

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2026

Turvetuotantoalueiden jatkokäyttö

Kannattavuus, aluetalous- ja ympäristövaikutukset

**Paula Jylhä, Lasse Aro, Marja Knuuttila, Timo Lötjönen, Liisa Ukonmaanaho
ja Henrik Wejberg**

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2026

Turvetuotantoalueiden jatkokäyttö

Kannattavuus, aluetalous- ja ympäristövaikutukset

**Paula Jylhä, Lasse Aro, Marja Knuuttila, Timo Lötjönen, Liisa Ukonmaanaho ja
Henrik Wejberg**



**Euroopan unionin
osarahoittama**



KESKI-POHJANMAAN LIITTO
MELLERSTA ÖSTERBOTTENS FÖRBUND

Viittausohje:

Jylhä, P., Aro, L., Knuutila, M., Lötjönen, T., Ukonmaanaho, L. & Wejberg, H. 2026. Turvetuotantoalueiden jatkokäyttö : Kannattavuus, aluetalous- ja ympäristövaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2026. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 78 s.



ISBN 978-952-419-157-9 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-157-9>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Jylhä Paula, Aro Lasse, Knuutila Marja, Lötjönen Timo, Ukonmaanaho Liisa ja Wejberg Henrik

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2026

Julkaisuvuosi: 2026

Kannen kuva: Johannes Karhula / Datapalvelu 64N

Alkusanat

Tämä on Turvetuotantoalueet kestäväan käyttöön – ryhmähankkeen (TURKE) Luonnonvarakeskuksen projektin tulosraportti. Hanke sai rahoitusta Oikeudenmukaisen siirtymän rahastosta (JTF) sekä Kaustisen seudulta ja Perhon kunnalta, Kokkolan kaupungilta ja Keliber Technology Oy:ltä.

Paula Jylhä koordinoi hanketta ja toimitti tämän raportin yhdessä Lasse Aron kanssa. Tuotantoketjujen mallinnuksesta ja kustannuslaskennasta vastasivat Timo Lötjönen (peltokasvit) ja Paula Jylhä (paju ja hieskoivu) Lasse Aron tuella. Jylhä ja Henrik Wejberg vastasivat kannattavuuslaskelmista sekä Liisa Ukonmaanaho elinkaarianalyysistä. Wejberg laati myös seutukunta-kohtaiset panos-tuotostaulut, joihin Marja Knuutilan tekemä aluetalousvaikutusten arviointi perustuu. Lisäksi Wejberg kehitti työkalun jatkokäyttövaihtoehtojen kannattavuusvertailuun. Lötjönen vastasi biokaasun tuotannon kestävyteen liittyvästä tarkastelusta.

Tiivistelmä

Paula Jylhä¹, Lasse Aro², Marja Knuuttila³, Timo Lötjönen⁴, Liisa Ukonmaanaho⁵ ja Henrik Wejberg⁵

¹ Luonnonvarakeskus, tuotantojärjestelmät, Kokkola

² Luonnonvarakeskus, biotalous ja ympäristö, Turku

³ Luonnonvarakeskus, biotalous ja ympäristö, Mikkeli (eläkkeellä)

⁴ Luonnonvarakeskus, tuotantojärjestelmät, Oulu

⁵ Luonnonvarakeskus, biotalous ja ympäristö, Helsinki

Tutkimuksessa selvitettiin turvetuotantoalueiden erilaisten jatkokäyttömuotojen kannattavuutta ja ympäristövaikutuksia sekä arvioitiin niiden aluetalousvaikutuksia Keski-Pohjanmaalla. Vertailtavina kasveina olivat ruokohelmi, kuituhamppu, paju ja hieskoivu, joita voitaisiin tuottaa laajassa mitassa entisillä turvesoilla. Ympäristövaikutusten arviointiin sisältyi myös tavanomaisten nurmikasvien viljely. Ruokohelpeä voidaan käyttää kuivikkeena, kasvualustamateriaalina tai biokaasun syötteenä, hamppukuitu käy esimerkiksi biokomposiittimateriaaliksi ja paju ja hieskoivu biohiilen raaka-aineeksi.

Peltoviljelyvaihtoehdot olivat heikosti kannattavia, mutta ruokohelven tuotanto kuivikkeeksi tai biokaasun raaka-aineeksi voi kannattaa jopa ilman tukea, jos satotaso pysyy riittävän korkeana. Edellytyksenä kannattavalle biokaasusyötteen tuotannolle on lisäksi se, että tuotettu biopolttoaine voidaan osoittaa ilmaston kannalta kestäväksi, jolloin biokaasulaitos pystyy maksamaan syöttestä korotettua hintaa. Laskelmissa oletettiin, että hieskoivua ja pajua käytetään biohiilen raaka-aineena, jonka hinnan oletettiin vastaavan metsähakkeen viime vuosien hintatasoa. Luontaiseen metsitykseen perustuva hieskoivun tuotanto on kannattavaa aikaisemmissa tutkimuksissa todennetuilla kuivamassatuotoksilla. Pajunviljely on kannattamattomaa sellaisilla tuotoksilla, jotka on mahdollista saavuttaa suonpohjilla käytännössä. Pelkällä biomassojen tuotannolla jäätäisiin kauaksi turvetuotannon aluetalousvaikutuksista ilman merkittävää paikallista jatkojalostusta.

Elinkaarianalyysin perusteella lannoitteiden ja kalkin valmistus ja käyttö oli ylivoimaisesti suurin ympäristön kuormittaja kaikissa vaikutusluokissa (ilmastovaikutus, fossiilisten resurssien kulutus, maaperän happamoituminen ja makean veden rehevöityminen). Hieskoivun tuotannon ympäristövaikutukset olivat pienimmät kaikissa tarkastelluissa vaikutusluokissa passiivisen tuotantomuodon ansiosta. Turpeen hajoamisesta johtuvia ilmastopäästöjä ei huomioitu elinkaarianalyysissä.

Raportissa verrattiin myös biomassojen tuotannon kannattavuutta turvetuotantoalueiden uusiin käyttömuotoihin. Maanomistajalle turvesuon vuokraaminen aurinko- tai tuulivoimala-alueeksi on todennäköisesti huomattavasti kannattavampaa kuin tutkimukseen valittujen biomassojen tuotanto. Jatkossa hiilimarkkina- ja luontoarvoliiiketoiminnasta voi tulla uusi tulonlähde.

Asiasanat: aluetalous, biohiili, biokaasu, elinkaarianalyysi, jatkokäyttö, kannattavuus, kestävyys, kuivike, turvetuotanto

Abstract

Paula Jylhä¹, Lasse Aro², Marja Knuuttila³, Timo Lötjönen⁴, Liisa Ukonmaanaho⁵ and Henrik Wejberg⁵

¹ Natural Resources Institute Finland (Luke), Production systems, Kokkola

² Natural Resources Institute Finland (Luke), Bioeconomy and Environment, Turku

³ Natural Resources Institute Finland (Luke), Bioeconomy and Environment, Mikkeli (retired)

⁴ Natural Resources Institute Finland (Luke), Production systems, Oulu

⁵ Natural Resources Institute Finland (Luke), Bioeconomy and Environment, Helsinki

The study examined the profitability and environmental impacts of various after-use options for peat production areas and assessed their regional economic effects in Central Ostrobothnia. The crops compared were reed canary grass, fiber hemp, willow, and downy birch, which could be produced on a large scale on former peat extraction sites. The environmental impact assessment also included the cultivation of conventional grass crops. Reed canary grass can be used as bedding material, growing media, or as feedstock for biogas; hemp fiber can be used, for example, in biocomposite materials; and willow and downy birch as raw materials for biochar.

Agricultural cropping options were weakly profitable, but the production of reed canary grass for bedding or as biogas feedstock may nevertheless be profitable even without subsidies if yields remain sufficiently high. A further condition for profitable biogas feedstock production is that the produced biofuel can be demonstrated to be climate-sustainable, enabling the biogas plant to pay a higher price for the feedstock. Downy birch and willow were assumed to be used as raw materials for biochar, priced at the level of recent forest chip price level. Downy birch production based on natural afforestation is profitable at dry matter yields demonstrated in previous studies. Willow cultivation is unprofitable at yield levels that can realistically be achieved on peat extraction sites. Biomass production alone falls far short of the regional economic impacts of peat production without significant local downstream processing.

Based on the life cycle assessment, the manufacture and use of fertilizers and lime were by far the largest sources of environmental burden across all impact categories (climate impact, fossil resource use, soil acidification, and freshwater eutrophication). The environmental impacts of downy birch production were the lowest in all assessed categories due to its passive production system. Climate emissions from peat decomposition were not included in the life cycle assessment.

The report also compared the profitability of biomass production with new land-use options for peat production areas. For landowners, leasing peatlands for solar or wind power facilities is likely to be significantly more profitable than producing the biomasses examined in the study. In the future, carbon markets and nature value-based business may become new sources of income.

Keywords: regional economy, biochar, biogas, life cycle assessment, after-use, profitability, sustainability, bedding, peat production

Sisältö

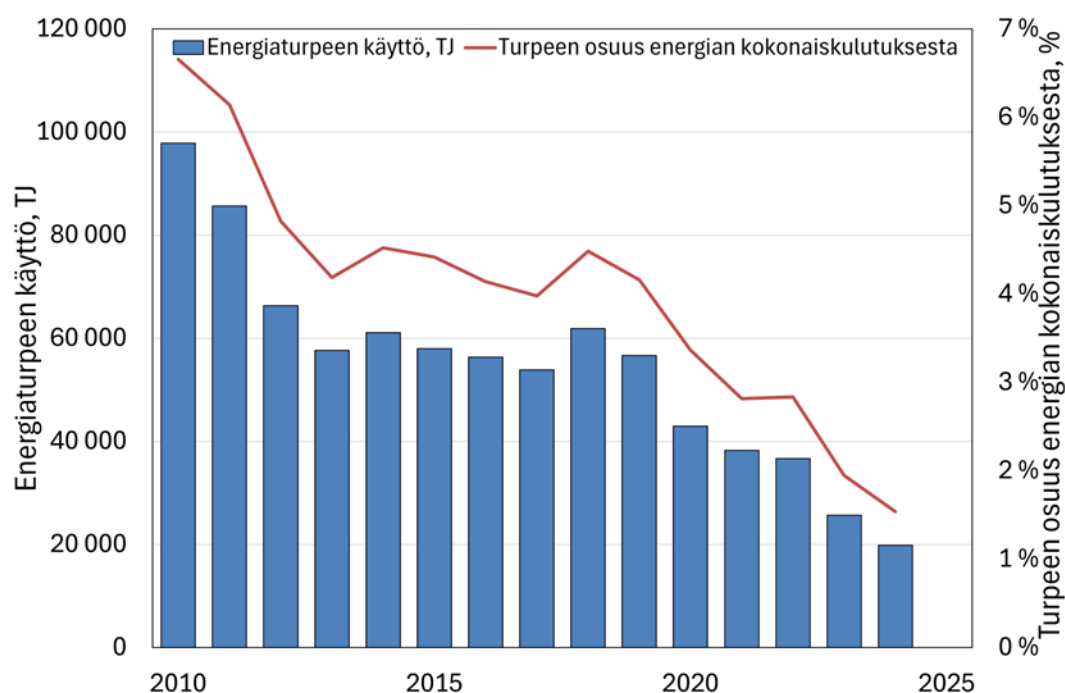
1. Johdanto	7
1.1. Tausta.....	7
1.2. Suonpohjille sopivat biomassakasvit.....	9
1.3. Tutkimuksen tavoite.....	12
2. Aineisto ja menetelmät	14
2.1. Jatkokäytön pinta-alapotentialit.....	14
2.2. Biomassojen tuotostasot.....	16
2.3. Tuotantoketjut.....	18
2.4. Kustannus- ja tuotto-oletukset.....	21
2.5. Kannattavuuslaskenta.....	23
2.6. Aluetalousvaikutusten arviointi.....	23
2.7. Biomassojen tuotannon elinkaarianalyysi.....	25
3. Tulokset	28
3.1. Kannattavuus	28
3.1.1. Biomassojen tuotantokustannukset.....	28
3.1.2. Biomassojen tuotannon kannattavuus.....	30
3.1.3. Ruokohelpi lisäsyötteenä biokaasun tuotannossa	35
3.2. Arvoketjujen aluetalousvaikutukset	37
3.2.1. Raaka-ainetuotanto	37
3.2.2. Biohiililaitosinvestointi.....	38
3.2.3. Biohiilen tuotanto.....	39
3.3. Biomassojen tuotannon elinkaarivaikutukset.....	40
3.4. Nurmibiokaasun kestävyys.....	44
3.4.1. Kestävyyskriteerien tulkinta.....	44
3.4.2. Ruokohelven viljelyn ilmastopäästöt.....	46
4. Tulosten tarkastelu	48
4.1. Peltokasvien tuotanto.....	48
4.2. Puubiomassojen tuotanto	51
4.3. Jatkokäyttö aluetalouden näkökulmasta	52
4.4. Biomassojen tuotannon ympäristövaikutukset	53
4.5. Uudet jatkokäyttövaihtoehdot.....	55
5. Päätelmät	57
Viitteet	58
Liitteet	70

1. Johdanto

1.1. Tausta

Suomi on sitoutunut Pariisin ilmastopöytäkirjaan, jonka tavoitteena on rajoittaa maapallon keskilämpötilan nousu alle 1,5 asteeseen (United Nations 2025). Euroopan unioni pyrkii hiilineutraaliuteen vuoteen 2050 mennessä, mikä edellyttää kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä 55 prosentilla vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä (Euroopan komissio 2019). Suomen kansallinen tavoite on vielä kunnianhimoisempi, sillä hiilineutraaliuteen tulisi päästä jo vuoteen 2035 mennessä ([Ilmastolaki 432/2022](#)). Hiilineutraaliutta tavoitellaan muun muassa vähentämällä päästöjä ja vahvistamalla hiilinieluja, ja ilmastotoimet tulisi toteuttaa taloudellisesti, ekologisesti, sosiaalisesti ja alueellisesti kestäväällä ja oikeudenmukaisella tavalla (Valtioneuvosto 2023).

Turpeen polton vähentäminen on ollut keskeinen päästövähennyskeino Suomen ilmastopoliitikassa. Vuoden 2019 hallitusohjelmassa asetettiin tavoitteeksi turpeen energiakäytön vähintään puolittaminen vuoteen 2030 mennessä (Valtioneuvosto 2019). Turpeen energiaverotuksen kiristyminen ja päästöoikeuden hinnan nousu heikensivät turpeen kilpailukykyä niin, että vähennystavoite saavutettiin jo vuonna 2023. Silloin turpeen energiankäyttö oli noin 45 % vuoden 2019 tasosta (Kuva 1). Vuonna 2024 turpeen osuus energian kokonaiskulutuksesta oli enää noin 1,5 % (Tilastokeskus 2025a).



Kuva 1. Turpeen energiakäytön kehitys vuosina 2010–2024 (Tilastokeskus 2025a).

Turvetuotannon vähenemisellä on merkittäviä aluetaloudellisia vaikutuksia. Esimerkiksi Keski-Pohjanmaan maakuntaan kuuluvassa Kaustisen seutukunnassa turvetuotannon osuus alueen tuotannon brutto- ja jalostusarvosta oli Suomen seutukunnista kolmanneksi suurin. Vuonna 2019 turvetoimialan tuotannon bruttoarvo oli siellä 10,7 miljoonaa euroa, jalostusarvo

2,7 miljoonaa euroa, työllisyysvaikutus 29 henkilötyövuotta ja toimipaikkojen määrä 19 (Valonen ym. 2021). Turvetuotannon alasajo heikentää työllisyyttä, vähentää tuotannon arvoa ja kuntien verotuloja. Nämä tekijät kaventavat palveluiden rahoituspohjaa ja rapauttavat alueen elinvoimaa. Voimassa olevassa hallitusohjelmassa (Valtioneuvosto 2023) strategisesti tärkeiksi raaka-aineiksi määriteltyjen kuivike- ja kasvuturpeen saatavuus heikkenee ja hinnat nousevat, ja niille on siksi etsitty vaihtoehtoja (Manni 2022, Silvan ym. 2024).

Turvetuotanto jättää jälkeensä laajoja alueita, jotka olisi siirrettävä jatkokäyttöön (Kuva 2). Suomessa on raivattu turvetuotantoon yhteensä noin 120 000 hehtaaria (Bioenergia ry 2019), joista 90 000 ha on jo poistunut käytöstä (Bioenergia ry 2025). Vuonna 2019 julkaistun selvityksen mukaan 75 % poistuneista alueista on metsittynyt tai metsitetty, 20 % otettu maatalouskäyttöön ja 5 % muutettu kosteikoiksi (Bioenergia ry 2019). Maanomistajat ovat edelleen kiinnostuneita turvetuotantoalueiden taloudellisesta hyödyntämisestä: suosituimpia jatkokäyttövaihtoehtoja Laasasenahon ym. (2023) selvityksessä olivat metsitys (71 %), maatalous (24 %), ja tuuli- ja aurinkoenergian tuotanto (22 %), mutta myös vettäminen (18 %) kiinnosti. Vaikka käytöstä poistuneiden turvesoiden taloudellisella hyödyntämisellä olisi mahdollista myös kompensoida turvetuotannon alasajon aiheuttamia menetyksiä, se voi olla ristiriidassa Suomen ilmasto- ja maatalouspolitiikkojen kanssa, jotka ohjaavat viljelyä pois turvemailta.



Kuva 2. Tuotannosta poistunut turvesuo, jonka alavin osa vettyy luonnostaan. Kuva: Paula Jylhä.

Geologian tutkimuskeskuksen paikkatietoanalyysin (GTK 2025) mukaan Keski-Pohjanmaan turvetuotantoalueista noin 2 400 ha soveltuisi ominaisuuksiensa puolesta peltoviljelyyn ja metsitettäväksi yli 1 200 ha. Nykyisen hallitusohjelman yhtenä tavoitteena on luoda edellytyksiä maatilatasoisen biokaasun tuotannolle ja puupolttoaineilla tuotetun lämmön kasville (Valtioneuvosto 2023). Entisillä turvetuotantoalueilla voitaisiin tuottaa biomassoja näihin tarkoituksiin, mutta se voi vaatia uusiutuvan energian tukea ollakseen kannattavaa. Uusiutuvan

energian direktiivien ([EU 2018/2001](#) ja [EU 2023/2413](#)) mukaan tuotettu bioenergia on kestävä, jos sillä saavutetaan merkittäviä päästövähennyksiä fossiilisiin vaihtoehtoihin verrattuna. Siten esimerkiksi turvemailla kasvaneesta nurmesta tuotettu biokaasu ei olisi kestävä (Rasi ym. 2019), ja energiaverotuksessa se rinnastettaisiin maakaasuun ([HE 152/2022](#)).

Tuilla on suuri merkitys myös maanviljelijöiden tulonmuodostuksessa (Maa- ja metsätalousministeriö 2025). Turvemaat ovat Suomen maankäyttösektorin suurin hiilipäästöjen lähde, joten maaperäpäästöjen vähentäminen on Suomen maatalouspolitiikan keskeisiä tavoitteita (Helin ym. 2025). Siksi peltoviljelyyn otettaville turvetuotantoalueille on nykyään mahdollista saada ainoastaan perustulotukea joidenkin nurmikasvien viljelyyn, eikä niille voi siirtää tukioikeuksia muualta. Esimerkiksi C2-tukialueeseen kuuluvalla Keski-Pohjanmaalla perustulotuki oli 117,55 €/ha vuonna 2025 (Ruokavirasto 2025a).

Vuonna 2023 turvetuotantoalueiden kasvihuonekaasupäästöt olivat 1,9 Mt CO₂-ekv., ja hehtaarikohtaiset päästöt keskimäärin 16,3 t CO₂-ekv. vuodessa (Statistics Finland 2025). Turvetuotannosta vapautuneet suot voivat pysyä vuosikymmeniä kasvipeitteettöminä kenttinä, ellei tehdä mitään. Turpeen voimakas hajoaminen jatkuu, ja hiilidioksidin lisäksi ilmakehään voi vapautua metaania ja typpioksiduulia (Mäkiranta ym. 2007). Turvetuotantoalueet kuormittavat myös vesistöjä kiintoaineen, ravinteiden, humuksen ja raudan huuhtoutumisen vuoksi (Ympäristöministeriö 2017). Näitä haittoja voidaan vähentää metsittämällä tai ennallistamalla käytöstä poistuneita turvesoita (Aro ym. 2023). Ennallistamisessa nostetaan pohjavesipintaa ja luodaan siten suotuisat edellytykset suokasvillisuuden palautumiselle. Siihen voi sisältyä myös erilaisten kosteikkojen rakentamista. Suomen nykyisen hallitusohjelman tavoitteena onkin metsä- ja maaperänielujen vahvistaminen. Lisäksi kannustetaan hiilivähentä- ja hiilensidontamarkkinoita (Valtioneuvosto 2023). Turvetuotantoalueiden ennallistamisella voidaan jatkossa myös kompensoida ennallistamisasetuksen vaatimaa turvemaapeltojen vettämistarvetta ([EU 2024/1991](#)). GTK:n (2025) paikkatietoanalyysissä kosteikkorakentamiseen ja ennallistamiseen sopivaksi turvetuotantoalueiden pinta-alaksi tunnistettiin Keski-Pohjanmaalta noin 2 500 ha.

Turvetuotannosta vapautuvilla soilla voitaisiin tuottaa erilaisia biomassoja laajassa mitassa energiantuotantoon, teollisuuden raaka-aineeksi tai kasvualustamateriaaliksi. Viime vuosina erityisesti biohiilen tuotanto on herättänyt paljon kiinnostusta. Meneillään on lukuisia biohiilen tuotannon edistämishankkeita, ja ensimmäiset kaupalliset tuotantolaitokset ovat jo aloittaneet toiminnan. Biohiili nähdään hiilensitomisratkaisuna, ja sille on uusia käyttöalueita myös muun muassa vedenpuhdistuksessa, rakentamisessa ja maataloudessa. Biohiilen tuotantokapasiteetin uskotaan nousevan yli 100 000 tonniin vuoteen 2030 mennessä (Bioenergia ry 2024).

1.2. Suonpohjille sopivat biomassakasvit

Käytöstä poistuneilla turpeennostoalueilla usein liiallinen märkyys, maan happamuus ja kiivenäisravinteiden niukkuus rajoittavat kasvua (Aro ym. 2023). Toisaalta niillä on mahdollista päästä suuriin kuiva-ainetuotoksiin jäännösturpeen korkean typpipitoisuuden ansiosta (Aro & Hytönen 2019), mutta halla tai tulva voivat tuhota herkimpiä kasveja (Hannukkala 2008). Ruokohelpeä (*Phalaris arundinacea*) kasvatettiin suonpohjilla 2000-luvun alussa polttoaineeksi enimmillään 19 000 hehtaarilla (Lötjönen ym. 2011). Ruokohelppi on monivuotinen heinäkasvi, joka sietää hyvin kosteita ja melko happamia olosuhteita. Sen tuotanto oli heikosti kannattavaa, ja lisäksi ruokohelppi on ongelmallinen polttoaine suuren alkalimetallipitoisuuden ja tuhkan matalan sulamispisteen vuoksi (Lötjönen & Knuutila 2009, Paulrud ym. 2001).

Alun perin ruokohelpeä kaavailtiin 1990-luvulla selluteollisuuden raaka-aineeksi korvaamaan koivukuitupuuta, mutta suunnitelma ei toteutunut (Pahkala ym. 2005). Ruokohelvestä voitaisiin mm. jalostaa biokaasua tai valmistaa kuivikkeita. Myös ruokohelven vienti kasvualustamateriaaliksi on käynnistynyt (Neova Group 2024). Soilla voitaisiin kasvattaa ruokohelven lisäksi muitakin nurmiheinälajeja, mutta kasvupaikan suhteen vaatimaton ruokohelppi on osoittautunut satoisimmaksi ja kestävimmäksi nimenomaan entisillä turvesoilla (Pahkala ym. 2005). Sadonkorjuu märiltä mailta voi kuitenkin olla vaikeaa.

Nurmiviljely sopii hyvin suonpohjille (Virkajärvi & Huhta 1993, 1994, 1998, Lamminen ym. 2005), mutta kasvualusta vaatii aluksi kalkituksen ja pääravinnelannoituksen tyypellä, fosforilla ja kaliumilla. Sadonkorjuun jälkeen tarvitaan uusintalannoitus kaliumilla ja fosforilla, usein myös tyypellä. Kenttäkokeissa timotein kuiva-ainesato on suonpohjalla ollut 630–8 280 kg ka/ha/v kahdella sadonkorjuukerralla (Virkajärvi & Huhta 1993, 1994). Lamminen ym. (2005) osoittivat, että ruokohelppi tuottaa keskimäärin suuremman sadon kuin timotei, ruokonata tai rehukattara, jos suonpohjan kasvuolosuhteet ovat kunnossa. Suonpohjilla maan kantavuus voi kuitenkin olla ongelma myös kevätkorjuussa, jos routaa ei ole.

Yksivuotinen kuituhamppu (*Cannabis sativa*) voi menestyä myös turvesuon pohjilla, mutta se on ruokohelpeä vaateliaampi kasvi (Hannukkala 2008). Kuituhampun kuiva-ainetuotos voi olla korkea, ja se parantaa maaperää, mutta vaatii paljon ravinteita sekä kasvualustan huolellisen valmistelun. Turvemailla maan märkyys voi heikentää kuituhampun tuotosta merkittävästi (Hannukkala 2008, Vihanta 2023; Kuva 3). Lisäksi sen taimet ovat hallanarkoja (Hannukkala 2008). Hamppukuitua voidaan käyttää esimerkiksi tekstiileissä, rakennus- ja eristemateriaaleissa ja komposiittien raaka-aineena. Kuidun erottelusta jääneet puumaiset ydinosat (päistäreet) voidaan hyödyntää katemateriaalina puutarhaviljelyssä, kuivikkeena tai energiantuotannossa (Visković ym. 2023). Kuituhampulle ei ole tällä hetkellä teollista käyttöä Suomessa, koska sen jalostusta käynnistämässä ollut Hemka Fiber Oy ajautui konkurssiin syksyllä 2025 (Patentti- ja rekisterihallitus 2025).



Kuva 3. Halsuan Kairinevalle perustettu kuituhampun koeviljelmä, jolla maan märkyys heikensi biomassatuotosta. Kuva: Johannes Karhula / Datapalvelu 64N.

Aikaisempien tutkimusten perusteella männyn (*Pinus sylvestris*) kasvatusta ainespuuksi sekä luontaiseen metsittymiseen perustuva hieskoivun (*Betula pubescens*) kasvatusta energiapuuksi lyhyellä kiertokaudella ja ilman harvennuksia voi olla entisillä turvetuotantoalueilla kannattavaa ilman tukea (Jylhä ym. 2015, Aro ym. 2020, Lauhanen ym. 2025). Metsitettyjen suonpohjien haitalliset ympäristövaikutukset ovat pienemmät kuin paljaiden turvepintojen (Aro ym. 2023), ja metsittämällä suonpohjista voi tulla jopa hiilinieluja (esim. Hytönen ym. 2018, Maanvilja ym. 2026). Hieskoivu soveltuu kosteille, happamille ja orgaanisille mailla. Se on pioneeripuulaji, joka levittäytyy luontaisesti käytöstä poistuneille turvetuotantoalueille, jos maan ravinnepitoisuus on tasapainossa. Aluksi hieskoivu kasvaa tiheikköinä, joiden runkoluku voi olla jopa yli 100 000 kpl/ha, mutta puusto harvenee itsestään kasvutilan loppuessa (Hytönen ym. 2018). Päätehakkuun jälkeen hieskoivikko uudistuu luontaisesti vesomalla (Hytönen 2020).

Pajun (*Salix* spp.) kasvatusta suonpohjilla biohiilen raaka-aineeksi on herättänyt paljon kiinnostusta (Hohteri 2021, Leppäkoski ym. 2021, Honkanen & Suonerä 2024). Sen huokoinen puu-aine sopii erityisesti korkealaatuisen biohiilen valmistukseen (Rasa ym. 2021). Biohiilestä voidaan jalostaa aktiivihiihtä, ja sitä voidaan käyttää elektroniikkateollisuudessa ja maanparannusaineena. Lisäksi biohiilen valmistuksessa syntyvillä pyrolyysinesteillä on monia sovellusmahdollisuuksia (Viherä-Aarnio ym. 2022).

Paju on nopeakasvuinen ja parhaimmillaan runsaasti biomassaa tuottava pensasmaisen kasvi, jonka viljelyllä voidaan myös vähentää eroosiota. Pajulle on suonpohjilla mitattu jopa 9,3 tonnin vuotuinen kuiva-ainetuotos, mutta myös täydellisiä epäonnistumisia on raportoitu (Aro 2022). Paju sitoo tehokkaasti ravinteita, mutta se vaatii säännöllistä hoitoa ja on altis hirvituhoille. Energiapajun kasvatusta erilaisissa olosuhteissa on tutkittu paljon, mutta se on yleensä todettu kannattamattomaksi ilman tukea sellaisilla kuiva-ainetuotoksilla, joihin on mahdollista päästä käytännön viljelmillä (esim. El Kasmiou & Ceulemans 2012, Jylhä 2022a). Suomen pajunviljelypinta-alaa ei tiedetä tarkasti. Vuonna 2021 arvioitiin, että pajua viljeltäisiin noin 70 hehtaarilla (Suutari, M., Carbons Finland Oy, sähköposti 29.9.2021). Vuonna 2025 maataloustukien piirissä oli noin 40 ha energiapajuviljelmiä, joiden tilakohtainen pinta-ala oli keskimäärin 1,6 ha (Ruokavirasto 2025b).

Pajun ja ruokohelven lisäksi entisillä turvetuotantoalueilla voitaisiin kasvattaa rahkasammalta ja erikoiskasveja kosteikkoviljelynä. Siinä pohjaveden pinta pidetään korkealla, jolloin turpeen hajoaminen hidastuu ja maaperäpäästöt vähenevät (Lång ym. 2024a). Paju ja ruokohelpi tarvitsevat säännöllisen lannoituksen, jotta niiden tuotos pysyisi hyvällä tasolla. Lannoitteita ei saa levittää veden kyllästämään maahan ([VNA 1250/2014](#)), ja tämä vaatimus koskee myös suonpohjien kosteikkoviljelyä. Siten lannoitus on mahdollista vain silloin, kun pohjaveden pinta on alhaalla, noin 30 cm:n syvyydellä. Ruokohelven viljely korotetulla pohjavedenpinnalla voi olla mahdollista, jos vedenpinta laskettaisiin alemmaksi kerran vuodessa tapahtuvan korjuun ja lannoituksen ajaksi. Kosteikkoviljelyn vaikutus kasvien satotasoon tunnetaan heikosti, mutta maan liiallisen märkyyden on joissakin tapauksissa todettu heikentäneen tuotosta (Hannukkala 2008, Larmola ym. 2023, Vihanta 2023).

Kosteikkoviljelyyn sopivista kasveista rahkasammal ei vaadi lannoitusta, mutta sen tuotanto- ja korjuumenetelmät ovat vasta kehitysvaiheessa (esim. Laine-Petäjäkangas ym. 2024). Naukarisen (2021) opaskirjassa esitellään muita kosteikkoviljelyyn sopivia kasvilajeja, joita voitaisiin käyttää energiakasveina, teollisuuden raaka-aineena, eläinten rehuna, ihmisravintona tai lääkekasveina. Näiden kasvien viljelyyn ei ole ruokohelven ja pajun lisäksi vakiintuneita

menetelmiä, ja monien (esimerkiksi lääkekasvit) viljely jäänee vähäiseksi vapautuvaan turvetuotantopinta-alaan suhteutettuna.

1.3. Tutkimuksen tavoite

Käytöstä poistuneiden turvetuotantoalueiden taloudellinen hyödyntäminen kiinnostaa maanomistajia ja energiaturpeen käytön alasajosta kärsineitä maakuntia. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää ruokohelven, kuituhampun, pajun ja hieskoivun (Kuva 4) tuotannon kannattavuutta ja ympäristövaikutuksia sekä arvioida niiden tuotannon ja jatkojalostuksen aluetalousvaikutuksia Keski-Pohjanmaan olosuhteissa. Tutkimuksiin valittiin kasveja, joita voitaisiin tuottaa entisillä turvetuotantoalueilla laajassa mittakaavassa. Oletuksena oli, että kasveja tuotetaan tavanomaisilla menetelmillä nostamatta pohjaveden pintaa.

Pajua voitaisiin käyttää esimerkiksi biohiilen tai biokomposiittien raaka-aineena, ja hieskoivusta valmistettaisiin biohiiltä. Ruokohelpeä käytettäisiin kuivike- tai kasvualustamateriaalina tai biokaasun raaka-aineena. Kuituhamppu puolestaan menisi biokomposiittien raaka-aineeksi. Aluetalousvaikutusten arvioinnissa selvitettiin näiden biomassojen tuotannon vaikutuksia Kokkolan ja Kaustisen seutukunnissa sekä arvioitiin erikseen biohiilen valmistuksen ja biohiililaitosinvestoinnin vaikutuksia Kaustisen seutukunnassa. Elinkaarianalysissä tarkasteltiin myös tavanomaisten nurmikasvien tuotantoa biokaasun syötteenä verrokkina ruokohelvelle. Lisäksi arvioitiin ruokohelvestä tuotetun biokaasun kestävyttä uusiutuvan energian kestävyyskriteerien näkökulmasta, koska kestävyystulkinnalla on olennainen vaikutus biokaasun tuottajan kykyyn maksaa raaka-aineesta.



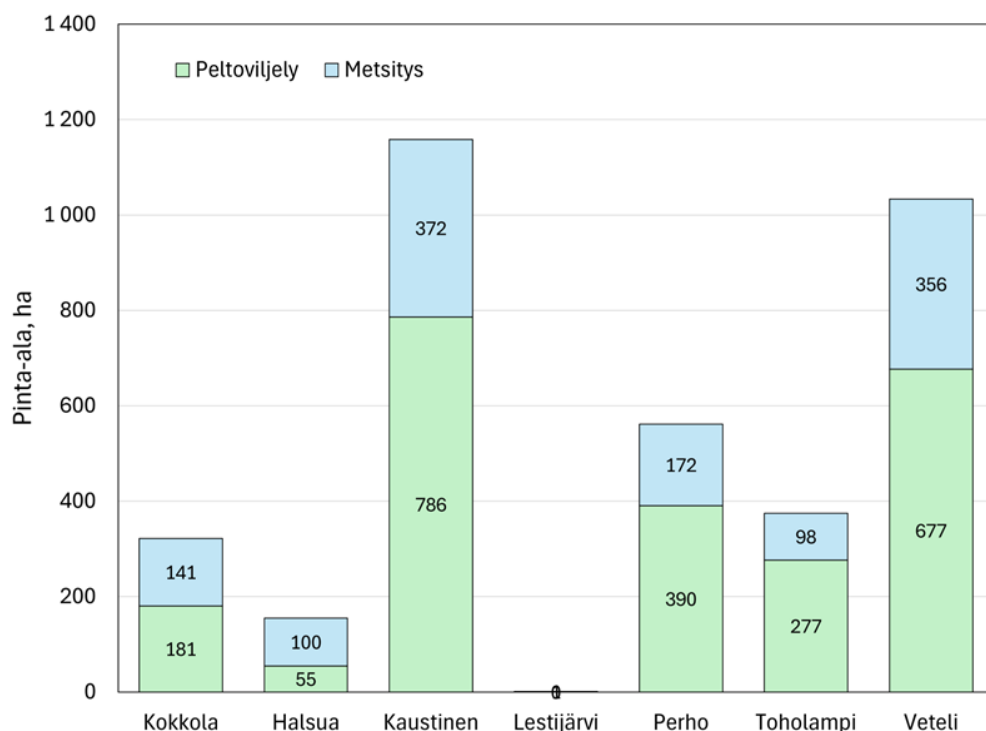
Kuva 4. Tutkimukseen valitut kasvilajit olivat timotei-ruokonata (a), ruokohelpi (b), kuituhamppu (c), paju (d) ja hieskoivu (e). Kuvat: Timo Lötjönen (a), Lasse Aro (b, e) ja Seppo Vi-hanta (c, d).

