

Ohraa kasvavan turvepellon vuotuinen hiilidioksiditase

Annalea Lohila, Mika Aurela ja Tuomas Laurila

Ilmatieteen laitos, Ilmanlaadun tutkimus, Sahaajankatu 20 E, 00810 Helsinki. annalea.lohila@fmi.fi

Johdanto

Turvepellot ja maatalouden hiilitase

Suomen maatalouskäytössä olevasta peltoalasta noin 10 % muodostuu nykyisin turvemaista, kun enimmillään niiden ala on kattanut jopa kolmanneksen viljeltävästä kokonaisalasta (Myllys, 1996). Aktiivisessa viljelykäytössä olevien turvepeltojen määrä vähenee edelleen jonkin verran, mutta silti niiden osuus kasvihuonekaasuna tunnettujen hiilidioksidin (CO₂) ja typpioksiduulin (N₂O) lähteenä on merkittävä. Maatalouden aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä Suomessa on jopa 65 % arvioitu olevan peräisin orgaanisilta turvepelloilta (Pipatti, 2001). Maataloudesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt muodostavat arviolta 10 % koko maan yhteenlasketuista päästöistä. Hiilidioksidin osuus maatalouden päästöistä on CO₂-ekvivalentteina laskettuna noin neljännes, kun typpioksiduulin osuus on hieman yli puolet.

Kun suo ojitetaan maatalouskäyttöön, aiemmin hapettomana olleisiin turvekerroksiin pitkien aikojen kuluessa kertynyt humus ja muu hajoamaton kasvijäte pääsevät hapen kanssa tekemisiin. Tällöin mikrobitoiminnasta johtuva turpeen hajotus kiihtyy ja hiilidioksidipäästö kasvaa. Viljelykäytössä olevalla turvemaalla hiilidioksidi on osallisena erilaisissa prosesseissa. CO₂:a vapautuu ikivanhan turpeen hajotessa. Toisaalta peltokasvit sitovat hiilidioksidia yhteyttämisessä ja siirtävät osan sitomastaan hiilestä suoraan maahan, jossa tämä helpostihajoavassa muodossa esiintyvä hiili hapetetaan mikrobi-prosesseissa nopeasti. Kasvit vapauttavat sitomaansa hiiltä suoraan myös kasvihengityksessä, johon osallistuvat niin juuret kuin maanpinnan yläpuolisetkin kasvinosat. Peltoekosysteemin hiilidioksiditase muodostuu näiden erisuuntaisten hiilidioksidivoiden summana. Hiilitaseen tuntemiseksi pitää lisäksi tietää sadonkorjuussa poistunut hiili, pohjavedessä poistuvan liukoisen orgaanisen aineksen (DOC) määrä sekä tuulieroosion aiheuttama mahdollinen hiilenhäviö.

Maatalousmaiden, ja erityisesti orgaanisten peltomaiden osalta kasvihuonekaasutaseiden laskentaan ja raportointiin tarvittavat päästökertoimet ovat olleet kansainvälisestäkin puuttellisia ja epävarmoja perustuen harvoin mittauksiin (Ympäristöministeriö, 2000). Turvemailla varsinaisia hiilidioksidin vaihdon mittauksia on tehty vain joitakin, ja nekin yhdellä menetelmällä, kammiomittauksin.

Hiilidioksidin vaihdon mittaamenetelmistä

Suoraa hiilidioksidin vaihtoa ilmakehän ja ekosysteemin välillä voidaan periaatteessa mitata joko kammio menetelmillä tai mikrometeorologisilla menetelmillä. Kammiolla mitattaessa ekosysteemi suljetaan kammioon ja CO₂-vaihdon suuruus määritetään mittaamalla CO₂-pitoisuuden muutosta. Kammio menetelmän etuja ovat mm. matalat hankintakustannukset, helppo siirreltävyys sekä vähäinen tai olematon sähköntarve. Erilaisten käsittelyjen ja toistojen sisällyttäminen kokeeseen on mahdollista ja helppoa, kun tarvittavat koealueet voivat olla pieniä, muutaman metrin kantiltaan olevia ruutuja. Myös alueellisen vaihtelun mittaaminen on helppoa.

