
Turpeen energiakäytön hyödyt ja haitat

Tämä kannanotto kokoaa ja arvioi turpeen energiakäytön hyötyjä ja haittoja käytettävissä olevan tieteellisen tiedon avulla. Kannanotto tarkastelee myös turpeen polton ympäristövaikutuksia, energia-politiikkaa sekä suoluonnon monimuotoisuuden suojelua.

Timo Vesala - Yrjö Haila - Jouko Korppi-Tommola - Liisa Kulmala -
Annalea Lohila - Maarit Raivonen - Rauno Ruuhijärvi - Ilkka Savolainen



Suomalaisen Tiedeakatemian kannanottoja -sarja

Suomalainen Tiedeakatemia on riippumaton, kaikki tieteenalat kattava tutkijoiden yhteisö. Perinteisten tiedeakatemioiden tapaan se valitsee uudet jäsenensä tieteellisten ansioiden perusteella; kotimaisia jäseniä on nykyisin noin 650 ja ulkomaalaisia 200. Tiedeakatemian tehtävänä on edistää tieteellistä tutkimusta ja toimia tutkijoiden yhdyssiteenä. Tehtäväänsä se toteuttaa järjestämällä esitelmä- ja keskustelutilaisuuksia, kustantamalla tieteellisiä julkaisuja, myöntämällä apurahoja ja palkintoja, tekemällä aloitteita tiedettä ja tieteenharjoittajia koskevissa kysymyksissä sekä antamalla lausuntoja. Suomalaisten tiedeakatemioiden yhteinen Tiedeakatemijaosto hoitaa yhteyksiä sisärjestöihin ja kansainvälisiin tieteellisiin organisaatioihin.

Suomalainen Tiedeakatemia päätti aloittaa Kannanottoja-sarjan vuonna 2008. Sen raportit julkaistaan sekä painotuotteina että Tiedeakatemian verkkosivuilla www.acadsci.fi.

© Suomalainen Tiedeakatemia
Mariankatu 5
00170 Helsinki
www.acadsci.fi

Tekijät:

Timo Vesala, Yrjö Haila, Jouko Korppi-Tommola, Liisa Kulmala, Annalea Lohila,
Maarit Raivonen, Rauno Ruuhijärvi, Ilkka Savolainen

ISSN-L 1799-2575

ISSN 1799-2575 (painettu)

ISSN 1799-2583 (verkko)

ISBN 978-951-41-1061-0 (painettu)

ISBN 978-951-41-1062-7 (verkko)

Miksi tarvitaan kannanotto turpeesta?

Hallitusten välinen ilmastonmuutospaneeli IPCC on esittänyt laajassa, tutkimukselliseen aineistoon perustuvassa arviossaan ennusteen ilmastonmuutoksesta. Sen mukaan kasvihuonekaasujen määrän nykyinen lisääntyminen vielä usean vuosikymmenen ajan saa aikaan muun muassa ilmaston lämpenemistä ja siten tuhoisia vaikutuksia luontoon ja ihmiskunnan elinmahdollisuuksiin. Pystyäkseen täyttämään velvoitteensa kansainvälisessä ilmastonmuutoksen hillitsemistyössä myös Suomen tulee radikaalisti vähentää kasvihuonekaasupäästöjään.

Energiantuotanto, erityisesti fossiilisten polttoaineiden käyttö, aiheuttaa kasvihuonekaasujen päästöistä suurimman osan. Energiantuotanto on siis avainasemassa ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. Fossiiliset polttoaineet, kivihiili, öljy ja maakaasu, ovat laajasti käytössä, mutta eritoten Suomessa poltetaan energiaksi myös turvetta. Turpeen uusiutuminen on kuitenkin hyvin hidasta ja polton aiheuttamat päästöt huomattavat. Turpeen energiakäyttö on tällä hetkellä laajasti esillä poliittisessa keskustelussa, mutta tieteellisiä argumentteja sen hyödyistä ja haitoista ei vielä ole koottu kattavasti ja tiiviisti yhteen.

TYÖRYHMÄ

Prof. Timo Vesala (Helsingin yliopisto, puheenjohtaja), prof. Yrjö Haila (Tampereen yliopisto), prof. Jouko Korppi-Tommola (Jyväskylän yliopisto), MMM Liisa Kulmala (Helsingin yliopisto), FT Annalea Lohila (Ilmatieteen laitos), MMT Maarit Raivonen (Helsingin yliopisto), prof. emer. Rauno Ruuhijärvi (Helsingin yliopisto), prof. Ilkka Savolainen (Valtion teknillinen tutkimuskeskus)

Sisällys

TIIVISTELMÄ	5
1 JOHDANTO	8
Energiantuotanto aiheuttaa valtaosan kasvihuonekaasupäästöistä	8
Soiden esiintyminen maapallolla	9
Turpeen energiakäytön edut ja haitat	9
Kansainväliset ilmastopöytäkirjat vaativat huomattavia päästörajoituksia	10
2 SUOMEN SUO- JA TURVEVARAT	12
Suo- ja turvevarat	12
Soiden hiilenkierto	13
Suot sitovat hiilidioksidia	13
Suot tuottavat suuria määriä metaania	13
Ilmaston lämpenemisen vaikutus suon hiilenkiertoon	14
3 SOIDEN SUOMI ENNEN JA NYT	15
Suot luonnontilassa	15
Suoluonnon muutos	16
Soiden hyödyntäminen	16
Viljelykäyttö	16
Energiaa turpeesta	16
Metsäojitus	17
Suoluonnon suojeleminen ja uhanalaisuus	17
4 SOIDEN HYÖDYNTÄMISEN KASVIHUONEKAASUVUOT JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	19
Kasvihuonekaasuvuo kertoo kaasujen kulun	19
Kasvihuonekaasuvuon mittaustekniikat	19
Metsäojitettujen soiden ja suo- ja turpeiden kasvihuonekaasuvuot	21
Suopellot vapauttavat hiilidioksidia ja typpioksidia	21
Metsäojitettujen soiden hiilitaseet vaihtelevat ojitusalalan mukaan	23
Turpeen korjuun ja polttamisen tekniikat	25
Turpeen korjuu	25
Turpeen vesi- ja happipitoisuudet laskevat sen energiasisältöä	26
Seospolttaminen vähentää hiukkaspäästöjä	26
Turpeen energiakäytön kasvihuonevaikutus elinkaarinäkökulmasta	27
Säteilypakote	28
Kasvihuonevaikutuksen laskenta	29
Kivihien, maakaasun ja turpeen päästökertoimet	30
Suurin kasvihuonevaikutus luonnontilaisen sekä metsäojitetun suon turpeen poltosta	31
Elinkaarianalyysin tulosten epävarmuus	32
Vertailu muihin tutkimuksiin	34
Turvetuotannon vesistövaikutukset	35
5 TURPEEN ENERGIÄKÄYTÖN KRIITTISET VALINNAT	36
Taloudelliset ja sosiaaliset ulottuvuudet	36
Työllisyysvaikutukset	36
Turve energiahuollossa	37
Soidensuojelun ja turpeenoton ristiriidat	38
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	40
KESKEISET KÄSITTEET	42
VIITTEET	47

Tiivistelmä

SUOT OVAT MERKITTÄVÄ OSA SUOMEN LUONTOA

Soiden osuus Suomen maapinta-alasta on noin kolmasosa, josta metsäojitettuja soita noin puolet eli noin 4,9 miljoonaa hehtaaria. Ojittamattomia soita on 4,0 miljoonaa hehtaaria, ja näistä suurin osa sijaitsee Pohjois-Suomessa. Turpeen ottoon soveltuvaa suota on noin 1,2 miljoonaa hehtaaria, josta tällä hetkellä käytössä on noin 100 000 hehtaaria. Seuraavan kahdenkymmenen vuoden lisätarpeeksi on arvioitu 80 000–100 000 hehtaaria.

TURVE UUSIUTUU VUOSITUHANSIEN KULUESSA, MINKÄ VUOKSI SITÄ EI LUOKITELLA UUSIUTUVAKSI POLTTOAINEEKSI

Luonnontilaisina suot sitovat ilmakehän hiiltä turpeeksi. Lopulta vain 1–15 % suon kasvustosta siirtyy turpeen syntymiselle otolliseen ja veden kyllästämään ympäristöön. Turpeen ja sen tuotantoon soveltuvan suon syntymiseen kuluu tuhansia vuosia. Turvetta ei siis voi pitää uusiutuvana polttoaineena ilmastopoliitikan edellyttämässä aikamittakaavassa, vaikka Suomessa esiintyykin pyrkimyksiä poiketa kansainvälisestä määrittelystä.

SUOMESSA TURVETTA HÄVIÄÄ ENEMMÄN KUIN UUTTA TURVETTA MUODOSTUU

Turpeen korjuu ja poltto sekä ojituksen aiheuttama turpeen hajoaminen vähentävät turpeen määrää ja aiheuttavat Suomessa 22–24 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöt vuosittain. Luonnontilaisilla soilla muodostuu uutta turvetta, mikä vastaa keskimäärin noin viiden miljoonan tonnin hiilidioksidinielua. Kaikkiaan turpeen määrä vähenee Suomessa, ja turvemaat sekä niiden hyödyntäminen ovat huomattava hiilidioksidin lähde.

TURPEELLA TUOTETAAN VUOSITTAIN LÄMPÖ- JA SÄHKÖENERGIAA YHTEENSÄ NOIN 25 TWh

Suomen turvevaranto luokitellaan kotimaiseksi energiareserviksi silloin, kun sen korjuuseen ja käyttöön liittyvä teknologia on olemassa. Turpeella tuotetaan lämpö- ja sähköenergiaa nykyisin yhteensä noin 25 TWh vuodessa, mikä on ollut 5–7 % maan primaarienergian kulutuksesta. Turpeenkorjuu on hyvin riippuvainen sääolosuhteista, mikä sateisina kesinä vähentää turpeen osuutta maamme energiantuotannossa.

ILMASTONMUUTOKSEN HILLINTÄ VAATII VOIMAKASTA KASVIHUONEKAASUJEN PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISTÄ

Ilmastonmuutos on seuraus kasvihuonekaasujen lisääntymisestä ilmakehässä. Energiantuotanto, erityisesti fossiilisten polttoaineiden käyttö, aiheuttaa suurimman osan kasvihuonekaasupäästöistä. Pystyäkseen täyttämään osuutensa kansainvälisessä ilmastonmuutoksen hillitsemisessä Suomen tulee pitkäjänteisesti vähentää fossiilisten polttoaineiden lisäksi myös turpeen energiakäyttöä. Päästölukemat asukasta kohden ovat Suomessa suuremmat kuin EU:ssa keskimäärin. On oletettavissa, että Suomen tulisi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vuoteen 2050 mennessä peräti 80 % vuoden 1990 tasosta.

TURPEEN POLTOSTA SYNTYY SAMAA SUURUUSLUOKKAA OLEVA KASVIHUONE-VAIKUTUS KUIN KIVIHIILESTÄ

Turpeen osuus Suomen hiilidioksidipäästöistä vaihtelee vuosittain 13–20 prosentin välillä. Nykyisin käytännössä kaikki turve-energia tuotetaan luonnontilaisilta ja metsäojitetuilta soilta nostetulla poltoturpeella. Tämä menettely aiheuttaa sadan vuoden aikajänteellä arvioituna samaa luokkaa olevan kasvihuonevaikutuksen energiayksikköä kohden kuin kivihiihi.

MAATALOUSKÄYTÖSSÄ OLEVIEN TURVEMAIDEN JA METSÄOJITETTujen SOIDEN HYÖDYNTÄMINEN ON ILMASTOYSTÄVÄLLISINTÄ

Maatalouskäyttöön raivatut suot eli suopellot ja metsäojitetut suot ovat merkittäviä kasvihuonekaasujen päästölähteitä. Turpeen nostaminen näiltä turvemailta energiakäyttöön vähentää kasvihuonevaikutusta jossakin määrin ja on siksi suositeltavaa. Näiden turvemaiden hyödyntäminen energiaturpeeksi on vähäistä, eikä alueiden päästöjä ole otettu huomioon polttoturpeen tuotantokohteita valittaessa.

LUONNONTILAISIA SOITA EI TULISI OTTAA ENERGIÄKÄYTTÖÖN

Suomen eteläosien suoluontotyypeistä 77 % on määritelty uhanalaisiksi tai silmälläpidettäviksi. Turveteollisuus hyväksyy kyllä luonnontilaisten soiden säilyttämisen, mutta haluaa ottaa käyttöönsä omistamansa tai vuokraamansa luonnontilaiset alueet. Näitä suoalueita tarvittaisiin kuitenkin suoje-luohjelman täydennykseksi tai paikallisia virkistystarpeita varten. Turveteollisuuden toiminta on myö-ristiriidassa kansainvälisen turveteollisuuden valmisteleman vastuullisen soiden käytön strategian kanssa.

NYKYINEN YMPÄRISTÖLUPAMENETTELY EI RIITÄ TURVAAMAAN LUONNONTILAISTEN SOIDEN SÄILYMISTÄ

Turvetuottajien hallussa olevasta suoalasta noin puolet on ojittamatonta. Energiaturpeen tuottaminen näiltä soilta edellyttää ojitusta ja vaarantaa siten monien lajien ja suoluontotyyppien esiintymisen sekä heikentää soiden mahdollistamia ekosysteemipalveluja kuten virkistysmahdollisuuksia. Turvetuotta-jien luvanhuo uhkaa muun muassa niitä EU:n luontodirektiiviin kuuluvia suoluontotyyppisiä, joista Suomella on erityisvastuu. Nykyinen ympäristölupamenettely ei suojele riittävästi luonnontilaisia soita eikä ohjaa tuotantoa alueille, joiden käyttö olisi myös ilmastonäkökulmasta perusteltua.

UUDELLA KORJUUTEKNIKALLA VOIDAAN VÄHENTÄÄ TUOTANTOVAIHEEN PÄÄSTÖJÄ, JOTKA OVAT KUITENKIN VÄHÄISIÄ ELINKAAREN KOKONAIS-PÄÄSTÖIHIN NÄHDEN

Turpeen energiakäytön kokonaiskasvihuonevaikutuksesta 90 % on peräisin turpeen poltosta. Uudella tuotantotekniikalla voidaan korjuun päästöjä vähentää jopa kolmannekseen, mutta uusi tuotantotekniikka ei kuitenkaan riitä merkittävästi vähentämään kokonaispäästöjen määrää.

SUON JÄLKIKÄSITTELY TURPEENNOSTON JÄLKEEN PIENENTÄÄ KASVIHUONE-VAIKUTUSTA VAIN VÄHÄN

Turpeen tuotantoalueen metsitys tai ruokohelven istuttaminen on jonkin verran soistamista ilmastoystävällisempi vaihtoehto. Jälkikäsitteilytoimenpiteet eivät kuitenkaan merkittävästi pienennä turpeen energiantuotannon kokonaiskasvihuonevaikutusta.

TURPEEN JA BIOPOLTTOAINEIDEN YHTEISPOLTTO VÄHENTÄÄ HIUKKASPÄÄSTÖJÄ

Useissa voimalayksiköissä käytetään turvetta yhdessä biopolttoaineiden, erityisesti puun kanssa, koska seospoltossa kattilan lämmönsiirtopinnat kestävät korroosiota paremmin kuin biomassoja poltettaessa. Seospoltto vähentää myös pienhiukkaspäästöjä: noin 30 % turvelisäys biomassapohjaiseen polttoai-neeseen vähentää hiukkaspäästöjä jopa kolmannekseen.

TURPEEN NOSTOALUEILTA PURKAUTUVAT VALUMAVEDET KUORMITTAVAT ALAPUOLISIA VESISTÖJÄ

Euroopan unionin vesipolitiikan puitedirektiivi (2000) edellyttää, että myös turvetuotannon vesien-suojelua tehostetaan. Kuormitusta voidaan vähentää merkittävästi ympäristölupaehojien edellyttämällä vesiensuojelutoimilla ja käyttämällä parasta mahdollista tekniikkaa. Vesiensuojelussa yleisesti käytetyt laskeutusaltaat voivat toimia huonosti erityisesti tulva-aikoina ja rankkasateiden aikana.

BIOPOLTTOAINEIDEN YLEISEMPI KÄYTTÖ TYÖLLISTÄISI TURVETUOTANNOSSA NYKYISIN TYÖSKENTELEVIÄ

Polttoturpeen hajautettu tuotanto ja alkukäsittely tukevat syrjäseutujen paikallista työllisyyttä ja taloutta noin 7000 henkilötyövuodella. Luvusta noin puolet koostuu epäsuorista henkilötyövuosista. Turpeen käytön alueellisista työllisyysvaikutuksista tarvitaan vielä luotettavia selvityksiä. Suuri osa työpaikoista säilyisi, vaikka turpeen tilalla korjuussa ja voimaloissa olisi jokin muu biopolttoaine. Toisaalta turpeennostosta seuranneet vesistövauriot esimerkiksi Pohjois-Karjalassa ovat aiheuttaneet haittoja muille paikallisille elinkeinoille, kuten kalastukselle ja matkailulle.

TURVETUOTANNON INFRASTRUKTUURIA SOVELLETTAVA BIOPOLTTOAINEIDEN KÄYTTÖÖN/ TUOTANTOON

Nykyinen alueellisesti ja paikallisesti hajautettu kotimaiseen polttoaineeseen perustuva energiantuotannon infrastruktuuri tulee säilyttää muun muassa biopolttoaineen tuotantoa varten. Lyhyellä aikavälillä turpeen energiakäyttöä ei ole perusteltua eikä mahdollistakaan muuttaa. Pidemmällä, 10–20 vuoden ajanjaksolla, tulisi pyrkiä sekä lisäämään biopolttoaineiksi luokiteltujen polttoaineiden osuutta kiinteitä polttoaineita käyttävissä voimaloissa että kehittämään biopolttoaineiden hankintaa. Tämä vastaa hallituksen kevään 2010 päätöstä pyrkiä lisäämään puuhakkeen käyttöä turvetta ja puuta polttavissa voimaloissa. Biopolttoaineiden lisääminen vähentäisi turpeen osuutta ja sen aiheuttamia suurehkoja kasvihuonekaasujen päästöjä.

TURVETUOTANNON TUKEMINEN EI VASTAA KESTÄVÄN ENERGIANTUOTANNON PERIAATTEITA

Turpeen käyttöä tuetaan vero- ja tariffipolitiikalla, mikä on pitkään pitänyt turve-energian kilpailukykyisenä ja sen hinnan alhaisempana kuin mitä turpeen polton ympäristövaikutukset edellyttäisivät. Koska turve on kasvihuonevaikutuksiltaan rinnastettavissa fossiilisiin polttoaineisiin, tulisi tukia harkitta pitäen mielessä pitkäjänteinen energiapolitiikka.

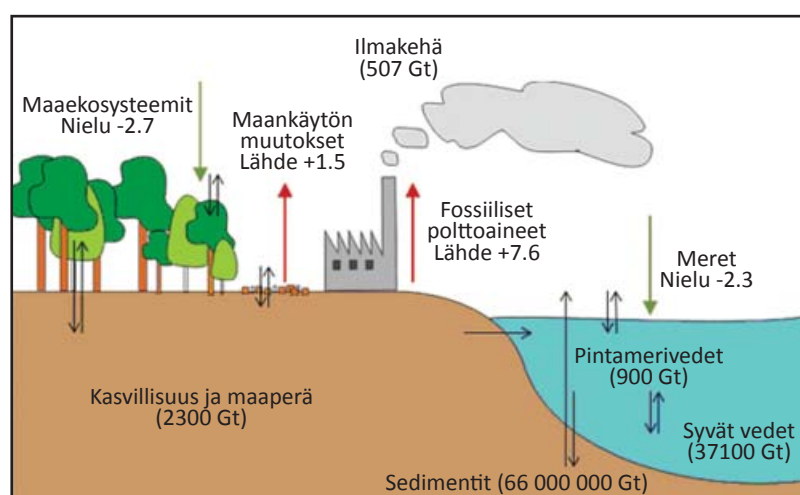
1. Johdanto

Energiantuotanto aiheuttaa valtaosan kasvihuonekaasupäästöistä

Ilmaston lämpeneminen on yksi suurimmista, ellei suurin ihmiskunnan tulevaisuutta uhkaavista haasteista. Ilmaston lämpeneminen on seurausta kasvihuonekaasujen pitoisuuden lisääntymisestä ilmakehässä, mistä hallitusten välinen ilmastonmuutospaneeli IPCC on esittänyt laajat tutkimuksellisiin aineistoihin perustuvat arviot vuosien 1990, 1994, 1995, 2001 ja 2007 raporteissaan. Mikäli kasvihuonekaasujen määrä ilmakehässä lisääntyy vielä usean vuosikymmenen ajan, maapallon ilmasto muuttuu niin paljon, että sillä on tuhoisia vaikutuksia ihmiskunnan elinmahdollisuuksiin (Schneider 2009).

Energiantuotanto, erityisesti fossiilisten polttoaineiden käyttäminen, aiheuttaa suurimman osan kasvihuonekaasujen päästöistä (Kuva 1). Fossiiliset polttoaineet ovat muodostuneet hyvin pitkien ajanjaksojen kuluessa maankuoreen hautautuneista eloperäisistä aineksista: kivihiili on syntynyt kivihiilikauden saniametsien kasvien jäännöksistä, öljy ja maakaasu pääosin vesistöjen planktoneliöstöstä. Suokasvien jäännöksistä peräisin oleva turve on geologisesti huomattavasti nuorempaa kuin kivihiili ja öljy, mutta siihenkin on sitoutunut ilmakehän hiilidioksidia (CO_2).

Fossiilisten polttoaineiden hautautumisella on geologisten ajanjaksojen kuluessa ollut merkittävä vaikutus maapallon ilmastoon: suuri määrä hiiliyhdisteitä eli orgaanista ainesta on siirtynyt pois ekologisesta kiertokulusta. Geologisessa aikamittakaavassa hiilidioksidia on myös hautautunut kalsium- ja magnesiumkarbonaatteina muinaisten merien pohjasedimentteihin ja sitä kautta kalkkikivikerrostumiin. Tämä mekanismi on tuottanut hiilen ”geofysiologisen” kiertokulun, jonka kaikkia yksityiskohtia ja suhteellista merkitystä ei vielä osata arvioida (Berner 1998, Beerling & Berner 2005, Wilkinson 2006). Geologiseen hiilen kiertoon liittyvät vuosittaiset hiilen virrat ovat kuitenkin melko pieniä. Huomattavasti suuremmat hiilen virtaukset liittyvät hiilen biosfäärikiertoon ilmakehän ja meren sekä ilmakehän ja maaekosysteemien välillä.



Kuva 1: Hiilen luonnollinen kiertokulku, lähteet ja nielut (miljardia tonnia vuodessa) sekä maapallon hiilivarastot (IPCC 2007, Lunikka 2008, Canadell ym. 2007). Maapallon hiilestä suurin osa on sitoutunut sedimentteihin ja sedimenttikiviin (Lunikka 2008). Lisäksi nykyihminen on siirtänyt suuria määriä hiiltä ilmakehään hävittämällä metsiä ja käyttämällä fossiilisia polttoaineita.

Fossiiliset polttoaineet ovat olleet teollisuuden käyttövoima. Kivihiilen laajamittainen käyttö alkoi teollistumisen yhteydessä 1700-luvulla; öljyn ja maakaasun käyttö yleistyi polttomoottorien laajan käytön myötä 1900-luvun alkupuolelta lähtien (Smil 2008). Fossiilisia polttoaineita käytetään myös teollisten prosessien raaka-aineina, mutta energiakäyttö on ylivoimaisesti merkityksellisintä.

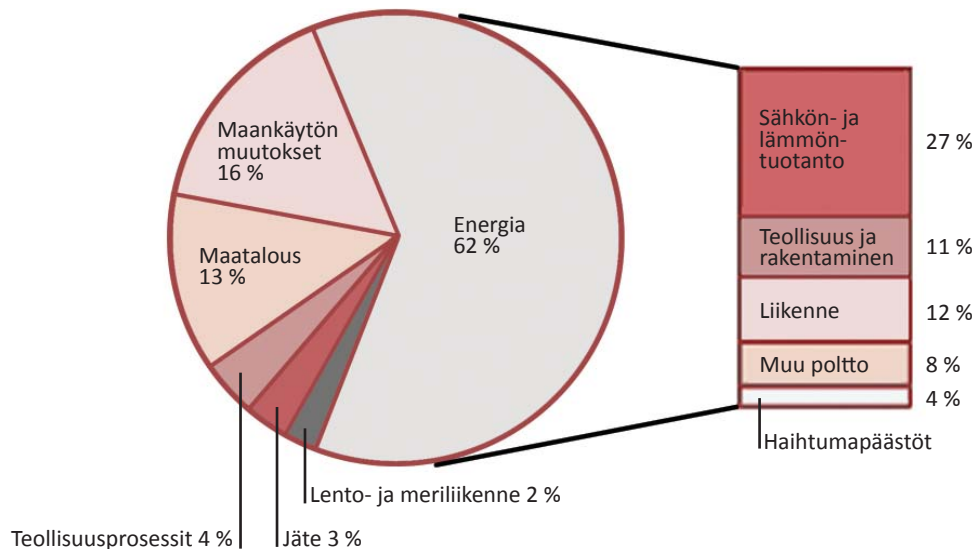
Maatalous sekä maankäytön muutokset, kuten trooppisten metsien hävitys ovat myös olleet kasvihuonekaasujen päästölähteitä, mutta energiantuotanto on avainasemassa pyrittäessä torjumaan ilmaston lämpenemistä (Kuva 2).

