



KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Uusiutuvan energian koulutus
Ylempi ammattikorkeakoulututkinto

Merja Kuukkanen

ILMASTOKESTÄVÄ METSÄTALOUS JOENSUUN KAUPUNGIN
OMISTAMISSA METSISSÄ

Opinnäytetyö
kesäkuu 2021

	<p>OPINNÄYTETYÖ Kesäkuu 2021 YAMK Uusiutuvan energian koulutus</p> <p>Tikkarinne 9 80200 JOENSUU +358 13 260 600 (vaihde)</p>
<p>Tekijä Merja Kuukkanen</p>	
<p>Nimeke Ilmastokestävä metsätalous Joensuun kaupungin omistamissa metsissä</p> <p>Toimeksiantaja Joensuun kaupunki</p>	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä hiililaskelmat Joensuun kaupungin omistamasta metsäomaisuudesta ja päivittää näiden laskelmien pohjalta kaupungin metsänhoidonlinjaus ilmastokestäväksi. Laskelmissa metsien kasvu, metsänhoitotarpeet ja hakkuumahdollisuudet mallinnettiin kasvu- ja toimenpidemalleilla.</p> <p>Tutkimuksessa laskettiin kuviokohtainen puustotieto, puuston kehitys ja hiilitase 40 vuoden ajalle. Talousmetsille laskenta tehtiin kolmella eri skenaariolla, sekä lähi- ja ulkoilumetsiin ja suojelumetsiin yhdellä laskentasuunnitelmalla. Hiililaskennalla saatiin riippumatonta tietoa Joensuun kaupungin metsien hiilitaseen muutoksista.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena syntyi Joensuun kaupungille selvitys sen omistamien metsien ilmastovaikutuksista. Nykyistä metsänhoidonlinjausta noudattamalla puuston hiilivarasto kasvaa laskentajaksolla noin 600 000 t CO₂. Nykyinen hakkuukertymä suosii lyhyen aikavälin hiilitasepolitiikkaa, mutta pitkällä aikavälillä pienehköllä hakkuumäärällä ei pysytä maksimoimaan hiilivarastoa eikä hiilitasetta, koska puuston kasvu taantuu. Hieman suurempi hakkuumäärä muokkaisi metsien kehitysluokkajakaumaa suotuisemmaksi. Muutokset maaperän hiilitaseessa ovat vähäisiä. Metsätaloudessa kiertoajat ovat pitkiä ja toiminta pitkäjänteistä, ja tämä tulee ottaa huomioon tulevaisuuden suunnittelussa.</p>	
<p>Kieli suomi</p>	<p>Sivuja 56 Liitteet 1 Liitesivumäärä 6</p>
<p>Asiasanat ilmastokestävä, hiilitase, kuntametsä</p>	

 Karelia UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	THESIS June 2021 Master of Natural Resources, Renewable Energy Tikkarinne 9 FI 80200 JOENSUU FINLAND Tel. +350 13 260 600 (switchboard)
Author Merja Kuukkanen	
Title Climate Resilience Forestry in the City of Joensuu Commissioned by City of Joensuu	
Abstract <p>The purpose of this thesis was to calculate the carbon balance of the forest assets in the city of Joensuu and in order to update the city's forest management practices to align with climate resilience. Forest growth, forest management needs and harvesting possibilities were taken into consideration in creating growth and measuring models.</p> <p>In the study, calculations were made by using compartment stand, growth, and carbon balance data for period of 40 years. For commercial forests, the calculations were made for three different scenarios: the suburban forest, recreational forest and conservation forest with a single calculation pattern. Using carbon calculation generated information about the changes in the city of Joensuu's forest carbon balance.</p> <p>The results of thesis work show climate impact created by the forests owned by the city of Joensuu. With the current forest management policies, the carbon stock of the forest is estimated 600,000 t CO₂ over the calculation period. The current relatively low harvesting volumes favour only short-term carbon stock and balance policy. On the other hand, long the term harvesting will optimise carbon stock as well as maintain carbon balance. A slightly higher harvesting volume will result in a more favourable distribution of development class forests. Changes in the soil carbon balance are minor factor effecting. The forests' full rotation in the future requires long-term planning.</p>	
Language Finnish	Pages 56 Appendices 1 Pages of Appendices 6
Keywords carbon balance, city forest, climate resilience	

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Kansainväliset ilmastosopimukset ja kansalliset ilmastotavoitteet	6
2.1	IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change)	6
2.2	LULUCF	7
2.3	Suomen tavoitteet	8
3	Metsän hiili ja kasvihuonekaasut	9
3.3	Hiilen kierto ja käsitteet	9
3.4	Kasvihuonekaasut	11
4	Ilmastomuutoksen vaikutukset Suomen metsiin	12
4.1	Lämpötila ja säteily	13
4.2	Sademäärä, maaperän kosteus ja vedensaatavuus	15
4.3	Routa ja maan kantavuus	15
4.4	Abioottiset tuhot	15
4.5	Bioottiset tuhot	16
5	Metsien hiilivarastot ja hiilen sidonta	18
5.1	Suomen metsien hiilivarastot ja hiilen sidonta	18
5.2	Metsien käsittelyn vaikutus	19
6	Kehittämistyön tavoitteet	20
6.1	Joensuun kaupungin tavoitteet	20
6.2	Opinnäytetyön tavoitteet	22
7	Kehittämistyön toteutus	23
7.1	Joensuun metsät	23
7.2	Laskelmien tavoitteet	23
7.3	Tapaustutkimus	24
7.4	Käytetyt laskentamenetelmät	25
8	Puuston kehitys	31
8.1	Lähtötilanne	31
8.1.1	Talousmetsät skenaario I	32
8.1.2	Talousmetsät skenaario II	35
8.1.3	Talousmetsät skenaario III	35
8.1.4	Lähi- ja ulkoilumetsät skenaario IV	36
8.1.5	Suojelualueet	38
8.2	Puuston tilanne laskentakauden lopussa	40
9	Hiilitase	41
9.1	Puuston hiilivarasto ja hiilensidonta	42
9.2	Hiilitase ja sen muutos	44
9.3	Maaperän hiilitase ja sen muutokset	46
9.4	Puutuotteiden hiili	47
9.5	Hiilijalanjälki	47
10	Metsänhoidon linjauksen päivitykset	50
11	Pohdinta	51
11.1	Tulosten tarkastelu	51
11.2	Tutkimuksen luotettavuus	52
11.3	Tulosten hyödyntäminen	53
	Lähteet	55
	Liitteet	56

1 Johdanto

Ilmastokestävällä metsätaloudella tarkoitetaan kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä sekä metsien kestokyvyn, tuoton ja niihin perustuvan hyvinvoinnin kasvattamista. Samalla myös metsien hiilivarasto ainakin säilyy, mutta useimmiten myös kasvaa.

Ilmastotyötä ohjaavat kansainväliset ilmastosopimukset, joista viimeisin solmittiin YK:n ilmastosopimuksen 21. osapuolikokouksessa Pariisissa vuonna 2015. Ilmastosopimuksella pyritään päästövähennystavoitteiden lisäksi ilmastonmuutoksen sopeutumiseen sekä ohjaamaan rahoitusvirtoja ilmastokestäviin ratkaisuihin. Kansainvälinen ilmastopaneeli (IPCC) julkaisi syksyllä 2018 erikoisraportin, jossa vertailtiin maapallon keskilämpötilan 1,5 ja 2 asteen nousun vaikutuksia. Raportin mukaan on todennäköistä, että ilmaston lämpeneminen nousee 1,5 asteeseen vuosien 2030 ja 2052 välillä, mikäli lämpenemistä ei pystytä hidastamaan. Lämpenemisen pysäyttäminen 1,5 asteeseen on kuitenkin mahdollista, mikäli ihmistoiminnan aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä onnistutaan vähentämään noin 45 %:lla vuoden 2010 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi nettopäästöjen tulisi laskea nolnaan vuoteen 2050 mennessä. (Benviroc Oy, 2019.)

Ilmastokestävä metsätalous on yksi keino IPCC:n tavoitteiden täyttämiseksi. Se ei ole vain metsien hiilinielujen ja kasvun vahvistamista, vaan myös aktiivista metsätaloutta sekä resurssitehokasta puutuotteiden valmistusta ja kulutusta.

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus tutkia metsätaloustoimenpiteiden vaikutusta hiilen sitomisen ja varastoinnin ilmastonäkökulmasta Joensuun kaupungin omistamissa metsissä. Tarkoituksena on selvittää tämän hetken hiilivarasto sekä metsien kasvun myötä tapahtuva hiilensidonta, miten hiilen sidontaa ja varastointia voidaan tehostaa metsätaloustoimenpitein ja miten 3.12.2018 hyväksytyn Joensuun kaupungin metsänhoidon linjaus 2018-2023 vaikuttaa metsien terveyteen, hiilensidontaan, hiilinieluihin ja hiilivarastoihin seuraavien 10 ja 40 vuoden aikana. Kestävällä tavalla hoidetut metsät ovat ilmastonmuutoksen hillitsemiseen myötävaikuttavia nieluja.

2 Kansainväliset ilmastopöimukset ja kansalliset ilmastotavoitteet

Pariisin ilmastopöimus astui voimaan marraskuun 4. päivänä vuonna 2016 ja Suomi sitoutui sopimukseen 14.11.2016. Ilmastopöimuksen tavoitteena on pitää maapallon keskilämpötilan nousu kahdessa asteessa esiteolliseen aikaan verrattuna ja pyrkiä toimimaan niin, että lämpeneminen saataisiin rajattua alle 1,5 asteen. Yhteisenä tavoitteena on myös se, että kasvihuonekaasujen päästöt ja nielut olisivat tasapainossa vuosisadan jälkipuoliskolle tultaessa. (Finlex, 2016.)

2.1 IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change)

Maailman ensimmäisen ilmastokonferenssin yhteydessä vuonna 1979 päätettiin perustaa YK:n alaisuuteen mekanismi, joka kokoaa yhteen tieteellisesti ennakkotarkastettuja julkaisuja. IPCC aloitti toimintansa 1988 ja siihen kuuluu 195 jäsenmaata. IPCC tuottaa arviointiraportteja ja kuudes raportti valmistuu 2021-2022. (The Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021.)

Ilmastonmuutosennusteet on laadittu arvioista ilmakehän kasvihuonekaasujen ja pienhiukkasten pitoisuuksien kehitymisestä seuraavina vuosikymmeninä. Esitetyt arviot perustuvat RCP-skenaarioihin (RCP= Representative Concentration Pathways).

RCP-skenaarioita on neljä erilaista (kuva 1). Optimistisin on RCP2.6-skenaario, jossa maailmanjaajuisten hiilidioksidipäästöjen oletetaan laskevan nopeasti 2020-luvulla ja päästöjen laskevan nollaan vuoteen 2080 mennessä. RCP4.5-skenaariossa päästöt nousevat vielä vähän, mutta kääntyvät laskuun 2050-luvulla ja vakiintuvat 2100 tienoilla. RCP6.0-skenaariossa hiilidioksidipäästöt pysyvät aluksi vaikaina, kasvavat vuosisadan puolivälissä ja kääntyvät laskuun 2100 teinoilla. RCP8.5-skenaariossa päästöjen nopea kasvu jatkuu ja vuosisadan lopussa ilman hiilidioksidipitoisuus lähestyy 1000 ppm:n tasoa. Tällä hetkellä taso on noin 410 ppm ja ennen teollistumista se oli noin 280 pmm. (Ilmatieteenlaitos ym., 2021.)



Kuva 1. RCP-kasvihuonekaasuskenaarioiden mukaiset kasvihuonekaasujen päästöjen kehityskulut (Ilmatieteenlaitos ym., 2021).

2.2 LULUCF

Maankäyttöä, maankäytön muutosta ja metsätaloussektoria koskeva LULUCF-asetus (EU) 2018/841 määrittelee sen, miten maankäytön, maankäytön muutoksen ja metsänhoidon nielut ja päästöt otetaan huomioon EU:n ilmastotavoitteissa kaudella 2021–2030. (Euroopan unionin virallinen lehti, 2018, L 156/2.)

Lyhenne LULUCF tulee sanoista land use, land use change and forest.

LULUCF-asetuksessa metsällä tarkoitetaan

maa-aluetta, jonka pinta-alalle, puuston latvuspeittävyydelle tai vastaavalle puuston tiheydelle ja potentiaaliselle puun täysikasvuisena kasvu- paikassaan saavuttamalle korkeudelle on määritelty vähimmäisarvot, sellaisina kuin ne on määritelty liitteessä II kunkin jäsenvaltion osalta. Se sisältää puustoiset alueet, mukaan lukien luontaiset nuoret puuryhmät, tai viljelymetsiköt, joiden puuston latvuspeittävyys tai vastaava tiheys tai puun vähimmäiskorkeus ei vielä yllä liitteessä II määriteltyihin vähimmäisarvoihin, mukaan lukien sellaiset tavallisesti metsäalueen osan muodostavat alueet, joilla ihmisen toiminnan, esimerkiksi puunkorjuun, seurauksena tai luonnollisista syistä ei tilapäisesti ole puustoa mutta joiden on määrä palautua metsäksi. (Euroopan unionin virallinen lehti, 19.6.2018, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2018/841, L 156/8.)

Asetus määrittää Suomen osalta näiksi vähimmäisarvoiksi seuraavat: pinta-ala vähintään 0,5 ha, puuston latvuspeittävyys vähintään 10 % ja puuston korkeus vähintään 5 m (EU 2018/841, liite II, L156/18).

EU:n ilmastotoimia raportoidaan monelta eri sektorilta ja LULUCF-sektori on siis yksi ilmastotoimien raportoinnin sektoreista (Tapio Oy, 2021).

2.3 Suomen tavoitteet

Suomen hallitusohjelmassa on yhdeksän ilmastonmuutoksen hillintään ja monimuotoisuuden turvaamiseen liittyvää tavoitetta. Näistä tavoitteet 1-4 liittyvät suoraan ilmastonmuutoksen hillintään. Ensimmäinen tavoite on, että Suomi on hiili-neutraali vuonna 2035. Tähän päästään nopeuttamalla päästövähennystoimia ja vahvistamalla hiilinieluja.

Toinen tavoite on se, että Suomi pyrkii maailman ensimmäiseksi fossiilivapaaksi hyvinvointiyhteiskunnaksi. Keinoina tavoitteen saavuttamiseksi ovat mm. energiaveromuutokset, energiatukijärjestelmät, uusien, polttoon perustumattomien kaukolämmön tuotantotapojen ja lämmön varastoinnin kehittäminen, turpeen energiakäytön lopettaminen, tuulivoiman osuuden lisääminen, ydinvoiman käytön jatkaminen, kiertotalouden vahvistaminen, älykkäiden sähköverkkojen hyödyntäminen ja rakennusten energiatehokkuusdirektiivin implementointi.

Kolmas tavoite on hiilinielujen ja -varastojen vahvistaminen lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Keinoina ovat mm. metsien hoidosta, kasvukyvystä ja terveydestä huolehtiminen, metsityksen edistäminen, metsäkadon vähentäminen, soiden ja turvemaiden päästöjen vähentäminen, suometsien ilmastokestävä hoito ja maatalousmaan päästöjen vähentäminen ja hiilensidonnain vahvistaminen.

Neljäntenä tavoitteena on pienentää asumisen ja rakentamisen hiilijalanjälkeä esimerkiksi erilaisilla energia-avustusjärjestelmillä. (Valtioneuvosto. 2019.)

Vuonna 2015 voimaan tullut kansallinen Ilmastolaki (609/2015) säätää valtion viranomaisten tehtävistä ilmastopolitiikan suunnitelmien laatimisessa sekä niiden täytäntöönpanon varmistamisessa. Lain 6 §:ssä säädetään, että ihmisen toiminnasta aiheutuvien kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt ilmakehään vähentyvät

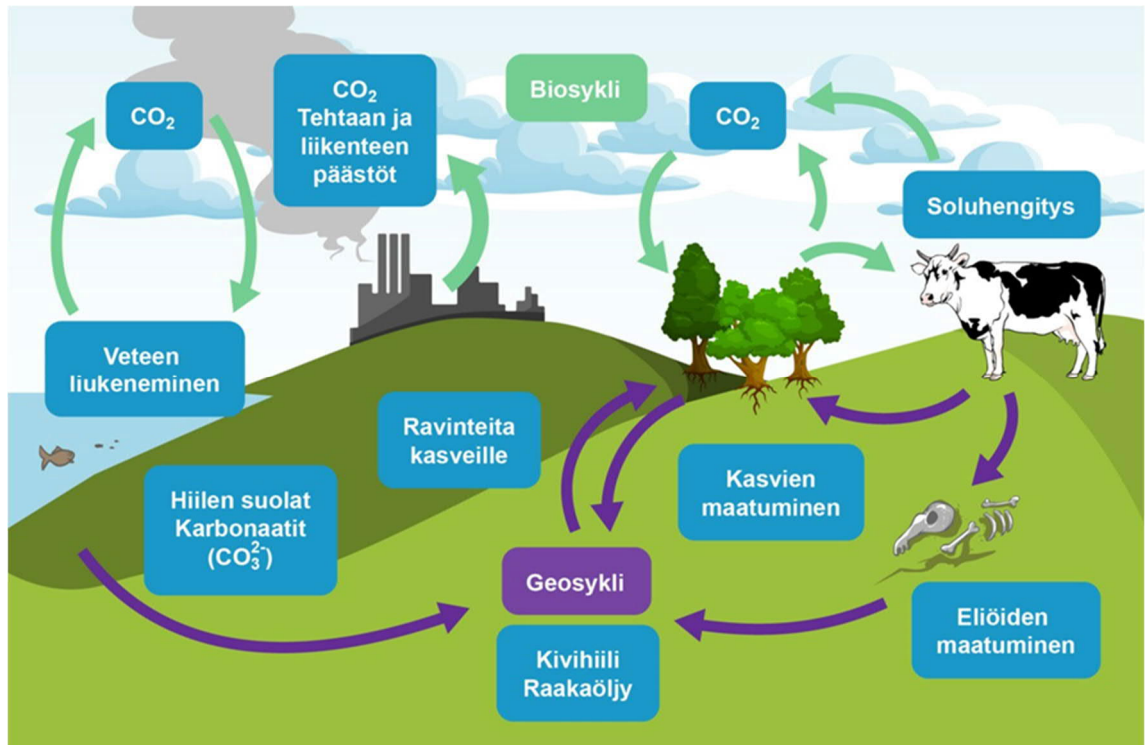
Suomen osalta vuoteen 2050 mennessä vähintään 80 prosenttia verrattuna vuoteen 1990. Lisäksi säädetään Suomen ilmastopoliittisesta suunnittelujärjestelmästä, mikä pitää sisällään pitkän aikavälin ilmastopoliitiikan suunnitelman, keskipitkän aikavälin ilmastopoliitiikan suunnitelman (perustuu lain 1 kohdassa tarkoitetun suunnitelman arvioihin ja tavoitteisiin) ja ilmastomuutoksen kansallisen sopeutumissuunnitelman. (Finlex, 2015.)

Kansallisen metsästrategian tavoitteena on edistää metsistä saatavaa hyvinvointia, lisätä biotaloudesta saatavaa elinvoimaa Suomessa ja turvata metsien kestävä käyttö ja hyödyntäminen. (MMM. 2019, 43.)

3 Metsän hiili ja kasvihuonekaasut

3.3 Hiilen kierto ja käsitteet

Hiili kiertää luonnossa kahdella tavalla, nopeasti elollisessa luonnossa ja hitaasti elottomassa luonnossa. Hiilen kierto on siis biogeokemiallinen kierto ilmakehän, vesistöjen ja maaperän välillä ja siihen osallistuvat myös kasvit ja eläimet (kuva 2). Nopea kierto on nimeltään biosykli ja hidasta kiertoa kutsutaan geosykliksi. Biosyklissä kasvit yhteyttämisreaktiossa ($6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$) sitovat ilman hiilidioksidia ja hiili siirtyy osaksi ravintoketjua. Hiiltä vapautuu soluhengityksessä, hengitysilmassa, lahoamisessa ja maatumisessa takaisin ilmakehään. Geosyklissä hiilidioksidia liukenee veteen, jossa se muuntuu suolamuotoon karbonaatiksi (CO_3^{2-}). Vedestä hiili siirtyy vähitellen maa- ja kallioperään, kun vesieliöt ja kasvit käyttävät karbonaatteja ravinnoksi. Kun eliöt kuolevat ja maatuvat, karbonaatit siirtyvät maa- ja kallioperään muodostaen kerroksia. Hiili kulkeutuu samalla tavalla maaperään maalla elävien eläinten ja kasvien maatuvista jäännöksistä. (Nevanlinna, H. (toim.), 2008. s. 45-50.) Osa hiilestä on sedimentoitunut kivihiileksi, öljyksi ja maakaasuksi (Taalas 2021, 20).



Kuva 2. Hiilen kierto (Jyväskylän yliopisto, 2020).

