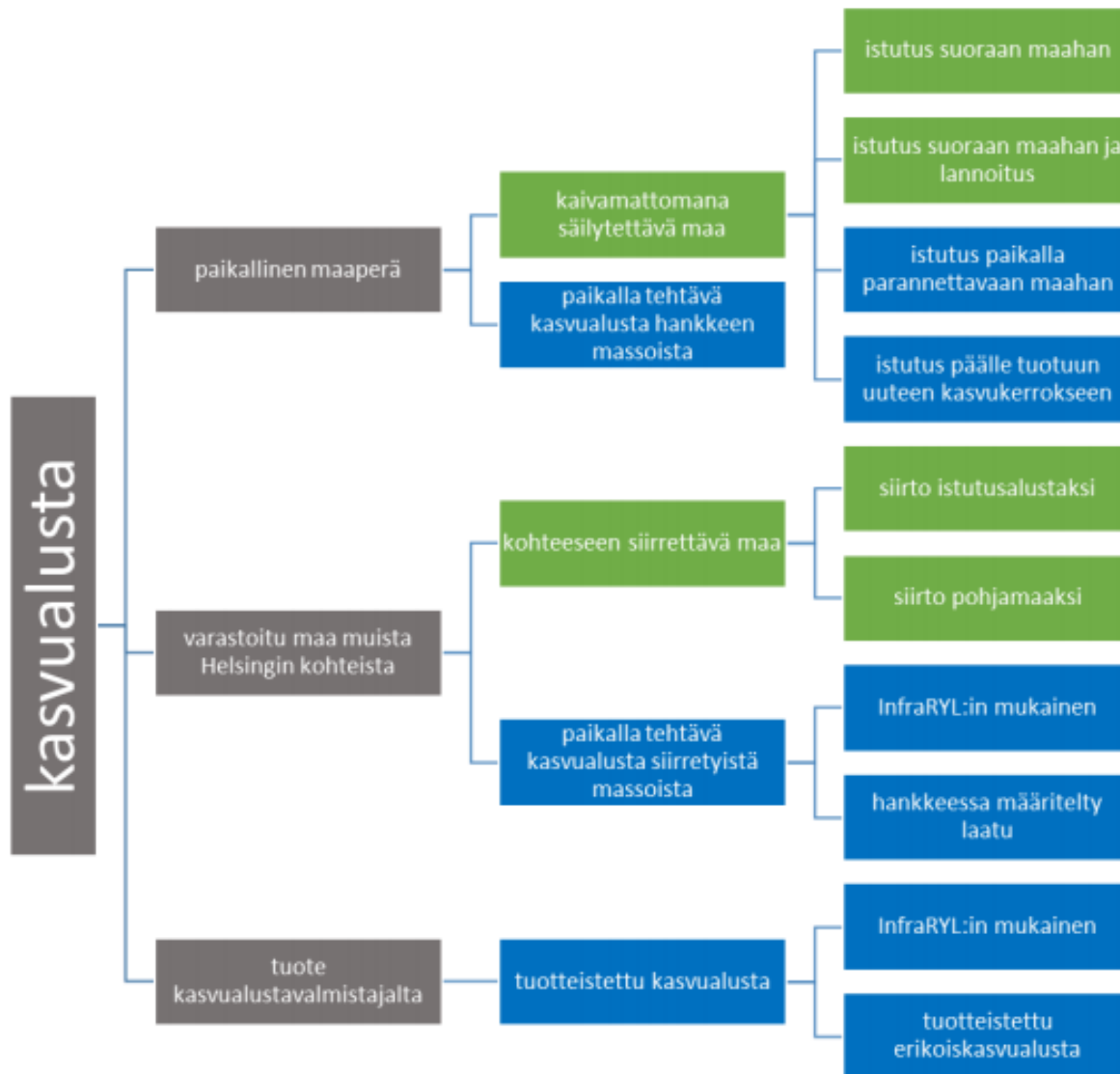
Suositaan luontoa säästäviä ja ilmastoystävällisiä menetelmiä, jotka lisäävät luonnon ja rakennetun ympäristön ekologista ja kulttuurista monipuolisuutta. Kuorittavien pintamaiden kasvillisuus nähdään suunnittelun resurssina.

4. Kaivamattoman maan periaate

Elävän maaperän paras suojelutapa on säilyttää se kaivamattomana. Maaperää voidaan parantaa myös paikan päällä. Siirtokuljetukset pyritään minimoimaan. (Helsingin kaupunki 2020c, 10.)

Kierrätyskasvialustan raaka-aineena käytetään joko paikallista maaperää tai kaupungin omia varastoituja maa-aineksia (kuvio 18). Koska kasvialustaksi käytettävää maa-ainesta käsitellään teknisesti ja sen ravinteikkuutta ja koostumusta parannetaan, kuuluu tuote lannoitevalmistelain piiriin. Tällöin valmistajan tulee olla rekisteröitynä Ruokaviraston

rekisteriin ja noudattaa omavalvontasuunnitelmaa. Tuotteistettuja kasvualustoja hankitaan myös ulkopuolisilta tuottajilta. (Helsingin kaupunki 2020c, 11.)



Kuvio 18. Kasvualustan valinnan ratkaisuja, sinisellä lannoitevalmistuslain piirissä olevat (Helsingin kaupunki 2020c, 11)

Helsingin kaupungin rakentamispalveluliikelaitos (Stara) valmistaa kierrätyskasvualustamaata joko paikan päällä hankealueella tai hallinnoimillaan Kivikon ja Talin kierrätyskentillä, joissa tuotetaan tuotteistettuja kasvualustamaita. Kasvualustatuotteiden valmistuksessa käytetään kaupungin aluehankkeissa pois kuorituttuja pintamaita ja kaupungin viheralueiden ylläpidon keräämistä lehdistä valmistettua lehtikompostia. Kivikon kenttä on ollut käytössä vuodesta 2013. Talin kenttä ollut kaupungilla käytössä pidempään, mutta se on liitetty

vasta vuoden 2021 alusta samaan Ympäristötekniikan palveluiden yksikköön Kivikon kanssa. (Nevalainen 2021.)

Kasvualustatuotteisiin kerätty maa-aines käsitellään välppäämällä ja seulomalla tasalaatuisuuden lisäämiseksi. Orgaanisen aineksen määrä maa-aineksessa vaihtelee suuresti, ja voi olla toisessa aumassa 15 %:n ja toisessa 5 %:n luokkaa. Lehtikompostin lisäystarve arvioidaan raaka-aineesta tehtyjen ravinneanalyysojen perusteella, ja se vaihtelee 5–20 %:n välillä. (Nevalainen 2021.) Käytettävien maa-ainesten tulee olla pilaantumattomia, ja orgaanisten pintamaiden lisäksi ne voivat sisältää myös syvemmältä saatuja kaivumaita (Helsingin kaupunki 2020c, 11).

Kasvualustatuotteita voidaan käyttää Helsingin kaupungin hankkeissa nurmikko-, niitty- ja maisemointikasvualustoina (Helsingin kaupunki 2020c, 11). Laadukkaimpia tuotteita käytetään puistorakentamisen ja puistojen peruskorjauksen viherrakentamiseen. Seulaylitteitä käytetään mm. viherrakentamisen syvätyöissä sekä vallirakentamisessa. Ylitteestä tehdään routimatonta seulomalla siitä hienoaines pois. Seulonnasta ylijäänyt epäkurantti aines vietään ulkopuolisiin (puitesopimukset) loppusijoituspaikkoihin. Kuoritun pintamaan kannot kerätään pois jo työmailla, ja ne päätyvät Vantaalla sijaitsevan Circulation Oy:n hyödyntämiseksi. (Nevalainen 2021.)