Kammio menetelmillä hankitut havaintoaikasarjat ovat usein vajavaisia, jolloin taseiden arvioinnissa joudutaan käyttämään enemmän mallitettuja kuin mitattuja tuloksia. Kammio toisaalta häiritsee mitattavaa ekosysteemiä. Kammion tiivistäminen maata vasten joko sellaisenaan tai erillisten kaulusten avulla aiheuttaa maan rakenteen rikkoutumisen, katkoo juuria, estää veden luonnollisen kulun maassa sekä saattaa muuttaa maan lämpötiloutta. Kammion sisäilman sekoittamiseen käytettyjen tuulettimien aiheuttamat ilmavirtaukset vaikuttavat maasta vapautuvan hiilidioksidin vuohon (Le Dantec ym., 1999). Tuulettimen käyttö aiheuttaa epäluonnollisia paineenvaihteluita maan huokosissa sekä maan yläpuolisessa ilmassa, ja irrottaa maasta ylimääräistä hiilidioksidia. Maan CO₂-vuohon vaikuttavia paineenvaihteluita saattaa aiheutua myös kammioista ilmaa imettäessä.

Mikrometeorologisilla menetelmillä, joista käytetyin on nk. kovarianssimenetelmä (eddy covariance method), ei häiritse tutkittavaa ekosysteemiä. Menetelmä perustuu ilmakehän turbulenttisten pyörteiden ja hiilidioksidin pitoisuuden nopeaan havainnointiin (5-10 krt/sek). CO₂-vuo määritetään pystytuulen nopeuden sekä CO₂-pitoisuuden kovarianssina tyypillisesti puolen tunnin keskiarvoina. Kovarianssimenetelmällä saatu vuo edustaa alueellista keskiarvoa nk. lähdealueelta, jolla tarkoitetaan kulloisestakin tuulensuunnasta ja -nopeudesta riippuvaa aluetta mittauspisteen ympärillä. Lähdealueen

koko on tyypillisesti muutamia hehtaareja. Menetelmän heikkoutena voidaan pitää suuria hankintakustannuksia sekä sähkön tarvetta, ja lisäksi alueellisen vaihtelun selvittäminen lähdealueen sisällä on vaikeaa. Toisaalta menetelmällä voidaan ainakin teoriassa hankkia täydellinen mittausaikasarja. Laitte- viat sekä epäedulliset meteorologiset olosuhteet, jollaisia ovat lähinnä tyynyt tilanteet tai kova sade, aiheuttavat aukkoja ja siten paikkaustarvetta mittausaikasarjoihin. Aikasarjan paikkaaminen voidaan tehdä usealla tavalla. Yleinen, myös tässä käytetty, tapa on mallittaa CO₂-vaihtoa semiempiiristen valo- ja lämpövastemallien avulla.

Ilmatieteen laitos on mitannut CO₂:n vaihtoa kovarianssimenetelmällä turvepellolla Jokioisissa vuoden 2000 helmikuusta saakka. Tässä kirjoituksessa pellon hiilidioksidin vuositasetta tarkastellaan ajanjaksolla lokakuulta 2000 lokakuulle 2001.

Aineisto ja menetelmät

Noin 16 ha kokoinen pelto kynnettiin lokakuun 2000 alussa, jota ennen alalla oli viljelty kevätiljaa. Seuraavana keväänä, 25. toukokuuta, alueelle kylvettiin nurmi suojaviljanaan Inari-ohra. Ohra puitiin sateisen syksyn vuoksi vasta 20. syyskuuta, jonka jälkeen pelto jäi nurmelle. Orgaanisen hiilen määrä maaperässä on n. 25 paino-%, humuksen määrä n. 45 %. Hiili-typpisuhde on n. 21.

CO₂-vuon mittauslaitteisto koostui CO₂/H₂O-analysaattorista sekä pysty- ja vaakasuuntaisen tuulennopeuden mittaamiseen käytetystä akustisesta anemometrillä. Anemometri ja CO₂-analysaattorille johtavan letkun suu sijaitsivat 3 m korkeudella. Kovarianssimittausjärjestelmä ja datankäsittelymenetelmät on kuvattu tarkemmin julkaisussa Aurela ym. (2001). CO₂-vuomittauksen lisäksi alueella mitattiin tuulensuuntaa ja -nopeutta, ilman lämpötilaa ja kosteutta sekä maan lämpötilaa, kosteutta ja lämmönvuota. Myös säteilyn eri komponentteja mitattiin.