Metsien hiilitase on tulos puuston ja maaperän yhteen lasketusta hiilen määrästä. Hiilitaseeseen yhdistetään metsätaloutta simuloivissa laskelmissa useimmiten myös puuntuotanto- ja puutuoteketjun hiilitase. Positiivinen tase = varastonkasvu, negatiivinen tase = varaston pieneneminen.

”Hiilensidonta on prosessi, jossa ilmakehän hiiltä siirtyy ja kertyy ekosysteemiin. Hiilensidonnalla kuvataan puuston ja maaperän kykyä sitoa hiiltä. Hiilensidonta on bruttoarvo, josta ei ole vähennetty esimerkiksi hakkuiden aiheuttamaa hiilen poistumaa.” (Tapio, 2021.)

Hiilinielu on mikä tahansa prosessi, mikä poistaa hiilidioksidia tai muuta kasvihuonekaasua tai sen esiastetta ilmakehästä maaperään, meriin tai kasvillisuuteen. Metsä on hiilinielu, kun siihen sitoutuu enemmän hiiltä kuin siitä vapautuu. (Saksa 2020, 7.)

Hiilivarasto on ekosysteemi tai sen osa, jolla on kyky sitoa tai vapauttaa hiiltä ja johon hiiltä on kertynyt/varastoitunut. Metsissä hiilivarastoja ovat maanpäällinen ja maanalainen biomassa (puut ja muut kasvit), kuollut puuaines, karike ja maaperä. Lisäksi hiilivarastoja ovat myös puusta valmistetut tuotteet. Hiilivaraston muutos määräytyy vuosittaisen hiilitaseen mukaan.

Kompensoinnilla tarkoitetaan, että jossain tuotettu päästö korvataan toisaalla aikaansaadulla päästövähennyksellä tai nielun lisäyksellä. Kompensaatio on siis toimenpide, jonka lopputulos on nollapäästö. Jossain aiheutetun hiilidioksidipäästön korvaamiseksi jossain muualla tehdään samansuuruisen päästön vähennys.

Päästökaupalla tarkoitetaan sitä, että jonkin alueen hiilidioksidipäästöt pakotetaan tavoitteisiin antamalla toimijoille tavoitteen mukainen määrä päästöoikeuksia. Toimijat joutuvat valitsemaan, jatkavatko he päästämistä entiseen malliin ja ostavat päästöoikeuksia markkinoilta, vai investoivatko he puhtaampiin ratkaisuihin ja myyvät sen jälkeen oikeutensa muille.

Tapion metsänhoitosuosituksen mukaan

substituutiolla eli korvausvaikutuksella tarkoitetaan sitä, että puusta tehty materiaali tai energia korvaa sille vaihtoehdoisen materiaalin tai energialähteen. Metsän hyödyntämisen ilmastovaikutuksia voidaan parantaa valmistamalla tuotteita, jotka korvaavat tuotteita, joiden valmistaminen aiheuttaa paljon päästöjä. Puutuotteiden hiilivaraston säilymisen aikajänne vaihtelee tuotteiden käyttöön ja kierrätettävyyden perusteella. Uusiutuvan biomassan käytöllä voidaan korvata uusiutumattomiin luonnonvaroihin pohjautuvia tuotteita. (Tapio Oy, 2021.)

Hiilijalanjäljellä kuvataan tuotejärjestelmän päästöjen ja poistumien aiheuttamaa ilmastokuormaa, josta vähennetään hiilensidonnain ja hiilivaraston kasvun positiiviset vaikutukset. Mikäli hiilijalanjälki on negatiivinen, hiiltä sitoutuu ilmakehästä (= päästöjä pystytään välttämään). (Tapio Oy, 2021)

3.4 Kasvihuonekaasut

Kasvihuoneilmion saavat aikaan pääasiassa ilmakehän vesihöyry, metaani, typioksiduuli, alailmakehän otsoni sekä otsonikerrosta tuhoavat kaasut. 1800-luvulta alkaen teollisuuden voimakas kasvu on lisännyt kasvihuonekaasujen määrää ilmakehässämme, mikä on muuttanut ilmakehän säteilyominaisuuksia ja saanut aikaan ilmaston lämpenemisen. (Taalas 2021, 19.)

Tärkein kasvihuonekaasu ilmaston lämpenemisen kannalta on hiilidioksidi. Hiilidioksidipitoisuus on kasvanut esiteollisesta ajasta 146 % ja kasvaa edelleen. Hiilidioksidin on laskettu aiheuttaneen jo 2/3 nykyisestä lämpenemisestä ja sen lähteitä ovat kivihiilen, öljyn, maakaasun, turpeen ja biomassan polttaminen. Hiilidioksidin vaikutus ilmakehässä voi kestää useita satoja vuosia. (Taalas 2021, 20.)

Seuraavaksi tärkein kasvihuonekaasu on metaani. Sen vaikutus tähänastiseen lämpenemiseen on noin 17 % ja metaanin elinikä ilmakehässä on noin 11 vuotta. Metaanin lähteitä ovat kosteikat, märehtijät, riisinviljely, öljy- ja kaasuvuodot sekä liuskeöljyn ja -kaasun käyttöönotto. Lisäksi metaania on varastoituneena arktisiin soihin ja merien pohjiin. Typpioksiduulia eli ilokaasua vapautuu turvepohjaisilta pelloilta. Sen elinikä on noin 114 vuotta ja sen pitoisuus on noussut 122 € esiteollisesta ajasta, mikä vastaa noin 6 % lämpenemisestä. Loput noin 10 % aiheutuu alailmakehän otsonista, mustasta hiilestä ja hiilivedyistä. (Taalas, 2021, 20.)

Taalaksen (2021, 20) mukaan kasvihuonekaasujen pitoisuuksien määrän nousun lisäksi hiiltä sitovien metsien ja alkuperäisen kasvillisuuden hävittäminen pelloiksi, teiksi ja kaupungeiksi on vaikuttanut lämpenemiseen. Suomessa tilanne on kehittynyt kuitenkin parempaan suuntaan, kun sitoutunut hiilimäärä on kasvanut metsien hyvän hoidon seurauksena. Maailmalla on hankkeita, joissa päästöjä kompensoidaan metsää istuttamalla. Taalaksen (2021,21) mielestä ilmasto-ongelman voittaminen ei onnistu muuten kuin puuttamalla voimakkaasti fossiilisten polttoaineiden käyttöön eli kivihiilen, öljyn ja maakaasun käytön roimaan pudottamiseen.

4 Ilmastomuutoksen vaikutukset Suomen metsiin

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomen metsiin ennustetaan erilaisten matemaattisfysikaalisten laskentamallien ja ilmastoskenaarioiden avulla Suomessa. Ilmatieteenlaitos on hyödyntänyt Maailman ilmastotutkimusohjelmassa tuotettuja aineistoja ja laskenut niistä tarkemmalla alueellisella erottelukyvällä Suomen tulevan ilmaston arvioita. (Taalas, 2021, 32). Ennusteisiin liittyy paljon epävarmuuksia etenkin aikavälin pidentyessä (Tapio Oy, 2021).

).

Tärkeimpiä ilmastonmuutoksen vaikutuksia metsiin ja metsätalouteen on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1. Ilmastonmuutoksen keskeisiä vaikutuksia Suomen metsille (Tapio Oy, 2020).

4.1 Lämpötila ja säteily

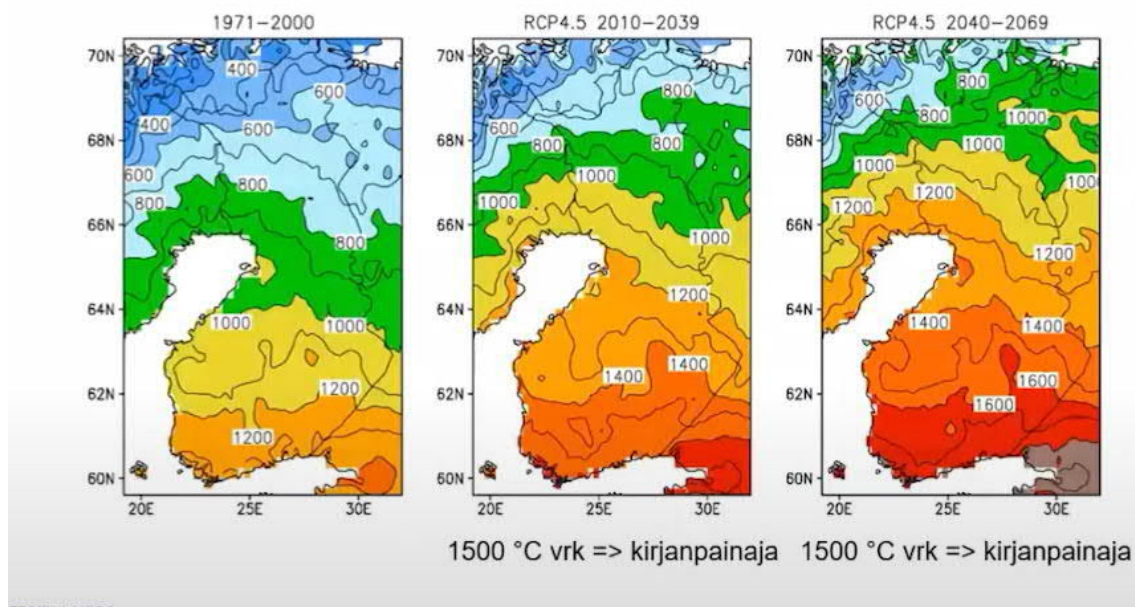
Ilmastonmuutoksen huomaa Suomessa selkeimmin siitä, että lämpötila kohoaa. Mittaushistoria alkaa 1850-luvulla ja sen jälkeen ilmasto on Suomessa lämmennyt noin kaksi astetta. Lämpeneminen on ollut voimakkainta kevään kylminä sääjaksoina ja paikallisesti ilmasto maan keskiosissa on nyt yhtä lämmintä kuin 1800-luvulla maan etelärannikolla. (Mikkonen et al., 2015, 1521–1529). Lämpenemisen ennustetaan jatkossakin olevan pohjoisilla leveysasteilla,

kuten Suomessa, voimakkaampaa kuin maapallolla keskimäärin (Serreze, M. C. ja Barry, R. G. 2011. 77:85).

Maanpinnalle saapuvasta auringonsäteilystä osa heijastuu takaisin ilmakehään. Tätä heijastuvan säteilyn osuutta kuvataan termillä pinnan albedo. Metsän albedo vaihtelee mm. puulajin, rakenteen ja lumipeitteen mukaan. Suomessa kuusimetsissä albedo on pienin, mäntymetsissä vähän suurempi ja lehtimetsissä kaikkein suurin. Lumi kasvattaa metsien albedoa, mutta vähemmän kuin avoimilla alueilla. Kevättalvella tummat havumetsät imevät itseensä enemmän auringonsäteilyä kuin vastaavasti lumen peittämät pellot ja suot. Kasvukauden aikana albedo metsissä vaihtelee vain vähän havu- ja lehtimetsien välillä, ja havumetsien ikääntyessä niiden albedo pienenee. (Kuusinen et al., 2014b, 10-18.)

Lämpeneminen aiheuttaa sen, että termiset vuodenajat siirtyvät ja kasvukauden aikainen lämpösumma kasvaa (kuvio 3). Terminen talvi tarkoittaa sitä, että lämpötila on keskimäärin pakkasen puolella, terminen kesä taas sitä, että lämpötila on yli + 10 ° C ja terminen kevät syksy ovat näiden välissä. Terminen kasvukausi alkaa keväällä, kun keskilämpötila nousee yli +5 ° C ja syksyllä taas kasvukausi päättyy, kun lämpötila laskee pysyvästi alle viiden lämpöasteen. (Lehtonen, I. & Venäläinen, A. & Gregow, H. 2020, 16–17.)

Kun termiset vuodenajat siirtyvät, kasvukaudet pitenevät ja lämpenevät. Puiden kasvu perustuu niiden kykyyn kestää sään ääri-ilmiötä pitkän elinkaarensa aikana ja sopeutumiseen ympäristön sääoloissa tapahtuviin muutoksiin. Boreaalisten puiden vuosisykli on kokonaisuus, jossa kasvun alkaminen ja päättyminen, päätesilmun muodostuminen, soluseinien puutuminen ja karaistuminen seuraavat toisiaan vuosi vuoden jälkeen. Näiden ajoittumista suhteessa ympäristön olosuhteiden muuttumiseen pidetään yhtenä sopeutumisen osoittimena. Tärkeimpiä ympäristötekijöitä ovat ilman ja maan lämpötila, valaistus, valojakoisuus ja maan kosteus. Näiden tekijöiden eli puun sisäisen tilan muutoksia kuin myös ympäristön fysikaalisia muutoksia huomioiden puut pystyvät muuttamaan aineenvaihduntaansa eli aklimoitumaan, kun olosuhteet kasvulle muuttuvat epäsuotuisiksi. Tämä kyky on puun sisäinen tila, mikä muuttuu vuosisyklin aikana. (Repo, 2020, s. 9-10.)



Kuvio 3. Lämpösunnan kehitys eri RCP-skenaarioissa ((Lehtonen ym., 2020).

4.2 Sademäärä, maaperän kosteus ja vedensaatavuus

Maan hienorakenne ja vedenpidätysominaisuudet vaikuttavat maan vesipitoisuuteen ja vesipitoisuus on ensisijainen puiden kasvuun vaikuttava tekijä. Kasvu heikkenee, jos maa on liian kuiva tai liian märkä. (Repo, 2020. s. 13.) Kasvukauden aikainen kuivuus on erityisen haitallista pintajuuristen puiden kuten kuusen kasvulle. Maan märkyys puolestaan aiheuttaa juuriston happivajetta, juurien kuolemista sekä pitkään jatkuessaan juurten kasvun suuntautumista maan pintaosiin, mikä taas lisää myrskytuhoriskiä. (Repo, 2020. s. 14.)

4.3 Routa ja maan kantavuus

Maan routaantumiseen vaikuttavat ilman lämpötila, maan kosteus ja lumipeitteen paksuus. Koska talvien on ennustettu lauhtuvan, myös roudan paksuus ohenee ja maan routa-aika lyhenee. On ennustettu, että etelä- ja keskiosissa maamme vuosisadan lopulla turvemilla kantavaa routaa ei olisi enää ollenkaan. Roudan väheneminen voi altistaa myös myrskytuhoille, vaikka myrskyjä ei esiintyisikään nykyistä enempää. (Lehtonen ym. 2020, 25.) Roudan puuttuminen vaikeuttaa myös puunkorjuuta (Tapio Oy, 2021).

Abioottiset tuhot

Abioottisia tuhoaiheuttajia ovat esimerkiksi tuuli, lumi ja pakkas. Ihmisen aiheuttama toiminta kuten esim. puunkorjuussa tapahtuneet tuhot ovat myös abioottisia tuhoja.

Ilmastonmuutoksen vaikutusta metsäpalovaaraan Suomessa on tutkittu varsin mittavasti. Muun muassa Kilpeläinen et al. (2010), Mäkelä et al. (2014) ja Lehtonen ja Venäläinen (2020) ovat tutkimuksissaan yhtenevästi saaneet selville, että maaperän sisältämän kosteuden määrän pieneneminen eli kuivuus kesällä lisää metsäpalovaaraa. Edellä mainittujen tutkimusten perusteella vaikeat metsäpalo-kesät säilyvät vielä harvinaisina, mutta vuosisadan lopulla niitä voi olla useampia vuosikymmenessä. Metsäpalojen koko kasvaa nopeasti kuivassa maastossa. Metsäpalo-riskien torjunnassa erityisen tärkeää on palosuojelun osaamisen lisääminen, tehokas palojen havainnointi sekä kunnollinen tieverkko, jotta sammutuskalusto saadaan nopeasti palopaikalle. Palontorjunnassa olisi hyvä, jos metsäkonetöitä pystyttäisiin siirtämään pois kaikkein kuivimmilta ajoilta ja näin estämään kipinöiden synnyttämät metsäpalot. (Lehtonen ym. 2020, 28.)

Suomessa merkittävimmät tuulen ja myrskyn aiheuttamat metsätuhot syntyvät matalapainemyrskyjen ja kesäaikaisten ukkosrajuilmojen seurauksena. Suuria, yli 2 miljoonan kuution tuoja aiheuttavia myrskyjä esiintyy noin kerran kymmenessä vuodessa. (Lehtonen ym. 2020, 23.) Sademäärän kasvun lisäys tulee talvella lisääntyneistä sateista (Lehtonen ym. 2020, 18). Talvisateiden lisääntyminen ei kuitenkaan ole haitallista, ellei sade tule vetenä ja jäädy kuoreksi maanpinnalle tai aiheuta runsaita talvitulvia. Nollakelin lumisateiden lisääntyminen aiheuttaa puolestaan lumituhoriskin etenkin korkeilla ja tykkylumiherkillä alueilla lumen kertyessä puiden oksille. (Repo, 2020. s. 14–15.)

4.4 Bioottiset tuhot

Bioottisia tuhon aiheuttajia ovat hyönteiset, sienet ja selkärangaiset. Kuivuus ja tuulituhot lisäävät puuston riskiä erilaisille bioottisille tuhoille. Taloudellista näkökulmasta hirvi ja juurikäpää ovat pahimpia tuhonaiheuttajia (Asikainen et al. 2019).

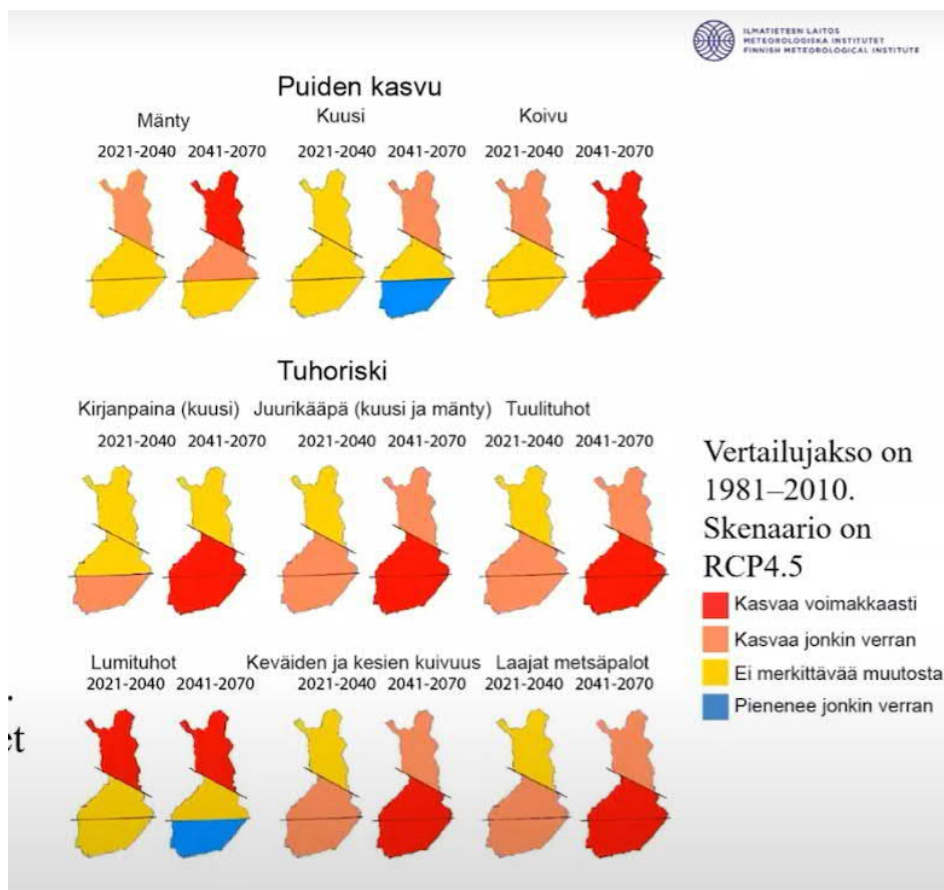
Lämpenevästä ilmastosta hyötyvät monet metsien tuholaislajit. Etenkin kuusia uhkaavat tuhohyönteiset kuten kirjanpainaja. Kirjanpainaja pystyy aiheuttamaan laajoja tuhoja Keski-Euroopan tapaan myös Suomessa. Kuorellisen puutavaran säilyttämiseen ja puhtaiden kuusikoiden perustamiseen on tulevaisuudessa kiinnitettävä enemmän huomioita. Muita seurattavia hyönteisiä, jotka hyötyvät ilmastosta, ovat mm. mäntymittari, mäntypistiäiset, tunturimittarit ja tukkimiehentäi. (Nuorteva, 2020, 4).

Puiden sienituhoja aiheuttavat mm. juurikäpää, tervasroso, versosurma, neulas-karisteet ja ruostesienet (Nuorteva, 2020, 4). Juurikäpäriski on erittäin suuri etenkin jatkuvan kasvatuksen kohteilla. Puulajin vaihtaminenkaan ei näissä kohteissa ole mahdollista (Tapio Oy, 2021).

Juurikäävän leviäminen pohjoiseen jatkuu ja leviämisen ehkäisemiseksi ennakkotorjuntaan on panostettava erityisesti alueilla, minne se ei ole vielä levinnyt.