2. Aineisto ja menetelmät

2.1. Jatkokäytön pinta-alapotentialit

Eri vaiheissa olevia tai jo jatkokäyttöön siirtyneitä turvetuotantoalueita on Keski-Pohjanmaalla Geologian tutkimuskeskuksen paikkatietoanalyysin perusteella yhteensä noin 5 000 hehtaaria, josta valtaosa sijoittuu Kaustisen seutukunnan alueelle (GTK 2025). Paikkatietoanalyysissä näiden alueiden peltoviljely- ja metsityskelpoisuuden perusedellytyksenä oli riittävä kuivatus, joka määritettiin pinnankorkeuden, veden virtausverkkojen ja alueelta pois johtavan ojan koron suhteen perusteella. Ohutturpeisilla alueilla (turvekerroksen paksuus alle 40 cm) peltoviljelyyn soveltuviksi katsottiin alueet, joilla pohjamaa oli hietaa tai sitä hienompaa ainesta. Paksuturpeisemmillä kohteilla pohjamaalajilla ei ollut merkitystä. Myös happamien sulfaattimaiden riski otettiin huomioon. Metsitykseen kelvolliseksi katsottiin alueet, joilla turvekerroksen paksuus oli korkeintaan yksi metri. Ohutturpeisilla soilla (turvekerroksen paksuus alle 40 cm) pohjamaalaji vaikutti puulajin (hieskoivu tai mänty) valintaan. Hieskoivulle sopivaksi määritettiin alueet, joilla pohjamaa oli hiesua tai sitä hienompaa maalajia.

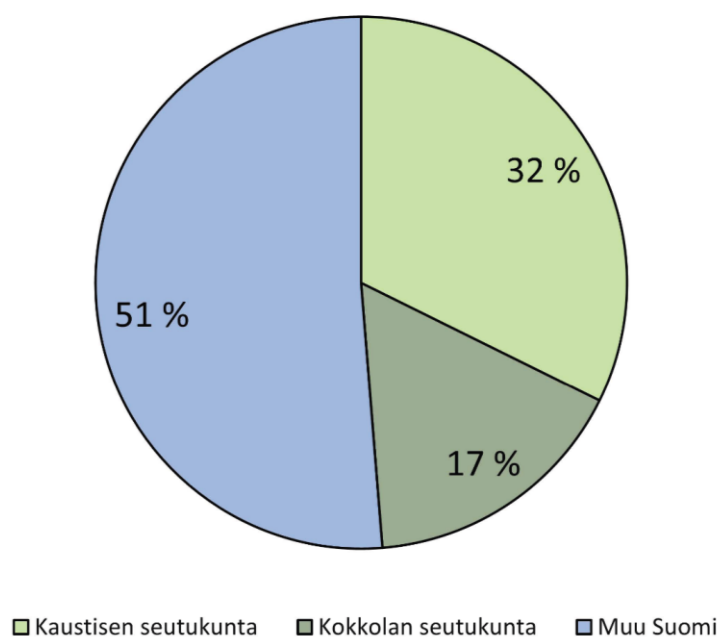
Kaikki peltoviljelyyn sopivat alueet voitaisiin myös metsittää, mutta seutukuntatason aluetalouselaskelmissa annettiin etusija kasveille, joita ei toistaiseksi viljellä laajassa mitassa. Näitä olivat ruokohelmi, kuituhamppu ja paju. GTK:n (2025) paikkatietoanalyysin perusteella peltoviljelyyn hyvin soveltuvien Keski-Pohjanmaan turvetuotantoalueiden pinta-ala on yhteensä 2 366 ha. Männyllä tai hieskoivulla metsittämiseen sopiva pinta-ala on yhteensä 1 240 ha, josta hieskoivulle sopivaa pinta-alaa on 577 ha. Alavimmat tai patoamalla vetettävissä olevat alueet sopivat ennallistettaviksi tai niille voidaan rakentaa kosteikkoja. Kuvassa 5 on esitetty aluetalouselaskelmissa käytetyt kunnittaiset peltoviljely- ja metsityspinta-alat.



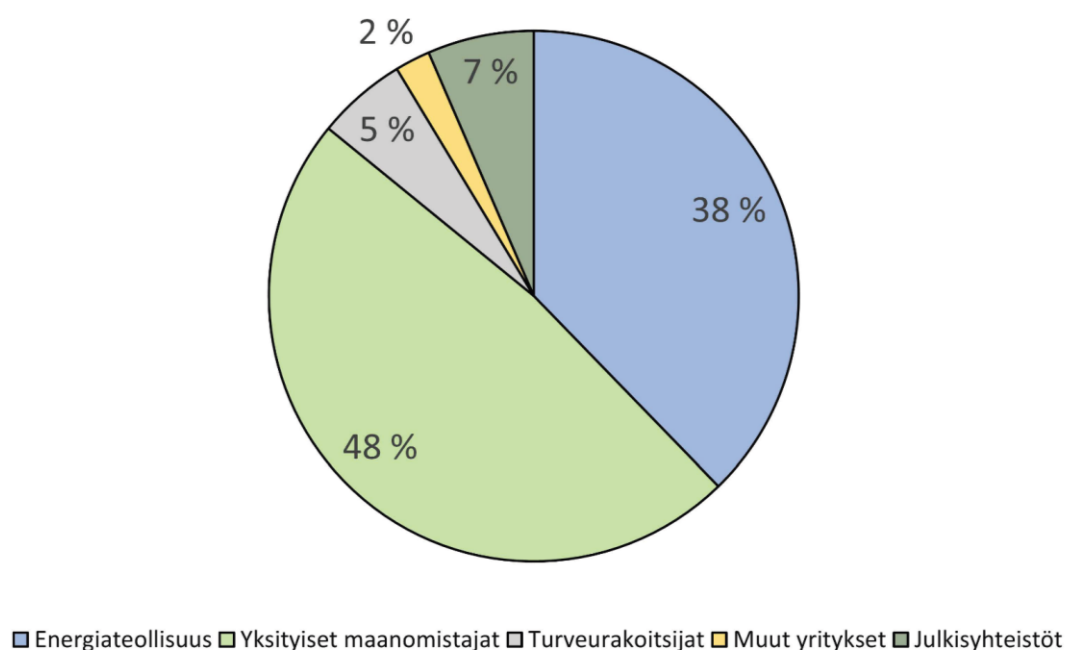
Kuva 5. Keski-Pohjanmaan peltoviljelyyn ja metsitykseen soveltuvien turvetuotantoalueiden pinta-alan jakautuminen kunnittain.

ELY-keskuksen (2023) ympäristölupa-aineiston (yht. 4 102 ha, kiinteistön vähimmäispinta-ala 0,5 ha) perusteella 51 % Keski-Pohjanmaan turvetuotantoalueiden pinta-alasta oli maakunnan ulkopuolisessa omistuksessa (Kuva 6). Yksityiset maanomistajat (yhteismetsät mukaan lukien) omistivat 47 % pinta-alasta ja energiateollisuus 39 %. Muiden yritysten ja erilaisten julkisyhteisöjen omistusosuus oli 7 % lupapinta-alasta.

Omistajan kotipaikka, % pinta-alasta



Omistajaryhmät, % pinta-alasta



Kuva 6. Keski-Pohjanmaan turvetuotantoalueiden omistusrakenne ELY-keskuksen (2023) ympäristölupa-aineiston perusteella.

2.2. Biomassojen tuotostasot

Kasvien tuotostaso vaikuttaa viljelyn kannattavuuteen, ja sillä on merkitystä myös tuotannon ympäristövaikutusten arvioinnissa. Tutkimukseen valittujen peltokasvien tuotoksista entisillä turvetuotantoalueilla ei ole kattavaa tietoa, joten niiden satotasojen määrittämisessä hyödynnettiin myös turve- ja kivennäismaapelloilla saavutettuja tuloksia (Taulukko 1). Hieskoivun ja pajun tuotos suonpohjilla tunnetaan paremmin (Taulukko 2).

Tuotantokustannus-, kannattavuus- ja aluetalouselaskelmissa sekä elinkaarianalyysissä käytetyt kuiva-ainetuotoksen perustasot (Taulukko 3) määritettiin Taulukoissa 1 ja 2 esitettyjen tietojen pohjalta siten, että ne voidaan saavuttaa entisillä turvetuotantoalueilla hyvin onnistuneilla viljelmillä ja tavanomaisilla lannoitusmäärillä. Talouselaskelmissa ja elinkaarianalyysissä otettiin huomioon puubiomassojen korjuu- ja varastointihävikit (Danfors & Norden 1995, Jylhä & Bergström 2016, Kofman & Spinelli 1997, Nurmi 2014), joiden jälkeen jalostettavaksi päätyi 90 % pajun ja 85 % hieskoivun kuivamassatuotoksesta. Myös ruokohelven satotasossa on otettu huomioon noin 15 %:n korjuuhävikki (Hemming 1996).

Aluetalouselaskelmien ja elinkaarianalyysin aikajänteeksi oletettiin pisimmän kiertoajan kasvin (hieskoivu) mukaan 22 vuotta kaikille tutkimukseen valituille kasveille. Tässä ajassa (metsikön perustamistoimet mukaan lukien) suonpohjille luontaisesti syntyneiden hieskoivikoiden keskimääräinen vuotuinen kuiva-ainetuotos oli suurimmillaan Hytösen ym. (2018) aineistossa, mutta tämä kiertoaika ei välttämättä ole kannattavuuden näkökulmasta optimaalinen (Jylhä ym. 2015, 2020).

Taulukko 1. Tyypillisiä tutkimukseen valittujen peltokasvien kuiva-ainesatoja Suomessa, Ruotsissa ja Virossa. - = tieto puuttuu.

Kasvi	Kuiva-ainesato, kg ka ha/v	Maalaji ja aiempi maankäyttömuoto	Lannoitus, kg/ha	Lähde
Ruokohelpi	6 000–9 000	Kivennäismaa (pelto)	N100, P25, K100	Landström ym. 1996
Ruokohelpi	6 000–8 000	Savimaa (pelto)	N50, P4, K6	Saijonkari-Pahkala 2001
Ruokohelpi	6 000–11 000	Eloperäinen maa (pelto)	N50, P4, K6	Saijonkari-Pahkala 2001
Ruokohelpi	4 500–9 000	Turvemaa (ent. turvesuo)	N60-80, P30, K80	Isolahti & Hakkola 2000
Ruokohelpi	5 000–9 000	Turvemaa (ent. turvesuo)	N60-80, P14, K30	Heinsoo ym. 2011
Ruokohelpi	6 300–8 500	Turvemaa (ent. turvesuo)	-	Lötjönen & Paappanen 2013
Ruokohelpi	3 200–4 200	Hietamaa (pelto)	-	Lötjönen & Paappanen 2013
Kuituhamppu	4 500–7 500	Savimaa (pelto)	N108, P18, K72	Sankari 2000
Kuituhamppu	2 000–6 000	Turve-/kivennäismaa (pelto)	-	Hannukkala 2008
Kuituhamppu	10 000–15 000	Multava savimaa (pelto)	N60, P7, K11	Seleiman ym. 2013
Kuituhamppu	6 000–19 000	Kivennäismaa (pelto)	N60, P6, K36	Tahvola 2016
Kuituhamppu	168–9 752	Turvemaa (ent. turvesuo)	-	Vihanta 2023

Taulukko 2. Suomessa mitattuja pajun ja hieskoivun kuivamassatuotoksia entisillä turvetuotantoalueilla. Lyhenteiden selitykset: pl = peruslannoitus, kl = kasvatuslannoitus: - = tieto puuttuu.

Kasvi	Kuiva-ainesato, kg ka ha/v	Maalaji ja aiempi maankäyttömuoto	Lannoitus, kg/ha	Lähde
Paju	2 600–6 300	Turvemaa (ent. turvesuo)	pl: N50, P44, K83; kl: N0-200, P0-60, K0-80	Hytönen 1994
Paju	700–4 700	Turvemaa (ent. turvesuo)	pl: N0-50, P44-192, K83-588; kl: N0-100, P0-30, K0-80	Hytönen 1995a
Paju	900–4 100	Turvemaa (ent. turvesuo)	pl: N50, P44, K83; kl: N0-200, P0-60, K0-80	Hytönen 1995b
Paju	1 200–7 500	Turvemaa (ent. turvesuo)	N50-100, P20-40, K40-70 (vuosittain)	Hytönen ym. 1995
Paju	2 200–8 700	Turvemaa (ent. turvesuo)	N50-100, P20-40, K40-70 (vuosittain)	Hytönen & Saarsalmi 2009
Hieskoivu	3 894	Turvemaa (ent. turvesuo)	Ei	Ferm & Kaunisto 1983
Hieskoivu	3 000	Turvemaa (ent. turvesuo)	Ei	Hytönen & Aro 2012
Hieskoivu	4 600	Turvemaa (ent. turvesuo)	P108, K339 (puutuhka)	Hytönen & Aro 2012
Hieskoivu	4 100	Turvemaa (ent. turvesuo)	P50, K95	Hytönen & Aro 2012
Hieskoivu	5 160	Turvemaa (ent. turvesuo)	Ei	Hytönen & Saarsalmi 2009
Hieskoivu	5 895	Turvemaa (ent. turvesuo)	N100, P40, K70	Hytönen & Saarsalmi 2009
Hieskoivu	1 744–4 327	Turvemaa (ent. turvesuo)	-	Hytönen ym. 2018
Hieskoivu	1 300–2 400	Turvemaa (ent. turvesuo)	pl: N0-10, P38-43, K72-82; kl: P45, K80	Hytönen ym. 2014

Taulukko 3. Laskelmissa oletetut maanpäällisen kuiva-ainetuotoksen perustasot (kuivamassatonna hehtaarilla vuodessa, t ka/ha/v) ja kosteudet käyttöpaikalle tai vientisatamaan toimitettuna.

Kasvi	Tuotos, t ka /ha/ v	Toimituskosteus, %
Ruokohelpi, kevätkorjuu	6,0	15
Ruokohelpi, kesäkorjuu	6,0	15 tai 60
Nurmi ¹	8,0	60
Kuituhamppu	5,0	17
Paju ²	5,0	35
Hieskoivu ²	3,2	40

¹ Timotei-ruokonatanurmi, kaksi satoa vuodessa

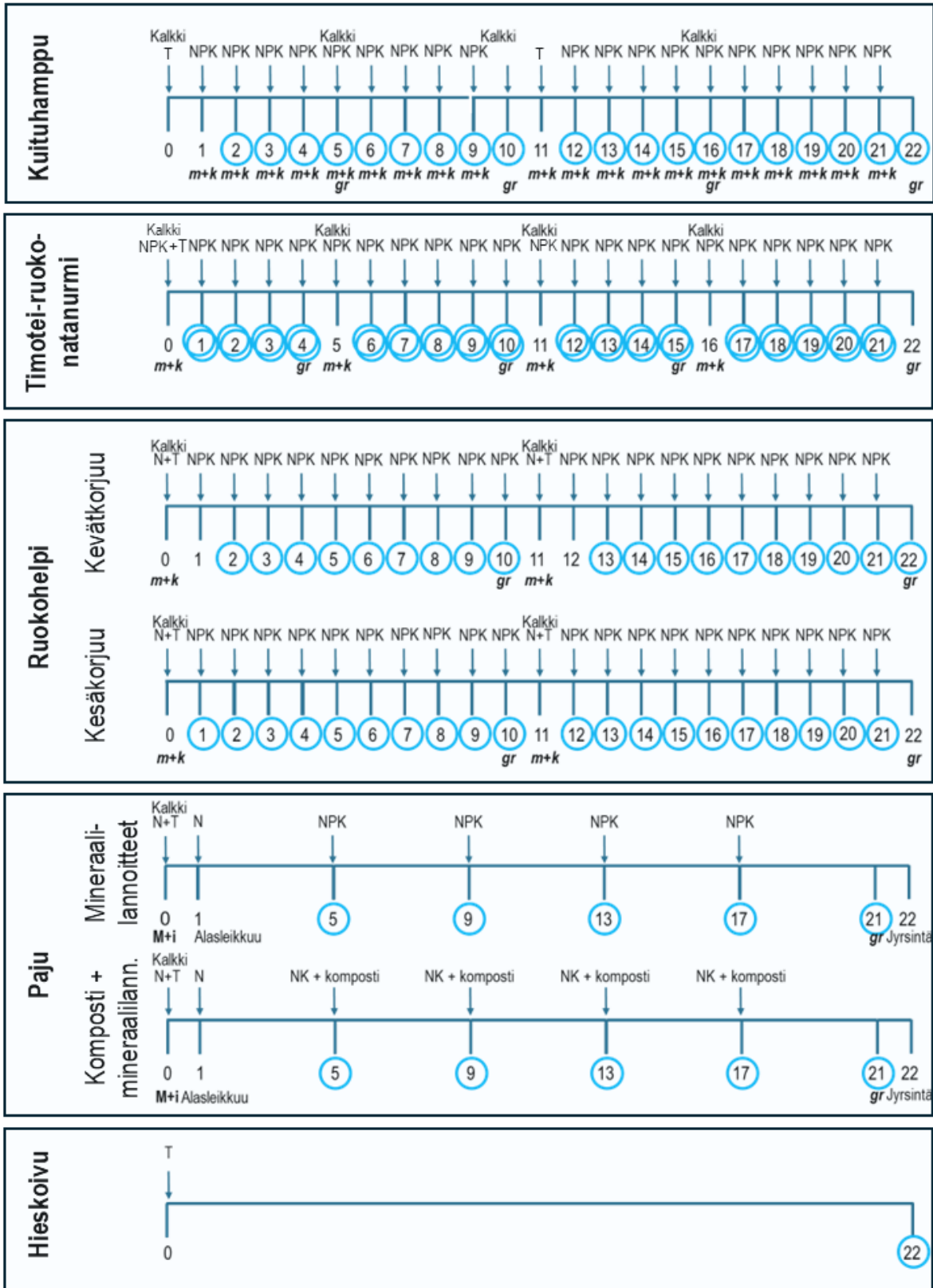
² Lehdetön maanpäällinen kuivamassatuotos, tuottojen ja kustannusten laskennassa sekä elinkaariarvioinnissa on otettu huomioon korjuu- ja varastointihävikit. Tienvarsivarastoinnin kestoksi oletettiin 6 kk.

2.3. Tuotantoketjut

Talouselaskelmia ja ympäristövaikutusten arviointia varten mallinnettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla tuotantoketjut, joihin sisältyi kasvupaikan kunnostaminen, viljelmän perustaminen ja hoito sekä sadonkorjuu, sadon välivarastointi ja kuljetus käyttöpaikoille tai vientisatamiin. Kuivikkeeksi, kasvualustaksi tai biokaasun raaka-aineeksi tuotettu ruokohelpi toimitettiin paalattuna tai irtosilppuna käyttöpaikalle ja kasvualustamateriaalin tapauksessa mahdollisiin vientisatamiin; kuituhamppu paalattuna teollisuuden raaka-aineeksi sekä paju ja hieskoivu hakkeena biohiilen tuotantoon. Biokaasun raaka-aineeksi tuotetulle nurmelle mallinnettiin toimitusketjut paalattuna sekä säilörehun tapaan silppurilla korjattuna. Biomassojen jatkojalostusprosessit jätettiin tarkastelun ulkopuolelle lukuun ottamatta biohiilen tuotantoon liittyviä aluetalouselaskelmia sekä arviota biokaasulaitoksen kyvystä maksaa nurmi- tai ruokohelpisyötteestä.

Kuvassa 7 on esitetty valittujen biomassakasvien tuotantoketjujen päävaiheet kasvupaikan vuonna 0 tehtävän peruskunnostuksen jälkeen. Peltokasvien ja pajun viljelyä varten suojautaan kunnostamaan niin, että maatalouskoneet toimivat kunnolla eivätkä rikkoudu kivien, liekopuiden tai maan epätasaisuuden vuoksi. Turvetuotantoalueet ovat käytännössä aina avo-ojitettuja, noin 20 metrin ojavälillä. Niiden salaojitus viljelykäyttöä varten ei yleensä ole taloudellisesti järkevää. Ojat kunnostettiin jyrsimellä ja sarat muotoiltiin muotoiluruuvilla. Sen jälkeen maa kalkittiin ja lannoitettiin kunkin kasvilajin vaatimusten mukaisesti. Ennen viljelmän perustamista tehtiin vielä lautasmuokkaus ja äestettiin maa kahteen kertaan.

Tiheä hieskoivikko syntyy luontaisesti entisille turvetuotantoalueille, mikäli lähistöllä on siementäviä hieskoivuja ja maan ravinnetilanne on kunnossa (Hytönen ym. 2018, Aro & Hytönen 2019). Siksi tuhkalannoitus (5 t/ha) oletettiin ainoaksi toimenpiteeksi hieskoivulle, joka viihtyy kosteillakin kasvupaikoilla. Taulukossa 4 on esitetty laskelmissa oletetut maanparannusaineiden ja lannoitteiden käyttömäärät 22 vuoden tarkastelujakson aikana. Lannoitus tehtiin mineraalilannoitteilla, mutta pajulle laskettiin lisäksi vaihtoehto, jossa käytettiin kompostoitua yhdyskuntalietteen mädätysjäännöstä täydennettynä mineraalilypellä ja -fosforilla.



Kuva 7. Tuotantoketjujen päävaiheet 22 vuoden tarkastelujaksolla. N= typpilannoitus, N+T=typpilannoitus + tuhkalannoitus, NPK=lannoitus moniravinteisellä lannoitteella, NK=typpi- ja kaliumlannoitus, T=tuhkalannoitus, m+k= muokkaus ja kylvö ja gr = kasvuston lopetus glyfosaattiruiskutuksella. Sadonkorjuuvuodet on ympäröity (timotei-ruokonatanurmella kaksi satoa kasvukaudessa).

Taulukko 4. Lannoitteiden, maanparannus- ja torjunta-aineiden sekä viljelymateriaalien käyttö 22 vuoden tarkastelujaksolla. Ensimmäinen luku kertoo, kuinka monta kertaa tuotantopanosta on tarkastelujakson (ks. Kuva 7) aikana käytetty ja toinen luku ilmoittaa käyttömäärän. Tuotantopanosten käyttömäärät perustuvat taulukon 1 julkaisuihin.

	Tuotantopanos	Kuituhamppu	Nurmi	Ruokohelpi	Paju		Yksikkö
					Väkilann.	Komposti	
Tuhkalannoitus ¹	Puutuhka	2×5	2×5	2×5	5	5	t/ha
Kalkitus	Mg-kalkki	4×10	2×(10+5)	2×10	6	6	t/ha
Perustamislannoitus	Axan ²		2×185	1–2×185	185+740	185	kg/ha
Perustaminen	Siemenet	20×45	4×21	2×12			kg/ha
	Pistokkaat				15 000	15 000	kpl/ha
Lannoitus satovuosina	Y6 ³	19×400	20×400	20×400	4×500		
	Axan ²		20×110		4×463	4×530	kg/ha
	Kaliumsuola ⁴					4×53	kg/ha
	Komposti ⁵					4×8,5	t/ha
Kasvuston lopetus	Glyfosaatti ⁶	4×4	4×4	2×4	7	7	l/ha

¹Tuhkalannoitus elinkaarianalyyssissä vain perustamisvaiheessa; ²NPK 27-0-1 (ravinnepitoisuudet, %); ³NPK 15-6,5-12,5; ⁴K 50; ⁵NPK 0,67-0,78-0,10 (Ruthon Group Oy 2024); ⁶glyfosaatti 360 g/l; ⁷kevätkorjattavalla ruokohelvellä kaksi kertaa, kesäkorjattavalla kerran.

Pajukasvusto korjattiin neljän vuoden välein ja viljelmä uusittiin 20 vuoden jälkeen. Ruokohelpiviljelmä uusittiin 10 vuoden ja nurmi 4–5 vuoden välein; kuituhamppu puolestaan on yksi-vuotinen kasvi. Hieskoivikko avohakattiin 22 vuoden iässä kokopuuna, ja puuston oletettiin uusiutuvan vesomalla luontaisesti. Hakkeen kuljetusmatkoiksi tienvarresta käyttöpaikalle oletettiin 30 km.

Laskelmissa ruokohelpi korjattiin keväällä ”kuloheinänä” kuivikkeeksi ja kasvualustaksi (Kuva 8) tai vaihtoehtoisesti loppukesästä säilörehun ja kuivaheinän tapaan. Kuivana korjattujen kasvustojen kosteudeksi oletettiin korkeintaan 15 %, jolloin materiaali säilyy varastoinnin aikana. Paalit suojattiin sateelta pressuilla tai ne käärittiin muoviin (Lötjönen & Paappanen 2013). Tuoreena säilörehun tapaan korjattu timotei-ruokonatanurmi ja ruokohelpi tiivistettiin ja varastoitettiin ilmatiiviisti. Nämä kasvustot korjattiin irtosilppuna tai paalattiin joko pyörö- tai kanttipaaleihin (Lötjönen 2009). Korjatun ruokohelven ja nurmen kuljetusmatkaksi oletettiin 20 km. Kuituhampun oletettu korjuuajankohta oli keväällä, ja se paalattiin karhotuksen jälkeen kanttipaaleihin. (Käytännössä on todettu, ettei keväällä korjattavaa kuituhampua tarvitse niittää, vaan pelkkä karhotus riittää irrottamaan kasvit maasta.) Kuituhampupaalien kuljetusmatkaksi jalostuslaitokselle oletettiin 220 km. Muut kustannusten ja tuotantoketjujen elinkaarivaikutusten laskennassa käytetyt kuljetusmatkat on kuvattu Liitteessä 1.



Kuva 8. Kevätkorjattua ruokohelpeä voidaan käyttää kuivikkeena tai kasvualustamateriaalina. Vasemmalla ruokohelven niittoa toukokuun lopulla ja oikealla saman kasvuston paalausta suurkanttipaaleihin. Kuvat: Timo Lötjönen.

Pajupistokkaat (20 cm, 15 000 kpl/ha) istutettiin traktorivetoisella istutuskoneella. Toisena vuonna kasvusto leikattiin alas haaroittumisen edistämiseksi, ja siitä alkaen korjuu tehtiin neljän vuoden välein. Pajukasvusto kaadettiin keväällävella kaivinkonesovitteisella, jatkuvatoimisella Risupeto-keräilykaatolaitteella (Laitila & Vätäinen 2021, Team Risupeto 2019) ja hieskoivu hakkuukoneella kokopuun keräilykaatona. Puu kuljetettiin kummassakin tapauksessa kuormatraktorilla tienvarteen, jossa sitä varastoitiin pinoissa peitettynä noin puoli vuotta ja haketettiin sen jälkeen biohiililaitokselle toimitettavaksi. Pajuhakkeen toimituskosteudeksi oletettiin 35 % ja hieskoivuhakkeen 40 % (Alakangas ym. 2016, Nurmi 2014). Viimeistä korjuukertaa seuraavana kesänä pajunkantojen annettiin vesoa, minkä jälkeen kasvusto lopetettiin glyfosaattiruiskutuksella. Seuraavana vuonna kannot ja juuret jrsittiin ennen uuden viljelmän perustamista. Myös nurmi- ja ruokohelpikasvusto tuhottiin glyfosaattiruiskutuksella ennen seuraavaa viljelykiertoa. Kannattavuuslaskelmissa ruokohelven viljelykierroksi oletettiin kymmenen vuotta.

2.4. Kustannus- ja tuotto-oletukset

Peltokasvien tuotantokustannukset laskettiin urakointihintojen tai urakointikokoluokan koneiden (140 kW:n maataloustraktori ja vastaavan kokoluokan työkoneet) tuntikustannusten, työajanmenekkien ja viljelymateriaalien kustannusten perusteella. Työajanmenekkien ja konekustannusten laskennassa käytettiin apuna Työtehosteuran kehittämää TTS-Kone laskentaohjelmaa (<https://ttskone.tts.fi/>), joka on tarkoitettu konetöiden hinnoittelun tueksi. Sen tietokannasta puuttuvien työlajien hinnoittelussa käytettiin kirjallisuudesta löytyviä tuottavuus- ja kustannustietoja. Työmaa-ajon ja koneiden siirtokustannusten oletettiin sisältyvän urakointihintoihin. Muiden tuotantopanosten hintatiedot saatiin internetistä tai tiedustelemalla kauppiailta ja alan yritysiltä.

Pajuhakkeen tuotantokustannusten (korjuu, haketus ja hakkeen autokuljetus) laskentatapa on kuvattu yksityiskohtaisesti Jylhän (2022a) artikkelin liitteessä. Hieskoivun kuiva-ainetuotoksen ja puunkorjuukustannusten laskennassa tarvittavat puustotunnukset laskettiin Hytösen ym. (2018) aineistosta laadituilla regressiomalleilla. Hieskoivun kokopuukorjuun ajanmenekki laskettiin Jylhän ja Bergströmin (2016) malleilla. Hieskoivun haketuksen ajanmenekki määritettiin Jylhän (2015) aikautkimusaineiston avulla, ja hakkeen autokuljetuksen kustannusten

laskenta on kuvattu Jylhän ym. (2015) artikkelissa. Molempiin laskelmiin sisällytettiin suorien kustannusten lisäksi myös puunkorjuun yleiskustannukset (Strandström 2024). Edellä mainituissa tutkimuksissa käytetyt kustannukset päivitettiin vuoden 2024 tasoon metsäalan kone- ja autokustannusindeksien avulla (Tilastokeskus 2021, 2024). Laskelmiin sisällytettiin myös paju- ja hieskoivupinojen peittelykustannukset. Peitepaperin tarve arvioitiin korjuulohkokoh- taisen (15 tai 25 ha) hakkuukertymän kehystilavuuden perusteella (Energiapuun mittausopas 2014).

Tuotantolohkon pinta-ala ja sen etäisyys tuotettujen biomassojen toimituspaikkoihin ja ura- koitsijoiden tukikohtiin heijastuvat polttoaineen kulutukseen ja osittain myös kustannuksiin koneiden siirtotarpeen ja materiaalikuljetusten kautta. Kulkemistarpeiden arvioinnissa työpäi- vän pituudeksi oletettiin 8 h. Peltoviljelyvaihtoehdoissa tuotantolohkon keskimääräiseksi pinta-alaksi oletettiin 25 ha ja hieskoivuvaihtoehdossa 15 ha GTK:n (2025) paikkatietoanalyys- in perusteella. Tuotantolohkojen etäisyydet biomassojen oletettuihin toimituspisteisiin selvi- tettiin em. aineistosta laskemalla kuljetusmatka kilometreinä tieverkkoa pitkin. Tuotantopa- nosten kuljetusmatkoina käytettiin keskimääräiseksi arvioitua etäisyyttä kuljetuksen todennä- köisestä lähtöpisteestä suolle tai tilakeskukseen. Kannattavuus- ja aluetalouslaskelmiin sekä elinkaarianalyysiin liittyvät kustannus- ja tuottavuusoletukset sekä polttoaineen kulutustiedot on kuvattu yksityiskohtaisesti Liitteessä 1.

Ruokohelpikuivikkeen hinnaksi oletettiin 200 €/t ka ja kasvualustamateriaaliksi tai biokaasun syötteenä päätyvän ruokohelven hinnaksi 160 €/t ka. Mannin ym. (2022) raportoiman vertai- lun perusteella yksi kilogramma kuivaa ruokohelpisilppua vastaa kuivituskyvyltään kahta kilo- grammaa kuiviketurvetta. Liitteessä 2 esitetyn laskelman mukaan ruokohelpisilpun enimmäis- hinta käyttöpaikalla voisi olla jopa 271 €/t ka, mutta laskelmissa hintaa alennettiin ruokohel- ven turvetta heikompien ominaisuuksien vuoksi.

Kuituhampulla käytettiin Hemka Fiber Oy:n viljelysopimusten mukaista hintaa, joka oli 300 €/t ka (Hemka Fiber Oy 2024) Kauhajoen tehtaalle toimitettuna. Hieskoivu- ja pajuhak- keen hinnat kuivatonna kohti käyttöpaikalla (150 ja 140 €/t ka) johdettiin Alakankaan ym. (2016) kuvaamalla tavalla vuosien 2020–2024 metsähakkeen keskimääräisestä käyttöpaikka- hinnasta, joka oli noin 30 €/MWh (Tilastokeskus 2025b). Minkään kannattavuusvertailuun va- litun kasvin tuotantoon ei ole enää mahdollista saada tukea käytöstä poistuville turvesoille (Ruokavirasto 2025a).

Biokaasulaitoksen maksukykyä biomassasta tarkasteltiin Luonnonvarakeskuksen biokaasulas- kurin avulla (<https://biokaasulaskuri.luke.fi/>) käyttäen samoja parametrien arvoja kuin TURKE- hankkeessa tehdyssä biokaasun tuotannon elinkaarianalyysissä (Kwokori ym. 2025). Oletuk- sena oli kolmen lypsykarjatilan yhteinen biokaasulaitos (kokonaisteho 550 kW), jossa pää- syötteenä käytetään lietalantaa (80 %) ja osasyötteenä ruokohelpisäilörehua (20 %). Kaasu myydään raakakaasuna putkilinjaa pitkin teollisuuden lämmityskäyttöön tai liikennebiokaa- suksi jalostettavaksi. Tällaiseen laitokseen on mahdollista saada 40–50 % investointitukea, mikä huomioitiin laskelmassa. Tarkoituksena oli selvittää, pystyttäisiinkö ruokohelpisyötteenä maksamaan vähintään sen tuotantokustannuksia vastaava hinta. Laskennassa oletettiin, että tuotettu biokaasu on uusiutuvan energian direktiivin ([EU 2023/2413](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023R2413)) tarkoittamalla tavalla kestävä.

