

## Carbon emissions and forest operations: A short guideline for the forestry sector

---

### SOIL CARBON IN GENERAL

Boreaalisten metsien maaperä on valtava hiilen varasto (Crowther et al. 2019). Boreaalisen vyöhykkeen viileästä ilmastosta johtuen kuolleiden lehtien ja oksien eli karikkeen hajonta metsissä on hidasta ja epätäydellistä (Pan et al. 2011). Kivennäismaametsien maaperä koostuu useammasta eri kerroksesta, joista päällimmäisenä on yleensä karikkeesta ja humuksesta koostuva orgaaninen kerros. Karikkekerroksessa on muun muassa kuolleita lehtiä, neulasia, oksia ja puunkuorta, jotka eivät ole vielä ehtineet hajota. Humus puolestaan on hienojakoista ainesta, jossa hajoaminen on jo hyvin pitkälle edennyt. Humuskerros voi joskus olla todella ohut tai puuttua lähes kokonaan. Orgaanisen kerroksen alla sijaitsee kivennäismaa, joka on kerrostunut maannoksesta riippuen eri tavoilla. Suomen yleisimpiä maannoksia ovat erilaiset podsolit ja histosolit (turve) (Tamminen 2009). Turve on kerrostunut siten, että eniten maatonut kerros sijaitsee alimpana ja vähiten hajonnut päällä olevissa kerroksissa.

Kivennäismaiden metsien maaperän hiilivarasto kasvaa normaalissa tilassa kohtalaisen tasaisesti, varsinkin eteläisessä Suomessa. Ne ovat siis hiilen nieluja, kun taas ojitettujen soiden maaperät ovat yleensä hiilen lähteitä (Lehtonen et al. 2011, Suomen kasviuonekaasupäästöt 1990-2020). Niiden hiilivarasto siis pienenee ajan myötä. Erilaiset häiriöt, kuten ilmastomuutoksen aiheuttama lämpötilan ja sadannan muutos sekä metsänhoitotyöt voivat aiheuttaa muutoksia metsien maaperän hiilivarastoon.

### FOREST MANAGEMENT AND SOIL CARBON

Avohakkuu saattaa usein pienentää metsän maaperän hiilivarastoa. Kivennäismailla tätä tapahtuu erityisesti maaperän orgaanisessa kerroksessa ja suoraan sen alapuolella olevassa kivennäismaakerroksessa. Heti avohakkuun jälkeen maan hiilivarasto saattaa kuitenkin myös kasvaa verrattuna hakkaamattomaan metsään, jos hakkuutähteet jätetään maastoon (esim. Mayer et al. 2020). Vaikutus saattaa kestää jopa 5-10 vuotta (Howard et al. 2004, Falsone et al. 2012, Piirainen et al. 2012, Kishchuk et al. 2016, Strukelj et al. 2015). Toisaalta monet tutkimukset ovat myös osoittaneet, että hakkuutähteiden poistolla ei ole merkittävää vaikutusta maaperän kokonaishiilen määrään (orgaanisen kerroksen + kivennäismaan varasto) (Hazlett et al. 2007, Hume et al. 2018, Morris et al. 2019, Lim et al. 2020). Samantyyliä tuloksia on saatu myös, kun on tarkasteltu erilaisten maanmuokkausmenetelmien vaikutusta maaperän hiileen (Jandl et al. 2007, James & Harrison 2016, Mayer et al. 2020). Toisaalta maanmuokkausta seuraava puiden parantunut kasvu saattaa tasoittaa koko metsikön tasolla tasapainottaa maaperästä aiheutunutta hiilen päästöä (Jandl et al. 2007, Mayer et al. 2020) Toimenpiteen voimakkuudella on myös vaikutuksensa: jos esimerkiksi myös kannot poistetaan, myös kivennäismaakerrosten hiilivarasto saattaa oleellisesti pienentyä (Achat et al. 2015).

