



Johanna Kirkinen, Kari Hillebrand & Ilkka Savolainen

Turvemaan energiakäytön ilmastovaikutus – maankäyttöskenaario

Turvemaan energiakäytön ilmastovaikutus – maankäyttöskenaario

Johanna Kirkinen, Kari Hillebrand & Ilkka Savolainen

ISBN 978-951-38-6890-1 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 978-951-38-6891-8 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2007

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

VTT, Biologinkuja 7, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7026

VTT, Biologgränden 7, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7026

VTT Technical Research Centre of Finland, Biologinkuja 7, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7026

Toimitus Leena Ukaskoski

Edita Prima Oy, Helsinki 2007

Kirkinen, Johanna, Hillebrand, Kari & Savolainen, Ilkka. Turvemaan energiakäytön ilmastovaikutus – maankäyttöskenaario [Climate impact of the use of peatland for energy – land use scenario]. Espoo 2007. VTT Tiedotteita – Research Notes 2365. 49 s. + liitt. 2 s.

Avainsanat peatlands, fuel peat production, climatic impacts, greenhouse gases, forestry-drained peatlands, croplands, reforestation, emissions reduction, radiative forcing, Reed canary grass

Tiivistelmä

Julkaisussa tarkastellaan turvemaan energiakäytön hyödyntämisestä aiheutunutta ilmastovaikutusta maankäyttönäkökulmasta. Käsitellyt turvemaat ovat metsäojitettu suo ja suopelto. Näitä turvemaita käytetään energiantuotantoon seuraavasti: ensin turvemailta tuotetaan polttoturvetta, jonka jälkeen alue joko metsitetään tai aluetta käytetään ruokohelven viljelyyn. Turvemaan jälkikäytössä syntynyttä puubiomassaa tai ruokohelpeä käytetään energiantuotantoon. Yhtenä tärkeänä näkökulmana julkaisussa käsitellään myös uuden polttoturpeen tuotantoteknologian tuomia mahdollisuuksia päästöjen vähentämiseksi eli uuden turvetuotantomenetelmän vaikutusta turvemaan hyödyntämisen ilmastovaikutukseen. Turvemaan hyödyntämisen ilmastovaikutusta verrataan myös venäläisen ja puolalaisen kivihiihen elinkaaren ilmastovaikutukseen.

Ilmastovaikutusta arvioidaan säteilypakotteella. Ilmastovaikutuksen laskennassa otetaan huomioon koko energiantuotannon elinkaari, joka alkaa turpeen tuottamisesta alueen jälleenkäsittelyyn ja jälkikäytön tuotoksen hyödyntämisestä energiantuotantoon. Myös turvemaan alkutilanteen kasvihuonekaasupäästöt ja -nielut ovat mukana laskennassa muodostaen päästöjen vertailutilanteen. Tällöin nähdään kokonaisvaltaisesti, mikä on turvemaan hyödyntämisen ilmastovaikutus, kun turvemaan tuotantoon ottamisen johdosta toteutumatta jääneet päästöt ja nielut otetaan huomioon laskennassa. Tutkimuksessa käytetyt tarkasteluaikojen pituudet ovat 100 ja 300 vuotta sekä säteilypakotetulosille että uusiutuvan energian tuotannolle ja vertailutilan päästöille.

Metsäojitetun suon hyödyntäminen energiantuotantoon tuottaa alhaisemman ilmastovaikutuksen elinkaarinäkökulmasta kuin vastaavan energiamäärän tuottaminen kivihiihellä, jos alueen jälkikäytössä tuotettu uusiutuva polttoaine (puu tai ruokohelppi) otetaan huomioon jo sadan vuoden tarkastelujalla. Turvemaan hyödyntämisen elinkaaren alussa tuotetulla turpeella polton CO₂-päästöt ovat merkittävässä osassa ilmastovaikutuksen muodostumisessa. Toisaalta, kun turve on hyödynnetty, saadaan alueelta tuotetuksi hiilidioksidineutraalia polttoainetta, joko ruokohelpeä tai puubiomassaa, joka alentaa kokonaisilmastovaikutusta suhteessa tuotettuun energiamäärään.

Viljelyssä olevan suopellon päästöt ovat merkittävät. Tämän vuoksi suopellon hyödyntäminen ensin turvetuotantoon ja sitten joko metsitykseen tai ruokohelven viljelyyn, aiheuttaa alhaisemman ilmastovaikutuksen kuin metsäojitetun suon tai kivihiilen hyödyntäminen energiantuotantoon. Ruokohelven viljely ja metsitys ovat turvemaan jälki-käyttövaihtoehtoina ilmastonäkökulmasta samaa luokkaa. Uusi turvetuotantomenetelmä vähentää hieman turvemaan hyödyntämisen kokonaisilmastovaikutusta. Venäjältä ja Puolasta tuotetun kivihiilen ilmastovaikutukset elinkaarinäkökulmasta ovat hyvin lähellä toisiaan.

Kirkinen, Johanna, Hillebrand, Kari & Savolainen, Ilkka. Turvemaan energiakäytön ilmastovaikutus – maankäyttökkenaario [Climate impact of the use of peatland for energy – land use scenario]. Espoo 2007. VTT Tiedotteita – Research Notes 2365. 49 p. + app. 2 p.

Keywords peatlands, fuel peat production, climatic impacts, greenhouse gases, forestry-drained peatlands, croplands, reforestation, emissions reduction, radiative forcing, Reed canary grass

Abstract

Climate impact due to the utilisation of peatland from the land use point of view is assessed. The considered peatlands are forestry-drained peatland and cropland (peatland used for agriculture). These peatlands are used for energy production as follows: first the peatland is used for the production of fuel peat, and then the area is either afforested or used for the cultivation of reed canary grass. The produced wood biomass or reed canary grass in the after-treatment of peatland is used for energy production. One important aspect is how the new peat production technology helps to decrease the emissions of the peat production phase and, as a consequence, the climate impact of peat land utilisation. The climate impact of peatland utilisation is also compared to the climate impact due to the lifecycle of the utilisation of coal produced in Russia or Poland.

Climate impact is assessed by radiative forcing. The whole life cycle is taken into account in the calculation, from the production of fuel peat to the after-treatment of the bottom of peat production area and utilisation of the yield of after-treatment to energy production. Also the emissions and sinks of the peatland in its initial situation have been considered as reference case, so that the avoided climate impact of peatland in its initial situation has been taken into account. The time horizons considered in the calculation scenarios for radiative forcing results, for renewable fuel production and for reference case emissions were 100 and 300 years.

Utilisation of forestry-drained peatland into energy production causes lower climate impact than producing the same amount of energy with coal, if the utilisation of renewable biomass (wood, reed canary grass) produced in the after-treatment of peatland is taken into account already within the 100 year time horizon. The CO₂ emissions of fuel peat combustion, produced in the beginning of the peatland life cycle utilisation, have a significant influence on the climate impact. On the other hand, when peat is exploited the area can be used for producing carbon dioxide neutral fuel, either wood or reed canary grass, which lowers the total climate impact of peatland in relation to the produced energy.

The emissions of cultivated peatland (cropland) are notable. Because of this, the utilisation of cropland first for fuel peat production and then either for afforestation or cultivation of reed canary grass, causes lower climate impact than the utilisation of forestry-drained peatland or coal for energy. Cultivation of reed canary grass and afforestation are almost equal choices of peatland after-treatment practices from climate point of view. New peat production method lowers slightly the total climate impact of peatland utilisation. The climate impacts of coal produced from Russia or from Poland from a life cycle perspective are quite similar.

Alkusanat

Tässä työssä tutkittiin turvemaan energiakäytön hyödyntämisestä aiheutunutta ilmasto-vaikutusta maankäyttönäkökulmasta. Tutkimus tehtiin kauppaja- ja teollisuusministeriön, maa- ja metsätalousministeriön sekä ympäristöministeriön rahoittamana. Johtoryhmään kuuluivat Heikki Granholm (MMM), Aimo Aalto (KTM) ja Pirkko Heikinheimo (YM) sekä VTT:n edustajana Ilkka Savolainen. Puheenjohtajana toimi Heikki Granholm (MMM). Johtoryhmään kutsuttuja asiantuntijoita olivat Jukka Laine (Metsäntutkimuslaitos Metla), Kari Minkkinen (Helsingin yliopiston Metsäekologian laitos), Tilastokeskuksen edustaja (Tuija Lapveteläinen/Riitta Pipatti), Veijo Klemetti (Turveteollisuusliiton asiantuntija) ja Jaakko Silpola (Kansainvälisen Turveyhdistyksen edustaja).

Tutkimus suoritettiin vuonna 2006. Tutkimuksen vastuullisena johtajana toimi tutkimusprofessori Ilkka Savolainen. Tutkimukseen osallistui tutkija Johanna Kirkinen ja erikoistutkija Kari Hillebrand.

Tekijät kiittävät kauppaja- ja teollisuusministeriötä, maa- ja metsätalousministeriötä sekä ympäristöministeriötä rahoituksesta ja hyvästä yhteistyöstä sekä myös muita selvitykseen osallistuneita. Erityiset kiitokset kuuluvat Niko Silvanille (Metla), jolta saimme tietoja uudesta turvetuotantomenetelmästä, Mia Sahramaalle (Vapo), jolta saimme tietoja ruokohelvestä, Kari Mäkelälle (VTT) ja Heikki Vestmanille (Fortum), jotka auttoivat kivihiilen kuljetuksen päästöjen arvioimisessa, sekä Sampo Soimakalliolle (VTT), jolta saimme tietoja ruokohelven sekä metsityksen kasvihuonekaasutaseista.

Espoossa, joulukuussa 2006.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	5
Alkusanat.....	7
1. Johdanto.....	11
2. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet.....	13
3. Tutkimusmenetelmät.....	14
3.1 Laskentamenetelmät.....	14
3.1.1 Elinkaarianalyysi.....	14
3.1.2 Säteilypakote.....	15
3.2 Tutkimuskohteen rajaus.....	16
3.3 Turvemaan hyödyntämisestä aiheutuvan ilmastovaikutuksen laskeminen.....	17
3.4 Herkkyystarkastelu.....	18
4. Tarkasteltavat energiatuotantoketjut.....	19
5. Turvemaan hyödyntämisen ilmastovaikutus – laskennan lähtötiedot.....	21
5.1 Yleistä.....	21
5.2 Hyödynnettävät turvemaat.....	22
5.3 Turpeen hyödyntäminen.....	23
5.3.1 Nykyinen jyrshinturpeentuotantomenetelmä.....	23
5.3.2 Turpeen poltto.....	24
5.4 Turvemaan turvetuotannon jälkeinen hyödyntäminen.....	25
5.4.1 Metsitys.....	25
5.4.2 Ruokohelven viljely.....	28
6. Uusi tuotantomenetelmä.....	31
6.1 Yleistä.....	31
6.2 Laskennan arvot.....	32
7. Kivihiilen tuotantoketjun ilmastovaikutus.....	33
7.1 Yleistä.....	33
7.2 Kivihiilen tuotantoketjun päästöt.....	33
7.3 Kivihiilen polton päästöt.....	34
7.4 Kivihiilen hyödyntämisketjujen ilmastovaikutuksen vertailu.....	35

8. Tulokset ja herkkyystarkastelu	37
9. Pohdinta	42
10. Yhteenveto	44
Lähdeluettelo	45
Liite 1: Venäläisen kivihiilen kuljetuksen päästöarvioiden laskentaperusteet	

1. Johdanto

Suomen maa-alasta noin kolmasosa on suota, ja sen vuoksi Suomella onkin merkittävät turvevarat. Turvevarojen teknisesti käyttökelpoiseksi kokonaisenergiasisällöksi on arvioitu n. 13 000 TWh (46 800 PJ) (Virtanen et al. 2003). Turpeen osuus maamme energiankulutuksesta on n. 5–6 %. Vuonna 2005 turvetta käytettiin 66 PJ:n edestä (Tilastokeskus 2006a). Turve on kotimaisena polttoaineena tärkeä sekä energiaomavaraisuuden parantajana että työllisyyden lisääjänä. Turpeella on myös hyvät seospolttaineminaisuudet. Turpeen ja puun seospoltto estää kattilan likaantumista että kuumakorroosiota.

Turvemaan hyödyntäminen aiheuttaa ympäristö- ja ilmastovaikutuksia. Turpeen käytön haittana ovat sen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt. Turve luokitellaan tällä hetkellä omaan polttoainekategoriaan ”Turve” IPCC:n (Intergovernmental Panel on Climate Change) uusien luokitusohjeiden mukaisesti (IPCC 2006). Turpeen polton päästöt rinnastetaan päästöjen laskennassa sekä päästökaupassa kuitenkin fossiilisiin polttoaineisiin. Kansallisessa ilmastostrategiassa turve luokitellaan hitaasti uusiutuvaksi biopolttoaineeksi (KTM 2001).

Turpeen energiakäytöstä aiheutunutta kasvihuonevaikutusta on tutkittu aiemmin (mm. Kirkinen et al. (in press), Holmgren et al. (2006), Nilsson & Nilsson (2004), Savolainen et al. (1994), Hillebrand & Wihersaari (1993), Hillebrand (1993)). Tämä tutkimus tarkastelee turvemaiden energiakäyttöä maankäyttönäkökulmasta, jolloin turvemaata hyödynnetään kokonaisvaltaisesti energiantuotantoon hyödyntämällä ensin turve ja sen jälkeen hyödyntämällä aluetta uusiutuvan energian tuotantoon metsityksen tai ruokohelven viljelyn kautta. Tämä tutkimus täydentää aiemmin tehtyjä tutkimuksia turpeen ilmastovaikutuksesta ottamalla huomioon maankäytön ja siihen kohdistuvat muutokset ilmastomuutoksen hillinnän näkökulmasta.

Yhtenä tärkeänä osa-alueena tässä tutkimuksessa on ottaa huomioon, miten teknologiaa kehittämällä pystytään vaikuttamaan turpeen tuotannosta aiheutuviin kasvihuonekaasupäästöihin. Uudella turvetuotantomenetelmällä pystytään hyödyntämään turvemaata tarkemmin sekä tehokkaammin. Myös alueen jälkikäyttö turvetuotannon jälkeen pystytään aloittamaan aikaisemmin. Järkevä suunnittelu luonnonvarojen käytössä sekä luonnonvarojen tehokas hyödyntäminen ovat tärkeänä osana luotaessa ekologisesti kestävää yhteiskuntaa.

Turvetta verrataan usein muihin polttoaineisiin sekä erityisesti fossiilisiin polttoaineisiin. Tämä korostuu erityisesti päästökaupassa, jossa näiden polttoaineiden hyödyntämisestä energiantuottaja joutuu maksamaan kustannuksia aiheuttamistaan polton päästöistä (palauttamaan päästöoikeuksia). Turpeen ja kivihiilen polton hiilidioksidin päästöker-

toimet ovat lähellä toisiaan, mutta tämä tarkastelutapa ei huomioi mahdollisia elinkaaren muita vaikutuksia, kuten mm. päästöjä tuotannosta, työkoneista, kuljetuksesta tai mahdollisen turvealueen jälkikäytöstä. Tämän vuoksi on tärkeää tutkia energiaturpeen hyödyntämisen ja myös vertailuketjun, fossiilisen polttoaineen kasvihuonevaikutusta laajemmin elinkaarinäkökulmasta, ottamalla huomioon erityisesti kokonaisvaltainen tarkastelutapa. Tällöin huomioidaan polttoaineen sekä positiiviset että negatiiviset ympäristövaikutukset koko tuotteen elinkaaren ajalta.

2. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Tutkimusohjelmassa ”Turpeen ja turvemaiden käytön kasvihuonevaikutukset Suomessa” (Minkkinen & Laine 2001) on selvitetty turpeen energiakäytön kasvihuonevaikutusta tutkimusohjelmassa tehtyjen mittausten ja elinkaarilaskelmien pohjalta (Kirkinen et al., in press). Tulokset julkaistiin alustavasti ohjelman järjestämässä seminaarissa 31.1.2006 ja lisäksi tullaan julkaisemaan tieteellisinä artikkeleina Boreal Environment Research -julkaisusarjassa. Ohjelmassa tehdyissä kasvihuonevaikutusarvioissa olivat tarkasteltavat elinkaari-erät rajattu vain turve-energian tarkasteluun. Tutkimusohjelmassa verrattiin myös puolalaisen kivihiilen kasvihuonevaikutusta turve-energiaketjujen kasvihuonevaikutukseen.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on täydentää aiempaa Kirkinen et al. (in press) -tutkimusta, joka tehtiin em. tutkimusohjelmassa. Tässä tutkimuksessa otetaan huomioon, kuinka uusiutuvan bioenergian kasvattaminen ja hyödyntäminen turvetuotantoalueen jälkikäsitteilyvaihtoehtona vaikuttavat turvemaan hyödyntämisestä aiheutuvaan ilmastovaikutukseen. Turpeen noston jälkeen voidaan turvetuotantoalueen pohjaa käyttää uusiutuvan bioenergian (mm. puubiomassa ja ruokohelpi) tuotantoon, jolloin samalla alun perin tarkastelussa olleella alueella voidaan tuottaa uusiutuvaa bioenergiaa ja vaikuttaa ilmastonmuutoksen hillintään tuottamalla hiilidioksidineutraaleita polttoaineita.

Tavoitteena on myös tutkia, kuinka uusi turpeen tuotantomenetelmä vaikuttaa turpeen tuotannon kasvihuonekaasupäästöihin. Uusia teknologisia menetelmiä hyödyntämällä voidaan turpeen tuotannosta aiheutuvaa ilmastovaikutusta vähentää edelleen.

Aiemmassa turvetutkimuksessa (Kirkinen et al., in press) turve-energian hyödyntämisestä aiheutuvaa kasvihuonevaikutusta verrattiin kivihiilen hyödyntämisestä aiheutuneeseen kasvihuonevaikutukseen. Kivihiihiltä koskevat lähtötiedot olivat peräisin EU:n ExternE-tutkimusohjelmasta (Pingoud et al. 1997, ExternE 2006), jossa tarkasteltiin puolalaista kivihiihiltä. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan sekä venäläisen että puolalaisen kivihiilen kasvihuonevaikutusta elinkaarinäkökulmasta uusimpien tietojen valossa.