2.5. Kannattavuuslaskenta

Biomassojen tuotannon kannattavuutta arvioitiin sekä nettonykyarvon että paljaan maan arvon perusteella. Nettonykyarvo (NNA) kertoo, onko investointi kannattava, kun huomioidaan vaihtoehtoisesta sijoituksesta saatavissa oleva korko. Nettonykyarvo (NNA) laskettiin seuraavalla yhtälöllä (esim. Niemi ym. 2020):

$$NNA = \sum_{t=0}^T \frac{KV_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

, missä T on kiertoajan pituus, t on vuosi, KV on kunkin vuoden nettokassavirta ja r on korkokanta.

Tuotettavien biomassojen ja muiden maankäyttövaihtoehtojen kiertoajat vaihtelevat, joten niiden kannattavuutta ei voida verrata pelkästään nettonykyarvojen avulla. Jos yhden vaihtoehdon nettonykyarvo on korkeampi, mutta sen kiertoaika on myös pidempi, voisi matalamman nettonykyarvon tarjoavan vaihtoehdon kierron aloittaa jo uudelleen. Paljaan maan arvolla (PMA) pystytään huomioimaan kiertoaikojen erot. Se laskettiin Faustmannin (1849) kaavalla, joka kirjoitettiin seuraavaan muotoon:

$$PMA = \frac{NNA}{1 - [1/(1+r)]^T} \quad (2)$$

, missä r on korkokanta ja T kiertoajan pituus vuosina. Paljaan maan arvo kertoo myös sen, kuinka paljon maasta kannattaa enintään maksaa saadakseen käytetyn korkokannan mukaisen tuoton investoinnilleen.

PMA:n laskenta perustuu ajatukseen, että samaa toimenpideketjua toistetaan viljelmän perustamisajankohdasta ikuisuuteen. Hieskoivun toimenpideketju poikkei muista kasveista. Jylhän ym. (2015) tutkimuksen tapaan oletettiin, että hieskoivikot uudistetaan vesottamalla. Tiedossa ei ole, kuinka monta kertaa vesottaminen onnistuu. Sen vuoksi PMA:n laskennassa oletettiin, että hieskoivikko vesotetaan avohakkuun jälkeen kaksi kertaa ja sen jälkeen luontainen uudistuminen varmistetaan maanmuokkauksella. Vesasyntyisten puusukupolvien uskotaan saavuttavan ensimmäisen, siemensyntyisen sukupolven kuiva-ainetuotoksen vuotta lyhyemmässä ajassa. Koska kiertoajat ja uudistamistoimenpiteet ovat erilaisia, paljaan maan arvo laskettiin kolmen ensimmäisen puusukupolven nettonykyarvon ja myöhempien puusukupolvien paljaan maan arvon summana Jylhän ym. (2015) kuvaamalla tavalla. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös hieskoivun kiertoajan (15–30 v, ensimmäinen puusukupolvi) vaikutusta kannattavuuteen.

2.6. Aluetalousvaikutusten arviointi

Turvetuotantoalueiden jatkokäyttömuotojen aluetalousvaikutusten laskennassa sovellettiin yleisesti käytössä olevaa panos-tuotosanalyysiä (esim. Forssell 1985, Miller & Blair 2009). Tuotosmalli kuvaa toimialojen koko tuotannon vaikutuksia tutkimusalueen talouteen (Vatanen 2011). Perinteistä kysyntämallia (ns. Leontiefin malli) käytettiin selvittäessä lopputuotekysynnän eli investointikysynnän vaikutuksia alueen tuotantoon.

Tuotannon aluetalousvaikutukset jaetaan välittömiin ja välillisiin. Välitön tuotantovaikutus kuvaa tutkittavan toimialan oman tuotoksen. Välilliset vaikutukset aiheutuvat tuotantoa varten

hankittujen panosten eli tavaroiden ja palvelujen tuotannossa. Näitä tavaroita ja palveluja kutsutaan välituotteiksi, jotka tyypillisesti käytetään loppuun tuotantokauden aikana. Paikallisesti hankittujen välituotteiden ostoista aiheutuu tuotantoa alueella tavaroita ja palveluja tuottavilla aloilla. Mikäli välituotteet hankitaan alueen ulkopuolelta, tuotantovaikutukset kohdistuvat alueen ulkopuolelle, jolloin alueen näkökulmasta puhutaan tuotantovuodoista.

Kuituhampun, ruokohelven, pajun ja hieskoivun tuotannon välittömien ja välillisten tuotantovaikutusten lisäksi selvitettiin biohiilen tuotannon tuotantovaikutus sekä biohiililaitoksen investoinnista aluetalouteen aiheutuva kertaluonteinen tuotantovaikutus. Biohiilen tuotannon vaikutusten arvioinnissa hyödynnettiin Rajanin ym. (2026a) tuotantokustannuslaskelmaa, jossa biohiililaitoksen tuotantokapasiteetti oli 3 900 t/v. Laitosinvestointiin liittyvä tarkastelu perustuu noin 3 000 tonnia biohiiltä vuodessa tuottavan laitoksen kustannustietoihin (Taulukko 5). Kaikki tulokset esitetään euromääräisinä ja suhteutetaan alueen kokonaistuotokseen. Keski-Pohjanmaa jakaantuu Kokkolan ja Kaustisen seutukuntiin. Kokkolan seutukunnan tuotos oli 5 186,3 milj. € ja Kaustisen seutukunnan 845,6 milj. € vuonna 2022 (SVT 2024a).

Taulukko 5. Biohiililaitoksen (tuotantokapasiteetti 3 000 t/v) arvioidun 7 500 000–9 500 000 euron investointikustannuksen jakaantuminen eri käyttökohteisiin (€) sekä kustannusryhmien suhteelliset osuudet kokonaisinvestoinnista (%) (Virtanen 2025).

	Kustannus, €	Osuus investointikustannuksista, %
Infrastruktuuri	500 000–1 000 000	6,7–10,5
Raaka-aineen esikäsittely ja kuivaus	500 000–1 000 000	6,7–10,5
Pyrolysointilaitteiston hankinta	6 000 000–7 000 000	80,0–73,7
Käyttöpääoma	500 000	6,7–5,3
Kokonaisinvestointi	7 500 000–9 500 000	100

Panos-tuotosmallin soveltaminen edellyttää tutkittavan alueen talouden kiertokulkua kuvaavan panos-tuotostaulun (tilinpitomatriisin) olemassaoloa. Panos-tuotostaulu kuvaa sitä, mistä toimialojen tuotannon tulot tulevat ja miten tuotannossa syntyvät tulot käytetään. Tuotannon välillisten vaikutusten laskennassa käytetään panos-tuotostauluun sisältyvää välituotekäyttömatriisia, joka kuvaa, kuinka alueen toimialat vaikuttavat toisiinsa hankkimalla tuotannossa tarvitsemiaan tavaroita ja palveluja.

Aluetalousvaikutusten laskentaa varten johdettiin ensin Tilastokeskuksen vuosittain tuottamasta koko maan panos-tuotostaulusta (SVT 2024b) Keski-Pohjanmaan maakunnan tuotantoa kuvaava panos-tuotostaulu, josta edelleen johdettiin Kokkolan ja Kaustisen seutukuntien panos-tuotostaulut. Seutukuntien tuotannon ja toimialojen väliset riippuvuudet kuvaavat vuotta 2022, joka on koko maan panos-tuotostaulun viimeinen käytettävissä oleva tilastovuosi.

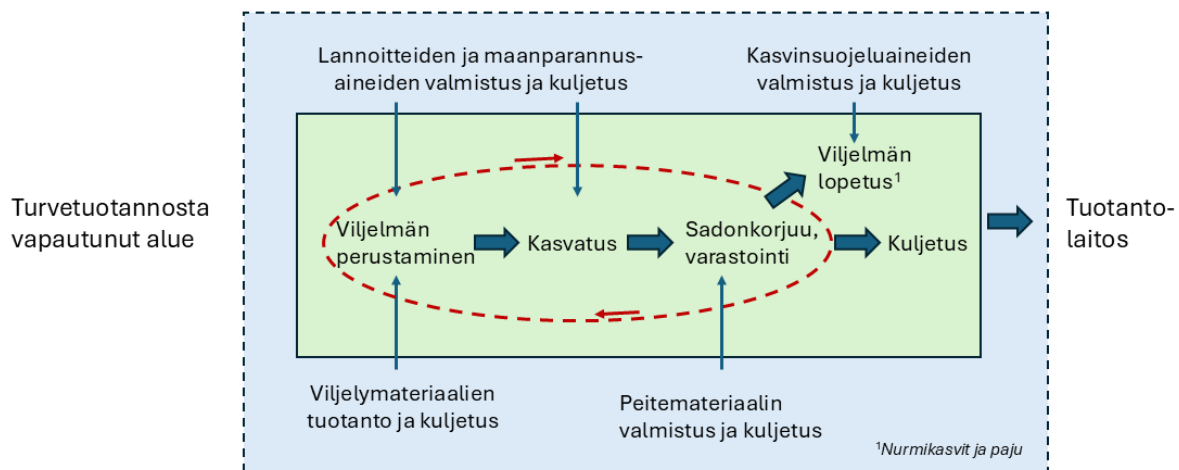
Turvetuotantoalueiden jatkokäyttömuodot lisättiin seutukuntien panos-tuotostauluihin hyödyntämällä tutkimuksessa käytettyjä tietoja eri tuotantomuotojen keskimääräisistä vuotuisista hehtaarikohtaisista tuloista ja menoista 22 vuoden tarkastelujaksolla, johon päädyttiin hieskoivun kiertoajan perusteella. Panos-tuotostaulua varten uusille käyttömuodoille laadittiin kokonaislaskelmat kertomalla kunkin käyttömuodon hehtaarikohtaiset tulo- ja menotiedot kullekin tuotantomuodolle allokoimalla pinta-alalla (ks. Luku 2.1).

Tuotannon tulojen ja tulojen käytön alueellistamiseksi hyödynnettiin hankkeessa kannattavuuslaskentaa varten koottua yksityiskohtaista kustannusrakennetietoa. Oletuksena oli, että

tavarat ja palvelut hankitaan mahdollisuuksien mukaan paikallisesti. Panos-tuotostaulun tuottaminen tämankaltaisella menetelmällä, jossa yhdistetään maakuntatauluista laskennallisesti johdetut seutukuntatoimialojen lähtökertoimet ja tutkimuksessa kerätty aineisto, kutsutaan hybridimenetelmäksi.

2.7. Biomassojen tuotannon elinkaarianalyysi

Elinkaariarvioinnissa tarkasteltiin kasvibiomassan tuotannon ympäristövaikutuksia ns. kehoda portille – periaatteella (cradle-to-gate). Siten tarkasteluun sisältyvät luvussa 2.3 kuvattujen toimenpideketjujen keskimääräiset vuotuiset ympäristövaikutukset tuotantopanosten valmistuksesta biomassoja jalostavien laitosten porteille saakka (Kuva 9). Biokaasun valmistukseen menevä ruokohelpisilppu (kesäkorjuu) ja timotei-ruokonatanurmi sekä ruokohelpipaalit (kevätkorjuu) varastoitiin aumaan suon laidalla. Paju- ja hieskoivubiomassa toimitettiin jatkojalostettavaksi hakkeena; paju biokomposiitin tai biohiilen raaka-aineeksi, hieskoivu biohiilen valmistukseen. Keväällä korjatut kuituhamppupaalit menivät biokomposiittien tuotantoon.



Kuva 9. Elinkaarianalyysin systemirajaus.

Laskennassa huomioitiin tuotantopanosten valmistuksesta aiheutuvat päästöt (esim. lannoitteet, siemenet, polttoaineet), koneiden käyttö tuotantoketjujen eri vaiheissa, kasvukauden aikaiset päästöt typpilannoitteiden ja kalkin käytöstä sekä tuotantopanosten ja sadon kuljetus ja varastointi. Ainoastaan erilliset henkilökuljetukset rajattiin laskennan ulkopuolelle. Päästöihin sisältyivät sekä suorat (polttoaineen palaminen, lannoitepäästöt, ravinteiden huuhtouma) että epäsuorat päästöt (tuotantopanosten valmistus ja kuljetukset). Maaperän kasvihuonekaasupäästöjä (CH_4 , N_2O , CO_2) ei sisällytetty laskentaan, koska luotettavia kasvilajikohtaisia päästökertoimia ei ollut käytettävissä ja lähtötilanne oli sama kaikille kasvilajeille.

Ympäristövaikutusten arviointi toteutettiin osittaisena elinkaariarviointina (LCA) kansainvälisten standardien (ISO 14040, ISO 14044) sekä IPCC:n (2006) laskentaohjeiden mukaisesti. Laskenta suoritettiin SimaPro-ohjelmistolla (PRé Sustainability 2023) käyttäen ReCiPe 2016 -vaikutusarviointimenetelmää (Huijbregts ym. 2016). Tarkasteluun valittiin keskitason (Midpoint) indikaattoreista ilmastonmuutos, fossiilisten resurssien kulutus, makean veden rehevöityminen ja maaperän happamoituminen. Tulokset kuvaavat mahdollisia ympäristövaikutuksia, eivät mitattuja paikallisia vaikutuksia. Arviointi perustuu kuormitustekijöihin, kuten päästöihin ja resurssien käyttöön ja niiden tieteellisesti tunnistettuihin vaikutusmekanismeihin. Kullekin

vaikutusluokalle on ReCiPe 2016 -menetelmässä määritelty oma laskentaperuste ja tulosyksikkö, jotka on kuvattu Taulukossa 6.

Taulukko 6. Käytetyt ympäristövaikutusluokat ja niiden määritelmät ReCiPe 2016 menetelmän mukaisesti (Huijbregts ym. 2016).

Vaikutusluokka	Kuvaus ja laskentaperusteet	Yksikkö
Ilmastonmuutos (hiilijalanjälki)	Ilmastonmuutosvaikutukset (GWP100) laskettiin käyttäen IPCC 2013 (AR5) -raportin karakterisointikertoimia 100 vuoden aikajännteellä (ilmasto–hiilikierron palautemekanismit huomioitu) (PRé Sustainability, SimaPro Database Manual 2023). Päästöt muunnettiin hiilidioksidiekvivalentiksi, joka kuvaa eri kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävää vaikutusta suhteessa hiilidioksidiin. Käytetyt kertoimet: CO ₂ = 1; CH ₄ = 34; N ₂ O = 265.	kg CO ₂ -ekv.
Fossiilisten resurssien niukkuus (energian käyttö)	Kuvaa, kuinka paljon fossiilisia luonnonvaroja (öljyä, maakaasua, kivihyiltä) kuluu tuotteen tai prosessin elinkaaren aikana ja miten tämä kulutus vaikuttaa fossiilisten energialähteiden saatavuuteen tulevaisuudessa. Käytetty yksikkö (kg öljy-ekv.) kuvaa polttoaineiden energiasisältöä suhteessa raakaöljyyn. Laskenta kattaa fossiilisten polttoaineiden elinkaaren vaikutukset niiden tuotannosta ja jalostuksesta käyttöön huomioiden resurssien rajallisuuden.	kg öljy-ekv.
Makean veden rehevöityminen	Laskettu fosforipäästöjen perusteella. Tulokset kuvaavat fosforin rehevöittävä vaikutusta makeisiin vesiin (järvet ja virtavedet). Laskenta huomioi vesistöihin huuhtoutuvan fosforin ja sen biologisen saatavuuden, mutta ei sisällä typpipohjaista rehevöitymistä (marine eutrophication) eikä alueellisia vaihteluita. Vertailuaineena on fosfori (P), jonka karakterisointikerroin on 1; muut fosforia sisältävät yhdisteet muunnetaan P-ekvivalentiksi niiden fosforipitoisuuden perusteella.	kg P-ekv.
Maaperän happamoituminen	Lasketaan rikkidioksidin (SO ₂), typen oksidien (NO _x) ja ammoniakkin (NH ₃) päästöjen perusteella, joissa SO ₂ toimii vertailuyksikkönä. Yhdisteiden vaikutukset muunnetaan rikkidioksidiekvivalentiksi kertoimilla NO _x = 0,70 ja NH ₃ = 1,88. Vaikutusluokka kuvaa ilmakehään päätyvien happamoittavien yhdisteiden laskeumaa ja niiden vaikutusta maaperän happamoitumiseen.	kg SO ₂ -ekv.

Elinkaarianalysissä käytettiin kahta toiminnallista yksikköä: vaikutuksia ja resurssien kuluusta pinta-alayksikköä (ha) ja tuotettua kuivamassayksikköä (kg ka) kohti. Pinta-alaperusteinen tarkastelu on tarkoituksenmukaista esimerkiksi silloin, kun arvioidaan maankäytön ympäristövaikutuksia. Kun tuotettu biomassa menee jonkin tuotteen raaka-aineeksi, toiminnallisena yksikkönä käytetään ensisijaisesti tuotettua massayksikköä, tavallisesti kuivamassayksikköä, kohti laskettuja päästöjä ja resurssien kulutusta (David ym. 2025). Tässä tutkimuksessa lasketut biomassojen tuotannon ja kuljetusten ympäristövaikutukset on sisällytetty biokaasun, biohiilen ja komposiittimateriaalien valmistuksen elinkaariarviointeihin, joiden tulokset esitetään Kwokorin ym. 2026 ja Rajanin ym. (2026a,b) raporteissa.

Koska vertailussa oli yksi- ja monivuotisia kasveja, potentiaaliset ympäristövaikutukset hehtaaria kohti laskettiin 22 vuoden tarkastelujaksolle pisimmän kiertoajan hieskoivun mukaan. Keskimääräiset kuivamassatuotokset tänä aikana perustuvat Taulukossa 3 esitettyihin vuotuisiin tuotoksiin ja sadonkorjuukertojen lukumäärään (ks. Kuva 7). Kuivamassayksikköä kohti

lasketut tulokset voidaan tarvittaessa muuntaa toimituskosteuteen Taulukossa 2 esitettyjen kosteusprosenttien avulla.

Polttoaineiden käytöstä johtuvien päästöjen arvioinnissa hyödynnettiin LIPASTO-tietokannan ajoneuvokohtaisia kertoimia (LIPASTO tietokanta 2017). Tätä tutkimusta varten LIPASTO-malleja täydennettiin Ecoinvent-tietokannan tiedoilla (Wernet ym. 2016), joiden avulla saatiin tarkempia arvioita käytetyn polttoaineen (diesel tai moottoripolttoöljy) fossiilisten resurssien kulutuksesta sekä muista ympäristövaikutuksista. Työkoneiden polttoaineiden kulutukset perustuvat pääosin eri työvaiheiden ajanmenekkeihin ja polttoaineen kulutuksiin, jotka on kuvattu Liitteessä 1. Mallinnuksessa oletettiin, että tuotantopanokset toimitetaan turvetuotantoalueelle lähimmästä toimituspisteestä. Siten esimerkiksi typpilannoitteiden keskimääräiseksi kuljetusmatkaksi arvioitiin 225 km ja tuhkan 90 km. Useimmissa tapauksissa tuotantopanosten kuljetusten lähtöpisteet ja kuljetuskertojen lukumäärät ovat tiedossa, mutta niiden osuus ajoneuvon koko kuormasta ei aina ole tarkasti määriteltävissä. Tästä syystä laskentaa yksinkertaistettiin arvioimalla kuljetusten ympäristövaikutukset suoraan kuljetettavan massan ja matkan perusteella. Oletuksena oli, että esimerkiksi lannoitteet kuljetetaan 60 tonnin täysperävaunuyhdistelmällä tai 40 tonnin puoliperävaunuyhdistelmällä, joka liikennöi joko 100 %:n tai 60 %:n hyötykuormalla. Polttoaineen kulutus tavaraa kuljetettaessa laskettiin tonnikilometrien perusteella ja paluumatka tyhjällä ajoneuvoyhdistelmällä ajettavan matkan (km) perusteella.

Käytettävät siemenet (ruokohelvi, kuituhamppu sekä nurmisiemenet) tuotetaan eri puolilla Suomea tai ulkomailla. Elinkaarilaskennassa siementuotantoa mallinnettiin Ecoinvent-tietokannan sveitsiläisen (CH) mallin avulla. Pajupistokkaat kasvatettiin Ruotsissa ja tuotiin Suomeen. Niiden tuotantoa kuvattiin Ecoinventin mallilla, jossa pistokkaat kasvatetaan lämmittämättömässä kasvihuoneessa (RER - Eurooppa). Hieskoivikon oletettiin syntyvän luontaisesti ilman erillistä viljelyä, kun kasvupaikka lannoitetaan puutuhkalla.

Lannoitteiden käyttömäärät ja niiden pääravinteiden pitoisuudet (%) sekä kasvinsuojeluaineiden käyttö on kuvattu Taulukossa 3. Kaikkia lannoitteisiin liittyviä tietoja ei kuitenkaan ollut saatavilla kotimaisista lähteistä, joten puutteita täydennettiin Ecoinvent-elinkaaritietokannan avulla. Lannoitteiden ympäristövaikutukset laskettiin erikseen kullekin pääravinteelle niiden pitoisuuden mukaan (N, P, K). IPCC:n (2006) ohjeiden mukaisesti kivennäislannoitteiden sisältämästä typestä arvioitiin 1 % vapautuvan ilmaan dityppioksidina (N₂O). Typpilannoituksen suorat päästöt laskettiin IPCC:n (2006) ohjeistuksen mukaan, samoin epäsuorat dityppioksidipäästöt typpihuuhtoumasta sekä ammoniakkin ja typen oksidien päästöistä. Lannoitteiden tuotannon osalta laatuvaatimukset täyttyivät tietojen tarkkuuden ja kattavuuden osalta. Hieskoivua lukuun ottamatta viljelmät lopetettiin glyfosaattiruiskutuksella (Taulukko 3). Elinkaariarvioinnissa käytettiin Ecoinvent-tietokannan globaalia (GLO) mallia glyfosaatin vaikutusten arvioimiseksi.

Tienvarteen varastoidut paju- ja hieskoivupinot suojattiin kastumiselta muovipinnoitetulla paperilla puun haketukseen saakka. Tuore ruokohelvi- ja nurmisilppu varastoitiin irtosilppuna aumoissa, kuivat ruokohelvi- ja kuituhamppupaalit muovilla peitetyissä ja pohjustetuissa aumoissa. Elinkaariarvioinnissa käytettiin Ecoinvent-tietokannan erillisiä malleja paperille ja muovipinnoitteelle. Myöskään aumakalvojen valmistuksen päästöt eivät olleet tiedossa, joten niiden oletettiin vastaavan höyrynsulkumuovin ympäristöselosteessa (Norwegian EPD Foundation 2016) julkaistuja päästöjä.

3. Tulokset

3.1. Kannattavuus

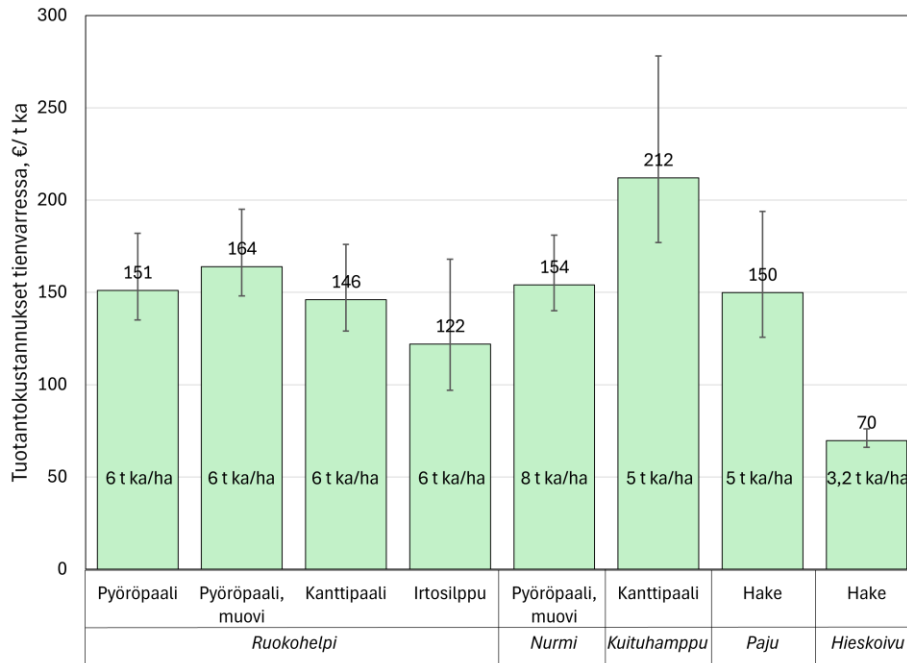
3.1.1. Biomassojen tuotantokustannukset

Tämän tutkimuksen oletuksilla entisen turvetuotantoalueen kunnostaminen viljelykäyttöön maksaisi noin 1 000 €/ha. Summa sisältää sarkaojien kunnostuksen ojajyrsimellä, sarkojen pinnan muotoilun, kalkituksen, tuhkalannoituksen ja perusmuokkauksen. Ruokohelven siemenet ovat edullisia (noin 66 €/ha), vuosittain kylvettävän kuituhampun jo tuntuvasti kalliimpia (333 €/ha). Pajupistokkaiden hinta-arvio (1 300 €/ha) on lähes nelinkertainen kuituhampun verrattuna, mutta viljelmän elinkaarikin oli yli 20 vuotta. Hieskoivun oletettiin leviävän alueelle itsestään lähimetsiköiden siemenistä, jos tuhkalannoitus on tehty. Siten hieskoivikon perustamiskustannukset ovat erittäin pienet muihin vaihtoehtoihin verrattuna. Myöskään jatkolannoituksia ei tarvita.

Ruokohelvellä ja kuituhampulla vuotuiset lannoituskustannukset ovat noin 230 €/ha. Pajukasvusto kasvaa niin korkeaksi, että sitä ei voida lannoittaa joka vuosi. Väkilannoitteilla korjuun jälkeen tehtävän kasvatuslannoituksen kustannukset olivat vuotta kohti 110 €/ha. Vastaava kustannus olisi 92 €/ha, jos osa väkilannoitteista korvattaisiin kompostoidulla yhdyskuntalietteen mädätysjäännöksellä. Sen hinta kuormattuna oli 2 €/t, joka on vain 13 % kompostilannoituksen kokonaiskustannuksesta.

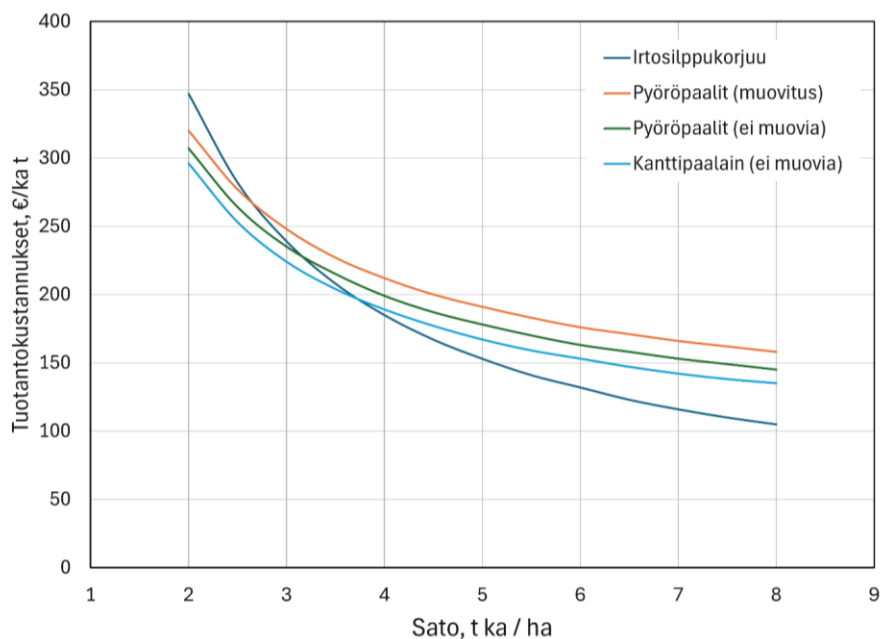
Sadonkorjuukustannukset ovat suurimmat puuvartisilla pajulla ja hieskoivulla. Joka neljäs vuosi korjattavalla pajulla korjuun, varastoinnin, haketuksen ja hakkeen kuljetuksen nimelliskustannukset olisivat kerralla noin 1 830 €/ha (102 €/t ka). Kannattavuuslaskelmissa oletettiin, että ensimmäisen sukupolven hieskoivikko korjataan 22 vuoden iässä. Tällöin vastaavat tuotantokustannukset olisivat noin 4 370 €/ha (72 €/t ka). Ruokohelvi ja kuituhamppu korjataan vuosittain lukuun ottamatta viljelmän uusimisesta tai kunnostuksesta johtuvia välivuosia. Niiden korjuukustannukset vaihtelivat välillä 425–680 €/ha/v. Myös nämä kustannukset sisältävät välivarastoinnin ja sadon kuljetuksen jatkojalostukseen.

Viljelykasvien kuiva-ainesadot voivat vaihdella muun muassa maan ominaisuuksien ja sääolojen vuoksi, joten tuotantokustannusmallien herkkyttä testattiin vaihtelemalla tuotosta ± 30 % perustasosta (Kuva 10). Keskimääräiset tuotantokustannukset kuiva-ainetonnina (t ka) (sis. kasvupaikan valmistelu, viljelmän perustaminen, lannoitukset, korjuu ja varastointi sekä pajulla ja hieskoivulla myös haketus) vaihtelevat välillä 70–212 €/t ka (Kuva 10). Saavutettu satotaso vaikuttaa melko paljon yksikkökustannuksiin varsinkin peltokasveilla, sillä vaadittavien tuotantopanosten määrä on lähes vakio sadon määrästä riippumatta. Peltoviljelykasveista ruokohelven tuotantokustannukset irtokorjuuta käyttäen olivat alhaisimmat ja kuituhampun korkeimmat kanttipaalausta käytettäessä. Vähän tuotantopanoksia vaativan hieskoivuhakkeen nimelliset tuotantokustannukset olivat selkeästi alhaisimmat, noin 70 €/t ka, mutta ensimmäistä sadonkorjuuta joudutaan odottamaan 22 vuotta.



Kuva 10. Keskimääräiset nimelliset tuotantokustannukset kuiva-ainetonna kohti tienvarressa entisillä turvetuotantoalueilla kasvatetuille biomassoille. Kustannukset eivät sisällä kaukokuljetuksen kustannuksia vertailun helpottamiseksi. Hajontaviivat osoittavat kustannusten muuttumisen, kun pylväisiin merkityt sato-oletukset (3,2–8,0 t kuiva-ainetta/ha/v) muuttuvat $\pm 30\%$.

Ruokohelpi voidaan korjata monella eri tavalla. Valittu korjuumenetelmä vaikuttaa välivarastointiin, kuljetuskustannuksiin ja materiaalin käytettävyyteen. Kuvassa 11 on esitetty satotason vaikutus ruokohelven tuotantokustannuksiin eri korjuumenetelmillä. Tuotantokustannukset kuiva-ainetonna kohden laskevat, kun satotaso nousee, mutta lasku tasaantuu, kun kuiva-ainetuotos on noin 5 t/ha.



Kuva 11. Talteen saatavan kuiva-ainesadon vaikutus kesäkorjatun ruokohelven tuotantokustannuksiin erilaisilla korjuumenetelmillä. Tuotantokustannukset sisältävät myös kuljetuskustannukset toimituspisteisiin 20 km:n päähän.

Pyöröpaalaus ja paalien muoviin käärintä oli kallein vaihtoehto, mutta ero muihin paalausmenetelmiin ei ole välttämättä kovin suuri. Ellei paaleja kääritä muoviin, paaliaumat täytyy peittää pressuilla niiden kuivana pitämiseksi (Kuva 12). Irtosilppukorjuu säilörehun tapaan ilmatii- viesti oli kustannustehokkain vaihtoehto, mutta menetelmään liittyy epävarmuuksia. Ruoko- helpisilppu saattaa tiivistyä varastoitaessa vähemmän kuin tavallinen ruohosäilörehu, mikä voi nostaa varastoinnin ja kuljetuksen kustannuksia. Jos rehupatja jää kuohkeaksi, myös pi- laantumiseriski on olemassa.



Kuva 12. Kuivana korjattu biomassa voidaan suojata kastumiselta peittämällä se muovilla tai muulla peitemateriaalilla. Kuvassa on ruokohelpikanttipaaleja muovipressun alle varastoituna. Pressu on painotettava reunoiltaan hyvin, jotta myrskytuuli ei vie peitettä mennessään. Kuva: Timo Lötjönen.

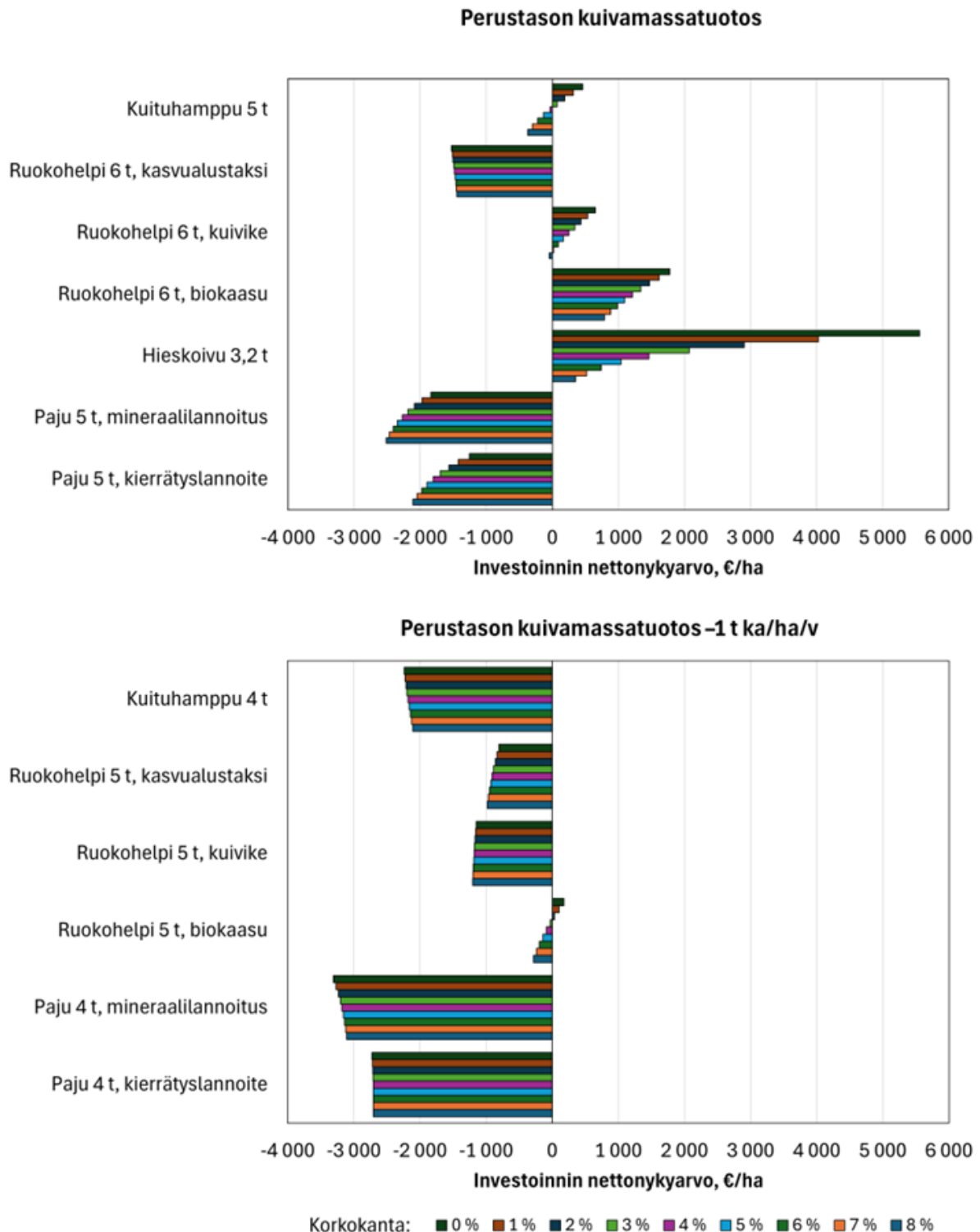
Kasvuston pitkäikäisyys ja siihen kytkeytyvä sadontuottokyky vaikuttavat monivuotisten kasvien tuotantokustannuksiin. Jos esimerkiksi ruokohelpiviljelämä tuhoutuu ennenaikaisesti märkien korjuulojen vuoksi tai sen sadontuottokyky laskee muusta syystä, tuotantokustannukset nousevat. Mikäli ruokohelpiviljelämä jouduttaisiin perustamaan kymmenen vuoden sijaan viiden vuoden välein, kuiva-ainetonnin tuotantokustannus nousisi noin 15 eurolla.