Runsas hirvikanta altistaa hirvituhoille. Runsaat hirvieläinkannat vaikeuttavat monilajisten ja puulajirakenteeltaan monipuolisten metsiköiden syntyä ja kehittymistä. Hirvieläinkannan runsaus ohjaa myös väärin puulajivalintoihin eli kuusta, mikä sietää huonosti ilmastonmuutosta, istutetaan liian kuiville kasvupaikoille.

Puiden tuhoriskit vaihtelevat maamme eri osissa. Kuviosta 4 näkyy, miten tuhoriskit vaihtelevat maantieteellisesti ja eri tuholajeittain. Samasta kuviosta näkyy, että koivun kasvu lisääntyy koko maassa, männyn erityisesti Pohjois-Suomessa ja kuusi taantuu taas jonkin verran eteläisessä osassa maataamme.



Kuvio 4. Puiden kasvu ja tuhoriskit, RCP4,5 (Lehtonen ym., 2020).

5 Metsien hiilivarastot ja hiilen sidonta

5.1 Suomen metsien hiilivarastot ja hiilen sidonta

Suomen pinta-alasta metsät peittävät noin 73,1 %, mikä tekee Suomesta Euroopan metsäisimmän maan (Forest Europe, 2015, s. 244). Viimeisimmän valtion metsien inventoinnin (VMI12) mukaan Suomen metsien vuotuinen kokonaiskasvu on noin 108 milj. m³ ja kokonaispuuvaranto noin 2,4 mrd. m³. (Luke, 2021.)

Puustoon sitoutunut hiilivarasto on noin 3,2 mrd. t CO₂ ja sen vuotuinen nettoliikitys oli 15,4 milj. t CO₂ vuonna 2018 (Tilastokeskus, 2020).

5.2 Metsien käsittelyn vaikutus

Metsien käsittelytavoista erilaisilla hakkuilla, kiertoaikojen pituudella, hakkuutähteen korjaamisella ja ojituksilla vaikutetaan metsien hiilivarastoihin. Hakkuilla varastoja pienennetään nopeasti ja lopullinen ilmakehään vapautuneen hiilen riippuu siitä, miten pitkä puusta tehtyjen eri tuotteiden elinkaari on. Kansainvälisissä sopimuksissa on sovittu, että laskelmissa käytetään seuraavia arvoja: puutuotteiden hiili puolittuu sahatavarassa 35 vuodessa, puulevyissä 25 vuodessa ja sellussa kahdessa vuodessa. Hakkuutähteen hyödyntäminen energiaksi vapauttaa hiilen nopeammin kuin niiden maatumisen maastossa. Kangasmaiden karikkeentuotanto vähenee päätehakkuun jälkeen ja maaperä muuttuu päästölähteeksi hakkuutähteen ja uuden karikkeen puuttumisen myötä. erilaiset maanmuokkausmenetelmät ja maan pinnan altistuminen suoralle auringonpaisteelle myös lisäävät hiilihävikkiä kangasmailla. Harvennushakkuiden vaikutus maaperään on pienempää ja lyhytaikaisempaa kuin päätehakkuun. Puuvaraston pieneminen pienentää myös hiilivarastoa ja hiilinielua väliaikaisesti, kunnes lisääntynyt kasvu muuttaa tilanteen taas hiilinieluksi. (Repo, 2020. s. 21.)

Harvennusten voimakkuus ja kiertoajan pituus vaikuttavat hiilivaraston kehittymiseen. Kiertoaikaa pidentämällä hiilivarastoa voidaan lisätä, koska puihin varastoituu enemmän hiiltä niiden koon kasvaessa. Kiertoaikojen pituus vaikuttaa myös puusta saatavan tukki- ja kuitupuukertymään ja näin ollen niistä saatavien jalostustuotteiden määrään. (Repo, 2020. s. 22.) Metsänkäsittely turvemaidella vaikuttaa maaperän hiilen vapautumiseen enemmän kuin kivennäismailla, koska turve on tärkeä hiilivarasto. Niin rehevät, ojitetut suot kuin karut metsäojitetut kasvupaikat ovat keskimäärin hiilinieluja. Päätehakkuiden jälkeen puuston haihduntavaikutus häviää ja tällaiset alueet muuttuvat hiilipäästöiksi. Eteläisessä Suomessa puuston haihduntavaikutus on riittävä, kun puustoa on noin 125 m³/ha ja pohjoisessa Suomessa luku on 150 m³/ha. Määrän tulisi täyttyä harvennuksen jälkeenkin. (Repo, 2020. s. 23.)

Metsien hiilinielua pienentävät siis hakkuumäärien lisääminen, nuorten metsien osuuden lisääntyminen, hakkuutähteen ja kantojen korjaaminen pois metsästä, voimakkaat harvennukset, luonnonpoistuma sekä maan muuttaminen muuhun maankäyttömuotoon.

6 Kehittämistyön tavoitteet

Tämä opinnäytetyö on metsänhoidon laadun ja suunnittelun kehittämistyö ilmastonäkökulmasta. Kehittämistyön toimeksiantajana on Joensuun kaupungin kaupunkirakennepalvelut. Maaomaisuus, jonka osana metsät-yksikkö on, kuuluu osana kaupunkirakennepalveluihin. Kaupungin talousarvion tavoiteasetannan mukaisesti kaupunkiympäristön toimialalla edistetään kaupungin keskeisiä strategisia päämääriä toteuttamalla kaupungin ilmasto-ohjelmaa ja kaupungin tekemiä ilmastositoumuksia. (Joensuun kaupunki, 2020, s. 82). Kaupunkiympäristötoimialan toimenpano-ohjelmassa vuodelle 2021 on tavoitteena olla hiilineutraali jo vuonna 2025.

Kehittämistyön menetelmän valintaa vaikuttaa kehittämistyön lähestymistapa. Lähestymistavan valinta helpottaa työn suunnittelua ja kohdistamista kehittämis-kohteeseen. Lähestymistapa liittyy kiinteästi kehittämistyön tavoitteisiin ja sen valinta riippuu suuresti työn tarkoituksesta ja tehtävästä. Kuitenkin samassa työssä voidaan käyttää eri lähestymistapojen piirteitä limittäin. (Ojasalo ym. 2018, 36.)

Tutkimuksellisen kehittämistyön tarkoituksena on kehittää Joensuun kaupungille ehdotus metsäomaisuuden käyttämisestä siten, että kaupungin asettamat hiilitavoitteet toteutuvat myös pitkällä aikavälillä.

6.1 Joensuun kaupungin tavoitteet

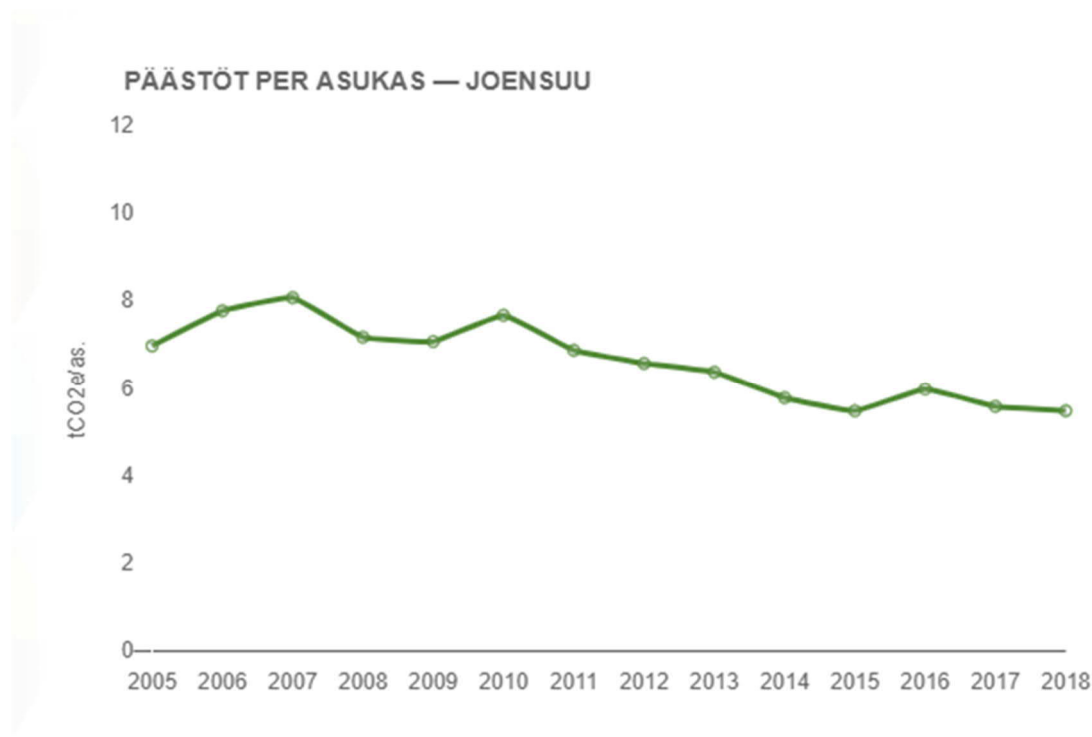
Joensuun kaupungin kaupunginvaltuusto on kokouksessaan 29.1.2018 päättänyt hyväksyä ”Kokeileva, ketterä, kannustava ilmastokaupunki Joensuu” -ilmasto-ohjelman. Ohjelman päämäärä on, että Joensuu on hiilineutraali kaupunki vuoteen 2025 mennessä. tavoitteeseen päästään, kun kasvihuonekaasupäästöt laskevat kaikki toimijat huomioiden -60 % vuodesta 2007 vuoteen 2025. Loppu tavoitteesta täytetään kompensoimalla ja hiilinielujen avulla. Ohjelman muita tavoitteita ovat mm. seuraavat:

- Joensuu tunnetaan aktiivisesta ja innovatiivisesta yhdessä tehdystä ilmastotyöstä.

- Teollisuuden sähkön- ja fossiilisten polttoaineiden kulutus puoliintuu vuoteen 2025 mennessä.
- Liikenteessä valtaosa matkoista tehdään jalan, pyörällä tai joukkoliikenteellä.
- Ajoneuvokanta uudistuu ja vaihtoehtoiset polttoaineratkaisut yleistyvät.
- Energian loppukulutuksesta vuonna 2025 vähintään 90 % perustuu uusiutuviin energianlähteisiin.
- Energiankulutus vähenee vuoteen 2025 mennessä vähintään 25 % vuoden 2007 tasoon verrattuna.
- Jätteiden määrä kääntyy laskuun ja jätteiden kierrätysaste on 55 % vuonna 2020.
- Varaututaan muuttuviin sääolosuhteisiin ja niiden vaikutuksiin.

Kaupunkiympäristössä ohjelman mukaisia toimenpiteitä ovat öljylämmityksestä luopuminen vuoteen 2030 mennessä, Joensuun kaupunkikonsernin energiatehokkuuden lisääminen eli 4 % vuotuisen energiansäästön saaminen vuoteen 2020 mennessä, kaupunkikonsernin käytössä olevien autojen muuttaminen sähkö- tai hybridautoiksi sekä varautuminen sään ääri-ilmiöiden lisääntymiseen. Kuntalaisten ja yritysten tavoitteeksi on asetettu jätteiden kierrätysasteeksi 55 % vuonna 2020, teollisuuden sähkönkulutuksen ja fossiilisten polttoaineiden kulutuksen puolittaminen vuoteen 2025 mennessä, kaukolämmön tuotannossa fossiilisten polttoaineiden käyttö puolittuu vuoteen 2025 mennessä ja loppuu kokonaan vuonna 2030, öljylämmityskohteista puolet vaihtaa lämmitysmuodon uusiuun energiaan vuoteen 2025 mennessä ja valtaosa matkoista tehdään jalan, pyörällä tai joukkoliikenteellä. Lisäksi kouluissa otetaan käyttöön Hiljanet-oppimisympäristö, koulujen ja päiväkotien ruokahävikki puolitetaan vuoteen 2025 mennessä. Kaikissa hankinnoissa huomioidaan ympäristökriteerit ja kierrättämisen menetelmiä tehostetaan ja kehitetään. (KV 29.1.2018 § 3.)

Taulukon 1 mukaan vuonna 2018 joensuulaisen päästöt ovat 5,5 tCO₂-ekv/asukas, kun vaihteluväli Suomessa on 4,9-12,3 tCO₂-ekv/asukas (Syke, Hinkulaskelmat, 2021).



Taulukko 1, Kasvihuonepäästöt asukasta kohti Suomen maakunnissa 2018 (Syke, Hinkulaskenta, 2020).

6.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Joensuun kaupungin omistaman metsäomaisuuden ilmastokestävyyttä. Kaupungin monikäyttömetsille lasketettiin hiilitase, mikä kertoo metsien merkityksen hiilen sidonnan ja varastoinnin kannalta. Tavoitteena oli laskelmien pohjalta luoda suositukset metsänhoito-ohjeiden soveltamiseen ja verrata näitä hyväksytyin linjauksen mukaisiin toimenpiteisiin ja tavoitteisiin. Saatujen tulosten pohjalta laadittiin linjauksen hoitoluokittaisen työohjeiden päivitys.

Tehtävät laskelmat ennustivat Joensuun kaupungin metsäomaisuuden ja hiilitalouden kehitystä seuraavan 40 vuoden aikana eli vuosina 2020-2059. Laskentojen tarkoituksena oli tuottaa Joensuun kaupungille riippumatonta tietoa hiilitalouden ja metsäomaisuuden arvon kehityksestä, puunmyyntitulojen ja metsätaloudesta aiheutuvien kulujen kassavirroista sekä luontoarvojen kehittymisestä metsäomaisuutta koskevaa päätöksentekoa varten.

7 Kehittämistyön toteutus

7.1 Joensuun metsät

Opinnäytetyön aineistona oli Joensuun kaupungin omasta metsävaratiedosta loppuvuoden 2019 tilanteen mukaan tehdyt hiililaskelmat. Kaupungin omistamien metsien kokonaistilavuus on noin 1,4 milj. kuutiota. Näiden laskelmien perustana on kaupungin metsäsuunnitelmätiedot noin 9200 hehtaarilta. Aineistossa on noin 8300 metsikkökuviota, jotka sijaitsevat noin 700 eri tilalla, eri puolilla kaupunkia. Kuviotieto on päivitetty aina, kun kuviolla on tehty toimenpiteitä. Laskennat metsäsuunnitelmassa tehdään Simosol Oy:n Iptim-kasvunlaskentaohjelmistolla. Suurempi ja kattavampi kuviotiedon tarkastus tehdään noin kymmenen vuoden välein. Metsävaratietoa hallinnoidaan Foresta-ohjelmasovelluksella. Kaupungin hyväksytty hakkuusuunnite on enintään 30 000 m³/vuosi ja laskennallinen kasvu noin 52 000 m³/vuosi.

7.2 Laskelmien tavoitteet

Aineiston keruussa käytettiin kvantitatiivinen tutkimuksen menetelmiä eli selvitetään, mikä on hiilen määrä ja missä hiiltä on sitoutuneena. Kehittämistyön tarkoituksena on selvittää laskennallisesti Joensuun kaupungin metsäomaisuuden hiilivarasto ja hiilen määrän muutokset hyväksytyissä toimenpiteissä.

Laskentamenetelmät ovat viime aikoina kehittyneet huomasti eteenpäin ja varsinaiset hiililaskelmat ostettiin kilpailutuksen voittaneelta Tapio Oyj asiantuntijaorganisaatiolta.

Tarkoituksena oli saada luotettavat laskelmat Joensuun kaupungin omistaman metsäomaisuuden hiilivarastosta, hiilinieluista ja hiilipäästöistä. Tavoitteena on saada selville sellaiset keskeiset toimet, joilla pystytään hillitsemään ilmastonmuutosta kuitenkin siten, etteivät asetetut taloudellisen ja sosiaalisen kestävyys-tavoitteet vaarannu.

Laskennassa huomioitiin puustoon sitoutunut hiili, maaperähiili sekä puutuotteisiin sitoutunut hiili. Hiililaskelmien rajoitteissa huomioitiin Joensuun kaupungin

metsänhoitolinjauksessa hyväksytyt metsien käyttö- ja hoitotavat ja laskentaa rajoitetaan linjauksessa olevilla hakkuu- ja tuottotavoiterajoitteilla. Kaupungin ilmasto-ohjelman mukaisesti Joensuun kaupunki pyrkii olemaan hiilineutraali vuonna 2025. Tähän tavoitteeseen päästäkseen kaupungin on todennäköisesti omissa toimissaan tehtävä jonkin verran kompensatioita. Kaupungin metsien hoidon toimenpiteillä voidaan mahdollisesti saada näitä kompensatioita ja tätä mahdollisuutta selvitettiin myös.

7.3 Tapaustutkimus

Tutkimusmenetelmänä tapaustutkimuksessa tutkitaan syvällisesti jotain kohdetta omassa ympäristössä. Usein tapaustutkimuksella vastataan kysymyksiin miten ja miksi. Tapaustutkimuksessa voidaan käyttää sekä laadullisia että määrällisiä tutkimusmenetelmiä. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006.)

Tapaustutkimuksen lopputuotoksena on tarkoitus tehdä kehittämissuhteita tutkitusta tuotteesta, palvelusta, toiminnasta tai prosessista. Tutkimuskohteen suppeus mahdollistaa mahdollisimman suuren tietämyksen sen aiheesta. Tapaustutkimuksen myötä ei ole tarkoitus yleistää kehittämiskohdetta vaan huomioida kohteen yksilölliset piirteet. (Ojasalo ym. 2018, 52-53.)

Tapaustutkimusta käytetään, kun halutaan ymmärtää kunnolla kehittämiskohdetta sekä tuottaa siihen liittyviä parantavia kehitysehdotuksia. Tätä lähestymistapaa voidaan käyttää laajasti tutkimuksissa, joissa pystytään rajamaan tutkittava kohde tarpeeksi tarkaksi. Tapaustutkimuksen vaiheet näkyvät kuviossa 5. (Ojasalo ym. 2018 53-54.)



Kuvio 5. Tapaustutkimuksen tavanomaiset vaiheet (Ojasalo ym. 2018, 54).

Tutkimuksen tarkoituksena on kerätä tietoa, analysoida ja tulkita sitä, ymmärtääkseen tiettyä ilmiötä. Tutkimukset voidaan jakaa laadulliseen, määrälliseen ja yhdistettyyn. Millainen tapa valitaan, riippuu siitä, millaista tietoa tarvitaan tutkimuskysymyksen selvitykseen. (Williams, 2007.)

7.4 Käytetyt laskentamenetelmät

Tässä luvussa selostetaan laskentapalvelussa käytetyt menetelmät. Laskennoissa metsien tuleva kasvu, metsänhoitotarpeet ja hakkuumahdollisuudet mallinnettiin kasvu- ja toimenpidemalleilla. Laskennassa on käytetty ja SIMO-ohjelmistoa, millä on ennustettu puuston vuotuinen kasvu sekä laskettu puuston biomassaa ja kasvussa sitoutuneen hiilen määrä. Vuosittain on ennustettu karikesadanta puustosta ja aluskasvillisuudesta maahan sekä luonnonpoistuma perustuen puuston ikään ja tiheyteen. Hakuiden yhteydessä on laskettu maahan jäävän hukkapuun määrä. Kariketuoannosta, luontaisesti kuolleista puista ja hakuiden hukkapuusta saatiin vuosittainen syöte Yasso-mallille, jolla ennustettiin hiilen kierto maaperässä: maahan sitoutuneen hiilen määrä sekä hajoamisen kautta ilmakehään siirtyvän hiilen määrä. Lisäksi laskettiin metsästä kerätyn puun sisältämän hiilen elinkaari erilaisina puutuotteina sekä metsänhoitotoimenpiteiden ja muun toiminnan aiheuttamat hiilidioksidipäästöt.

Puuston kasvu ennustamisessa käytetyssä SIMO- laskentaohjelmistossa käytetyt puustoa ja puuston kehitystä kuvaavat mallit perustuvat tieteellisissä sarjoissa julkaistuihin artikkeleihin. Puiden kasvu ennustetaan samoilla yksittäisten puiden kasvumalleilla, jotka ovat käytössä Luonnonvarakeskuksen MELA-suunnitteluohjelmistossa (Hynynen ym. 2002). Ne mahdollistavat puuston rakenteen tarkan kuvauksen sekä esim. erilaisten harvennushakkuiden vaikutusten huomioimisen. Metsätieto on kerätty Suomessa metsikön keskitunnusten tasolla; keskimääräinen puuston pituus, läpimitta ja määrä puulajeittain. Simuloinnissa tarvittavat yksittäiset puut tuotettiin laskennallisesti metsikön keskitunnuksista empiirisillä läpimittajakaumamalleilla. SIMO-ohjelmiston kasvumallit kattavat kaikki Suomessa yleisimmin esiintyvät puulajit sekä metsätyypit. (Simosol Oy, 2020, 2.)