Myös Ruotsissa on tutkittu turpeen kasvihuonevaikutusta (mm. Nilsson & Nilsson 2004, Uppenberg et al. 2001). Aiemmista suomalaisista ja ruotsalaisista tutkimuksista huomattiin, että tuloksien ollessa monin paikoin yhtäläiset myös eroavaisuuksia ilmeni. Tämän vuoksi tehtiin uusi tutkimus uusimman suomalaisen (Kirkinen et al., in press) ja ruotsalaisen (Nilsson & Nilsson 2004) tutkimuksen yhtäläisyyksistä ja eroavuuksista (Holmgren et al. 2006). Turve-energian kasvihuonevaikutusta ei ole tutkittu muissa maissa, minkä takia on tärkeää tunnistaa, mistä erot tarkasteluissa ja lähtöarvoissa johtuvat. Vertailututkimuksessa kävi ilmi, että suomalaisen ja ruotsalaisen tutkimuksen tieteellinen lähestymistapa sekä laskentamenetelmä olivat hyvin samanlaisia. Erona olivat pääasiassa lähtöarvot, erityisesti metsäojitettujen soiden päästöissä. Tämän vertailututkimuksen tuloksia hyödynnettiin tässä tutkimuksessa.

3. Tutkimusmenetelmät

3.1 Laskentamenetelmät

Ilmastovaikutus lasketaan säteilypakotteena, jonka jälkeen kunkin tarkastellun tuotanto- ja käyttöketjun kumulatiivista säteilypakotetta voidaan verrata toisiinsa. Kussakin energiantuotantoketjussa on oletettu tuotettavan 1 PJ (0,28 TWh) energiaa, jolloin ilmasto-vaikutus lasketaan kohti tuotettua yksikköenergiamäärää. Metodologialtaan tämä tutkimus on aiempien turvetutkimuksen kaltainen (mm. Kirkinen et al. (in press), Nilsson & Nilsson 2004), mikä helpottaa aiempien tutkimustulosten vertailua tämän tutkimuksen kanssa.

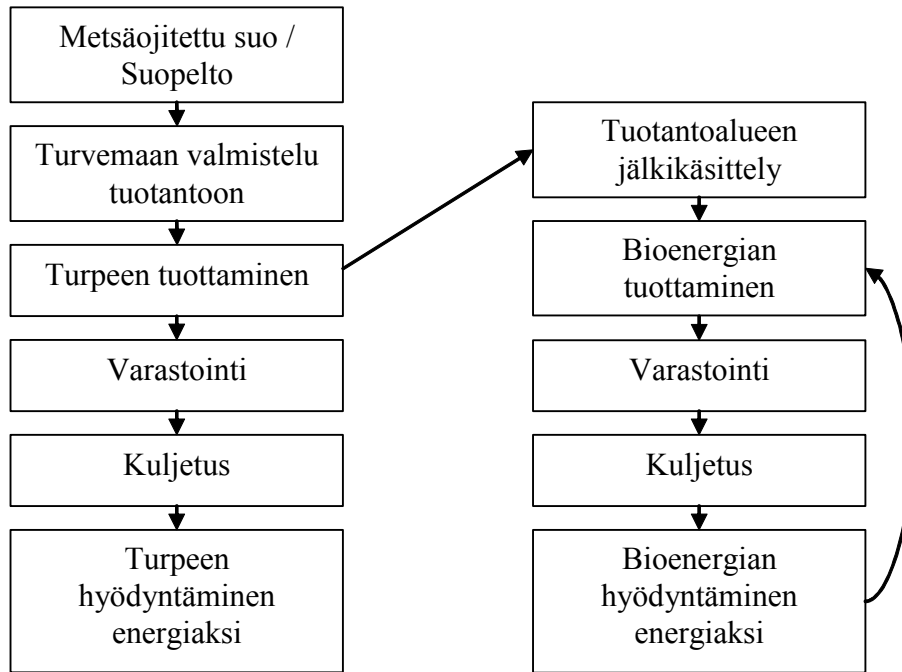
Seuraavia menetelmiä käytetään tässä tutkimuksessa: Energiantuotantoketjujen ilmasto-vaikutuksen määrittämisessä käytetään elinkaarianalyysia (ISO 14040, 1997) sekä säteilypakotetta (Radiative Forcing) (IPCC 2001) yhtäläisesti aiemman turvetutkimuksen kanssa (Kirkinen et al., in press). Seuraavissa kohdissa esitellään näiden analyysien tarkemmat kuvaukset.

3.1.1 Elinkaarianalyysi

Elinkaarianalyysia käytetään turvemaan hyödyntämisen elinkaaren ilmasto-vaikutuksen analysoinnissa. Elinkaarianalyysi ottaa huomioon tuotteen tai palvelun ympäristövaikutukset koko elinkaaren ajalta. Elinkaarianalyysi perustuu standardiin ISO 14040 1997. Standardi sisältää neljä eri vaihetta: 1. Analyysin tavoitteen ja laajuuden määritteleminen, 2. Tiedon analysointi eli inventaarioanalyysi, 3. Vaikutusten arvioiminen ja 4. Tulosten tulkitseminen. Myös raportointi ja kriittinen arviointi kuuluvat oleellisena osana elinkaarianalyysiin. Näitä vaiheita on sovellettu tässä tutkimuksessa seuraavasti. Tutkimuksen tavoitteet ja laajuus on listattu edellisessä luvussa 2. Inventaarioanalyysina kerätään tiedot eri vaiheiden kasvihuonekaasupäästöistä ja/tai -nieluista eli kaasujen sitoutumisesta. Vaikutusta arvioidaan säteilypakotteella. Tuloksia tulkitaan vertaamalla mm. eri energiantuotantoketjujen kumulatiivista säteilypakotetta toisiinsa.

Turvemaan hyödyntämisen elinkaari alkaa alussa olevasta tuotantovarasta, josta lähdetään tuottamaan turvetta (kuva 1). Tässä tutkimuksessa käsitellään metsäojitettua suota sekä suopeltoa, joita on jo aiemmin muokattu ihmisen toimesta. Turvemaan valmistellaan tuotantoon mm. ojittamalla lisää sekä profiloimalla tuotantoalue tuotantoa varten. Turve tuotetaan ja varastoidaan aumoihin, joista se kuljetetaan voima- ja lämpölaitoksille, joissa turve hyödynnetään energiaksi. Turvemaan hyödynnetään turvetuotannon jälkeen uusiutuvan bioenergian tuotantoon. Jälkikäyttövaihtoehtoina on metsitys tai ruokohelven viljely. Bioenergia varastoidaan ja kuljetetaan voima- ja lämpölaitoksille, jonka jälkeen

bioenergia hyödynnetään energiaksi. Näissä eri vaiheissa tapahtuvat kasvihuonekaasupäästöt sekä kaasujen sitoutumiset listataan tarkemmin luvussa 5.



Kuva 1. Turvemaan hyödyntämisen elinkaari. Turvemaalta tuotetaan ensin polttoturvetta, jonka jälkeen aluetta käytetään uusiutuvan bioenergian tuotantoon.

3.1.2 Säteilypakote

Kasvihuonekaasujen lisääntyneet pitoisuudet vähentävät maapallolta avaruuteen suuntautuvaa infrapunasäteilyä mutta eivät vaikuta avaruudesta maapallolle tulevaan säteilyn määrään. Tämä aiheuttaa epätasapainon maapallolle tulevan ja sieltä lähtevän säteilyn välille. Tätä kutsutaan säteilypakotteeksi, joka tarkoittaa nettomuutosta säteilytaseessa (säteilyepätasapaino). Säteilypakotetta kuvataan tehona maapallon pinta-alaa kohden (Wm^{-2}) (IPCC 2001).

Säteilypakote kertoo kunkin kasvihuonekaasupäästön aiheuttaman pitoisuuden muutoksen vaikutuksen ilmakehän säteilytasapainoon ajan funktiona. Säteilypakote ottaa huomioon kasvihuonekaasupäästön vaikutuksen muutokset ajan funktiona. Tässä tutkimuksessa säteilypakotetta laskettiin REFUGE-laskentamallilla (Monni et al. 2003, Monni 2002, Korhonen et al. 1993). REFUGE laskee hiilidioksidin, metaanin ja typpioksiduulin päästöistä aiheutuvaa pitoisuuslisää ilmakehässä ja säteilypakotetta ajan funktiona.

REFUGE ottaa huomioon kaasujen absorptiokyvyn, eliniän ja eräitä epäsuoria ilmasto-vaikutuksia.

Tulosten esittämisessä käytetään kumulatiivista säteilypakotetta ajan funktiona, joka on laskettu integroituna yli maapallon pinnan. Tällöin saadaan tulokseksi energia E_{abs} (esimerkiksi petajouleina PJ), joka on absorboitunut maapallon termodynaamiseen järjestelmään (ilmakehä, meri, maa) kyseisestä toiminnasta tarkastelu-aikaan mennessä (esimerkiksi 100 vuotta). Tarkastellun toiminnan, energiantuotantoketjun, laajuus valitaan niin, että se tuottaa tietyn määrän E_{po} polttoainetta energiayksiköissä (esimerkiksi PJ). Ilmastovaikutus polttoaine-energian suhteen saadaan silloin dimensiottomana lukuna $E_{\text{abs}} / E_{\text{po}}$ (PJ / PJ). (Todellisuudessa absorboitunut energia on tässä laskettua arvoa suurempi erityisesti vesihöyryn positiivisen takaisinkytkennän takia. Lämpeneminen lisää haihduntaa ja vesihöyryn määrää ilmakehässä. Vesihöyry toimii kasvihuonekaasuna.)

3.2 Tutkimuskohteen rajaus

Tässä tutkimuksessa otettiin huomioon elinkaarianalyysin avulla energiaturpeen elinkaaren kasvihuonekaasupäästöt ja -nielut eli sitoutuminen. Tämä tutkimus arvioi ainoastaan turpeen ilmastovaikutusta, muita ympäristövaikutuksia ei otettu huomioon. Tutkimuksessa tarkasteltiin hiilidioksidin (CO_2), metaanin (CH_4) ja typpioksiduulin (N_2O) päästöjä sekä hiilidioksidin sitoutumista. Tutkimuksessa ei otettu huomioon mm. voima- tai lämpölaitosten ja sähkön ja/tai lämmönjakelun järjestelmän rakentamista. Laitoksen rakentamisen päästöt rajattiin pois, mutta niiden vaikutuksen arvioidaan olevan vähäinen. Ruokohelven viljelyksessä otettiin huomioon lannoitteet ja niiden aiheuttamat päästöt sekä lannoitteiden valmistuksessa syntyvät kasvihuonepäästöt.

Ilmastopimuksen perimmäisenä tavoitteena on kasvihuonekaasujen pitoisuuksien vaarattaminen vaarattomalle tasolle. Ilmakehän nykyinen hiilidioksidipitoisuus on 380 ppm ja Kioton kaasujen CO_2 -ekvivalenttinen pitoisuus noin 430 ppm CO_2e . Pitoisuuden nousunopeus on noin 2 ppm (miljoonasosaa) vuodessa. EU on ehdottanut maapallon keskilämpötilan muutoksen rajoittamista kahteen asteeseen, mitä vastaa likimain pitoisuustasoa 450 ppm CO_2e . EU:n lämpötilarajoitteen kannalta tulee siis rajoittaa pitoisuuksia jo aivan lähivuosikymmeninä. Jos pitoisuusrajoite on 550 CO_2e , mikä vastaa noin kolmen asteen lämpötilan nousua, tulee pitoisuuksia rajoittaa noin 100 vuoden puiteissa. Tavanomaisessa päästöjen raportoinnissa ilmastopimukselle käytetään myös GWP-kertoimia, jotka on laskettu 100 vuoden aikahorisontilla. Kasvihuonekaasujen eliniät ilmakehässä ovat pitkiä, ja siksi päästöjen vaikutus ilmakehässä säilyy melko kauan. Tutkimuksessa käsitellyt ajanjaksot ovat 100 ja 300 vuotta, joista ensimmäinen kytkeytyy paremmin ilmastopimuksen perimmäisen tavoitteen tarkasteluun. Näitä ajanjaksoja on käytetty myös aiemmissa turvetutkimuksissa (mm. Kirkinen et al., in

press, Holmgren et al. 2006, Nilsson & Nilsson 2004). Kolmensadan vuoden ajanjakso on kuitenkin melkoisen teoreettinen tapauksissa, joissa oletetaan tietyn maankäyttötavan, esimerkiksi ruokohelven viljelyn, jatkuvan lähes 300 vuotta.

Suomalaisen ja ruotsalaisen turvetutkimuksen vertailututkimuksesta (Holmgren et al. 2006) käy ilmi, että aiemmissa ruotsalaisissa tutkimuksissa myös turvealuetta ympäröivän alueen ilmastovaikutus on otettu huomioon. Kuitenkin Holmgren et al. (2006) toteavat, että koska Suomessa pääosa (75 %) turvetuotantoon käytetyistä alueista on metsäojitettuja soita, jotka on ojitettu joka tapauksessa, ei tämä vaikutus ole merkittävä. Jos luonnontilaisia soita otetaan turvetuotantoon, saattaa ojitus vaikuttaa turvetuotantoalueen kasvihuonevaikutukseen laajemminkin kuin vain itse turvetuotantoalueeseen. Tässä tutkimuksessa ei ympäröivän alueen kasvihuonevaikutusta otettu huomioon. Oletuksena oli, että turve tuotetaan joko metsäojitetuilta soilta tai suopelloilta, joita ihminen on muokannut ja kuivattanut jo ennen turvetuotantoa.

3.3 Turvemaan hyödyntämisestä aiheutuvan ilmastovaikutuksen laskeminen

Ilmastovaikutuksen laskemisessa otetaan huomioon kaikki turvemaan hyödyntämisessä tapahtuneet kasvihuonekaasupäästöt sekä kasvihuonekaasujen mahdollinen sitoutuminen. Ilmastovaikutus I lasketaan seuraavalla kaavalla,

$$I = I_P - I_R \quad (1)$$

missä I_P kuvaa tuotantoketjun kasvihuonevaikutusta ottaen huomioon turpeen tuotantoalueen, turpeen ja bioenergian hyödyntämisessä käytettävien työkoneiden, turpeen ja bioenergian kuljetuksen, varastoinnin, mahdollisen lannoituksen ja energianlähteen polton päästöt ja I_R kuvaa referenssitilan eli tuotantovaran päästöjen ja nielujen aiheuttamaa kasvihuonevaikutusta eli sitä vaikutusta, mikä jää toteutumatta, kun alue hyödynnetään turvetuotantoon. Kasvihuonevaikutuksen laskemisessa otetaan huomioon vain energiantuotannosta muodostuva ilmastovaikutus eli ihmisen aiheuttama muutos ilmastoon.

Kasvihuonevaikutus I saadaan lasketuksi säteilypakotemallilla syöttämällä kunkin energiantuotantoketjun hiilidioksidi-, metaani- ja typpioksiduulipäästöt ajan funktiona laskentamalli REFUGEEen. Ajanjaksoina käytetään 100 tai 300 vuotta. Taustapitoisuutena REFUGEEssa käytetään IPCC:n A2 skenaariota (IPCC 2001). Tätä skenaariota hyödynnettiin yli vuosisadan puolivälin, jolloin ilmakehän hiilidioksidipitoisuus saavuttaisi kaksinkertaisen määrän 550 ppm verrattuna esiteolliseen määrään, jolloin ilmakehän CO₂-pitoisuus oli 275 ppm. Oletusta pitoisuuden pysähtymisestä perustellaan ilmastomuutoksen hillinnän aiheuttamilla toimenpiteillä. Ilman hillitsemistoimenpiteitä hiili-

dioksidin pitoisuuden kaksinkertaistuminen johtaisi jopa huomattavasti yli kolmen asteen keskilämpötilan nousuun maapallolla, kun huomioidaan myös muiden kasvihuonekaasujen pitoisuuksien nousu.

3.4 Herkkyystarkastelu

Herkkyys- ja epävarmuustarkastelun avulla voidaan arvioida tulosten epävarmuutta. Herkkyystarkastelujen avulla tunnistetaan ne tekijät, joiden epävarmuus vaikuttaa eniten kokonaiskasvihuonevaikutukseen. Herkkyystarkastelu on myös osana elinkaarianalyysia. Herkkyystarkastelun avulla nähdään myös, jos jokin analyysin kohta näyttää olevan tunnetuista tiedoista tai oletuksista poikkeava ja jos jokin kohta kaipaa lisätarkastelua.

Herkkyystarkastelussa otetaan huomioon päästö- ja nieluarvioiden vaihteluväli. Turpeen hyödyntämisketjuissa ylin mahdollinen kasvihuonevaikutus kuvaa ns. huonointa mahdollista skenaariota (worst case scenario), jolloin tyypillisesti tuotannon ja polton päästöt ovat merkittävimmät ja referenssialueen päästöt ovat maltilliset eli suhteellisesti vähäiset. Alin mahdollinen kasvihuonevaikutus kuvaa tilannetta, joka on edullisin ilmastönäkökulmasta (best case scenario). Se kuvaa energiatuotantoketjun kasvihuonevaikutusta, jossa tuotannon ja polton päästöt on saatu minimoitua ja turve tuotetaan alueelta, joka on merkittävä päästölähde ja jonka päästöt lakkaavat. Vaihteluvälin suuruus riippuu sekä päästöarvioiden epävarmuudesta että päästöjen luonnollisesta vaihtelusta erilaisten turvemaiden välillä.

Kivihiilen kasvihuonevaikutuksen vaihteluväli kuvaa kivihiilen polton ja tuotannon maksimipäästöjen ja minimipäästöjen vaihteluväliä.

