



**“Suuntaviivoja turvetuotantoalueiden ennallistamiseen”  
Tuloksia EU-rahoitteisesta RECIPE-projektista**

## Tieteellinen viitekehys

RECIPE-projektin rahoitushakemuksen lähettämisen jälkeen on julkaistu useita soiden ennallistamista koskevia julkaisuja. Tästä syystä julkaisujen lähestymistapaa ei välttämättä kannata toistaa uudelleen, vaan ennemminkin analysoida RECIPE-projektin viideltä tutkimuskohteelta saatuja tuloksia. Tämän lähestymistavan avulla me voimme käyttää RECIPE-projektin tuloksia yleisten ennallistamisesta annettujen ohjeiden testaamiseen ja tuomaan esille uusia lisäselvityksiä vaativia tutkimustarpeita. Analyysimme pohjautuu juuri päättyneeseen BRIDGE-projektiin ja sen perusteella annettuun ennallistamisen ohjeistukseen (Blankenburg & Tonnis, 2004). Perusteluna lähestymistavallemme toimii myös se, että molemmat projektit olivat EU-rahoitteisia ja molempien tutkimuskohteet olivat eurooppalaisia soita. RECIPE-projektissa yksityiskohtaisesti tutkitun viiden suon BRIDGE-projektin mukaisesti esitetyt yhteenvetokuvaukset, ennallistamisen alkutilanteet, kategoriat, ennustetut lopputilanteen vaihtoehdot ja ristiriitaiset tulokset tai lisätutkimuksia vaativat seikat on esitetty taulukossa 1.

## Viiden RECIPE-projektissa tutkitun suon luokittelu BRIDGE-projektin kategorioihin ja niiden todennäköiset loppuvaiheen olosuhteet

### 1. Aitoneva, Suomi

Aitonevan turvevaroja tutkittiin vuonna 1942. Alunprin kohde oli puuton neva, jonka turvepaksuus oli keskimäärin 2,9 m. Suon keskiosissa turve oli paksuimmillaan 6,6 m (Stén & Toivonen, 1990). Turpeen tuotanto alueella alkoi pian tutkimusten jälkeen ja jatkuu edelleen alueen joissakin osissa.

Ensimmäisten vuosien aikana turpeentuotantomenetelmänä oli laahakauhamenetelmä, jonka tuloksena syntyi useita kolmesta neljään metriä syviä altaita, joita ympäröimään jäi noin viisi metriä leveitä harjanteita. Kuivatusjärjestelmä oli melko tehoton ja altaat alkoivat ennallistua itsestään hyvin pian tuotannon lopettamisen jälkeen vuonna 1948. Ennallistuneiden altaiden pinnanmuodot ovat hyvin tasaisia, ja kasvillisuus koostuu pääosin välipintojen ja kuljujen lajista. Jouhisara, *Carex lasiocarpa*, pullosara, *C. rostrata* ja tupasvilla, *Eriophorum vaginatum*, ovat kenttäkerroksessa vallitsevia putkilokasveja. Kurjenrahkasammal, *Sphagnum pulchrum*, ja vähäisemmässä määrin aaparahkasammal, *S. lindbergii*, vallitsevat pohjakerroksessa kuljupinnoilla ja kalvakkarahkasammal, *S. papillosum*, välipinnoilla (Yli-Petäys ym. 2007). Ennallistamisen alkuolosuhteet voidaan määrittellä tyyppiin D. Viiden vuosikymmenen ennallistumiskehityksen jälkeen kohde on nyt tyyppiin 3 välipintainen sarasuo (poor fen–transition mire).

Kuusikymmenluvulla tehokkaammasta jyrshinturvemenetelmästä tuli vallitseva turvetuotantomenetelmä ja nykyään tuotannossa olleiden kenttien pinnanmuotojen yleiskuva on melko tasainen. Alkuperäisen suoyhdistymän suuresta koosta johtuen (>1000 ha) ennallistamisen alkutilanteet vaihtelevat melko paljon, mutta yleisesti tuotannossa olleet kentät voidaan luokitella tyypeihin A, Bi ja D.

Alueen päälaskuojaa ja suurinta osaa pienemmistä kuivatusojista ylläpidetään vieläkin ja ennallistamiseen alueella liittyy aina kohteen kuivatusojien tukkiminen. Ennallistamisen lisäksi alueelle suunnitellaan myös muita turvetuotannon

jälkikäyttömuotoja kuten metsittämistä. Tämä vaatii ennallistamisen huolellista suunnittelua, niin että ennallistamisesta ei aiheudu taloudellisia tappioita alueen muille maanomistajille. Jyrsinturvemenetelmän kautta syntyneiden kenttien ennallistamisen loppuvaiheen vaihtoehdot tulevat todennäköisesti olemaan tyyppiä 1, 2 ja 7, mutta joillain kohteilla metsittäminen on todennäköisesti paras vaihtoehto.

Lopputilanteen vaihtoehdot: 1, 2 ja 7, ellei vesitalous ole epäedullinen.

## 2. Middlemuir, Skotlanti

Vuoden 1961 Skotlannin turvekartoitus kuvailee Middlemuir-suon turpeen paksuuden vaihteluksi yhdestä (suon laiteilla) viiteen metriin. Mekaaninen turpeennosto alkoi pian tämän jälkeen, tosin paikallisten asukkaiden pienimuotoinen kaivuu oli dokumenttien mukaan jatkunut paikoittain jo kahden vuosisadan ajan. Turvetta kaivettiin noin sata metriä leveiltä kaistaleilta altaista harjanteille kuivumaan, kunnes tuotanto lopetettiin vuoden 1993 tienoilla. Tuotannon tehokkuuden vaihtelusta johtuen menetelmän tuloksena syntyneet pinnanmuodot ovat melko epätasaisia. Tästä syystä ennallistamisen alkuolosuhteet voivat vaihdella kategoriasta A (paksu rahkasammalturve > 100 cm) kategoriaan Bi (ohut rahkasammalturve <100 cm, hyvin hapan, koholla oleva, jne.), jossa turvetuotannossa on nostettu suurin osa jäljellä olevasta turpeesta. Paikoitellen suossa on vielä yli kaksi metriä paksuja kohtia, joissa turve on hyvin maatonut ja suhteellisen huonosti vettä läpäisevää.