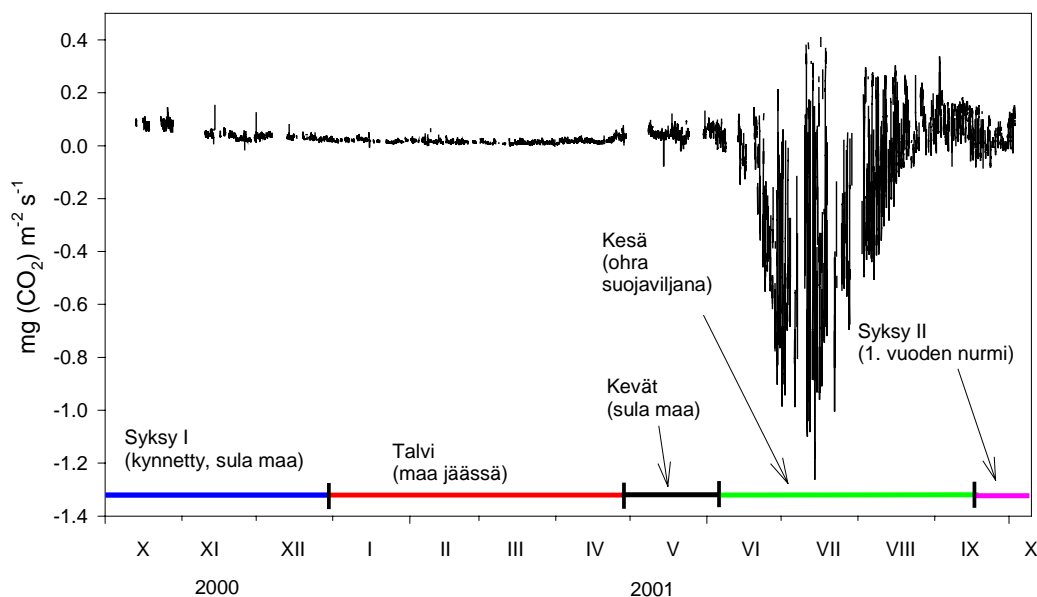
Kesällä 2001 ohran kasvua seurattiin mittaamalla ohran pituutta ja kasvuston lehtialaindeksiä (LAI) viikoittain. Kasvuston biomassamäärytyksiä tehtiin 2 - 3 krt/kk.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

Hiilidioksidin vaihto vuoden eri aikoina

Vuomittausaikasarjassa kasviton aika ja kasvukausi erottuvat selvästi toisistaan (Kuva 1). Pelto oli kynnöksellä lokakuun alusta toukokuun lopulle, jona aikana hiilidioksidin vuo maasta ilmaan oli tasaista ja pientä verrattuna kasvukauteen, jolloin sekä CO₂:n nettositominen (päiväarvot) että nettopäästö (yöarvot) olivat suuria.

Kasvittomalla ajalla kuukausittainen CO₂-päästö kynnetyistä turpeesta ilmaan oli 1 - 7 g m⁻² d⁻¹ (Kuva 2). Päästö oli pienimmillään maaliskuussa, jolloin myös maan lämpötila oli alimmillaan. Keski-



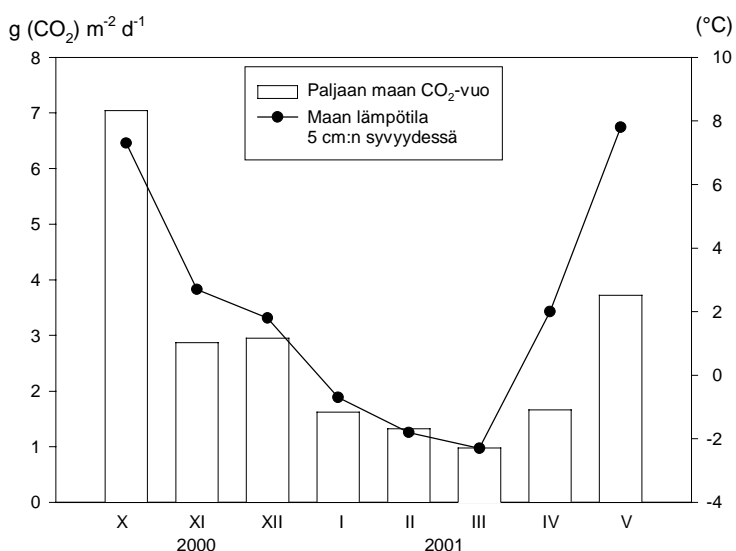
Kuva 1. Kovarianssimenetelmällä mitattu hiilidioksidin vaihto (puolen tunnin keskiarvoina) ajanjaksolla 12.10.2000 - 11.10.2001. Positiiviset arvot tarkoittavat CO₂:n nettovapautumista maaperästä ilmakehään, negatiiviset CO₂:n nettositontaa.

määräiset vuot olivat suurimpia lokakuussa kynnön jälkeen, jolloin maasta vapautui kaksi kertaa enemmän CO₂:a kuin toukokuussa, vaikka maan keskilämpötila oli sama. Ero johtui ilmeisesti siitä, että syksyllä maassa on vielä kesän jäljiltä runsaasti helposti hajoavaa kasvijätettä, joka on kevääseen mennessä pääosin hajonnut. Toisaalta myös muokkaus usein lisää hetkellisesti maan orgaanisen aineksen hajotusta ja kasvattaa CO₂-vuota maasta. Vuonna 2000 loka-, marras- ja joulukuun keskilämpötilat olivat noin 4 astetta keskimääräistä lämpimämpiä ja maa jäätynyt normaalia myöhemmin. Tuolloin mitatut vuot ovat todennäköisesti olleet suurempia kuin keskimääräisenä syksynä.

