

# Kasvihuonekaasut, soiden näkymättömät vaikuttajat

Jukka Alm

Hiiltä sisältävät "kasvihuonekaasut", kuten hiilidioksidi ja metaani, sitovat maapallon heijastamaa lämpöenergiaa tehostaen ilmakehän lämpenemistä. Ilmakehän kaasukoostumuksen ja lämpenemisen välillä on tietysti aina ollut yhteys. Teollisen ihmisen vaikutuksesta eräiden kaasujen määrä on kasvanut nopeasti viime vuosikymmeninä voimistaen ilmakehän kasvihuoneilmiötä. Muinoin syntyneitä fossiileja poltetaan energiaksi ja hiili on nyt äkkiä palaaamassa ilmakehään hiilidioksidina. Lisääntynyt riisinviljely ja märehittäjien kasvatus, kaatopaikkajätteen mätäneminen, maakaasuvuodot sekä biomassan poltto ovat puolestaan lisänneet metaanipäästöjä. Luonnon kosteikat osallistuvat hiilidioksidin ja metaanin taseisiin. Soisessa Suomessa varsinkin ojitettujen, mutta myös koskemattomien soiden hiilitase kiinnostaa meitä päästäjiä.

Suot muodostavat kasvihuonekaasujen kannalta tärkeän hiilen välivaraston, jonka vaihtoa ihmisen toimet tai ympäristömuutokset voivat horjuttaa. Voimistuneen kasvihuoneilmiön taustalla on luontainen kasvihuoneilmiö, jota ekosysteemien ainekierron säätävät. Soiden ainekiertoja tutkittiin laajassa hankekokonaisuudessa, Suosilmussa, osana 1995 päättynyttä Suomen ilmastomuutoksen tutkimusohjelmaa, Silmua. Joensuun yliopiston biologian laitoksen dos. Jouko Silvolan johtamassa projektissa keskityttiin hiilidioksidin ja metaanin dynamiikkaan erilaisilla suotyypeillä ja kasvillisuuspinnoilla. Eri projektien tulosten yhteenvetämisessä olisi vieläkin tehtävää. Silmun tähän mennessä julkaisemat tulokset ojitettujen soiden hiilitaseesta ovat olleet varovaisia ja osin ristiriitaisiakin. Ei mikään ihme, sillä jo luonnontilaisenkin suon tase on vaikeasti lähestyttävä. Hiilidioksidi on tärkeä, luonnon omaan hiilen kiertoon kuuluva kasvihuonekaasu. Elävä kasvillisuus ottaa ilmakehästä hiiltä yhteyttämisreaktiossa. Hajotus ja hengitys taas palauttavat hiiliyhdisteet ilmakehän kiertoon. Soissa pieni osa kuolleesta kasvimassasta kuitenkin joutuu veden alle, missä tehokas aerobinen hajotus pysähtyy. Veden alle vajonnut eloperäinen aines jatkaa hajoamistaan anaerobisen mikrobitoiminnan kautta, mutta niin hitaasti, että uuden karikkeen tuotto voittaa kulutuksen. Siksi maapallon suot ovat toimineet ilmakehän hiilidioksidin nieluna. Turvetta on ehtinyt kertyä pohjoisiin, 50. leveysasteen yläpuolisiin soihin jääkauden jälkeen liki sama määrä, kuin ilmassa on tällä hetkellä hiilidioksidia hiileksi laskettuna. Toisaalta hapeton hajotus tuottaa toista merkittävää kasvihuonekaasua, metaania, joka on hiilidioksidiaakin voimakkaammin ilmakehää lämmittävä kaasu. Pohjoisten soiden osuus maapallon luonnollisista vuotuisista metaanipäästöistä on noin 40 %. On ennustettu, että ilmakehän lämpeneminen lisää haihduntaa pohjoisilla leveysasteilla ja pohjavesipinta alenee. Viimeaikaiset tutkimustulokset Pohjois-Amerikasta ja Suomestakin osoittavat, että pohjavesipinnan laskeminen muutamia kymmeniä senttimetrejä normaalia alemmas voi kääntää suot hiilivirran nielusta lähteeksi. Säätökijät vaikuttavat herkästi sekä suon hiilidioksiditaseeseen että metaanipäästöön. Soiden sitomien ja päästämien kasvihuonekaasujen tasapaino saattaa horjautua ? ja ilmakehän kaasukoostumus edelleen muuttua.

