

Tekninen loppuraportti

| |
|---|
| Hankkeen nimi |
| Ilmastotoimenpiteiden kokonaisvaltainen arviointi valuma-alueilla - Systeemianalyysillä kohti hiilineutraalia maankäyttöä (SysteemiHiili) |
| Hankkeen nimi eng |
| Comprehensive assessment of climate measures in catchment areas – With System analysis towards carbon-neutral land use (SysteemiHiili) |

| | |
|------------------------|----------------|
| Vastuuorganisaatio | Yhteyshenkilö |
| Suomen ympäristökeskus | Mika Marttunen |

| | |
|------------------------|-----------------------------|
| Jakeluosoite | Postinumero- ja toimipaikka |
| Latokartanonkaari 11 D | 00790 Helsinki |
| Puhelin | Sähköpostiosoite |
| 0295 251 411 | mika.marttunen@syke.fi |

| | |
|----------------------------|---|
| Hankkeen kesto (20xx-20xx) | Loppuraportti |
| 2021-2023 | Marttunen, M. ja Annala, M. toim. (2023). Valuma-aluesuunnittelulla kohti hiilineutraalia maankäyttöä – SysteemiHiili-hankkeen tulokset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 35/2023. http://hdl.handle.net/10138/567748 |

| Rahoitus | Euroa |
|--|--------------|
| • Kokonaiskustannukset | 1 715 642,30 |
| • MMM:ltä saatu kokonaisrahoitus | 1 200 949,60 |
| • Oma rahoitus | 514 692,70 |
| • Muista julkisista lähteistä saatu rahoitus | 0 |
| • Muu ulkopuolinen rahoitus | 0 |

| |
|--|
| Avainsanat |
| Ilmastonmuutoksen hillintä, ilmastonmuutokseen sopeutuminen, kasvihuonekaasupäästöt, hiilitase, maatalous, metsätalous, turvetuotantoalueiden jatkokäyttö, orgaaninen hiili, vesistökuormitus, vedenlaatu, vesistöt, valuma-alue, metsät, laskentamallit, päätösanalyysi, systeemianalyysi, suunnittelu, Pohjois-Savo, Pääjärvi, Kiuruvesi |

Tiivistelmä

Laaja-alainen ja moniulotteinen hanke muodostui kahdeksasta työpaketista: 1) hiilinielut ja prosessit valuma-alueilla, 2) hiiliprosessit ja -virrat vesistöissä, 3) valuma-alueiden hiilitaseet ja skenaariot (Vemalan kehitystyö ja soveltaminen), 4) systeemianalyysin menetelmät arviointien tukena, 5) ohjaukseen ja sosiaalinen hyväksyttävyyden, 6) muuttuva maankäyttö Pohjois-Pohjanmaan turvetuotantoalueilla, 7) maankäytön muutokset, ohjaukseen ja Nexus Pohjois-Savossa ja 8) yhteiskehittäminen, verkostoituminen ja viestintä.

Työpaketit 1–3 käsittelivät maa- ja vesiekosysteemien hiilivirtoja ja muodostivat toisiaan täydentävän kokonaisuuden. Työpaketti 4 pyrki kehittämään järjestelmällisten ja systeemisten lähestymistapojen soveltamista maankäyttösektorin suunnittelussa ja se osallistui aktiivisesti turvetuotantoalueiden jatkokäyttömuotojen arviointia (työpaketti 6) ja valuma-aluesuunnittelun kehittämistä (työpaketti 7) koskeviin tapaustarkasteluihin. Työpaketin 5 kyselytutkimusten laadintaan osallistuivat turvetuotantoalueiden jatkokäytön (työpaketti 6) sekä maa- ja metsätalouden (työpaketti 7) asiantuntijat.