Toukokuun lopulla kylvetty ohra tuli oraalle kesäkuun alussa. Pian pensomisen alettua CO₂:n nettosidonta kasvoi voimakkaasti (Kuva 1). Ohran tähkälle tulo ajoittui heinäkuun alkupuolelle, jolloin mitattiin myös suurimmat hiilen nettosidonnan arvot, noin -1.1 mg (CO₂) m⁻² s⁻¹, ja suurimmat maa- ja kasvihengitystä kuvaavat yöarvot, noin 0.4 mg (CO₂) m⁻² s⁻¹. Myös lehtialaindeksi saavutti maksiminsa (LAI=6) samoihin aikoihin. Tämän jälkeen CO₂:n oton huippuarvot pienenevät melko tasaisesti syksyä kohden ohranlehtien kellastuessa. Ohran alta puinnin jälkeen paljastunut nurmenalku osoitti fotosynteesistä aktiivisuutta syysjaksos loppuun saakka. Maanpäällistä kasvibiomassaa oli syyskuun ensimmäiselle viikolle tultaessa kertynyt pellolle 980 g m⁻², josta siemensadon osuus oli noin puolet.

Turvepellon vuotuinen CO₂-tase

Ohraa kasvavasta turvepellosta vapautui vuoden aikana hiilidioksidia yhteensä noin 750 g m⁻² (Taulukko 1). Jyväbiomassaan sitoutunut hiili, noin 200 g C m⁻², ei sisälly tähän. Neljännes nettopäästöstä tapahtui talvella jäätyneen maan aikaan. Myös vuoden 2001 syysjaksolla pelto toimi hiilidioksidin lähteenä nurmesta huolimatta. CO₂:n päivittäistä nettosidontaa pellolla tapahtui pääasiassa kesäkuun viimeisen ja elokuun ensimmäisen viikon välisenä aikana. Kesäjaksos aikana maa- ja kasvihengityksen seurauksena vapautui hiilidioksidia enemmän kuin minkään muun jaksos aikana, yli 2000 g m⁻², mutta ohra- ja nurmikasvusto sitoivat samaan aikaan



Kuva 2. CO₂-vuon ja maan lämpötilan kuukausikeskiarvot kynnökseltä.

jotakuinkin yhtä paljon CO₂:a ja kesäjaksosn yli laskettu tase päätynyt hyvin lähellä nollaa. Mallituksen avulla voidaan arvioida, että kesäjaksosn aikana pelkän maahengityksen seurauksena pellosta vapautui noin 1000 g (CO₂) m⁻². Jos vuositase lasketaan käyttämällä kesäjaksosn kohdalla tätä maahengityksestä aiheutuvaa päästöä, tulee uudeksi vuositaseeksi noin 1700 g (CO₂) m⁻². Teoriassa tämä tulos edustaa jonkinlaista karkeaa arviota paljaan, kasvittoman turvemaan CO₂-vuositaseesta. Arvio on kuitenkin spekulatiivinen ja puhtaasti laskennallinen, perustuen pitkälti oletuksiin mallituksessa.

Jakso	g (CO ₂) m ⁻² jakso ⁻¹	Pellon ilmiasu
Syksy I (12.10 - 25.12.2000)	319 (4.4)	kynnetty, maa sula
Talvi (26.12.2000 - 27.4.2001)	183 (1.5)	kynnetty, maa jäässä
Kevät (27.4 - 31.5.2001)	115 (3.4)	kynnetty, maa sula
Kesä (1.6 - 20.9.2001)	19 (0.2)	ohraa (nurmi alla)
Syksy II (20.9 - 11.10.2001)	115 (5.5)	1. vuoden nurmi
12.10.2000 - 11.10.2001	751 (≈7500 kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	

Taulukko 1. Turvepellon vuotuinen hiilidioksiditaseen muodostuminen eri ajanjaksojen summana (positiivinen luku merkitsee CO₂:n nettopäästöä pellosta ilmaan). Sulkeissa keskimääräinen päiväpäästö kyseiseltä jaksolta.