Kivikon ja Talin kentillä valmistettavien kierrätyskasvualustojen lopputuotteiden tarkkaa hiilipitoisuutta ei ole mitattu, mutta koska tuotteet ovat omavalvontasuunnitelman mukaisia, täyttävät ne Viherympäristöliiton suositukset kasvualustojen ravinnepitoisuuksista. Toimintaa kentillä kehitetään jatkuvasti ja pintamaiden hyötykäyttöä pyritään kasvattamaan. Viherrakentamisen tuoma kasvualustojen käyttötarve ja kasvualustojen valmistuksen aikataulutusta halutaan myös yhteensovittaa paremmin. Kivikkoon tuotujen pintamaiden keskiarvoinen määrä on viimeisen kolmen vuoden aikana ollut 20 500 m³ ja Taliin tuotujen 7000 m³. (Nevalainen 2021.)

Kirjoitushetkellä valmistettavat Kivikon ja Talin kasvualustatuotteet on esitetty taulukossa 10. Ravinteikkuuden tyyppi 1 soveltuu A1 nurmikoiden, vaatelioiden kasvien ja rajoitettujen kasvualustojen kasvualustaksi, tyyppi 2 maisemanurmikoiden ja vaatimattomampien istutusten kasvualustaksi ja tyyppi 3 karujen, kuivien ja happamien kasvupaikkojen kasvualustaksi (Viherympäristöliitto 2019).

Kierrätyskasvu- alustatuotteet	Käyttökohde	Käsittely	Ravintei- suus	Raaka-aineet	Valmistus- paikka
Nurmikko- multa	A2-A3 nurmetuskoh- teissa	välpätty ja seulottu (< 25 mm)	Tyyppi 1	analysoitu pintamaa + komposti	Kivikko, Tali
Kivikon niitty I	niittykohteet, tuoreet niityt	välpätty ja seulottu (< 25 mm)	Tyyppi 2	analysoitu pelto- ja leh- tometsätyy- pin pintamaa	Kivikko
Niitty II ja ha- vupuumulta	kuivat niityt, metsäalu- eiden maisemointi, metsäpolkujen reunat, havupuuistutukset	välpätty ja seulottu (< 25 mm)	Tyyppi 2-3	analysoitu metsänpohja- pintamaa	Kivikko, Tali
Talin lehtipuu- ja pensasmulta	lehtipuu- ja pensasistu- tukset	välpätty ja seulottu (< 25 mm)	Tyyppi 1	analysoitu pintamaa + komposti	Tali
Talin kompos- timulta	kasvualustaseoksissa, kasvualustojen kat- teena, nurmikoiden ja pensaiden kasvualus- tan parantamiseen	aumojen kääntäminen ja seulonta (< 25 mm)		lehtikom- posti, niitto- jäte	Tali
Seulaylitteet	maisemoinnin alem- missa kerroksissa, niit- tykohteissa, routimat- tomia	0-40 mm & 40-300 mm	ravinnere- servit hie- noainek- sesta	pintamaa	Kivikko, Tali
Seulomaton metsänpohja- pintamaa	metsänpohjan vau- riokohteet, metsäaluei- den maisemointi, met- säpolkujen reunojen täyttö	seulomaton, voi sisältää sekajätettä max. 2 til.-%	ravinnere- servit hie- noainek- sesta	metsänpohja- pintamaa	Kivikko, Tali

Kaikki tuotteet sisältävät tuulilevitteisiä rikkakasvisiemeniä
Komposti voi sisältää max. 2 til-% sekajätettä (lannoitevalmistelaki)

Taulukko 10. Staran kierrätyskasvualustatuotteet, mukailtu lähteestä (Ramboll & Stara 2021)

Kierrätysmaat sopivat parhaiten vaatimattomien nurmikoiden, niittyjen ja metsitysten kasvualustoiksi ja niitä voidaan hyödyntää myös puiden ja pensaiden istutuksissa. Kasvualus-
tapaksuus määräytyy käyttökohteen mukaan ja sillä voidaan säädellä kasvupaikan rehe-
vyyttä. Pohjamaaksi soveltuu erilaiset moreenit, ja jos alusta on hyvin läpäisevä, voidaan
vettä pidättäväksi kerrokseksi käyttää hieta- ja savimaita. Lehtikompostia voidaan tuoda
myös paikalla olevan maan pintaan, jolloin se lisää maaperäeliöstön aktiivisuutta ja paran-
taa siten maan rakennetta. (Helsingin kaupunki 2020c, 17–18.)

Kierrätettävien pintamaiden ja muiden maa-ainesten määristä tehdään massatalouslaskelmat S10-taulukon avulla, jota Helsingin kaupunki käyttää massavirtojen ohjaamiseen ja seuraamiseen. Taulukossa esitetään talteen otettavat maa-ainekset, kasvualustoissa käytettävät maa-ainekset sekä niiden välivarastoinnin tarve. (Helsingin kaupunki 2020c, 25–26.)

6.4 Pintamaan hiilen kulkeutuminen

Hiilivarastojen säilymisen kannalta paras vaihtoehto on mahdollisimman suuren kasvipeitteisen maaperäalan säästäminen kaivamiselta. Tällöin rakentamisen aikaista hiilivaraston ja -nielun menetystä ei kyseisen maaperäalan osalta synny, vaan maa-alan hiilivaraston ja -nielun voidaan todeta säästyvän entisellään. Mikäli aluehankkeessa kuorittuja pintamaita voidaan kierrättää, ja alueen viherrakentamiseen käytetään kierrätettyjä pintamaita, voidaan kuorinnassa menetetyt hiilivarastot palautuvan ainakin osittain rakennettavalle viheralueelle.

Kivikon ja Talin kierrätyskentillä pintamaat on varastoitu avonaisissa aumoissa, ja lehtikompostia on varastoitu aumoissa ja kasoissa Talissa ja Viikissä sijaitsevilla Staran ja kaupungin viheralueiden ylläpidon ylläpitämällä kentillä (Nevalainen 2021). Varastoituihin maa-aineksiin ja kompostiin ei kohdistu kasvillisuuden tuottamaa hiilisyötettä, joten hiilivarasto pienenee hiilen vapautuessa ilmaan orgaanisen aineen hajoamisen myötä. Mitä lyhyempänä uusiokäytettävien pintamaiden välivarastointiajat voidaan pitää, sitä pienemmät ovat kierrätysprosessin aikana menetetyt hiilivarastot.

Kivikon käsittelyasemalle tuotujen pintamaiden säilytysaika on vaihdellut muutamasta viikosta noin puoleen vuoteen, keskimääräisen ajan ollessa noin 2 kk. Talin käsittelyasemalla säilytysaika on ollut paljon pidempi, maksimissaan jopa 1-2 vuotta. Talin massakoordinaation siirryttyä vuoden 2021 alussa Staran Ympäristötekniikan palveluille, on toimintatapojen muuttamisella Talissakin tavoite päästä Kivikon kaltaisiin lyhyempiin säilytysaikoihin. (Nevalainen 2021.)

Massoihin lisättävää lehtikompostia on säilytetty tyypillisesti 6 kuukaudesta 2 vuoteen. Kasvualustoihin käytettävä ravinnelisa on aina kaikkein maatumointa kompostia. (Nevalainen 2021.) Jotta kompostin hajoaminen tapahtuisi aerobisten pieneliöiden toiminnan kautta, on riittävästä kompostin hapen määrästä huolehdittava. Mikäli happea on niukasti, yleistyvät anaerobiset bakteerit kompostissa, ja hajoaminen muuttuu metaania tuottavaksi mätänemiseksi. Kompostin mätänemiseen johtava hapettomuus johtuu kompostin liian tiiviistä kaasaamisesta tai liiasta kosteudesta. (Ikonen 23–24.)

Suomisen (2021) mukaan orgaanista ainesta sisältäviä pintamaita ei päädy täyttömaiksi. Täyttömaakäyttö voisi lisätä pintamaiden sisältämän orgaanisen aineksen anaerobista hajoamista ja tuottaa metaanipäästöjä sekä maanvajoamia.

Pintamaan kierrätysprosessin aikana häviää siis todennäköisesti jonkin verran maaperään sitoutunutta hiilivarastoa. Jotta häviön suuruus saataisiin selville, vaatisi se tarkkoja hiilimäärän mittaustuloksia myös valmiista tuotteistetuista kasvualustoista. Pintamaiden päätyminen uusiokäyttöön voidaan nähdä kuitenkin hiilen säilymisen kannalta hyvänä asiana. Kierrätetyn pintamaan päätyessä uudeksi kasvillisuuden kasvualustaksi, sen sisältämä hiilivarasto rakentuu osaksi viheralueen uutta maannosta ja tämän hiilinielua.

