

Subarktisten soiden turvetta muodostava kasvillisuus muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa – vaikutukset hiilen sidontaan

SANNA R. PIILO JA MINNA M. VÄLIRANTA

Kuva/Photo: Sanna Piilo.

Pohjoinen pallonpuolisko on viime vuosikymmeninä lämmennyt lähes 4 kertaa nopeammin kuin maapallon ilmasto keskimäärin (Rantanen ym. 2022). Ilmaston lämpeneminen ja etenkin sen aiheuttamat muutokset hydrologisessa kierrossa vaikuttavat pohjoisten soiden kasvillisuuteen ja sitä kautta niiden kykyyn sitoa ja varastoida hiiltä (esim. Loisel ym. 2020). Vaikka suot peittävät vain noin kolme prosenttia maapallon maa-alasta (Xu ym. 2018), niihin on varastoitunut lähes kolmannes kaikesta maaperän hiilestä (Yu ym. 2010). Tämä vastaa kaksinkertaisesti maailman metsiin varastoituneen hiilen määrää (Pan ym. 2011). Noin 80 % maailman soiden hiilestä on sitoutunut pohjoisiin soihin (Hugelius ym. 2020), ja siksi niiden merkitys korostuu muuttuvassa ilmastossa. On kuitenkin yhä epäselvää, miten lämpenevä ilmasto tulee muuttamaan soiden hydrologiaa ja sitä kautta kasvillisuutta ja hiilen kiertoa.

Vuonna 2022 julkaistussa artikkeliväitöskirjassa tarkasteltiin muuttuneiden ilmasto-olosuhteiden vaikutusta pohjoisten soiden kasvillisuuteen ja hiilen kiertoon hyödyntäen paleoekologisia menetelmiä (Piilo 2022). Tutkimalla ja ajoittamalla turpeen eri kerrosten kasvillisuuden ja geokemiallisten ominaisuuksien

muutoskohtia, voidaan selvittää miten suot ovat muuttuneet suhteessa tunnettuihin ilmaston muutoksiin (Birks 1993; Mauquoy & Van Geel 2007; Charman ym. 2013). Tutkimuksissa käytettiin hiili-14- ja lyijy-210-ajotusmenetelmiä. Soiden märissä, hapettomissa ja happamissa olosuhteissa kasvavien ja turvetta muodostavien kasvien jäänteet säilyvät hyvin. Näitä kasvien jäänteitä tutkimalla ja tunnistamalla voidaan muodostaa käsitys suolla aiemmin vallinneista kasviyhteisöjen koostumuksista – erityyppiset kasviyhteisöt indikoivat erilaisia kosteus- ja ravinneolosuhteita (Väliranta ym. 2007, 2012; Tuittila ym. 2012).

Piilo ja muut (2022) analysoivat yhteensä 33 enintään puolen metrin mittaista pintaturvenäytettä Ruotsin ja Suomen pohjoisosista, Kuolan niemimaalta (kuva 1) sekä Euroopan puolisen Venäjän koillisosasta. Vastaavaa turveaineistoa kerättiin ja tutkittiin myös Itä-Kanadasta neljältä eri suolta (Piilo ym. 2019). Näissä kahdessa tutkimuksessa analysoitiin yhteensä 45 turveprofilia kahdeltakymmeneltä pohjoiselta suolta, jotka sijaitsevat paikoittaisen tai epäjatkuvan ikeroudan alueella. Tutkimuksissa selvitettiin kasviyhteisöjen ajallista muutosta ja keskusteltiin kasviyhteisöjen muutoksen vaikutuksista hiilen kertymiselle.



Kuva 1. Turveprofiilin kairauspaikka Lovozerossa Kuolan niemimaalla 2019. Kuva: Sanna Piilo.

Figure 1. A sample collection site in Lovozero, Kola Peninsula in 2019. Photo: Sanna Piilo.