Hankkeessa tehtiin tapaustarkasteluja valtakunnallisella, alueellisella ja paikallisella tasolla. Valtakunnallisen tason tarkasteluja olivat pintavesien tummumiskehityksen ja sen syiden analysointi sekä maanomistajille tehty kysely turvetuotantoalueiden jatkokäytöstä. Alueellisia tarkasteluja oli useita ja ne liittyivät maakuntien kasvihuonekaasutaseisiin, Vemala- ja PREBAS-malleilla tehtyihin maankäyttö- ja ilmastoskenaariotarkasteluihin, valuma-alueen vesienhallinta- ja ilmastotarkasteluihin sekä Pohjois-Savon maanomistajakyselyyn ja ilmastokarttatyöhön. Paikallisen tason tarkasteluja tehtiin mm. entisten turvetuotantoalueiden jatkokäyttövaihtoehtojen arvioinneissa lin Komppassuolla ja Oulun Miehonsuo-Turvesuolla.

Tavoitteet

Hankkeen päätavoitteena oli lisätä ymmärrystä, vuoropuhelua ja menetelmällisiä valmiuksia maankäytön muutosten vuorovaikutusketjuista ja kokonaisvaikutuksista sekä tukea ilmastoviisaiden ja monihyötyisten ratkaisujen käyttöönottoa kansallisesti sekä alueellisesti ja paikallisesti valuma-alueella.

Hankkeen yksityiskohtaisemmat tavoitteet olivat:

- Kehittää ekosysteemipalvelukonseptiin perustuva järjestelmä hiilivirtojen hallintaan valuma-alueella ja tuottaa tietoa maankäytön ja ilmastomuutoksen vaikutuksista hiilitaseisiin.
- Lisätä tietopohjaa maa-alueilta vesistöihin huuhtoutuvan hiilen käyttäytymisestä sekä etsiä ratkaisuja, jotka hillitsevät maankäytön ilmastovaikutuksia ja vesien tummumista.
- Kehittää menetelmiä kokonaisvaltaisiin valuma-alue-tarkasteluihin, joilla voidaan arvioida maankäytön muutosten ja erilaisten toimenpiteiden vaikutuksia esim. KHK-päästöihin, vesitalouteen, vedenlaatuun ja monimuotoisuuteen.
- Lisätä valmiuksia systeemianalyttisten menetelmien tehokkaaseen soveltamiseen monimutkaisten kokonaisuuksien ja systeemisten vaikutusten hahmottamiseksi sekä luonnontieteiden, ympäristöpolitiikan suunnittelun ja sidosryhmien välisen vuoropuhelun edistämiseksi.
- Tutkia turvetuotantoalueiden uusien maankäyttövaihtoehtojen ja niitä edistävien ohjaukseen vaikutuksia ja hyväksyttävyyttä ja tukea ilmastoviisaiden ja kestävien ratkaisujen valintaa.

- Edistää valtakunnallisten ilmastotavoitteiden saavuttamista etsimällä hyväksyttäviä ja kestäviä ratkaisuja alueellisessa ilmastotyössä pilottialueilla.
- Edistää hankkeessa tuotettavan ja koottavan tietopohjan ja uusien ratkaisujen hyödynnettävyyttä päätöksenteossa ja käytännön toimintaympäristöissä yhteiskehittämisen menetelmillä.

Tulokset

Tuotimme ilmastosuunnittelutyön tueksi tietoa eri maankäyttöluokkien kasvihuonekaasutaseiden nykytilasta maakunnittain, myös kartta-aineistoa 250 metrin tarkkuudella. Aineisto kattaa koko Manner-Suomen ja se on vapaasti saatavana. Kartta-aineisto osoittaa, millä alueilla päästöt (positiivinen arvo kartalla) ja nielut (negatiivinen arvo kartalla) todennäköisimmin sijaitsevat. Metsien maakuntakohtainen epävarmuusmallinnus paljasti, että metsien nettohiilitase ja sen epävarmuus vaihtelevat riippuen mallinnetusta maakunnasta ja ajanjaksosta. (TP1)

Teimme laatuaan ensimmäisen valtakunnallisen arvion Suomen pintavesien, purojen, jokien, järvien ja rannikkovesien, tummumiskehitystä tilastollisilla menetelmillä hyödyntäen kaikkea käyttökelpoista havaintoaineistoa. Tulosten perusteella orgaanisen hiilen pitoisuus vesistöissä kasvoi Lappia lukuun ottamatta jaksolla 1990–2020 lähes 70 %:ssa kohteissa. Tulostemme perusteella hiilen virroilla vesistöissä on merkittävä vaikutus kansallisessa hiilitaseessa. (TP2)