Maankaatopaikalle päätyvät pintamaat läjitetään ja ne eivät todennäköisesti sitoudu osaksi monivuotista kasvillisuutta. Läjitetyn maan hiilivarastot hupenevat ajan myötä orgaanisen aineksen hajotessa. Huonoimmillaan läjitetyn pintamaan sisältämä orgaaninen aines hajoaa anaerobisesti ja tuottaa metaania hajotessaan.

Mikäli kynnysarvomaita ja haitallisia vieraslajeja sisältäviä pintamaita voitaisiin turvallisesti ja hallitusti ottaa uusiokäyttöön, voitaisiin pintamaiden kierrätysastetta nostaa. Tähän liittyvä tutkimus onkin hyvin kannustettavaa maaperän hiilivarastojen säilymisen näkökulmasta.

6.5 Rakennettavan viheralueen uudet hiilivarastot ja -nielut

Rakennettavalle uudelle viherpinta-alalle syntyy hiilivarastoa ensin vain maaperän osalle. Kasvillisuuden hiilivarasto on rakentamisen jälkeen hyvin pieni, ja kehittyy merkittäväksi vasta ajan myötä. Mikäli viherrakentaminen tapahtuu hiilivarastoltaan köyhälle tai kasvipeitteettömälle maaperälle, voidaan viherrakentamisen katsoa kasvattavan alueen hiilivarastoa ja -nielua. Mikäli uuteen viherpinta-alaan sisällytetään jo ennestään kasvipeitteisiä alueita, voidaan tällä alueella säilyvien hiilivarastojen ja -nielujen nähdä olevan taulukoiden 12 ja 13 mukaiset.

InfraRYL:ssä kuvattu ohjeellinen rakennettavan nurmikon kasvualustan paksuus on 20 cm, ja perenna ja pensasistutusten 20–60 cm. Pienet puistopuut ohjeistetaan istuttamaan rajaamattomassa kasvualustassa 60 cm ja rajoitetussa 1 metrin kasvualustaan, suuret puut ja katupuut rajaamattomassa 80 cm ja rajoitetussa 1 metrin alustaan. Pienen puun kasvualustan koko on 1,5x1,5 m, suuren puun 2x2 m ja katupuun 3x3 m. Nurmikon kasvualustan alapuolisen perusmaan tulee ohjeen mukaan olla vähintään 30 cm, niittyjen 25 cm ja metsitysten 50 cm paksu. (Rakennustieto 2020.)

InfraRYL:in mukaan vaatelioiden puiden, perenna ja pensasistutusten kasvualustan ohjeellinen tilavuuspaino on 800 kg/m³, ja sen tavoiteltu orgaanisen aineksen pitoisuus 12 %.

Nurmikoiden ja vaatimattomampien puiden ja muiden istutusten kasvualustan tilavuuspaino on 1000 kg/m^3 , ja tavoiteltu orgaanisen aineksen pitoisuus 8 %. (Rakennustieto 2020.) Kasvualustojen laskennalliset hiilipitoisuudet (51 %) orgaanisen aineksen osuudesta laskettuna ovat $49,0$ ja $40,8 \text{ kg/m}^3$. Viherympäristöliitto suosittelee kasvualustan nurmikoille, vaate-
liaille kasveille, puille, pensaille, perennoille sekä rajoitetuille kasvualustoille orgaanisen aineksen tavoitepitoisuus on 8 % ja tilavuuspaino 1000 kg/m^3 (Viherympäristöliitto 2019). Hiilipitoisuus on tällöin $40,8 \text{ kg/m}^3$.

Kierrätyskasvualustoissa pyritään samaan ravinteikkuuteen Viherympäristöliiton ja InfraRYL:in suosittelemien nurmikasvualustojen kanssa, joten voimme olettaa hiilipitoisuuden olevan samaa luokkaa kasvualustasuositusten kanssa. Jos viherrakentamisessa käytetään InfraRYL:in mukaista kasvualustapaksuutta ja nurmikasvualustan koostumusta, niin muodostuva kasvualustan hiilivarasto saadaan kertomalla kasvualustan paksuus hiilipitoisuudella $40,8 \text{ kg/m}^3$.

Taulukossa 14 on esitetty InfraRYL:in mukaiset kasvualustapaksuudet, sekä Viherympäristöliiton suositus kierrätettyjen maa-ainesten soveltuvuudesta kasvualustoissa. Suositus kierrätysmaiden soveltumattomuudesta perustuu rikkakasvien mahdolliseen haittavaikutukseen istutuskasveille.

	Kylvö- ja istutusala mm	Perusmaa esim. syvemmältä saatavia kaivumaita, moreenia	Vettä pidättävä kerros esim. syvemmältä saatavia savia tai silttejä (hiesu, hieno hieta)	Huomautukset
Nurmikko A1	200	300	0	
Nurmikko A2	200	300	0	A2 -nurmikko voidaan tehdä myös kierrätysmaasta. Kohteen tuleva käyttö vaikuttaa kasvualustan valintaan.
Nurmikko A3	150	300	0	Rikkakasveja torjutaan valikoivilla niitoilla.
Maisemanurmi A1	50	250	0	Rikkakasveja torjutaan valikoivilla niitoilla.
Maisemanurmi A2	0	250	0	Rikkakasveja torjutaan valikoivilla niitoilla.
Niitty	0-300	250	0	Hyödynnetään maaperän tarjoamaa kasvillisuutta, rikkakasveja torjutaan valikoivilla niitoilla.
Spontaani kasvillisuus	0-300 0-400	0-500	0	Hyödynnetään maaperän tarjoamaa kasvillisuutta, kehitystä ohjataan hoidolla.
Dynaamiset istutukset		0-500	0	Hulevesikohteet.
Ryhmäruusut	600	0	100-200	
Pienet perennat	200	0	100-200	
Keskisuuret perennat	400	0	100-200	
Suuret perennat	600	0	100-200	
Pienet mukula- ja sipulikasvit	200	0	100-200	Jos istutettu A3-nurmikkoon tai niittyyn.
Suuret mukula- ja sipulikasvit	400	0	100-200	Jos istutettu A3-nurmikkoon tai niittyyn.
Pensaat	400	0	100-200	Voimakasvuiset peittävät pensaat A2 ja A3 puistoissa+ rikkakasvien torjunta maan pinta peittämällä.
Köynnökset	600	0	100-200	
Pienet puistopuut	600	0	100-200	Kun rikkakasveja torjutaan maan pinta peittämällä. Nykyisen maan parantaminen ja kasvualustan muodostaminen osittain tai kokonaan nykyisen maan päälle ovat suunnittelussa tutkittavia vaihtoehtoja.
Suuret puistopuut	800	0	100-200	Kun rikkakasveja torjutaan maan pinta peittämällä. Nykyisen maan parantaminen ja kasvualustan muodostaminen osittain tai kokonaan nykyisen maan päälle ovat suunnittelussa tutkittavia vaihtoehtoja.
Katupuut	800	0	100-200	Kun rikkakasveja torjutaan maan pinta peittämällä.
Pienet puut rajoitetussa kasvialustassa	1000	0	0	Kun rikkakasveja torjutaan maan pinta peittämällä.
Suuret puut rajoitetussa kasvialustassa		0	0	Kun rikkakasveja torjutaan maan pinta peittämällä.
Metsitykset	0-200	500	100-200	Usein voidaan käyttää kangasmetsän humus- ja huuhtoutumiskerrosta sellaisenaan.

Käytetään vain InfraRYL:n mukaista tuotteistettua kasvualustaa.
 Kierrätetyt maa-ainekset soveltuvat hyvin

Taulukko 14. InfraRYL:in mukaiset kasvialustapaksuudet, sekä Viherympäristöliiton suositus kierrätettävän maa-aineksen soveltuvuudesta (WSP Finland Oy 2019, 13)

Linden ym. (2020) on käyttänyt tutkimuksessaan Helsingin puistojen A-hoitoluokan kasvillisuudesta seuraavia keskiarvoisia pinta-alaprosentteja:

- nurmikko: 60,5 %
- pensaat: 6,3 %
- perennat: 0,5 %
- kovat pinnat & muut: 32,7 % (ei hiilivarastoa)
- puutiheys: ka 150 kpl/ha = 0,015 /m² (Turunen 2013, 23).