Turvetuotannon lopettamisen jälkeen pieniä kuivatusojia ei ole huollettu ja alueelle on levinnyt itsestään suokasvillisuutta. Suota kiertävää rengasmaista pääkuivatusojaa huolletaan kuitenkin vieläkin, joka aiheuttaa suon reunojen kuivumista. Suon koholla olevilla kuivemmilla kaistaleilla (Kohde A) kasvaa tupasvillaa, *Eriophorum vaginatum* ja *Campylopus introflexus*-sammalta yksittäisinä laikkuina. Alempana olevilla kaistaleilla (Kohteet B/C) putkilokasvien peittävyys on täydellisempi ja lajistoltaan rikkaampi, ja rahkasammallajit, *Sphagnum*, ovat alkaneet levitä putkilokasvien väleihin. Kohteen D kasvillisuus edustaa lähinnä märkien nummien lajeja (esim. nurmilauha, *Deschampsia flexuosa*), joka johtuu sen ohuesta karusta turpeesta ja sijainnista suon reunan läheisyydessä.

Kaikissa edellämainituissa tapauksissa, BRIDGE-ohjeiden mukaiset ennallistamisen lopputilanteen vaihtoehdot ovat joko ”kuivien maiden ennallistaminen nummiksi, pensaikko- ja metsämaaksi, jossa on märkiä alueita” silloin kun valunta on liian voimakasta, eikä tätä pysty korjaamaan logistisista syistä, tai vaihtoehdot 1 (vedenpinnan suhteen koholla oleva hapan ja karu suo) tai 2 (umpeenkasvava, hapan ja karu suo), silloin kun valunnan voimakkuus on pienempi, tai sitä voidaan vähentää soveltuvalla käsittelyllä. Jälkimmäisten vaihtoehtojen suojeluarvo olisi suurempi, sillä nummet ja pensaikot ovat alueella hyvin edustettuina, kun taas happamat suot ovat vähenevä resurssi. Emme ole varmoja onko umpeenkasvava hapan suo koskaan ollut Middlemuirille tyypillinen komponentti, mutta on mahdollisesti esiintynyt suolla pienialaisena. Turpeen pinnan uudelleenmuotoilua ja mätästämistä, sekä kuivatuksen uudelleenjärjestämistä tulisi ajatella mahdollisina ennallistamismenetelminä, sillä suon nykyiset pinnanmuodot edistävät pinnanmyötäistä veden valumista alueelta.

Lopputilanteen vaihtoehdot: 1, 2(?), ellei vesitalous ole epäedullinen.

## 3. La Chaux d'Abel, Sveitsi

Tämä kohde, joka sijaitsee Jura-vuoristossa hylättiin aktiivisen turvetuotannon lopettamisen jälkeen vuonna 1963, jolloin vain pieni osa suosta jäi luonnontilaan. Tämän jälkeen alue alkoi ennallistua itsekseen, ja alueen eri osiin on kehittynyt erikäisiä rahkasammalten *Sphagnum* spp., karhunsammalten, *Polytrichum strictum*, *P. commune*, tupasvillan, *Eriophorum vaginatum*, ja luhtavillan, *E. angustifolium*, vallitsevia yhteisöjä, joiden joukossa kasvaa paikoitellen hieskoivua, *Betula pubescens*, ja kuusta, *Picea abies*.

La Chaux d'Abel-suolta valittiin kolme ennallistuvaa tutkimuskohdetta: "varhainen sukkessiovaihe" (A), "keskivaiheen sukkessiovaihe" (B) ja "myöhäinen sukkessiovaihe" (C) Turpeen yksityiskohtainen analyysi paljasti, että A ja B alkoivat kehittyä ravinteikkaalle saraturpeelle, ja niiden alkuolosuhteet olivat hyvin yhtenevät, kun taas kohteelle C on turpeennoston jälkeen jäänyt rahkaturvetta. Kohteella A vallitsevat rahkasammalet, *Sphagnum* spp., tupasvilla, *Eriophorum vaginatum*, kurjenjalka, *Potentilla (Comarum) palustris*, ja jokapaikansara, *Carex nigra*, ja kanervan, *Calluna vulgaris*, vaivaiskoivun, *Betula nana*, tuoksusimakkeen, *Anthoxanthum odoratum* ja rätvänän, *Potentilla erecta*, peittävyys vaihtelee. Kohteella B vallitsevat lähinnä rahkasammalet ja tupasvilla. Kohteella C vallitsevat myös rahkasammalet ja tupasvilla, ja lisäksi rätvänän ja karpalon, *Vaccinium oxycoccus*, peittävyys vaihtelee.

Lopputilanteen vaihtoehdot: 1, 2, 3 tai 6.

#### 4. Le Russey, Ranska

Le Russey ja La Chaux d'Abel –suot ovat monella tapaa hyvin samanlaisia. Kohteet sijaitsevat vain 15 km etäisyydellä toisistaan ja ne ovat kehittyneet vastaavissa geologisissa olosuhteissa (kalkkikivinen Jura-vuoristo) Turvetuotanto molemmilla alueilla on ollut melko suunnittelematonta aiheuttaen monimutkaista vaihtelua pinnanmuodoissa ja alueiden vesitaloudessa.