## Suon hiilitase on herkkä

Jo turvekerrostumien olemassaolo todistaa soiden kerryttäneen hiiltä jääkauden jälkeen. Joensuun yliopiston apul.prof. Kimmo Tolosen ja MMK Jukka Turusen suuren geologisen turveaineiston perusteella keskimääräinen pitkäaikainen turpeen kertymä on ollut sadeveden ravinnevaroin elävillä kosoilla noin 24 g m<sup>2</sup> vuodessa ja valumavesien ruokkimilla nevoilla keskimäärin 15 g m<sup>2</sup>. Tämän lisäksi hiiltä valuu turpeen alaiseen kivennäismaahan, mistä sitä ei ennen osattu etsiäkään. Joskus suo on paikoin palanut, paikoin säästynyt kulolta, ja palon aiheuttama hiilen hävikki voidaan silloin arvioida hiilivarastojen erotuksesta. Kertymän vuosivaihtelusta on kuitenkin ollut mahdoton esittää tarkkoja arvioita geologisella menetelmällä. Suon hiilitase on sitä paitsi yhtä laikuinen kuin suo itsekin; mättäiden, välipintojen ja kuljujen kompositio.

Hiilikaasujen mittaukset paljastavat kaksi tärkeää vaihtelutekijää hiilitaseessa: ajallisen ja paikallisen vaihtelun. Kaasutasetta voidaan seurata muutaman sekunnin tarkkuudella eri kasvillisuustyypeillä. Hetkelliset mittaukset voidaan myös kytkeä auringon säteily, lämpötilan ja kosteuden vaihteluun. Lopputuloksena suon elämää voidaan jäljittää tunnista ja päivästä toiseen ja tilapahtumista koota koko vuoden hiilitase.

Tutkimuksissamme on paljastunut, että kun vuoden 1994 kuiva kausi touko-kesäkuun aikana alensi vesipintaa, turpeen hapellinen hajotus lisääntyi ja suon vuotuinen hiilitase järkkäsi. Kaasuvaihtelun perusteella arvioituna hiiltä karkasi rajusti. Eri kasvillisuuslaikuisissa tappio vaihteli neljästä aina 157 grammaan neliömetriltä. Eniten turvetta kului karheiksi kuivuneista mättäistä, vähiten vettä tirsuvilta sammalpinnoilta. Koko suon kato oli noin 90 g, lähes nelinkertainen verrattuna pitkäaikaiseen keskimääräiseen kertymään. Tuolloin aurinkoisien alkukesän aikana, parissa kuukaudessa, lommantsin seudulla satoi 9 cm vähemmän kuin edellisten 33 vuoden keskiarvo ennustaisi. Voidaan ajatella, että nykyisen ilmastovaihtelun rajoissakin suon hiilitase vaihtelee melkoisesti vuodesta toiseen &ndash; hiiltä täytyy tallettaa kosteina vuosina ylimäärin, jotta turvetta ylipäättään voisi kertyä suohon.

## Hiili haihtuu myös hangen alta

Aikaisemmin talvea pidettiin kaasututkijoiden konttoriaikana. Kuviteltiin, että jäätyneen maan kaasupäästöt olivat koko vuoden hiilitaseeseen verrattuna olemattomia. Näin ei todellisuudessa ole laita. Paksu lumi eristää tehokkaasti turvetta pakkasen jäätävältä vaikutukselta ja lämpötila laskee nollaan tai sen alapuolelle vain aivan pintaturpeessa. Jo metrin syvyydessä lämpötila voi säilyä neljän asteen yläpuolella aina helmikuulle. Tällä syvyydellä lämpötila kesälläkään tuskin kohoaa kymmentä astetta korkeammalle. Hajottajat voivat siis toimia läpi talven turpeessa. Talvella varsinkin hiilidioksidia vapautuu merkittäviä määriä. Hiilidioksidipäästöt olivat tutkimustemme perusteella jopa 34-51 % edellisen kasvukauden nettosidonnasta. Sellaisilla soilla, jotka kesäisin tuottavat runsaasti metaania, myös talviset päästöt olivat huomattavia, 8-15 % koko vuoden saldosta.