Kehitimme Vemala-mallin orgaanisen hiilen kuormituksen kuvausta ja prosessikuvausta järvissä aikaisempaa realistisemmaksi. Mallilla arvioitiin pintavesien tummumisen syitä ja tunnistettiin kuormituksen kannalta hot spot -kohteita Pohjois-Savossa. (TP3)

Kehitimme myös paikkatietoperustaisen lähestymistavan alueellisen metsäsuunnittelun tueksi. Se auttaa metsähakkuiden kohdentamisessa siten, että niillä olisi mahdollisimman vähän haitallisia vaikutuksia vesistöihin, monimuotoisuuteen, ilmastoon ja vesistöjen virkistyskäyttöön. (TP1&TP4)

Teimme tieteelliseen kirjallisuuteen pohjautuvan maailmalaajuisesti ensimmäisen katsauksen entisten turvetuotantoalueiden jatkokäyttömuotojen vaikutuksista. Tutkimus osoitti, että tieto turvetuotannon jatkokäyttömuotojen pitkäaikaisista vaikutuksista on monin tavoin puutteellista. (TP5)

Kehitimme ja sovelsimme menetelmiä turvetuotantoalueiden jatkokäyttömuotojen valinnan ja kokonaiskestävyyden arvioinnin tueksi kahdessa pilottikohteessa. Tavoitelähtöinen ja moniarvoinen lähestymistapamme tarjoaa järjestelmällisen ja sidosryhmien välistä vuoropuhelua edistävän lähestymistavan erityisesti vaativimpiin suunnittelukohteisiin. Kehittämällämme nettipohjaisella päätöstukityökalulla (Turve-ARVI) voidaan tukea erityyppisille alueille parhaiten soveltuvien jatkokäyttömuotojen valintaa. (TP4&TP5)

Tutkimme ilmastotoimien ja niihin keskittyvien ohjauskeinojen sosiaalista hyväksyttävyyttä turvealalla sekä maa- ja metsätaloudessa menetelminä teemahaastattelut ja kaksi nettikyselyä. Tapaustutkimusten kohteena olivat turvemaiden jatkokäyttömuodot sekä maa- ja metsätalouden ilmastotoimenpiteet maanomistajien näkökulmasta. (TP6)

Kehitimme kaksivaiheisen ja monipuolisiin paikkatietoaineistoihin pohjautuvan järjestelmällisen lähestymistavan monitavoitteisiin vesienhallinta- ja ilmastokestävyydestarkasteluihin. Ensimmäisessä vaiheessa tunnistetaan tarkasteltavalla laajalla valuma-alueella ne osavaluma-alueet, joilla vesistökuormitus, kasvihuonekaasujen vähentämispotentiaali, ilmastomuutokseen sopeutumisen potentiaali ja luonnon monimuotoisuus ovat suurimmat. Seuraavassa vaiheessa valitulla osavaluma-alueella tiiviissä vuoropuhelussa maanomistajien kanssa etsitään keinoja ilmasto- ja kestävyysaasteiden ratkaisemiseksi hyödyntäen paikkatietotarkasteluja ja erilaisia laskentatyökaluja. (TP4&TP7)

Kokonaisvaltaisten tarkastelujen tueksi laadimme 18 maa- ja metsätalouden tietokorttia. (TP4&TP7)

Osana Pohjois-Savon ilmastotiekarttatyötä ja Suomen Akatemian Portright-hanketta kehitimme lähestymistavan, joka tukee toteutettavien toimenpiteiden valintaa, kun näiden väliset keskinäisriippuvuudet eli synergiat ja mahdolliset toisiaan heikentävät vaikutukset halutaan ottaa huomioon. Testasimme lähestymistapaa Pohjois-Savon ilmastotiekarttatyössä. Ilmastotiekartassa oli jo aiemmin tunnistettu 101 toimenpidettä eri teema-alueilta. Kuusi asiantuntijaa arvioi kaikki 101 toimenpidettä INTO-työkälulla, minkä perusteella 20 näistä valittiin tarkempaan tarkasteluun. (TP4&TP7)

Hankkeessa muodostettiin noin 30 toimintasuositusta, jotka kohdentuvat viranomaisille (ministeriöt, ELY-keskukset), etu- ja neuvontajärjestöille, suunnittelijoille, maanomistajille sekä tutkimukselle.