Suon kokonaisala käsittää noin 27 ha, josta suuri osa on nykyään puustoista suota. Aktiivinen turvetuotanto alueella alkoi vuonna 1968, ja se lopetettiin vuonna 1984, jolloin jäljelle jäi vielä ainakin yhdestä kahteen metriä rahkaturvetta. Tämän jälkeen suolajisto on levinnyt alueelle luontaisesti ja alueella vallitsevat rahkasammalten, *Sphagnum* spp. rämekarhunsammalten, *Polytrichum strictum*, tupasvillan, *Eriophorum vaginatum*, ja luhtavillan, *E. angustifolium* muodostamat yhteisöt. Kolme ennallistuvaa kohdetta valittiin alueelta tutkimuskohteiksi: Kohde A, paljas turve; Kohteella B vallitsevat tupasvilla ja karhunsammalet, ja kanervan, *Calluna vulgaris*, sararahkasammalten, *Sphagnum fallax* ja rusorahkasammalten, *S. rubellum*, peittävyys vaihtelee; Kohteella C vallitsevat sararahkasammal, rusorahkasamal ja tupasvilla, ja kanervalla, jokapaikansaralla, karpalolla ja rämekarhunsammalella on pienempiä peittävyksiä.

Lopputilanteen vaihtoehdot: 1, 2, ellei vesitalous ole epäedullinen.

#### 5. Baupte, Ranska

Baapte-suo erottuu syntyhistorialtaan tutkimuksen neljästä muusta kohteesta. Se on Ranskan tärkeimpiä turvesoita ja on ollut tehokkaassa turvetuotannossa toisen maailmansodan loppumisen jälkeen. Suo on vain muutaman metrin merenpinnan yläpuolella ja on kehittynyt rantasedimenttien päälle peräkkäisten merenpintasukkessioiden kuluessa. Boreaaliselta ilmastokaudelta lähtien (9000 ennen nykyisyyttä) on tunnistettu neljä kehitysvaihetta: (1) marskimaa, eli suolaisen veden rantakosteikk.; (2) akvaattinen vaihe, joka kehittyi atlanttisen ja boreaalisen kauden vaihteessa; (3) sarasuovaiheen jälkeen; alkoi kehittyä (4) rahkasammalten, *Sphagnum*, vallitsema ombrotrofinen vain sadeveden kautta ravinteensa saava kohosuo. 1800-luvun lopulla pitkälehtikihokki, *Drosera rotundifolia*, suokukka, *Andromeda polifolia*, ja karpalo, *Oxycoccus palustris* eivät olleet suolla harvinaisia. Kuitenkin suokukka hävisi alueelta vuonna 1965 (eikä esiintynyt alueella 2006), ja nykyään rahkasammalten peittämät alueet ovat hävinneet.

Turpeen paksuus vaihteli yhdestä kahdeksaan metriä (paikoin 12 m). Liejun ja saven päälle kehittyneeltä suolta on nostettu turvetta jyrksinturvemenetelmällä laajoilta alueilta. Tutkimuskohteella on jäljellä enää vain ohut kerros saraturvetta. Turve on hyvin maatunutta ja selluloosapitoisuus on erittäin matala ( $14.8 \pm 3.1 \text{ mg g}^{-1}$ ). Keskimääräinen pH on  $5,5 \pm 0,4$  ja turpeen C:N suhde on  $21 \pm 2$ , kun taas orgaanisen rikin pitoisuudet ovat  $0,500 \pm 0,053 \%$ , joka on korkein tutkimuksen viideltä kohteelta. Suon tehokkaimmin tuotannossa olleiden osien, joilla tuotanto lopetettiin 1995, annetaan keinotekoisesti tulvia. Tulvimisen tuloksena on syntynyt joitakin suuria ja matalia altaita. Vanhimpiin kohteisiin on kehittynyt ruovikkoa, *Phragmites*, jonka on todettu sitovan tehokkaasti hiiltä ja toimivan hiilinieluna. Toisilla kohteilla muut kasvilajit kuten rantaluikka, *Eleocharis palustris*, rönsyrölli, *Agrostis stolonifera*, ja saralajit, *Carex* spp. ovat vallanneet altaiden reunukset, mutta ruovikon odotetaan levittäytyvän alueille. Luhtavilla, *Eriophorum angustifolium*, on levinnyt paikallisesti paljaalle turpeelle, mutta ei ole kehittynyt yhtä hyvin kuin ruovikon kasvit.

Jyrksinturpeen tuotanto lopetettiin vuonna 2005, mutta paikallinen yhtiö toivoo pystyvänsä jatkamaan turpeentuotantoa uuden tekniikan avulla (vedenalainen turvetuotanto). Yhtiö on myös ehdottanut ympäristöasioiden huomioimista vettämällä hylätyt kohteet, jotta suon vesitalous saataisiin suotuisaksi ennallistamista silmälläpitäen. Projektin tavoitteena (viranomaiset eivät ole sitä vielä hyväksyneet) on lisätä kasvillisuuden monimuotoisuutta, ylläpitää tulvimisen aiheuttamaa poikkeuksellisen monipuolista linnustoa (erityisesti talvehtivia lintuja), ja edesauttaa kasvillisuuden hiilensidontaa. Samantapaisella filosofialla on myönnetty lupia suon käyttöön tieteellisessä tutkimuksessa (sekä kansallisella, että kansainvälisellä tasolla). Jos projekti hyväksytään, tietellinen komitea tulee tutkimaan ennallistamisvaihtoehtojen menestystä.

Alkutilanteet ovat joko Fi tai Fii mukaiset (pH ei ole korkea, ks. yllä) ja jäännösturpeen paksuus vaihtelee alueesta riippuen. Toisinaan, turpeen paksuus on  $< 0.5 \text{ m}$  ja myös savikerroksia on paljastunut turpeen alta (ei kovin yleistä).