Tasearvioimme 750 g (CO₂) m⁻² on hyvin lähellä Armentano & Mengesin (1986) turpeen vajoamisnopeuteen perustuvaa vuosipäästöarviota borealisella vyöhykkeellä sijaitsevalle viljellylle turvemaalle, 800 g (CO₂) m⁻². Maljanen ym. (2001) arvioivat kammionmenetelmään perustuen ohraa kasvavan tur-

vepellon vuositaseksi 1500 g (CO₂) m⁻². Ero johtuu osittain turvepeltojen toisistaan poikkeavista ominaisuuksista, kuten turpeen iästä ja laadusta. Osa erosta saattaa selittyä mittausmenetelmien välisillä eroilla. Koizumi ym. (1999) mittasivat pelkkää maahengitystä kammiomenetelmällä samalla pellolla, jossa tämä tutkimus on tehty. He arvioivat kasvittoman turvemaan CO₂-päästökseksi 5 kesäkuukauden ajalta lähes 1700 g m⁻². Tämä on yhtä paljon kuin oma arviomme kasvittoman pellon CO₂-päästöstä koko vuoden ajalta.

Johtopäätökset

Maatalouskäytössä olevan turvepellon hiilidioksiditase on arvioitu ensimmäisen kerran kovarianssimenetelmällä tehtyihin mittauksiin perustuen. Vuositas, 7500 kg ha⁻¹, on pienempi kuin aiemmat, lähinnä kammiomenetelmällä saadut arviot turvepelloilta vapautuvan hiilidioksidin määrästä. Tulos vahvistaa kuitenkin käsitystä viljelykäytössä olevista turvepelloista merkittävinä hiilidioksidin lähteinä. Tiedolla on käyttöä kansainvälisestäkin päästökerrointen tarkentamisen kannalta, sillä ojitettujen turvemaiden hiilidioksidipäästöjä ja -taseita on tutkittu vain vähän.

Turvepeltojen suuren kokonaispinta-alan vuoksi niiden rooli kansallisessa maatalouden kasvihuonekaasutaseessa on tärkeä. Jatkossa tulisikin selvittää, voidaanko viljelymenetelmiä muuttamalla estää hiilidioksidin vuotuinen nettovapautuminen turvemailta, tai voidaanko maatalouskäytössä oleva turvemaata muuttaa jopa hiilidioksidin nieluksi. Jos tällaisia keinoja ei löydy, on Kioto-prosessia silmälläpitäen tarpeen miettiä, pitäisikö näiden alueiden maankäyttöä pyrkiä ohjaamaan vähäpäästöisempään suuntaan. Päätöksenteossa on kuitenkin lisäksi huomioitava, että turvemaat ovat myös potentiaalisia dityppioksidin ja metaanin lähteitä, eikä mitään päätöksiä voida tehdä tuntematta näiden kaasujen syntymekanismeja, dynamiikkaa sekä vaikutusta kokonaiskasvihuonekaasutaseeseen turvemailta.

Armentano, T.V. & Menges, E.S. 1986. Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone. *J. Ecol.* 74, 755-774.

Aurela, M., Laurila, T. & Tuovinen, J-P. 2001. Seasonal CO₂ balances of a subarctic mire. *J. Geophys. Res.* 106, 1623-1637.

Koizumi, H., Kontturi, M., Mariko, S., Nakadai, T., Bekku, Y. & Mela, T. 1999. Soil respiration in three soil types in agricultural ecosystems in Finland. *Acta Agriculturae Scandinavica, B: Soil and Plant Science*, 49, 65-74.

LeDantec, V., Epron D., & Dufrene E. 1999. Soil CO₂ efflux in a beech forest: comparison of two closed dynamic systems. *Plant and Soil* 214, 125-132.

Maljanen, M., Martikainen, P.J., Walden, J. & Silvola, J. 2001. CO₂ exchange in an organic field growing barley or grass in eastern Finland. *Global Change Biol.* 7, 679-692.

Myllys M., 1996. Agriculture on peatlands. In: Vasander, H. (ed.): *Peatlands in Finland*. Finnish Peatland Society, Helsinki, p. 64-71.

Pipatti, R. 2001. Greenhouse gas emissions and removals in Finland. VTT Res. notes 2094, Espoo.

Ympäristöministeriö, 2000. Suomen kasvihuonekaasupäästöjen laskennan kehittäminen. Kaasutyöryhmän työraportti. Ympäristöministeriön monistesarja, 59.