Pinta-alaprosentteja ja InfraRYL:in keskiarvoisia kasvualustapaksuuksia hyödyntäen voidaan laskea A-hoitoluokan kasvualustan keskiarvoiseksi paksuudeksi ml. kovat pinnat 0,18 m (kaava 4) ja 0,26 m pl. kovat pinnat (kaava 5). Laskettaessa hiilipitoisuudella $40,8 \text{ kg/m}^3$ ja kasvualustan paksuudella saadaan keskiarvoiseksi kasvualustan hiilivaraston arvoksi $7,3 \text{ kg/m}^2$ koko puiston osalta ja $10,6 \text{ kg/m}^2$ puiston kasvipeitteisellä alalla.

$$0,2 \text{ m} \times 0,605 + 0,4 \text{ m} \times 0,068 + 0,6 \text{ m} \times 1,75 \times 1,75 \times 0,015 \approx 0,18 \text{ m} \quad (\text{kaava 4})$$

$$0,2 \text{ m} \times 0,899 + 0,4 \text{ m} \times 0,101 + 0,6 \text{ m} \times 1,75 \times 1,75 \times 0,022 \approx 0,26 \text{ m} \quad (\text{kaava 5})$$

Niittykasvualustan ohjeellinen paksuus vaihtelee välillä 0–0,30 m. Jos käytetään keskiarvoa 0,15 m, saadaan niittykasvualustan hiilivarastoksi $6,1 \text{ kg/m}^2$.

Metsityksessä käytettävä ohjeellinen kasvualustan paksuus vaihtelee 0–0,2 m välillä. Käytettäessä keskiarvoa 0,1 m saadaan kasvualustan hiilivarastoksi $4,1 \text{ kg/m}^2$.

Pohjamaan hiilipitoisuus vaihtelee maaperän mukaan ja sitä on tutkimusaineiston niukkuuden vuoksi vaikea arvioida ilman mittaamista. Jos pohjamaan hiilipitoisuutta halutaan laskea teoreettisesti kangasmetsän maaperän arvoilla, ja Liskin ym. (2006, 691) ja Kramarenkon (2012, 21) tulosten perusteella, saadaan hiilivarastoksi 20–100 cm:n syvyydellä $1,95 \text{ kg/m}^2$, eli $2,44 \text{ kg/m}^3$.

Taulukossa 15 olen esittänyt laskennalliset (kaava 6) rakennettavan vihermaaperän hiilivarastoarvot InfraRYL:in ohjeellisten kasvualusta- ja perusmaapaksuuksien sekä kasvualustakoostumuksen, sekä kangasmetsän pohjamaan hiilipitoisuuden mukaan. Vertailuna ovat Lindenin ym. (2020, 1) tutkimustulos Helsingin A-hoitoluokan maaperähiilen määrästä, Setälän ym. (2016, 11) tutkimuksen nuoren puistonurmimaaperän hiilivarastoarvo 0–50 cm syvyydellä, sekä Simosol Oy:n ym. (2020, 17) selvityksen tulos Helsingin B- ja C-hoitoluokien maaperän hiilivarastoista.

Kasvualustojen ja pohjamaan paksuudet voivat vaihdella erilaisten tasausten ja istutustapojen mukaan. Täten tarkkaa yleispätevää laskutapaa rakennettavan maaperän hiilivarastoihin ei voida määrittää, vaan laskenta perustuu keskiarvoisiin lukuihin.

$$\text{kasvualustan paksuus} \times 40,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + \text{perusmaan vähimmäispaksuus} \times 2,44 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = \text{hiilivarasto} \frac{\text{kgC}}{\text{m}^2} \quad (\text{kaava 6})$$

Hoitoluokka, kasvu- alustan ja perusmaan vähimmäispaksuus	kasvualustan hiilivarasto	kasvualustan + perus- maan hiilivarasto	vertailu tutkimustulok- siin ja selvitykseen
A-puisto koko ala 0,18 m + 0,3 m	7,3 kg/m ²	8,1 kg/m ²	10,4 kg/m ² *
A-puisto kasv. ala 0,26 m + 0,3 m	10,6 kg/m ²	11,3 kg/m ²	14,9 kg/m ² **
B-niitty 0,15 m + 0,25 m	6,1 kg/m ²	6,7 kg/m ²	5,3 kg/m ² ***
C-metsitys 0,10 m + 0,5 m	4,1 kg/m ²	5,3 kg/m ²	8,8 kg/m ² ***

Taulukko 15. Laskennallinen uuden puisto-, niitty- ja metsityskaaperän hiilivarasto sekä vertailu tutkimuksiin ja selvitykseen, mukailtu lähteistä (* Linden ym. 2020, 1; ** Setälä ym. 2016, 11; *** Simosol Oy ym. 2020, 17)

A-hoitoluokan osalta tutkimustulosten määrä on suurempi kuin teoreettisella laskutavalla saatu määrä. Jos oletetaan perusmaan hiilivaraston olevan kangasmetsän maaperää suurempi, päästään hyvin lähelle tutkimustulosten hiilivarastoarvoja. Linden ym. (2020) toteavatkin, että puistojen maaperän hiilivarastosta merkittävä osa sijoittuu suhteellisen syvälle. Niittyjen osalta laskennallinen määrä on suurempi kuin vertailuarvo. Vertailuarvo sisältää hyvin monen tyyppisiä avoimia viheralueita, kuten peltoja. Metsien osalta laskennallinen arvo jää vertailuarvoa pienemmäksi. Vertailuarvo sisältää kaiken ikäisiä taajamametsiä, joissa hiilivarasto on kehittynyt ajan myötä. Laskennalliset arvot ovat mielestäni käyttökelpoisia, mutta niitä voitaisiin tarkentaa lisätutkimustuloksilla ja laskutapaa kehittämällä.

Olen koonnut rakentuvan puistopinta-alan hiilinieluarvoja taulukkoon 16. B-hoitoluokan hiilinieluarvot olen jättänyt kokonaan pois, sillä en löytänyt rakennettavaan niittymaaperän hiilinieluarvoksi sovellettavaa tutkimusaineistoa. Metsitettävän maaperän hiilinieluarvon laskemisessa käytin kaavaa 3 sekä Setälän ym. (2019, 11) tutkimustulosten keskiarvoja lehti- ja havupuuvältaisten puistomaaperien hiilivarastojen kehityksestä.

Hoitoluokka	kasvillisuuden hiilinielu kg/m ² /a	maaperän hiilinielu kg/m ² /a
A-puisto koko ala	*0,10	**0,12
A-puisto kasv. ala	*0,15	**0,18
B-niitty	ei arvioitu	ei arvioitu
C-metsitys	***0,23	**0,23

Taulukko 16. Rakennettavan uuden puistoalan hiilinielut, mukailtu lähteistä (* Turunen 2013, 17; ** Setälä ym. 2016, 11; *** Simosol Oy ym. 2020, 17)

7 Esimerkkikohde

7.1 Vennynpuisto

Vennynpuiston rakennuskohde (kuvio 19) sijaitsee Kuninkaantammen alueella Luoteis-Helsingissä. Puisto on uusi, pinta-alaltaan noin 2 ha, ja sijoittuu vasta valmistuneiden asuin-kerrostalojen ja suunnitteilla olevien asuin-kerrostalojen ja erillispientaloalueen väliselle alueille. Puiston rakentamiseen on varauduttu kaupunkiympäristön toimialan toimintasuunnitelmassa vuosina 2019–2022.