Suurten jyrksinturvekenttien muuttaminen kosteikoksi on tällä hetkellä Baapten pääasiallinen vesistömassojen hallintaan liittyvä toimenpide. Joissakin tapauksissa ruovikko, *Phragmites*, on vallannut vanhat altaat täydellisesti ja jatkaa levittäytymistään koko ajan. Luhtavilla, *Eriophorum angustifolium*, levittäytyi paljaille turvepinnoille kehityksen alkuvaiheessa, mutta sen kehitys ei ole jatkunut kovin hyvin (johtuu luultavasti meso-eutrofisesta turpeen laadusta). Koska alueelle ei ole kehittynyt merkittäviä kasvillisuuden muodostamia lauttoja, altaiden reunojen

kasvillisuuden suojeleminen oli yksi pääsuosituksista Ranskan ympäristöministeriön rahoittamassa kansallisessa tutkimusohjelmassa (1998-2000) "Recréer la Nature", jonka tavoitteena oli erilaisten häiriöekosysteemien kokeellinen ennallistaminen eri puolilla Ranskaa. Tässä yhteydessä tutkittiin keinotekoisien kosteikon muodostamisen vaikutuksia Baupessa. Aaltojen vaikutus vaikuttaa olevan suurta Baupen altaissa. Eräänä ehdotuksena on ollut kasvillisuuden peittämien patojen muodostaminen altaiden pinta-alojen pienentämiseksi.

Kasvillisuuden keinotekoinen levittäminen olisi hyvä strategia, mutta tämä voitaisiin tehdä vain hyvällä pohjatiedolla pohjaturpeen laadusta karuimpien (mesotrofisten) alueiden löytämiseksi, erityisesti *Eriophorum*-lajeja silmälläpitäen. Kokeellisessa tutkimuksessa (RECIPE-WPII) havaitsimme, että luhtavilla, *Eriophorum angustifolium*, ja tupasvilla, *E. vaginatum*, kasvoivat hyvin kaksi vuotta niiden istuttamisen jälkeen, mutta niiden kuolleisuus säilyi suurena johtuen todennäköisesti turpeen ominaisuuksista. Kaikki siirretyt rahkasammalet vähenivät nopeasti. Tämä tieto voi olla hyödyllistä loppuvaihtoehto 3:n saavuttamisessa.

Vanhimmilla alueilla pajut, *Salix* spp. kasvoivat hyvin. Tämä näyttäisi vastaavan kostean metsämaan määritelmää (loppuvaihtoehto 8), tai myöhäistä välivaihetta ennen ruohoisen välipintaisen suon kehittymistä (loppuvaihtoehto 6). Kahden edellämäinitun tilanteen ylläpitäminen voisi olla mahdollista, mutta se vaatisi pajujen leviämisen estämistä (mahdollisesti niittämällä).

Baupte-suo ja sen laajat turvekentät ovat kiinnostuksen kohteena erilaisten ennallistamismenetelmien ja pitkäaikaisen ennallistumisen tutkimisessa. Olisi helppoa luoda erilaisia kasvillisuustyyppisiä sisältäviä laikkuja, mutta mahdolliset kokeelliset manipulaatiot riippuvat nyt viranomaisten vastauksesta vedenalaiseen turvetuotantoon. Vaikuttaa siltä, että mahdollisuudet ovat "fifty-fifty" (tuotantolupa = vesitalouden sääntelytoimenpiteitä; ei lupaa = mitään ei tehdä!)

Lopputilanteen vaihtoehdot: 3, 4, (5), 6 tai (8).

## **RECIPE-projektin tulosten vaikutus soiden ennallistamiseen liittyvien ohjeiden ja yleisen tiedon parantamiseen**

### *Soiden maankäyttö, monimuotoisuus ja hiilensidonta*

Soita on käytetty hyvin useantyyppisellä tavalla, ja sen seurauksena soiden ennallistumiskelpoisuus riippuu hyvin paljon kohteesta. Joidenkin toimintojen seurauksena ekosysteemin rakennetta ja toimintaa on muutettu voimakkaasti, erityisesti monimuotoisuuteen ja turpeen hiilensidontaan liittyen. Toisaalta, joillakin käytännöillä on melko positiivinen vaikutus, sillä ne johtavat ennallistumisprosessin alkamiseen. Osittain RECIPE-projektin sosio-ekonomisten tutkimusten pohjalta voidaan tehdä yhteenveto ihmisen tärkeimmistä vaikutuksista soiden käyttöön liittyvään dynamiikkaan (Kuva 1).

### *Ennallistamisen aikaansaama muutos ekosysteemin toiminnassa*

Yleisesti on esitetty, että rahkasammalen, *Sphagnum*, palauttaminen riittää palauttamaan suon hiilensidontakyvyn. Tutkimuksissamme todella huomattiin hiilensidonnan palautuneen sekä sekä rahkasammalten, että tupasvillan, *Eriophorum*, vallitsemalla turvekentällä 20 vuoden kuluessa (Bortoluzzi ym., 2006). Kuitenkaan näin ei selvästikään tapahdu aina. Ennallistetut turvekentät voivat toimia hiilinieluinä, mutta eivät yleensä aivan ennallistumisen alkuvaiheessa. Lisäksi, hiilensidonnan voimakkuus voi olla huipussaan ennallistumiskehityksen keskivaiheilla (Kivimäki ym., 2007), mutta saattaa vähentyä sen jälkeen (Yli-Petäys ym., 2007). Siten joillakin ennallistetuilla kohteilla havaittu korkea hiilensidonta voi olla vain ohimenevä ilmiö. Samaan tapaan, ennallistumiskehityksen keskivaiheissa (20-30 vuotta, Francez ym., 2007) on mitattu potentiaalisesti korkeampaa mikrobien aktiivisuutta (turpeen laboratorionkokeissa).