Holmgren et al. (2006) käyttivät suomalaisen ja ruotsalaisen turvetutkimuksen vertailututkimuksessa myös oheista herkkyystarkastelua ilmastovaikutuksen vaihteluväleineen. Koska mm. referenssitilojen kasvihuonekaasupäästöjen ja -nielujen vaihteluväli on hyvin laaja ja päästöjen jakaumaa ei tiedetä tarkasti, pelkän keskiarvon käyttäminen ei välttämättä anna oikeaa kuvaa tilanteesta. Tällöin on hyvä tarkastella, kuinka laajalla alueella ilmastovaikutus voi energiantuotantoketjuissa olla ja kuinka paljon erot referenssitilanteissa vaikuttavat ilmastovaikutukseen.

4. Tarkasteltavat energiatuotantoketjut

Tutkimuksessa käsitellyt energiantuotantoketjut esitetään taulukossa 1. Ketjuissa 1–3 on energiavarana metsäojitettu suo. Aiemmissä tutkimuksissa (mm. Kirkinen et al., in press) on havaittu, että metsäojitetun suon maaperä on maltillinen kasvihuonekaasupäästöjen lähde, jonka vuoksi metsäojitettujen soiden hyödyntäminen turvetuotantoon olisi perusteltua, jotta päästölähde lakkautettaisiin. Turvetuotantomaista pääosa on metsäojitettua suota.

Ketjuissa 4–6 energiavarana on käsitelty suopeltoa. Suopelto on hyvin merkittävä päästölähde, jonka vuoksi sen hyödyntäminen energiantuotantoon olisi ilmaston kannalta edullista. Suopelloista 67 000 ha on arvioitu soveltuvan turpeen tuotantoon (Selin 1999).

Tässä tutkimuksessa ei tarkasteltu luonnontilaisia soita (aapasuo, keidassuo). Aiemmissä tutkimuksissa (mm. Kirkinen et al. (in press), Holmgren et al. 2006) on käynyt ilmi, että ilmastovaikutuksen kannalta olisi suotavampaa käyttää turvetuotantoon jo ojitettuja kuin luonnontilaisia soita. Myös turveteollisuuden ympäristöperiaatteena on ottaa käyttöön ensisijaisesti soita, jotka eivät ole luonnontilassa (Silpola 2006).

Turvemaan hyödyntämisketjujen turpeen tuotannon ja polton vaihe on sama ketjuissa 1, 2, 4 ja 5. Turpeen tuotannon oletetaan tapahtuvan nykyisin käytössä olevalla jyrshinturvetuotantomenetelmällä. Tällöin päästöjä syntyy mm. työkoneista, tuotantokentästä sekä aumasta. Ketjuissa 3 ja 6 oletetaan käytettäväksi uutta turvetuotantomenetelmää, jota on kuvattu tarkemmin luvussa 6. Turpeen polton päästöjen on arvioitu olevan samat kaikissa energiantuotantoketjuissa. Turpeen noston jälkeen turvemaata hyödynnetään bioenergian tuotantoon. Ketjuissa 1, 3 ja 4 on turvemaan jälkikäyttönä metsitys. Puubiomassan energiantuotannossa päästöjä syntyy mm. kuljetuksesta ja haketuksesta. Ruokohelven tuotannossa päästöjä syntyy kuljetuksen ja työkoneiden lisäksi myös lannoituksesta. Puubiomassan ja ruokohelven poltossa syntyy CH₄- ja N₂O-päästöjä.

Vertailu- eli referenssitilanteena ketjuissa on hyödynnettävän energiavaran luonnollinen ja normaali kehitys. Kuten kohdassa 3.3 todettiin, on referenssitilanteen ottaminen huomioon tärkeää turvemaan hyödyntämisen ilmastovaikutusta tarkasteltaessa, sillä tällöin otetaan huomioon ne kasvihuonekaasupäästöt ja -nielut, jotka jäävät toteutumatta, kun alue hyödynnetään turvetuotantoon.

Ketjut 7 ja 8 kuvaavat kivihiiilen energiantuotantoketjuja. Ketjussa 7 on oletettu kivihiiilen olevan tuotettu Puolasta ja ketjussa 8 Venäjältä. Kivihiihi kuljetetaan Suomeen ja hyödynnetään Suomessa. Kivihiihin energiantuotantoketjun päästöjä tarkastellaan luvussa 7.

Taulukko 1. Tarkasteltavat energiantuotantoketjut.

Ketjut	Energiavara	Energian tuotanto ja poltto	Jälkikäyttö	Turvemaan jälkikäytön hyödyntäminen	Vertailutilanne
1	Metsäojitettu suo	Normaali tuotanto (jyrsinturve) ja poltto	Metsitys	Puubiomassan energiakäyttö	Metsäojitetun suon normaali kehitys
2	Metsäojitettu suo	Normaali tuotanto (jyrsinturve) ja poltto	Ruukohelven viljely	Ruukohelven energiakäyttö	Metsäojitetun suon normaali kehitys
3	Metsäojitettu suo	Kehittynyt tuotanto ja poltto (uusi turvetuotantomenetelmä)	Metsitys	Puubiomassan energiakäyttö	Metsäojitetun suon normaali kehitys
4	Suopelto	Normaali tuotanto (jyrsinturve) ja poltto	Metsitys	Puubiomassan energiakäyttö	Suopellon normaali kehitys
5	Suopelto	Normaali tuotanto (jyrsinturve) ja poltto	Ruukohelven viljely	Ruukohelven energiakäyttö	Suopellon normaali kehitys
6	Suopelto	Kehittynyt tuotanto ja poltto (uusi turvetuotantomenetelmä)	Ruukohelven viljely	Ruukohelven energiakäyttö	Suopellon normaali kehitys
7	Kivihiili	Tuotettu Puolasta, pölypoltto			Kivihiiltä ei hyödynnetä
8	Kivihiili	Tuotettu Venäjältä, pölypoltto			Kivihiiltä ei hyödynnetä

5. Turvemaan hyödyntämisen ilmastovaikutus – laskennan lähtötiedot

5.1 Yleistä

Tutkimuksessa käytettiin mittauksiin ja kirjallisuuteen perustuvia laskennan lähtöarvoja. Uusimmat tiedot turvemaiden päästöistä saatiin Turpeen ja turvemaiden käytön kasvihuonevaikutukset Suomessa -tutkimusohjelmasta (Minkkinen & Laine 2001, Kirkinen et al., in press). Tiedot uudesta tuotantomenetelmästä ovat Vapo Oy:n ja Metsäntutkimuslaitoksen (Metla) yhteisestä tutkimuksesta (Silvan 2006). Tiedot venäläisen ja puolalaisen kivihiilen tuotantoketjun päästöistä ovat eri tutkimuksista ja kirjallisuudesta. Turvemaan hyödyntämisen päästöt koostuvat eri vaiheista: turpeen tuotanto, poltto, turvemaan jälkikäyttö, metsityksen tai ruokohelven tuotannon ja polton päästöt. Päästöarvoissa positiivinen luku tarkoittaa kasvihuonekaasun päästöä, negatiivinen luku sitoutumista.

Tutkimuksessa oletettiin, että turve tuotetaan turvemaalta 5–20 ensimmäisen vuoden aikana (riippuen tuotantotavasta), jonka jälkeen tuotantoalueen pohja metsitetään tai käytetään ruokohelven viljelyyn. Energiantuotantoketjussa tuotetaan yhteensä 1 PJ energiaa sekä turpeella että joko puubiomassalla tai ruokohelvellä. Ajanjaksoina on 100 ja 300 vuotta, jonka vuoksi kunkin energiantuotantoketjun 100 ja 300 vuoden tarkastelussa tuotannossa oleva ala vaihtelee turpeen tuotoksen ja puubiomassan sekä ruokohelven tuotoksen perusteella. Energiantuotantoketjuissa, joissa jälkikäsittelevaihtoehtona on metsitys, on oletuksena, että ketjut ovat energiantuotantoketjuja, eli koko metsä käytetään energiantuotantoon harvennuksineen. Taulukossa 2 esitetään ketjuissa käytetyt tuotantoalat (ha). Turpeen energiasisältö on n. 9 400 MWh/ha (Leinonen & Hillebrand 2000). Suon paksuudeksi on oletettu 2 m. Kunkin ketjun tuotantoala, kun tuotetaan 1 PJ energiaa, laskettiin ottamalla huomioon turpeen energiasisältö sekä metsityksen ja ruokohelven vuosittainen tuotos.

Taulukko 2. Turvemaan hyödyntämisketjuissa tarkastellut energiantuotantoalat, kun kussakin ketjussa tuotetaan yhteensä 1 PJ energiaa.

Energiantuotantoketju	100 vuotta energiantuotantoa	300 vuotta energiantuotantoa	Lisätietoa
1 Metsäojitettu suo – metsitys	26,3 ha	20,7 ha	Turpeen tuotantoa 20 vuotta, metsitystä 80 tai 280 vuotta
2 Metsäojitettu suo – ruokohelppi	24,4 ha	17,0 ha	Turpeen tuotantoa 20 vuotta, ruokohelven viljelyä 80 tai 280 vuotta
3 Metsäojitettu suo – metsitys UT*	25,8 ha	20,4 ha	Turpeen tuotantoa 5 vuotta, metsitystä 95 tai 295 vuotta
4 Suopelto – metsitys	26,3 ha	20,7 ha	Turpeen tuotantoa 20 vuotta, metsitystä 80 tai 280 vuotta
5 Suopelto – ruokohelppi	24,4 ha	17,0 ha	Turpeen tuotantoa 20 vuotta, ruokohelven viljelyä 80 tai 280 vuotta
6 Suopelto – ruokohelppi UT*	23,6 ha	16,6 ha	Turpeen tuotantoa 5 vuotta, ruokohelven viljelyä 95 tai 295 vuotta

*UT tarkoittaa uuden turvetuotantomenetelmän hyödyntämistä energiantuotantoketjussa.

5.2 Hyödynnettävät turvemaat

Turvetta tuotetaan Suomessa pääasiassa metsäojitetuilta soilta (n. 75 % turpeesta). Myös joitain määriä tuotetaan luonnontilaisilta soilta. Turvemaiden ja turpeen tuotantoalojen pinta-aloja esitetään taulukossa 3.

Taulukko 3. Käsiteltyjen turvemaiden määrät Suomessa sekä osuudet turvetuotantoalueilta (Virtanen et al. 2003, Leinonen & Hillebrand 2000).

Suotyyppi	Määrä Suomessa (Mha)	Turvetuotantoala (ha)	Osuus turvetuotantoalasta (%)
Metsäojitettu suo	5,6	47 250	75
Suopelto (sis. myös uudelleen metsitetyt suopellot)	0,7	750	1

Turvemaiden päästökertoimet saadaan turvetutkimusohjelmasta, jossa arviot perustuvat mittauksiin ja asiantuntijoiden lausuntoihin. Päästöarviot epävarmuuksineen esitetään taulukossa 4.

Taulukko 4. Laskennan oletukset: Metsäojitetun suon maaperän ja suopellon kasvihuonekaasujen päästöt ja -nielut (Kirkinen et al., in press).

Energiavara	Kasvihuonekaasu	Päästö (Nielu)	Alaraja	Yläaraja
Metsäojitettu suo (maaperä)	CO ₂ (g m ⁻² a ⁻¹)	224	0	448
	CH ₄ (g m ⁻² a ⁻¹)	0	0	0
	N ₂ O (g m ⁻² a ⁻¹)	0	0	0
Suopelto	CO ₂ (g m ⁻² a ⁻¹)	1760	705	2815
	CH ₄ (g m ⁻² a ⁻¹)	-0,147	-0,263	-0,031
	N ₂ O (g m ⁻² a ⁻¹)	1,297	0,462	2,132

Metsäojitettujen soiden tapauksessa arvot perustuvat puolukkatyyppin männikön (Ptkg) mitattuihin ja simuloituihin päästö- ja tuotoslukuihin (Minkkinen et al., in press, Penttilä et al., in press) Kyseinen kasvupaikkatyyppi on yleisin ojitettu suotyyppi Suomessa, ja sen katsotaan edustavan hyvin myös turvetuotantoon otettuja metsäojitettuja soita.

Eroja päästöissä saattaa kuitenkin olla riippuen metsäojitetun suon ravinteikkuudesta. Minkkinen et al. (2002) ovat tutkineet metsäojitettuja soita Suomessa. Yleisesti ottaen arviot ovat, että mitä karumpi suo, sitä vähemmän päästöjä, ja mitä rehevämpi suo, sitä enemmän päästöjä. Minkkinen et al. (2002) mukaan vähä- ja erittäin vähäravinteisia (oligotrophic, ombrotrophic) metsäojitettuja soita on Suomessa n. 4 milj. ha, keski- ja runsasravinteisia (mesotrophic, eutrophic) n. 1,8 milj. ha.

5.3 Turpeen hyödyntäminen

5.3.1 Nykyinen jyrshinturpeentuotantomenetelmä

Turpeen tuotannon aiheuttamaan kasvihuonevaikutukseen kuuluvat tuotanto- ja kuljetuskoneiden, tuotantokentän sekä varastoimisesta aiheutuvat päästöt (taulukko 5). Turpeen tuotannossa turvemaa ojitetaan ja kuivataan, jolloin sen pinnalta raivataan yhteyttävä kasvillisuus pois. Tällöin hiilidioksidin sitominen loppuu ja suosta tulee hiilidioksidin lähde. Metsäojitetut suot ja suopellot on ojitettu jo aikaisemmin metsä- ja maatalouden käyttöön. Turvetuotannon aloittamisessa saatetaan tarvita vielä lisäojitusta.

Yleisin turvetuotantomenetelmä on jyrshinturvemenetelmä. Tässä menetelmässä jyrsitään suon pinnasta turvetta kuivatusta varten. Kerralla jyrstittävä turvekerros on 20–40 mm paksu ja sitä kutsutaan jyrökseksi. Turve kuivataan turvekentällä auringon energian avulla, jonka vuoksi vallitsevat sääolot ovat tärkeitä. Kuivumisjakson aikana jyrös käännetään 1–3 kertaa kuivumisen edistämiseksi. Hyvissä sääolosuhteissa kuivuminen kestää noin kaksi vuorokautta.

Työkoneiden ja kuljetuksen päästöt syntyvät eri tuotannon vaiheissa käytettävistä työkoneista mm. traktoreiden, rekan ja kuormaajan päästöistä, kun turve kuljetetaan aumoista voimalaitoksille tai lämpölaitoksille.

Taulukko 5. Turpeen tuotantovaiheen päästöt (Mälkki & Frilander 1997, Uppenberg et al. 2001).

Päästölähde	Kasvihuonekaasu	Päästö	Alaraja	Yläraja
Tuotantoalue	CO ₂ (g MJ ⁻¹)	6,84	3,42	10,25
	CH ₄ (g MJ ⁻¹)	0,0039	0,0019	0,0058
Aumat	CO ₂ (g MJ ⁻¹)	1,48	0,74	2,23
Työkoneet	CO ₂ (g MJ ⁻¹)	1,0	0,5	1,5
	CH ₄ (g MJ ⁻¹)	0,0007	0,00035	0,00105
	N ₂ O (g MJ ⁻¹)	0,000025	0,0000125	0,0000375

5.3.2 Turpeen poltto

Turpeen polton päästökertoimet esitetään taulukossa 6. Päästökertoimet erityisesti typioksiidulin ja metaanin osalta riippuvat paljolti käytetystä polttoteknologiasta. Suomessa käytetyin turpeen polton teknologia on leijupeti, jonka vuoksi tämän teknologian polton päästökertoimia käytetään tässä tutkimuksessa.

Taulukko 6. Turpeen polton päästökertoimet epävarmuuksineen (Vesterinen 2003, IPCC 2006, Monni & Syri 2003, Tsupari et al. 2005).

Kasvihuonekaasu	Päästö	Alaraja	Yläraja
CO ₂ (g MJ ⁻¹)	105,9	105,3	106,5
CH ₄ (g MJ ⁻¹)	0,0030	0,0015	0,0045
N ₂ O (g MJ ⁻¹)	0,005	0,0015	0,0125

Polton päästöjen arvioimisessa on käytetty turpeelle kosteusprosenttia 45 % (Vesterinen 2003). Turpeen kosteusprosentin merkittävä vähentyminen saattaa vähentää polton

CO₂-päästöjä (Kirkinen et al., in press). On myös nähtävissä, että turpeen polton metaani- ja typpioksiduulipäästöjä pystyttäisiin vähentämään jo nykyisillä teknologioilla. Tämä saattaa tulla kyseeseen silloin, kun myös nämä kaasut tulevat mukaan päästökaupan piiriin ja niitä halutaan vähentää.

5.4 Turvemaan turvetuotannon jälkeinen hyödyntäminen

5.4.1 Metsitys

Turvemaata hyödynnetään bioenergian tuottamiseen turvetuotannon jälkeen. Tutkimuksessa oletetaan, että koko metsän puubiomassan tuotanto käytetään energiantuotantoon. Suomessa käytetystä metsän tuottamasta puubiomassasta hyödynnetään energiakäyttöön lähes puolet (Tilastokeskus 2006d). Tässä tutkimuksessa otettiin huomioon vain metsän puubiomassan tuotoksen kasvu verrattuna referenssitilanteeseen (Holmgren et al. 2006). Tämä tarkoittaa sitä, että kun metsäojitettu suo otetaan turvetuotantoon, niin metsän kasvu referenssitilanteessa lakkaa. Turvemaan turpeen tuotannon jälkeen metsän tuotos paranee, joten tämä parantunut tuotostaso otetaan huomioon. Suopeltoja on myös metsitetty, mutta koska ei ole tiedossa, kuinka paljon metsitettyjä suopeltoja on verrattuna metsittämättömiin, käytetään samaa tuotoksen nousua suopellon jälkikäyttövaihtoehdon metsitystapauksessa kuin metsäojitetun suon ollessa energiavarana.