Hankkeen keskeiset tulokset on koottu Syken julkaisusarjan raporttiin. Laadimme myös Toimintasuositukset -julkaisun, johon on koottu hankkeen keskeiset suositukset. Hankkeen tuloksia on koottu hankesivulle, johon on koottu myös hankkeen julkaisut eri kanavissa. Hankkeen oma uutiskirje julkaistiin 2–3 kertaa vuodessa hankesivulla yhteensä kuusi kertaa. (TP8 ja kaikki muut työpaketit)

Tulosten arviointi

Hanke onnistui saavuttamaan kaikki tavoitteensa ja joiltakin osin ylittämään ne. Hankkeen eri työpakettien tulokset ovat herättäneet laajaa kiinnostusta mm. maakunnissa ja ELY-keskuksissa. Tuloksia ollaan viemässä käytännön suunnitteluun.

Maa- ja vesiekosysteemien hiilitasetarkastelut, pitkäaikaisen vedenlaatuaineiston tilastolliset analyysit, skenaariotarkastelut ja useat tapaustarkastelut tuottivat tietoa, joka auttaa ymmärtämään nykytilannetta ja tulevaisuuden kehityspolkuja sekä edistää ilmastoviisaiden ja kokonaiskestävien toimenpiteiden tunnistamista maankäyttösektorilla.

Tuloksemme osoittavat, että metsät ovat ainoa merkittävä ilmamehän hiilidioksidin sitoja, mutta niiden merkitys on heikentynyt viimeaikaisten hakkuiden vuoksi. Metsien käsittelyssä on otettava huomioon hiilivarastojen ja hiilensidonnan säilyttäminen varovaisuusperiaatetta noudattaen, koska tulevaisuuden ennusteissa on epävarmuutta. Vanhojen metsien hiilitaselaskelmat hyödyttävät suojelualueiden samanaikaisessa luonto- ja ilmastohyötyjen arvioinnissa.

Ilmastonmuutos- ja maankäyttöskenaariotarkastelut yhdessä PREBAS-mallin kanssa osoittivat, että ilman merkittäviä hakkuumäärien ja turvemaiden ennallistamisia tummumiskehitys jatkuu ilmaston lämmetessä.

Tutkimus vahvisti, että vesistömmet ovat tummuneet viime vuosikymmeninä ja jatkavat tummumistaan, ellei orgaanisen hiilen kuormitusta valuma-alueilta alenneta merkittävästi. Tummumista aiheuttavaa kuormitusta tulisi ehkäistä ennakolta turvemaan hoidon muutoksilla, koska metsätalouden vesiensuojelurakenteet eivät pysty pidättämään liukoista orgaanista hiiltä.

Tulostemme perusteella maa- ja metsätaloudelliset ovat kiinnostuneita edistämään ilmastotoimia, mutta eivät hinnalla millä hyvänsä. Maanomistajat arvioivat toimenpiteiden mielekkyyttä etupäässä niiden tuomien taloudellisten hyötyjen näkökulmasta. Haastattelu- ja kyselytutkimuksen valossa taloudelliset tuet ovat merkittävin maanomistajien toimintaan vaikuttava ohjauskeino. Kysely- ja haastattelututkimuksemme osoittaa, että maa- ja metsätaloudellisille tulisi tarjota tiedon lisäksi taloudellisia kannustimia maankäytön sopeuttamiseksi hiilineutraalius-, vesistö- ja monimuotoisuustavoitteisiin. Maankäyttöä koskevassa politiikassa tulee tähdätä ennakoitavuuteen, johdonmukaisuuteen ja toimien oikea-aikaisuuteen.