Turvetta hajosi talvella jopa enemmän kuin Suomen soihin keskimäärin kertyy hiiltä vuosittain! Aivan saman suuruusluokan tuloksia julkaistiin viime vuosina sekä Yhdysvalloista että Venäjältä. Näyttää siltä, että tulokset voitaisiin yleistää havumetsävyöhykkeen soita laajemminkin koskeviksi. Metsäojitettujen soiden talviset hiilidioksidipäästöt olivat selvästi luonnontilaisia korkeampia, mutta suhteessa vuoden mittaan turpeesta vapautuvaan hiilivirtaan niiden osuus oli samanlainen kuin luonnontilaisillakin soilla, 14-38 % suotyypistä riippuen. Talven merkitys on niin suuri, että sitä ei voi jättää huomiotta pohjoisten soiden hiilivirtojen tulevaisuutta arvioitaessa. Talvipäästöistä on kuitenkin vain vähän havaintoja. On selvää, että olosuhteet voivat vaihdella eri talvina ja kaasuvirrat niiden mukana.

## Entä jos ... ? Kaasutaseen tulevaisuus

Luonnontilaisen suon hiilitaseeseen suuri vaihtelevuus paljastaa ekosysteemin herkkyyden odotettavissa olevan ilmastomuutoksen suhteen. Pohjoisten soiden tulevaisuus hiilen nieluna riippuu sateiden ja lämpöjaksojen jakaumasta vuoden mittaan. Jos kesästä tulee kuiva, on todennäköistä, että turpeen hiilivarasto ohenee. Poikkeuksellinen vesipinnan aleneminen pienentää metaanipäästöä sellaisella suolla, jossa metaanintuotanto on normaalisti suurta. Kuivuvan suon ilmakehää lämmittävä vaikutus voi kompensoitua samanaikaisesta metaanipäästön pienentämisestä, sillä ilmakehään päässeeseen metaanin lämmitysvaikutus on hiilidioksidin verrattuna moninkertainen. Tällä tavoin käyttäytyviä suotyyppejä ovat valumavesien ruokkimat sarasuot ja karujenkin suotyypin kivennäismaihin nojaavat märät laitteet. Toisaalta märkä kesä voi lisätä turpeen kertymää, mutta tilapäisetkin lämpöjaksoit voivat voimistavat nopeasti metaanipäästöjä. Jos vesipinnat laskevat pysyvästi, metsän voi olettaa kasvavan kuten ojitetuilla soilla. Puuston ja varpujen lisäkasvu merkitsisi enentynyttä kariketuotantoa maan pinnalle ja maan alle hienojuuriston laajenemisen myötä. Niukkaravinteisella metsitettyllä suolla hiilen kertymän on joissakin oloissa havaittu jopa kasvaneen luonnontilaaan verrattuna. On kuitenkin mahdollista, että kuivat jaksot alentavat vesipintoja vain suhteellisen lyhyeksi aikaa ja pohjavesi palaa pinnan tuntumaan jo ensimmäisten sateiden myötä. Juuristolle ei siten välttämättä jää tarpeeksi aikaa kehittyä ojitamattomalla suolla, ja tilanne jää oleellisesti samaksi mikä tänäkin päivänä vallitsee puuttomilla soilla. Silti merkittävät määrät turpeen hiiltä häviöisi lyhyiden kuivien kausien aikana.