Usein on esitetty, että metaanin (CH<sub>4</sub>) emissioita voitaisiin vähentää pitämällä suon vedenpinnat niin alhaisina, että suurin osa CH<sub>4</sub>:stä hapettuisi suon hapellisessa keroksessa hiilidioksidiksi ennen joutumistaan ilmakehään. Sitä vastoin, kasvillisuuden hiilensidonnan tiedetään saavuttavan optiminsa korkeilla vedenpinnoilla. Siten näiden kahden muuttujan välillä on päinvastainen riippuvuussuhde, mutta tähän mennessä vedenpinnan vaikutusta suon kokonashiilensidontaan ei ole tutkittu yksityiskohtaisesti. Viimeaikaiset RECIPE-projektin tulokset (Yli-Petäys & Vasander, julkaisematon) viittaavat siihen, että kolme tutkittua saralajilla (*Carex rostrata*, *Eriophorum vaginatum*, *E. angustifolium*) voivat toimia hiilinieluinä jo vedenpinnan ollessa -20 cm suon pinnan alapuolella. Samassa tutkimuksessa sararahkasammal, *Sphagnum fallax*, ja paljaat turvepinnat toimivat heikkoinä hiilen lähteinä (Kuva 3). Koska metaani on kuitenkin 21 kertaa hiilidioksidinä voimakkaampi kasvihuonekaasu, suon ilmastoä viilentävän vaikutuksen aikaansaamiseksi tarvittiin hyvin korkeita vedenpintoja (-10 - -6 cm). Tuloksien perusteella vakaan, suon pintaa lähellä olevan vedenpinnan ylläpitäminen on elintärkeää, kun halutaan varmistaa suon toiminta tehokkaana hiilinieluinä.

Näiden pohdintojen perusteella vaikuttaa siltä, että suon hallinnasta vastaavien tulee seurata jatkuvasti ennallistettujen kohteiden hiilensidonnan tilaa (olettaen, että se on yksi ennallistamisen tavoitteista). Rahkasammalten, tai edes uuden turvekerroksen esiintymisen ei voida olettaa osoittavan hiilensidontaa, sillä syvempien turvekerroksen hajotuksessa menetetty hiili voi kompensoida, tai jopa ylittää kasvillisuuteen sitoutuneen hiilen määrän. Silloin kun uuden turvekerroksen paksuus on saavuttanut 20-30 cm, voimme kuitenkin olla suhteellisen varmoja hiilen nettosidonnasta.

### *Bioindikaattorit*

RECIPE-projektin tulokset osoittavat, että turpeen orgaaninen aines, sen kasvilajikoostumus ja mikrobi-indikaattorit ovat yhteydessä suon pintakasvillisuuden ja pienmuotojen kanssa (Laggoun-Défarage ym., 2007).

Ennallistumiskehityksen aikana tapahtuvat muutokset mikrobiyhteisöissä ovat yhteydessä eroavaisuuksiin orgaanisen aineen ominaisuuksissa kuten C/N-suhde, kokonashiilen määrä, liukoinen- ja kokonaistyyppi ja joidenkin kasvilajien esiintyminen. Nämä tulokset vahvistavat epävakaiden hiiliyhdisteiden merkityksen mikrobiyhteisöjen hajotuksessa ja aktiivisuudessa (Artz ym., 2007; Francez ym., 2007).

Mikrobibiomassan kehittyminen 55 vuoden aikajatkumolla (kun kaikki RECIPE-projektin kohteet olivat mukana) toi esille paljaan turpeen ennallistamiselle epäedulliset olosuhteet, huolimatta kohteiden vettämisestä. Havaitimme, että alkuvaiheen kehityksessä on noin 10 vuoden viive. Saadut mikrobimassan arvot olivat alhaisimpia, joita soilta on havaittu. Kasvillisuuden leviämällä ja lajien määrän lisääntymällä oli positiivinen vaikutus suon mikrobeihin, jotka lisääntyivät huomattavasti ennallistumiskehityksen keskivaiheilla (kymmenestä neljäänkymmeneen vuoteen). Kohteilla, joilla kasvillisuutta on keinotekoisesti levitetty, kuten Bois-des-Bel-suolla (Quebec, Kanada) mikrobimassan palautuminen alkoi aikaisemmin ja hyvin nopeasti kasvillisuuden, erityisesti rahkasammalten, kehityksen myötä (Andersen ym., 2006). Vain viisi vuotta kasvien levittämisen ja niiden kasvun jälkeen mikrobimassaan sitoutunut hiili saavutti  $2310 \pm 220 \mu\text{g g DP}^{-1}$ , joka vastaa samaa kuin RECIPE-projektin 20 vuotta sitten ennallistumaan alkaneella kohteella (Kuva 3).

Nämä tulokset edelleen osoittavat, että turpeen mikro-organismeja ja orgaanisen aineen ominaisuuksia voidaan käyttää ekosysteemin ennallistumista ja toimintaa osoittavina bioindikaattoreina (hiilen kierto ja suon huokosvesien metaanipitoisuudet, Siegenthaler ym., 2007).

#### *Ilmaston muutoksen vaikutus soiden ennallistumiseen*

Sveitsiläisellä kohteella, alle 50 vuodessa, spontaani ennallistuminen on johtanut niukkaravinteisen, välipintaisen sararahkasammalten, *Sphagnum fallax*, vallitsemaan suon muodostumiseen. Näyttää hyvin todennäköiseltä, että kehitys on johtamassa todellisen kohosuon kasvillisuuden muodostumiseen. Suon ennallistumiskehitys, ja sen myötä kehitys niukkaravinteisesta suosta hyvin karuksi kohosuoksi voi kuitenkin riippua ilmastosta. Ilmaston lämpeneminen voi vaikuttaa haitallisesti ennallistumiskehityksen keskivaiheen soiden hiilensidontaan, mutta pidemmälle ennallistuneet kohteet (>50 vuotta) saattavat sietää lämpenemistä paremmin (Samaritani ym., 2007).

#### *Sosioekonomisen tilanteen vaikutus soiden ennallistamiseen*

RECIPE-projekti on tuonut esille sitä tosiasiaa, että asenteet turpeen tuotantoa, suojelua ja ennallistamista kohtaan vaihtelevat eri puolilla Eurooppaa. Useilla alueilla turvetuotanto on yhä tärkeä raaka-aineiden- ja maaseutumaisten alueiden tulonlähde. Kuitenkin suuntaus suojella ja ennallistaa mieluummin kuin hyödyntää vaihtelee hyvin paljon suhteessa alueiden kokonaissuolaan, tosin muillakin kulttuuriarvoilla on merkitystä, ja monilla alueilla paineet soiden suojelun lisäämiseksi ovat koventumassa (Schwarz ym., 2007).