Puubiomassan hiilivarasto otetaan huomioon tutkimuksessa. Tuotettu biomassa oletetaan käytettäväksi energiaksi kokonaisuudessaan. Tällöin, samoin kuten aiemmassa turvetutkimuksessa (Kirkinen et al., in press), otetaan huomioon metsään kertynyt keskimääräinen hiilivarasto ja jätetään huomioimatta kasvukierron yli tapahtuvat vaihtelut.

Turvemaan tuotantoalan laskennassa käytettiin apuna seuraavia arvioita metsän tuotoksesta. Aro & Kaunisto (2003) ovat tutkineet jatkolannoituksen ja kasvatustiheyden vaikutusta nuorten mäntymetsiköiden ravinnetilaan sekä puuston ja juuriston kehitykseen paksuturpeisella turvetuotantoalueen pohjalla. Metsityksen vuosittaisen tuotoksen arvioimisessa on käytetty apuna em. tutkimusta, jonka mukaan paksuilla jäännösturpeilla päästään n. 7–8 m³/ha:n vuotuisen runkopuutuotostason, kun ravinnetalous hoidetaan lannoituksella kuntoon. Ohuen jäännösturpeen kentiltä ei ole vielä kuin lyhyitä seurantajaksoja, mutta jos niillä hoidetaan vesitalous ja ravinnetalous kuntoon (sekoitus pohjamaahan ja mahdollinen lannoitus), tuotostason täytyisi olla vähintään yhtä hyvä kuin paksummilla turpeilla. Laskelmissa oletetaan, että metsityksessä käytettävä puulaji on mänty (*Pinus sylvestris*). Keskimääräinen metsien tuottavuus on alhaisempi kuin ym. arviot, keskiarvo on n. 4,3 m³/ha/a (Aarne et al. 2005).

Metsäojitetun suon vuosittainen tuotos ennen turpeen hyödyntämistä on n. 2–3 m³/ha runkopuuta (Aro & Kaunisto 2003). Vain puubiomassan tuotoksen muutos otetaan huomioon turvetuotantoalueen jälkikäsitelyssä (Holmgren et al. 2006), jolloin erotukseksi saadaan n. 5 m³/ha/a. Biomass Expansion Factors eli BEF-kertoimilla saadaan lasketuksi keskimääräisesti, kuinka paljon koko puubiomassa on suhteessa runkopuuhun eli minkä lisän mm. oksat, kuori ja juuret tuovat kokonaispuubiomassaan (Lehtonen et al. 2004). BEF-kerroin on laskettu männylle koko sen kiertoajan keskimääräisen BEF-kertoimen perusteella. Tällöin koko puubiomassatuotostasoksi saadaan n. 8,5 m³/ha/a. Energiaksi luku saadaan konvertoitua seuraavien oletuksien perusteella: kiintokuutiot muutetaan irtokuutioiksi kertomalla ne 2,09:llä (Alakangas 2000), jolloin 8,5 m³/ha/a vastaa 17,78 i-m³/ha/a. Energiatiheys vaihtelee 0,7–0,9 MWh/i-m³. Käyttämällä keskiarvoa 0,8 MWh/i-m³ päädytään metsityksen puubiomassan n. 51 200 MJ/ha/a vuosittaiseen tuotostasoon.

Metsän hiilitase

Metsän hiilitase koostuu hiilen kierrosta metsään sitoutuvan hiilen kautta sekä maanpäällisen ja maanalaisen biomassaan kertymisestä. Yhtenä osapuolena on jäännösturpeen hajoaminen, joka aiheuttaa CO₂-päästöjä. Metsän hiilitaseen eri komponentit esitetään taulukossa 7. Negatiivinen luku merkitsee hiilen sitoutumista.

Taulukko 7. Metsään sitoutuvan hiilen eri komponentit (Kirkinen et al., in press).

Eri komponentit	Päästö (Nielu)	Alaraja	Yläraja
Biomassan sitoutuminen metsään ^A (g CO ₂ m ⁻² a ⁻¹)	-448	-359	-505
Maanpäällisen hiilen kertyminen ^B (g CO ₂ m ⁻² a ⁻¹)	-147	-122	-155
Maanalaisen hiilen kertyminen (g CO ₂ m ⁻² a ⁻¹)	-15	0	-22

^AHiiltä sitoutuu metsään 5,5 kg C/m² keskimäärin 45 vuotta. Nielun alarajalla 55 vuotta ja ylärajalla 41 vuotta.

^BMaanpäällistä hiiltä kertyy 1,8 kg C/m². Sitoutumisen aikajanat kuten yllä.

Tässä tutkimuksessa oletettiin, että turvetuotantoalan pohjalle jätetään n. 20 cm paksuinen kerros jäännösturvetta (vastaa 10 kg hiiltä, C). Tämä helpottaa metsän kasvuun lähtemistä, eikä lannoitusta tarvita merkittävässä määrin. Jäännösturpeen hajoaminen muodostaa kuitenkin huomattavan päästölähteen. Selin (1999) esittää, että suonpohjan metsityksen onnistumiselle on tärkeää, että turvetta ei ole liikaa tai liian vähän. Metsä kärsii vesitalous- ja ravinneongelmista, jos turvetta on liian vähän. Jos taas jäännösturvetta on liian paljon, metsänkasvu onnistuu hivenainevajauksesta johtuen vain lannoituksen avulla. Myös hienoainespitoisuus vaikuttaa metsän kasvun onnistumiseen: jos hieno-

ainespitoisuus jäännösturpeen alla olevassa kivennäismaassa on 15 % tai alle, suopohjaa pitää lannoittaa metsän kasvun takaamiseksi.

Jäännösturpeen oletetaan hajoavan eksponentiaalisesti, kunnes se saavuttaa sen hiilitason, jonka maanalaisen hiilen kertyminen (ks. taulukko 7) saavuttaa tarkastellussa ajanjaksossa. Epävarmuusrajoina laskelmissa käytetään, että jäännösturvetta ei jätetä tuotantokentän pohjalle lainkaan tai jätetään 50 % enemmän kuin keskiarvoisessa tilanteessa (15 kg C).

Puuenergian tuotannon kasvihuonekaasupäästöt

Mäkinen et al. (2006) ovat tutkineet metsityksen kasvihuonekaasupäästöjä ja tarkastelleet mm. metsähakkeen korjuusta, käsittelystä ja kuljetuksesta aiheutuvia päästöjä. Tutkimuksessa on käsitelty useita eri tuotantoketjuja, ja näiden ketjujen erot ovat olleet vähäisiä suhteessa päästömäärien vaikutukseen. Tuotannon vaiheita ovat mm. hakkuu, (paalaus), nosto, metsäkuljetus, haketus, kaukokuljetus, koneiden siirrot ja murskaus (sähkö), joista aiheutuu päästöjä. Merkittävimmän päästölähteen tuotantoketjuissa muodostaa yleisesti ottaen kaukokuljetus. Tuotantoketjun päästöjä on listattu taulukkoon 8. Tämän tutkimuksen laskelmissa tuotantoketjun päästöt ovat keskiarvoja hakkuutähdetuotantoketjujen (irtorisu ja risutukki) päästöistä. Näiden päästöjen epävarmuuden arvioidaan olevan n. ± 50 %.

Taulukko 8. Hakkuutähteen tuotantoketjun kasvihuonekaasupäästöt (Mäkinen et al. 2006).

Kasvihuonekaasu	Päästö	Alaraja	Yläraja
CO ₂ (g MJ ⁻¹)	2,10	1,05	3,15
CH ₄ (g MJ ⁻¹)	0,00012	0,00006	0,00018
N ₂ O (g MJ ⁻¹)	0,00083	0,00042	0,00125

Puun polton kasvihuonekaasupäästöt

Puubiomassaa käsitellään hiilidioksidineutraalina polttoaineena, sillä puun poltosta vapautunut hiili sitoutuu uudelleen kasvavaan puubiomassaan lyhyellä aikavälillä. Kuitenkin puun poltosta vapautuu metaani- ja typpioksiduulipäästöjä, joita tarkastellaan tässä tutkimuksessa myös hiilidioksidin lisäksi. Puun polton päästöt esitetään taulukossa 9.

Taulukko 9. Puun polton kasvihuonekaasupäästöt (Tsupari et al. 2005, Monni & Syri 2003).

Kasvihuonekaasu	Päästö	Alaraja	Yläraja
CO ₂ (g MJ ⁻¹)*	0	0	0
CH ₄ (g MJ ⁻¹)	0,002	0,001	0,003
N ₂ O (g MJ ⁻¹)	0,003	0,0009	0,0075

*Hiilidioksidipäästöjen oletetaan olevan 0 johtuen puubiomassan nopeasta kiertoajasta ja hiilen sitoutumisesta uudelleen kasvavaan metsään.

5.4.2 Ruokohelven viljely

Yleistä

Ruokohelpeä (*Phalaris arundinacea*) voidaan viljellä turvetuotannosta poistetuilla alueilla. Ruokohelpeä on satoisin energia- ja kuitukäyttöön kasvatetuista kasveista. Ruokohelpeä voidaan käyttää myös paperin valmistukseen. Luonnossa ruokohelpeä esiintyy mm. järvien rannoilla, ojissa ja tienpentareilla. Ruokohelpeä leviää tehokkaasti (Alakangas 2000).

Ruokohelven kasvatus kiinnostaa Suomessa. Se sopii seospolttoaineeksi ja kiinnostaa erityisesti yli 20 MW laitoksia johtuen päästökaupasta. Tällä hetkellä Suomesta löytyy n. 70–80 voimalaitosta, jotka voisivat hyödyntää ruokohelpeä. Suurimpana on Pietarsaaressa sijaitseva Alholmens Kraftin voimalaitos. Ruokohelpeä voidaan käyttää myös pelletin raaka-aineena. Ruokohelpiviljelmää on tällä hetkellä n. 10 000 ha. Viljelmät tuottavat n. 0,09–0,11 TWh vuodessa. Vuosittain turvetuotannosta vapautuva ala on n. 2000 ha, josta taistelevat myös muut jälkikäyttövaihtoehdot, mm. metsittäminen (Mäkinen et al. 2006).

Ruokohelpeä tuottaa satoa 10–12 vuotta, MTT:n tutkimusalalla satokierros on saatu jo tähän mennessä 16 vuotta. Tätä lukua käytetään arvioidessa tuottavuutta elinkaarinäkökulmasta (Pahkala 2006). Keväällä korjuuajankohta on hyvä, koska silloin kasvin ravintalouden on kohdallaan ja sadon ominaisuudet kiinteänä polttoaineena ovat parhaat. Kasvuston korkeus on 1,5–1,9 m ja tyypillinen satotaso 4,5–8 tka/ha, mikä on noin 22–38 MWh/ha riippuen maaperästä ja lannoituksesta. Tässä tutkimuksessa käytetään keskimääräistä 6 tka/ha tuottavuutta. Tämä vastaa 100 800 MJ:a/ha. Toimituskosteuden arvioidaan olevan 20 % ja tehollisen lämpöarvon 13,6 MJ/kg (Mäkinen et al. 2006, Alakangas 2000). Ruokohelven viljelyn aloittamisesta ensimmäisen sadon korjuuseen menee muutama vuosi. Tämä tarkoittaa sitä, että ensimmäinen sato on korjattavissa vasta kolmannen vuoden keväällä.

Ruokohelpiviljelmän hiilitase

Ruokohelven viljelyn maaperän hiilivirroista on tällä hetkellä melko vähän tietoa. Mitauksia Suomessa tehdään parhaillaan. Huttunen et al. (2004) arvion mukaan nettohiilivirta olisi hiilen nielu tapauksessa, jossa ruokohelven sato on korkea ja maan hengitys on alhainen. Tutkimuksessa havainnointiin, että huonoimmassakin tapauksessa päästöt ovat pienemmät kuin siinä tapauksessa, että turvetuotantoalue jätettäisiin entiselleen.

Arvioidessa maaperän hiilivirtoja oletetaan Holmgren (2006) tutkimuksen mukaisesti, että on tärkeää ottaa mukaan seuraavat oletukset mukaan tutkimukseen: maaperä voi toimia joko hiilen nieluna tai päästölähteenä. Laskelmissa käytettiin seuraavia kolmea skenaariota:

1. Skenaario A: Maaperä ei ole nettovirtapäästölähde eikä nielu, vaan hiilen virrat ovat yhtä suuret. Jäännösturpeen hajoaminen ja ruokohelven juuriston hiiltä kerrottävä vaikutus ovat yhtä suuria. Kasvihuonevaikutus on 0.
2. Skenaario B: Maaperä on hiilen nielu, eli kun huomioidaan juuriston hengitys sekä maanalainen nielu, on hiilen virta maahan on suurempi kuin päästöt. Hiilen sitoutuminen on luokkaa $-105 \text{ g C/m}^2/\text{a}$ (Huttunen et al. 2004, Holmgren 2006).
3. Skenaario C: Maaperä on päästölähde, eli maaperän päästöt ovat suuremmat kuin maaperään sitoutuva hiili, maanalainen nielu sekä juuriston hengitys. Päästöt ovat luokkaa $105 \text{ g C/m}^2/\text{a}$.

Ruokohelven maaperän hiilitaseesta on tällä hetkellä meneillään tutkimuksia, ja alustavana arviona olisi, että maaperään sitoutuisi hiiltä (Martikainen 2006).

Ruokohelven tuotannon kasvihuonekaasupäästöt

Ruokohelpeä tuotetaan joko irtokorjuulla tai paalaamalla. Korjuuketju muodostuu seuraavista vaiheista: kyntö, äestys, ruokohelven kylvä, perustamislannoitus, jyräys, kalkitus joka viides vuosi, vuosilannoitus, niitto, silppuaminen tai paalaus, siirto varastoon, lastaus, kaukokuljetus, paalien murskaus ja kasvuston hävittäminen. Ruokohelven korjuuketjun kasvihuonekaasupäästöt esitetään taulukossa 10. Erityisesti lannoituksesta aiheutuvat maaperän N_2O -päästöt vaikuttavat voimakkaimmin ruokohelven korjuuketjun kasvihuonevaikutukseen (Mäkinen et al. 2006).

Taulukko 10. Ruokohelven tuotantovaiheen päästöt ruokohelven energiasisältöä kohden (sis. lannoitteiden valmistus ja viljely) (Mäkinen et al. 2006).

Kasvihuonekaasu	Päästökerroin	Alaraja	Yläraja
CO ₂ (g MJ ⁻¹)	7,81	-	-
CH ₄ (g MJ ⁻¹)	0,0007	-	-
N ₂ O (g MJ ⁻¹)	0,03	0,006	0,08

Ruokohelven polton kasvihuonekaasupäästöt

Ruokohelpeä poltettaessa syntyy CO₂-, CH₄- ja N₂O-päästöjä. Ruokohelven polton aiheuttamat CO₂-päästöt sitoutuvat nopeasti seuraavaan satokertaan, jonka vuoksi niitä ei huomioida vaan käsitellään kuten puubiomassaa eli CO₂-neutraalina polttoaineena. Ruokohelven polton CH₄- ja N₂O-päästökertoimia arvioidaan muiden biopolttoaineiden päästökertoimien mukaisesti (Tsupari et al. 2005). Ruokohelpeä oletetaan poltettavan turpeen tai muun biomassan mukana seospolttoaineena. Ruokohelven polton päästöt esitetään taulukossa 11.

Taulukko 11. Ruokohelven polton päästökertoimet (Tsupari et al. 2005).

Kasvihuonekaasu	Päästö	Alaraja	Yläraja
CO ₂ (g MJ ⁻¹) *	0	0	0
CH ₄ (g MJ ⁻¹)	0,003	0,0012	0,0048
N ₂ O (g MJ ⁻¹)	0,005	0,0025	0,01

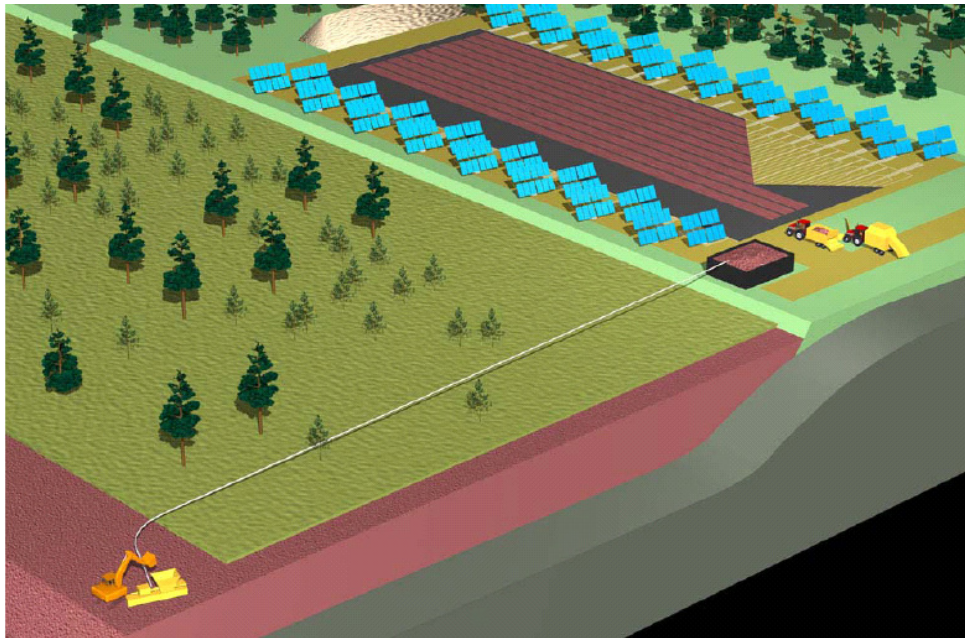
* Hiilidioksidipäästöjen oletetaan olevan 0 johtuen ruokohelven nopeasta kiertoajasta ja hiilen sitoutumisesta uudelleen kasvavaan ruokohelpikasvustoon.