3.1.2. Biomassojen tuotannon kannattavuus

Biomassojen tuotannon kannattavuutta arvioitiin kahdella eri satotasolla: kirjallisuuden perusteella määritellyllä, saavutettavissa olevalla perustasolla (Taulukko 3) sekä hieskoivua lukuun ottamatta yhtä kuivatonna alemmilla satotasolla, joilla hehtaarikohtaiset kuiva-ainesadot olivat 17–20 % perustasoa alemmat. Oletettu kuiva-ainetonnin hinta käyttöpaikalla tai vientisatamassa oli pajuhakkeella 140 €, hieskoivuhakkeella 150 €, biokaasusyötteen tai kasvualustamateriaaliksi menevällä ruokohelvellä 160 €, ruokohelpikuivikkeella 200 € ja kuituhampulla 300 €.

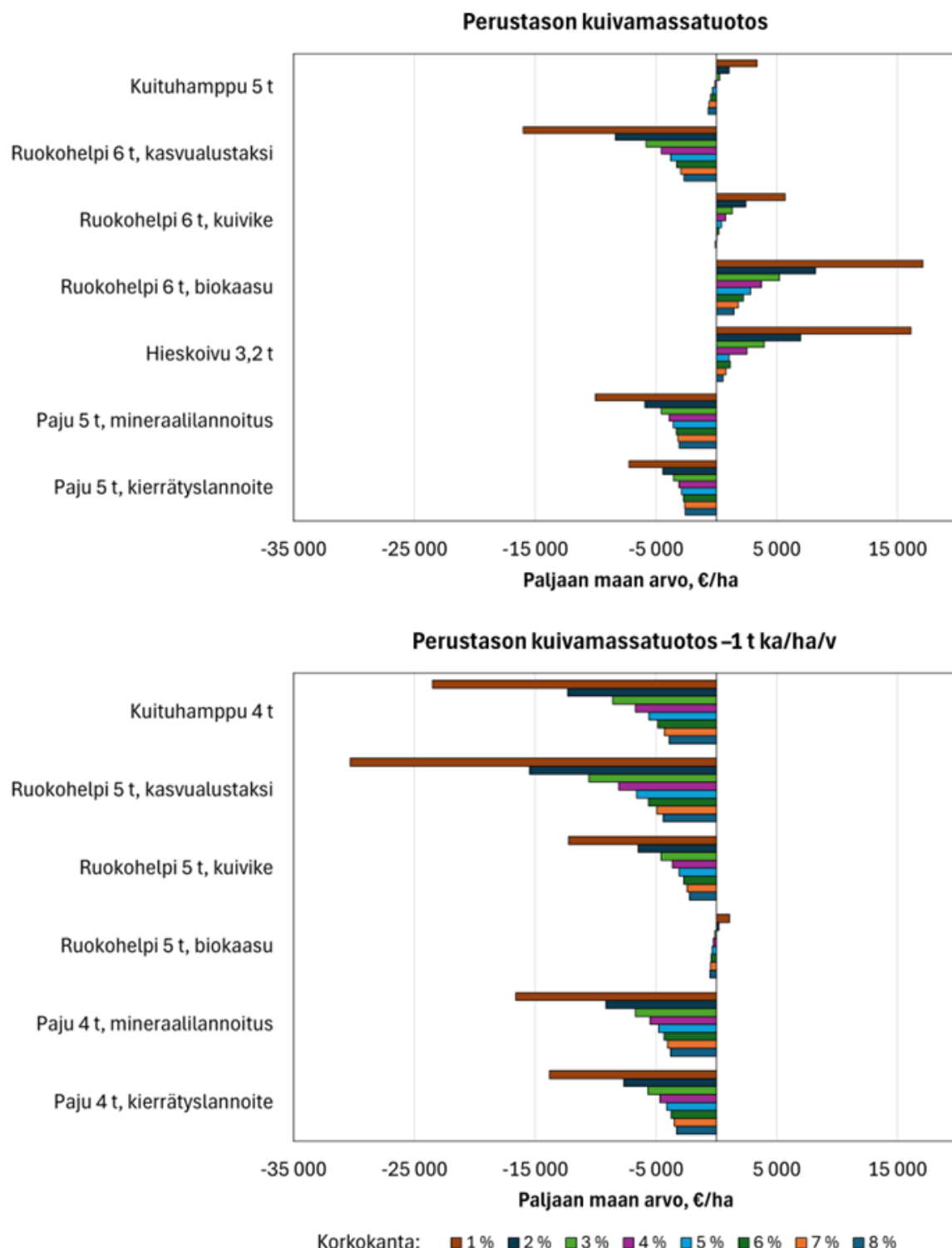
Ainoastaan kuivikkeeksi tai biokaasun raaka-aineeksi toimitettavan ruokohelpisilpun sekä hieskoivuhakkeen tuotanto oli kannattavaa perustason kuiva-ainesadoilla kaikilla korkokannoilla (0–8 %) sekä NNA:lla että PMA:lla mitattuna (Kuvat 13–14). Kun sato jäi yhtä kuiva-ainetonna perustasoa alemmaksi, ainoastaan biokaasun syötteen menevän ruokohelven tuotanto oli niukasti kannattavaa, kun korkokanta oli enintään 2 %. Hieskoivulle tätä tarkastelua

ei tehty, koska luontaisesti syntyneissä ja harventamattomissa tiheiköissä keskimääräinen kuivamassatuotos on sidoksissa kiertoaikaan (Hytönen ym. 2018) ja sillä on suuri vaikutus korjuukustannuksiin (Jylhä ym. 2015).



Kuva 13. Satotason vaikutus investoinnin nettonykyarvoon 0–8 prosentin korkokannalla eri tuotantovaihtoehdoissa (hieskoivulla nettonykyarvo ensimmäiselle puusukupolvelle). Kunkin kasvin oletetut vuotuiset kuiva-ainesadot hehtaaria kohti (3,2–6 t) on mainittu kuvien selitteessä.

Hieskoivulla ei tarkasteltu tuotoksen vaikutusta kannattavuuteen samalla tavalla kuin muilla kasveilla, koska kuiva-ainetuotos ja korjuukustannukset riippuvat voimakkaasti kiertoajasta.

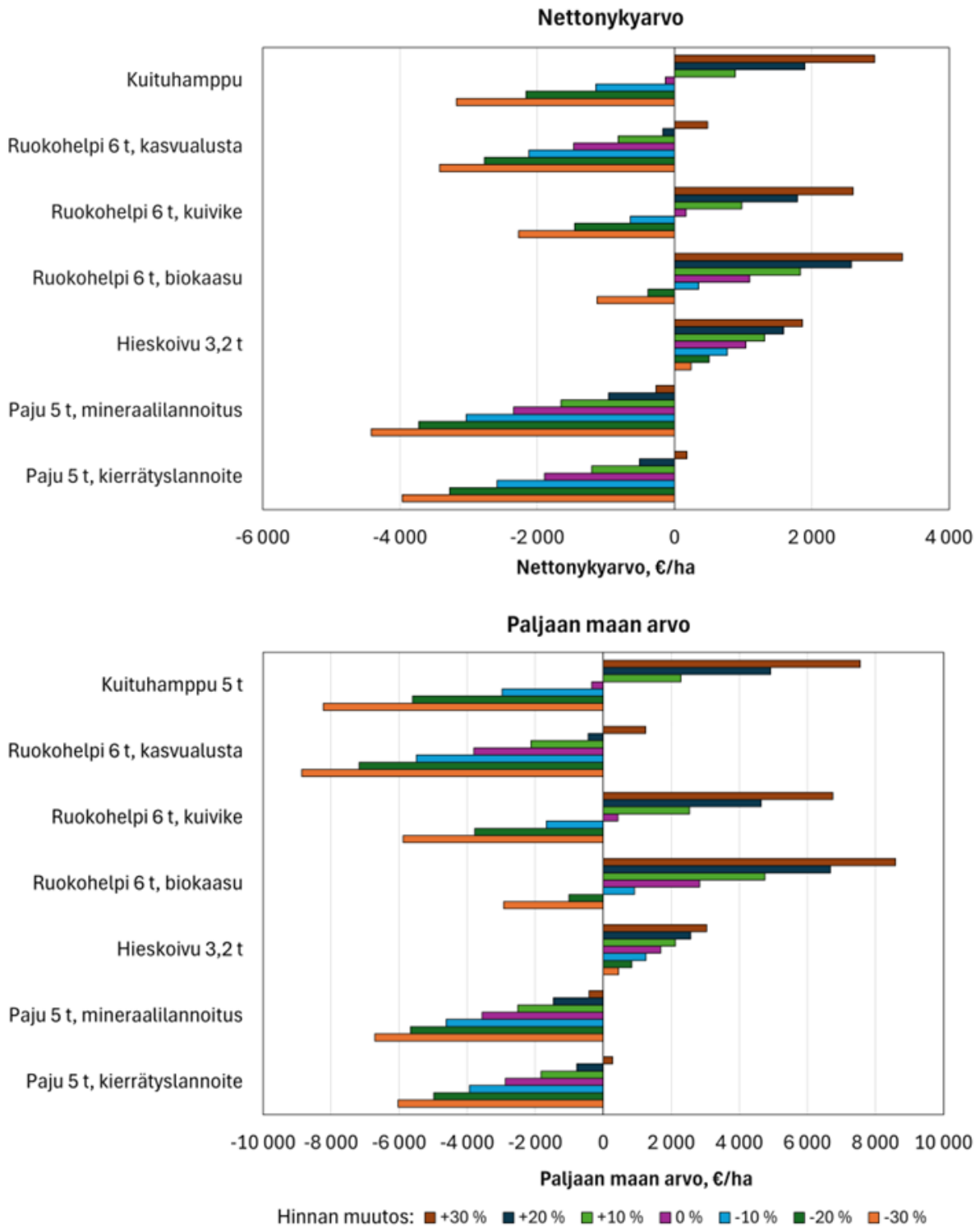


Kuva 14. Kuiva-ainesadon vaikutus paljaan maan arvoon, kun korkokanta on 1–8 %. Kunkin kasvin oletetut vuotuiset kuiva-ainesadot (3,2–6 t) hehtaaria kohti on mainittu kuvien selitteessä. Hieskoivulla ei tarkasteltu tuotoksen vaikutusta kannattavuuteen samalla tavalla kuin muilla kasveilla, koska keskimääräinen kuiva-ainetuotos ja korjuukustannukset riippuvat voimakkaasti kiertoajasta.

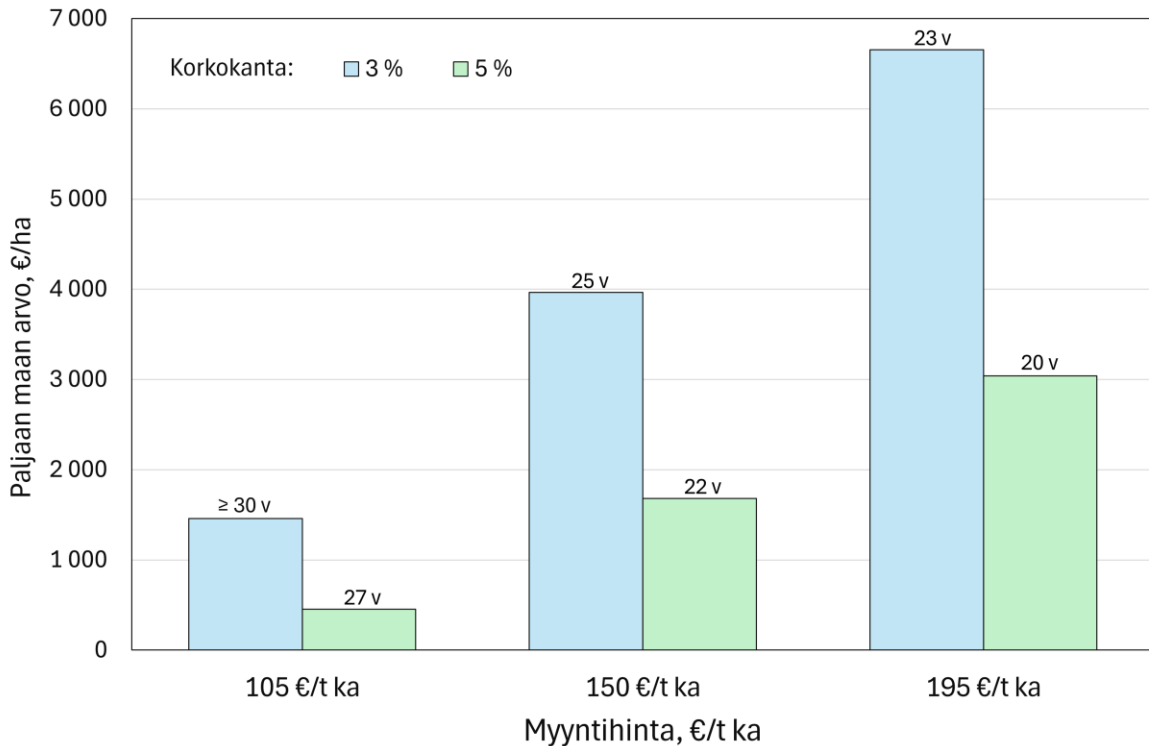
Oletushinnoilla ja perustason kuiva-ainesadoilla biokaasun syötteeksi menevän ruokohelven tuottaminen olisi PMA:n perusteella kannattavin vaihtoehto (Kuva 14). Ruokohelpisyötteen tuottamisella PMA olisi käytetyillä laskentakoroilla noin 1 400–17 000 €/ha. Hieskoivulla PMA jäi 900–1800 €/ha pienemmäksi kuin ruokohelpisyötteellä. Ruokohelpikuivikkeen kilpailukyky biokaasusyötteeseen verrattuna heikensi sen korkeammat korjuukustannukset (ks. Kuva 11).

Kannattavuus on kuiva-ainesadon lisäksi herkkä myös myyntihintojen muutoksille (Kuva 15). Jo kymmenen prosentin hinnannousulla (300 → 330 €/t ka) kuituhampun tuotanto tulisi kannattavaksi esimerkiksi viiden prosentin korkokannalla ja perustason kuiva-ainesadolla (Kuva 15). Pajuntuotanto kierrätyslannoitteella ja ruokohelven tuotanto kasvualustamateriaaliksi tulisivat kannattaviksi vasta 30 prosentin hinnannousulla, paju tosin vain niukasti (NNA 180 €/ha, PMA 270 €/ha).

Luontaisesti syntyneiden ja hoitamattomien hieskoivutiheikköjen keskimääräinen vuotuinen kuivamassatuotos on kytköksissä metsikön ikään, ja se vaikuttaa olennaisesti myös korjuukustannuksiin. Kuvassa 16 on esitetty hakkeen myyntihinnan (oletushinta 150 €/t ka ±30 %) vaikutus PMA:han ja optimaaliseen kiertoaikaan, kun korkokanta on 3 % tai 5 %. PMA olisi positiivinen vielä viiden prosentin korkokannalla ja alimmalla hinnalla (105 €/t ka, noin 21 €/MWh). Korkokanta ja hinta vaikuttavat myös optimaaliseen kiertoaikaan – mitä korkeampi hinta ja korkokanta, sitä lyhyempi kiertoaika. Alimmalla hinnalla ja 3 %:n korkokannalla optimaalinen kiertoaika on vähintään 30 vuotta, kun korkeimmalla hinnalla ja 5 %:n korkokannalla se on ainoastaan 20 vuotta.



Kuva 15. Tuotteen myyntihinnan vaikutus (oletushinta \pm 0, 10, 20 ja 30 %) investoinnin nettonykyarvoon ja paljaan maan arvoon eri tuotantovaihtoehdoilla, kun korkokanta on 5 % ja kuiva-ainetuotokset perustasolla (3,2–6 t ka/ha/v, ks. pystyakselien otsikot).



Kuva 16. Esimerkki hieskoivuhakkeen myyntihinnan (oletushinta $\pm 30\%$) ja korkokannan vaikutuksesta paljaan maan arvoon. Pylväiden päälle on merkitty kannattavimmat kiertoajat kulakin hinnalla ja korkokannalla.

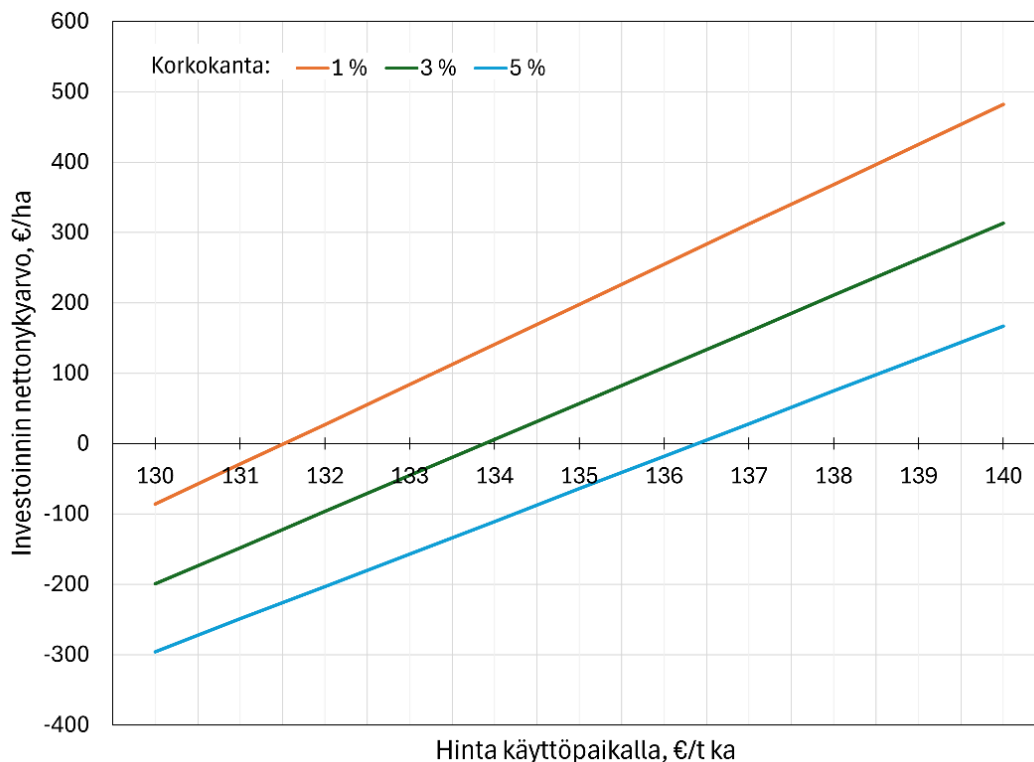
3.1.3. Ruokohelpi lisäyötteenä biokaasun tuotannossa

Seuraavan esimerkin tarkoituksena oli selvittää, pystyttäisiinkö biokaasun tuotantoon menevästä ruokohelpisyöttestä maksamaan vähintään sen tuotantokustannuksia vastaava hinta. Kuvitteellinen kolmen lypsykarjatilan yhteinen biokaasulaitos käyttäisi pääasiallisena syötteenä lietelantaa noin 15 000 tonnia vuodessa. Lisäyötteenä olisi mahdollista käyttää 20 % (3 750 tuoretonnia) säilörehuksi tehtyä ruokohelpisilppua. Tällä osuudella liete pysyy vielä pumppauskelpoisena, jolloin sitä voidaan käyttää märkämädätysprosessissa. Lisäyötteenä käytettävän ruokohelpimäärän (1 200 t ka/v) viljelyyn tarvitaan noin 200 ha peltoa, kun keskimääräiseksi sadoksi oletetaan 6 t ka/ha. Säilörehulla on niin korkea kaasuntuottopotentiaali lietelantaan verrattuna, että biokaasulaskurin (<https://biokaasulaskuri.luke.fi/>) mukaan 20 %:n ruokohelpilisäys nostaa biokaasun tuotannon lähes kolminkertaiseksi verrattuna tilanteeseen, jossa käytetään syötteenä pelkkää lietelantaa.

Laskentaesimerkissä raakabiokaasun myyntihinnaksi oletettiin 0,08 €/kWh, ja kaasu siirrettiin putkilinjaa pitkin teollisuudelle lämmityskäyttöön. Toinen vaihtoehto olisi myydä raakakaasu samaan hintaan putkilinjaa pitkin keskitetylle laitokselle puhdistettavaksi ja paineistettavaksi sekä edelleen liikennekäyttöön myytäväksi. Lämmitykseen raakakaasu sopii sellaisenaan.

Jotta ruokohelpin käyttö lisäyötteenä olisi mielekästä, sen tuotannon ja käytön on oltava kannattavaa. Kuva 17 esittää ruokohelpisyötteen käyttöpaikkahinnan ja korkokannan vaikutusta sen viljelyn kannattavuuteen, kun viljelmäinvestoinnin nettonykyarvo (€/ha) on kannattavuuden mittarina. Ruokohelpin tuotanto on kannattamatonta, mikäli silpun hinta

käyttöpaikalla esimerkiksi kolmen prosentin korkokannalla on alle 134 €/t ka. Mikäli ruokohelpisilpun hinta olisi biokaasulaitokselle toimitettuna esimerkiksi 135 €/t ka, niin esimerkiksi laitoksen takaisinmaksuaika olisi 4,4 vuotta. Jos ruokohelpisyötteen ja biokaasun tuottaja olisi sama yritys, niin kannattavuus voisi tällöin syntyä kaasuntuotannosta, vaikka ruokohelven viljely olisi ainoastaan niukasti kannattavaa.



Kuva 17. Ruokohelpisilpun hinnan (€/t ka) ja korkokannan (1 %, 3 % tai 5 %) vaikutus viljelyinvestoinnin nettonykyarvoon.

Jos ruokohelpisilpun hinta olisi 195 €/t ka, biokaasulaitoksen takaisinmaksuaika nousisi 11 vuoteen, mitä voidaan vielä pitää järkevänä takaisinmaksuaikana. Tällä hinnalla ruokohelven tuotanto olisi kannattavaa, mutta lisäyötteen hinta olisi jo lähellä leipäviljojen tilastoituja hintoja (Luonnonvarakeskus 2025).

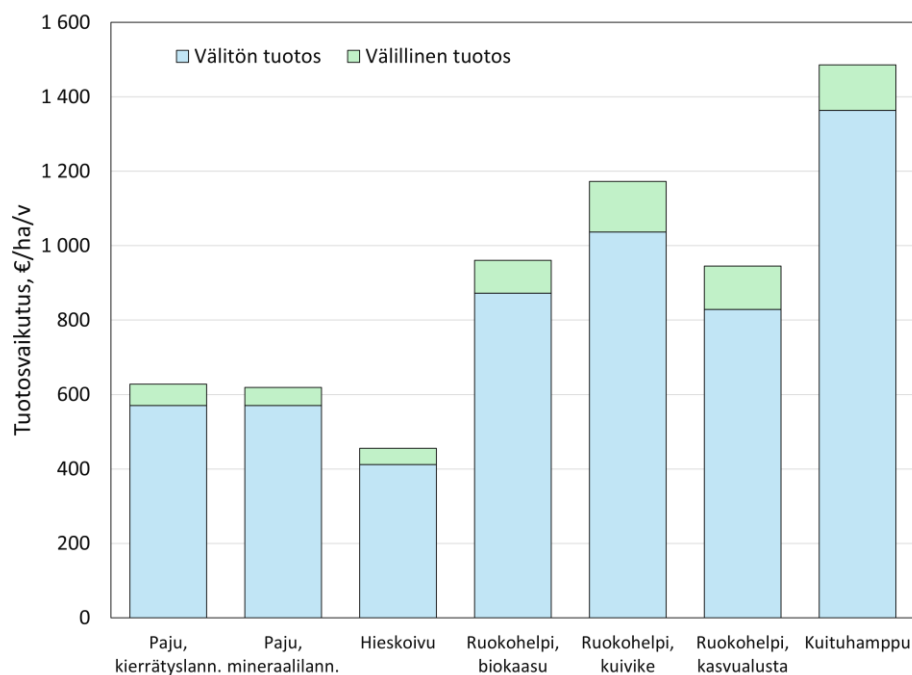
Mikäli lisäyötettä ei käytetä, vaan biokaasua tuotetaan pelkästään lietelannasta, laitoksen takaisinmaksuaika olisi biokaasulaskurin mukaan 6,1 vuotta. Siten lisäyötteen viljelyn tai oston kannattavuushyöty jää pieneksi. Lisäyöte tehostaa kuitenkin laitoksen kaasuntuottoa merkittävästi, joten biokaasun tuotannon kannattavuus voi parantua, jos tuottajalla on kuoletettava esimerkiksi liikennebiokaasun jalostuslaitos, tai raakakaasun hinta nousee.

Esimerkkilaskelma on hyvin herkkä kaasun hinnan muutoksille: jo kolmen sentin lasku kaasun hinnassa kilowattituntia kohti tekee kaasun tuotannosta kannattamattoman. Kun raakakaasun hinta on 0,05 €/kWh, laitoksen takaisinmaksuaika on 13,7 vuotta pelkkää lietettä käytettäessä. Kallista ruokohelpisyötettä ei kannattaisi tällöin käyttää. Jos lisäyötteen hinta olisi vain 100 €/t ka, laitoksen takaisinmaksuaika olisi siedettävät 12 vuotta tällä kaasun hinnalla, mutta ruokohelven tuotanto ei kannattaisi.

3.2. Arvoketjujen aluetalousvaikutukset

3.2.1. Raaka-ainetuotanto

Biomassojen tuotannon ja kuljetusten keskimääräinen kokonaisvaikutus hehtaaria kohti vaihteli esimerkiksi Kaustisen seutukunnassa hieskoivun 456 eurosta kuituhampun 1 486 euroon (Kuva 18). Välilliset vaikutukset olivat pieniä, ja ne syntyivät lähinnä paikallisesta urakoinnista.



Kuva 18. Biomassojen tuotannon ja kuljetuksen keskimääräiset vuotuiset tuotosvaikutukset viljelyhehtaaria kohti Kaustisen seutukunnassa 22 vuoden aikana.

Biomassojen tuotannon vaikutus seutukuntien talouteen laskettiin kunkin viljelymuodon suurien tuottojen ja sille allokoitun viljelypinta-alan perusteella. Paikkatietoanalyysin perusteella pajua, ruokohelpeä tai kuituhampua voitaisiin koko maakunnan turvesoilla viljellä 2 366 hehtaarilla, jolloin hieskoivun kasvatukseen jäisi 577 hehtaaria (Kuva 5).

Biomassojen tuotannon enimmäisvaikutukset seutukuntien aluetalouksiin olisivat pieniä (Taulukko 7). Kokkolan seutukunnan talous on kooltaan moninkertainen Kaustisen seutukuntaan verrattuna, ja siellä on vähän turvetuotantoalueita, joten jatkokäyttövaihtoehtojen aluetalousvaikutukset jäisivät varsinkin siellä erittäin vähäisiksi, vaikka kasveja viljeltäisiin enimmäispinta-aloilla.

Suurimmat kokonaisvaikutukset, Kaustisen seutukunnassa keskimäärin noin 3 200 000 € ja Kokkolan seutukunnassa noin 250 000 € vuodessa (0,4 % ja 0,005 % seutukuntien kokonaistuotoksesta), voisivat syntyä kuituhampun viljelyssä, jos sitä tuotettaisiin koko peltoviljelyyn soveltuvalla turvesuopinta-alalla (Taulukko 7). Tulos johtuu lähinnä siitä, että keskimääräiset hehtaarikohtaiset tuotot ovat kuituhampulla huomattavasti muita kasveja suuremmat. Pajuntuotannon kokonaisvaikutus olisi Kaustisen seutukunnassa noin 1 200 000 €. Hieskoivun tuotannon aluetalousvaikutukset jäisivät erittäin pieniksi tuotantomuodon passiivisuuden ja pienten peltoviljelyltä metsitettäväksi jääneiden pinta-alojen vuoksi.

Taulukko 7. Biomassojen tuotannon keskimääräiset aluetalousvaikutukset Kaustisen ja Kokkolan seutukunnissa (€/v) sekä kokonaistuotosvaikutusten osuudet seutukuntien tuotoksesta (%).

	Välitön tuotos, €/v	Välillinen tuotos, €/v	Kokonaistuotos- vaikutus, €/v	Osuus seutukunnan tuotoksesta, %
Kaustisen seutukunta				
Paju, kierrätyslannoite	1 246 576	126 018	1 372 594	0,16
Paju, mineraalilannoitteet	1 246 576	105 930	1 352 506	0,16
Hieskoivu	210 536	22 521	233 057	0,03
Ruokohelpi, biokaasu	1 906 918	191 423	2 098 341	0,22
Ruokohelpi, kuivike	2 264 465	298 284	2 562 749	0,30
Ruokohelpi, kasvualusta	1 811 572	254 031	2 065 603	0,24
Kuituhamppu	2 979 559	266 767	3 246 326	0,38
Kokkolan seutukunta				
Paju, kierrätyslannoite	103 063	10 797	113 860	0,002
Paju, mineraalilannoitteet	103 063	10 416	113 479	0,002
Hieskoivu ¹	27 042	-	27 042	0,001
Ruokohelpi, biokaasu	157 658	13 424	169 862	0,003
Ruokohelpi, kuivike	187 219	17 615	206 235	0,004
Ruokohelpi, kasvualusta	149 775	18 753	165 971	0,003
Kuituhamppu	246 341	19 521	266 059	0,005

¹Hieskoivun tuotannon välillisiä vaikutuksia ei laskettu.

3.2.2. Biohiililaitosinvestointi

Kaustisen seutukuntaan suunnitellun 3 000 tonnin biohiililaitoksen investointikokonaisuuteen käytettävä rahamäärä olisi 7 500 000–9 500 000 € (Taulukko 5), josta valtaosa (6 000 000–7 000 000) € kohdistuisi pyrolysointilaitteiston hankintaan alueen ulkopuolelta. Raaka-aineen esikäsittelyn ja kuivauksen investointitarpeeksi arvioidaan 500 000–1 000 000 €. Investointitarve pienenee, jos raaka-ainetta voidaan kuivata luontaisesti.

Aluetalousvaikutusten laskennassa maansiirtotöihin ja rakentamiseen kohdistuvat investoinnit erotetaan kone- ja laitehankinnoista, jotka tulevat valmiina alueen ulkopuolelta. Alueen ulkopuolelta hankittavien koneiden ja laitteiden tuotantovaikutukset kohdistuvat alueen ulkopuolelle, jopa ulkomaille asti. Siksi aluetalousvaikutusten arvioinnissa tarkasteltiin ainoastaan infrastruktuurin sekä raaka-aineen esikäsittelyyn ja kuivaukseen vaadittavia investointeja käyttökustannuksineen (yhteensä 1 500 000–2 500 000 €, 20–26 % kokonaisinvestoinnista). Ne saivat Kaustisen seutukunnassa aikaan 1 770 000–2 950 000 €:n kertaluonteisen kokonaistuotosvaikutuksen, josta välillisten vaikutusten osuus on 268 000–447 000 € (0,21–0,35 % seutukunnan vuoden 2022 tuotoksesta).

Rakentamisen paikalliset välilliset vaikutukset kohdistuvat ennen kaikkea sahatavaran sekä puutuotteiden valmistukseen, kuljetukseen ja varastointiin sekä tukkukauppaan mutta myös esimerkiksi kunnan tekniseen ja muuhun ammatilliseen toimintaan.

3.2.3. Biohiilen tuotanto

Biohiilen tuotannon aluetalousvaikutuksia arvoitiin hieman suuremman, tuotantokapasiteetiltaan 3 900 tonnin biohiililaitoksen tuotantokustannuslaskelman (Rajan ym. 2026a) perusteella. Laitoksen vuotuisiksi kustannuksiksi oletettiin lähes 9 milj. € (Taulukko 8), josta raaka-aineen hankinta olisi suurin kustannuserä noin 37 %:n osuudella.

Raaka-ainekustannus olisi noin 3 300 000 €:n vuodessa, ja se hankittaisiin Kaustisen seutukunnan sisältä. Energia voitaisiin ostaa tai vaihtoehtoisesti hyödyntää puuraaka-aineen kuivauksessa pyrolyysissä syntyvää hukkalämpöä. Ostoenergiaa (sähkö) käytettäessä vaikutukset valuvat tuotannon sekä verkkojakelun osalta seutukunnan ulkopuolelle, koska sähköenergia ostetaan seutukunnan ulkopuoliselta toimijalta ja sähkönsiirrosta vastaavan yrityksen toimipaikka sijaitsee seutukunnan ulkopuolella (Energiavirasto 2025a). Vaikutuslaskelmassa energia oletetaan ostetuksi. Mikäli pyrolyysin oheistuotteena syntyvää lämpöenergiaa hyödynnetään, se pienentää laitoksen kuivatusenergiakustannusta ja energian tuotanto omaan käyttöön luetaan vaikutuslaskennassa paikalliseksi tuotannoksi.

Biohiililaitoksen hankinnoista alueelle oletetaan jäävän pääosa vuotuisista käyttökustannuksista, etenkin työvoimakustannukset ja toiminnan ylläpitoon tarvittavat tavara- ja palveluhankinnat. Työvoimakustannus sisältää biohiilen tuotantoprosessin (raaka-aineen käsittely, reaktorin käyttö, kunnossapito, laadunvalvonta) lisäksi hallinto- ja myyntihenkilöstön kulut. Suunnitelman mukaiset 650 000 €:n laskennalliset vuosipoistot eivät suoraan aiheuta tavara- ja palveluhankintoja, vaan tuotantovaikutukset määräytyvät potentiaalista poistokustannusta vastaavan tulon käytöstä.