Alueella on aiemmin sijainnut koeajorata, jonka jälkeen alue on ollut maanlajityskäytössä. Alueella on sekalaisia täyttömateriaaleja. Alueen pohjoisosaan on rakennettu kalliomurskeesta esikuormituspengeri 2013 alkaen, josta osa on purettu 2018 alkaen. Puiston etelä- ja keskiosa rakentuu esirakentamisessa muotoillun vanhan täytön päälle. Alueelle rakentuvien kumpareiden täytöt on rakennettu alueelle läjitetyistä ylijäämämaista. Täyttöjen alla on savi- ja silttikerroksia. Alueelle rakennettavat uudet rakennekerrokset tehdään uudella kivaineoksella. (Perälä & Alapeteri 2018, 7–8.)

Alueella on jonkin verran olemassa olevaa puustoa, josta osa poistetaan. Alueen metsäisemmässä pohjoisosassa puustoa ja luontaista metsänpohjakasvillisuutta säästetään. Säilytettävät kasvillisuusalueet yhdistyvät niitty-pintaisiin osiin rakennettavaan toiminta-alueeseen. Keskeiset alueet ovat nurmipintaisia, uutta puustoa istutetaan ryhmiin, ja osalle alaa toteutetaan perennaistutuksia. Puiston osat jakautuvat hoitoluokkiin A2, A3 ja C1. (Rantalainen 2018.)

Uusissa kasvualustoissa käytetään InfraRYL:in vaatimuksia vaateliiden puiden ja pensaiden kasvualustojen ravinnearvoista (Perälä & Alapeteri 2018a, 23). Kasvualustan tavoitehiilipitoisuus orgaanisen aineen määrästä laskettuna on 49 kg/m^3 . Luonnonnurmi-alueiden kasvualustojen valmistuksessa käytetään kaupungin omia, muualta yli jääviä ja varastoituja maa-aineksia. Kierrätysmaa-aineksista tehtävät kasvualustat tehdään paikan päällä. Puiston pohjoisosan metsäalueen pengerluiskassa käytetään rakennettavien puistokäytävien tieltä kuorittua ja seulottua pinta- ja kivennäismaata. Kivituhka- ja kiveysalueille istutettavat puut istutetaan kantavaan kasvualustaan, jonka tilavuudesta 30 % on InfraRYL:in vaateliiden puiden kasvualustaravinteikkuuden vaatimukset täyttävää hienoainesta. (Perälä & Alapeteri 2018, 24-25.)



7.2 Laskenta

Rakennettavalta alueelta poistettavan pintamaan osuus on hyvin pieni, tilavuudelta vain 124 m³ (Finnmap Infra Oy 2018). Tämä selittyy alueen kasvipeitteisen alan kaivamiselta säästämällä, sekä alueen aiemmalla hallitsevalla läjitysmaakäytöllä. InfraRYL:in mukaan pintamaan poiston ohjeellinen syvyys on 0,5 m, joten poiston pinta-alaksi voidaan arvioida 248m². Alueen pengermateriaalina on käytetty louhetta, joten poistettavien penkereiden, sekä poistettavien rakennekerrosten ja asfaltin hiilivaraston arvioin merkityksettömäksi. Taulukossa 17 olen esittänyt pintamaan poistosta aiheutuvien hiilivarastojen ja -nielujen poistumat. Olen laskenut menetetyn alan luokan ”muut” hiiliarvojen mukaan, sillä poistotalalla on myös poistettavaa puustoa. Maaperän hiilivarasto palautuu todellisuudessa osittain alueelle, sillä poistettua pintamaata käytetään uudelleen rakentamiseen. Hiilinielujen laskenta-ajanjaksona olen käyttänyt 50 vuotta.

Hiilivaraston ja -nielun poistuma		
Poistettavat pintamaat *	124	m ³
Arvioitu pintamaan poiston ala *	248	m ²
Maaperän hiilivarasto **	5,78	kg/m ²
Maaperän hiilinielu **	0,02	kg/m ² /a
Kasvillisuuden hiilivarasto **	2,46	kg/m ²
Kasvillisuuden hiilinielu **	0,09	kg/m ² /a
Maaperän hiilivaraston poistuma	1,4	tC
Maaperän hiilinielun poistuma 50 vuotta	0,3	tC/50a
Kasvillisuuden hiilivaraston poistuma	0,6	tC
Kasvillisuuden hiilinielun poistuma 50 vuotta	1,1	tC/50a
Hiilivaraston poistuma yhteensä	2,0	tC
Hiilinielun poistuma 50 vuodessa yhteensä	1,4	tC/50a

Taulukko 17. Vennynpuiston rakentamisessa poistettavan pintamaan hiilivarasto ja -nielu, mukailtu lähteistä (* Finnmap Infra Oy 2018; ** Simosol Oy ym. 2020, 17)

Taulukossa 18 olen esittänyt laskelmat uusien rakennettavien puistopinta-alojen sekä kaivamiselta säästyvien alueiden hiilivarastoista. Rakennettavien uusien pinta-alojen tulokset perustuvat laskelmiini hoitoluokkakohtaisista keskiarvoisista hiilivarastoista, ja säästyvien pinta-alojen tulokset tutkimustuloksiin hoitoluokkien keskiarvoista hiilivarastoista. A3-luokka on osittain ja C1-luokka kokonaisuudessaan kaivamiselta säästyvää alaa. Vennynpuiston hoitoluokkien tarkat pinta-alat on poimittu hoitoluokkakartasta ja arvio säästyvän A3 alueen koosta on tehty suunnitelmakarttojen perusteella.

Hoitoluokka	uusi A2	uusi A3	säästävä A3	säästävä C1	Yhteensä
Pinta-ala m ²	*8864	*7929	**1400	*1752	19945
Maaperän hiilivarasto kg/m ²	8,1	8,1	****15,5	***8,81	
Maaperän hiilivarasto tC	71,8	64,2	21,7	15,4	173,1
Kasvillisuuden hiilivarasto kg/m ²	0	0	****3,7	***5,54	
Kasvillisuuden hiilivarasto tC	0	0	5,2	9,7	14,9
Hiilivarastot pinta-alalla yht. tC	71,8	64,2	26,9	25,1	188,0

Taulukko 18. Vennynpuiston rakentamisessa syntyvät uudet hiilivarastot, sekä kaivamiselta säästävän alan hiilivarastot (* Perälä & Alapeteri 2018b; ** Perälä & Alapeteri 2018c; *** Simosol Oy ym. 2020, 17; **** Linden ym. 2020, 7)

Taulukossa 19 olen esittänyt laskelmat puiston hiilinieluista. Eriteltynä ovat uusien rakennettavien alueiden sekä kaivamiselta säästävien alueiden pinta-alakohtaiset hiilinielut, sekä hiilinielut yhteensä 50 vuoden ajalla. Tulokset perustuvat tutkimustuloksiin.

Hoitoluokka	uusi A2	uusi A3	säästävä A3	säästävä C1	Yhteensä
Pinta-ala m ²	*8864	*7929	**1400	*1752	19945
Maaperän hiilinielu kg/m ² /a	***0,12	***0,12	***0,12	****0,05	
Maaperän hiilinielu tC/50a	53,2	47,6	8,4	4,4	113,5
Kasvillisuuden hiilinielu kg/m ² /a	*****0,1	*****0,1	*****0,1	****0,23	
Kasvillisuuden hiilinielu tC/50a	44,3	39,6	7,0	20,1	111,1
Hiilinielut pinta-alalla yht. tC/50a	97,5	87,2	15,4	24,5	224,6

Taulukko 19. Vennynpuiston rakentamisessa syntyvät uudet hiilinielut, sekä kaivamiselta säästävän alan hiilinielut, mukailtu lähteistä (* Perälä & Alapeteri 2018b; ** Perälä & Alapeteri 2018c; *** Setälä ym. 2016, 11; **** Simosol Oy ym. 2020, 17; ***** Turunen 2013, 17)

Taulukossa 20 olen tehnyt vertailevan laskelman uuden rakentuvan maaperän hiilivarastosta taulukkoon 18 nähden. Käytin laskelmassa Vennynpuiston rakennussuunnitelman määräluettelossa ilmoitettuja kasvualustatilavuuksia, työselostuksen kuvausta kasvualustoista, sekä infraRYL:in tietoja kasvualustan koostumuksesta. Kierrätyskasvualustan hiilipitoisuuden oletusarvona käytin 40,8 kg/m³. Mänynykuorikatteen tilavuusmassana käytin 300 kg/m³ ja hiilipitoisuutena 47 %.