## **Yhteenveto**

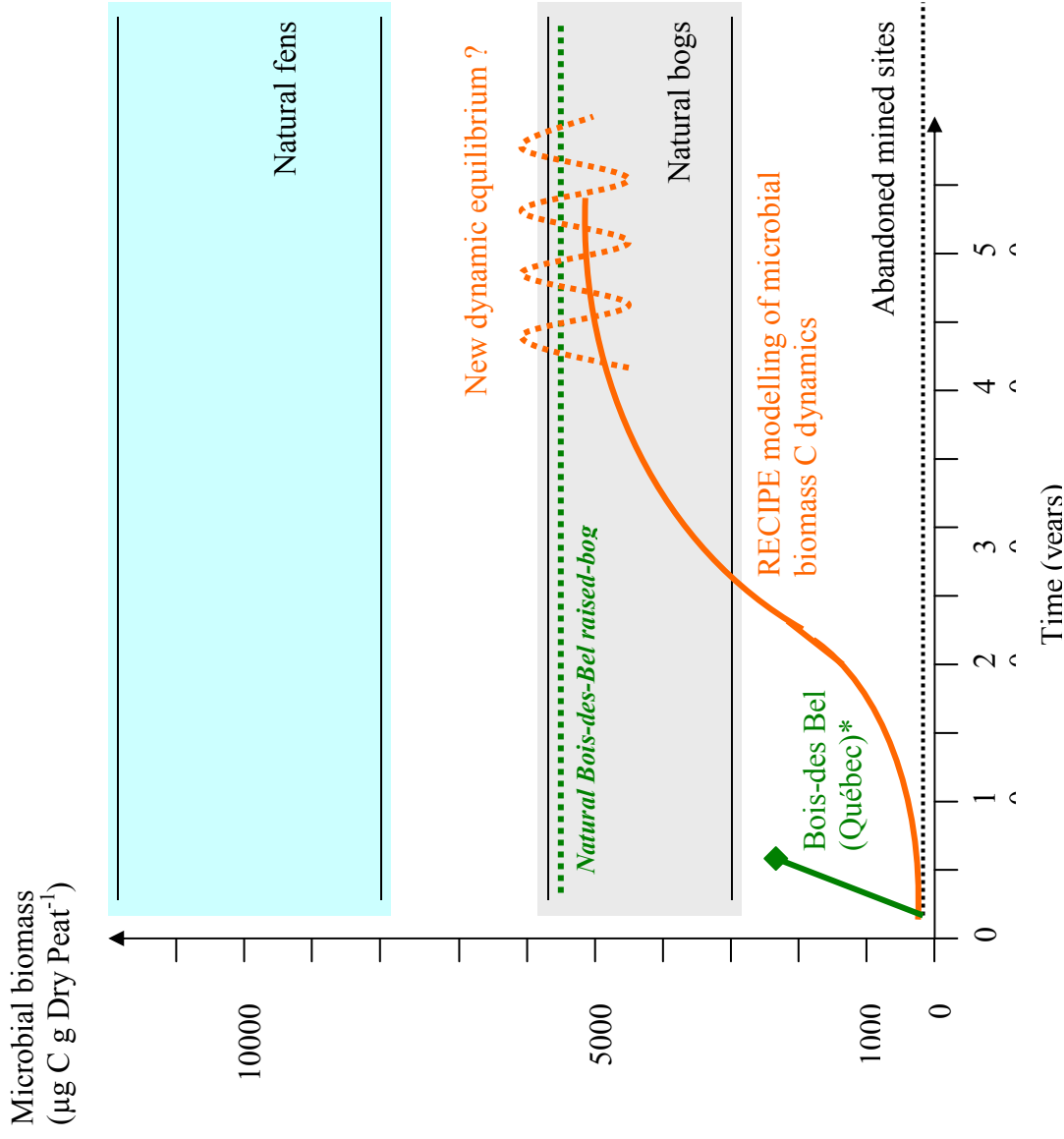
1. Lähes jokainen suo on yksilöllinen ominaisuuksiltaan, ja jokaista täytyy käsitellä tapauskohtaisesti.
2. Jopa yksittäisellä suolla esiintyy vaihtelua, joka vaatii erilaisia lähestymistapoja.
3. Suon vesitalous on pääasiallinen, joskaan ei ainoa suon ennallistumiskehitystä ohjaava tekijä.
4. Rahkasammalten uudiskasvu ei välttämättä toimi soiden hiilensidonnan palautumista kuvaavana indikaattorina.
5. Saralajit voivat olla rahkasammalia tehokkaampia nettonielujen saavuttamisessa.
6. Hiilensidonta voi olla voimakkainta ennallistamiskehityksen keskivaiheilla.
7. Vedenpinnan optimitaso ilmastoa viilentävän vaikutuksen aikaansaamiseksi on todennäköisesti hyvin lähellä suon pintaa (-10 - -6 cm).
8. Mikrobitoiminta palautuu viiveellä kasvillisuuteen nähden, mutta yhdessä orgaanisen aineksen laadun kanssa, sitä voidaan käyttää ekosysteemin toiminnan palautumisen, erityisesti hiilensidonnan, indikaattorina.
9. Ilmaston lämpeneminen voi vaikuttaa ennallistamisen onnistumiseen, erityisesti ennallistumiskehityksen keskivaiheilla.
10. Jälkikäytön vaihtoehtoja ohjaavat myös aluekohtaiset sosioekonomiset olosuhteet.