Hankkeessa kiinnitettiin suurta huomiota yhteistyöhön Hiilestä kiinni -ohjelman sisarushankkeiden kanssa (mm. Tuija, Uusisuo, JälkiHiili). Lisäksi SystemeHiili-hankkeessa tehtiin tiivistä yhteistyötä useiden Hiilestä kiinni -ohjelman ulkopuolisten hankkeiden kanssa, mm. IBC-Carbon (STN),

PortRight (Suomen Akatemia) ja Merlin (EU Horizon). Tiivis yhteistyö tuotti synergioita ja edesauttoi hankkeen kustannustehokasta ja tuloksellista toteuttamista.

Hankkeessa panostettiin myös vuoropuheluun ja viestintään tulosten loppukäyttäjien kanssa. Hanke järjesti loppuseminaarin (28.11.2023) lisäksi kuusi suosittua webinaaria syksyllä 2023, joissa esiteltiin tuloksia. Lisäksi ELY-keskusten ilmasto- ja vesienhoitoverkoston kanssa järjestimme kaksi tietoiskua syksyllä 2023.

Julkaisut (Tähän kirjoitettuna tai loppuraportin liitelistana)

Tieteelliset julkaisut:

Albrecht, E., Hannonen, O., Palacín-Lizarbe, C., Suni, J., Härkönen, L. H., Soininen, N., Kukkonen, J. & Vainikka, A. 2023. Browning of boreal lakes: Do public perceptions and governance align with the biological foundations? *Ecological Applications* 33: e2856. <https://doi.org/10.1002/eap.2856>

Forsius, M., Holmberg, M., Junttila, V., Kujala, H., Schulz, T., Paunu, V.-V., Savolahti, M., Minunno, F., Akujärvi, A., Bäck, J., Grönroos, J., Heikkinen, R. K., Karvosenoja, N., Mäkelä, A., Mikkonen, N., Pekkonen, M., Rankinen, K. & Virkkala, R. 2023. Modelling the regional potential for reaching carbon neutrality in Finland: Sustainable forestry, energy use and biodiversity protection. *Ambio* 52: 1757–1776. <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01860-1>

Holmberg, M., Junttila, V., Schulz, T., Grönroos, J., Paunu, V.-V., Savolahti, M., Minunno, F., Ojanen, P., Akujärvi, A., Karvosenoja, N., Kortelainen, P., Mäkelä, A., Peltoniemi, M., Petäjä, J., Vanhala, P. & Forsius, M. 2023a. Role of land cover in Finland's greenhouse gas emissions. *Ambio* 52: 1697–1751. <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01910-8>

Härkönen, L. H., Lepistö, A., Sarkkola, S., Kortelainen, P. & Räike. 2023. Reviewing peatland forestry: Implications and mitigation measures for freshwater ecosystem browning. *Forest Ecology and Management* 531: 120776. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120776>

Junttila, V., Minunno, F., Peltoniemi, M., Forsius, M., Akujärvi, A., Ojanen, P. & Mäkelä, A. 2023. Quantification of forest carbon flux and stock uncertainties under climate change and their use in regionally explicit decision making: Case study in Finland. *Ambio* 52: 1716–1733. <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01906-4>

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., Pääkkilä, L., Albrecht, E., Kuittinen, S., Pappinen, A., Ekman, E., Kübert, A., Lampimäki, M., Lampilahti, J., Shahriyer, A. H., 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. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106926>

Lepistö, A., Räike, A., Sallantausta, T. & Finér, L. 2021. Increases in organic carbon and nitrogen concentrations in boreal forested catchments — Changes driven by climate and deposition. *Science of The Total Environment* 780: 146627. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146627>

Mustajoki, J., Liesiö, J., Kajanus, M., Eskelinen, T., Karkulahti, S., Kee, T., Kesänen, A., Kettunen, T., Wuorisalo, J., Marttunen, M. (2023). A portfolio decision analysis approach for selecting a subset of interdependent actions: The case of a regional climate roadmap in Finland.

Mustajoki, J., Turunen, V., Junttila, V., Marttunen, M., Geneletti, D. (2023). Combining Multi-Criteria Decision Analysis, forest growth model and GIS: Case of Forest Planning in Finland. In press.