Avohakkuulle jätetyt hakkuutähteet toisaalta myös alkavat hajota ja vapauttaa hiilidioksidia ilmakehään (Mattson et al. 1987). Tämä prosessi on kuitenkin paljon hitaampi kuin jos hakkuutähteet vietäisiin esimerkiksi poltettavaksi. Avohakkuun jälkeen metsikkö muuttuu yleensä hiilen lähteeksi jopa 20 vuodeksi, koska yhteyttävät puut viedään pois ja hakkuutähteiden ja maaperän hiilikertymien hajoamisen vapauttama hiilen määrä on suurempi kuin aluskasvillisuuden ja taimien sitoman hiilen määrä (Pypker & Fredeen 2002, Rannik et al. 2002, Kolari et al. 2004, Fredeen et al. 2007, Mäkiranta et al. 2010). Hakkuutähteiden poisvienti saattaa vaikuttaa myös maaperän ravinnetalouteen, sillä ne sisältävät paljon tärkeitä ravinteita (Clarke et al. 2015, Lim et al. 2020). Jos ravinteita ei saada talteen, saattaa taimien kasvu ja kyky sitoa hiiltä ja täten myös karikkeen syöte maaperään hidastua, joka puolestaan vaikuttaa maaperän hiilen määrään (Clarke et al. 2015). Tätä varten Tapion Hyvän metsänhoidon suosituksissa neuvotaankin harkitsemaan hakkuutähteiden poisvientiä vain, jos metsikön ravinnetalous on kunnossa. Samaan asiaan liittyy myös ohjeistus jättää hakkuutähteen 2-4 viikoksi kuivumaan ennen niiden poisvientiä metsästä

## Carbon emissions and forest operations: A short guideline for the forestry sector

---

(<https://metsanhoidonsuositukset.fi>). Tällöin lehdet ja neulaset ehtivät karista maahan ja niihin sitoutunut ravinnemäärä saadaan talteen.

### PEATLAND VS. MINERAL SOIL:

Metsäojitettujen soiden eli turvekankaiden maahiilestä on vielä toistaiseksi valitettavan vähän tietoa. Aihetta kuitenkin tutkitaan paraikaa ainakin Helsingin yliopistolla, Luonnonvarakeskuksella ja Ilmatieteen laitoksella. Yleisesti ottaen vedellä on huomattavasti tärkeämpi merkitys ojitettujen soiden maaperän hiilelle kuin kivennäismaiden maaperän hiilelle. Eloperäisen aineen hajonta ja sitä seuraava hiilen vapautuminen vaatii hapellisia olosuhteita, joten veden pinnan ollessa korkealla on hajontakin hidasta. Jos vedenpinta on korkealla eivät myöskään puut voi kunnolla kasvaa, sillä niiden juuret voivat kärsiä hapen puutteesta. Soita on ojitettu puiden kasvun edistämiseksi, mutta ojitus muuttaa olosuhteet otollisemmiksi eloperäisen aineen eli tässä tapauksessa turpeen hajonnan ja hiilivaraston pienenemisen kannalta (Maljanen et al. 2010, Ojanen et al. 2013, Drzymulska 2016). Toisaalta hyvä ojitustulos saattaa kohentaa puiden kasvua niin paljon, että koko metsikkö pysyy hiilen nieluna maaperän hiilen varaston pienenemisestä huolimatta (Minkkinen et al. 2001). Kun ojitetulla suolla tehdään avohakkuu, nousee vedenpinta yleensä siksi että paikalla ei enää ole haihduttavaa puustoa. Tämä vedenpinnan nousu saattaa hidastaa hiilen vapautumista maaperän varastoista hiilidioksidin kautta, mutta saattaa toisaalta johtaa metaanin (CH<sub>4</sub>) päästöjen lisääntymiseen (Sarkkola et al. 2010). Toisaalta, hiljattain julkaistussa suomalaisessa tutkimuksessa (Korkiakoski et al. 2019) huomattiin, että ojitetulla suolla tehty avohakkuu, jossa hakkuutähteet jätettiin metsään, johti huomattavan suuriin hiilidioksidipäästöihin. Tutkimuksessa raportoitiin tämän johtuvan siitä, että hakkuutähteiden ja turpeen hajonta oli suurempaa kuin metsikössä tapahtuva yhteyttäminen, joka väheni dramaattisesti puuttuvien puiden ja tuhoutuneen aluskasvillisuuden vuoksi.

Avohakkuun seurauksena ojitetun suon vedenpinta nousee, mistä monesti seuraa tarve avata ja kaivaa uudelleen mahdollisesti ajan saatossa tukkeutuneet ojat. Kunnostusojitusta ja siitä seuraavaa kiihtynyttä maahiilen hajontaa voitaisiin mahdollisesti välttää toteuttamalla jatkuvaa kasvatusta turvekankailla. Turvemaiden hiilitaseisiin liittyy edelleen paljon epävarmuuksia, jotka vaativat kokeellisia pitkäaikaisseurantoja.

