

Kaupunki muuttuvassa maailmassa

Rajallisen ja muuttuvan maailman
reunaehdot hiilinegatiivisen
kaupungin suunnitteluun

– Yhteenveto asiantuntijakeskusteluista

Susa Eräranta

Helsinki

The logo for Helsinki, featuring the word "Helsinki" in a white, sans-serif font inside a white outline of a speech bubble or a rounded rectangle with a small tail at the bottom.

Helsinki

**Kaupunki muuttuvassa maailmassa:
Rajallisen ja muuttuvan maailman reunaehdot
hiilinegatiivisen kaupungin suunnitteluun**

**Helsingin kaupungin keskushallinnon
julkaisuja 2023:4**

**ISBN 978-952-386-240-1 (nidottu)
ISBN 978-952-386-241-8 (pdf)**

**ISSN 2242-4504 (nidottu)
ISSN 2323-8135 (verkossa)**

Julkaisuvuosi: 2023

**Taitto: Susa Eräranta
Kannen kuva: Jussi Hellsten**

Sisällys

ESIPUHE	4
1 JOHDANTO	5
1.1 Kiristyvät ilmastotavoitteet ja hiilinegatiivisuus.....	5
1.2 Raportin tavoite.....	6
2 TARKASTELUTASOT	8
2.1 Kaupunkirakenne.....	8
2.2 Korttelit ja rakennukset.....	9
2.3 Yksilö.....	11
3 MUUTTUVAN JA RAJALLISEN MAAILMAN REUNAEDOT HIILINEGATIIVISELLE KAUPUNGILLE	13
REUNAehto 1: Päästövähennystarve.....	16
REUNAehto 2: Materiaaliset rajoitteet.....	22
REUNAehto 3: Luontokato.....	26
REUNAehto 4: Lämpeneminen.....	30
REUNAehto 5: Sateisuus.....	36
REUNAehto 6: Tuulisuus.....	42
REUNAehto 7: Merenpinnan nousu ja vesistöt.....	46
4 ASKELET KOHTI HIILINEGATIIVISUUSTAVOITTEEN KONKRETISOINTIA	49
4.1 Strateginen ohjaus ja rakenteet.....	49
4.2 Instrumentit, ohjaus ja prosessit.....	50
4.3 Askelet kohti hiilinegatiivisuuden konkretisointia.....	51
Lähteet	54
Liite 1: Asiantuntijakeskusteluihin osallistuneet	65
Liite 2: Asiantuntijatyöpajoihin osallistuneet	66
Liite 3: Tunnistetut keinot reunaehtojen huomioimiseksi	68
Liite 4: Tunnistetut reunaehdot ja niiden stressitesti	71
Kuvaluettelo	73
Taulukkuuettelo	75

Esipuhe

Viimeiset seitsemän vuotta ovat olleet mittaushistoriamme lämpimin ajanjakso [1]. Muutokset ovat olleet nopeampia kuin tähän asti on osattu ennakoida. Vuonna 2021 neljä keskeistä ilmastoindikaattoria rikkoi ennätysään [2]. Alkuvuodesta 2022 Etelämantereen lämpötilat ylittivät normaalitasonsa kymmenillä asteilla [3]. Kevään aikana kuulimme, että Suomen maankäytöstä muodostui päästölähde hakuiden lisääntyessä ja puuston kasvun hidastuessa [4]. Vuoden 2022 aikana laajoilla alueilla maailmassa taisteltiin kuumuusaaltojen ja kuivuuden aiheuttamien maastopalojen kourissa. Vuoden aikana ilmentynyt World Cities Report [5] arvioi, että jo siirtymää kohti hiilinollatavoitetta on kuvannut kunnianhimon puute. Samana vuonna julkaistun arvion mukaan YK:n SDG-tavoitteiden, joiden osana myös ilmasto on, vaikutus jää usein parhaimmillaankin diskursiiviseksi [6]. Nykyinen päästökehitys on johtamassa jopa yli 4°C lämpenemiseen kunnianhimoisista tavoitteista huolimatta. Lämpenemisen lisäksi nopeita muutoksia on tapahtunut esimerkiksi luontokadon, maaperän köyhtymisen ja kriittisten materiaalien saatavuuden osalta. Monia parannuksiakin on kuitenkin tapahtunut. Ei kuitenkaan vielä riittävästi. Muutos on kuitenkin mahdollinen ja suuretkin yhteiskunnalliset muutokset voivat tapahtua kunakin aikakautena suhteellisen lyhyelläkin aikavälillä, kuten historia on jo osoittanut esimerkiksi suurten yhteiskunnallisten murrosten ja kriisitilanteiden kohdalla [7].

Monet kaupungit ovat sitoutuneet Pariisin sopimuksen tavoitteisiin asettamalla kiristyviä päästövähennystavoitteita, joilla pyritään estämään ilmaston vaarallinen lämpeneminen ja turvaamaan elinolosuhteet myös tulevaisuudessa. Helsingin kaupunki tavoittelee [8] hiilineutraaliutta vuoteen 2030 mennessä, hiilinollaa vuoteen 2040 mennessä ja tämän jälkeen hiilinegatiivisuutta. Kun vuoteen 2030 asetettu hiilineutraaliustavoite tarkoittaa, että kaupungin CO₂-päästöjä on vähennettävä 80 % vuoden 1990 tasoon verrattuna ja loput 20 % on mahdollista kompensoida kaupungin rajojen ulkopuolella, jo hiilinollaan siirtyminen vaatii, että kaupungin tuottamien ja sitomien CO₂-päästöjen tulee olla tasapainossa kaupungin rajojen sisäpuolella. Hiilinegatiivisuus puolestaan tarkoittaa, että kaupungin rajojen sisällä syntyvien päästöjen tulee olla pienempiä kuin sen kyky sitoa hiiltä omilla toimillaan.

Koska asetetut tavoitteet ovat vielä verrattain uusia, käytännöt niiden saavuttamiseksi eivät ole vakiintuneita. Nykyisellään vakiintuneet käytännöt ja toimintamallit ovat osasy kiihtyvään muutokseen ja uusintavat ilmastohaasteita jatkuvasti. Ennen kuin hiilinegatiivisuutta voidaan kuitenkaan tarkemmin visioida, on tarpeen ymmärtää, millainen on se maailma, johon visiointia tehdään. Kaupunkistrategiassa on linjattu, että kiristyvien ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi tehdään skenaariotarkastelua, jossa kartoitetaan mahdollisia polkuja asetettujen tavoitteiden savutamiseksi.

Tämän raportin tavoitteena on toimia tukena hiilinegatiivisen tulevaisuuden konkretisoinnissa tarjoten tutkimustietoa sekä odotettavissa olevista välittömän toimintaympäristömme muutoksista että niiden asettamista kriittisimmistä reunaehdoista kaupungin suunnittelun ja toimintojen osalta. Raportti kuvaa syksyn 2022 tilannekuvaa tarkasteluteemoihin liittyen ja pohjautuu kirjallisuuskatsaukseen, asiantuntija-haastatteluihin sekä niitä konkretisoiviin asiantuntijatyöpajoihin. Siinä ei ole otettu kantaa siihen, miten tunnistettuja reunaehtoja jo mahdollisesti huomioidaan osana suunnittelua tai miten niiden huomiointia jatkossa mahdollisesti kehitetään.

Raportissa on tarkasteltu asiantuntijahaastatteluiden ja -keskusteluiden pohjalta seitsemää hiilinegatiivisen kaupungin suunnittelussa huomioitavaa reunaehto: päästövähennystarve, materiaaliset rajoitteet, luontokato, ilmaston lämpeneminen, sateisuuden lisääntyminen, tuulisuus sekä merenpinnan nousu ja vesistöt. Näiden lisäksi hiilinegatiivisuuden saavuttamisen edellytyksiin vaikuttaa muita reunaehtoja, kuten asukasmäärä tietyllä maantieteellisellä alueella sekä käsitys hyväksyttävästä minimielintasosta. Näiden tarkastelu vaatii kuitenkin laajempaa arvokeskustelua ja on rajattu tämän raportin ulkopuolelle. Mikäli muuta ei ole ilmoitettu, kunkin reunaehdon muutosta on tarkasteltu kuluvan vuosisadan osalta.

Helsingissä 22.2.2023,
Susa Eräranta

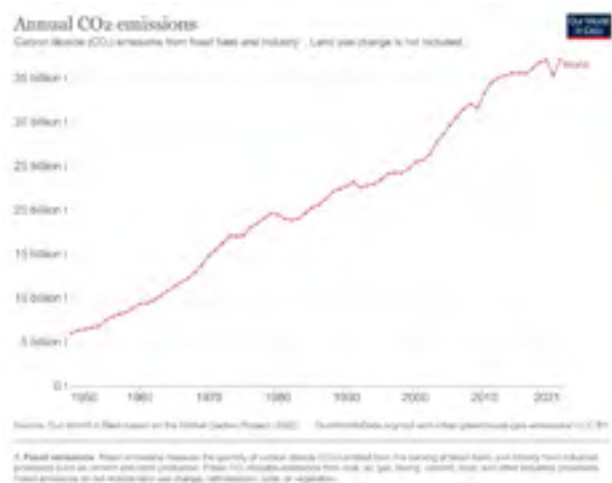
1 Johdanto

”Meaningful action in dark times is one that critically engages with possible futures”. (Halse 2022)

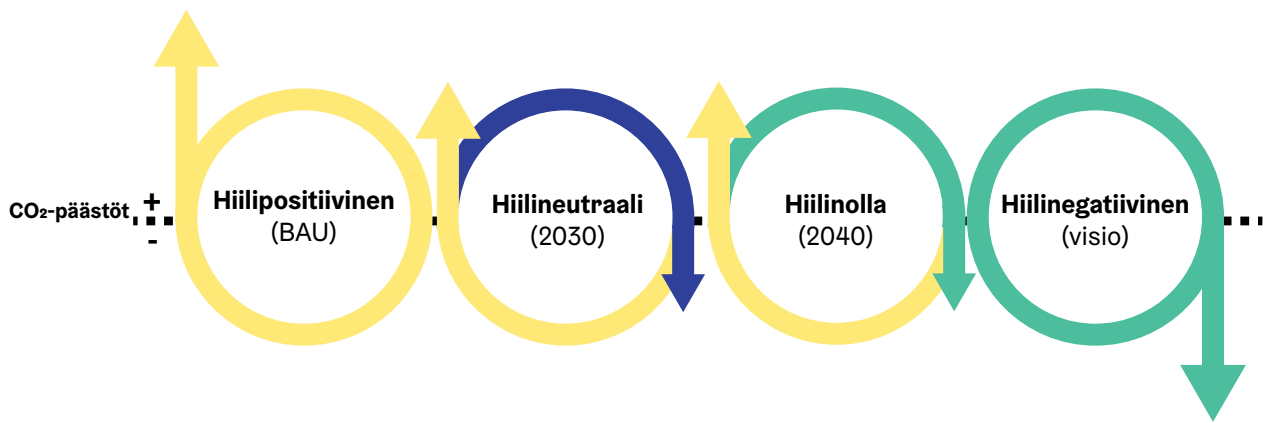
1.1 Kiristyvät ilmastotavoitteet ja hiilinegatiivisuus

Globaalit ilmastopäästöt jatkavat nousuaan asetetuista sitoumuksista ja tavoitteista huolimatta (kuva 1). Kiihtyvistä kaupungistumisesta johtuen kaupunkitasoisten ilmastotoimien on arvioitu olevan ratkaisevassa roolissa Pariisin ilmastositoumuksen asettamien tavoitteiden toteutumisen kannalta. Monet kaupungit ovat sitoutuneet Pariisin sopimuksen tavoitteisiin asettamalla kiristyviä päästövähennystavoitteita, joilla pyritään estämään ilmaston vaarallinen lämpeneminen ja turvaamaan elinolosuhteet myös tulevaisuudessa. Esimerkiksi Helsinki on kirjannut strategiaansa [8]: ”Aikaistamme Helsingin hiilineutraaliustavoitetta vuoteen 2030 [...] Asetetaan hiilinollatavoite vuodelle 2040 [...] Tämän jälkeen tavoitteena on hiilinegatiivisuus”. Kuva 2 kuvaa tulevaisuuteen asetettujen ilmastotavoitteiden eroa periaatteellisella tasolla. Vuoteen 2030 asetettu hiilineutraaliustavoite tarkoittaa, että kaupungin CO₂-päästöt on vähennettävä 80 % vuoden 1990 tasoon verrattuna ja loput 20 % on mahdollista kompensoida kaupungin rajojen ulkopuolella. Hiilinieloaan siirryttäessä kaupungin tuottamien ja sitomien CO₂-päästöjen tulee olla tasapainossa kaupungin rajojen sisäpuolella. Hiilinegatiivisuus puolestaan tarkoittaa, että kaupungin rajojen sisällä syntyvien

päästöjen tulee olla pienempiä kuin sen kyky sitoa hiiltä omilla toimillaan. Monen kaupungin kyky sitoa hiiltä perinteisesti hiilinieluinä pidettyihin metsiin ja niiden maaperään laskee kuitenkin jo lähitulevaisuudessa rakennettavan maa-alan kasvaessa korostaen tarvetta suuriin päästövähennyksiin.



Kuva 1. Kunnianhimoisista tavoitteista ja sitoumuksista huolimatta globaalit CO₂-päästöt jatkavat nousuaan. Sitoumusten edellyttämien päästövähennystavoitteiden saavuttaminen vaatii hetki hetkeltä vaikuttavampia toimia [9].



Kuva 2. Tulevaisuuteen asetettujen päästövähennystavoitteiden periaatteelliset erot nykytilanteen (BAU) jälkeen. Eri suunnitelutasoilla tähdätään tulevaisuuden eri kohtiin ja siten myös eri ilmastotavoitteisiin.

Ilmastopäästöjen vähentämisellä on kiire, eikä osaoptimointeihin ole enää aikaa. Tutkimukset ovat osoittaneet, että tavoitteista on jo jääty jälkeen [5], eivätkä tarvittavat toimet ole muodostuneet osaksi institutionaalisia käytäntöjä ja prosesseja [10, 11, 12]. Vaikka tavoite hiilinegatiivisuudesta tähtääkin pidemmälle tulevaisuuteen, hiilinegatiivista kaupunkia suunnitellaan jo nyt vuosikymmeniksi ja vuosisadoiksi eteenpäin. Sen mitä suunnitellaan ja rakennamme nyt, tulee jatkossa mahdollistaa myös kiristyvien hiilinolla- ja hiilinegatiivisuustavoitteiden saavuttaminen. Suunnittelussa on tärkeää saada sopeutumiskyvyn kasvattamisen lisäksi aikaan päästöjä vähentäviä tekoja, sillä vain konkreettiset teot lasketaan. Hiilinegatiivisuustavoite ei enää mahdollista päästöjen pienimuotoista vähentämistä, vaan vaatii ajattelutavan radikaalin muutoksen [7]. Päästöjen huomattava lasku lyhyellä aikavälillä ei kuitenkaan näytä tähänastisen kehityksen valossa todennäköiseltä.

“Laiva uppoaa ja samoista palikoista pitää rakentaa uusi samalla kun se menee alas.”

1.2 Raportin tavoite

Koska asetetut tavoitteet ovat vielä verrattain uusia, esimerkiksi hiilinegatiivisuuden määritelmä ei ole vielä sisällöltään vakiintunut sen asettamien reunaehtojen ja keinojen osalta, eikä niitä huomioida osana tämänhetkisiä kaupunkikehitys- ja suunnittelukäytäntöjä. Nykyisellään vakiintuneet käytännöt ja toimintamallit ovat osasy kiihtyvään muutokseen ja uusintavat ilmastohaasteita jatkuvasti. Kaupunkikehitys tukeutuu yhä pitkälti sektoraaliseen ja alueelli-

seen osaoptimointiin painottaen kerrallaan yhtä - tai korkeintaan harvaa - tavoitetta ja tiettyjen - tai tietyn-tyyppisten - alueiden etuja [13]. Asetettuihin tavoitteisiin ei voida päästä nykykäytäntöihin tukeutuen tai niitä inkrementaalisesti kehittämällä, sillä monien haasteiden juurisytyt ovat nykyisissä talous- ja hallintajärjestelmissä [13, 14, 15]. Mitä kauemmin nykyisen kaltainen kehitys jatkuu, sitä haastavampi muutos planeetan kantokyvyn rajoissa oleviin tottumuksiin on [16]. Muutos on kuitenkin mahdollinen ja suuretkin yhteiskunnalliset muutokset voivat tapahtua kunakin aikakautena suhteellisen lyhyelläkin aikavälillä, kuten historia on jo osoittanut esimerkiksi suurten yhteiskunnallisten murrosten ja kriisitilanteiden kohdalla [7]. Suunnittelu ei kuitenkaan voi enää tavoitteiden osoittamassa tilanteessa perustua nykyisten tarpeiden tyydyttämiseen, vaan sen tulee pohjautua tulevaisuuden maailman asettamien reunaehtojen kokonaisvaltaiseen huomioimiseen.

Vaikka keskustelu planetaarisesta kaupungistumisesta on heräilemässä [esim. 13, 17, 18] ohjaten huomiota yhä enemmän myös ihmistoiminnan planeetaarisiin vaikutuksiin, hiilinegatiivisia kaupunkivisioita ei ole alustavan selvityksen mukaan tehty muissa kaupungeissa, joten valmiita esimerkkejä, joista ottaa oppia, ei ole. Sen sijaan muita transformatiivista muutosta vaativia skenaariotarkasteluja on tehty myös muissa Pohjoismaissa (ks. Esimerkki 1, Esimerkki 2). Yhteistä näille tarkasteluille on huomio siitä, että tarvittava muutos ei ole mahdollinen pienillä sektori-kohtaisilla toimilla, vaan vaatii systeemisen kaikkia toimialoja sekä institutionaalista kontekstia koskevan johdonmukaisen ja tavoitelähtöisen muutoksen [19].

- **Esimerkki 1:** Tutkimuskäyttöön pohjautuva Oslon seudun degrowth-skenaario [20, 21].
- **Esimerkki 2:** Tutkimuskäyttöön pohjautuva KTH:n degrowth-skenaariotarkastelu [22, 23].

Hiilinegatiivisuus vaatii kokonaiskuvan hahmottamista, kaikkein vaikuttavimpien toimien käyttöönottoa sekä systeemisiä muutoksia myös tapaan suunnitella kaupunkeja (kuva 3). Hiilinegatiivisuuden konkretisointi ja hiilinegatiivisen tulevaisuuden edistäminen vaatii kykyä ja halua kuvitella tulevaisuuksia, jotka poikkeavat nykytilanteesta suurestikin. Ajattelun harjaannuttaminen ei ole kaikille yhtä luontevaa ja vaatii menetelmien lisäksi vahvan tietopohjan sekä todennäköisistä muutoksista että niiden vaikutuksista - sen maailman reunaehdoista, jota olemme kuvittelemassa. Kuvittelu vaatii tuekseen riittävän tietopohjaisen tilannekuvan, jonka päälle rakentaa tavoitetilaa. Päästövähennystavoitteet ja muiden reunaehtojen asettamat vaatimukset eivät ole aina keskenään samansuuntaisia. Ne voivat olla jopa ristiriitaisia, jonka vuoksi on tärkeää tarkastella muuttuvan maailman kriittisiä reunaehtoja osana hiilinegatiivisuustavoitteen konkretisointia.

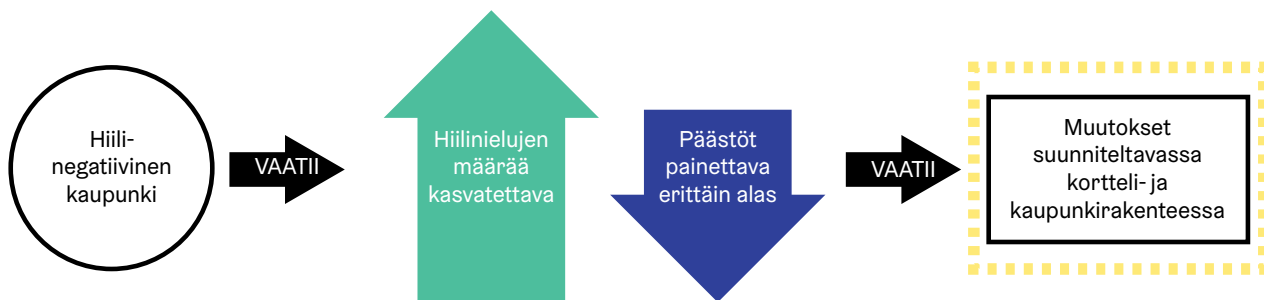
Vaikka ilmastonmuutos ilmiönä on jo tuttu, ymmärrys sen asettamista konkreettisista reunaehdoista suunnittelulle on vielä vähäistä [24]. Monet reunaehdot ja niiden vaatimat toimet ovat myös paikkasidonnaisia ja niiden jatkotarkastelu paikallistasolla on tärkeää. Tämän raportin tavoitteena on toimia tukena hiilinegatiivisen tulevaisuuden konkretisoinnissa tarjoten tutkimustietoa sekä odotettavissa olevista välittömän toimintaympäristömme muutoksista että niiden asettamista kriittisimmistä reunaehdoista kaupungin suunnittelun ja toimintojen osalta. Raportti kuvaa syksyn 2022 tilannekuvaa tarkasteluteemoihin liittyen ja pohjautuu kirjallisuuskatsaukseen, asiantuntijahaastatteluihin (Liite 1) sekä niitä konkretisoiviin asi-

antuntijatyöpajoihin (Liite 2). Teemat altistettiin ensin kaupunkiorganisaation ulkopuoliselle asiantuntijatielolle, joita tulkittiin myöhemmin kaupungin sisäisissä asiantuntijatyöpajoissa suunnittelunäkökulmaan ja keinoihin painottuen. Raportissa kuvataan se reunaehto- ja keinojen rajaama tila, jonka sisällä hiilinegatiivisen kaupungin konkretisointia voidaan myöhemmin edistää. Raportissa on pyritty varsinaisten reunaehto- ja niiden asettamien tarpeiden lisäksi tunnistamaan myös niiden suhdetta toisiinsa.

Raportti on jaettu kolmeen keskeiseen osaan:

- 1. Tarkastelutasot**, jossa käydään lyhyesti läpi keskeisimmät mittakaavalliset tasot, joilla reunaehto- ja keinojen vaikutuksia ja keinoja niiden huomioimiseksi käsitellään:
 - Kaupunkirakenne
 - Korttelit ja rakennukset
 - Yksilö
- 2. Reunaehdot**, jossa esitellään asiantuntijahaastattelussa tunnistetut kriittisimmät odotettavissa olevat muutokset, joihin kaupunkikehittämisessä ja -suunnittelussa tulee sopeutua sekä keinoja niiden huomioimiseksi eri tarkastelutasoilla:
 - Päästövähennystarve
 - Materiaaliset rajoitteet
 - Luontokato
 - Lämpeneminen
 - Sateisuuden lisääntyminen
 - Tuulisuuden muutokset
 - Merenpinnan nousu
- 3. Askelet kohti hiilinegatiivisuutta**, jossa hahmotellaan hiilinegatiivisen kaupungin konkretisoinnin prosessia sekä tavoitteen saavuttamisen vaatimia institutionaalisia muutoksia.

Kuva 3. Hiilinegatiivisessa kaupungissa hiilinielujen määrän tulee olla suurempi kuin ilmakehään tuotettavat päästöt. Tämä edellyttää muutoksia nykyiseen suunnitteluun.



2 Tarkastelutasot

Muuttuvan maailman reunaehdoja ja niihin sopeutumisen keinoja käydään raportissa läpi kolmen tarkastelutason kautta huomioiden myös niiden mahdolliset vaikutukset muihin tunnistettuihin reunaehtoihin. Tarkastelutasot ovat: kaupunkirakenne; korttelit ja rakennukset; sekä yksilö.

Mitä vaativammista ja pidemmän aikavälin ilmastotavoitteista puhutaan, sitä systeemisemmiksi muuttuvat myös keinot niiden saavuttamiseksi. Hiilineutraaliuteen voidaan päästä melko hyvin tehokkailla sektoriratkaisuillakin, kuten liikenteen ja energiantuotannon ominaispäästöihin vaikuttamalla, rakentamisen energiatehokkuudella ja rakennusmateriaalien vähähiilisyydellä. Hiilinegatiivisuus puolestaan vaatii toteutuakseen systeemiä ja institutionaaliakin muutoksia esimerkiksi kaupunkirakenteeseen, rakentamisen kiertotalouteen ja liikkumis- sekä kulutustotumuksiimme.

2.1 Kaupunkirakenne

Kaupunkirakenteen tasolla tarkastellaan erityisesti toimintojen sijoittumiseen, liikkumiseen ja saavutettavuuteen sekä sini-viherrakenteeseen liittyviä asioita.

Kaupunkirakenne päivittyy kokonaisuutena varsin hitaasti. Sen merkitys hiilinegatiivisuuden edistämisessä ja muuttuvan maailman reunaehtojen huomioimisessa on kuitenkin keskeinen. Kaupunkeihin asettuu ihmisiä monenlaisista taustoista, jolloin myös elämäntavat, mahdollisuudet ja tarpeet poikkeavat toisistaan [25, 26, 27]. Kaupungin onkin tärkeää mahdollistaa asumisen monimuotoisuus myös jatkossa, sillä kestävätkä ratkaisut ovat toimivia vain silloin, kun ne muodostuvat osaksi arkea. Puhtaamman teknologian ja käyttövoimien vähäpäästöisyyden lisäksi onkin tarpeen kiinnittää huomio kaupunkirakenteeseen, joka ohjaa aktiivisesti kohti päästöintenssiivisten valintojen välttämistä, vähentämistä, päästösiirtymän välttämistä (ns. rebound effect) ja siirtymää kohti vähäpäästöisempiä valintoja [28, 29, 30, 31].

Kaupunkirakenteeseen ei olekaan olemassa yksiselitteistä ratkaisua, vaan se on aina sidoksissa esimerkiksi jo olemassa olevaan rakenteeseen, verkostoihin sekä seudulliseen sijaintiin. Lähtökohtaisesti eri toimintoja integroivan kaupunkirakenteen on kuitenkin todettu sisältävän enemmän mahdollisuuksia elävyyden ja tuleviin muutoksiin sopeutumisen näkökulmasta kuin toiminnot tiukasti eriyttävän rakenteen [25]. Riittävän tiiviin ja sekoittuneen rakenteen on todettu tukevan esimerkiksi alueiden aktiivisuutta eri vuorokauden- ja vuodenaikoina toimintojen rytmien limittyessä keskenään. Alueen tiiveys ja monikäyttöisyys ovat usein keskeisiä tekijöitä suunnittelun kestävydestä puhuttaessa [32, 33]. Tiivistäminen ei johda suoriin päästövähennyksiin, mutta toimii mahdollistajana esimerkiksi liikkumisen päästövähennystavoitteen saavuttamisessa. Tutkimuskirjallisuuden mukaan liikennesuoritteiden laskemiseen tähtäävän tiivistämisen rajat tulevat kuitenkin jossain kohdassa vastaan [34], kun pyritään samalla huomioimaan elinympäristön viihtyisyys [33]. Mitä tiiviimmästä ja korkeamman alueesta on kyse, sitä suuremmaksi kasvaa myös todennäköisyys alueen ulkopuolisille planetaarisille vaikutuksille [35]. Huoli tiivistymisen haittavaikutuksista on herättänyt viime vuosina yhä enemmän keskustelua [36]. Kaupunkien tiivistyessä nouseekin usein esiin huoli asumisen laadun heikkenemisestä [37, 38]. Tiiveys ei siis yksinään riitä ilmastotavoitteiden saavuttamisen varmistamiseksi ja erityisesti rakentamisen korkeuden kasvaessa huomattavan suureksi sen energiantarve ja päästövaikutus kasvavat teknisten järjestelmien lisääntyessä [33].

Hiilinegatiivisessa kaupungissa tekeminen on monin paikoin optimoidumpaa. Kaupunkirakenteessa hiilinegatiivisuustavoitteen saavuttamiseen vaikuttavat päästöt ja päästövähennystarpeet aiheutuvat pitkälti liikkumisesta, johon vaikuttavat rakenteen ja verkostojen lisäksi myös yksilöiden henkilökohtaiset valinnat. Konkreettisia keinoja päästövähennystavoitteen huomioimiseen kaupunkirakenteen suunnittelussa on tunnettu jo kauan. Näitä ovat esimerkiksi yksityisautoilun perustuvan liikkumistarpeen ja liikennesuoritteiden vähentäminen suosimalla lisärakentamisen sijoittamista jo olemassa olevan infrastruktuurin ääreen, lomittamalla eri toimintoja keskenään kaupunkirakennetta sekoittaen sekä varmistamalla palvelurakenteen osalta riittävä rakentamistehokkuus

[39], jotka ovat samansuuntaisia myös materiaalien reunaehto- jen huomioimisen kanssa. Tämän lisäksi on tärkeää huomioida rakentamisen sijoittelu esimerkiksi maaperän, pienilmaston ja luonnon kannalta sopiviin kohtiin kasvullinen maa-ala maksimoiden ja menetetty kasvillisuus uudistaen [39]. Liikkumisen osalta ei kuitenkaan riitä, että liikenteen yksikköpäästöjä vähennetään, vaan tarvitaan myös liikkumissuoritteiden ja -tarpeen vähentämistä, sillä eri liikku- mistarpeet kilpailevat keskenään yhä enemmän samasta tilan- ja energiantarpeesta [40].

Liikkumissuoritteiden vähentämisen keinoina korostuu kaupunkirakenteen ja palveluverkoston kehittäminen. Liikkuminen ei kuitenkaan ole vain päästölähde, vaan sillä on suuri merkitys kaupunkielämän kannalta: ei vain paikasta toiseen siirtymisessä ja ilmastovaikutusten näkökulmasta, vaan myös sosiaalisen ympäristön rakentamisessa [41, 42, 43]. Liikkumistarvetta ei ole mahdollista vähentää rajattomasti, joten jatkossa on entistäkin tärkeämpää huomioida saavutettavuus erityyppisille alueille: arjen rytmien erilaistuuksessa esimerkiksi koti, työt, opinnot, sosiaaliset verkostot ja palvelut eivät useinkaan sijaitse aivan lähellä toisiaan. Jäljelle jäävän liikkumistarpeen osalta tulee aktiivisesti edistää kestävien kulkumuotojen käyttöä kiinnittämällä erityistä huomiota esimerkiksi matkustuskokemukseen ja kestävien matkaketjujen suhteelliseen sujuvuuteen arjessa [44, 45]. Joukkoliikenteen verkoston ja palvelutason kehittämisen lisäksi miellyttävän ja sujuvan kävely- ja pyöräily-ympäristön luominen on tärkeää. Viimeaikaisten tutkimusten valossa esimerkiksi yhteiskäyttöautojen päästövähennysvaikutus voi jopa jäädä huomattavasti aiemmin arvioitua matalammaksi (3–18 % vs. jopa 67 %) [46], joskin tulokset tästä ovat osin ristiriitaisia riippuen päätöksenteossa painotettavista arvoista [47]. Paikallistason liikkumisympäristön tuleekin jatkossa toimia erityisesti kestävien kulkumuotojen näkökulmasta.

”Arjessa liikkuminen korostuu. Ei voi olla, että lähdän enää Itä-Helsingistä Espooseen hakemaan jotain ruuvia”.

Tiiveyden sijaan puhutaankin yhä enemmän myös kaupunkirakenteen intensiivistämisestä, joka huomioi tiiveyden lisäksi myös monimuotoisuuden, kytkeytyvyyden ja kompaktiuden [33]. Hiilinegatiivisen kaupungin tulee jatkossakin tarjota mahdollisuuksia monimuotoiseen elämään ja erilaisiin elämäntapoihin. Kestävä kaupunki tarjoaa erilaisia tiiveyden, asumisen ja viherrakenteen muotoja kaupungin eri osissa huomioiden samalla niiden erilaisen vaikutuksen ja keinot ilmastotavoitteisiin pääsemiseksi sekä muuttu-

van maailman reunaehto- jen huomioimiseksi. Yhteis- kunnan monimuotoisuudessa tarve myös kaupungin monimuotoisuudelle kasvaa.

“Koska kasvava määrä ihmisiä haluaa olla kaupungissa tai joutuu siellä olemaan on elämisen edellytykset, erilaisille ihmisille täytyy olla houkuttelevia paikkoja ja elämisen edellytyksiä”.

2.2 Korttelit ja rakennukset

Kortteleiden ja rakentamisen tasolla tarkastellaan lähinaapurustoon ja yksittäisiin rakennushankkeisiin liittyviä asioita.