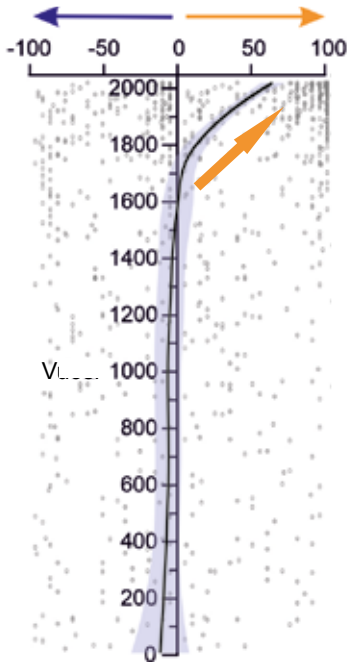
Pohjoisilla aapasoilla ja ikiroudan vaikuttamilla palsasoilla soiden pienmuodot – eli suon pinnalla havaittavat pienemmät topografiat – voivat vaihdella huomattavasti märistä rimmistä kuiviin jänteisiin sekä ympäristöstään kohoaviin palsakumpuihin. Soiden hydrologisia muutoksia tutkittaessa etenkin näiden märkien ja kuivien pienmuotojen väliin jäävien välipintojen on huomattu heijastavan suossa tapahtuvia kosteuden muutoksia herkimmin (De Vleeschouwer ym. 2010). Tämän vuoksi suurin osa (37 kpl) turvenäytteistä kerättiin suon välipinnoilta (Piilo ym. 2019, 2022).

Tutkimuksissa havaittiin, että välipintojen kasvillisuus on muuttunut lähes poikkeuksetta viimeisten vuosikymmenten ja -satojen aikana pohjoisille soille tyypillisistä märistä saravaltaisista kasvivyhteisöistä kuivempaan rahkasammalvaltaisiin kasvivyhteisöihin. Kasvillisuusmuutoksen havaittiin olevan yhtenäistä sekä ikiroutasoilla että aapasoilla, joilla ei esiintynyt ikiroutaa (Piilo ym. 2022). Tutkittujen näytteiden kasvivyhteisöissä ei pääosin ole enää viimeisimpien vuosikymmenien aikana tapahtunut suuria muutoksia, mikä mahdollisesti heijastaa soiden rahkasammalvaltaisten suovyhteisöjen puskurikykyä ilmastossa tapahtuvia muutoksia vastaan. Tämä on havaittu muillakin pohjoisilla soilla, joilla kasvivyhteisö on sammalvaltaista (Sim ym. 2021).

Kasvillisuuden ja hiilen kertymisen osalta turvenäytteiden näytekohmainen ja suon sisäinen vaihtelu on suurta. Tästä syystä il-

mastosignaalin havaitsemiseksi tarvitaan lukumäärällisesti suuria aineistoja laajalta maantieteelliseltä alueelta. Tutkituissa aineistoissa (Piilo ym. 2019, 2022) havaittiin yhtenäistä kasvillisuuden muutosta molemmiin puolin Pohjois-Atlanttia (Piilo 2022). Kasvillisuuden muutos rahkasammalvaltaisiksi yhteisöiksi ja sen heijastama kuivempi hydrologinen signaali Pohjois-Euroopan tutkimuskohteissa osoittivat selkeää yhtenäistä muutosta pienen jääkauden loppupuolelta alkaen eli viimeisten reilun kahdensadan vuoden aikana (kuva 2). Fennoskandiasta ja Euroopan puoleiselta Venäjältä kerättyjen näytteiden kasvivyhteisöjen muutoksissa ei havaittu tilastollisesti merkittäviä eroja (Piilo ym. 2022). Itä-Kanadan aineistoa (Piilo ym. 2019) hyödynnettiin myös myöhemmin julkaistussa yhteenvetoartikkelissa (Magnan ym. 2022). Kyseisessä aineistossa ja yhteen kasaavassa tutkimuksessa havaittiin Itä-Kanadan soilla viime vuosikymmeninä laajemmin tapahtunut suokasvillisuuden muutos kohti mättäitä muodostavia rahkasammalvaltaisia kasvivyhteisöjä (Magnan ym. 2022).