Taulukko 8. Biohiililaitoksen arvioidut vuotuiset kustannukset ja niiden jakautuminen käyttökohteisiin, € ja % (Rajan 2026a).

Kustannuslaji	€/vuosi	Osuus kustannuksista, %
Materiaalikustannus, raaka-aineen hankinta	3 300 000	37
Käyttökustannus	775 000	9
- Henkilöstö	425 000	
- Huolto ja kunnossapito	90 000	
- Toimitilakustannukset	150 000	
- Hallinto	80 000	
- Muut kustannukset	30 000	
Energia, kuivaus	2 970 000	33
Energia, pyrolyysi	1 300 000	15
Biohiililaitoksen investointi, poistot	650 000	7
Vuotuinen kustannus yhteensä	8 995 000	100

Biohiilimarkkinat ovat vasta kehittymässä, joten biohiilen myyntitulojen arviointi on epävarmaa. Siksi tuotantovaikutusten laskennassa oletettiin, että myyntitulot kattavat vuosikustannukset. Biohiilen tuotannon vuotuinen kokonaisvaikutus Kaustisen seutukunnassa olisi noin 12 600 000 €, mikä on 1,5 % seutukunnan vuoden 2022 tuotoksesta (Taulukko 9). Jos laitoksen käyttämä raaka-aine olisi hieskoivuhaketta ja se pystyttäisiin tuottamaan Kaustisen seutukunnassa, raaka-ainetuotannon kokonaisvaikutus olisi 5 757 000 € vuodessa eli noin 0,7 % seutukunnan tuotoksesta. Silloinkin raaka-ainetuotannon vaikutus jäisi alle puoleen jalostuksen tuotantovaikutuksesta.

Taulukko 9. Hieskoivun aluetalousvaikutus raaka-aineena ja biohiilen tuotannossa (€/v) Kausittaisen seutukunnassa sekä osuudet seutukunnan vuoden 2022 tuotoksesta (%).

	Aluetaloudellinen vaikutus			
	Välitön, €/v	Väillinen, €/v	Kokonaisvaikutus, €/v	Kokonaisvaikutus, % alueen tuotoksesta
Hieskoivu, biohiilen raaka-ainetuotanto	5 404 000	353 000	5 757 000	0,68
Biohiilen tuotanto	8 995 000	3 584 595	12 600 000	1,49

3.3. Biomassojen tuotannon elinkaarivaikutukset

Tavanomaisten nurmikasvien tuotannolla oli suurimmat ilmastopäästöt hehtaaria kohti, hieskoivulla vähäisimmät (Taulukko 9). Sama suunta näkyi myös muissa vaikutusluokissa (Taulukot 11–13). Ruokohelven tuotannon aiheuttamat päästöt hehtaaria kohti olivat noin kolmasosan pienemmät kuin nurmella. Hieskoivun tuotannon ympäristövaikutukset olivat selkeästi pienimmät kaikissa tarkastelluissa vaikutusluokissa.

Taulukko 10. Ruokohelven (kevät- ja kesäkorjuu), kuituhampun, nurmen, pajun (mineraalilannoitus) ja hieskoivun tuotantoketjujen ilmastovaikutukset pinta-alayksikköä kohden keskimäärin vuodessa 22 vuoden aikana (kg CO₂-ekv./ha/v).

	Ruokohelpi, kevätk.	Ruokohelpi, kesäk.	Kuituhamppu	Nurmi	Paju	Hieskoivu
Keskim. sato, t ka /ha /v	5,182	5,455	4,545	6,545	4,075	2,745
Perustaminen	30,0	30,0	182,1	49,0	22,5	0,0
Lannoitteiden ja kalkin valmistus ja käyttö	1 766,0	1 747,0	1 950,7	2 402,2	858,9	0,0
Siemenet/pistokkaat	2,0	2,0	72,5	6,8	28,6	0,0
Lannoitteiden levitys ja kuljetus	127,0	130,0	152,4	157,5	57,3	5,0
Sadonkorjuu, varastointi ja kuljetus	283,0	313,0	416,9	513,8	288,6	50,0
Muut ¹	5,0	5,0	10,3	10,3	5,5	0,4
Yhteensä, kg CO ₂ -ekv./ha/v	2 213	2 227	2 785	3 140	1 261	55

¹Sisältää glyfosaatin valmistuksen lisäksi peite- ja käärintämateriaalien valmistuksen ja kuljetuksen.

Ruokohelven (kevät- ja kesäkorjuu), kuituhampun, nurmen, pajun (mineraalilannoitus) ja hieskoivun tuotantoketjujen fossiilisten resurssien kulutus pinta-alayksikköä kohden keskimäärin vuodessa 22 vuoden aikana (kg öljy-ekv./ha/v).

Taulukko 11. Ruokohelven (kevät- ja kesäkorjuu), kuituhampun, nurmen, pajun (mineraalilannoitus) ja hieskoivun tuotantoketjujen fossiilisten resurssien kulutus pinta-alayksikköä kohden keskimäärin vuodessa 22 vuoden aikana (kg öljy-ekv./ha/v).

	Ruokohelpi, kevätk.	Ruokohelpi, kesäk.	Kuituhamppu	Nurmi	Paju	Hieskoivu
Keskim. sato, t ka /ha /v	5,182	5,455	4,545	6,545	4,075	2,745
Perustaminen	8,7	8,7	51,8	14,0	6,5	0,0
Lannoitteiden ja kalkin valmistus ja käyttö	311,8	304,4	257,4	481,0	137,4	0,0
Siemenet/pistokkaat	0,4	0,4	14,8	1,4	8,5	0,0
Lannoitteiden levitys ja kuljetus	36,4	37,2	33,0	45,0	16,5	1,5
Sadonkorjuu, varastointi ja kuljetus	81,5	90,4	121,6	147,3	83,4	14,4
Muut ¹	1,4	1,4	3,1	3,1	1,7	0,1
Yhteensä, kg öljy-ekv./ha/v	440	443	482	692	254	16

¹Sisältää glyfosaatin valmistuksen lisäksi peite- ja käärintämateriaalien valmistuksen ja kuljetuksen.

Taulukko 12. Ruokohelven (kevät- ja kesäkorjuu), kuituhampun, nurmen, pajun (mineraalilannoitus) ja hieskoivun tuotantoketjujen makeaa vettä rehevöittävä vaikutus pinta-alayksikköä kohden keskimäärin vuodessa 22 vuoden aikana (kg P-ekv./ha/v).

	Ruokohelpi, kevätk.	Ruokohelpi, kesäk.	Kuituhamppu	Nurmi	Paju	Hieskoivu
Keskim. sato, t ka /ha /v	5,182	5,455	4,545	6,545	4,075	2,745
Perustaminen	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000
Lannoitteiden ja kalkin valmistus ja käyttö	0,228	0,223	0,189	0,341	0,099	0,000
Siemenet/pistokkaat	0,001	0,001	0,017	0,002	0,019	0,000
Lannoitteiden levitys ja kuljetus	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,000
Sadonkorjuu, varastointi ja kuljetus	0,004	0,004	0,006	0,007	0,005	0,001
Muut ¹	0,006	0,006	0,012	0,012	0,008	0,001
Yhteensä, kg P-ekv./ha/v	0,240	0,236	0,228	0,364	0,132	0,002

¹Sisältää glyfosaatin valmistuksen lisäksi peite- ja käärintämateriaalien valmistuksen ja kuljetuksen.

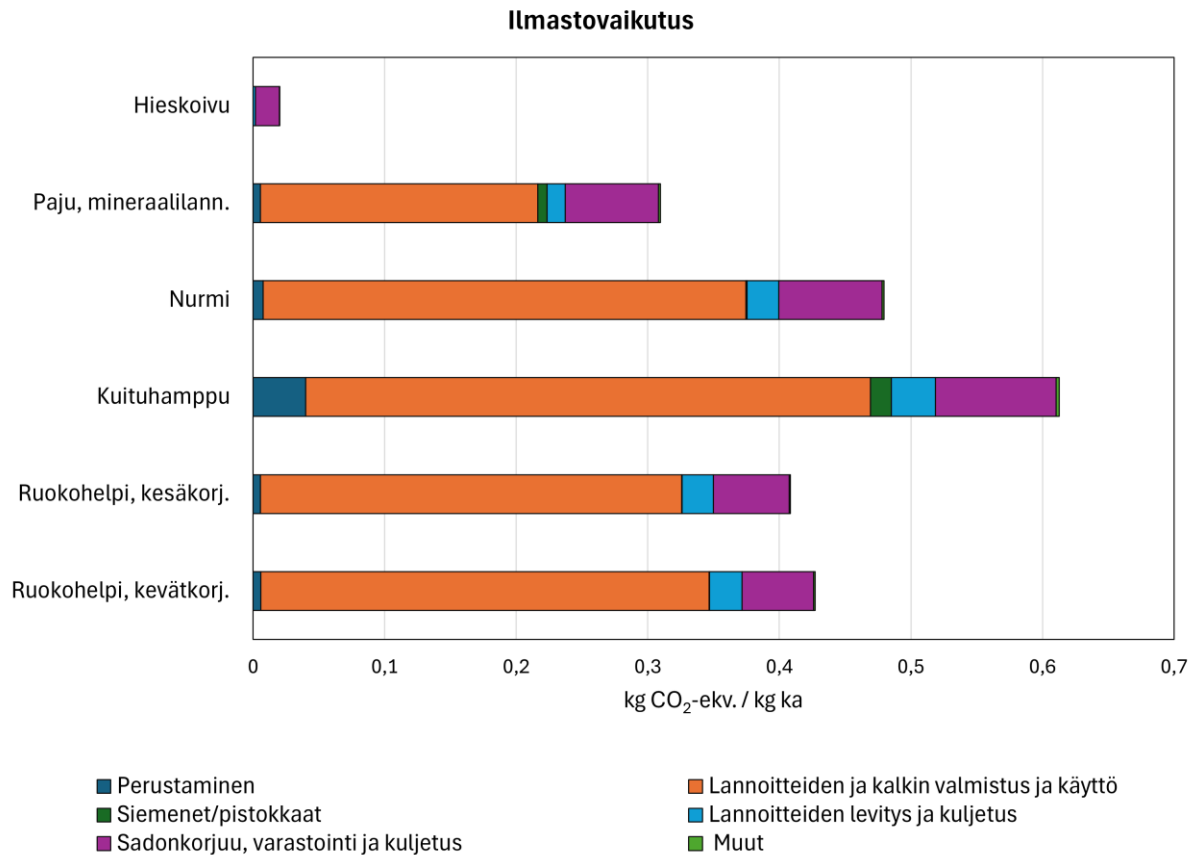
Taulukko 12. Ruokohelven (kevät- ja kesäkorjuu), kuituhampun, nurmen, pajun (mineraalilannoitus) ja hieskoivun tuotantoketjujen vaikutus maaperän happamoitumiseen pinta-alayksikköä kohden keskimäärin vuodessa 22 vuoden aikana (kg SO₂-ekv./ha/v).

	Ruokohelpi, kevätk.	Ruokohelpi, kesäk.	Kuituhamppu	Nurmi	Paju	Hieskoivu
Keskim. sato, t ka /ha /v	5,182	5,455	4,545	6,545	4,075	2,745
Perustaminen	0,07	0,07	0,43	0,11	0,05	0,00
Lannoitteiden ja kalkin valmistus ja käyttö	5,79	5,73	4,92	8,73	3,24	0,00
Siemenet/pistokkaat	0,01	0,01	0,45	0,04	0,09	0,00
Lannoitteiden levitys ja kuljetus	0,29	0,29	0,34	0,36	0,13	0,01
Sadonkorjuu, varastointi ja kuljetus	0,60	0,66	0,83	1,16	0,41	0,06
Muut ¹	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	0,00
Yhteensä, kg SO₂-ekv./ha/v	6,77	6,78	7,00	10,43	3,94	0,07

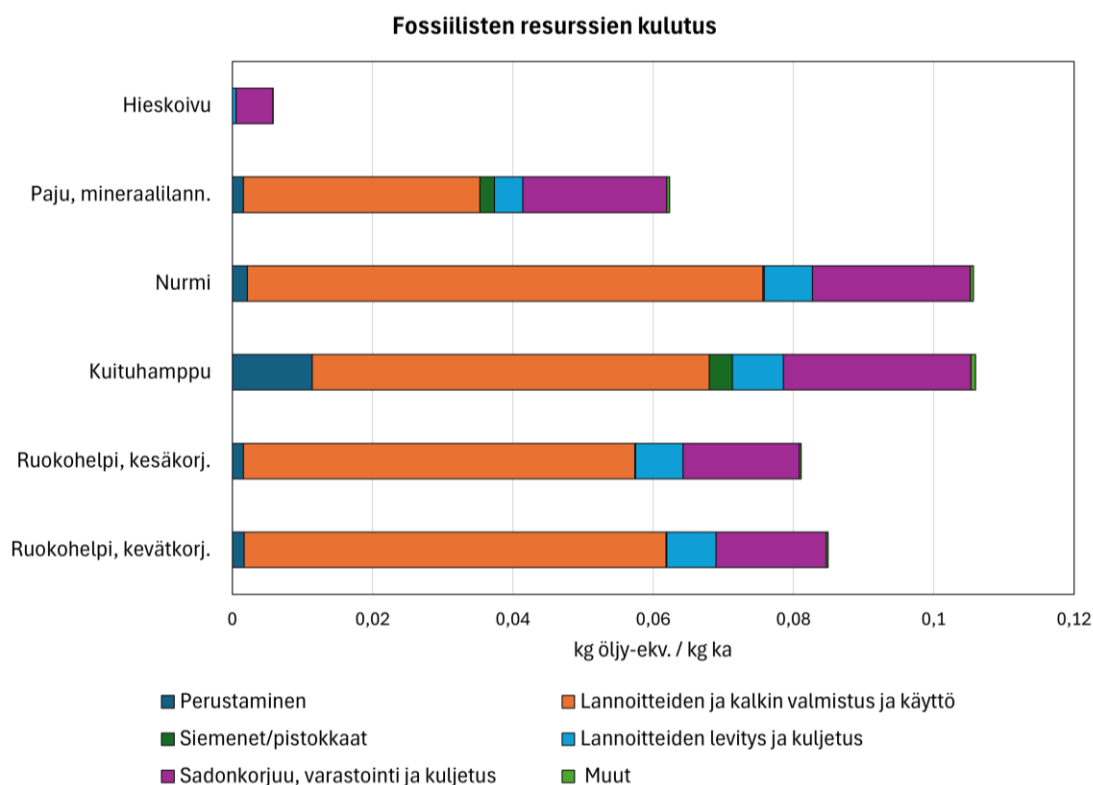
¹Sisältää glyfosaatin valmistuksen lisäksi peite- ja käärintämateriaalien valmistuksen ja kuljetuksen.

Kaikissa vaikutusluokissa suurin elinkaarivaikutus (53–95 %) syntyi lannoitteiden valmistuksesta ja käytöstä lukuun ottamatta hieskoivua, jota lannoitetaan vain perustamisvaiheessa puutuhkalla. Elinkaarianalyysissä tuhka tulkitaan biogeeniseksi maanparannusaineeksi, jonka tuotannolla ei ole ympäristövaikutuksia.

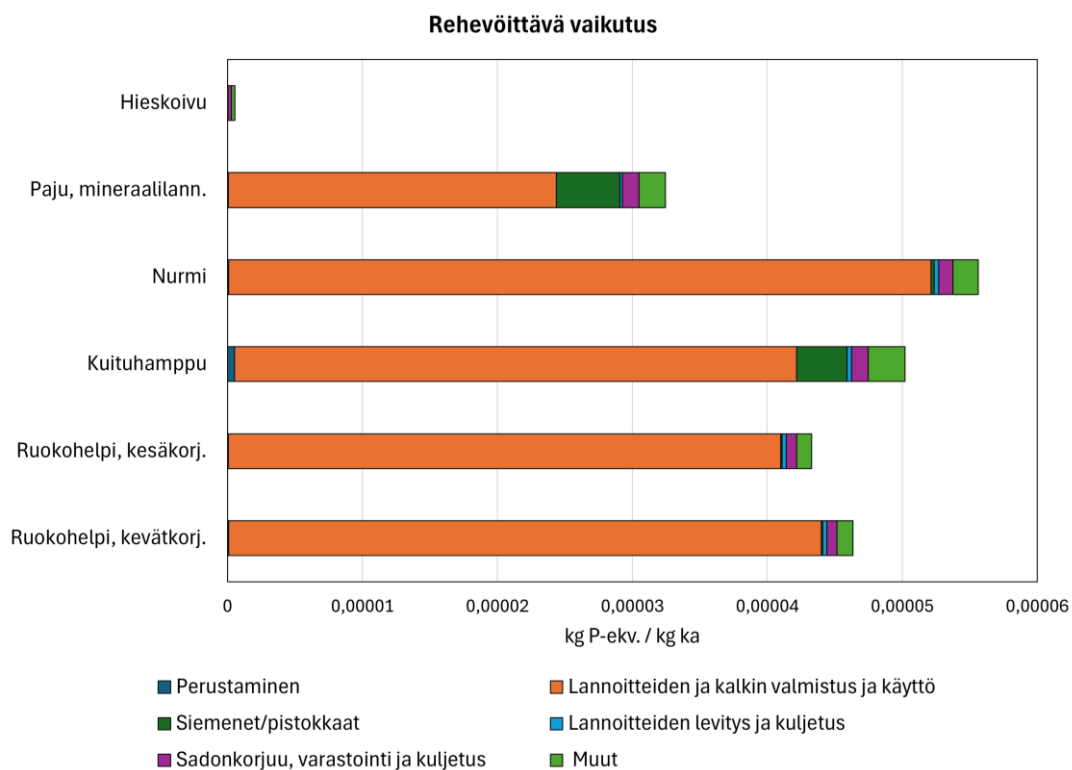
Kun keskimääräiset hehtaariohittaiset elinkaarivaikutukset (Taulukot 10–13) kohdistettiin 22 vuoden aikana käyttöön tai jalostukseen päätyvälle keskimääräiselle kuiva-ainesadolle (2,7–6,5 t ka/ha/v), saatiin kuvissa 19–22 esitetyt tulokset toimitettua kuiva-ainekilogrammaa kohti. Tällä tavalla laskettuna hieskoivun tuotannon aiheuttama ympäristökuormitus oli ainoastaan 1–9 % muiden kasvilajien kuormituksesta eri vaikutusluokissa, ja lähes kaikki hieskoivun tuotannon päästöt aiheutuivat kuljetuksista ja koneiden käytöstä.



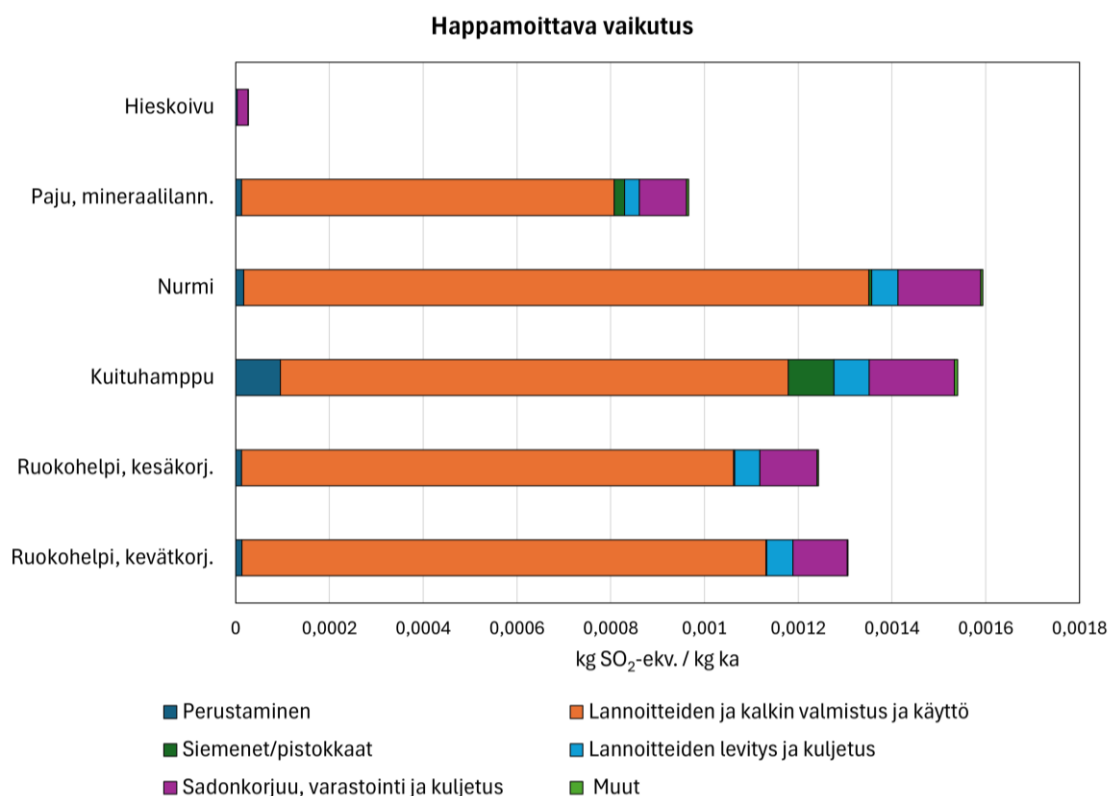
Kuva 19. Ruokohelven (kevät- ja kesäkorjuu), kuituhampun, nurmen, pajun (mineraalilannoitus) ja hieskoivun tuotantoketjujen ilmastovaikutukset käyttöpaikalle tai satamaan toimitettua kuiva-ainekilogrammaa kohti (kg CO₂-ekv./kg ka).



Kuva 20. Ruokohelven (kevät- ja kesäkorjuu), kuituhampun, nurmen, pajun (mineraalilannoitus) ja hieskoivun tuotantoketjujen fossiilisten resurssien kulutus käyttöpaikalle tai satamaan toimitettua kuiva-ainekilogrammaa kohti (kg öljy-ekv./kg ka).



Kuva 21. Ruokohelven (kevät- ja kesäkorjuu), kuituhampun, nurmen, pajun (mineraalilannoitus) ja hieskoivun tuotantoketjujen makeaa vettä rehevöittävä vaikutus käyttöpaikalle tai satamaan toimitettua kuiva-ainekilogrammaa kohti (kg P-ekv./kg ka).



Kuva 22. Ruokohelven (kevät- ja kesäkorjuu), kuituhampun, nurmen, pajun (mineraalilannoitus) ja hieskoivun tuotantoketjujen maaperää happamoittava vaikutus käyttöpaikalle tai sataan toimitettua kuiva-ainekilogrammaa kohti (kg SO₂-ekv./kg ka).

3.4. Nurmibiokaasun kestävyys

3.4.1. Kestävyyskriteerien tulkinta

Luvun 3.1.3 perusteella ruokohelven tai muun nurmibiomassan tuottaminen liettelantaa käyttävän biokaasulaitoksen lisäyötteenä saattaa olla kannattavaa, koska jo melko pienelläkin lisäyötemäärällä kaasuntuotantoa voidaan tehostaa merkittävästi.

Tuotettavan energian kestävyyskriteerit on määritetty uusiutuvan energian direktiiveissä (ns. RED II ja RED III; [EU 2018/2001](#) ja [EU 2023/2413](#)), joista on tehty kotimaisia tulkintaohjeita (mm. Energiavirasto 2025b, Haavisto ym. 2024). Kestävyyskriteerit tulee täyttää, jotta tuotettu energia laskettaisiin mukaan uusiutuvan energian kansallisiin tavoitteisiin ja sen tuottajille voitaisiin maksaa uusiutuvan energian tukia. Jos tuotettu energia ei täytä kestävyyskriteereitä, se rinnastetaan fossiiliseksi energiaksi. Siinä tapauksessa esimerkiksi nurmibiokaasua kohdellaan energiaverotuksessa samalla tavalla kuin maakaasua, ja sen tuotanto on todennäköisesti kannattamatonta.

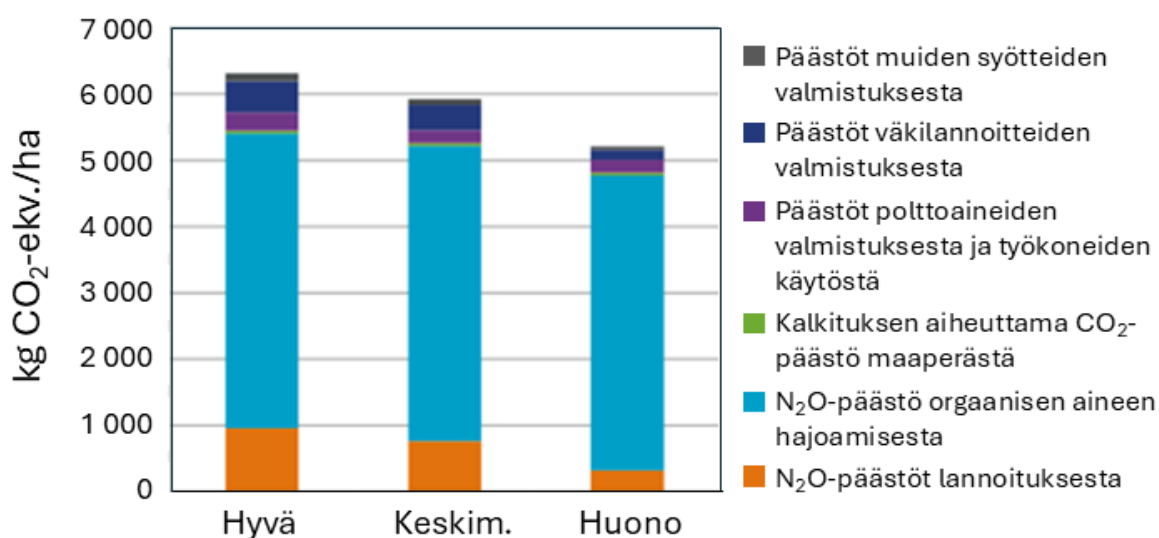
RED-direktiivien mukaan vuoden 2008 alun jälkeen ojitetulla turvemaalla tuotettu bioenergia ei ole kestävä. Lisäksi tuotetulla bioenergialla tulisi saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna, jotta se tulkittaisiin kestäväksi. Käytännössä lähes kaikki turvetuotantoalueet on ojitettu jonkinasteisesti ennen vuotta 2008, joten ensin mainittu ehto tulee todennäköisesti harvoin rajoittavaksi tekijäksi. Suon kuivatustilanteen voi tarkistaa esimerkiksi vanhoista kartoista ja ilmakuvista.

Sähkön, lämmön ja jäädytyksen tuotannossa päästövähennemän on oltava vähintään 70–80 % verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin. Pienet, alle 2 MW:n sähköä ja lämpöä tuottavat biokaasulaitokset on kuitenkin vapautettu päästövähennemän osoitusvelvollisuudesta. Liikennebiokaasua tuotettaessa päästövähennemän on oltava vähintään 65 %, eikä laitoksen kokoluokasta johtuvia helpotuksia ole.

Päästövähennemänä voidaan käyttää joko RED II -direktiivin oletusarvoja tai päästövähennyksen voi osoittaa itse. Direktiivissä on arvot mm. karjanlannan ja maissisäilörehun biokaasutukseen, mutta esimerkiksi nurmesta tehtävältä biokaasulta ne puuttuvat. Rasin ym. (2019) raportissa "Nurmi biokaasun raaka-aineena – RED II direktiivin mukainen kasvihuonekaasupäästöjen laskenta" kuvataan päästövähennemän laskentatapaa sekä arvioidaan esimerkkilaskelmien avulla kivennäis- tai turvemaapelloilla tuotetusta säilörehusta ja karjan lietelannasta tehtävän biokaasun kestävyttä.

Vuonna 2019 RED II -direktiiviä tulkittiin siten, että laskennassa täytyy ottaa huomioon ainoastaan viljelystä aiheutuvat päästöt verrattuna tilanteeseen, jossa kyseisellä maa-alueella ei viljeltäisi mitään. Siksi Rasin ym. (2019) laskelmien mukaan turvemaan nurmesta vapautuu melko vähän hiilidioksidia, mutta maanmuokkauksesta ja lannoituksista aiheutuva orgaanisen aineksen hajoaminen aiheuttaa suurehkoja typpioksiduulipäästöjä (N_2O) (Kuva 23). Rasi ym. (2019) pitävät tuloksiaan suuntaa antavina, ja jos viljelykäytännöt tai lähtötiedot poikkeavat esitetystä, päästövähennemä on laskettava tapauskohtaisesti.

Rasi ym. (2019) oletivat nurmelle kolme satovuotta ennen uudistamista, ja korjuukertoja oli 2–3 vuodessa. Lannoittamisessa käytetty typpimäärä oli turvemailla 42–130 kg/ha/v. N_2O -päästöjen laskennassa oli käytetty lauhkean vyöhykkeen turvepelloille laadittua kerrointa IPCC:n ohjeistuksen (IPCC 2006) mukaisesti. Samaa kerrointa sovelletaan sekä vuosittaista maanmuokkausta vaativien yksivuotisten kasvien että monivuotisten nurmien viljelyn päästölaskentaan.



Kuva 23. Säilörehuksi viljellyn heinänuurmen vuotuiset ilmastopäästöt eloperäisellä maalla satotasoluokittain hehtaaria kohden RED II-direktiivin edellyttämän laskentatavan mukaan (Kuva: Rasi ym. 2019).

Tämän tutkimuksen laskelmissa oletettiin aikaisempien tutkimusten (Taulukko 1) perusteella, että ruokohelpisato korjataan vain kerran kesässä, lannoitus on maltillista (N 60 kg/ha) ja viljelmä tuottaa satoa yhdellä kylvöllä 10 vuotta. Toisaalta ruokohelpi ei ole rehuarvoltaan yhtä hyvää kuin timoteipohjaiset säilörehut, mutta tällä on suhteellisen pieni vaikutus biokaasun tuotannon määrään (Lehtomäki 2006).

Rasin ym. (2019) esimerkkilaskelman mukaan turvemaalla viljellyn timoteipohjaisen säilörehunurmen tuotannon aiheuttamat yhteenlasketut N₂O-päästöt ovat noin 4,8–5,5 t CO₂-ekv./ha/v (Kuva 23), mikä vastaa yli 80 %:a yhteenlasketuista ilmastopäästöistä. Siksi pelkätään turvemaalla tuotetusta nurmesta valmistetun liikennebiokaasun päästöt olisivat suuremmat kuin maakaasulla. Kivennäismaan säilörehusta tehdyn biokaasun päästövähennys, 50 %, olisi jo lähellä vaadittua 65 %:n päästövähennystä. Päästövähennys olisi 96 %, jos karjanlanta olisi liikennebiokaasun pääraaka-aineena ja kivennäismaan nurmi lisäsyötteenä 20 %:n osuudella.

3.4.2. Ruokohelven viljelyn ilmastopäästöt

Ruokohelpi menestyy kosteammissa olosuhteissa kuin muut viljelyheinänurmet, ellei kasvustoa tuhota korjuuvaiheessa ajamalla raskailla koneilla, kun maa on liian märkää (Lång ym. 2024a). Shurpalin ym. (2010) tutkimuksessa entisellä turpeennostoalueella Itä-Suomessa sijaitsevan ruokohelpiviljelmän N₂O-päästöt olivat viiden vuoden aikana noin 300 kg CO₂-ekv./ha/v, mikä on erittäin vähän Rasin ym. (2019) tutkimukseen verrattuna.

Långin ym. (2024a) tutkimuksessa turvemaiden säätöojitetuilla ja ns. kosteikkoviljelmillä ruokohelpikasvustojen vuosittaiset, hiilidioksidiekvivalenteiksi muunnetut N₂O-päästöt jäivät kaksi vuotta kestäneiden mittausten aikana muutamaan sataan kilogrammaan. Näillä kohteilla vuosittainen lannoitus oli hyvin niukkaa tai sitä ei tehty lainkaan, mikä selittää tuloksia osittain. Pohjavedenpinnan pitäminen korkealla kesän ajan vaikutti vähentävän päästöjä, mutta se ei ole helppoa varsinkaan kuivina kesinä. Saksassa on mitattu erittäin pieniä kasvihuonekaasupäästöjä korotetulla pohjaveden pinnalla kasvatetuilta ruokohelpiviljelmiltä (Bockermann ym. 2025).

Kandelin ym. (2019) tutkimuksessa vetetyllä turvemaalla Tanskassa sijainneen ruokohelpiviljelmän suurimmat N₂O-päästöpiikit mitattiin heti lannoitusten jälkeen. Vuositasolla N₂O-päästöt olivat 850–2 800 kg CO₂-ekv./ha, eli selvästi enemmän kuin Shurpalin ym. (2010) ja Långin ym. (2024a) tutkimuksissa, mutta huomattavasti vähemmän kuin Rasin ym. (2019) laskelmissa oletettiin. Vedenpinta oli Kandelin ym. (2019) tutkimuksessa enimmäkseen lähellä maanpintaa (< 10 cm), mutta joillakin lohkoilla se laski kuivina aikoina 40 cm maanpinnan alapuolelle. Kuivimman lohkon N₂O-päästöt olivat pienimmät. Typpilannoitus oli voimallisempaa kuin Rasin ym. (2019) laskelmissa: tyyppiä levitettiin peräti 160 kg hehtaarille vuodessa, mutta toisaalta sato korjattiin kahdesti vuodessa.

Rasin ym. (2019) tutkimuksen tulosten soveltaminen maltillisesti lannoitetun ja kerran kesässä korjattavan ruokohelpibiomassan aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen arviointiin johtaa edellä kuvattujen tutkimusten perusteella N₂O-päästön merkittävään yliarvioon. Koska Rasin ym. (2019) laskelmat on tehty 2–3 kertaa kesässä korjattavan timoteipohjaisen nurmen viljelyn ja nurmibiokaasun tuotannon päästöjen arviointiin, ruokohelpi vaatii omat laskelmansa.

Mikäli myös turpeen hajoamisesta aiheutuvat CO₂-päästöt joudutaan huomioimaan, turve-
maalla tuotetusta ruokohelvestä ja siitä valmistetusta biokaasusta ei ole mahdollista saada
laskennallisesti kestävää polttoainetta. Myös ruokohelven viljelyn kasvihuonekaasupäästöt
erilaisissa olosuhteissa vaativat lisää tutkimusta (Kuva 24).



Kuva 24. Kasvihuonekaasujen mittausta kammiomenetelmällä suonpohjan ruokohelpiviljelmällä. Kuva: Pasi Arkko / GTK.