Rakentaminen on keskeinen teema, johon muuttuva ilmasto [48] ja muut reunaehdot vaikuttavat. Samalla rakentaminen itsessään on merkittävä päästölähde ja siitä on haastava saada täysin hiilinegatiivista. Kasvu ja sen mukana lisääntyvä rakentaminen johtavatkin rakentamisen kasvavasta määrästä johtuen nyky- sillä menetelmillä jatkuvasti suurempiin päästöihin. Rakentamisen yksikköpäästöissä on kuitenkin tapahtunut laskua. Vaikka rakennukset peittävät planeettamme pinnasta vain noin prosentin [49], yli puolet maapallon raaka-ainetarpeista kohdistuu nimenomaan rakentamiseen [50]. Hiili-intensiivisiä tuotteita käytetään määrällisesti eniten nimenomaan rakentamisessa [50]. Helsingin osalta tarkkaa arviota ei ole olemassa, mutta Euroopassa ja Suomessa on arvioitu, että jopa noin kolmannes CO₂-päästöistä liittyy rakentamiseen [51]. Kantavan rungon päästöt ovat tyypillisesti noin 35 % rakennusten tuotesidonnaisista päästöistä rakennuspaikan valmistelun päästöjen ollessa noin 16 % [50].

Rakentamisen päästöjen näkökulmasta on tärkeää huomioida sen koko elinkaari. Päästöjä syntyy nimitäin raaka-aineiden hankinnan, tuotteiden valmistuksen ja kuljetuksen lisäksi myös käyttövaiheen energiankulutuksesta ja rakennuksen purkamisesta ja loppusijoituksesta [50]. Korjausrakentamisen puolella päästöt syntyvät erityisesti materiaaleista sekä purkujätteen käsittelystä [50]. Uudis- ja korjausrakentamisen lisäksi rakentamisen vaatima infra- ja pohjarakentaminen ovat lähes aina keskeinen päästölähde [50].

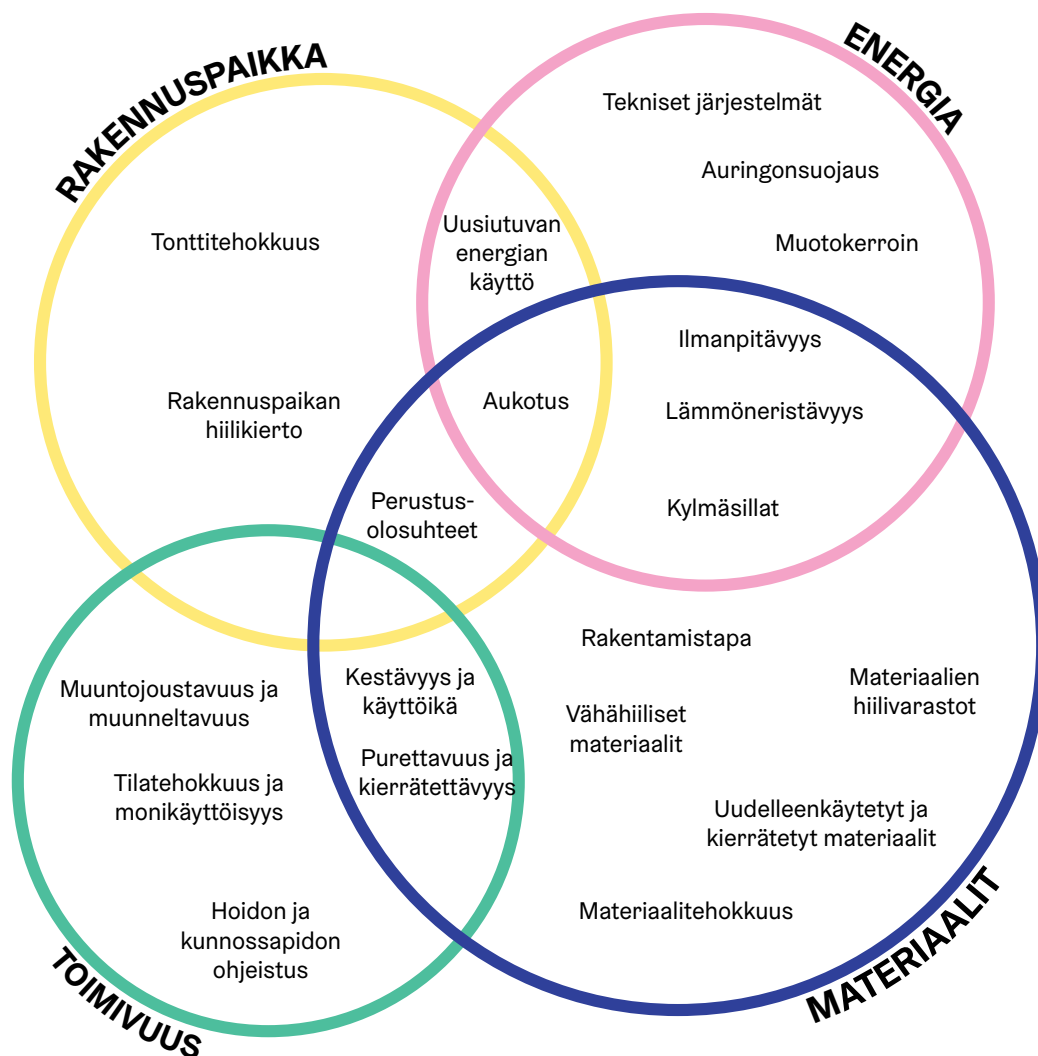
Rakentamisen osalta päästötavoitteiden huomioimisen keinot erityisesti elinkaari- ja päästönäkökulmasta on tunnettu jo kauan. Kuvassa 4 on esitetty vähähiilisen rakentamisen osatekijöitä ja kuvassa 5 eri

rakennusosien suhteellisia päästöosuuksia. Keskeisiä keinoja elinkaaripäästönäkökulmasta on rakennusten suunnittelu monikäyttöisiksi, muuntojoustaviksi ja helposti muunneltaviksi, jolloin ne ovat helposti muunneltavissa niiden käyttötarkoituksen mahdollisesti muuttuessa [39]. Tärkeää on myös huomioida rakennusmateriaalien sekä järjestelmien valinnoissa pitkäaikaiskestävyys, huollettavuus, korjattavuus sekä osien uudelleen käytön mahdollisuus [39]. Ilmastoviisas rakentaminen ei ole kuitenkaan ainoastaan uudisrakentamisen kysymys, vaan liittyy vahvasti myös olemassa olevan rakennuskannan säilyttämiseen, korjaamiseen ja uudiskäyttöön. Uudisrakentamisen osalta tilanne on helpompi, sillä suunnittelu voidaan tehdä alusta saakka tulevaisuus huomioiden [52]. Korjausrakentamisessa puolestaan tulee sovittaa tehtävät ratkaisut aina olemassa oleviin rakennusratkaisuihin [52]. Olemassa olevaan rakenteeseen muutoksia tehtäessä on huomioitava esimerkiksi rakennusten kosteusteknisen toiminnan ja sisäilman laadun mahdolliset muutokset [52].

”Hiilinegatiivinen kaupunki näyttää erilaiselta, kun vanhoista paloista koottua on enemmän. Nyt on uutta ja sliipattua”.

Kiertotalouteen pohjautuva rakentaminen ei muuta ainoastaan rakennuselementtien elinkaarta, se muuttaa myös kaupunkiympäristömme estetiikkaa. Muuttuvien olosuhteiden sekä päästövähennysvaatimusten yhteisvaikutuksesta rakennusten esteettisten ja toiminnallisten tavoitteiden toteuttaminen voi entisestään vaikeutua tulevaisuudessa [52]. Rakenteet saadaan usein toimiviksi muutoksen aiheuttamien tarpeiden osalta, mutta tämä edellyttää muutoksia [52] aiheuttaen samalla rakentamisen päästöjen kasvua. Samalla rakentamiskustannukset voivat kasvaa rakentamisen taloudellisuuden heikentyessä [52]. Tämänhetkiset odotukset kaupunkikuvan ja materiaalien osalta voivatkin vaatia uudelleentarkastelua.

Kuva 4. Vähähiilisen rakentamisen osatekijät [pohjalta: 50].



2.3 Yksilö

Yksilötasolla tarkastellaan psyykkis-fyysis-sosiaalisia vaikutuksia erityisesti ihmisenäkökulmasta.

Yksilötasolla päästöt jakautuvat tällä hetkellä melko tasaisesti asumisen (20 %), liikenteen ja matkailun (29 %), ruoan (18 %) ja muun kulutuksen (33 %) kesken [53]. Elämäntavoilla ja ihmisten arjessaan tekemillä valinnoilla on arvioitu olevan suuri merkitys ilmastotavoitteiden saavuttamisen kannalta pitkällä aikavälillä [54, 55, 56, 57]. Elämäntavan päästövaihtuksiin vaikuttaa erityisesti kolme tekijää: asenteet, mahdollistajat ja infrastruktuuri (kuva 6) [58]. Kaupunkirakenteella, palveluilla ja muulla kaupungin tarjoamalla infrastruktuurilla on lopultakin suuri merkitys siihen, ovatko vähäpäästöiset valinnat asukkaille mahdollisia ja kuinka houkutteleviksi ja helpoiksi ne koetaan [59, 16].

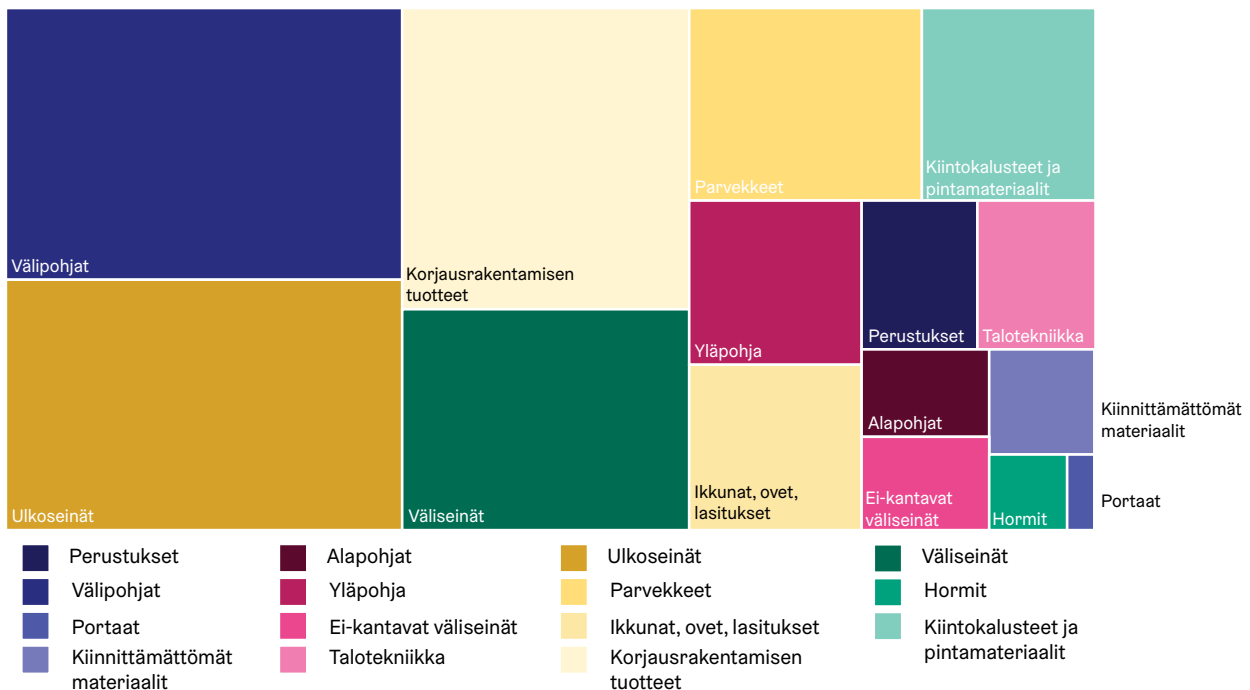
Tutkimusten mukaan elämäntapaan liittyvien päästöjen tulisi laskea esimerkiksi Suomessa noin 60–80 % vuoden 2030 tavoitteiden saavuttamiseksi ja 80–90 % vuoden 2050 tavoitteiden saavuttamiseksi [60]. Jopa 95 % päästövähennykset tämänhetkisissä keskimääräisissä elämäntapapäästöissä ovat mahdollisia riittävän elämänlaadun ylläpitämiseksi suuren henkilökohtaisen kulutuksen maissa [61], sillä tutkimuksissa on todettu, ettei hyvinvointi seuraa elintason kasvua tai laskua lineaarisesti [62, 63, 64, 65].

Useat viimeaikaiset tutkimukset ovatkin haastaneet jatkuvan kasvun ajatuksen suhteessa planetaaristen reunaehtojen vaatimiin muutoksiin [esim. 66, 67, 68, 69, 70]. Keskustelu kasvutavoitteiden sekä minimi- ja maksimielintason muutostarpeista rajataan kuitenkin tämän raportin ulkopuolelle, sillä ne vaativat laajempaa yhteiskunnallista keskustelua ja muutosta. Muutoksia kuitenkin tarvitaan, sillä rajallisella planeetalla jatkuva kasvu ei ole mahdollista.

Päästövaikutusten lisäksi demografiset ja sosioekonomiset piirteet vaikuttavat paljon ilmastomuutoksen ihmisvaikutusten kohdistumiseen, niiden kokeamiseen sekä siihen, ketkä ovat haavoittuvimmassa asemassa muutoksen keskellä [71]. Lisääntyvien fysiologisten terveysriskien lisäksi muuttuva maailma voi vaikuttaa psyykkis-sosiaaliseen hyvinvointiin ihmisten arkiympäristön ja arjen olosuhteiden muuttuessa [72]. Päästövähennykset voivat johtaa kuitenkin myös positiivisiin terveysvaikutuksiin [73] esimerkiksi aktiivisen liikkumisen yleistyessä.

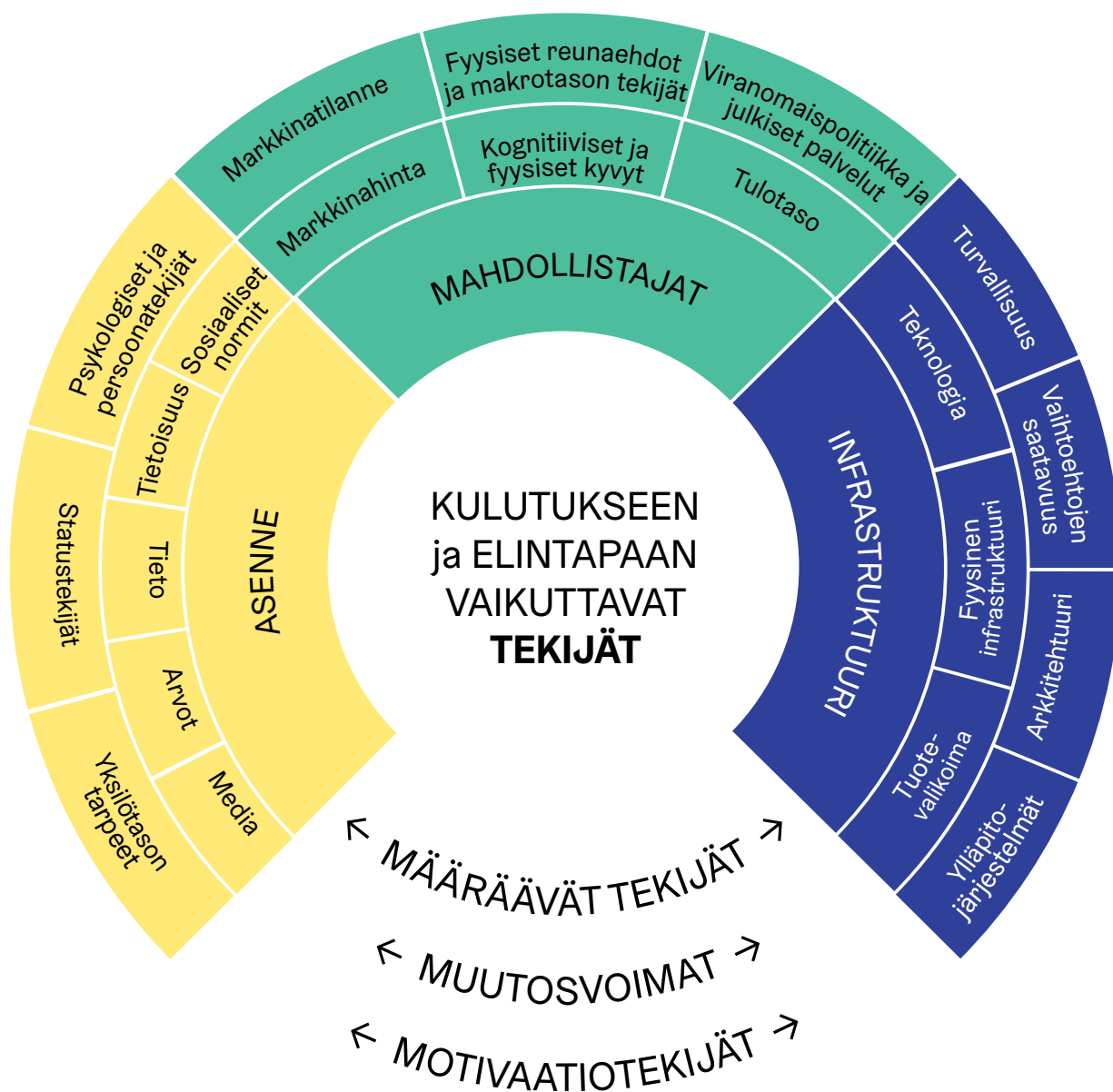
Tulevaisuuden muuttuvan maailman ja hiilinegatiivisen kaupungin ihmisvaikutusten kannalta keskeinen tarkastelunäkökulma onkin terveys ja hyvinvointi [74, 75]. Esimerkiksi kaupunkiluonnon merkitystä ihmisen terveyteen on tutkittu paljon [76]. Miellyttävä sekä helposti saavutettava ympäristö auttaa esimerkiksi stressistä palautumiseen [77, 78, 79], kun taas luonnon monimuotoisuudella on merkitystä fyysisen

Kuva 5. Rakennusosien suhteelliset päästöosuudet [pohjalta: 50].



terveyden edistämiseen [80]. Jo lyhytaikaisella vierailulla viherympäristöön on havaittu olevan myönteisiä vaikutuksia myös psykologiseen hyvinvointiin [78]. Viheralueet myös ehkäisevät lämpösaarekilmion muodostumista vaikuttamalla alueiden mikroilmastoon. Pienieleisetkin viherelementit voivat olla tärkeitä monimuotoisuuden tukemisessa ja kuumuuden sitomisessa [81, 82].

Kuva 6. Asenteiden ja mahdollistajien lisäksi infrastruktuurilla on keskeinen merkitys päästöjen muodostumisessa [58].



3 Muuttuvan ja rajallisen maailman reunaehdot hiilinegatiiviselle kaupungille

Maailma muuttuu jatkuvasti, eikä tasaista normaalitilannetta ole enää odotettavissa. Tulevaisuudessa elämme maailmassa, jonka reunaehdot ovat muuttuneet niin globaalilla kuin paikallisellakin tasolla. Päästövähennystavoitteen lisäksi hiilinegatiivisen kaupungin suunnittelussa on huomioitava kriittisinä reunaehtoina vähintäänkin materiaaliset rajoitteet, luontokato, ilmaston lämpeneminen, sateisuuden lisääntyminen, tuulisuuden muutokset sekä merenpinnan nousu. Reunaehtoja, niiden vaikutuksia ja keinoja niiden huomioimiseksi eri tarkastelutasoilla on tarkasteltu erityisesti Helsinkiin kohdistuvien muutosten näkökulmasta.

Ihmistoiminnan kautta ilmakehään tuotetusta hiilidioksidista vajaa puolet on jäänyt ilmakehään lopun liuettua mereen ja sitouduttua kasveihin sekä maaperään [83]. Ilmakehään jääneen hiilidioksidin vaikutukset muuttavat ilmastoa vielä kauan. Muutos ei olisi ollut nopeudeltaan nykyisen kaltainen ilman ihmisten vaikutusta. Ihmisen vaikutus ilmastoon on korostunut erityisesti fossiilisten polttoaineiden hyödyntämisen, metsien hävittämisen sekä maan muokkaamisen myötä [83, 84]. Ilmaston osalta tasaista normaalitilannetta ei enää ole odotettavissa, vaan siirrymme yhä selkeämmin jatkuvan muutoksen aikaan. Muuttuvan ilmaston lisäksi myös moni muu asia on muuttumassa. Tulevat muutokset ovat vahvasti systeemisiä. Kaupunkien toiminta perustuu kaupunkien maantieteelliset rajat ylittävään toimintamalliin, jonka vuoksi on tärkeää huomioida myös niiden toiminnan ja ylläpitämisen aiheuttamat kokonaisvaikutukset ja

-tarpeet niin päästöjen kuin hupenevien resurssienkin näkökulmasta [85].

Päästövähennystavoite, ilmaston muuttuminen ja planetaariseen kantokykyyn liittyvät reunaehdot vaativat muutoksia myös totuttuihin toimintamalleihimme ja elämäntapaamme. Rajallisten resurssien ylikulutukseen perustuvat toimintamallit eivät ole luonnon ja materiaalien asettamien reunaehtojen puitteissa mahdollisia. Suunnittelulla tulee luoda edellytykset hiilinegatiiviselle tulevaisuudelle jo nyt, sillä maapallon kantokyky on tulossa vastaan monella eri osa-alueella samanaikaisesti [86, 87, 88] (kuva 7).

Eri osatekijöiden ja niiden suhteiden muutokset voivat voimistaa tai heikentää vaikutuksia vaikeasti ennakoitavilla tavoilla. Monet muutokset ovat kytkeytyneet esimerkiksi globaalin ilmastotyön edistymiseen. Onkin tärkeää suunnitella päästövähennystarpeen huomiointia tilanteeseen, jossa on huomioitu myös kaupungin sopeuttaminen muiden reunaehtojen vaatimiin muutoksiin. Ennakoiva varautuminen on kuitenkin riskienhallinnan osalta kannattavampaa verrattuna tilanteeseen, joissa muutostarpeisiin vastataan vasta ensimmäisten realisoituneiden riskien tai aiheutuneiden vahinkojen jälkeen [90]. Ilmaston muuttumiseen liittyvien riskien huomioiminen on kuvattu kuvassa 8. Taloudellisesti merkittäviä mahdollisia riskejä ovat esimerkiksi taajamatulvat, energihuollolle ja liikenneinfrastruktuurille aiheutuvat häiriöt, vaikutukset maa- ja metsätalouteen sekä ääriolosuhteiden ja lisääntyvien tautien vaikutukset kansanterveyteen [91, 92, 93]. Mitkä ovat riskien realisoituessa ensisijaisesti suojattavat kriittiset toiminnot? Miten kansalaisia ohjeistetaan? Mitä muuta tulee huomioida?

Tutkimuskirjallisuuden ja asiantuntijahaastatteluiden (Liite 1) pohjalta tunnistettiin useita eri reunaehtoja (kuva 9), kuten globaalin ilmastonmuutoksen luoma päästövähennystarve sekä ilmastopakolaisuus, globaalit materiaaliset rajoitteet, globaali luontokato, globaalin ilmastonmuutoksen luomat sopeutumistarpeet, päivitettävä käsitys minimielintasosta, kaupunkien kasvutavoitteet sekä käytettävissä olevan tilan rajallisuus. Näistä kriittisiksi, kaupunkitasolla huomioitaviksi ja tässä raportissa tarkemmin tarkasteltaviksi tunnistettiin:

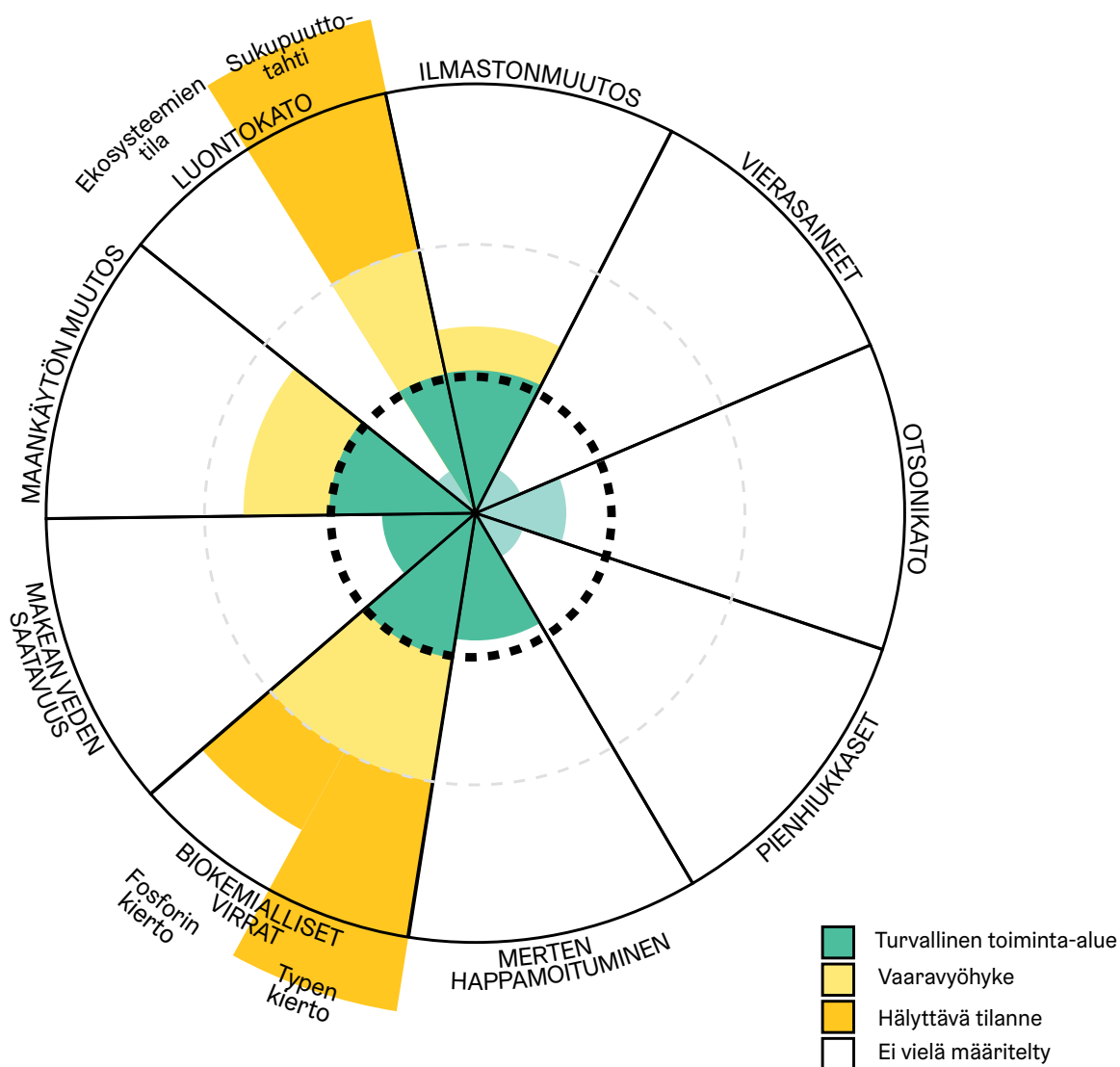
- **REUNAehto 1:** Päästövähennystarve, joka rajoittaa mahdollisuuksia päästöintensiivisiin ratkaisuihin.
- **REUNAehto 2:** Materiaaliset rajoitteet, jotka rajoittavat erityisesti mahdollisuutta nojautua vahvasti materiaali-intensiivisiin ja teknologisiin

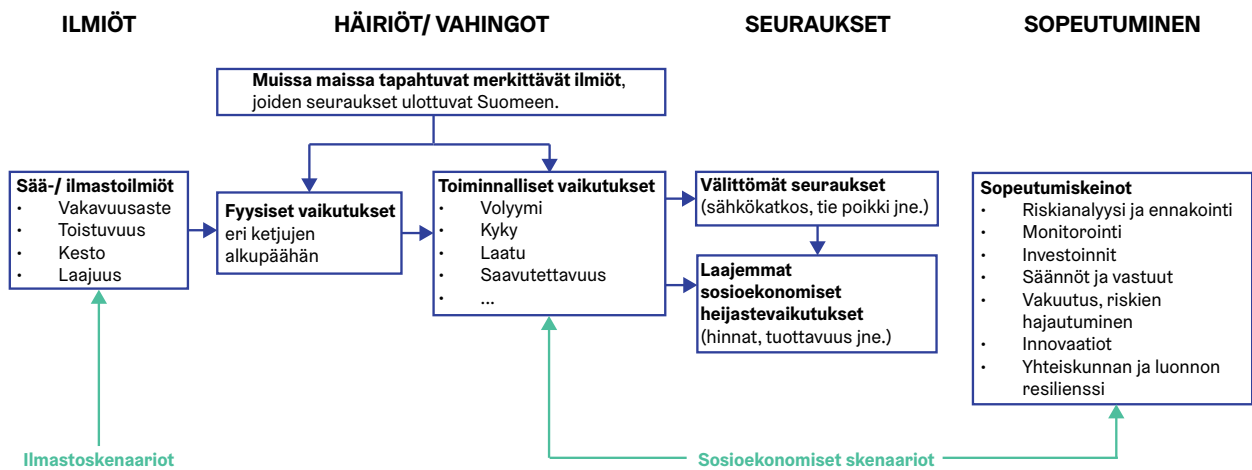
ratkaisuihin.

- **REUNAehto 3:** Luontokato, joka tulee huomioida erityisesti osana ilmastonmuutokseen sopeutumisen sekä hiilinielujen ja hiilensidonnan ratkaisuja.

Kaupungeissa väestötiheys on suuri ja rakennettua ympäristöä paljon, joten myös ilmaston muuttumisen ja sen myötä lisääntyvien sään ääri-ilmiöiden aiheuttamat riskit kaupungeille ovat merkittäviä [94]. Sen vuoksi on tärkeää hahmottaa todennäköisten muutosten suuntaa, suuruutta ja nopeutta osana suunnittelua. Ilmastonmuutosta arvioitaessa huomioidaan useita vaihtoehtoisia päästökennarioita [94]. Menneisiin tilastoihin pohjautuva tarkastelutapa on menettämässä relevanssiaan muutosnopeuden ja sen vaihteluiden kasvaessa [83]. Suurimmat epävarmuudet muutoksia mallinnettaessa liittyvät siihen,

Kuva 7. Planetaariset rajat kuvaavat maapallon kantokykyä ja tilaa [89].





Kuva 8. Ilmastomuutoksen riskiketjun rakenne [93].

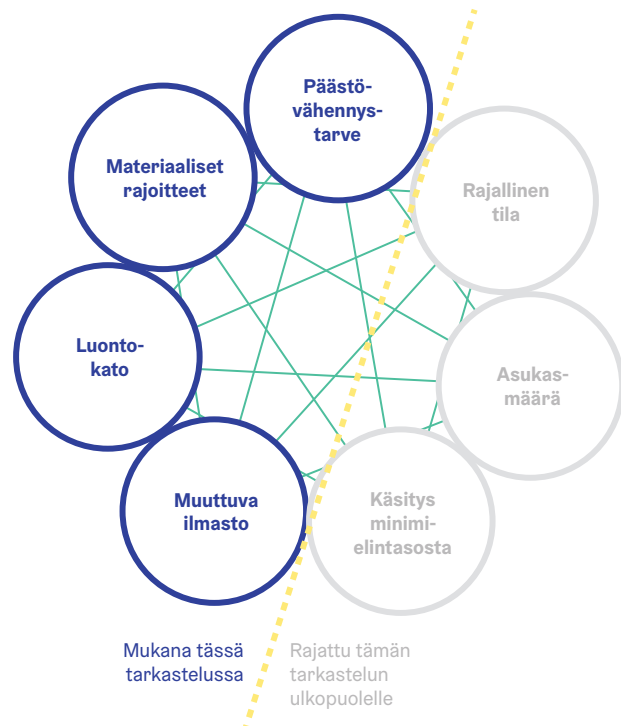
miten kasvihuonekaasupäästöjen pitoisuudet kehittyvät lähivuosikymmenien aikana [95, 93]. Vuosi 2050 on ilmastollisesti jo melko lähellä, eivätkä eri skenaarioiden mallintamat mahdolliset ilmastot eroa toisistaan paljoa. On kuitenkin huomioitava, että jo nyt ilmaston muuttuminen on ollut odotettua nopeampaa. Jo nyt näemme muutoksia, joita odotettiin vasta kymmenien vuosien päästä. Myös Helsingin ilmasto tulee muuttumaan vuosisadan loppuun mennessä selvästi [96]. Todennäköisin tulevaisuuden tilanne on Pariisin sopimuksen tavoitetason sekä pessimistisimmän skenaarion välillä [95]. Sen vuoksi tässä tarkastelussa keskitytään ilmaston muuttumisen osalta pääosin skenaarioon RCP4.5, joka nojaa ilmastopolitiikan osittaiseen onnistumiseen ja päästömäärien laskuun vuoden 2040 tienoilta. Muutoksista puhuttaessa on tärkeää muistaa, että Suomen ilmastoon kuuluu luontaisesti suuri vuosivaihtelu. Vaihtelut vuosien välillä tulevat olemaan tyypillisiä myös tulevaisuudessa, mutta keskeiset ilmaston muuttumisen luomat reunaehdot on syytä huomioida suunnittelussa jo nyt:

- **REUNAEHTO 4:** Lämpeneminen
- **REUNAEHTO 5:** Sateisuus
- **REUNAEHTO 6:** Tuulisuus
- **REUNAEHTO 7:** Merenpinnan nousu.