6. Uusi tuotantomenetelmä

6.1 Yleistä

Uusi turvetuotantomenetelmä on Vapo Oy:n ja VTT:n kehittämä tuotantomenetelmä, joka eroaa merkittävästi vanhoista menetelmistä. Alun perin uutta menetelmää lähdettiin kehittämään, jotta turvetuotannosta saataisiin ympäristöystävällisempää sekä tehokkaampaa. Uuden menetelmän etuina on melu-, pöly- ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentyminen sekä vesistökuormituksen pienentyminen. Lisäksi uuden tuotantomenetelmän etuna on huomattava parannus tuotantotehokkuuteen aiempaan jyrshinturvemenetelmään verrattuna. Uudella menetelmällä voidaan tuottaa yhdeltä hehtaarilta yhtä paljon turvetta kuin 10–20 hehtaarilta jyrshinturvekenttää (Silvan 2006).

Uuden tuotantomenetelmän peruseriaate on kuvan 2 mukainen. Kaivuri nostaa aluksi suolta turvetta, joka sitten pumpataan lähelle kuivatuskenttää. Tämän jälkeen turve levitetään asvaltoidulle kuivatuskentälle (biomassakuivuri), jonka alla kulkevat lämmönsiirtoputket ja lämmönsiirtoainetta. Lämmönsiirtoainetta lämmitetään aurinkopaneelien avulla, jolloin kuivatusta saadaan nopeutettua ja tehostettua. Kuivatuksen jälkeen turve kerätään ja aumataan. Aumoista turve kuljetetaan edelleen lämpö- ja voimalaitoksille hyödynnettäväksi (Silvan 2006).



Kuva 2. Uusi turvetuotantomenetelmä. Kaivuri nostaa turvetta suolta, josta se pumpataan lähelle kuivatuskenttää. Turve levitetään kuivatuskentälle. Sen alla kulkevat lämmityspuutket, joissa kulkevaa lämmönsiirtoainetta aurinkopaneelit lämmittävät ja näin tehostavat kuivatusta.

Uusi menetelmä ei kuitenkaan korvaa aiempaa jyrshinturvemenetelmää pitkään aikaan vaan toimii täydentävänä menetelmänä jyrshinturvetuotantomenetelmän rinnalla. Uuden menetelmän kehitystyö on vielä kesken ja sen vaikutustutkimusta jatketaan. Uuden menetelmän etuna on se, että sitä voidaan käyttää myös vaikeasti hyödynnettävissä koh-teissa (mm. suopelloilla) ja alueen ennallistaminen saadaan nopeasti käyntiin tuotannon jälkeen. Uusi menetelmä on myös vähemmän sääherkkä kuin vanha tuotantomenetelmä, joten sadot eivät ole niin riippuvaisia sateisista ja kuivista vuosista. Ilmastovaikutuksen kannalta uusi menetelmä on edullinen, koska tuotannon päästövaikutus pienenee, kun tuotantoaika lyhenee uuden menetelmän tehokkuuden ansiosta ja tuotantoala on pie-nempi (Silvan 2006).

Tuotantoalue pyritään tyhjentämään kerralla pinnasta pohjamaahan asti. Tämän vuoksi alueen jälkikäyttö saadaan nopeasti lähtemään käyntiin turvetuotannon jälkeen. Uusi tuotantomenetelmä edistää myös vanhojen tuotantoalueiden jäännösturpeen hyödyntä-mistä, jolloin päästöjä aiheuttava jäännösturpeen määrä saadaan vähiin (Silvan 2006).

6.2 Laskennan arvot

Uuden turvetuotantomenetelmän tuotannaikaiset päästöt johtuvat turpeen hajoamisesta aumassa sekä biomassakuivurissa eli kuivatuksen aikana asfalttikentällä. Työkonei-den päästöt johtuvat pumppauksesta sekä vähäisemmässä määrin kaivinkoneista, bio-massakuivurin toiminnoista ja turpeen levityksestä ja korjuusta. Tuotantovaiheen pääs-töt esitetään taulukossa 12. Päästöjä mitattiin kolmelta eri tuotantoalueelta (Kihniön Aitonevalta, Punkalaitumen Isosuolta ja Pudasjärven Kortessuolta), joiden päästöar-vioista laskettiin keskiarvo. Polton päästöjen arvioidaan olevan samat kuin muissakin ketjuissa (ks. taulukko 6).

Taulukko 12. Uuden turvetuotantomenetelmän tuotantovaiheen kasvihuonekaasupääs-töt. Epävarmuusvaihteluväli on esitetty suluissa (Silvan 2006).

	CO ₂ (g MJ ⁻¹)	CH ₄ (g MJ ⁻¹)	N ₂ O (g MJ ⁻¹)
Auma	1,93 (0,96–2,89)	0,0005 (0,0002–0,0007)	0,0001 (0,00006–0,0002)
Biomassakuivuri	0,26 (0,13–0,38)	0,0003 (0,0001–0,0004)	0,0002 (0,00008–0,0002)
Työkoneet	0,27 (0,14–0,41)	-	-

7. Kivihiilen tuotantoketjun ilmastovaikutus

7.1 Yleistä

Kivihiili on fossiilinen polttoaine ja sen muodostuminen on kestänyt miljoonia vuosia. Päästökaupan myötä kivihiilestä ja turpeesta on tullut kilpailevia polttoaineita, sillä päästökaupassa molempien polton CO₂-päästöt lasketaan samaan tapaan ja energiantuottajalle CO₂-päästöt maksavat. Päästökaupassa otetaan huomioon vain polton CO₂-päästöt, mutta ilmastovaikutusta tulisi tarkastella kokonaisvaltaisemmin elinkaarinäkökulmasta huomioiden sekä positiiviset että negatiiviset vaikutukset elinkaaren ajalta. Tämän vuoksi on tärkeää selvittää, millä tasolla kivihiilen ilmastovaikutus on elinkaarinäkökulmasta verrattuna turvemaan hyödyntämisen elinkaaren ilmastovaikutukseen.

Kivihiilen kasvihuonevaikutus vaihtelee hieman tuotantomaittain. Suomeen kivihiili tuodaan pääasiassa Venäjältä ja edellisinä vuosina sitä on tuotu myös Puolasta (Tilastokeskus 2005, 2006b). Näistä maista tuodun kivihiilen kasvihuonevaikutusta tarkastellaan myös tässä tutkimuksessa. Hiilen kokonaiskulutus vuonna 2005 oli 130 PJ. Suurimmat kivihiilen käyttäjät ovat Pohjolan voima, Fortum ja Helsingin energia. Suurimmat kivihiiltä käyttävät voimalaitokset ovat Meri-Pori (857 MWh) ja Naantali (4003 MWh).

7.2 Kivihiilen tuotantoketjun päästöt

Kivihiilen tuotantoketjun päästöt muodostuvat pääasiassa kivihiilen louhinnan ja kuljetuksen yhteydessä vapautuvasta metaanista sekä kuljetuksen päästöistä. Seuraavassa esitellään erikseen Venäjältä ja Puolasta tuotetun kivihiilen tuotantoketjun päästöjä.

Venäjä

Venäjältä tuodun kivihiilen kasvihuonevaikutuksia ei ole aiemmin tutkittu elinkaarinäkökulmasta. Venäjän hiilikaivosten metaanipäästöjä sekä kaivostoiminnan jälkeisiä metaanipäästöjä (kuljetuksen, varastoinnin ja hiilen käsittelyn aikana syntyneitä) on arvioinut mm. IPCC. Nämä metaanipäästöjen arviot perustuvat siihen oletukseen, että tietyn osuuden kivihiileen sitoutuneesta metaanista arvioidaan vapautuvan kivihiilen joutuessa käsittelyn kohteeksi (IPCC 1995). Kuljetuksen päästöt perustuvat tietoihin kivihiilen tuotantopaikasta Venäjällä ja sen kuljetuksessa käytettävistä kulkuneuvoista. Venäjältä tuotava kivihiili tuotetaan pääasiassa Kuzbassin alueella Lounais-Siperiassa, josta se tuodaan junalla Baltian satamiin ja siitä laivalla Suomeen (Vestman 2006). Kivihiilen kuljetuksen päästöt ja laskenta-arvot esitetään taulukossa 13. Laskelmat esitetään yksityiskohtaisesti liitteessä 1.

Taulukko 13. Venäjältä tuodun kivihiilen tuotannon päästöt kivihiilen energiaa kohden (ks. liite 1).

Kasvihuonekaasu	Päästö	Alaraja	Yläraja
CO ₂ (g MJ ⁻¹)	3,61	3,13	4,08
CH ₄ (g MJ ⁻¹)	0,59	0,49	0,69
N ₂ O (g MJ ⁻¹)	0	0	0

Puola

Puolasta tuodun kivihiilen aiheuttamia kasvihuonekaasujen päästöjä on tutkittu elinkaarinäkökulmasta (Sokka et al. 2005). Tuotannon päästöjä on syntynyt mm. seuraavissa vaiheissa: kivihiilen louhinta ja prosessointi, tuotantoon tarvittavan lämmön ja sähkön tuotanto, tarvittavan materiaalin tuotanto, regeneroiduista jätteistä syntyvät sivutuotteet ja kuljetus junalla (sähkö) ja laivalla. Tuotannon kasvihuonekaasupäästöt epävarmuuksineen esitetään taulukossa 14. Sokka et al. (2005) -tutkimuksessa työn rajaus on erilainen kuin Venäjän kivihiilen tuotannon päästöjen tarkastelussa. Sokka et al. ovat ottaneet huomioon kaivostoiminnassa tarvittavan lämmön ja sähkön tuotannon, mikä lisää selvästi tuotantovaiheen CO₂-päästöjä.

Taulukko 14. Puolasta tuodun kivihiilen tuotannon päästöt kivihiilen energiaa kohden (Sokka et al. 2005).

Kasvihuonekaasu	Päästö	Alaraja	Yläraja
CO ₂ (g MJ ⁻¹)	4,09	3,55	5,34
CH ₄ (g MJ ⁻¹)	0,21	0,18	0,30
N ₂ O (g MJ ⁻¹)	0,000021	0,000021	0,000021

7.3 Kivihiilen polton päästöt

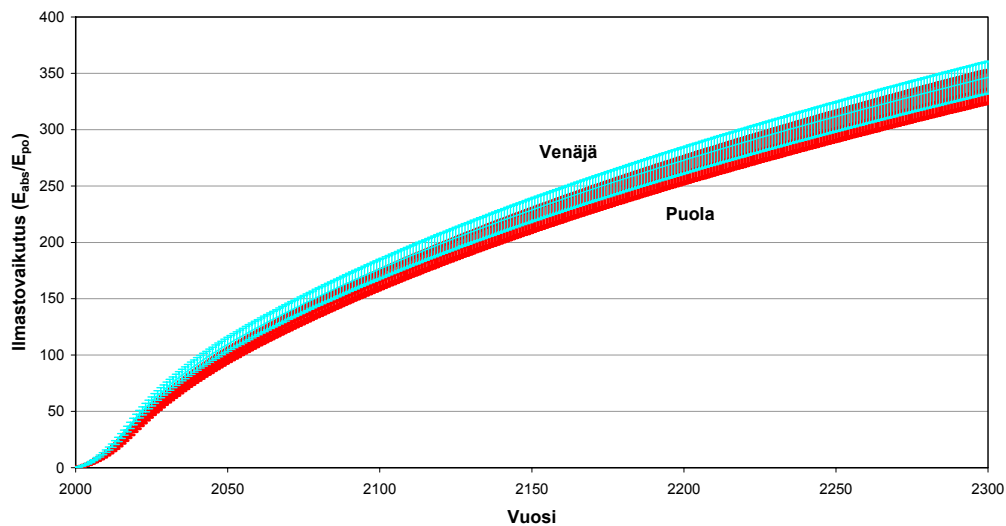
Kivihiilen polton päästökertoimet riippuvat käytetystä polttotekniikasta. Suomessa kivihiilen polttoon käytetään eniten pölypolttoa arviolta 80–90 % (Grönfors 2006, Tsupari 2005). Kivihiilen polton hiilidioksidin päästökerroin on 94,6 g CO₂/MJ (IPCC 1995). Kivihiilen pölypoltolle metaanin päästökerroin on 7 mg CH₄/MJ ja typpioksiduulin päästökerroin on 5 mg N₂O/MJ (Tsupari et al. 2005). Päästökertoimet esitetään taulukossa 15.

Taulukko 15. Kivihiilen polton päästökertoimet (IPCC 1995, Monni & Syri 2003, Tsun-
 pari et al. 2005).

Kasvihuonekaasu	Päästö	Alaraja	Yläraja
CO ₂ (g MJ ⁻¹)	94,6	91,76	97,44
CH ₄ (g MJ ⁻¹)	0,0007	0,00018	0,0008
N ₂ O (g MJ ⁻¹)	0,0005	0,00025	0.0008

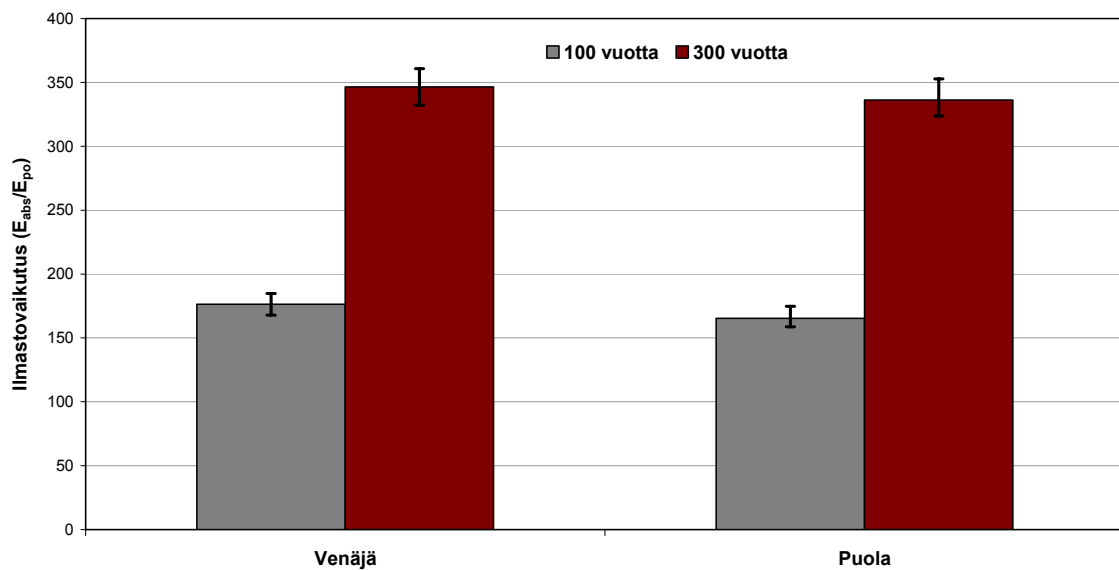
7.4 Kivihiilen hyödyntämisketjujen ilmastovaikutuksen vertailu

Venäjältä ja Puolasta tuodun kivihiilen hyödyntämisketjujen ilmastovaikutukset ovat melko lähellä toisiaan. Kuvat 3 ja 4 esittävät kivihiilen hyödyntämisketjujen ilmastovai-
 kutusta vaihteluväleinen. Kuva 3 esittää dynaamista tarkastelua kivihiiliketjujen ilmas-
 tovaikutukselle. Ilmastovaikutus esitetään kumulatiivisena 300 vuoden ajalla. Näiden
 kuvien laskelmissa on oletettu, että 1 PJ kivihiiltä tuotetaan 20 vuodessa, jotta tulosta
 voitaisiin verrata helposti turve-energiaketjuihin. Kuvasta 3 havaitaan, että Venäjältä ja
 Puolasta tuotetun kivihiilen ilmastovaikutuksessa ei 300 vuoden ajalla ole suurta eroa.
 Venäläisen kivihiilen ilmastovaikutuksen vaihteluväli kulkee hieman puolalaisen kivi-
 hiilen ilmastovaikutuksen vaihteluvälin yläpuolella.



Kuva 3. Venäjältä ja Puolasta tuodun kivihiilen hyödyntämisketjun kumulatiivinen ilmas-
 tovaikutus ja päästöjen epävarmuudesta johtuva vaihteluväli. Ilmastovaikutus (E_{abs}/E_{po})
 on elinkaaren päästöjen ja nielujen aiheuttama kumulatiivinen säteilypakote (energia,
 joka on absorboitunut maapallon termodynaamiseen järjestelmään (E_{abs})) jaettuna kivi-
 hiilipolttoaineen energialla (E_{po} , funktionaalinen yksikkö, jota kohti tulos esitetään).