Taulukko 1. Yhteenveto viidestä tutkitusta suoalueesta, niiden vastaavuus BRIDGE-projektin alkutilannekategorioiden kanssa, arvioitua lopputilannevaihtoehtoja BRIDGE-projektin mukaisesti ja ristiriitaisuuksia tai lisäselvityksiä vaativat kohdat.

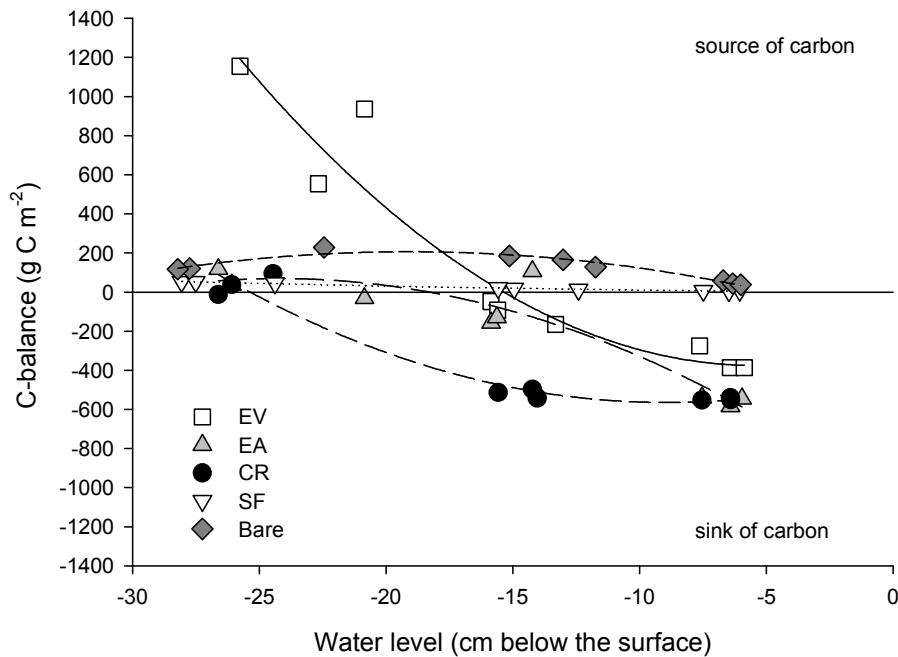
Peatland location	Location (Lat., Long., elevation)	Site code	Dominant plants	Time since abandonment (y)	Starting conditions according to BRIDGE typology	Notes starting conditions	End-point options according to BRIDGE	Notes on succession from BRIDGE	Additional points from RECIPE
Aitoneva, Finland		A	<i>Eriophorum vaginatum</i> wet	10	Fii		1, 2 or 7 unless hydrology unfavourable		
	62°12'N, 23°18'E, 156m	B	<i>Eriophorum vaginatum</i> dry	10	A		ditto		C-sequestration function may decline with time
		C	<i>Carex rostrata</i>	10	Fii		ditto		
		D	<i>Sphagnum fallax</i>	10	Fii		ditto		
		E	Bare peat, no vegetation	10	Fii (or Bii?)		ditto		
Middlemuir Moss, Scotland, United Kingdom		A	Mostly bare, isolated <i>E. vaginatum</i> , <i>C. introflexus</i>	<5	A		1 or 2(?) unless hydrology unfavourable		
		B	<i>S. cuspidatum</i> , <i>S. auriculatum</i> , <i>E. vaginatum</i>	5-10	A		ditto		Spontaneous colonization has followed abandonment but <i>Sphagnum</i> has only grown in lower (wetter) areas and when preceded by 'nurse' species, mainly <i>Eriophorum</i> . New peat has formed at 50 year site but C sequestration status is equivocal.
	57°36'N, 2°9'W, 110m	C	<i>E. angustifolium</i> , <i>S. auriculatum</i> , <i>S. cuspidatum</i>	5-10	A		ditto		
		D	<i>Sphagnum spp.</i> , <i>vulgaris</i> , <i>Deschampsia flexuosa</i>	>50	Bi		ditto		
Chaux d' Abel, Jura Mountains, Switzerland	47°10'N, 6°57'E, 1040m	A	<i>S. fallax</i> , <i>P. strictum</i> , <i>P. commune</i> , <i>Eriophorum spp</i>	29+	C, or Fii	(or Bii if bog peat remained)	3 or 6 (1 or 2 if starting condition was Bii)	From point 3 (poor fen) slow evolution towards ombrotrophy	After less than 50 years, secondary succession has led to a poor fen strongly dominated by <i>Sphagnum fallax</i> . It appears

B	Same species, intermediate between A and C	42-43					possible if left unchecked	very likely that this process will lead to a true raised bog community. However, succession, and therefore the possible evolution of point 3 (poor-fen) to 1 or 2 (true bog community) may depend on climate. Peat OM and botanical composition, and microbial indicators validate the evolution inferred from surface vegetation and microtopography.
C	<i>S. fallax</i> , <i>P. strictum</i> , <i>E. vaginatum</i> , <i>Vaccinium</i> spp.	52-58	Bii (or Bi)			1 or 2	Microscopic analysis of peat revealed that the old peat in site C was bog peat	
A	Bare peat	4	A			1 or 2, unless hydrology unfavourable		
B	<i>Sphagnum fallax</i> , <i>S. rubellum</i> , <i>E. angustifolium</i> and <i>C. vulgaris</i> (variable)	22	A			ditto		
C	<i>S. fallax</i> , <i>S. rubellum</i> , <i>E. vaginatum</i> , <i>Calluna vulgaris</i>	28-40	A			ditto		
A	Bare peat, no vegetation	5-10	Fii			3, 4, (5), 6, (8)	Depending of the peat quality and the degree of disturbance (drainage, compaction effects) and the location on morphology of pools	Baapte peatland has been strongly exploited as milled peat. Harvesting stopped in 2005. Large areas of bare peat are flooded and watering is managed. <i>Eriophorum angustifolium</i> colonized the bare peat sporadically early after cessation of harvest, but reeds ( <i>Phragmites</i> ) now colonize more and more of the pool edges.
B	<i>E. angustifolium</i> , <i>Hypnaceae</i>	5-10	Fii			mainly 3, 5	In this case topography would suggest starting condition Fii	
Baapte, France	49°17'N, 1°21'E, 20m							