Nämä reunaehdot asettavat rajat hiilinegatiivisen kaupungin visioinnille ja suunnittelulle. Mikäli muuta ei ole mainittu, muutoksia tarkastellaan vuosisadan lopun tilanteen osalta. Osoptimoinnin välttämiseksi tässä työssä on pyritty tarkastelemaan useita asiantuntijoiden kriittisiksi tunnistamia reunaehtoja samanaikaisesti osana keino tarkastelua. Mistä löytyy esimerkiksi riittävä tila esimerkiksi imeyttävää pintaa vaativille sopeutumistoimille, joihin samalla kohdistuu paineita muistakin toiminnoista? Entä miten suhtau-

dutaan liikenteen käyttövoimien vähäpäästöistymiseen, kun liikkumiseen käytettävissä oleva tila on joka tapauksessa rajallinen? On kuitenkin huomioitava, että monia reunaehtoja ja keinoja jää myös tarkastelun ulkopuolelle.

Kuva 9. Hiilinegatiiviseen tulevaisuuteen vaikuttavat reunaehdot.



REUNAehto 1: Päästövähennystarve

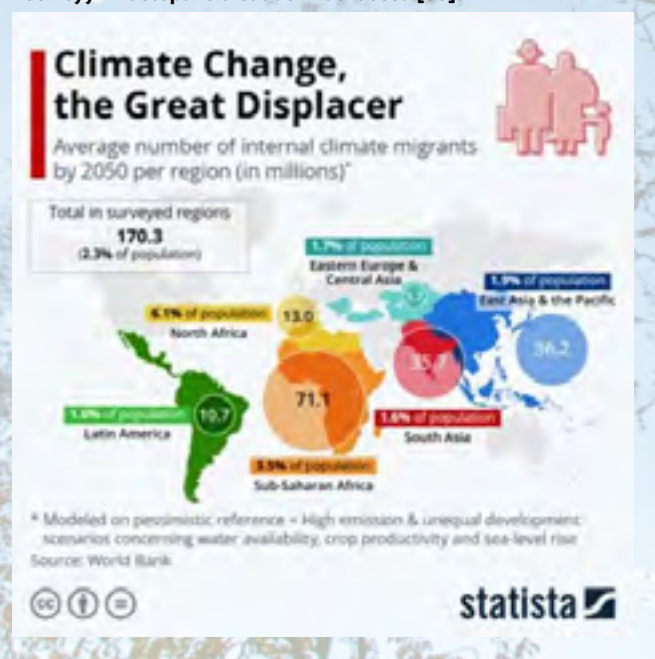
Ilmaston lämmetessä kasvaa samalla myös todennäköisyys sille, että hiilidioksidia voimakkaamman metaanin varastoja alkaa vapautua ilmakehään nykyykehitystä entisestään voimistaen [83]. Monet muutoksista ovat peruuttamattomia. Esimerkiksi mannerjäätiköt ovat jo lähteneet sulamaan merenpintaa nostaen, eikä kehitystä ole mahdollista enää kääntää [72]. Helsingin - tai edes koko Suomen - tasolla muutos ilmastossa ei tule päästöskenaarioiden pohjalta olemaan elinkelpoisuuden näkökulmasta dramaattinen. Muutokset muualla tulevat kuitenkin vaikuttamaan esimerkiksi resurssikiistojen ja ilmastopakolaisuuden yleistymiseen, globaaleihin toimitusketjuihin, ravinnon ja raaka-aineiden saantiin ja huoltovarmuuteen elinolosuhteiden muuttuessa paikoin elinkelvottomiksi [97, 50, 95]. Ilmaston lämpeneminen aiheuttaa lisäongelmia erityisesti alueilla, jotka ovat haavoittuvia jo ennestäänkin [95] ja ilmastonmuutos on tulevaisuudessa merkittävä kaupunkeihin kohdistuvan muuttoliikkeen syy, mikäli päästöjä ei saada laskemaan voimakkaasti myös globaalisti (kuva 10) [98]. Ilmastonmuutoksen edetessä myös ilmastopakolaisuuteen tulee varautua. Ilmastoriskien muodostumiseen vaikuttavat varsinaisen vaaratekijän lisäksi myös haavoittuvuus ja altistuminen.

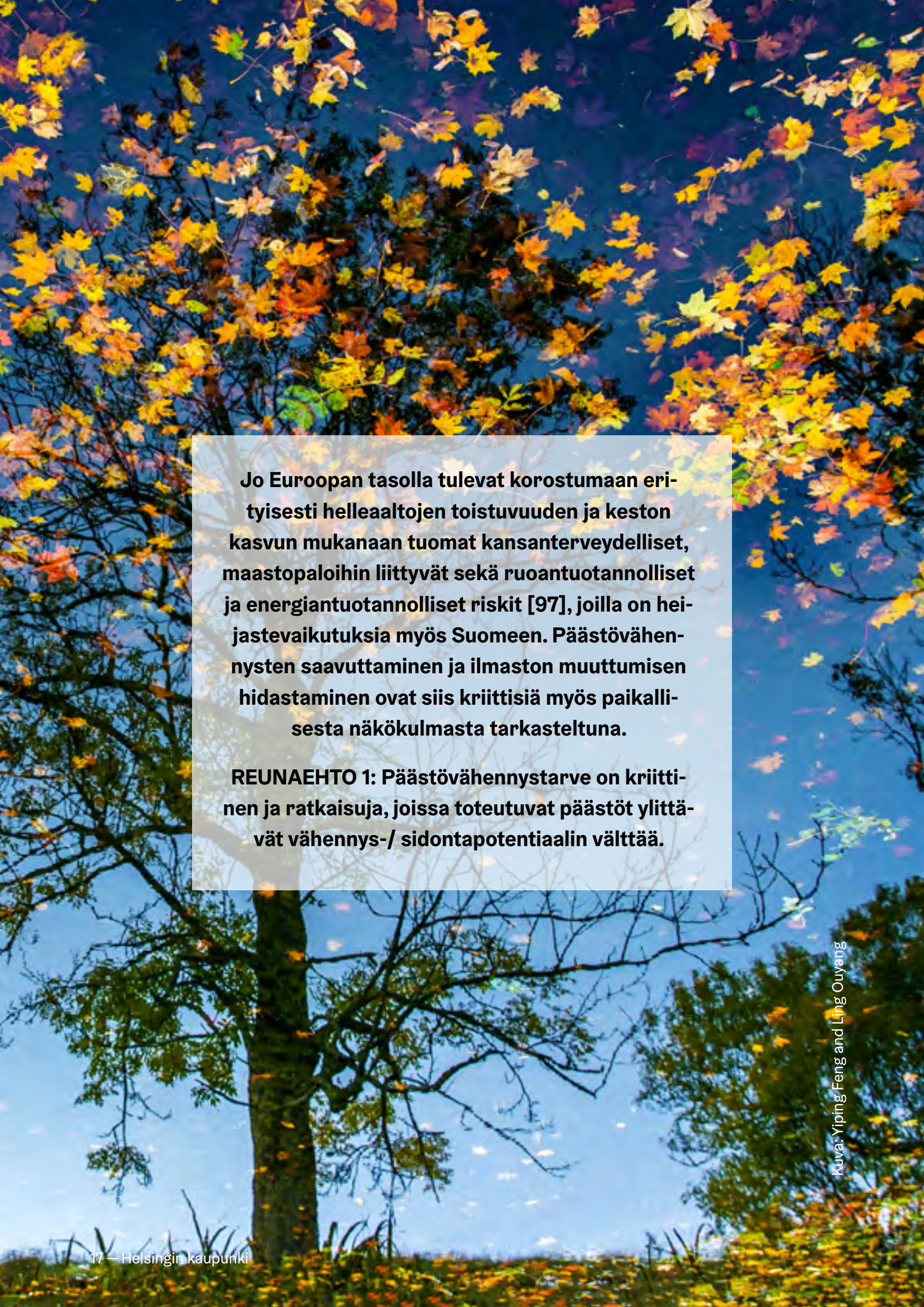
Päästövähennystarpeen konkretisoimiseksi onkin tärkeää ymmärtää, mihin päästöluokkiin tulee ensisijaisesti vaikuttaa. Ne päästöluokat, jotka korostuvat hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi eivät välttämättä ole suhteellisesti merkittävimpiä enää myöhemmin tulevaisuudessa. Mikä päästövähennystarpeen osalta siis korostuu jatkossa? Uuden edessä meidät yllättää helposti mittakaavaharha. On vaikeaa päästä kiinni siihen, puhummeko tulevaisuudessa yltäkyläisyydestä vai niukkuudesta. Millä teoilla tai tekemättä jättämisillä on mittakaavallista merkitystä?

Kun aikaa ja resursseja on käytettävissä rajallisesti, on ensisijaisen tärkeää varmistaa, että ne riittävät edes niihin vaikuttavimpiin tekoihin, joiden avulla asetettuihin tavoitteisiin päästään.

Tällä hetkellä Helsinki seuraa muiden kaupunkien tavoin systemaattisesti ja vertailukelpoisesti vain Scope 1- ja 2-päästöjensä kehitystä [100] kulutukseen perustuvan laskennan menetelmien ollessa vielä vakiintumattomampia ja edellisiin nähden vertailukelvottomia [101, 102, 103, 104]. Käytössä on useita keskenään limittäisiä ja osin puutteellisia laskenta- ja arviointimenetelmiä, mutta vaikuttavan ilmastotyön tueksi vaadittavaa vertailtavuutta eri päästöluokkien suhteellisesta tärkeydestä ei ole ollut tarjolla

Kuva 10. Ilmastonmuutos on jatkossakin merkittävä muuttoliikkeen syy ilmastopakolaisuuden kasvaessa [99].





Jo Euroopan tasolla tulevat korostumaan erityisesti helleaaltojen toistuvuuden ja keston kasvun mukanaan tuomat kansanterveydelliset, maastopaloihin liittyvät sekä ruoantuotannolliset ja energiantuotannolliset riskit [97], joilla on heijastevaikutuksia myös Suomeen. Päästövähennysten saavuttaminen ja ilmaston muuttumisen hidastaminen ovat siis kriittisiä myös paikallisesta näkökulmasta tarkasteltuna.

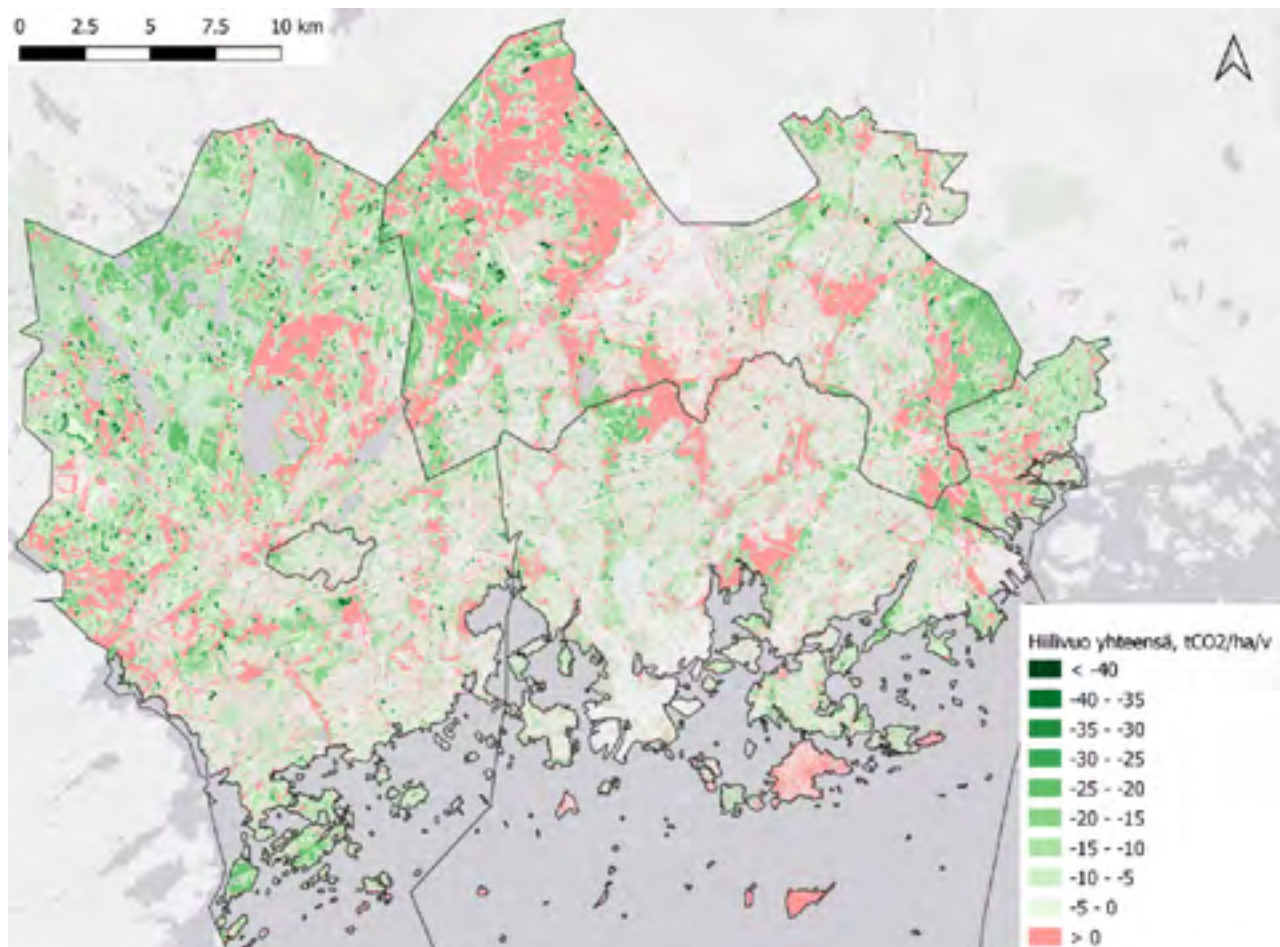
REUNAEHTO 1: Päästövähennystarve on kriittinen ja ratkaisuja, joissa toteutuvat päästöt ylittävät vähennys-/ sidontapotentiaalin välttää.

[105, 106]. Hiilinegatiivisuuteen pyrittäessä tarvitaan kuitenkin suuntaa antava ymmärrys Scope 1-, 2- ja 3-päästöjen nykytilanteesta sekä arvio siitä, mille päästötasolle BAU-kehityksellä päästään vuosiin 2030, 2040 ja 2050 mennessä. Osana hiilinegatiivisuustavoitteen taustaselvityksiä Helsinki on teettänyt vertailukelpoisen arvion kaupungin Scope 1-, 2- ja 3-päästöistä näille vertailuvuosille toimien kohdentamiseksi [107].

Varsinaisten päästöjen lisäksi nousee usein esiin ajatus hiilinieluista ja -sidonnasta. Esimerkiksi kasvit sitovat maailman hiilidioksidipäästöistä noin neljänneksen [83]. Luonnon lisäksi myös rakentaminen voi sitoa hiiltä [esim. 108]. Rakentamisen hiilensidonnassa korostuu materiaalien (esim. puu) hyödyntäminen mahdollisimman pitkäikäiseen käyttöön. Suomessa metsiin ja niiden maaperään on sitoutunut hiiltä noin 1000 teragrammaa molempiin soiden hiilensidonnassa ollessa 5500 teragrammaa [83]. Hiiltä sitovaa luontoa on kuitenkin vuosien aikana muokattu rajusti [83] ja maankäyttösektori on kääntynyt hiilen sitojasta sen lähteeksi [109].

Keskimääräisen suomalaisen hiilijalanjälki vuonna 2018 oli noin 10 tCO₂-e [110]. Sen sitomisen on arvioitu vaativan noin kaksi hehtaaria uutta paljasta maata metsitettäväksi henkilöä kohti. Suomalainen metsä biotooppina sitoo hiiltä noin 4,13 tCO₂-e/ha/v [111]. Ainoastaan kasvava metsä sitoo hiiltä ilmasta. Nuori voimakkaan kasvuvaiheen metsä on hiilinieluna tehokkain, mutta kertyneen hiilivarasto on suurimmillaan vasta metsän viimeisessä vaiheessa [83]. Helsingin rajojen sisällä sijaitseva laskennallinen yhteenlaskettu viheralueiden hiilinielu vuonna 2019 oli 8,58 tCO₂-e/as (5 610 600 tCO₂-e), josta 35 % (1 970 784 tCO₂-e) kasvillisuuteen ja 65 % (3 639 800 tCO₂-e) maaperään sitoutuneena [112] (kuva 11). Onko kaupungin rajojen sisällä kuitenkin mahdollista lisätä hiilivarastoina toimivaa metsäistä pintaa ja maaperää riittävästi suhteessa nykyiseen päästötasoon (esimerkki 3)? Entä onko globaaleja hiilinieluja mahdollista käyttää päästöjen kompensointiin (esimerkki 4)?

Kuva 11. Kokonaishiilivuon sijoittuminen pääkaupunkiseudulla [113].



- **Esimerkki 3:** Kaikkien helsinkiläisten laskennallinen hiilensidontatarve vuoden 2019 väestömäärällä [114] oli noin 1 392 670 ha/v, eli 13 926 km²/v. Helsingin kaupungin metsäinen peite vuonna 2014 oli noin 47 km² [115]. Kaikkien helsinkiläisten sidontatarpeen kattamiseen tarvittaisiinkin noin 1,5-kertaisesti koko Uudenmaan pinta-ala.
- **Esimerkki 4:** Vuoden 2021 globaalit hiilinielut olivat laskennallisella tasolla vain 0,76 tCO₂-e asukasta kohden. Tästä 0,40 tCO₂-e/as (yht. 3 100 000 000 tCO₂-e) maahan ja 0,36 tCO₂-e/as (2 800 000 000 tCO₂-e) valtameriin sitoutuneena [116]. Vuoden 2050 arvioidulla globaalilla asukasmäärällä [117] arvo olisi enää 0,60 tCO₂-e/as.

Viheralueiden osalta tutkimuksessa ei ole määritelty pienintä merkityksellistä viheralueen kokoa hiilinielu- tai sidontapotentialin kannalta [71]. Urbanin asuinympäristön suurimman hiilensidontapotentialin on todettu olevan kasvillisuudessa, maaperässä ja puurakentamisessa [118]. Urbaaneja hiilinieluja arviotaessa on huomioitava, että kaupunkiolosuhteissa potentiaali on erilainen kuin metsäekosysteemeissä, joihin arviot pitkälti perustuvat [119]. On myös huomioitava, että esimerkiksi katupuiden kohdalla kestää jopa 14 vuotta ennen kuin ne muuttuvat vuositasolla hiilen lähteestä nieluksi [119]. Kumulatiivisesti hiilinieluksi muuttumiseen voi kulua jopa 30 vuotta [120]. Hiilinielujen osalta onkin tärkeää huomioida puuston ja muun kasvillisuuden lisäksi myös maaperän vaikutus.

Esimerkiksi biohiilen hiilensidontan potentiaalin on todettu olevan suurempi kuin esimerkiksi puiden [121]. Boreaalisen metsän alueella suurin hiilensidontapotentialiaali on maaperässä. Sen sijaan esimerkiksi osaratkaisuksi usein mainittujen kasvikatkojen on todettu olevan hiilensidontapotentialiltaan verrattavissa pihoihin ja puutarhoihin [122, 123] niiden varastointikyvyn ollessa kuitenkin huomattavasti pienempi johtuen rajallisemmasta ja pienikasvuisemmasta lajistosta sekä kasvillisuuden säännöllisestä uusimistarpeesta [118]. Kasvikattojen sidontavaikutus ei välttämättä riitä aina kompensoimaan edes rakenteellisista ratkaisuista johtuvia kasvavia päästöjä [71]. Kuinka suuri sitten onkaan rakentamisen kokonaispäästöjen kompensoinnin mittaluokka?

”Kompensoinnissa ajatellaan, että jossain on olemassa toinen planeetta, jossa se tehdään, me kompensoidaan muualla.”

Teknisten hiilensidonta- ja nieluratkaisuiden osalta maailman suurin tämänhetkinen CCS (operational

large-scale carbon capture and storage facility) on teholtaan 7 000 000 tCO₂-e/v (Shute Creek Gas Processing Plant, USA) ja kaikki maailman CCSt yhteensä 38 220 000 tCO₂-e/v [124]. Globaalien vuosittaisten CO₂-e-päästöjen ollessa noin 34 900 000 000 tCO₂/a [125], maailman suurimpien CCS-ratkaisuiden sidontapotentialiaali jää yhä varsin matalaksi ja merkittäviä päästövähennyksiä tarvitaan myös globaalilla tasolla.

Hiilensidontan mahdollisuuksien ollessa rajatulla maantieteellisellä alueella rajalliset, päästövähennystarpeen merkitys kasvaa. Hiilinegatiivisuuden edellyttämät päästövähennykset vaativat kaupunkirakenteelta toteutuakseen jo olemassa olevan infrastruktuurin ja rakenteiden maksimaalista hyödyntämistä sekä henkilöautoriippuvuuteen tukeutuvan kaupunkirakenteen vähentämistä. Tiiviys on tässä yksi tekijä, mutta se ei yksinään riitä ja voi johtaa myös epätoivottuihin ratkaisuihin. Kaupunkirakenteen lisäksi tarvittavan uuden rakentamisen määrää on rakentamisen päästökuorman vuoksi tarpeen kohtuullistaa kiinnittäen huomio esimerkiksi rakentamisen kokonaismäärään, muunneltavuuteen ja tilatehokkuuteen. Tarvittavien louhinta- ja maansiirtotöiden aiheuttamia päästöjä voidaan vähentää tarvittavien muutostöiden määrää laskemalla huomioiden esimerkiksi maasto ja valmiit infrarakenteet jo rakentamisen sijoittelussa [50]. Suunnitteluratkaisut vaikuttavat energiantarpeen lisäksi myös esimerkiksi käyttökään, tuleviin korjaus- ja muutostarpeisiin sekä tarvittavien materiaalien määrään [50].

Päästövähennystarpeen asettamien reunaehtojen keskeisimmät vaikutukset ja keinot näiden huomioidmiseksi on esitelty taulukoissa 1 ja 2.

Taulukko 1. Tunnistetut vaikutukset ja niiden merkittävyys reunaehdon 1 kannalta.

		1: CO ₂	2: Materiaalit	3: Luontokato	4: Lämpö	5: Sade	6: Tuuli	7: Meri
Kaupunki-rakenne	Päästövähennystarve on hiilinegatiivisuuden kannalta kriittinen. Hiilinielujen ja -sidonnan mahdollisuudet eivät riitä tavoitteen saavuttamiseksi.	+++						

Taulukko 2. Tunnistetut keinot ja niiden vaikuttavuus reunaehdon 1 vaikutusten näkökulmasta.

		1: CO ₂	2: Materiaalit	3: Luontokato	4: Lämpö	5: Sade	6: Tuuli	7: Meri
Kaupunki-rakenne	Minimoidaan yksityisautoiluun perustuva liikumistarve monipuolistamalla kaupunkirakennetta ja rakentamalla jo olemassa olevan infrastruktuurin ääreen.	+++		-	-	-		
	Kaupunkirakenteen tiivistäminen.	+++		-	-	-		
	Käveltävän ja pyöräiltävän kaupungin rakentaminen. Verkoston lisäksi käveltävä ja pyöräiltävä kaupunki on herkkä myös kaupunkitilan laadulle ja yksityiskohdille.	+++						
	Maaston ja valmiiden infrarakenteiden huomioiminen sijoittelussa louhinta- ja maanmuokkaustöiden määrän minimoimiseksi.	++	++					
	Rakentamisen kohtuullistaminen (kokonaismäärä, asumisväljyys, muunneltavuus, tilatehokkuus).	++	++					
	Merellisen ekosysteemin hiilensidontapotentiaalin vahvistaminen.	+		++				
Korttelit	Vapaan auringonpaistekulman hyödyntäminen aurinkoenergiapotentiaalin maksimoimiseksi.	+	-					
	Ei-kuluttamiseen perustuvan julkisen tilan tarjoaminen. Viher- ja virkistysalueverkosto keskeinen.	+		++				
Rakennukset	Rakennusten suunnittelu monikäyttöisiksi, muuntojoustaviksi ja helposti muunneltaviksi.	++						
	Rakennusten käyttöiän nosto: joustaminen toiminnallisista ja esteettisistä vaatimuksista.	++	++					
	Hukkatilojen hyödyntäminen.	++	++					
	Rakennusten käyttöiän nosto: ylläpidon ja kunnostusten tehostaminen.	++	++					
	Vähähiilisten rakennusmateriaalien hyödyntäminen.	++						
	Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen.	++	-					
	Rakennusmateriaali- sekä järjestelmävalintojen pitkäaikaiskestävyys, huollettavuus ja korjattavuus.	+						
Rakennuksen suuntaus auringon suhteen.	+			+				

REUNAehto 2: Materiaaliset rajoitteet


Tutkimukseen perustuvien skenaariotarkasteluiden perusteella globaaliin hiilinnollatavoitteeseen pääseminen vuoteen 2050 mennessä vaatisi nykyiseen verrattuna kuusinkertaisen mineraalien tuotannon jo vuonna 2040 [126]. Mineraalivarojen hyödyntämistä eivät rajoita tulevaisuudessa ainoastaan nykyiset tuotantoprosessit, vaan myös taloudellisesti hyödynnettävissä olevien mineraalilähteiden ehtyminen sekä laadun laskeminen [127]. Tällä hetkellä tunnetut mineraalivarat ja niiden tuotantoprosessit eivät riitä fossiilittomaan energiaan pohjautuvan infrastruktuurin rakentamiseen globaalisti [128]. Prosessien tehokkuuden paraneminen ei ole johtanut kulutuksen kohtuullistamiseen, vaan itse asiassa sen kasvuun fossiilisen energian sekä luonnonvarojen hyödyntämisen avulla [16, 84, 129].

Kun puhutaan materiaalien riittävydestä, on tärkeää huomioida vuosikymmenten yli ulottuva aika sekä mahdollisuudet uusaa tai korjata nyt tehtäviä ratkaisuja [85]. Materiaalinäkökulma on toistaiseksi huomioitu vasta rajallisesti ja suunnitteluratkaisut nojaavat yhä usein teknisiin ratkaisuihin sekä mineraalien ja muiden materiaalien rajattomaan saatavuuteen erityisesti liikumisen ja energiantuotannon osalta [85, 130, 126]. Tämänhetkiset toimintamallit ja prosessit eivät kuitenkaan mahdollista edes esimerkiksi nykyisen liikenne- ja energiantuotantokaluston muuntamista sähkökäyttöiseksi - puhumattakaan tilanteesta, jossa kaluston määrän odotetaan lisääntyvän synnyttäen samalla muita mineraalitarpeita [85]. Useiden tällä hetkellä tunnettujen uusiutuvien energialähteiden tuotanto ei ole perustaltaan uusiutuva, vaan perustuu näiden samojen rajallisten mineraalien hyödyntämiseen [85]. Vaikka tässä raportissa keskitytään erityisesti kriittisiin mineraaleihin, on tärkeää huomioida, että useat muutkin resurssit ovat

joko hupenemassa tai niiden laatu on merkittävästi heikkenemässä. Kun materiaalikiiri tapahtuu, minkä ylläpitämiseen rajalliset resurssit kohdistetaan ensisijaisesti?

Kiertotalouden merkitys tuleekin jatkossa korostumaan erityisesti materiaalikierron kannalta [131, 75]. Kiertotalouden perusajatuksena ovat mahdollisimman lyhyet arvon säilyttämiseen keskittyvät materiaalikierrot, joissa suositetaan paikalla tapahtuvaa uusio-käyttöä ja korjaamista enemmän kuin materiaalien murskausta kierrätysmateriaalien valmistamiseksi. Kiertotalousnäkökulman kannalta on tärkeää maksimoida hyödyntämisen elinkaari.

Materiaalisten rajoitusten asettamien reunaehtojen keskeisimmät vaikutukset ja keinot näiden huomioidemiseksi on esitelty taulukoissa 3 ja 4.



Elämme rajallisella planeetalla, eivätkä sen materiaaliset reunaehdot pysty enää tulevaisuudessa turvaamaan ylikulutukseen perustuvaa yhteiskuntamallia. On epätodennäköistä, että nykyisen elämäntavan turvaaminen vihreämpään teknologiaan siirtymällä olisi mahdollista [34]. Suunnittelussa on tärkeää valmistautua muutoksiin ja olla valmis kuvittelemaan myös muunlaisia kuin kriittisiin resursseihin perustuvia tulevaisuuksia [85]. Tutkimusten pohjalta erityisesti mineraalien ja muiden materiaalien käyttöä on tarpeen kohtuullistaa ja priorisoida.

REUNAehto 2: Ratkaisut eivät voi perustua vain uuteen vielä keksimättömään teknologiaan, vaan niiden täytyy toimia myös resurssiniukassa maailmassa ja tukeutua vahvasti jo olemassa olevaan infrastruktuuriin.

Taulukko 3. Tunnistetut vaikutukset ja niiden merkittävyys reunaehdon 2 kannalta.

		1: CO ₂	2: Materiaalit	3: Luontokato	4: Lämpö	5: Sade	6: Tuuli	7: Meri
Kaupunki-rakenne	Ei-materiaali-intensiivisten ratkaisuiden suosiminen. Tämänhetkiset prosessit ja tunnetut mineraalivarannot eivät kykene vastaamaan materiaalien ja kriittisten mineraalien tarpeeseen.	+	++					

Taulukko 4. Tunnistetut keinot ja niiden vaikuttavuus reunaehdon 2 vaikutusten näkökulmasta.

		1: CO ₂	2: Materiaalit	3: Luontokato	4: Lämpö	5: Sade	6: Tuuli	7: Meri
Kaupunki-rakenne	Olemassa olevan rakenteen hyödyntäminen.	++	+++					
	Materiaali- ja mineraali-intensiivisten ratkaisuiden arvioiminen ja riskitarkastelu globaalin saatavuuden näkökulmasta.		+					
Rakennukset	Suositaan materiaalien paikalla tapahtuvaa uusiokäyttöä ja korjaamista.	+	++					
	Maksimoidaan rakennuksen hyödyntämisen elinkaari.	+	+					
	Käyttöiän nosto. Se mitä tehdään, tehdään kunnolla ja kestävästi.	+	+					

REUNAehto 3: Luontokato


Luonto on välttämätön edellytys ilmastonkestävälle kaupungille. Luonto kuitenkin muuttuu jatkuvasti ilmaston muuttumisen ja ihmistoiminnan vaikutuksesta. Ihmistoiminnan vaikutukset kohdistuvat jo 75 % maa-alasta ja 66 % meristä [138]. Maatalouden alkamisen jälkeen maan kasvullinen biomassa on puolittunut [139] ja biodiversiteetti on laskenut yli viidenneksen [140]. Kaupunkien maankäyttö on kasvanut suhteessa väestönkasvuun enemmän [141]. Luontoa on ylikulutettu vuosikymmeniä. Jo 1970-luvulla luonnon resursseja hyödynnettiin nopeammin kuin ne uudistuivat [142]. Sen jälkeen kumulatiivinen ylikulutus on kiihtynyt. Vuonna 2020 ihmisen tuottaman materiaalin määrä ylitti maapallon biomassan määrän ensimmäistä kertaa [143]. Biomassalla mitattuna maailman nisäkkäistä on villieläimiä enää 4 %, ihmisiä 36 % ja nautoja ja sikoja noin 60 % [144]. Lähitulevaisuudessa yli miljoonan lajin on ennustettu olevan sukupuuttouhan alla [145, 146], jonka vuoksi puhutaan jo kuudennesta sukupuuttoaallostaa [147, 148]. Luontokato ei tarkoita vain arvokkaiden elinympäristöjen ja lajien katoa, vaan myös ennen tavallistenkin lajien katoa tai uhanalaistumista. Suomessa lajien katoamisen lisäksi käynnissä on niiden taantuminen ja kannan koon pieneneminen sekä kokonaisten elinympäristöjen ja ekosysteemien heikkeneminen [149]. Suomen luontotyypeistä jo lähes puolet on uhanalaisia [150]. Jo joka yhdeksäs suomalainen eliölaji on asetettu nk. punaiselle listalle, joka sisältää tietoa eliölajien uhanalaisuudesta. Suomessa elävistä lintulajeista jopa kolmannes on uhanalaistunut. Maaluonnon heikkenemisen lisäksi on muistettava, että myös meriekosysteemien tila on monin paikoin kriittinen [151].

Luontokato on keskeinen huomioitava reunaehto ja vaatii arvovalinnan siitä, ollaanko nykyisestä resurs-

sipohjaisesta luontoajattelusta, hyvinvoinnista ja toimintatavoista valmiita joustamaan luonnon kokonaisvaltaisen hyvinvoinnin turvaamiseksi [40]. Luontokadon huomioiminen vaatii, että ihmislähtöisyyden rinnalla otetaan huomioon myös planetaarinen hyvinvointi ja kantokyky (kuva 12): elämää kokonaisvaltaisesti kunnioittava suunnittelu.

EU:n ennallistamisasetusehdotus [152] perustuu EU:n biodiversiteettistrategiaan, jonka tavoitteena on pysäyttää luontokato vuoteen 2030 mennessä. Asetuksella pyritään turvaamaan luonnon monimuotoisuuden pitkäaikainen ja kestävä elpyminen. Ennallistamisasetuksen vaikutukset kasvavien kaupunkien suunnittelulle ovat merkittäviä. Paikallistason tarkastelut vaikutuksista ovat kuitenkin vielä vähäisiä, joten niitä ei tarkastella tässä raportissa yksityiskohdallisemmin, vaan luontokatoa käsitellään yleisemmällä tasolla.

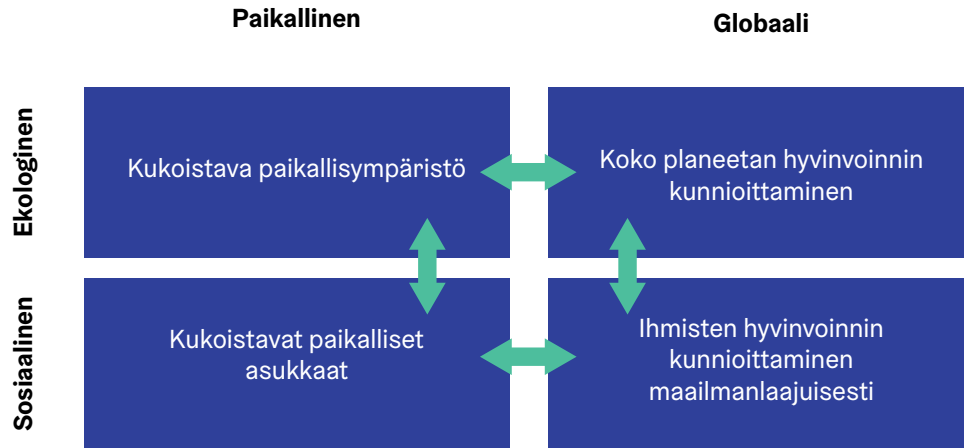
Luontokadon asettamien reunaehtojes keskeisimmät vaikutukset ja keinot näiden huomioimiseksi on esitelty taulukoissa 5 ja 6.



Monimuotoisuuden lisäksi luontokadolla on suoria vaikutuksia esimerkiksi luonnon hiilensidontapotentiaaliin [132, 133], pölytykseen [134], maaperän köyhtymiseen [135], veden ja ilman laatuun [136] sekä tulvien [137] yleistymiseen. Pääasialliset syyt muutokseen ovat maan- ja merienkäytön muutokset, luonnon hyväksikäyttö, ilmastonmuutos, saastuminen sekä vieraslajien leviäminen. Ilmastonmuutoksella ja luontokadolla on pitkälti sama juurisyy, luonnon ylikulutus. Samoilla keinoilla voidaan osin vastata molempiin haasteisiin.

REUNAEHTO 3: Ratkaisut eivät saa kiihdyttää luontokatoa. Kasvullisen maa-alan säilyminen ja menetetyin kasvullisen maa-alan korvaaminen tulee varmistaa. Ilmastonäkökulmasta erityisesti hiilensidontapotentiaalin ja sopeutumisen vahvistaminen korostuvat.

Kuva 12. Eri tasot huomioivan suunnitteluoitteon näkökulmia [153].



Taulukko 5. Tunnistetut vaikutukset ja niiden merkittävyys reunaehdon 3 kannalta.

		1: CO ₂	2: Materiaalit	3: Luontokato	4: Lämpö	5: Sade	6: Tuuli	7: Meri
Kaupunki-rakenne	Lajien katoamisen lisäksi käynnissä lajien taantuminen, lajikantojen koon pieneneminen sekä kokonaisten elinympäristöjen ja ekosysteemien heikkeneminen.	--		---				

Taulukko 6. Tunnistetut keinot ja niiden vaikuttavuus reunaehdon 3 vaikutusten näkökulmasta.

		1: CO ₂	2: Materiaalit	3: Luontokato	4: Lämpö	5: Sade	6: Tuuli	7: Meri
Kaupunki-rakenne	Ekologisten verkostojen ja arvokkaimpien luontoalueiden tunnistaminen ja turvaaminen.			+++				+
	Maksimoidaan kasvullisen maa-alan säilyminen.	++		++	++	++		
	Huomioidaan rakentamisen sijoittelussa maaperä, pienilmasto ja olemassa oleva luonto.	+		++				
	Uudistetaan menetetty kasvillisuus.			+	+	+		

REUNAehto 4: Lämpeneminen

Päästövähennykset vaikuttavat ilmaston lämpenemiseen hitaasti [94]. Suomen keskilämpötila on noussut yli 2°C viimeisten 120 vuoden aikana, eli noin 0,4°C vuosikymmenessä. Esimerkiksi vuosien 1991–2020 välinen jakso oli noin 0,6°C lämpimämpi kuin jakso 1981–2010 [91]. Keskiarvot kuitenkin naamioivat hajontoja ja maalämpötilat nousevat keskimääräisiä lämpötiloja nopeammin. Osasyys sille, että lämpötilat eivät ole nousseet nykyistä jo huomattavasti korkeammiksi onkin merien kyky sitoa lämpöä [83]. Suomessa lämpötila tulee nousemaan jopa kaksi kertaa nopeammin kuin maapallolla keskimäärin [83] johtuen esimerkiksi pohjoisten napa-alueiden lumi- ja jääpeitteen pienenemisestä sekä siitä että pohjoisessa nopeammin lämpeneviä maa-alueita on suhteellisesti enemmän kuin merta. Lämpeneminen kiihtyy vuosisadan loppua kohden [83]. Lämpenemisen ohella myös sään ääri-ilmiöt lisääntyvät ja muuttuvat.

Helsingissä lämpötila tulee nousemaan ympäri vuoden [94]. Muutos talven osalta on noin kaksi kertaa suurempaa kuin kesällä. Jo 2050-luvulle mentäessä talvi lyhenee noin 50 vuorokaudella muiden vuodenaikojen pidentyessä keskimäärin 10–20 vuorokaudella [91].

Helsingin sijainnilla terminen kevät pitenee noin 10–20 vuorokaudella [83, 91]. Kesät lämpenevät noin neljä astetta [83]. Terminen kesä pitenee noin kuu-kaudella ja hellepäivien lukumäärä voi jopa nelinkertaistua [83]. Samalla hellejaksojen pituus kasvaa noin kolminkertaiseksi. Trooppisten, päivälämpötilaltaan yli 30°C ja yölämpötilaltaan vähintään 20°C olevien, vuorokausien todennäköisyys kymmenkertaistuu [83]. Vuosisadan lopulla 35°C lämpötilat ovat suurin piirtein yhtä yleisiä kuin 30°C lämpötilat nyt [94]. Ter-

minen syksy pitenee noin 10–30 päivää [83].

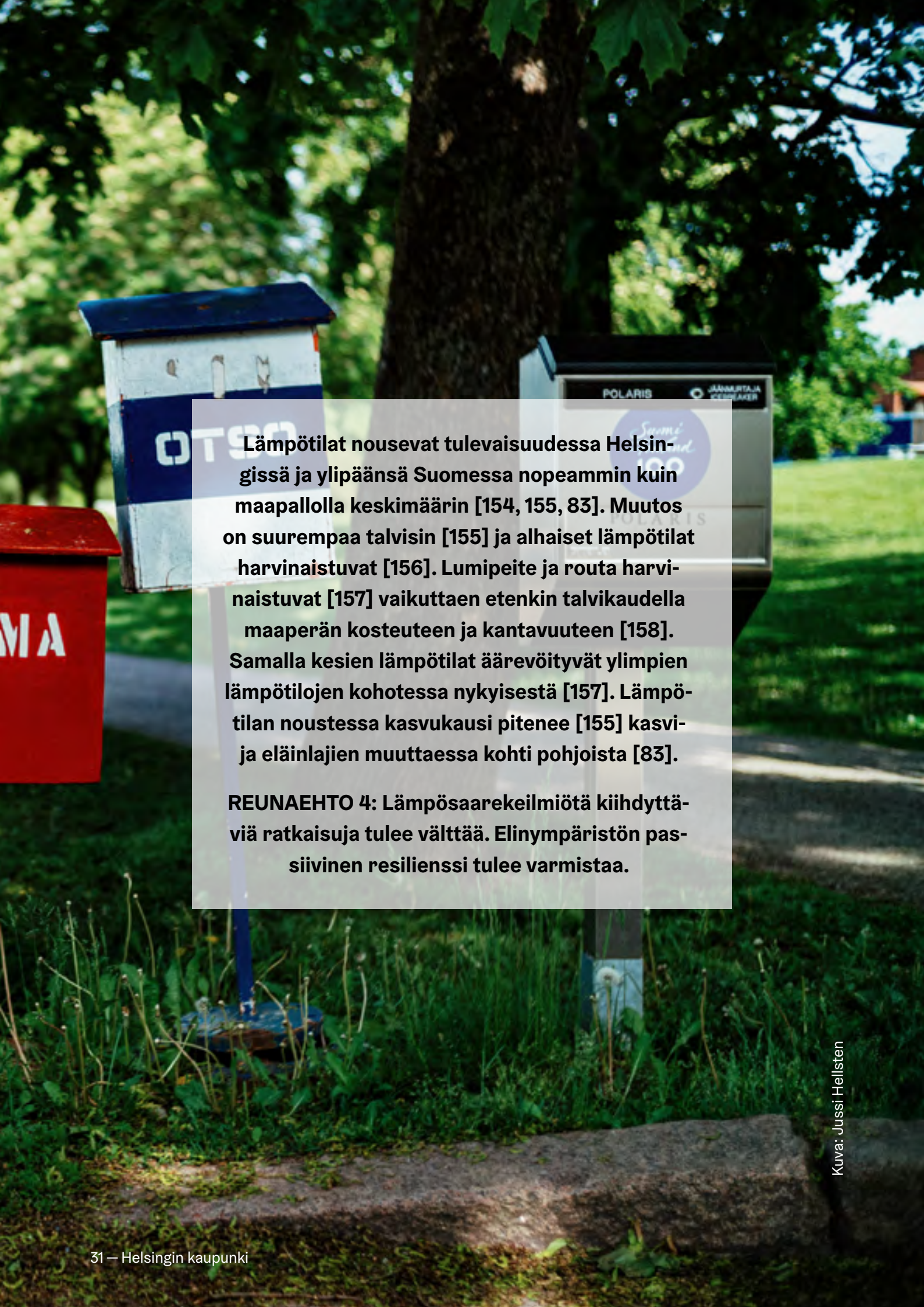
Talvien nopea muutos on yksi merkittävimmistä muutoksista Helsingin sijainnilla [95]. Muutos on ollut selkeä jo viimeisten muutaman vuosikymmenen aikana [95] ja jouluhelmikuut ovat jo lämmenneet merkittävästi (kuva 13). Talvet lämpenevät noin seitsemän astetta [83]. Pakkaspäivät vähenevät jopa puoleen aiemmasta [83] ja äärimmäisen alhaiset lämpötilat harvinaistuvat [94]. Huoltovarmuuden kannalta on kuitenkin tärkeää varautua mahdollisiin kylmiin kausiin myös jatkossa [95]. Jo vuoteen 2050 mennessä talvet, jolloin lämpötila sahaa jatkuvasti nollan molemmin puolin, tulevat yleistymään Helsingissä selvästi [95]. Vuosisadan loppupuolella talvilämpötila pysyttelee yhä useammin nollan läheisyydessä ja laskee pakkaslukemiin vain yksittäisinä päivinä [83]. Routa-aika puolittuu 2–3 kuukauteen [83].

Keskeisimmät muutokset lämpötilan osalta ovat:

- 1. Keskilämpötila nousee ympäri vuoden, erityisesti talvella.**
- 2. Hellepäivien ja trooppisten vuorokausien määrä kasvaa, hellejaksot pitenevät.**
- 3. Routa-aika lyhenee ja alhaiset lämpötilat harvinaistuvat.**
- 4. Lämpötilan sahaaminen nollan tuntumassa lisääntyy.**

Lämpenemisen muutosten asettamat reunaehdot ja niiden huomioiminen

Lämpenemisen muutosten asettamien reunaehto- jen keskeisimmät vaikutukset ja keinot niiden huomioimiseksi on esitetty taulukoissa 7 ja 8.



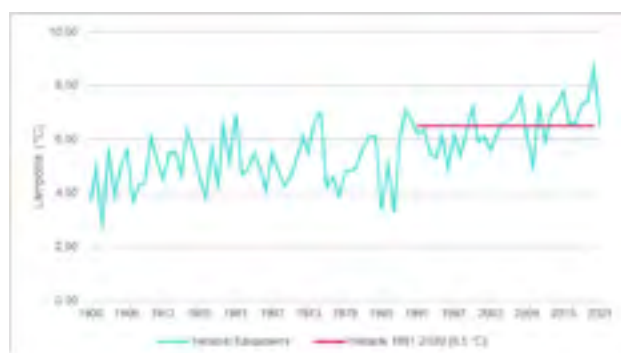
Lämpötilat nousevat tulevaisuudessa Helsingissä ja ylipäänsä Suomessa nopeammin kuin maapallolla keskimäärin [154, 155, 83]. Muutos on suurempaa talvisin [155] ja alhaiset lämpötilat harvinaistuvat [156]. Lumipeite ja routa harvinaistuvat [157] vaikuttaen etenkin talvikaudella maaperän kosteuteen ja kantavuuteen [158]. Samalla kesien lämpötilat äärevöityvät ylimpien lämpötilojen kohotessa nykyisestä [157]. Lämpötilan noustessa kasvukausi pitenee [155] kasvi- ja eläinlajien muuttaessa kohti pohjoista [83].

REUNAehto 4: Lämpösaarekeilmiötä kiihdyttäviä ratkaisuja tulee välttää. Elinympäristön passiivinen resilienssi tulee varmistaa.

Suunnittelemme rakennuksia jatkuvasti kaupunki-ilmastoon, jota ei ole tulevaisuudessa enää olemassa [74]. Lämpösaarekeilmiössä auringon säteilyä varastoituu kaupungin rakenteisiin, jotka luovuttavat lämpöä ympäristöönsä [94]. Kaupunkirakenteen lisäksi lämpösaarekeilmiöön vaikuttaa esimerkiksi rakennuskannan tiiviys. Tiiviillä alueilla lämpötilat nousevat usein muuta ympäristöä korkeammiksi [160]. Tiivistyvän kaupunkirakenteen kiihdyttämän lämpösaarekeilmiön vuoksi lämpötila kaupunkialueilla voi olla ympäröiviä alueita jopa 10°C korkeampi [83]. Lämpösaarekeilmiön vaikutuksesta esimerkiksi Helsingin eri alueilla koettavan ankaran kuumarasituksen määrä tulee lisääntymään huomattavasti jo vuosikaudan puoliväliin mennessä (kuva 14). Lämpösaarekeilmiö ja lämpötilan nousu vähentävät rakentamisen lämmitystarvetta kymmenillä prosenteilla, mutta lähes viisinkertaistaa jäähdytystarpeen [83].

Rakennustasolla helteiden yleistyminen lisää esimerkiksi asuntojen ylikuumenemisen riskiä [162]. Rakennusten lämpöolosuhteisiin vaikuttavat esimerkiksi rakennuksen ja ikkunoiden sijainti ja suuntaus, varjostus, asunnon sijainti rakennuksessa sekä ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmät [160]. Myös energiatehokkuusmääräyksistä johtuva lämmöneristyksen lisäys kasvattaa tulevaisuudessa rakennusten jäähdytystarvetta keväisin ja kesäisin [52]. Ympäris-

töministeriön uusia rakennuksia koskevassa energia-
tehokkuusasetuksessa (1010/2017) on määritelty, että laskennallinen kesäajan huonelämpötila ei saa ylittää enemmän kuin 150 astetuntia 1.6.–31.8. välisenä aikana [163]. Asuinkerrostaloille asetettu jäähdytysrajan arvo on 27°C ja muille rakennuksille 25°C. Asetus ei kuitenkaan huomioi ilmaston muuttumista rakennuksen elinkaaren aikana [160]. Erityisesti rakennusten länsi- ja eteläpuolet on jatkossa yhä suurempi tarve suojata kasvavalta lämpösäteilyltä [52]. Sisätilojen korkeat lämpötilat lisääntyvät etenkin keväisin ja kesäisin johtaen koneellisen jäähdytyksen tarpeen kasvuun [52]. Asuntojen viilentäminen lisääkin usein energiankulutusta ja hukkalämpöä lämmittäen kaupunkia entisestään [94].



Kuva 13. Vuosikeskilämpötila Helsingissä vuodesta 1900 lähtien [159].

Taulukko 7. Tunnistetut vaikutukset ja niiden merkittävyys reunaehdon 4 kannalta.

		1: CO ₂	2: Materiaalit	3: Luontokato	4: Lämpö	5: Sade	6: Tuuli	7: Meri
Kaupunki-rakenne	Kasvukauden alku aikaistuu, kasvukausi pitenee.				++			
	Lajisto muuttuu, uudet lajit valtaavat alaa.			--	++			
	Tuho- ja loiseläinten määrä (lajimäärä, yksilöiden määrä) kasvaa.			--	++			
	Roudan puuttumisen vuoksi luonnonmukaisten viheralueiden kulutuskestävyys heikkenee samalla, kun kaupunki kasvaa ja käyttöpaine lisääntyy.				++	++		
Rakennukset	Lämmitystarve laskee, jäähdytystarve kasvaa.				+++			
	Koneellisen jäähdytyksen tarve kasvaa keväällä ja kesällä.	-	-		++			
	Rakenteiden routasuojaus yhä tarpeen.	-	-		+			
Yksilö	Kuumuuden aiheuttamat terveysriskit lisääntyvät.				+++			
	Kylmyyden aiheuttamat terveysriskit pienenevät.				++			
	Liukkauden terveysriskit kasvavat.				++			

Kaupunki- ja korttelirakenteen tasolla tiiviimpi kaupunkirakenne lisää kuumarasitusta, mutta sitä voidaan vähentää esimerkiksi rakennusten suunnittamisen ja viherrakentamisen avulla [164]. Lämpökuorman ja viilentämiseen voidaan vaikuttaa rakennetussa ympäristössä aktiivisin (esim. koneelliset ratkaisut) sekä passiivisin (esim. rakenteelliset ratkaisut, hukkalämpöä tuottavien toimintojen määrään ja sijoittumiseen vaikuttaminen, viherrakenteen ratkaisut) avulla. Päästövähennystarpeen asettamien reunaehtojen osalta on huomioitava erityisesti raken-

teellisten ratkaisujen [71], koneellisen jäähdytyksen [52] sekä aktiivisten ratkaisujen ja taloteknisten järjestelmien [52] vaatiman energian päästövaikutus sekä energiatehokkaamman rakentamisen hiilijalanjälki [52]. Viherrakenteen lisäämiseen liittyvät jäähdytysratkaisut voivat puolestaan toimia hiiltä sitovina [71] luoden samalla viihtyisyyttä. Puustolla ja siitä haihtuvalla kosteudella on varjostava ja paikallisilmastoa viilentävä vaikutus [83]. Varjostava puusto sitoo samalla hiiltä ilmasta.

Taulukko 8. Tunnistetut keinot ja niiden vaikuttavuus reunaehdon 4 vaikutusten näkökulmasta.

		1: CO ₂	2: Materiaalit	3: Luontokato	4: Lämpö	5: Sade	6: Tuuli	7: Meri
Kaupunki-rakenne	Lämpöä sitovan ja hukkalämpöä tuottavan infrastruktuurin määrään vähentäminen ja sijoittelu lämpökuorman kannalta vähentävästi.	++	+		+++			
	Menetetyn kasvullisen maa-alan korvaaminen.	+		+	++	++		
	Lajiston uudistaminen muuttuvaa ilmastoa kestäväksi. Sis. kasvuston monimuotoisuuden ja eri-ikäisyyden huomioiminen.	+		++	++			
	Katutilan uudelleenjakaminen niin, että päästöintensiviseltä infralta siirretään tilaa viherrakenteelle ja muille toiminnoille.	++	++	+	++	++		
	Ylikuumenemisen ja tulvariskien ehkäiseminen viherrakenteen avulla nykyisen rakenteen sisällä.			++	++	++		
	Maaston huomioiminen rakentamisen sijoittelussa.	+		++	+	++	++	
	Olemassa olevan luonnon huomioiminen sijoittelussa.	+		+	+	+		
	Community cooling spaces haavoittuvimpien ihmisryhmien suojelemiseksi.				+			
	Pelto- ja metsätilkkujen sekä muiden viheralueiden vaihteleminen tautien leviämisen ehkäisemiseksi.			++	+			
	Hiilinielujen kompensointi kaupungin rajojen ulkopuolella.	--		--	--	--		
Korttelit	Täydennysrakentaminen ja tiivistäminen joukkoliikennehuibeissa.		++		---	---		
	Riittävät varjoiset ulkotilat, joissa mahdollisuus vilvoitella.	+		++	+++			
Rakennukset	Puiden varjostusvaikutuksen hyödyntäminen.	+			++			
	Tilojen viilennys aktiivisin menetelmin.	-	-		+++			
	Tilojen suojaus ja viilentäminen passiivisin menetelmin (esim. kasvikatot, säleiköt, yötuuletus, heijastavat pintamateriaalit). Rakennusten passiivisen resilienssin kasvattaminen.	+		+	++			
	Viherseinät viherkattojen rinnalle vahvemmin keinovalikoimiin + vedenalaiset viherseinät.	-		+	+	+	+	

Rakennustasolla tulevaisuudessa korostuu yhä enemmän rakentamisen passiivinen resilienssi [74] ja rakennusten lämmönsäätelyssä on tärkeää hyödyntää aktiivisten ratkaisuiden rinnalla nykyistä enemmän myös passiivisia keinoja [24]. Passiiviset keinot esimerkiksi jäähdytyksen osalta lisäävät ja ylläpitävät myös yksilötason sopeutumiskykyä muuttuvaan ilmastoon [74]. Passiiviset keinot eivät kuitenkaan yksinään useinkaan riitä muuttuvan ilmaston vaatimuksiin vastaamiseksi, mutta auttavat osaltaan pienentämään esimerkiksi vaadittavan jäähdytysenergian tarvetta [52]. Vaikka ainoastaan passiivisilla keinoilla on vaikea saavuttaa riittäviä rakenteellisia viilennys- ja muita vaikutuksia tulevaisuudessa, on tärkeää, että rakennukset ovat elinkelpoisia myös tilanteissa, joissa aktiiviset järjestelmät ovat syystä tai toisesta poissa käytöstä [74]. Maailmalla on jo esimerkkejä siitä, miten ennen aktiivisten järjestelmien asentamista tulee osoittaa hyödyntäneensä kaikki passiiviset keinot (esimerkki 5). Koneellisten jäähdytysratkaisuiden lisäksi tilojen viilennystä edesauttavat esimerkiksi ikkunoiden aurinkosuojaus sekä tehostettu yötuuletus [52]. Lämpösaarekeilmiön ja rakennusten kuumenemisen hillitsemiseksi myös puut ja kasvikatot tarjoavat varjostusta tasaten samalla lämpösaarekeilmiön vaikutusta rakennustasolla [74, 71].

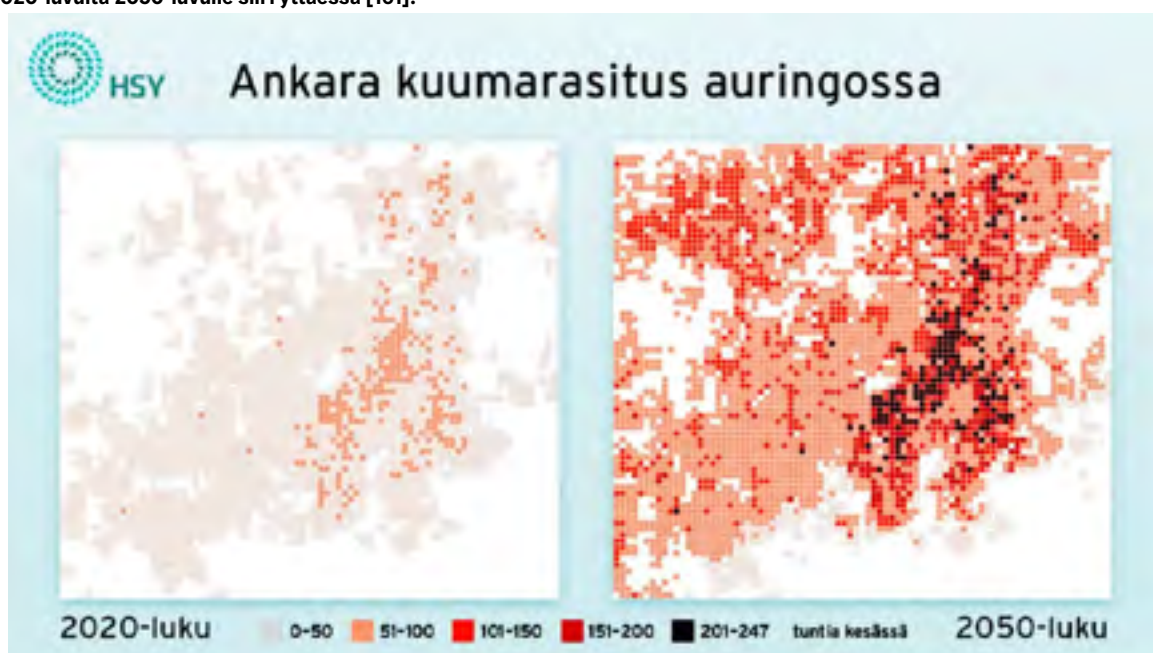
- **Esimerkki 5:** The London Plan edellyttää, että keskeisissä suunnittelukohteissa on osoitettu, miten ylikuumenemiseen ja viilennystarpeeseen vas-

tataan. Viilentämiseen hyödynnetään hierarkiaa, joka priorisoi passiivisia ratkaisuja:

- minimoidaan sisäinen lämmöntuotanto energiatehokkaiden suunnitteluratkaisujen avulla;
- minimoidaan ulkoa kohdistuvan lämpökuorman vaikutus esimerkiksi rakennuksen suunnauksen, sijoittelun, varjostusratkaisuiden, aukotuksen ja eristämisen avulla;
- hallitaan rakennuksen lämpökuormaa sisätilojen rakenteellisilla ratkaisuilla;
- passiivinen tuuletus;
- mekaaninen tuuletus; aktiiviset viilennysjärjestelmät [165].

Lisääntyvistä helteistä aiheutuu yksilötasolla merkittäviä terveyshaittoja jo nykytilanteessakin [160] ja jatkossa kuumuuden aiheuttamat terveysriskit lisääntyvät huomattavasti [96]. Helsingissä helleaaltoihin liittyvän kuolleisuusriskin on arvioitu olevan tulevaisuudessa jopa yli kaksinkertainen ympäröivään seutuun verrattuna [166, 167]. Kylmyyden aiheuttamat terveysriskit puolestaan laskevat [96]. Nollan molemmin puolin sahaava lämpötila lisää liukastumisriskiä tulevaisuudessa [168]. Riski on korkein suurissa kaupungeissa, joissa siihen vaikuttaa esimerkiksi julkisen liikenteen ja jalankulkijoiden korkeampi määrä [169]. Liukkauden aiheuttamat terveysriskit kasvavat maata suojaavan lumikerroksen puuttuessa [96]. Terveys-

Kuva 14. Ankaran kuumarasituksen määrä muuttuu huomattavasti jo 2020-luvulta 2050-luvulle siirryttäessä [161].



haittoihin vaikuttaa henkilökohtaisten ominaisuuksien lisäksi hyvin paljon se, millaisessa talossa ja rakennuksessa ympäristössä eletään [71]. Eräs keskeinen riski on rakennusten ylikuumentuminen, joka lisää terveysriskejä erityisesti pääosan ajastaan sisätiloissa viettäville riskiryhmillä [170], kuten ikääntyneillä ja pitkäaikaissairailta [171]. Ylikuumentumisen riski korostuu hellekausina, jolloin myös yölämpötilat ovat korkeita, eikä elimistö pääse toipumaan lämpöstressistä yöaikaan [160]. Yksittäisten tilojen lämpenemisen lisäksi onkin tarpeen huomioida myös kumulatiivinen lämpökuorma, jolle ihmiset altistuvat päivän aikana [74]. Erityisen tärkeää kuumuushaittojen ehkäisy on herkissä kohteissa, kuten hoitolaitoksissa, hoivakodeissa, päiväkodeissa sekä kouluissa [160].

Lämpösaarekeilmiö ja rakennusten ylikuumentuminen koettelee pahiten haavoittuvimpia ihmisryhmiä, joilla ei ole varaa tai mahdollisuuksia asentaa jäähdytysjärjestelmiä ja jotka usein asuvat rakennuksissa, jotka ovat alttiimpia kuumenemiselle [74]. Rakennusten lämpenemisestä johtuvat haitat korostuvat, mikäli asukkailla ei ole mahdollisuutta siirtyä lähellä oleviin varjosiini ulkotiloihin vilvoittelemaan [74, 75]. Voikin olla tarpeen tarjota myös julkisia tiloja viilentymiseen erityisesti haavoittuvimmille ihmisryhmille (esimerkki 6). Tällaisiksi tiloiksi soveltuvat esimerkiksi julkiset väestönsuojat, jotka ovat luonnostaan viileitä [74]. Mallintamisen avulla voidaan selvittää, mitkä rakennukset ovat kaikkein alttiimpia ylikuumentumiselle. Tähän vaikuttaa esimerkiksi rakentamisen ajankohta (voimassa olleet määräykset) sekä lämpösaarekeilmiön muodostumiselle altistavat tekijät lähiympäristössä [74]. Yhteen suuntaan avautuvat asunnot ovat erityisen alttiita ylikuumentumiselle [74]. Vaikutus korostuu, mikäli julkisivuaukotus on suuri ja keittiö sijaitsee asunnon takaseinällä lämmittäen tilaa myös toiselta puolelta [74].

Pohjoiset ekosysteemit ovat erityisen haavoittuvia ilmastonmuutoksen vaikutuksille [173]. Lajisto muuttuu etelämpää tulevien lajien tieltä, sillä kukin eläin- ja kasvilaji on sopeutunut tietynlaiseen ympäristöön ja sen tarjoamiin elinolosuhteisiin [83]. Lämpenemisen ansiosta kasvukausi pitenee [83]. Suomeen ei kuitenkaan synny kahta kasvukautta jatkossakaan johtuen siitä, että valon määrä ei lisääny [71]. Satokausi käynnistyy Helsingin sijainnilla jatkossa jo helmi-toukokuussa [83]. Vaikka ruoantuotannon olosuhteet kohentuvat ilmastollisesti, muutos ei välttämättä näy suoraan tuotantomäärien kasvuna vuosittaisista lämpötila- ja kosteustasapainon vaihteluista johtuen [95].

Maaperästä vapautuvan hiilidioksidin määrä lisääntyy

maaperän lämmön ja kosteuden lisääntyessä kumoten paikoin kasvaneen hiilensidontavaikutuksen [83]. Katualueilla olosuhteet äärevöityvät metsiä ja puistoja enemmän. Helsingin metsien valtalajeja ovat tällä hetkellä mänty, kuusi ja koivu. Lämpenemisen johdosta lehtipuut kuitenkin valtaavat jatkossa alaa havupuilta [83]. Esimerkiksi kuusi on tulevaisuudessa haastavassa tilanteessa sen elinolosuhteiden vaikeutuessa [174, 175]. Lämpenemisen myötä Etelä-Suomessa menestyy tulevaisuudessa uusia lajikkeita, kuten tattari, pellava, auringonkukka, kumina, hamppu, maissi, päärynä, luumu ja vesimeloni [83]. Uusina eläinlajeina Etelä-Suomeen muuttaa esimerkiksi uusia hirvieläimiä, sakaaleja ja pesukarhuja, joista monet viihtyvät myös kaupunkiolosuhteissa [83]. Lämpenemisen myötä myös haitallisten tuho- ja loiseläinten kirjo kasvaa [83]. Lintulajien määrä sekä lajien yksilömäärät sen sijaan laskevat [83].

Lajiston uudistaminen muuttuvaa ilmastoa kestäväksi suojaa yhtäkkisiltä laajoilta tuhoilta. Muuttuviin olosuhteisiin vastaaminen kasviston monimuotoisuuden ja eri-ikäisyyden keinoin on tärkeää. Pelto- ja metsätilkkujen, pensasviljelmien, puutarhojen ja muiden viheralueiden vaihtelevuus voi auttaa ehkäisemään tautien ja tuholaisien leviämistä [83]. Maavaraisilla piha-alueilla on mahdollista kasvattaa täysimittaista puustoa ja hallinnoida hulevesiä luonnonmukaisesti.

- **Esimerkki 6:** Vancouver tarjoaa 'Community cooling centre' -tiloja sekä muita julkisia palveluita viilentymiseen kuumuuskausien aikana [172].



REUNA-EHTO 5: Sateisuus

Sateisuuden mallintamiseen liittyy lämpötilamallinnuksia suurempia epävarmuuksia, mutta kaikki mallit osoittavat sateisuuden kasvavan [94]. Esimerkiksi rankkasadetulvien esiintymisen todennäköisyys kasvaa, mutta sen ennustaminen, kuinka paljon niitä osuu juuri Helsingin alueelle tulevaisuudessa, on haastavaa [95]. Lämpimään ilmaan mahtuu enemmän kosteutta, joka vaikuttaa samalla sateiden runsastumiseen [83]. Runsaiden sateiden määrä tulee lisääntymään säätyyppien vaihtuessa aiempaa hitaammin ja matalapaineiden määrän kasvaessa Pohjois-Euroopassa [83]. Vuotuisten sademäärien arvioidaan kasvavan noin 10–20 %, talvella ja keväällä tätäkin enemmän [94]. Tulvariski kolminkertaistuu [83] ja erityisesti hulevesitulvien riski kasvaa [91] hulevesiviemärien ja muiden vedenohjousreittien välityskyvyn ylittyessä [177]. Lämpeneminen lisää toisaalta myös haihduntaa ja maaperän kuiva aika kasvaa yhdestä noin kahteen kuukauteen [83].


Keväisin sateisuus lisääntyy ja rankkasateiden voimakkuus kasvaa [91]. Kevättulvat kuitenkin vähenevät noin neljänneksen, kun talvikauden sateet tulevat yhä useammin vetenä [83]. Keväiden kuivuusjaksot pahelevat ja ankaraa kuivuutta esiintyy yhä useammin [83]. Kesien keskimääräinen sadanta pysyy nykyisen tyyppisenä rankkasateiden voimistuessa noin 10 % [94]. Kesäisin sadepäivien määrä vähenee [91], mutta vuorokauden suurin sademäärä kasvaa noin neljänneksen [83]. Rankkasateiden rinnalla ukkospuuskien, rakeiden sekä syöksyvirtausten määrän ennustetaan kasvavan [83]. Rajuilmojen esiintymisen muutoksia ei kuitenkaan ole mahdollista ennustaa varmuudella, sillä ne vaativat lämpötilan lisäksi myös usean muun tekijän yhdenaikaisen voimassaolon [95]. Lämpötilojen noustessa, sateiden riittävydestä syntyy ajoittain haasteita [83]. Maasto kuivuu aiempaa nopeammin ja

maaperän kosteus laskee kesäisin hyvin kuivien päivien määrän lähes kaksinkertaistuessa [83]. Kesäiset kuivuuskaudet lisäävät myös riskiä pohjavesien laadun heikkenemiselle [173].

Syksyisin sateisuus kasvaa [83]. Syystulvien on arvioitu lisääntyvän noin kolmanneksella sademäärien kasvusta johtuvan valunnan moninkertaistuessa [83]. Syksyisin hulevesitulvien riski kasvaa [91]. Talvisin yhä suurempi osa sateesta tulee vetenä [95, 91, 94, 83]. Lumiset päivät vähentyvät noin puoleen ja lumisateen määrä vähenee neljänneksellä [83]. Yksittäiset suurimmat lumisademäärät voivat puolestaan kasvaa [83]. Maahan jäävä lumimäärä kuitenkin vähenee, sillä lumi sulaa maan lämmöstä johtuen nopeasti pois [83]. Valunta moninkertaistuu sademäärien kasvaessa [83]. Sateisuuden kasvaessa talvitulvat lisääntyvät kolmanneksen ja johtavat yhä useammin merkittäviin vahinkoihin [83]. Erityisesti jokitulvien [177] sekä hulevesitulvien riski kasvaa rankkasateiden kasvun johdosta [91].

Keskeisimmät muutokset sateisuuden osalta ovat:

- 1. Vuotuinen sateisuus lisääntyy, runsaiden sateiden määrä kasvaa ja rankkasateet voimistuvat.**
- 2. Lumisateen määrä vähenee, suurimmat lumisademäärät kasvavat.**
- 3. Tulvariski kasvaa.**
- 4. Kuivuuskaudet lisääntyvät, ankaraa kuivuutta esiintyy yhä useammin.**



Sademäärien muutokset ovat talvisin suurempia kuin kesäisin [176, 157]. Lumisateet harvinaistuvat [157]. Sateisuuden ja pilvisyyden lisääntyessä syksyt ja talvet muuttuvat aiempaa pimeämmiksi [155].

REUNAEHTO 5: Vettä läpäisevän pinnan määrän lisääminen tulee varmistaa. Kaupungin tulee varautua hulevesitulvariskin kasvuun erityisesti kriittisen infrastruktuurin osalta.

Sateisuuden muutosten asettamat reunaehdot ja niiden huomioiminen

Sateisuuden muutosten asettamien reunaehto- jen keskeisimmät vaikutukset ja keinot niiden huomioi- miseksi on esitetty taulukoissa 9 ja 10.

Lisääntynyt ilman ja maaperän kosteus sekä tulvat lisäävät rakenteisiin kohdistuvaa rasitusta. Aiemmistä kylmistä talvista johtuen rakennuksia ei ole suunniteltu olosuhteisiin, joissa rakennuksen ulkopinta on jatkuvasti vedelle altis [95, 74]. RIL 250-2020 -ohje rakentamisen kosteudenhallintaan ja homevaurioiden estämiseen on jo päivitetty ilmastonmuutos huomioiden. RIL 107 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohje on parhaillaan päivityskierroksella ja ilmestyy vuoden 2022 aikana huomioiden aiempaa enemmän myös ilmastonmuutosnäkökulmaa [52].

Monien rakenneratkaisuiden kosteustekninen toiminta heikkenee ja kosteusvaurioiden riski kasvaa erityisesti lämmittämättömissä tiloissa [52]. Rakenteiden uusimis-, korjaus- ja purkamistarve voi kasvaa olosuhteiden muuttuessa ja rakenteiden sekä materiaalien suojaustarve kasvaa jo työmaa- aikana ulkoa tulevalta kosteudelta suojaamiseksi [52]. Rakennusten saderasitus lisääntyy paikoin jopa puolella kosteuden kasvun ja sateisuuden lisääntymisen johdosta [83]. Viistosateet lisääntyvät noin kolmanneksella ja sateita kohdistuu aiempaa enemmän myös muille kuin etelän- ja lännenpuoleisille seinille pitäen seinäpinnat pitkään märkinä [83]. Lisääntyvä sateisuus ja rankkasateet aiheuttavat yhä enemmän vahinkoja rakennuksille ja infrastruktuurille [83]. Kosteuden lisäksi nollan molemmin puolin liikkuva lämpötila altistaa betoni-, tiili- ja rappauspin- nat kulumiselle ja rapautumiselle [83]. Puurakenteet ovat kovilla kosteamman ja lämpimämmän ilmaston sekä uusien tuholaisien kanssa [83]. Lisääntyvän kosteuden ja rakenteiden kostumisen johdosta myös homeen kasvuolosuhteet lisääntyvät ja teräsosien korroosioriski kasvaa rakenteiden ulko-osissa kuivu- misen hidastuessa [52].

Rakenteisiin kohdistuvan rasituksen lisäksi roudan väheneminen ja maaperän lisääntyvä kosteus vähentävät myös maaperän lujuutta [83, 173]. Toisaalta myös lisääntyvät kuivuuskaudet aiheuttavat merkittävän riskin rakennetulle infrastruktuurille erityisesti savimaalla sen painuessa pohjaveden laskiessa [83]. Lumen määrän väheneminen kiihdyttää myös maaston kuivumista keväisin lisäten merkittävästi esi- merkiksi maastopalojen riskiä [83]. Metsäpaloriskin ehkäiseminen onkin jatkossa entistä tärkeää [72].

Lisääntyvä kosteus ja sateisuus lisää myös tieinf- rastruktuurin kulumista ja urautumista [83]. Infran osalta rakenteellisen rasituksen vaikutukset korostu- vat erityisesti silloin, jos korjausvelkaa on kertynyt jo ennestään [95]. Lumimäärän väheneminen ja jää- peitteisen kauden lyhentyminen vähentävät toisaalta aurauksen ja lumen välivarastoinnin tarvetta [83, 173, 72] mahdollistaen entistä paremmin aktiivisen liikku- misen vuoden ympäri [83, 173]. Maahan jäävän lumen määrän vähentyessä on kuitenkin tärkeää määritellä riittävä varautumistaso yksittäisiin lumikuormiin niinä harvoina hetkinä, kun lunta tulee kerralla suuria mää- riä [72]. Yksittäisten suurten lumikuormien aiheut- tamat vahingot kasvavat, kun infrastruktuuria ei ole enää mitoitettu niiden varalta [83].

Kasvatavat sademäärät ja voimistuvat rankkasateet lisäävät myös hulevesijärjestelmien kuormitushuip- puja johtaen kaupunkitulvien riskin kasvuun [178]. Rankkasateiden aiheuttamat hulevesipiikit kasvavat ja ne tulee huomioida infrasuunnittelussa [94]. Kun maaperän kosteuspitoisuus nousee, sadevesien imeytyminen maaperään hidastuu lisäämällä viemäri- verkostojen ylikuormittumista ja edesauttaen tulvien syntymistä [173]. Lisääntyvät tulvat muodostavat riskin rakennetulle ympäristölle ja erityisesti kaupun- kien maanalaisille ja matalalla sijaitseville rakenteille [173, 177] ja muulle infrastruktuurille sekä ajoittaisia haittoja esimerkiksi liikenteelle ja katualueilla sijaitse- ville rakenteille [173, 177]. Veden pääsy rakenteisiin ja maanalaisiin tiloihin voi johtaa rakenteellisten vaurioiden lisäksi mahdollisesti käyttökatoiksiin ja vaarati- lanteisiin [177].

Lisääntyvään sateisuuteen ja tulviin varautumisen keinoja ovat esimerkiksi vettä läpäisevien pintojen lisääminen sekä luonnonmukaiset ja paikalliset imeytys- ja viivytysohjeet [83, 74], salaojitus sekä pintavesien poisjohtaminen rakennusten läheisyy- destä [177] (esimerkki 7). Päästövähennystarpeen näkökulmasta esimerkiksi maan jatkuva kasvipeit- teisyys ja viljelylajikkeiden kierto sitovat maaperää vähentäen hiilen vapautumista ja ravinteiden huuhtoutumista [83]. Hiiliviljelypellot ovat tulvankestäväm- piä ja estävät ravinteiden huuhtoutumista [71]. Myös kasvikatkoja on usein ehdotettu ratkaisuksi ajoittain lisääntyvän vesimäärän sitomiseen ja sadeveden viivyttämiseen [72]. Päästövähennystarpeen asetta- mien reunaehto- jen kannalta on kuitenkin huomioitava kasvikatkojen rakentamisen hiilijalanjälki [52]. Kriitti- simmän infran suojaamiseksi äkillisten hulevesipiik- kien vettä voi harkita ohjattavan esimerkiksi maan- alaisiin parkkihalleihin [95].

- **Esimerkki 7:** Lisääntyvän sateisuuden ja tulvarisikien hallitsemiseksi maailmalla on esimerkkejä ‘Sponge City’-konseptin kehittämisestä. Kyseessä ovat paikalliset luonnonmukaiset imeytys- ja viivytysratkaisut, jotka imevät vettä itseensä rankkasateiden aikaan [esim. 179, 180].

Veden poisohjaamiseen liittyvien rakenteiden riittävyys on tärkeää myös yksilötason vaikutusten kannalta, sillä lämpimämmässä ilmastossa seisovaan veteen syntyy nopeammin erilaisia tartuntatauteja [71]. Yksilötasolle kohdistuvat riskit sateisuuden ja tulvien lisääntymisen osalta eivät johdu usein

Taulukko 9. Tunnistetut vaikutukset ja niiden merkittävyys reunaehdon 5 kannalta.

		1: CO ₂	2: Materiaalit	3: Luontokato	4: Lämpö	5: Sade	6: Tuuli	7: Meri
Kaupunki-rakenne	Merkittävät tulvavahingot lisääntyvät: teiden katkeaminen; sähkö-, puhelin- ja tietoliikenneverkon vauriot, jätevedenpuhdistamoiden toimintahäiriöt.		+			+++		
	Hulevesijärjestelmien kuormitushuiput lisääntyvät. Rankkasateiden aiheuttamat hulevesipiikit kasvavat.					+++		
	Maastopalojen riski kasvaa.	-				++		
	Kuivuus rajoittaa kasvullisuuden lisääntymistä (+riskit eläimille).	-		--		++		
	Metsien maaperästä vapautuvan hiilidioksidin määrä kasvaa.	-				++		
	Roudan puuttumisen vuoksi luonnonmukaisten viheralueiden kulutuskestävyys heikkenee samalla, kun käyttöpaine lisääntyy.			-	++	++		
	Kuivuuskaudet lisäävät pohjavesien laadun heikkenemisen riskiä.			--		++		
	Aurauksen ja lumen varastoinnin tarve vähenee.				+	+		
Korttelit	Hulevesitulvien riski kasvaa.					++		
Rakennukset	Rakennusratkaisuiden kosteustekninen toiminta heikkenee. Rakenteiden kosteusrasitus, kuluminen ja kosteusvauriot lisääntyvät.					+++		
	Rakenteiden kosteuskuormitus kasvaa. Saderasitus lisääntyy kohdistuen seinäpintoihin tasaisemmin.					++		
	Uusimis-, korjaus- ja purkamistarve kasvaa.	--	-			++		
	Rakenteiden suojaustarve kasvaa rakennustyömailla.					++		
	Kosteusvaurioriskit lämmittämättömissä tiloissa kasvavat.					+		
	Yksittäisten lumikuormien riskit kasvavat.					+		
Yksilö	Vektorivälitteiset punkkien, vesien jne. kautta leviävät taudit lisääntyvät.				++	+		
	Lisääntyvä pilvisuus ja sateisuus pimentää syksyjä ja talvia entisestään. Vähenevä valoisuus voi pahentaa kaamosoireita.					+		
	Kosteus- ja homevaurioiden lisääntyminen nostaa rakennusterveydellistä riskiä.					+		
	Kuivuuskaudet lisäävät pohjavesien laadun heikkenemisen riskiä.					+		

niinkään hukkumiskuolemista tulvien aikaan, vaan esimerkiksi tulvien johdosta syntyvästä henkisestä kuormituksesta, laitteistojen vikatilanteista, tulvavesien mukana levinneistä epäpuhtauksista [74]. Hulevesikuormituksen lisääntyessä seisovaan veteen voi syntyä erilaisia tartuntatauteja, kuten hyttys- ja puutiaistauteja [71]. Seisovan veden välttämiseksi tarve veden poisohjauksesta huolehtimiseen korostuu. Myös sekaviemäröintien tulvariskit tulevat kasvaamaan vesivälitteisten epidemioiden osalta [71].

Yksilötason näkökulmasta on huomioitava tulvariskien ja vesivälitteisten sairauksien lisääntymisen

lisäksi myös lisääntyvä pimeys erityisesti syys- ja talvikaudella. Kun maahan jäävän lumen määrä vähenee, talvet ovat aiempaa pilvisempiä ja loskaisempia [98, 71, 83, 94]. Pimenevien talvien johdosta esimerkiksi kaamosmasennuksen on ennustettu lisääntyvän [98, 96, 72]. Pimeyden ja varjoisuuden lisääntyminen korostuu erityisesti tiiviissä ja korkeassa kaupunkirakenteessa, jossa asuntoihin virtaa yhä vähemmän luonnonvaloa [98]. Riittävästä ulkotilojen valaistuksesta huolehtiminen onkin tärkeää viihtyisyyden ja turvallisuuden kannalta.

Taulukko 10. Tunnistetut keinot ja niiden vaikuttavuus reunaehdon 5 vaikutusten näkökulmasta.

		1: CO ₂	2: Materiaalit	3: Luontokato	4: Lämpö	5: Sade	6: Tuuli	7: Meri
Kaupunkirakenne	Toimintojen sijoittelu tulvariskialueiden ulkopuolelle.					++		+++
	Valuma-aluelähtöinen hulevesien suunnittelu, jossa tunnistetaan tärkeimmät vettä läpäiseväksi pinnaksi muutettavat kohdat.					++		
	Viheralueet tulee säilyttää täydennysrakennettaessa.	++		+		+		
	Yksittäisten lumikuormien ohjaaminen nykyisille kadunvarisipysäköintipaikoille.	+				+		
	Tulvariskin huomioiminen SOTE-kohteiden ja -palveluverkon suunnittelussa.					+		
	Sekaviemäröinnin ylivuotojen vähentäminen hulevesiä eriyttämällä.					+		
	Maan jatkuva kasvipeitteisyys ja viljelylajikkeiden kierto sitovat maaperää vähentäen hiilen vapautumista ja ravinteiden huuhtoutumista.	+		+		+		
	Hiiliviljelypellot ovat tulvankestävämpiä ja estävät ravinteiden huuhtoutumista.	+				+		
Korttelit	Vettä läpäisevien pintojen lisääminen.	+		+		+++		
	Luonnonmukaisten ja paikallisten imeytys- ja viivytysratkaisuiden lisääminen.	+				++		
	Veden poisohjauksesta huolehtiminen.	-				++		
	Äkillisten tulvapiikkien ohjaaminen maanalaisiin parkkihalkeihin kriittisemmän infran suojaamiseksi.	-				++		
	Ulkotilojen laadusta huolehtiminen myös kaamosaikaan (talvikunnossapito, valaistus jne.).					+		
	Lumien paikallinen huomiointi: esim. aukiotaskuja.					+		
Rakennukset	Veden sitomisen ja sadeveden viivyttämisen passiiviset ratkaisut (esim. kasvikatot).	+		+		+		

REUNAehto 6: Tuulisuus

Ilmastonmuutoksen seurauksena tuulisuus Suomessa ja lähialueilla muuttuu melko vähän, mutta sen mallintamiseen liittyy suuria epävarmuuksia [95]. Tuulisuusmallit poikkeavat toisistaan jonkin verran keskimääräisten tuulennopeuksien osalta [155]. Tuulisuuden muutoksen osalta ei ole yhtä selkeitä pitkän aikavälin trendejä, vaan vuosien välinen vaihtelu on jatkossakin suurta. Muutokset voimakkaiden tuulien esiintymisessä ovat epävarmoja johtuen ilmiöiden satunnaisuudesta [182, 183].

Tuulen nopeuden on arvioitu kasvavan keväällä [91]. Kesän osalta ei ole raportoitu muutosta tuulisuudessa. Syksyisin tuulisuus lisääntyy ja yksittäisten myrskyjen tuhovoima kasvaa [83]. Talvisin tuulisuus lisääntyy viidenneksen etelän- sekä lounaanpuoleisten tuulten lisääntyessä [83]. Itämeren jäättömyyden on arvioitu lisäävän tuulisuutta talvikaudella [173]. Myös tuulen nopeus kasvaa talviaikana [91]. Tuulituriskit kasvavat varsinaista tuulisuutta enemmän roudan vähenemisestä johtuen [83].

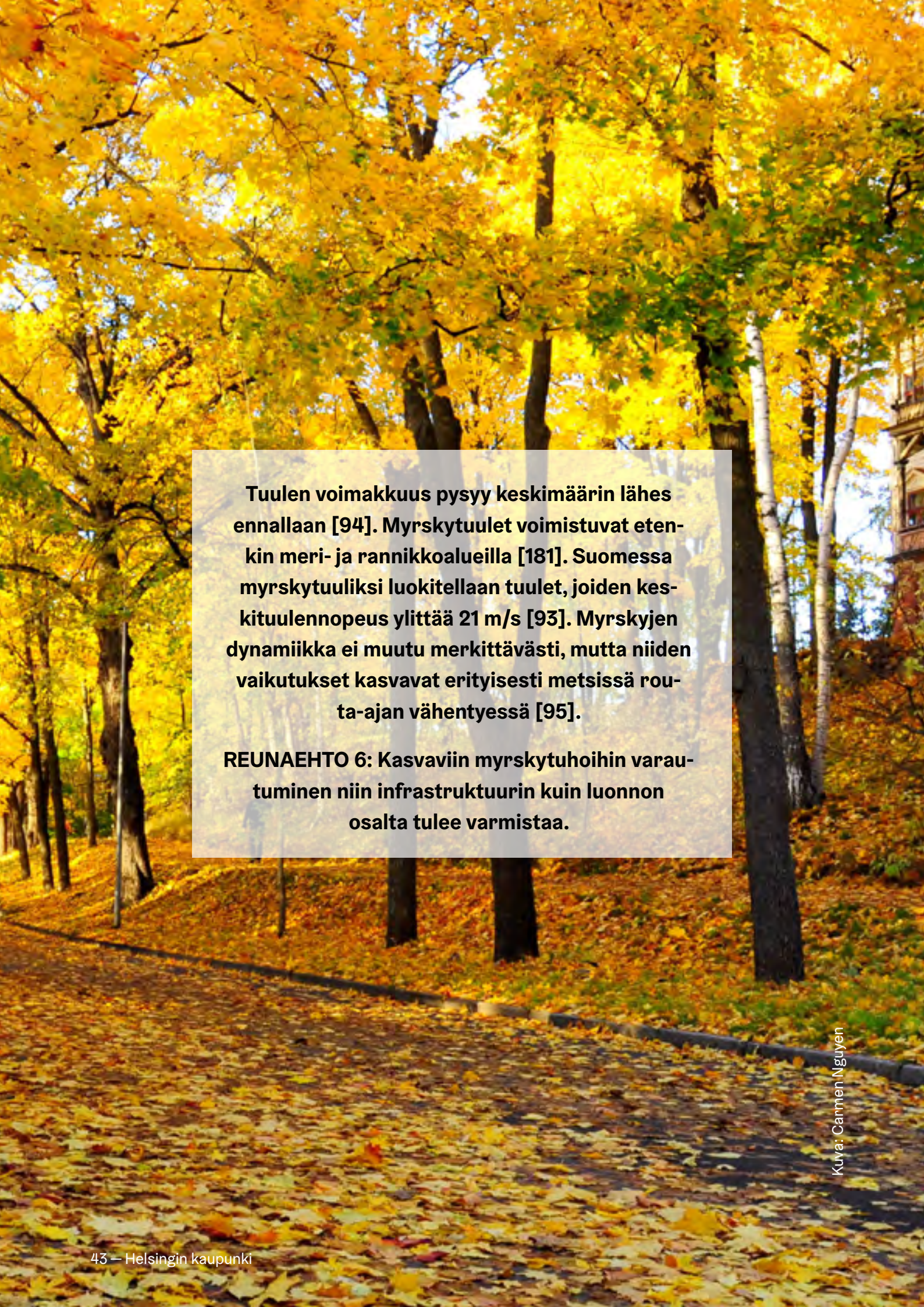
Keskeisimmät muutokset tuulisuuden osalta ovat:

- 1. Tuulen nopeus kasvaa ajoittain, mutta sen keskimääräinen voimakkuus pysyy lähes ennallaan.**
- 2. Etelän- ja lounaanpuoleiset tuulet lisääntyvät.**
- 3. Yksittäisten myrskyjen tuhovoima kasvaa.**

Tuulisuuden muutosten asettamat reunaehdot ja niiden huomioiminen

Tuulisuuden muutosten asettamien reunaehtojen keskeisimmät vaikutukset ja keinot niiden huomioimiseksi on esitetty taulukoissa 11 ja 12.

Lisääntyvä tuulisuus voi laskea ulkotilojen viihtyisyyttä [173]. Myrskytuhojen osalta keskeinen tunnistettu riski ovat paikalliset mutta usein mittavat puustotuhot sekä kaatuvien puiden aiheuttamat vahingot sähköverkoille, liikenteelle, rakennuksille ja muulle infrastruktuurille [93]. Roudan väheneminen lisää tuulituhojen määrää luonnossa [83] ja pienetkin muutokset voivat kasvattaa tuhojen riskiä merkittävästikin [91].



Tuulen voimakkuus pysyy keskimäärin lähes ennallaan [94]. Myrskytuulet voimistuvat etenkin meri- ja rannikkoalueilla [181]. Suomessa myrskytuuliksi luokitellaan tuulet, joiden keskituulennopeus ylittää 21 m/s [93]. Myrskyjen dynamiikka ei muutu merkittävästi, mutta niiden vaikutukset kasvavat erityisesti metsissä rousta-ajan vähentyessä [95].

REUNAehto 6: Kasvaviin myrskytuhoihin varautuminen niin infrastruktuurin kuin luonnon osalta tulee varmistaa.

Taulukko 11. Tunnistetut vaikutukset ja niiden merkittävyys reunaehdon 6 kannalta.

		1: CO ₂	2: Materiaalit	3: Luontokato	4: Lämpö	5: Sade	6: Tuuli	7: Meri
Kaupunki-rakenne	Tuulituhoriskit kasvavat routakauden lyhentyessä. Tuulituhojen määrä metsissä ja rannikolla lisääntyy.						+	
	Myrskytuhot altistavat hyönteis- ja sieni-invaasioille.			-			+	
	Kaatuvien puiden vahingot sähköverkolle, liikenteelle, rakennuksille ja muulle infrastruktuurille.		-				+	
Korttelit	Lisääntyvä tuulisuus voi vaikuttaa ulkotilojen viihtyisyyteen.						+	

Taulukko 12. Tunnistetut keinot ja niiden vaikuttavuus reunaehdon 6 vaikutusten näkökulmasta.

		1: CO ₂	2: Materiaalit	3: Luontokato	4: Lämpö	5: Sade	6: Tuuli	7: Meri
Korttelit	Maaston huomioiminen rakentamisen sijoittelussa.	+		++	+	++	++	

REUNA-EHTO 7: Merenpinnan nousu ja vesistöt

Ilmastonmuutos lisää rankkasateita ja nostaa merien pintaa lisäten merivesitulvien todennäköisyyttä myös Helsingissä [177]. Merivesimallinnukset sisältävät kuitenkin epävarmuuksia liittyen vaikutusten jakautumiseen maapallon eri osissa. Suomenlahdella maan kohoamisen vaikutus merenpinnan nousuun on enää vähäistä ja meriveden pinta on noussut jo vuosikymmeniä [83]. Helsingin rannikkoalue onkin Uudenmaan tasolla keskeinen merivesitulvan riskialue asukasmäärän sekä tulvatilanteessa katkeavien liikenneyhteyksien ja muiden välttämättömyyspalveluiden vuoksi [91]. Merenpinnan korkeuden on arvioitu nousevan Helsingissä keskimäärin kymmenillä senttimetreillä (lähteissä nimetty paras arvio + 33 cm) mannerjäätiköiden sulamisen, meriveden lämpölaajenemisen sekä tuuliolojen muutosten vuoksi [94]. Merenpinnan nousu ei kuitenkaan ole ainoa Itämereen liittyvä muutos, jolla on vaikutusta rannikkoon. Esimerkiksi Itämeren suolapitoisuus on laskussa ja Suomenlahden fosfori- ja typpikuormat kasvamassa [83].

Nousevan merenpinnan lisäksi Helsingissä on useita jokitulvien riskialueita, kuten Vantaanjoen vesistön pinnan nousulle alttiit alueet Savelassa sekä Oulunkylässä [177]. Tulvariskeille alttiita alueita ovat esimerkiksi kauppatorin alue, vanha kauppahalli, keskustan arvokiinteistöt, Hakaniemenranta, Merihaka, Sörnäisten rantatie, Laajasalon ranta-alueet, Marjaniemi ja Vartiokylänlahden alueet, sekä Lauttasaaren, Munkkiniemen, Viikin ja Tammisaloon ranta-alueet sekä Talinranta [177].

Kevään, kesän ja syksyn osalta ei ole raportoitu muutoksia. Talvisin merijää ohenee ja sen pinta-ala pienenee [94]. Suojaavan jääkerroksen puuttuessa myrskyt ja tuulisuus aiheuttavat rannikon ja sen kasvillisuuden kulumista [83].

Keskeisimmät mereen ja vesistöihin liittyvät muutokset ovat:


1. Merenpinta nousee kymmenillä senttimetreillä.
2. Helsingin rannikkoalue on merkittävä merivesitulvan riskialue.
3. Talvisin merijää ohenee ja sen pinta-ala pienenee.

Merenpinnan ja vesistöjen muutosten asettamat reunaehdot ja niiden huomioiminen

Merenpinnan ja vesistöjen muutosten asettamien reunaehtojen keskeisimmät vaikutukset ja keinot niiden huomioimiseksi on esitetty taulukoissa 13 ja 14.

Meriveden pinta nousee lisäten merivesitulvavaurioiden riskiä rakentamisen ja infrastruktuurin osalta. Samalla myös Itämeren jääolosuhteet muuttuvat liikennöinnin ja logistiikan kannalta arvaamattomammiksi [95]. Itämeren jääpeitteisyys harvinaistuu [96]. Merenpinnan nousu aiheuttaa rannikolla tulvia sekä eroosiota [173]. Meriveden lämmitessä sen kyky sitoa hiilidioksidia laskee [83]. Lisääntyvä valunta laimentaa Itämeren suolapitoisuutta lisäten rehevöitymistä [173, 71, 83].

Rakenteita voidaan suojata meriveden nousulta esimerkiksi tulvavallein ja -penkerein [83]. Helsingissä penkereitä on jo suunniteltu rakennettavaksi merenrantakohteisiin sekä Vantaanjoen varteen [177]. Tulvavaurioiden kannalta merivesi on rakenteille jopa haitallisempaa sen sisältämien suolakiteiden takia [74]. Jotkin rakennusmateriaalit, kuten puu ja mineraalivilla ovat erityisen alttiita tulvavaurioille [74].

A white seagull is perched on a yellow bollard. The bollard has a blue rope and a black rope wrapped around it. The background is a blurred blue sky and water.

Merenpinta nousee kymmenillä senttimetreillä [177]. Samalla Itämeren jääpeite supistuu ja ohenee [184] altistaen rannikkoa yhä paheneville myrskytuhoille sekä eroosiovaikutukselle.

REUNAehto 7: Kasvaviin merivesitulvariskeihin tulee varautua.

Mallinnuksen avulla voidaan selvittää, kuinka kauan rakennuksilla menee kuivua mahdollisten tulvien jälkeen. Tähän vaikuttavat rakennuskorkeuden lisäksi esimerkiksi rakennusmateriaalit [74].

Taulukko 13. Tunnistetut vaikutukset ja niiden merkittävyys reunaehdon 7 kannalta.

		1: CO ₂	2: Materiaalit	3: Luontokato	4: Lämpö	5: Sade	6: Tuuli	7: Meri
Kaupunki-rakenne	Meriveden pinta nousee ja merivesitulvien riski kasvaa. Rannikkotulvat ja -erosio lisääntyvät.					++		+++
	Itämeren suolapitoisuus laskee ja rehevöityminen lisääntyy.			-				+++
	Rannikkomeren pohjanläheisen veden happivaje kasvaa.	-		-			++	++

Taulukko 14. Tunnistetut keinot ja niiden vaikuttavuus reunaehdon 7 vaikutusten näkökulmasta.

		1: CO ₂	2: Materiaalit	3: Luontokato	4: Lämpö	5: Sade	6: Tuuli	7: Meri
Kaupunki-rakenne	Rannikkomerialueiden ennallistaminen.	++		++				++
	Merellisen ympäristön kasvullisen rantavyöhykkeen ja meren pohjan määrän säilymisen maksimoiminen.	+		+				++
	Voimakkaasti tukimuurien avulla rakennettujen meren rantojen sijaan loivaluiskaisia kasvillisuuden peittämiä rantoja.	+		+				+
	Ruovikoiden hyödyntäminen hiilivarastoina ja rantaeroosiota hillitsevinä kokonaisuuksina.	+		+				+

4 Askelet kohti hiilinegatiivisuus-tavoitteen konkretisointia

Asiantuntijahaastatteluiden pohjalta on varsinaisten reunaehtojen lisäksi tarve arvioida myös sitä, mahdollistavatko nykyiset institutionaaliset rakenteet ja toimintatavat tunnistettujen kriittisten reunaehtojen puitteissa toimimisen, asetettuihin tavoitteisiin pääsemisen ja muutosten huomioimisen. Nykyiset käytännöt ja toimintatavat nojaavat usein ensisijaisesti nykyisen institutionaalisen systeemin ja elämäntavan ylläpitämiseen - ei niinkään planetaarisen systeemin ja sen eri elämänmuotojen huomioimiseen ja ylläpitämiseen [85]. Tämänhetkisten toimintatapojen tarkoituksenmukaisuutta on uudelleenarvioitava ja keskitettävä resurssit niihin rakenteisiin ja ohjaukeinoihin, joilla on suurin estävä tai mahdollistava vaikutus tavoitteen kannalta.

4.1 Strateginen ohjaus ja rakenteet

Strategialla suunnataan organisaation toimintaa reunaehtojen ja tavoitteiden näkökulmasta ja se toimii työkaluna myös asioista luopumiseen ja poissulkemiseen. Monet näistä vaativat selkeää yli valtuustokauden ulottuvaa kaupunkitasoista - ellei laajempaakin - linjausta. Onkin tärkeää, että mahdollisesti ristiriitaiset tavoitteet ja reunaehdot priorisoidaan niiden merkittävyyden kannalta selkeästi jo strategian - ei yksittäisten hankkeiden - tasolla. Yksittäisten hankkeiden tasolla toimittaessa kompleksisten ja ristiriitaisten tavoitteiden sekä reunaehtojen yhteensovittaminen ja priorisointi on haastavaa ja johtaa helposti osaoptimointiin sekä haastavimpien tavoitteiden ja reunaehtojen huomiotta jättämiseen. Suurissa laajasti määritellyissä tavoitteissa kaikki ovat mukana, mutta ratkaisut kriisiytyvät siinä vaiheessa, kun niitä lähdetään konkretisoimaan jättäen liikaa tilaa osa-

optimoinnille. Tarvitaan selkeämpi linjaus siitä, miten osin ristiriitaisia tavoitteita yhteensovitetaan. Osaoptimoinnin välttämiseksi on keskeistä arvioida myös, aiheutetaanko tehdyillä valinnoilla haasteita muiden reunaehtojen tai tavoitteiden saavuttamisen näkökulmasta. Tällä hetkellä tavoitteiden ja reunaehtojen välinen systeemitason ymmärrys ja arviointi on usein puutteellista. Nykyisillä osallistumiskäytännöillä myös korostuvat helposti tietyt näkökulmat toisten kustannuksella. Jos asiat ovat ristiriidassa koetun oman arjen hyvinvoinnin näkökulmasta, hyväksyttävyyks niille vähenee.

Viheliäiset haasteet vaativat monialaista yhteistyötä ja uusien ammattikuntien osallistumista prosesseihin. Ajattelun sektoraalinen, mutta myös arvopohjainen, siiloutuminen on riski paitsi tunnistettujen reunaehtojen, myös ilmastotavoitteiden kannalta [185] ja katkokset strategisen ja operationaalisen tason ohjauksessa johtavat toiminnan hajaantumiseen ja tavoitteiden saavuttamattomuuteen. Yhteisestä tavoitteesta huolimatta sen tulkinta ja siihen sitoutuminen vaihtelevat siiloittain - tai jopa niiden sisällä. Kompleksisiin tavoitteisiin vastaamisessa korostuu esimerkiksi tiedonkulun ja vastuiden varmistaminen keskeisten toimijoiden välillä, jotta kaikki tietävät toimintaa ohjaavat tavoitteet sekä oman roolinsa niiden saavuttamiseksi. Yksilötasolla on kuitenkin samanaikaisesti monelle psykologisesti tärkeää, että oma työnkuva ja vastuu on riittävän selkeästi rajattavissa.

Millaista on päätöksenteko jatkuvien kriisien maailmassa? Miten nykyinen päätöksentekomalli istuu tulevaisuuden tarpeisiin? Miten varmistetaan tavoitteiden riittävä pitkäjänteisyys jatkuvasti muuttuvassa maailmassa?

Tunnistetut haasteet:

- Epäjatkuvuus strategisen ja operationaalisen tason välillä.
- Tavoitteiden ristiriitaisuus ja osaoptimointi.
- Lyhyen tähtäimen ajattelun korostuminen.
- Mittakaavojen ja vaikuttavuuden hämärtyminen.
- Lineaariseen talousajatteluun ja jatkuvaan kasvuun nojautuminen.

Tunnistetut muutostarpeet:

- Tavoitteiden ja reunaehtojen priorisointi jo strategiatasolla.
- Systeemianalyysi priorisoitavien tavoitteiden ja reunaehtojen yhteensovittamiseksi ja mahdollisten ristiriitojen tunnistamiseksi.
- Toiminnanohjauksen suuntaaminen priorisoitujen tavoitteiden ja reunaehtojen pohjalta.
- Roolien ja vastuiden määrittely tavoitteiden näkökulmasta.

4.2 Instrumentit, ohjaus ja prosessit

Tavoitteiden ja reunaehtojen huomioimiselle luodaan pohja kaupunkisuunnittelussa. Sen avulla tavoitteet voidaan joko saavuttaa tai ne jäävät saavuttamatta. Koko maankäytön prosessin valtion tasolta seutu-, kunta- ja hanketasolle saakka tulisi toimia yhtenäisenä ketjuna asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi. Nyt kokonaisprosessissa on kuitenkin merkittäviä epäjatkuvuuskohtia, jotka heikentävät tavoitteiden operationalisointia ja yksittäisten kuntien keinot edistää tavoitteiden ja reunaehtojen huomioimista jäävät rajallisiksi. Esimerkiksi tämänhetkinen lainsäädäntö antaa vain vähän ohjauskeinoja hiilinegatiivisuuden ja sen reunaehtojen huomiointiin. Suunnittelu perustuu usein tulevan kehityksen mallintamiseen ja muutostarpeiden tunnistamiseen menneen kehityksen pohjalta [19]. Tämä ei kuitenkaan riitä enää silloin, kun tavoitteena on transformatiivinen muutos, joka vaatii toistaiseksi tunnistamattomien keinojen ja systeemisten kokonaisuuksien tunnistamista sekä vakiintuneisiin käytänteisiin nähden epätyypillistä suunnittelua. Jotta muutosta voidaan ohjata, on tärkeää, että myös pitkän aikavälin juridisesti ohjaavat instrumentit mahdollistavat muutoksen ja ohjaavat aktiivisesti sitä kohti strategiselta tasolta toteutussuunnitteluun asti.

Jo tällä hetkellä on käytössä useita erilaisia vaikutusten arvioinnin ja hiililaskennan menetelmiä. Vaikutusten arvioinnit ja laskenta tuottavat tietoa

suunnitelluista ratkaisuista, mutta eivät kuitenkaan yksinään ole tae tavoitteiden saavuttamisesta, eikä hankkeita useinkaan jätetä toteuttamatta, vaikka ne olisivat vaikutusten arviointinsa perusteella ristiriidassa esimerkiksi asetettujen ilmastotavoitteiden kanssa. Selvitykset ja vaikutusten arvioinnit ohjaavat suunnittelua yhä hiili-intensiiviseen suuntaan, vaikka kiristyvät ilmastotavoitteet ovat jo tiedossa. Vaikutuksia tulisi yhä paremmin arvioida paitsi suhteessa toisiinsa myös suhteessa asetettuihin tavoitteisiin.

Myös käytäviin kilpailuihin olisi tärkeää saada mukaan hiilinegatiivisuustavoitteen ja sen reunaehtojen huomioiminen sitovasti myös toteutuksen aikana. Tällä hetkellä on vielä tyypillistä, että kilpailuvaiheessa esitetyt kunnianhimoiset ratkaisut karsitaan toteutamisprosessin aikana pois. Uusia ratkaisuja kehitettäessä on tärkeää seurata myös niiden toimivuutta [75]. Tälläkin hetkellä on käynnissä lukuisia erilaisia hankkeita ilmastoviisaampien ratkaisujen kehittämiseksi, mutta kokeiluiden jälkeen vaikuttavuuden ja tulosten seuranta on yhä melko puutteellista. Vielä toistaiseksi vähähiilisten ratkaisuiden aikaansaaminen on kalliimpaa kuin päästöintensiivisten ratkaisuiden edistäminen.

Millaisia ovat hiilinegatiivisuutta edistävät kaavamääräykset? Kun taloudelliset resurssit ovat rajalliset, miten samanaikaisesti voidaan edistää vähähiilisyttä ja varmistaa esitettyjen ideoiden toteutus?

Tunnistetut haasteet:

- Suunnittelu ei perustu tavoitteen saavuttamiseen, vaan nykyisten prosessien parantamiseen.
- Selvitykset ja vaikutusten arvioinnit eivät ohjaa riittävästi kohti asetettuja tavoitteita.
- Prosessin alkuvaiheessa esitetyt kunnianhimoiset ilmastoratkaisut eivät useinkaan juurru lopulta toteutettavaan ratkaisuun.
- Nykyiset suunnittelu- ja arviointimenetelmät uusintavat jo tunnistettuja haasteita.
- Epäjatkuvuuskohtat prosessin eri tasojen välillä.
- Tämänhetkiset ja menneet prosessit edistävät yhä ratkaisuja, jotka ovat asetettujen tavoitteiden kannalta ristiriitaisia.

Tunnistetut muutostarpeet:

- Totutuista menetelmistä transformatiivisen muutoksen mahdollistaviin suunnittelu- ja analyysimenetelmiin siirtyminen.
- Toteavasta tavoitelähtöiseen vaikutusten arviointiin.

- Jo tehtyjen ja käynnissä olevien suunnitelmien tarkastelu asetettujen tavoitteiden näkökulmasta.
- Toimijoiden välisen yhteistyön tavoitelähtöisempi ohjaus.
- Säädöskokoelman uudistaminen hiilinegatiivisuuden ja sen reunaehtojen näkökulmasta.
- Hiilinegatiivisuustavoite ja reunaehdot mukaan kilpailukriteereihin ja niiden toteutumisen ohjaus.
- Rakennusjärjestyksen roolin kasvattaminen hiilinegatiivisuustavoitteen ja sen reunaehtojen huomioimisessa.
- Stressitestit olosuhteiden muutoksen osalta osaksi suunnitteluprosessia.
- Realismin uudelleenmäärittely ja itesesensuurin vähentäminen asetettujen tavoitteiden näkökulmasta: mitä asetettujen tavoitteiden saavuttaminen todella vaatisi ja ollaanko siihen valmiita?

4.3 Askelet kohti hiilinegatiivisuuden konkretisointia

Reunaehdot ja sektorittaiset vähennykset on helppompaa määritellä, mutta miten ymmärretään hiilinegatiivisen kaupungin systeemistä kokonaiskuvaa? Mitä käytännössä tarkoittaa se, että päästöt nollataan ja hiiltä sidotaan? Mitä ylipäänsä tarkoittaa systeeminen kokonaisuus nimeltään hiilinegatiivinen kaupunki? Mitä se tarkoittaa elämisen, elämäntapojen ja monen muun asian osalta? Asiantuntijahaastatteluiden pohjalta tunnistettiin hiilinegatiivisuustavoitteen konkretisointiin viisi keskeistä askelta (kuva 15).

ASKEL 1: Lähtökohtien tunnistaminen

Ilmastotavoitteet sekä päästövähennysten että sopeutumisen osalta saavutetaan vain teoilla. Vaikkakin tällä hetkellä korostuu erilaisten laskenta-, arviointi- ja vaikutusten arviointimenetelmien rinnakkainen kehittäminen, ilmastotavoitteisiin tarvitaan lopultakin tekoja, jotka laskevat päästöjä ja parantavat kaupungin resilienssiä joka tapauksessa syntyviin muutoksiin varautumisessa ja sopeutumisessa. Mennään siis visioinnissa muutama vuosikymmen eteenpäin vuoteen 2050. Mietitään hetki

ilman olemassa olevan kaupunkirakenteen rajoitteita. Jätetään näiden rajoitteiden huomioiminen myöhemmäs. Valitaan samalla ilmastovyöhykkeellä sijaitseva imaginaarinen paikka, johon meillä ei ole olemassa olevia tunnesiteitä ja jossa vanhasta luopuminen ja poisoppiminen eivät aseta samanlaisia haasteita kuin jo vahvan identiteetin omaavat tutut paikat. Aika näiden pohtimiseen on prosessin myöhemmässä vaiheessa. Keskitytään luomaan reunaehtojen avulla visio, joka on elinkelpoinen myös nykyistä merkittävästi huonommissa olosuhteissa ja pienemmillä päästöillä. Varmistetaan, että kaupunkimme säilyvät elinkelpoisina, vaikka pahimmat ilmastoskenaariot kävisivät toteen. Mitä elämäntavassa ja sitä tukevassa kaupunkirakenteessa tulisi olla toisin, että tämä olisi mahdollista?

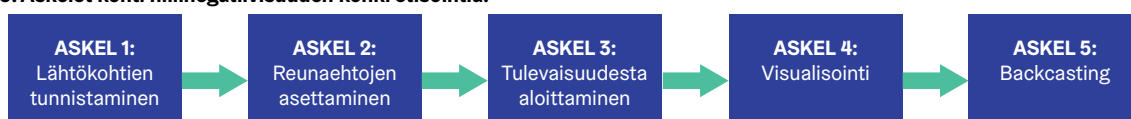
Tällä hetkellä yleinen ilmastodiskurssi keskittyy yhä pitkälti siihen, mistä nykyisiin kaupunkeihin ja elämäntapoihin kuuluvista asioista joudumme luopumaan ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Vähemmän keskustellaan kuitenkin siitä, mitä sellaista hyvää ja odottamisen arvoista hiilinegatiivisuus mahdollistaisi, joka ei tällä hetkellä ja nykyisillä toimintatavoilla ole vielä mahdollista. Onkin tärkeää, että keskustelu hiilinegatiivisesta tulevaisuudesta keskittyy myös muutoksen mahdollistamiin positiivisiin puoliin [19]. Mitä on se arvokas, joka tulee tilalle hiilinegatiivisuuden siirryttäessä?

1. Luodaan vuodelle 2050 visio, joka on elinkelpoinen myös nykyistä merkittävästi huonommissa olosuhteissa.
2. Hiilinegatiivisuus vaatii toteutuakseen, että päätöt on painettu mahdollisimman alas. Hiilensidonnan ja -kompensoinnin merkitys on sekundääriinen.

ASKEL 2: Reunaehtojen asettaminen

Kukaan meistä ei ole käynyt tulevaisuudessa ja nähnyt millaista siellä on. Tuntemattoman tulevaisuuden kuvittelu koetaankin usein erittäin haastavaksi, jonka vuoksi on tärkeää luoda keskusteluihin olosuhteet, jotka tukevat tulevaisuuteen asettumista [19, 186] (kuva 16, suurennettuna ks. liite 4). Myös tulevaisuuden jo melko suurella varmuudella tiedossa olevat muutokset on tärkeää tuoda esiin selkeinä

Kuva 15. Askelet kohti hiilinegatiivisuuden konkretisointia.



lähtötietoina ja reunaehtoina: millainen esimerkiksi on ilmasto vuosisadan puolivälissä, miten se tulee muuttumaan, ja miten se tulisi huomioida osana suunnittelua, mitkä päästöluokat tulevat painottamaan tulevaisuudessa jne.

3. Mikä tulee muuttumaan joka tapauksessa? Mihin voidaan vielä vaikuttaa?
4. Mitä ovat hiilinegatiivisen kaupungin esteet? Mikä tämänhetkisessä toimintaympäristössä estää hiilinegatiivisuuden saavuttamisen?

ASKEL 3: Tulevaisuudesta aloittaminen

Visiotyön tavoitteena on irrota hetkeksi nykyhetkestä ja miettiä, miltä näyttäisi hiilinegatiivisen kaupungin ideaalitalanne. Jatkovalmistelussa on tärkeää korostaa, että hiilinegatiivisuus on pitkän aikavälin tavoite, eikä visioinnin ole tarvetta rajoittaa asioihin, jotka ovat mahdollisia tai saavutettavissa vielä lähivuosien aikana [19]. Hiilinegatiiviseen tulevaisuuteen on monta erilaista mahdollisuutta ja myös polku kohti hiilinegatiivisuutta voi muodostua eri tavoin [19]. Polkua ei kuitenkaan tarvitse tunnistaa vielä visiointivaiheessa, vaan sitä voidaan työstää myöhemmin backcasting-menetelmällä sen jälkeen, kun käsitys toivotusta tulevaisuudesta on muodostunut.

5. Mitä ovat hiilinegatiivisen kaupungin mahdollisuudet?
6. Mikä säilyy, mikä muuttuu, mitä uutta tulee? Mitä positiivista hiilinegatiivisuus mahdollistaa?
7. Minkälainen on hiilinegatiivisen kaupungin rakenne ja rakenteen monimuotoisuus?
8. Korostuuko jatkossa yhä enemmän individualismi, vai siirrytäänkö kohti yhteisöllisyyttä sekä esimerkiksi tilojen ja liikkumisvälineiden suurempaa jakamista?
9. Jotta liikkuminen olisi kestävä jatkossa, täytyy jo nyt tehdä pitkäjänteisiä infrainvestointeja, jotka kasvattavat päästöjä erityisesti lyhyellä tähtämellä. Miten eri aikoina ja eri syistä syntyviä päästöjä arvioidaan suhteessa toisiinsa?
10. Millaisia ovat hiilinegatiivisuuden asettamat vaatimukset sille, millaisia rakennusten tulee olla tai miten kaupunkikuva näyttäytyy?
11. Mitä ihminen kaipaa arjen elinympäristössään voidakseen hyvin?

ASKEL 4: Visualisointi

Hiilinegatiivinen kaupunki ei vain toimi vähähiilisemmin, vaan myös näyttää ja tuntuu erilaiselta [75]. Keskustelun herättämisen kannalta onkin tärkeää pystyä

jatkossa myös havainnollistamaan ajatuksia siitä, miltä uusi kaupunki voisi näyttää, tuntua ja kuulostaa [75, 19]. Tämä tekee muutoksesta ja muutostarpeesta helpommin ymmärrettävän.

ASKEL 5: Backcasting

Sen lisäksi, että kuvaamme, mikä on se tulevaisuus, johon asetetut tavoitteet johtavat ja jota niiden toteutuminen edellyttää, on tärkeää ymmärtää ja kuvata myös mikä on se maailma, johon olemme nykyisillä toimintamalleillamme päätyvässä. Vain näin on mahdollista tarkastella, minkä kaiken on tarpeen ja ylipäänsä mahdollista muuttua asetetun tavoitteen saavuttamiseksi:

12. Mikä on se tulevaisuus, jota kohti olemme menossa nykyisillä toimintamalleillamme?
13. Minkä kaiken on tarpeen muuttua, jotta asetetut tavoitteet on mahdollista saavuttaa?

Kun visio ja muutostarpeet ovat tiedossa, toimia voidaan hahmottaa esimerkiksi backcastingin avulla. Backcasting sopii erityisen hyvin kompleksisten, moniulotteisten ja transformatiivista muutosta kaipaavien asioiden tarkasteluun [187, 188, 189]. Se tarjoaa holistisen ja systemaattisen tavan tunnistaa muutosprosessin tarpeita tulevaisuuden lähtökohdista käsin [190]. Backcasting-prosessin aikana määritellyn vision osalta tunnistetaan sen toteuttamiseen liittyvät mahdollisuudet ja haasteet sekä niiden pohjalta tarvittavat välitavoitteet muutoksen mahdollistamiseksi [191]. Backcastingin avulla voidaan lähestyä mahdollisia tulevaisuuksia kolmen eri kysymyksen avulla [192]:

14. Mikä voi muuttua (lähestymistapana tavoitelähtöinen, keskittyy usein tavoitteen toteutumiseen suoraan vaikuttaviin erityisesti teknisiin ja materiaalsiin tekijöihin ja reunaehtoihin)?
15. Miten muutos voi tapahtua (lähestymistapana polkulähtöinen, keskittyy usein tarkastelemaan eroa nykytilanteen ja tavoitetilanteen välillä tunnistuen tarvittavia periaatteellisia ja käyttäytymiseen liittyviä muutostarpeita)?
16. Kuka voi saada muutoksen tapahtumaan (lähestymistapana toimintalähtöinen, pyrkii muodostamaan kokonaisvaltaisen käsityksen vaadittavasta transformatiivisesta muutoksesta oppimistarpeineen)?

Kuva 16. Tunnistetut hiilinegatiivisen kaupungin visionnin reunaehdot.

REUNAehto 1:

1. Päästöt eivät ole laskeneet riittävästi ja riittävän nopeasti. Nykyiset käytännöt uusintavat päästöintensiivisiin ratkaisuihin liittyviä haasteita jatkuvasti.
2. Rajatulla maantieteellisellä alueella hiilinielut ja -sidonta eivät riitä kompensoimaan nykyistä päästötasoa.
 - Päästövähennystarve on kriittinen ja ratkaisuja, joissa toteutuvat päästöt ylittävät vähennys-/ sidontapotentiaalin tulee välttää.

REUNAehto 2:

1. Tämänhetkiset tunnetut kriittisten mineraalien ja materiaalien varannot ja tuotantoprosessit eivät pysty vastaamaan kasvavaan tarpeeseen.
2. Kriittiset mineraalit eivät riitä edes nykyisen ajoneuvokannan sähköistämiseen.
 - Ratkaisut eivät voi perustua uuteen vielä keksimättömään teknologiaan, vaan niiden täytyy toimia myös resurssiniukassa maailmassa ja tukeutua vahvasti jo olemassa olevaan infrastruktuuriin.

REUNAehto 3:

1. Lajien katoamisen lisäksi käynnissä on lajien taantuminen, lajikantojen koon pieneneminen sekä kokonaisten elinympäristöjen ja ekosysteemien heikkeneminen.
2. Monimuotoisuuden lisäksi vaikutuksia esimerkiksi sopeutumiseen, luonnon hiilensidontapotentiaaliin ja maaperän köyhtymiseen.
 - Ratkaisut eivät saa kiihdyttää luontokatoa. Kasvullisen maa-alan säilyminen ja menetetyt kasvullisen maa-alan uudistaminen tulee varmistaa. Ilmastonäkökulmasta erityisesti hiilensidontapotentiaalin ja sopeutumisen vahvistaminen korostuvat.



REUNAehto 4:

1. Keskilämpötila nousee ympäri vuoden, erityisesti talvella.
2. Hellepäivien määrä kasvaa, hellejaksot pitenevät.
3. Routa-aika lyhenee ja alhaiset lämpötilat harvinaistuvat.
4. Lämpötilan sahaaminen nollan tuntumassa lisääntyy.
 - Lämpösaarekeilmiötä kiihdyttäviä ratkaisuja tulee välttää. Elinympäristön passiivinen resilienssi tulee varmistaa esimerkiksi ylikuumenemisen osalta.

REUNAehto 5:

1. Vuotuinen sateisuus lisääntyy, runsaiden sateiden määrä ja tulvariski kasvavat.
2. Lumisateen määrä vähenee, suurimmat lumisademäärät kasvavat.
3. Kuivuuskaudet lisääntyvät, ankaraa kuivuutta esiintyy yhä useammin.
 - Vettä läpäisevän pinnan määrän lisääminen tulee varmistaa. Kaupungin tulee varautua hulevesitulvariskin kasvuun erityisesti kriittisen infrastruktuurin osalta.

REUNAehto 6:

1. Tuulen nopeus kasvaa ajoittain, mutta sen keskimääräinen voimakkuus pysyy lähes ennallaan.
2. Yksittäisten myrskyjen tuhovoima kasvaa.
 - Kasvaviin myrskytuhoihin varautuminen niin infrastruktuurin kuin luonnon osalta tulee varmistaa.

REUNAehto 7:

1. Merenpinta nousee kymmenillä senttimetreillä.
2. Talvisin merijää ohenee ja sen pinta-ala pienenee.
 - Kasvaviin merivesitulviin tulee varautua.

Lähteet

[1] **WMO.** (2022). *State of the Global Climate 2021*. Viitattu: 20.7.2022. Saatavilla: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>.

[2] **WMO.** (2022). *Four key climate change indicators break records in 2021*. Viitattu: 20.7.2022. Saatavilla: [https://public.wmo.int/en/media/press-release/four-key-climate-change-indicators-break-records-2021#:~:text=Published&text=Geneva%2C%2018%20May%202022%20\(WMO,set%20new%20records%20in%202021](https://public.wmo.int/en/media/press-release/four-key-climate-change-indicators-break-records-2021#:~:text=Published&text=Geneva%2C%2018%20May%202022%20(WMO,set%20new%20records%20in%202021).

[3] **Berkeley Earth.** (2022). *March 2022 Temperature Update*. Viitattu: 20.7.2022. Saatavilla: <http://berkeleyearth.org/march-2022-temperature-update/>.

[4] **Tilastokeskus.** (2022). *Kasvihuonekaasupäästöt 2021 pysyivät edellisvuoden tasolla, maankäyttösektori päästölähde ensimmäisen kerran*. Viitattu: 20.7.2022. Saatavilla: <https://www.stat.fi/julkaisu/cktlcpwag38sg0c5561iqop0y>.

[5] **UN-Habitat.** (2022). *World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities*. Viitattu: 20.7.2022. Saatavilla: <https://unhabitat.org/world-cities-report-2022-envisaging-the-future-of-cities>.

[6] **Biermann, F.; Hickmann, T.; Sénit, C.A.; Beisheim, M.; Bernstein, S.; Chasek, P.; Grob, L.; Kim, R.E.; Kotzé, L.J.; Nilsson, M. & Ordóñez Llanos, A.** (2022). Scientific evidence on the political impact of the Sustainable Development Goals. *Nature Sustainability* 5(9), 795–800. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00909-5>.

[7] **Næss, P.** (2022). Norwegian University of Life Sciences. Asiantuntijahaastattelu: 1.9.2022.

[8] **Helsingin kaupunki.** (2021). *Helsingin kaupunkistrategia 2021–2025 – Kasvun paikka*. Viitattu: 9.12.2022. Saatavilla: <https://www.hel.fi/fi/paatoksen-teko-ja-hallinto/strategia-ja-talous/strategia>.

[9] **Our World In Data.** (2022). *Global CO2 emissions from fossil fuels*. Viitattu: 11.1.2023. Saatavilla: <https://ourworldindata.org/co2-emissions>.

[10] **Reinekoski, T.; Lahikainen, L.; Virtanen, M.J.;**

Sorsa, T. & Lehtonen, T.K. (2022). Frictional rhythms of climate work in city governance. *The Sociological Review*, 00380261221123186. <https://doi.org/10.1177/00380261221123186>.

[11] **Klein, J.; Mäntyselä, R. & Juhola, S.** (2016). Legitimacy of urban climate change adaptation: a case in Helsinki. *Regional Environmental Change* 16(3), 815–826. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0797-y>.

[12] **Virtanen, M.J.; Reinekoski, T.; Lahikainen, L. & Lehtonen, T.K.** (2021). Travels and trials of climate knowledge in Finnish municipalities. *Science & Technology Studies*. <https://doi.org/10.23987/sts.97519>.

[13] **Ala-Mantila, S.; Hirvilampi, T.; Jokela, S.; Laine, M. & Weckroth, M.** (2022). Kaupunkien rooli kestävyysmurroksessa: planetaarisen kaupungistumisen ja kaupunkien aineenvaihdunnan näkökulmat. *Terra* 134(4), 225–239. <https://doi.org/10.30677/terra.116456>.

[14] **Harvey, D.** (2010). *Social justice and the city*. University of Georgia press.

[15] **Soja, E.W.** (2013). *Seeking spatial justice* (Vol. 16). University of Minnesota Press.

[16] **Erat, B.** (1994). *Ekologia, ihminen, ympäristö*. Rakennusalan kustantajat.

[17] **Brenner, N. & Schmid, C.** (2015). Towards a new epistemology of the urban?. *City* 19(2–3), 151–182. <https://doi.org/10.1080/13604813.2015.1014712>.

[18] **Broto, V.C.; Allen, A. & Rapoport, E.** (2012). Interdisciplinary perspectives on urban metabolism. *Journal of Industrial Ecology* 16(6), 851–861. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00556.x>.

[19] **Xue, J.** (2022). Norwegian University of Life Sciences. Asiantuntijahaastattelu: 16.9.2022.

[20] **Mete, S.** (2022). Towards degrowth housing development? Lessons from a scenario-based gaming session in the Oslo region. *Local Environment*, 27(4), 517–536. <https://doi.org/10.1080/13549839.2021.1964456>.

- [21] Mete, S., & Xue, J. (2021). Integrating environmental sustainability and social justice in housing development: two contrasting scenarios. *Progress in Planning*, 151, 100504. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2020.100504>.
- [22] Hagbert, P.; Finnveden, G.; Fuehrer, P.; Svenfelt, Å.; Alfredsson, E.; Aretun, Å.; Bradley, K.; Callmer, Å.; Fauré, E.; Gunnarsson-Östling, U.; Hedberg, M.; Hornborg, A.; Isaksson, K.; Malmaeus, M.; Malmqvist, T.; Nyblom, Å.; Skånberg K. & Öhlund, E. (2019). *Futures Beyond GDP Growth Final report from the research program 'Beyond GDP Growth: Scenarios for sustainable building and planning'*. KTH School of Architecture and the Built Environment.
- [23] IVL Swedish Environmental Research Institute. (2019). *A future beyond growth*. Viitattu: 11.1.2023. Saatavilla: <https://www.bortombnptillvaxt.se/english/startpage.4.21d4e98614280ba6d9e68d.html#.Y76UaYdByUk>.
- [24] Kemp, L.; Xu, C.; Depledge, J.; Ebi, K.L.; Gibbins, G.; Kohler, T.A.; Rockström, J.; Scheffer, M.; Schellnhuber, H.J.; Steffen, W.; Lenton, T.M. (2022). Climate Endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 119(34), e2108146119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2108146119>.
- [25] Harvey, D. (1997). Contested Cities: Social Process and Spatial Form. Julkaisussa: Jewson, N. & MacGregor, S. (toim). *Transforming Cities*. Routledge. 225–232.
- [26] Sassen, S. (2000). New frontiers facing urban sociology at the Millennium. *The British journal of sociology* 51(1), 143–159.
- [27] Vilkkama, K. & Hirvonen, J. (2018). Helsingin alueellinen eriytyminen: kaksi lähestymistapaa segregaation seurantaan. *Kvartti* 1/2018. <https://www.kvartti.fi/fi/artikkelit/helsingin-alueellinen-eriytyminen-kaksi-lahestymistapaa-segregaation-seurantaan>.
- [28] van den Berg, N.J.; Hof, A.F.; van der Wijst, K.I.; Akenji, L.; Daioglou, V.; Edelenbosch, O.Y.; van Sluisveld, M.A.; Timmer, V.J. & van Vuuren, D.P. (2021). Decomposition analysis of per capita emissions: a tool for assessing consumption changes and technology changes within scenarios. *Environmental research communications* 3(1), 015004. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/abdd99>.
- [29] Creutzig, F.; Roy, J.; Lamb, W.F.; Azevedo, I.M.; Bruine de Bruin, W.; Dalkmann, H.; Edelenbosch, O.Y.; Geels, F.W.; Grubler, A.; Hepburn, C.; Hertwich, E.G.; Khosla, R.; Mattauch, L.; Minx, J.C.; Ramakrishnan, A.; Rao, N.D.; Steinberger, J.K.; Tavoni, M., Ürge-Vorsatz, D. & Weber, E.U. (2018). Towards demand-side solutions for mitigating climate change. *Nature Climate Change* 8(4), 260–263. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0121-1>.
- [30] Girod, B.; van Vuuren, D.P. & Hertwich, E.G. (2014). Climate policy through changing consumption choices: Options and obstacles for reducing greenhouse gas emissions. *Global Environmental Change* 25, 5–15. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.01.004>.
- [31] Ottelin, J. (2022). Norwegian University of Science and Technology. Asiantuntijahaastattelu: 5.9.2022.
- [32] Cervero, R. (2002). Built environments and mode choice: toward a normative framework. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 7(4), 265–284. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(01\)00024-4](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(01)00024-4).
- [33] Lehmann, S. (2016). Sustainable urbanism: towards a framework for quality and optimal density?. *Future Cities and Environment* 2(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s40984-016-0021-3>.
- [34] Næss, P. (2021). Sustainable urban planning—what kinds of change do we need?. *Journal of Critical Realism* 20(5), 508–524. <https://doi.org/10.1080/14767430.2021.1992737>.
- [35] Wilting, H.C.; Schipper, A.M.; Ivanova, O.; Ivanova, D. & Huijbregts, M.A. (2021). Subnational greenhouse gas and land-based biodiversity footprints in the European Union. *Journal of Industrial Ecology* 25(1), 79–94. <https://doi.org/10.1111/jiec.13042>.
- [36] Næss, P.; Saglie, I.L. & Richardson, T. (2020). Urban sustainability: is densification sufficient?. *European Planning Studies* 28(1), 146–165. <https://doi.org/10.1080/09654313.2019.1604633>.
- [37] Finlay, S.; Pereira, I.; Fryer-Smith, E.; Charlton, A. & Roberts-Hughes, R. (2012). *The way we live now: What people need and expect from their homes*. Ipsos MORI and RIBA, London.
- [38] Punter, J. (2010). The recession, housing quality and urban design. *International Planning Studies*

15(3), 245–263. <https://doi.org/10.1080/13563475.2010.509478>.

[39] Jalkanen, R.; Kajaste, T.; Kauppinen, T.; Pakkala, P. & Rosengren, C. (2004). *Asuinalueuunnittelu*. 3. painos. Rakennustieto Oy.

[40] von Schönfeld, K.C. & Ferreira, A. (2022). Mobility values in a finite world: pathways beyond austrianism?. *Applied Mobilities*, 1–27. <https://doi.org/10.1080/23800127.2022.2087135>.

[41] Hickman, R. & Banister, D. (2014). *Transport, climate change and the city*. Routledge.

[42] Preston, J. & Rajé, F. (2007). Accessibility, mobility and transport-related social exclusion. *Journal of transport geography* 15(3), 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.05.002>.

[43] Sheller, M. & Urry, J. (2016). Mobilizing the new mobilities paradigm. *Applied Mobilities* 1(1), 10–25. <https://doi.org/10.1080/23800127.2016.1151216>.

[44] Wardman, M. (2004). Public Transport Values of Time. *Transport Policy* 11(4), 363–377. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2004.05.001>.

[45] Kujala, R.; Weckström, C.; Mladenović, M.N. & Saramäki, J. (2018). Travel Times and Transfers in Public Transport: Comprehensive Accessibility Analysis Based on Pareto-optimal Journeys. *Computers, Environment and Urban Systems* 67, 41–54. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.08.012>.

[46] Amatuni, L.; Ottelin, J.; Steubing, B. & Mogolón, J.M. (2020). Does car sharing reduce greenhouse gas emissions? Assessing the modal shift and lifetime shift rebound effects from a life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production* 266, 121869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121869>.

[47] Liimatainen, H.; Pöllänen, M. & Viri, R. (2018). CO2 reduction costs and benefits in transport: socio-technical scenarios. *European Journal of Futures Research* 6(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40309-018-0151-y>.

[48] Jylhä, K.; Ruosteenoja, K.; Böök, H.; Lindfors, A.; Pirinen, P.; Laapas, M. & Mäkelä, A. (2020). Nykyisen ja tulevan ilmaston säätietoja rakennusfysikaalisia laskelmia ja energialaskennan testivuotta 2020 varten. *Ilmatieteen laitos, Raportteja 2020:6*. <http://hdl.handle.net/10138/321164>.

[49] Ritchie, H. & Roser, M. (2019). *Land use, our world in data*. University of Oxford.

[50] Häkkinen, T. & Kuittinen, M. (2020). *Kohti vähähiilistä rakentamista: opas arviointiin ja suunnitteluun*. Rakennustieto.

[51] E2BA. (2022). Energy efficient buildings European initiative. Viitattu: 5.12.2022. Saatavilla: <https://e2b.ectp.org/>.

[52] Vinha, J. (2022). Tampereen yliopisto. Asiantuntijahaastattelu: 6.10.2022.

[53] Sitra. (2018). *Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki*. Viitattu: 10.1.2023. Saatavilla: <https://www.sitra.fi/artikkelit/keskivertosuomalaisen-hiilijalanjalki/>.

[54] Van Sluisveld, M.; Boot, P.; Hammingh, P.; Notenboom, J. & van Vuuren, D. (2016). *Low-carbon energy scenarios in north-west European countries*. Report of the PBL round-table of 10th June. https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2016-low-carbon-energy-scenarios-in-north-west-european-countries_2507.pdf.

[55] Van de Ven, D.J.; González-Eguino, M. & Arto, I. (2018). The potential of behavioural change for climate change mitigation: a case study for the European Union. *Mitigation and adaptation strategies for global change* 23(6), 853–886. <https://doi.org/10.1007/s11027-017-9763-y>.

[56] Seneviratne, S.I.; Wartenburger, R.; Guillod, B.P.; Hirsch, A.L.; Vogel, M.M.; Brovkin, V.; van Vuuren, D.P.; Schaller, N.; Boysen, L.; Calvin, K.V.; Doelman, J.; Greve, P.; Havlik, P.; Humpenöder, F.; Krisztin, T.; Mitchell, D.; Popp, A.; Riahi, K.; Rogelj, J.; Schleussner, C.F.; Sillmann, J. & Stehfest, E. (2018). Climate extremes, land–climate feedbacks and land-use forcing at 1.5 C. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 376(2119), 20160450. <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0450>

[57] Lettenmeier, M.; Akenji, L.; Toivio, V.; Koide, R. & Amellina, A. (2019). Targets and options for reducing lifestyle carbon footprints: A summary. *Sitra Studies* 149. <https://www.sitra.fi/app/uploads/2019/06/1-5-degree-lifestyles.pdf>.

[58] Akenji, L. & Chen, H. (2016). *A framework for shaping sustainable lifestyles: determinants and strategies*. UNEP.

- [59] Shove, E.; Watson, M. & Spurling, N. (2015). Conceptualizing connections: Energy demand, infrastructures and social practices. *European journal of social theory* 18(3), 274–287. <https://doi.org/10.1177/1368431015579964>.
- [60] Koide, R.; Lettenmeier, M.; Akenji, L.; Toivio, V.; Amellina, A.; Khodke, A.; Watabe, A. & Kojima, S. (2021). Lifestyle carbon footprints and changes in lifestyles to limit global warming to 1.5° C, and ways forward for related research. *Sustainability Science* 16(6), 2087–2099. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-01018-6>.
- [61] Millward-Hopkins, J.; Steinberger, J.K.; Rao, N.D. & Oswald, Y. (2020). Providing decent living with minimum energy: A global scenario. *Global Environmental Change* 65, 102168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102168>.
- [62] Dukelow, F. & Murphy, M.P. (2022). Building the Future from the Present: Imagining Post-Growth, Post-Productivist Ecosocial Policy. *Journal of Social Policy* 51(3), 504–518. [doi:10.1017/S0047279422000150](https://doi.org/10.1017/S0047279422000150).
- [63] Jackson, T. (2009). *Prosperity without growth: Economics for a finite planet*. Routledge.
- [64] Fanning, A.L. & O’Neill, D.W. (2019). The Wellbeing–Consumption paradox: Happiness, health, income, and carbon emissions in growing versus non-growing economies. *Journal of Cleaner Production* 212, 810–821. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.223>.
- [65] Easterlin, R.A.; McVey, L.A.; Switek, M.; Sawangfa, O. & Zweig, J.S. (2010). The happiness–income paradox revisited. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(52), 22463–22468. <https://doi.org/10.1073/pnas.1015962107>.
- [66] Granados, J.A.T.; Ionides, E.L. & Carpintero, Ó. (2012). Climate change and the world economy: short-run determinants of atmospheric CO₂. *Environmental Science & Policy* 21, 50–62. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.03.008>.
- [67] Knight, K.W. & Schor, J.B. (2014). Economic growth and climate change: a cross-national analysis of territorial and consumption-based carbon emissions in high-income countries. *Sustainability* 6(6), 3722–3731. <https://doi.org/10.3390/su6063722>.
- [68] Steffen, W.; Broadgate, W.; Deutsch, L.; Gaffney, O. & Ludwig, C. (2015). The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration. *The Anthropocene Review* 2(1), 81–98. <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>.
- [69] Antal, M. & Van Den Bergh, J.C. (2016). Green growth and climate change: conceptual and empirical considerations. *Climate Policy* 16(2), 165–177. <https://doi.org/10.1080/14693062.2014.992003>.
- [70] Savini, F.; Ferreira, A. & von Schönfeld, K.C. (Eds.). (2022). *Post-Growth Planning: Cities Beyond the Market Economy*. Routledge.
- [71] Juhola, S.; Jurgilevich, A. & Käyhkö, J. (2022). Helsingin yliopisto. Asiantuntijahaastattelu: 8.9.2022.
- [72] Kankaanpää, S. & Rosqvist, K. (2022). Helsingin kaupunki. Asiantuntijahaastattelu: 1.9.2022.
- [73] Shindell, D.; Faluvegi, G.; Seltzer, K. & Shindell, C. (2018). Quantified, localized health benefits of accelerated carbon dioxide emissions reductions. *Nature climate change* 8(4), 291–295. [nature.com/articles/s41558-018-0108-y?te=1&nl=debatable&emc=edit_db_20200112](https://www.nature.com/articles/s41558-018-0108-y?te=1&nl=debatable&emc=edit_db_20200112).
- [74] Taylor, J. (2022). Tampereen yliopisto. Asiantuntijahaastattelu: 19.9.2022.
- [75] Pelsmakers, S. (2022). Tampereen yliopisto. Asiantuntijahaastattelu: 28.9.2022.
- [76] WHO Regional Office for Europe. (2016). Urban Green Spaces and Health. Viitattu: 10.10.2022. Saatavilla: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/321971/Urban-green-spaces-and-health-review-evidence.pdf?ua=1.
- [77] Faehnle, M.; Bäcklund, P. & Laine, M. (toim.). (2009). Tutkimuksia. Kaupunkiluontoa kaikille. *Helsingin kaupungin tietokeskus, tutkimuksia* 2009/6. Viitattu: 10.10.2022. Saatavilla: https://www.hel.fi/hel2/tietokeskus/julkaisut/pdf/09_12_16_tutkimuksia_6_backlund.pdf.
- [78] Tyrväinen, L.; Ojala, A.; Korpela, K.; Lanki, T.; Tsunetsugu, Y. & Kagawa, T. (2014). The Influence of Urban Green Environments on Stress Relief Measures: A Field Experiment. *Journal of Environmental Psychology* 38, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2013.12.005>.
- [79] Cohen, D.A.; McKenzie, T.L.; Sehgal, A.; Williamson, S.; Golinelli, D. & Lurie, N. (2007). Contri-

bution of Public Parks to Physical Activity. *American Journal of Public Health* 97(3), 509–514. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2005.072447>.

[80] Rook, G.A. (2013). Regulation of the Immune System by Biodiversity from the Natural Environment: an Ecosystem Service Essential to Health. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110(46), 18360–18367. <https://doi.org/10.1073/pnas.1313731110>.

[81] Tonnietto, R.; Fant, J.; Ascher, J.; Ellis, K. & Larkin, D. (2011). A Comparison of Bee Communities of Chicago Green Roofs, Parks and Prairies. *Landscape and Urban Planning* 103(1), 102–108. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.07.004>.

[82] Koh, I.; Lonsdorf, E.V.; Williams, N.M.; Brittain, C.; Isaacs, R.; Gibbs, J. & Ricketts, T.H. (2016). Modeling the Status, Trends, and Impacts of Wild Bee Abundance in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113(1), 140–145. <https://doi.org/10.1073/pnas.1517685113>.

[83] Kotakorpi, K. (2021). *Suomen luonto 2100: Tutkimusretki Tulevaisuuteen*. Bazar.

[84] Bradshaw, C.J.; Ehrlich, P.R.; Beattie, A.; Ceballos, G.; Crist, E.; Diamond, J.; Dirzo, R.; Ehrlich, A.H.; Harte, J.; Harte, M.E. & Pyke, G. (2021). Underestimating the challenges of avoiding a ghastly future. *Frontiers in Conservation Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fcosc.2020.615419>.

[85] Michaux, S.P. (2022). GTK. Asiantuntijahaastattelu: 27.9.2022.

[86] Rockström, J.; Steffen, W.L.; Noone, K.; Persson, Å.; Chapin III, F.S.; Lambin, E.; Lenton, T.M.; Scheffer, M.; Folke, C.; Schellnhuber, H.J. & Nykvist, B. (2009). Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*.

[87] Stockholm Resilience Centre. (2018). *The Nine Planetary Boundaries*. Viitattu: 10.10.2022. Saatavilla: <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries/planetary-boundaries/about-the-research/the-nine-planetary-boundaries.html>.

[88] Whitmee, S.; Haines, A.; Beyrer, C.; Boltz, F.; Capon, A.G.; de Souza Dias, B.F.; Ezeh, A.; Frumkin, H.; Gong, P.; Head, P. & Horton, R. (2015). Safeguarding Human Health in the Anthropocene Epoch: Report of the Rockefeller Foundation–Lancet Commission on Planetary Health. *The Lancet*

386(10007), 1973–2028. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60901-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60901-1).

[89] J. Lokrantz/Azote based on: Steffen, W.; Richardson, K.; Rockström, J.; Cornell, S.E.; Fetzer, I.; Bennett, E.M.; Biggs, R.; Carpenter, S.R.; de Vries, W.; de Wit, C.A.; Folke, C.; Gerten, D.; Heinke, J.; Mace, G.M.; Persson, L.M.; Ramanathan, V.; Reyers, B. & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347(6223), 1259855. DOI: [10.1126/science.1259855](https://doi.org/10.1126/science.1259855).

[90] Valtioneuvosto. (2022). *Tutkimus: Ennakoiva sopeutumisen ilmastomuutokseen kannattaa*. Viitattu: 5.10.2022. Saatavilla: <https://tietokaytoon.fi/-/10616/tutkimus-ennakoiva-sopeutumisen-ilmastonmuutokseen-kannattaa>.

[91] Gregow, H.; Mäkelä, A.; Tuomenvirta, H.; Juhola, S.; Käyhkö, J.; Perrels, A.; Kuntsi-Reunanen, E.; Mettinen, I.; Näkkäläjärvi, K.; Sorvali, J.; Lehtonen, H.; Hildén, M.; Veijalainen, N.; Kuosa, H.; Sihvonen, M.; Johansson, M.; Leijala, U.; Ahonen, S.; Haapala, J.; Korhonen, H.; Ollikainen, M.; Lilja, S.; Ruuhela, R.; Särkkä, J. & Siiriä, S.M. (2021). Ilmastomuutokseen sopeutumisen ohjauskeinot, kustannukset ja alueelliset ulottuvuudet. *Suomen ilmastopaneelin raportti 2/2021*. Viitattu: 5.10.2022. Saatavilla: https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2021/09/SUO-MI-raportti_final.pdf.

[92] Mäkinen, K.; Sorvali, J.; Lipsanen, A. & Hildén, M. (2019). Kansallisen ilmastomuutokseen sopeutumissuunnitelman 2022 toimeenpanon väliarviointi. *Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja* 2019:11. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-000-7>.

[93] Perrels, A.; Haakana, J.; Hakala, O.; Kujala, S.; Lång-Ritter, I.; Lehtonen, H.; Lintunen, J.; Pohjola, J.; Sane, M.; Fronzek, S.; Luhtala, S.; Mervaala, E.; Luomaranta, A.; Jylhä, K.; Koikkalainen, K.; Kuntsi-Reunanen, E.; Rautio, T.; Tuomenvirta, H.; Uusivuori, J. & Veijalainen, N. (2022). Kustannusarviointi ilmastomuutokseen liittyvästä toimimattomuudesta (KUITTI). Valtioneuvoston kanslia, Helsinki. *Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja* 2022:3. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-056-1>.

[94] Mäkelä, A.; Lehtonen, I.; Ruosteenoja, K.; Jylhä, K.; Tuomenvirta, H. & Drebs, A. (2016). Ilmastomuutos pääkaupunkiseudulla. *Ilmatieteen laitos, Raportteja* 2016:8. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/170155/PKS_ilmastonmuutos.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

- [95] **Mäkelä, A.** (2022). Ilmatieteen laitos. Asiantuntijahaastattelu: 16.9.2022.
- [96] **Helsingin kaupunki.** (2019). Helsingin ilmastonmuutokseen sopeutumisen linjaukset 2019–2025. *Helsingin kaupungin keskushallinnon julkaisuja* 2019:27. https://www.hel.fi/static/kanslia/Julkaisut/2019/Ilmasto_Sopeutumislinjaukset.pdf.
- [97] **IPCC.** (2022). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation, Vulnerability, Working Group II Contribution to the IPCC 6th Assessment Report*. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>.
- [98] **Jylhä, K.** (2022). Ilmatieteen laitos. Asiantuntijahaastattelu: 29.9.2022.
- [99] **Statista.** (2021). *Climate Change, the Great Displacer*. Viitattu: 11.1.2023. Saatavilla: <https://www.statista.com/chart/amp/26117/average-number-of-internal-climate-migrants-by-2050-per-region/>.
- [100] **Laine, J.; Heinonen, J. & Junnila, S.** (2020). Pathways to carbon-neutral cities prior to a national policy. *Sustainability* 12(6), 2445. <https://doi.org/10.3390/su12062445>.
- [101] **Hertwich, E.G.** (2005). Life cycle approaches to sustainable consumption: a critical review. *Environmental science & technology* 39(13), 4673–4684. <https://doi.org/10.1021/es0497375>.
- [102] **Tukker, A.; Cohen, M.J.; Hubacek, K. & Mont, O.** (2010). The impacts of household consumption and options for change. *Journal of industrial ecology* 14(1), 13–30. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00208.x>.
- [103] **Ivanova, D.; Stadler, K.; Steen-Olsen, K.; Wood, R.; Vita, G.; Tukker, A. & Hertwich, E.G.** (2016). Environmental impact assessment of household consumption. *Journal of Industrial Ecology* 20(3), 526–536. <https://doi.org/10.1111/jiec.12371>.
- [104] **Ottelin, J.; Heinonen, J. & Junnila, S.** (2018). Carbon footprint trends of metropolitan residents in Finland: how strong mitigation policies affect different urban zones. *Journal of cleaner production* 170, 1523–1535. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.204>.
- [105] **Hagen, B.; Middel, A. & Pijawka, D.** (2016). European climate change perceptions: Public support for mitigation and adaptation policies. *Environmental Policy and Governance* 26(3), 170–183. <https://doi.org/10.1002/eet.1701>.
- [106] **Crane, R. & Landis, J.** (2010). Introduction to the special issue: planning for climate change: assessing progress and challenges. *Journal of the American Planning Association* 76(4), 389–401. <https://doi.org/10.1080/01944363.2010.512036>.
- [107] Julkaistaan myöhemmin samassa julkaisusarjassa.
- [108] **Amiri, A.; Ottelin, J.; Sorvari, J. & Junnila, S.** (2020). Cities as carbon sinks—classification of wooden buildings. *Environmental Research Letters* 15(9), 094076. DOI [10.1088/1748-9326/aba134](https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba134).
- [109] **Tilastokeskus.** (2022). *Kasvihuonekaasupäästöjen raportoinnissa alkaa uusi kausi*. Viitattu: 11.1.2023. Saatavilla: <https://stat.fi/julkaisu/cktlew-2c03aln0a515eyjyxe8>.
- [110] **Sitra.** (2018). *Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki*. Viitattu: 9.12.2022. Saatavilla: <https://www.sitra.fi/artikkelit/keskivertosuomalaisen-hiilijalanjalki/>.
- [111] **Luke.** (2021). *Metsien hiilensidonta ja hiilivarastot sekä niiden kehitys seurakuntien hallinnoimissa metsätilakokonaisuuksissa*. Viitattu: 9.9.2022. Saatavilla: https://evl.fi/documents/1327140/84282821/Luke_loppuraportti_Metsien_hiilensidonta_ja_hiilivarastot.pdf/67c9e9e6-27aa-1275-f155-3b5fd-2f2b237?t=1615886711228.
- [112] **HSY.** (2021). *Selvitys pääkaupunkiseudun hiilinieluista ja -varastoista*. Viitattu: 9.9.2022. Saatavilla: <https://julkaisu.hsy.fi/selvitys-paakaupunkiseudun-hiilinieluista-ja-varastoista.html#cgb66IBDTo>.
- [113] **HSY.** (2022). *Selvitys pääkaupunkiseudun hiilinieluista ja -varastoista*. Viitattu: 11.1.2023. Saatavilla: <https://julkaisu.hsy.fi/selvitys-paakaupunkiseudun-hiilinieluista-ja-varastoista.html>.
- [114] **Helsingin kaupunki.** (2021). Helsingin ja Helsingin seudun väestöennuste 2020–2060. *Tilastoja* 2021:11. https://www.hel.fi/hel2/tietokeskus/julkaisut/pdf/21_09_24_Tilastoja_11_Sinkko_Vuori.pdf.
- [115] **Erävuori, L.; Oksman, S. & Suominen, H.** (2019). Metsä- ja puustoinen verkosto: Opas verkoston huomioimiseksi Helsingin kaupunkisuunnittelussa. *Kaupunkiympäristön julkaisuja* 2019:5. <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/julkaisu-05-19.pdf>.

- [116] Friedlingstein, P.; Jones, M.W.; O’Sullivan, M.; Andrew, R.M.; Bakker, D.C.; Hauck, J.; Le Quéré, C.; Peters, G.P.; Peters, W.; Pongratz, J. & Sitch, S. (2022). Global carbon budget 2021. *Earth System Science Data* 14(4), 1917–2005. <https://essd.copernicus.org/articles/14/1917/2022/>.
- [117] United Nations. (2015). *World Population Prospects: The 2015 Revision*. Data Booklet. http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2015_Data-Booklet.pdf.
- [118] Kinnunen, A.; Talvitie, I.; Ottelin, J.; Heinonen, J. & Junnila, S. (2022). Carbon sequestration and storage potential of urban residential environment—a review. *Sustainable Cities and Society*. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104027>.
- [119] Havu, M.; Kulmala, L.; Kolari, P.; Vesala, T.; Riikonen, A. & Järvi, L. (2022). Carbon sequestration potential of street tree plantings in Helsinki. *Bio-geosciences* 19(8), 2121–2143. <https://doi.org/10.5194/bg-19-2121-2022>.
- [120] 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. *Urban Forestry & Urban Greening* 26, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.04.004>.
- [121] Ariluoma, M.; Ottelin, J.; Hautamäki, R.; Tuhkanen, E.M. & Mänttari, M. (2021). Carbon sequestration and storage potential of urban green in residential yards: A case study from Helsinki. *Urban Forestry & Urban Greening* 57, 126939. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126939>.
- [122] Cascone, S.; Catania, F.; Gagliano, A. & Sciuto, G. (2018). A comprehensive study on green roof performance for retrofitting existing buildings. *Building and Environment* 136, 227–239. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.052>.
- [123] Sultana, R.; Ahmed, Z.; Hossain, M.A. & Begum, B.A. (2021). Impact of green roof on human comfort level and carbon sequestration: A microclimatic and comparative assessment in Dhaka City, Bangladesh. *Urban Climate* 38, 100878. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100878>.
- [124] Statista. (2022). *Largest carbon capture and storage projects*. Viitattu: 9.12.2022. Saatavilla: <https://www.statista.com/statistics/1108355/largest-carbon-capture-and-storage-projects-worldwide-capacity/>.
- [125] Liu, Z.; Deng, Z.; Davis, S.J.; Giron, C. & Ciais, P. (2022). Monitoring global carbon emissions in 2021. *Nature Reviews Earth & Environment* 3(4), 217–219. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00285-w>.
- [126] IEA. (2021). *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*. World Energy Outlook Special Report. Viitattu: 9.12.2022. Saatavilla: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>.
- [127] Giurco, D.; Dominish, E.; Florin, N.; Watari, T. & McLellan, B. (2019). Requirements for minerals and metals for 100% renewable scenarios. Julkaisussa: Teske, S. (toim). *Achieving the Paris Climate Agreement Goals* (437–457). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05843-2_11.
- [128] GTK. (2021). *On aika herätä - tällä hetkellä tiedossamme olevat mineraalivarat eivät riitä fossiilittomaan energiaan pohjautuvan infrastruktuurin rakentamiseen globaalisti*. Viitattu: 6.10.2022. Saatavilla: <https://www.gtk.fi/on-aika-herata/>.
- [129] IES. (2022). *Metals for a Climate Neutral Europe: A 2050 Blueprint*. Viitattu: 9.12.2022. Saatavilla: <https://eurometaux.eu/media/2005/full-report-8-56-17.pdf>.
- [130] Tuomela, P.; Törmänen, T. & Michaux, S. (2021). Strategic roadmap for the development of Finnish battery mineral resources. *Geological Survey of Finland, Open File Research Report* 31/2021. https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/31_2021.pdf.
- [131] McDonough, W. & Braungart, M. (2002). Design for the triple top line: new tools for sustainable commerce. *Corporate Environmental Strategy* 9(3), 251–258. [https://doi.org/10.1016/S1066-7938\(02\)00069-6](https://doi.org/10.1016/S1066-7938(02)00069-6).
- [132] Heath, J.; Ayres, E.; Possell, M.; Bardgett, R.D.; Black, H.I.J.; Grant, H.; Ineson, P. & Kerstiens, G. (2005). Rising atmospheric CO₂ reduces sequestration of root-derived soil carbon. *Science* 309(5741), 1711–1713. [doi/abs/10.1126/science.1110700](https://doi.org/10.1126/science.1110700).
- [133] Lal, R. & Pimentel, D. (2008). Soil erosion: a carbon sink or source?. *Science* 319(5866), 1040–1042. [doi/10.1126/science.319.5866.1040](https://doi.org/10.1126/science.319.5866.1040).
- [134] Potts, S.G.; Imperatriz-Fonseca, V.; Ngo, H.T.; Aizen, M.A.; Biesmeijer, J.C.; Breeze, T.D., Dicks,

- L.V.; Garibaldi, L.A.; Hill, R.; Settele, J. & Vanbergen, A.J.** (2016). Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature* 540(7632), 220–229. <https://doi.org/10.1038/nature20588>.
- [135] Lal, R.** (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability* 7(5), 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>.
- [136] Smith, P.; Ashmore, M.R.; Black, H.I.; Burgess, P.J.; Evans, C.D.; Quine, T.A.; Thomson, A.M.; Hicks, K. & Orr, H.G.** (2013). The role of ecosystems and their management in regulating climate, and soil, water and air quality. *Journal of Applied Ecology* 50(4), 812–829. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12016>.
- [137] Hinkel, J.; Lincke, D.; Vafeidis, A.T.; Perrette, M.; Nicholls, R.J.; Tol, R.S.J.; Marzeion, B.; Fettweis, X.; Ionescu, C. & Levermann, A.** (2014). Coastal flood damage and adaptation costs under 21st century sea-level rise. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(9), 3292–3297. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222469111>.
- [138] UN.** (2019). *UN Report: Nature’s Dangerous Decline ‘Unprecedented’; Species Extinction Rates ‘Accelerating’*. Viitattu: 3.1.2023. Saatavilla: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2019/05/nature-decline-unprecedented-report/>.
- [139] Erb, K.H.; Kastner, T.; Plutzar, C.; Bais, A.L.S.; Carvalhais, N.; Fetzel, T.; Gingrich, S.; Haberl, H.; Lauk, C.; Niederstcheider, M.; Pongratz, J.; Thurner, M. & Luysaert, S.** (2018). Unexpectedly large impact of forest management and grazing on global vegetation biomass. *Nature* 553(7686), 73–76. <https://doi.org/10.1038/nature25138>.
- [140] Díaz, M.; Concepción, E.D.; Oviedo, J.L.; Caparrós, A.; Farizo, B.Á. & Campos, P.** (2020). A comprehensive index for threatened biodiversity valuation. *Ecological Indicators* 108, 105696. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105696>.
- [141] Seto, K.C.; Fragkias, M.; Güneralp, B. & Reilly, M.K.** (2011). A meta-analysis of global urban land expansion. *PloS one* 6(8), e23777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777>.
- [142] Global footprint network.** (2022). *Ecological footprint*. Viitattu: 3.1.2023. Saatavilla: <https://www.footprintnetwork.org/>.
- [143] Elhacham, E.; Ben-Uri, L.; Grozovski, J.; Bar-On, Y.M. & Milo, R.** (2020). Global human-made mass exceeds all living biomass. *Nature* 588(7838), 442–444. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-3010-5>.
- [144] Bar-On, Y.M.; Phillips, R. & Milo, R.** (2018). The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115(25), 6506–6511. <https://doi.org/10.1073/pnas.1711842115>.
- [145] Mora, C. & Sale, P.F.** (2011). Ongoing global biodiversity loss and the need to move beyond protected areas: a review of the technical and practical shortcomings of protected areas on land and sea. *Marine ecology progress series* 434, 251–266. <https://doi.org/10.3354/meps09214>.
- [146] Nic Lughadha, E.; Bachman, S.P.; Leão, T.C.C.; Forest, F.; Halley, J.M.; Moat, J.; Acedo, C.; Bacon, K.L.; Brewer, R.F.A.; Gâteblé, G.; Gonçalves, S.C.; Govaerts, R.; Hollingsworth, P.M.; Krisai-Greilhuber, I.; de Lirio, E.J.; Moore, P.G.P.; Negrão, R.; Onana, J.M.; Rajaovelona, L.R.; Razanajatovo, H.; Beich, P.B.; Richards, S.L.; Rivers, M.C.; Cooper, A.; Iganci, J.; Lewis, G.P.; Smidt, E.C.; Antonelli, A.; Mueller, G.M. & Walker, B.E.** (2020). Extinction risk and threats to plants and fungi. *Plants, People, Planet* 2(5), 389–408. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10146>.
- [147] Barnosky, A.D.; Matzke, N.; Tomiya, S.; Wogan, G.O.U.; Swartz, B.; Quental, T.B.; Marshall, C.; McGuire, J.L.; Lindsey, E.L.; Maguire, K.C.; Mersey, B. & Ferrer, E.A.** (2011). Has the Earth’s sixth mass extinction already arrived?. *Nature* 471(7336), 51–57. <https://doi.org/10.1038/nature09678>.
- [148] Ceballos, G. & Ehrlich, P.R.** (2018). The misunderstood sixth mass extinction. *Science* 360(6393), 1080–1081. [doi/full/10.1126/science.aau0191](https://doi.org/10.1126/science.aau0191).
- [149] Hyvärinen, E.; Juslén, A.; Kemppainen, E.; Uddström, A. & Liukko, U.M.** (2019). *Suomen lajien uhanalaisuus - Punainen kirja 2019*. Viitattu: 6.10.2022. Saatavilla: <http://hdl.handle.net/10138/299501>.
- [150] Luontopaneeli.** (2022). *Luontopaneeli: Seuraava hallituskausi on kriittinen luontokadon pysäyttämiseksi*. Viitattu: 6.10.2022. Saatavilla: <https://luontopaneeli.fi/ajankohtaista/luontopaneeli-seuraava-hallituskausi-on-kriittinen-luontokadon-pysayttamiseksi/>.
- [151] Fletcher, S.; Lu, Y.; Alvarez, P.; McOwen, C.; Baninla, Y.; Fet, A.M.; He, G.; Hellevik, C.; Klimmek, H.; Martin, J.; Mendoza Alfaro, R.; Philis, G.; Raba-**

lais, N.; Rodriguez Estrada, U.; Wastell, J.; Winton, S. & Yuan, J.A. (2021). *Report of the International Resource Panel*. United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya. Viitattu: 3.1.2023. Saatavilla: <https://www.unep.org/resources/publication/governing-coastal-resources-implications-sustainable-blue-economy>.

[152] EUR-Lex. (2022). *Ehdotus Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus luonnon ennallistamisesta*. Viitattu: 3.1.2023. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:52022PC0304>.

[153] Jyväskylän yliopisto. (2022). *Kaupunkimuotokuva-työkälyt*. Viitattu: 10.1.2023. Saatavilla: <https://www.jyu.fi/fi/tutkimus/wisdom/donitsitalous/tyokalut>.

[154] Ruosteenoja, K.; Jylhä, K & Kämäräinen, M. (2016). Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. *Geophysica* 51(1), 17–50. http://www.geophysica.fi/pdf/geophysica_2016_51_1-2_017_ruosteenoja.pdf.

[155] Ruosteenoja, K.; Räisänen, J.; Venäläinen, A.; Kämäräinen, M. & Pirinen, P. (2016). Terminen kasvukausi lämpenevässä ilmastossa. *Terra* 128(1), 3–15. <http://en.ilmatietaenlaitos.fi/documents/31422/83635880/Ruosteenoja+Terminen+kasvukausi+l%C3%A4mpenev%C3%A4ss%C3%A4%20ilmastossa+2016/5cd98a30-cab8-421d-970b-432ceb67fed>.

[156] Ilmatieteen laitos. (2011). *ACCLIM II-hankkeen lyhyt loppuraportti 2011*. Ilmatieteen laitos, Helsinki. Viitattu: 9.9.2022. Saatavilla: http://ilmatietaenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=f72ce783-0bae-4468-b67e-8e280bec1452&groupId=30106.

[157] Jylhä, K.; Ruosteenoja, K.; Räisänen, J. & Fronzek, S. (2012). Ilmasto. Julkaisussa: Ruuhela, R. (toim.) *Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua? - yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla*. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 6/2011, 16–23. http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/2012/67Wke725j/MMM_julkaisu_2012_6.pdf.

[158] Haanpää, S.; Jokisalo, J.; Jylhä, K.; Käyhkö, J.; Lahdensivu, J.; Makkonen, L.; Tietäväinen, H.; Vinha, J. & Wahlgren, I. (2012). Alueidenkäyttö, yhdyskunnat ja rakentaminen. Julkaisussa: Ruuhela, R. (toim.) *Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua? - yhteenveto suomalaisesta sopeu-*

tumistutkimuksesta eri toimialoilla. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 6/2011, 98–110. http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/2012/67Wke725j/MMM_julkaisu_2012_6.pdf.

[159] Ilmatieteen laitos. (2022). *Vuositulastot*. Viitattu: 9.12.2022. Saatavilla: <https://www.ilmatietaenlaitos.fi/vuositulastot>.

[160] Kollanus, V.; Lanki, T. & Kosonen, R. (2022). Helle ja ilmastonmuutos asumisterveyden näkökulmasta. *Ympäristö ja Terveys-lehti* 5(53), 46–51. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2022092760254>.

[161] HSY. (2022). *Pääkaupunkiseudun tulevien kesien kuumuutta ja talvien liukkautta voi tutkia karttapalvelussa*. Viitattu: 9.12.2022. Saatavilla: <https://www.hsy.fi/ymparistotieto/tiedotteet/paakaupunkiseudun-tulevien-kesien-kuumuutta-ja-talvien-liukautta-voi-tutkia-karttapalvelussa/>.

[162] Velashjerdi Farahani, A.; Jokisalo, J.; Korhonen, N.; Jylhä, K.; Ruosteenoja, K. & Kosonen, R. (2021). Overheating risk and energy demand of Nordic old and new apartment buildings during average and extreme weather conditions under a changing climate. *Applied Sciences* 11(9), 3972. <https://doi.org/10.3390/app11093972>.

[163] Ilmatieteen laitos. (2021). *Ilmaston lämpeneminen lisää helkeitä ja asuntojen yllämpenemisen riskiä*. Viitattu: 5.10.2022. Saatavilla: <https://www.ilmatietaenlaitos.fi/uutinen/4WqNPvTyDfbOyWz-Fyt573v>.

[164] Helsingin kaupunki. (2022). *Pääkaupunkiseudun tulevien kesien kuumuutta ja talvien liukkautta voi tutkia karttapalvelussa*. Viitattu: 5.10.2022. Saatavilla: <https://www.hel.fi/uutiset/fi/helsinki/tulevien-kesien-kuumuutta-ja-talvien-liukkautta-voi-tutkia>.

[165] Greater London Authority. (2021). *The London Plan: The spatial development strategy for Greater London*. Viitattu: 9.12.2022. Saatavilla: https://www.london.gov.uk/sites/default/files/the_london_plan_2021.pdf.

[166] Ilmatieteen laitos. (2021). *Hellekuolleisuus voi Helsingissä olla suurempaa kuin ympäröivällä HUSin alueella*. Viitattu: 5.10.2022. Saatavilla: <https://www.ilmatietaenlaitos.fi/uutinen/1mIP3vVO4B2Aboz7d-gb1H6>.

[167] Ruuhela R.; Votsis A.; Kukkonen J.; Jylhä K.; Kankaanpää S. & Perrels A. (2021). Tempera-

ture-Related Mortality in Helsinki Compared to Its Surrounding Region Over Two Decades, with Special Emphasis on Intensive Heatwaves. *Atmosphere* 12, 46. doi:10.3390/atmos12010046.

[168] **Ilmatieteen laitos.** (2022). *Säällä on merkittävä vaikutus talvikauden liukastumisriskiin*. Viitattu: 5.10.2022. Saatavilla: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/uutinen/430tI9TKoA4PrQkbGKDKl6>.

[169] **Hippi, M. & Kangas, M.** (2022). Impact of Weather on Pedestrians' Slip Risk. *International journal of environmental research and public health* 19(5), 3007. <https://doi.org/10.3390/ijerph19053007>.

[170] **Kollanus, V.; Tiittanen, P. & Lanki, T.** (2021). Mortality risk related to heatwaves in Finland—Factors affecting vulnerability. *Environmental Research* 201, 111503. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111503>.

[171] **Kollanus, V. & Lanki, T.** (2021). Helteen terveyshaitat ja niiden ehkäisy Suomessa. *Terveysten ja hyvinvoinnin laitos (THL), Työpaperi* 14/2021. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-343-673-2>.

[172] **City of Vancouver.** (2022). *Stay safe in the summer heat*. Viitattu: 9.12.2022. Saatavilla: <https://vancouver.ca/home-property-development/hot-weather.aspx>.

[173] **HSY.** (2010). *Pääkaupunkiseudun ilmasto muuttuu*. Viitattu: 9.9.2022. Saatavilla: https://www.ymk-projektit.fi/suunnitteluopas/files/2014/07/ILKKA_raportti_paakaupunkiseudun_ilmasto_muuttuu.pdf.

[174] **Kellomäki, S.; Strandman, H.; Heinonen, T.; Asikainen, A.; Venäläinen, A. & Peltola, H.** (2018). Temporal and spatial change in diameter growth of boreal Scots pine, Norway spruce, and birch under recent-generation (CMIP5) global climate model projections for the 21st century. *Forests* 9(3), 118. <https://doi.org/10.3390/f9030118>.

[175] **Lehtonen, I.; Venäläinen, A. & Gregow, H.** (2020). Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa metsänhoidon näkökulmasta. *Ilmatieteen laitos, Raportteja* 2020:5. Viitattu: 9.9.2022. Saatavilla: <http://hdl.handle.net/10138/319348>.

[176] **Ruosteenoja, K.** (2013). *Maailmanlaajuisiin ilmastomalleihin perustuvia lämpötila- ja sademääräskenaarioita*. Sektoritutkimusohjelman ilmastoskenaariot (SETUKLIM) 1. osahanke. Ilmatieteen

laitos. http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=c4c5bf12-655e-467a-9ee0-f06d8145aaa6&groupId=30106.

[177] **Helsingin kaupunki.** (2010). Helsingin kaupungin tulvastrategia. *Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston yleissuunnitteluosaston selvityksiä* 2010:1. https://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/yos_2010-1.pdf.

[178] **Helsingin kaupunki.** (2016). *Stadin katot elävät: Helsingin kaupungin viherkattolinjaus*. Viitattu: 9.9.2022. Saatavilla: <https://dev.hel.fi/paatokset/media/att/08/08ad9d722e708c4e5ff9aeb3a-8c291137aeeab6f.pdf>.

[179] **Harrisberg, K.** (2022). *What are 'sponge cities' and how can they prevent floods?* Viitattu: 9.12.2022. Saatavilla: <https://climatechampions.unfccc.int/what-are-sponge-cities-and-how-can-they-prevent-floods/>.

[180] **ArchDaily.** (2022). *What Is a Sponge City and How Does It Work?* Viitattu: 9.12.2022. Saatavilla: <https://www.archdaily.com/979982/what-is-a-sponge-city-and-how-does-it-work>.

[181] **Gregow, H.; Laaksonen, A. & Alper, M.E.** (2017). Increasing large scale windstorm damage in Western, Central and Northern European forests, 1951–2010. *Scientific Reports* 7(1), 1–7. <http://dx.doi.org/10.1038/srep46397>.

[182] **Gregow, H.; Laurila, T.K. & Mäkelä, A.** (2020). *Review on winds, extratropical cyclones and their impacts in Northern Europe and Finland*. Finnish Meteorological Institute. <http://hdl.handle.net/10138/320298>.

[183] **Groenemeijer, P.; Vajda, A.; Lehtonen, I.; Kämäräinen, M.; Venäläinen, A.; Gregow, H.; Becker, N.; Nissen, K.; Ulbrich, U.; Morales Nápoles, O.; Paprotny, D. & Púčik, T.** (2016). *Present and future probability of meteorological and hydrological hazards in Europe*. Rain project, D2.5 (Hydro-)meteorological hazard probability in Europe. https://www.researchgate.net/publication/308034040_Present_and_future_probability_of_meteorological_and_hydrological_hazards_in_Europe.

[184] **Haapala, J. & Johansson, M.** (2012). Itämeri. Julkaisussa: Ruuhela, R. (toim.) *Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua? -yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla*. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisu 6/2011, 24–27. http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/2012/67Wke725j/MMM_

- [185] Næss, P.** (2010). The dangerous climate of disciplinary tunnel vision. Julkaisussa: Bhaskar, R.; Frank, C.; Hoyer, K.G.; Næss, P. & Parker, J. (toim.). *Interdisciplinarity and climate change*, 68–98. Routledge.
- [186] Gaziulusoy, I.** (2022). Aalto-yliopisto. Asiantuntijahaastattelu: 30.6.2022.
- [187] Dreborg, K.H.** (1996). Essence of backcasting. *Futures* 28(9), 813–828. [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(96\)00044-4](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(96)00044-4).
- [188] Höjer, M. & Mattsson, L.G.** (2000). Determinism and backcasting in future studies. *Futures* 32(7), 613–634. [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(00\)00012-4](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(00)00012-4).
- [189] Hines, A.; Schutte, J. & Romero, M.** (2019). Transition Scenarios via Backcasting. *Journal of Futures Studies* 24(1), 1–14. <https://jfsdigital.org/articles-and-essays/vol-24-no-1-september-2019/transition-scenarios-via-backcasting/>.
- [190] Xue, J.; Walnum, H.J.; Aall, C. & Næss, P.** (2016). Two contrasting scenarios for a zero-emission future in a high-consumption society. *Sustainability* 9(1), 20. <https://doi.org/10.3390/su9010020>.
- [191] Kok, K.; van Vliet, M.; Bärlund, I.; Dubel, A. & Sendzimir, J.** (2011). Combining participative backcasting and exploratory scenario development: experiences from the SCENES project. *Technological forecasting and social change* 78(5), 835–851. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.01.004>.
- [192] Wangel, J.** (2011). Exploring social structures and agency in backcasting studies for sustainable development. *Technological Forecasting and Social Change* 78(5), 872–882. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.03.007>.

LIITE 1:

Asiantuntijakeskusteluihin osallistuneet

Gaziulusoy, Idil. Associate Professor. Aalto-yliopisto.

Juhola, Sirkku. Professori, Urban Environmental Policy. Helsingin yliopisto.

Jurgilevich, Alexandra. Postdoctoral Researcher, Urban Environmental Policy. Helsingin yliopisto.

Jylhä, Kirsti. Senior Research Scientist. Ilmatieteen laitos.

Kankaanpää Susanna. Ympäristösuunnittelija, KYMP/ Ilmastoyksikkö, Helsingin kaupunki.

Käyhkö, Janina. Yliopistonlehtori, Urban Environmental Policy. Helsingin yliopisto.

Michaux, Simon P. Apulaistutkimusprofessori, Kiertotalouden ratkaisut. GTK.

Mäkelä, Antti. Ph.D., Head of Group. Ilmatieteen laitos.

Næss, Petter. Emeritusprofessori, Urban Sustainability. Norwegian University of Life Sciences.

Ottelin, Juudit. Associate Professor. Norwegian University of Science and Technology.

Pelsmakers, Sofie. Associate Professor, Architecture. Tampereen yliopisto.

Rosqvist Kajsa. Ympäristösuunnittelija, KYMP/ Ilmastoyksikkö, Helsingin kaupunki.

Taylor, Jonathan. Associate Professor, Urban Physics. Tampereen yliopisto.

Vinha, Juha. Professori, rakennusfysiikka. Tampereen yliopisto.

Xue, Jin. Professori, Urban and regional sustainability planning. Norwegian University of Life Sciences.

LIITE 2:

Asiantuntijatyöpajoihin osallistuneet

Aalto-Setälä Niklas. Yleiskaavasuunnittelija, KYMP/ Maankäytön yleissuunnittelu, Helsingin kaupunki.

Backman Katri. Yleiskaavasuunnittelija, KYMP/ Maankäytön yleissuunnittelu, Helsingin kaupunki.

De Vocht, Sofia. Arkkitehti, KYMP/ Asemakaavoitus, Helsingin kaupunki.

Ettala Tiia. Johtava arkkitehti, KYMP/ Asemakaavoitus, Helsingin kaupunki.

Hakala Tuomas. Yksikön päällikkö, KYMP/ Asemakaavoitus, Helsingin kaupunki.

Heikkilä Aleks. Tiimipäällikkö, KYMP/ Rakennusvalvontapalvelut, Helsingin kaupunki.

Hovi Henna. Liikenneinsinööri, KYMP/ Liikenne- ja katusuunnittelu, Helsingin kaupunki.

Huomo Reetta. Ympäristösuunnittelija, KYMP/ Ympäristöpalvelut, Helsingin kaupunki.

Hyväri Kristiina. Yleiskaavasuunnittelija, KYMP/ Maankäytön yleissuunnittelu, Helsingin kaupunki.

Jaakkola Maria. Yksikön päällikkö, KYMP/ Kaupunkitila- ja maisemasuunnittelu, Helsingin kaupunki.

Kankaanpää Susanna. Ympäristösuunnittelija, KYMP/ Ilmastoyksikkö, Helsingin kaupunki.

Karttunen Jarkko. Yksikön päällikkö, KYMP/ Yleiset alueet, Helsingin kaupunki.

Kehvola Hanna-Maija. Ympäristösuunnittelija, KYMP/ Ympäristöpalvelut, Helsingin kaupunki.

Korhonen Juha. Ympäristötarkastaja, KYMP/ Ympäristöpalvelut, Helsingin kaupunki.

Linnas Tuukka. Tiimipäällikkö, KYMP/ Asemakaavoitus, Helsingin kaupunki.

Mentula Antti. Johtava arkkitehti, KYMP/ Asemakaavoitus, Helsingin kaupunki.

Mustonen Salla. Yksikön päällikkö, KYMP/ Rakennusvalvontapalvelut, Helsingin kaupunki.

Myllymäki Antonina. Suunnitteluasiantuntija, KYMP/ Kaupunkitila- ja maisemasuunnittelu, Helsingin kaupunki.

Nyman Emil. Tutkija, KYMP/ Ympäristöpalvelut, Helsingin kaupunki.

Palomäki Heikki. Yksikön päällikkö, KYMP/ Liikenne- ja katusuunnittelu, Helsingin kaupunki.

Rantala Annika. Liikenneinsinööri, KYMP/ Liikenne- ja katusuunnittelu, Helsingin kaupunki.

Rosqvist Kajsa. Ympäristösuunnittelija, KYMP/ Ilmastoyksikkö, Helsingin kaupunki.

Sihvonen Taru. Projektinjohtaja, KYMP/ Liikenne- ja katusuunnittelu, Helsingin kaupunki.

Silberstein Leona. Ympäristötarkastaja, KYMP/ Ympäristöpalvelut, Helsingin kaupunki.

Skytten Salla. Ympäristökoordinaattori, SOTE, Helsingin kaupunki.

Sohn, Anna-Maija. Tiimipäällikkö, KYMP/ Asemakaavoitus, Helsingin kaupunki.

Suomi Christina. Yksikön päällikkö, KYMP/ Maankäytön yleissuunnittelu, Helsingin kaupunki.

Tani Alpo. Erityisasiantuntija, KYMP/ Maankäytön yleissuunnittelu, Helsingin kaupunki.

Tyynilä Suvi. Tiimipäällikkö, KYMP/ Asemakaavoitus, Helsingin kaupunki.

Vuori Virpi. Ympäristöasiantuntija, SOTE, Helsingin kaupunki.

Walén Laura. Yksikön päällikkö, KYMP/ Ympäristöpalvelut, Helsingin kaupunki.

Ylönen Liisi. Tiimipäällikkö, KYMP/ Asemakaavoitus, Helsingin kaupunki.

Äärelä Riikka. Maisema-arkkitehti, KYMP/ Kaupunkitila- ja maisemasuunnittelu, Helsingin kaupunki.

LIITE 3:

Tunnistettut keinot reunaehtoiksi huomioimiseksi

		1: CO ₂	2: Materiaalit	3: Luontokato	4: Lämpö	5: Sade	6: Tuuli	7: Meri
Kaupunki-rakenne	Käveltävän ja pyöräiltävän kaupungin rakentaminen. Verkoston lisäksi käveltävä ja pyöräiltävä kaupunki on herkkä myös kaupunkitilan laadulle ja yksityiskohdille.	+++						
	Minimoidaan yksityisautoiluun perustuva liikkumistarve monipuolistamalla kaupunkirakennetta ja rakentamalla jo olemassa olevan infrastruktuurin ääreen.	+++		--	---	--		
	Kaupunkirakenteen tiivistäminen.	+++		--	---	--		
	Maaston ja valmiiden infrarakenteiden huomioiminen sijoittelussa louhinta- ja maanmuokkaustöiden määrän minimoimiseksi.	++	++					
	Rakentamisen kohtuullistaminen (kokonaismäärä, asumisväljyys, muunneltavuus, tilatehokkuus).	++	++					
	Merellisen ekosysteemin hiilensidontapotentiaalin vahvistaminen.	+		++				
	Olemassa olevan rakenteen hyödyntäminen.	++	+++					
	Materiaali- ja mineraali-intensiivisten ratkaisuiden arvioiminen ja riskitarkastelu globaalin saatavuuden näkökulmasta.		+					
	Ekologisten verkostojen ja arvokkaimpien luontoalueiden tunnistaminen ja turvaaminen.			+++				+
	Maksimoidaan kasvullisen maa-alan säilyminen.	++		++	++	++		
	Huomioidaan rakentamisen sijoittelussa maaperä, pienilmasto ja olemassa oleva luonto.	+		++				
	Uudistetaan menetetty kasvillisuus.			+	+	+		
	Lämpöä sitovan ja hukkalämpöä tuottavan infrastruktuurin määrän vähentäminen ja sijoittelu lämpökuorman kannalta vähentävästi.	++	+		+++			
	Menetetyn kasvullisen maa-alan korvaaminen.	+		+	++	++		

		1: CO ₂	2: Materiaalit	3: Luontokato	4: Lämpö	5: Sade	6: Tuuli	7: Meri
Kaupunki- rakenne	Lajiston uudistaminen muuttuvaa ilmastoa kestäväksi. Sis. kasviston monimuotoisuuden ja eri-ikäisyyden huomioiminen.	+		++	++			
	Katutilan uudelleenjakaminen niin, että päästöintensiviseltä infralta siirretään tilaa viherrakenteelle ja muille toiminnoille.	++	++	+	++	++		
	Ylikuumenemisen ja tulvariskien ehkäiseminen viherrakenteen avulla nykyisen rakenteen sisällä.			++	++	++		
	Maaston huomioiminen rakentamisen sijoittelussa.	+		++	+	++	++	
	Olemassa olevan luonnon huomioiminen sijoittelussa.	+		+	+	+		
	Community cooling spaces haavoittuvimpien ihmisryhmien suojelemiseksi.				+			
	Pelto- ja metsätilkkujen sekä muiden viheralueiden vaihteleminen tautien leviämisen ehkäisemiseksi.			++	+			
	Hiilinielujen kompensointi kaupungin rajojen ulkopuolella.	--		--	--	--		
	Täydennysrakentaminen ja tiivistäminen joukkoliikennehuoissa.		++		---	---		
	Toimintojen sijoittelu tulvariskialueiden ulkopuolelle.					++		+++
	Valuma-aluelähtöinen hulevesien suunnittelu, jossa tunnistetaan tärkeimmät vettä läpäiseväksi pinnaksi muutettavat kohdat.					++		
	Viheralueet tulee säilyttää täydennysrakennettaessa.	+++		+		+		
	Yksittäisten lumikuormien ohjaaminen nykyisille kadunvarisipysäköintipaikoille.	+				+		
	Tulvariskin huomioiminen SOTE-kohteiden ja -palveluverkon suunnittelussa.					+		
	Sekaviemäröinnin ylivuotojen vähentäminen hulevesiä eriyttämällä.					+		
	Maan jatkuva kasvipeitteisyys ja viljelylajikkeiden kierto sitovat maaperää vähentäen hiilen vapautumista ja ravinteiden huuhtoutumista.	+		+		+		
	Hiiliviljelypellot ovat tulvankestävämpiä ja estävät ravinteiden huuhtoutumista.	+				+		
	Rannikkomerialueiden ennallistaminen.	++		++				++
	Merellisen ympäristön kasvullisen rantavyöhykkeen ja meren pohjan määrän säilymisen maksimoiminen.	+		+				++
	Voimakkaasti tukimuurien avulla rakennettujen meren rantojen sijaan loivaluiskaisia kasvillisuuden peittämiä rantoja.	+		+				+
Ruovikoiden hyödyntäminen hiilivarastoina ja rantaeroosiota hillitsevinä kokonaisuuksina.	+		+				+	
Korttelit	Vapaan auringonpaistekulman hyödyntäminen aurinkoenergiapotentialin maksimoimiseksi.	+	-					
	Ei-kuluttamiseen perustuvan julkisen tilan tarjoaminen. Viher- ja virkistysalueverkosto keskeinen.	+		++				

		1: CO ₂	2: Materiaalit	3: Luontokato	4: Lämpö	5: Sade	6: Tuuli	7: Meri
Korttelit	Riittävät varjoisat ulkotilat, joissa mahdollisuus vilvoitella.	+		++	+++			
	Puiden varjostusvaikutuksen hyödyntäminen.	+			++			
	Vettä läpäisevien pintojen lisääminen.	+		+		+++		
	Luonnonmukaisten ja paikallisten imeytys- ja viivytykratkaisten lisääminen.	+				++		
	Veden poisohjauksesta huolehtiminen.	-				++		
	Äkillisten tulvapiikkien ohjaaminen maanalaisiin parkkihalliin kriittisemmän infran suojaamiseksi.	-				++		
	Ulkotilojen laadusta huolehtiminen myös kaamosaikaan (talvikunnossapito, valaistus jne.).					+		
	Lumien paikallinen huomiointi: esim. aukiotaskuja.					+		
	Maaston huomioiminen rakentamisen sijoittelussa.	+		++	+	++	++	
Rakennukset	Rakennusten suunnittelu monikäyttöisiksi, muuntojoustaviksi ja helposti muunneltaviksi.	++						
	Rakennusten käyttöiän nosto: joustaminen toiminnallisista ja esteettisistä vaatimuksista.	++	++					
	Hukkatilojen hyödyntäminen.	++	++					
	Rakennusten käyttöiän nosto: ylläpidon ja kunnostusten tehostaminen.	++	++					
	Vähähiilisten rakennusmateriaalien hyödyntäminen.	++						
	Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen.	++	-					
	Rakennusmateriaali- sekä järjestelmävaihtojen pitkäaikaiskestävyys, huollettavuus ja korjattavuus.	+						
	Rakennuksen suuntaus auringon suhteen.	+			+			
	Suositaan materiaalien paikalla tapahtuvaa uusiokäyttöä ja korjaamista.	+	++					
	Maksimoidaan rakennuksen hyödyntämisen elinkaari.	+	+					
	Käyttöiän nosto. Se mitä tehdään, tehdään kunnolla ja kestävästi.	+	+					
	Tilojen viilennys aktiivisin menetelmin.	-	-		+++			
	Tilojen suojaus ja viilentäminen passiivisin menetelmin (esim. kasvikatot, säleiköt, yötuuletus, heijastavat pintamateriaalit). Rakennusten passiivisen resilienssin kasvattaminen.	+		+	++			
	Viherseinät viherkattojen rinnalle vahvemmin keinovalikoimiin + vedenalaiset viherseinät.	-		+	+	+	+	
Veden sitomisen ja sadeveden viivyttämisen passiiviset ratkaisut (esim. kasvikatot).	+		+		+			

LIITE 4:

Tunnistettut reunaehdot ja niiden stressitesti



REUNAehto 1: Päästövähennystarve

- Päästöt eivät ole laskeneet riittävästi ja riittävän nopeasti. Nykyiset käytännöt uusintavat päästöintensiteettiin ratkaisuihin liittyviä haasteita jatkuvasti.
- Rajatulla maantieteellisellä alueella hiilinielut ja -sidonta eivät riitä kompensoimaan nykyistä päästötasoa.
- Päästövähennystarve on kriittinen ja ratkaisuja, joissa toteutuvat päästöt ylittävät vähennys-/sidontapotentiaalin tulee välttää.
 - Mikä on hankkeen aiheuttama arvioitu päästökuorma? Millä aikavälillä se toteutuu?

- Mikä on hankkeen ennakoitu hiilensidonnain määrä? Millä aikavälillä se toteutuu?
- Onko mahdollinen päästökuorma mahdollista sitoa kaupungin rajojen sisällä toteutettavilla ratkaisuilla niin, että päästökuorma alittaa sidottavien päästöjen määrän?

REUNAehto 2: Materiaaliset rajoitteet

- Tämänhetkiset tunnetut kriittisten mineraalien ja materiaalien varannot ja tuotantoprosessit eivät pysty vastaamaan kasvavaan tarpeeseen.
- Kriittiset mineraalit eivät riitä edes nykyisen ajoneuvokannan ja energiantuotantarpeen sähköis-

tämiseen.

- Ratkaisut eivät voi perustua vain uuteen vielä keksimättömään teknologiaan, vaan niiden täytyy toimia myös resurssiniukassa maailmassa ja tukeutua vahvasti jo olemassa olevaan infrastruktuuriin.
 - Perustuuko hanke ratkaisuihin, joiden toteuttamisen edellytyksenä olevien materiaalien saatavuus voidaan riittävällä varmuudella turvata?

REUNAEHTO 3: Luontokato

- Lajien katoamisen lisäksi käynnissä lajien taantuminen, lajikantojen koon pieneneminen sekä kokonaisten elinympäristöjen ja ekosysteemien heikkeneminen.
- Monimuotoisuuden lisäksi vaikutuksia esimerkiksi luonnon hiilensidontapotentiaaliin ja maaperän köyhtymiseen.
- Ratkaisut eivät saa kiihdyttää luontokatoa. Kasvullisen maa-alan säilyminen ja menetetyin kasvullisen maa-alan uudistaminen tulee varmistaa. Ilmastonäkökulmasta erityisesti hiilensidontapotentiaalin ja sopeutumisen vahvistaminen korostuvat.
 - Säilyttääkö tai kasvattaako ratkaisu kasvullisen maa-alan, lajien ja ekosysteemien määrää kaupungin rajojen sisäpuolella?

REUNAEHTO 4: Lämpeneminen

- Keskilämpötila nousee ympäri vuoden, erityisesti talvella.
- Hellepäivien määrä kasvaa, hellejaksot pitenevät.
- Routa-aika lyhenee ja alhaiset lämpötilat harvinaistuvat.
- Lämpötilan sahaaminen nollan tuntumassa lisääntyy.
- Lämpösaarekeilmiötä kiihdyttäviä ratkaisuja tulee välttää. Elinympäristön passiivinen resilienssi tulee varmistaa esimerkiksi ylikuumenemisen osalta.
 - Onko hanke resilientti kasvavan lämpösaarekeilmiön ja ylikuumenemisen osalta?
 - Varmistaako hanke ratkaisujen riittävän passiivisen resilienssin ylikuumenemisen osalta?
 - Ehkäiseekö hanke lämpösaarekeilmiön voimistumista esimerkiksi sijoittumiseen liittyvien ja rakenteellisten ratkaisujen avulla?

REUNAEHTO 5: Sateisuus

- Vuotuinen sateisuus lisääntyy, runsaiden sateiden määrä ja tulvariski kasvavat.
- Lumisateen määrä vähenee, suurimmat lumisademäärät kasvavat.
- Kuivuuskaudet lisääntyvät, ankaraa kuivuutta esiintyy yhä useammin.
- Vettä läpäisevän pinnan määrän lisääminen tulee varmistaa. Kaupungin tulee varautua hulevesitulvariskin kasvuun erityisesti kriittisen infrastruktuurin osalta.
 - Onko hanke resilientti kasvavan sateisuuden ja rakenteellisen kosteusrasituksen osalta? Ehkäiseekö ratkaisu lisääntyvän sateisuuden aiheuttamaa rakenteellista kosteusrasitusta ja tulvariskejä luonnollisin, rakenteellisin tai rakennusteknisin keinoin?

REUNAEHTO 6: Tuulisuus

- Tuulen nopeus kasvaa ajoittain, mutta sen keskimääräinen voimakkuus pysyy lähes ennallaan.
- Yksittäisten myrskyjen tuhovoima kasvaa.
- Kasvaviin myrskytuhoihin varautuminen niin infrastruktuurin kuin luonnon osalta tulee varmistaa.
 - Onko hanke resilientti kasvavan tuulisuuden osalta? Ehkäiseekö ratkaisu lisääntyvän tuulisuuden ja myrskytuhojen todennäköisyyttä, riskejä ja vaikutuksia suunnittelualueella?

REUNAEHTO 7: Merenpinnan nousu

- Merenpinta nousee kymmenillä senttimetreillä.
- Talvisin merijää ohenee ja sen pinta-ala pienenee.
- Kasvaviin merivesitulvariskeihin tulee varautua.
 - Onko hanke resilientti merenpinnan nousun osalta? Sijoittuuko ratkaisu merivesitulvan riskialueiden ulkopuolelle tai merkittävästi vähentää riskien todennäköisyyttä luonnollisin, rakenteellisin tai rakennusteknisin ratkaisuin?

Kuvaluettelo

Kuva 1.	5
Kunnianhimoisista tavoitteista ja sitoumuksista huolimatta globaalit CO ₂ -päästöt jatkavat nousuaan. Sitoumusten edellyttämien päästövähennystavoitteiden saavuttaminen vaatii hetki hetkeltä vaikuttavampia toimia [9].	
Kuva 2.	6
Tulevaisuuteen asetettujen päästövähennystavoitteiden periaatteelliset erot nykytilanteen (BAU) jälkeen. Eri suunnittelutasoilla tähdätään tulevaisuuden eri kohtiin ja siten myös eri ilmastotavoitteisiin.	
Kuva 3.	7
Hiilinegatiivisessa kaupungissa hiilinielujen määrän tulee olla suurempi kuin ilmakehään tuotettavat päästöt. Tämä edellyttää muutoksia nykyiseen suunnitteluun.	
Kuva 4.	10
Vähähiilisen rakentamisen osatekijät [pohjalta: 50].	
Kuva 5.	11
Rakennusosien suhteelliset päästöosuudet [pohjalta: 50].	
Kuva 6.	12
Asenteiden ja mahdollistajien lisäksi infrastruktuurilla on keskeinen merkitys päästöjen muodostumisessa [58].	
Kuva 7.	14
Planetaariset rajat kuvaavat maapallon kantokykyä ja tilaa [89].	
Kuva 8.	15
Ilmastonmuutoksen riskiketjun rakenne [93].	
Kuva 9.	15
Hiilinegatiiviseen tulevaisuuteen vaikuttavat reunaehdot.	
Kuva 10.	16
Ilmastonmuutos on jatkossakin merkittävä muuttoliikkeen syy ilmastopakolaisuuden kasvaessa [99].	
Kuva 11.	18
Kokonaishiilivuon sijoittuminen pääkaupunkiseudulla [113].	
Kuva 12.	28
Eri tasot huomioivan suunnitteluoitteiden näkökulmia [153].	
Kuva 13.	32
Vuosikeskilämpötila Helsingissä vuodesta 1900 lähtien [159].	
Kuva 14.	34
Ankanan kuumarasituksen määrä muuttuu huomattavasti jo 2020-luvulta 2050-luvulle siirryttäessä [161].	

Kuva 15.	51
Askelet kohti hiilinegatiivisuuden konkretisointia.	
Kuva 16.	53
Tunnistetut hiilinegatiivisen kaupungin visioinnin reunaehdot.	

Taulukkoluettelo

Taulukko 1.	20
Tunnistetut vaikutukset ja niiden merkittävyys reunaehdon 1 kannalta.	
Taulukko 2.	20
Tunnistetut keinot ja niiden vaikuttavuus reunaehdon 1 vaikutusten näkökulmasta.	
Taulukko 3.	24
Tunnistetut vaikutukset ja niiden merkittävyys reunaehdon 2 kannalta.	
Taulukko 4.	24
Tunnistetut keinot ja niiden vaikuttavuus reunaehdon 2 vaikutusten näkökulmasta.	
Taulukko 5.	28
Tunnistetut vaikutukset ja niiden merkittävyys reunaehdon 3 kannalta.	
Taulukko 6.	28
Tunnistetut keinot ja niiden vaikuttavuus reunaehdon 3 vaikutusten näkökulmasta.	
Taulukko 7.	32
Tunnistetut vaikutukset ja niiden merkittävyys reunaehdon 4 kannalta.	
Taulukko 8.	33
Tunnistetut keinot ja niiden vaikuttavuus reunaehdon 4 vaikutusten näkökulmasta.	
Taulukko 9.	39
Tunnistetut vaikutukset ja niiden merkittävyys reunaehdon 5 kannalta.	
Taulukko 10.	40
Tunnistetut keinot ja niiden vaikuttavuus reunaehdon 5 vaikutusten näkökulmasta.	
Taulukko 11.	44
Tunnistetut vaikutukset ja niiden merkittävyys reunaehdon 6 kannalta.	
Taulukko 12.	44
Tunnistetut keinot ja niiden vaikuttavuus reunaehdon 6 vaikutusten näkökulmasta.	
Taulukko 13.	48
Tunnistetut vaikutukset ja niiden merkittävyys reunaehdon 7 kannalta.	
Taulukko 14.	48
Tunnistetut keinot ja niiden vaikuttavuus reunaehdon 7 vaikutusten näkökulmasta.	

Helsinki