Esimerkivuoden 1994 kaltaisia kuivia alkukesiä on mitattu Ilomansin seudulla vain kaksi kertaa 33 vuoden pituisen vertailujakson aikana. Ilmaston lämmetessä kuivien kesien osuus saattaa kasvaa nykyisestä noin kuudesta prosentista. Hiilitaseen herkkyyks lyhyillekin kuiville kausille on melkoinen uhka pohjoisten soiden muodostamalle hiilen nielulle.

Entä talvella? Lumipeitteen tulo voi viivästyä, jos kasvukausi pitenee lämpenemisen seurauksena. Valon vähäisyys rajoittaa kuitenkin fotosynteesiä. Syksyn piteneminen johtaa todennäköisesti turpeen kylmenemiseen, ehkä paksumpaan routaantumiseen ja alentuneisiin hiilidioksididi- ja metaanipäästöihin talven mittaan. Vastaavasti aikainen lumentulo ja paksu hanki eristävät pakkasilta, säilyttävät lämpöä turpeessa ja lisäävät kaasupäästöjä.

Kevät voi olla kriittistä aikaa tulevaisuuden suon hiilitaseelle. Jos aikaistuva kasvukauden alku saa sammalet yhteyttämään ja kasvamaan jo varhemmin keväällä viileän pohjaveden aikana, jolloin turpeen hajotus on vähäistä, on hiilen nettosidonta sammalpeitteeseen suurta. Sama ilmiö voidaan havaita nykyäänkin keväisin. Kevät on oikeastaan ainoa jakso, jolloin soiden hiilen kertymän voidaan odottaa kasvavan lämpenevässä ilmastossa. Talven hiilitappiot alenevat vain siinä tapauksessa, että turvemaat jäähtyvät nykyistä nopeammin syksyllä.

Ilmakehän koostumuksen muutos vaikuttaa kasveihin myös suoraan. Hiilidioksidipitoisuuden kohoaminen voi periaatteessa kiihdyttää fotosynteesiä, käytetään hiilidioksidilannoitusta vihannesten tuotoksen parantamiseksi. Suokasvien tuotoksen kasvulla on myös seurauksensa, sillä hajotus lisääntyy. Kokeissa on havaittu lauhkean vyöhykkeen olosuhteissa ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kaksinkertaistumisen lähes tuplaavan turpeen metaanipäästön (Hutchin et al., Global Change Biology, 1995, 1, 125-128). Meidän oloisamme, viileässä ilmastovyöhykkeessä, dos. Silvolan ja FM Sanna Saamion kokeet näyttäisivät metaanipäästön kasvavan korkeintaan niukasti (Journal of Ecology, painossa). Kaikki kohonneen hiilidioksidipitoisuuden vaikutukset tulevat ehkä näkyviin vasta pitkäaikaisen altistuksen jälkeen, kun karike altistuu enemmän hajotukselle.

## *Vuosituhannet simuloidaan muutamassa sekunnissa &ndash; mitä historia opettaa*

Soistumisen historia on avain soiden nykyroolin ymmärtämiseksi. Jääkauden jälkeen, noin 9000 vuotta sitten, olosuhteet olivat viileässä ilmastossa soistumiselle otolliset; suota alkoi muodostua kosteisiin painanteisiin sitä mukaa kuin jään reuna vetäytyi. Turve pidatti yhä enemmän vettä ja suot levisivät vuosituhansien kuluessa nykyisiin mittoihinsa. Aluksi monet suot olivat ohutturpeisia lehti- ja puukorpiä, mutta puusto jäi pian saravaltaiten nevojen peittoon. Kivennäismaan ruokkimissa rehevässä soissa ainekierro oli nopeaa, ne keräsivät vähän hiiltä, mutta päästivät paljon metaania ilmakehään. Todennäköisesti atlanttisen lämpökauden ilmasto - kuusi ja puoli tuhatta vuotta sitten - kuivatti silloisia sarasoita. Kuitenkin vasta ilmaston viiletystä 3000 vuotta sitten suot karuuntuivat voimakkaan rahoittumisen myötä. Hajotus hidastui ja metaanimuodostus väheni niukkaravinteisilla rahkasoilla. Rahkaturpeen nopea paksuuskasvu merkitsi samalla suurta hiilen kertymää laajoilla alueilla lauhkealla vyöhykkeellä ja havumetsävyöhykkeen eteläosissa.