Rankinen, K., Junttila, V., Futter, M., Cano Bernal, J. E., Butterfield, D. & Holmberg, M. 2023. Quantification of the effect of environmental changes on the brownification of Lake Kukkia in southern Finland. *Ambio* 52: 1834–1846. <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01911-7>

Räsänen, A., Albrecht, E., Annala, M., Aro, L., Laine, A. M., Maanavilja, L., Mustajoki, J., Ronkanen, A.-K., Silvan, N., Tarvainen, O. & Tolvanen, A. 2023a. After-use of peat extraction sites – A systematic review of biodiversity, climate, hydrological and social impacts. *Science of the Total Environment*: 163583. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163583>

Julkaisut sarjoissa tai aikakauslehdissä

Marttunen, M ja Annala, M. (toim.) 2023. Valuma-aluesuunnittelulla kohti hiilineutraalia maankäyttöä – SysteemiHiili-hankkeen tulokset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 35/2023.

Marttunen, M., Turunen, V., Räsänen, A., Rantala, T. ja Kajanus, M. Monitavoitteiset vesienhallinta- ja ilmastokestävyystarkastelut: Avain kokonaisvaltaiseen valuma-aluesuunnitteluun? *Vesitalous* 1/2024.

Mustajoki, J., Marttunen, M. & Ahopelto, L. 2022. Kirjallisuuskatsaus viitekehyksistä kokonaisvaltaisten ja ilmastoviisaiden arviointien tekemiseksi. SysteemiHiili-hanke – Työpaketti 4. <https://www.syke.fi/download/no-name/%7B6262E5D1-99D2-4227-A58F-1C1AB8CFC47D%7D/178008>

Räsänen, A., Mustajoki, J., Aro, L., Ulvi, T., Annala, M. & Marttunen, M., 2023. Turvetuotantoalueiden jatkokäytön tavoitelähtöinen ja moniarvoinen suunnittelu. *Suo* 74: 3-26.

Sivonen, M., Albrecht, E., Leino, J. & Peltonen, L. 2023. Ilmastonmuutoksen hillintä ja siihen sopeutuminen maanomistajien näkökulmasta – kyselytutkimus Pohjois-Savon maa- ja metsätalonomistajille. *Publications of the University of Eastern Finland Reports and Studies in Social Sciences and Business Studies* 19. ISBN: 978–952-61-4907-3

Vesitalous-lehden teemanumero: Hiili vesistöissä (14.10.2022, maksullinen). Sisältää kolme SysteemiHiili-hankkeen tutkijoiden tuottamaa juttua mm. vesistöjen tummumisesta. <https://vesitalous.fi/2022/10/vesitalous-5-2022-on-ilmestynyt/>

Muut:

Tietokortit kestävän maa- ja metsätalouden toimenpiteistä vesien suojelemiseksi. <https://vesi.fi/aineisto-pankki/tietokortit-kestavan-maa-ja-metsatalouden-toimenpiteista-vesien-suojelemiseksi/>

Maria Holmberg ja Virpi Junttila: IBC-Carbon -hankkeen, FEO-hankkeen ja SysteemiHiili-hankkeen yhteistyössä tuotettu tietokortti hiilitaseesta. Toukokuu 2022. [https://www.ibccarbon.fi/fi-FI/Tuloksia/Hiilitase_sum-maa_ilmastovaikutuksia\(63054\)](https://www.ibccarbon.fi/fi/FI/Tuloksia/Hiilitase_sum-maa_ilmastovaikutuksia(63054))

Marttunen, M, Turunen, V., Kajanus, M., Rantala, T., Virkkumaa, S., Seppälä, P., Räsänen, A. 2023. Monitavoitteiset vesienhallinta- ja ilmastokestävyystarkastelut -katsaus menetelmiin ja hankkeisiin. Luonnos 7.2.2024. Raportti tarkoitus julkaista Syken raportteja sarjassa keväällä 2024.

Vuori, K-M. 2024. Puupuhdistamojen toimivuus hiilen ja ravinteiden sieppareina. Muistio 5.2.2024.