Kuva 2. Mikrobibiomassaan sitoutuneen hiilen määrän kehitys ennallistuvilla soilla 55 vuoden aikajaksolla. Mikrobibiomassan sisältämän hiilen avulla kuvattu vaihtelu luonnontilaisilla soilla (ravinteikkailla, *fens*, ja karulla soilla, *bogs*) on arvioitu kirjallisuuden perusteella. Vaihtelu kuvattu eri väristen kenttien avulla. Edellä kuvattua voitaisiin käyttää ennallistamiskehityksen seurannan vertailukohtana tai tavoitteena suon kehityksen aktiivisessa säätelyssä tai tilanteessa, jossa kehitykseen ei puututa.\* Bois-des-Bel-suolla, keskimääräinen mikrobibiomassaan sitoutuneen hiilen määrä luonnontilaisen suon pintaturpeessa (verrokkikohte) oli  $5780 \pm 260 \mu\text{g C g DP}^{-1}$ ; ennallistetulla turvetuotantokentällä, johon suokasvillisuutta oli siirtoistutettu, mikrobihiilen määrä saavutti  $2310 \mu\text{g C g DP}^{-1}$  jo viiden vuoden kuluessa.



Kuva 3. Kasvukauden aikainen hiilitase (kesäkuu-syyskuu) kolmella sarakavilla, rahkasammalella ja paljaalla turvepinnalla eri vedenpinnoilla. Lajien lyhenteet ovat: *EV*, *Eriophorum vaginatum*; *EA*, *Eriophorum angustifolium*, tupasvilla; *CR*, *Carex rostrata*, pullosara; *SF*, *Sphagnum fallax*, sararahkasammal; *Bare*, paljas turve. Negatiiviset arvot kuvaavat hiilen nielua ja positiiviset arvot hiilen lähdettä.

#### Lähdeluettelo:

Andersen, R., Francez, A.J., Rochefort, L., 2006. The physicochemical and microbiological status of a restored bog in Quebec: Identification of relevant criteria to monitor success. *Soil Biology & Biochemistry* 38, 1375-1387.

Artz, R.R.E., Chapman, S.J., Siegenthaler, A., Bortoluzzi, E., Yli-Petäys, M., Francez, A.-J., 2007. Functional microbial diversity in cutover peatlands responds to restoration and is directed by labile carbon. *Journal of Applied Ecology* (lähetetty arvioitavaksi).

Blankenburg, J., Tonnis, W.J., 2004. Guidelines for wetland restoration of peat cutting areas. Results of the BRIDGE-PROJECT. Bremen.

Bortoluzzi, E., Epron, D., Siegenthaler, A., Gilbert, D., Buttler, A., 2006. Carbon balance of a European mountain bog at contrasting stages of regeneration. *New Phytologist* 172, 708-718.

Francez, A.-J., 2000. La dynamique du carbone dans les tourbières à Sphaignes, de la sphaigne à l'effet de serre. *L'Année biologique* 39, 205-270.

Francez, A.-J., Josselin, N., Chapman, S.J., Artz, R.R.E., Laggoun-Défarge, F., Buttler, A., Gattinger, A., Gilbert, B., Siegenthaler, A., Yli-Petäys, M., Vasander, H., 2007. Microbial carbon and nitrogen in abandoned peatlands after peat extraction: patterns of response to regeneration age and plant community at a European scale. *Journal of Applied Ecology* (lähetetty arvioitavaksi).

Kivimäki, S.K., Yli-Petäys, M., Tuittila, E.S., 2007. Carbon sink function of sedge and *Sphagnum* patches in a restored cut-away peatland: increased functional diversity leads to higher production? *Journal of Applied Ecology* (lähetetty arvioitavaksi).

Laggoun-Défarge, F., Mitchell, E.A.D., Gilbert, D., Disnar, J.R., Comont, L., Warner, B.G., Buttler, A., 2007. Assessing cutover bog regeneration by combined analyses of organic matter properties, bacteria, and testate amoebae (Protista). *Journal of Applied Ecology* (lähetetty arvioitavaksi).

Samaritani, E., Siegenthaler, A., Yli-Petäys, M., Buttler, A., Christin, P.-A., Mitchell, E.A.D., 2007. Are *Sphagnum*-dominated regenerating cutover bogs carbon sinks or not? A study in the Swiss Jura Mountains with predictions of climate change impacts on the C balance. *Journal of Applied Ecology* (lähetetty arvioitavaksi).

Schwarz, G., Froidevaux, V., Grosvernier, P., Rosselli, W., Takko, A., Vasander, H., Gattinger, A., Gilbert, D., Pheulpin, V.. Towards sustainable re-use options of rehabilitated peatlands in Europe - a comparative analysis of socio-economic implications and the impacts on the C balance. 2007.

Siegenthaler, A., Gilbert, D., Mitchell, E.A.D., Gauthier, E., Steinmann, P., Artz, R.R.E., Yli-Petäys, M., Francez, A.-J., Comont, L., Laggoun-Défarge, F., Buttler, A., 2007. Surface microbial community structure along regenerating peatlands across Europe. *Journal of Applied Ecology* (valmisteltavana).

Stén, C.-G., Toivonen, T.. Kihniössä tutkitut suot ja niiden turvevarat, English summary: The peat resources and their potential use in Kihniö, Western Finland. 16. 1990. Espoo, Finland, Geological Survey of Finland. Turvetutkimus, turveraportti 236.

Yli-Petäys, M., Laine, J., Vasander, H., Tuittila, E.S., 2007. CO<sub>2</sub>-exchange of re-vegetated cut-away peatland five decades after abandonment. *Boreal Environment Research* (painossa).