Soiden ja ilmakehän entinen ja nykyinen vuorovaikutus on eräs keskeinen globaalimuutostutkimuksen kohde. Tästä tärkeästä teemasta on keskusteltu voimakkaasti aivan viime aikoina, mutta mallilaskelmat ovat ainakin toistaiseksi olleet kiistanalaisia. Tulevaisuuden ilmaston ennustamisen kannalta on erityisen tärkeää arvioida soiden vuosituhantisen kehityksen vaikutusta ilmakehän kaasukoostumukseen. Ruotsalainen tutkija L. G. Franzén on 1990-luvun puolivälissä esittänyt, että suot viilentävät ilmastoa sitomalla ilmakehän hiilidioksidia turpeeksi ja säätelevät täten maapallon jääkausisykliä. Sama ajatus on tosin ollut luettavissa jo muutamaa vuotta aikaisemmin suomalaisen Aame Parikan kirjasta Hiilenpunainen lanka (Helsingin yliopisto, Lahden tutkimus- ja koulutuskeskus, Käihmisten yliopisto, Helsinki 1991). Ei Franzénin eikä Parikankaan mallissa kuitenkaan huomioitu leviävien soiden ilmakehää lämmittäviä metaanipäästöjä.

Suomen soiden osalta on nyt saatavissa tietoa suotyypeille ominaisista metaanipäästöistä ja hiilen kertymästä dosentti Pertti J. Martikaisen ryhmän työn tuloksena. Väitöskirjaani liittyi ensimmäinen tieteellisissä sarjoissa julkaistu simulaatio, jossa huomioitiin sekä kohosuon kolmiulotteinen hiilenkertymä että metaanipäästö. Työssä tarkasteltiin Somerolaisen Reksuon kehitystä. Paikkatietojärjestelmän avulla toteutettu malli voitiin kalibroida dos. Atte Korholan teettämien runsaiden radiohiiliajoitusten ja Geologian tutkimuskeskuksen suuren inventointitietokannan avulla; vastaava työmäärä on mahdollinen vain hyvin harvoilla koealoilla. Simulointimalli otti huomioon suokompleksin eri osien, laiteen, saranevan, reunaluisuun ja keskuslaakion pinta-alat ja tuotti uskottavan mallin maiseman soistumisesta. Suotyypien pinta-alojen avulla taas voidaan arvioida maiseman metaanipäästöä, jos oletetaan, että nykyisten vastaavien suotyypien tunnetut metaanipäästöt ovat oikeaa suuruusluokkaa. Kun sekä hiilen kertymän että metaanipäästön kehitys tunnetaan, voidaan soistuvan maiseman ja ilmakehän vuorovaikutusta arvioida koko jääkauden jälkeisenä aikana, Holoseenikaudella. Suon ja ilmakehän vuorovaikutuksen mallissa oletetaan yksinkertaisesti, että turpeeseen tallettunut hiili on vähentänyt ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta vastaavalla moolimäärällä. Siten turpeen kertymä viilentäisi ilmakehää. Tämä oletus saattaa myös olla väärä, sillä on mahdollista että valtamerien liuenneen hiilidioksidin kaasuuntuminen kompensoi turpeen kertymän aiheuttamaa hävikkiä. Turpeen hajotessa vapautuvan metaanin oletetaan vastaavasti lisäävän lämmittävien kasvihuonekaasujen pitoisuutta ilmakehässä. Laskelmassa metaanin lämmitysvaikutusta on kuvattu GWP-kertoimella 6,7 x hiilidioksidimolekyylin lämmitysvaikutus (Global Warming Potential, IPCC-raportti vuodelta 1995). Kyseinen arvo on IPCC:n raportin vaihteluvälin keskiarvo 500 vuoden vaikutusajalle laskettuna.