### REFERENCES:

- Achat, D.L., Deleuze, C., Landmann, G., Pousse, N., Ranger, J. & Augusto, L. 2015. Quantifying consequences of removing harvesting residues on forest soils and tree growth – A meta-analysis. *Forest ecology and management* 348: 124–141.
- Crowther, T., J. van den Hoogen, J. Wan, M. Mayes, A. Keiser, L. Mo, C. Averill and D. Maynard (2019). The global soil community and its influence on biogeochemistry. *Science* 365: 772.
- Clarke, N., Gundersen, P., Jönsson-Belyazid, U., Kjõnaas, O.J., Persson, T., Sigurdsson, B.D., Stupak, I. & Vesterdal, L. 2015. Influence of different tree-harvesting intensities on forest soil carbon stocks in boreal and northern temperate forest ecosystems. *Forest ecology and management* 351: 9–19.
- Clarke, N., Kiær, Lars P., Janne K.O., Bárcena, T.G., Vesterdal, L., Stupak, I., Finér, L., Jacobson, S., Armolaitis, K., Lazdina, D., Stefánsdóttir, H.M. & Sigurdsson, B.D. 2021. Effects of intensive biomass harvesting on forest soils in the Nordic countries and the UK: A meta-analysis. *Forest ecology and management* 482: 118877.
- Drzymulska, D. 2016. Peat decomposition – Shaping factors, significance in environmental studies and methods of determination; A literature review, *Geologos*, 22, 61–69.
- Falsone, G., Celi, L., Caimi, A., Simonov, G. & Bonifacio, E. 2012. The effect of clear cutting on podzolisation and soil carbon dynamics in boreal forests (Middle Taiga zone, Russia). *Geoderma* 177–178: 27–38.
- Fredeen, A. L., Waughtal, J. D., and Pypker, T. G. 2007. When do replanted sub-boreal clearcuts become net sinks for CO<sub>2</sub>? *Forest Ecology and Management*, 239, 210–216.
- Hazlett, P.W., Gordon, A.M., Voroney, R.P. & Sibley, P.K. 2007. Impact of harvesting and logging slash on nitrogen and carbon dynamics in soils from upland spruce forests in northeastern Ontario. *Soil biology & biochemistry* 39(1): 43–57.
- Howard, E.A., Gower, S.T., Foley, J.A. & Kucharik, C.J. 2004. Effects of logging on carbon dynamics of a jack pine forest in Saskatchewan, Canada. *Global change biology* 10(8): 1267–1284.
- Hume, A.M. Chen, H.Y.H. & Taylor, A.R. 2018. Intensive forest harvesting increases susceptibility of northern forest soils to carbon, nitrogen and phosphorus loss. *The Journal of applied ecology* 55(1): 246–255.