Laskennoissa on käytetty metsien käyttö- ja hakkuumahdollisuuksien analysointiin ja metsien käytön suunnitteluun kehitetty MELA-ohjelmistoa. Ohjelmisto jakaantuu simulointiin ja optimointiin. Metsävara-aineiston laskentayksikkönä käytetään esim. yksittäisiä metsikkökuvioita. Suomen oloihin tehty simulointi tuottaa laskentayksiköille vaihtoehtoisia käsittely- ja kehityssarjoja etukäteen määritettyjen laskelmakausien ajalle. (Hynynen, Ojansuu, Hökkä, Siipilehto, Salminen & Haapala, 2002.)

Biomassa koostuu maanpäällisestä biomassasta eli rungosta, oksista ja lehdistä ja maan alla olevista kannosta ja juurista. Biomassamalleista saadaan tuloksena kuiva-ainemassa, joista hiilen osuus on 50 % (Liski ym. 2006). Tämä hiili muodostaa puuston hiilivaraston. Puuston ja aluskasvillisuuden hiilimäärä lasketaan biomassamallien (Repola ym. 2007, Helmisaari ym. 2007, Muukkonen ym. 2006) avulla SIMO:ssa. Muuntokerroin hiilestä hiilidioksidiksi: hiilimäärä (g C) * (44/12) = hiilidioksidimäärä (g CO₂). Hiilen kulkeutuminen puustosta ja kasvillisuudesta maahan sisältää hakkuiden yhteydessä maastoon jäävät hakkuutähteet, luonnonpoistuman ja karikesadannan. Hakkuumalleilla saadaan metsästä poistuvan puuston sekä hakkuutähteiden määrä. Osa hakkuutähteistä jää maahan lahoamaan. Puuston iän ja tiheyden perusteella ennustetaan puuston kuolemista. Karikesadanta ennustetaan (Liski ym. 2006) malleilla. Karikesadanta tarkoittaa puustosta ja metsän muusta kasvillisuudesta vuosittain maahan varisevaa kuol-

lutta materiaalia, jonka sisältämä hiili alkaa maassa hajota. Kariketta tuottava materiaali jaetaan ei-puumainen, hienoon puukarikkeeseen ja karkeaan puukarikkeeseen.

Alkuperäiset kivennäismaan hiilivarastot metsämaalle kasvupaikoittain tulevat julkaisusta Liski ym. julkaisusta Which rotation length is favourable to carbon sequestration (2001). Julkaisu kuvaa kasvupaikan määrittämisen ravinteisuusluokan keskimääräistä hiilivarastoa yli puuston kiertoajan. Turvemaametsien hiilivaraston määrä riippuu turpeen paksuudesta, tiheydestä ja hiilipitoisuudesta.

Yleisesti käytettyjen aineistojen perusteella näitä asioita ei saada yksittäisten alueiden osalta selville, joten turvemaan metsän hiilivaraston määräksi otetaan oletuksena koko Suomen soiden hehtaarikohtainen keskiarvo 592 000 kg/ha. Joh-tuen maaperään sitoutuneen hiilen suuresta absoluuttisesta sekä suhteellisesta määrästä että maantieteellisesti tarkan tiedon puutteesta, maaperään sitoutu-neen hiilen sekä sen muutoksen laskenta muodostaa hiilinielulaskennan suurim-man yksittäisen epävarmuustekijän. (Simosol Oy, 2020, 2-3.)

Maaperän hiilivaraston muutos laskettiin erikseen kivennäismaille ja turvemaille. Kivennäismaille laskenta tehtiin Yasso15 mallilla. Yasso-malli on kehitetty maaperän hiilen määrän, hiilimäärän muutosten ja toisenvaraisen maahengityksen laskemiseen. Yasso15 ennustaa maaperän orgaanisen hiilen varaston suuruu-den ja sen muutokset. Yasso-malli kuvaa maaperässä tapahtuvaa karikkeen ha-joamista ja hiilidioksidin vapautumista sen seurauksena. Maaperän lähtötilanne arvioitiin metsikön tyyppin ja sijainnin mukaan kuten Repo ym. (2020) ja vuotuinen karikesadanta arvioitiin mallinnetun metsikön biomassan perusteella. Kivennäis-maitten hiilinieluun vaikuttaa metsikön puusto ja sen kehitysvaihe, metsänkäsit-tely sekä arvioitu lähtötilanne. Menetelmän keskeisimpiä epävarmuustekijöitä on lähtötilanteen määrittäminen. Maaperän hiili kiertää puuston hiiltä hitaammin, ja sen määrä ja koostumus maaperässä ovat tuhansien vuosien kehityksen tulosta.

Turvemaan maaperän hiilivaraston määrittäminen on vaikeaa. Turveprofiilin hiilivarasto C t/ha riippuu turvekerroksen paksuudesta ja turpeen tiheydestä eikä näitä tietoja ei ole tässä laskelmassa mitattu. Turvemaiden maahiilen muutosta ei ole mah-dollista laskea Yasso15 –mallilla, joten laskennassa ojitetuilla turvemaidella käyte-tään maaperän osalta Kansallisen kasvihuonepäästöselvityksen lukuja (taulukko

2). Luonnontilaisten soiden oletetaan olevan tasapainotilassa. (Simosol Oy, 2020, 2.)

Kasvupaikka	Hiilipäästö, kgC/ha vuodessa	Hiilinielu, kgC/ha vuodessa
Ruohoturvekangas (Rhtkg)	1 959	
Mustikkaturvekangas (Mtkg)	823	
Puolukkaturvekangas (Ptkg)	125	
Varvuturvekangas (Vatkg)		109
Jäkäläturvekangas (Jätkg)		446

Taulukko 2. Ojitettujen ja turvemaiden kasvihuonepäästöt (Kansallinen kasvihuonepäästöselvitys, 2020).

Hakkuissa metsästä poistetun puun sisältämä hiili päätyy tuotantoprosessin kautta puutuotteisiin. Puutuotteilla on elinkaari, jonka ajan hiili on sitoutuneena siihen. Tämän jälkeen sitoutunut hiili joko vapautuu ilmakehään poltossa tai jatkaa sitoutuneena jonakin toisena puuperäisenä tuotteena kierrätyksen kautta. Elinkaarilaskenta tehdään samalla tavalla kuin julkaisussa Liski ym. (2001) sillä poikkeuksella, että elinkaaren lopussa puutuotteet käytetään energiantuotannossa, eli kaatopaikkaloppusijoitus jätetään mallinnuksesta pois. Mallinnuksessa puutuotteet jaetaan neljään luokkaan, joilla jokaisella on erilainen puoliintumisaika. Rakennusmateriaali kuuluu puoliintumisajaltaan pisimpään luokkaa (50 vuotta).

Huonekalujen ja vaihdettavan rakennusmateriaalin puoliintumisaika on 16 vuotta. Kirjojen ja toimistotuotteiden 4 vuotta, kun pakkausmateriaalin, lehtien ja kertakäyttöisen rakennusmateriaalin puoliintumisaika on vuosi. Paperille käytetään 81 % kierrätysastetta (Metsäteollisuus ry, 2015). Erilaisista puutavaralajeista (mäntytkki, kuusitukki, koivutukki, mäntykuitu, kuusikuitu ja koivukuitu) tuotetaan erilaisia tuotteita, joiden prosenttiosuudet mallinnukseen otetaan Metsätalastolli-

sesta vuosikirjasta (Metsäntutkimuslaitos, 2014). Fossiilisen polttoaineen käytöstä hakkuissa, hoitotöissä, puun kuljetuksessa ja muussa toiminnassa aiheutuvan hiilidioksidipäästön arvoina käytetään Karjalainen ym. (1996), VTT LIPASTO (2017), Hieta (2010), Lindblad ym. (2013) ja Wihersaari (2005) saatuja tietoja.

Puutuotteiden tuotannosta aiheutuvan hiilidioksidipäästön arvoina käytetään tutkimusartikkelin (Liski, 2001) arvoja. Puutuotteiden tuotannossa osa raaka-aineesta käytetään energiatuotantoon, jolloin sen sisältämä hiili vapautuu ilmakehään hakkuuvuotena, lisäksi hakkuusta saatava energiapuu poltetaan hakkuuta seuraavana vuonna. Laskennassa puun energiasisältönä käytetään 3,14 MWh/tonni polttokuivaa puuta (kosteus 35 %).

Puumateriaalin käytöstä aiheutuva pitkäaikainen positiivinen ilmastovaikutus perustuu ennen kaikkea fossiilisintensiivisten materiaalien korvaavuuteen (Werner et al. 2005; Sathre and O'Connor, 2010). Raakapuun korvaavuusvaikutusta arvioidaan soveltamalla käytettävissä olevasta kirjallisuudesta saatavia toimintokohtaisia korvaavuuskertoimia mallinnettuihin tuotevolyyymeihin. Sahatavaran ja puulevyjen arvioitu käyttö tarkastelluissa toiminnoissa kuvastaan Suomen kotimaista kulutusta. Arvio perustuu Foreconin raporttiin (2018) sahatavaran ja puulevyjen käytöstä vuosina 2017 ja 2018. Puutuotteiden sekä kartongin oletetaan korvaavan ensisijaisesti vaihtoehtoisia fossiilisintensiivisiä materiaaleja ja toissijaisesti hävitettäessä fossiilisia polttoaineita. Aikaisemman tutkimuksen rajallisuuden takia paperin arvioitu substituutiopotentiaali huomioi ainoastaan hävitettävän paperin uusiutuvan energian raaka-aineena. Niin ikään johtuen lyhyestä elinkaaresta lyhytikäisten rakenteiden puumateriaalin oletetaan korvaavan pelkästään fossiilisia polttoaineita toimiessaan raaka-aineena bioenergialle. Korvaavuuskertoimina jokaiselle hiilitonnille puisissa kantavissa, kantamattomissa ja lyhytikäisissä rakenteissa, sekä paperissa ja kartongissa käytettiin arvoja 1,3; 1,6; 0,4; 0,8 ja 1,4 t C/ t C mainitussa järjestyksessä. Korvaavuuskertoimet kuvaavat puun käytöstä aiheutuvaa vähennystä ilmakehän kasvihuonekaasupäästöissä, kun puu korvaa vaihtoehtoisen fossiilisintensiivisen materiaalin. Puun ja vaihtoehtoisen materiaalin vertailu perustuu elinkaarianalyysiin, jotka huomioivat myös materiaaleihin varastoituneen hiilen (Leskisen ym. (2018)). Suomalaisen sahatavaran ja puulevyyn korvaavuusvaikutusta arvioidaan Leskisen ym. (2018) tutkimuksen toimintojaottelun mukaan. Lyhytikäisten rakenteiden puutavaran oletetaan toimivan bioenergian raaka-aineena ja korvaavan fossiilisia polttoaineita Lippken ym. (2012)

tutkimuksen mukaan. Paperin ja kartongin korvaavuuskertoimet ovat peräisin Soimakallion ym. (2016) tutkimuksesta. Korjatun runkopuun volyymit on muutettu massoiksi Karjalaisen ja Kelomäen (1993) kotimaisten puulajien kuivapainojen mukaan. Kotimaisten pääpuulajien hiilipitoisuudet ovat peräisin samasta tutkimuksesta. Arvio potentiaalisista volyymeistä sahatavaralle, puulevyille, paperille ja kartongille perustuu puutuote- ja massateollisuuden laskettuun saantosuhteeseen. Käytettäessä puuta energiantuotantoon vapautuu ilmakehään hiilidioksidia määrä, joka muodostuu puuainekseen sitoutuneesta hiilestä. Mikäli tällä puuainekseen perustuvalla energiantuotannolla korvattaisiin fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaa energiantuotantoa, vältetään fossiiliin polttoaineisiin sitoutuneen geologisen hiilen palaaminen biologiseen hiilenkiertoon ja osana sitä ilmakehän hiilidioksidiksi. Tätä fossiilisten polttoaineiden vältettyä päästöä laskettaessa katsotaan uusiutuvien polttoaineiden päästökertoimeksi $0 \text{ kgCO}_2/\text{MWh}$. Laskennassa käytetty korvaavuuskerroin, $204 \text{ kgCO}_2/\text{MWh}$, perustuu Suomen energian tuotannon keskimääräisiin päästöihin vuonna 2015 (IEA Statistics 2017). Tämä luku sisältää myös uusiutuvan energian tuotannon, joten sen voidaan katsoa olevan konservatiivinen korvaavuusoletus. Jos tuotettu energiapuu katsottaisiin korvaavan yksinomaan fossiilisia polttoaineita, korvaavuusvaikutus olisi suurempi. (Simosol Oy, 2020, 3-4.)

Paras toimenpideohjelma valittiin optimointimallilla eli taloudellisesti tuottavimman (= nettotulojen nykyarvon maksimointi) toimenpideohjelman löytämisessä käytettiin lineaarista optimointia. Diskonttokorkona kaikissa laskelmissa käytettiin kolmea prosenttia.

Laskentaan voidaan asettaa metsänomistajan/päätöksentekijän tavoitteiden mukaisia rajoitteita, esim. tietty vuosittainen hakkuukertymä, tietyn hakkuutavan maksimimäärä, tai tulojen tasaisuus. Tässä laskelmassa käytetyt rajoitteet on kuvattu tarkemmin kunkin laskentatehtävän yhteydessä.

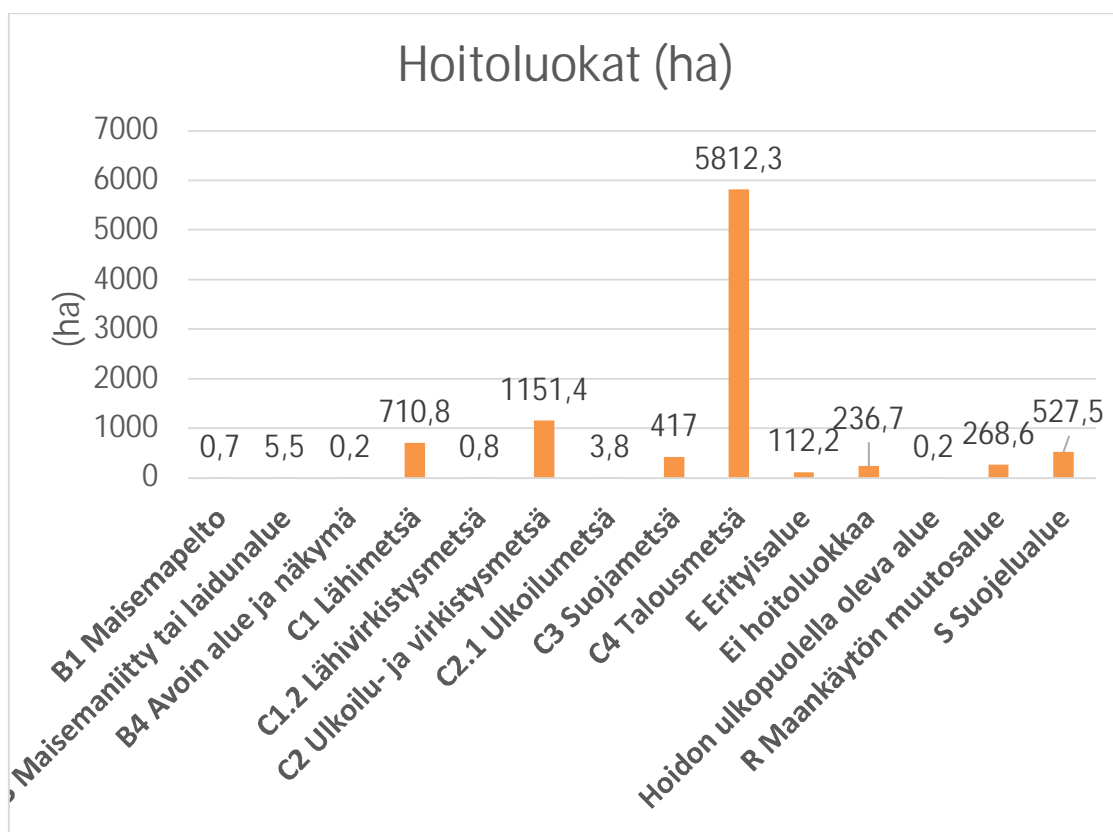
8 Puuston kehitys

8.1 Lähtötilanne

Lähtötilanteen tiedot perustuvat Joensuun kaupungin metsäsuunnitelmaan ja tiedot on päivitetty vuoden 2019 joulukuussa. Laskennassa käytetty metsämaan kokonaispinta-ala on 8 884 ha, josta kangasmaata on 7 230 ha ja turvemaata 1 647 ha.

Puuston keski-ikä on 55 vuotta ja puuston keskitilavuus on 173 m³/ha. Puuston kokonaistilavuus on 1 544 000 m³. Arvioitu tukkiprosentti on 45 %. Keskikasvu on talousmetsissä 6,3, taajamametsissä 5,5 ja suojelumetsissä 5,0 m³/ha/vuosi. Kasvu yhteensä on noin 53 850 m³/vuosi ja ainespuuston nykyarvo noin 48,2 milj. €.

Laskentajaksona käytettiin 40 vuotta eli laskennassa oli mukana vuodet 2020-2059. Laskelmat toteutettiin joulukuussa 2019 ja tammikuussa 2020.



Kuvio 6. Puuston hoitoluokat, ha.

Laskennassa metsät on jaettu niille määritettyjen hoitoluokkien mukaan seuraavasti: talousmetsät (C4), maankäytön muutosalueet (R), erityisalueet ja luokittelemattomat alueet, lähimetsät (C1, C1.2), ulkoilu- ja virkistysmetsät (C2, C2.1) ja suojametsät (C3) ja suojelualueet (S) (kuvio 6).

Laskennassa simuloitiin talousmetsien osalta kolme eri skenaariota sekä lähimetsien että suojelualueiden osalta yksi skenaario kummastakin:

Talousmetsät (C4)

- I Rajoitteena enintään 25 000 m³ vuotuinen hakkuumäärää ja ensiharvennusten ja harvennusten pinta-alan tulee olla vähintään 70 ha / vuosi
- II Rajoitteena enintään 35 000 m³ vuotuista hakkuumäärää ja ensiharvennusten ja harvennusten pinta-ala vähintään 70 ha / vuosi
- III Hyvän metsänhoidon suositusten (2019) mukaiset hakkuu- ja metsänhoitotoimenpiteet

Lähimetsät (C1, C1.2), ulkoilu- ja virkistysmetsät (C2, C2.1) ja suojametsät (C3)

- IV Rajoitteena alle 5000 m³ vuotuinen hakkuumäärä ja hakkuutapoina sallitaan vain Hyvän metsänhoidon suositusten (2019) mukaiset poiminta- ja pienaukkohakkuut

Suojelualueet (S), kaikki toimenpiteet on kielletty.

Laskentajakso on kaikissa laskentavaihtoehdoissa 40 vuotta eli vuodet 2020-2059.

8.1.1 Talousmetsät skenaario I

Laskentatehtävän tavoitteena oli nettotulojen nykyarvon maksimointi 3 % korkokannalla. Laskenta tehtiin Joensuun kaupungin talousmetsien metsienhoidon toimenpideohjelman mukaisen vuotuisen hakkuukertymän perusteella eli noin 25 000 m³/vuosi.

Laskennassa käytettiin seuraavia rajoitteita:

- vuosittainen hakkuukertymä enintään 25 000 m³

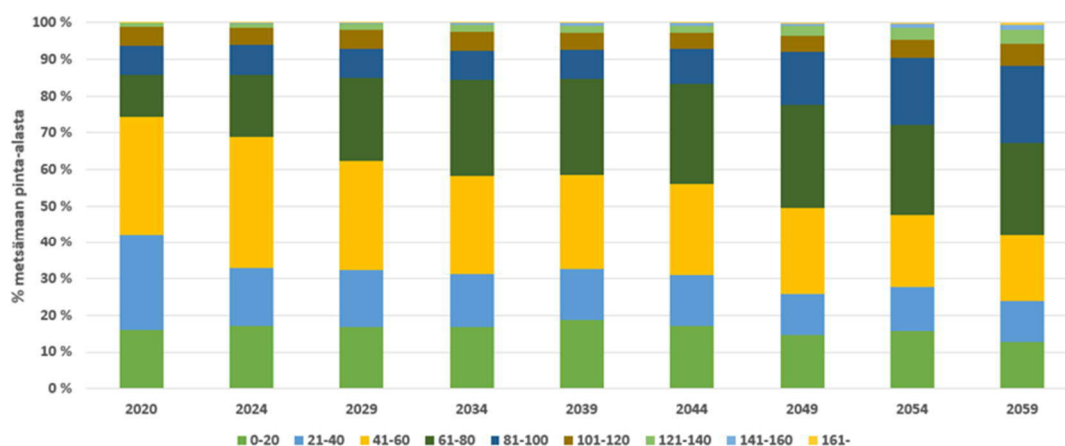
- ensiharvennusten ja harvennusten vuosittaisen pinta-alan tulee olla vähintään 70 ha/vuosi
- kaikki Hyvän metsähoidon suositusten (2019) mukaiset toimenpiteet sallittuja, metsänhoidonlinjauksen mukaiset rajoitteet uudistusalojen koolle

Tässä laskennassa lähtötietoina käytettiin hoitoluokkien C4, R, erityisalojen sekä luokittelemattomien alojen metsämaan kokonaispinta-alaa 6 328 ha. Pinta-alasta kangasmaata on 4 908 ha ja turvemaata 1 420 ha. Puuston keski-ikä on 51 vuotta, keskitilavuus 156 m³/h ja kokonaistilavuus 989 338 m³. Tukkiprosentti on 37 % ja keskikasvu 6,3 m³/ha/vuosi. Kokonaiskasvu on yhteensä: 39 874 m³ ja ainespuuston nykyarvo noin 36,2 milj. €.