Soiden esiintyminen maapallolla

Soita on maapallolla yli neljä miljoonaa neliökilometriä eli noin 3 % maan ja makean veden alasta. Soita on eniten pohjoisen pallonpuoliskon lauhkeilla ja viileillä lehti- ja havumetsien vyöhykkeillä sekä tropiikin kosteilla alueilla. Suot sisältävät arviolta kolmanneksen maaperän hiilestä ja 10 % makeasta vedestä (Joosten & Clarke 2002). Luonnontilaisina ne sitovat ilmakehän hiiltä turpeeksi 1–15 % soissa vuodessa kasvaneesta biomassasta. Soihin vuosituhansien aikana kertynyt hiili riittäisi ilmakehään vapautuessaan kaksinkertaistamaan ilmakehän hiilipitoisuuden.

Turpeen energiakäytön edut ja haitat

Turpeen energiakäyttöä arvioitaessa on pohdittava sekä Suomen energiapolitiikkaa että ilmastopolitiikkaa. Vaikka Suomen turvevarat ovatkin huomattavan suuret, niiden käyttö energianlähteenä aiheuttaa huomattavia haittoja. Ensiksikin turpeen uusiutuminen on hidasta: kerran käytetyn esiintymän uusiutuminen kestää tuhansia vuosia. Siksi turvetta ei voi pitää uusiutuvana polttoaineena ilmastopolitiikan edellyttämässä aikamittakaavassa. Lisäksi turpeen polton ilmastovaikutukset ovat jokseenkin samaa luokkaa kuin kivihiilen. Toisaalta turve on kotimainen polttoaine, ja turpeen nosto energiakäyttöön on



Kuva 2: Maailman kasvihuonekaasujen päästöt lähteittäin vuonna 2005 (VTT 2009). Päästöjen kokonaismäärä on n. 46 miljardia tonnia hiilidioksidiekvivalentteina. Energiasektori aiheuttaa suurimman osan päästöistä. Maatalous ja maankäytön muutokset ovat myös merkittävä päästöjen lähde.

paikallisesti tärkeä työllistävä tekijä. Lisäksi suot ovat merkittävä osa Suomen luontoa sekä luonnon-suojelullisesti että kulttuurisesti.

Turpeen energiakäyttöä koskevassa päätöksenteossa on tehtävä valintoja sellaisten vaihtoehtojen välillä, joista mikään ei ole vailla haittavaikutuksia. Olennainen ongelma on se, että fossiilisten polttoaineiden avulla tuotettua energiaa kulutetaan tällä hetkellä liikaa, minkä kasvihuonekaasujen kertyminen ilmakehään osoittaa. Ongelmaan ei ole tiedossa selvää ratkaisua, vaan päästöjä on pyrittävä vähentämään monin eri keinoin ja useilla eri tahoilla. Keskeistä on parantaa energian käytön hyötysuhdetta sekä vähentää energian käyttöä. Koska nykyisten teollistuneiden yhteiskuntien hyvinvointi ja elämäntavat perustuvat helposti saatavilla olevaan halpaan energiaan, energiankulutuksen välitön leikkaaminen tässä ja nyt ei ole mahdollista.

Energiankulutusta ja turpeen polttoa koskevissa ratkaisuisissa on keskityttävä samanaikaisesti energian tuotannon ja käytön järjestelmien kehittämiseen sekä energian käytön vähentämiseen. Erityisen tärkeää on muistaa, että pitkän aikavälin tavoitteet eivät toteudu välittömästi nyt tehtävien ratkaisujen seurauksena, mutta välittömät ratkaisut voivat joko edistää tai estää pitkän tähtäyksen tavoitteiden saavuttamista.

Kansainväliset ilmastopöytäkirjat vaativat huomattavia päästörajoituksia

Kansainvälisen ilmastopolitiikan lähtökohtana on Rio de Janeirossa 1992 solmittu ilmastopöytäkirja, jossa asetettiin tavoitteeksi ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuuden rajoittaminen vaarattomalle tasolle. Kioton kokouksessa vuonna 1997 laadittu pöytäkirja määritteli vain vähäisiä rajoituksia kehittyneiden maiden kasvihuonekaasujen päästöille. Kioton sopimuksen voimassaoloaika päättyi 2012 ja neuvottelut uudesta päästörajoituspöytäkirjasta ovat meneillään.

Kööpenhaminan ilmastokokouksessa joulukuussa 2009 tehtiin uusi sitoumus, jotta välttäisimme ilmastonmuutoksen suurimmat haitat: maapallon keskilämpötilan nouseminen tulee pysäyttää kahden asteen tasolle esiteolliseen aikaan verrattuna. Tämä tavoite saavutettaisiin IPCC:n mukaan vähentämällä maailman kasvihuonekaasujen päästöjä 50–85 % nykytasosta vuoteen 2050 mennessä. Maapallon väestö ja talous kasvavat kuitenkin lähivuosikymmeninä huomattavasti, ja siksi energian kysyntä tulee lisääntymään. Jotta päästöjen kehitys saataisiin kahden asteen tavoitetta vastaavaksi, kehittyneiden maiden päästöjen tulisi IPCC:n mukaan jäädä vuonna 2020 peräti 25–40 % alle vuoden 1990 tason ja vastaavasti kehitysmaiden päästöt olisivat 15–30 % kunkin vuoden kehityssennustetta pienemmät.

Nyt EU on sitoutunut vähentämään päästöjä 20 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä, ja mikäli EU:n ulkopuoliset maat sitoutuvat 30 %:iin, myös EU-maat ovat valmiita vähentämään päästöjä saman verran. Suomen tulee siis vähentää päästöjään EU:n sitoumusten mukaisesti. Tämän lisäksi EU:n ympäristöneuvosto (ympäristöministerit) esittää, että vuoteen 2050 mennessä kehittyneet maat vähentäisivät päästöjään 80–95 % vuoden 1990 tasosta, mikä vastaa IPCC:n arviota tarpeellisesta päästöjen vähennyksestä teollisuusmaissa.

Suomen päästölukemat olivat vuonna 2009 asukasta kohden suuremmat kuin EU:ssa keskimäärin muun muassa Suomen energiaintensiivisen teollisuuden rakenteen takia. Suomelle on asetettu veloitteeksi vähentää EU:n päästökauppajärjestelmän ulkopuolisten laitosten päästöjä 16 % vuoden 1990 tasosta. Tämä tarkoittaa muiden muassa pieniä turvetta käyttäviä voimalaitoksia, jotka eivät kuulu päästökaupan piiriin toisin kuin suuret turvevoimalat. Taakanjaon perusteella on oletettavissa, että

Suomen päästöjen vähennystavoite olisi suunnilleen 70–80 % tai ehkä enemmänkin taakanjaon määrittelytavan mukaan (Soimakallio ym. 2006, Savolainen ym. 2008).

Esiteolliseen aikaan verrattuna maapallon ilmakehä on lämmennyt vain noin 0,8 astetta huolimatta siitä, että ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuudet ja säteilypakote ovat nousseet huomattavasti. Kaksi tekijää on estänyt ilmakehää lämpenemästä enempää: ihmistoimet ovat lisänneet ilmakehän hiukkaspitoisuutta, joka viilentää ilmakehää, ja valtameren pintakerroksen suuri lämpökapasiteetti on hidastanut lämpötilan kohoamista. Hiukkaspäästöjä tullaan kuitenkin vähentämään niiden aiheuttamien terveysvaikutusten vuoksi. Hiukkaspäästöt säilyvät ilmakehässä vain noin viikon, minkä vuoksi viilentävä vaikutus tulee heikkenemään nopeasti päästöjen vähetessä. Tämän vuoksi on odotettavissa, että maapallon keskilämpötila nousee muutaman vuosikymmenen viiveellä (IPCC 2007).

2. Suomen suo- ja turvevarat

Noin kolmannes Suomen maapinta-alasta luokitellaan suoksi. Nämä noin 10 miljoonaa suohehtaaria ovat muodostaneet viimeisimmän jääkauden jälkeen merkittävän turvehiilivaraston, jota pääosin maa- ja metsätalous on jossain määrin pienentänyt viimeisten 50 vuoden aikana. Turpeen sisältämän energiamäärän on arvioitu riittävän tyydyttämään Suomen nykytasaisen primaarienergiatarpeen noin 70 vuoden ajan. Mikrobitoiminta muuntaa osan suohon sidotusta orgaanisesta aineesta metaaniksi. Suomen märiltä luonnontilaisilta sarasoilta on mitattu metaanipäästöjä, jotka ovat samansuuruisia kuin eteläisten riisipeltojen päästöt.

Ilmaston lämpeneminen kuitenkin muuttaa soiden kasvihuonekaasuja tuottavia prosesseja. Määrällisiä muutoksia ei voida luotettavasti arvioida, mutta näyttää todennäköiseltä, että hiilidioksidia tulee sitoutumaan Pohjois-Suomen soihin yhä enemmän. Lämpenemiseen liittyvä suon pinnan kuivahtaminen puolestaan pienentää metaanipäästöjä.

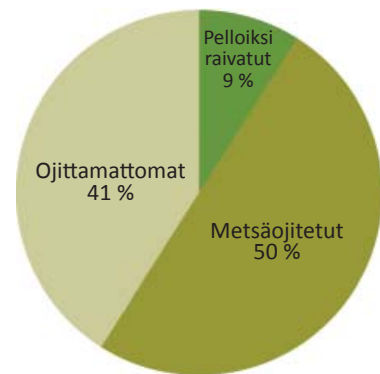
Suo- ja turvevarat

Arviot Suomen suopinta-alasta ja sen kehityksestä perustuvat Valtakunnan metsien inventointien (VMI) tuloksiin. Alue luokitellaan suoksi, jos maata peittää turvekerros tai jos pintakasvillisuudesta yli 75 % on suokasvillisuutta. Ennen kuin laajamittainen hyödyntäminen alkoi 1950-luvun alussa (3. VMI), kokonaissuopinta-alaksi arvioitiin 9,7 miljoonaa hehtaaria, ja ojittamattomaksi pinta-alaksi 8,8 miljoonaa hehtaaria (Ilvessalo 1956). Nämä pinta-alat sisältävät n. 1,5 miljoonaa hehtaaria suotyyppettä, joilla ei ollut yhtenäistä turvekerrosta, vaan suokasvillisuuden vallitsevuus on riittänyt suomääriytykseen. Suomessa arvioitiin tuolloin olevan 0,7 miljoonaa hehtaaria maatalouskäyttöön raivattuja suopeltoja, jotka eivät sisälly yllämainittuun suopinta-alaan. Nykyisin ojittamatonta suoalaa on enää vain 4 miljoonaa hehtaaria (Kuva 3), joista suurin osa sijaitsee Pohjois-Suomessa (Kuva 6).

Suot määritellään geologisesti hieman eri tavoin kuin VMI-aineistossa: geologiset suot ovat soita, jotka ovat vähintään 20 hehtaarin kokoisia, ja joilla turvekerroksen paksuus ylittää 30 cm. Tällaisia geologisia soita on Suomessa hieman yli viisi miljoonaa hehtaaria (Virtanen ym. 2003).

Suomen koko suopinta-alan hiilivarasto on arvioitu eri suotyyppien pinta-alojen ja turpeen keskipaksuuden (Ilvessalo 1956) perusteella n. 5,5 miljardiksi tonniksi (Minkkinen ym. 2002). Geologisten soiden hiilivarasto on n. 3,2 miljardia tonnia (Virtanen ym. 2003). Turpeen sisältämä energiamäärä (n. 10^5 PJ) riittäisi Suomen primaarienergian tarpeen tyydyttämiseen nykykulutuksen tasolla noin 70 vuodeksi. Turvemäärästä 2/3 on Oulun ja Lapin lääneissä.

Turpeen hiilivarastojen on arvioitu pienentyneen 73 miljoonalla tonnilla vuodesta 1950, mutta suoekosysteemien kokonaishiilivarasto on kuitenkin kasvanut 52 miljoonalla tonnilla metsäojitettujen soiden puustojen biomassaan sitoutuneen hiilen vaikutuksesta (Turunen 2008).



Kuva 3: Suomen suopinta-alasta yli puolet on ojitettu tai raivattu maa- ja metsätaloudelliseen käyttöön.

SUOMEN SOIDEN PINTA-ALAT JA HIILIVARASTOT

Suopinta-ala 1950-luvun alussa	9,7 milj. ha
- tästä ojittamatonta	8,8 milj. ha
Geologisia soita (turvetta >30 cm)	5,5 milj. ha
Pelloiksi raivattu	0,7–1 milj. ha
- turvepeltoja nykyisin	0,2–0,4 milj. ha
Metsäojitettuja	4,9 milj. ha
Suon piirteensä menettäneitä ohutturpeisia soita	0,6 milj. ha
Ojittamaton pinta-ala nykyisin	4 milj. ha
Suomen suopinta-alan hiilivarasto	5,5 mrd. t
Geologisten soiden turvevarasto	6,3 mrd. t
- näiden hiilivarasto	3,2 mrd. t
- tästä Oulun ja Lapin lääneissä	2/3
Turpeen hiilivarastojen muutos vuodesta 1950	-73 milj. t

Soiden hiilenkierto

SUOT SITOVAT HIILIDIOKSIDIA

Soihin syntyy 1–15 % enemmän hiiltä varastoivaa kasvustoa kuin sitä hajoaa (esim. Francez & Vasander 1995, Gorham 1991). Tästä määrästä alkaa vuosituhansien aikana kehittyä turvetta.

Soiden märkä ja vähähappinen pintakerros rajoittaa orgaanisen aineksen hajotusta, mikä on turpeen kertymisen pääsyy. Hiilivarastoon kertyy vuosittain keskimäärin 150–350 kg hiiltä hehtaaria kohden (Turunen ym. 2002), ja nuorilta länsirannikon soilta on mitattu huomattavasti suurempia kertymiä (Tolonen & Turunen 1996). Kertymät ovat olleet jossain määrin suurempia Etelä-Suomen ilmastossa syntyneillä niukkaravinteisilla rahkasoilla kuin Pohjois-Suomen runsasravinteisillä sarasoilla. Tiedot soiden hiilikertymistä perustuvat pääosin koko jääkauden jälkeisen ajan nettokertymiin, jolloin luvut sisältävät myös esimerkiksi suopalojen aiheuttamat poistumat.

Siitä, miten suot nyt sitovat hiiltä, tiedetään huomattavasti vähemmän kuin pitkäaikaisista keskiarvoista. Kertymän selvittäminen on mahdollista kaasumittauksilla (kts. luku 4, Kasvihuonekaasuvuon mittausmenetelmät), mutta hiilensidonnan suurten ajallisten ja paikallisten vaihteluiden vuoksi (esim. Alm ym. 1999) luotettavan kokonaiskuvan saaminen edellyttäisi hiilensidonnan pitkäaikaista mittamista eri suotyypeistä (Saarnio ym. 2007).

SUOT TUOTTAVAT SUURIA MÄÄRIÄ METAANIA

Suot muuntavat huomattavan osan kasvillisuuden sitomasta orgaanisesta hiilestä metaaniksi erityisesti runsasravinteisilla sarasoilla (esim. Whiting & Chanton 1992). Sarasoiden vuotuiset metaanipäästöt (CH_4) ovat vaihdelleet 100–500 kg hehtaarilta, niukkaravinteisilla rahkasoilla vastaavasti 30–150 kg (Nykänen ym. 1998).

Metaania syntyy hapettomassa turvekerroksessa, ja metaanin määrään vaikuttavat suon orgaanisten yhdisteiden määrä ja laatu. Mikrobit hapettavat suuren osan metaanista hiilidioksidiksi suon pintakerroksissa, joten ilmakehään tulevan metaanipäästön määrä on kiinni myös siitä, kuinka suuri osa

metaanista välttää hapetuksen hiilidioksidiksi. Saroilla ja saramaisilla kasveilla on tärkeä tehtävä sekä orgaanisten yhdisteiden tuottajina että hapetusta vähentävänä kulkuväylänä ilmakehään (Joabsson ym. 1999). Suot ovat globaalisti erittäin merkittävä metaanin tuottaja ilmakehään: arviot vaihtelevat välillä 25–40 miljoonaa tonnia vuodessa (esim. Laine ym. 1996).

ILMASTON LÄMPENEMISEN VAIKUTUS SUON HIILENKIERTOON

Sateen ja haihtuvan veden suhde säätelee paljon muun muassa keidassoiden ja aapasoiden määrää Suomessa. Suo voi vuosittain sitoa hiilidioksidia sääoloiltaan optimaalisena ja märkänä kesänä yli 3500 kg hehtaaria kohden, ja vastaavasti erityisen kuivan kesän vuonna suosta voi vapautua saman suuruinen määrä hiilidioksidia (esim. Saarnio ym. 2007).

On arvioitu, että pohjoisten soiden vedenpinta alenee ilmaston lämpenemisen myötä n. 15–20 cm (Roulet ym. 1992). Myös Suomessa ilmaston lämpenemisen seurauksena kesätkin lämpenevät jonkin verran (Jylhä ym. 2004), mikä lisää veden haihtumista alentaen soiden vedenpintoja. Toisaalta erityisesti talvikautena on sateiden ennustettu lisääntyvän, mikä puolestaan lisää tulvia ja märkiä suopintoja.

Kaiken kaikkiaan poikkeuksellisen kuivien kesien todennäköisyyden kasvaminen on hyvin merkittävä suoluontoon vaikuttava tekijä (Saarnio ym. 2007). Useissa selvityksissä onkin ennustettu, että hiiltä tulee ilmaston lämpenemisen vuoksi vapautumaan suosta ilmakehään merkittäviä määriä ja sitä kautta kasvihuoneilmiö voimistuu (esim. Gorham 1991). Viimeksi Dorrepaal ym. (2009) ovat esittäneet, että jo suhteellisen lievä lämpötilan nousu voi nopeuttaa merkittävästi myös vanhan orgaanisen aineksen hajoamista, jolloin on yhä todennäköisempää, että ilmakehän hiilidioksidipitoisuus tulee suurenemaan merkittävästi.

Toisaalta kun ilmasto lämpenee, pohjoisen kasvillisuuden lajisto muuttuu. On arvioitu, että sen seurauksena kasvit tulisivat sitomaan nykyistä suurempia määriä hiiltä (esim. Gorham 1991). Suomessa tämä voisi johtaa siihen, että eteläiset sarasuot muuttuisivat nykyistä nopeammin rahkasoiksi, mikä puolestaan tulee nopeuttamaan hiilen sitoutumista. Lisäksi on odotettavissa, että hiilen sitoutuminen tulee lisääntymään myös pidemmällä aikajänteellä, kun soiden pintaosat hieman kuivuvat ja sen seurauksena soiden kasvillisuus ja pienmuodot muuttuvat (esim. Swanson 2007).

Ilmaston lämpeneminen lisää metaanin tuotantoa, mutta siihen liittyvä vedenpinnan aleneminen vastaavasti lisää metaanin hapetusta suon pintaosissa, joten lopullisten nettomuutoksen arviointi on vaikeaa. Todennäköisin arvio on, että soiden vesitilanteen muutokset vaikuttavat enemmän kuin lämpötilan nouseminen (esim. Gorham 1991).

Tiedetään hyvin vähän siitä, miten soiden kasvihuonekaasuja tuottavat prosessit reagoivat tilanteeseen, jossa suon lämpötila nousee ja samanaikaisesti suon pinta kuivahtaa. Hiilenkierron muutosten arvioinnin tekee hyvin vaikeaksi se, että tietoa on niukalti ja ennusteet muutoksista epävarmoja.

3. Soiden Suomi ennen ja nyt

Suot ovat oleellinen osa suomalaista maisemaa. Soihin on kohdistunut suurin muutos luonnossamme: lähes miljoona hehtaaria on raivattu pelloiksi osin jo kauan sitten, ja viisi miljoonaa hehtaaria metsäojitettu pääosin 1900-luvun jälkipuoliskolla. Turpeenottoon on käytetty noin 100 000 hehtaaria soita, ja määrä on nopeasti kasvamassa. Soiden käytön seurauksena suoeliöstö ja suoluontotyypit ovat uhanalaistuneet etenkin maan eteläosissa. Soiden suojelu ei ole pysynyt muutoksen mukana.

Suot luonnontilassa

Suomen suoluonto on monimuotoinen: soilla kasvavia kasvilajeja on yli 400. Lajirunsaus on suurin ohutturpeisissa korvissa ja runsasravinteisilla letoilla. Suolinnusto on rikkain märillä nevoilla, ja monet metsän eläimet elävät soilla jossain vuotuisen elinkiertonsa vaiheessa. Suokasvivyhdyskuntia eli suotyyppejä on kuvattu yli sata.

Soiden vesitilanne, hydrologia, riippuu ensisijassa suurilmastosta ja maan pinnanmuodosta, topografiasta. Ilmastomme vähittäinen muuttuminen etelästä pohjoiseen läpi boreaalisen havumetsävyöhykkeen sekä tasainen korkokuva tekevät mahdolliseksi lähes kaikki boreaaliset suoluontotyypit.

Suurin osa Suomen suomaisemasta on ohutturpeisten rämeiden ja korprien sekä kivennäismaiden metsien pienipiirteistä mosaiikkia. Tietyt suotyyppit ovat kuitenkin jakautuneet eri puolille Suomea leveysasteiden mukaan. Keidassuot ovat vallitsevia Etelä-Suomessa (Kuva 4). Niiden keskusta on laiteita ylempänä, eli ne saavat ravinteita ainoastaan niukkaravinteisesta sadevedestä ja kuivalaskeumasta. Tyypillisimmät ja kuperimmat keidassuot ovat Lounais-Suomessa ja Satakunnassa. Maan keski- ja pohjoisosien saravaltaiset aapasuot saavat ravinteita myös pohja- ja pintavesistä, minkä

takia niissä on keidassoita runsaampi eliölajisto. Aapasoilla märät rimmet vuorottelevat kuivempien jänteiden kanssa (Kuva 5). Tyypillisimpiä aapasoita esiintyy Pohjanmaalla ja Lapissa. Tunturi-Lapin palsasoilla on ikeiroudassa säilyviä jättimättäitä eli palsoja ja reunaosissa matalampia rämemättäikköjä eli pounikoita.



Kuva 4: Keidassuo. Parkanon Rukonevaa valmistellaan turpeenottoon. Kuva: Rauno Ruuhijärvi 2009.



Kuva 5: Aapasuo. Enontekiön Pippovuoma. Kuva: Rauno Ruuhijärvi 2006.

Suoluonnon muutos

Suomen suoluontoa muutettiin voimakkaasti erityisesti 1950–1980-luvuilla, jolloin metsäojitettiin noin viisi miljoonaa hehtaaria suota. Etelä-Suomesta Pohjois-Pohjanmaalle ja Kainuuseen saakka ulottuvalla alueella on soista ojitettu peräti 75 % (Kuva 6), paikoin jopa 90 %. Eteläisestä Suomesta onkin vaikeaa enää löytää ehjiä, luonnontilaisia soita. Vaikka uudisojitus on lopunut, kunnostusojitusta tehdään määräajoin puuston korjuun yhteydessä.

Turvetta on otettu kaupallisiin tarpeisiin erityisesti paksuturpeisilta Etelä- ja Keski-Suomen soilta. Parhaita kasvuturvesoita ovat Länsi-Suomen keidassuot. Peltojen raivaus hävitti jo varhain eteläisen Suomen letot. Monimuotoisia osia Itä- ja Pohjois-Suomen lettoalueista tuhoutui sodanjälkeisen asutustoiminnan vuoksi.