## Carbon emissions and forest operations: A short guideline for the forestry sector

---

- James, J. & Harrison, R. 2016. The effect of harvest on forest soil carbon: A meta-analysis. *Forests* 7(12): 308.
- Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., Johnson, D.W., Minkkinen, K. & Byrne, K.A. 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma* 137(3): 253–268.
- Kishchuk, B.E., Morris, D.M., Lorente, M., Keddy, T., Sidders, D., Quideau, S., Thiffault, E., Kwiaton, M. & Maynard, D. 2016. Disturbance intensity and dominant cover type influence rate of boreal soil carbon change: A Canadian multi-regional analysis. *Forest Ecology and Management* 381: 48–62.
- Kolari, P., Pumpanen, J., Rannik, Ü., Ilvesniemi, H., Hari, P., and Berninger, F. 2004. Carbon balance of different aged Scots pineforests in Southern Finland, *Glob. Change Biol.*, 10, 1106–1119.
- Korkiakoski M., Tuovinen J-P, Penttilä T., Sarkkola S., Ojanen P., Minkkinen K., Rainne J., Laurila T. and Lohila A. 2019. Greenhouse gas and energy fluxes in a boreal peatland forest after clear-cutting. *Biogeosciences* 16: 3703–3723.
- Lehtonen A., Puolakka P., Ihalainen A., Heikkinen J., and Korhonen K.T. 2011. Metsähallituksen hallinnoimien metsien hiilitaseet. Working papers of the Finnish Forest Research Institute/Metlan työraportteja 199. 24 pp.
- Lim, H., Olsson, B.A., Lundmark, T. & Dahl, J. 2020. Effects of whole-tree harvesting at thinning and subsequent compensatory nutrient additions on carbon sequestration and soil acidification in a boreal forest. *GCB Bioenergy* 12: 992–1001.
- Maljanen, M., Sigurdsson, B. D., Guðmundsson, J., Óskarsson, H., Huttunen, J. T., and Martikainen, P. J. 2010. Greenhouse gas balances of managed peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps, *Biogeosciences*, 7, 2711–2738
- Mattson K G, Swank W T and Waide J B 1987 Decomposition of woody debris in a regenerating, clear-cut forest in the Southern Appalachians. *Can. J. For. Res.* 17, 712–721.
- Mayer, M., Prescott, C.E., Abaker, W.E.A., Augusto, L., Cécillon, L., Ferreira, G.W.D., James, J., Jandl, R., Katzensteiner, K., Laclau, J.-P., Laganière, J., Nouvellon, Y., Paré, D., Stanturf, J.A., Vanguelova, E.I. & Vesterdal, L. 2020. Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis. *Forest ecology and management* 466: 118127.
- Minkkinen, K., Laine, J., and Hökkä, H. 2001. Tree stand development and carbon sequestration in drained peatland stands in Finland – a simulation study, *Silva Fennica*, 35, 55–69.
- Morris, D.M., Hazlett, P.W., Fleming, R.L., Kwiaton, M.M., Hawdon, L.A., Leblanc, J.-D., Primavera, M.J. & Weldon, T.P. 2019. Effects of biomass removal levels on soil carbon and nutrient reserves in conifer-dominated, coarse-textured sites in northern Ontario: 20-year results. *Soil Science Society of America journal* 83(S1): S116–S132.
- Mäkiranta, P., Riutta, T., Penttilä, T., and Minkkinen, K. 2010. Dynamics of net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange and heterotrophic soil respiration following clearfelling in a drained peatland forest, *Agr. Forest Meteorol.*, 150, 1585–1596.
- Ojanen, P., Minkkinen, K., and Penttilä, T. 2013. The current greenhouse gas impact of forestry-drained boreal peatlands, *Forest Ecology and Management*, 289, 201–208.
- Pan, Y., R. A. Birdsey, J. Fang, R. Houghton, P. E. Kauppi, W. A. Kurz, O. L. Phillips, A. Shvidenko, S. L. Lewis, J. G. Canadell, P. Ciais, R. B. Jackson, S. W. Pacala, A. D. McGuire, S. Piao, A. Rautiainen, S. Sitch and D. Hayes (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333: 988–993.
- Piirainen, S., Finér, L. & Starr, M. 2015. Changes in forest floor and mineral soil carbon and nitrogen stocks in a boreal forest after clear-cutting and mechanical site preparation. *European Journal of Soil Science* 66: 735–743.
- Rannik, Ü., Altimir, N., Raittila, J., Suni, T., Gaman, A., Hussein, T., Hölttä, T., Lassila, H., Latokartano, M., Lauri, A., Natsheh, A., Petäjä, T., Sorjamaa, R., Ylä-Mella, H., Keronen, P., Berninger, F., Vesala, T., Hari, P., and Kulmala, M. 2002. Fluxes of carbon dioxide and water vapour over Scots pine forest and clearing, *Agricultural and Forest Meteorology*, 111, 187–202.
- Sarkkola, S., Hökkä, H., Koivusalo, H., Nieminen, M., Ahti, E., Päivänen, J., and Laine, J. 2010. Role of tree stand evapotranspiration in maintaining satisfactory drainage conditions in drained peatlands, *Canadian Journal of Forest Research*, 40, 1485–1496.
- Strukelj, M., Brais, S. & Paré, D. 2015. Nine-year changes in carbon dynamics following different intensities of harvesting in boreal aspen stands. *European Journal of Forest Research* 134: 737–754.
- Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990 – 2020. Tilastokeskus / Statistics Finland, Helsinki, 2021, 111 pp.
- Tamminen, P. 2009. Suomen metsämaiden maannokset. *Metsätieteen aikakauskirja* 1: 74–78.