Laskennan alussa Joensuun kaupungin talousmetsien kokonaistilavuus on noin 989 000 m³, keskimäärin 156 m³/ha. Tarkastelujakson lopulla puuston kokonaistilavuus on kasvanut reiluun 1,3 miljoonaan kuutiometriin, keskimäärin 210 m³/ha (kuvio 8).

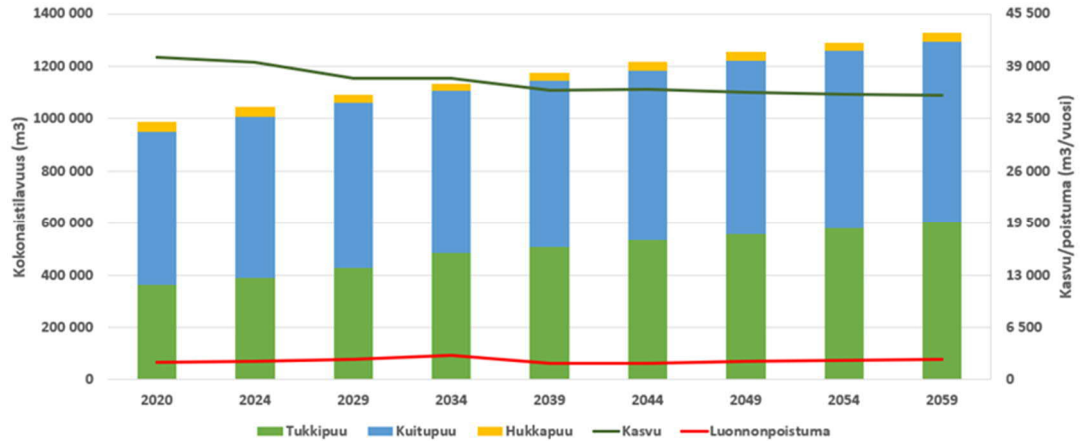
Kokonaiskasvu laskee tarkastelujakson loppuun mennessä tasolle 35 500 m³/vuosi, ollen alussa 40 000 m³/vuosi. Myös keskikasvu laskee tarkastelujakson aikana tasolle 5,6 m³/ha/vuosi, alussa 6,3 m³/ha/vuosi.

Pääsiallisena syynä tähän on talousmetsien ikärakenteen vanheneminen (kuvio 7). Keskikasvu vastaa hyvin maakuntakohtaista keskiarvoa tarkasteluajanjaksoilla.



Kuvio 7. Puuston iän kehitys, talousmetsät.

Puuston kokonaistilavuus tarkastelujakson lopussa oli suurin 25 000 m³ vuosittaisella hakkuumäärällä, jolloin kokonaistilavuus kasvoi tarkastelujaksolla lähes 350 000 m³.



Kuvio 8. Puuston kokonaistilavuus, kasvu ja luonnonpoistuma, talusmetsät.

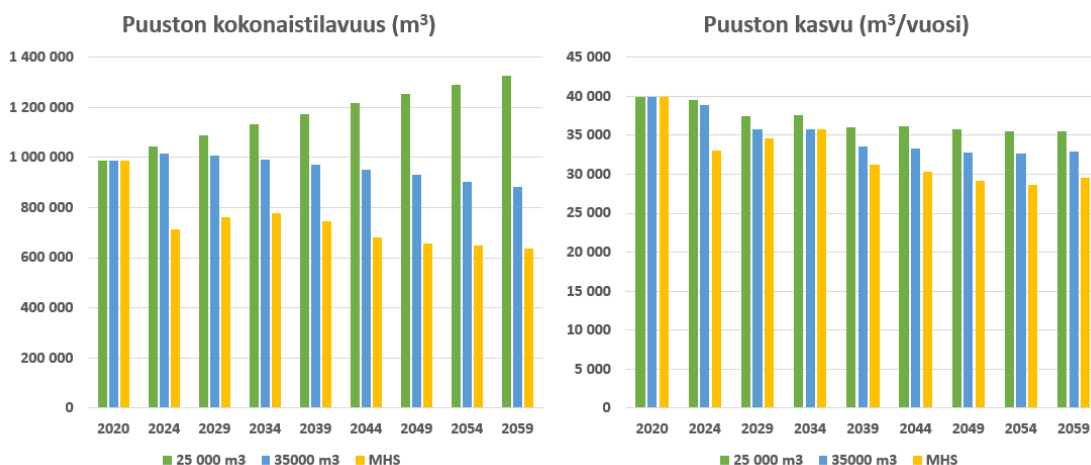
Laskelman mukaan keskimääräinen vuosittainen bruttotulo tarkastelujaksolla on noin 975 000 €. Ainespuuston nykyarvo kasvaa tarkastelujaksolla 47,2 milj. €, laskennan alussa 36,2 milj. € (taulukko 3). Puuston hakkuuarvo nousee tasaisesti tarkastelujaksolla. Keskimääräinen arvokasvu-% nousee voimakkaasti etenkin 2040-luvulla, mutta taantuu tarkastelujakson loppuun mennessä 6,4 % (alussa 6,3 %).

	2019	2020-2029	2030-2039	2040-2049	2050-2059
Hakkuukertymä (m ³ /vuosi)		25 036	24 987	25 039	24 975
Puuston kasvu (m ³ /vuosi)		39 022	36 738	35 952	35 499
Luonnonpoistuma (m ³ /vuosi)		2 315	2 569	2 191	2 500
Hakkuutulot (€/vuosi)		937 938	888 502	1 078 097	998 844
Ensiharvennusten pinta-ala (ha/vuosi)		30,3	8,8	5,4	15,6
Harvennusten pinta-ala (ha/vuosi)		49,9	107,1	64,5	54,5
Uudistushakkuiden pinta-ala (ha/vuosi)		87,4	48,0	57,1	62,0
Puuston tilavuus kauden lopussa (m ³)	989 338	1 090 107	1 173 628	1 254 442	1 326 943
Lehtipuuston osuus tilavuudesta (%)	21 %	20 %	18 %	17 %	15 %
Uudistuskypsien metsien osuus alasta (%)	15 %	17 %	19 %	19 %	23 %

Taulukko 3. Yhteenveto, talusmetsät.

8.1.2 Talousmetsät skenaario II

Toinen vaihtoehtolaskelma tehtiin siten, että vuotuinen hakkuumäärä on enintään 35 000 m³. Ensiharvennus- ja harvennushakkuiden määrä oli sama kuin ensimmäisessä laskelmassa eli vähintään 70 ha vuodessa (kuvio 9). Metsänhoidon linjauksen mukaiset rajoitteet ja lähtötiedot olivat samat kuin skenaariossa I.



Kuvio 9. Puuston kokonaistilavuuden kehitys ja kasvu, kaikki skenaariot, talousmetsät.

35 000 m³ vuosittainen hakkuumäärä tuotti suurimmat keskimääräiset vuotuiset bruttotulot sekä suurimman tuottoarvon 3 % diskonttokorkokannalla. Suuremmalla vuosittaisella hakkuumäärällä kokonaistilavuus laski hieman tarkastelujakson aikana.

8.1.3 Talousmetsät skenaario III

Kolmannessa vaihtoehdossa hakkuu- ja metsänhoitotoimenpiteet laskettiin Hyvän metsänhoidon suositusten (MHS 2019) mukaan ja kaikki metsänhoitosuunnitelman (2019) mukaiset hakkuu- ja metsänhoitotoimenpiteet sallittiin. Lähtötiedot olivat samat kuin skenaariossa I.

Keskikasvu (m³/ha) on tarkastelujakson lopussa suurinta 25 000 m³ vuosittaisella hakkuumäärällä ja pienintä MHS (2019) mukaisilla hakkuutoimenpiteillä. MHS (2019) mukaiset hakkuutoimenpiteet tuottivat suurimman vuosittaisen hakkuukertymän (kuvio 9).

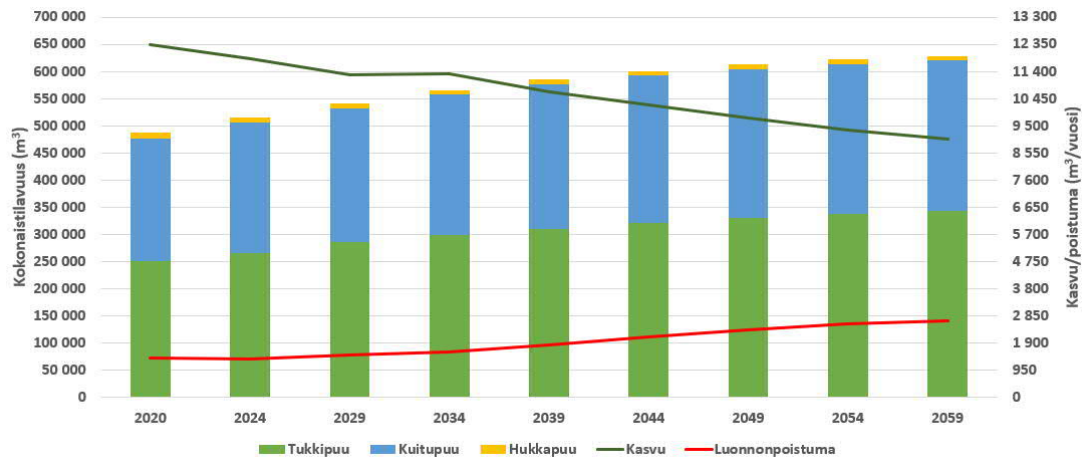
8.1.4 Lähi- ja ulkoilumetsät skenaario IV

Taajamametsien laskentavaihtoehdossa laskennassa olivat mukana hoitoluokat lähimetsät C1 ja C1.2, ulkoilu- ja virkistysmetsät C2 ja C2.1 sekä suojametsät C3, kokonaispinta-alaltaan 2 257 ha. Pinta-alasta kangasmaata on 2 094 ha ja turve- maata 164 ha. Puuston keski-ikä on 47 vuotta, keskitilavuus 215 m³/h ja kokonaistilavuus 487 337 m³. Tukki-prosentti on 51 % ja keskikasvu 5,5 m³/ha/vuosi. Kokonaiskasvu on yhteensä: 12 508 m³ ja ainespuuston nykyarvo noin 11,0 milj. €. Laskentatehtävän tavoitteena oli nettotulojen nykyarvon maksimointi 3 % korkokannalla.

Laskennassa käytettiin seuraavia rajoitteita:

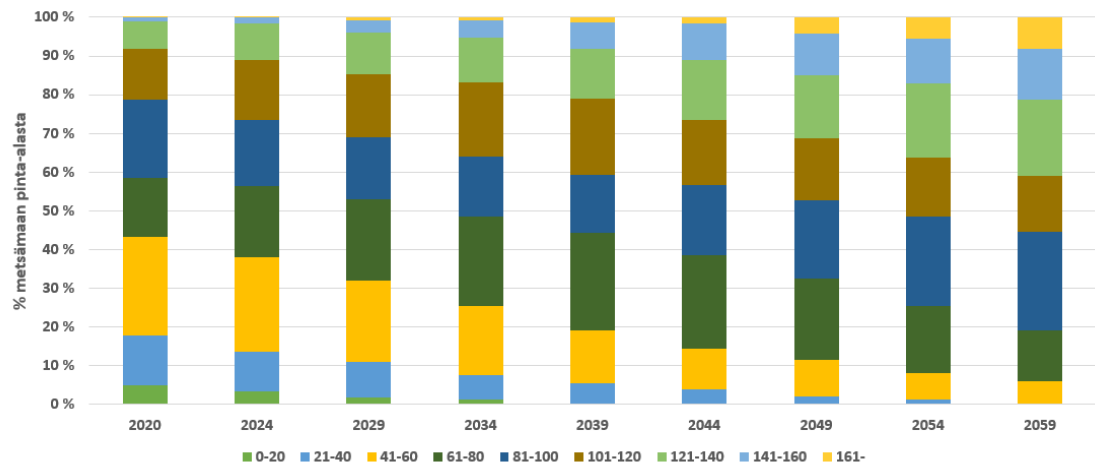
- vuotuinen hakkuukertymä alle 5 000 m³
- vain poiminta- ja pienaukkohakkuut sallittuja
- metsänhoitotoimenpiteissä noudatetaan Hyvän metsänhoidon suosituksia (2019)

Taajamametsien (hoitoluokat C1, C2 ja C3) puuston kokonaistilavuus laskennan alussa oli 487 300 kuutiometriä ja keskitilavuus 215 m³/ha. Laskentajakson lopussa puuston kokonaistilavuus on kasvanut yli 627 800 kuutiometriin ja keskitilavuus 278 m³/ha (taulukko 10). Samasta taulukosta x näkyy myös kokonaiskasvun lasku eli kasvu laskee olennaisesti alun 12 500 m³/v noin 9 000 m³/v. Tämä johtuu selkeästi kasvua pienemmistä hakkuista ja puuston ikääntymisestä (kuvio 10). Mikäli nykyinen puuston kasvun taso halutaan säilyttää, puuston hakkuumäärää tulisi lisätä laskennassa käytetystä ja varmistaa nuorempien, voimakkaassa kasvussa olevien metsien riittävä säilyminen.



Kuvio 10. Puuston kokonaistilavuus, kasvu ja luonnonpoistuma, taajamametsät.

Vähäiset hakkuut (5 000 m³/v) ja ainoastaan pienaukko- ja poimintahakkuiden salliminen muokkaavat taajamien ikäluokkajakaumaa yhä vanhempaan suuntaan (kuvio 11).



Kuvio 11. Puuston iän kehitys, taajamametsät.

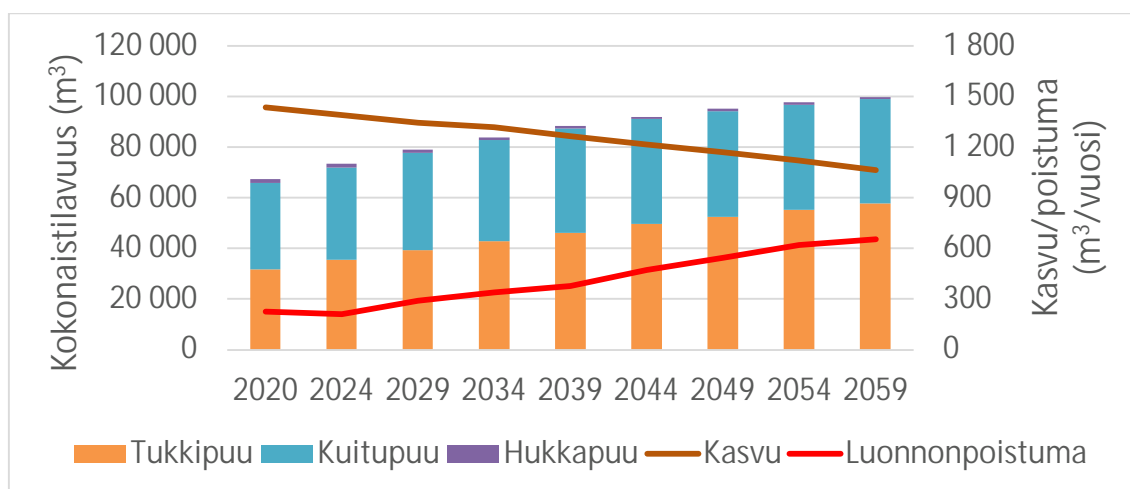
Laskelman mukaan taajamametsistä saatava vuotuinen bruttotulo on keskimäärin 196 000 € tarkastelujakson aikana. Taajamametsille tyypillisen maisemahoidon kuluja, kuten pienpuuston hoitoa tai ennakkoraivauksia ei ole huomioitu laskennassa. Vähäiset hakkuut kasvattavat tasaisesti puuston hakkuuarvoa, mutta keskimääräinen arvokasvu (%) taantuu alun 4,0 prosentista 1,6 prosenttiin (taulukko 4).

	2019	2020-2029	2030-2039	2040-2049	2050-2059
Hakkuukertymä (m ³ /vuosi)		5 000	5 000	5 000	4 998
Puuston kasvu (m ³ /vuosi)		11 840	11 008	9 999	9 185
Luonnonpoistuma (m ³ /vuosi)		1 423	1 720	2 242	1 713
Hakkuutulot (€/vuosi)		183 857	209 403	201 352	189 963
Poimintahakkuiden pinta-ala (ha/vuosi)		39,0	22,2	23,0	27,0
Puuston tilavuus kauden lopussa (m ³)	487 337	540 974	584 631	612 762	628 731
Lehtipuuston osuus tilavuudesta (%)	30 %	31 %	32 %	31 %	30 %
Uudistuskypsien metsien osuus alasta (%)	32 %	60 %	70 %	77 %	83 %

Taulukko 4. Yhteenveto, taajamametsät.

8.1.5 Suojelualueet

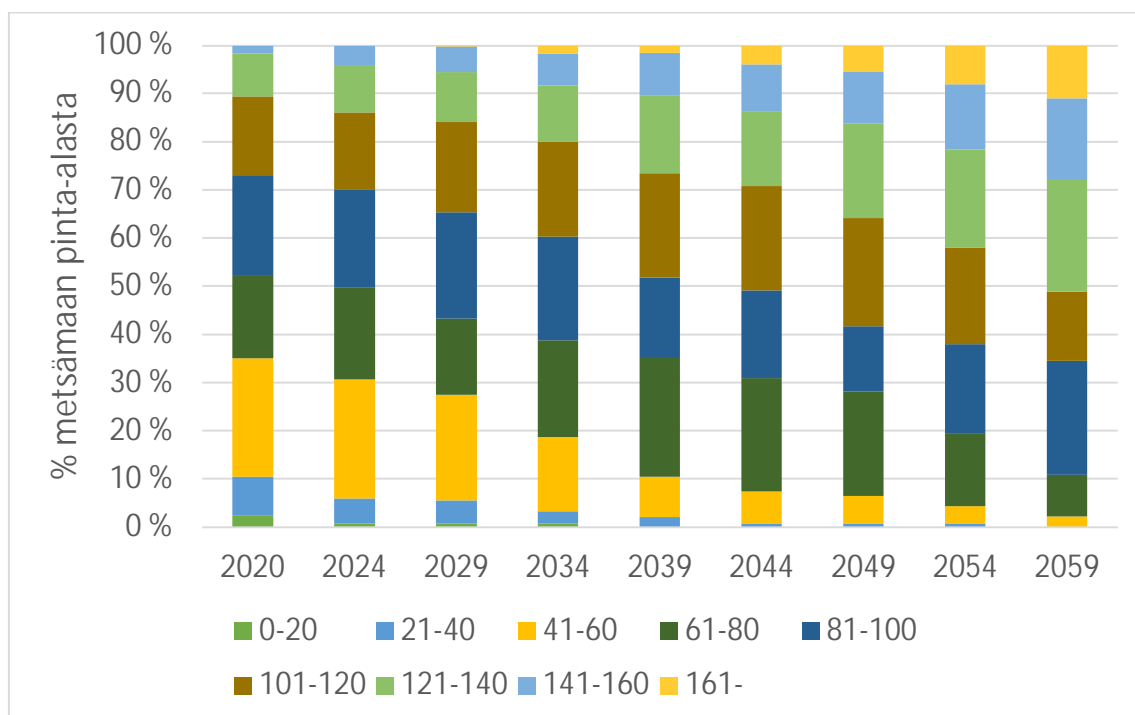
Suojelumetsien laskentavaihtoehdossa mukana oli hoitoluokka S eli suojelualueet, yhteensä 522 ha. Pinta-alasta kangasmaata on 228 ha ja turvemaata 63 ha ja kitu- ja joutomaata 231 ha. Puuston keski-ikä on 54 vuotta, keskitilavuus 232 m³/h ja kokonaistilavuus 67 400 m³. Tukki-prosentti on 47 % ja keskikasvu 5,0 m³/ha/vuosi. Kokonaiskasvu on yhteensä: 1 450 m³ ja ainespuuston nykyarvo noin 2,35 milj. €. Laskennan alkuhetkellä suojelumetsien puuston kokonaistilavuus metsämaalla on 67 400 m³ ja keskitilavuus 232 m³/ha. Tarkastelujakson lopulla vastaavat luvut ovat 99 700 m³ ja 344 m³/ha (kuvio 12).



Kuvio 12. Puuston kokonaistilavuus ja kasvu laskentakaudella.

Puuston kokonaiskasvu taantuu alun 1 450 m³/vuosi 1 070 m³/vuosi. Keskikasvun muutos on samansuuntaista, tarkastelujakson loppuun mennessä keskikasvu on hiipunut alun 5,0 m³/ha/vuosi lopun 2,8 m³/ha/vuosi keskikasvuun.