Rakentamisessa käytettävät kasvualustat	Tilavuus (m ³ rtr) *	Kasvualustan hiilivarasto kg/m ³	Hiilivarasto tC
Tuotteistettu kasvualusta nurmikoille A1-A3	1 650	**49,0	80,9
Tuotteistettu kasvualusta, vaateliat puut	430	**49,0	21,1
Tuotteistettu kasvualusta, perennat	72	**49,0	3,5
Paikalla tehtävä kasvualusta, luonnonnurmi	657	**40,8	26,8
Kantava kasvualusta puille	200	***14,7	2,9
Männynkuorikate, pensaas	6	141	0,8
Yhteensä kasvualustat			136,0

Taulukko 20. Rakennusmaaperän hiilivaraston määrä kasvualustatilavuuksien mukaan laskettuna, mukailtu lähteistä (* Alapeteri 2018, 3; ** Rakennustieto 2020; *** Perälä & Alapeteri 2018a, 24–25)

Vertailtaviksi tuloksiksi uuden rakennettavan puistomaaperän hiilivarastoista saatiin keskiarvoisten hiilivarastoarvojen mukaan 136,0 tC, sekä määräluettelon kasvualustatilavuuksiin perustuvan laskutavan mukaan yhteensä 136,0 tC. Määrät ovat yhdenmukaiset, mikä on hieman hämmäntävää, sillä laskutavat poikkeavat osin toisistaan. Laskutapojen eroavaisuuksista johtuen lukuarvoa ei voi pitää tarkkana.

Laskutapojen eroavaisuuksista todettakoon, että keskiarvoisiin hiilivarastoarvoihin perustavassa laskutavassa on käytetty pienempää 40,8 kg/m³ kasvualustan hiilipitoisuutta yhdistettynä pohjamaan, tosin melko pieneen, hiilipitoisuuteen. Kasvualustatilavuuksiin perustavassa laskutavassa on osittain käytetty suurempaa 49,0 kg/m³ hiilipitoisuutta. Tässä laskutavassa ei ole huomioitu pohjamaan hiilivarastoa rakennettavan alan osalta, mutta Vennynpuiston tapauksessa rakennettavan alan aiempi käyttö koeajoratana ja läjitysalueena viittaavatkin pohjamaan melko vähäiseen orgaanisen aineen määrään.

Taulukkoon 19 koostin tulokset Vennynpuiston rakentamisen hyödystä hiilensidonnassa. Taulukossa on esitetty syntyvät uudet hiilivarastot ja -nielut, sekä pintamaan poistossa poistuvien ja kaivamiselta säästettävien pinta-alojen hiilivarastot ja -nielut. Muiden kuin säästettävien kasvillisuusalueiden ja pintamaan poistoalueiden en ole olettanut sisältävän merkittävää hiilivarastoa tai -nielua. Vastaukseksi saadaan arvio puiston rakentamisen aikaansaamasta hiilivaraston kasvusta seuraavan 50 vuoden aikana verrattuna tilanteeseen, jossa puistopinta-alan maankäyttö olisi säilynyt ennallaan, sekä arvio kokonaishiilivaraston määrästä 50 vuoden kuluttua.

Hoitoluokka	A2	A3	C1	Yhteensä
Uudet hiilivarastot yht. tC	71,8	64,2	0	136,0
Uudet hiilinielut yht. tC/50a	97,5	87,2	0	184,7
Pintamaan poistosta seuraava hiilivaraston poistuma yhteensä tC	x	x	x	-2,0
Pintamaan poistosta seuraava hiilinielun poistuma yhteensä tC/50a	x	x	x	-1,4
Säästyvien alojen hiilivarastot yht. tC	0	26,9	25,1	52,0
Säästyvien alojen hiilinielu tC/50a	0	15,4	24,5	39,9
Puistorakentamisen aikaansaama hiilensidonnan hyöty 50 vuoden aikana tC				317,3
Hiilivarastot yhteensä 50 vuoden kuluttua tC				409,2

Taulukko 19. Vennynpuiston rakentamisen aikaansaama hiilensidonnan hyöty 50 vuoden aikana, sekä kokonaishiilivarasto 50 vuoden kuluttua

Laskennallinen arvio Vennynpuiston rakentamisesta seuraavasta hyödystä hiilensidonnassa seuraavan 50 vuoden aikana on 317,3 tC. Arvio maaperän ja kasvillisuuden kokonaishiilivarastosta 50 vuoden kuluttua on 409,2 tC. Kokonaishiilivarasto suhteutettuna pinta-alaan on 20,5 kg/m² sisältäen myös puiston ei kasvipeitteiset pinta-alat. Luku asettuu Lindenin ym. (2020) A-hoitoluokan, Simosol Oy:n ym. (2020) C-hoitoluokan sekä Setälän ym. (2016) A-hoitoluokan tutkimus- ja selvitystulosten välimaastoon, ja voisi hyvin olla hiilitasapainon saavuttaneen puustoisien kaupunkipuiston hiilivarastoarvo.

Oletettu rakentamisessa menetetty hiilensidonta 50 vuoden tarkastelujaksolla on 3,4 tC. Tämän määrän voidaan katsoa sitoutuneen puistoon jo sen rakentamisen aikana. Hiilensidonnan menetyksen pieni määrä johtuu siitä, että puisto rakennetaan pääosin hiilensidonnan kannalta merkityksettömälle maaperälle, pintamaan poisto minimoiden ja jo olemassa olevaa kasvillisuusala säästäten.

Todettakoon vielä, että laskelma ei huomioi puiston rakentamisesta tai ylläpidosta syntyviä päästöjä. Laskemalla nämä osaksi lopputulosta saataisiin selville puiston todellinen vaikutus hiilensidontaan.

8 Yhteenveto

Suomen pintamaan hiilivarastot sijaitsevat pääasiassa rakentamattomilla alueilla. Läpäisemättömäksi rakennetun maaperän alla hiilivarastoa on vähäinen määrä. Aluehankkeissa tapahtuvan pintamaan kuorinnan myötä menetettävän hiilivaraston kokoa voidaan arvioida maaperän koostumuksen, alueen käyttötavan tai kasvillisuusominaisuuksien perusteella. Opinnäytetyössä käytetyt tutkimus- ja selvitystulokset olivat osittain ristiriidassa keskenään, joten tarkemman laskennallisen arviointitavan kehitys vaatisi lisätutkimuksia erityyppisten viheralueiden hiilitaseista ja -varastoista.

Helsingin aluehankkeissa kuorittavista pintamaista yli puolet päätyy kierrätettäviksi viherrakentamisen kasvualustoissa. Helsingin toteuttama kierrätyskasvulastojen tuotteistus helpottaa ja nopeuttaa pintamaiden uusiokäyttöä. Pintamaahan sekoitettava lehtikomposti nostaa kasvualustatuotteen hiilipitoisuutta. Hiiltä myös vapautuu orgaanisen aineen hajotessa kierrätysprosessin aikana. Kierrätysmaan sitoutuessa uudeksi kasvualustaksi, sen sisältämä hiilivarasto rakentuu osaksi uutta maannosta ja ajan myötä kehittyvää hiilinielua. Monipuolisia kasvualustatuotteita valmistamalla saadaan erilaisissa rakennuskohteissa hyödynnettyä erilaatuisia kierrätysmaita. Pintamaan sisältämät ravinteet, eliöstö ja kasvillisuus nähdään resursseina, joita käytetään viheraluesuunnittelun lähtökohtina.

Kierrätyksen esteenä voi olla maaperän pilaantuneisuus, sen sisältämä rakennusjäte tai haitalliset vieraslajit. Kierrätykseen kelpaamattomia maita päätyy maankaatopaikoille. Kynnyksarvomaiden kierrätyskäyttömahdollisuuksia ja haitallisia vieraslajeja sisältävien maiden muokattavuutta uusiokäytettäviksi selvitetään. Maankaatopaikoille päätyvien pintamaiden hiilivarastojen voidaan katsoa vähenevän ajan myötä. Huonoimmillaan kaatopaikalle läjitetty pintamaa voi tuottaa hajotessaan metaania.