4. Tulosten tarkastelu

Energiaturpeen käytön nopean alasajon seurauksena tuotannosta on poistunut runsaasti turvesoita, ja energiaturvetuotannon on ennustettu loppuvan todennäköisesti vuoteen 2030 mennessä (International Energy Agency 2023). Turvetuotantoalueet kestävään käyttöön -hankkeessa (TURKE) tehdyn paikkatietoanalyysin perusteella Keski-Pohjanmaalla on noin 3 400 ha vielä tuotannossa olevia tai hiljattain tuotannosta poistuneita turvesoita (GTK 2025), joista suurella osalla maankäyttömuoto muuttuu lähivuosina. Energiaturpeen tuotannon hiipeussa myös kuivike- ja kasvualustaturpeen saatavuus heikkenee ja niiden hinnat nousevat, joten turvetta korvaaville materiaaleille on tarvetta. Toisaalta turpeesta kehitetään uusia tuotteita, esimerkiksi aktiivihiilipohjaisia ratkaisuja ja biostimulantteja (esim. Krumins ym. 2021, Salminen 2022, Abdullah ym. 2024), ja uusille turvetuotantoalueille haetaan edelleen ympäristölupia (Aluehallintovirasto 2025). Turve on myös huoltovarmuuspolttoaine (Valtionuuvosto 2023).

Tarkasteluun valittiin laajassa mitassa viljeltävissä olevia kasvilajeja, jotka aikaisempien kokemusten perusteella voivat menestyä suonpohjilla ja joille voisi olla käyttöä kuivikkeena, kasvualustana, teollisuuden raaka-aineena tai energiantuotannossa. Tällaisia vaihtoehtoja olivat ruokohelpi, paju, hieskoivu ja tavanomaiset nurmiheinälajit. Myös kuituhampun viljelyä tarkasteltiin, koska sille odotettiin merkittävää kysyntää erilaisten kuitupohjaisten tuotteiden raaka-aineena ja jatkojalostusta oltiin käynnistämässä Pohjois- ja Etelä-Pohjanmaalla. Viljelijöiden kanssa jo tuotantosopimuksia tehnyt yritys ajautui kuitenkin konkurssiin syksyllä 2025.

Tutkimuksessa jouduttiin tekemään paljon sekä kustannuksiin että tuottoihin liittyviä oletuksia. Erityisesti tuotto-oletukset ovat epävarmoja, koska suurimmalle osalle valituista biomassoista ei ole vakiintuneita markkinahintoja. Lisäksi energiakäyttöön, esimerkiksi biokaasun raaka-aineeksi menevien biomassojen tapauksessa myös uusiutuvan energian direktiivien ([EU 2018/2001](#) ja [EU 2023/2413](#)) kestävyyskriteerien tulkinta vaikuttaa raaka-aineen hinnoitteluun.

4.1. Peltokasvien tuotanto

Laasasenahon ym. (2023) selvityksessä maatalous oli turvetuotantoalueiden omistajia toiseksi eniten kiinnostava jatkokäyttövaihtoehto metsityksen jälkeen. Suonpohjista on voinut saada viljelymaata hyvinkin edullisesti tavalliseen peltomaahan verrattuna. Länsi-Suomessa peltohehtaari maksoi vuonna 2023 keskimäärin noin 10 000 € (Luonnonvarakeskus 2024). Esimerkiksi valtionyhtiö Neova (entinen Vapo Oy) ehti myydä huomattavan osan entisistä turvetuotantoalueistaan vuosina 2018–2022 ennen kuin alkoi kehittää aurinkoenergiահankkeita maille (Tiihonen 2026). 2020-luvun alussa suonpohjien lähtöhinnat Vapon huutokaupoissa vaihtelivat nolasta pariin tuhanteen euroon hehtaaria kohti (Rintamaa 2020). Turpeennostosta vapautuneen alueen kunnostaminen peltokasvien viljelyyn maksaisi tämän tutkimuksen perusteella noin 1 000 €/ha, mutta kustannus vaihtelee lähtötilanteen ja käytettyjen menetelmien mukaan. Aikaisemmin maatalouskäyttöön siirtyneillä turvesoilla on voinut olla niin vähän jäännösturvetta, että ne luokitellaan jo kivennäismaiksi (Latva-Krekola & Luhtanen 2021).

Turvetuotantoalueilla on hyvät edellytykset tehokkaaseen peltoviljelyyn, koska lohkot ovat suuria ja tieverkosto on hyvä. TURKE-hankkeessa tehdyn paikkatietoanalyysin mukaan pelto-
viljelyyn sopivan lohkon pinta-ala oli noin 25 ha ja metsitykseen sopivan noin 15 ha (GTK

2025), joita käytettiin laskelmissa oletuksina. Samalla viljelylohkolla voi kuitenkin olla useampia maanomistajia, mitä ei laskelmissa otettu huomioon. Tuotantokustannukset ovat siten käytännössä todennäköisesti hieman korkeammat kuin tässä tutkimuksessa.

Laskelmien oletuksena oli, että tutkimukseen valittuja biomassoja kasvatetaan tavanomaisin menetelmin nostamatta pohjaveden pintaa, vaikka vedenpinnan noston tiedetäänkin vähentävän turvemaiden hiilipäästöjä. Vedenpinnan säätely lisää kustannuksia, ja maan märkyys voi heikentää biomassatuotosta merkittävästi (Larmola ym. 2023, Lång ym. 2024b, Miettinen ym. 2022, Vihanta 2023). Kannattava kosteikkoviljely edellyttäisi tukea, jota ei voi nykyään saada maatalouskäyttöön otettaville turvetuotantoalueille joitakin nurmikasveja lukuun ottamatta (Ruokavirasto 2025a). Lannoituksista jouduttaisiin kosteikkoviljelyssä todennäköisesti tinkimään märillä ja jopa tulvaherkillä suonpohjilla ([VNA 1250/2014](#)), mikä alentaa satotasoa. Lisäksi maan märkyys voi rajoittaa konekaluston käyttöä viljelyssä ja sadonkorjuussa.

Peltoviljelyn kannattavuus osoittautui pääsääntöisesti heikoksi, mutta ruokohelven tuotanto voi olla taloudellisesti mielekäästä. Ruokohelvi on hinnaltaan kilpailukykyinen kuivike, jonka ominaisuuksia voidaan tarvittaessa parantaa turpeeseen sekoittamalla. Myös ruokohelven tai muun nurmibiomassan tuotanto biokaasun raaka-aineeksi voi olla kannattavaa ilman peltoviljelyn tukiakin, jos tuotettu biokaasu pystytään osoittamaan kestäväksi. Karkeahkon ja kostean ruokohelpisilpun tiivistymisestä ja säilymisestä aumoissa ei kuitenkaan ole tutkittua tietoa.

Nykyinen RED-direktiivien tulkinta turvemaalla kasvaneesta nurmesta tuotetun biokaasun kestävydestä perustuu oletukseen timoteipohjaisen säilörehunurmen käytöstä. Näiden laskelmien mukaan turvemaalla kasvaneesta nurmesta tuotettu biokaasu ei ole kestävä (ks. Luku 3.4). Tästä syystä nykyisissä ja suunnitteilla olevissa biokaasulaitoksissa ei uskalleta hyödyntää viljeltyjä nurmibiomassoja, vaan ainoastaan jätteiksi luokiteltavia syötteitä, kuten viherlannoitusnurmea ja viljojen olkia. Nurmisilppu karjanlannan seassa lisää biokaasutuotantoa merkittävästi. Jos biokaasu pystytään osoittamaan kokonaisuudessaan kestäväksi, ruokohelven käytölle esimerkiksi lietelannan lisäsyötteenä (Kuva 25) ei ole todennäköisesti esteitä, vaikka yksistään ruokohelvestä tuotettu biokaasu ei täyttäisikään kestävyyskriteereitä (Leppänen 2025). Vaaditun päästövähennyksen (70–80 % fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna) saavuttaminen myös ruokohelvellä on epätodennäköistä, mikäli turpeen hajoamisesta aiheutuvat päästöt otetaan laskennassa huomioon.

Tehtyjen laskelmien perusteella peltokasvien satotaso vaikuttaa olennaisesti viljelyn kannattavuuteen. Kirjallisuuteen perustuvat tuotosoletukset olivat maltillisia, mutta niihin pääseminen edellyttää viljelyn onnistumista. Sekä biokaasusyötteen että kuivikkeen tapauksessa ruokohelven satotason on oltava vähintään 6 t ka/ha/v tässä tutkimuksessa oletetuilla hinnoilla ja kustannuksilla, jotta niiden tuotanto olisi kannattavaa. Jo muutama heikkotuottoisempi vuosi viljelykierron aikana tekee tuotannosta kannattamatonta. Laskelmien oletuksena oli, että ruokohelpiviljelmä uusitaan kymmenen vuoden välein. Jos uusimisväli puolitettaisiin viiteen vuoteen, tuotantokustannukset nousisivat noin 10 %, mikä riittäisi tekemään ruokohelven tuotannosta kannattamatonta.



Kuva 25. Tuoreena korjatun ruokohelpisilpun käyttö lisäsyötteenä tehostaa biokaasun tuotantoa lietelannasta (Kwokori ym. 2026). Kuvassa etualalla kasvibiomassan syöttölaitteisto lietteitä käyttävällä biokaasulaitoksella. Kuva: Timo Lötjönen.

Myös turvetta korvaaville kasvualustamateriaaleille on kysyntää, ja ruokohelven vienti tähän tarkoitukseen on jo käynnistynyt (Neova Group 2024). Ruokohelven tuotantokustannus suon laidalla paalattuna olisi tämän tutkimuksen oletuksilla vähintään 146 €/t ka, joten sen kasvatusta oletetulla hinnalla (160 €/t ka) ilman tukea voi olla kannattavaa korkeintaan paikalliseen kasvualustatuotantoon, koska kuljetus vientisatamaan on suuri kustannuserä. Esimerkiksi autokuljetus Kaustiselta Kokkolan satamaan (n. 50 km) nostaisi tuotantokustannuksen 166 euroon kuiva-ainetonnilta ja kuljetus Kaskisten satamaan (n. 220 km) 186 euroon kuiva-ainetonnilta. Lisäksi kasvualustakäyttöön menevä ruokohelvi saattaa vaatia prosessointia rikkakasviriskin minimoimiseksi, mikä heikentää sen kilpailukykyä.

Kuituhampun viljelystä olisi tullut esimerkiksi viiden prosentin korkokannalla kannattavaa jo noin kymmenen prosentin hinnan nousulla (oletushinta 300 €/t ka), mutta viljelyn onnistumiseen turvemaalla vuosikautia peräkkäin pitää suhtautua varauksella. Toistaiseksi kuituhampulle ei ole markkinoita ostajayrityksen ajaututtua konkurssiin.

4.2. Puubiomassojen tuotanto

Laskelmissa käytetyn pajun tuotostason (5 t ka/ha/v) saavuttaminen suonpohjilla on haastava tavoite. Kannattavaan pajuntuotantoon vaaditaan merkittävä hinnan nousu ja/tai tuotantokustannusten aleneminen. Pajuhakkeen hinta (140 €/t ka) johdettiin vuosien 2020–2024 keskimääräisestä metsähakkeen käyttöpaikkahinnasta (n. 30 €/MWh, Tilastokeskus 2025b). Metsähakkeen hinta kävi vuonna 2025 poikkeuksellisen korkealla tasolla (lähes 40 €/MWh; Tilastokeskus 2025b), jolla pajuntuotanto olisi juuri ja juuri kannattavaa, mutta hinnat ovat jo kääntyneet laskuun.

Korjuun, haketuksen ja hakkeen kuljetuksen osuus oli noin 65 % pajuntuotannon diskonttaamattomista kustannuksista 22 vuoden tarkastelujaksolla. Korjuu erikoiskalustolla olisi tehokkaampaa kuin laskelmissa oletetulla normaalilla energiapuun korjuukalustolla. Suomen pajunviljelypinta-ala on toistaiseksi erittäin pieni, joten erikoiskaluston hankinta korjuuseen ei ole perusteltua (Jylhä 2022b). Pajua voitaisiin korjata mahdollisesti myös säilörehun korjuussa käytettävillä ajosilppureilla, mutta tällöin saadaan märkää haketta, joka ei säily pitkään ja jonka käsittelystä voi aiheutua terveyshaittaa (Lötjönen & Piispa 2010). Tällainen ”kuuma” korjuuketju on haavoittuva, koska silppurin lisäksi tarvitaan yksi tai useampia traktoreita hakkeen kuljetukseen, ja kuormien tyhjennys on sovitettava yhteen hakkeen jatkokuljetuksen ja käyttötarpeen kanssa. Lisäksi kaatotuoreen hakkeen kuivaus ennen pyrolysointia vaatii enemmän energiaa kuin tienvarressa luontaisesti kuivuneen raaka-aineen.

Mineraalilannoitteiden hinnat ovat heilahdelleet viime vuosina voimakkaasti, joten kierrätyslannoitteista odotetaan ratkaisua maatalouden kustannuspaineisiin. Paikoin kompostoidut yhdyskuntalietteen mädätysjäännökset voivat olla ilmaisia, ja vedenpuhdistamot voivat maksaa jopa kuljetuskustannuksia tiettyyn rajaan saakka. Tämän tutkimuksen toisessa pajuvaihtoehdossa oletettiin, että viljelmiä lannoitetaan kompostoidulla yhdyskuntalietteen mädätysjäännöksellä, joka vaati täydennykseksi mineraalikaliumia ja -typeä. Valtaosa kompostilannoituksen kustannuksista syntyi kompostin kuljetuksessa, koska jalostamattomille kierrätyslannoitteille tyypilliseen tapaan sen ravinnepitoisuudet tilavuus- ja massayksikköä kohti olivat pieniä. Myös ravinnesuhteet olivat ongelmalliset erityisesti suuren fosforipitoisuuden vuoksi. Kompostin käytöllä saavutettiin 22 vuoden tarkastelujaksolla pienehkö kustannussäästö (n. 580 €/ha). Siten tappiot jäivät hieman pienemmiksi kuin käyttämällä pelkästään mineraalilannoitteita, jos kuivamassatuotos olisi sama molemmissa vaihtoehdoissa.

Hieskoivutiheikkö on mahdollista aikaansaada pelkällä tuhkalannoituksella, jos lähistöllä on siementäviä hieskoivuja. Hieskoivua ei tarvitse lannoittaa myöhemmin, kun muut kasvit vaativat toistuvia lannoituksia. Turvetuotantoon vuokratut suot palautetaan maanomistajien hallintaan sen jälkeen, kun turvetuottaja on rauettanut ympäristöluvan. Suon kasvipeitteisyys on keskeinen edellytys ympäristöluvan rauettamiselle (Matila & Alatalo 2023). Siihen pyritään tyypillisesti tuhkalannoituksella turpeennoston päätyttyä. Parhaassa tapauksessa maanomistaja saakin haltuunsa alueen, jonne hieskoivikko syntyy luontaisesti ilman omia toimenpiteitä. Buzacottin ym. (2025) mittauksissa tuhkalannoitus lisäsi nopeasti hiilensidontaa suonpohjalle syntyvän kasvillisuuden ansiosta

Vähäisistä tuotantopanoksista huolimatta luontaisesti suonpohjille syntyneistä hieskoivikoista on mitattu kuiva-ainetuotoksia, jotka eivät jää kauaksi käytännön pajuviljelmien tuotoksista. Tässä tutkimuksessa hieskoivulle oletettu kuiva-ainetuotos (3,2 t/ha/v 22 vuoden kiertoajalla) perustuu luontaisesti suonpohjille syntyneiden hieskoivikoiden mittaustuloksiin (Hytönen ym.

2018). Keski- ja Etelä-Ruotsin kaupallisilta pajuviiljelmiltä (yht. 2 082 kpl) mitattu keskimääräinen kuivamassatuotos oli 2,6–4,5 tonnia vuodessa kolmella ensimmäisellä korjuukierrolla (Mola-Yudego & Aronsson 2008).

Hieskoivua käytetään pääasiassa kuitupuuna ja metsähakkeen tuotannossa; tässä tutkimuksessa se oletettiin biohiilen raaka-aineeksi. Myös hieskoivuhakkeen hinta, 150 €/t ka, johdettiin metsähakkeen käyttöpaikkahinnasta (n. 30 €/MWh, Tilastokeskus 2025b) samalla tavalla kuin pajulla. Tällä hinnalla hieskoivun biomassakasvatus luontaisella metsittämisellä ja vesotamalla oli kannattavaa, eikä kuiva-ainetuotoksella tai tuotteen hinnalla ollut yhtä suurta vaikutusta kannattavuuteen kuin muissa vaihtoehdoissa.

Uusiutuvan energian RED III -direktiivi saattaa rajoittaa myös hieskoivuhakkeen käyttöä energiantuotannossa. Jos raaka-aine on peräisin suonpohjalta, joka on ojitettu ja valmisteltu turpeenostoon vuoden 2008 alun jälkeen, sitä ei voi kestävästi käyttää yli 20 MW:n laitoksissa ostamatta kalliita päästöoikeuksia (esim. Häyrynen 2025). Metsähakkeen kysyntä on muuttumassa epätasaisemmaksi uusien energiantuotantotapojen myötä (Niinistö ym. 2025). Jos biohiilen tuotanto ei kehity odotetusti ja hieskoivulle ei ole kysyntää metsähakkeen raaka-aineena, sille on käyttöä metsäteollisuudessa. Suometsien harvennuskokeista saatujen tulosten mukaan hieskoivu ei juuri hyödy harvennuksista (Niinistö ym. 2017), joten kiertoaikaa pidentämällä voidaan siirtyä joustavasti polttihakkeen tai biohiilen raaka-aineen tuotannosta ainespuun kasvatukseen. Tämän tutkimuksen aluetalouslaskelmien pinta-alojen allokoinnissa etusija annettiin muiden kasvien tuotannolle, joten hieskoivulle jäänyt pinta-ala oli pieni. Käytännössä ainoastaan maan liiallinen märkyys voi olla turvesoilla hieskoivulla metsittämisen esteenä.

4.3. Jatkokäyttö aluetalouden näkökulmasta

Aluetalouslaskelmat tehtiin realistisiksi arvioiduilla tuotantokustannuksilla ja myyntihinnoilla, vaikka biomassojen tuotanto olisi kannattamatontakin. Metsitys on jo vakiintunut turvetuotantoalueiden jatkokäyttömuoto, joten uusille tai vähän viljellyille kasveille annettiin etusija pinta-alan allokoinnissa, koska tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli selvittää, voitaisiinko niiden viljelyllä kompensoida turvetuotannon alasajosta johtuvia aluetaloudellisia menetyksiä kannattavasti edes teoriassa. Siksi laskelmissa oletettiin, että pajua, ruokohelpeä ja kuituhamppua tuotetaan niille sopivalla enimmäispinta-alalla, eikä maanomistusoloja otettu huomioon. Lisäksi viljelykelpoiseen pinta-alaan sisältyy soita, joilla turvetuotanto jatkuu edelleen. Siten maksimaaliset tuotantoskenaariot eivät voi toteutua käytännössä, varsinkin kun tuotantovaihtoehdot ovat todennäköisesti heikosti kannattavia.

Kaustisen seutukunnassa oli vuonna 2023 18 turpeen noston toimialalle (TOL 08920) rekisteröityä yritystä, kun niitä vuonna 2018 oli 23. Kokkolan seutukunnassa toimialan yrityksiä ei ollut. Vuonna 2023 em. toimialan yritysten liikevaihto Kaustisen seutukunnassa (6,4 milj. €) oli enää 64 % vertailukelpoisen tilastovuoden 2018 liikevaihdosta (SVT 2025). Kuituhampun tuotannon kokonaisvaikutus olisi selvästi suurin vertailuista vaihtoehdoista, Kaustisen seutukunnassa noin 3,0 milj. €/v. Hieskoivun tuotannon aluetalousvaikutukset olisivat ainoastaan hie-man yli 200 000 €/v, mikä johtuu peltokasveja huomattavasti pienemmästä pinta-alasta ja passiivisesta tuotantomuodosta, jossa ainoita toimenpiteitä olivat tuhkalannoitus sekä puunkorjuu, haketus ja hakkeen kuljetus käyttöpaikalle. Jos koko peltoviljely- ja metsityskelpoisella pinta-alalla tuotettaisiin hieskoivua, kokonaisvaikutus esimerkiksi Kaustisen seutukunnan

aluetalouteen olisi keskimäärin vain noin 700 000 €/v, ja tuottojen realisoitumista jouduttai-
siin odottamaan parikymmentä vuotta.

Pelkällä biomassojen tuottamisella ilman merkittävää paikallista jatkojalostusta jäätäisiin kau-
aksi huippuvuosista jo vähentyneen turvetuotannon aluetalousvaikutuksista. Tuloksia tulkit-
taessa on kuitenkin otettava huomioon, että turvetoimialalle luokiteltujen yritysten liikevaiht-
oon voi sisältyä muutakin tuloa, mutta vastaavasti muiden toimialojen liikevaihtoon voi sisäl-
tyä tuloja turpeesta. Lisäksi noin puolet turvetuotantoalueista on alueen ulkopuolisten toimi-
joiden, lähinnä energiantuottajien, omistuksessa. Siten osa aluetalousvaikutuksista kanavoit-
tuu maakunnan ulkopuolelle, käytettiinpä turvesoita mihin tahansa taloudelliseen toimintaan.

Kun käytöstä poistuville turvetuotantoalueille saadaan uutta tuotantoa, sillä on kuitenkin po-
siitiivinen vaikutus alueen talouteen. Tässä tutkimuksessa oletettiin, että biomassojen tuotan-
nossa käytetään paikallisten urakoitsijoiden palveluita, jolloin saadaan korvausta paikallisille
tuotannontekijöille (työ ja pääoma). Urakointipalvelujen tarve olisi kuitenkin vähäistä aktiivi-
seen turvetuotantoon verrattuna. Panoshankintojen osuus tavaroina ja palveluina jää pieneh-
köksi, sillä hankinnat (esim. polttoaineet, lannoitteet) tehdään pääasiassa alueen ulkopuo-
lelta.

4.4. Biomassojen tuotannon ympäristövaikutukset

Tutkimukseen valittujen biomassojen tuotannon ilmasto-, rehevöitymis- ja happamoitumis-
vaikutuksia sekä fossiilisten resurssien kulutusta tarkasteltiin sekä viljelypinta-alaan että tuo-
tettuun kuivamassayksikköön suhteutettuna. Hieskoivun tuotannon ympäristövaikutukset oli-
vat kaikissa tarkastelluissa vaikutusluokissa selvästi pienimmät. Selityksenä on passiivinen
tuotantotapa; maata ei kalkittu eikä väkilannoitteita käytetty. Ainoastaan puutuhkaa levitet-
tiin alussa, seuraava toimenpide oli puunkorjuu 22 vuoden päästä. Energiantuotannossa syn-
tyvälle puutuhkalle ei kohdistu valmistusvaiheen päästöjä mineraalilannoitteiden tapaan,
mutta sen kuljetuksen ja levityksen vaikutukset huomioitiin.

Lannoitteiden ja kalkin valmistus ja käyttö oli ylivoimaisesti suurin ympäristön kuormittaja
kaikissa vaikutusluokissa. Tulos on yhdenmukainen aikaisempien nurmen ja energiakasvien
viljelyä käsittelevien tutkimusten kanssa (esim. Shurpali ym. 2010). Esimerkiksi ilmastovaiku-
tuksista 68–80 % aiheutui lannoitteiden ja kalkin valmistuksesta ja käytöstä. Hieskoivulla käy-
tännössä kaikki ympäristövaikutukset aiheutuivat sadonkorjuusta, varastoinnista ja kuljetuk-
sista. Muilla kasveilla niiden osuus oli 13–23 % ilmastovaikutuksesta. Fossiilisten resurssien
käyttö oli linjassa ilmastopäästöjen kanssa, koska lannoitteiden ja kalkin valmistus kuluttaa
paljon energiaa.

Pinta-alayksikköä kohden tarkasteltuna nurmituotannon (timotei–ruokonata) elinkaariset ym-
päristövaikutukset olivat suurimmat kaikissa vaikutusluokissa (ilmastovaikutus, fossiilisten re-
surssien kulutus, rehevöityminen ja happamoituminen). Tämä johtui nurmiviljelyn intensiivi-
syydestä – sato korjattiin ja lannoitus tehtiin kahdesti kasvukauden aikana, mikä lisäsi tuotan-
topanosten käyttöä ja niihin liittyviä päästöjä. Ilmastovaikutukset tuotettua kuivamassayksik-
köä kohti olivat kuitenkin kuituhampulla suuremmat, koska sen keskimääräinen satotasoo tar-
kastelujaksolla oli alempi kuin nurmella. Nurmelle oletettu vuotuinen kuiva-ainetuotos
(8 t ka/ha/v) on kunnianhimoinen tavoite turvemaille, joten käytännössä nurmituotannon

ympäristövaikutukset kuivamassayksikköä kohti ovat todennäköisesti suuremmat kuin tässä tutkimuksessa.

Kuituhampulla vuosittain toistuvat viljelytoimenpiteet lisäävät koneiden käyttöä ja polttoainesten kulutusta. Lisäksi kuituhampun kalkitus- ja lannoitustarve on suurehko. Yksivuotisilla kasveilla turpeen hajoamisesta johtuvat ilmastopäästöt ovat suuremmat kuin monivuotisilla (Lohila ym. 2004, Regina ym. 2019). Lisäksi nurmikasvien (esim. ruokohelmi, timotei ja ruokonata) kasvukausi on pidempi ja nurmella olevia peltoja muokataan harvemmin. Elinkaarivaikutuksissa käytetyn systeimirajauksen vuoksi maaperäpäästöjä ei otettu huomioon, joten kuituhampun tuotannon ilmastovaikutus suhteessa muihin kasveihin on todellisuudessa huomattavasti suurempi.

Nurmella ja kuituhampulla fossiilisten resurssien kulutus tuotettua kuivamassayksikköä kohti oli likimain sama. Nurmella kulutusta lisäsi kaksi kertaa kasvukauden aikana tehtävä sadonkorjuu ja siitä johtuva suurehko lannoitustarve. Sen sijaan rehevöitymis- ja happamoitusvaikutukset tuotettua kuivamassayksikköä kohti olivat suurimmat nurmella, vaikka kasvustot ovat monivuotisia. Suuremmat happamoitusvaikutukset selittyvät nurmien suuremmalla lannoituspanoksella ja erityisesti typen käyttöön liittyvillä ammoniakkipäästöillä. Rehevöitymisvaikutusten erot liittyvät ensisijaisesti fosforilannoitteiden käyttöön.

Ruokohelven tuotannon ympäristövaikutukset olivat pienemmät kuin kuituhampulla ja nurmella. Pienet erot kevät- ja kesäkorjatun ruokohelven välillä selittyvät sadonkorjuukertojen lukumäärien erolla (ks. Kuva 7). Pajun ympäristövaikutukset kaikissa vaikutusluokissa olivat pinta-alayksikköä kohden tarkasteltuna pääosin alle puolet peltokasvien tasosta, kuivamassayksikkökohtaiset vaikutukset olivat hieman suuremmat. Myös tämä selittyy korjuu- ja lannoitusintensiteettien eroilla.

Rehevöitymis- ja happamoitusvaikutusten tarkastelu vahvistaa lannoitteiden keskeistä roolia ympäristökuormituksen aiheuttajana. Typpihuuhtouma ei sisälly käytettyyn rehevöitymisvaikutusten tarkastelumenetelmään (ReCiPe), minkä vuoksi rehevöitymisvaikutus on aliarvioitu. Turvetuotantoalueilta liuenneen kokonaistypen huuhtouma voi olla joitakin kilogrammoja tyyppiä hehtaarilta vuodessa, mikä on moninkertainen määrä luonnontilaisten soiden tyyppisiin huuhtoumiin verrattuna. Happamoitusriskiä aiheuttavat erityisesti SO₂- ja NO_x-päästöt lannoitteiden ja kalkin valmistuksessa sekä typen haihtuminen ja hapettuminen maassa.

Mineraalilannoitteiden korvaaminen vähemmän energiaa kuluttavilla vaihtoehdoilla on keskeinen keino pienentää kasvintuotannon ympäristövaikutuksia. Käytännössä tämä voi tarkoittaa orgaanisten ja kierrätyslannoitteiden käyttöä, tarkempaa ravinnehuoltoa (esim. lannoituksen mitoittaminen kasvin ravinnetarpeen mukaan, lannoituksen oikea ajoitus) ja viljelykiertojen kehittämistä. Myös vähemmän energiaa kuluttavien tai uusiutuvaa polttoainetta käyttävien koneiden käyttö voisi vähentää päästöjä, mutta tämä todennäköisesti lisää tuotantokustannuksia ainakin aluksi.

Kannattavuuslaskentaan sisältyneen pajun kierrätyslannoitevaihtoehdon elinkaari-vaikutuksia ei selvitetty. Kierrätyslannoitteiden on havaittu aiheuttavan mineraalilannoitteita pienemmät kasvihuonekaasupäästöt, ja niiden valmistus kuluttaa vähemmän energiaa (Arthurson 2009). Kierrätyslannoitteille on tyypillistä, että vaadittavat käyttömäärät ovat suuria. Tässä tutkimuksessa oletettiin, että pajuviiljelmälle kuljetetaan 22 vuoden aikana hehtaarille yhteensä 34

tonnia kompostoitua yhdyskuntalietteen mädätysjäännöstä 80 km:n päästä, ja täyden-nykiseksi levitetään 2,5 tonnia mineraalilannoitteita. Kierrätyslannoitevaihtoehdossa kuljetuskaluston polttoaineenkulutus oli noin 5 % suurempi kuin mineraalilannoitevaihtoehdossa, jossa lannoitteiden kuljetusmatkaksi oletettiin yli 200 km. Sekä tuotantokustannusten että ympäristövaikutusten näkökulmasta olisi eduksi, että kierrätyslannoitteita saataisiin käyttöpaikan läheltä.

Tulokset vahvistavat käsitystä siitä, että harvemmin toistuvat viljelytoimet ja maltillinen lannoitus pienentävät biomassojen tuotannon ympäristövaikutuksia. Fossiilisten resurssien kulutuksen ja happamoitumisen osalta arvot olivat linjassa Lehtilän ym. (2024) tutkimuksessa havaittujen suuntausten kanssa. Makean veden rehevöitymispotentiaali jäi tässä tutkimuksessa hieman alhaisemmaksi, koska maaperäpäästöjä ei huomioitu. Tuotantoketjujen maaperäpäästöjä (N₂O, CO₂, CH₄) ei sisällytetty laskentaan, sillä kasvilajeittaisia päästövähennyskertoimia ei ollut käytettävissä. Siten tulokset kuvaavat ainoastaan viljely- ja sadonkorjuutoimien sekä tuotantopanosten valmistuksen ja kuljetusten aiheuttamaa kuormitusta, eivät maaperän hiilivaraston muutoksia ja kasvihuonekaasupäästöjä. Tämän rajauksen vuoksi ilmastovaikutukset jäivät huomattavasti pienemmiksi kuin useissa koko elinkaaren kattavissa tarkasteluissa.

Elinkaariarvioinnin perusteella puubiomassojen tuotanto oli ilmaston kannalta suotuisampi turvetuotantoalueen jatkokäyttövaihtoehto kuin nurmien ja kuituhampun viljely. Pajun vuotuiseksi kuiva-ainetuotokseksi oletettiin tässä tutkimuksessa 5 t ka/ha/v. Awuahin ym. (2026) arvioivat, että suonpohjasta ei tule kuitenkaan hiilinielua, vaikka tuotos olisi kaksinkertainen. Maanavilja ym. (2026) vertailivat maaperän hiilitaseita erilaisilla suonpohjien jatkokäyttövaihtoehtoilla. Hieskoivun lyhytkiertokasvatus oli lyhyellä aikavälillä tehokkain keino ylläpitää suon hiilivarantoa. Hieskoivikko oli hiilinielu jo 16 vuoden tarkastelujaksolla, Hytösen ym. (2018) tutkimuksen perusteella siihen vaaditaan hieman yli 20 vuotta. Hieskoivikon avohakkuun jälkeen suosta tulee taas päästölähde joksikin aikaa, mutta Maanaviljan ym. (2026) tutkimuksen mukaan hieskoivikko on pieni hiilinielu vielä sadan vuoden kuluttua. Männyn ai-nespuukasvatus sitoo hieman enemmän hiiltä kuin maasta vapautuu, ja sadan vuoden ajankänteellä se on vähintään yhtä tehokas keino säilyttää suonpohjan hiilivaranto kuin ennallistaminen (Maanavilja ym. 2026).

Käytännössä suonpohjien jäännösturpeen määrä voi vaihdella paljon. Joissakin tapauksissa suonpohjien maalaji voi olla jo kivennäismaahan rinnastettavissa (Latva-Krekola & Luhtanen 2021). Ohutturpeisilla soilla jäännösturve on jo pitkälle maatunutta, joten maaperäpäästöt ovat pienemmät kuin paksaturpeisemmilla kohteilla (Maanavilja ym. (2026). Ilmaston kannalta paras vaihtoehto olisikin keskittää peltoviljely ohutturpeisimmille soille, jos entisiä turvesoita halutaan hyödyntää maataloudessa.

4.5. Uudet jatkokäyttövaihtoehdot

Aurinkovoiman rakentamista ohjataan rakennettuun ympäristöön, esimerkiksi turvetuotannosta vapautuneille alueille. Näin voidaan välttää tuotannossa olevien peltojen ja metsämaan käyttöä aurinkovoiman tuotantoon (Valtioneuvosto 2023). Sähkönsiirtoverkon kapasiteetti ja liityntämahdollisuudet vaikuttavat investointien toteutumiseen. Kaustisen seutukunnan turvetuotantoalueilla on hyvät edellytykset aurinko- ja myös tuulivoimapuistojen perustamiseen,

koska kantaverkon uusi siirtoyhteys, ns. Lakeuslinja, on suunniteltu kulkemaan alueen kautta (Fingrid 2026). Myös tuulivoimaloita rakennetaan entisille turvetuotantoalueille.

TURKE-hankkeessa kehitettiin laskuri muutamien turvetuotantoalueiden jatkokäyttövaihtoehtojen vertailuun, jonka käyttöliittymä esitellään Liitteessä 3. Laskurilla voi verrata tutkimukseen valittuja biomassojen tuottamista myös maan vuokraamiseen aurinkosähkön tuotantoon tai suonpohjan vettämistä hiilimarkkinoilta mahdollisesti saatavaan tuottoon. Maan vuokraaminen aurinkovoimala-alueeksi voi olla erittäin kannattava jatkokäyttövaihtoehto. Maanomistajan kannalta tämä vaihtoehto on vaivaton, koska omia investointeja ei vaadita. Esimerkiksi 30 vuoden sopimuksella ja viiden prosentin korkokannalla maan vuokraaminen aurinkoenergian tuotantoon on kannattavampaa kuin biokaasuyötteen tuottaminen jo silloin, kun maanvuokra on vain hieman yli 140 €/ha/v.