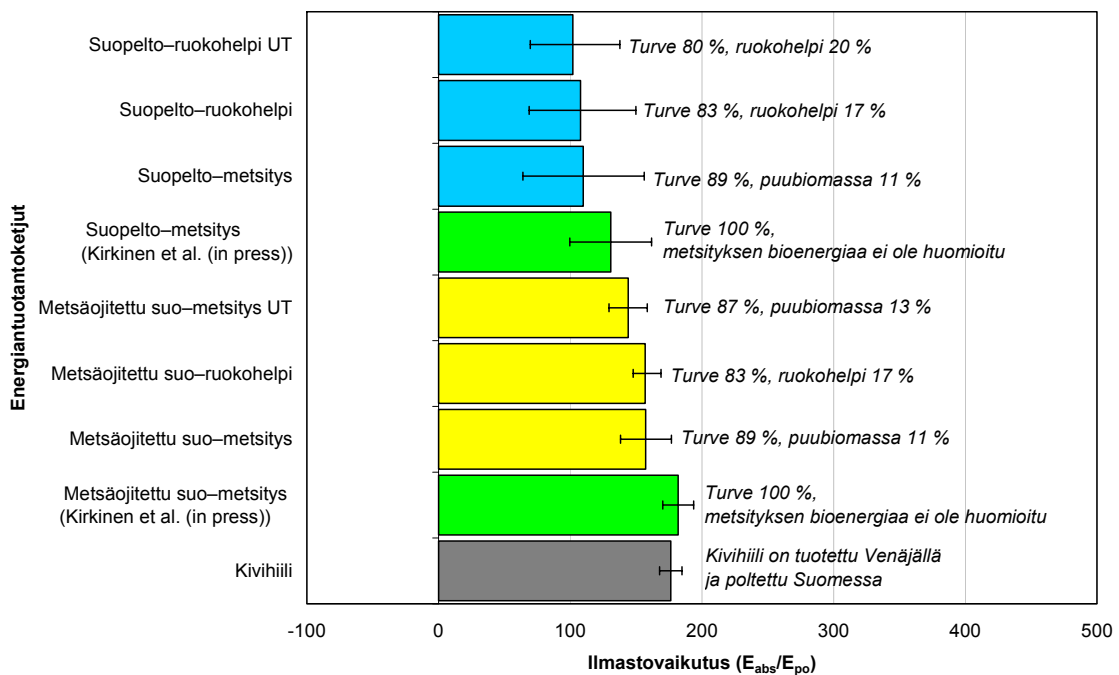
Kuva 4 esittää kumulatiivista ilmastovaikutusta sekä sadan että 300 vuoden ajanjaksoilta. Pystysuora jana kuvaa ilmastovaikutuksen epävarmuutta. Kuvasta nähdään, että venäläisen ja puolalaisen kivihiilen hyödyntämisketjun ilmastovaikutukset epävarmuuksineen ovat hyvin lähellä toisiaan. Suurta eroa ei ole havaittavissa. Vähäinen ero johtuu kivihiilen tuotantovaiheen päästöeroista. Kuvan mukaan sadassa vuodessa energiaa absorboituu maapallolle 160–180 kertaa suurempi määrä kuin kivihiilessä on energiaa kasvihuonekaasujen aiheuttamien kasvihuonekaasujen lisäpitoisuuksien takia.



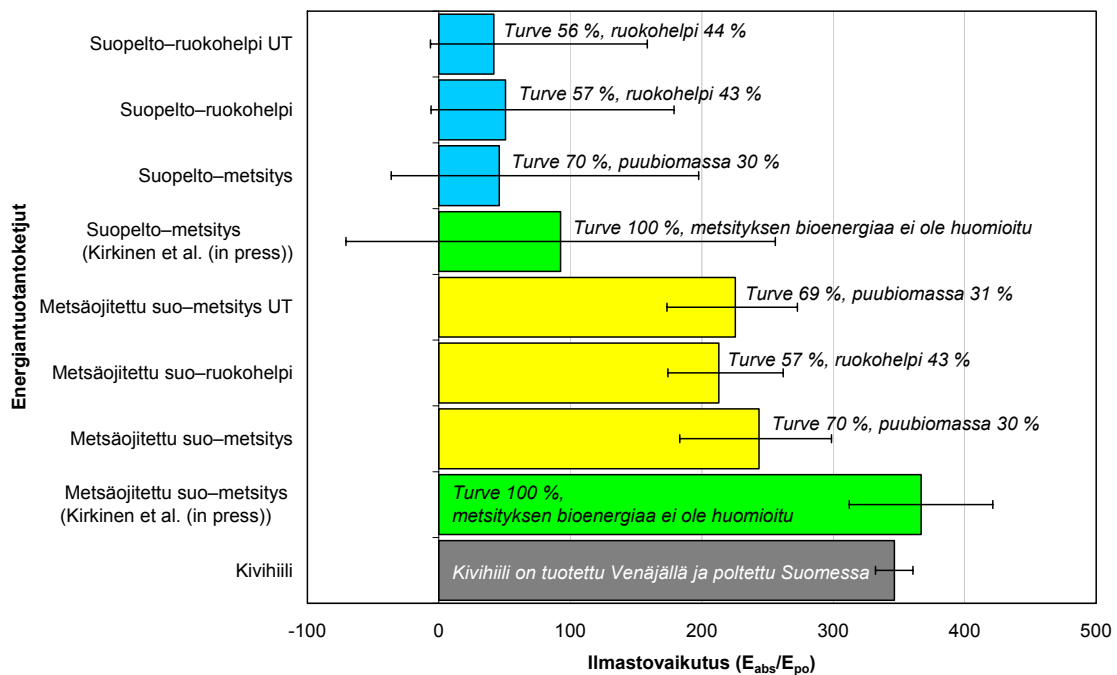
Kuva 4. Venäjältä ja Puolasta tuodun kivihiilen hyödyntämisketjun kumulatiivinen ilmastovaikutus sadan ja 300 vuoden aikana. Harmaa palkki kuvaa ilmastovaikutusta sadalta vuodelta, punainen palkki kuvaa vaikutusta 300 vuodelta. Pystysuorat janat kuvaavat ilmastovaikutuksen epävarmuutta. Katso myös kuvan 3 kuvateksti.

8. Tulokset ja herkkyyštarkastelu

Kuvissa 5 ja 6 esitetään eri energiantuotantoketjujen ilmastovaikutus. Kuva 5 kuvaa vaikutusta sadan vuoden tarkasteluajanjaksolta ja kuva 6 vaikutusta 300 vuoden tarkasteluajanjaksolta. Kussakin tuotantoketjussa on tuotettu 1 PJ energiaa. Vaakasuorat janat kuvaavat kunkin ketjun epävarmuutta. Alaraja kuvaa parasta mahdollista ilmastovaikutusta (best case scenario), kun tuotannon ja polton päästöt ovat minimissä ja turvemaan alkutilan päästöt ovat maksimissa. Yläraja taas kuvaa huonointa mahdollista tilannetta ilmastovaikutuksen kannalta (worst case scenario), jolloin tuotannon ja polton päästöt ovat korkeimmillaan ja turvemaan alkutilan päästöt ovat minimissään.



Kuva 5. Eri energiantuotantoketjujen ilmastovaikutus sadan vuoden tarkasteluajalla turvemaankäyttöskenaarioissa ja kivihiiliskenaarioissa. Palkit kuvaavat kunkin ketjun ilmastovaikutusta ja vaakasuorat janat kuvaavat ilmastovaikutuksen epävarmuutta. Keltaisissa ja sinisissä palkeissa esitetään, kuinka paljon kyseisissä ketjuissa on tuotettu energiaa turpeella ja kuinka paljon uusiutuvalla bioenergialla. Ilmastovaikutus (E_{abs}/E_{po}) on elinkaaren päästöjen ja nielujen aiheuttama kumulatiivinen säteilypakote sadassa vuodessa (energia, joka on absorboitunut maapallon termodynaamiseen järjestelmään (E_{abs})) jaettuna polttoaineen energialla (E_{po} , funktionaalinen yksikkö, jota kohti tulos esitetään).



Kuva 6. Eri energiantuotantoketjujen ilmastovaikutus 300 vuoden tarkasteluajalla. Palakit kuvaavat kunkin ketjun ilmastovaikutusta, ja vaakasuorat janat kuvaavat ilmastovaikutuksen epävarmuutta. Keltaisissa ja sinisissä palkeissa esitetään, kuinka paljon kyseisissä ketjuissa on tuotettu energiaa turpeella ja kuinka paljon uusiutuvalla bioenergialla. Katso myös edellisen kuvan 5 teksti.

Kuvan 5 mukaan esimerkiksi kivihiilen poltosta aiheutuu noin 170-kertainen energian absorptio maapallolle polttoaine-energiaan verrattuna sadan vuoden kuluessa. 300 vuoden kuluessa energiaa absorboituisi noin 350-kertainen määrä polttoaine-energiaan verrattuna (kuva 6). Vastaavat arvot turveketjuille näkyvät kuvasta. Turvemaan käyttö energiantuotantoon maankäyttönäkökulmasta on ilmastolle suotuisampaa kuin kivihiilen hyödyntäminen, kun huomioidaan koko energian hyödyntämisen elinkaaren päästöt ja nielut sekä tuotettu uusiutuva polttoaine. Kun turvemaan jälkikäytössä aluetta hyödynnetään uusiutuvan biomassan (puubiomassan, ruokohelven) kasvattamiseen, vähenee osaltaan turvemaan hyödyntämisen tuotanto- ja käyttöketjun ilmastovaikutus, sillä tällöin osa tarkastellusta 1 PJ energiantuotannosta tuotetaan suhteellisen nopeasti uusiutuvilla energianlähteillä. Kuvissa 5 ja 6 esitetään myös aikaisemmasta tutkimuksesta energiantuotantoketjut, joissa vain turve on hyödynnetty eikä metsityksen tuottamaa bioenergiaa ole hyödynnetty (vihreät palakit) (Kirkinen et al., in press).

Suopellot ovat luonnontilassaan suuria päästölähteitä, jonka vuoksi niiden hyödyntäminen energiantuotantoon on ilmastovaikutukseltaan selvästi alempi jo sadan vuoden tarkasteluajalla verrattuna muihin energiantuotantoketjuihin. Metsäojitetut suot ovat myös vähäisiä päästölähteitä luonnontilassaan. Metsäojitetun suon hyödyntäminen energian-

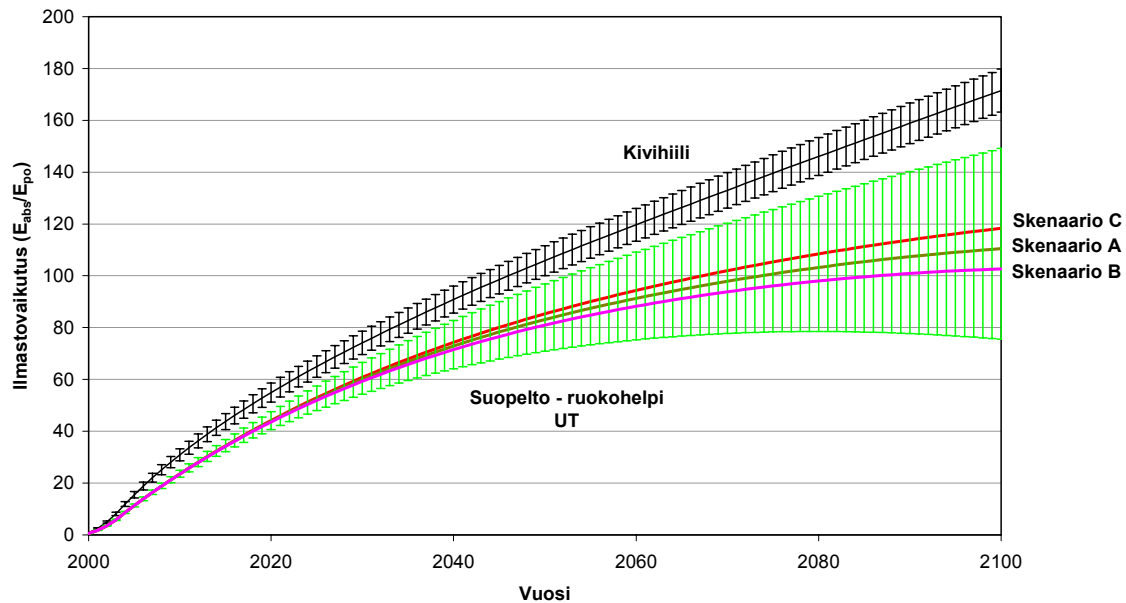
tuotantoon aiheuttaa pienemmän ilmastovaikutuksen kuin vastaavan energian tuottaminen kivihiilellä, kun uusiutuvan energian tuottaminen turvemaan pohjalla otetaan huomioon.

Maankäyttönäkökuilmasta tulee huomioida, että turpeen hyödyntämisen jälkeen saadaan alueelta tuotetuksi hiilidioksidineutraalia polttoainetta, joko ruokohelpeä tai puubiomasaa, joka alentaa kokonaisilmastovaikutusta suhteessa tuotettuun energiamäärään.

Kivihiilen hyödyntämisen elinkaaren ilmastovaikutusta tarkastellessa, ei eroa Venäjältä ja Puolasta tuotetun kivihiilen välillä ollut paljonkaan (ks. kohta 7.4). Tuotannon päästöissä merkittävimpinä vaikuttavat kivihiilen louhimisen ja käsittelyn aikana vapautuvat metaanipäästöt.

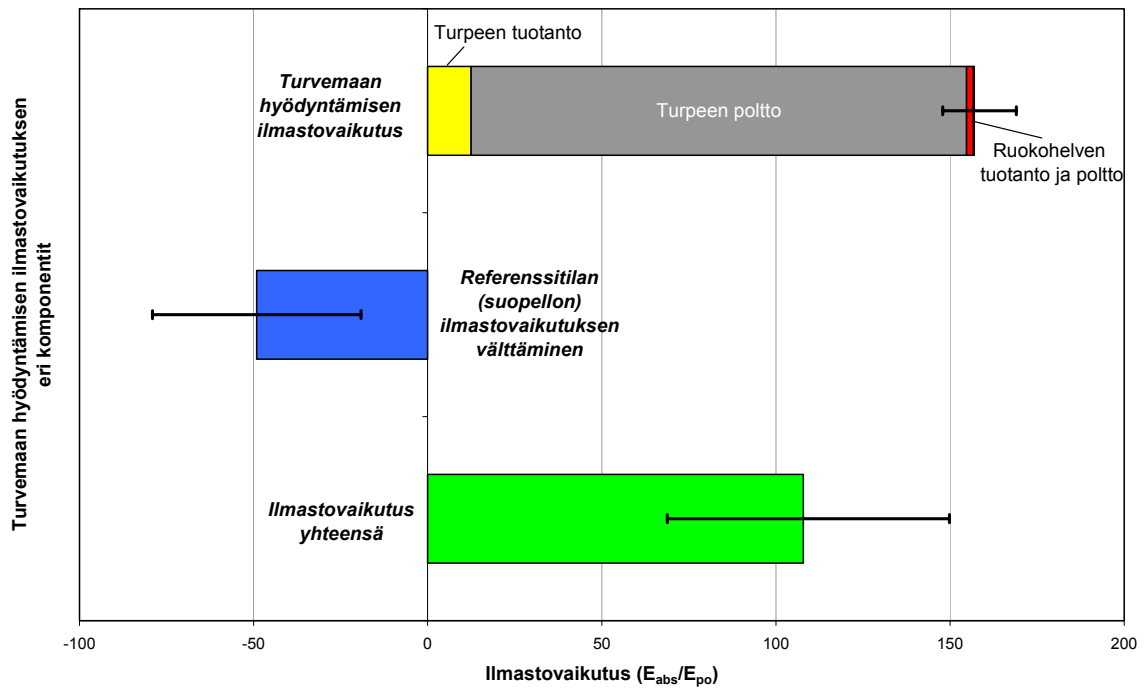
Uusi turvetuotantomenetelmä vaikuttaa alentavasti turpeen tuotannon päästöihin. Uusi tuotantomenetelmä on huomattavasti tehokkaampi kuin nykyinen jyrshinturvemenetelmä, minkä vuoksi tuotantoaika lyhenee ja tuotannon päästöt vähenevät. Uusi turpeen tuotantomenetelmä on hyvänä esimerkkinä teknologisesta kehityksestä, jolloin turvetuotannon vaikutuksia ilmastoon ja ympäristöön saadaan vähentymään.

Ruokohelven viljely aiheuttaa samaa luokkaa olevan ilmastovaikutuksen kuin metsitys. Ruokohelven viljelyssä tarkasteltiin kolmea eri skenaariota ruokohelven viljelyn maaperän hiilitaseen suhteen. Kuva 7 esittää energiantuotantoketjun ilmastovaikutusta, jossa turve on tuotettu suopellolta ja aluetta hyödynnetään turvetuotannon jälkeen ruokohelven viljelyyn. Turpeen tuotannossa on hyödynnetty uutta turpeen tuotantomenetelmää. Kuvassa esitetään ilmastovaikutuksen vaihteluväli verrattuna kivihiilen ilmastovaikutuksen vaihteluväliin sadan vuoden tarkasteluajalla. Kuvassa esitetään eri skenaarioiden (A, B ja C) ilmastovaikutuksen eroavuus. Oletukset skenaarioissa ovat seuraavat: Skenaariossa A ei ole CO₂-sitoutumista eikä päästöjä ruokohelpiviljelmän maaperästä, Skenaariossa B oletettiin, että maaperään sitoutuu hiilidioksidia, ja skenaariossa C oletettiin, että maaperä on CO₂-päästölähde. Verrattuna ilmastovaikutuksen vaihteluväliin ei eroavuus eri skenaarioiden ilmastovaikutuksessa ole merkittävä. Suurimmalta osin ilmastovaikutukseen vaikuttavat referenssitilan eli suopellon päästöt ja näiden päästöjen epävarmuus.



Kuva 7. Suopelto–ruokohelpi-energiantuotantoketjun ilmastovaikutuksen vaihteluväli verrattuna kivihillen ilmastovaikutuksen vaihteluväliin sadan vuoden tarkasteluajalla. Kuvasta nähdään myös eri skenaarioiden (A, B, C) eroavuus. Näissä skenaarioissa käsiteltiin erilaisia vaihtoehtoja ruokohelpen viljelyn maaperän hiilitaseeseen. Skenaariossa A ei ole CO₂-sitoutumista eikä päästöjä ruokohelpiviljelmän maaperään, Skenaariossa B oletettiin, että maaperään sitoutuu hiilidioksidia, ja skenaariossa C oletettiin, että maaperä on CO₂-päästölähde. Tuotantomenetelmänä on käytetty uutta turvetuotantomenetelmää. Katso myös kuvan 5 teksti.

Energiantuotantoketjun ilmastovaikutus lasketaan vähentämällä referenssitilan ilmastovaikutus energian tuotannon ja polton ilmastovaikutuksesta. Kuvassa 8 esitetään energiantuotantoketjun suopelto–ruokohelpi ilmastovaikutus sadan vuoden tarkastelujaksolta jaettuna eri komponentteihin. Suurimman osan ilmastovaikutuksesta aiheuttaa turpeen poltto. Sininen palkki kuvaa vältettyä ilmastovaikutusta, kun suopelto otetaan energiantuotantoon. Vaakasuuntaiset janat kuvaavat kunkin vaiheen ilmastovaikutuksen epävarmuutta.