Viherrakentamisessa syntyy uutta pintamaan hiilivarastoa ja -nielua, joiden kokoa voidaan arvioida laskennallisesti kasvualustapaksuuksien ja viheralueiden hoitoluokkakohtaisten tutkimustulosten perusteella. Aluehankkeissa paras ratkaisu hiilivarastojen ja -nielujen ylläpitämiseksi on pyrkiä säästämään jo entuudestaan kasvipeitteistä pinta-alaa, ja sisällyttää tätä alueelle suunniteltaviin viherpinta-aloihin.

Viheraluerakentaminen lisää hiilensidontaa silloin kun se tapahtuu muutoin hiilivarastoiltaan köyhälle maa-alalle. Tällaisia ovat esimerkiksi rakennuskäytöstä tai muusta voimakkaasta maankäytöstä vapautuvat maa-alat. Alueelta kuorittavien pintamaiden paikallinen kierrätyskäyttö on kannustettavaa. Näin toimimalla säilytettäisiin alueellisen hiilivaraston ohella myös alueen luonnollista maannosta, eliöstöä ja kasvillisuutta.

Lähteet

Alapeteri, N. 2018. Määräluettelo. Vennynpuisto RS. Viitattu 20.4.2021

Finnmap Infra Oy 2018. Massatalouslaskelma. Vennynpuisto. Viitattu 19.4.2021

Haavisto-Hyvärinen, M. & Kutvonen, H. 2007. Maaperäkartan käyttöopas. Geologian tutkimuskeskus (GTK). Viitattu 9.3.2021. Saatavissa https://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/gtk_maaperakartan_kayttoopas.pdf

Havu, M., Kulmala, L., Riikonen, A., Viskari, T. & Järvi, L. 2019. Havu, M., Kulmala, L., Riikonen, A., Viskari, T., & Järvi, L. (2019). Simulating urban soil carbon decomposition using local weather input from a surface model. Finnish Association for Aerosol Research FAAR. Viitattu 5.5.2021. Saatavissa <http://hdl.handle.net/10138/312035>

Heinonsalo, J. 2020. Hiiliopas. Carbon action. Viitattu 9.3.2021. Saatavissa <https://carbonaction.org/wp-content/uploads/2020/01/BSAG-hiiliopas-1.-painos-2020.pdf>

Helsingin kaupunki 2016. Helsingin uusi yleiskaava. Viitattu 2.3.2021. Saatavissa https://www.hel.fi/hel2/ksv/liitteet/2018_kaava/YK_2016_Tullut_voimaan_20181205.pdf

Helsingin kaupunki 2018. Maailman toimivin kaupunki: Helsingin kaupunkistrategia 2017–2021. Viitattu 3.3.2021. Saatavissa https://www.hel.fi/static/kanslia/kaupunkistrategia/Maailman_toimivin_kaupunki_strategiaesite.pdf

Helsingin kaupunki 2019a. Hiilineutraali Helsinki 2035 -toimenpideohjelma. Viitattu 25.2.2021. Saatavissa <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/HNH-2035-toimenpideohjelma.pdf>

Helsingin kaupunki 2019b. Kaavoituksen tasot. Viitattu 3.3.2021. Saatavissa <https://www.hel.fi/helsinki/fi/asuminen-ja-ymparisto/kaavoitus/kaavoituksen-tasot/>

Helsingin kaupunki 2020a. Aluesuunnitelmat. Viitattu 3.3.2021. Saatavissa <https://www.hel.fi/helsinki/fi/asuminen-ja-ymparisto/kaavoitus/kehittamissuunnitelmat/aluesuunnitelmat>

Helsingin kaupunki 2020b. Maaperä. Viitattu 9.3.2021. Saatavissa <https://www.hel.fi/helsinki/fi/asuminen-ja-ymparisto/tontit/maa-ja-kalliopera/maapera>

Helsingin kaupunki 2020c. Kierrätysmaiden käyttö kasvualustoissa Helsingin kaupungin puisto- ja katuhankkeissa. Versio 2. Viitattu 24.3.2021

Helsingin kaupunki 2021a. Karttapalvelu. Viitattu 3.3.2021. Saatavissa kartta.hel.fi

Helsingin kaupunki 2021b. Tietoa Hankkeesta. Kruununsillat. Viitattu 3.3.2021. Saatavissa <https://www.hel.fi/kaupunkiymparisto/kruunusillat-fi/tietoa-hankkeesta/>

Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto 2016a. Selostus. Helsingin yleiskaava. Viitattu 2.3.2021. Saatavissa https://www.hel.fi/hel2/ksv/liitteet/2018_kaava/YK_2016_Selostus_20160614_LISALEHDELLA.pdf

Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto 2016b. Kaupunkiluonto -teemakartta. Kaupunkikaava. Viitattu 4.3.2021. Saatavissa https://www.hel.fi/hel2/ksv/Liitteet/2016_kaava/Yleiskaava_kaupunkiluonto_20160614.pdf

Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY) 2021. Kasvihuonekaasupäästöt. Viitattu 12.3.2021. Saatavissa <https://www.hsy.fi/ilmantaatu-ja-ilmasto/kasvihuonekaasupaastot/>

Ikonen, T. Kompostointiopas. Yhteinen juttu. Pohjois-Savon Martat ry. Viitattu 10.4.2021. Saatavissa https://www.jatekukko.fi/media/liitetiedostot/jatekukko/materiaalipankki/kompostointi/kompostointiopas_a5_web.pdf

IPCC 2006a. Chapter 4: Methodological Choice and Identification of Key Categories. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Viitattu 4.3.2021. Saatavissa https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_4_Ch4_Method-Choice.pdf

IPCC 2006b. Chapter 4: Forest Land. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Viitattu 9.3.2021. Saatavissa https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf

Knuuti, S. 2021. Projektinjohtaja, maisema-arkkitehti. Helsingin kaupunki. Haastattelu 26.3.2021

Kramarenko, D. 2012 Metsämaan hiilen määrään ja sen muutokseen vaikuttavat tekijät. Helsingin yliopisto. Pro Gradu - tutkielma. Viitattu 27.3.2021. Saatavissa https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/36151/Dmitri_Kramarenko_Pro_Gradu.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Laulumaa, P. 2017. Vuosaarenhuippu. Helsingin kaupunki. Viitattu 22.4.2021. Saatavissa <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/julkaisu-19-17.pdf>

Lilja, H., Uusitalo, R., Yli-Halla, M., Nevalainen, R., Väänänen, T. & Tamminen, P. 2009. Suomen maannostietokanta. Käyttöopas. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT). Viitattu 9.3.2021. Saatavissa <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/438314/mtttiede6.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Linden, L., Riikonen, A., Setälä, H. & Yli-Pelkonen, V. 2020. Quantifying carbon stocks in urban parks under cold climate conditions. Elsevier B.V. Viitattu 10.3.2021. Saatavissa <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126633>
- Liski, J., & Westman, C. J. 1997. Carbon storage in forest soil of Finland. *Biogeochemistry* 36: 261–274. Kluwer Academic Publisher. Viitattu 8.3.2021. Saatavissa <https://doi.org/10.1023/A:1005742523056>
- Liski, J., Lehtonen, A., Palosuo, T., Peltoniemi, M., Eggers, T., Muukkonen, P. & Mäkipää, R. 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. *EDP Sciences*. Viitattu 27.3.2021. Saatavissa <https://www.afs-journal.org/articles/forest/pdf/2006/07/f6070.pdf>
- Lahti – Euroopan ympäristöpääkaupunki 2021. Faktat. Green Lahti. Viitattu 1.3.2021. Saatavissa <https://greenlahti.fi/faktat>
- Lu, C., Kotze, D. J. & Setälä, H. 2020. Soil sealing causes substantial losses in C and N storage in urban soils under cool climate. Elsevier B.V. Viitattu 5.5.2021. Saatavissa <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138369>
- Luonnonvarakeskus (Luke) 2018. Suomen metsätilastot. Viitattu 8.3.2021. Saatavissa https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/543098/Suomen%20mets%c3%a4tilastot%202018_verkko.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Nevalainen, M. 2021. Ympäristöinsinööri. Helsingin kaupungin rakentamispalveluliikelaitos (Stara). Haastattelu 24.3.2021
- NOAA 2020. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI). Earth System Research Laboratories (ESRL). Viitattu 1.3.2021. Saatavissa <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>
- NOAA 2021a. Greenhouse Gases. Water Vapor (H₂O). National Centers for Environmental Information (NCEI). Viitattu 1.3.2021. Saatavissa <https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/faq/greenhouse-gases.php#h2o>
- NOAA 2021b. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Earth System Research Laboratories (ESRL). Viitattu 1.3.2021. Saatavissa <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>
- Perälä, T. 2017. Puistosuunnitelma. Vennynpuisto. Helsingin kaupunki. Viitattu 16.4.2021