Euroopan unionin ennallistamisasetuksen ([EU 2024/1991](#)) mukaan puolet turvepeltojen pinta-alasta tulisi ennallistaa vuoteen 2050 mennessä, ja kolmannes tästä on vetettävä. Ennallistamisasetus aiheuttaa suurta huolta erityisesti alueilla, joilla harjoitetaan nurmiviljelystä riippuvaista nautakarjataloutta. Turvepeltojen vettämistä voidaan kompensoida rajoituksetta vettämällä käytöstä poistuvia turvesoita, mutta tulevasta kannustinjärjestelmästä tai toimenpiteistä ei ole vielä tietoa. Julkisilla varoilla voidaan kattaa vain osa ennallistamisen kustannuksista (Ympäristöministeriö 2025), joten myös yksityistä rahoitusta tarvitaan. Todennäköisesti myös suonpohjien kosteikkoviljely luetaan ennallistamisasetuksen mukaiseksi ennallistamistoimenpiteeksi. Rahkasammal on käytännössä ainoa kasvi, jota voidaan kasvattaa laajassa mitassa kosteikkoviljelyynä, sillä se ei vaadi lannoitusta. Rahkasammalpeitteiset alueet voivat soveltua myös aurinkovoiman tuotantoon, ja vettämällä voidaan hillitä aurinkovoimala-alueiden ilmastopäästöjä (Ikkala ym. 2025).

Yritykset ovat kiinnostuneita ennallistamaan käytöstä poistuneita turvetuotantoalueita ja etsimään siihen rahoitusta markkinoilta. Hiilimarkkinaliiketoiminnassa erityisen arvokkaita ovat tasaiset ja maanomistusrakenteeltaan mahdollisimman yhtenäiset suoalueet, joilla vedenpinta voidaan pitää korkealla ja jotka saadaan ennallistamalla sitomaan hiiltä aluksi kasvibiomassaan, lähinnä rahkasammaleeseen, ja myöhemmin kasvillisuuskarikkeesta muodostuvaan turpeeseen. Ennallistamisessa kasvillisuuden kehittyminen voi vaatia aktiivisia toimenpiteitä, kuten rahkasammalsilpun levittämistä.

Jo matalalla päästövähennyksen hinnalla (noin 20 €/t CO₂-ekv.) maanomistaja voi saada hyvän tuoton hiilimarkkinaliiketoiminnasta, mutta sopimukset voivat olla voimassa vain rajallisen ajan. EU:n hiilenpoiston ja hiiliviljelyn sertifiointikehyksessä (CFCR; Carbon Removals and Carbon Farming -asetus) sopimuksen pituudeksi ehdotettiin ainakin kolmeakymmentä vuotta, mikäli turvesuo ennallistetaan (Partners for Innovation B.V. (Pfi). 2026). Ennallistamiskustannukset riippuvat olosuhteista ja voivat vaihdella paljon (Laasasenaho ym. 2024). Kannattavuuslaskurissa (Liite 3) on oletettu, että maanomistaja saa tuotot päästövähennyksestä, ennallistamisen toteuttamisen ja seurannan kustannusten maksajaksi oletetaan jokin muu taho. Myös biohiilen levittäminen maaperään nähdään mahdollisuutena sitoa ilmakehän hiiltä pitkäaikaisesti (Verheijen ym. 2009). Pelkästään maanparannusaineena biohiilellä ei suomalaisilla peltomailla saavuteta niin suuria hyötyjä, että sen käyttö olisi taloudellisesti perusteltua (Soinne ym. 2020, Kalu ym. 2022, Soinne ym. 2024).

5. Päätelmät

Maan arvo erilaisissa jatkokäyttömuodoissa on keskeinen peruste turvetuotantoalueiden jatkokäyttöön liittyvässä päätöksenteossa. Maanomistajat ja entisten turvesoiden hyödyntämistä harkitsevat yritykset voivat hyödyntää tämän tutkimuksen tuloksia pohtiessaan turvetuotantoalueiden jatkokäyttövaihtoehtoja tai suunnitellessaan uutta liiketoimintaa. Tässä tutkimuksessa laskettujen paljaan maan arvojen avulla voi vertailla jatkokäytön eri vaihtoehtojen kannattavuutta ainoastaan tämän tutkimuksen oletuksilla, maan hinnoitteluperusteeksi ne eivät käy.

Metsitys hieskoivulla on kannattava maankäytön muoto, jolla voidaan edistää myös hiilensidontaa. Ympäristönäkökulmasta hieskoivun kasvatusta on tutkituista vaihtoehtoista suotuisin, koska sen tuotannossa ei tarvita keinolannoitteita tai kalkitusta, jotka ovat merkittävimmät ympäristön kuormittajat biomassojen tuotannossa. Maan vuokraaminen aurinko- tai tuulivoimamala-alueeksi on kuitenkin metsitystä kannattavampaa. Onkin johdonmukaista, että entisten turvesoiden vuokraamiseen aurinko- ja tuulivoimamala-alueeksi kiinnostaa maanomistajia. Jatkossa myös alueiden hyödyntäminen hiilimarkkinaliiketoiminnassa voi olla tuottoisa vaihtoehto.

Peltokasvien tuotanto oli pääsääntöisesti heikosti kannattavaa, ja se kuormittaa ympäristöä enemmän kuin puubiomassojen tuotanto. Tutkituista peltokasvien viljelyketjuista ruokohelven tuottaminen kuivikkeeksi on lupaavin, sillä turvetta korvaaville kuivikemateriaaleille on kysyntää ja ruokohelpikuivikkeen tuottaminen voi olla kannattavaa. Myös ruokohelven viljely biokaasun raaka-aineeksi saattaa olla kannattavaa, erityisesti lisäyötteenä lietalannalle, mutta edellytyksenä on, että tuotettu polttoaine täyttää uusiutuvan energian kestävyyskriteerit. Tämän tutkimuksen elinkaariarvioinnissa tarkasteltiin lähinnä viljelytoimenpiteiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia, jotka ovat vähäiset maaperäpäästöihin verrattuna. Mikäli turpeen hajoamisesta johtuvat päästöt otetaan huomioon, kestävyyskriteerit eivät täyty. Suuret maaperäpäästöt voivat tulla myös turvemailla tuotetuista biomassoista valmistettävien tuotteiden (esimerkiksi biokomposiitit) markkinoillepääsyn esteeksi, vaikka niillä voitaisiin korvata fossiilisia raaka-aineita ja saavuttaa muita ympäristöhyötyjä. Sen vuoksi näiden biomassojen tuotanto kannattaisi keskittää kivennäismaille.

Ilman merkittävää paikallista jatkojalostusta kaikkien biomassojen tuotantovaihtoehtojen aluetalousvaikutukset olisivat pieniä turvetuotantoon verrattuna, vaikka ne toteutuisivat niille soveltuvilla enimmäispinta-aloilla. Entisillä turvesoilla tuotettu hieskoivu on kilpailukykyinen biohiilen raaka-aine tavanomaisen metsähakkeen rinnalla, mutta biohiiliprosessin puustamaksukyky ei ole tiedossa.

Viitteet

- Abdullah, H.S., Kasim, S., Raguraj, S., Abdul Azim, A.A. & Mohd Amin, A. 2024. Influence of peat-derived humic acid on the growth of agarwood seedlings. *Journal of Plant Nutrition* 47(19): 3109–3128. <https://doi.org/10.1080/01904167.2024.2376246>
- Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. *VTT Technology* 258. 229 s. + 30 liites.
- Aluehallintovirasto 2025. Vesi- ja ympäristölupien tietopalvelu. <https://ylupa.avi.fi/fi-FI>. Viitattu 3.12.2025.
- Aro, L. 2022. Tuotos. Julkaisussa: Viherä-Aarnio, A., Jyske, T. & Beuker, E. (toim.). Pajut biokiertotaloudessa: Materiaaleja, arvoaineita, ympäristöhyötyjä. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2022*. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 10–13.
- Aro, L. & Hytönen, J. 2019. Suonpohjasta metsäksi. *Luonnonvarakeskus ja Suomen metsäkeskus*. 22 s.
- Aro L., Ahtikoski A. & Hytönen J. 2020. Profitability of growing Scots pine on cutaway peatlands. *Silva Fennica* 54(3): 10273. <https://doi.org/10.14214/sf.10273>.
- Aro, L., Jylhä, P., Järvenranta, K., Matila, A., Ramstadius, U., Ronkainen, T., Räsänen, A., Silvan, N., Silvenius, F., Virkajärvi, P., Wall, A. & Tolvanen, A. 2023. Turvetuotannosta poistuvien alueiden jatkokäytön vaihtoehdot Suomessa sekä arvio niiden ympäristö- ja talousvaikutuksista. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 120/2023*. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 71 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-853-9>
- Arthurson, V. 2009. Closing the Global Energy and Nutrient Cycles through Application of Biogas Residue to Agricultural Land – Potential Benefits and Drawbacks. *Energies* 2: 226–242. <https://doi.org/10.3390/en20200226>.
- Awuah, J., Pappinen, A., Laasasenaho, K., Hassan, Md. K., Lauhanen, R. & Kuittinen, S. 2026. Evaluating the investment attractiveness and carbon credit potential of short rotation willow plantation on a cutaway peatland. *Industrial Crops and Products* 240: 122567. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.122567>.
- Bioenergia ry. 2019. Turvetuotannosta poistuneet suonpohjat ovat jo hiilinieluja – metsitys tärkein jälkikäyttömuoto. Tiedote 8.3.2019. <https://www.bioenergia.fi/2019/03/08/turvetuotannosta-poistuneet-suonpohjat-ovat-jo-hiilinieluja-metsitys-tarkein-jalkikaytto-muoto/>. Viitattu 1.4.2025.
- Bioenergia ry. 2024. Biohiiliala lyömässä läpi – ratkaisuja tarjotaan kestävyysmurrokseen. Tiedote 25.9.2024. <https://www.bioenergia.fi/2024/09/25/biohiiliala-lyomassa-lapi-ratkaisuja-tarjotaan-kestavyysmurrokseen/>. Viitattu 18.12.2025.
- Bioenergia ry. 2025. Tietopankki. <https://www.bioenergia.fi/tietopankki/turve/>. Viitattu 7.4.2025.

- Bockermann, C., Eickenscheidt, T. & Drösler, M. 2025. Greenhouse Gas Mitigation Potential of Temperate Fen Paludicultures. *Global Change Biology* 31(8): e70385. <https://doi.org/10.1111/gcb.70385>.
- Buzacott, A.J.V., Laasasenaho, K., Lauhanen, R., Minkkinen, K., Ojanen, P., Adhikari, K., Jokelainen, L., Pääkkilä, L., Marttila, H. & Lohila, A. 2025. Afforestation-Related Fertilisation Quickly Turns Barren Cutaway Peatland Into a Carbon Dioxide Sink. *Global Change Biology* 31: e70644. <https://doi.org/10.1111/gcb.70644>.
- David, C., Amaro, X., Rosentrater K.A. & Ghnimi S. 2025. Comparative life cycle assessment of perennial and annual crop production: impact of farming systems and management practices. *Frontiers Sustainable Food Systems* 9: 1569398. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1569398>.
- Danfors, B. & Nordén, B. 1995. Sammanfattande utvärdering av teknikoch logistic vid salix-skörd. Slutrapport över analys av hanterings – och transportsystem vid skörd av Salix. JTI Rapport. Jordbrukstekniska Institutet, Uppsala. 136 s.
- El Kasmoui, O. & Ceulemans, R. 2012. Financial analysis of the cultivation of poplar and willow for bioenergy. *Biomass and Bioenergy* 43: 52–64. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.04.006>.
- Energiapuun mitta- ja neuvottelupöytäkirja 2024. Puutavaran mittauksen neuvottelukunta. 30.6.2024. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Metsätutkimuslaitos ja Työtehoseura ry. 27 s.
- ELY-keskus 2023. Paikkatietoaineisto turvetuotantoalueista, joiden ympäristölupa on voimassa.
- Energiavirasto 2025a. Sähkönverkonhaltijoiden vastuualuekartta. <https://energiavirasto.fi/verkonhaltijat-kartalla>. Viitattu 19.12.2025.
- Energiavirasto 2025b. Biopolttoaineita, bionesteitä ja biomassapolttoaineita koskeva toiminnanharjoittajan kestävyyskriteeriohje. Diaarinro 311/070002/2022. Viitattu 10.9.2025.
- Euroopan komissio. 2019. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, Eurooppa-neuvostolle, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. Euroopan vihreän kehityksen ohjelma. Bryssel 11.12.2019. COM(2019) 640 final. 26 s. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>.
- Faustmann, M. 1849. Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen [Metsämaan ja puuston arvon laskenta metsätaloudessa]. *Allg Forst Jagdztg* 15: 441–455.
- Ferm, A. & Kaunisto, S. 1983. Luontaisesti syntyneiden koivumetsiköiden maanpäällinen lehdetön biomassatuotos entisellä turpeennostoalueella Kihniön Aitonevalla. *Folia Forestalia* 558. 32 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0618-6>
- Fingrid 2026. Lakeuslinja (Jylkkä-Ullava-Alajärvi ja Ullava-Halsua). <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/rakentaminen/hankkeet/jylkka-alajarvi/>. Viitattu 7.1.2026.

- Forssell, O. 1985. Panos-tuotosmallit. ETLA Elinkeinoelämän tutkimuslaitos. Helsinki 1985. Sarja B 46 Series. <https://www.etla.fi/wp-content/uploads/B46.pdf>
- GTK 2025. Geologian tutkimuskeskuksen julkaisematon paikkatietoaineisto Keski-Pohjanmaan turvetuotantoalueiden jatkokäyttöpotentiaalista.
- Haavisto, H., Kaitazis, N., Pirkola, K., Kalliokoski, T. & Mäki, O. 2024. RED III Kestävyyks-kriteerityöryhmän loppuraportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2024:43. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-797-7>. Viitattu 7.4.2025
- Hannukkala, A. 2008. Lappiin soveltuvia bioenergiakasveja. MTT:n selvityksiä 159. 21 s.
- Heinsoo, K., Hein, K., Melts, I., Holm, B. & Ivask, M. 2011. Reed canary grass yield and fuel quality in Estonian farmers' fields. *Biomass and Bioenergy* 35(1): 617–625. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.10.022>
- Helin, J., Hyyrynen, M., Sillasto, E., Lehtonen, H., Lång, K. & Heikkinen, J. 2025. Arvio CAP:n vaikutuksista maatalouden ilmastonmuutoksen hillintään (ILMA). Väiliraportti 2025. EU:n yhteinen maatalouspolitiikka Suomessa. Arviointeja ja selvityksiä 2025:8. Maa- ja metsätalousministeriö. 141 s.
- Hemka Fiber Oy 2024. Kuituhampun viljelysopimus kasvukaudelle 2024. 7 s.
- Hemming, M., Maunu, T., Suokunnas, A., Järvenpää, M. & Pehkonen, A. 1996. Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa: tutkimuksen loppuraportti. II osa: ruokohelven korjuu, varastointi ja mekaaninen esikäsittely sekä tuotantokustannukset ja saatavuus. Maatalouden tutkimuskeskus. 98 s. + liitteet.
- Hohteri, H. 2021. Lyökö valtavan kasvuvoimainen paju tällä kertaa läpi? Entinen turvesuo puskee unohdettua puulajia biohiilen raaka-aineeksi. *Maaseudun Tulevaisuus Metsä* 26.9.2021. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsa/4df27363-8d77-5d27-b404-163678dea738>. Viitattu 2.4.2025.
- Honkanen, H. & Suonperä, E. 2024. Viljeltyä pajua biohiilen raaka-aineeksi. Oulun ammattikorkeakoulun julkaisuja 2.9.2024. <https://oamkjournal.oamk.fi/2024/viljeltya-pajua-biohiilen-raaka-aineeksi/>. Viitattu 2.4.2025.
- Huijbregts, M., van Zelm, R., Steinmann, Z., Hollander, A. & Verones, F. 2016. Recipe 2016. A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level, Report 1: Characterization. RIVM Report 2016-0104.
- Hytönen, J. 1994. Effect of fertilizer application rate on nutrient status and biomass production in short-rotation plantations of willows on cut-away peatland areas. Tiivistelmä: Lannoitemäärän vaikutus lyhytkiertoviljelmien ravinnetilaan ja biomassatuotokseen suonpohjilla. *Suo* 45(3): 65–77. <http://www.suo.fi/pdf/article9739.pdf>
- Hytönen, J. 1995a. Effect of fertilizer treatment on the biomass production and nutrient uptake of short-rotation willow on cut-away peatlands. *Silva Fennica* 29(1): 21–40. <https://doi.org/10.14214/sf.a9195>

- Hytönen, J. 1995b. Effect of repeated fertilizer application on the nutrient status and biomass production of *Salix 'Aquatika'* plantations on cut-away peatland areas. *Silva Fennica* 29(2): 107–116. <https://doi.org/10.14214/sf.a9201>
- Hytönen, J. 2020. Development of downy birch (*Betula pubescens* Ehrh.) coppice stands during nine years. *Forests* 11: 958. <https://doi.org/10.3390/f11090958>.
- Hytönen, J. & Aro, L. 2012. Biomass and nutrition of naturally regenerated and coppiced birch on cutaway peatland during 37 years. *Silva Fennica* 46(3): 377–394. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.48>
- Hytönen, J. & Saarsalmi, A. 2009. Long-term biomass production and nutrient uptake of birch, alder and willow plantations on cut-away peatland. *Biomass and Bioenergy* 33: 1197–1211. <https://doi:10.1016/j.biombioe.2009.05.014>
- Hytönen, J., Aro, L., Beuker, E., Niemistö, P., Nurmi, J. & Saarsalmi, A. 2014. Hieskoivu, haapa ja leppä energiapuuna: kasvatusta, korjuu ja ominaisuudet. Julkaisussa: Asikainen, A., Ilvesniemi, H. & Muhonen, T. (toim.) *Bioenergiaa metsistä - Tutkimus- ja kehittämissuunnitelman keskeiset tulokset*. *Metlan työraportteja* 289: 47–63. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2468-9>
- Hytönen, J., Aro, L. & Jylhä, P. 2018. Biomass production and carbon sequestration of dense downy birch stands on cutaway peatlands, *Scandinavian Journal of Forest Research* 33(8): 764–771. <https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1500636>.
- Hytönen, J., Saarsalmi, A. & Rossi, P. 1995. Biomass production and nutrient uptake of short-rotation plantations. *Silva Fennica* 29(2): 117–139. <https://doi.org/10.14214/sf.a9202>
- Häyrynen, M. 2025. Ojikoideiden energiapuu vaikeuksissa. *Metsälehti Makasiini* 8/2025: 52–53.
- Ikkala, L., Allonen, I. & Maanavilja, L. 2025. Aurinkoenergiaa vetetyille turvemaille - Haastattelutuloksia REPower-CEST-hankkeesta. *GTK:n tutkimustyöraportti* 1/2025.
- International Energy Agency 2023. *Finland 2023. Energy Policy Review*. 191 s.
- IPCC 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Vol. 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 11. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. Viitattu 1.12.2025.
- Isolahti, M. & Hakkola, H. 2000. Ruokohelven kalkitus ja lannoitus turvesuolla. Julkaisussa: Salo, R. (toim.). *Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi: Tutkimuksen loppuraportti, osa I: Ruokohelven jalostus ja viljely*. *Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja*. Sarja A: 84. s. 66–86.
- Jylhä, P. 2015. Hieskoivukokopuun haketuskoet. *Luonnonvarakeskus, julkaisematon aineisto*.
- Jylhä, P. 2022a. Pajuntuotannon kannattavuus. Julkaisussa: Viherä-Aarnio, A., Jyske, T. & Beuker, E. (toim.). *Pajut biokiertoaloudessa. Materiaaleja, arvoaineita, ympäristöhyötyjä*. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2022*. *Luonnonvarakeskus*. Helsinki. s. 28–32.

- Jylhä, P. 2022b. Viljely- ja korjuuteknologia. Julkaisussa: Viherä-Aarnio, A., Jyske, T. & Beuker, E. (toim.). Pajut biokiertotaloudessa. Materiaaleja, arvoaineita, ympäristöhyötyjä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 25–28.
- Jylhä, P., Ahtikoski, A., Hytönen, J. & Aro, L. 2020. Profitability of biomass production of downy birch on cutaway peatlands. *Suo* 71(2): 75–79.
- Jylhä, P. & Bergström, D. 2016. Productivity of harvesting dense birch stands for bioenergy. *Biomass and Bioenergy* 88: 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.03.016>.
- Jylhä, P., Hytönen, J. & Ahtikoski, A. 2015. Profitability of short-rotation biomass production on downy birch stands on cut-away peatlands in northern Finland. *Biomass and Bioenergy* 75: 272–281. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.02.027>.
- Kalu, S., Kulmala, L., Zrim, J., Peltokangas, K., Tammeorg, P., Rasa, K., Kitzler, B., Pihlatie, M. & Karhu, K. 2022. Potential of Biochar to Reduce Greenhouse Gas Emissions and Increase Nitrogen Use Efficiency in Boreal Arable Soils in the Long-Term. *Front. Environ. Sci.* 10:914766. doi: 10.3389/fenvs.2022.914766
- Kandel, T.P., Karki, S., Elsgaard, L. & Lærke, P.E. 2019. Fertilizer-induced fluxes dominate annual N₂O emissions from a nitrogen-rich temperate fen rewetted for paludiculture. *Nutrient Cycling Agroecosyst* 115: 57–67. <https://doi.org/10.1007/s10705-019-10012-5>
- Kofman, P., & Spinelli, R. 1997. Storage and handling of willow from short rotation coppice. *Forskningscentret for Skov & Landskab*. 118 s.
- Krumins, J. Klavins, M., Tumilovich, A., Irtiseva, K., Mironovs, V., Lapkovskis, V., Ozolins, J. & Shishkin, A. 2021. Potential of Baltic region peat in high added-value products and environmentally friendly applications - a Review.
- Kwokori, A., Rajan, R., Ukonmaanaho, L. & Ashraful, A. 2026. Entisillä turpeen nostoalueilla kasvatetusta biomassasta tuotetun biokaasun elinkaariarviointi. *Centria-ammattikorkeakoulu. Käsikirjoitus*. 42 s.
- Laasasenaho, K., Lauhanen, R., Räsänen, A., Palomäki, A., Viholainen, I., Markkanen, T., Aalto, T., Ojanen, P., Minkkinen, K., Jokelainen, L., Lohila, A., Siira, O.-P., Marttila, H., Päckilä, L., Albrecht, E., Kuittinen, S., Pappinen, A., Ekman, E., Kübert, A., Lampimäki, M., Lampilahti, J., Ahahriyer, A.S., Tyystjärvi, V., Tuunainen, A.-M., Leino, J., Ronkainen, T., Peltonen, L., Vasander, H., Petäjä, T. & Kulmala, M. 2023. After-use of cutover peatland from the perspective of landowners: Future effects on the national greenhouse gas budget in Finland. *Land Use Policy* 134: 106926. <https://doi.org/10.1016/j.landuse-pol.2023.106926>.
- Laasasenaho, K., Palomäki, A., Teixeira, M., Lauhanen, R., Palkia, P., Maanavilja, L., Turunen, J., Ikkala, L., Pappinen, A., Kuittinen, S., Laakso, T., Miettinen, M., Aro, L., Jylhä, P. & Wall, A. 2024. Turvemaiden ennallistamistalouden resurssi- ja osaamistarpeet: Asiantuntijoiden näkemyksiä ennallistamistavoitteiden haasteista. *Suo* 75(1–2): 23–40. <https://www.suo.fi/pdf/10834>

- Laine-Petäjäkangas, A., Anttila, J., Maanavilja, L., Uusheimo, S., Vuorenmaa, J., Myllyviita, T., Lampela, M., Karvonen, J., Hamedianfar A., Allonen, O., Grönroos, J., Lehtoranta, S., Ikkala, L., Karjalainen, S., Kivilompolo, J., Silvan, N., Sutinen, H. & Turunen, J. 2024. Rahkasammalesta ilmastoviisas kasvualusta – mahdollisuudet kokonaiskestävään korjuuseen (RahKoo) -hankkeen loppuraportti. Tutkimustyöraportti 80/2024. Geologian tutkimuskeskus. 77 s.
- Laitila, J. & Väätäinen, K. 2021. Productivity and cost of harvesting overgrowth brushwood from roadsides and field edges. *International Journal of Forest Engineering* 32(2): 1–15.
- Lamminen, P., Isolahti, M. & Huuskonen, A. 2005. Turvesoiden jatkokäyttö kotieläintuotannossa. MTT:n selvityksiä 101. 31 s. ISBN 951-729-988-5. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-729-989-3>
- Landström S., Lomakka, L. & Anderson, S. 1996. Harvest in spring improves yield and quality of reed canary grass as a bioenergy crop. *Biomass Bioenergy* 11(4): 333–341. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(96\)00041-4](https://doi.org/10.1016/0961-9534(96)00041-4)
- Larmola, T., Saarnio, S., Miettinen, A., Näkkilä, J., Karvonen, J., Lång, K. & Turunen, A. 2023. Kosteikkoviljelyllä ilmaston kannalta kestävä ratkaisu kasvualustatuotantoon. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 106/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 45 s.
- Latva-Krekola, J. & Luhtanen, J. 2021. Turvetuotantoalueiden jälkikäyttö viljelyssä eteläpohjalaisilla tiloilla. Opinnäytetyö, Seinäjoen ammattikorkeakoulu. 46 s.
- Lauhanen, R., Laasasenaho, K., Aro, L., Ojanen, P., Minkkinen, K., Jokelainen, L., Liutu, O. & Lohila, A. 2025. Metsityksen taloudellinen kannattavuus paksuturpeisilla suonpohjilla. *Suo* 76(1–2): 21–34. <https://www.suo.fi/pdf/10845>
- Lehtilä, A., Taghizadeh-Toosi, A., Roitto, M., Kokkonen, T., Mäkelä, P.S.A., Sairanen, A. & Tuomisto, H.L. 2024. Cultivation forage maize in boreal conditions – Assessment of trade-offs between increased productivity and environmental impact. *Animal Feed Science and Technology* 309: 115878. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.115878>.
- Lehtomäki, A. 2006. Biogas production from energy crops and crop residues. *Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science* 163. Dissertation. University of Jyväskylä, 91 s.
- Leppäkoski, L., Marttila, M.P., Uusitalo, V., Levänen, J., Halonen, V. & Mikkilä, M.H. 2021. Assessing the Carbon Footprint of Biochar from Willow Grown on Marginal Lands in Finland. *Sustainability* 13: 10097. <https://doi.org/10.3390/su131810097>.
- Leppänen, E. 2025. Demeca Oy. Sähköpostiviesti 11.12.2025.
- LIPASTO tietokanta 2017. <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/yksikkopaastot.zip>
- Lohila, A., Aurela, M., Tuovinen, J. & Laurila, T. 2004. Annual CO₂ exchange of a peat field growing spring barley or perennial forage grass. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. <https://doi.org/10.1029/2004JD004715>.

- Luonnonvarakeskus 2024. Vuonna 2023 peltomaa oli kalleinta Etelä-Suomessa. Uutinen 4.10.2024. <https://www.luke.fi/fi/uutiset/vuonna-2023-peltomaa-oli-kalleinta-ete-lasuomessa>. Viitattu 26.11.2025.
- Luonnonvarakeskus 2025. Tilastotietokanta. <https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/>. Viitattu 16.12.2025.
- Lång, K., Honkanen, H., Heikkinen, J., Saarnio, S., Larmola, T. & Kekkonen, H. 2024a. Impact of crop type on the greenhouse gas (GHG) emissions of a rewetted cultivated peatland. SOIL 10: 827–841. <https://doi.org/10.5194/soil-10-827-2024>.
- Lång, K., Honkanen, H., Kekkonen, H., Laurila, M., Nieminen, M., Saarnio, S., Sarkkola, S., Savikko, R., Sorvali, J. & Virkkunen, E. 2024b. Kosteikkoviljely ilmastonmuutoksen hillintäkeinona. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 106/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 76 s.
- Lötjönen, T. (toim.) 2009. Energy from field energy crops - a handbook for energy producers. 64 s.
- Lötjönen, T., Finell, M., Aro-Heinilä, E. & Pahkala, K. 2011. Why the Areas for Cultivation of Reed Canary Grass and Willow do not Increase in Scandinavia? Julkaisussa: Faulstich ym. Proceedings of the European Biomass Conference held in Berlin, Germany, 6-10 June 2011. ETA-Florence Renewable Energies. p. 86–89.
- Lötjönen, T. & Knuuttila, K. (toim.) 2009. Pelloilta energiaa - opas ruokohelven käyttäjille. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jyväskylä Innovation. 44 s.
- Lötjönen, T. & Piispa, M. 2010. Ruotsissa tehdään pajusta sähköä ja lämpöä. BioEnergia 3: 16–18.
- Lötjönen, T. & Paappanen, T. 2013. Bale density of reed canary grass spring harvest. Biomass and Bioenergy 51: 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.12.041>
- Maa- ja metsätalousministeriö 2025. Tukien osuus maatalouden kokonaistuotosta noin kolmanneksen. <https://mmm.fi/maataloustukien-merkitys1>. Viitattu 21.10.2025.
- Maanavilja, L., Allonen, O., Aro, L., Sutinen, H., Vähäkuopus, T. & Laine, A.M. 2026. Peat cutaway properties define after-use options and capacity for climate regulation. Environmental Management -sarjaan tarjottu käsikirjoitus. 37 s.
- Manni, K. (toim.) 2022. Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 108 s.
- Manni, K., Salo, T., Seppänen, A.-M. & Da Silva Viana, G. 2021. Korsimateriaalit ja rahkasammal testissä. Siipikarja 4/2021: 15–16.
- Matila, A. & Alatalo, I. 2023. Turvetuotannosta poistuvien alueiden maankäytön ohjauskeinot. Tapion raportteja nro 54. 65 s. https://tapio.fi/wp-content/uploads/2023/02/Turvetuotannosta-poistuvien-alueiden-maankayton-ohjauskeinot_nro-54.pdf
- Miller, R.E. & Blair, P.D. 2009. Input–Output Analysis. Foundations and Extensions. Second edition. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626982>

- Miettinen, A., Koikkalainen, K., Laurila, M. & Silvan, N. 2022. Kosteikkoviljely ja viljely korotetulla pohjaveden pinnan tasolla – kustannukset ja hyödyt viljelijöille ja yhteiskunnalle. Julkaisussa: Virkkunen, E. (toim.). Turvepeltojen kosteikkoviljely ja pohjaveden korkeuden säätely : Kannattavuus ja päästövähennysmahdollisuudet. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 12/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 15–28.
<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-370-1>.
- Mola-Yudego, B. & Aronsson, P. 2008. Yield models for commercial willow biomass plantations in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 32(9): 829–237.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.01.002>.
- Mäkiranta, P., Hytönen, J., Aro, L., Maljanen, M., Pihlatie, M., Potila, H., Shurpali, N.J., Laine, J., Lohila, A., Martikainen P.J. & Minkkinen, K. 2007. Soil greenhouse gas emissions from afforested organic soil croplands and cutaway peatlands. *Boreal Environment Research* 12: 159–175.
- Naukkarinen, V. 2021. Kosteikkoviljelyn kasviopas. Baltic Sea Action Group. 23 s.
- Neova Group 2024. Neova started harvesting reed canary grass as a substrate material. Lehdistöiedote 10.5.2024. <https://www.neova-group.com/neova-started-harvesting-reed-canary-grass-as-a-substrate-material/>. Viitattu 18.12.2025.
- Niemi, M., Mäkinen, A., Viitala, R. & Lumperoinen, M. 2020. Metsäsuunnittelun laskennan periaatteet – arvoja yhteensovittamassa. Tapio Oy. 102 s.
- Niemistö P., Kojola S., Ahtikoski A. & Laiho R. 2017. From useless thickets to valuable resource? – Financial performance of downy birch management on drained peatlands. *Silva Fennica* 51(3). 28 s. <https://doi.org/10.14214/sf.2017>
- Niinistö, T., Anttila, P., Sikanen, L., Kärhä, K. & Routa, J. 2025. Estimating future consumption of forest chips based on insights from energy producers: a case study for Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1–12.
<https://doi.org/10.1080/02827581.2025.2491450>
- Norwegian EPD Foundation. 2016. RaniMoBar. Environmental product declaration no. NEPD-1230-387-EN.
- Nurmi, J. 2014. Changes in volumetric energy densities during storage of whole-tree feed stocks from silvicultural thinnings. *Biomass and Bioenergy* 61: 114–120.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.12.001>.
- Pahkala, K., Iso-lahti, M., Partala, A., Suokannas, A., Kirkkari, A.-M., Peltonen, M., Sahramaa, M., Lindh, T., Paappanen, T., Kallio, E. & Flyktman, M. 2005. Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. Maa- ja elintarviketalous nro 1. 2. korjattu painos. 31 s.
- Patentti- ja rekisterihallitus. 2025. Tietopalvelut. <https://prh.fi/fi/index.html>. Viitattu 15.10.2025.