Soiden hyödyntäminen

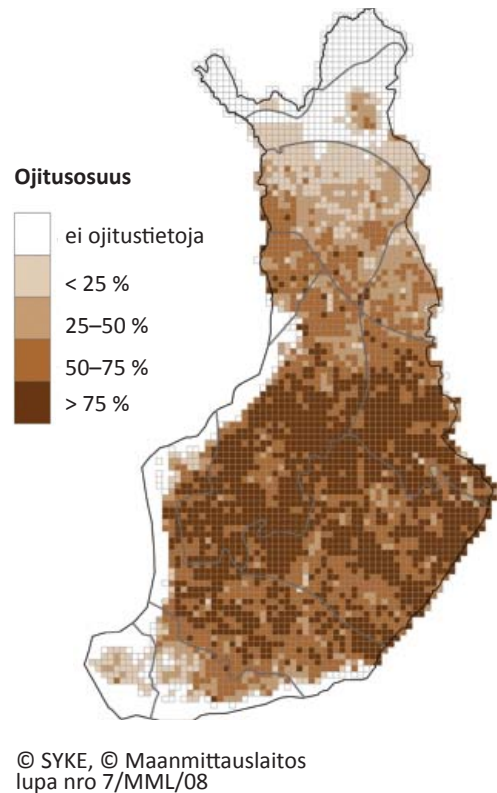
VILJELYKÄYTTÖ

Soita on hyödynnetty pisimpään maanviljelykseen (Myllys & Soini 2008). Mainintoja turvemaiden viljelystä on jo 1300-luvulta, mutta varsinaisesti viljely alkoi 1600-luvulla. Soita on raivattu pelloiksi yhteensä 0,7–1,0 miljoonaa hehtaaria suurimmaksi osaksi suuren väestönkasvun aikaan 1800–1900-lukujen vaihteessa – ja vielä merkittävämmän toisen maailmansodan jälkeen siirtoväestön asuttamisen yhteydessä. Vuonna 1950 arvioitiin turvemaiden peltoja olleen noin 0,5 miljoonaa hehtaaria, nykyisin 0,2–0,4 miljoonaa hehtaaria. Uusiakin peltoja raivataan 2000–8000 hehtaarin vuosivauhtia tukipolitiikan kannustamana. Merkittävä osa suopelloista on jäänyt pois viljelystä tai menettänyt turvekerroksensa.

ENERGIAA TURPEESTA

Jo 1750-luvulla Turun Akatemiassa tarkastetussa väitöskirjassa esitettiin, että metsien säästämiseksi turvetta voitaisiin käyttää rautatehtaissa polttoaineena. Turpeen hyödyntäminen energiantuotannossa siirtyi kuitenkin 100 vuoden päähän, jolloin se tuli teknisesti mahdolliseksi (Lappalainen 2008). Turpeen käyttö lisääntyi huomattavasti 1900-luvun alkupuolella, ja sitä käytettiin energiantuotannon lisäksi merkittäviä määriä myös talojen seinien lämpöeristykseen ja käymäläturpeena erityisesti Helsingissä. Energiaturpeen tuotanto lisääntyi merkittävästi 1940-luvulla, kun tuontipolttoaineiden saatavuus heikentyi sodan seurauksena. Nykyisen laajuutensa turvetuotanto saavutti 1970-luvun alkupuolen öljykriisin seurauksena. Nykyisin turpeen osuus energiantuotannossa vaihtelee 25 TWh:n molemmin puolin ja on ollut 5–7 % maan primaarienergian kulutuksesta.

Turvetta otetaan tällä hetkellä noin 100 000 hehtaarilta ja arvio seuraavaksi pariksikymmeneksi vuodeksi on 80 000–100 000 lisähehtaaria. Geologian tutkimuskeskuksen mukaan turpeennostoon sopivia soita on Suomessa 1,2 miljoonaa hehtaaria (Virtanen ym. 2003).



Kuva 6: Ojitettujen turvemaiden osuus kaikista turvemaista yhtenäiskoordinaatiston 10 km x 10 km ruuduilla (Raunio ym. 2008).

METSÄOJITUS

Nälkävuosina 1866–1868 soita ojitettiin työllisyystöinä laajahko pinta-ala. Ojitusta perusteltiin hallariskin pienentämisellä (Päivänen 2008), mutta todellisuudessa hallariski lisääntyi ojitusten myötä, koska kuiva ja avoin maasto äärevöittää ilmastoa. Metsittymään jääneiden ojitusaluiden perusteella voitiin jo 1900-luvun alkupuolella päätellä, millaiset suot tuottivat parhaiten puuta ojitettuina.

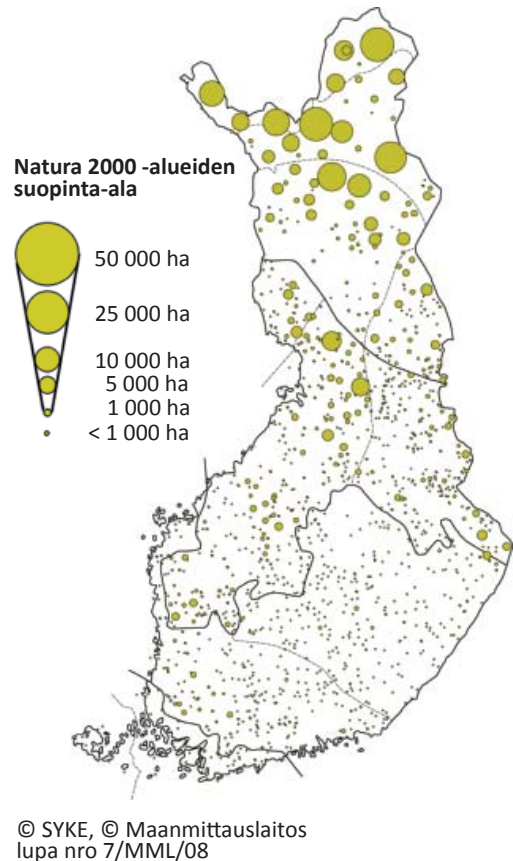
Metsäojitus käynnistyi valtion mailla vuonna 1908, ja yksityismaiden ojitaminen pääsi vauhtiin vuonna 1928, kun laki soiden kuivatukseen myönnettävästä tuesta hyväksyttiin eduskunnassa (Päivänen 2008). Aluemenetykset ja metsäteollisuuden voimakas laajeneminen lisäsivät 1950-luvulla yhteiskunnan tukea metsäojitukseen, koska sillä katsottiin saatavan kustannustehokkaasti lisää metsää ja puuraaka-ainetta.

Metsäojitus on lisännyt merkittävästi puustojen kasvua: 1950-luvulla vuosittainen suopuustojen kasvu oli vajaa 10 miljoonaa kuutiometriä, kun se on nykyisin lähes 25 miljoonaa kuutiometriä. Suopuustojen puuvarasto on kaksinkertaistunut liki 500 miljoonaan kuutiometriin. Vuoteen 2025 mennessä turvemaiden lisääntyvät hakkuumahdollisuudet edustavat laskelmiin mukaan jo 20 % kokonaishakkuumäärästä (Nuutinen ym. 2000).

Metsäojituksella on merkittävä asema myös Suomen nykyisessä kasvihuonekaasujen raportoinnissa. Vuoden 2007 lukujen mukaan metsätalouden maaperä tuottaa 6,7 Tg (1 Tg = 10⁹ kg) hiilidioksidia ilmakehään, kun näiden biomassaan sitoutuu vuodessa yli 17 Tg CO₂ (Tilastokeskus 2009). Metsätaloukseen soiden kokonaistase olisi siten yli 10 Tg positiivinen, mutta tase kääntynee tulevaisuudessa lopulta negatiiviseksi, kun hiilen sitoutuminen puustoon hidastuu ja maaperän päästöt jatkuvat ennallaan.

Suolunnon suojeleminen ja uhanalaisuus

Soiden suojeleminen alkoi 1960-luvulla ensin valtion mailla. Siksi merkittävä osa soiden suojelemissa sijaitsee myöhemmin perustetuissa kansallis- ja luonnonpuistoissa, erämaa-alueilla ja vanhojen metsien suojelemissa, jotka perustettiin ensimmäisten soidensuojelemissuunnitelmien jälkeen. Muita soiden suojelemissa on kaikkiaan 610 000 hehtaaria. Ohjelmasta on vielä (2010) toteuttamatta alle 10 000 hehtaaria. Suojeltujen soiden kokonaispinta-ala on kaikkiaan 1,13 miljoonaa hehtaaria eli noin 12 % suoalasta. Eniten suojeltuja soita on Lapissa, missä niiden osuus suoalasta on 23 %, maan eteläosassa osuuden ollen vain 6 %. Soidensuojelemissa kuuluvat myös Natura 2000 -verkkoon (Kuva 7). Ne sisältävät ilmastomuutoksen kannalta merkittävän ja yhä kasvavan hiilivaraston.



Kuva 7: Suopinta-ala Natura 2000 -alueilla. Ympyrät on sijoitettu Natura-alueiden keskipisteisiin. Pinta-ala on laskettu maastotietokannan turvemaa-aineistosta (Raunio ym. 2008).

Yksityismaiden soidensuojelusuunnittelua tehtiin kilpaa kaivureiden kanssa 1970- ja 1980-luvuilla. Valtioneuvosto vahvisti suojeleohjelmat vuosina 1979 ja 1981 (Haapanen ym. 1979, 1981). Ne eivät toteutuneet kaikilta osiltaan, koska valtion rahoituksen myöntäminen valmiisiin ojitussuunnitelmiin loppui vasta 1987 metsänparannuslain muuttuessa. Suojeluun tarkoitettuja soita menetettiin erityisesti Pohjanmaalla ja Satakunnassa. Osassa suojelualueita on siksi myös ojitettuja soita, joita parhaillaan ennallistetaan. Suojelukohteiden inventoimiseen oli aikanaan niukasti varoja, minkä seurauksena suojelualueet jäivät puutteellisiksi. Suojelua suunniteltaessa ei osattu myöskään ennakoida soiden laajentuvaa käyttöä. Kun ojitetut suot muuttuvat vähitellen turvekankaiksi, ne eroavat luonnontilaisista soista yhä enemmän, eliöpopulaatioiden yhteydet katkeavat ja niiden uhanalaisuus lisääntyy. Lisäksi ympäristön laajat kuivatukset huonontavat suojeleusoiden vesitaloutta ja lisäävät niiden ennallistamisen tarvetta.

Eliölajien uhanalaisuutta on arvioitu kolmesti, viimeksi vuonna 2000 (Rassi ym. 2001). Hävinneitä, uhanalaisia ja silmälläpidettäviä suoeliölajeja on luetteloitu 217, joista 123 on ensisijaisia ja 94 toissijaisia suoeliölajeja. Seurannassa olevassa uhanalaislajistossa on eniten harvinaisia letto-, lähde- ja korpisoiden eliölajeja. Tavallisen suolajiston uhkana on niille sopivien elinympäristöjen väheneminen (Reinikainen ym. 2000). Suomen luontotyyppien uhanalaisuuden ensimmäinen arviointi (Raunio ym. 2008) valmistui Suomen ympäristökeskuksen koordinoimana ja lukuisten asiantuntijoiden yhteistyönä vuonna 2008. Sen tulokset paljastivat suoluonnon huonon tilan maan eteläosassa, jossa 77 % suoluontotyypeistä määriteltiin uhanalaisiksi tai silmälläpidettäviksi. Tämän vuoksi soidensuojelualueiden verkostoa on tarpeen täydentää, entisiä suojelualueiden rajoja tarkistaa sekä säilyttää suoluontoa myös suojelualueiden ulkopuolella. Työryhmä ehdottaa myös soiden ennallistamistoimia muuallakin kuin suojelualueilla. Keskeisessä asemassa ovat metsätalouden ulkopuolelle jäävät karut ojituskohteet (Laine 2009). Toimia suojeleutason parantamiseksi tullaan sisällyttämään parhaillaan toteutettavaan metsiensuojeluohjelma METSO II:een.

4. Soiden hyödyntämisen kasvihuonekaasuvuot ja ympäristövaikutukset

Luonnontilaisen suon ja metsäojitetun suon turpeen poltto aiheuttaa keskimäärin samaa suuruusluokkaa olevan kasvihuonevaikutuksen kuin kivihiili. Elinkaarinäkökulmasta turpeen korjuu tulee suunnata maatalouskäyttöön raivatuille suopelloille ja runsaspäästöisille metsäojitusalueille, joista on mitattu suurimmat kasvihuonekaasupäästöt. Näin voidaan turpeen energiakäytön kasvihuonevaikutusta jonkin verran pienentää. Uusi korjuutekniikka ja jäännösturpeen huolellinen keräys vähentävät tuotannon ja korjuun päästöjä merkittävästi, mutta nämä päästöt ovat kokonaisuudessaan pienet verrattuna polton päästöihin. Soiden hyödyntäminen näkyy vesistöissä humuskuormana. Kasvihuonevaikutuksen arvioiminen ja moni kannanoton päätelmä perustuu tässä luvussa esitettyihin mittaamismenetelmiin ja laskumalleihin.

Kasvihuonekaasuvuo kertoo kaasujen kulun

Soihin ja ilmakehään on varastoitunut suuri määrä hiiltä, ja niiden välillä liikkuu erilaisia kaasuyhdisteitä jatkuvasti. Kun suo tuottaa kaasuja, kuten hiilidioksidia ja metaania, ne siirtyvät ilmakehään erilaisten fysikaalisten kuljetusmekanismien avulla (Vesala 1998, Vesala ym. 2008a). Silloin kun suo toimii aineen nieluna, kaasut sitoutuvat ilmakehästä suohon, esimerkiksi kasvien yhteyttäessä ja sitoessa itseensä hiilidioksidia.

Varastojen välillä kulkevaa ainemäärää kutsutaan vuoksi, jonka yksikkönä on ilmakehästä tai kasveista siirtynyt ainemäärä aikayksikköä ja pinta-alaa kohden (kuten esim. kg hiiltä ha⁻¹ v⁻¹). Ekosysteemien hiilivarastot muuttuvat hitaasti, joten varastojen muutokset voidaan nähdä vain pitkän ajan, jopa tuhansien vuosien, keskiarvosta mittaamalla turpeen paksuus. Vuo sen sijaan pystytään mittaamaan kymmenien minuuttien tai tuntien aikaskaalassa, ja laskemalla yhteen yksittäiset mittaukset saadaan esimerkiksi määritettyä kuluneen vuoden hiilen vaihto (Riutta 2008). Pisimmät yhtenäiset vuonmittausaikasarjat ovat nykyisin kuitenkin vain kymmenen vuoden luokkaa.

KASVIHUONEKAASUVUON MITTAUSMENETELMÄT

Vuonmittaaminen kammionmenetelmällä on idealtaan yksinkertainen. Kammion seinämien avulla eristetään maa-alue (Kuva 8), jonka koko on yleensä muutamia neliödesimetrejä. Kaasun pitoisuuden muutosta seurataan suljetussa kammiossa tietyn ajan, yleensä joitakin minuutteja. Kammion eristä-



Kuva 8: Kaasuvaihdon mittauksiin suunniteltu automaattikammio Hyytiälän SMEAR II -asemalla (Juu-pajoki). Kammio on automaattisesti sulkeutunut, jolloin kammion ilmasta mitataan kaasujen pitoisuuden muuttumista. Muutoksista lasketaan esimerkiksi hiilidioksidin tai metaanin vuo eli maaperän/turpeen vapauttama tai sitoma aineen määrä. Kuva: Liisa Kulmala.

Kuva 9: Esimerkki *eddy covariance*-mittausjärjestelystä (suora meteorologinen kaasunvaihdon mittaus, Ruovesi). Ylimpänä näkyy kolmiulotteista tuulikenttää mittaava anemometri. Metaania mittaava laite on takana näkyvä valkoinen laatikko, jonne näyteilma viedään putkilla anemometrin vierestä. Kuva: Sami Haapanala.

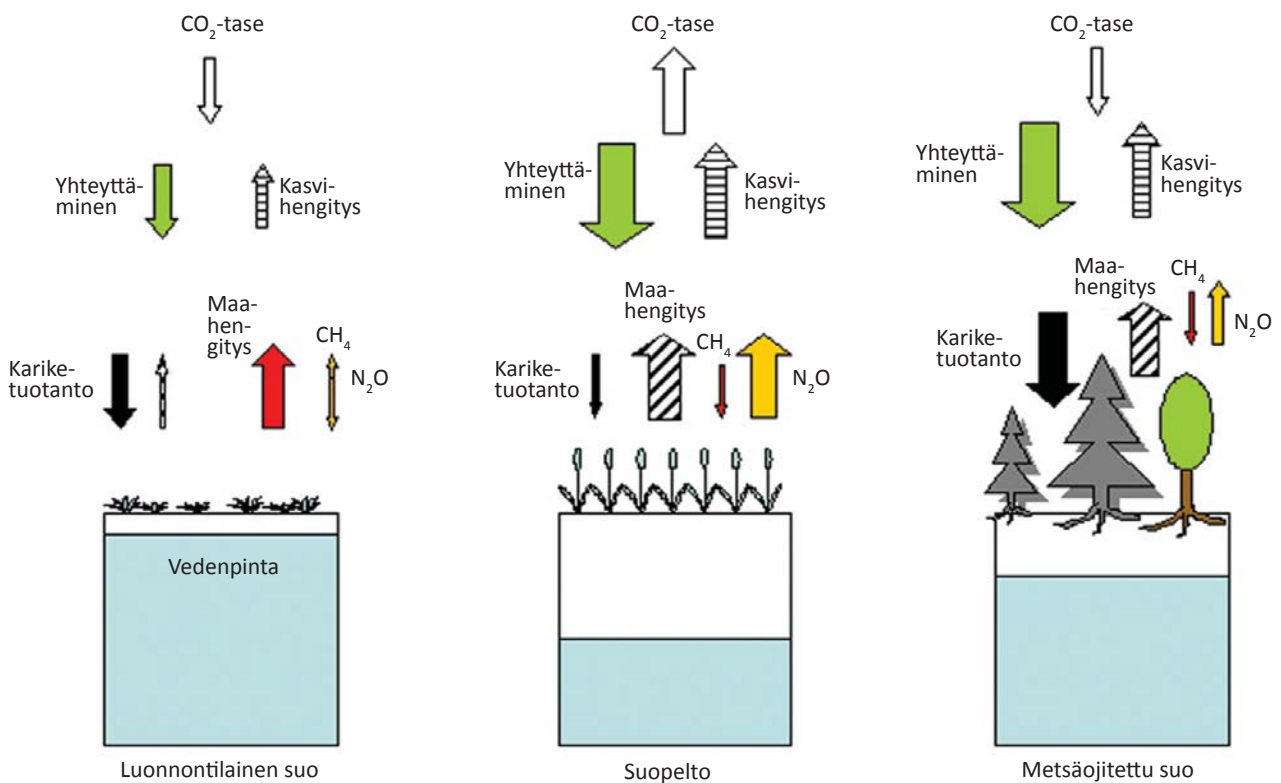


män maa-alan vuo lasketaan pitoisuuden muutoksen lisäksi kammion tilavuudesta sekä mahdollisista sisään- ja ulostulovirtauksista (esim. Witkamp and Frank 1969, Lohila 2008, Riutta 2008). Yleensä kammion hiilidioksidipitoisuus pienenee ja metaanipitoisuus nousee suon toimiessa hiilidioksidin nieluna ja metaanin lähteenä. Kammioiden mittaustekniikka on edullista, ja hyvin pientenkin voidaan mitata tarkkuus on kohtuullinen. Käsintehdyt kammio tekniikan heikkoutena on sen sijaan luotettavan kokonaiskuvan saaminen erilaista kasvillisuutta tai muita ominaisuuksia sisältävästä ekosysteemistä kymmenien kammioiden mittaustulosten perusteella. Automatisoitujen kammioiden avulla tällaisten muutosten havainnoiminen onnistuu, ja nykyisin automaattikammiot yleistyvätkin tutkimuskäytössä nopeasti.

Kammioita uudempi mittaustekniikka on suora meteorologinen vuonmittaus, joka on lisääntynyt voimakkaasti 1990-luvulta lähtien (Baldochi 2003, Vesala ym. 2008b, <http://daac.ornl.gov/FLUXNET/>). Englanniksi tekniikan nimi on ”*eddy covariance*”, ja jatkossa käytämme siitä lyhennettä EC (Kuva 9). EC:ssä havainnoidaan pyörteilevää (turbulenttista) virtausta, joka kuljettaa ainetta maan ja suon pinnalta ylemmäksi ilmakehään (Aubinet ym. 2000). Esimerkiksi suon ollessa metaanin lähde, on pinnan lähellä suurempi pitoisuus kuin ylempänä ja pinnalta ylös hetkellisesti kulkeutuva ilma kantaa suurempaa pitoisuutta kuin ylhäältä alas tuleva. Tällöin nettokuljetus on ylöspäin.

EC-menetelmässä ilman pystyliikettä ja kaasupitoisuuksia mitataan monta kertaa sekunnissa, ja vuo lasketaan yleensä puolen tunnin keskiarvona. Lähdealue on kammio mittausta paljon suurempi, säteeltään satoja metrejä. Menetelmällä saadaan suon kaasunvaihdosta alueellisesti kattava kuva, sillä tulos edustaa lähdealueen keskiarvoa sisältäen mahdollisesti erilaista kasvillisuutta tai maanpinnan ja turpeen ominaisuuksia.

EC-menetelmä on automaattinen, eikä mittaus häiritse mitattavaa kohdetta kuten kammiot. Haasteena on riittävän tasaisen ja kasvillisuudeltaan tasakorkuisen mittausta paikan löytäminen. Saadun kaasutaseen tarkkuus on kokonaisuudessaan samaa luokkaa kuin kammiolla, mutta hyvin pieniä voita ei pystytä määrittämään. Menetelmä on kalliimpi ja vaatii meteorologian, fysiikan ja matematiikan perusosaamista, vaikka menetelmä onkin hyvin standardoitu.



Kuva 10: Merkittävimpien hiilenkiertoon vaikuttavien osaprosessien sekä turvemaan käsittelyn vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin. Kaasunvaihtoprosessien suunnat ja suuruudet luonnontilaisella suolla, ojitetulla suopellolla sekä metsäojitetulla suolla. Suuruusluokat on havainnollistettu nuolten pinta-alalla.

Metsäojitetujen soiden ja suopeltojen kasvihuonekaasuvuot

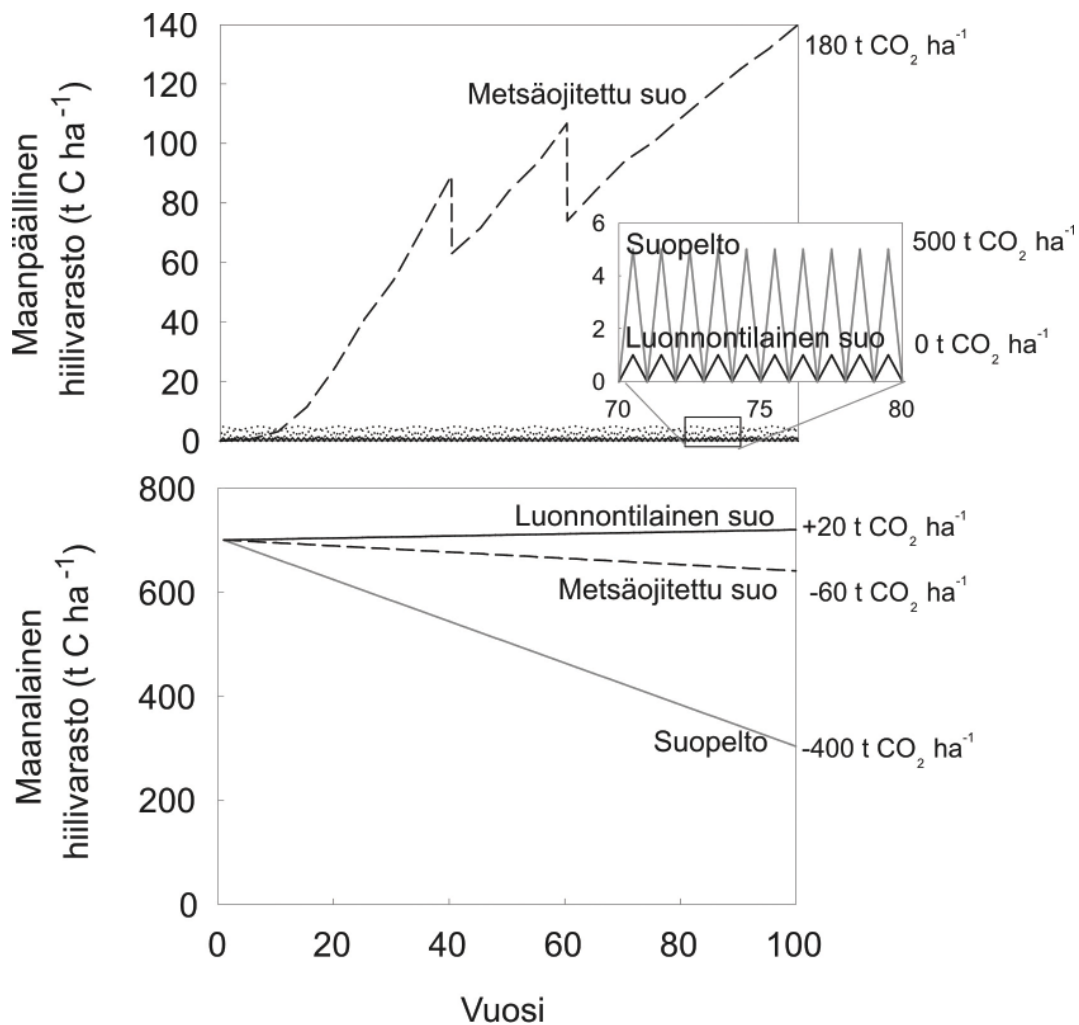
Soiden ojituksella on tarkoitus parantaa kasvuolosuhteita. Kun vedenpinta alenee, kasvien juuret saavat paremmin happea, minkä ansiosta metsä kasvaa huomattavasti nopeammin ja myös viljelykasvien kasvattaminen tulee turvemaalla mahdolliseksi (Laine ym. 2006). Luonnontilaisilla soilla on puolestaan kertynyt hiiltä turpeeseen vuosituhansien aikana. Turvetta muodostuu, kun suokasvit kasvavat ja niistä kertyy suon pinnalle enemmän kasvkariketta kuin sitä hajoaa.