Pohjoisten soiden hiilidynamiikalle on merkittävää, jos hitaasti ja epätäydellisesti maatuviin rahkasammaleiden (Lang ym. 2009) määrä lisääntyy. Rahkasammaleet kerrottävät turvetta erityisen tehokkaasti ja sitä kautta varastoivat ilmakehän hiiltä (Tuittila ym. 2012; Loisel & Yu 2013). Lisäksi mättäitä muodostavista rahkasammalyhteisöistä vapautuu ilmakehään vähemmän metaania kuin



Kuva 2. Kosteusolojen muutoksen signaali välipinnoilta kerätyistä turvenäytteissä Pohjois-Euroopasta. Turvenäytteiden kasvi-analyyseistä tulokset yksinkertaistettiin kosteusoloja kuvaaviin kategorioihin märkä ja väli/kuivasignaali. Kuvan datapisteet edustavat näitä turvenäytteiden kosteuskategorioita läpi viimeisen 2000 vuoden (y-akseli) kertymishistorian aikana. Oranssi nuoli osoittaa viime vuosikymmenten aikaista muutosta kohti kuivempia kasvivyhteisöjä, ja muutoksen trendiä osoittava viiva perustuu paikalliseen regressioanalyysiin. Kuva mukailee Piilo ym. (2022) artikkelissa julkaistua kuvaajaa.

Figure 2. Hydrological signal of plant data from Northern European peatland sites simplified into two categories of wet (Märkä %) and intermediate/dry (Väli/kuiva %) through time (Vuosi). These samples are collected from intermediate peatland microhabitats. The orange arrow indicates the centennial change towards current drier conditions. Trend line is based on locally estimated scatterplot smoothing. Modified from Piilo et al. (2022).

märistä saravaltaisista kasvivyhteisöistä (Drewer ym. 2010; Turetsky ym. 2014). Malliennusteiden mukaan pohjoisilla ikiroutasoilla roudan sulamisen arvellaan aiheuttavan suuria hiilipäästöjä, mikä voi muuttaa soiden takaisinkytkentävaikutusta ilmakehää viilentävästä sitä lämmittäväksi (Hugelius ym. 2020; Turetsky ym. 2020). Mikäli ilmaston lämpenemisen ja hydrologisten muutosten myötä pohjoisten soiden märkä saravaltainen kasvillisuus alkaa entistä laajemmin muuttua kohti kuivempia rakkasammalvaltaisia mätäshabitaatteja on mahdollista, että pohjoisten soiden hiilen varastointikapasiteetti voi jopa kasvaa. Myös Gallego-Salan ja muiden (2018) mukaan kasvillisuuden muutoksia huomioimattakin pohjoiset suot tulevat tehostuvan yhteyttämisen kautta sitomaan enemmän hiiltä pidemmän ja lämpimämmän kasvukauden johdosta. Pohjoisten soiden hiilen sidonnan ja hiilivarastojen tulevaisuuden ymmärtämiseksi tarvitaan lisää tietoa etenkin soiden kasvillisuuden muu-

toksista ja muutoksien mittakaavasta. Lisäksi tarvitaan ymmärrystä, miten kasvien nykyistä hiilensidontaa voidaan verrata turpeeseen aiemmin kertyneen hiilen varastoon ja hiilen kertymisnopeuteen, johon vaikuttaa mm. karikkeen hajotusnopeus. Tarvitaan siis lisää tapaustutkimuksia, jotta nämä kaikki prosessit ja tekijät saadaan mukaan sekä integroitua ennustemalleihin.

FT SANNA R. PIILO
(sanna.piilo@helsinki.fi)

DOS., FT MINNA M. VÄLIRANTA
(minna.valiranta@helsinki.fi)

ECRU, Ekosysteemit ja ympäristö
-tutkimusohjelma
PL 65, 00014 Helsingin yliopisto

Sanna Piilo on tutkijatohtori, joka väitteli syksyllä 2022 pohjoisten soiden kasvillisuuden ja hiilenkierron muutoksista hyödyntäen turvearkistoja ja jatkaa soiden paleoekologisen tutkimuksen parissa. Minna Väiliranta on dosentti ja yliopistotutkija ja taustaltaan paleoekologi, joka tällä hetkellä tutkii ilmastonmuutokseen ja luonnonvaraisten pohjoisten soiden hiilenkiertoon liittyviä yhteyksiä biologisten organismien kautta.

Summary

Vegetation change of high-latitude peatlands in a changing climate – Implications for carbon dynamics

The amount of carbon stored in global peatlands equals twice the amount of carbon stored in the World's forests. In addition, almost 80 % of the global peatland's carbon is stored in high-latitude peatlands. High-latitudes have warmed almost four times faster than the Globe on average. These changes are predicted to affect peatlands, but it is still unclear how warming climate will affect peatland hydrology, vegetation and consequent carbon dynamics.

Based on a large set of peat profiles (n=45) (Fig. 1), collected from permafrost and non-permafrost peatlands from East-Canada, northern Fennoscandia and European Russia, a habitat change was detected, inferring a change in hydrology. During the last centuries to decades, a change from wet sedge dominated peatland vegetation to drier *Sphagnum* dominated habitats was observed based on palaeoecological data (Fig. 2). *Sphagnum* mosses are resistant to decay and thus they accumulate peat effectively and in doing so store atmospheric carbon. In addition, hummock forming habitats release less methane to the atmosphere than wet sedge dominated habitats. Hence, if *Sphagnum* moss dominated habitats will become more dominant in high-latitude peatlands, carbon sequestration capacity may enhance.

Lähdeluettelo

- Birks, H. J. B., 1993. Quaternary palaeoecology and vegetation science – current contributions and possible future developments. *Review of Palaeobotany and Palynology* 79, 153–177. [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(93\)90045-V](https://doi.org/10.1016/0034-6667(93)90045-V)
- Charman, D. J., Beilman, D. W., Blaauw, M., Booth, R. K., Brewer, S., ym., 2013. Climate-related changes in peatland carbon accumulation during the last millennium. *Biogeosciences* 10, 929–944. <https://doi.org/10.5194/bg-10-929-2013>
- De Vleeschouwer, F., Chambers, F. M. & Swindles, G. T., 2010. Coring and sub-sampling of peatlands for palaeoenvironmental research. *Mires and Peat* 7, 1–10.
- Drewer, J., Lohila, A., Aurela, M., Laurila, T., Minkkinen, K., ym., 2010. Comparison of greenhouse gas fluxes and nitrogen budgets from an ombrotrophic bog in Scotland and a minerotrophic sedge fen in Finland. *European Journal of Soil Science* 61, 640–650. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01267.x>
- Gallego-Sala, A. V., Charman, D. J., Brewer, S., Page, S. E., Prentice, C., ym., 2018. Latitudinal limits to the predicted increase of the peatland carbon sink with warming. *Nature Climate Change* 8, 907–913. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0271-1>
- Hugelius, G., Loisel, J., Chadburn, S., Jackson, R. B., Jones, M., ym., 2020. Large stocks of peatland carbon and nitrogen are vulnerable to permafrost thaw. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117, 20438–20446. <https://doi.org/10.1073/pnas.1916387117>
- Lang, S. I., Cornelissen, J. H. C., Klahn, T., Van Logtestijn, R. S. P., Broekman, R., ym., 2009. An experimental comparison of chemical traits and litter decomposition rates in a diverse range of subarctic bryophyte, lichen and vascular plant species. *Journal of Ecology* 97, 886–900. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01538.x>
- Loisel, J., Gallego-Sala, A. V., Amesbury, M. J., Magnan, G., Anshari, G., ym., 2020. Expert assessment of future vulnerability of the global peatland carbon sink. *Nature Climate Change* 11, 70–77. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00944-0>
- Loisel, J. & Yu, Z., 2013. Surface vegetation patterning controls carbon accumulation in peatlands. *Geophysical Research Letters* 40, 5508–5513. <https://doi.org/10.1002/grl.50744>
- Magnan, G., Sanderson, N. K., Piilo, S., Pratte, S., Väiliranta, M., ym., 2022. Widespread recent ecosystem state shifts in high-latitude peatlands of northeastern Canada and implications for carbon sequestration. *Global Change Biology* 28, 1919–1934. <https://doi.org/10.1111/gcb.16032>
- Mauquoy, D. & Van Geel, B., 2007. Plant macrofossil methods and studies: Mire and Peat Macros. *Teoksessa: Elias, S. A. (toim.), Encyclopedia of Quaternary Science. Elsevier Science, Amsterdam, 2315–2336.* <https://doi.org/10.1016/B0-44-452747-8/00229-5>
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., ym., 2011. A Large and Persistent Carbon

- Sink in the World's Forests. *Science* 333, 988–993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>
- Piilo, S. R., 2022. Vegetation and carbon dynamics of high-latitude peatlands in a changing climate: From early Holocene to recent past. Artikkeliväitöskirja. Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta, Helsingin yliopisto, 48 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-51-8542-6>
- Piilo, S. R., Väiliranta, M. M., Amesbury, M. J., Aquino-López, M. A., Charman, D. J., ym., 2022. Consistent centennial-scale change in European sub-Arctic peatland vegetation toward Sphagnum dominance—Implications for carbon sink capacity. *Global Change Biology* 29, 1530–1544. <https://doi.org/10.1111/gcb.16554>
- Piilo, S. R., Zhang, H., Garneau, M., Gallego-Sala, A., Amesbury, M. J. & Väiliranta, M. M., 2019. Recent peat and carbon accumulation following the Little Ice Age in Recent peat and carbon accumulation following the Little Ice Age in northwestern Québec, Canada. *Environmental Research Letters* 14, 75002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab11ec>
- Rantanen, M., Karpechko, A. Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., ym., 2022. The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Communications Earth and Environment* 3, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>
- Sim, T. G., Swindles, G. T., Morris, P. J., Baird, A. J., Cooper, C. L., ym., 2021. Divergent responses of permafrost peatlands to recent climate change. *Environmental Research Letters* 16, 034001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc00b>
- Tuittila, E. S., Juutinen, S., Frohking, S., Väiliranta, M., Laine, A. M., ym., 2012. Wetland chronosequence as a model of peatland development: Vegetation succession, peat and carbon accumulation. *Holocene* 23, 25–35. <https://doi.org/10.1177/0959683612450197>
- Turetsky, M. R., Abbott, B. W., Jones, M. C., Anthony, K. W., Olefeldt, D., ym., 2020. Carbon release through abrupt permafrost thaw. *Nature Geoscience* 13, 138–143. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0526-0>
- Turetsky, M. R., Kotowska, A., Bubier, J., Dise, N. B., Crill, P., ym., 2014. A synthesis of methane emissions from 71 northern, temperate, and subtropical wetlands. *Global Change Biology* 20, 2183–2197. <https://doi.org/10.1111/gcb.12580>
- Väiliranta, M., Blundell, A., Charman, D. J., Karofeld, E., Korhola, A., ym., 2012. Reconstructing peatland water tables using transfer functions for plant macrofossils and testate amoebae: A methodological comparison. *Quaternary International* 268, 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.05.024>
- Väiliranta, M., Korhola, A., Seppä, H., Tuittila, E. S., Sarmaja-Korjonen, K., ym., 2007. High-resolution reconstruction of wetness dynamics in a southern boreal raised bog, Finland, during the late Holocene: A quantitative approach. *Holocene* 17, 1093–1107. <https://doi.org/10.1177/0959683607082550>
- Xu, J., Morris, P. J., Liu, J. & Holden, J., 2018. PEATMAP: Refining estimates of global peatland distribution based on a meta-analysis. *Catena* 160, 134–140. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.09.010>
- Yu, Z., Loisel, J., Brosseau, D. P., Beilman, D. W. & Hunt, S. J., 2010. Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum. *Geophysical Research Letters* 37, 1–5. <https://doi.org/10.1029/2010GL043584>



Kuva/Photo: Sanna Piilo.