Metsien ikäluokkarakenteen muutos kohti vanhempaa on selvästi havaittavissa. Laskennallisesti vuonna 2059 yli 100-vuotiaiden metsien osuus olisi yli 65 % (kuvio 13).



Kuvio 13. Puuston iän kehitys suojelualueilla.

Puuston kokonaiskasvu taantuu alun 1 450 m³/vuosi 1 070 m³/vuosi. Keskikasvun muutos on samansuuntaista, tarkastelujakson loppuun mennessä keskikasvu on hiipunut alun 5,0 m³/ha/vuosi 2,8 m³/ha/vuosi keskikasvuun.

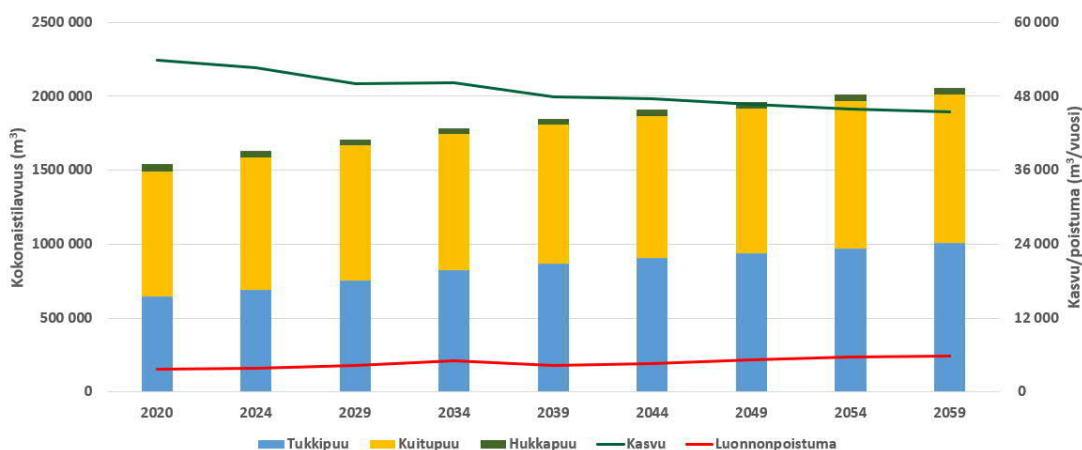
Puuston kasvu ja luonnonpoistuma alkavat lähentyä toisiaan enenevässä määrin tarkastelujakson loppua kohti mentäessä (taulukko 5).

	2019	2020-2029	2030-2039	2040-2049	2050-2059
Puuston kasvu (m ³ /vuosi)		1 397	1 291	1 192	1 094
Luonnonpoistuma (m ³ /vuosi)		235	359	510	638
Puuston tilavuus kauden lopussa (m ³)	67 408	78 975	88 301	95 126	99 685
Lehtipuuston osuus tilavuudesta (%)	38 %	36 %	34 %	30 %	26 %
Uudistuskypsien metsien osuus alasta (%)	61 %	66 %	78 %	83 %	87 %

Taulukko 5. Yhteenveto suojelumetsien kehityksestä.

8.2 Puuston tilanne laskentakauden lopussa

Puuston kokonaistilavuus kasvaa koko metsäomaisuuden osalta laskentajakson loppuun mennessä 2 055 000 kiintokuutiioon (kuvio 14).



Kuvio 14. Puuston kokonaistilavuus, kasvu ja luonnonpoistuma, kaikki metsät.

Puuston kasvu (m³/vuosi) hidastuu laskentajakson aikana vajaasta 50 000 kuutiometrissä 40 000 kuutiometriin ja luonnonpoistuman määrä (m³/vuosi) kasvaa laskentajakson aikana vajaasta 4 000 kuutiometrissä noin 6 000 kuutiometriin (kuvio 14).

Puuston kehityksen syynä ovat vähäiset hakkuu- ja metsänhoitotoimenpiteet, joiden vähäinen määrä korostuu entisestään puuston kasvun heikentymisenä laskentajaksoa pidemmällä aikavälillä. Pidemmällä laskentajaksolla enintään 25 000 m³ vuosittaisen hakkuukertymän myötä puuston kasvutunnukset kääntyvät laskuun verrattuna suurempiin hakkuumääriin (taulukko 6).

Aikajakso 2020-2059	25 000 m ³	35000 m ³	MHS
Bruttotulot keskimäärin (€/vuosi)	975 846 €	1 345 020 €	1 344 204 €
Pystypuuston tuottoarvo 3,0% korkokanta (€)	36 230 483 €	38 553 989 €	37 638 506 €
Puuston kokonaistilavuus laskentajakson lopussa (m ³)	1 326 943	880 781	635 075
Hakkuukertymä keskimäärin (m ³ /vuosi)	25 009	34 396	37 730
Hakkuukertymä suhteessa nykyiseen kasvuun (%)	63 %	86 %	95 %
Hakkuukertymä suhteessa koko jakson kasvuun (%)	68 %	98 %	116 %
Avohakkuiden pinta-ala keskimäärin (ha/vuosi)	75,5	105,8	109,0
Avohakkuiden osuus pinta-alasta (%)	1,2 %	1,67 %	1,72 %

Taulukko 6: Keskeiset erot eri skenaarioiden välillä.

Laskenta on tehty vanhalla Mela-mallilla. Malli laskee kasvut liian pieniksi, joten todellisuudessa kasvut etenkin kehitysluokan 03 kuusikoissa ovat suurempia kuin näissä laskelmissa saadut tulokset (Karppinen, S. Metsälehti 2021, s.9).

9 Hiilitase

Hiilitaselaskennan tavoitteena oli tuottaa riippumatonta tietoa Joensuun kaupungin talousmetsien vuosittaisen hiilitaseen muutoksista laskentajaksolla.

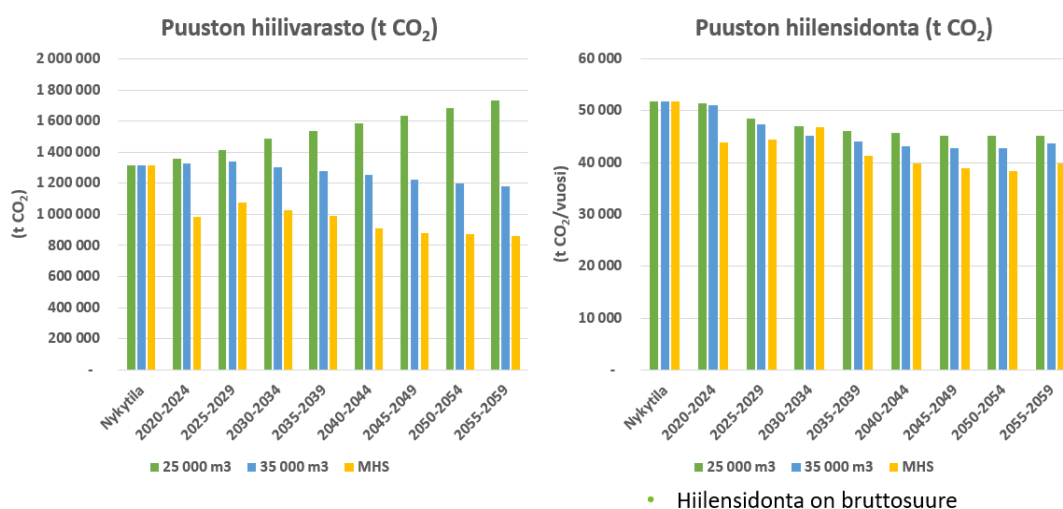
Yhteenvedossa tulokset ilmoitetaan nykytilanteen, + 10 vuotta ja + 40 vuotta osalta ja talousmetsien osalta hiilitaselaskennassa vertaillaan kolmen eri edellä selostetun skenaarion vaikutusta vuosittaiseen hiilitaseeseen.

Laskennassa on huomioitu puuston hiilivaraston muutokset eli puuston kasvun hiilensidonta, luonnonpoistuman aiheuttamat päästöt ja hiilen poistuma hak-

kuissa, maaperään sitoutuneen hiilen määrän muutokset sekä taajama- ja talousmetsien hakatusta puustosta valmistettavien lopputuotteiden hiilivarasto ja muutokset ja hakkuiden ja metsänhoitotoimenpiteiden sekä kaukokuljetuksen hiilipäästöt. Bioenergian korvaavuusvaikutus energiantuotannossa vaihtoehtoihin energialähteisiin on myös huomioitu laskennassa taajama- ja talousmetsien osalta. Hiilitaselaskennan laskentajakso kattaa 40 vuotta eli vuodet 2020-2059 ja laskennan tulokset on raportoitu 5-vuotiskausittain.

9.1 Puuston hiilivarasto ja hiilensidonta

Skenaario talousmetsät



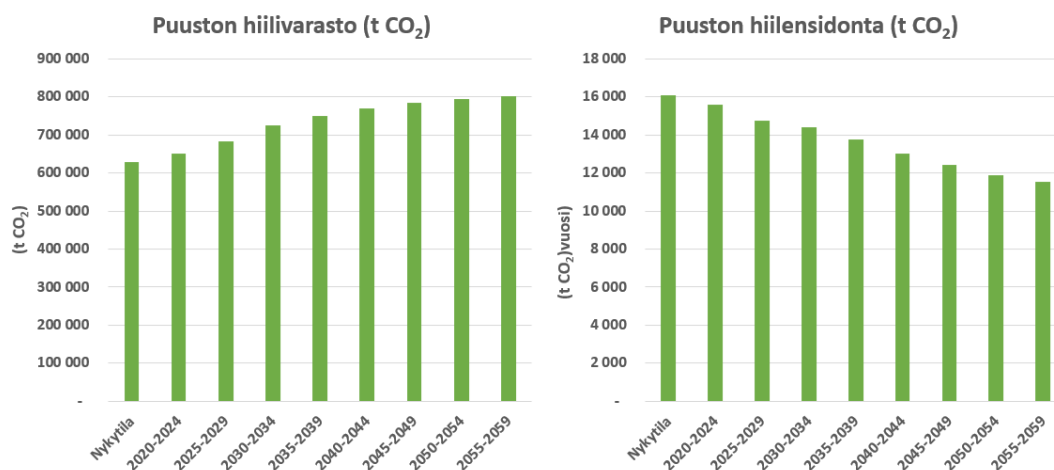
Kuvio 15. Hiilivarasto ja hiilensidonta, talousmetsät.

Vuonna 2059 puuston hiilivarasto on suurin 25 000 m³ vuotuisella hakkuumäärällä eli 1 733 000 t CO₂.

Puuston hiilivarasto kasvaa 25 000 m³/vuosi hakkuumäärällä reilu 400 000 t CO₂ laskentajakson aikana, kun taas 35 000 m³/vuosi hakkuumäärällä ja MHS (2019) mukaisten hakkuumäärien myötä hiilivaraston koko laskee hieman (kuvio 15).

Puuston keskimääräinen vuotuinen hiilensidonta on 48 500 t CO₂ ja hiilinielu 11 200 t CO₂ suurimmat 25 000 m³ vuotuisella hakkuumäärällä kuin muilla vaihtoehdoilla.

Skenaario taajamametsät



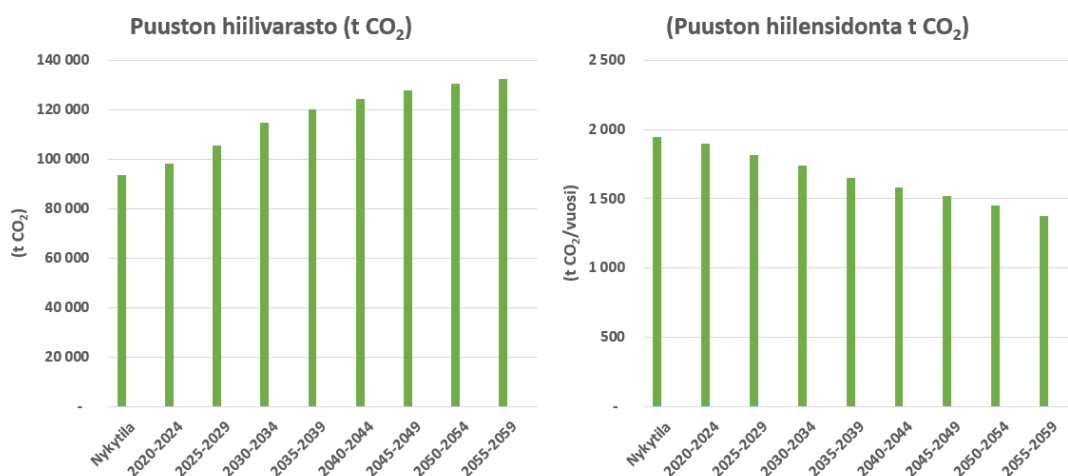
Kuvio 16. Hiilivarasto ja hiilensidonta, taajamametsät.

Laskentajakson aikana taajamametsien puuston hiilivarasto on kasvanut noin 170 000 t CO₂ lähtötilanteeseen nähden ja taajamametsien puuston hiilivarasto on vuonna 2059 800 900 t CO₂ (kuvio 16).

Taajamametsien puuston hiilensidonta ja hiilinielun suuruus pienenevät tarkastelujakson loppua kohti mentäessä ja pääasiallisena syynä tähän ovat vähäiset hakkuut ja sitä myötä järeytyvä ja vanheneva puusto. Pidemmällä aikavälillä suuremmat hakkuut parantaisivat hiilitasetta, koska puustorakenteen nuorentaminen lisää kasvua pitkällä aikavälillä.

Metsän kokonaishiilivarasto, mikä sisältää puuston ja maaperän hiilen, on laskentajakson lopussa 2 073 660 t CO₂ ja metsän vuotuinen hiilitase laskentajakson alussa on 12 900 t CO₂/vuosi ja lopussa 6 350 t CO₂/vuosi.

Skenaario suojelumetsät



Kuvio 17: Hiilivarasto ja hiilensidonta, suojelumetsät.

Laskentajakson lopussa, vuonna 2059, puuston hiilivarasto on noin 132 600 t CO₂ ja puuston hiilivarasto kasvoi laskentajakson aikana noin 40 000 t CO₂ (kuvio 17).

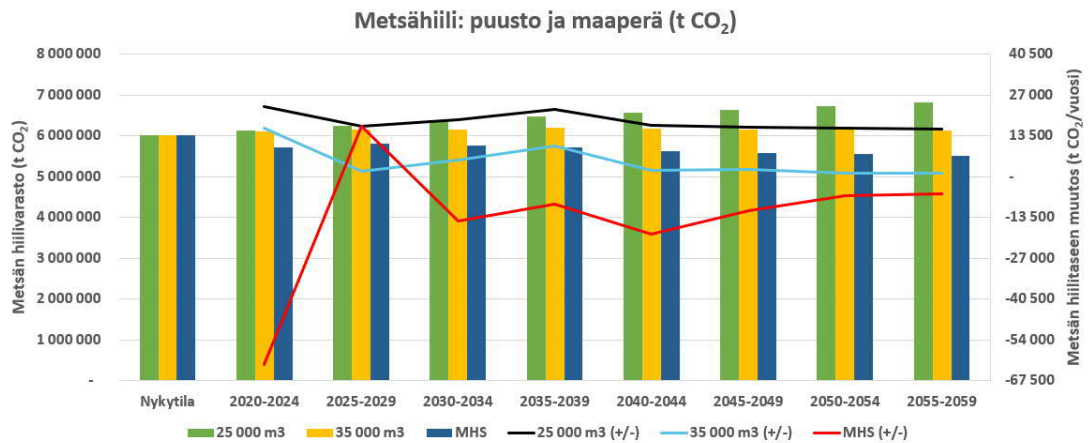
Puuston vuotuinen hiilensidonta ja hiilitase laskevat merkittävästi laskentajakson aikana ja vuotuinen hiilensidonta laskentajakson alussa on 1 940 t CO₂/vuosi ja lopussa 1 380 t CO₂/vuosi. Vuotuinen hiilitase laskentajakson alussa on 1 580 t CO₂/vuosi ja lopussa 388 t CO₂/vuosi. Luonnonpoistuman hiilipäästöt kasvavat laskentajaksolla voimakkaasti ja ylittävät vuotuisen hiilitaseen laskentajakson lopussa mikä aiheutuu puuston järeytymisestä ja metsänhoidon toimenpiteiden puuttumisesta. Maaperän ja sitä myötä metsän (sis. puuston ja maaperän) hiilivarastot kasvavat laskentajakson aikana.

9.2 Hiilitase ja sen muutos

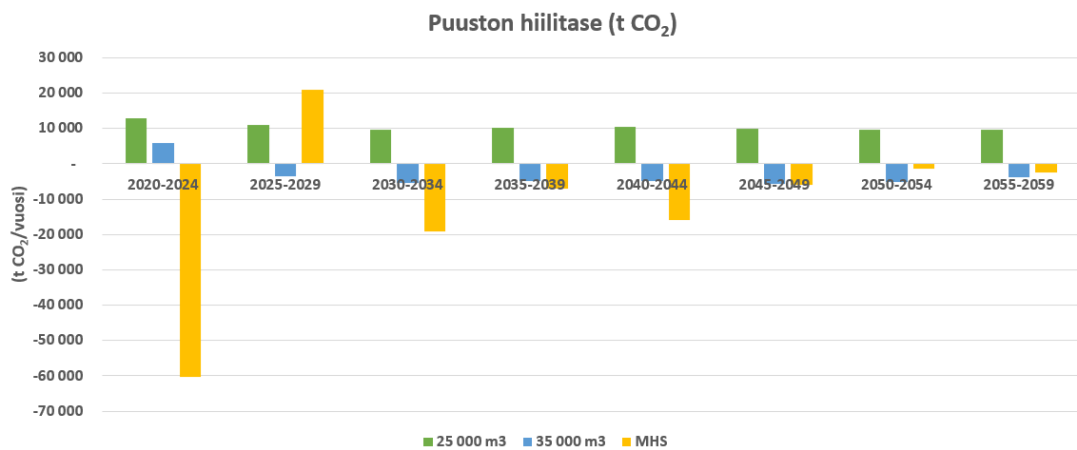
Puuston hiilitase on puustoon sitoutuvan ja siitä lähtevän hiilen yhteenlaskettu määrä. Laskentajakson lopussa, vuonna 2059, puuston hiilivarasto on noin 132 600 (t CO₂). Puuston hiilivarasto kasvoi laskentajakson aikana noin 40 000 (t CO₂). Puuston vuotuinen hiilensidonta ja hiilitase laskevat merkittävästi laskentajakson aikana. Vuotuinen hiilensidonta laskentajakson alussa on 1 940 (t CO₂/vuosi) ja lopussa 1 380 (t CO₂/vuosi). Vuotuinen hiilitase laskentajakson alussa on 1 580 (t CO₂/vuosi) ja lopussa 388 (t CO₂/vuosi). Luonnonpoistuman

hiilipäästöt kasvavat laskentajaksolla voimakkaasti ja ylittävät vuotuisen hiilitaseen laskentajakson lopussa. Merkittäviä syitä kehitykseen puuston järeytyminen ja metsänhoidon toimenpiteiden puuttuminen. Maaperän ja sitä myötä metsän hiilivarastot kasvavat laskentajakson aikana.

Skenaario talousmetsät

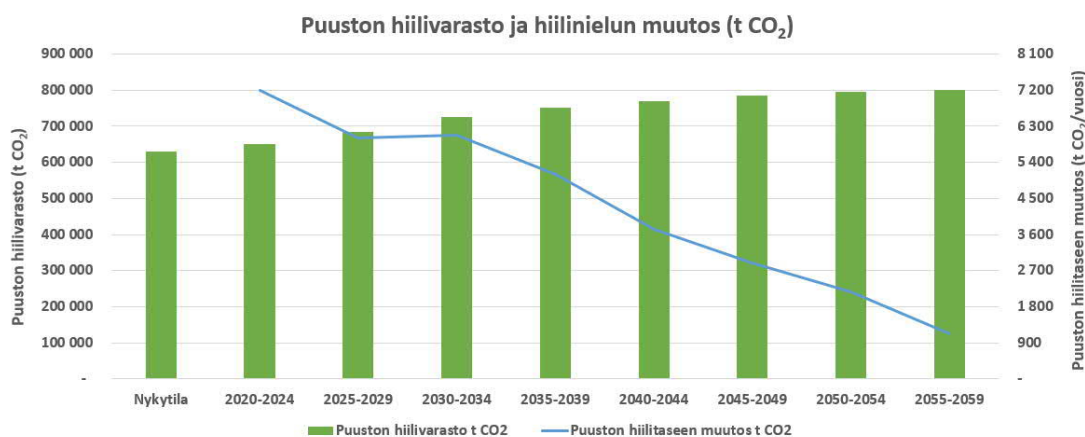


Kuvio 18. Metsän hiilivaraston ja -taseen muutokset, talousmetsät.