Vedenpinnan korkeus säätelee eniten eloperäisen aineksen hajotusnopeutta. Mitä enemmän vettä, sitä hitaammin maaperämikrobit hajottavat (Rydin & Jøglum 2006). Kun vedenpinta laskee ja turve kuivuu, mikrobien toiminta nopeutuu ja turve hajoaa nopeammin. Kasvit kasvavat nopeammin turpeen kuivuessa, mutta niiden muodostama kasvkarike ei riitä tasaamaan nopeutunutta hajoamista, jolloin turverkerros ojituksen jälkeen vähitellen ohenee (Kuva 10, Armentano & Menges 1986).

SUOPELLOT VAPAUTTAVAT HIILIDIOKSIDIA JA TYPPIOKSIDUULIA

Viime vuosina tehdyt mittaukset osoittavat yksiselitteisesti, että suopelloista vapautuu merkittäviä määriä hiiltä ilmakehään.

Vuotuinen hiilidioksidihävikki vaihtelee välillä n. 3000–70 000 kg hehtaarilta ja on hieman pienempi nurmiviljelyllä pellolla kuin ohrapellolla (Kasimir-Klemedtsson ym. 1997, Maljanen ym. 2007). Suurimmat CO₂-päästöt ovat kuitenkin peräisin kesannoiduilta suopelloilta (Nykänen ym.



Kuva 11: Maanpäällisen ja -alaisen hiilivaraston tyypillinen keskimääräinen kehitys luonnontilaisella suolla, suopellolla ja metsäojitetulla suolla. Tarkastelujaksona on yhden metsän hakkuukierto eli n. 100 vuotta. Yläkuvan oikean reunan luvut kuvaavat sadonkorjuun tai hakkuun mukana ekosysteemistä poistetun hiilen kokonaismäärää. Alakuvan luvut kuvaavat maanalaisen hiilivaraston muutosta. Maanalainen hiilivarasto kasvaa ainoastaan luonnontilaisella suolla, turvPELLolla maaperän hiilihävikki on suurinta. Kuvan arviot perustuvat julkaisuihin Minkkinen ym. 2001, Turunen ym. 2002, Lohila ym. 2004, Tilastokeskus 2009.

1995, Koizumi ym. 1999, Lohila ym. 2003, Maljanen ym. 2004, Lohila 2008). Nämä arviot edustavat kuitenkin vain ekosysteemin ja ilmakehän välistä CO₂-vaihtoa. Kun hiilitaseeseen otetaan mukaan myös muut hiilivirrat pellolle ja sieltä pois – näistä tärkeimpänä sadonkorjuun mukana poistettu biomass – päädytään edellistä suurempiin hiilihävikkeihin. Turvemaiden maankäytön ilmastovaikutuksia arvioitaessa olisi syytä siirtyä käyttämään kokonaishiilitasetta pelkän kaasunvaihdon raportoimisen sijaan erityisesti maatalousekosysteemeissä, joissa biomassan kiertoaika on lyhyt ja helpohkosti määritettävissä.

Maanalaisen ja -päällisen hiilivaraston kasvunopeus vaihtelee paljon erilaisilla turvemaidella: esimerkiksi luonnontilaisella suolla maanpäällinen hiilivarasto on suurimmillaan kasvukauden lopussa, mutta palaa takaisin lähtötalanteeseen, kun kasvit lakastuvat ja aloittavat siirtymisen maanalaiseksi hiilivarastoksi maatumalla (Kuva 11). Pellolla taas tuotetaan paljon maanpäällistä biomassaa, mutta se

poistuu vuosittain systeemistä sadonkorjuun myötä. Metsässä hiilivarasto kasvaa koko hakkuukierron ajan lukuun ottamatta harvennushakkuuta n. 40 ja 60 vuoden kohdalla. Maanalainen hiilivarasto kasvaa ainoastaan luonnontilaisella suolla, turvepellolla maaperän hiilihävikki on suurinta.

Maan muokkaus ja lannoitus kiihdyttävät turpeen hajoamista ja kasvattavat typpioksiduuli- eli ilokaasupäästöjä (N_2O) (Regina ym. 2004). Typpioksiduulia vapautuu suopelloilta vuosittain keskimäärin 14 kg hehtaaria kohden (Maljanen ym. 2009), ja suopellot ovatkin hyvin merkittävä typpioksiduulin päästölähde Suomessa (Maljanen ym. 2007, 2009, Saarnio ym. 2008). Suopeltojen ilokaasupäästöjen ilmastovaikutus on suunnilleen sama kuin hiilidioksidipäästöjen sadan vuoden aikana (Maljanen ym. 2009). Suopeltojen metsitys ei vähennä N_2O :n muodostumista, vaan päästöt jatkuvat vielä vuosikymmeniä metsityksen jälkeen (Maljanen ym. 2001b, Mäkiranta ym. 2007).

Luonnontilaisille soille tyypilliset suuret metaanipäästöt loppuvat, kun suo otetaan viljelykäyttöön ja metaanintuotolle välttämätön hapeton pintaturvekerros häviää. Koska metaanin ja typpioksiduulin vapautumiseen osalliset prosessit tapahtuvat lähinnä maaperässä, on näiden kaasujen taseiden selvittäminen muun muassa kammiomittauksin olennaisesti helpompaa kuin hiilidioksiditaseiden.

METSÄOJITETTUIEN SOIDEN HIILITASEET VAIHTELEVAT OJITUSALAN MUKAAN

Metsäojitetut suot toimivat joko hiilen nieluina tai lähteinä alkuperäisen suotyyppin ravinteisuuden ja ilmaston mukaan (Saarnio ym. 2008). Maahengitys on orgaanisten yhdisteiden hajoamisesta syntyvä hiilidioksidipäästö. Maahengitys on merkittävin ojitusalalan hiilitaseeseen vaikuttava tekijä: suurimmat runsasravinteisilla ojitusalueilla mitatut hiilidioksidipäästöt ovat olleet lähes 20 000 kg hehtaaria kohden vuodessa (Minkkinen ym. 2007, Martikainen ym. 1995, Silvola ym. 1996, von Arnold ym. 2005a,b). Metsitetyillä turvemailla puista ja niiden juurista siirtyy maaperään kariketta, josta tuleva hiili korvaa turpeen hajoamisesta hävinnyttä hiiltä. Vuotuinen karikkeen määrä vaihtelee yleensä välillä 17 000–20 000 kg CO_2 hehtaarilla, josta 40–60 % muodostuu maanpinnan alle. Tämä kartuttaa suuresti maaperän hiilimäärää (Alm ym. 2007), ja siksi joidenkin metsäojitusalueiden maaperää pidetään nykytiedon valossa hiilen nieluna (Alm ym. 2007).

Arviot Suomen metsäojitettujen soiden hiilitaseista vaihtelevat. Turpeen hiilisisällön määrittämisen perusteella runsasravinteisten metsäojitettujen soiden maaperän hiilivarastot pienenevät ojituksen jälkeen, kun taas niukkaravinteisilla kasvupaikoilla ne saattavat jopa kasvaa (Minkkinen 1999). Tämän on arveltu olevan seurausta suuremmasta hienojuurten tuotannosta ja hitaammasta karikkeen hajoamisesta niukkaravinteisilla ojituspaikoilla (Minkkinen 1999, Domisch ym. 2000). Samankaltaiseen arvioon kasvupaikkojen eroista on päädytty mittaamalla maahengitystä sekä maaperän ylä- ja alapuolista kariketuotantoa erityyppisillä ojitusalueilla (Alm ym. 2007). Myös EC-menetelmällä tehdyt kaasutasemittaukset tukevat tätä hypoteesia (Hargreaves ym. 2003, Laurila ym. 2007). Laurilan ym. (2007) mittaukset osoittivat, että niukkaravinteisella eteläsuomalaisella metsäojitusalueella sijaitseva turvemetsä sitoo hiilidioksidia lähes 10 000 kg hehtaaria kohden vuodessa. Vähentämällä tästä puuston kasvuun käytetyn hiilidioksidin määrä, n. 6000 kg ha^{-1} , saatiin maaperän vuotuiseksi CO_2 -nettonielun suuruudeksi n. 4000 kg hehtaaria kohden. Täten metsäojitettu turvema saattaa olla yhtä tehokas, tai jopa tehokkaampi, hiilinielu kuin samankaltainen kivennäismaalla kasvava metsä (Suni ym. 2003). Toisaalta taas turpeen energiakäytön ilmastovaikutuksia arvioivassa työssä (Kirkinen ym. 2007b) on oletettu, että metsäojitettujen soiden maaperästä häviää hiiltä keskimäärin 2240 kg hehtaarilta vuodessa hiilidioksidina ilmaistuna, eli maaperä toimisi hiilen nettolähteenä. Tässä arvioissa on huomioitu

KASVIHUONEKAASUJEN LÄMMITYSVAIKUTUS

Hiilidioksidin, metaanin ja typpioksiduulin ilmastovaikutuksia voidaan verrata toisiinsa, kun tunnetaan kaasujen elinikä ilmakehässä sekä niiden säteilyä absorboiva teho. Kasvihuonekaasujen kykyä lämmittää ilmastoa kuvataan niiden globaalilla lämmitysvaikutuksella (GWP, global warming potential), joka perustuu sekä kaasun elinaikaan ilmakehässä että sen säteilyä absorboivaan tehoon. Metaanin GWP esimerkiksi 100 vuoden aikajänteellä on noin 20 kertaa suurempi kuin hiilidioksidin, typpioksiduulin noin 300 kertaa suurempi (IPCC, 2007). Typpioksiduuli lämmittää ilmakehää siis huomattavasti hiilidioksidia tehokkaammin.

Luonnonilmaisat suot sitovat hiilidioksidia ilmasta ja muuttavat osan tästä metaaniksi, joten niiden ilmastovaikutus muodostuu näiden kahden ilmiön vastakkaisista vaikutuksista. Koska metaanin elinikä ilmakehässä on hiilidioksidiin verrattuna erittäin lyhyt, vain noin 12 vuotta, saatetaan lyhyiden, muutaman vuosisadan pituisten tarkasteluaikojen perusteella saada tulokseksi, että ravinteikkaat, runsaasti metaania vapauttavat luonnonilmaisat suot lämmittävät ilmastoa. Mutta kun käytetään pidempää suon ikään verrannollista tarkastelujaksoa, soilla havaitaan olleen selvästi ilmastoa viilentävä vaikutus, koska ne sitovat pitkäikäistä hiilidioksidia ilmakehästä.

sekä maahengitys että kariketuotanto. Lähes samansuuruiseen maaperän vuotuiseen nettopäästöön, n. 1400 kg CO₂ ha⁻¹, on päädytty myös Suomen kasvihuonekaasupäästöraporteissa, jotka perustuvat maaperän kaasupäästömittauksiin ja kariketuotosmalleihin (Tilastokeskus 2009). Kun puustoon sitoutuvan hiilen määrä lasketaan mukaan, Suomen turvemetsien keskimääräiseksi kokonaisnieluksi saadaan 2000 kg CO₂ hehtaaria kohden.

Erityisesti runsasravinteiset ojitusalueet muuttuvat metsäojituksen seurauksena typpioksiduulin lähteiksi (Martikainen ym. 1993, Regina ym. 1996, 1998, Augustin ym. 1998). Niukkaravinteisilla turvemaidella ojituksen vaikutus ei sen sijaan ole merkittävä (Pihlatie ym. 2009). Metsäojitettujen soiden vuotuiset N₂O-päästöt ovat keskimäärin 3 kg hehtaaria kohden, joskin päästöt vaihtelevat voimakkaasti: runsasravinteisilla alueilla vaihteluväli on 0,1–41 kg ha⁻¹, niukkaravinteisilla typpioksiduulia vapautuu alle 0,1 kg ha⁻¹ vuodessa (Maljanen ym. 2009). Runsasravinteisten ojitusalueiden typpioksiduulipäästön lämmittävä vaikutus vastaa suunnilleen 1000 kg:n vuotuista hiilidioksidipäästöä hehtaarilta. Kasvihuonekaasujen ilmastovaikutuksen kannalta kyse on siis merkittävästä päästömäärästä.

Suon pelloksi raivaamisen tapaan myös metsäojitus pienentää metaanipäästöjä. (Roulet & Moore 1995, Nykänen ym. 1998, Martikainen ym. 1995) ja voi muuttaa turvemaan jopa pieneksi metaaninieluksi (Minkkinen & Laine 2006). Kun kaikki kasvihuonekaasut otetaan huomioon, on Suomessa tehtyjen metsäojitusten arvioitu viimeisen vuosisadan aikana aiheuttaneen ilmakehälle negatiivisen eli viilentävän säteilypakotteen (Laine ym. 1996, Minkkinen ym. 2002). Tämä on seurausta pääasiassa lisääntyneestä hiilensidonnasta puubiomassaan ja metaanipäästöjen loppumisesta ojituksen seurauksena. Näissä tutkimuksissa ei kuitenkaan ole otettu huomioon ojituksesta aiheutuvaa maanpinnan albedon eli heijastuskyvyn muuttumista puuston kasvun seurauksena, millä voi olla hyvinkin merkittävä vaikutus säteilypakotteeseen (Betts 2000).



Kuva 12: Kunnostettua avoturvesuota jyrjitään. Kuva: VTT/Aho.



Kuva 13: Jyrsinturveauma ja kuljetusvaunu. Kuva: VTT/Aho.



Kuva 14: Märkäturvetta levitetään asfalttipäällysteiselle kuivatuskentälle. Kuva: Vapo Oy.

Turpeen korjuun ja polttamisen tekniikat

TURPEEN KORJUJU

Turvesuon valmistaminen turpeen nostoa varten alkaa ojituksesta. Sen jälkeen kannot ja muu puumateriaali poistetaan, rahka ja kasvillisuus sekoitetaan maatuneeseen päällimmäiseen turvekerrokseen ja lopuksi pinta tasoitetaan. Jyrsinkorjuuseen soveltuvan suon valmisteluprosessi saattaa kestää useita vuosia. Jyrsintuotanto sisältää neljä päävaihetta: jyrsimisen (Kuva 12), jyrstyn kerroksen (10–20 mm) kuivatukseen, kuivaneen turvekerroksen karhimisen sekä karheiden siirtämisen liikkuvalla kuljettimella vieressä samanaikaisesti kulkevaan kuormaavaunuun (Kuva 13, Flyktman 2005, Aho 2008). Jyrsinturve kootaan suoalueen reunoille suuriksi varastoaumoiksi myöhemmin voimalaitokseen kuljetettavaksi. Jyrsinturpeen aumavarastoja aiemmin vaivannut itsesytyminen on nykyisin saatu hallintaan.

Viime vuosina on kehitetty toinen, kokonaan uusi turvesuon reunalta etenevä turpeenkorjuutekniikka, joka ei ole vielä laajasti käytössä (VAPO 2008). Märkä ja pumpatessa homogenoitunut turvemassa siirretään märkäaumasta levityskoneen avulla sopivan kokoisina suikaleina sitä varten suunnitellulle asfalttipäällysteiselle kuivatuskentälle (Kuva 14). Märät suikaleet kuivavat asfaltin pinnassa 1–2 auringon päivän aikana kovapintaisiksi turvepaloiksi, jotka sitten kerätään aumavarastoon myöhempää kuljetusta varten. Kuivatuskentän rakenne optimoidaan siten, että asfalttipintaan paistanutta auringon säteilyenergiaa vuotaa mahdollisimman vähän alla olevaan maaperään. Uusi tekniikka on jyrsinmenetelmään nähden ympäristöystävällisempi erityisesti

pienhiukkaspäästöjen osalta. Turpeen korjaaminen koko turvepatjan paksuudelta tekee mahdolliseksi korjatun suon jatkohoidon sitä mukaa kun korjuu etenee.

Korjuuta voi tehdä maaliskuun 15. ja elokuun 15. välisenä aikana. Korjattavan turpeen lähtökosteusprosentti on keskimäärin 90 % (Mäkilä ym. 2001). Voimalaitokselle siirrettävän turpeen kosteuspitoisuus sen sijaan on noin 40–45 %. Noin puolet nostoturpeen massasta on vettä, ja sitä haihdutetaan aurinko- ja tuulienergian avulla. Olipa turpeen korjuumenetelmä mikä tahansa, kesäisin turvetta saadaan säiden mukaan, eikä siihen ole tällä hetkellä kustannustehokasta ratkaisua.

TURPEEN VESI- JA HAPPIPITOISUUDET LASKEVAT SEN ENERGIASISÄLTÖÄ

Hyvänkin aurinko- ja tuulikuivatuksen jälkeen turpeeseen jää yli 40 painoprosenttia vettä. Myös tämä vesimäärä kuljetetaan turvesuolta voimalaitokselle. Hiilen vesipitoisuus on puolestaan noin 5–8 %, kuivattun polttopuun 12–15 % ja hakkuutähteen noin 50 painoprosenttia.

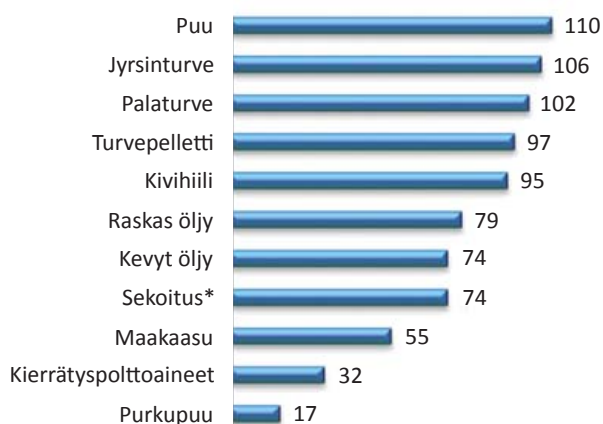
Turpeesta ei saada kuivattamalla tai vaikkapa puristamalla enempää vettä poistetuksi, koska vesi sitoutuu turpeeseen sekä solunsisäisesti että kuitujen pinnalle kemiallisesti, nk. vetysitoutumisen kautta (hydrogen bonding). Näihin paikkoihin kertyy vettä yhä enemmän veden vetysitoutuessa itsensä kanssa, jolloin muodostuu vesiklustereita, pisaroita. Lopulta kuitujen muodostamat kapillaarit täyttyvät ja turpeelle ominainen pintajännitys pitää veden turpeessa. Vesi siis sitoutuu turpeeseen niin voimakkaasti, että veden irrottamiseen tarvitaan korkeampia lämpötiloja kuin luonnon kuivatuksessa on mahdollista saavuttaa.

Polton yhteydessä vesi on ensin haihdutettava, ennen kuin turpeen orgaaninen massa tuottaa lämpöä. Kuivan turpeen lämpöarvo on noin 20 MJ kg^{-1} eli suurin piirtein sama kuin puun. 40 % vettä sisältävän käyttöturpeen lämpöarvoksi jää siis 12 MJ kg^{-1} . Koska veden höyrystymislämpö on $2,26 \text{ MJ kg}^{-1}$ (Atkins & de Paula 2006), poltettaessa kilo turvetta $0,9 \text{ MJ}$ tarjolla olevasta 12 MJ :sta kuluu veden höyrystämiseen eli jäljelle jää noin 11 MJ kg^{-1} energian tuottoon. Lukua voi verrata kivihiilen ja raskaan polttoöljyn energiasisältöön, jotka ovat noin 28 MJ kg^{-1} ja 40 MJ kg^{-1} .

Alhaisempi vesipitoisuus tekee kivihiilen ja raskaan polttoöljyn energiasisällön painoyksikköä kohden paremmaksi kuin turpeen ja puun. Lisäksi puun ja turpeen kuivapainosta 40 % on energiaa tuottamatonta happea, kivihielessä vain 3–5 %. Polttoöljyn happipitoisuus on kivihiilenkin pitoisuutta vähäisempi, ja se sisältää painoyksikköä kohden runsaammin vetyä kuin puu ja turve. Nämä ominaisuudet tekevät turpeesta päästöjen suhteen kivihieiltä ja raskasta polttoöljyäkin huonomman polttoaineen tuotettua energiayksikköä kohden (Kuva 15). Yllä kuvattujen fysikaalisten ominaisuuksien vuoksi turve luokitellaan esimerkiksi EU:ssa fossiiliseksi polttoaineeksi.

SEOSPOLTTO VÄHENTÄÄ HIUKKASPÄÄSTÖJÄ

Turvetta poltetaan usein yhdessä puu- tai muun biomassapolttoaineen kanssa yleensä melko suurissa laitoksissa. Turpeesta syntyvä tuhka tarvitsee sulaakseen korkeamman lämpötilan kuin maatalousperäistä biomassaa poltettaessa syntyvä tuhka. Turvekattiloiden lämmönsiirtopinnat kuitenkin kestävät korroosion turpeen sisältämien suoja-aineiden, rikin (alle 0,25 %) ja alumiinisilikaattien ansiosta.



Kuva 15: Paikallisten ja fossiilisten polttoaineiden päästökertoimet ($\text{g CO}_2 \text{ MJ}^{-1}$, Tilastokeskus 2010).

$1 \text{ g CO}_2 \text{ MJ}^{-1} = 3,6 \text{ kg CO}_2 \text{ MWh}^{-1}$.

*turvetta on 70 % ja puuta 30 %.

Turpeen käyttö erityisesti hakkuutähteen ja orgaanisen kierrätyspolttoaineen seassa on siis perusteltua, koska seospolttu vähentää lämmönsiirtopintojen likaantumista. Seospolton hiukkaspäästöt ovat myös vähäisemmät: noin 30 % turvelisäys biomassapohjaiseen polttoaineeseen vähentää hiukkaspäästöjä jopa kolmannekseen (VAPO 2008). Turpeen poltossa raskasmetallipitoisuudet eivät yleensä ole ongelma.

Suurimpia laitoksia, joissa poltetaan turvetta muiden polttoaineiden kanssa ovat muun muassa Pietarsaaren kiertoileijulaitos ja Jyväskylän samaa polttotekniikkaa käyttävä Keljonlahden voimala.

Turpeen energiakäytön kasvihuonevaikutus elinkaarinäkökulmasta

Turpeen energiakäytön haittana ovat sen aikaansaamat kasvihuonekaasupäästöt. Ja vaikka turvetta muodostuu soilla jatkuvasti lisää, turpeen määrä Suomessa vähenee. Syynä tähän ovat turpeen poltto sekä turpeen hajoaminen metsäojitetuille soilla ja suopelloilla (Turunen 2008).

Ilmastopöimus velvoittaa allekirjoittaneita maita arvioimaan ja raportoimaan kasvihuonekaasupäästöistään. IPCC:n uusissa ohjeissa turpeen aiheuttamien päästöjen raportoimiselle on varattu oma luokkansa (IPCC 2006 Guidelines), mutta päästöjen laskennassa turve rinnastetaan fossiilisiin polttoaineisiin. Raportoitavassa päästöinventaariorissa pyritään esittämään mahdollisimman tarkasti raportoivan maan ihmisen toiminnan aiheuttamat kasvihuonekaasujen päästöt ja nielut vuosittain. Näin voidaan seurata kasvihuonekaasujen päästöjen todellista kehitystä ja päästönrajoitussopimusten toteutumista. Polttoturpeen kasvihuonevaikutusten elinkaaritarkastelussa puolestaan seurataan vuosittaisen päästö- määrätarkastelun sijaan päästöjen ja nielujen vaikutuksia pitkällä aikajänteellä.

Koska elinkaaritarkastelussa otetaan huomioon kaukana tulevaisuudessa olevia päästöjä ja nieluja, lopputulos ei sovi yhteen inventaariotarkastelun kanssa, jossa arvioidaan vain tarkasteluvuonna toteutuneet päästöt ja nielut. Lisäksi päästöinventaariorissa raportoidaan päästöt sektoreittain ja päästöluokittain, jolloin yhden toiminnon elinkaaren, kuten turpeen energiakäytön päästöt jakautuvat useisiin päästöluokkiin (esimerkiksi poltto, korjuukoneet ja turvetuotantoalueen jatkokäyttö).