Reksuon GWP-historia kuvaa siis soistuvan maiseman ja ilmakehän välistä vuorovaikutusta. Sarasoiden hallitsema maisema lämmitti ilmakehää 6000 vuotta, sillä hiilen kiertä oli nopeaa: kertymä turpeeseen oli vähäistä ja metaanipäästö suhteellisen voimakasta. Suo matoi somerolaisten luo "hoikkana ja huohottavana" kuten toimittaja Matti Huuskonen erottoi (Helsingin Sanomat 17.8.1996). Rahoittuminen alkoi eteläsuomalaisella Reksuolla noin 5000 vuotta sitten. Voimakas hiilen kertymä rahoitturpeeseen ja väestämätön metaanipäästön aleneminen niukkaravinteiseksi muuttuneesta turpeesta saivat GWP-käyrän pian tasoittumaan ja laskemaan jyrkästi viimeisten 3000 vuoden kuluessa. Kaikkiaan vuosituhansien yli integroitu lämmitysvaikutus oli vain 24 % myöhempien aikojen viilennyksestä. Luonnontilaisen suon ominaisuudeksi yleisesti oletettava ilmastoa viilentävä vaikutus tuli kuitenkin todeksi vasta myöhäisessä rahkasuvaiheessa. Samalla logiikalla nykyiset ohuet, rahoittumattomat Pohjois-Suomen sarasuot siis yhä lämmittävät jääkauden jälkeistä ilmastoa.

Olipa oletus hiilen kertymän ilmakehää viilentävästä vaikutuksesta oikea tai väärä, soistumisen aikaansaaman metaanipäästön täytyi lämmittää ilmakehää varhaisina vuosituhansina jään vetäytymisen jälkeen. Suon rooli ilmaston suhteen on luultavasti antagonistinen: hiilen kertymän verran viilentävä ja metaanipäästön verran vaikuttaa. Monet tekijät voivat vaikuttaa näihin kaasuvirtoihin ja niiden keskinäisiin suhteisiin: "normaali" ilmaston vaihtelu, ihmisen maankäyttöä koskevat suorat valinnat ja taloudellisesta toiminnasta johtuvat epäsuorat valinnat, kuten saastuttaminen. Koska kolmasosa maamme pinta-alasta on turvemaata, ei ole samantekevää, millaisen fossiilisen hiilen nielun tai lähteen suot muodostavat. Asia on yhteiskunnallisesti merkittävä, sillä luonnon hiilinielujen ajatellaan kompensoivan energiantuotannon ja maankäytön muutosten aikaansaamia hiilidioksidipäästöjä. On silti muistettava, että soiden toiminta liittyy luontaisen kasvihuoneilmaston säätelyyn? Kaasuvirtojen peukaloitni ohittamalla tai ojitettuja soita uudelleen soistamalla ei johda luonnon kannalta kestävään lopputulokseen, ellei ilmakehän koostumusta muuttavia teollisen yhteiskunnan kaasupäästöjä ja voimistuvaa kasvihuonevaikutusta saada kuriin.

*Kirjoittaja työskentelee tutkijatohtorina Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitoksen, Joensuun yliopiston biologian laitoksen ja Helsingin yliopiston ekologian ja ympäristötieteiden laitoksen sekä Lammin biologisen aseman yhteishankkeessa "Radiatively important trace gas fluxes in boreal lakes". Tutkimusta rahoittavat Suomen Akatemia ja Nesslingin säätiö. Kirjoitus perustuu Joensuun yliopiston luonnontieteellisiä julkaisuja-sarjassa vuonna 1997 ilmestyneeseen väitöskirjaan "CO2 and CH4 fluxes and carbon balance in the atmospheric interaction of boreal peatlands" ja Vuoseuran vuosikokouksessa 27.1.1998 pidettyyn esitelmään.*

[TAKAISIN LEHDEN SISÄLLYSLUETTELOON](#)