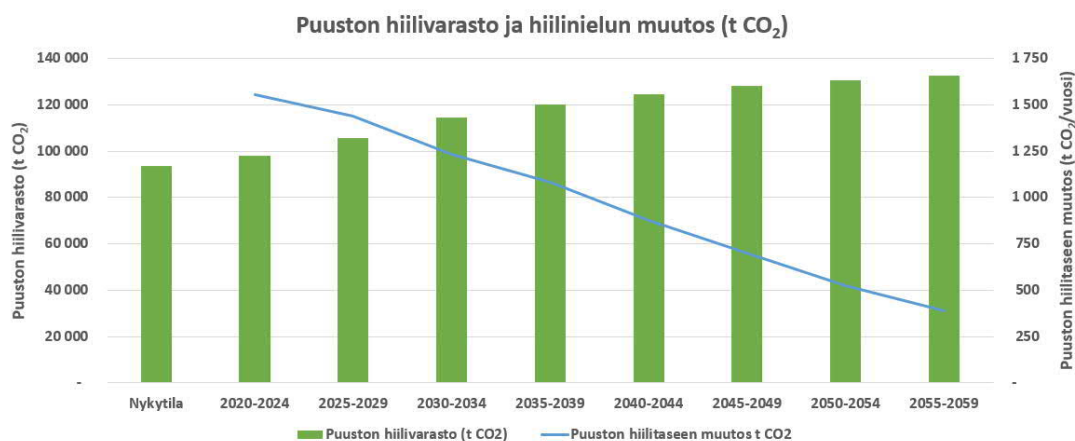
Kuvio 19. Puuston hiilitaseen muutos, talousmetsät.

Taajamametsät:



Kuvio 20. Puuston hiilivarasto ja hiilitaseen muutos, taajamametsät.

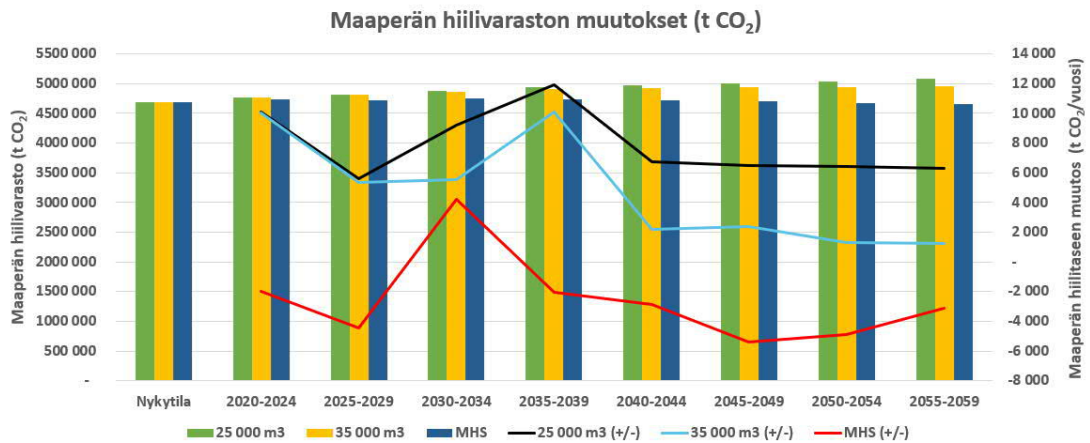
Pidemmällä aikavälillä suojelumetsien hiilinielu pienenee ja voi muuttua hiilen lähteeksi (kuvio 21). Koska suojelumetsistä ei synny puutuoteketjun tai metsänhoidon päästöjä, metsän hiilinielu vastaa hiilijalanjäljen suuruutta.



Kuvio 21. Puuston hiilitaseen muutos, suojelumetsät.

9.3 Maaperän hiilitase ja sen muutokset

Maaperän ja sitä myötä metsän (sis. puuston ja maaperän) hiilivarastot kasvavat laskentajakson aikana (kuvio 22). Maaperän hiilivarasto kasvaa laskentajaksolla alun 6 435 000 t CO₂:sta noin 7 100 000 t CO₂:iin.

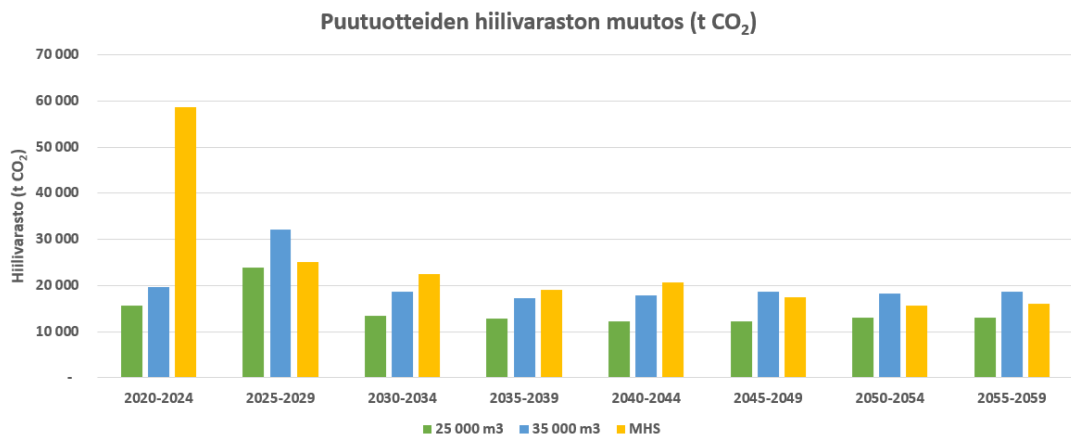


Kuvio 22. Maaperän hiilivaraston muutokset.

Muutokset maaperän hiilitaseessa ovat suhteellisen vähäisiä.

9.4 Puutuotteiden hiili

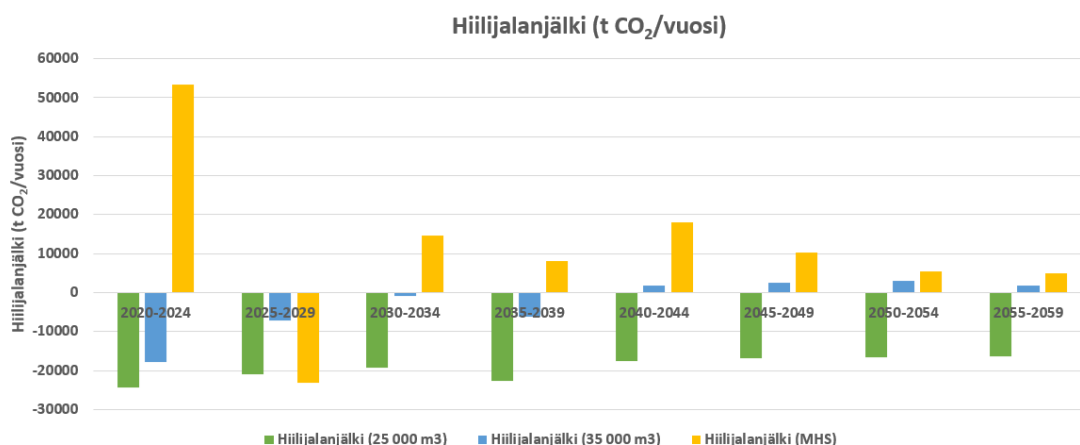
Muutokset puutuotteiden hiilitaseessa ovat suhteellisen vähäisiä (kuvio 23).



Kuvio 23. Puutuotteiden hiilivaraston muutos, talousmetsät.

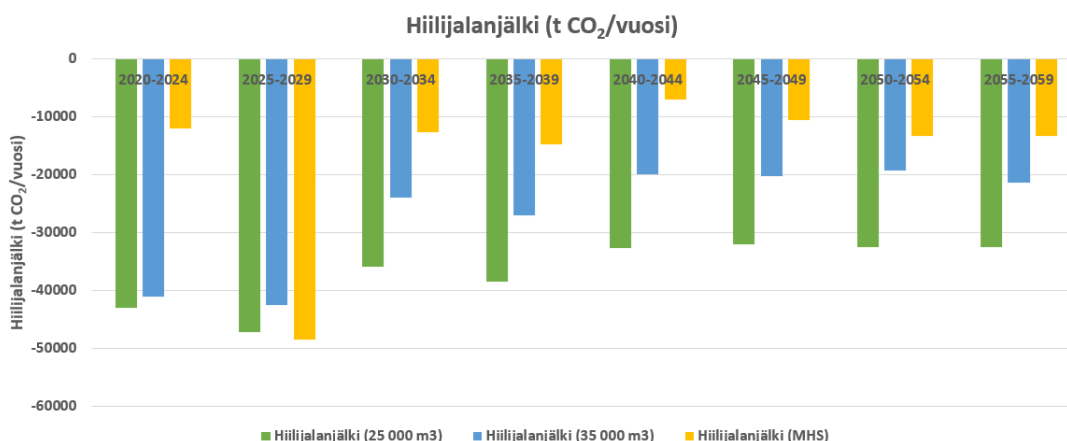
9.5 Hiilijalanjälki

Vuotuinen hiilijalanjälki laskee alun - 2 660 t CO₂ tasolle - 1 421 t CO₂. Negatiivisen hiilijalanjäljen myötä hiiltä sitoutuu ilmakehästä enemmän kuin vapautuu (kuvio 24).



Kuvio 24. Keskimääräinen hiilijalanjälki ilman korvaavaa energian tuotantoa, talousmetsät.

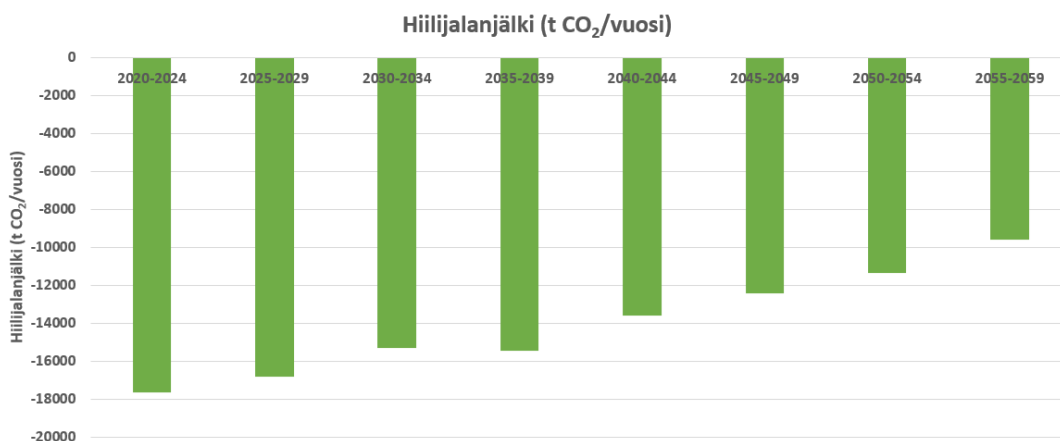
Bioenergian tuotannolla kyetään vähentämään kokonaispäästöjä suhteessa vaihtoehtoisten fossiilisten energiamuotojen käyttöön. Energiapäästöt ovat siten negatiivisia.



Kuvio 25. Keskimääräinen hiilijalanjälki, energiatuotannon korvaavuus huomioitu, talousmetsät.

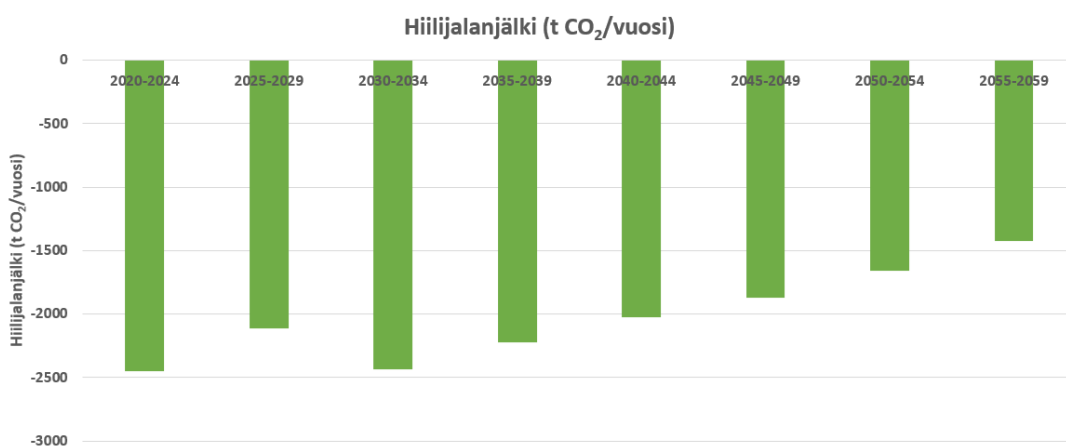
Laskentajakson aikana keskimääräinen vuotuinen hiilijalanjälki on kaikilla skenaarioilla negatiivinen eli hiiltä sitoutuu ilmakehästä ja vältetään päästöjä, kun fossiilisen energiantuotannon korvaavuus otetaan huomioon.

Ilman korvaavaa energiantuotantoa MHS (2019) mukaiset hakkuut ja metsänhoidon toimenpiteet tuottavat keskimäärin positiivisen vuotuisen hiilijalanjäljen (hiililähde).



Kuvio 27. Keskimääräinen hiilijalanjälki energiatuotannon korvaavuus huomioitu, taajamametsät.

Vuotuinen hiilijalanjälki (alussa - 15 500 t CO₂/vuosi) putoaa – 9 500 t CO₂ laskeutajakson aikana. Hiilijalanjäljen ollessa negatiivinen, hiiltä sitoutuu ilmakehästä ja päästöjä kyetään välttämään. Keskimääräinen vuotuinen hiilijalanjälki pysyy myös negatiivisena ilman korvaavaa energiantuotantoa.



Kuvio 26. Keskimääräinen hiilijalanjälki, energiatuotannon korvaavuus huomioitu, suojelualueet.

Vuotuinen hiilijalanjälki laskee alun - 2 660 t CO₂ tasolle - 1 421 t CO₂. Negatiivisen hiilijalanjäljen myötä hiiltä sitoutuu ilmakehästä enemmän kuin vapautuu. Pidemmällä aikavälillä suojelumetsien hiilinielu pienenee ja voi muuttua hiilen lähteeksi.

Hiilitaselaskennan yhteenvedossa (taulukko 7) kuvataan talousmetsien (hakkukertymällä 25 000 m³), taajamametsien ja suojelumetsien puustotunnusten kehitystä laskentajaksolla. Puuston hiilivarasto kasvaa laskentajaksolla noin 600 000 t CO₂ tasolle 2 670 000 t CO₂.

2020-2059	Nykytila	2029	2059
Puuston hiilivarasto (t CO ₂)	2 040 039	2 240 714	2 666 191
Puuston hiilensidonta (t CO ₂ /vuosi)	69 909	63 466	58 029
Puuston hiilitase (t CO ₂ /vuosi)	19 771	15 858	11 067
Puuston luonnonpoistuman hiili (t CO ₂ /vuosi)	- 7 064	- 7 218	- 9 360
Maaperän hiilivarasto (t CO ₂)	6 435 504	6 625 128	7 096 428
Maaperän hiilitase (t CO ₂ /vuosi)	15 319	9 166	12 573
Metsän hiilivarasto (t CO ₂)	8 475 542	8 865 842	9 762 619
Metsän hiilitase (t CO ₂ /vuosi)	35 090	25 025	23 252
Hiilijalanjälki (t CO ₂ /vuosi)	- 50 450	- 64 961	- 43 465

Taulukko 7. Hiilitaselaskennan yhteenveto.

10 Metsänhoidon linjauksen päivitykset

Joensuun kaupungin metsänhoidon linjaus on kokonaisvaltainen ja moniarvoinen omistajien eli kuntalaisten hyväksymä viher- ja metsäalueiden pitkän tähtäimen toimintasuunnitelma ja strategia kaupungin metsänhoidolle.

Linjauksessa on määritelty metsien merkitys, tavoitteet ja hoidon työohjeet kymmenvuotiskaudelle. Vuonna 2018 hyväksytyssä metsänhoidonlinjauksessa on päätetty, että linjausta päivitetään kymmenen vuoden välein tai tarvittaessa. Hiilitase-, hakkuutase- ja kasvuennustelaskelmista saadut tulokset ovat syy päivittää ja tarkentaa metsänhoidonlinjauksen hoitoluokittaista työohjetta ilmastokes-täväksi.

Tässä opinnäytetyössä on tehty päivitys työssä tehtyjen laskelmien ja niistä tehtyjen johtopäätösten pohjalta. Entiset ohjeet jäävät pääsääntöisesti voimaan ja

niihin tehdään tarkennuksia ja lisäyksiä. Tarkennetut hoitoluokittainen työohje-luonnos korjauksineen ja lisäyksineen on liitteessä 1. Päivitetyt työohjeet astuvat voimaan, kun kaupunginhallitus on ne käsitellyt ja hyväksynyt.

11 Pohdinta

11.1 Tulosten tarkastelu

Opinnäytetyön tuloksena valmistui Joensuun kaupungille selvitys sen omistami-sen metsien ilmastovaikutuksista. Tulokset viedään metsänhoidonlinjaukseen to-teuttamiseen ja ne vaikuttavat konkreettisesti tehtäviin toimenpiteisiin. Tuloksilla on myös merkitystä Joensuun kaupungin alueella tehtävien metsänhoitotöiden suunnitteluun ja menetelmien valintaan pyrkimyksenä hyväksytyyn ilmasto-ohjel-man mukaisesti hiilineutraali kaupunki vuoteen 2025 mennessä.

Noin 25 000 m³ vuosittainen hakkuukertymä suosii suhteellisen lyhyen aikavälin hiilitasepolitiikkaa. Pidemmällä aikavälillä (> 40 vuotta) pienehköt hakkuumäärät eivät maksimoi hiilivarastoa-, sidontaa- tai tasetta, koska tämän aikajakson jäl-keen puuston kasvu tulee taantumaan merkittävästi. Suuremmilla hakkuumäärillä pystytään muokkaamaan metsien kehitysluokkajakaumaa hiilivaraston-, sidon-nan ja –taseen kannalta suotuisammaksi pidemmällä aikavälillä. Suurin osa ske-naarioiden päästöistä syntyy hakkuu- ja luonnonpoistuman hiilestä sekä valmis-tuspäästöistä laskentajaksolla 2020-2059. Metsänhoidon sekä hakkuu- ja kulje-tuspäästöjen osuus on vähäinen.

Sekä puuston hiilensidonta ja hiilitase laskevat laskentajaksolla. Puuston vuotui-nen hiilensidonta on laskentajakson alussa 70 000 t CO₂ lopussa 58 00 t CO₂. Puuston vuotuinen hiilitase laskee alun noin 20 000 t CO₂ tasolle 11 000 t CO₂. Maaperän hiilivarasto kasvaa laskentajaksolla alun 6 435 000 t CO₂ noin 7 100 000 t CO₂. Muutokset maaperän hiilitaseessa ovat suhteellisen vähäisiä. Metsän hiilivarasto laskentajakson lopussa on tasolla 9 760 000 t CO₂. Metsän vuotuinen hiilitase putoaa laskentajaksolla alun 35 000 t CO₂ tasolle 23 250 t CO₂. Vähäiset hakkuut ja metsänhoitotoimenpiteet pienentävät hiilensidontaa ja –taseen suu-ruutta laskentajaksolla olennaisesti. Hiilitase seuraa puustotunnusten kehitystä ja vaikutus korostuu entisestään laskentajaksoa pidemmällä aikavälillä.

Lyhyen aikavälin tarkastelujaksolla eli kun tarkastelujakso on alle 40 vuotta, puuston ja maaperän hiilivarasto ja -nielu suurentuvat vähentämällä hakkuita. Vähäiset uudistus- ja harvennushakkuut vähentävät kuitenkin huomattavasti puuston kasvua jo lähitulevaisuudessa. Samalla puustopääoma kasvaa, koska hakataan reilusti alle kasvun. Puuston ikääntymisen vuoksi metsätuhojen riski kasvaa merkittävästi, mikä voi johtaa hiilivaraston merkittävään pienenemiseen. Vähäiset hakkuut heikentävät metsätalouden kannattavuutta sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä ja lisäksi syntyy aluetaloudellisia tappioita.

Puuston kasvun heikkeneminen korreloi suoraan hiilensidonnan ja sitä myötä hiilinielun ja -varaston suuruuteen. Kehityslinja on selvästi havaittavissa sekä taajama- että suojelumetsissä, mutta myös talousmetsissä. Puuston kasvun ja hiilensidonnan maksimoimisen kannalta tärkeintä on huolehtia voimakkaasti kasvavien metsien osuudesta. Uudistuskypsiä metsiä tulisi myös uudistaa ja toteuttaa harvennushakkuita kasvavissa metsiköissä. Kasvua voidaan nostaa nykytasosta merkittävästi vain toteuttamalla hakkuita. Metsätaloudessa on tärkeää huomioida pitkät kiertoaajat ja toiminnan pitkäjänteisyys. Lyhyelle aikavälille keskittyvä metsien käyttöä rajoittava toiminta syö hiilensidonnan potentiaalia tulevaisuudessa sekä pienentää metsien kokonaistuotosta.