ELINKAARITARKASTELU

Elinkaarianalyysissä arvioidaan toiminnon tai tuotteen "kehdestä hautaan" aiheuttamia ympäristövaikutuksia (tässä vain ilmastovaikutuksia), jotka aiheutuvat elinkaaren luonnonvarojen käytöstä käyttövaiheen jälkeiseen jätteen käsittelyyn saakka (ISO 14040, 1997). Silloin arvioidaan toiminnon tai tuotteen kokonaisvaikutus ottaen huomioon kaikki sen aiheuttamat merkittävät päästöt ja nielut. Tavanomaisen tuotteen kohdalla päästöajanjakso on muutamia kuukausia tai vuosia. Tällöin eri vuosille sattuvat päästöt lasketaan yhteen, eikä tarkastelussa kiinnitetä erityistä huomiota aikajänteeseen. Turvepolttoaineen tapauksessa suonpohjan soistaminen tai metsitys aiheuttaa jopa vuosisatoja kestäviä nielu- ja päästöprosesseja, minkä vuoksi tarkasteluun ja tulosten esittämiseen on järkevää tuoda selvä aikajänne mukaan. Energiaturpeen kohdalla tuotantoalueen ennallistaminen tai maisemointi voidaan lukea mukaan elinkaareen.

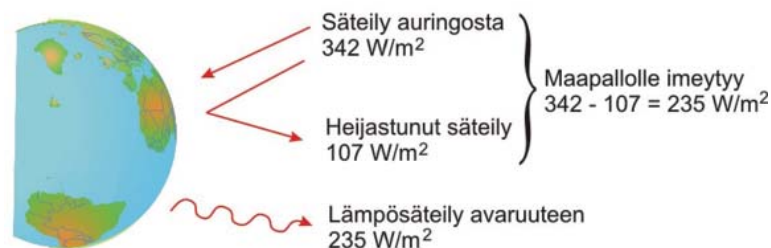
SÄTEILYPAKOTE

Kasvihuonevaikutusta voidaan arvioida säteilypakotteen avulla. Säteilypakote (Kuva 16) kuvaa kasvihuonekaasuista aiheutuvaa maapallon säteilyenergiatasapainon poikkeamaa. Poikkeama on lämmitysteho, joka nostaa maapallon lämpötilaa vähitellen. Lämpötilan noustessa säteily avaruuteen kasvaa, kunnes saavutetaan uusi tasapainotila. Säteilypakote ilmaistaan tavallisesti keskimääräisenä lämmitystehona maapallon pinnan neliometriä kohti (W m^{-2}). Auringosta tulevan säteilyvuon teho maapallon etäisyydellä on noin 1370 W m^{-2} , mutta kun tämä jaetaan tasan maapallon pinnalle, saadaan 342 W m^{-2} keskimäärin maapallon pinta-alaa kohti, sillä pallon pinta-ala on neljä kertaa sen projektio.

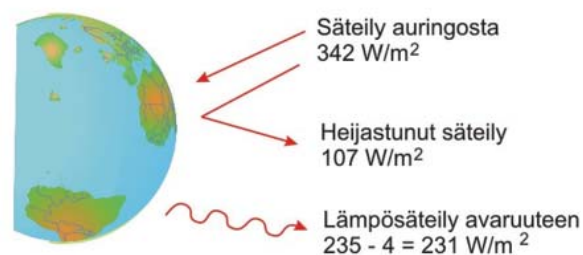
Säteilytasapainoon vaikuttaa myös heijastunut säteily. Jos heijastuminen lisääntyy esimerkiksi pilvien ominaisuuksien muutosten vuoksi, syntyy viilentävä negatiivinen säteilypakote. Palautemekanismit, kuten veden lisääntynyt määrä lämmenneessä ilmakehässä, voimistavat säteilypakotteen vaikutusta.

Säteilypakote lasketaan turpeen energiakäytön aiheuttamien laskennallisten CO_2 :n, CH_4 :n ja N_2O :n pitoisuuksien muutoksista, siis turpeen energiakäytön päästöistä ja nieluista. Tulokset ilmaistaan dimensiottomana yksikkönä ($E_{\text{abs}}/E_{\text{po}}$), joka kuvaa elinkaaren päästöjen ja nielujen aiheuttamaa maapallon pinta-alalla kerrottua kumulatiivista säteilypakotetta (E_{abs}) jaettuna polttoaineen energialla (E_{po}). Suhde ($E_{\text{abs}}/E_{\text{po}}$) kuvaa siis kuinka moninkertaisesti maapallon ilmakehä ja pinta absorboivat energiaa suhteessa tarkastellun polttoaineen energiaan. Tämä esitystapa helpottaa ja havainnollistaa eri turvetketjujen ja kivihiiilen käyttöketjun kasvihuonevaikutusten vertailemista.

Tasapainotilanne



Poikkeama ilmakehän CO_2 -pitoisuuden kaksinkertaistumisesta 4 W/m^2



Kuva 16: Säteilypakotteen periaate. Tasapainotilassa maapallolle imeytyvä säteilyenergia ja maapallolta avaruuteen lähtevä säteilyenergia ovat yhtä suuret. Ilmakehän lisääntyneet kasvihuonekaasujen pitoisuudet vähentävät säteilyenergian siirtymistä maapallolta avaruuteen, jolloin maapallon lämpötila nousee. Säteilyenergiatasapainon poikkeamaa sanotaan säteilypakotteeksi. Hiilidioksidipitoisuuden kaksinkertaistuminen aiheuttaa säteilypakotteen 4 W m^{-2} ja tämänhetkiset ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuudet säteilypakotteen $2,7 \text{ W m}^{-2}$ (NOAA 2008). Luvut ovat keskimääräisiä maapallon pinta-alan neliometriä kohti (Trenberth ym. 2009).

KASVIHUONEVAIKUTUKSEN LASKENTA

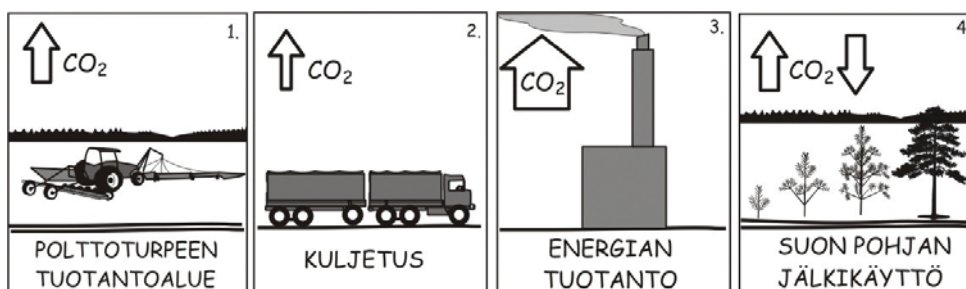
Energiaturpeen elinkaaren kasvihuonevaikutusta tarkastellaan ilmakehän näkökulmasta, eli ilmaan suuntautuvat kaasuvirrat ovat positiivisia ja ilmasta pois negatiivisia. Soilla ja turvemaiilla voi olla kasvihuonevaikutusta jo niiden nykytilassa. Tämä tulee ottaa huomioon laskettaessa polttoturpeen hyödyntämisestä aiheutunutta kasvihuonevaikutusta: kun alue otetaan energiaturpeen tuotantoon, sen alkuperäistä tilaa vastaavat päästöt ja nielut jäävät toteutumatta. Turvemaan hyödyntämisketjun kasvihuonevaikutus lasketaan täten vähentämällä polttoaineen tuotannon (turvetuotantokentän, auman ja työkoneiden) sekä polton päästöt turvemaan alkuperäisen tilan toteutumatta jääneistä päästöistä/nieluista:

$$I = I_U - I_R$$

Tässä I kuvaa nettokasvihuonevaikutusta, I_U on turpeen (tai biomassan) hyödyntämisketjun kasvihuonevaikutus ja I_R on hyödynnetyn turvevaran kasvihuonevaikutus eli ilman toimenpiteitä vallitseva päästöjen ja nielujen tila (eli ns. vertailutilanne).

Turve-energian tuotantoketju muodostuu eri vaiheista: alkutila, polttoturpeen tuotanto (työkoneiden päästöt, varastoiminen ja kuljetus voimalaitokselle) ja polttaminen sekä turpeentuotantoalueen jälkikäsitely (Kuva 17). Tutkimuksessa (MMM 2007, Kirkinen ym. 2007a, 2007b, 2008) on käsitelty mahdollisina turpeen tuotantoalueina eli alkutiloina metsäojitettua suota sekä maatalouskäytössä olevaa turvemaata (suopeltoa). Kirkinen ym. (Kirkinen ym. 2007a, b, c, 2008) on kuvannut tässä esitetyt laskennan yksityiskohtaiset lähtöarvot.

Suurin osa polttoturpeen nykyisistä tuotantoalueista on kuivattu metsätalouskäyttöön, ja metsäojitetut suot ovatkin hyvin merkittäviä polttoturpeen tuotannossa. Maatalouskäyttöön muokattua suomaata on Suomessa yli 200 000 hehtaaria, josta turvetuotantoon soveltuvaa alaa on arvioitu olevan n. 70 000 hehtaaria. Suopeltojen päästöt ovat merkittäviä (I_R on suuri), joten niiden turvetuotannon kasvihuonevaikutusta on perusteltua tutkia. Tällä hetkellä suopeltojen hyödyntäminen energiaturpeen tuotantoon on vähäistä.



Kuva 17: Polttoturpeen hyödyntämisen päävaiheet. 1) Tuotantoalueella turve hapettuu ja aiheuttaa jonkin verran hiilidioksidipäästöjä. 2) Työkoneet, varastoamat ja kuljetus aiheuttavat päästöjä. 3) Suurimmat päästöt syntyvät turpeen palaessa. 4) Jälkikäyttövaiheessa (tässä metsitys) jäännösturve hapettuu, toisaalta vähitellen kasvava metsä sitoo hiilidioksidia. Hiilidioksidipäästöjen lisäksi eri vaiheissa vapautuu pieniä määriä metaania ja ilokaasua.

KIVIHIILEN, MAAKAASUN JA TURPEEN PÄÄSTÖKERTOIMET

Energiaturpeen elinkaarilaskennan keskeiset päästökertoimet esitellään hiilidioksidin osalta taulukoissa 1 ja 2 sekä kivihiilen ja maakaasun taulukossa 3 (Kirkinen ym. 2007b, 2008). Laskennassa käytetyt metsäojitettujen soiden turvekerroksen päästöt ($0\text{--}4480 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$) ovat melko lähellä Suomen päästöinventaaressa raportoitua metsäojitettujen turvemaiden päästöjä, 6 Mt CO_2 , sillä kun näiden maiden pinta-ala on noin 5 miljoonaa hehtaaria, saadaan keskimääräisiksi päästöiksi $1200 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ (Tilastokeskus 2010).

Nykyisten polttoturpeen tuotantoalueiden valinnassa ei ole otettu huomioon alueen turpeen hajomisenopeutta. Siksi laskennassa on perusteltua käyttää arviota, joka on lähellä keskimääräistä hajomisenopeutta. Maatalouden käyttämien turvemaiden päästönopeus on moninkertainen metsäojitettuun turvemaan verrattuna. Kirkinen ym. (2007a, 2007b, 2008) on esittänyt muun muassa metaanin ja ilokaasun lähtöarvot yksityiskohtaisesti. Kasvihuonevaikutus aiheutuu pääosin hiilidioksidista, mutta joissakin tapauksissa myös metaani- ja ilokaasupäästöt vaikuttavat: esimerkiksi kivihiilen tuotannossa on merkittäviä metaanipäästöjä, ja maatalouskäytössä oleva suopelto vapauttaa ilokaasua.

	Keskimäärin	Alaraja	Yläraja
Metsäojitettu turvema	2240	0	4480
Maatalouskäytössä oleva turvema (suopelto)	17600	7050	28200

Taulukko 1: Metsäojitetun ja maatalouskäytössä olevan turvemaan vuotuiset päästöt sekä niiden vaihteluväli ($\text{kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$) (Kirkinen ym. 2007b).

	Keskimäärin	Alaraja	Yläraja
Energiaturpeen tuotanto	9.3	4.7	14
Poltto	105.9	105.3	106.5
<i>Jälkikäsittely (metsitys)</i>			
Metsä	-4480	-3590	-5050
Maanpäällinen karike	-1470	-1220	-1550
Maanalainen karike	-150	0	-220

Taulukko 2: Energiaturpeen noston ja polton päästöt ($\text{g CO}_2 \text{ MJ}^{-1}$) ja alueen jälkikäsittelyssä kasvavaan metsään sekä maanpäälliseen ja maanalaiseen karikkeeseen hiilidioksidin vuotuinen sitoutuminen ($\text{kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$) (Kirkinen ym. 2007b).

	Keskimäärin	Alaraja	Yläraja
Kivihiilen tuotanto, kuljetus ja käsittely	4.1	3.6	5.3
Kivihiilen poltto	94.6	91.8	97.4
Maakaasun tuotanto ja jakelu	4.3	2.6	10.2
Maakaasun poltto	56.5	55.4	57.6

Taulukko 3: Kivihiilen ja maakaasun päästöt energiayksikköä kohti ($\text{g CO}_2 \text{ MJ}^{-1}$) (Sokka ym. 2005, Kirkinen ym. 2008).

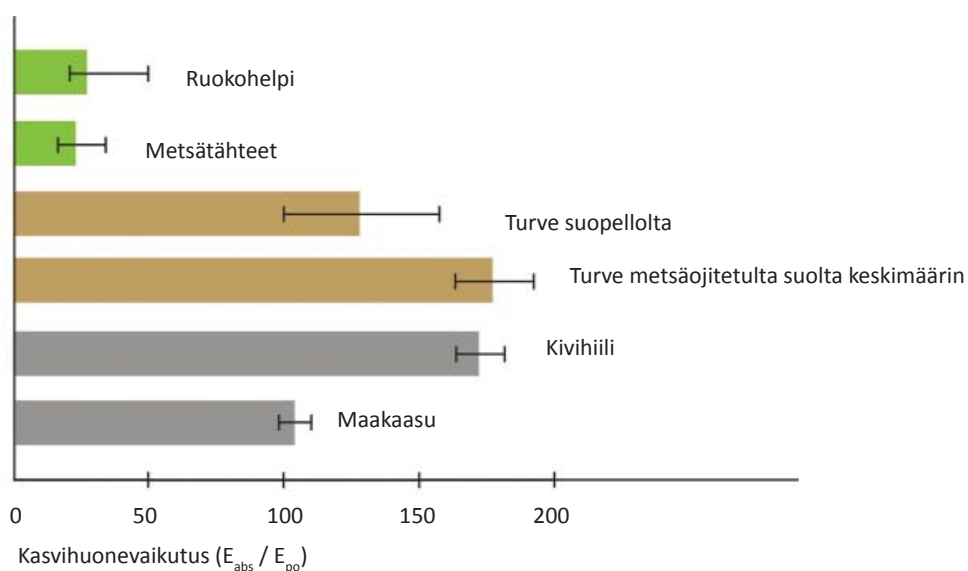
SUURIN KASVIHUONEVAIKUTUS LUONNONTILAISEN SEKÄ METSÄOJITETUN SUON TURPEEN POLTOSTA

Metsäojitetulta ja luonnontilaiselta suolta kerätyn turpeen energiakäyttö saa aikaan likimain samantasaisen kasvihuonevaikutuksen kuin kivihiili. Kuvassa 18 on esitetty keskimääräistä metsäojitettua suota ja kivihiiltä koskeva tulos (Kirkinen ym. 2007b).

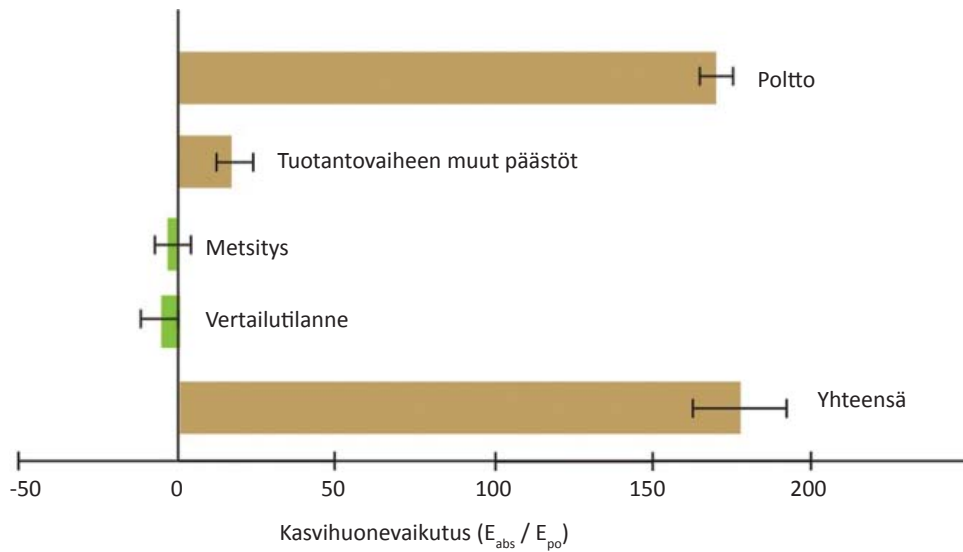
Näissä tapauksissa ilmakehään ja maapallon pintaan imeytyy n. 160–190 kertaa suurempi energiamäärä sadassa vuodessa kuin polttoaineesta vapautuu sitä poltettaessa. Lähes kaikki turve-energia tuotetaan metsäojitetuilta ja luonnontilaisilta soilta tuotetulla turvepolttoaineella.

Suopelloilta nostetun turpeen kasvihuonevaikutus on noin kolme neljäsosaa metsäojitetulta suolta saadun energiaturpeen kasvihuonevaikutuksesta. Näiden tulosten perusteella ilmastoystävällisin tapa käyttää turvetta energian tuottamiseen perustuu maatalouskäytössä olevien turvemaiden hyödyntämiseen. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että käsittelemättömänkin suopellon päästöt ovat varsin merkittävät verrattuna esimerkiksi metsäojitettuun suohon (suopellon I_R on suurempi kuin metsäojitetun suon), ja nämä päästöt jäävät toteutumatta kun suopeltojen turvekerros on kokonaan hyödynnetty. Jäännösturpeen tarkka keruu, polttotekniikoiden parantaminen sekä uudet turpeen korjuumenetelmät voisivat pienentää turpeen kasvihuonevaikutusta vielä hiukan.

Metsitys on jonkin verran ilmastoystävällisempi turpeen tuotantoalueen jatkokäyttövaihtoehto kuin soistaminen. Ruokohelven viljely on kasvihuonevaikutukseltaan lähes sama kuin metsitys. Puuaineksen ja ruokohelven energiakäyttö ei ole kuitenkaan täysin ongelmaton: päästöjä aiheutuu korjuuko-neista, mahdollisista lannoitteista ja hiilivaraston muutoksesta.



Kuva 18: Eri energiantuotantoketjujen kasvihuonevaikutus sadassa vuodessa. Palkit kuvaavat kunkin ketjun kasvihuonevaikutusta ja vaakasuorat janat kuvaavat vaikutuksen epävarmuutta. Kasvihuonevaikutus (E_{abs} / E_{po}) on elinkaaren päästöjen ja nielujen aiheuttama kumulatiivinen säteilypakote sadassa vuodessa jaettuna polttoaineen energialla. Esimerkiksi sadassa vuodessa kivihiilen poltossa imeytyy maapallolle noin 170 kertaa enemmän energiaa kuin vapautuu sitä poltettaessa (Kirkinen ym. 2007a, 2008).



Kuva 19: Metsäojitetulta suolta otetulla turpeella tuotetun energian kasvihuonevaikutus (E_{abs}/E_{po}) elinkaaren eri vaiheissa. Poltto aiheuttaa merkittävimmän kasvihuonevaikutuksen. Vertailutilanne (I_R) kuvaa metsäojitetun suon päästöjä, jotka eivät toteudu, kun turve poltetaan. Vaakasuorat janat kuvaavat epävarmuutta (Kirkinen ym. 2007a,b).

Poltolla on suurin osuus turpeen elinkaaren kasvihuonevaikutuksessa (Kuva 19). Tuotantoalueen ja korjuun päästöt ovat polttoa selvästi pienemmät. Metsitysvaiheen ja turpeen polton vuoksi toteutumat-
tomien päästöjen määrä (vertailutilanne) on melko pieni metsäojitetun suon tapauksessa. Jos hyödyn-
netty turvevara olisi tätä esimerkkitapausta nopeammin hajoavaa, vertailutilannetta päästöt olisivat
suuremmat. Näin on esimerkiksi suopellon tapauksessa.

Turvetuotantoon soveltuvaa maataloussuoalaa on arvioitu olevan Suomessa noin 70 000 hehtaaria,
mutta näiden alueiden hyödyntäminen energiaturpeeksi on vähäistä. Runsaspäästöistä metsäojitettua
suota on enemmän ja ne ovat helpommin hyödynnettävissä. Tällaisesta turvemaasta tuotetun energia-
turpeen kasvihuonevaikutus sijoittuisi metsäojitetusta turvemaasta ja suopellosta tuotetun energia-
turpeen kasvihuonevaikutusten väliin. Runsaspäästöisyyttä ei ole toistaiseksi käytetty kriteerinä turpeen-
nostoalueita valittaessa.

ELINKAARIANALYYSIN TULOSTEN EPÄVARMUUS

Epävarmuudet eri tuotantoketjun vaiheissa ovat erilaisia. Suhteellisesti tarkimmin tiedetään polton
ja tuotannon päästöt. Jatkokäytön osalta tiedetään, että jäännösturpeen hajoaminen voi aiheuttaa
suuremmat päästöt kuin mitä metsä sitoo hiiltä, mikä lisää kasvihuonevaikutusta. Kun tarkastelujakso
pidentyy, kasvihuonevaikutuksen arvioiminen muuttuu epävarmemmaksi, koska erityisesti jäännös-
turpeen määrästä ja sen hajoamisnopeudesta on vähän tietoa. Lisäksi metsitysvaiheen kasvihuonevai-
kutusta voi olla viilentävä tai lämmittävä. Osa epävarmuusjanasta kuvassa 19 on seurausta vertailutilan
päästöjen (I_R) epävarmuudesta. Esimerkiksi suopellon päästöt vaihtelevat mittausten mukaan paljon,
ja niin myös epävarmuutta kuvaava jana kuvassa 18 on pitkä suopelloilta tuotetun energiaturpeen
tapauksessa.

TURPEESEEN LIITTYVÄT HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT VUONNA 2008 (Mt CO₂)

Turpeen poltosta sekä turvepeltojen ja ojitettujen soiden hajoavasta turpeesta aiheutuneet yhteenlasketut hiilidioksidipäästöt olivat Suomessa n. 22 Mt CO₂ vuonna 2008 (Tilastokeskus 2010), eli huomattavasti suuremmat kuin luonnontilaisten soiden vuosien 1950–2000 ajalta laskettu keskimääräinen turpeeseen sitoutunut hiilidioksidimäärä (5 Mt CO₂ v⁻¹, Turunen 2008).

Turpeen poltto	8,5
Turvetuotantoalueet	1,2
Turvepellot	5,9
Metsäojitetut suot	6,1
Luonnontilaiset suot	-5

Turpeen määrä siis vähenee nykyisin. Luonnontilaisten soiden turpeeseen keräytyvän hiilen määrän arvioiminen on toisaalta vaikeaa, sillä turpeen muodostuminen yksittäisinä vuosina on hyvin riippuvaisista sääoloista. Esimerkiksi Saarnion ym. (2007) tulosten mukaan ei uutta turvetta ole muodostunut juuri lainkaan tämän vuosituhannen lämpiminä alkuvuosina. Lisää ilmaston lämpenemisen vaikutuksista suon hiilenkiertoon luvussa 2.

Pitkän aikavälin laskelmissa on käytetty luokkien keskiarvoja. Laskelmissa päästöt ja nielut oletetaan tunnetuiksi 100 vuotta eteenpäin, mutta ilmaston ja maankäytön muuttumista ei voida aina ennustaa. Näin saadut tulokset ovat suhteellisen tarkkoja vain lähimmän 20 vuoden kuluessa tehtävien turpeen korjuun ja polton päästöjen osalta.

Energiaturpeen tuottamisen aiheuttamia päästöjä voidaan vähentää uudella polttoturpeen tuotantotekniikalla nykyisestä jopa kolmannekseen. Suopolttoaineen tuotantovaiheen päästöt ovat kuitenkin vain kymmenkunta prosenttia elinkaaren kokonaispäästöistä eikä niiden pienentäminen juurikaan muuta kokonaispäästöjen määrää. Kuivaamalla turve nykyistä paremmin voidaan polton päästökerointa alentaa muutamia prosentteja. Tuotanto- ja polttoteknologioita parantamalla turpeen kasvihuonevaikutus pienenee kuitenkin sen verran, että turve voi olla hiukan kivihiiiltä ilmastoystävällisempi energianlähde pitkällä aikavälillä tarkasteltuna. Toisaalta kivihiiilen kasvihuonevaikutustasoa ei voida pitää laajasti käytetyn energiantuotantotekniikan tavoitteena, koska kansainväliset ilmastotavoitteet mitä ilmeisimmin tiukkenevat. Siksi päästöissä pitäisi päästä murto-osaan kivihiiilen tasosta muutamassa vuosikymmenessä. Kivihiiilen käyttöä tultaneenkin vähentämään voimakkaasti teollisuusmaissa, ellei voimalaitoksia varusteta hiilidioksidin erotuksella ja talteenotolla (Carbon Capture and Storage, CCS).