- Perälä, T. & Alapeteri, N. 2018a. Työselostus. VIO 5916 Vennynpuisto. Helsingin kaupunki. Viitattu 15.4.2021
- Perälä, T. & Alapeteri, N. 2018b. Hoitoluokat. Vennynpuisto. Helsingin kaupunki. Viitattu 19.4.2021
- Perälä, T. & Alapeteri, N. 2018c. Istutus- ja varustepiirustus. Vennynpuisto. Helsingin kaupunki. Viitattu 20.4.2021
- Raide-Jokeri 2021. Mikä on Raide-Jokeri? Viitattu 3.3.2021 Saatavissa <https://raidejokeri.info/mika-raide-jokeri/>
- Rakennustieto 2020. InfraRYL. Viitattu 15.3.2021. Saatavissa <https://ryl.rakennustieto.fi/>
- Ramboll & Stara 2021. Staran kierrätyskasvualustatuotteet. 8.4.2021. Viitattu 27.4.2021
- Rantalainen, P. 2018. Puistosuunnitelman selostus. Vennynpuisto. Helsingin kaupunki. Viitattu 16.4.2021. Saatavissa <https://dev.hel.fi/paatokset/media/att/9e/9ed9b5d0d3324f1ce15e341ed619dbd16f439fb5.pdf>
- Riikonen, A., Pumpanen, J., Mäki, M. & Nikinmaa, E. 2017. High carbon losses from established growing sites delay the carbon sequestration benefits of street tree plantings – A case study in Helsinki, Finland. Elsevier B.V. Viitattu 5.5.2021. Saatavissa <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2017.04.004>
- Ronkainen, N. 2012. Suomen maalajien ominaisuuksia. Suomen ympäristö. Suomen ympäristökeskus (SYKE). Viitattu 9.3.2021. Saatavissa <http://hdl.handle.net/10138/38773>
- Setälä, H. M., Francini, G., Allen, J. A., Hui, N., Jumpponen, A. & Kotze, D. J. 2016. Vegetation Type and Age Drive Changes in Soil Properties, Nitrogen, and Carbon Sequestration in Urban Parks under Cold Climate. *Frontiers in Ecology and Evolution*. Viitattu 27.3.2021. Saatavissa <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2016.00093/full>
- Simosol Oy, Ramboll Oy & Tapio Oy 2020. Selvitys pääkaupunkiseudun hiilinieluista ja -varastoista – Loppuraportti. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä (HSY). Viitattu 4.3.2021. Saatavissa <https://julkaisu.hsy.fi/selvitys-paakaupunkiseudun-hiilinieluista-ja-varastoista.pdf>
- Suominen, M. 2021. Massakoordinaattori. Helsingin kaupunki. Haastattelu 23.3.2021.
- Tamminen, P. & Tomppo, E. 2008. Finnsih forest soils. Metla. Viitattu 9.3.2021. Saatavissa <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2008/mwp100.htm>

Tilastokeskus 2020. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2019. Viitattu 12.3.2021. Saatavissa http://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/yymp_kahup_1990-2019_2020.pdf

Tilastokeskus 2021. Väestörakenteen ennakkotiedot muuttujina Kuukausi, Alue ja Tiedot. Viitattu 3.3.2021. Saatavissa https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__vrm__vamu/statfin_vamu_pxt_11lj.px/table/tableViewLayout1/

Turunen, J 2008. Development of Finnish peatland area and carbon storage 1950–2000. *Boreal Environment Research* 13: 319–334. Viitattu 8.3.2021. Saatavissa <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/234741/ber13-4-319.pdf?sequence=1>

Turunen, S 2013. The carbon sequestration and storage capacity of urban parks in the city of Helsinki. Helsingin yliopisto. Master's thesis. Viitattu 27.3.2021

United Nations 1992. United Nations Framework Convention on Climate Change. Viitattu 1.3.2021. Saatavissa https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf

United Nations 2012. Doha Amendment to the Kyoto Protocol. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Viitattu 1.3.2021. Saatavissa <https://treaties.un.org/doc/Publication/CN/2012/CN.718.2012-Eng.pdf>

United Nations 2015. Paris agreement. Viitattu 18.2.2021. Saatavissa https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

Uudenmaan liitto 2018. Puolustusvoimat Uudellamaalla ja Uudenmaan maakuntakaavoissa) Viitattu 4.3.2021. Saatavissa https://www.uudenmaanliitto.fi/files/22502/Puolustusvoimat_Uudellamaalla_%28E202-2018%29.pdf

Uudenmaan liitto 2021. Helsingin seudun vaihemaakuntakaava. Viitattu 2.3.2021. Saatavissa https://www.uudenmaanliitto.fi/aluesuunnittelu/uusimaa-kaava_2050/helsingin_seudun_maakuntakaava

Valtioneuvosto 2019. Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019: Osallistava ja osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Viitattu 25.2.2021. Saatavissa <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-808-3>

WSP Finland Oy 2019. Kierrätysmaiden käyttö viherrakentamisen kasvualustoissa. Kestävän ympäristörakentamisen ohje 2019. Viherympäristöliitto. Viitattu 22.3.2021. Saatavissa https://www.vyl.fi/site/assets/files/3060/kierra_tyskasvualustaohje_2019.pdf

Viherympäristöliitto 2019. Kasvualustan suositeltavat ravinnepitoisuudet. Viitattu 24.3.2021. Saatavissa https://www.vyl.fi/site/assets/files/1499/kasvualustan_suosittelvat_ravinnepitoisuudet_2019.pdf

Viherympäristöliitto 2020. RAMS 2020 – Päätöksentekijän opas viheralueiden kunnossapitoluokitukseen. Viitattu 4.3.2021. Saatavissa https://www.vyl.fi/site/assets/files/3225/vyl_rams_paatoksentekijanopas_valmis.pdf

Viherympäristöliitto 2021. ABC-Vastaavuus. Viitattu 4.3.2021. Saatavissa <https://www.vyl.fi/ohjeet/kunnossapitoluokitus/vastaavuus/>

Valtioneuvoston päätös valtakunnallisista alueidenkäyttötavoitteista YM/2017/81 2017. Ympäristöministeriö. Viitattu 2.3.2021. Saatavissa <https://valtioneuvosto.fi/delegate/file/35630>

Yli-Jama, L 2020. Kierrätyskasvualustojen käytännöt Helsingin kaupungilla. Vihreä kaupunki ja kiertotalous -seminaari 1.9.2020. Viitattu 13.4.2021. Saatavissa https://circvol.fi/wp-content/uploads/2020/10/Kierratyskasvualustat-kaupungilla_010920-Laura.pdf

Ympäristöministeriö 2018. Valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet. Viitattu 2.3.2021. Saatavissa https://www.ymparisto.fi/fi-fi/elinymparisto_ja_kaavoitus/maankayton_suunnittelujarjestelma/Valtakunnalliset_alueiden_kayttotavoitteet

Östersundom-toimikunta 2018. Östersundomin yhteinen yleiskaava. Viitattu 2.3.2021. Saatavissa https://www.hel.fi/hel2/ksv/ostersundom/Liite_1_Tarkistettu_kaavaehdotus_20181211.pdf