Kuva 8. Suopelto–ruokohelpi-energiantuotantoketjun ilmastovaikutus jaettuna eri komponentteihin sadan vuoden tarkastelujaksolla. Kuvassa on jaettu ilmastovaikutus energiantuotannon ja polton päästöihin, referenssitilan (suopellon) vältettyihin päästöihin sekä yhteenlaskettuun ilmastovaikutukseen. Kuvassa on suopelto–ruokohelpi-energiantuotantoketju skenaariolla A (Skenaariossa A ei ole CO₂-sitoutumista eikä päästöjä ruokohelpiviljelmän maaperään). Katso myös kuvan 5 teksti.

9. Pohdinta

Turvemaan maankäytön kasvihuonevaikutus on näkökulma, joka ottaa huomioon sekä turpeen tuotannon että turvemaan pohjan hyödyntämisen. Biomassan tuotantoon käytettävä maa-alue lisääntyy, kun suomaa ensin käytetään turvetuotantoon ja sitten biomassan tuotantoon. Tällä on merkitystä sekä kasvihuonevaikutuksen että talouden kannalta.

Turpeen uusiutuvuuden ja hajoamisen suhteen turvemaat voidaan jakaa karkeasti kolmeen ryhmään. Luonnontilaiset ojittamattomat turvemaat tyypillisesti kasvavat keskimäärin hitaasti paksuutta sitoen ilmakehän hiilidioksidia ja vapauttaen metaania ilmakehään. Luonnontilaisten turvemaiden hiilivarasto uusiutuu hitaasti tuhansien vuosien aikana. Luonnontilaisten turvemaiden päästöt eivät kuulu Ilmastopöytäkirjan raportointiin piiriin. Polttoturpeen tuotantoon ei enää viime vuosina ole juuri otettu luonnontilaisia turvemaita, ja myös turveteollisuuden ympäristöperiaatteissa on kirjattu, että tuotantoa pyritään ohjaamaan sellaisille soille, jotka eivät ole luonnontilassa.

Metsäojitetut suot ovat pinta-alaltaan suurin turvemaaryhmä Suomessa. Suurimmalla osalla näistä turvemaista pohjaveden pinta on laskenut niin paljon, että turpeen muodostuminen on pysähtynyt eikä turvekerros uusiudu vaan yleensä hajoaa, joskin melko hitaasti. Metsäojitetujen soiden maaperä on merkittävä hiilidioksidipäästöjen aiheuttaja suuren pinta-alansa takia. Näiden alueiden metaanipäästöt ovat myös tavallisesti luonnontilaisten soiden päästöjä alhaisemmat. Näiden alueiden päästöt tulee raportoida Ilmastopöytäkirjalle. Suurin osa polttoturpeen tuotantoon otetuista turvemaista kuuluu tähän ryhmään.

Maatalouskäytössä olleet tai olevat turvemaat ovat voimakkaita hiilidioksidi- ja dityppioksidipäästöjen lähteitä pinta-alaa kohti arvioituna. Turvekerros ei tällaisissa maissa uusiudu vaan hajoaa. Polttoturpeen tuotantoa on tuskin lainkaan tällaisilla turvemaidella. Metsäojitetujen soiden maaperän ja suopeltojen päästötiedoissa tapahtuu täsmentymisiä tutkimuksen edistyessä. Onkin tärkeää päivittää kasvihuonekaasupäästöjen ja -nielujen arvoja aika ajoin sekä myös mahdollisesti päivittää turvemaiden käytön ilmastovaikutusarvioita. Tässä tutkimuksessa otettiin huomioon epävarmuusvälit päästöille, jotka kattavat suhteellisen suuria muutoksia mitatuissa arvoissa.

Tuloksia esitetään sekä 100 että 300 vuoden aikajänteellä arvioituna. Jos maapallon keskilämpötilan nousu halutaan rajoittaa 2–3 asteeseen, tulee ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuuksin kasvua rajoittaa voimakkaasti jo tämän vuosisadan alkupuoliskolla. Tällöin voidaan sadan vuoden tarkasteluajaa pitää perustellumpana tarkasteluajajänteinä kuin 300 vuoden.

Suopeltojen ja metsäojitettujen soiden hyödyntäminen energiantuotantoon sekä vähentää ilmastovaikutusta pitkällä ajalla tarkasteltuna (pysäyttää päästölähteen) verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin että tuo myös Suomelle mahdollisuuden tuottaa enemmän uusiutuvaa bioenergiaa. Ongelmana on kuitenkin se, että suopellot ovat usein kooltaan suhteellisesti pieniä ja huonosti soveltuvia turvetuotantoon. Uusi turvetuotantomenetelmä saattaa olla ratkaisu, jonka avulla suopeltoja voitaisiin hyödyntää helpommin.

Tutkimuksessa oletettiin, että turvemaata hyödynnetään ensin turpeen ja sitten uusiutuvan bioenergian tuotantoon joko 95 tai 295 vuoden ajan riippuen tuotantoketjusta. Näin pitkiä aikoja voidaan pitää varsin teoreettisina lähtökohtina. Turvemaan turpeen tuotannon jälkikäyttövaihtoehtoina ovat metsitys ja ruokohelven viljely. Ajanjaksot, erityisesti 300 vuoden skenaariossa, ovat hyvin pitkiä ihmisen toiminnan ja ihmisiän näkökulmasta. Metsitys-jälkikäyttövaihtoehto voidaan olettaa olevan hieman perustellummaksi kuin ruokohelven viljely erityisesti pitkillä ajanjaksoilla.

Tutkimuksessa oletettiin, että metsityksessä tuotettu puubiomassa käytetään kokonaisuudessaan energiantuotantoon. Nykyisin metsän tuottamasta biomassasta 46 % käytetään erilaiseen energian tuottamiseen, kuten mustalipeän ja puuperäisten polttoaineiden polttoon (Tilastokeskus 2006d). Tulevaisuudessa päästökaupan ja kiristyvien päästötavoitteiden myötä tilanne saattaa kuitenkin muuttua. Päästöoikeuksien ja energian hinnat saattavat nousta korkealle, jolloin vaihtoehtona voi olla myös huomattavan laaja, jopa lähes puhdas metsän hyödyntäminen energiaksi.

Laskelmissa käytettiin metsitetyn turvemaan pohjan puun tuotossa arviota, joka on selvästi nykyistä Suomen keskimääräistä arvoa korkeampi. Realistisemmalla oletuksella tehdyissä laskelmissa ilmastovaikutuksen väheneminen verrattuna tilanteeseen, jossa suonpohjaa ei hyödynnetä energian tuotantoon, jäisi vähäisemmäksi. Tutkimusraportin tulokset antavat tässä suhteessa alarajan ilmastovaikutuksen pienenemiselle sekä metsitys- että ruokohelvitapauksessa. Suonpohjien metsittymistä tutkitaan lisää parhaillaan, mm. sitä, kuinka kierrätyslannoitteet (tuhka, komposti) vaikuttavat luontaiseen metsitykseen ja hiilen kertymiseen (Näsi et al. 2004).

Verrattaessa turpeen ja kivihiilen energiakäyttöä voidaan pohtia, että jos energiaa tuotetaan ennemmin kivihiihellä kuin turpeella, tuottavat metsäojitetut suot ja suopellot ilmaan kuitenkin kasvihuonekaasupäästöjä. Erityisesti suopelloilta aiheutuvien päästöjen vähentämiseksi olisi järkevää tuottaa turve pelloilta ja sitten hyödyntää turvemaata mm. energiantuotantoon. Suopeltojen tapauksessa turve häviää vähitellen, riippuen hajoamisnopeudesta n. 100–500 vuodessa. Laskelmissa otettiin huomioon suopeltojen ja metsäojitettujen soiden turpeen hajoaminen ja siitä aiheutuvat päästöt.

10. Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin suopellon ja metsäojitetun suon hyödyntämistä energiantuotantoon maankäyttönäkökulmasta. Näiden turvemaiden maaperät ovat päästölähteitä, minkä vuoksi niiden hyödyntäminen turvetuotantoon olisi suotavampaa kuin luonnontilaisten soiden käyttäminen turvetuotantoon. Turpeen tuottamisen jälkeen alueen jälkikäyttövaihtoehtoina tarkasteltiin alueen metsitystä tai hyödyntämistä ruokohelven viljelyyn. Alueella tuotettu puubiomassa tai ruokohelvi käytetään edelleen energiantuotantoon. Turvemaahan hyödynnetään tällöin kokonaisvaltaisesti energiantuotantoon. Ilmastovaikutusta on arvioitu säteilypakotteella. Laskennassa otettiin huomioon koko turvemaan hyödyntämisen elinkaari turpeen tuottamisesta alueen jälleenkäsittelyyn ja jälkikäytön tuotoksen hyödyntämisestä energiantuotantoon. Ilmastovaikutuksen laskennassa on tärkeää ottaa huomioon myös turvemaan alkutilanteen kasviuonekaasupäästöt ja -nielut, jotka jäävät toteutumatta, kun alue hyödynnetään energiantuotantoon.

Johtopäätöksenä tutkimuksesta on, että maankäyttönäkökulmasta turvemaiden hyödyntäminen energiantuotantoon, jossa polttoturpeen tuottamisen jälkeen turvemaan pohjaa käytetään uusiutuvan energian tuottamiseen, on jo sadan vuoden tarkastelujaksolla ilmastovaikutukseltaan alhaisempi kuin kivihiilen hyödyntäminen energiantuotantoon. Suopeltojen kohdalla tämä on erityisen ilmeistä, mikä johtuu suopeltojen voimakkaiden päästöjen loppumisesta, kun alue hyödynnetään energiantuotantoon. Metsäojitettujen soiden hyödyntäminen energiantuotantoon aiheuttaa myös jonkin verran pienemmän ilmastovaikutuksen verrattuna kivihiilen hyödyntämisketjuun, kun huomioidaan myös turvemaan pohjan jälkikäytössä tuotettu uusiutuva energia ja sen hyödyntäminen. Turvemaan käyttäminen uusiutuvan bioenergian tuotantoon turvetuotannon jälkeen vaikuttaa kokonaistarkastelussa turvemaan hyödyntämisen ilmastovaikutukseen alentavasti. Ilmastovaikutus oli samaa luokkaa riippumatta siitä, hyödynnetäänkö alue metsitykseen vai viljelläänkö alueella ruokohelpeä.

Uudet teknologiset keinot ovat tärkeässä roolissa ilmastonmuutoksen hillinnässä, kuten tutkimus osoittaa uuden turvetuotantomenetelmän kohdalla. Tutkimuksesta selvisi, että uusi turpeen tuotantomenetelmä vähentää jonkin verran turvemaan hyödyntämisen tuotantoketjun päästöjä, mikä johtuu menetelmän tehokkuudesta. Uusi tuotantomenetelmä on huomattavasti tehokkaampi kuin tällä hetkellä käytössä oleva jyrshinturvemenetelmä, joten tuotantovaiheen päästöt vähentyvät, kun alue saadaan hyödynnettyä nopeammin.

Turvemaan hyödyntämisestä aiheutuvaa ilmastovaikutusta verrattiin kivihiilen hyödyntämisketjun ilmastovaikutukseen. Tutkimuksessa tarkasteltiin Venäjältä ja Puolasta tuotetun kivihiilen ilmastovaikutusta. Näistä maista tuotetun kivihiilen tuotantoketjun päästöissä oli vain vähän eroa. Venäjältä tuotetun kivihiilen ilmastovaikutus arvioitiin hieman korkeammaksi kuin Puolasta tuotetun kivihiilen. Lähtötietojen epävarmuudesta johtuvat ilmastovaikutuksen vaihteluvälit menivät suurelta osalta päällekkäin.

Lähdeluettelo

Aarne, M., Ihalainen, A., Mustonen, M., Peltola, A., Toropainen, M., Torvelainen, J., Uotila, E. & Ylitalo, E. 2005. Metsätilastollinen vuosikirja 2005. METLA. 421 s.

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: VTT Tiedotteita – Research Notes 2045. 172 s. +liitt. 17 s.
Saatavissa [<http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>]

Aro, L. & Kaunisto, S. 2003. Jatkolannoituksen ja kasvatustiheyden vaikutus nuorten mäntymetsiköiden ravinnetilaan sekä puuston ja juuriston kehitykseen paksuturpeisella suonpohjalla. Helsinki: Suoseura – Finnish Peat society. Suo 54(2), s. 49–68.

ExterneE – Externatilities of Energy. 2006. A Research Project of the European Commission. Päivitetty 31.8.2006. Saatavissa [<http://www.externe.info/>]

Grönfors, K. 2006. Tilastokeskus. Kivihiilen pölypolton osuus kivihiilen tuotannossa Suomessa. Yksityinen sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Johanna Kirkinen, VTT. Lähetetty 14.2.2006 klo 9.53 (GTM +0200).

Hillebrand, K. 1993. The greenhouse effects of peat production and use compared with coal, oil, natural gas and wood. Espoo: VTT Tiedotteita – Research Notes 1494. 50 s. + liitt. 8 s.

Hillebrand, K. & Wihersaari, M. 1993. Turpeen tuotannon ja käytön kasvihuonevaikutukset verrattuna kivihiileen, öljyyn, maakaasuun ja puuhun. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Katsauksia B:143. 57 s.

Holmgren, K. 2006. Climate impact of energy utilisation scenarios for forestry-drained peatlands. IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd, IVL Report B1683. 42 s.

Holmgren, K., Kirkinen, J. & Savolainen, I. 2006. The climate impact of energy peat utilisation – comparison and sensitivity analysis of Finnish and Swedish results. IVL Swedish Environmental Research Institute, IVL Report B1681. 48 s. + liitt. 14 s. Saatavissa [<http://www.ivl.se/rapporter/pdf/B1681.pdf>]

Huttunen, J., Nykänen, H., Martikainen, P. J. & Shurpali, N. J. 2004. Reed Canary Grass Cultivation on Cut-Away Peatlands and the Ecosystem Carbon Balance. Wise Use of Peatlands, Vol. 2. Proceedings of the 12th International Peat Congress. S. 977–982.

IEA. 2005. CO₂ emissions from fuel combustion 1971–2003 (2005 edition). OECD/IEA, IEA Statistics. Paris, France: International Energy Agency (IEA). 559 s.

IPCC. 1995. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 3: Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. [Houghton, J. T., Meira Filho, L.G., Lim, B. & Tréanton, K. (toim.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change. Bracknell, United Kingdom: Meteorological Office.

IPCC. 2001. Climate change 2001: Synthesis report. A contribution of working groups I, II and III to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. [Watson, R. T. and the core writing team (toim.)]. Cambridge, United Kingdom – New York: Cambridge University Press. 398 s.

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. [Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. & Tanabe, K. (eds)]. Japan: IGES.

ISO 14040. 1997. Environmental management, Life cycle assessment, Principles and framework. International Organization of Standardization. 12 s.

Kirkinen, J., Minkkinen, K., Penttilä, T., Kojola, S., Sievänen, R., Alm, J., Saarnio, S., Silvan, N., Laine, J. & Savolainen, I. In press. Greenhouse impact due to different peat fuel utilisation chains in Finland – a life-cycle approach. Boreal Environment Research. Received 30 Dec. 2005, accepted 9 Mar. 2006.

Korhonen, R., Pipatti, R., Savolainen, I. & Sinisalo, J. 1993. Kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutuksen arviointi oletetuissa Suomen päästöjen rajoitusskenaarioissa. Espoo: VTT Julkaisuja – Publikationer 777. 82 s.

KTM. 2001. Kansallinen ilmastostrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 27.3.2001. 96 s. Saatavissa
[[http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/All/58DF3F554AE83273C2256A1C00240943/\\$file/selonteko_1503_lopullinen.pdf](http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/All/58DF3F554AE83273C2256A1C00240943/$file/selonteko_1503_lopullinen.pdf)]

Lehtonen, A., Mäkipää, R., Heikkinen, J., Sievänen, R. & Liski, J. 2004. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. Forest Ecology and Management 188, s. 211–224.

Leinonen, A. & Hillebrand, K. 2000. Turpeen asema bioenergiana, Loppuraportti. Jyväskylä: Finbio, Julkaisu 15. 66 s. + liitt. 2 s.

- Lipasto. 2006. Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskenta-järjestelmä. Liikenteen yksikköpäästöt. Saatavissa [<http://lipasto.vtt.fi/>]
- Martikainen, P. 2006. Kuopion yliopisto. Ruokohelpi torjuu ilmastonmuutosta. Esitel-mä. MMM:n biomassajaoston kokous 28.3.2006. Voimatalo, Helsinki.
- Minkkinen, K. & Laine, J. 2001. Turpeen käytön kasvihuonevaikutusten lisätutkimus-kartoitus. Raportti. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö. 56 s.
- Minkkinen, K., Korhonen, R., Savolainen, I. & Laine, J. 2002. Carbon balance and radiative forcing of Finnish peatlands 1900–2100 – the impact of forest drainage. *Global Change Biology* 8, s. 785–799.
- Minkkinen K., Laine J., Shurpali N., Mäkiranta P., Alm J. & Penttilä T. In press. Heterotrophic soil respiration in forestry-drained peatlands. *Boreal Env. Res* 11.
- Monni, S. 2002. Kasvihuonekaasupäästöjen lämmitysvaikutuksen arviointimalli ja sen soveltaminen kansainvälisissä vertailuissa. Diplomityö. Espoo: Teknillinen korkeakou-lu, Konetekniikan osasto. 82 s.
- Monni, S., Korhonen, R & Savolainen I. 2003. Radiative forcing due to anthropogenic greenhouse gas emissions from Finland: Methods for estimating forcing of a country or an activity. *Environmental Management* Vol. 31, No. 3, s. 401–411.
- Monni, S. & Syri, S. 2003. Uncertainties in the Finnish 2001 Greenhouse Gas Emission Inventory. Espoo: VTT Tiedotteita – Research Notes 2209. 101 s. + liitt. 27 s.
- Mäkinen, T., Soimakallio, S., Paappanen, T., Pahkala, K. & Mikkola, H. 2006. Liiken-teen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoiminta-konseptit. Espoo: VTT Tiedotteita – Research Notes 2357. 134 s. + liitt. 19 s.
- Mälkki, H. & Frilander, P. 1997. Life cycle assessment of peat utilisation in Finland. Espoo: VTT Publications 333. 86 s. + liitt. 6 s.
- Nilsson, K. & Nilsson, M. 2004. The Climate Impact of Energy Peat Utilisation in Sweden – the Effect of Former Land-use and After-treatment. IVL Swedish Environ-mental Research Institute, IVL report B1606. 91 s.
- Näsi, N., Kubin, E. & Piispanen, J. 2004. Effects of Wood and Peat Ash Fertilization on Nutrient Status of Peat and Primary Succession of the Ground Vegetation on Cut-Away Peatland. 12th International Peat Congress. Tampere. S. 472–477.