Valtioneuvoston tulevaisuusselonteko (VNK 2009) tekeekin selvän linjauksen: vähäpäästöiseen yhteiskuntaan siirryttäessä on tavoitteena luopua vaiheittain sellaisesta fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käytöstä, jossa hiilidioksidia ei oteta talteen.

VERTAILU MUIHIN TUTKIMUKSIIN

Ruotsissa tehdyissä tutkimuksissa on käytetty varsin samanlaisia tutkimusmenetelmiä kuin Suomessa (Nilsson & Nilsson 2004, Hagberg & Holmgren 2008, Savolainen ym. 1994). Ruotsalaisissa tutkimuksissa käytetyt turvemaiden päästöt ovat selvästi suurempia kuin Suomessa, mikä johtaa siihen, että turpeen energiakäytön kasvihuonevaikutus on ruotsalaisissa tutkimuksissa usein pienempi kuin suomalaisissa (Holmgren ym. 2006). Tulosten eroavuudet suomalaisten ja ruotsalaisten tutkimusten välillä selittyvät pääosin erilaisilla lähtöarvoilla. Suomen päästöinventaarior (Tilastokeskus 2010) tukee vahvasti suomalaisissa tutkimuksissa käytettyjä arvoja (Kirkinen ym. 2007, 2008, Kirkinen 2010).

Suomen ympäristökeskus, Ilmatieteen laitos, Itä-Suomen yliopisto ja Geologian tutkimuskeskus ovat kriittisesti arvioineet ympäristöministeriön toimeksiannosta Suomessa ja Ruotsissa tehtyjä energiaturpeen elinkaaritutkimuksia (Seppälä ym. 2010). Vertailussa tehdyt laskelmat osoittivat, että kun turvetuotantoalue metsitetään turpeentuotannon päätyttyä, luonnontilaisesta suosta otetun turpeen ja kivihiilen energiakäytön ilmastovaikutukset ovat samaa luokkaa. Metsäojitettujen soiden turpeen energiakäyttö aiheuttaa keskimäärin kivihiiiltä hieman suuremman ilmastovaikutuksen. Nämä kriittisen arvioinnin tulokset ovat yhteensopivat Suomalaisen Tiedeakatemia kannanoton kanssa.

TARKASTELUJEN AIKAJÄNTEET

Luonnontilaisen suon turve uusiutuu hitaasti vuosituhansien kuluessa, kun esimerkiksi metsä kasvaa hakkuukypsäksi vajaassa vuosisadassa. Ilmakehään vapautunut hiilidioksidi poistuu hitaasti valtameriin sekä metsiin sadan tai jopa satojen vuosien aikana.

Jos ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuuksien suureneminen halutaan pysäyttää YK:n ilmastopimuksen mukaisesti, tulee maailman kasvihuonekaasujen päästöt rajoittaa alle puoleen nykyisestä. Jos tavoitteena on Kööpenhaminan sitoumuksen kahden asteen rajoite, tulisi maailman yhteenlaskettujen päästöjen pienentyä 50–85 % vuoteen 2050 mennessä (IPCC 2007). EU:ssa ja Suomessa on varauduttava hyvin voimakkaaseen päästöjen vähentämiseen tulevien vuosikymmenten aikana. Kun verrataan eri polttoaineiden kasvihuonevaikutusta, on perusteltua käyttää vastaavaa aikajännettä kuin päästörajoituksissa tai jonkin verran pidempää. Siksi tässä kannanotossa käytetään sadan vuoden aikajännettä.

TURVETUOTANNON VESISTÖVAIKUTUKSET

Turvetuotantoalueilta purkautuvat valumavedet sisältävät kiintoainetta, liukoisia orgaanisia yhdisteitä ja ravinteita, jotka kuormittavat alapuolisia vesistöjä. Kuormituksella voi olla suuri paikallinen vaikutus (Cruickshank ym. 1995, Hynynen ym. 1994, Laine & Heikkinen 2000). Vastaanottavan vesistön sietokyvyn ylittävä kuormitus on tähän mennessä ollut yleisin syy turpeenottolupien kieltämisessä ympäristölupavirastoissa tai hallinto-oikeuksissa.

Vuotuinen kiintoainekuormitus vaihtelee yleensä 5–10 kg hehtaarilta, kokonaisfosfori vastaavasti 200–500 g ja kokonaistyyppi 5–15 kg hehtaarilta. Suomen ympäristökeskuksen tilastojen mukaan turvetuotannon aiheuttama fosforikuormitus vuonna 2007 oli 20 tonnia (0,5 % vesistöjen kokonaiskuormituksesta) ja typpikuormitus vastaavasti 560 tonnia (0,8 %). Kuormituslukuihin sisältyy myös ennen tuotantoa ollut, esimerkiksi metsäojituksen aiheuttama taustakuormitus. Varsinaisen turvetuotannon aiheuttama kuormitus on selvästi pienempi (Silvan ym. 2010).

Euroopan unionin vesipolitiikan puitedirektiivi (2000) yhtenäistää EU:n vesiensuojelua. Sen tavoitteena on muun muassa estää vesiekosysteemien huononemista, suojella ja parantaa niiden tilaa sekä ehkäistä samalla pinta- ja pohjavesien tilan heikkenemistä koko Euroopan unionin alueella. Pintavesien hyvä tila sekä pohjavesien hyvä määrällinen ja kemiallinen tila tulee saavuttaa 15 vuoden kuluessa direktiivin voimaantulosta.

Uusi vesiensuojelulainsäädäntö edellyttää myös turvetuotannon vesiensuojelun tehostamista. Kuormitusta voidaan vähentää merkittävästi ympäristölupaehdojen edellyttämällä vesiensuojelutoimilla ja parasta mahdollista tekniikkaa käyttäen. Valtioneuvoston asettamien tavoitteiden mukaan typpi- ja fosforikuormitusta tuli alentaa jo vuoteen 2005 mennessä 30 % vuoden 1993 arvioidusta tasosta sekä kiintoaineen ja liukoisen orgaanisen aineen määrää vastaavasti noin 65 % (Rekolainen ym. 2006). Esitettyihin tavoitteisiin ei ole arvioiden mukaan päästy, joten jatkossa tulee kehittää tehokkaampia vesiensuojelumenetelmiä.

Tavanomaisena vesiensuojelukeinona käytetyt laskeutusaltaat toimivat huonosti erityisesti tulva-aikoina ja rankkasateiden yhteydessä. Pintavalutus on tehokkaampi keino kiintoaineksen ja ravinteiden pidättämiseksi, mutta vaatii laajemman pinta-alan. Kehitteillä oleva kuivurimenetelmä (Kuva 14) voi yleistyessään vähentää kuormitusta merkittävästi (Silvan ym. 2010). Syynä tämän menetelmän pieniin päästöihin on ennen kaikkea jyrinturvetuotantoa pienempi kerralla avattu tuotantopinta-ala.

5. Turpeen energiakäytön kriittiset valinnat

Koska teollistuneiden yhteiskuntien hyvinvointi ja elämäntavat perustuvat helposti saatavilla olevaan halpaan energiaan, energiankulutuksen välitön leikkaaminen tässä ja nyt ei ole mahdollista. Turpeen polttoa koskevien ratkaisujen tulee siis suuntautua pitkälle tulevaisuuteen ja perustua energian tuotannon ja käytön järjestelmän muuttamiseen sekä energian käytön vähentämiseen. Erityisen tärkeää on eriyttää ajalliset mittakaavat. Pitkän tähtäyksen tavoitteet eivät välittömästi toteudu nyt tehtävien ratkaisujen seurauksena, mutta välittömät ratkaisut voivat joko edistää tai estää pitkän tähtäyksen tavoitteiden saavuttamista.

Taloudelliset ja sosiaaliset ulottuvuudet

Turpeen käyttö energian lähteenä vakiintui Suomessa ensimmäisen öljykriisin seurauksena 1970-luvulla. Tuotannon kasvu jatkui voimakkaana 1990-luvulle. Sen jälkeen vuosituotanto on ollut keskimäärin noin 25 TWh, mutta vuosien välinen vaihtelu on erittäin suurta lähinnä kesien sateisuuden vuoksi. Turpeella on tuotettu viime vuosina Suomen sähköenergiasta 6–7 % ja kaukolämmöstä noin viidennes.

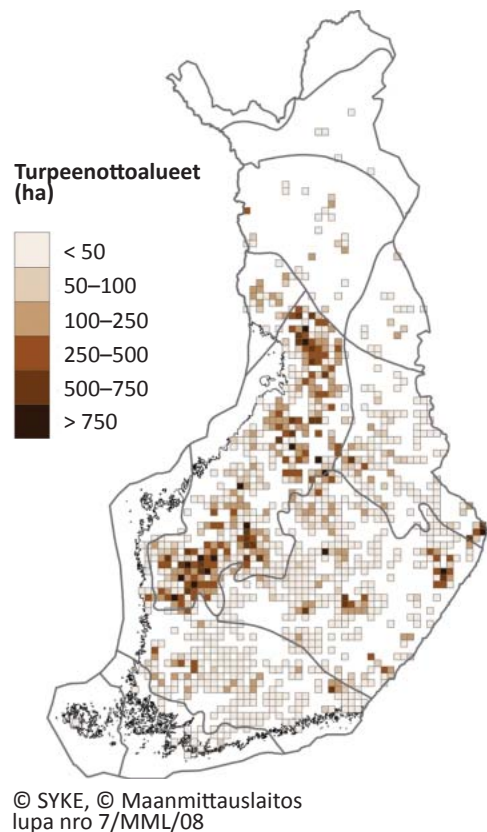
Turvetta käytetään yleensä yhdessä biopolttoaineiden, erityisesti puun kanssa (Kara ym. 2004, s. 239) ja vuosituhaten alussa turpeen osuus yhteispoltosta on ollut noin kolme neljäsosaa (Lahtinen ym. 2005). Turvetta huomattavassa määrin käyttäviä voimaloita on noin 60 (Paappanen & Leinonen 2005).

Energiaturpeen tuotanto ja käyttö jakautuvat hyvin epätasaisesti maan eri osiin (Kuva 20). Polttoturvetta käytetään Pohjanmaalla ja Lapissa eniten – joillakin alueilla turve kattaa peräti 75 % energian käytöstä. Myös Pohjois-Savo, Keski-Suomi ja Satakunta ovat tärkeitä turpeen kaivuun ja käytön alueita.

TYÖLLISYYSVAIKUTUKSET

Turpeen käytön työllisyysvaikutuksesta tehdyt useat valtakunnalliset arviot ovat hyvin samansuuntaisia. Kokonaisvaikutukseksi arvioidaan noin 7000 henkilötyövuotta, mistä noin puolet koostuu suorista ja toinen puoli epäsuorista vaikutuksista. Polttoturpeen tuotannon ja valmistuksen osuus henkilötyövuosista on hieman alle puolet (3300). Voimalat tarjoavat yhteensä noin 2500 työpaikkaa ja kuljetukset noin 800 työpaikkaa. Epäsuorat vaikutukset kuten käytön aikainen huolto sekä laitteistojen kehittäminen ja valmistaminen sisältyvät arvioihin (Paappanen & Leinonen 2005).

Työllisyysvaikutuksia koskevat luvut ovat kuitenkin valtakunnallisia kokonaisarvioita, eikä työpaikkojen paikallisesta ja alueellisesta jakaumasta ole tietoa. Kokonaisurakoitsijat kaivavat turpeen joko palkkaamalla työvoimaa tai käyttämällä aliurakoitsijoita, ja kuljetuksista vastaavat yksityiset



Kuva 20: Tuotantoalueiden sijainti (Raunio ym. 2008).

kuljetusalan yrittäjät (Lahtinen ym. 2005). Ainakin osa työpaikoista sijaitsee oletettavasti maakunnissa lähellä turpeen kaivuuseen otettuja soita, mutta urakoitsijoiden kotipaikat voivat vaihdella suuresti. Voimalat puolestaan tarjoavat työtä paikkakuntalaisille, mutta nämä työpaikat eivät toisaalta ole riippuvaisia laitoksen käyttämästä polttoaineesta.

TURVE ENERGIAHUOLLOSSA

Viimeisimpien, 2000-luvulla esitettyjen arvioiden ja ennusteiden mukaan (Flyktman 2005, Lahtinen ym. 2005) turpeen käytön ei oleteta lisääntyvän lähiaikoina. Hiilidioksidin päästökaupan vaikutus turpeen käyttöön on vaikeasti ennakoitavissa. Turpeen suuret hiilidioksidipäästöt oletettavasti heikentävät sen kilpailukykyä, jota puolestaan Suomessa parannetaan syöttötariffilla.

Turpeen energiakäyttöä pyritään siis päästökaupasta huolimatta aktiivisesti lisäämään. Suomen sähkö- ja kaukolämpöalan etujärjestö Energiateollisuus ry on määritellyt vuoteen 2050 ulottuvassa visiossaan seuraavan tavoitteen:

”Kotimaisten polttoaineiden – erityisesti metsäenergian ja turpeen – käyttöä on lisättävä ja markkinoita on kehitettävä mm. hankintaa ja ohjeistusta kehittämällä.” (Energiateollisuus 2009).

Lehdistötiedotteessaan 10.12.2009 Energiateollisuus toteaa, että

”Turpeen energiakäyttö ja ympäristönäkökohdat sovitettavissa yhteen”
(<http://www.energia.fi/fi>; luettu 13.12.2009).

Polttoturpeen saattamisesta markkinoille vastaa pääosin kaksi yritystä: Vapo ja Turveruukki. Vapon oman ilmoituksen mukaan sen markkinaosuus energiaturpeesta on noin 80 %. Turvetuotantoon käytetty kokonaispinta-ala on noin 65 000 hehtaaria, mistä Vapon osuus on 50 500 hehtaaria ja Turveruukin noin 6900 hehtaaria; pieniä tuottajia on noin sata (Paappanen & Leinonen 2005). Turveyrityksillä on omat etujärjestönsä Turveteollisuusliitto ry sekä Suomen Turvetuottajat ry. Polttoturvealan toimijat osallistuvat aktiivisesti julkiseen keskusteluun pyrkien vaikuttamaan siihen, millaiseksi polttoaineeksi turve tulisi tulkita. Julkisuuskanavana järjestöt käyttävät omia kotisivujaan. Vapo käyttää turpeesta nimitystä biopolttoaine ja Turveteollisuusliiton kotisivuilla oleva Bioforum-sivusto kutsuu turvetta nimityksellä bioenergia.

Keskustelu siitä, millaiseksi polttoaineeksi turve tulisi määritellä, kertoo turve-energian poliittisesta merkityksestä (Bowker & Star 1999). Suomessa esiintyy pyrkimyksiä poiketa kansainvälisestä käytännöstä. Luukkanen ym. (2009) luonnehtivat vallitsevaa epäselvyyttä seuraavasti:

”Myös turve luokitellaan kansainvälisissä luokituksissa fossiiliseksi polttoaineeksi.”

Mutta Suomessa se luokitellaan nykyisin

”hitaasti uusiutuvaksi biomassapolttoaineeksi”.

Turpeen energiakäyttö on epäilemättä tällä hetkellä vakiintunut niin merkittäväksi osaksi maamme energiahuoltoa, ettei suuria muutoksia ole mahdollista toteuttaa nopeasti. Turpeen energiakäyttöä koskevat päätökset tulee kuitenkin tehdä avoimesti sen hyötyjä ja haittoja vertailemalla. Nimityksellä politikointi hankaloittaa tosiasioihin perustuvaa harkintaa.

Turpeen polton haitallisten ilmastovaikutusten vuoksi sen energiakäyttöä tulisi vähentää, kun taas turpeen kotimaisuus sekä alue- ja paikallistaloudellinen merkitys puoltavat sen käyttöä. Toisaalta turpeen kaivuu aiheuttaa vesistövaurioita, erityisesti kirkasvetisten järvien humuspitoisuus on suurentunut. Tämä on aiheuttanut haittoja esimerkiksi Pohjois-Karjalassa paikallisille elinkeinoille kuten kalastukselle ja matkailulle. Säiden vaihtelu tekee turvetuotannon haavoittuvaiseksi, mikä vähentää maamme energiahuollon turvallisuutta.

Turpeen tulevaisuuden käyttöä energiantuotantoon on syytä arvioida osana maamme energiahuollon kokonaisjärjestelmää. Järjestelmässä ovat keskeisessä asemassa suuren mittakaavan toimijat, joilla on hallinnassaan suuria tuotantoyksiköitä. Suuren mittakaavan toiminnalle vaihtoehdon muodostava hajautettu energiantuotanto toisaalta tukee erityisesti paikallista taloudellista toimintaa sekä polttoaineiden hankinnassa että laitosten käytössä ja ylläpidossa (Kara ym. 2004, 307). Uusiutuvat energiamuodot, kuten puuenergia, soveltuvat erityisen hyvin paikallisesti ja alueellisesti rakentuvaan, verkostoituneeseen tuotantojärjestelmään (Peltola 2005, 2007, Åkerman ym. 2007). Myös tieto- ja teknis-taloudelliset verkostot voisivat tukeutua nykyistä enemmän paikallisten ja alueellisten toimijoiden varaan. Tämä tekisi verkostot ja tuotantojärjestelmät tilanteiden muuttuessa joustaviksi ja sopeutumiskykyisiksi (Åkerman & Peltola 2002, Åkerman 2005, Åkerman & Jänis 2005, Peltola 2006, Leskinen ym. 2006).

Turpeen hajautettu ja työllistävä kaivuu ja alkukäsittely tulisi säilyttää siirtymäkauden aikana. Mutta koko tuotantojärjestelmä on vinoutunut Vapon lähes monopoliaseman vuoksi. Vaikka turpeen hankkiminen polttoaineeksi on periaatteessa hajautunutta ja paikallisiin oloihin sopeutunutta, Vapo voi käyttää valtakunnallista asemaansa hyväkseen pyrkiessään vaikuttamaan paikallisten laitosten toiminta-ehdoihin (Peltola 2006).

Soidensuojelun ja turpeenoton ristiriidat

Turvesoiden hankinta on ollut täysin turvealan yritysten oma-aloitteisuuden varassa. Maakunnalliset liitot ovat yleensä asettuneet maakuntakaavojen laadinnan yhteydessä tukemaan turpeen kaivuuseen tarkoitettuja aluevarauksia. Nyt lupia haetaan luonnontilaisille soille, vaikka valmiiksi ojitettut suot ovat turpeen kaivuuseen aivan yhtä kelpollisia. Metsähallitus on vuokrannut tai myynyt 1980- ja 1990-luvuilla Vapo Oy:lle kymmeniä soita, joista suurin osa on luonnontilassa.

Kauppa- ja teollisuusministeriön, Maa- ja metsätalousministeriön, Sisäasiainministeriön, Metsähallituksen ja Valtion polttoainokeskuksen virkamiestyöryhmä laati 1977 suosituksen turvetuotantoon sopivista soista, yhteensä noin 70 000 hehtaaria. Tämä liittyi energiantuotannon ja luonnonsuojelun yhteensovittamiseen. Aineistona käytettiin lähinnä soidensuojelutarkoituksiin tehtyä suoluetteloa. Turveteollisuus sai tällöin kohteita, joiden suojeluarvoja ei oltu riittävästi selvitetty. Huomattava osa näistä soista on jo turpeen oton kohteina tai metsäojitettuna, joitakin on myöhemmin suojeltu muun muassa Natura 2000 -ohjelmassa.

Suojelutavoitteet eivät aikanaan toteutuneet riittävässä määrin nopeasti etenevän metsäojituksen takia. Nyt tarvitsemme Vapon ensisijassa valtiolta ostamia tai vuokraamia luonnontilaisia soita suojeleohjelmaa täydentämään. Turpeen otto näiltä soilta ei ole enää perusteltua ilmastopoliittisista syistä. Etelä-Suomessa on kyse paikoin seudun viimeisistä luonnontilaisista soista. Turvelupia myöntävillä viranomaisilla oli kevättalvella 2010 käsittelyssään 172 turvelupahanketta, yhteensä n. 20 000 hehtaaria, joista puolet oli luonnontilaisia tai senkaltaisia soita. Turveteollisuusliiton mukaan turve-

tuottajien hallussa olevasta suoalasta noin puolet on ojittamatonta. Toteutuessaan luvanhaku kohdistuu tuhoisasti muiden muassa eteläisiin aapasoihin Pohjanmaalla, Keski-Suomessa ja Pohjois-Karjalassa. Mukana on myös Suomelle tyypillisiä kilpikeitaita, viettokeitaita ja rahkakeitaita. Meillä on erityisvas-
tuu näistä EU:n luontodirektiiviin kuuluvista suoluontotyypeistä.

Valtioneuvosto hyväksyi vuonna 2008 maankäyttö- ja rakennuslakiin perustuvat alueidenkäyttötavoitteiden (VAT) tarkistukset. Soiden osalta niissä todetaan, että:

*”Maakuntakaavoituksessa on otettava huomioon turvetuotantoon soveltuvat suot ja sovitettava yhteen tuotanto- ja suojelutarpeet. Turvetuotantoalueiksi varataan jo ojitettuja tai muuten luonnon-tilaltaan merkittävästi muuttuneita soita ja käytöstä poistettuja turvepeltoja. Turpeenoton vaikutuk-
sia on tarkasteltava valuma-alueittain ja otettava huomioon erityisesti suoluonnon monimuotoisuus-
den säilyttämisen ja muiden ympäristönäkökohtien sekä taloudellisuuden asettamat vaatimukset.”*

Ympäristöministeriö velvoitettiin selventämään turvetuotantoon liittyvää suokäsitteistöä.

Eduskunnan ympäristövaliokunta antoi lausunnon 11/2008 valtakunnallisista alueidenkäyttötavoit-
teista ja totesi muun muassa:

*”Alueidenkäytössä on etsittävä ratkaisuja, joilla pystytään hillitsemään ilmastonmuutosta ja
vastaamaan kiristyneisiin kansainvälisiin päästövelvoitteisiin ja tavoitteisiin uusiutuvien energia-
lähteiden osuuden nostamiseksi... Valiokunta pitää turpeenoton kasvihuonevaikutuksen perusteella
ilmastopoliittisesti perusteltuna tavoitteen tiukentamista ja tarkentamista.”*

Maakuntakaavoja ei ole vielä uudistettu uusien periaatteiden mukaisesti. Vanhat soidenkäyttöso-
pimukset tai maakuntakaavoitus eivät sido ympäristölupavirastoja, jotka antavat turpeennostoluvat
lähinnä ympäristönsuojelulain ja vesilain perusteella. Luonnontilaisille soille on annettu viime aikoina
lupia, mutta niitä on myös evätty. Luonnonsuojelulaki otetaan huomioon vain uhanalaisten lajien esiin-
tyessä. Ympäristövaikutusten arviointi (YVA) on periaatteiltaan laaja-alaisempi tarkastelu, mutta se
tehdään vain 150 hehtaaria suuremmille hankkeille. Turpeennostoalueiden koon mediaani eri ympäris-
tökeskusten alueella oli 54–84,8 hehtaaria. Alle 10 hehtaarin alueet eivät tarvitse ympäristölupaa.

Biodiversiteetin oikeudellisessa säätelyssä ei ole kuitenkaan kyse pelkästään päästöjen raja-arvoista
tai yksittäisistä lajeista, vaan luonnon tietyn ominaispiirteen säilyttämisestä (Haila 1995, Hollo 2001,
Kumpula ja Määttä 2002). Periaate soveltuisi myös ilmastonmuutoksen hillitsemiseen, joka mainitaan
ympäristönsuojelulain tavoitteissa. Lakien ja niiden tulkinnan tulisi kehittyä siten, että ne selvästi
ottaisivat huomioon erilaiset uhat ja haitat.

Turveteollisuus hyväksyy yleisesti luonnontilaisten soiden säilyttämisen, mutta haluaa ottaa
käyttöön omistamansa tai vuokraamansa luonnontilaiset alueet. Ajatus on ristiriidassa kansainvälisen
turveteollisuuden valmisteleman vastuullisen soiden käytön strategian kanssa (IPS 2010).