11.2 Tutkimuksen luotettavuus

Joensuun kaupungin kaupunkirakennepalvelut on luovuttanut kaupungin metsäomaisuuden metsäsuunnitteluaineiston tutkimuksen käyttöön. Aineisto on kattava ja antaa oikean kuvan kaupungin metsäomaisuudesta ja sen rakenteesta.

Käytetyt laskentamenetelmät ovat yleisesti käytettyjä ja vertaisarvioituja, samoin tutkimukset, joihin laskentamallit perustuvat. Laskentamallit kehittyvät koko ajan ja tässä laskelmassa on käytetty sen hetken parhaita, käytettävissä olleita malleja. Tietoperusta on koottu luotettavista lähteistä ja lähdekritiikkiä noudattaen.

Kansainvälinen ilmastostrategia ja ilmastopolitiikka ovat jatkuvassa muutoksessa. Pariisin ilmastokokouksen päämäärät ovat tarkentuneet ja uusia ilmastokokouksia on pidetty ja pidetään erilaajuisilla kokoonpanoilla. Näin ollen opinnäytetyön luotettavuus tältä osin on sidottua aikaan ja tämä tieto voi vanhentua hyvinkin nopeasti.

11.3 Tulosten hyödyntäminen

Metsien hiililaskelmat ovat nousseet viime aikoina merkittävään asemaan metsien hoitoa ja käsittelyä suunniteltaessa tulevaisuudessa. Ilmaston lämpenemisen pysäyttäminen Pariisin ilmastopimuksen ja EU:n Luluch-astuksen tavoitteisiin vaatii yhteisiä, globaaleja toimenpiteitä. Tämä työ on paikallinen, pieni askel kohti yhteistä, hiilineutraalia ympäristöämme.

Metsätuhojen riski kasvaa merkittävästi, mikä voi johtaa hiilivaraston merkittävään pienenemiseen. Vähäiset hakkuut heikentävät metsätalouden kannattavuutta sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. Lisäksi syntyy aluetaloudellisia tappioita.

Lyhyelle aikavälille keskittyvä metsien käyttöä rajoittava toiminta syö hiilensidonnallista potentiaalia tulevaisuudessa sekä pienentää metsien kokonaistuotosta. Herää kysymys kasvatetaanko tuottavaa metsää vai lahopuuta? Kaikesta harkittavasta puusta noin 20 % menee pitkäaikaiseen varastoon ja 80 % lyhytkestoiseen (1-5 vuotta) käyttöön. Kieroaikaa pidentämällä 10-20 vuotta päästään hiilioptimaaliseen metsänhoitoon. Samoin lannoituksen ja jalostetun taimiaineksen käyttö lisäävät kasvua ja kompensoivat hakkuista vapautuvaa hiilidioksidia.

Opinnäytetyön tekemisen aikana on herännyt seuraavanlaisia ajatuksia ja tarpeita kuntien metsäomaisuuden hiilitaseasioiden kehittämiseen tulevaisuudessa. Tarvitaan yhtenäiset laskentamallit ja mittarit, jotta kuntien tekemät laskelmat ja muut päätelmät ovat yhteismitallisia. Lisäksi hiilinielujen ja biodiversiteetin välisten ristiriitojen avaaminen ja tutkimustulosten muokkaaminen päätöksentekijöiden käyttöön on tarpeen. Ympäristötietoa käytetään päätöksenteossa usein vajavaisesti tai tietoa valikoidaan tarkoitushakuisesti. Tarvittaisiin myös seurantamenetelmät hiilinielujen ja luonnon monimuotoisuuden huomioimiseksi. Metsävaratiedon käsittelyyn on tulossa uusi ohjelmisto, mikä mahdollistaa jatkossa myös kuviokohtaisen hiilen seurannan. Maankäytönsuunnittelu vaikuttaa voimakkaasti metsien hiilen määrän kehittymiseen. Sopivalla mallinnuksella ja

lisäämällä kaupunkiekologista tietoa suunnittelujärjestelmiin voitaisiin saada entistä parempaa kaavasunnittelua niin tiiviissä kaupunkiympäristössä kuin muuallakin.

Lähteet

- Asikainen, A., Viiri, H., Neuvonen, S., Nevalainen, S., Lintunen, J., Laturi, J., Uusivuori, J., Venäläinen, A., Lehtonen, I. ja Ruosteenoja, K. 2019. Ilmastomuutos ja metsätuhot analyysi ilmaston lämpenemisen seurauksista Suomessa. Suomen ilmastopaneeli 1/2019.
- Benviroc Oy. 2019. Joensuun kasvihuonekaasupäästöt 2007, 2009-2017 ennakkotieto 2018, CO2-raportti.
- Cloudia Oy. 2020. Hankinnat, sopimushallinta, toimittajien hallinta <https://cloudia.com/fi/cloudia-sourcing/>.
- Euroopan unionin virallinen lehti, 19.6.2018, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2018/841.
- Finlex. 2021. Hallituksen esitys eduskunnalle Pariisin sopimuksen hyväksymisestä ja sopimuksen lainsäädännön alaan kuuluvien määräysten voimaansaattamisesta. <https://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2016/20160200#idp446450112>. 13.4.2021.
- Forest Europe 2015. State of Europe's Forests 2015. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe FOREST EUROPE Liaison Unit Madrid.
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H., & Haapala, P. 2002. Models for predicting stand development in MELA System. Research papers 835. Vantaa: Finnish forest research institute.
- Ilmastolaki 609/2015.
- Ilmatieteenlaitos, Aalto-yliopisto ja Syke. 2021. Ilmasto-opas.
- IPCC. 2021. Raportti. <https://www.ipcc.ch/about/> 16.3.2021.
- Joensuun kaupunki. 2020. Talousarvio.
- Joensuun kaupunki 2018. Kaupunginhallituksen päätös, 22.1.2018 § 20.
- Joensuun kaupunki. 2018. Kaupunginvaltuuston päätös, 29.1.2018 § 3.
- Jyväskylän yliopisto. 2019. Koulutuksen tutkimuslaitos/Pedagogiikkaa netissä. Hiilen kiertokulku. <https://peda.net/oppimateriaalit/e-oppi/verkko-kauppa/yl%C3%A4koulu/lukuvuosi-19-20/k7uo/III/10/hiilen-kiertokulku>. 21.3.2021.
- Karppinen, S. 2021. Kasvutaset saivat kaivatun päivityksen. Metsälehti 8.4.2021.
- Kuusinen, N., Lukes, P., Stenberg, P., Levula, J., Nikinmaa, E. ja Berninger, F., 2014b. Measured and modelled albedos in Finnish boreal forest stands of different species, structure and understory. Ecological Modelling, 284: 10-18.
- Lehtonen, I. & Venäläinen, A. & Gregow, H. (toim.). 2020. Ilmastomuutoksen vaikutukset Suomessa metsänhoidon näkökulmasta. Helsinki: Ilmatieteen laitos.
- Luke. 2020. Metsävarat. <https://stat.luke.fi/metsavarat>. 20.4.2021.
- Lumperoinen, M. 2021. Palvelualueen päällikkö. Tapio Oy. Haastattelu 12.1.2021
- Mikkonen, S., Laine, M., Mäkelä, H. M., Gregow, H., Tuomenvirta, H., Lahtinen, M. ja Laaksonen, A., 2015. Trends in the average temperature in Finland, 1847–2013. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 29: 1521–1529.
- MMM. 2019. Kansallinen metsästrategia 2025 -päivitys. Helsinki. Maa- ja metsätalousministeriö 2019:7.
- Nevanlinna, H. (toim.) 2008. Kasvihuoneilmiö. Teoksessa Nevanlinna, H. (toim.), Muutamme ilmasto. Karttakeskus.

- Nuorteva, H. 2020. Tuhotilanne Suomessa ja naapurimaissa. Luke. Metsäpolitiikkafoorumi / Tapio, 5.5.2020.
- Ojasalo, K., Moilanen, T. & Ritalahti, J. 2018. Kehittämistyönmenetelmät -Uudella osaamista liiketoimintaan. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. 2006. KvaliMoTV – Menetelmäopetuksen tietovaranto. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. <https://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/index.html>. 10.10.2019.
- Saksa, T.(toim.) 2020. Teoksessa Saksa, T., Repo, T., Sarkkola, S., Akujärvi, A., Repo, A., Soimakallio, S., Lehtonen, A., Ilmastonmuutos ja metsänhoito. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 98/2020.
- Serreze, M. C. ja Barry, R. G., 2011. Processes and impacts of Arctic amplification: a research synthesis. *Global and Planetary Change*.
- Simosol Oy. 2020. Hiililaskennan menetelmät ja oletukset.
- Syke. 2021. Hiilineutraali Suomi. <https://paastot.hiilineutraalisuomi.fi/> 30.3.2021.
- Taalas, P. 2021. Ilmastonmuutos ilmatieteilijän silmin. Helsinki. Tammi e-kirja. Tilastokeskus. 2020.
- Tapio Oy. 2021. Opetusmateriaalit. <https://www.tapio.fi/opetusmateriaali-1-3/>. 23.3.2021.
- Valtioneuvosto. 2019. Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma.
- Williams, C. 2007. Research Methods. *Journal of Business & Economic Research*, volume 5 number 3. <https://clutejournals.com/index.php/JBER/article/view/2532>. 10.10.2019.

Liitteet

Joensuun kaupungin metsänhoidon linjauksen päivitysluonnos 2021



Joensuun kaupungin metsänhoidon linjauksen päivitys 2021 Luonnos

Hoitoluokittaisen työohjeiden päivitys: Hyvällä hoidolla vahvistetaan metsien tuhonkestävyyttä, kasvua ja hiilensidontakykyä.



Sisällysluettelo

<u>1</u>	<u>Lähimetsät C1</u>	3
	1.1 <u>Ensiharvennus ja harvennus</u>	3
	1.2 <u>Uudistaminen</u>	2
<u>2</u>	<u>Ulkoilu- ja virkistysmetsät C2</u>	4
	2.1 <u>Pienpuuston hoito ja taimikonhoito</u>	4
	2.2 <u>Ensiharvennus ja harvennus</u>	4
	2.3 <u>Uudistaminen</u>	4
<u>3</u>	<u>Suojametsät C3</u>	4
<u>4</u>	<u>Talousmetsät C4</u>	4
	4.1 <u>Varhaishoito ja nuorenmetsänhoito</u>	5
	4.2 <u>Ensiharvennus ja harvennus</u>	5
	4.3 <u>Uudistaminen</u>	5
<u>5</u>	<u>Maankäytön muutosalueet (R) ja erityisalueet (E)</u>	6
<u>6</u>	<u>Suojelumetsät</u>	6

Metsien hiilinielua voidaan kasvattaa nopealla uudistamisella, kiertoaikoja pidentämällä, harvennuksia myöhentämällä, lannoituksilla, lahopuun määrän lisäämisellä, jou-toalueiden metsittämisellä, jalostetulla metsänviljelymateriaalilla sekä välttämällä met-sätuhoja. Työohjeiden mukaisella toiminnalla metsienkäsittely ohjautuu yhä tehok-kaammin ilmastonmuutoksen hillintään. Nopean puustonkasvun alueilla, joissa hiilen sitominen on voimakasta, panostetaan metsien tuottokykyyn ja hitaamman kasvun alu-eilla sekä erityiskohteissa puolestaan painotetaan metsän merkitystä hiilivarastona. Otamme käyttöön aina uusimmat paikkatietoaineistot, mitkä helpottavat töiden suunnit-telussa.

12 Lähimetsät C1

Lähimetsät ovat pienialaisia, asutuksen välittömässä läheisyydessä olevia puistomaisia metsiä, joiden hoidossa korostuvat turvallisuus, puuston elinvoima ja maisema. Lähi-metsien vastustuskykyä ja resilienssiä parannetaan oikea-aikaisilla toimenpiteillä. Met-sien resilienssi tarkoittaa puuston kykyä sopeutua luonnollisiin tai ihmisten aiheuttamiin muutoksiin, sekä kykyä säilyttää tai saada takaisin normaali toimintakyky ja kasvu häi-riön jälkeen.

Pienpuuston hoito on pensaiden ja pienikokoisten puiden harvennusta taajama-aluei-den metsäisillä viheralueilla. Hoitotyössä suositaan lehtipuusekoitusta. Erityisesti pa-nostetaan hyvään työhön ja vältetään korjuuvaurioita hyvällä suunnittelulla. Hoito-kiertoa nopeutetaan, että lähimetsät säilyvät kasvavina ja elinvoimaisina. Jaloja lehti-puita sekä lehtikuusta suositaan niille sopivilla kasvupaikoilla, koska ne menestyvät il-maston lämmitessä.

12.1 Ensiharvennus ja harvennus

Koska Joensuun kaupungin lähimetsät ovat varsin puustoisia ja iäkkäitä mäntymetsiä, harvennushakkuilla pyritään turvaamaan puuston hyvä terveys, hiilensidontakyky ja kasvu. Hakkuut tehdään oikea-aikaisina ja riittävän voimakkaina. Harvennushakkuilla säilytetään puuston kerroksellisuus. Lahopuun määrää pyritään lisäämään.

12.2 Uudistaminen

Uudistaminen vain poikkeustapauksissa esim. laajan tuulituhon jälkeen.

13 Ulkoilu- ja virkistysmetsät C2

Ulkoilu- ja virkistysmetsät ovat laajoja metsäisiä alueita asutuksen tuntumassa tai kauempana. Tärkeimpiä tavoitteita ovat monimuotoisuus, vaihtelevuus ja liikkumisen helpous.

13.1 Pienpuuston hoito ja taimikonhoito

Pienpuuston hoidossa huomioidaan turvallisuus, viihtyisyys ja helppokulkuisuus. Juurikäävän torjunta huomioidaan jo taimikonhoitovaiheessa.

13.2 Ensiharvennus ja harvennus

Harvennusmetsien vastustuskykyä parannetaan oikea-aikaisilla ja voimakkuudeltaan oikeilla harvennusmalleilla. Metsät pidetään kasvavina ja terveinä lannoituksilla. Suositaan sekametsiä ja hyödynnetään luontainen taimiaines. Kuusettumista ehkäistään suosimalla jaloja lehtipuita, tervaleppää ja lehtikuusta niille luontaisilla kasvupaikoilla. Hakkuun suunnitellulla ja korjuuajankohdalla vältetään maaperän rikkoutuminen.

13.3 Uudistaminen

Uudistamismenetelminä käytetään linjauksessa hyväksytyjä menetelmiä eli luontaista uudistamista, pienaukkohakkuita, kaistalehakkuita ja siemenpuuhakkuita. Turvemaiden hakkuun vain jatkuvan kasvatuksen menetelmillä. Kasvatettavat puulajit valitaan kasvu- paikan ja maalajin mukaan ja pyritään varautumaan kuivuuteen. Uusi puusukupolvi pyritään saamaan kasvamaan mahdollisimman nopeasti uudistamisen jälkeen. Uudistus- hakkuita pyritään myös myöhentämään eli kiertoaikaa nostetaan noin kymmenen vuotta.

14 Suojametsät C3

Suojametsä sijaitsee asutuksen ja liikenneväylien tai teollisuusalueiden välissä. Suojametsä antaa näkösuojaa sekä toimii pienhiukkas-, pöly- ja melusuojana. Pienpuuston hoito, ensiharvennus ja harvennus ja uudistaminen suojametsissä tehdään entisillä, metsänhoidonlinjauksen ohjeilla. Suojametsien hoidossa korostetaan oikea-aikaista hoitoa ja suojavaikutuksen jatkuvuutta entistä enemmän.

15 Talousmetsät C4

Talousmetsät ovat suurin hoitoluokka käsittäen noin 65 % metsäpinta-alasta. Talousmetsät ovat taajamien ulkopuolella sijaitsevia metsäalueita, joiden merkittävin tavoite on puuntuotanto. Talousmetsissä ilmastokestävällä metsänhoidolla pyritään tukemaan kokonaiskestävyyden toteutumista kaupungin metsissä. Otamme käyttöön aina uusimmat, suunnittelua avustavat paikkatietoaineistot. Koska keskilämpötilan nousu suosii tuholaisia ja kasvitauteja ja roudan väheneminen altistaa myrskytuhoille, metsien oikea-aikainen hoito on tärkeää. Näin metsät pysyvät terveinä.

15.1 Varhaishoito ja nuorenmetsänhoito

Taimikonvarhaishoito ja taimikonhoito tehdään ajallaan. Havupuuvaltaisissa taimikoissa jätetään mahdollisuuksien mukaan noin 15-30 % lehtipuusekoitus. Kiinnitetään huomioita hyvään työhön.

15.2 Ensiharvennus ja harvennus

Ensiharvennukset tehdään ajallaan, millä vältetään puuston riukuuntuminen ja kasvun lasku. Toisaalta kasvatustiheyksien nostaminen lisää kasvavan puuston määrää ja hiilinielua, mutta heikentää lehtipuiden elinvoimaa. Harvennushakkuissa suositetaan sekapuustoisuutta ja edistetään puuston luontaista koko- ja lajivaihtelua. Sekametsissä maaperän ominaisuudet paranevat ja sen rakenne monipuolistuu. Vanhat haavat ja raidat luovat elinympäristöjä muille lajeille ja ne pyritään säilyttämään. Korjuut suunnitellaan huolellisesti ja vältetään korjuuvaurioita niin maaston kuin puiden osalta ja hyödynnetään suunnittelussa ja korjuussa uusia paikkatietoaineistoja kuten esimerkiksi kosteuskarttoja. Tehdään juurikäävän torjunta aina kesähakkuissa. Turvemaidilla käytetään peitteistä metsänkasvatusta.

Lannoituksella lisätään puuston elinvoimaisuutta ja kasvua sekä hiilinielua lyhyellä aikavälillä. Metsänkasvatuksessa panostetaan järeän puun kokonaistuotokseen.

15.3 Uudistaminen

Uudistamismenetelminä käytössä ovat avohakkuu, siemenpuuhakkuu, kaistalehakkuut ja pienaukkohakkuut. Huolehdimme, että huonokuntoiset, varttuneet metsät uudistetaan ajoissa. Aikaistetaan tuulituhoille ja juurikäävälle alttiiden alueiden uudistamista. Juurikäävän torjunta tehdään aina kesähakkuissa ja hyvällä suunnittelulla pyritään välttämään korjuuvauriot. Turvemaidilla käytetään jatkuvan kasvatuksen menetelmiä. Uudistusalojen hakkuutähte voidaan kerätä energiakäyttöön. Mikäli se jää maastoon, se tulisi levittää metsäpohjalle mahdollisimman tasaisesti.

Uudistamisessa käytetään kasvupaikalle sopivia puulajeja ja kuusettumista pyritään vähentämään. Kuusi on herkkä ilmastolle ja lämpeneminen voi haitata sen kasvua. Samoin kuivumiseen liittyy riskejä varsinkin kuivahkoilla kankailla. Rauduskoivun ja männyn käyttöä lisätään myös tuoreilla kankailla. Metsänviljely tehdään viipymättä ja jalostetulla viljelymateriaalilla. Jalostettu materiaali mahdollistaa jopa 30 % lisäyksen tilavuuskasvuun ja näin nopeuttaa hiilivaraston kasvamista.

Runsas hirvieläinkannat vaikeuttavat monilajisten ja puulajirakenteeltaan monipuolisten metsiköiden syntyä ja kehittymistä. Hirvieläinkannan runsaus ohjaa myös väriin

puulajivalintoihin ja hirvikannan määrään pyritään vaikuttamaan muilla keinoilla kuin puulajivalinnalla.

Lahopuun määrää lisätään riittävän suurilla ja järeillä säästöpuukohteilla ja jättämällä erilainen kuollut puu kokonaisuudessaan uudistusalalle. Uudistushakkuita voidaan myös myöhentää, mikäli puusto on tervettä eikä sitä uhkaa merkittävät tuhot. Kiertoajien pidennys kasvattaa hiilinielua puustopääoman kasvaessa. Puuston ikääntyessä hiilensidonta kuitenkin heikkenee. Kiertoajan pidennys lisää myös lahopuun määrää.

16 Maankäytön muutosalueet (R) ja erityisalueet (E)

Näillä alueilla metsien valmennus tulevaa käyttöä varten on tärkein tehtävä toimenpide. Alueille pyritään jättämään niille luontaiset puulajit, poistetaan sairaat puuyksilöt ja pyritään vahvistamaan jäljelle jäävien puiden elinvoimaisuus esim. lannoittamalla.

17 Suojelumetsät

Suojelualueet ylläpitävät ja kasvattavat metsäekosysteemiin varastoituneen hiilen määrää. Suojelumetsän hoidetaan omien hoito- ja käyttösuositusten mukaan. Luontoarvoiltaan arvokkaat tai metsätaloudellisesti heikkotuottoiset alueet suojellaan. Pidemmällä aikavälillä suojelumetsien hiilinielu pienenee ja voi muuttua hiilen lähteeksi, joten nuorten suojelumetsien kunnosta on huolehdittava.

Suoalueiden ennallistamista tehdään sopivilla kohteilla.