Pahkala, K. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT. Ruokohelven kasvuston uusimisen aikataulu. Yksityinen sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Johanna Kirkinen, VTT. Lähetetty 3.10.2006 klo 13.37 (GTM +0200). Liitteet: AITOPAKOTE.doc.

Penttilä T., Hytönen J., Kojola S., Laiho R., Minkkinen K. & Sievänen R. In press. Estimating inputs to the carbon pool of organic forest soils from tree stand and ground vegetation dynamics. *Boreal Env. Res.* 11.

Pingoud, K., Mälkki, H., Wihersaari, M., Siitonen, S., Lehtilä, A., Johansson, M., Hongisto, M., Pirilä, P. & Otterström, T. 1997. ExternE National Implementation Finland, Final report. Saatavissa [<http://externe.jrc.es/fin.pdf>]

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 s. + liitt. 9 s.

Selin, P. 1999. Turvevarojen teollinen käyttö ja suopohjien hyödyntäminen Suomessa. Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science 79. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto. 239 s.

Silpola, J. 2006. Turveteollisuusliitto. Turveteollisuusliiton ympäristöperiaatteet. Esi-
telmä. Tampere: Turvepäivä 2006.

Silvan, N. 2006. Metsäntutkimuslaitos METLA Turvetuotannon ympäristökuormituksen vähentäminen uuden tuotantomenetelmän avulla – alustavia tuloksia khk emissioista. Yksityinen sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Johanna Kirkinen, VTT. Lähetetty 5.10.2006 klo 15.40 (GTM +0200). Liitteet: AITOPAKOTE.doc.

Sokka, L., Koskela, S. & Seppälä, J. 2005. Life cycle inventory analysis of hard coal based electricity generation. Helsinki: Finnish Environment Institute, The Finnish Environment 797. 48 s.

Tilastokeskus. 2005. Energiaennakko 2005. Energian tuonti ja arvo maittain vuonna 2005.

Tilastokeskus. 2006a. Energian kokonaiskulutus energialähteittäin vuosina 1976–2006. Saatavissa [http://www.stat.fi/til/ehkh/2006/02/ehkh_2006_02_2006-09-20_tau_001.xls]

Tilastokeskus. 2006b. Energian tuonti alkuperämaittain tammi–kesäkuussa 2006. Saatavissa [http://www.stat.fi/til/ehkh/2006/02/ehkh_2006_02_2006-09-20_tau_003.xls].

Tilastokeskus. 2006c. Polttoaineluokitus. Päivitetty 11.2.2005. Saatavissa [http://www.tilastokeskus.fi/til/khki/2003/khki_2003_2005-08-09_luo_001.html]

Tilastokeskus. 2006d. Suomessa käytetystä puuaineksesta poltetaan lähes puolet. Päivitetty 14.12.2006. Saatavissa [http://www.stat.fi/til/mettp/2004/mettp_2004_2006-12-14_tie_001.html]

Tsupari, E. 2005. Kuormituksen ja polttoaineseoksen vaikutus voimalaitosten ja lämpökeskuksien typpioksiduuli- ja metaanipäästöihin. Diplomityö. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto. 104 s.

Tsupari, E., Monni, S. & Pipatti, R. 2005. Non-CO₂ greenhouse gas emissions from boilers and industrial processes. Evaluation and update of emission factors for the Finnish national greenhouse gas inventory. Espoo. VTT Tiedotteita – Research Notes 2321. 82 s. + liitt. 24 s.

Uppenberg, S., Zetterberg, L. & Åhman, M. 2001. Climate Impact from Peat Utilization in Sweden. Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute, IVL Report B 1423. 39 s.

Vesterinen, R. 2003. Estimation of CO₂ emission factors for peat combustion on the basis of analyses of peat delivered to power plants. Jyväskylä: VTT Processes, Energy production, Research Report. 25 s. + liitt. 5 s.

Vestman, H. 2006. Fortum. Kivihiilen kuljetuksen päästöt. Yksityinen sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Johanna Kirkinen, VTT. Lähetetty 18.9.2006 klo 11.23 (GTM +0200).

Virtanen, K., Hänninen, P., Kallinen, R.-L., Vartiainen, S., Herranen, T. & Jokisaari, R. 2003. Suomen turvevarat 2000. Geologian tutkimuskeskus (GTK), Tutkimusraportti 156. 101 s. + liitt. 7 s.

Liite 1: Venäläisen kivihiilen kuljetuksen päästöarvioiden laskentaperusteet

Kuljetusmatkat

Suomeen tuotava kivihiili Venäjältä louhitaan Kuzbassin alueella Lounais-Siperiassa. Kuljetusmatkaa kertyy noin 4 000 km. Kivihiili kuljetetaan junalla Baltian satamiin ja niistä edelleen rahtialuksella Suomeen sekä muualle Länsi-Eurooppaan (Vestman 2006).

Kivihiilen oletetaan tulevan Kuzbassin alueelta Siperian rataa pitkin. Kuzbass sijaitsee Novosibirskin lähellä, sieltä kivihiili kuljetetaan sähköveturilla Moskovaan (noin 3 300 km). Moskovasta kivihiili kuljetetaan Baltian satamiin ja niistä edelleen laivalla Suomeen ja muihin Länsi-Euroopan maihin. Venäjällä kivihiiiltä kuljetetaan dieselveturilla arviolta noin 500 km. Irtolastialuksella matka Baltian satamista Suomeen on keskimäärin 200 km.

Kuljetuksen päästökertoimet

Junakuljetuksen sekä laivakuljetuksen päästökertoimet saadaan suomalaisesta tutkimuksesta LIPASTO, joka kuvaa Suomen liikenteen päästöjä (Lipasto 2006). Suomen päästöarvojen perusteella arvioidaan kivihiilen kuljetuksen päästöjä Venäjällä. Kuljetuksen päästöt muodostuvat kuljetusvälineen edestakaisesta matkasta. Kun kuljetusväline palaa tyhjänä, päästökertoimet (taulukko A) kasvavat n. 20 % (Lipasto 2006).

Taulukko A. Tavaramallikenteen kulkuneuvojen CO₂-päästökertoimia (Lipasto 2006).

Kulkuneuvo	CO₂-päästökerroin (g/tkm)
Irtolastialus	17
Sähköveturi	9,3
Dieselveturi	35

Sähköveturin päästökertoimessa on em. taulukossa A huomioitu Suomen sähköntuotannon CO₂-päästöt. Venäjällä sähköntuotannon päästöt ovat korkeammat, minkä vuoksi huomioidaan Venäjän ja Suomen sähköntuotannon CO₂-ominaispäästöjen suhde. Suomessa sähkön ja lämmön tuotannon vuosien 2001–2003 CO₂-päästön keskiarvo on 263 g CO₂/kWh. Venäjällä vastaava luku on 326 g CO₂/kWh. Sähkön ja lämmön tuotannon CO₂-päästöt ovat n. 24 % korkeammat Venäjällä, mikä huomioidaan laskennassa (IEA 2005).

Kivihiilen kuljetuksen CO₂-päästökerroin on oletettavasti suurempi Venäjällä kuin Suomessa. Syitä ovat mm. sähköntuotannon polttoaineiden kuljetuksen päästöt ja sähkönsiirron korkeat häviöt. Laskelmissa kivihiilen tehollisena lämpöarvona on käytetty 25,5 MJ:a/kg (Tilastokeskus 2006c). Taulukossa B esitetään kivihiilen kuljetuksen arvioidut CO₂-päästöt epävarmuusrajoineen.

Taulukko B. Venäläisen kivihiilen kuljetuksen CO₂-päästöt.

Kasvihuonekaasu	Päästö	Alaraja	Yläraja
CO ₂ (g MJ ⁻¹)	3,61	3,13	4,08

Tekijä(t) Kirkinen, Johanna, Hillebrand, Kari & Savolainen, Ilkka		
Nimeke Turvemaan energiakäytön ilmastovaikutus – maankäyttöskenaario		
Tiivistelmä Julkaisussa tarkastellaan turvemaan energiakäytön hyödyntämisestä aiheutunutta ilmastovaikutusta maankäyttönäkökulmasta. Käsitellyt turvemaat ovat metsäojitettu suo ja suopelto. Näitä turvemaita käytetään energiantuotantoon seuraavasti: ensin turvemailta tuotetaan polttoturvetta, jonka jälkeen alue joko metsitään tai aluetta käytetään ruokohelven viljelyyn. Turvemaan jälkikäytössä syntynyttä puubiomassaa tai ruokohelpeä käytetään energiantuotantoon. Yhtenä tärkeänä näkökulmana julkaisussa käsitellään myös uuden polttoturpeen tuotantoteknologian tuomia mahdollisuuksia päästöjen vähentämiseksi eli uuden turvetuotantomenetelmän vaikutusta turvemaan hyödyntämisen ilmastovaikutukseen. Turvemaan hyödyntämisen ilmastovaikutusta verrataan myös venäläisen ja puolalaisen kivihiilen elinkaaren ilmastovaikutukseen. Ilmastovaikutusta arvioidaan säteilypakotteella. Ilmastovaikutuksen laskennassa otetaan huomioon koko energiantuotannon elinkaari, joka alkaa turpeen tuottamisesta alueen jälleenkäsittelyyn ja jälkikäytön tuotoksen hyödyntämisestä energiantuotantoon. Myös turvemaan alkutilanteen kasvihuonekaasupäästöt ja -nielut ovat mukana laskennassa muodostaen päästöjen vertailutilanteen. Tällöin nähdään kokonaisvaltaisesti, mikä on turvemaan hyödyntämisen ilmastovaikutus, kun turvemaan tuotantoon ottamisen johdosta toteutumatta jääneet päästöt ja nielut otetaan huomioon laskennassa. Tutkimuksessa käytetyt tarkasteluajkojen pituudet ovat 100 ja 300 vuotta sekä säteilypakotetuloiksille että uusiutuvan energian tuotannolle ja vertailutilan päästöille. Metsäojitetun suon hyödyntäminen energiantuotantoon tuottaa alhaisemman ilmastovaikutuksen elinkaarinäkökulmasta kuin vastaavan energiamäärän tuottaminen kivihieillä, jos alueen jälkikäytössä tuotettu uusiutuva polttoaine (puu tai ruokohelppi) otetaan huomioon jo sadan vuoden tarkasteluajalla. Turvemaan hyödyntämisen elinkaaren alussa tuotetulla turpeella polton CO ₂ -päästöt ovat merkittävässä osassa ilmastovaikutuksen muodostumisessa. Toisaalta, kun turve on hyödynnetty, saadaan alueelta tuotetuksi hiilidioksidineutraalia polttoainetta, joko ruokohelpeä tai puubiomassaa, joka alentaa kokonaisilmastovaikutusta suhteessa tuotettuun energiamäärään. Viljelyssä olevan suopellon päästöt ovat merkittävät. Tämän vuoksi suopellon hyödyntäminen ensin turvetuotantoon ja sitten joko metsitykseen tai ruokohelven viljelyyn, aiheuttaa alhaisemman ilmastovaikutuksen kuin metsäojitetun suon tai kivihiilen hyödyntäminen energiantuotantoon. Ruokohelven viljely ja metsitys ovat turvemaan jälkikäyttövaihtoehtoina ilmastonäkökulmasta samaa luokkaa. Uusi turvetuotantomenetelmä vähentää hieman turvemaan hyödyntämisen kokonaisilmastovaikutusta. Venäjältä ja Puolasta tuotetun kivihiilen ilmastovaikutukset elinkaarinäkökulmasta ovat hyvin lähellä toisiaan.		
ISBN 978-951-38-6890-1 (nid.) 978-951-38-6891-8 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinumero 6876
Julkaisuaika Tammikuu 2007	Kieli Suomi, engl. abstr.	Sivuja 49 s. + liitt. 2 s.
Projektin nimi		Toimeksiantaja(t) Kauppa- ja teollisuusministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, ympäristöministeriö
Avainsanat peatlands, fuel peat production, climatic impacts, greenhouse gases, forestry-drained peatlands, croplands, reforestation, emissions reduction, radiative forcing, Reed canary grass		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374

Author(s) Kirkinen, Johanna, Hillebrand, Kari & Savolainen, Ilkka		
Title Climate impact of the use of peatland for energy – land use scenario		
Abstract <p>Climate impact due to the utilisation of peatland from the land use point of view is assessed. The considered peatlands are forestry-drained peatland and cropland (peatland used for agriculture). These peatlands are used for energy production as follows: first the peatland is used for the production of fuel peat, and then the area is either afforested or used for the cultivation of reed canary grass. The produced wood biomass or reed canary grass in the after-treatment of peatland is used for energy production. One important aspect is how the new peat production technology helps to decrease the emissions of the peat production phase and, as a consequence, the climate impact of peat land utilisation. The climate impact of peatland utilisation is also compared to the climate impact due to the lifecycle of the utilisation of coal produced in Russia or Poland.</p> <p>Climate impact is assessed by radiative forcing. The whole life cycle is taken into account in the calculation, from the production of fuel peat to the after-treatment of the bottom of peat production area and utilisation of the yield of after-treatment to energy production. Also the emissions and sinks of the peatland in its initial situation have been considered as reference case, so that the avoided climate impact of peatland in its initial situation has been taken into account. The time horizons considered in the calculation scenarios for radiative forcing results, for renewable fuel production and for reference case emissions were 100 and 300 years.</p> <p>Utilisation of forestry-drained peatland into energy production causes lower climate impact than producing the same amount of energy with coal, if the utilisation of renewable biomass (wood, reed canary grass) produced in the after-treatment of peatland is taken into account already within the 100 year time horizon. The CO₂ emissions of fuel peat combustion, produced in the beginning of the peatland life cycle utilisation, have a significant influence on the climate impact. On the other hand, when peat is exploited the area can be used for producing carbon dioxide neutral fuel, either wood or reed canary grass, which lowers the total climate impact of peatland in relation to the produced energy.</p> <p>The emissions of cultivated peatland (cropland) are notable. Because of this, the utilisation of cropland first for fuel peat production and then either for afforestation or cultivation of reed canary grass, causes lower climate impact than the utilisation of forestry-drained peatland or coal for energy. Cultivation of reed canary grass and afforestation are almost equal choices of peatland after-treatment practices from climate point of view. New peat production method lowers slightly the total climate impact of peatland utilisation. The climate impacts of coal produced from Russia or from Poland from a life cycle perspective are quite similar.</p>		
ISBN 978-951-38-6890-1 (soft back ed.) 978-951-38-6891-8 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number 6876
Date January 2007	Language Finnish, English abstr.	Pages 49 p. + app. 2 p.
Name of project		Commissioned by Ministry of Trade and Industry, Ministry of Agriculture and Forestry, Ministry of the Environment
Keywords peatlands, fuel peat production, climatic impacts, greenhouse gases, forestry-drained peatlands, croplands, reforestation, emissions reduction, radiative forcing, Reed canary grass		Publisher VTT P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374

Turpeen hyödyntäminen energiakäyttöön aiheuttaa kasvihuonekaasupäästöjä. Kun turvemaan hyödyntämistä energiantuotantoon tarkastellaan laajasti elinkaarinäkökulmasta, otetaan mahdolliset positiiviset sekä negatiiviset ilmastovaikutukset huomioon. Julkaisussa esitetään eri turvemaiden (metsäojitetun suon ja suopellon) hyödyntämisketjujen ilmastovaikutus, kun alue ensin hyödynnetään turpeen tuotantoon ja sen jälkeen turvetuotantoalueen pohja joko metsitetään tai siinä viljellään ruokohelpeä. Turvetuotantoalueen jälkikäytössä syntynyt biomassa käytetään energiaksi. Ilmastovaikutusta arvioidaan säteilypakotteella.

Metsäojitetun suon hyödyntäminen energiantuotantoon tuottaa jo sadan vuoden tarkasteluajalla alhaisemman ilmastovaikutuksen elinkaarinäkökulmasta kuin vastaavan energiamäärän tuottaminen kivihiilellä, jos alueen jälkikäytössä tuotettu uusiutuva polttoaine (puu tai ruokohelppi) otetaan huomioon. Turvemaan hyödyntämisen elinkaaren alussa tuotetun turpeen polton CO₂-päästöt vaikuttavat ilmastovaikutukseen eniten. Toisaalta, kun turve on hyödynnetty, saadaan alueelta tuotetuksi hiilidioksidineutraalia polttoainetta, joko ruokohelpeä tai puubiomassaa, joka alentaa kokonaisilmastovaikutusta suhteessa alueelta tuotettuun energiamäärään. Viljelyssä olevan suopellon päästöt ovat merkittävät. Ne lakkaavat, kun alue hyödynnetään polttoturpeen tuotantoon. Siksi suopellon hyödyntäminen aiheuttaa alhaisemman ilmastovaikutuksen kuin metsäojitetun suon tai kivihiilen hyödyntäminen energiantuotantoon.

Julkaisu on saatavana

VTT
PL 1000
02044 VTT
Puh. 020 722 4404
Faksi 020 722 4374

Publikationen distribueras av

VTT
PB 1000
02044 VTT
Tel. 020 722 4404
Fax 020 722 4374

This publication is available from

VTT
P.O. Box 1000
FI-02044 VTT, Finland
Phone internat. + 358 20 722 4404
Fax + 358 20 722 4374