Kiistaa käydään meillä myös siitä, mikä on ojitettu ja mikä luonnontilainen tai sen kaltainen suo.
EU:n uusiutuvaa energiaa koskeva RES-direktiivi rajoittaa turpeen käyttöä biopolttoaineiden valmis-
tuksessa ja pyrkii suojelemaan vielä säilyneitä kosteikkoja ja soita. Sen mukaan maa, joka oli 1.1.2008
pysyvästi tai suuren osan vuodesta veden peittämää tai kyllästämää kosteikkoa tai suota ei kelpaa
EU:n normien mukaisen biopolttoaineen keräämiseen tai viljelyyn. Myös EU:n maaperästrategia
korostaa soiden hiilivarastojen ja hiilen sitoutumisen säilyttämistä ilmaston muutoksen estämisessä.
Suomalainen turveteollisuus välttelee näitä kysymyksiä koskevaa keskustelua.

6. Johtopäätökset

Ilmastopoliitiikan aikajänteen perusteella turvetta ei voi pitää uusiutuvana luonnonvarana, vaan se on rinnastettavissa fossiilisiin polttoaineisiin. Lisäksi nykyinen turpeen poltto synnyttää energiayksikköä kohden jopa enemmän hiilidioksidipäästöjä kuin kivihiili ja raskas polttoöljy.

Hiileen perustuvaa energiankulutusta tulee vähentää. Vain siten voimme hillitä ilmastonmuutosta ja täyttää kansainväliset ilmastovelvoitteemme. Vuonna 2008 Suomen energiasektorin kokonaishiilidioksidipäästöt olivat 53,5 Mt, josta turpeen osuus 8,5 Mt eli 16 % (Tilastokeskus 2010). Turpeen lämpö- ja sähköenergia sen sijaan kattaa vain 5–7 % maan primaarienergian kulutuksesta. Maailmanlaajuisesti turpeen polton merkitys on vähäinen lukuun ottamatta Kaakkois-Aasian suosademetsien raivaukseen liittyviä turvepaloja. Mutta pohjoisten soiden turvevarastoja pidetään EU:ssa energiavarastona, jota tulisi käyttää vain poikkeustilanteissa.

Turpeen energiakäyttöä ei ole mielekäästä eikä mahdollistakaan muuttaa pikaisesti, koska nopeasti toteutettavia vaihtoehtoja ei ole. Järkeviä keskipitkän ajan jakson tavoitteita on kaksi. Ensiksikin biopolttoaineiksi luokiteltujen polttoaineiden osuutta kiinteitä polttoaineita käyttävissä voimaloissa tulisi lisätä. Toiseksi raaka-aineketjua tulisi kehittää biopolttoaineiden hankintaan soveltuvaksi, mikä tukee valtioneuvoston keväällä 2010 hyväksymää uusiutuvaa energiaa koskevaa tavoitetta. Nykyinen hajautettu ja kotimaista polttoainetta käyttävä energiantuotannon infrastruktuuri tulee siis säilyttää.

Turpeen käyttöä tuetaan vero- ja tariffipolitiikalla, mikä on pitkään pitänyt turve-energian kilpailukykyisenä ja sen hinnan alhaisempana kuin mitä turpeen polton ympäristövaikutukset edellyttäisivät. Koska turve on kasvihuonevaikutuksiltaan rinnastettavissa fossiilisiin polttoaineisiin, tulisi tukia harkita pitäen mielessä pitkäjänteinen energiapolitiikka. Turvetuotannon tukeminen ei vastaa kestävän energiantuotannon periaatteita.

Energiaa tuotetaan nykyisin luonnontilaisilta ja metsäojitetuilta soilta hankitulla polttoturpeella, mikä aiheuttaa kivihiilen luokkaa olevan kasvihuonevaikutuksen. Elinkaaritarkastelujen perusteella onkin olennaista suunnata energiaturpeen tuotanto lähtökohtaisesti suopelloille ja runsaspäästöisimmille metsäojitusalueille. Turpeennostoalueen jälkikäyttö on järjestettävä siten, että hiilensidonta/bioenergian tuotanto maksimoidaan. Näillä keinoin turpeen elinkaareissa voidaan päästä kivihiiiltä hieman pienempään ilmastovaikutukseen.

Energiaturpeen korjuusta johtuvia päästöjä voidaan vähentää uudella polttoturpeen tuotantotekniikalla jopa kolmannekseen tavanomaisesta tasosta. Turvepolttoaineen tuotantovaiheen päästöt ovat kuitenkin vain kymmenkunta prosenttia elinkaaren kokonaispäästöistä, joten tuotantovaiheen päästöjen vähentäminen ei muuta kokonaispäästöjen suuruusluokkaa. Turpeen käyttö erityisesti hakkuutähteen ja orgaanisen kierrätyspolttoaineen seassa on perusteltua. Seospolttu muun muassa vähentää pienhiukkaspäästöjä: hiukkaspäästöt vähenevät kolmannekseen, kun biomassapohjaisesta polttoaineesta noin 30 % korvataan turpeella.

Luontoarvoja sisältävät suot, jopa ojitetut, tulisi jättää koskemattomiksi. Energiaturpeen tuottaminen tällaisista soista vaarantaa monia kasvi- ja eläinlajeja, suoluontotyyppettä sekä heikentää soiden ekosysteemi- ja virkistyspalveluja. Myös luonnontilaisten soiden kasvavat hiilivarastot ovat ilmaston suojelelun kannalta arvokkaita. Energiaturpeen tuotanto tulisikin suunnata sellaisille ojitetuille soille, joilla riskit luontoarvojen menetyksiin ovat pienet, sillä tällaiset ojitetut suot soveltuvat turpeennostoon aivan yhtä hyvin kuin luonnontilaiset. Turvetuottajien hallussa olevasta suoalasta noin puolet on ojittamatonta. Mikäli näille soille myönnetään turpeennostolupa, vaikuttaa se tuhoisasti muun muassa

eteläisiin aapasoihin Pohjanmaalla, Keski-Suomessa ja Pohjois-Karjalassa. Nykyinen ympäristölupamenettely ei riitä turvaamaan luonnontilaisten soiden säilymistä.

Turpeen energiakäytön päästötasot pystytään nykytiedoin ja elinkaarianalyysin arvioimaan. Ne ovat kuitenkin jossain määrin epävarmoja, koska soiden ja turvemaiden kasvihuonekaasutaseista ei ole kattavia eikä pitkäaikaisia kenttämittaushavaintoja. Luotettavan kokonaiskuvan saamiseksi tarvitaan korkeatasoisia päästömittauksia ravinteisuudeltaan ja ilmastoltaan erityyppisiltä kasvupaikoilta sekä pitkiä mittausaikasarjoja tarpeeksi kattavilta alueilta.

Luotettavia selvityksiä tarvitaan myös turpeen käytön alueellisista työllisyysvaikutuksista. Hajaute-
tun ja paikallisesti painottuvan turpeen käytön työllisyysvaikutukset tukevat voittopuolisesti – ainakin kaivuun ja alkukäsittelyn osalta – syrjäseutujen paikallista työllisyyttä ja taloutta, mikä puoltaa turpeen käyttöä myös energiantuotantoon. Tämänhetkiset työllisyysluvut eivät kuitenkaan koske varsinaisesti turvetta, vaan suuri osa työpaikoista säilyisi, vaikka turpeen tilalla korjuussa ja voimaloissa olisi jokin biopoltoaine.

Keskeiset käsitteet

AAPASUO

Viettävä tai tasainen sarasuo, jonka ravinteisuus vaihtelee veden alkuperän mukaan ja jota luonnehtivat märät rimmet ja niiden väliset kuivahkot jänteet. Reunoilla voi olla rahkasuo-osia.

BIODIVERSITEETTI

Luonnon monimuotoisuus. Sitä voidaan kuvata ja mitata erilaisilla indekseillä, jotka kertovat eliölajeista ja niiden perimästä, eliöyhdyskuntien ja ekosysteemien tasoilla.

BIOPOLTTOAINE

Kasviperäinen hiiltä, happea ja vetyä sisältävä kiinteä tai nestemäinen polttoaine. Esimerkiksi puu, viljelyt energiakasvit, hakkuu- ja viljelytätteet, nestemäinen etanoli, kemiallisesti modifioidut kasviöljyt (biodiesel) ja pyrolyysiöljyt. Biokaasu on myös biopolttoaine, ja se on orgaanisista jätteistä ilmatto- man käymisen kautta valmistettua metaania.

ENNALLISTAMINEN

Toimintaa, jonka tarkoituksena on palauttaa ekosysteemi (esim. suo-ojikko) luonnontilaan.

FOSSIILINEN POLTTOAINE

Enimmäkseen hiiltä ja vetyä sisältävä kiinteä, nestemäinen tai kaasumainen polttoaine, joka on kerääntynyt paikallisesti maankuoreen. Fossiiliset polttoaineet ovat bakteeri-, levä- ja kasvijäätteitä, jotka ovat syntyneet miljoonien vuosien aikana maankuorella korkeissa paineissa ja lämpötiloissa. Fossiilisia polttoaineita ei synny lisää vuosisatojen aikaskaalassa. Hiili, öljy ja maakaasu ovat tavallisimmat fossiiliset polttoaineet.

HIILIDIOKSIDI (CO₂)

Kolmiatominen, ilmaa raskaampi rakenteeltaan sauvamainen molekyyli, jossa hiiliatomi on keskellä ja happiatomit molemmilla puolilla kiinnittyneinä. Hiilidioksidi on väritön, hajuton ja kemiallisesti hyvin pysyvä yhdiste. Se on happea hyödyntävän metabolian, hengityksen ja palamisen lopputuote ja sitä pidetään tärkeimpänä kasvihuonekaasuna, jonka pitoisuutta on lisännyt erityisesti fossiilisten polttoaineiden käyttö.

ILMASTONMUUTOS (IHMISEN AIHEUTTAMA)

Ilmakehän lisääntyneistä kasvihuonekaasupitoisuuksista viime vuosikymmeninä syntynyt maapallon alailmakehän ja merien keskilämpötilan nouseminen, jonka on arvioitu jatkuvan.

ILOKAASU, TYPPIOKSIDUULI (N₂O)

Väritön ja hajuton ilmaa raskaampi kaasumainen oksidi. Se on voimakas kasvihuonekaasu, mutta sen kokonaisvaikutus metaania vähäisempi. Käytetty mm. nukutusaineena.

IPCC

Hallitusten välinen ilmastonmuutospaneeli (Intergovernmental Panel on Climate Change) IPCC on Maailman meteorologisen järjestön (World Meteorological Organization WMO) ja YK:n ympäristöjärjestön (United Nations Environment Programme UNEP) vuonna 1988 perustama organisaatio, jonka päätehtävänä on laatia ilmastonmuutosta koskevia tieteellisiä arviointiraportteja. Arviointiraportteja valmistelevat sadat asiantuntijat eri maista. Arviointiraportit koostuvat kolmesta osasta: ilmastonmuutoksen fysikaalinen perusta, ilmastonmuutoksen vaikutukset, sopeutuminen ja haavoittuvuus sekä ilmastonmuutoksen hillintä. Lisäksi IPCC kehittää päästöjen laskentaohjeita ja laatii erikoisraportteja valituista aiheista. Parhailaan on tekeillä erikoisraportit uusiutuvasta energiasta ilmastonmuutoksen hillinnässä sekä äärimmäisten riskien hallinnasta ilmastonmuutokseen sopeutumisessa.

KASVIHUONEILMIÖ

Auringon säteilemä melko lyhytaaltainen sähkömagneettinen säteily lämmittää maapallon kaasukehää ja pintaa. Maapallo puolestaan säteilee lämpöenergiaansa pidempiaaltoisena infrapunasäteilyä, joka läpäisee ilmakehän auringonsäteilyä paljon huonommin. Koska infrapunasäteily absorboituu tehokkaasti ilmakehän kasvihuonekaasuihin ja pilviin lähellä maan pintaa, sitä pääsee avaruuteen paljon vähemmän kuin sitä maapallon pinnalta lähtee. Tämä pitää maapallon pinnan noin 30 astetta lämpimämpänä kuin se muuten olisi.

KASVIHUONEILMIÖN VOIMISTUMINEN

Ihmistoiminnan aiheuttaman ilmakehän kasvihuonekaasujen lisääntymisen takia infrapunasäteily läpäisee ilmakehän entistäkin heikommin. Tämän seurauksena maapallon ilmasto lämpenee. Myös vesihöyry on voimakas kasvihuonekaasu, ja lämpenemisen seurauksena veden määrä ilmakehässä kasvaa ja veden kiertokulku voimistuu. Tämä edelleen voimistaa kasvihuoneilmiötä.

KASVIHUONEKAASU

Kaasumainen yhdiste ilmakehässä, joka absorboi tehokkaasti maan pinnalta lähtevää lämpösäteilyä ja vaimentaa lämpösäteilyn siirtymistä maapalloilta avaruuteen. Tärkeimpiä kasvihuonekaasuja ovat vesihöyry, hiilidioksidi, metaani ja typpioksiduuli. Näistä hiilidioksidi liittyy läheisesti ihmisen toimintoihin, fossiilisten polttoaineiden laajamittaiseen käyttöön.

KASVIHUONEVAIKUTUS

Erilaisten toimenpiteiden aiheuttamien vapautuvien ja sitoutuvien kasvihuonekaasujen yhteenlaskettu lämmitysvaikutus.

KEIDASSUO

Sadeveden ruokkima rahkasuo, jonka keskusta on tavallisesti koholla ja jota luonnehtivat märät kuljut ja näiden väliset kuivahkot kermi tai yhtenäinen mätäspinta. Keidassuota ympäröi sarasuota oleva laide.

KORPI

Yleensä kuusia tai lehtipuita kasvava, ohutturpeisten suotyypin ryhmä.

LETTO

Runsaravinteisten avosoiden tyyppiryhmä.

LUONNONTILAINEN SUO

Ojittamaton suo, jonka vesitalous ei ole häiriintynyt suon ulkopuolisten toimien takia.

LUONNONTILAISEN KALTAISEN SUO

Suo, joka ei ole osittaisesta ojituksesta huolimatta ehtinyt muuttua tai on muuttunut niin vähän, että luonnontila on palautettavissa.

LUONNONTILALTAAN MERKITTÄVÄSTI MUUTTUNUT SUO

Suokokonaisuus, jonka ojittamatonkin osa on vesitaloudeltaan muuttunut.

LÄMPÖARVO (LÄMPÖSISÄLTÖ)

Puhtaan aineen painoyksikköä tai moolia kohden palaessa luovuttama energia. Polttoaineen lämpöarvoon (ilmoitetaan massayksikköä kohden) vaikuttavat alentavasti mm. sen vesi, happi- ja kivennäis- pitoisuudet. Fossiilisten polttoaineiden lämpöarvo on suuri, koska niiden vesi ja happipitoisuudet ovat alhaiset, biopolttoaineiden ja turpeen niihin verrattuna merkittävästi pienemmät, koska niiden vesi ja happipitoisuudet ovat suuria.

LÄMPÖKAPASITEETTI

Suure, joka kertoo aineen kyvystä sitoa lämpöenergiaa. Vedellä on suuri lämpökapasiteetti, veden lämmittämiseen kuluu paljon energiaa ja siten veteen voi varastoitua paljon lämpöenergiaa. Metalleilla ja kaasuilla on pieni lämmönvarastointikyky.

MAAHENGITYS

Maaperän hajottajien kuten mikrobien ja maaperäeläinten aikaansaamat prosessit, joissa maaperän orgaaninen aines hajoaa hiilidioksidiksi ja vedeksi kuluttaen happea. Toisinaan maahengityksellä viitataan maaperästä vapautuvaan hiilidioksidin. Tällöin käsite saattaa pitää sisällään myös kasvien juurten hengityksessä vapautuvan hiilidioksidin.

METAANI (CH₄)

Metaani on ilmaa keveämpi, väritön kaasu. Metaani on bio- ja maakaasun pääasiallinen ainesosa ja ympäristöstävällisin fossiilinen polttoaine korkean vetypitoisuutensa ansiosta. Luonnossa metaania syntyy ilmattomassa tilassa bakteerivusteisissa hajottamisreaktioissa mm. soilla, järvien ja merien pohjassa. Metaani on n. 20 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi, mutta kokonaisvaikutus on paljon hiilidioksidia vähäisempi.

NEVA

Niukka- tai keskiravinteisten avosoiden tyyppiryhmä.

OJITETTU SUO

Metsänkasvatusta varten tai muusta syystä sarkoihin ojitettu suo tai sen osa.

PIENHIUKKASET

Halkaisijaltaan alle 2,5 mikrometrin kokoisia ilmakehässä leijuvia kiinteitä hiukkasia, joita syntyy polttamisesta kuten liikenteestä, energiantuotannosta ja puun poltosta sekä kasvillisuuden erittämien kaasujen reagoitessa ilmakehässä.

PRIMAARIENERGIA

Ihmiskunnan käytössä olevia energianlähteitä mitattuna siinä muodossa kuin ne ovat ennen muunnosprosessia käyttökelpoiseksi energiaksi eli ennen nk. energiantuotantoa. Muuntoprosessin läpikäynyttä energiaa kutsutaan sekundaarienergiaksi. Koska energian muuntaminen muodosta toiseen aiheuttaa aina hävikkiä, on kulutetun primaarienergian määrä aina suurempi kuin saadun sekundaarienergian määrä. Esimerkiksi sähkön tuotannossa tyypillinen hyötysuhde lämpövoimalaitokselle on 35–45 %. Tällöin polttoaineen sisältämästä primaarienergiasta 55–65 % menee hukkaan ja vain mainittu 35–45 % muunnetaan sähköksi. Primaarienergian suhde sekundaarienergiaan vaihtelee energianlähteittäin, samoin kuin laskentatapa jolla primaarienergian määrä mitataan.

RAHKASUO

Suo, joka saa ravinteita vain sadevedestä ja kuivalaskeumasta ja on siitä syystä niukkaravinteinen eli karu. Kasvillisuutta luonnehtivat rahkasammalet, varvut ja usein mänty.

RÄME

Mäntyä kasvavien suotyyppien ryhmä.

SARASUO

Suo, joka saa ravinteita sadeveden lisäksi myös pohja- ja pintavesistä ja on siksi ravinteisempi. Kasvillisuutta luonnehtivat rahka- ja aitosammalet sekä sarat.

SUO

Suokasvien muodostama ekosysteemi, jota luonnehtii korkea vedenpinnan taso ja jossa osa orgaanisesta aineksestä kerrotaan turpeeksi. Usein kaikkien turvemaiden yleistermi.

SUOLUONTOTYYPPI

Lainsäädännössä ja hallinnossa käytetty suotyyppien ja suoyhdistymätyyppien rinnakkaiskäsite. Suoyhdistymätyyppi on suoalue, jolla samat suotyypit toistuvat ja muodostavat tietyn rakenteen (keidasuot ja aapasuot).

SUOTYYPPI

Kasviyhdistykunta, jolla suokasvillisuutta kuvataan.

SÄTEILYENERGIA

Energiaa, joka on sähkömagneettisen säteilyn muodossa (esim. valo). Auringon säteily sisältää jakau-
man eri energiaisista fotoneista ultraviolettispektrialueesta infrapunaspektrialueeseen. Koko maailman
energiatarve saataisiin keräämällä auringon säteilyenergia noin 4 %:sta Saharan erämaan pinta-alasta.

SÄTEILYPAKOTE

Säteilypakote on jonkin tekijän kuten kasvihuonekaasujen lisääntyneen pitoisuuden tai hiukkasten
lisääntyneen pitoisuuden aiheuttama poikkeama maapallon säteilyenergiatasapainossa.

TURVE

Kasvien (ja eläinten) jäännöksistä muodostunutta fossiilista, orgaanista ainesta, joka kerrostuu synty-
paikalleen osittain hajonneena.

TURVEMAA

Tavallisesti ojitettu suo, jossa on vähintään 30 cm turvetta (geologinen suo). Usein myös suon syno-
nyymi.

SUOPELTO (TURVEPELTO)

Suosta raivattu pelto, jonka maaperä on turvetta.

YHTEYTTÄMINEN

Auringon valon käynnistämä eräiden bakteerien, levien ja kasvien reaktiokeskuksissa tapahtuva moni-
mutkainen kemiallisten reaktioiden sarja, jonka tuloksena hiilidioksidi ja vesi muuntuvat hiilihydraa-
teiksi ja hapeksi. Kaikkea elämää ylläpitävä reaktio. Maapallon ilmakehän happi on alkujaan syntynyt
syanobakteerien yhteyttämisreaktion kautta.

- Aho, M. 2008. Luentomateriaali, Jyväskylän yliopisto, Uusiutuvan energian koulutusohjelma.
- Alm, J., Schulman, L., Walden, J., Nykänen, H., Martikainen, P. & Silvola, J. 1999. Carbon balance of a boreal bog during a year with an exceptionally dry summer. *Ecology*, 80, 161–174.
- Alm, J., Shurpali, N.J., Minkkinen, K., Aro, L., Hytönen, J., Laurila, T., Lohila, A., Maljanen, M., Martikainen, P.J., Mäkiranta, P., Penttilä, T., Saarnio, S., Silvan, N., Tuittila, E.-S. & Laine, J. 2007. Emission factors and their uncertainty for the exchange of CO₂, CH₄ and N₂O in Finnish managed peatlands. *Boreal Environment Research*, 12, 191–209.
- Armentano, T.V. & Menges, E.S. 1986. Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone. *Journal of Ecology*, 74, 755–774.
- Atkins, P. & de Paula, J. 2006. *Atkins' Physical Chemistry*, 8th Ed. Oxford University Press.
- Aubinet, M., Grelle, A., Ibrom, A., Rannik, Ü., Moncrieff, J., Foken, T., Kowalski, A.S., Martin, P.H., Berbigier, P., Bernhofer, C., Clement, R., Elbers, J., Granier, A., Grünwald, T., Morgenstern, K., Pilegaard, K., Rebmann, C., Snijders, W., Valentini, R. & Vesala, T. 2000. Estimates of the annual net carbon and water exchange of forests: The EUROFLUX methodology. *Advances in Ecological Research*, 30, 113–178.
- Augustin, J., Merbach, W. & Rogasik, J. 1998. Factors influencing nitrous oxide and methane emissions from minerotrophic fens in northeast Germany. *Biology and Fertility of Soils*, 28, 1–4.
- Baldocchi, D.D. 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. *Global Change Biology*, 9, 479–492.
- Berling, D.J. & Berner, R.A. 2005. Feedbacks and the coevolution of plants and atmospheric CO₂. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 1302–1305.
- Berner, R.A. 1998. The carbon cycle and carbon dioxide over Phanerozoic time: the role of land plants. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 353, 75–82.
- Betts, R.A. 2000. Offset of the potential carbon sink from boreal forestation by decreases in surface albedo. *Nature*, 408, 187–190.
- Bowker, G.C. & Star, S.L. 1999. *Sorting Things Out. Classification and Its Consequences*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Canadell, J.G., Le Quéré, C., Raupach, M.R., Field, C.B., Buitenhuis, E.T., Ciais, P., Conway, T.J., Gillett, N.P., Houghton, R.A. & Marland, G. 2007. Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 18866–18870.
- Cruickshank, M.M., Tomlinson, R.W., Bond, D., Devine, P.M. & Edwards, C.J.W. 1995. Peat extraction, conservation and the rural economy in Northern Ireland. *Applied Geography*, 15, 365–383.
- Domisch, T., Finér, L., Laiho, R., Karsisto, M. & Laine, J. 2000. Decomposition of Scots pine litter and the fate of released carbon in pristine and drained pine mires. *Soil Biology & Biochemistry*, 32, 1571–1580.
- Dorrepaal, E., Toet, S., van Logtestijn, R. S. P., Swart, E., van de Weg, M. J., Callaghan, T. V. & Aerts, R. 2009. Carbon respiration from subsurface peat accelerated by climate warming in the subarctic. *Nature*, 460, 616–620, doi:10.1038/nature 08216.
- Energiateollisuus ry., 2009. Haasteista mahdollisuuksia – sähkön ja kaukolämmön hiilineutraali visio vuodelle 2050. Helsinki: Energiateollisuus ry, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto, Turun kauppakorkeakoulu, Tulevaisuuden tutkimuskeskus.

- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY yhteisön vesipolitiikan puitteista (PDF-tiedosto).
- Francez, A.-J. & Vasander, H. 1995. Peat accumulation and peat decomposition after human disturbance in French and Finnish mires. *Acta Oecologica* 16, 599–608.
- Flyktman, M. 2005. Energia- ja ympäristöturpeen kysyntä ja tarjonta vuoteen 2020. VTT PRO2/2085/05.
- Gorham, E. 1991. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications*, 1, 182–195.
- Grønlund A., Hauge A., Hovde A. & Rasse D.P. 2008. Carbon loss estimates from cultivated peat soils in Norway: a comparison of three methods. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 81, 157–167.
- Haapanen, A., Havu, S., Häyrinen, U., Lehtimäki, E., Raitasuo, K., Ruuhijärvi, R. & Salminen, P. 1977 ja 1980. Soidensuojelun perusohjelma. Komiteanmietintö 1977:48 ja Soidensuojelun perusohjelma II. Komiteanmietintö 1980:15. Helsinki.
- Hagberg, L. & Holmgren, K. 2008. The climate impact of future energy peat production. Swedish Environmental Institute IVL. Report B1796. 74p.
- Haila, Y. 1995. Biodiversiteettitutkimus monitieteisenä haasteena. Teoksessa J. Hiedanpää ja Y. Haila (toim.). Biodiversiteetin arvo ja päätöksenteko ongelmana. Turku.
- Hargreaves, K.J., Milne, R. & Cannell, M.G.R. 2003. Carbon balance of afforested peatland in Scotland. *Forestry*, 76, 299–317.
- Hollo, E. 2001. Ympäristönsuojeluoikeus. Vantaa.
- Holmgren, K., Kirkinen, J., Savolainen, I. 2006. The climate impact of energy peat utilisation – comparison and sensitivity analysis of Finnish and Swedish results. Swedish Environmental Institute IVL. Report B1681, 72 ss.
- Hynynen, J., Palomäki, A., Granberg, K. & Bibiceanu, S. 1994. Turvetuotannon biologiset pitkäaikaisvaikutukset pienissä ruskeavetisissä metsäjärvisissä. Reports of the Institute for Environmental Research, 145, 1–37.
- Ilvessalo, Y. 1956. Suomen metsät vuosista 1921–24 vuosiin 1951–53. Kolmeen valtakunnanmetsien inventointiin perustuva tutkimus. Summary: The forests of Finland from 1921–24 to 1951–53. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 47, 1–227.
- IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007. Mitigation of Climate Change Working Group III. IPCC, Geneva, Switzerland.
- IPS, 2010. International Peat Society. Strategy for Responsible Peatland Management 2010.
- ISO 14040, 1997. Environmental management, Life cycle assessment, Principles and framework. International Organization of Standardization. 12 ss.
- Joabsson, A., Christensen, T.R. & Wallen, B. 1999. Vascular plant controls on methane emissions from northern peatforming wetlands. *Trends in Ecology & Evolution*, 14, 385–388.
- Joosten, H. & Clarke, D. 2002. Wise use of mires and peatlands - Background and principles including a framework for decision-making. International Mire Conservation Group and International Peat Society. 303 p.
- Jylhä, K., Tuomenvirta, H. & Ruosteenoja, K. 2004. Climate change projections for Finland during the 21st century. *Boreal Environment Research*, 9, 127–152.

- Kara, M., Helynen, S., Mattila, L., Viinikainen, S., Ohlström, M. & Lahnalampi, M. (toim.) 2004. Energia Suomessa. Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. VTT Prosessit, Edita, Helsinki.
- Kasimir-Klemedtsson, Å., Klemedtsson, L., Berglund, K., Martikainen, P.J., Silvola, J. & Oenema, O. 1997. Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: a review. *Soil Use and Management*, 13, 245–250.
- Kirkinen, J., Hillebrand, K. & Savolainen, I. 2007a. Turvemaan energiakäytön ilmastovaikutus — maankäyttökkenaario [Climate impact of the use of peatland for energy — land use scenario]. Espoo 2007. VTT. Tiedotteita – Research Notes 2365. 49 ss. + app. 2 ss. In Finnish.
- Kirkinen, J., Minkkinen, K., Penttilä, T., Kojola, S., Sievänen, R., Alm, J., Saarnio, S., Silvan, N., Laine, J. & Savolainen, I. 2007b. Greenhouse impact due to different peat fuel utilisation chains in Finland – a life cycle approach. *Boreal Environment Research*, 12, 211–225.
- Kirkinen, J., Soimakallio, S., Mäkinen, T., McKeough, P. & Savolainen, I. 2007c. Turvepohjaisen F-T-dieselin tuotannon ja käytön kasvihuonevaikutukset [The greenhouse impact of the production and use of peat-based F-T diesel]. Espoo 2007c. VTT Tiedotteita – Research Notes 2418. 45 ss. In Finnish.
- Kirkinen, J., Palosuo, T., Holmgren, K. & Savolainen, I. 2008. Greenhouse Impact Due to the Use of Combustible Fuels: Life Cycle Viewpoint and Relative Radiative Forcing Commitment. *Environmental Management* 42, 458–469.
- Kirkinen, J. 2010. Greenhouse impact assessment of some combustible fuels with a dynamic life cycle approach. VTT Publications 733 (Doctoral dissertation). 63p+app.58p.
- 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, Section B, Soil and Plant Science*, 49, 65–74.
- Kumpula, A. & Määttä, T. 2002. Ekologia, yhteiskunta ja oikeus: konstruktionistinen tulkinta luonnontieteellisen tiedon ja oikeuden suhteesta. Teoksessa Ervasti, K. ja Meincke, N. Oikeuden tuolla puolen. Saarijärvi.
- Lahtinen, P., Jokinen, M., & Leino, P. 2005. Turpeen energiakäytön asema Suomen energiajärjestelmässä. KTM Julkaisuja 14.
- Laine, A. & Heikkinen, K. 2000: Peat mining increasing fine-grained organic matter on the riffle beds of boreal streams. *Archiv für Hydrobiologie*, 148, 9–24.
- Laine, J., Silvola, J., Tolonen, K., Alm, J., Nykänen, H., Vasander, H., Sallantausta, T., Savolainen, I., Sinisalo, J. & Martikainen, P.J. 1996. Effect of water-level drawdown on global climatic warming: northern peatlands. *Ambio*, 25, 179–184.
- Laine, J., Laiho, R., Minkkinen, K. & Vasander, H. 2006. Forestry and boreal peatlands. In: /Boreal peatland ecosystems/ (eds. R.K. Wieder & D.H. Vitt), *Ecological Studies* 188, 435 p., Springer, Berlin.
- Laine, J. 2009. Ojitusalue metsien merkitys. Julkaisematon esitelmä 6.5.2009. Maa- ja metsätalousministeriö. Helsinki.
- Lappalainen, E. 2008. Soiden varhaiskäyttöä ja uskomuksia. Teoksessa: Korhonen, L., Korpela, L. & Sarkkola, S. (toim.). Suomi - Suomea -soiden ja turpeen tutkimus sekä kestävä käyttö. ss. 56-66. Suoseura ry ja Maahenki Oy. ISBN 978-952-5652-49-9.
- Laurila, T., Lohila, A., Aurela, M., Tuovinen, J.-P., Thum, T., Aro, L., Laine, J., Penttilä, T., Minkkinen, K., Riutta, T., Rinne, J., Pihlatie, M. & Vesala, T. 2007. Ekosysteemitason hiilinielumittaukset puustoisilla turvemaidella. Julkaisussa: Sarkkola, S. (toim.). Turpeen ja turvemaiden käytön metsätalousministeriön julkaisuja 11/2007, 37–39.
- Leskinen, L.A., Peltola, T. & Åkerman M. 2006. Puuenergia, metsätalouden toimintakentän muutos ja sosiaalinen kestävyys. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2006, 293–304.

- Lohila, A. 2008. Carbon dioxide exchange on cultivated and afforested boreal peatlands. 110 s, Finnish Meteorological Institute Contributions 73, Yliopistopaino, Helsinki.
- Lohila, A., Aurela, M., Regina, K. & Laurila, T. 2003. Soil and total ecosystem respiration in agricultural fields: effect of soil and crop type. *Plant and Soil*, 251, 303–317.
- Lohila, A., Aurela, M., Tuovinen, J.-P. & Laurila, T. 2004. Annual CO₂ exchange of a peat field growing spring barley or perennial forage grass. *Journal of Geophysical Research*, 109, D18116, doi:10.1029/2004JD004715.
- Lohila, A., Laurila, T., Aro, L., Aurela, M., Tuovinen, J.-P., Laine, J., Kolari, P. & Minkkinen, K. 2007. Carbon dioxide exchange above a 30-year-old Scots pine plantation established on organic-soil cropland. *Boreal Environment Research*, 12, 141–157.
- Lunkka, J.-P. 2008. Maapallon ilmastohistoria. Kasvihuoneista jääkausiin. Helsinki, Gaudeamus, 286 ss.
- Luukkanen, J., Vehmas, J., Karjalainen, A. & Panula-Ontto, J. 2009. Energiaskenaarioita vuoteen 2050. Katsaus energia-alan haasteisiin, mahdollisuuksiin ja vaikutuskeinoihin. TUTU-eJULKAISUJA 11/2009.
- Maljanen, M., Martikainen, P.J., Walden, J. & Silvola, J. 2001a. CO₂ exchange in an organic field growing barley or grass in eastern Finland. *Global Change Biology*, 7, 679–692.
- Maljanen, M., Hytönen, J. & Martikainen, P.J. 2001b. Fluxes of N₂O, CH₄ and CO₂ on afforested boreal agricultural soils. *Plant and Soil*, 231, 113–121.
- Maljanen, M., Liikanen, A., Silvola, J. & Martikainen, P.J. 2003. Methane fluxes on agricultural and forested boreal organic soils. *Soil Use and Management*, 19, 73–79.
- Maljanen, M., Komulainen, V.-M., Hytönen, J., Martikainen, P.J. & Laine, J. 2004. Carbon dioxide, nitrous oxide and methane dynamics in boreal organic agricultural soils with different soil characteristics. *Soil Biology and Biochemistry*, 36, 1801–1808.
- Maljanen, M., Hytönen, J., Mäkiranta, P., Alm, J., Minkkinen, K., Laine, J. & Martikainen, P.J. 2007. Greenhouse gas emissions from cultivated and abandoned organic croplands in Finland. *Boreal Environment Research*, 12, 127–132.
- Maljanen, M., Sigurdsson, B.D., Gudmunsson, J., Oskarsson, H., Huttunen, J.T. & Martikainen, P.J. 2009. Land-use and greenhouse gas balances of peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps. *Biogeosciences Discussion*, 6, 6271–6338.
- Martikainen, P.J., Nykänen, H., Crill, P. & Silvola, J. 1993. Effect of a lowered water table on nitrous oxide fluxes from northern peatlands. *Nature*, 366, 51–53.
- Martikainen, P.J., Nykänen, H., Alm, J. & Silvola, J. 1995. Change in fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide due to forest drainage of mire sites of different trophic level. *Plant and Soil*, 168–169, 571–577.
- Minkkinen, K. 1999. Effect of forestry drainage on the carbon balance and radiative forcing of peatlands in Finland. PhD thesis, 42 ss., Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala, Finland.
- Minkkinen, K. & Laine, J. 2006. Vegetation heterogeneity and ditches create spatial variability in methane fluxes from peatlands drained for forestry. *Plant and Soil*, 285, 289–304 (DOI 10.1007/s11104-006-9016-4).
- Minkkinen, K., Korhonen, R., Savolainen, I. and Laine, J. 2002. Carbon balance and radiative forcing of Finnish peatlands in 1900 - 2100 - impacts of drainage for forestry. *Global Change Biology*, 8, 785–799.
- Minkkinen, K., Laine, J. & Hökkä, H. 2001. Tree stand development and carbon sequestration in drained peatland stands in Finland – a simulation study. *Silva Fennica*, 35, 55–69.
- Minkkinen, K., Laine, J., Shurpali, N.J., Mäkiranta, P., Alm, J. & Penttilä, T. 2007. Heterotrophic soil respiration in forestry-drained peatlands. *Boreal Environment Research*, 12, 115–126.

- MMM, 2007. Turpeen ja turvemaiden käytön kasvihuonevaikutukset Suomessa. Maa- ja metsätalousministeriö 11/2007. 68 ss.
- Myllys, M. & Soini, S. 2008. Suot maanviljelyssä. Teoksessa: Korhonen, L., Korpela, L. & Sarkkola, S. (toim.). Suomi - Suomaa -soiden ja turpeen tutkimus sekä kestävä käyttö. ss. 56–66. Suoseura ry ja Maahenki Oy. ISBN 978-952-5652-49-9.
- Mäkilä, M., Vartiainen, S., Grundström, A. & Böök, P. 2001. Turvekerrostumien energiasisällön laskeminen venäläisellä kairalla otettujen turvenäytteiden vesi- ja tuhkapitoisuuden perusteella. Geologian Tutkimuskeskus, Raportti P 31.4.029.
- Mäkiranta, P., Hytönen, J., Aro, L., Maljanen, M., Pihlatie, M., Potila, H.-M., Shurpali, N.J., Laine, J., Lohila, A., Martikainen, P.J. & Minkkinen, K. 2007. Soil greenhouse gas emissions from afforested organic soil croplands and cutaway peatlands. *Boreal Environment Research*, 12, 159–175.
- Nilsson, K., Nilsson, M. 2004. The climate impact of energy peat utilisation in Sweden – the effect of former land-use and after-treatment. IVL B-report 1606.
- NOAA, 2008. The NOAA annual greenhouse gas index (AGGI). <http://www.cmdl.noaa.gov/aggi/>.
- Nuutinen, T., Hirvelä, H., Hynynen, J., Härkönen, K., Hökkä, H., Korhonen, K.T. & Salminen, O. 2000. The role of peatlands in Finnish wood production - an analysis based on large-scale forest scenario modelling. *Silva Fennica*, 34, 131–153.
- Nykänen, H., Alm, J., Lång, K., Silvola, J. & Martikainen, P.J. 1995. Emissions of CH₄, N₂O and CO₂ from a virgin fen and a fen drained for grassland in Finland. *Journal of Biogeography*, 22, 351–357.
- Nykänen, H., Alm, J., Silvola, J., Tolonen, K. & Martikainen, P.J. 1998. Methane fluxes on boreal peatlands of different fertility and the effect of long-term experimental lowering of the water table on flux rates. *Global Biogeochemical Cycles*, 12, 53–69.
- Paappanen, T. & Leinonen, A. (toim.) 2005. Fuel Peat Industry in EU. Country reports Finland, Ireland, Sweden, Estonia, Latvia, Lithuania. VTT PRO2/P2079/05 (<http://www.turbaliit.ee/index.php?picfile=21>; 13.12.2009).
- Peltola, T. 2005. Politics of a fluid technology: Socio-technical trajectories of forest fuel production in Finland. Teoksessa: Bammé, A., G. Getzinger & B. Wieser (ed.) Yearbook 2005 of the Institute of Advanced Studies in Science, Technology and Society. Vienna/Munich: Profil, 191–215.
- Peltola, T. 2006. Calculating the futures: Stability and change in a local energy production system. Teoksessa: Haila Yrjö & Chuck Dyke (ed.) How Nature Speaks. The Dynamics of the Human Ecological Condition. Durham: Duke University Press, 218–234.
- Peltola, T. 2007. Paikallisen energihuollon ympäristöpoliittinen liikkumavara: vaihtoehtoiset teknologiat, poliittiset käytännöt ja toimijuus. *Acta Universitatis Tamperensis* 1203, Tampere University Press, Tampere.
- Pihlatie, M.K., Kiese, R., Brüggemann, N., Butterbach-Bahl, K., Kieloaho, A.-J., Laurila, T., Lohila, A., Mammarella, I., Minkkinen, K., Penttilä, T., Schönborn, J. & Vesala, T. 2010. Greenhouse gas fluxes in a drained peatland forest during spring frost-thaw event. *Biogeosciences*, 7, 1715–1727, doi:10.5194/bg-7-1715-2010.
- Päivänen, J. 2008. Soiden metsätaloudellinen käyttöönotto. Teoksessa: Korhonen, L., Korpela, L. & Sarkkola, S. (toim.). Suomi - Suomaa -soiden ja turpeen tutkimus sekä kestävä käyttö. ss. 56–66. Suoseura ry ja Maahenki Oy. ISBN 978-952-5652-49-9.
- Radkau, J. 2008. Nature and Power. A Global History of the Environment. Cambridge: Cambridge University Press.

- Rassi, P., Alanen, A., Kanerva, T. & Mannerkoski, I. (toim.). 2001. Suomen lajien uhanalaisuus 2000. Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 432 ss.
- Raunio, A., Schulman, A. ja Kontula, T. (toim.). 2008. Suomen luontotyyppien uhanalaisuus. Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristö 8/2008. 264 ss.
- Regina, K., Nykänen, H., Silvola, J. & Martikainen, P.J. 1996. Fluxes of nitrous oxide from boreal peatlands as affected by peatland type, water table level and nitrification capacity. *Biogeochemistry*, 35, 401–418.
- Regina, K., Silvola J. & Martikainen P.J. 1998. Short-term effects of changing water table on N₂O fluxes from peat monoliths from virgin and drained boreal peatlands. *Global Change Biology*, 5, 183–189.
- Regina, K., Syväsalu, E., Hannukkala, A. & Esala, M. 2004. Fluxes of N₂O from farmed peat soils in Finland. *European Journal of Soil Science*, 55, 591–599.
- Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.P. 2000. Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Tammi. 384 ss.
- Rekolainen, S., Kauppi, L., Santala, E., Bäck, S., Mitikka, S., Pitkänen, H., Vuoristo, H., Silvo, K., Jouttijärvi, T., Kenttämies, K., Rautio, L.M., Polso, A., Kaukoranta, E. & Eerola, M. 2006. Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015. Suomen ympäristökeskus, Taustaselvitys, osa II, rehevöitymisen vähentäminen. Suomen ympäristökeskus.
- Riutta, T. 2008. Fen ecosystem carbon gas dynamics in changing hydrological conditions. University of Helsinki, Department of Forest Ecology.
- Roulet, N., Moore, T., Bubier, J. and Lafleur, P. 1992. Northern fens - Methane flux and climatic change. *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, 44, 100–105.
- Roulet, N.T. & Moore, T.R. 1995. The effect of forestry drainage practices on the emission of methane from northern peatlands. *Canadian Journal of Forest Research*, 25, 491–499.
- Rydin, H. & Jeglum, J. 2006. The biology of peatlands. Oxford University Press, Oxford. ISBN 978-0-19-852871-5.
- Saarnio, S., Morero, M., Shurpali, N. J., Tuittila, E.-S., Mäkilä, M. & Alm, J. 2007. Annual CO₂ and CH₄ fluxes of pristine boreal mires as a background for the lifecycle analyses of peat energy. *Boreal Environment Research*, 12, 101–113.
- Saarnio, S., Minkkinen, K., Maljanen, M. & Laine, J. 2008. Soiden hiilitaseet ja kasvihuonekaasujen vaihto. Teoksessa: Korhonen, L., Korpela, L. & Sarkkola, S. (toim.). Suomi - Suomea -soiden ja turpeen tutkimus sekä kestävä käyttö. ss. 56–66. Suoseura ry ja Maahenki Oy. ISBN 978-952-5652-49-9.
- Savolainen, I., Hillebrand, K., Nousiainen, I. & Sinisalo, J. 1994. Greenhouse Impacts of the use of peat and wood for energy. Espoo: VTT Tiedotteita — Research Notes 1559. 65 pp. + app. 9 pp.
- Savolainen, I., Lehtilä, A. & Similä, L. 2008. Scenario perspectives. In: p. 8-25 in VTT Intelligence Forum 2009, Towards zero emission energy production. VTT Symposium 254.
- Schneider, S. 2009. The worst-case scenario. *Nature*, 458, 1104–1105.
- Seppälä, J., Grönroos, J., Koskela, S., Holma, A., Leskinen, P., Liski, J., Tuovinen, J.-P., Laurila, T., Turunen, T., Lind, S., Maljanen, M., Martikainen, P., Kilpeläinen, A. 2010 (painossa). The climate impacts of peat fuel utilization chains - a critical review of the Finnish and Swedish life cycle assessments. *Finnish Environment* 16, Helsinki.
- Silvan, N., Silvan, K. & Laine, J. 2010. Excavation-drier method of energy-peat production reduces detrimental effects of this process on watercourses. *Boreal Environment Research* (painossa).

- Silvola, J., Alm, J., Ahlholm, U., Nykänen, H. & Martikainen, P.J. 1996. CO₂ fluxes from peat in boreal mires under varying temperature and moisture conditions. *Journal of Ecology*, 84, 219–228.
- Smil, V. 2008. *Energy in Nature and Society. General Energetics of Complex Systems*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Soimakallio, S., Perrels, A., Honkatukia, J., Moltmann, S., Höhne, N. 2006. Analysis and Evaluation of the Triptych 6 – Case Finland. VTT Working Papers 48. Espoo 2006. 70 p. + app. 8. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W48.pdf>.
- Sokka, L., Koskela, S. & Seppälä, J. 2005. Life cycle inventory analysis of hard coal based electricity generation. *The Finnish Environment* 797. Finnish Environment Institute, Helsinki.
- Suni, T., Rinne, J., Reissell, A., Altimir, N., Keronen, P., Rannik, Ü., Dal Maso, M., Kulmala, M. & Vesala, T. 2003. Long-term measurements of surface fluxes above a Scots pine forest in Hyytiälä, southern Finland, 1996–2001. *Boreal Environment Research*, 8, 287–301.
- Swanson, D.K. 2007. Interaction of mire microtopography, water supply, and peat accumulation in boreal mires. *Suo - Mires and peat*, 58, 37–47.
- Tilastokeskus, 2008. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2006. *Katsauksia* 2008/2.
- Tilastokeskus, 2009. Greenhouse gas emissions in Finland 1990–2007. National inventory report under the INFCCE and the Kyoto protocol. Luettavissa: http://www.stat.fi/tup/khkinv/fi_nir_030409.pdf.
- Tilastokeskus, 2010. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2008. *Katsauksia* 2010/1. Ympäristö ja luonnonvarat. Luettavissa: http://www.stat.fi/tup/julkaisut/isbn_978-952-244-256-7.pdf.
- Tolonen, K. & Turunen, J. 1996. Accumulation rates of carbon in mires in Finland and implications for climate change. *Holocene*, 6, 171–178.
- Trenberth, K.E., Fasullo, J.T. & Kiehl, J. 2009. Earth's global energy budget. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89, 311–324.
- Turunen, J., Tomppo, E., Tolonen, K. & Reinikainen, A. 2002. Estimating carbon accumulation rates of undrained mires in Finland -application to boreal and subarctic regions. *Holocene*, 12, 69–80.
- Turunen, J. 2008. Development of Finnish peatland area and carbon storage 1950–2000. *Boreal Environment Research*, 13, 319–334.
- VAPO, raportti 3962, 'Paikalliset polttoaineet Suomen huoltovarmuuden perusta', 2008.
- Vesala, T. 1998. *Ympäristöfysiikan perusteet - Johdatus siirtoilmiöihin ja ilmakehän fysiikkaa, Aerosolitutkimusseura* 1998.
- Vesala, T., Rannik, Ü. & Hari, P. 2008a Transport. Teoksessa: Hari, P. & Kulmala, L. (Toim.) *Boreal forest and climate change. Advances in Global Change Research*, Vol. 34, Springer Verlag. pp. 75–88.
- Vesala, T., Hari, P. ja Räisänen, J. 2008b Atmospheric Processes and Transport. Teoksessa: Hari, P. & Kulmala, L. (Toim.) *Boreal forest and climate change. Advances in Global Change Research*, Vol. 34, Springer Verlag. pp. 284–297.
- VNK 2009. Valtioneuvoston tulevaisuusselonteko ilmasto- ja energiapolitiikasta: kohti vähäpäästöistä Suomea. Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 28/2009. 180 ss.
- VTT, 2009. *Energy visions 2050*. Edita ja VTT. 375 ss.
- Whiting, G.J. & Chanton, J.P. 1992. Plant-dependent CH₄ emissions in a sub arctic Canadian Fen. *Global Biogeochemical Cycles*, 6, 225–231.

- Wilkinson, D. 2006. *Fundamental Processes in Ecology. An Earth Systems Approach*. Oxford: Oxford University Press.
- Witkamp, M. & Frank, M.L. 1969. Evolution of CO₂ from litter, humus and subsoil of a pine stand. *Pedobiologia*, 9, 358–365.
- von Arnold, K., Weslien, P., Nilsson, M., Svensson, B.H. & Klemedtsson, L. 2005a. Fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O from drained coniferous forests on organic soils. *Forest Ecology and Management*, 210, 239–254.
- von Arnold, K., Nilsson, M., Hånell, B., Weslien, P. & Klemedtsson, L. 2005b. Fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O from deciduous forests on organic soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 37, 1059–1071.
- Åkerman, M. 2005. Risusavotasta maaseudun teknologiaihmeeseen Puun energiakäyttöä tukevat käännökset metsätaloudessa, energiapolitiikassa ja maaseutupolitiikassa. (The role of discursive strategies and material practices in constituting space for wood energy (in Finnish, English summary). *Alue ja Ympäristö*, 34, ss. 3041.
- Åkerman, M & Jänis, L. 2005. Lähienergiaa puusta – maa- ja metsätalouden ja energiantuotannon synergiaeduista voimaa maaseudun kehitykseen. *Maaseudun Uusi Aika* 13, 41–48.
- Åkerman, M. & Peltola, T. 2002. Temporal scales and environmental knowledge production. *Landscape and Urban Planning* 1, 147–156.
- Åkerman, M., Leskinen, L. & Peltola, T. 2007. Yhteistyöllä lähienergiaa: kunnat ja lämpöyrittäjät paikallisen puuenergiantuotannon kehittäjinä. *Ympäristö ja Terveys* 4/2007.