- Partners for Innovation B.V. (Pfi) & Wageningen University and Research 2026. Peatlands – Technical assessment paper (Vol. 2026). EUROPEAN COMMISSION Directorate-General for Climate Action Directorate C — Innovation for Clean Growth and Low Carbon Economy Unit C3 — Low Carbon Solutions (III): Land Economy & Carbon Removals. <https://op.europa.eu/publication-detail/-/publication/3cb6f937-ed0c-11f0-8d3c-01aa75ed71a1>. Viitattu 22.1.2026.
- Paulrud, S., Nilsson, C. & Öhman, M. 2001. Reed canary-grass ash composition and its melting behaviour during combustion. *Fuel* 80(10): 1391–1398. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(01\)00003-5](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(01)00003-5).
- PRé Sustainability B.V. 2024. SimaPro database manual. Methods library. <https://simapro.com/wp-content/uploads/2024/04/DatabaseManualMethods.pdf>.
- Rajan, R., Ukonmaanaho, L., Alam, A., Kwokori, A. & Jääskeläinen, K. 2026a. Life cycle assessment of biochar from biomass grown on peatland. Report. Centria-ammattikorkeakoulu. Käsikirjoitus. 51 s.
- Rajan, R., Ukonmaanaho, L., Alam, A. & Kwokori, A. 2026b. Life cycle assessment of polymer composites from biomass grown on peatland. Centria University of Applied Sciences. Käsikirjoitus. 24 s.
- Rasa, K., Viherä-Aarnio, A., Rytönen, P., Hyväluoma, J., Kaseva, J., Suhonen, H. & Jyske, T. 2021. Quantitative analysis of feedstock structural properties can help to produce willow biochar with homogenous pore system. *Industrial Crops and Products* 166: 113475. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113475>.
- Rasi, S., Timonen, K., Joensuu, K., Regina, K., Virkajärvi, P., Pulkkinen, H., Tampio, E., Pyykkönen, V. & Luostarinen, S. 2019. Nurmi biokaasun raaka-aineena - RED II direktiivin mukainen kasvihuonekaasupäästöjen laskenta. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 46/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 29 s.
- Regina, K., Heikkinen, J. & Maljanen, M. 2019. Greenhouse Gas Fluxes of Agricultural Soils in Finland. Julkaisussa: Shurpali, N., Agarwal, A., Srivastava, V. (toim.). *Greenhouse Gas Emissions. Energy, Environment, and Sustainability*. Springer. s. 7–22.
- Rintamaa, T. 2020. Vapo myy maitaan nettihuutokaupassa, koska turpeen energiakäyttö vähenee – Henri Pulkkinen osti metsää sijoituksena lapsilleen. *Ylen Uutinen* 21.8.2020. <https://yle.fi/a/3-11499990>. Viitattu 26.11.2025.
- Ruokavirasto 2025a. Peltotuet. <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/peltotuet/>. Viitattu 20.10.2025
- Ruokavirasto 2025b. Ruokahallinnon tietovaranto.
- Ruthon Group Oy. 2024. Kiertokasvu, Tuoteseloste Maanparannuskomposti. 2 s.
- Salminen, J. 2022. Turvepohjaisen aktiivihiehen ominaisuudet ja sen soveltuvuuden arviointi maaperän in situ-kunnostukseen. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu, 49 s. https://www.theseus.fi/bitstream/10024/744070/2/Salminen_Juulia.pdf

- Saijonkari-Pahkala, K. 2001. Non-wood plants as raw material for pulp and paper. *Agricultural and Food Science* 10 (Supplement). 101 p. <https://doi.org/10.23986/afsci.5707>
- Sankari, H.S. 2000. Comparison of bast fibre yield and mechanical fibre properties of hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars. *Industrial Crops and Products* 11(1): 73–84. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(99\)00038-2](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(99)00038-2)
- Seleiman, M.F., Santanen, A., Jaakkola, S., Ekholm, P., Hartikainen, H., Stoddard, F.L. & Mäkelä, P.S.A. 2013. Biomass yield and quality of bioenergy crops grown with synthetic and organic fertilizers. *Biomass and Bioenergy* 59: 477–485. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.07.021>.
- Shurpali, N.J., Strandman, H., Kilpeläinen, A., Huttunen, J., Hyvönen, N., Biasi, C., Kellomäki, S. & Martikainen, P.J. 2010. Atmospheric impact of bioenergy based on perennial crop (reed canary grass, *Phalaris arundinaceae*, L.) cultivation on a drained boreal organic soil. *GCB Bioenergy* 2: 130–138. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2010.01048.x>
- Silvan, N. (toim.), Näkkilä, J., Heiskanen, J. & Engström, S. 2024. Kasvuturpeelle kavereita: Loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 20/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 56 s.
- Soinne, H., Keskinen, R., Heikkinen, J., Hyväluoma, J., Uusitalo, R., Peltoniemi, K., Velmala, S., Pennanen, T., Fritze, H., Kaseva, J., Hannula, M. & Rasa, K. 2020. Are there environmental or agricultural benefits in using forest residue biochar in boreal agricultural clay soil? *Science of The Total Environment* 731: 138955. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138955>.
- Soinne, H., Hyyrynen, M., Jokubè, M., Keskinen, R., Hyväluoma, J., Pihlainen, S., Hyytiäinen, K., Miettinen, A., Rasa, K., Lemola, R., Virtanen, E., Heinonsalo, J. & Heikkinen, J. 2024. High organic carbon content constricts the potential for stable organic carbon accrual in mineral agricultural soils in Finland, *Journal of Environmental Management* 352: 119945. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119945>.
- Statistics Finland. 2025. Greenhouse gas emissions in Finland 1990 to 2023. National Inventory Document under the UNFCCC and Paris Agreement. 15 April 2025.
- Strandström, M. 2024. Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2023. Metsätehon tuloskalvosarja 2/2024. Metsäteho Oy. 32 s.
- SVT 2024a. Suomen virallinen tilasto (SVT): Kansantalouden aluetilinpito [verkkójulkaisu]. ISSN=2954-1557. Helsinki: Tilastokeskus. Saantitapa: <https://stat.fi/fi/tilasto/altp>.
- SVT 2024b. Suomen virallinen tilasto (SVT): Kansantalouden tarjonta-, käyttö- sekä panostuotostaulukot [verkkójulkaisu]. ISSN=1799-1994. Helsinki: Tilastokeskus. Saantitapa: <https://stat.fi/fi/tilasto/pt>.
- SVT 2025. Suomenvirallinen tilasto (SVT): Yritysten rakenne- ja tilinpäätöstilasto [verkkójulkaisu]. ISSN=2342-6217. Helsinki: [Tilastokeskus](https://stat.fi/fi7tilasto/yrti). Saantitapa: <https://stat.fi/fi7tilasto/yrti>.

- Tahvola, E. 2016. Hamppu ja maissi peltobioenergiakasveina Suomessa: Sato ja laatu. Maisterintutkielma, Kasvinviljelytiede. Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Helsingin Yliopisto. 66 s.
- Team Risupeto 2019. RISUPETO erikoistehtävä. <https://www.youtube.com/watch?v=-3fXs3VCrGjI>. Viitattu 27.10.2025.
- Tiihonen, J. 2026. Valtionyhtiön uusi suunta: käytöstä poistetuille turvesoille suunnitellaan aurinkovoimaloita. Yle 19.1.2026. <https://yle.fi/a/74-20204247>. Viitattu 21.1.2026.
- Tilastokeskus 2021. Metsäalan kone- ja autokustannusindeksi 2015=100 / perusvuosi 2010. Julkaisematon aineisto. Sähköpostiviesti 15.6.2021.
- Tilastokeskus 2024. Metsäalan kone- ja autokustannusindeksit 2020 = 100.
- Tilastokeskus 2025a. Energian hankinta ja kulutus. https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/-StatFin/StatFin_ehk/statfin_ehk_pxt_12st.px/. Viitattu 19.11.2025.
- Tilastokeskus 2025b. 12gb -- Kotimaisten polttoaineiden käyttäjähinnat energiantuotannossa (ei sis. alv), 1999Q3-2025Q2. https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehi/statfin_ehi_pxt_12gb.px/. Viitattu 4.11.2025.
- United Nations 2015. Paris Agreement. 27s. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf. (Viitattu 31.3.2025).
- Valonen, M., Huovari, J., Sajeva, M. & Alimov, N. 2021. Turvetoimialan aluetalousvaikutukset. PTT työpapereita 204. <https://www.ptt.fi/julkaisut/turvetoimialan-aluealousvaikutukset/>
- Valtioneuvosto. 2019. Osallistava ja osaava Suomi. Pääministeri Sanna Marinin hallitusohjelma 10.12.2019. Valtioneuvoston julkaisuja 2019:31. 213 s.
- Valtioneuvosto. 2023. Vahva ja välittävä Suomi. Pääministeri Petteri Orpon hallituksen ohjelma 20.6.2023. Valtioneuvoston julkaisuja 2023:58. 246 s.
- Vapo. 2025. Kuiviketurve irtona. <https://vapokuivikkeet.fi/tuotteet/kuiviketurve-irtona/>. Viitattu 19.12.2025.
- Vatanen, E. 2011. Tuotosmalli panos-tuotosanalyysin välineenä: menetelmä, teoria ja paikallistaloudelliset sovellukset. Publications of the University of Eastern Finland. Dissertations in Social Sciences and Business Studies, 19. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-61-0409-6>
- Verheijen, F.G.A., Jeffery, S., Bastos, A.C., van der Velde, M. & Diafas, I. 2009. Biochar Application to Soils - A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 149 s.
- Vihanta, S. 2023. Halsuan Kairinevan kuituhampun kasvatuskokeen julkaisemattomat tulokset. Luonnonvarakeskus 19.10.2023. 8 s.

- Viherä-Aarnio, A., Jyske, T. & Beuker, E. (toim.) 2022. Pajut biokiertoaloudessa: Materiaaleja, arvoaineita, ympäristöhyötyjä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 129 s.
- Virkajärvi, P. & Huhta, H. 1993. Nurmen viljely polttoturvesoiden jättöalueilla. Timoteinurmen fosforilannoitus Tohmajärven Valkeasuolla. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 7/93. 27s. + liitteet. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014042925260>
- Virkajärvi, P. & Huhta, H. 1994. Nurmen viljely polttoturvesoiden jättöalueilla: timoteinurmen kaliumlannoitus Tohmajärven Valkeasuolla. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 13/94. 23 s. + liitteet. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014042925285>
- Virkajärvi, P. & Huhta, H. 1998. Turvetuotannosta vapautuneiden suopohjien maatalouskäyttö. Teoksessa: Vasander, H. (toim.). Suomen suot. Suoseura ry. s. 135–137.
- Virtanen, R. 2025. Kaustisen seutu, Hiilekas-hanke. Sähköpostiviestit 11.6.2025 ja 2.4.2025.
- Visković, J., Zheljzkov, V.D., Sikora, V., Noller, J., Latković, D., Ocamb, C.M. & Koren, A. 2023. Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.) Agronomy and Utilization: A Review. *Agronomy*, 13(3): 931. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030931>
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E. & Weidema, B. 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *Int J Life Cycle Assess.* 21(9): 1218–1230.
- Ympäristöministeriö 2017. Turvetuotannon tarkkailuohje. Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2027. 84 s. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80879/OH_4_2017.-pdf. Viitattu 2.4.2025.0
- Ympäristöministeriö 2025. Luonnon tilan parantamisen kansalaispaneeli 2025. Taustamateriaali paneeliin valituille 5/2025. 25 s. <https://ym.fi/documents/1410903/39422803/YM-ennallistaminen-taustamateriaali-FINAL%20%281%29.pdf>. Viitattu 13.2.2026.

Liitteet

Liite 1

Biomassojen tuotantokustannusten ja ympäristövaikutusten laskentaan liittyvät oletukset

Taulukko L1.1. Työn ajanmenekin, kustannusten ja polttoaineenkulutuksen laskentaan liittyvät oletukset

	Tuottavuus		Tietolähde	Kustannus		Tietolähde	Polttoaineen kulutus		Tietolähde
Kasvupaikan valmistelu									
Oijen kunnostus oajyrsimellä	3,2	ha/h	Tapio Prittinen Oy (2024)	154	€/h	Palva (2023)	44	l/h	Tapio Prittinen Oy (2024)
Sarkojen muotoilu muotoiluruuvilla (lev. 6 m)	2	ha/h	Suokone Oy	154	€/h	Palva (2023)	44	l/h	Suokone Oy
Kalkin levitys	3	ha/h	TTS-Kone	7,5	€/t	JMT Koskela Oy (2024)	25	l/h	TTS-Kone
Maanmuokkaus									
Lautasmuokkaus	3	ha/h	TTS-Kone	47,7	€/h	TTS-Kone	8	l/ha	Ahokas ym. (2013)
Äestys, 2 ×	3,8	ha/h	TTS-Kone	41,3	€/h	TTS-Kone	5	l/ha	Ahokas ym. (2013)
Lannoitteiden ja maanparannusaineiden levitys									
Tuhkan levitys	3	ha/h	TTS-kone				25	l/h	TTS-Kone
Mineraalilann. levitys	3,8	ha/h	TTS-Kone	18,8	€/ha	TTS-Kone	17	l/h	TTS-Kone
Kompostin levitys	3	ha/h	TTS-Kone	86,0	€/h	Palva (2023)	25	l/h	TTS-Kone
Viljelmän perustaminen									
Pajupistokkaiden istutus	0,5	ha/h	Carbons Finland Oy (2024), Bush ym. (2015)	352	€/ha	Carbons Finland Oy (2024), tiheys- korotus 12 800 →15 000 kpl/ha	33	l/h	Laskettu tehontarpeesta
Pajukasvuston alasleikkuu	5	ha/h	TTS-Kone	39,4	€/ha	TTS-Kone	5	l/ha	Ahokas ym. (2013)
Kylvölannoitus	1,8	ha/h	Ahokas ym. (2013)	67,5	€/ha	TTS-Kone	10	l/ha	Ahokas ym. (2013)
Jyräys	3,3	ha/h	TTS-Kone	30	€/ha	TTS-Kone	3	l/ha	Laskettu tehontarpeesta
Sadonkorjuu									
Niitto (ruokohelpi, nurmi)	5	ha/h	TTS-Kone	39,4	€/ha	TTS-Kone	5	l/ha	Ahokas ym. (2013)
Karhotus (ruokohelpi)	3,3	ha/h	TTS-Kone	26,5	€/ha	TTS-Kone	2	l/ha	Ahokas ym. (2013)

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2026

	Tuottavuus		Tietolähde	Kustannus		Tietolähde	Polttoaineen kulutus		Tietolähde
Pyöröpaalaus (ruokohelpi)	8,8	min/t ka	Paappanen ym. (2008)	45,9	€/t ka	TTS-Kone & Paappanen ym. (2008)	17	l/h	Ahokas ym. 2013
Kanttipaalaus	4,8	min/t ka	Paappanen ym. (2008)	40,6	€/t ka	TTS-Kone & Paappanen ym. (2008)	25	l/h	Laskettu tehontarpeesta
Silppurointi	3,1	ha/h	TTS-Kone	97,3	€/ha	TTS-Kone	45	l/h	TTS-Kone
Peltobiomassojen lähikuljetus	7	min/t ka	Paappanen ym. (2008)	139,4	€/h	TTS-Kone	17	l/h	Ahokas ym. (2013)
Aumojen peittäly	11,2	min/ t ka	Paappanen ym. (2008)				15	l/h	TTS-Kone
Pajun hakkuu, Risupeto	6,5	h/ha	Karvanen (2021), Jylhä ym. (2019)	112	€/h	Laitila & Väätäinen (2021) ¹	11	l/h	Laitila (2025)
Hieskoivun avohakkuu, keräilykaato	11,4	h/ha	Jylhä & Bergström (2016), Jylhä ym. (2019)	135	€/h	Laitila ym. (2015) ¹	16	l/h	Brunberg (2023), Haavikko ym. (2022)
Lähikuljetus, paju	3,6	h/ha	Jylhä & Bergström (2016)	107	€/h	Laitila ym. (2015) ¹	13	l/h	Brunberg (2023), Haavikko ym. (2022)
Lähikuljetus, hieskoivu	9,3	h/ha	Jylhä & Bergström (2016)	107	€/h	Laitila ym. (2015) ¹	13	l/h	Brunberg (2023), Haavikko ym. (2022)
Haketus, paju	20	t/h	Mihelič ym. (2015)	287	€/h	Jylhä (2013) ¹	118	l/h	Jylhä (2013)
Haketus, hieskoivu	25,2	t/h	Jylhä (2017)	287	€/h	Jylhä (2013) ¹	118	l/h	Jylhä (2013)
Varastopinojen peittäly	3	km/h	Laitila (2024)	107	€/h	Laitila ym. (2015) ¹	13	l/h	Brunberg (2023), Haavikko ym. (2022)
Puunkorjuun yleiskustannus				3,89	€/m ³	Strandström (2024)			
Kasvuston lopetus									
Glyfosaatin ruiskutus	4,6	ha/h	TTS-Kone	21,9	€/ha	TTS-Kone	17	l/h	TTS-Kone
Pajunkantojen jysintä	2,0	h/ha		401	€/ha	Palva (2021) ¹	44	l/h	Tapio Prittinen Oy (2024)
Koneiden siirrot ja työmaa-ajot									
Traktoreiden siirtoajo työkoneiden kanssa	30	km/h		-		Sisältyi urakointihintoihin	15	l/h	Ahokas ym. (2013)
Metsäkoneiden lavettisiirto, kuormattuna ajo	-			-		Sisältyi urakointihintoihin	61	l/100 km	Haavikko ym. (2022)
Metsäkoneiden lavettisiirto, tyhjänä ajo	-			-		Sisältyi urakointihintoihin	35	l/100 km	Haavikko ym. (2022)
Autohakkurin siirtoajo	-			-		Sisältyi urakointihintoihin	45	l/100 km	Anttila ym. (2023)
Irtotavaran kuljetus									
Kalkki, tuhka ja komposti				10	€/t		58	l/100 km	Fjeld ym. (2021)
-paluuajo							41	l/100 km	Fjeld ym. (2021)

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2026

	Tuottavuus		Tietolähde	Kustannus		Tietolähde	Polttoaineen kulutus		Tietolähde
Pajuhake				10,9	€/t ka	Nurminen & Heinonen (2007), Laitila ym. (2017) ¹	76	l/100 km	Anttila ym. (2023)
Hieskoivuhake				8,7	€/t ka	Nurminen & Heinonen (2007), Laitila ym. (2017) ¹	76	l/100 km	Anttila ym. (2023)
Hakeauton paluuajo							45	l/100 km	Anttila ym. (2023)
Ruokohelppi-irtosilppu							45	l/100 km	Ahokas ym. (2023)
-paluuajo							45	l/100 km	Ahokas ym. (2023)
Kappaletavaran kuljetus									
Mineraalilannoitteet, tehdas-tilakeskus							76	l/100 km	Anttila ym. (2023)
Mineraalilannoitteet, tilakeskus-suo							45	l/100 km	Ahokas ym. (2013)
Pajupistokkaat, kylmäkuljetus							0,0121	l/t km	Kärhä ym. (2023), Fabris ym. (2022)
Pajunistutuskone (Egedal Energy Planter 1600 kg)							0,0120	l/t km	Kärhä ym. (2023)
Paalit	40	km/h		77,2	€/h	TTS-Kone	45	l/100 km	Ahokas ym. 2013

¹Tuntikustannukset muunnettu vuoden 2024 Metsäalan kone- ja autokustannusindeksien avulla (Tilastokeskus 2021, 2025).

Taulukko L1.2. Kannattavuus- ja aluetalouselaskelmissa oletetut materiaalien hinnat.

	Hinta		Tietolähde	Lisätietoja
Maanparannusaineet ja lannoitteet				
Yara Bela Axan ss (N, 27-0-1)	344	€/t	Yara Suomi Oy (2024)	
Yara Miila Y6 (NPK, 15-6,5-12,5)	507	€/t	Yara Suomi Oy (2024)	
Yara kaliumsuola (K 50 %)	536	€/t	Yara Suomi Oy (2024)	
Kompostoitu mädätysjäännös	2	€/t	Hongisto (2024)	
Tuhka paikalle tuotuna ja levitettynä	370	€/ha	Jyväskylä (2024)	
Mg-kalkki paikalle tuotuna ja levitettynä	29	€/t	JMT Koskela Oy (2024)	
Viljelymateriaalit				
Ruokohelven siemenet	5,5	€/kg	Naturcom Oy (2024)	12 kg/ha, Virkkunen ym. (2022)
Kuituhampun siemenet	7,4	€/kg	Hemka Fiber Oy (2024)	45 kg/ha, Hemka Oy (2024)
Pajupistokkaat	0,43	€/m	Carbons Finland Oy (2024)	15 000 kpl/ha, 20 cm/kpl
Muut				
Glyfosaattivalmiste (keskim. hinta)	5,3	€/l	Maataloustarvike Mattila (2024), Berner Oy	
Pajunistutus koneen vuokra	145	€/ha	Carbons Finland Oy (2024)	Korotettu istutustiheys otettu huomioon (12 800 → 15 000 kpl/ha)
Ruokohelpiaumojen peitemuovi	0,35	€/m ²	Hankkija (2024)	
Peitepaperi 4 m + rahti, 330 m/rulla, paju	3,3	€/m	Kaiponen 2024a	318 m/lohko, pinon kehystilavuuden perusteella laskettu
Peitepaperi 6 m + rahti, 205 m/rulla, hieskoivu	5,65	€/m	Kaiponen 2024b	187 m/lohko, pinon kehystilavuuden perusteella laskettu

Viitteet (Liite 1)

- Anttila, P., Ojala, J., Palander, T. & Väätäinen, K. 2023. The effect of road characteristics on timber truck driving speed and fuel consumption based on visual interpretation of road database and data from fleet management system. *Silva Fennica* 56(4): 10798. 19 p. <https://doi.org/10.14214/sf.10798>
- Ahokas, J. 2013 (toim.). Polttoaineen kulutus peltotöissä. *Maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan julkaisuja* 26: 1–99. <http://hdl.handle.net/10138/135917>
- Berner Oy 2024. Viljelijän Berner. <https://viljelijanberner.fi/>. Viitattu 21.4.2024.
- Brunberg, T. 2013. Bränsleförbrukningen hos skogsmaskiner 2012. Arbetsrapport Från Skogforsk 789. <https://www.skogforsk.se/contentassets/b89024b19fbf42a599fbfc0c4c32-2341/bransleforbrukningen-hos-skogsmaskiner-2012---arbetsrapport-789-2013.pdf>
- Bush, C., Volk, T.A. & Eisenbies, M.H. 2015. Planting rates and delays during the establishment of willow biomass crops. *Biomass and Bioenergy* 83: 290–296. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.10.008>.
- Carbons Finland Oy. Pajun tuotantokustannusten laskentamalli 11.6.2024.
- Fabris, F., Artuso, P., Marinetti, S., Minetto, S. & Rossetti, A. 2022. Cooling unit impact on energy and emissions of a refrigerated light truck. *Applied Thermal Engineering* 216: 119132. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119132>.
- Fjeld, D., Väätäinen, K., von Hofsten H., Noreland, D., Callesen, I. & Laddins, A. 2021. Costing models for road, rail and sea transport of roundwood. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202101151893>. Viitattu 8.8.2025.
- Haavikko, H., Kärhä, K., Poikela, A., Korvenranta, M. & Palander, T. 2017. Fuel Consumption, Greenhouse Gas Emissions, and Energy Efficiency of Wood-Harvesting Operations: A Case Study of Stora Enso in Finland. *Croatian Journal of Forest Engineering* 43(1). 21 s. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2022.1101>.
- Hankkija Oy 2024. Sähköpostiviesti 26.9.2024.
- Hemka Fiber Oy 2024. Kannattavuutta kuituhampulla. Mukaan hamppuviljelijäksi. Esite.
- Hongisto, A.-P. 2024. Ruthon Group Oy. Sähköpostiviesti 12.6.2024.
- Jylhä, P. 2013. Autohakkurin seula-aukon koon vaikutus kokopuun haketuksen tuottavuuteen ja polttoaineen kulutukseen. *Metlan työraportteja* 272. 19 s. <https://jukuri.luke.fi/server/api/core/bitstreams/3a49be3c-9a61-42f7-b9b4-67e78b91b9f5/content>
- Jylhä, P. 2017. Hieskoivukokopuun haketusko. Julkaisematon aineisto.
- Jylhä, P. & Bergström, D. 2016. Productivity of harvesting dense birch stands for bioenergy. *Biomass and Bioenergy* 88: 142–151. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.03.016>

- Jylhä, P., Hytönen, J. & Ahtikoski, A. 2015. Profitability of short-rotation biomass production on downy birch stands on cut-away peatlands in northern Finland. *Biomass and Bioenergy* 75: 272–281. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.02.027>.
- Jylhä, P., Jounela, P., Koistinen, M. & Korpunen, H. 2019. Koneellinen hakkuu. Seurantatutkimus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2019. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-717-6>.
- Jyväskylä, P. 2024. Vital Forest Oy. Suullinen tiedonanto 28.6.2024
- Kaiponen, S. 2024 a. Uittokalusto Oy. Sähköpostiviesti 26.9.2024.
- Kaiponen, S. 2024b. Uittokalusto Oy. Sähköpostiviesti 15.10.2024.
- Karvanen, J. 2021. Reformet Oy. Suullinen tiedonanto.
- JMT Koskela Oy 2024. Sähköpostiviesti 28.5.2024
- Kärhä, K., Kortelainen, E., Karjalainen, A., Haavikko, H. & Palander, T. 2023. Fuel consumption of a high-capacity transport (HCT) vehicle combination for industrial roundwood hauling: a case study of laden timber truck combinations in Finland. *International Journal of Forest Engineering* 34(2): 284–293. <https://doi.org/10.1080/14942119.2022.2163871>
- Laitila, J., Asikainen, A. & Ranta, T. 2016. Cost analysis of transporting forest chips and forest industry by-products with large truck-trailers in Finland,
- Laitila J., Ranta T., Asikainen A., Jäppinen E. & Korpinen O.-J. 2015. The cost competitiveness of conifer stumps in the procurement of forest chips for fuel in Southern and Northern Finland. *Silva Fennica* 49(2): 1280. <https://doi.org/10.14214/sf.1280>
- Laitila, J. & Väätäinen, K. 2021. Productivity and cost of harvesting overgrowth brushwood from roadsides and field edges. *Int J For Eng.* 32(2):1–15. doi:10.1080/14942119.2021.1903790.
- Laitila, J. 2024. Luonnonvarakeskus, suullinen tiedonanto 27.9.2024
- Laitila, J. 2025. Luonnonvarakeskus, suullinen tiedonanto 20.3.2025.
- Maataloustarvike Mattila 2024. <https://maataloustarvike.fi/>. Viitattu 21.4.2024.
- Manni, K., Saastamoinen, M. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikemateriaalien vertailu lihanaudoilla. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 66–81.
- Mihelič, M., Spinelli, R., Magagnotti, M. & Poje, A. 2015. Performance of a new industrial chipper for rural contractors.
- Naturcom Oy 2024. Sähköpostiviesti 15.10.2024.
- Paappanen, T., Lindh, T., Kärki, J., Impola, R., Taipale, R., Leino, T., ym. 2008. Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi. Espoo, VTT. 158 s. Raportti No. 2452.

Palva, R. 2021. Konetyön kustannukset ja tilastolliset urakointihinnat. TTS Työtehoseuran julkaisu 457. 16 s. https://tts.fi/wp-content/uploads/2023/10/Konetyon_kustannukset_ja_tilastolliset_urakointihinnat.pdf.

Palva, R. 2023. Konetyön kustannukset ja tilastolliset urakointihinnat 2022. TTS Työtehoseuran julkaisu 471. <https://www.tts.fi/wp-content/uploads/2023/10/Konetyon-kustannukset-ja-tilastolliset-urakointihinnat-2022.pdf>

Strandström, M. 2024. Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2023. Metsätehon tuloskalvosarja 2/2024. 32 s.

Suokone Oy. <https://meripeat.com/fi/>. Viitattu 15.11.2025

Tapio Pirttinen Oy. <https://www.tapiopirttinen.fi/>. Viitattu 15.11.2024

Tilastokeskus. 2021. Metsäalan kone- ja autokustannusindeksi 2015=100 / perusvuosi 2010. Julkaisematon aineisto. Sähköpostiviesti 15.6.2021.

Tilastokeskus 2025. Metsäalan kone- ja autokustannusindeksit (2015=100, 2020=100).

TTS-Kone konekustannusten laskentaohjelma, <https://ttskone.tts.fi/>

Yara Suomi Oy. 2024. Arvonlisäverottomat lannoitteiden tehdashinnat EUR/tonni. 16.5.20

Liite 2

Ruokohelpikuivikkeen hinnan määrittäminen

Ruokohelpikuivikkeen hinta määritettiin sen kuivituskyvyn ja kuiviketurpeen hinnan perusteella. Näiden kuivituskykyä verrattiin Mannin ym. (2022) raporttien parametrien avulla (Taulukko L2.1). Lihanaudoilla tehdyssä kokeessa kilogramma ruokohelpisilppua vastasi kuivitusominaisuuksiltaan kahta kilogrammaa turvetta käyttökosteuksissaan.

Kuiviketurpeen hinta käyttöpaikalla oli noin 19 €/m³ (ALV 0 %) vuonna 2025 (Vapo 2025). Tilavuuspainosta ja kosteudesta johdettu kuiva-aine-kg:n hinta on tällöin 0,18 €. Laskelman perusteella ruokohelpikuivikkeen kuiva-ainetonni voisi maksaa jopa 271 euroa, jolloin se olisi vielä hinnaltaan kilpailukykyinen turpeeseen verrattuna. Käytännössä hinta jäänee alhaisemmaksi, koska ruokohelpi ei muilta ominaisuuksiltaan ole turpeen veroinen. Ruokohelpi pölyää enemmän eikä sillä ole turpeen antimikrobisia ominaisuuksia. Lantalan tilantarve on hieman suurempi kuin turpeella kuivitettaessa. Lisäksi pellolle päätyvät ruokohelven siemenet ovat rikkakasviriski. Lannoitteena ruokohelpi- ja turvelanta ovat yhtä hyviä.

Taulukko L2.1. Laskelma ruokohelpikuivikkeen enimmäishinnasta, jolla se olisi kilpailukykyinen turpeen kanssa. Materiaalien kosteudet ja tilavuuspainot ovat Mannin ym. (2022)² mittaustulosten keskiarvoja.

	Kuiviketurve	Ruokohelpikuivike
Kuivikemateriaalien ominaisuudet		
Kosteus, %	37	15
Kuiva-ainepitoisuus, %	63	85
Tilavuuspaino tuoreena, kg/m ³	165	80
Kuivikemateriaalien käyttösuhde		
Kulutus, kg	2	1
Kulutus, kg kuiva-ainetta	1,26	0,85
Kulutuksen suhde, kg kuiva-ainetta	1,48	1
Kuivikemateriaalien hintavertailu		
Hinta, €/m ³	19,00 ²	
Hinta, €/kg	0,12	
Hinta, €/kg kuiva-ainetta	0,18	
Ruokohelven vertailuhinta, €/ t ka		271

Viitteet (Liite 2)

Manni, K., Saastamoinen, M. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikemateriaalien vertailu lihanaudoilla. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 66–81.

Vapo 2025. Vapon kuivikkeet. https://vapokuivikkeet.fi/tuotteet/?em_l=image. Viitattu 19.12.2025.

Liite 3

Jatkokäyttövaihtoehtojen kannattavuuslaskurin käyttöliittymä



Euroopan unionin osarahoittama



KESKI-POHJANMAAN LIITTO
MELLERSTA ÖSTERBOTTENS FÖRBUND



Kannattavuuslaskuri

Laskuri on saatavana osoitteessa

<https://www.luke.fi/fi/projektit/turke>

Investoinnin nettonykyarvo on tulo- ja menovirtojen nykyarvojen erotus. Kun nettonykyarvo on positiivinen, investointi on kannattava ja asetettu pääoman tuottovaatimus saavutetaan. **Paljaan maan arvo** avulla voidaan arvioida, kuinka paljon maasta kannattaisi maksaa, jos samaa tuotantoketjua toistettaisiin loputtomasti. Maasta kannattaa maksaa korkeintaan paljaan maan arvon verran, jos haluaa oletetun koron mukaisen tuoton investoinnille. Paljaan maan arvon perusteella voidaan vertailla kestoltaan erilaisten hankkeiden kannattavuutta. Laskurissa oletetut tuotantoketjut on kuvattu pääpiirteittäin Tuotantoketjut-välilehdellä.

Laskuriin syötetään pajuhakkeen sekä ruokohelven ja pajun biomassatuotos- ja hintaoletukset sekä asetetaan laskentakorko (1–8 %) keltaisiin soluihin. Tämän jälkeen tarkasteltavien kasvien tuotannon kannattavuutta voidaan verrata sinisiin soluihin tulevien tunnuslukujen avulla.

Luontaisesti syntyneiden ja harventamatta kasvatettavien hieskoivutiheikköjen keskimääräinen biomassatuotos riippuu metsikön iästä, ja kiertoaika (hakkuuajankohta) vaikuttaa myös tuottojen ja kustannusten ajoittumiseen. Laskurilla voi tutkia korkokannan ja metsähakkeen hinnan vaikutusta kannattavuuteen sekä etsiä kannattavinta kiertoaikaa välillä 15–30 vuotta.

Biomassojen kasvatusta voi verrata myös aurinkovoimala-alueesta saatavaan vuokratuottoon sekä hiilimarkkinoilla mahdollisesti saataviin tuottoihin päästövähennyksistä. Laskurissa oletetaan, että päästövähennys saadaan aikaan vettämällä turvetuotannosta vapautunut alue, mutta hiilen poistojen ja hiiliviljelyn sertifiointikehyksen (CRCF-asetus) mukainen maksulogiikka ei ole vielä varmistunut.

Täytä oletus viljelykasvin satotasosta

Kasvi	Satotaso, tonnia kuiva-ainetta hehtaarilta vuodessa	Vaihteluväli 0–15 t k.a. /ha/v
Paju (korjuuväli 4 vuotta)	5	
Ruokohelvi (korjataan joka vuosi)	6	
Kuituhamppu (korjataan joka vuosi)	5	

Täytä tuotteen hintaoletus

Tuote	Hintaoletus, euroa /kuivattonni	(1 kuivattonni vastaa noin 2,9 kiintokuutiometriä)
Pajuhäke käyttöaikalla (esim. biohiilen raaka-aineksi)	140	
Ruokohelvi biokaasusyötteeksi käyttöaikalla	200	
Ruokohelvikuivike käyttöaikalla	200	
Ruokohelvi kasvuulustamateriaaliksi satamassa	160	
Ruokohelvipaallit suon laidalla, kevätkorjuu	176	
Kuituhamppu käyttöaikalla	300	

Valitse korkotaso (1–8 %, ei desimaaleja)

Korkokanta	5 %
------------	-----

Viljelyinvestoinnin nettonykyarvo ja paljaan maan arvo, €/ha

Viljelykasvi	Kierron nettonykyarvo	Paljaan maan arvo	
Paju, kierrätyslannoite	-1895	-2840	Lisälannoitus mineraalipölyllä ja -kaliumilla
Paju, mineraalilannoitteet	-2345	-3515	
Ruokohelvipaallit suon laidalla, kevätkorjuu 10 v	776	1971	Viljelmän elinkaari 10 v
Ruokohelvipaallit suon laidalla, kevätkorjuu 5 v	-888	-2257	Viljelmän elinkaari 5 v
Ruokohelvi, kesäkorjuu silppuna biokaasusyötteeksi	2947	7491	Viljelmän elinkaari 10 v
Ruokohelvi kuivikkeeksi, kevätkorjuu	167	426	Viljelmän elinkaari 10 v
Ruokohelvi kasvuulustaksi, kevätkorjuu	-1470	-3736	Viljelmän elinkaari 10 v
Kuituhamppu	-132	-335	

Hieskoivun kasvatuksen kannattavuus ja kiertoaika (15–30 vuotta)

Hieskoivuhakkeen hinta	150	€/tonni kuiva-ainetta (1 kuivattonni vastaa noin 2,3 kiintokuutiometriä)
Nettonykyarvo, €/ha (ensimmäinen kiertoaika)	1040	Kannattavin kiertoaika nettonykyarvon perusteella 26 v
Paljaan maan arvo, €/ha	1683	Kannattavin kiertoaika paljaan maan arvon perusteella 22 v

Aurinkovoiman kannattavuus

Vuokrasopimuksen pituus, 1–61 vuotta	Vuokran suuruus, €/ha/v	
45	200	
Nettonykyarvo	3 555 €	Paljaan maan arvo 4576

Voi olla, ettei aurinkovoimalan vuokrasopimusta uusita enää 45 vuoden päästä. Tällöin kannattavuutta pitää arvioida puhtaasti nettonykyarvon perusteella, koska kierto ei jatku ensimmäisen sopimuskauden jälkeen. Maata voi kuitenkin sopimuksen päätyttyä käyttää muihin tarkoituksiin.

Vettämisen kannattavuus

Hiilidioksidiekvivalenttinnon hinta, €/t CO ₂ -ekv.	
30	
Nettonykyarvo	4 381 €

CRCF-luonnoksessa vettämisen minimikesto on 10 vuotta, ja sopimuksenvoisi uusia kahdesti. Näin ollen CRCF-yksiköitä ja tuloja voi saada enintään 30 vuoden ajan. Vettämässä olennaisista on nettonykyarvo, koska pirta-alaan perustuva tuotto on nolla CRCF-sopimusten loputtua.



**Löydät meidät
verkosta**

luke.fi



Luonnonvarakeskus (Luke) Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki