

Pro gradu -tutkielma  
Maantiede  
Luonnonmaantiede

Sarasuo-rahkasuovaihettuman kasvillisuushistoria neljällä borealisella  
rahkasuolla – ajallinen ja alueellinen näkökulma

Annina Mellais

2013

Ohjaajat:  
Minna Väiliranta  
Miska Luoto  
Eeva-Stiina Tuittila

HELSINGIN YLIOPISTO  
GEOTIETEIDEN JA MAANTIETEEN LAITOS  
MAANTIETEEN OSASTO

PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2)  
00014 Helsingin yliopisto

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion – Faculty/Section Matemaattis-luonnontieteellinen		Laitos – Institution – Department Geotieteiden ja maantieteen laitos	
Tekijä – Författare – Author Annina Mellais			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Sarasuo-rahkasuovaiheittoman kasvillisuushistoria neljällä boreaalisella rahkassuolla – ajallinen ja alueellinen näkökulma			
Oppiaine – Läroämne – Subject Luonnonmaantiede			
Työn laji – Arbetets art – Level Pro Gradu	Aika – Datum – Month and year Maaliskuu 2013	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 72 + liitteet	
Tiivistelmä – Referat – Abstract			
<p>Tutkimuksen lähtökohtana oli selvittää soiden kasvillisuuden vaihtelua historiassa ja sen perusteella arvioida, miten suot mahdollisesti kehittyvät tulevaisuudessa. Olosuhteissamme sara -ja rahkasuovyöhykkeen raja seurailee ilmastotekijöitä ja voi siksi olla herkkä muutoksille näissä tekijöissä ja ilmastonmuutos voi mahdollisesti laukaista sarasuon rahkoittumisilmiön kohti rahkasuota. Tutkimuksessa selvitetään, milloin, miksi ja miten nopeasti tutkitut suot ovat alkaneet muuttua ravinteikkaasta sarasuosta kohti vähäravinteista rahkasuota ja mitkä lajit ovat olleet muutoksessa avainasemassa. Lisäksi selvitetään onko synnä muutokseen ollut muutos ilmasto-oloissa, häiriöt vai suon oma kehitys ja miten soiden sijainti on vaikuttanut niiden rahkoittumiseen.</p> <p>Tutkimusaineisto koostui turvenäytteistä, jotka kerättiin neljältä rahkasuolta eri puolilta boreaalista vyöhykettä: Siikanevalta, Honkanevalta, Puohtiinsuolta ja Lyalin suolta. Tutkimuksessa tarkasteltiin suon kehitystä soistumisen alkamisesta rahkasuovaiheeseen asti. Tutkimusmenetelminä käytettiin makrofossiilianalyysiä ja radiohiiliajoitusta. Yhteensä tutkittiin 200 yksittäistä näytettä. Aineistoa lähestyttiin myös monimuuttuja-analyysien avulla. Kasvilajien välisten erojen ja aineiston jakautumisen selvittämiseksi aineistoa analysoitiin oikaistun korrespondenssianalyysin (detrended correspondence analysis, DCA) avulla. Turpeen paksuuden, suopalojen ja suon yksilöllisen kehityksen yksittäis- ja yhteisvaikutuksia soiden kasvillisuuden vaihteluun selvitettiin hajonnan osituksella (variation partitioning).</p> <p>Kaikkien neljän tutkimussuon kehityskulku on samantyyppinen: suon kehitys alkaa saravaiheella, josta se vaihtuu tupasvilla-vaiheen kautta ombrotrofiseksi rahkasuoksi. Tärkeimmiksi muutoksen avainlajeiksi osoittautuivat tupasvilla (<i>Eriophorum vaginatum</i>) ja ombrotrofiset rahkasammalet (<i>Sphagnum</i>). Suopaloit näyttävät laukaissleen rahkoittumisen Siikanevalla ja Lyalin suolla. Honkaneva sijaitsee maakohoamisalueella, mikä tekee sen rahkoittumisekehityksestä omalaatuisen. Rahkoittuminen on tapahtunut kaikilla tutkituilla soilla melko hitaasti tuhansien vuosien aikana, mutta myös nopeita muutoksia on tapahtunut etenkin suopalojen aiheuttamien häiriöiden aikana. Rahkoittuminen on alkanut tutkituilla soilla sitä aikaisemmin, mitä etelämpänä suo sijaitsee.</p> <p>Sarasuo-rahkasuovaiheittoma osoittautui monivaiheisemmaksi kuin on ajateltu ja siksi se jaettiin kahteen vaiheeseen: sara-tupasvillavaiheittomaan ja tupasvilla-rahkavaiheittomaan. Muutoksia kasvillisuudessa ei pystytty selittämään vain yhden tekijän perusteella, vaan niihin näyttivät vaikuttaneen niin suon sisäinen kehitys, ilmasto kuin häiriötilanteetkin, joista tärkeimmäksi arvioitiin suon sisäinen kehitys. Nykyisen ilmastonmuutoksen vaikutus voi joko vauhdittaa sarasoiden rahkoittumisekehitystä tai mahdollisesti myös hidastaa sitä ja mahdollinen rahkoittuminen voi tapahtua joko kuivan tai märän vaiheen kautta.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords suon kehitys, sarasuovaiheittoma, makrofossiilianalyysi, rahkasammalet, tupasvilla, turve, hajonnan ositus			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Kumpulan tiedekirjasto			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

HELSINGIN YLIOPISTO – HELSINGFORS UNIVERSITET – UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion – Faculty/Section Faculty of Science		Laitos – Institution – Department Department of Geosciences and Geography	
Tekijä – Författare – Author Annina Mellais			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Vegetation history of fen-bog transition in four boreal bogs – temporal and spatial perspective			
Oppiaine – Läroämne – Subject Physical Geography			
Työn laji – Arbetets art – Level Master's Thesis	Aika – Datum – Month and year March 2013	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 72+ appendixes	
Tiivistelmä – Referat – Abstract <p>The basis of this study was to examine the variation in the history of mire vegetation and to use the results to predict how mires might develop in the future. In the Finnish conditions, the northernmost mires are typically minerotrophic fens and, further south, the most common ones are ombrotrophic bogs. The borderline between fen and bog zones follows the climatic factors and may therefore be sensitive to changes in these factors. Climate change could potentially trigger ombrotrophication i.e. the development from fen to bog. The purpose of this study is to determine when, why, and how quickly the studied mires have developed from fen to bog, and which species have played a key role in the ombrotrophication. A further aim of this study is to examine whether the ombrotrophication has been driven by the autogenic or allogenic processes and how the location of the mire has affected the ombrotrophication.</p> <p>The study examined the mire development from the beginning of the mire formation until the bog phase. The research methods used in this study were macrofossil analysis and radiocarbon dating. Altogether, 200 individual samples were studied. The research material was also approached through multivariate analyses. Detrended correspondence analysis (DCA) was used to find out differences between plant species and distribution of the data. Variation partitioning was used to find out how peat thickness, fires and autogenic development effect the variation of the mire vegetation.</p> <p>The development of each of the four bogs is similar: the development starts from the fen phase from which it changes to cotton grass (<i>Eriophorum vaginatum</i>) dominated phase and finally to Sphagnum dominated bog. The most important key species are cotton grass and ombrotrophic Sphagnum mosses. Fires seem to have triggered ombrotrophication of the Siikaneva and Lyali bogs. The Honkaneva bog is located in a land uplift area which makes its development unique. In all the studied sites, ombrotrophication took place rather slowly over thousands of years, but there have also been some rapid changes especially during fires. The further south the mire is located, the earlier the ombrotrophication has started.</p> <p>The fen-bog transition turned out to be more complex than what has been thought, and, therefore, it was divided into two phases: the <i>Carex</i>-<i>Eriophorum</i> transition and the <i>Eriophorum</i>-Sphagnum transition. Changes in the vegetation could not be explained only on the basis of a single factor. The autogenic factors, the climate and the disturbances all seem to have affected the vegetation. The most important factor was estimated to be the autogenic development. Climate change can either speed up or slow down the ombrotrophication process and it can happen through a dry or wet phase.</p> <p>.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords mire development, fen-bog-transition, macrofossil analysis, Sphagnum, <i>Eriophorum vaginatum</i> , peat, variation partitioning			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Kumpulan Campus Library			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

## Sisältö:

1. Johdanto .....	1
2. Suon kasvillisuus ja kehittyminen .....	4
2.1. Sarasoiden ja rahkasoiden ominaispiirteet ja vyöhykkeisyys .....	4
2.2. Suon kehitys ja sukessio .....	5
2.3. Sisä- ja ulkosyntyinen sukessio ja kehitys .....	8
2.4. Sukkessioon ja kehitykseen vaikuttavat tekijät .....	10
3. Aineisto ja menetelmät .....	12
3.1. Tutkimusalueet .....	12
3.1.1. Siikaneva .....	13
3.1.2. Honkaneva .....	15
3.1.3. Puohtiinsuo .....	16
3.1.4. Lyalin suo .....	17
3.2. Kenttä- ja laboratorimenetelmät .....	18
3.2.1. Makrofossiilianalyysi .....	18
3.2.2. Radiohiiliajoitus .....	22
3.3. Tilastolliset menetelmät .....	23
4. Tulokset.....	25
4.1. Makrofossiilianalyysi ja radiohiiliajoitus.....	25
4.1.1. Siikaneva .....	25
4.1.2. Honkaneva .....	28
4.1.3. Puohtiinsuo .....	31
4.1.4. Lyalin suo .....	33
4.2. Tilastolliset menetelmät .....	36
4.2.1. DCA .....	36
4.2.2. Hajonnan ositus: Muuttujaryhmien yksittäiset ja yhteisvaikutukset.....	38
5. Tulosten tarkastelu.....	39
5.1. Avainlajeja ja syitä niiden selviytymiseen .....	39
5.1.1. Tupasvilla .....	40
5.1.2. Rahkasammalet .....	43
5.1.3. Kuiva vai märkä rahkoittuminen?.....	46

5.2. Ilmasto, suon sisäiset toiminnot vai häiriöt rahkoittumisen käynnistäjänä? .....	47
5.2.1. Ilmastovaihtelu .....	47
5.2.2. Rahkoittumisen ajankohta ja kesto .....	49
5.2.3. Suopalot .....	52
5.2.4. Muutokset valuma-alueella .....	53
5.3. Tulevaisuuden skenaariot .....	54
5.4. Luotettavuustarkastelu .....	56
6. Yhteenveto .....	59
Lähteet .....	63

## 1. Johdanto

Suot ovat sekä maisemallisesti että biologisesti monimuotoinen ekosysteemi (Vasander 1998). Fennoskandian (Suomi, Ruotsi, Norja) maapinta-alasta on soita noin neljännes (200 000 km<sup>2</sup>) (Pajunen 2005; Parviainen & Luoto 2007), joten suot ovat tärkeä osa alueen luontoa ja sen monimuotoisuutta. Suot toimivat tärkeinä ympäristövaikutusten mittareina ja niiden kehityshistorian ymmärtäminen voi selventää menneisyyden ympäristöolosuhteiden muutoksia (Turunen ym. 2002).

Boreaaliset suot voidaan jakaa kahteen ryhmään niiden ekohydrologiaan (veden ”laatu” ja määrä) perustuen: aapasoihin eli **sarasoihin** ja keidassoihin eli **rahkasoihin**. Sara- ja rahkasoiden maantieteellinen jakautuminen vyöhykkeisiin yhdistetään yleisesti ilmastollisiin tekijöihin (Ruuhijärvi 1960; Moore 2002; Vitt 2006), joista tärkeimmät ovat lämpötila ja sademäärä (Parviainen & Luoto 2007), jotka määrittävät perustuotannon määrän ja hajotuksen tehokkuuden. Sarasoita esiintyy kuitenkin myös rahkasuovyöhykkeen sisällä ja päinvastoin, eli maantieteellinen jako ei ole yksiselitteinen (Vasander 1998).

Yleensä suon kehitys kulkee sarasuosta asteittain kohti karumpaa rahkasuota. Suon muuttumista sarasuosta rahkasuoksi kutsutaan rahkoittumiseksi (fen-bog transition tai ombrotrophication) (Hughes 1997; Tahvanainen 2011). Suon rahkoittuminen edellyttää pintaturpeen ja kasvillisuuden eristymistä ravinteita tuovasta pohjavedestä, mikä voi tapahtua esimerkiksi turpeen paksuuskasvun, tupasvillamättäiden (*Eriophorum vaginatum*) tai kuivan/muuttuneen ilmastokauden tai vuodenajan aiheuttaman vedenpinnan tason laskun seurauksena joko sisä- tai ulkosyntyisten tekijöiden ohjaamana (Kuhry ym. 1992; Hughes & Barber 2004). Suon rahkoittuminen voi tapahtua hitaasti tai nopeasti ja joko märän tai kuivan vaiheen kautta (Hughes 2000) ja sitä voi ohjata tiettyjen avainlajien yleistyminen suoalueella (esim. Hughes & Barber 2003). Vaikka muutos sarasuosta rahkasuoksi on yleinen ilmiö suoekosysteemin kehityksessä, rahkoittumisen ajankohta ja kesto vaihtelevat eri paikoissa riippuen alueen ilmastosta, maaperästä ja muista tekijöistä (Kuhry & Turunen 2006). Yleisesti Euroopassa rahkoittumisen ajankohdan maksimi-ikä pienenee, mitä pohjoisempaan mennään (Tolonen 1987).

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tuottaa uutta tietoa siitä, miten soiden kasvillisuus on muuttunut sarasuo-rahkasuovaihtuman aikana menneisyydessä ja näin lisätä ymmärrystä sarasuo-rahkasuovaihtumasta. Tutkimuksessa selvitän, milloin ja miksi tutkitut suot ovat alkaneet muuttua ravinteikkaasta sarasuosta kohti vähäravinteista rahkasuota ja mitkä lajit ovat olleet muutoksessa avainasemassa. Tavoitteenani on löytää avainlajit sekä vaihtuman alku- että loppuvaiheelle.

Sara- ja rahkasoiden esiintyminen näyttäisi olevan riippuvainen ilmastollisista tekijöistä (Ruuhijärvi 1960; Moore 2002; Vitt 2006), joten tulevan ja käynnissä olevan ilmastonmuutoksen voi arvella vaikuttavan niiden maantieteelliseen esiintymiseen ja jakautumiseen. Sadan viime vuoden aikana maapallon lämpötila on noussut keskimäärin 0,74 °C (IPCC 2007), ja lämpeneminen on viime vuosikymmeninä kiihtynyt entisestään. Ilmastonmuutoksen on ennustettu nostavan keskilämpötiloja 1,8–6,4°C vuoteen 2100 mennessä (IPCC 2007). Ilmastonmuutoksen on ennustettu esimerkiksi aiheuttavan lisääntyneitä talvisateita, lisääntyntä haihtumista kesäisin, aikaisempia kevättulvia ja vähentyneitä ylivirtaamia (Silander ym. 2006; Lotsari ym. 2010). Nämä muutokset vaikuttavat efektiiviseen kosteuteen ja näin suon hydrologiaan. Sarasuovyöhykkeen hydrologia voi näiden muutosten myötä muuttua kohti nykyisen rahkasuovyöhykkeen hydrologiaa ja laukaista ulkosyntyisen rahkoittumisen pohjoisilla aapasoilla, sillä vyöhykkeiden kapea rajavyöhyke on todennäköisesti herkkä muutoksille ilmasto-olosuhteissa (Parviainen & Luoto 2007; Tahvanainen 2011). Tämän tutkimusten tulosten perusteella on tarkoitus arvioida, kuinka ilmastonmuutos voisi mahdollisesti vaikuttaa soiden kasvillisuuteen tulevaisuudessa.

Soiden turpeessa on säilynyt valtava määrä paleoklimatologista tietoa, jota on tutkittu esimerkiksi makrofossiilianalyysin avulla. Makrofossiilianalyysia on käytetty laajalajisesti suotutkimuksessa muun muassa selvittämään soiden kasvillisuuden kehityskulkuja (Kuhry ym. 1992; Hughes & Barber 2003; Sillasoo ym. 2007), rekonstruoimaan ilmastovaihteluita suon pinnan kosteusolojen perusteella (Väliranta ym. 2007), selvittämään kasvillisuuden pitkäaikaista kehitystä suojuon suunnittelua varten (Chambers ym. 2007) ja selvittämään hiilen varastoitumista turpeeseen (Heijmans ym.

2008). Tässä tutkimuksessa makrofossilianalyysiä käytetään tuottamaan lajitasolla uutta tietoa sarasuo-rahkasuovaihtumasta.

Tutkimuskysymyksiä ovat:

- 1) Mitkä kasvilajit ovat avainasemassa, kun muutos sarasuosta kohti rahkasuota alkaa?
- 2) Mikä on rahkoittumisilmiön nopeus?
- 3) Onko syynä muutokseen muutos ilmasto-oloissa, häiriöt vai suon oma kehitys?
- 4) Miten soiden sijainti vaikuttaa niiden rahkoittumiseen?

Tutkimushypoteeseja ovat:

- 1) Tietyt lajit kuten tupasvilla ja punarahkasammal (*Sphagnum magellanicum*), jotka hyötyvät ympäristön häiriötilanteista, ovat avainasemassa, kun sarasuo vaihtuu kohti rahkasuota (esim. Hughes ym. 2000; Hughes & Barber 2003; Sillasoo ym. 2007; Tuittila 2007).
- 2) Sarasuo-rahkasuovaihtuminen ei ole boreaalisella vyöhykkeellä ajallisesti samanaikainen eri soiden välillä (esim. Tolonen 1987; Janssens 1992; Janssens ym. 1992; Korhola 1992), koska jokaisen suon kehitys riippuu suon yksilöllisistä tekijöistä.

Soilla on suuri merkitys maapallon geokemiallisissa kierroissa (Robichaud & Bégin 2009), joten on tärkeää tuntea soiden kehitys historiassa ja hahmottaa, miten ilmasto on aikaisemmin voinut vaikuttaa soiden kehitykseen. Tätä kautta on mahdollista arvioida, miten suot reagoivat nykyiseen ilmastonmuutokseen. Ei kuitenkaan voida olla varmoja siitä, että muutokset tässä hetkessä tai tulevaisuudessa tapahtuvat samalla tavalla kuin aiemmin historiassa. Ekosysteemitasolla tapahtuvia muutoksia on vaikea ennustaa, eikä kaikkia muutokseen vaikuttavia tekijöitä vielä tunneta (Vasander 1998; Tahvanainen 2005).

Tutkielmani on osa monitieteistä CLICHE-projektia (*Impacts of climate change on Arctic environment, ecosystem services and society*), joka on osa Suomen Akatemian rahoittamaa FICCA-tutkimusohjelmaa. FICCA:n (*Finnish research programme on Climate Change*) tarkoituksena on tuottaa tietoa ilmastonmuutoksesta ja yhteiskunnan ja



ympäristön välisestä vuorovaikutuksesta. CLICHE:n projekti keskittyy erityisesti arktisten alueiden ilmastonmuutokseen ja sen vaikutuksiin eri ekosysteemeihin.

## 2. Suon kasvillisuus ja kehittyminen

### 2.1. Sarasoiden ja rahkasoiden ominaispiirteet ja vyöhykkeisyys

Sarasuo on minerotrofinen suoyhdistymä, joka saa vettä ja ravinteita sadeveden lisäksi myös suolle päätyvän valunnan mukana (Pajunen 2005). Valuma-alueelta tulevan veden laatu ja määrä vaikuttavat olennaisesti sarasuon ominaisuuksiin. Sarasuot jaetaan yleensä kolmeen ryhmään ravinnetason perusteella: 1) oligotrofiset (pH alle 4,5, 2) mesotrofiset (pH 4,5-5,5) ja 3) eutrofiset (pH 5,5- 7,5). Sarasoiden tyypillisiä kasveja ovat erilaiset rahkasammalet (*Sphagnum* spp.) ja erityisesti sarakasvit (*Cyperaceae*), kuten erilaiset sarat (*Carex* spp.) esim. pullosara (*C. rostrata*), jouhisara (*C. lasiocarpa*) ja juurtosara (*C. chordorrhiza*), suovillat (*Eriophorum* spp., *Trichophorum* spp.) ja raate (*Menyanthes trifoliata*), jotka muodostavat usein yhtenäisiä kasvustoja. Sarakasvien juuristossa on ilmastointisolukoita, joten juuret voivat tunkeutua myös turpeen hapettomaan osaan. Ravinteisimmillä nevoilla myös mesotrofit rahkasammalet ovat merkittävä lajiryhmä ja letoilla vastaavasti ruskosammalet (Vasander 1998; Laine ym. 2000).

Rahkasuo on ombrotrofinen, eli se saa vettä ja ravinteita ainoastaan sadevedestä ja ilmalaskeumasta (Pajunen 2005). Rahkasuo syntyy tilanteessa, jossa suon pinnan kasvillisuus kohoaa kasvaessaan pohjaveden vaikutuksen ulottumattomiin (Laine ym. 2000). Rahkasuille ominaisia piirteitä ovat alhainen pH (yleensä alle 4), pieni elektrolyyttipitoisuus ja alhainen kalsiumpitoisuus. Rahkasoiden kasvillisuus on näin ollen sopeutunut ravinteiden saatavuuden kannalta ääriolosuhteisiin. Rahkasuolle tyypillinen kasvillisuus koostuu pääosin rahkasammalista, jotka muodostavat suon pinnalle yleensä yhtenäisen kasvuston. Rahkasammalten lisäksi rahkasuon tyypillisiä lajeja ovat esimerkiksi suopursu (*Rhododendron tomentosum*), kanerva (*Calluna vulgaris*), juulukka (*Vaccinium uliginosum*), vaivero (*Chamaedaphne calyculata*), lakka (*Rubus chamaemorus*), vaivaiskoivu (*Betula nana*) ja suokukka (*Andromeda polifolia*). Edellä mainittujen kasvien juuristossa ei ole ilmastointisolukkoja, joten juuret voivat

toimia vain hapellisissa turvekerroksissa. Syväjuurisista lajeista rahkasoilla esiintyy yleisesti tupasvilla ja leväkkö (*Scheuzeria palustris*) (Laine ym. 2000; Vitt 2006).

Sara- ja rahkasuovyöhykkeen raja seurailee tiettyjä ilmastoparametreja, kuten termisen talven pituutta (vuorokauden keskilämpötila pysyväluonteisesti alle 0 °C), vuoden keskilämpötilaa ja noin 1100 °C:n lämpösummaa (summa niistä vuorokausista, joiden keskilämpötila on korkeampi kuin 5 °C) (Ruuhijärvi 1960; Seppä 2002). Suomessa usein myös 63°N leveyspiiriä pidetään yleisenä rahka- ja sarasuon rajana, mutta kyseinen raja kulkee kuitenkin viistosti itä-kaakko-suuntaan Pohjanlahden rannikolta etelään päin. Sarasuot ovat siis yleisempiä Pohjois- ja Keski-Suomessa ja rahkasuot Etelä-Suomessa ja Pohjanmaan rannikolla. Pohjoisen suot pysyvät sarasoina runsaiden kevättulvien ja pienemmän haihtumisen takia, mikä pitää suot kosteina. Kevättulvat myös kuljettavat tehokkaasti ravinteita suon keskiosiin suon valuma-alueelta, mikä estää suon karuuntumista (Korhola 1990; Vasander 1998).

## **2.2. Suon kehitys ja sukessio**

Turpeen muodostuminen ja suon syntyminen edellyttää kosteuden ylijäämää ekosysteemissä. Usein se tarkoittaa kosteaa ja viileää ilmastoa, jossa haihtuminen on hidasta (Gorham 1991). Vesi voi joko peittää maanpintaa paikallisesti tai nousta sitä lähelle. Tämän seurauksena eloperäisen aineksen hajoaminen hidastuu ja turvetta pääsee muodostumaan. Topografia ja maaperä vaikuttavat näihin prosesseihin ja soistumisen käynnistymiseen. Mitä hitaammin vesi virtaa maastossa ja mitä enemmän vettä kerääviä painanteita alueella on, sitä todennäköisempää on soistuminen (Korhola 1992).

Soita syntyy pääsääntöisesti kolmella eri tavalla: primaarisena soistumisena, metsämaan soistumisena tai vesistöjen umpeenkasvuna (Korhola & Tolonen 1998; Laine ym. 2000). Primaarisessa soistumisessa suokasvillisuus valtaa maan välittömästi sen paljastuttua joko jään tai veden alta. Metsämaan soistumisella puolestaan tarkoitetaan edeltävän kivennäismaalla vallinneen kasviyhteisön muuttumista suoekosysteemiksi. Metsämaan soistumista tapahtuu useimmiten olosuhteissa, joissa topografia säätelee veden virtausta aiheuttaen maan vettymistä. Vesistöjen umpeenkasvulla tarkoitetaan hydroserisukessiota

avoimesta vesialtaasta suoksi. Vesistöjen umpeenkasvua kontrolloivat suurimmaksi osaksi biologiset tekijät sekä altaiden sedimentaatioprosessit (Korhola & Tolonen 1998).

Suknessiolla tarkoitetaan yleensä lyhytaikaista (muutamista vuosista vuosisatoihin) muutosta ekosysteemin lajistossa, rakenteessa ja elinympäristössä ja kehityksellä puolestaan pidempiaikaista muutosta aina vuosisadoista tuhansiin vuosiin. Kehitys on siis seuraus erilaisista suknessioista (Rydin & Jeglum 2006). Tässä tutkimuksessa keskitytään kasvillisuuden suknessioon ja kehitykseen. Yleensä suknessiossa kasviyhteisöt muuttuvat vähittäin ja edestakainen lyhytaikainen vaihtelu on mahdollista. Suknessio päättyy kliimaksiin, eli vakaaseen eliöyhteisöön, jonka lajisto ei juuri muutu, jos ilmasto-olosuhteet pysyvät samanlaisina. Pienet muutokset lajistossa ovat mahdollisia myös suknession kliimaksi-vaiheessa (Rydin & Jeglum 2006).

Yleensä suon suknessio kulkee minerotrofisesta ravinteikkaasta sarasuosta asteittain kohti kuivempaa ja karumpaa ombrotrofista rahkasuota, jossa rahkasammalet ovat vallitseva lajiryhmä. Ombrotrofista rahkasuovaihetta pidetään suon kehityksen lopullisena vaiheena. Turunen ym. (2002) kuvaavat tyypillistä suon kasvillisuussuknessiota seuraavasti: Soistumiskehitys alkaa 1) vesikasvillisuudesta, jolle tyypillisiä lajeja ovat osmankäämit (*Typha spp.*) sarpiokasvit (*Alisma spp.*), järviruoko (*Phragmites australis*) ja kortteet (*Equisetum spp.*) tai lehti/sekametsästä. Tästä kasvillisuus muuttuu 2) reheväksi sarasuoksi, jota luonnehtivat lettolierosammal (*Scorpidium scorpioides*), kuirisammalet (*Calliergon spp.*), sirppisammalet (*Warnstorfia spp.*), sarakasvit, raate ja usein järviruoko. Tätä seuraa 3) mesoeutrofinen sarasuovaihe ja vallitsevia lajeja ovat mesoeutrofiset sarat ja siniheinä (*Molinia caerulea*), lettorahkasammal (*Sphagnum teres*) ja rahkasammalten *subsecunda*-ryhmä. Seuraava vaihe on 4) oligominerotrofinen sarasuovaihe, jota luonnehtivat jouhisara, pullosara, juurtosara, raate, sararahkasammal (*Sphagnum fallax*), rimpirahkasammal (*Sphagnum annulatum*) ja kalvakkarahkasammal (*Sphagnum papillosum*) ja joskus mätässara (*Carex cespitosa*) ja/tai luhtavilla (*Eriophorum angustifolium*). Tästä kasvillisuus kehittyy 5) heikosti minerotrofiseksi vaiheeksi, jonka vallitsevana lajina ovat sarat tai mänty (*Pinus sylvestris*), joiden lisäksi tupasvilla, leväkkö, rahkasara (*Carex pauciflora*), paikoitellen juurtosara ja/tai riippasara (*Carex magellanica*), tupasluikka (*Tricophorum cespitosum*) ja rahkasammalista cuspidata-ryhmä

ja paikoitellen kalvakkarahkasammal. 6) Viimeisenä vaiheena on ombrotrofinen rahkasuo, jota vallitsevat ombrotrofiset rahkasammalet ja ainavihannat varvut. Suon muuttuminen kokonaan sarasuosta rahkasuoksi on usein hyvin hidas prosessi. Sarasoille tyypilliset syvälle juurtuvat sarakasvit saattavat selviytyä pitkiäkin aikoja muuttuneissa olosuhteissa. Voidaan kuitenkin sanoa, että sarasuo on muuttunut rahkasuoksi, kun saavutetaan sopivat olosuhteet ja rahkasuolle tyypilliset kasvit dominoivat, eikä silloin, kun viimeisetkin sarasoille tyypilliset kasvit ovat hävinneet (Tahvanainen 2011).

Sukcessio jaetaan primaarisukcessioon ja sekundaarisukcessioon. Primaarisukcessiossa eliöt valtaavat täysin uuden maapaikan, joka syntyy esimerkiksi maankohoamisen seurauksena. Sekundaarisukcessio puolestaan alkaa uudelleen paikalla olleen eliöyhteisön tuhouduttua esimerkiksi palon, tulvan tai kuivuuden takia (Walker & del Moral 2003). Sukcessio voi olla joko progressiivista tai retrogressiivista. Progressiivista sukcessiota kuvataan usein siirtymisenä kohti monimuotoisempaa kasviyhteisöä, mutta koska monista muista ekosysteemeistä poiketen soilla lajiston monimuotoisuus yleensä vähenee sukcession edetessä, on progressiivista sukcessiota järkevämpi kuvata suon normaalina kehityskulkuna ja turpeen muodostumisena. Retrogressiivisessa sukcessiossa ekosysteemi palaa aiempaan sukcessiovaiheeseen häiriön, kuten palon, tulvan, ilmastonmuutoksen, laidunnuksen tai ihmisvaikutuksen, seurauksena (Rydin & Jeglum 2006).

Sukcessio voi edetä erilaisia sukcessioreittejä pitkin samanlaisissa olosuhteissa pienellä maantieteellisellä alueella (Bunting & Warner 1998; Hughes & Barber 2004; Miettinen 2011). Erilaisia sukcessiokulkuja on tutkittu esimerkiksi Iso-Britanniassa, jossa umpeenkasvun myötä syntyneiden soiden kehityksen erojen syiksi todettiin suoaltaan ominaisuuksien ja altaan syvyyden erot eri kohdissa suota (Bunting & Warner 1998; Hughes & Barber 2004).

Turpeen pH laskee suoekosysteemin sukcession edetessä (Kuhry ym. 1993). Varhaisimpien sukcessiovaiheiden aikana pH voi olla lähellä neutraalia tai jopa hieman emäksinen. Myöhemmissä karuimmissa sukcessiovaiheissa pH voi laskea jopa lähelle kolmea (Kuhry ym. 1993). Turpeen happamoitumiselle on kaksi yleistä selitysmallia (Clymo 1963; Glaser ym. 2004; Granath ym. 2010). Kasvitieteessä pH:n lasku liitetään

yleensä rahkasammalten ympäristöään happamoittavaan vaikutukseen, mikä on selitetty yleisesti sillä, että elävillä rahkasammalilla on erityisen korkea kationinvaihtokapasiteetti (cation exchange capacity, CEC) ja siksi ne happamoittavat kasvualustansa tehokkaasti vaihtamalla protoneja kationeihin suovedessä. Lisäksi happamoitumisen syyksi on esitetty happojen vapautumista hitaasti hajoavasta rahkasammalkarikkeesta (Clymo 1963; Granath ym. 2010). Hydrologisia seikkoja painotettaessa nopea pH:n lasku selitetään pintaturpeen eristymisellä ravinteikkaasta emäksisestä pohjavedestä (Glaser ym. 2004). Paleoekologisissa tutkimuksissa esitetään usein pH:n laskemisen ja rahkasammalten levittäytymisen välinen yhteys syynä vaihtumiseen sarasuosta rahkasuoksi.

Soudzilovskaia ym. (2010) esittävät kuitenkin, että elävän rahkasammalten kationinvaihtokyky ei ole merkittävä tekijä sarasuo-rahkasuosuknessiossa. Tutkimuksen mukaan suknessio sarasuosta rahkasuoksi on kokonaan tulosta emäksisen pohjaveden ylöspäisen liikkeen katkeamisesta ja turpeen kertymisestä, eikä happamoitumisesta, joka johtuisi rahkasammalten protonien luovutuksesta. Rahkasammalten kationinvaihtokapasiteetti ei ole niin paljon merkittävämpi kuin muilla sammalilla kuin on luultu ja esimerkiksi ruskosammalten ja rahkasammalten kationinvaihtokapasiteetit ovat hyvin samanlaisia.

### **2.3. Sisä- ja ulkosyntyinen suknessio ja kehitys**

Suon suknessioon ja kehitykseen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa sisäsyntyisiin ja ulkosyntyisiin tekijöihin. Merkittävimmät ulkosyntyiset tekijät ovat ilmasto, maaperä, topografia, valuma-alueelta suolle tuleva vesi ja häiriöt. Sisäsyntyisistä tekijöistä tärkein on turpeen paksuus, joka puolestaan säätelee ravinteita ja vedenpinnan tasoa ja sitä kautta kasvillisuutta. Nämä puolestaan vaikuttavat turpeen paksuuteen orgaanisen aineksen kertymänopeuden kautta (Rydin & Jeglum 2006; Tuittila ym. 2007).

Suknession etenemisen on pohjoismaisessa tutkimuksessa yleisesti mielletty johtuvan pääosin sisäsyntyisten tekijöiden vaikutuksesta, kun turpeen kasvaessa paksuutta erilaisiin olosuhteisiin sopeutuneet suokasvit korvautuvat toisilla (Korhola 1992; Bunting & Warner 1998; Pajula 2000; Kuhry & Turunen 2006; Tuittila ym. 2007; Granath ym.

2010). Turpeen kasvaessa paksuutta kasvien yhteys turpeen alla olevaan pohjamaahan pienenee ja ravinteiden saatavuus heikkenee. Paksuuskasvun myötä myös vedenpinnan taso laskee ja kasvien kasvuolosuhteet muuttuvat kuivemmiksi ja vähäraviteisemmiksi (Korhola 1990; Korhola 1992; Hughes & Barber 2004). Kaikki suot eivät kuitenkaan kehity ombrotrofiseksi. Ilmaston tiedetään vaikuttavan voimakkaasti turpeen kasvuun, mutta sen vaikutusta on vaikea arvioida erilaisten häiriötekijöiden takia. Suorien päätelmien tekemistä turvekerrostumien koostumuksen ja ilmaston välillä onkin pidetty ongelmallisena. Suon kehityksen ennustaminen olisi helppoa, jos siihen vaikuttaisivat vain suon sisäsyntyiset prosessit, mutta ulkoiset tekijät tekevät kuitenkin ilmiöstä monimutkaisen (Miettinen 2011; Tuittila ym. 2007).

Sisäsyntyinen sukkessio ja kehitys liittyy yleensä turpeen paksuuskasvuun ja tapahtuu hitaasti. Sen sijaan monien ulkosyntyisten tekijöiden aiheuttamat muutokset voivat tapahtua hyvinkin nopeasti ja ovat usein jaksottaisia (Korhola & Tolonen 1998; Tuittila ym. 2007).

Usein suon kehityksen alkuvaiheessa ulkosyntyiset tekijät ovat määrääviä. Tällainen tilanne on esimerkiksi sarasuovaiheessa olevilla soilla, joille virtaa vettä ja sen mukana ravinteita muilta alueilta (Rydin & Jeglum 2007; Robichaud & Bégin 2009). Kehityksen edetessä sisäsyntyisten tekijöiden vaikutus kasvaa. Suon kehityksen päädyttyä ombrotrofiseen rahkasuovaiheeseen, suo on ympäröivien alueiden vaikutuspiirin ulottumattomissa ja sisäsyntyiset tekijät ovat määrääviä, vaikka myös ulkosyntyiset tekijät kuten ilmalaskeuma voivat vaikuttaa suon kehitykseen (Rydin & Jeglum 2006). Kehityksen edetessä myös suon kyky vastustaa muutoksia on suurempi. Kliimaksivaiheen suon olosuhteiden vakaus johtuukin osittain siitä, että ulkoisten tekijöiden vaikutus suon tilaan on hyvin vähäinen (Bunting & Warner, 1998; Kuhry & Turunen 2006; Miettinen 2011).

## 2.4. Sukkessioon ja kehitykseen vaikuttavat tekijät

Suon hydrologia vaikuttaa merkittävästi suon prosesseihin ja toimintaan. Hydrologia kontrolloi ravinteiden liikkumista, kasvilajien- ja yhteisöjen levittäytymistä ja yhdistää suon sitä ympäröivään valuma-alueeseen. Hydrologia vaikuttaa myös turpeen kertymisnopeuteen (Bunting & Warner 1998). Suon vedenpinnan taso on tärkeä kasvillisuuteen vaikuttava tekijä, sillä se säätelee pintaturpeen kosteusoloja (Laitinen ym. 2008) ja määrää vallitseeko kasvillisuudessa mätäs-, välipinta- vai painannelajit. Kasvillisuuden reagoiminen vedenpinnan vaihteluihin riippuu niiden kyvystä sopeutua häiriöihin ja kausittaiseen kuivuuteen. Monet varhaisten sukkessiovaiheiden putkilokasvit, kuten jokapaikansara (*Carex nigra*) ja jousivihvilä (*Juncus filiformis*) kestävät hyvin suuriakin vedenpinnan vuodenaikaisvaihtelua, kun taas myöhäisemmille sukkessiovaiheille tyypillisistä rahkasammalista erityisesti painannelajit eivät kestä vastaavaa vaihtelua (Laitinen ym. 2008; kts. myös Väiliranta ym. 2007). Myös kasvilajien välinen kilpailu vaikuttaa suon lajiston koostumukseen (Kuhry ym. 1993).

Ilmasto vaikuttaa suon vesitasapainoon. Muutokset efektiivisessä kosteudessa voivat aiheuttaa muutoksia suon vedenpinnan tasossa (Bunting & Warner 1998). Kuivuus voi laskea suon vedenpinnan tasoa ja johtaa kuiviin olosuhteisiin sopeutuneiden lajien sukkessioon. Tulviminen puolestaan voi hidastaa kehitystä sarasuosta kohti rahkasuota, sillä se estää rahkasuille tyypillisten rahkasammalajien, kuten ruskorahkasammalen (*Sphagnum fuscum*) levittäytymistä (Granath ym. 2010).

Turpeen rakenteella ja kertymisnopeudella on myös vaikutuksensa kasvillisuuteen. Turvekerros kasvaa, kun orgaanista ainesta kertyy enemmän kuin sitä hajoaa. Turpeen kerrostuessa suon pinnalle suo kasvaa korkeutta. Suomessa suon korkeuskasvu vaihtelee 0,2 ja 4,0 millimetrin vuosivauhdin välillä. Keskimääräinen kasvunopeus on noin 0,5 mm vuodessa (Korhola & Tolonen 1998). Sarasoilla turpeenmuodostuksesta vastaavat lähinnä sarakasvit, joskin myös sarojen ja rahkasammalten jäännöksistä koostuvat sekaturpeet ovat yleisiä. Rahkasoiden toiminnallisesti merkittävin lajiryhmä ovat rahkasammalet (Laine ym. 2000; Rydin ym. 2006).

Suon tuottavuus laskee suon kehityksen edetessä. Tämä johtuu suon kasvukokoonpanon muutoksesta sara- ja ruohokasvivaltaisesta kohti varpujen ja rahkasammalten vallitsemaa kasvillisuutta, joiden tuottavuus on edellä mainittua pienempi (Leppälä ym. 2008). Suon kehityksen edetessä myös suon respiraation on havaittu vähenevän (Leppälä ym. 2008). Vaikka suon tuottavuus pienenee, on vanhempien soiden paksuuskasvu yleensä nuoria nopeampaa. Tämä selittyy osittain ja sara- ja rahkaturpeiden erilaisilla hajoamisnopeuksilla. Hajoaminen on hitaampaa rahkavaltaisilla soilla kuin saravaltaisilla soilla. Rahkasammalten ensimmäisen vuoden massahävikki on eri tutkimuksissa vaihdellut 0,1-25 % välillä. Sarojen hajoaminen on puolestaan vaihdellut välillä 13-81 %, eli se on huomattavasti nopeampaa kuin rahkasammalten hajoaminen (Scheffer ym. 2001 ja viitteet sen sisällä). Tästä syystä sukcession edetessä myös hiilen sitoutuminen turpeeseen kasvaa voimakkaasti suon muuttuessa sarasuosta rahkasuoksi (Soudzilovskaia ym. 2010).

Vedenpinnan tason ja turpeen rakenteen välistä yhteyttä selitetään usein kaksijakoisella luokittelulla akrotelmaan ja katotelmaan (Clymo 1984). Noin 90 % fotosynteesin kautta muodostuneesta orgaanisesta aineksesta hajoaa aerobisesti suon hapekkaissa pintaosissa vedenpinnan yläpuolella (Laine ym. 2000). Tätä aktiivista turpeen pintaosaa kutsutaan akrotelmaksi ja siellä tapahtuu suurin osa veden liikkeestä. Hajotus kuitenkin hidastuu ajan myötä, sillä jäljelle jäävät hiiliyhdisteet ovat yhä vaikeammin hajoavia. Lisäksi orgaanista ainetta vajoaa hapettomaan tilaan vedenpinnan alapuolelle, eli katotelmaan, missä hajoaminen on hyvin hidasta. Hapettomissa olosuhteissa tapahtuvan hajotuksen lopputuotteena syntyy lähinnä metaania (Laine ym. 2000; Rydin ym. 2006).

Suopalot voivat muokata suon kasvillisuutta ja vaikuttaa suon kosteusoloihin (Korhola & Tolonen 1998). Sillasoo ym. (2011) osoittivat kuitenkin, että ainoastaan kaikkein voimakkaimmat palot muuttavat merkittävästi suon kasvillisuutta. Sarasoilla usein rahkasammalet korvaavat putkilokasvit heti palon jälkeen. Palon jälkeen rahkasammalet saattavat rahkasuolla hetkellisesti korvautua muilla lajeilla tai kosteampiin olosuhteisiin sopeutuneilla rahkasammalilla, mutta alkuperäinen kasvillisuus palautuu nopeasti (Kuhry & Turunen 2006; Sillasoo ym. 2011). Vakavimpien palojen jälkeen kasvillisuuden palautumiseen voi kulua kuitenkin satoja vuosia (350 vuotta, Sillasoo ym. 2011). Palojen



esiintymistä ja voimakkuutta suon historiassa voidaan tutkia turpeessa säilyneiden makroskooppisten hiilipartikkelien avulla (Väliranta ym. 2007).

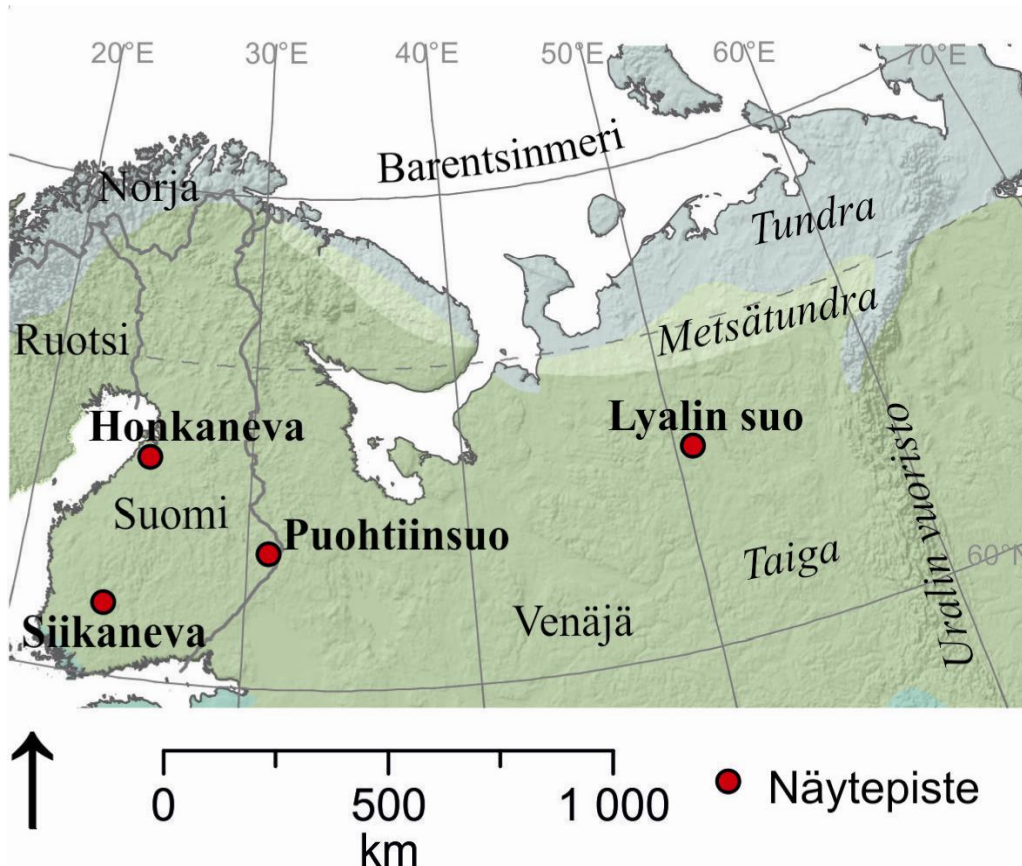
Myös suoaltaan syvyys ja sen pohjalla oleva maaperä vaikuttavat turpeen kertymiseen ja suon kehitystapaan sekä edelleen suon kasvillisuuteen (Bunting & Warner 1998).

### **3. Aineisto ja menetelmät**

Tutkimusaineistoni koostui turvenäytteistä. Tutkielman teoreettinen tausta koostui alan julkaisuista. Tutkimusmenetelminä käytin makrofossiilianalyysiä, radiohiiliajoitusta ja tilastollisia monimuuttuja-analyyseja. Tutkielmassa mainitut kasvit on nimetty putkilokasvien osalta Hämet-Ahti ym. (1998) mukaan, rahkasammalten osalta Laine ym. (2009) mukaan ja muiden sammalten osalta Rikkisen (2008) mukaan.

#### **3.1. Tutkimusalueet**

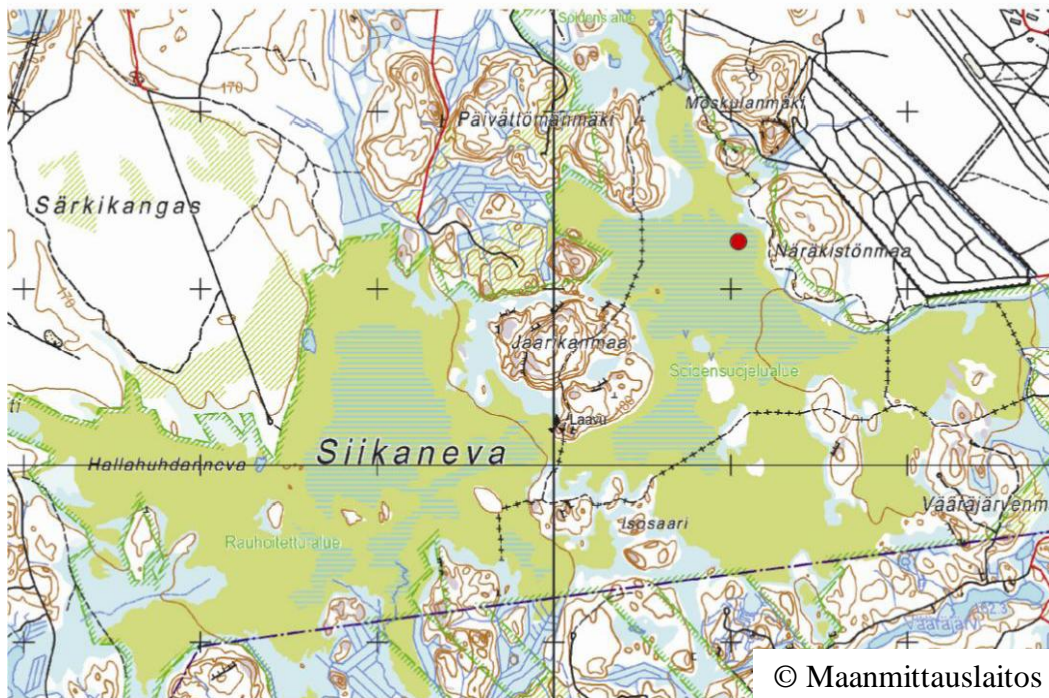
Tutkimuskohteena oli neljä rahkasuota eri puolilta boreaalista vyöhykettä (taiga) (Kuva 1).



Kuva 1. Siikanevan, Honkanevan, Puohtiinsuon ja Lyalin suon sijainti.

### 3.1.1. Siikaneva

Siikaneva on 1300 ha laaja puuton ja oligotrofinen suo, joka sijaitsee Ruovedellä eteläisen ja keskiboreaalisen kasvillisuusvyöhykkeen rajalla rahkasuovyöhykkeellä (näytepiste n.  $61^{\circ} 50.14' N$ ,  $24^{\circ} 10.16' E$ ) (Kuva 2). Se on Pirkanmaan suurin yhtenäinen suoalue ja maakunnan tärkein soidensuojelualue. Siikaneva on pääsääntöisesti sarasuo, mutta se on osin muuttunut rahkasuoksi. (Ympäristöhallinto 2012a; ICOS 2012). Suurin osa suoalueesta on täysin luonnontilassa, ainoastaan alueen reunaosia on ojitettu.

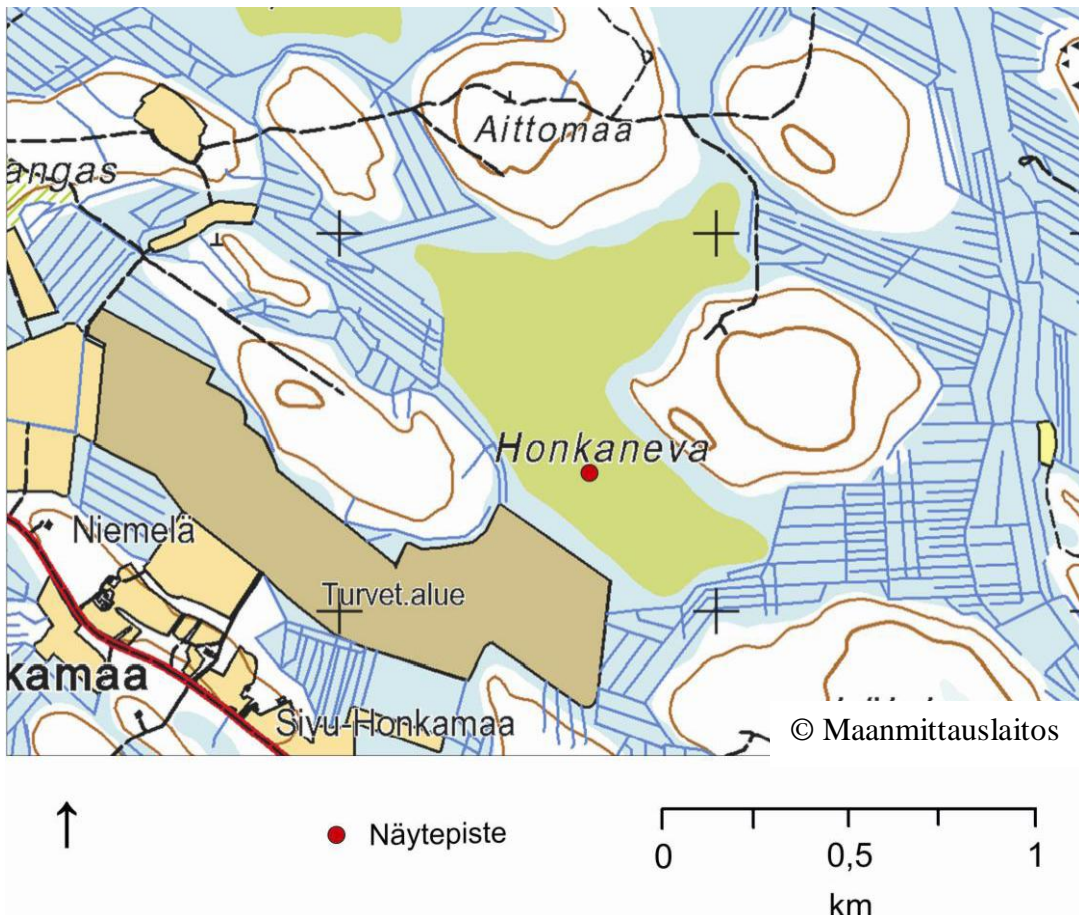


Kuva 2. Näytepisteen (n. 61° 50.14' N, 24° 10.16' E) sijainti Siikanevalla (MML 2011).

Siikanevan ombrotrofisen alueen tyypillisiä lajeja ovat muun muassa silmäkerahkasammal (*Sphagnum balticum*), punarahkasammal, vajorahkasammal (*Sphagnum majus*), tupasvilla ja leväkkö. Minerotrofisen alueen kasvillisuutta dominoivat sarat, kuten pullosara, mutasara (*C. limosa*) ja rahkasammalista esimerkiksi kalvakkarahkasammal (Hellén ym. 2006). Tässä tutkimuksessa käytetty turvenäyte on otettu rahkasuoalueelta punarahkasammal-välipinnalta. Näytepisteellä turpeen paksuus oli noin 450 cm. Lähimmän sääaseman (Juupajoki Hyytiälä 1971–2000) tietojen mukaan tutkimusalueen keskimääräinen vuosittainen sademäärä on 713 mm, vuoden keskilämpötila 3,3 °C ja heinäkuun ja tammikuun keskilämpötilat 15,5 ja -7,4 °C (Drebs ym. 2002).

### 3.1.2. Honkaneva

Honkaneva (näytepiste n. 64° 34.39' N, 25° 20.35' E) (Kuva 3), joka nimestään huolimatta on rahkasuo, sijaitsee Siikajoella keskiborealisella kasvillisuusvyöhykkeellä. Se sijaitsee sarasuovyöhykkeellä, mutta kuitenkin lähellä Etelä-Suomen rahkasuovyöhykkeen rajaa. Honkaneva on ympäristön ojituksista ja viereisestä turvesuosta huolimatta säilynyt vesitaloudeltaan suoekosysteeminä.



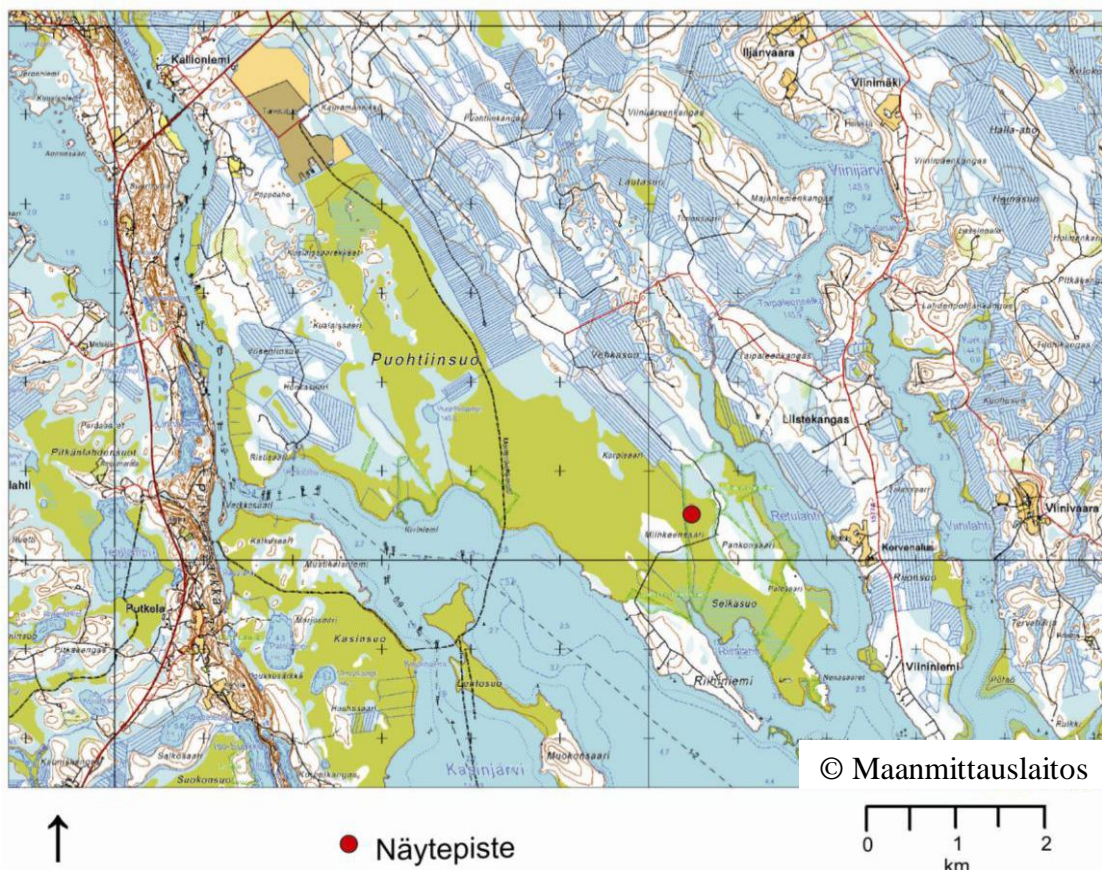
Kuva 3. Näytepisteen (n. 64° 34.39' N, 25° 20.35' E) sijainti Honkanevalla (MML 2011).

Tutkimusalueen kasvillisuudelle tyypillisiä lajeja ovat rahkasammalet, joista valtalajina esiintyy silmäkerahkasammal. Lisäksi Honkanevalla esiintyy runsaasti muun muassa suokukka, tupasvilla ja isokarpalo (*Vaccinium oxycoccos*). Tässä tutkimuksessa käytetty turvenäyte on otettu silmäkerahkasammal-välipinnalta. Näytteenottokohdassa oli turvetta noin 280 cm, jonka jälkeen alkoi savikerros.

Lähimmän sääaseman (Ruukki-Revonlahti 1971–2000) tietojen mukaan tutkimusalueen keskimääräinen vuosittainen sademäärä on 446 mm, vuoden keskilämpötila 2,3 °C ja heinäkuun ja tammikuun keskilämpötilat 15,5 ja -9,4 °C (Drebs ym. 2002).

### 3.1.3. Puohtiinsuo

Puohtiinsuo (näytepiste n. 62° 42.58' N, 31° 06.00' E) (Kuva 4) sijaitsee Pohjois-Karjalassa Ilomantsin kunnassa rahka- ja sarasuovyöhykkeiden rajan tuntumassa. Alue kuuluu keskiboreaaliseen kasvillisuusvyöhykkeeseen. Puohtiinsuon Natura-alueen pinta-ala on 891 ha (Laiho ym. 2006). Puohtiinsuo on ainutlaatuisen mittava sarasuokokonaisuus Pohjois-Karjalassa, mutta suo sisältää myös rahkasuo-osuuksia, josta tässä tutkimuksessa käytetty näyte on otettu. Puohtiinsuon pohjoisosassa on vanhaa ojitusta, joka on kuitenkin kasvamassa umpeen (Ympäristöhallinto 2012b).



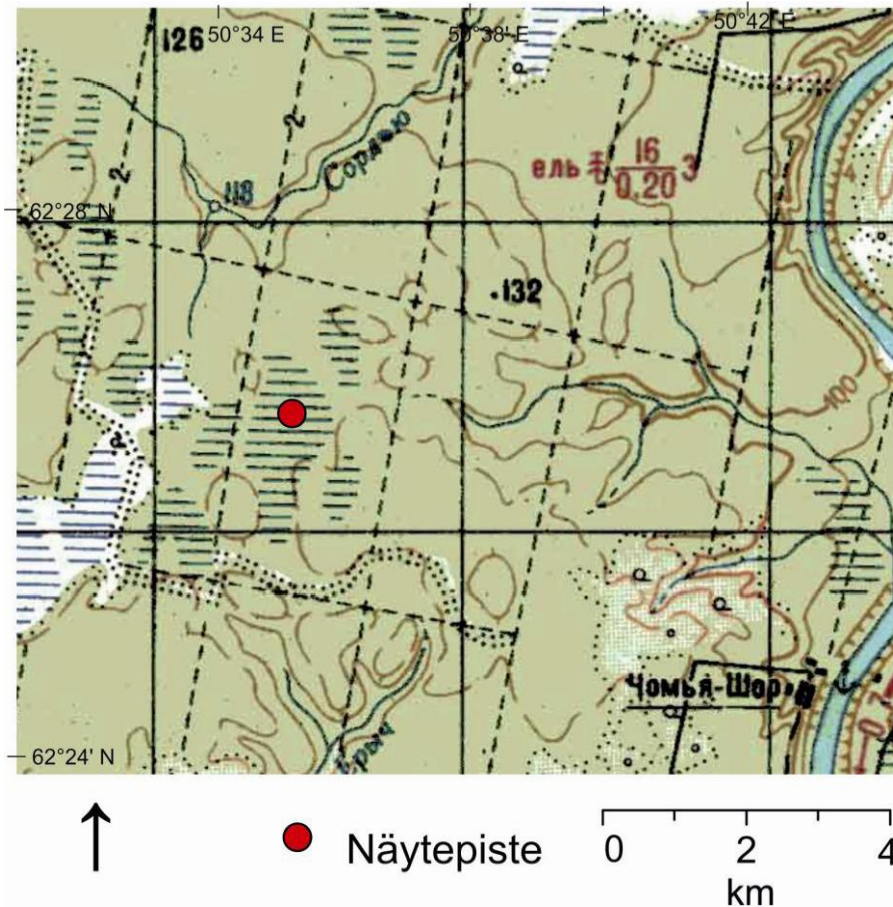
Kuva 4. Näytepisteen (n. 62° 42.58' N, 31° 06.00' E) sijainti Puohtiinsuolla (MML 2011).

Tutkimusalueen tyypillistä kasvillisuutta luonnehtivat rahkasammalet, joista valtalajeina esiintyy silmäkerahkasammal ja punarahkasammal. Muita tyypillisiä lajeja ovat esimerkiksi tupasvilla, suokukka, pyöreälehtikihokki (*Drosera rotundifolia*) ja lakka. Tässä tutkimuksessa käytetty turvenäyte otettiin Puohtiinsuon rahkasuo-osan välipinnalta, jossa valtalajina kasvoi punarahkasammal. Näytepisteessä turpeen syvyys oli 480 cm.

Lähimmän sääaseman (Ilomantsi kk 1971–2000) tietojen mukaan tutkimusalueen keskimääräinen vuosittainen sademäärä on 667 mm, vuoden keskilämpötila 2,1 °C ja heinäkuun ja tammikuun keskilämpötilat 13,4 ja -10,6 °C (Drebs ym. 2002).

#### 3.1.4. Lyalin suo

Euroopan puoleisella Luoteis-Venäjällä sijaitseva (näytepiste n. 62° 26.55' N, E 50° 35.00' E) nimetön suo (Kuva 5) on selkeästi ombrotrofinen. Tässä tutkimuksessa käytän kyseisestä suosta jatkossa nimitystä ”Lyalin suo” läheisen kylän ja joen mukaan. Mäntyä kasvaa tasaisesti joka paikassa. Kuljuja tai allikoita ei esiinny. Mättäät ovat noin 0,5 metrin korkuisia ja niillä kasvaa vaivero, lakka ja ruskorahkasammal. Välipinnoilla puolestaan kasvaa tupasvilla, suokukka, isokarpalo sekä rahkasammalista punarahkasammal ja/tai rämerahkasammal (*Sphagnum angustifolium*) sekä silmäkerahkasammal. Turvenäyte kairattiin märältä välipinnalta, jossa kasvoi punarahkasammal ja rämerahkasammal. Näytepisteessä turpeen paksuus oli noin 200 cm.



Kuva 5. Näytepisteen (n. 62° 26.55' N, E 50° 35.00' E ) sijainti Lyalin suolla (Topmap 2012).

Ilmasto on heikosti mantereinen ja aluetta kuvaavat pitkät, melko ankarat talvet ja lyhyet, varsin lämpimät kesät. Lähimmän sääaseman (Syktyvkar, 70 km etelään) tietojen mukaan tutkimusalueen keskimääräinen vuosittainen sademäärä on 599 mm, vuoden keskilämpötila 1,0 °C ja heinäkuun ja tammikuun keskilämpötilat 16,9 ja -15,0 °C (Tutkimusryhmän Syktyvkar-sääaseman säädata, 1980–1998).

### 3.2. Kenttä- ja laboratoriomenetelmät

#### 3.2.1. Makrofossiilianalyysi

Makrofossiilianalyysissa selvitettiin turveprofiilien historiallinen kasvilajisto. Makrofossiilit ovat kasvinosia, kuten lehtiä, juurenpalasia ja siemeniä, jotka ovat säilyneet geologisissa kerrostumissa, kuten soiden turpeessa. Kun eri lajien ominaisuudet

ja niille tyypilliset elinympäristöt tunnetaan, voidaan eri aikaan esiintyneiden lajien runsauksien perusteella päätellä, millaiset olosuhteet menneisyydessä ovat vallinneet (Janssens ym. 1992). Taulukossa 1 esitellään tyypillisimpiä makrofossiililuokkia ja niiden indikoiduimpia olosuhteita. Kasvimakrofossiilit ovat kooltaan keskimäärin 0.5–2 mm (Birks 2007). Ne voidaan siitepölyjä useammin tunnistaa lajin tarkkuudelle asti, mikä mahdollistaa tarkempien paleoekologisten tutkimusten tekemisen. Mikrofossiileja suuremman koon ja/tai painon takia makrofossiilit eivät yleensä kulkeudu kovin kauas syntypaikaltaan ja edustavat siksi aikaisempia olosuhteita *in situ* eli alkuperäisellä paikallaan (Mauquoy ym. 2010).

Taulukko 1. Eri kasvinjäänteiden yleisesti indikoimat olosuhteet (muokattu Rydin & Jeglum 2006 mukaan).

Makrofossiililuokka	Indikaatio
Rahkasammalet	Erityisen tärkeä luonnehtimaan turvelajia ja kasvupaikkaa (suhde pH:n, vedenpinnan tasoon)
Ruskosammalet	Ravinteikkaat olosuhteet (korkea pH ja Ca)
Varvut	Happamien turpeiden mätäsolosuhteet
Puuaines	Olosuhteet aina karusta ravinteikkaaseen lajista riippuen
Tupasvilla	Oligo- ja ombrotrofinen tai sitä lähellä oleva turve ja vaihteleva vedenpinnan taso
Sarat	Suuri esiintyvyys indikoi märkiä olosuhteita. Indikoi minerotrofiaa.
Kortteet	Märkä sarasuo

Tässä tutkimuksessa käytetyt näytteet kairattiin välipinnoilta, jotta ne olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia keskenään. Näytteenotossa käytettiin venäläistä suokairaa (Kuva 6). Näyte otettiin siten, että sara-rahkaturvekontakti jäi kairausnäytteen keskiosaan, jotta se säilyi mahdollisimman häiriintymättömänä. Näytteet pakattiin mahdollisimman ilmatiiviisti ja pakastettiin myöhempää käsittelyä varten. Tutkimuksessa käytetyt turveprofiilit kairattiin kesällä 2011 paitsi Lyalin suon näyte kesällä 2008.





Kuva 6. Vasemmalla näytteenottoa Puohtiinsuolla, oikealla turvenäyte venäläisessä suokairassa.

Laboratoriossa turvenäytteet jaettiin 1 tai 2 cm viipaleisiin (Kuva 7). Lyalin suon pintanäyte viipaloitiin 1 cm:n välein. Tutkimuksen edetessä kuitenkin huomattiin, että sarasuo-rahkasuovaihe oli oletettua pitkäkestoisempi, joten loppujen näytteiden viipalointiväliä päätettiin suurentaa, jotta työmäärä saatiin rajattua Pro Gradu -työtä vastaavaksi. Näin ollen Lyalin suon pohjanäytteestä otettiin 1 cm:n näytteitä kuuden cm:n välein ja Siikanevan, Puohtiinsuon ja Honkanevan näytteet viipaloitiin 2 cm:n viipaleisiin, joista makrofossiilianalyysi tehtiin joka kolmannesta näytteestä eli kuuden cm:n välein.



Kuva 7. Turvenäytteen viipalointia laboratoriossa.

Makrofossiilianalyysi tehtiin Quadrat and leaf count protocol (QLC) -menetelmää mukailten (Väliranta ym. 2007). Viipaloiduista näytteistä otettiin tilavuustarkka ( $5\text{cm}^3$ ) näyte, joka puhdistettiin juoksevan veden alla  $140\ \mu\text{m}$ :n seulan avulla. Seulalle jäljelle jäävästä turvenäytteestä analysoitiin erilaisten kasvijäänteiden (putkilokasvit, sammalet, puuaines, tunnistamaton orgaaninen aines) peittävyys prosentteina stereomikroskoopin avulla. Tämä tapahtui ottamalla näytettä petrimaljalle ja arvioimalla eri ryhmien suhteellinen peittävyys taustalla olevan millimetripaperin avulla. Arviointiin käytettiin koko näyte 3-7 osassa. Siementen, lehtien, hiilipartikkelien ja tupasvillan kääpiövarsien määrä laskettiin kappalemääränä. Tällä tavalla tutkittiin jokainen näyte.

Jos rahkasammalten peittävyys näytteessä oli yli 15 %, määritettiin rahkasammalet lajilleen valomikroskoopin avulla. Preparaatti valmistettiin ottamalla huuhdotusta näytteestä satunnaisnäyte pipetillä aluslasille, värjäämällä se punaiseksi safraniinilla ja asettamalla päälle peitinlasi. Preparaatilta tunnistettiin ja laskettiin valomikroskoopin avulla 100 lehteä (tai enemmän). Laskettujen lehtien perusteella määritettiin eri rahkasammallajien osuudet tutkitulla syvyydellä suhteuttamalla eri lajien osuudet rahkasammalten peittävyteen koko näytteessä.

### 3.2.2. Radiohiiliajoitus

Radiohiiliajoitus on yleisin tapa määrittää turpeen ikää. Radiohiiliajoitus perustuu radioaktiivisen hiilen isotoopin  $^{14}\text{C}$ -puoliintumisaikaan, joka on  $5\,568 \pm 30$  vuotta (Libby ym. 1949; Arnold & Libby 1951). Koska  $^{14}\text{C}$ -isotoopin määrä ilmakehässä tiettyinä ajanjaksona tunnetaan, sitä voidaan käyttää kasvinäytteen ajoittamiseen. Ilmakehästä radiohiili on joutunut kasveihin yhteyttämisen kautta ja se sitoutuu näin eloperäiseen aineeseen. Kun kasvi kuolee, siihen ei enää kulkeudu ilmakehän radiohiiltä. Kaikessa eloperäisessä aineessa on siis radioaktiivista isotooppia eliön kuollessa samassa suhteessa kuin sitä on ympäröivässä ilmakehässä. Eliön kuoleman jälkeen radioaktiivisen isotoopin määrä alkaa vähetä sen puoliintumisajan ilmoittamassa suhteessa. Mittaamalla radiohiilen määrä voidaan orgaanisesta aineesta otettu näyte ajoittaa.

Tässä tutkimuksessa radiohiiliajoitusta käytettiin selvittämään ajankohdat, jolloin tutkittujen soiden kasvillisuudessa on tapahtunut muutoksia. Käytännössä ajoitettavat näytteet otettiin niistä kohdista, joissa turve muuttuu saraturpeesta tupasvilla-valtaiseksi turpeeksi ja kohdista, joissa tupasvillaturve muuttuu rahkaturpeeksi. Jos makrofossiilianalyysin perusteella ei pystytty arvioimaan ainoastaan yhtä kohtaa, jossa nämä muutokset ovat tapahtuneet, otettiin näytteitä useammasta kohdasta, kuten Honkanevan tapauksessa. Kaikkiaan radiohiiliajoitukseen lähetettiin 14 bulk-turvenäytettä. Näytteet ajoitettiin luonnontieteellisen keskusmuseon ajoituslaboratoriossa. Turvenäytteille käytettiin ns. acid-alkali-acid (AAA) käsittelyä (esim. Higham 2002). Ajoitusten tulokset on annettu kalibroituina vuosina nk. nollavuodesta 1950 AD lukien. Alkuperäiset radiohiilitulokset (BP) on korjattu ajoituslaboratoriossa kalenterivuosisiksi (cal. BP) käyttäen Intcal09-korjauskäyrää (Reimer ym. 2009) ja Oxcal 4.1 ohjelmistoa (Bronk-Ramsey 2009). Myös tekstissä viitattujen tutkimusten ajoitustulokset on annettu kalibroituina (cal. BP). Jos viitatuissa tutkimuksissa iät on alun perin annettu kalibroimattomina, ne on kalibroitu ja merkitty kirjoittajan kalibroimiksi (cal. BP\*\*). Tällöin kalibrointi on tehty CalPal-ohjelmalla (CalPal 2012). Ajoituslaboratorion ilmoittamat radiohiiliajoitusten virherajat vaihtelivat välillä  $\pm 29\text{--}54$  vuotta.

### 3.3. Tilastolliset menetelmät

Aineistoa lähestyttiin myös monimuuttuja-analyysien avulla. Aineiston esikäsittelyyn käytettiin Microsoft Officen Excel -taulukkolaskentaohjelmaa. Analyysit tehtiin R-ohjelmassa (R Development Core Team 2011). Mallinnuksessa käytettiin tietoja eri lajien ja lajiryhmien suhteellisista osuuksista, turpeen paksuudesta, näytteen iästä ja palomuuttujista jokaisen suon jokaisella näytesyvyydellä (yhteensä 200 näytettä). Näytteiden iät laskettiin radiohiiliajoitusten perusteella käyttämällä toisen asteen polynomifunktiota (Siikaneva, Puhotiinsuo ja Lyalin suo) ja sig-moodia (Honkaneva). Kappalemäärinä lasketut lajimäärät otettiin aluksi mukaan muodossa 1 tai 0 (esiintyy, ei esiinny), mutta koska tämä ei muuttanut tuloksia, kappalemääräisinä lasketut lajit jätettiin pois analyyseistä.

Lajiaineistoa tarkasteltiin aluksi oikaistun korresponndenssianalyysin (Detrended correspondence analysis, DCA) (Hill 1979) avulla. DCA:ssa muuttujien eli kasvilajien ja kasviryhmien jakautuminen ensimmäisen ordinaatioakselin suuntaisesti (ominaisvektori eli gradientin pituus) kertoo aineiston varianssin suuruudesta. Gradientin pituudesta voidaan päätellä, onko kasvillisuuden vastefunktio ympäristömuuttujiin lineaarinen (gradientti pienempi kuin 2 keskihajontayksikköä (s.d., *standard deviation* (Birks 1995)), vai unimodaalinen (gradientti suurempi kuin 2 s.d.). DCA:ssa erot eri kasvilajien välillä osoittautivat selkeiksi ja lajien unimodaalisuus tuli esille. Toisin sanoen DCA:ssa gradientit olivat pitkät (yli 2 s.d.).

Ympäristömuuttujien vaikutuksesta lajistoon tehtiin hajonnan ositus (variation partitioning, Borcard ym. 1992). Se on menetelmä, jonka avulla voidaan selvittää, kuinka suuri osa selitettävän muuttujan vaihtelusta voidaan selittää eri muuttujien yksittäisillä ja yhteisillä suhteellisilla osuuksilla ja kuinka suuri on selittämättömäksi jäävän hajonnan määrä. Hajonnan ositus antaa siis kokonaiskuvan siitä, kuinka hyvin eri muuttujien avulla voidaan selittää vastemuuttujaa. Tässä tutkimuksessa haluttiin hajonnan osituksen avulla selvittää, miten paljon eri ympäristömuuttujat selittävät kasvillisuuden vaihtelua tutkimillani soilla. Mukana oli kolme eri muuttujaryhmää, joilla pyrittiin selvittämään vastemuuttujaa (kasvillisuus): 1) jokaisen suon yksilöllinen kehitys, 2) turpeen paksuus ja

3) palomuuttajat. Suon yksilöllinen kehitys liittyy suon autogeeniseen kehitykseen ja huomioi suon sisäisen vaihtelun. Turpeen paksuus kuvaa myös suon autogeenista kehitystä. Alloogeenista kehitystä puolestaan kuvaa palohistoria, joka sisältää neljä muuttujaa (aika palosta, palon nollahetki, palosta yli 100 vuotta ja palosta alle 100 vuotta), joiden avulla huomioidaan palon vaikutus kasvillisuuteen eri aikaväleillä. Lisäksi tarkasteltiin muutosta liittyen aikaan, jossa ikä oli muuttajana, mutta sen todettiin olevan päällekkäinen turpeen paksuuden kanssa ja jätettiin siksi pois hajonnan osituksesta.

Hajonnan ositus tehtiin R-ohjelman Vegan-kirjaston avulla, joka käyttää hajonnan osituksessa redundanssianalyysia (redundancy analysis, RDA) (van den Wollenberg 1977). RDA tutkii samanaikaisesti ympäristömuuttuja- sekä lajiaineistoja. Se on keinotekoinen muoto pääkomponenttianalyysista (Principal component analysis (PCA)), ja siinä ordinaatioakselit pakotetaan ympäristömuuttujien lineaarisiksi kokoonpanoiksi (Birks 1995). RDA:ta käytetään yleisesti yhteisöekologisiin analyyseihin (van den Wollenberg 1977, Quinn & Keough 2002). Yleisen käytännön mukaan unimodaalisia aineistoja (kuten tämän tutkimuksen aineisto) tulisi yhteisöekologisissa analyyseissa lähestyä mieluummin kanonisen korrespondenssianalyysin (canonical correspondence analysis, CCA (ter Braak 1986) avulla kuin RDA:n avulla, sillä pitkien gradienttien aineistossa monet lajit korvautuvat toisilla gradienttia pitkin ja tämä aiheuttaa paljon nollia aineistoon (Legendre & Gallagher 2001). CCA pystyy käsittelemään tällaista aineistoa paremmin kuin RDA (Ramette 2007). Toisaalta, myös CCA:n käyttämisessä on omat huonot puolensa. Esimerkiksi CCA:ssa aineistossa usein esiintyvillä lajeilla on pienempi vaikutus kuin harvinaisilla lajeilla, jolloin harvinaiset lajit voivat vaikuttaa kohtuuttoman paljon analyyysin tuloksiin (Legendre & Gallagher 2001).

Ongelma CCA:n ja RDA:n käyttämisen välillä ratkaistiin aineiston muunnoksella ennen hajonnan osituksen suorittamista. Legendre & Gallagher (2001) ovat osoittaneet, että unimodaalista dataa voidaan muokata siten, että sitä voidaan lähestyä RDA-analyysin avulla, jolloin CCA:n aiheuttamia ongelmia ei esiinny. Aineistoa muokattiin artikkelin Legendre & Gallagher (2001) mukaisesti R-ohjelman Decostand-toiminnon Hellinger-muunnoksen avulla, joka muuttaa aineiston sopivaksi RDA-analyysille ja siten hajonnan ositukselle.

## 4. Tulokset

Kaikkien tutkittujen soiden rahkoittumisessa oli havaittavissa rahkoittumisen alkaminen sarakasvillisuuden muutoksella tupasvillavaltaiseksi ja myöhemmin tupasvillavaltaisesta rahkasammalvaltaiseksi. Kuvaan näitä muutoksia termeillä sara-tupasvillavaihettuma ja tupasvilla-rahkasammalvaihettuma.

### 4.1. Makrofossiilianalyysi ja radiohiiliajoitus

#### 4.1.2. Siikaneva

Siikanevan rahkoittumisen kehitys voidaan makrofossiilianalyysin perusteella jakaa kolmeen vaiheeseen (Kuva 8). Siikanevan kehitys on lähtenyt liikkeelle rehevästä sarasuovaiheesta. Pohjimmaisessa vaiheessa (vaihe I) syvyydellä 450- 408 cm (9495 cal. BP- 7695 cal. BP) leväkkö ja sarat ovat vallitsevia. Lisäksi esiintyy jonkin verran kortteita, tupasvillaa ja raatetta. Kyseinen lajikoostumus viittaa kosteisiin ja ravinteikkaisiin suo-olosuhteisiin. Näytteen pohjalla oli havaittavissa vähäisiä merkkejä mineraalimaasta.

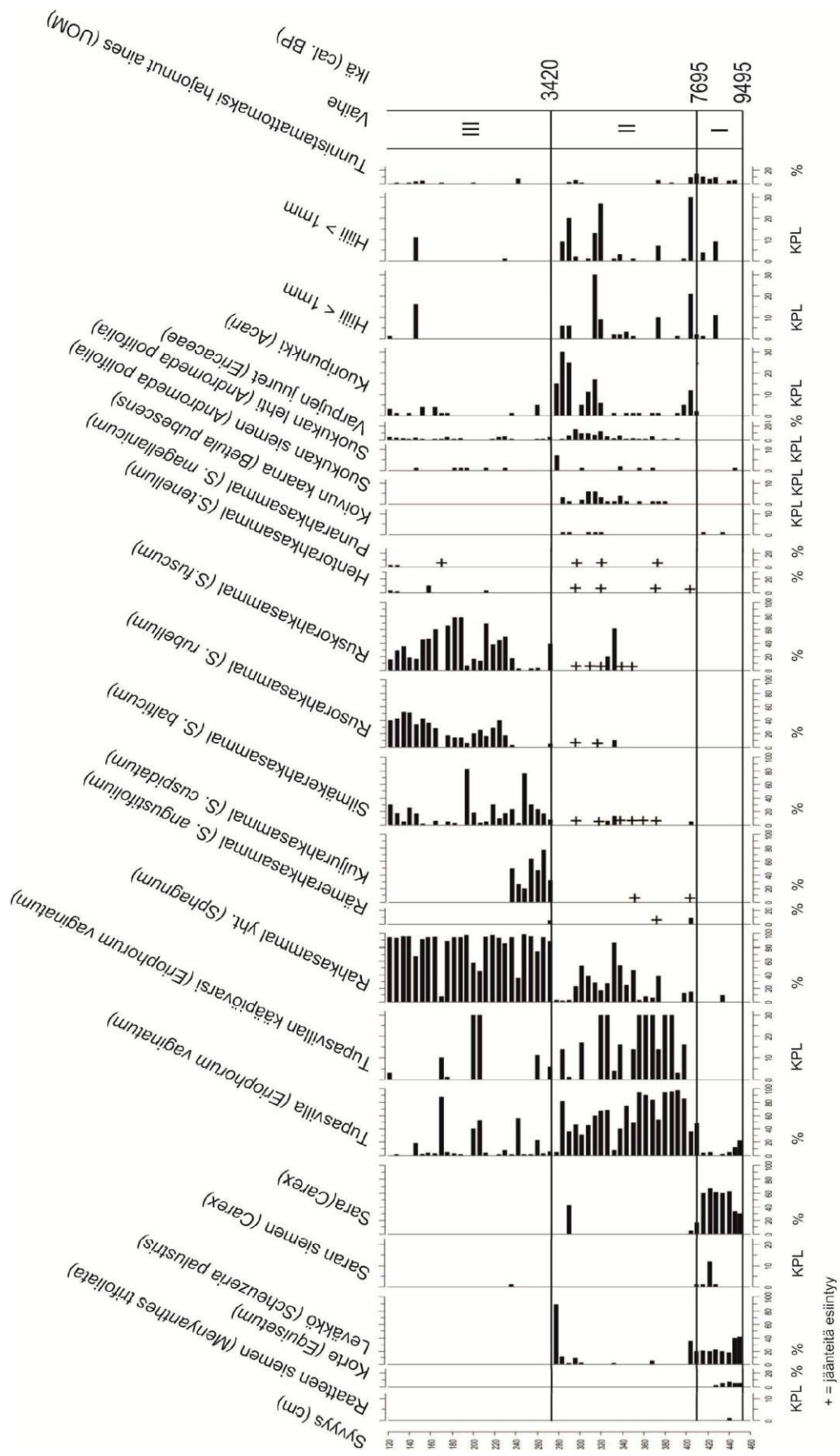
Ensimmäinen merkittävä muutos lajikoostumuksessa, sara-tupasvillavaihettuma, tapahtuu vaiheessa II (7695 cal. BP- 3420 cal. BP) alkaen syvyydestä 410–408 cm, jossa tupasvillan osuus kasvaa ja sarojen ja kortteiden osuus vähenee huomattavasti ja loppuu kokonaan. Vaiheessa II alkaa esiintyä myös rahkasammalia. Vaihe II jatkuu lähes samanlaisena aina 272–274 cm:n syvyyteen (Kuva 8). Siihen asti on havaittavissa siis tupasvillan vallitseva, mutta hiljalleen laskeva osuus ja rahkasammalten osuuden nouseva suunta. Tässä kehitysvaiheessa myös varpujen osuus kasvaa, mikä kertoo muutoksesta kohti karumpaa kasvupaikkaa. Ensimmäiset rahkasammallajit ovat rämerahkasammal ja silmäkerahkasammal ja lisäksi esiintyy yksittäisiä lehtiä kuljurahkasammalesta (*Sphagnum cuspidatum*) ja hentorahkasammalesta. Vaiheen II edetessä myös rusorahkasammalta (*S. rubellum*) ja ruskorahkasammalta alkaa esiintyä. Varsinaisia mesoeutrofisiksi ja heikosti minerotrofisiksi lajeiksi miellettyjä rahkasammallajeja ei

esiinny näytteissä ollenkaan, vaan rahkasammallajisto on alusta pitäen nimenomaan ombrotrofiselle rahkasuolle tyypillistä lajistoa.

Sara-tupasvillavaiheittuman alussa näytteessä lisääntyi merkittävästi makroskooppisten hiilipartikkelien määrä, mikä viittaa suopaloon. Vaiheen II aikana esiintyy toistuvasti myös pienempiä määriä hiilipartikkeleita. Syvyydessä 272-274 cm tapahtuu toinen selkeä muutos, tupasvilla-rahkasammalvaiheittuma, jolloin tupasvillan osuus putoaa ja rahkasammalten osuus kasvaa vallitsevaksi lajiryhmäksi (vaihe III, 3420 cal. BP ->). Vaihe III alkaa painennelajien sukkessiolla, jossa kuljuraikasammal on vallitsevana lajina. Hiilipartikkeleiden määrä kasvaa juuri ennen rahkasammalten lisääntymistä, ja suopalo onkin voinut olla syynä muutokseen kohti kostempaan sopeutunutta kasvillisuutta. Palon yhteydessä myös kosteiden kasvupaikkojen leväkkö lisääntyy hetkellisesti.

Kuljuraikasammalten esiintyminen loppuu vaiheen III edetessä. Silmäkerahasammal, rusorahasammal ja ruskorahasammal lisääntyvät kohti suon pintaa, mikä yhdessä tupasvillan osuuden vähenemisen kanssa kertoo syvemmällä olevasta ja tasaisena pysyvistä vedenpinnantasosta. Kyseinen lajisto edustaa myös tyypillistä rahkasuon lajistoa, joten tässä vaiheessa suo on muuttunut jo täysin kliimaksivaiheen rahkasuoksi.

Siikanevan ”rahkasammal yhteensä” -tulokset olivat välillä n. 300-350 cm paljon suurempia kuin eri rahkasammallajienlajien yhteismäärä. Tämä johtuu siitä, että rahkasammalten jäänteet olivat niin pitkälle hajonneita, että ne voitiin tunnistaa rahkasammaliksi, mutta eri lajien osuuksien laskeminen oli hankalaa. Näytteissä oli kuitenkin säilynyt yksittäisiä vielä tunnistettavissa olevia rahkasammalten lehtiä, joiden perusteella on kuitenkin voitu todeta lajien esiintyneen näytteessä (merkitty +). Rahkasammalet ovat voineet olla pitkälle hajonneita esimerkiksi kuivemman kauden takia, jolloin maatumisen on ollut nopeaa



Kuva 8. Siikanevan makrofossiilianalyysin ja radiohiiliajoitusten tulokset.



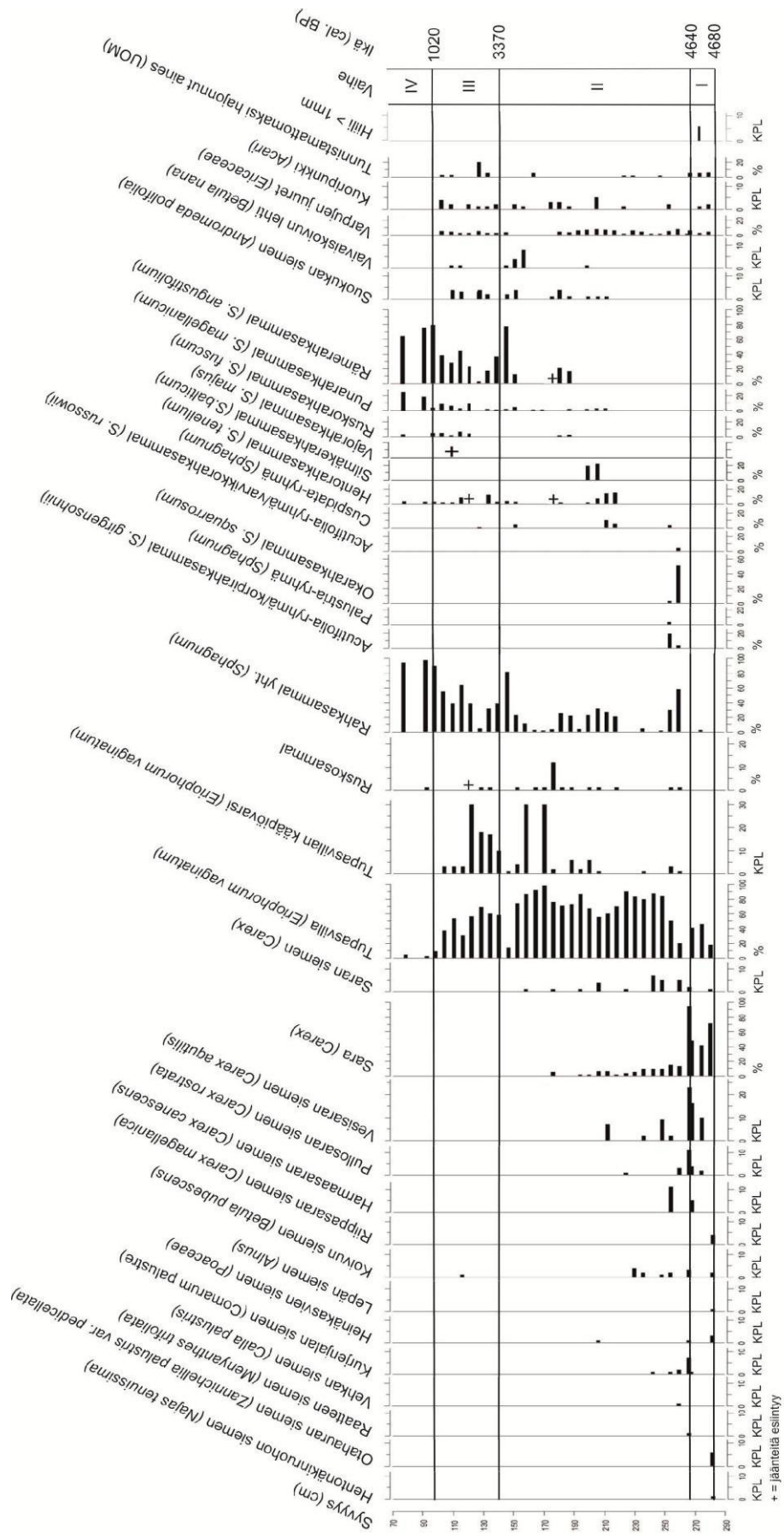
#### 4.1.2. Honkaneva

Honkanevan rahkoittumiskehitys voidaan jakaa neljään vaiheeseen (Kuva 9). Pohjanäytteestä löytyi paljon vesikasvien siemeniä, kuten nykyään uhanalainen hentonäkinruoho (*Najas tenuissima*) ja otahaura (*Zannichellia palustris* var *pedicellata*). Näiden selvästi vesikasvien (makea tai murtovesi) siementen, suon sijainnin ja pohjanäytteessä esiintyneen saven perusteella suon voidaan sanoa kehittyneen primäärisukcession kautta alueen kohottua merestä maankohoamisilmiön seurauksena. Suon kehityksen alkuvaiheessa (vaihe I, 280-266 cm, 4680 cal. BP-4640 cal. BP) sarat ovat valtalajina ja tupasvillan osuus kasvaa hiljalleen. Rahkasammalia ei esiinny juuri ollenkaan. Myös sarojen, lepän (*Alnus spp.*), koivun (*Betula spp.*) ja heinäkasvien (*Poaceae*) siemeniä esiintyy. Sarojen siementen suuri määrä kertoo siitä, että olosuhteet olivat tuolloin sarasuon syntymiselle suotuisat. Tämä vaihe suon kehityksessä on lyhyt, vain muutaman vuosikymmenen pituinen. Vaiheessa I on tapahtunut yksittäinen palo, josta ei ole seurannut välitöntä muutosta kasvillisuudessa, mutta joka on kuitenkin voinut vaikuttaa vaiheen II käynnistymiseen.

Turpeen kertymisen ja rannansiirtymisen myötä vesikasvien esiintyminen loppuu sara-tupasvillavaiheessa vaiheessa II (266- 144 cm, 4640- 3370 cal. BP). Kosteisiin ja ravinteikkaisiin olosuhteisiin sopeutuneiden kasvien jäänteistä puolestaan esiintyy yhä vehka (*Calla palustris*), raate, kurjenjalka (*Comarum palustre*) ja ruskosammalet. Sarat eivät enää esiinny valtalajina vaan niiden osuus putoaa ja jatkaa pienenemistään vaiheen II aikana. Tupasvilla on vallitseva laji, mutta myös rahkasammalten osuus on melko suuri. Rahkasammalista aluksi runsaimpana esiintyy okarahkasammal (*Sphagnum squarrosum*), joka kuvastaa minerotrofisia olosuhteita. Lisäksi esiintyy palustria- ja cuspidata- ryhmän lajeja ja luultavasti korpilahkasammal (*Sphagnum girgensohnii*), joka on ekologiaaltaan minerotrofinen (tunnistus ei täysin varma) ja varvikkorahkasammal (*Sphagnum russowii*). Vaiheen II edetessä lajisuhteet pysyvät jokseenkin samanlaisina, mutta rahkasammalten lajikoostumus muuttuu kohti kosteamman paikan olosuhteita, kun hentorahkasammal ja silmäkerahkasammal yleistyvät. Lisäksi punarahkasammalta, ruskorahkasammalta ja suokukan jäänteitä alkaa esiintyä. Näiden lajien esiintyminen yhdessä on tyypillistä rahkasuille ja osoittaa selkeästi suon alkaneen muuttua sarasuosta kohti rahkasuota.

Tupasvilla on kuitenkin edelleen dominoiva laji. Vaiheen II loppua kohden myös rämerahkasammalta alkaa esiintyä melko runsaasti.

Honkanevan tupasvilla-rahkasammalvaiheittuma on kaksivaiheinen (III ja IV). Vaiheessa III (144- 102 cm, 3370- 1020 cal. BP) tupasvillan osuus alkaa laskea pysyvästi. Tupasvillan kääpiövarsia esiintyy kuitenkin yhä syvyydelle 102 cm saakka, eli olosuhteet vaiheessa III olivat vielä suotuisat tupasvillan lisääntymiselle. Tästä syvyydestä lähtien suon voidaan sanoa muuttuneen kokonaan rahkasuoksi, sillä tupasvillan jäännösten osuus on pieni ja rahkasoille tyypilliset rahkasammalet rämerahkasammal ja punarahkasammal vallitsevat (vaihe IV, 102 cm ->, 1020 cal. BP ->). Myös ruskorahkasammalta ja hentorahkasammalta esiintyy hieman.



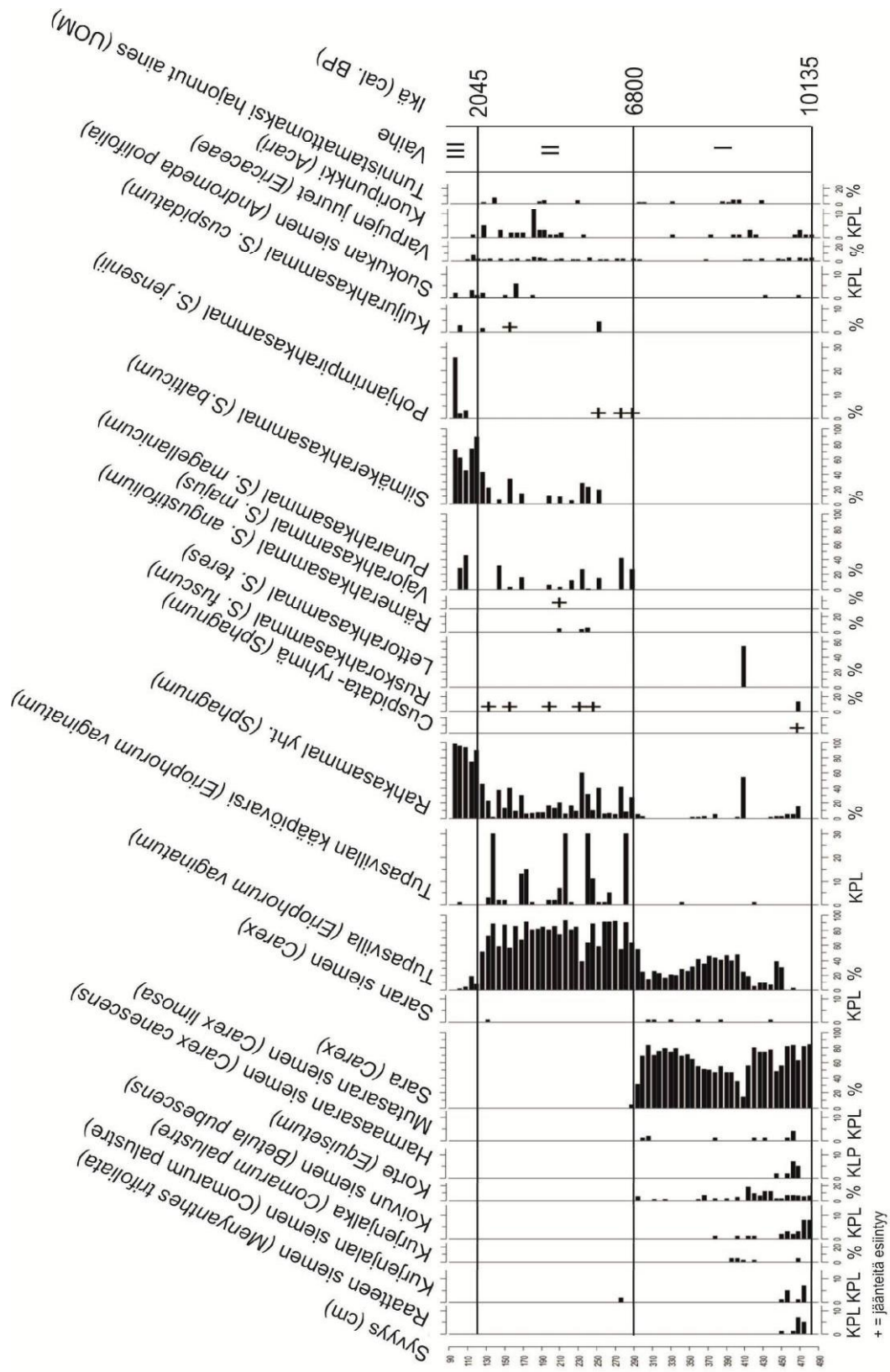
Kuva 9. Honkaneyan makrofossiilianalyysin ja radiohiiliajoitusten tulokset.

#### 4.1.3. Puohtiinsuo

Puohtiinsuon rahkoittumiskehitys voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen (Kuva 10). Turpeen pohjimmaisista näytteistä ei löytynyt savea eikä mineraalimaata, joten todennäköisesti kaira ei tunkeutunut mineraalimaahan tarpeeksi syvälle, ja siksi ensimmäiset turvesentit mahdollisesti puuttuvat. Vaiheessa I (480-288 cm, 10 135- 6800 cal. BP) sarat ovat vallitseva lajiryhmä pohjasta alkaen. Lisäksi esiintyy eutrofisia/mesotrofisia lajeja, joita ovat raate, kurjenjalka, koivu ja kortteet. Tämä ravinteikas sarasuovaihe edustaa aivan holoseenin alkuvaihetta. Tupasvillaa alkaa esiintyä vaiheessa I syvyydellä 460–462 cm. Rahkasammalia esiintyy vähän. Tilanne jatkuu samansuuntaisena aina syvyydelle 286–284 cm saakka. Syvyydessä 406–408 cm kuitenkin tapahtuu nopea ja lyhytkestoinen muutos, jossa sarojen määrä laskee nopeasti ja lettorahkasammal on vallitseva laji. Lettorahkasammal on ekologiaaltaan selvästi minerotrofinen.

Sara-tupasvillavaihtuma tapahtuu vaiheessa II (284- 124 cm, 6800- 2045 cal. BP), kun sarojen esiintyminen loppuu ja tupasvilla vaihtuu nopeasti vallitsevaksi lajiksi. Myös rahkasammalia alkaa esiintyä punarahkasammalen ja silmäkerahkasammalen ollessa vallitsevat lajit. Molemmat lajit voivat esiintyä melko vaihtelevissa olosuhteissa ombrotrofiasta minerotrofiaan.

Vaihetta II seuraa tupasvilla-rahkasammalvaihtuma (vaihe III, 124 cm ->, 2045 cal. BP ->). Tällöin rahkasammalet vaihtuvat nopeasti vallitsevaksi lajiksi ja tupasvillan osuus pienenee huomattavasti ja suon voidaan sanoa muuttuneen kokonaan rahkasuoksi. Rahkasammalista silmäkerahkasammal on vallitseva. Poikkeuksena muihin tutkittuihin soihin Puohtiinsuon turveprofiilin pintaosissa esiintyy myös pohjanrimpirahkasammal (*Sphagnum jensenii*), joka on tyypillinen sarasuolaji.



Kuva 10. Puohtiinsuon makrofossiilianalyysin ja radiohiiliajoitusten tulokset.

#### 4.1.4. Lyalin suo

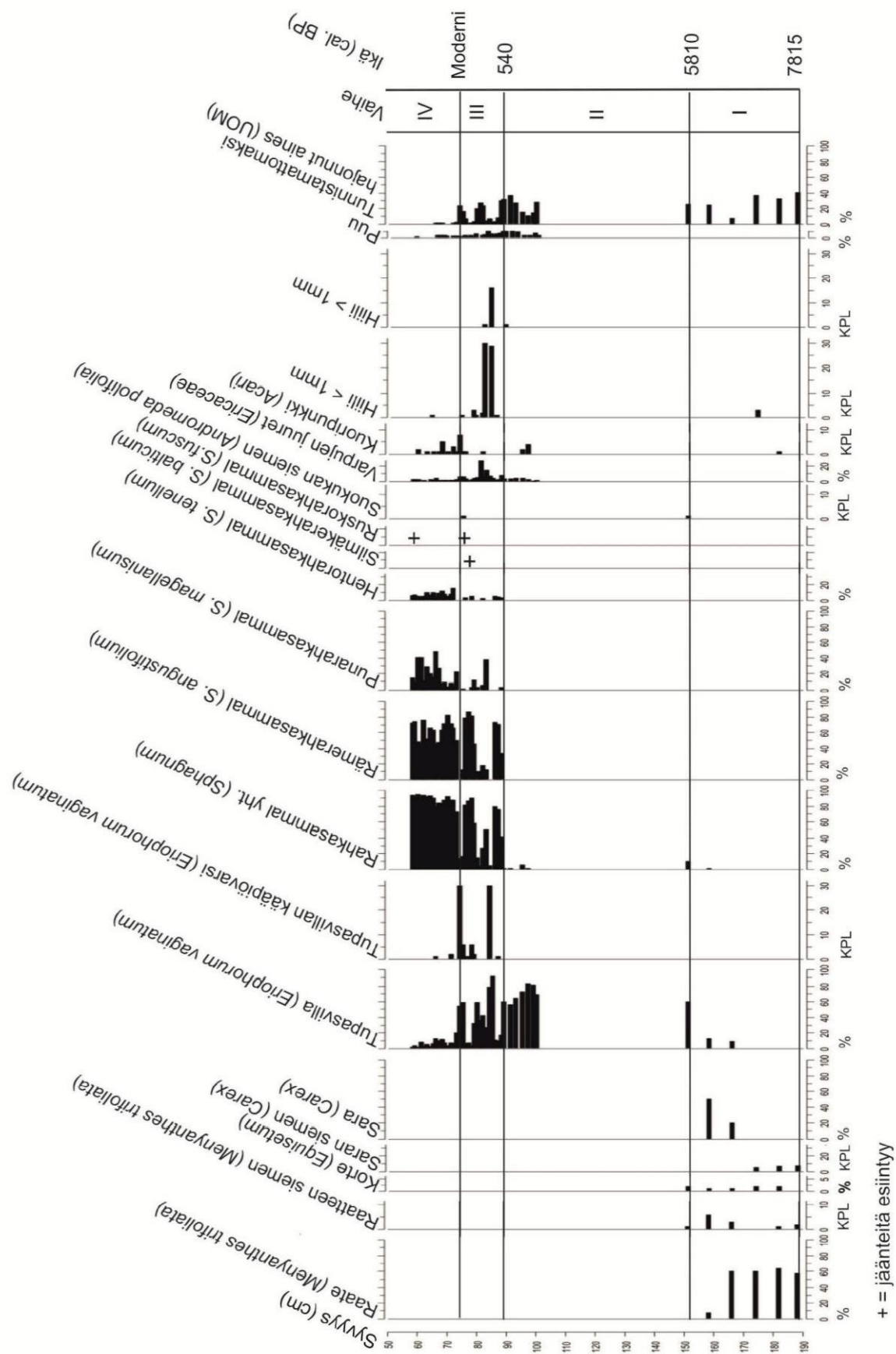
Lyalin suon turveprofiilissa on katkos välillä 150- 100 cm. Lisäksi profiilin pinta- ja pohjanäytteet on otettu eri kohdista suota. Koska yhtenäistä näytettä ei ollut saatavilla, päädyttiin tässä tutkimuksessa yhdistämään kahdesta eri kohdasta otetut näytteet, jotta saadaan tutkittua suon rahkoittumisen kehitys mahdollisimman kattavasti. Näytettä kairattaessa kaira osui mineraalimaahan, mutta näytteessä oli ainoastaan turvetta.

Lyalin suon rahkoittuminen voidaan jakaa neljään vaiheeseen (Kuva 11). Vaiheen I (188-151 cm, 7815-5810 cal. BP) kasvijäänteet ovat melko pitkälle hajonneita, mistä kertoo tunnistamattomaksi hajonneen kasvimateriaalin (UOM) suuri osuus. Märkiin kasvupaikkoihin sopeutunut raate on vallitseva laji pohjanäytteessä. Pohjanäytteistä löytyi lisäksi sarojen ja raatteen siemeniä sekä kortteiden juuria.

Vaiheen II alussa tupasvilla muuttuu vallitsevaksi lajiksi ja sara-tupasvillavaihe alkua (151- 88 cm, 5810-540 cal. BP), joka jatkuu myös näytteen katkoksen jälkeen. Vaiheessa II tunnistamattomaksi hajonneen aineksen osuus on edelleen suuri. Noin syvyydellä 84–82 cm hiilipartikkelien määrä lisääntyy voimakkaasti, mikä viittaa suopaloon. Juuri ennen paloa rahkasammalten osuus on kääntynyt kasvuun. Palon aikana niiden osuus kuitenkin romahtaa ja hyvin paloja kestävän tupasvillan osuus kasvaa. Hiilipartikkelien esiintymisen loputtua alkua tupasvilla-rahkasammalvaihe, joka voidaan jakaa kahteen vaiheeseen (III ja IV). Vaihe alkua rahkasammalten osuuden nopealla nousulla ja tupasvillan osuuden pienenemisellä. Muutos ei kuitenkaan jatku tasaisesti vaan sahaa edestakaisin välillä tupasvillan ollessa vallitseva laji ja välillä rahkasammalten (vaihe III, 88- 74 cm, 540 cal. BP- moderni). Rahkasammalista ensimmäisenä ilmestyy rämerahkasammal ja se on vallitseva rahkasammallaji lähes koko rahkoittumisen ajan. Sillä on laaja sietokyky elinympäristön suhteen: laji voi esiintyä ombrotrofiasta keskitason minerotrofiaan. Myös punarahkasammalta ja hentorahkasammalta esiintyy. Varpujen (*Ericaceae*) jäänteiden osuus kasvaa, kun suo muuttuu kohti rahkasuvaihetta. Vaiheen IV alkaessa syvyydellä 72–73 cm (moderni) rahkasammalten dominoiminen muuttuu pysyväksi ja tupasvillan osuus pienenee

huomattavasti. Tässä vaiheessa myös tunnistamattomaksi hajonneen aineksen osuus pienenee huomattavasti.

Vaikka Lyalin suon turveprofiilissa on 50 cm katkos, voidaan suon kehityksen olettaa kulkeneen samansuuntaisesti kuin muiden tutkittujen soiden eli alkuvaiheen sarasuosta tupasvilla-vaiheen kautta rahkasammalvaltaiseksi ombrotrofiseksi suoksi.



+ = jäänteitä esiintyy

Kuva 11. Lyalin suon makrofossiilianaalysin ja radiohiiliajoitusten tulokset.



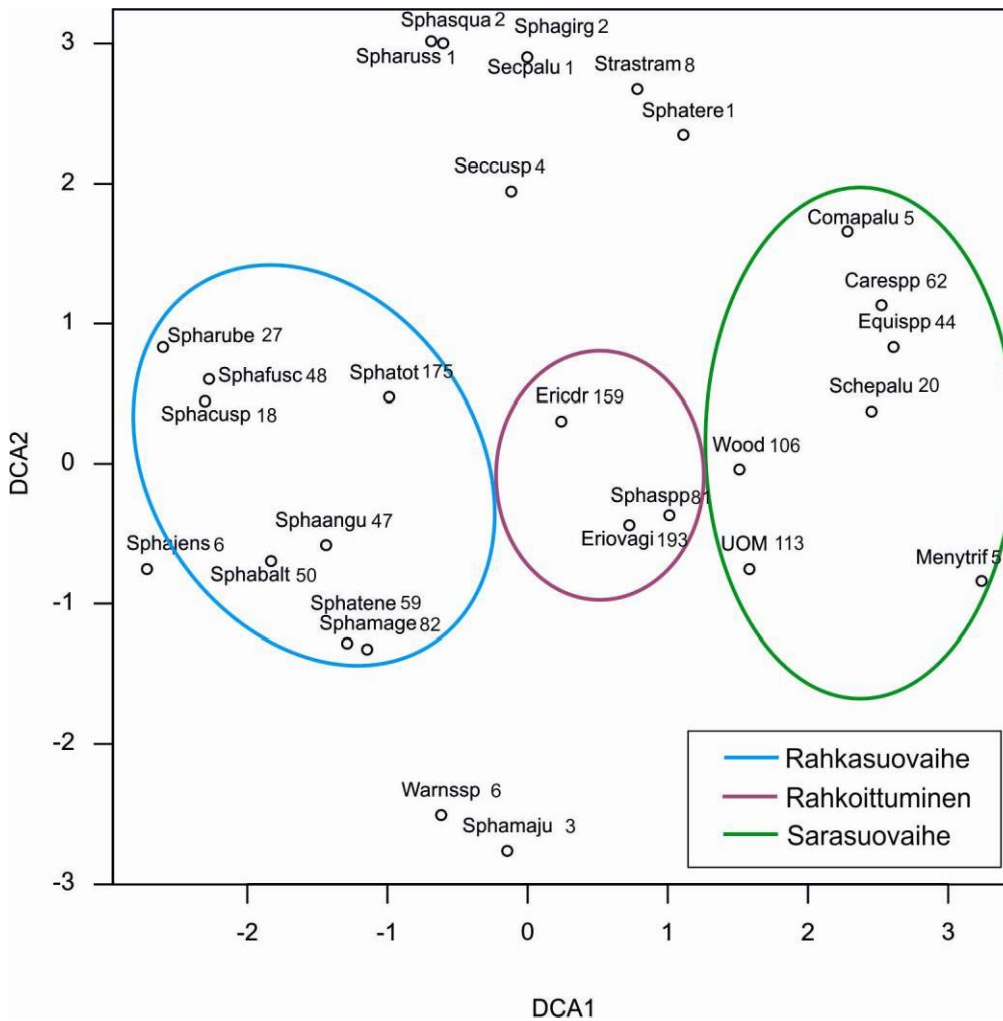
## 4.2. Tilastolliset menetelmät

### 4.2.1. DCA

Koko kasvillisuusaineistosta tehtiin oikaistu korrespondenssianalyysi (DCA) (Kuva 12). Ordinaation ominaisarvot (eigenvalue) olivat järjestyksessä 0,71, 0,41, 0,37 ja 0,31. Ominaisarvot kertovat, kuinka hyvin ordinaation akselit pystyvät selittämään havaittujen muuttujien hajontaa. Mitä suurempi akselin ominaisarvo on, sitä paremmin se selittää muuttujien hajontaa ja päinvastoin. Ordinaation 1. akseli (DCA1) selittää siis kasvillisuuden vaihtelua parhaiten. DCA-kuvan perusteella voidaan päätellä, että erot eri kasvilajien välillä ovat selkeitä ja lajien unimodaalisuus tulee esille (gradienttien pituus yli 2 s.d.).

Sukessiogradientti muodostaa aineiston päävaihtelusuunnan: ravinteikkuuden vähetessä, pH:n laskiessa ja vedenpinnantason laskiessa 1. akselin arvo pienenee. Kasvillisuus vaihtuu sukessiogradientilla sarasuolajistosta ombrotrofiseksi mätäslajistoksi. Kasvijäänteet muodostavat kolme selkeää ryhmää, jotka sijoittuvat 1. akselin eri osiin. Akselin alkupäässä olevat jäänteet edustavat rahkasuo-yhteisöä, keskivaiheilla olevat sarasuo-rahkasuovaihettumaa ja akselin loppupäässä olevat sarasuo-yhteisöä. Sarasuovaiheen tyypillisiä kasvijäänteitä ovat sarat, kortteet, leväkkö, raate, kurjenjalka ja puuaines. Myös tunnistamattomaksi hajonneen aineksen osuus on tyypillisempää sarasuovaiheelle. Tupasvillan, rahkasammalten ja varpujen jäänteiden esiintyminen 1. akselin keskivaiheilla kuvaa rahoittumisilmiötä sarasuosta rahkasuoksi. Rahkasuovaiheen tyypillisiä kasvijäänteitä puolestaan ovat ruskorahkasammal, rusorahkasammal, kuljurahkasammal, rämerahkasammal, silmäkerahkasammal, hentorahkasammal ja punarahkasammal. Minerotrofinen pohjanrimpirahkasammal sijoittuu lajistoordinaatiossa rahasuovaiheeseen sen epätyypillisen esiintymisen takia Puohtiinsuon rahkasuovaiheessa. Esimerkiksi eläinten jätösten aiheuttama ravinnetason kasvaminen voi olla syynä sarasuolajin esiintymiseen olosuhteiltaan muuten ombrotrofisessa ympäristössä.

2-akselin (DCA2) vaihtelua ei pystytä selittämään tietyn ympäristömuuttujan avulla. Vaihteluun näyttäisi vaikuttaneen se, kuinka usein laji esiintyy aineistossa. Harvinaiset lajit ovat sijoittuneet 2. akselin molempiin ääripäihin ja sen sijaan yleisesti esiintyneet lajit akselin keskivaiheille. Harvinaisuudet jäävät myös 1. akselin mukaan tehdyn ryhmittelyn ulkopuolelle.

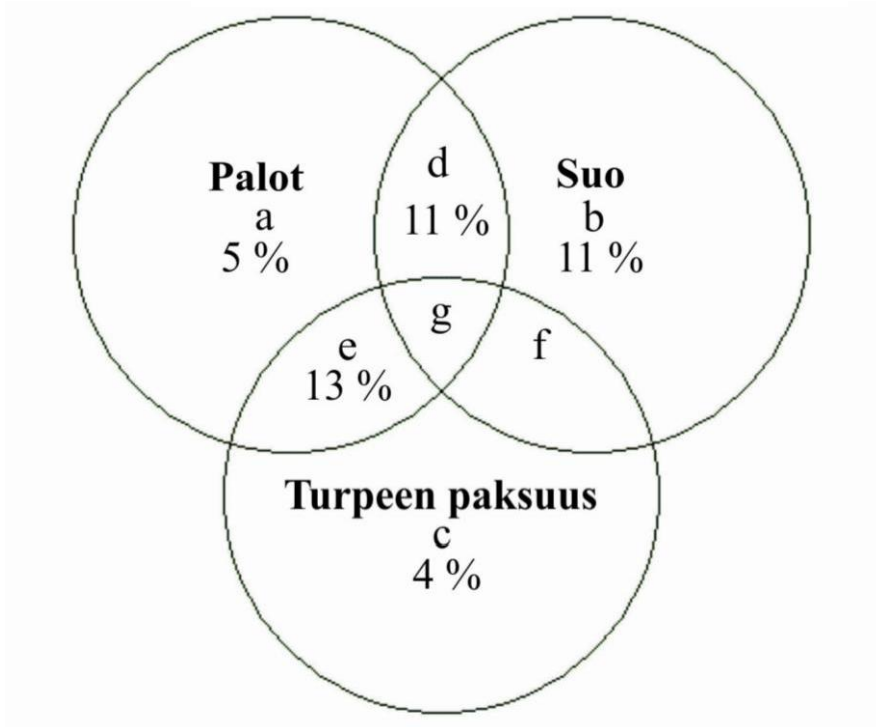


Kuva 12. DCA:n tulokset. Lajisto-ordinaatiossa minerotrofiaa ilmentävät lajit asettuvat 1. akselin (DCA1) oikeaan reunaan, sarasuo-rahkasuovaihettuma keskivaiheille ja ombrotrofiset lajit vasempaan reunaan. Lajien lyhenteet liitteen 1 taulukossa. Lyhenteen perässä oleva luku ilmoittaa, kuinka monta kertaa laji esiintyy aineistossa.

#### *4.2.2. Hajonnan ositus: Muuttujaryhmien yksittäiset ja yhteisvaikutukset*

Muuttujaryhmien yksittäisiä ja yhteisvaikutuksia kasvillisuuteen tarkasteltiin hajonnan osituksen avulla (Kuva 13). Hajonnan osituksen avulla selvitettiin *a.* palohistorian yksittäinen vaikutus, *b.* suon yksilöllisyyden yksittäinen vaikutus, *c.* turpeen paksuuden yksittäinen vaikutus, *d.* suon yksilöllisyyden ja palohistorian yhteisvaikutus, *e.* turpeen paksuuden ja palohistorian yhteisvaikutus, *f.* suon yksilöllisyyden ja turpeen paksuuden yhteisvaikutus ja *g.* kaikkien muuttujaryhmien yhteisvaikutus kasvillisuuteen sekä *U.* selittämätön vaihtelu. Kaikki muuttujat selittävät vaihtelusta melko vähän, 35 %, selittämättömän vaihtelun ollessa 65 %. Tähän tulokseen vaikuttavat kuitenkin negatiivisten vaikutusten osuudet. Jos huomioidaan pelkästään positiiviset arvot saaneet vaikutukset, ne selittävät yhdessä hieman alle puolet eli 44 % vaihtelusta, jolloin selittämätöntä vaihtelua on 56 %. Yksittäisistä vaikutuksista suurin on soiden yksilöllisellä vaihtelulla, joka selittää 11 % vaihtelusta. Turpeen paksuus selittää 4 % ja palot 5 % vaihtelusta. Turpeen paksuuden ja palojen yhteisvaikutus selittää 13 % ja palojen ja suon yhteisvaikutus 11 % vaihtelusta. Kaikkien muuttujien yhteisvaikutus sekä paksuuden ja suon yhteisvaikutus ovat negatiivisia eikä niitä siksi ole esitetty kuvassa 1. Negatiivinen vaikutus kertoo siitä, että muuttujien keskinäinen kolinearisuus, eli voimakkaan keskinäisen yhteyden vaikutus, on merkittävämpi kuin näiden muuttujien yhteisvaikutus suhteessa kasvillisuuteen. Tällöin niiden yhteisvaihtelun merkitys kasvillisuuden selittämisessä jää epäselväksi. Selittävien tekijöiden tilastollinen merkitsevyys testattiin Monte Carlo-permutaatiomenetelmällä. Kaikkien muuttujien vaikutus kasvillisuuteen oli tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0,05$ ).

## Selittämätön vaihtelu (U) 65 %



Kuva 13. Hajonnan osituksen tulokset, jossa vastemuuttujana kasvillisuus.

## 5. Tulosten tarkastelu

### 5.1. Avainlajeja ja syitä niiden selviytymiseen

Ensimmäinen tutkimuskysymyksistäni oli ”Mitkä kasvilajit ovat avainasemassa, kun muutos sarasuosta kohti rahkasuota alkaa?”. Ensimmäisenä tutkimushypoteesina esitin, että tietyt lajit kuten tupasvilla ja punarahkasammal, jotka hyötyvät ympäristön häiriötilanteista, ovat avainasemassa, kun sarasuo vaihtuu kohti rahkasuota. Tässä luvussa esittelen selvitetty avainlajit, tarkastelen hypoteesin paikkansapitävyyttä, esitän syitä sille, miksi tietyt lajit voivat olla merkittäviä ekosysteemi-insinöörilajeja ja vertaan tuloksiani aikaisempaan tutkimukseen.

### *5.1.1. Tupasvilla*

Jokaisella tutkimallani suolla oli havaittavissa erittäin selkeä tupasvillan lisääntyminen, kun muutos kohti rahkasuota alkoi, mikä tukee esittämäni tutkimushypoteesia kyseisen lajin osalta. Tupasvillan lisääntyessä muutoksen voidaan sanoa alkaneen, mutta lajin lisääntyminen ei sinänsä vielä muuta sarasuota rahkasuoksi, sillä rahkasuon syntyminen edellyttää rahkasammalten voimakasta lisääntymistä (Väliranta 2012). Tupasvilla voi kuitenkin olla tärkeä ekosysteemi-insinöörilaji, joka muuttaa suon pintaolosuhteita paremmin rahkasammalille sopivaksi (Hughes & Dumayne-Peaty 2002).

Tupasvillan on todettu sietävän hyvin vedenpinnantason vaihteluita (Wein 1973; Tuittila 2000). Lajin syvälle ulottuvien juurien takia se voi kestää pitkittyneitäkin pintakuivuutta (Kummerow ym. 1988). Lisäksi sen kasvu voi voimistua runsaasti fosforin (P) määrän lisääntyessä ja pienemmässä määrin myös typen (N) määrän kasvaessa. Suon pintaveden laskun on todettu vaikuttavan turpeen kemiaan muun muassa laskemalla turpeen typen, orgaanisen hiilen, kalsiumin ja magnesiumin määrää ja laskemalla turpeen pH:ta (Kazda 1995). pH:n laskiessa fosforista tulee liukoisempaa. Tupasvillan kasvu voi lisääntyä huomattavasti fosforin ollessa paremmin saatavissa, mistä sen dominoiminen muutoksessa voi osittain johtua. Sarasuon pinnan mättäiden muodostuminen vauhdittaa myös muuttumista tupasvilla-valtaiseksi suoksi. Mättäät ovat kuivempia kasvupaikkoja, mikä tukee tupasvillan kasvua (Hughes 2000).

Tupasvilla voi olla tärkeä rahkasuon varhaisissa kehitysvaiheissa myös siksi, että se hajoaa hitaasti ja näin lisää turpeen muodostusta (Coulson & Butterfield 1978). Lisäksi tupasvillan kovat kasvinosat muodostavat turvetta, johon voi varastoitua paljon vettä. Tupasvilla-vaiheen muokattua suon pintaosaa, voi esimerkiksi muutos kostempaan ilmastoon laukaista rahkasammalvaltaisen suon kehityksen alkamisen (Hughes 2000). Tupasvillan nopea lisääntyminen on tyypillistä myös ennallistetuilla soilla (Tuittila 2000; Jauhiainen ym. 2002).

Muissakin tutkimuksissa (esim. Bohlin 1993; Hughes ym. 2000; Hughes & Dumayne-Peaty 2002; Turunen ym. 2002; Hughes & Barber 2003) tupasvillan on todettu liittyvän

rahkoittumisilmiöön, kuten taulukkoon 2 kootuista tiedoista käy ilmi. Tupasvillan kanssa avainlajeina on havaittu esiintyneen monia eri lajeja, joista yleisimpänä rahkasammalet (esim. Smith & Goddrad 1991; Bohlin 1993; Middleton ym. 1995; Turunen ym. 2002; Tuittila 2007). Kaikissa taulukkoon kootuissa tutkimuksissa tutkimuskohteena ei ole ollut selvittää nimenomaan rahkoittumisen avainlajeja. Rahkoittuminen on näissä tapauksissa usein päätelty alkaneeksi vaiheessa, jossa saraturve on muuttunut rahkaturpeeksi tai tupasvillarahkaturpeeksi (esim. Almquist-Jacobson & Foster 1995; Pajula 2000). Tästä syystä ei voida olla täysin varmoja siitä, ettei rahkoittumisvaiheessa turpeessa olisi esiintynyt muitakin ekosysteemi-insinöörilajeja. Monissa tutkimuksissa vaihe, jolloin sarasuo muuttui rahkasuoksi on arvioitu kenttäolosuhteissa ainoastaan silmämääräisesti. Kasvillisuuden vaihtuminen on kuitenkin usein hyvin vaivihkainen ja edestakaisin sahaava tapahtuma, kuten tulokseni osittavat, joten pelkkä turpeen visuaalinen tarkastelu ei mielestäni ole tarkka menetelmä vaihtumisen määrittämiseksi.

Taulukko 2. Eri tutkimuksissa esitetytjähä rahkoittumisajankohlatia ja avaimljeja rahkoittumisilmiön aikana. Tutkimuksissa ei ole eroteltu rahkoittumisen eri vaiheita. \* = Tiedot peräisim artikkelista Hughes & Barber (2003), \*\* = kirjoittajan kalibroima ikä. M= Makrofossilit, S = Sittepölyt, SM = Silnämääräinen

Suo	Kirjoittaja	Rahkoittumisen ajankohta cal. BP	Vaihtelee välillä	Vallitseva laji(t) rahkoittumisessa ja määritystapa
5 rahkasuota, Kanada, sisämaa	Kuhry ym. (1993)	7800-1700**	Vaihtelee välillä 7800-1700**	Ruskorahkasammal, punarahkasammal, rämerahkasammal (M)
7 rahkasuota, Keski-Ruotsi	Almqvist-Jacobson & Foster (1995)	n. 4500-5800 **	n. 4500-5800 **	Rahkasammal (SM+S)
Abbeymoocknoy Bog, Irlanti	Hughes (1997)*	n. 8320-8020	n. 8320-8020	Piirtohenät ( <i>Rhynchospora spp.</i> ) (M)
Bolton Fell Moss, Luoteis-Englanti	Hughes (1997)*	n. 9600	n. 9600	Tupasvilla, kanerva (M)
Borth Bog, Wales	Hughes & Schulz (2001)*	n. 6280-5990	n. 6280-5990	Mänty, tupasvilla (M)
Crymlyn Bog, Wales	Hughes & Dumayne-Peaty (2002)	n. 5800 cal **	n. 5800 cal **	Tupasvilla, kanerva (M + S)
Crymlyn Bog, Wales	Hughes & Dumayne-Peaty (2002)	n. 2650 **	n. 2650 **	Tupasvilla, raate-, piirtohenät, kellokanerva ( <i>Erica tetralix</i> ) (M + S)
Fenton Cottage, Luoteis-Englanti	Wells ym. (1997)*	n. 4300	n. 4300	Leväkkö (M)
Glasson Moss, Luoteis-Englanti	Hughes (1997)*	n. 10 040-9910	n. 10 040-9910	Tupasvilla, variks enmarja ( <i>Empetrum nigrum</i> ) (M)
Goldcliff, Wales	Smith & Morgan (1989)*	n. 5750	n. 5750	Rahkasammal (M)
Gypsumville bog, Etelä-Kanada	Kuhry ym. (1992)	n. 1700**	n. 1700**	Ruskorahkasammal (M + S)
Kirkpatrick Fleming Bog, Skotlanti	Tipping (1995)*	n. 7700	n. 7700	Viitasammakomputki ( <i>Hydrocotyle vulgaris</i> ) (S)
La Ronge bog, Etelä-Kanada	Kuhry ym. (1992)	n. 4100**	n. 4100**	Ruskorahkasammal (M + S)
Lakkasuo, Etelä-Suomi	Tuittila ym. (2007)	n. 6000	n. 6000	Rusko-, rusko-, puna- ja silmäkerahkasammal, tupasvilla (M)
Lilla Backsjö myren, Keski-Ruotsi	Andersson & Schonning (2010)	n. 2600	n. 2600	Rahkasammal (SM)
Mongan Bog, Irlanti	Hughes (1997)*	n. 5575-5315	n. 5575-5315	Mänty, tupasvilla (M)
Munasuo, Kaakkois-Suomi	Korhola (1992)	n. 3800**	n. 3800**	Rahkasammal (SM)
Myrtle Lake Peatland, Minnesota	Janssens (1992)	n. 3200 **	n. 3200 **	Rahkasammal (S)
Männikjärve, Viro	Sillasoo ym. (2007)	n. 4560	n. 4560	Punarahkasammal (M)
Patvinsuo, Itä-Suomi	Turunen ym. (2002)	n. 3500	n. 3500	Tupasvilla, leväkkö, s arat, tupas luikka, Cuspidata-ryhmän rahkasammal (M)
Pointe-Es cuminac Bog, Itä-Kanada	Robichaud & Bégin (2009)	n. 6300-6050 (kesk.), n. 2950 (laitteet) **	n. 6300-6050 (kesk.), n. 2950 (laitteet) **	Ruskorahkasammal, punarahkasammal (M)
Porcupine Mountain, Etelä-Kanada	Nichols (1969)	n. 4700**	n. 4700**	Rahkasammal (M + S)
Punasuo, Etelä-Suomi	Korhola (1992)	n. 3200-3400**	n. 3200-3400**	Punarahkasammal, tupasvilla (M + S)
Rawcliffe Moss A, Luoteis-Englanti	Middleton ym. (1995)*	n. 8038-7586	n. 8038-7586	Tupasvilla, kalvakkarahkasammal, <i>Acutifolia-ryhmän rahkasammal</i> (M)
Red Lake Peatland, Minnesota	Janssens ym. (1992)	n. 3500**	n. 3500**	Rahkasammal (M)
Shuggan Bog, Pohjois-Irlanti	Smith & Goddard (1991)*	n. 7550	n. 7550	Rannikkorahkasammal ( <i>S. affine</i> ), tupasvilla (M)
Solvay Moss, Luoteis-Englanti	Hughes (1997)*	n. 8840	n. 8840	Acutifolia-ryhmän rahkasammal (M)
Soomaa, Lounais-Viro (4 erisuota)	Pajula (2000)	n. 6900-7800** (vanhimmat osat)	n. 6900-7800** (vanhimmat osat)	Rahkasammal (SM)
Store Mosee, Etelä-Ruotsi	Svensson (1988)	5000 vuoden aikana 3 rahkoittumista	5000 vuoden aikana 3 rahkoittumista	Ruskorahkasammal, punarahkasammal, rusorahkasammal (M + S)
Står-Åmyran, Pohjois-Ruotsi	Bohlin (1993)	n. 2000 **	n. 2000 **	Tupasvilla, karhuksammal ( <i>Polytrichum spp.</i> ), Palus tria-ryhmän rahkasammal (M)
Tregaron Bog, Wales	Hughes & Barber (2003)*	n. 7400-7240	n. 7400-7240	Tupasvilla (M)
Valkeasuo, Pohjois-Kanjala	Tahvanainen (2011)	n. 1970 AD	n. 1970 AD	Rahkasammal, tupasvilla, tupasluikka (SM + S)
Walkers Heath, Luoteis-Englanti	Leah ym. (1998)*	n. 8160	n. 8160	Cuspidata-ryhmän rahkasammal (M)
Walton Moss, Luoteis-Englanti	Hughes ym. (2000)	n. 9850	n. 9850	Tupasvilla (M)

### 5.1.2. *Rahkasammalet*

Rahkasammalten merkittävyyteen suoekosysteemissä vaikuttavat monet eri seikat. Ensinnäkin rahkasammalet muokkaavat tehokkaasti omaa kasvualustaansa muun muassa tuottamalla orgaanisia happoja, jotka happamoittavat kasvupaikkaa (Rydin ym. 2006). Rahkasammalet tulevat toimeen hyvin happamissa, märissä ja vähäravinteisissa olosuhteissa, joissa muiden kasvien esiintyminen on vähäistä. Rahkasammalia on Suomessa noin 40 eri lajia, joiden ekologiset vaatimukset, kuten vedenpinnantas, pH ja valon määrä vaihtelevat suuresti (Laine ym. 2000, 2009). Lisäksi rahkasammalten hajoaminen on hidasta (Coulson & Butterfield 1978). Eläimet eivät kelpuuta rahkasammalia ravinnokseen, mikä myös lisää rahkasammalten menestymistä (Kuhry & Turunen 2006). Kun rahkasammal kerran on päässyt levittäytymään, on melko epätodennäköistä, että se katoaa, jos ilmastolliset ja hydrologiset olosuhteet pystyvät samanlaisina (Charman 2002).

Kaikilla tutkimillani soilla rahkasammalten osuus alkoi kohota tupasvilla-vaiheen aikana, joskin Lyalin suolla vasta aivan tupasvilla-vaiheen lopussa ja Siikanevalla, Honkanevalla ja Puohtiinsuolla rahkasammalia esiintyi lähes koko tupasvilla-vaiheen ajan. Rahkasammalten levittäytyminen tutkituille soille tupasvillan jälkeen voi johtua esimerkiksi siitä, että tupasvilla on muodostanut mättäitä ja lisääntynyt sademäärä huuhdellut mättäiden pintaa, huuhtoen pois ravinteita, mikä on luonut rahkasammalille sopivan kasvualustan ja saanut ne lisääntymään (Hughes 2000; Hughes & Dumayne-Peaty 2002).

Tässä tutkimuksessa ei noussut esille yhtä tai useampaa tiettyä rahkasammallajia, jotka olisivat käynnistäneet rahkoittumisen kaikilla tutkituilla soilla, vaan jokaisen suon kehitys oli omanlaisensa. Yhteenvetona totean, että rahkoittumisen käynnistymiseen liittyi useammalla kuin yhdellä suolla punarahkasammal, silmäkerahkasammal, rämerahkasammal, hentorahkasammal ja ruskorahkasammal sekä yhden suon muutoksessa myös kuljurahkasammal ja rusorahkasammal. Kuljurahkasammalten voimakas lisääntyminen liittyi Siikanevalla tapahtuneeseen voimakkaaseen suopaloon (kts. Väiliranta ym. 2007), joka poisti kuivan pintaturpeen ja vedenpinta nousi lähelle suon pintaa. Tärkeimmiksi avainlajeiksi voi taulukon 3 vertailun perusteella nostaa



punarahkasammalen, silmäkerahkasammalen, rämerahkasammalen ja hentorahkasammalen, sillä niitä esiintyi ainakin jonkin verran kolmella suolla neljästä.

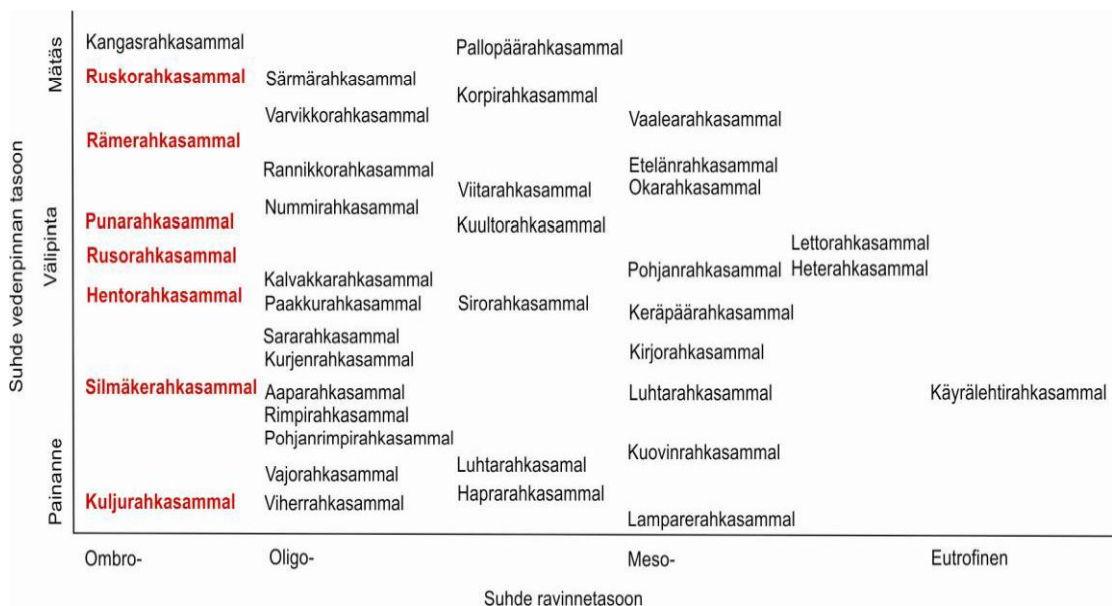
Tutkimushypoteesini oli, että punarahkasammal voisi olla mahdollinen avainlaji ja sitä esiintyikin ainakin pienissä määrin jokaisen suon rahkoittumisessa. Siikanevan rahkoittumisessa esiintyi kaikki ja Honkanevan rahkoittumisessa suurin osa edellä mainituista rahkasammalleista, kun taas Lyalin suolla ja Puohtiinsuolla vain kahta tai kolmea eri lajia. Ruskorahkasammal, punarahkasammal, rämerahkasammal, rusorahkasammal ja silmäkerahkasammal on mainittu avainlajiksi myös yhdessä tai useammassa taulukkoon 2 kootussa tutkimuksessa (Kuhry ym. 1992, 1993; Svensson 1995; Sillasoo ym 2007; Tuittila ym. 2007; Robichaud & Bégin 2009). Suurimmassa osassa kyseisen taulukon tutkimuksista rahkasammalet lajiryhmänä on mainittu avainlajiksi. Mielenkiintoista on myös se, että minerotrofisia rahkasammalleja on mainittu hyvin vähän. Myös tässä tutkimuksessa minerotrofisia rahkasammalleja esiintyi näytteissä melko vähän. Tähän on voinut kuitenkin vaikuttaa tutkimuksessa käytetty näyteväli, eli jos minerotrofisia rahkasammalia on esiintynyt vain lyhyen ajan, ne ovat voineet jäädä huomioimatta makrofossiilianalyysia tehtäessä.

Taulukko 3. Eri avainlajien esiintyminen tutkituilla soilla. (x)=laji oli läsnä muutoksessa, mutta sitä esiintyi hyvin vähän (rs.=rahkasammal).

	Tupasvilla	Punars.	Silmäkers.	Rämers.	Hentors.	Ruskors.	Kuljurs.	Rusors.
Siikaneva	x	(x)	x	(x)	(x)	x	x	(x)
Honkaneva	x	(x)	x	(x)	x			
Puohtiinsuo	x	x	(x)			(x)		
Lyalin suo	x	x		x	(x)			

Miksi sitten juuri nämä lajit ovat olleet avainasemassa suon rahkoittumisen käynnistymisessä? Kaikki edellä mainitut lajit ovat sopeutuneet karuihin ombrotrofisiin olosuhteisiin, mutta erilaisiin vedenpinnan tasoihin ja kosteusoloihin. Jokaisella rahkasammallella on tietty optimaalinen kasvupaikka suhteessa vedenpinnantason (Kuva 13). Esimerkiksi ruskorahkasammal, joka on Suomen olosuhteissa usein vallitseva rahkasuolaji, menestyy kasvupaikoilla, joilla vedenpinnan tason vuodenaikaisvaihtelu on pientä (Laitinen ym. 2008; Granath ym. 2010). Laji kasvaa yleensä mättäillä (Laine ym. 2009). Lisäksi sen on todettu kestävän yllättävän hyvin ravinteikkaan (sarasuo)

pohjaveden läheisyyttä, kunhan tulvimista ei tapahdu (Granath ym. 2010). Ruskorahkasammalen kilpailukyvyyn muita kasvilajeja vastaan on todettu kasvavan, kun suon pintaturpeen etäisyys vedenpinnantasosta kasvaa (noin 15-20 cm) (Granath ym. 2010). Kuljuraikasammal puolestaan kasvaa hyvin kosteissa ombrotrofisissa olosuhteissa. Muut mainitsemani sammat asettuvat näiden kahden ääripään väliin vedenpinnan tason suhteen. Mainittavan arvoista on myös, että hentorahkasammal ja punarahkasammal esiintyvät usein häiriötilanteissa, joten niiden esiintyminen muutoksen yhteydessä vaikuttaa loogiselta. Mätäslajit sietävät myös ajoittaisia märän paikan olosuhteita, kun taas painannelajit kestävät huonosti kuivia olosuhteita (Väliranta ym. 2007).



Kuva 13. Rahkasammallajien optimaalinen kasvupaikka suhteessa vedenpinnankorkeuteen ja ravinnetasoon (suomennettu Laine ym. (2009) mukaan).

Tuloksieni perusteella näyttää siltä, että tärkeimpiä rahkasammallajeja rahkoittumisen alkaessa ovat ombrotrofiset lajit, jotka ovat sopeutuneet erilaisiin vedenpinnantasoihin. Häiriötilanteista hyötyvät tai niitä hyvin kestävät lajit näyttäisivät myös esiintyvän usein muutoksessa. Yhtä tiettyä rahkasammallajia ei voi kuitenkaan nostaa kaikkein tärkeimmäksi avainlajiksi ja ensimmäiset lajit riippuvat suon olosuhteista, kuten kosteusoloista tai mahdollisesti pelkästään sattumasta.

### 5.1.3. Kuiva vai märkä rahkoittuminen?

Kaikilla tutkimillani soilla tupasvillan lisääntyminen on käynnistännyt soiden rahkoittumisen. Myös muissa tutkimuksissa on todettu, että tupasvilla ja muut kuivat mätäslajit voivat käynnistää rahkoittumisilmiön. Muun muassa Hughes (1997, 2000) ja Leah ym. (1998) ovat tutkimuksissaan osoittaneet, että Britanniassa ja Irlannissa monissa tapauksissa ensimmäiset oligotrofiset kasviyhdykunnat indikoivat suhteellisen kuivia pintaolosuhteita ja sitä, että vedenpinta on syvällä tai vaihtelee. Kuivia kasviyhteisöjä ovat heidän tutkimuksissaan tupasvillan lisäksi muodostaneet muun muassa kanerva, suonihuopasammal (*Aulacomnium palustre*), korpikarhunsammal (*Polytricum commune*) ja mättäillä kasvavat acutifolia-ryhmän rahkasammallajit, joiden osuus myöhemmin kasvaa. Tämän tyyppinen kehitys oli hallitsevaa kaikilla tutkimillani soilla. Kuivassa muutoksessa sarasuosta rahkasuoksi suon kasvukokoonpano vastaa Rybničekin (1973) (cit. Hughes & Barber 2004) aiemmin havaitsemaa ”Pseudohochmoor”-tyyppiä Keski-Euroopassa. Vastaavanlaista kasvillisuutta on löydetty myös Ruotsista, missä Svensson (1988) havaitsi Store Mossen muuttuneen rahkasuoksi kuivan muutoksen kautta.

Suon rahkoittuminen voi tapahtua myös märän vaiheen kautta. ”Märkä-pioneeri”-vaihettumassa suon vedenpinnan taso pysyy lähellä suon pintaa koko vaihettuman ajan ja turvetta kertyy nopeasti kosteassa ilmastossa. Tämän tyyppinen suon kehitys on tyypillistä mereisissä ilmastoissa, joissa vedenpinta pysyy lähellä suon pintaa (Hughes & Barber 2003). Damman (1986) on esittänyt, että ensimmäiset rahkasuolajit olisivat märän paikan lajeja, koska vasta kohonneen suonpinnan korkeus on pienempi kuin se voisi maksimissaan olla kyseisissä ilmastollisissa olosuhteissa. Tällainen tilanne on havaittu Abbeyknockmoy Bog- suolla sarasuo-rahkasuovaihettumassa (Hughes 1997), missä painennelajit ovat ensimmäisiä dominoivia lajeja muutoksessa (Hughes & Barber 2003). Märän vaiheen kautta tapahtuva rahkoittuminen voi tapahtua myös vakavan palon jälkeen (Väliranta ym. 2007), kuten Siikanevalla näyttäisi tapahtuneen. Siikanevalla ensimmäinen vallitseva rahkasammallaji oli märkiin olosuhteisiin sopeutunut kuljurahkasammal. Tupasvilla edelsi Siikanevan rahkoittumista jo ennen paloa. Palo näyttää kuitenkin laukaisseensa rahkoittumisen märän vaiheen kautta. Tarkemmin palon aiheuttamia muutoksia käsitellään luvussa 5.2.3.

## **5.2. Ilmasto, suon sisäiset toiminnot vai häiriöt rahkoittumisen käynnistäjänä?**

Toinen tutkimuskysymykseni oli ”Mikä on rahkoittumisilmiön nopeus?”, kolmas ”Onko syynä muutokseen muutos ilmasto-oloissa vai suon oma kehitys?” ja neljäs ”Miten soiden sijainti vaikuttaa niiden rahkoittumiseen?”. Toinen tutkimushypoteesini puolestaan oli, että ”Sarasuo-rahkasuo-vaihtuminen ei ole borealisella vyöhykkeellä ajallisesti samanaikainen eri soiden välillä”. Tässä luvussa vastaan näihin tutkimuskysymyksiin ja tarkastelen tutkimushypoteesin paikkansapitävyyttä ja esittelen tekijöitä, jotka ovat voineet vaikuttaa suon kehittymiseen ja arvioin niiden osuutta muutoksessa. Lisäksi vertaan tuloksiani aikaisempiin tutkimuksiin.

### *5.2.1. Ilmastovaihtelu*

Arvioidakseni, johtuvatko muutokset tutkimillani soilla muutoksissa ilmastossa, vertasin ajoitustuloksia tunnettuun ilmastohistoriaan: Tutkimistani soista kolmella (Siikaneva, Puohtiinsuo, Lyalin suo) rahkoittumisen käynnistänyt tupasvillan lisääntyminen vaiheessa II on tapahtunut keski-Holoseenin ilmastokaudella noin 8000- 4500 cal. BP sitten, jolloin ilmasto oli yleisesti lämmin ja kuiva (Korhola 1995; Hammarlund ym. 2003; Heikkilä & Seppä 2003; Seppä et. al 2005; Brown ym. 2011). Kuivuutta kestävien kasvien lisääntyminen suoalueella tukee ajatusta, jonka mukaan suon vedenpinnan lasku olisi syynä muutokseen (Hughes 2000). Siikanevalla, Puohtiinsuolla ja Lyalin suolla tupasvillan lisääntyminen alkoi siis luultavasti vaiheessa, jolloin vallitsi alentunut efektiivinen kosteus. Vastaavia tuloksia on esitetty muun muassa Hughes (1997, 2000) ja Leah ym. (1998) tutkimuksissa. Veden pinnan laskuun voi ilmaston muutosten lisäksi kuitenkin olla muitakin syitä, kuten turpeen sisäsyntyinen paksuuskasvu ja muutokset valuma-alueen hydrologiassa (esim. Tahvanainen 2011), joten vielä tämän perusteella ei voida olettaa suon rahkoittumisen käynnistyneen ilmastomuutoksen seurauksena.

Honkanevalla vaiheen II tupasvillan lisääntyminen alkoi myöhemmin, 4640 cal. BP. Honkaneva sijaitsee alueella, jolla maankohoaminen on kaikista voimakkainta (noin 9 mm vuodessa, Ekman 1996) ja sen soistuminen on tapahtunut primäärisenä sukkessiona

alueen noustua merestä. Honkanevan kasvillisuuden kehitys on erityinen maankohoamisilmiön vuoksi, eikä sitä siksi ole järkevää verrata muihin tutkittuihin soihin ja sen kehitykseen voidaan päätellä johtuneen pääosin maankohoamisilmiöstä. Merenrannan tyypillinen soistumissukcessio alkaa Korholan (1990) mukaan, kun vedenpinnan yläpuolelle jää murtovesipainanteita, joihin leviää märkiin olosuhteisiin sopeutunutta kasvillisuutta. Painanteisiin kulkeutuvan makean veden seurauksena ne muuttuvat vesi-, -ranta- ja suokasvien luonnehtimiksi luhtasoiksi. Perämeren maankohoamisrannikolla on Rehell & Heikkilän (2009) mukaan sijainnut nopean sukcessioon vyöhyke, joka on poikennut luonteeltaan hyvin selvästi sisämaan vanhemmista alueista ja myös eteläisemmästä maankohoamisrannikosta. Hydrologian pääteltiin olevan tärkein tekijä, joka vaikuttaa kyseisellä alueella soiden kehitykseen ja ravinteisuuteen ja tämän uskon pätevän myös Honkanevan rahkoittumiskehityksessä.

Noin 4500 cal. BP Suomen ilmastossa tapahtui tunnettu muutos kohti kosteampaa ja kylmempää myöhäis-Holoseenin ilmasto (Korhola 1995; Hammarlund ym. 2003; Heikkilä & Seppä 2003; Seppä ym. 2005; Brown ym. 2011). Kaikkien soiden tupasvilla-rahkasammalvaihtetuma on tapahtunut vasta tämän muutoksen jälkeen. Lisääntynyt sade on voinut huuhdella tupasvilla-mättäiden pintaa huuhtoen pois ravinteita, ja karuuntunut kasvupaikka on voinut saada rahkasammalet lisääntymään kuten myös Hughes (2002) totesi. Myös pienellä jääkaudella, joka vallitsi Euroopassa 1500–1800-luvuilla, joista kylmintä oli 1550–1700 (Lamb 1965) voisi olla vaikutus Lyalin suon tupasvilla-rahkasammal vaihtetumaan, joka näyttäisi tapahtuneen pienen jääkauden aikoihin. Tällöin ilmasto oli viileämpi ja vesitase korkeampi, mikä olisi voinut vauhdittaa rahkasammalten jo alkanutta levittäytymistä.

Rahkoittumisen selittäminen pelkällä ilmastovaihtelulla on kuitenkin kyseenalaista. Usein rahkoittuminen yhdistetään lisääntyneen sateen ilmastovaiheisiin, jolloin ilmasto on usein myös viilennyt (esim. Janssens 1992, Janssens ym. 1992; Robichaud & Bégin 2009). On mahdollista, että rahkoittumista on monissa tutkimuksissa hieman puoliväkisinkin yhdistetty juuri kosteisiin ja viileisiin ilmasto-oloihin, sillä muutoskohtien tunnistaminen ja rajanveto on melko tulkinnanvarainen asia. Rahkasoiden levinneisyyden etelärajoilla tilanne on erilainen kuin rahka-saravyöhykkeiden rajamailla ilmastollisen muospaineen

suhteen. Rahkoittuminen on eri tutkimuksissa yhdistetty myös toisenlaisiin ilmastovaiheisiin. Esimerkiksi Pajula (2000) totesi rahkoittumisen tapahtuneen lämpimän ja kuivan jakson aikana ja Almquist-Jacobson & Foster (1995) puolestaan totesivat rahkoittumisen käynnistyneen suhteellisen kuivana ajankohtana, jolloin kesälämpötilat laskivat. Rahkoittuminen voi siis tapahtua hyvin erilaisissa olosuhteissa. Aina ei välttämättä ole myöskään kysymys pitkäaikaisesta ilmastonmuutoksesta, vaan myös epätavalliset/muuttuneet vuodenaikaiset muutokset voivat aiheuttaa rahkoittumista. Esimerkiksi usean perättäisen kuivakesäisen vuoden seurauksena palojen riski voi kasvaa ja palot puolestaan voivat laukaista rahkoittumisilmiön.

### *5.2.2. Rahkoittumisen ajankohta ja kesto*

Rahkoittumisen ajankohta ja kesto vaihtelevat kaikkien tutkittujen soiden välillä. Tämä tulos tukee toista hypoteesiani. Suomessa ja yleisesti Euroopassa rahkoittuminen on aika-transgressiivinen ilmiö etelästä pohjoiseen (Tolonen 1987; Korhola & Tolonen 1998). Tässä tutkimuksessa rahkoittuminen alkoi sara-tupasvillavaiheella Siikanevalla 7695, Puohtiinsuolla 6800, Honkanevalla 4640 ja Lyalin suolla 5810 cal BP. Tulokseni osoittavat, että rahkoittuminen on alkanut sitä aikaisemmin, mitä etelämpänä suo sijaitsee. Etelämpänä sijaitsevien soiden pohjoisempia soita varhaisemmin tapahtuva rahkoittuminen selittyy sillä, että etelämpänä ilmaston kontrolloima kosteuden ylijäämä on huomattavasti pienempi. Etelämpänä olosuhteet ovat siis kuivemmat kuin pohjoisempana, mikä vauhdittaa rahkoittumista. Pohjoisen suot pysyvät sarasoina tai niiden rahkoittuminen kestää pidempään, koska ne pysyvät kosteampina ja runsaammat kevättulvat tuovat ravinteita ja pitävät suot sarasoina (Korhola 1990; Vasander 1998).

Korholan & Tolosen (1998) mukaan Suomen varhaisimman rahkoittumisen on ajoitettu tapahtuneen Etelä-Suomessa Hollolan Varrasuolla noin 8900 cal. BP\*\*. Tutkimusalueistani Siikanevan sijainti on eteläisin ja sen rahkoittuminen onkin alkanut sara-tupasvillavaiheella noin 7695 cal. BP. Keski-Suomessa rahkoittumisen ikä on Korholan & Tolosen (1993) mukaan yleensä noin 3200 cal B.P.\*\*. Honkanevan rahkoittuminen käynnistyi noin 4680 cal. BP, Lyalin suon 5800 cal. BP ja Puohtiinsuon 6800 cal. BP. Tulosteni perusteella tutkimieni soiden rahkoittumisajankohdat ovat

alkaneet huomattavasti Korhola & Tolosen ilmoittamia aikoja aikaisemmin. Tähän on kuitenkin voinut vaikuttaa se, milloin rahkoittuminen on tulkittu alkaneeksi. Tolonen (1987) puolestaan esitteli useita sarasuo-rahkasuo-vaihtumia laajalla aikavälillä Lammin alueelta: noin 1850, 3200, 3800, 4500 ja 6400 cal. BP\*\*, mikä osoittaa, että rahkoittumisen ajankohta voi vaihdella pienelläkin maantieteellisellä alueella. Samaan viittaavat myös Janssens (1992) ja Janssens ym. (1992) ajoitukset rahkoittumiselle Myrtle Lake-suolla Minnesotassa, missä rahkoittuminen alkoi noin 3200 cal. BP\*\* ja 200 km päässä Red Lake-suolla 3500- 2900 cal. BP\*\* välillä. Myös Etelä-Suomen Punasuon ja Munasuon rahkoittumisen alkamisen ajankohdat ovat samansuuntaisia, noin 3200–3400 ja 3800 cal. BP\*\*. Joidenkin soiden rahkoittuminen on voinut tapahtua aivan hiljattain, kuten Etelä-Suomessa sijaitsevan Maisaarensuon (Korhola 1992). Taulukossa 2 on esitelty lisäksi useita eri tutkimuksissa määritettyjä rahkoittumisajankohtia, joiden perusteella rahkoittumista on tapahtunut koko Holoseenin ajan.

Rahkoittumisen kestoksi olen tutkimuksessani tulkinut sen ajan, mikä kului sara-  
tupasvillavaiheen alusta tupasvilla-rahkasammal-vaiheen alkuun. Siikanevalla rahkoittumisen kestoksi tuli näin 4275 vuotta, Honkanevalla 1270 vuotta, Puohtiinsuolla 4755 vuotta ja Lyalin suolla 5270 vuotta. Nämä tulokset kertovat mielestäni siitä, että suon sisäsyntyisellä turpeen paksuuskasvulla, jonka aiheuttamat muutokset tapahtuvat usein hitaasti, olisi ollut vaikutus soiden rahkoittumiseen. Honkanevan rahkoittuminen on tapahtunut muita tutkimiani soita nopeammin. Tähän on oletettavasti vaikuttanut maankohoamisilmiö, joka on vauhdittanut suon olosuhteiden muuttumista. Omista tuloksistani poiketen muissa tutkimuksissa on esitetty monia hyvin nopeasti tapahtuneita rahkoittumisilmiöitä: Tahvanainen (2011) totesi, että rahkasammalten dominoiminen voi alkaa vuosikymmenien tai jopa muutamien vuosien kuluessa. Tahvanainen (2011) tutki soiden muuttumista sarasuosta kohti rahkasuota selvittämällä muutoksia kasvillisuudessa ja pintaturpeessa ojitetulla sarasuolla. Tutkittu suo oli muuttunut minerotrofisesta ombrotrofiseksi alle kahdessa vuosikymmenessä. Suon ojitus oli kuitenkin vaikuttanut tähän nopeaan muutokseen, joten tuloksia ei voi suoraan verrata omiini. Myös muut tutkimukset ovat osoittaneet, että rahkoittuminen voi tapahtua hyvinkin nopeasti (Kuhry ym. 1993; Granath ym. 2010). Kuhry ym. (1993) mukaan aikavälit muutoksessa ravinteikkaasta sarasuosta karummaksi sarasuoksi ja edelleen rahkasuoksi vaihtelivat

Kanadassa 50 -350 vuoden välillä. Hughes & Barber (2003) tutkimus lauhkeassa ja mereisessä Walesin ilmastossa osoitti myös vastaavia nopeita muutoksia (90 vuotta). On kuitenkin huomioitava, että rahkoittumisen keston määrittäminen voidaan tehdä eri tutkimuksissa eri tavoin, mikä voi johtaa vaihteleviin tuloksiin.

Kun tarkastellaan yhdessä soiden rahkoittumista suhteessa tunnettuun ilmastohistoriaan, rahkoittumiseen kulunutta aikaa ja hajonnan osituksen tuloksia, voidaan todeta, että suon sisäinen kehitys näyttää olleen tärkein suon kehitystä ohjaava tekijä rahkoittumisen aikana. Tätä tukee hajonnan osituksesta saatu tulos, jonka mukaan suon yksilöllinen kehitys selitti yksittäisistä vaikutuksista voimakkaimmin kasvillisuuden vaihtelua (11 %). Paksuuskehityksen olisi tällä perusteella voinut olettaa olevan tärkeämpi tekijä kasvillisuuden vaihtelua selittävä tekijä, sillä se kuuluu suon autogeeniseen kehitykseen. Paksuuskehitys ja palot selittivät vaihtelua suunnilleen saman verran ja melko vähän, noin 5 % kummatkin. Palojen osalta tämä kertoo mielestäni siitä, etteivät palot ole olleet niin suuria, että olisivat tuhonneet kasvillisuuden kokonaan vaan paloilla on ollut vain osittainen vaikutus kasvillisuuteen. Sen sijaan turpeen paksuuden ja palojen yhteisvaikutus on yllättävän suuri, 13 %. Toisaalta tämäkin vaikuttaa loogiselta, sillä palot vaikuttavat oleellisesti turpeen paksuuteen hävittämällä pintaturvetta ja näin ollen palot ja paksuus vaikuttavat nimenomaan yhdessä suon kasvillisuuteen.

Tutkittujen soiden rahkoittuminen kesti jokaisen suon kohdalla tuhansia vuosia, mikä on pitkä aika verrattuna edellä esittelemiini rahkoittumisen kestoihin. Edellä kuvaamissani nopeissa rahkoittumisissa kuitenkin ilmastomuutoksilla ja häiriöillä eli ulkosyntyisillä tekijöillä oli todettu olevan ainakin osittainen vaikutus soiden rahkoittumiseen. Suon sisäsyntyinen suknessio kohti rahkasuota on todettu olevan hidasta ja ulkosyntyisistä tekijöistä johtuvat suknessiot puolestaan nopeita (Tuittila ym. 2007). Tämä viittaa myös siihen, että suon sisäinen suknessio olisi ollut merkittävin tekijä soiden rahkoittumisessa. Kuten edellä olen todennut, tutkimieni soiden muutokset seurailevat Holoseenin ilmastovaihteluita. Yhdenkään tutkimani suon varsinainen rahkoittumisajankohta ei kuitenkaan ole alkanut heti muuttuneen ilmaston seurauksena, vaan seurailut muutoksia vasta satojen tai jopa tuhansien vuosien viiveellä. Tämän perusteella teen johtopäätöksen, että suon rahkoittumista on ohjannut suon sisäinen suknessio, johon on liittynyt



tupasvillan runsastuminen ja turpeen paksuuskasvu. Ilmastolliset seikat ovat todennäköisesti toimineet edesauttavina taustatekijöinä kuten Siikanevalla, missä kuiva ilmastokausi on lisännyt palofrekvenssiä.

### 5.2.3. Suopaloit

Suuret palot voivat aiheuttaa muutoksia suon mikrotopografiassa, hydrologiassa, kasvillisuudessa ja turpeen ominaisuuksissa (Kuhry 1994; Sillasoo ym. 2007, 2011; Tuittila ym. 2007; Väiliranta ym. 2007). Suopaloilla voidaan olettaa olleen suuri merkitys Siikanevan ja Lyalin suon kehittymisessä, mikä on nähtävissä soiden turveprofiileissa, joissa makroskooppisten hiilipartikkelien määrän nousua seuraa muutoksia kasvillisuudessa. Siikanevalla sara-tupasvillavaiheutumassa (vaiheesta I vaiheeseen II) näytteessä lisääntyi makroskooppisten hiilipartikkelien määrä, ja palo olisi mahdollisesti voinut laukaista muutoksen kohti tupasvillan vallitsemaa kasvillisuutta. Tätä päätelmää tukee se, että tupasvilla on todettu lisääntyvän usein suopalojen jälkeen, sillä se kestää hyvin palamista (Tuittila ym. 2007).

Siikanevalla vaiheen II aikana esiintyy toistuvasti myös pienempiä määriä hiilipartikkeleita, jotka voivat kertoa toistuvista suopaloista. Vaihe II ajoittuu suunnilleen keski-Holoseenin kuivempaan ja lämpimämpään ilmastokauteen noin 8000-4500 cal. BP sitten (Korhola 1995; Hammarlund ym. 2003; Heikkilä & Seppä 2003; Seppä et. al 2005; Brown ym. 2011), ja nämä olosuhteet ovat voineet lisätä palofrekvenssiä. Toistuvien palojen esiintyminen voi liittyä erityisesti kuiviin ilmasto- ja sääolosuhteisiin, sillä normaalisti suot ovat melko kosteita eivätkä pala helposti, mutta pintaturve, mättäät ja karikekerros voivat kuivua pidentyneen kuivuusjakson aikana, jolloin paloja syttyy helpommin (Väiliranta ym. 2007). Toisaalta suon syttymiseen vaikuttavat myös suon kasvillisuuden sisäsyntyiset tekijät ja paikalliset hydrologiset tekijät. Esimerkiksi mäntypeitteiset suot syttyvät helpommin kuin avoimet suot (Väiliranta ym. 2007).

Myös suon pinta-ala vaikuttaa palon leviämiseen (Turunen ym. 2002; Tuittila ym. 2007). Soiden pinta-ala voi kasvaa suon laajuuskasvun eli niin sanotun lateraalisen kasvun myötä (Korhola 1992), mikä voi muuttaa suon olosuhteita. Pinta-alan kasvaessa esimerkiksi

suon keskustan ja suota ympäröivän metsän etäisyys toisistaan on voinut muuttua, mikä on voinut muuttaa suon syttymisherkkyyttä ja palon leviämismahdollisuuksia. Usein palo ei vaikuta koko suohon vaan on rajoittunut suon reuna-alueisiin (Alm ym. 1992). Suopalon on myös todettu kiihdyttävän suon lateraalista kasvua (Turunen ym. 2002). Turunen ym. (2002) totesivat tutkimuksessaan, että nuori ja ohut turvekerros palaa yleensä useammin kuin vanhempi ja paksumpi. Tätä päätelmää tukee myös Siikanevalla esiintyneet suopalot, joita esiintyi runsaasti suon kehityksen alkuvaiheessa, mutta joiden määrä väheni huomattavasti turpeen paksuuskasvun myötä.

Hiilipartikkeleiden määrä kasvoi Siikanevalla myös juuri ennen märän paikan kuljurahkasammalen lisääntymistä vaiheessa III, ja suopalo onkin luultavasti ollut syynä muutokseen kohti kosteampaan sopeutunutta kasvillisuutta. Suopalot johtavat nimittäin usein tilanteeseen, jossa kasvillisuus muuttuu palon jälkeen sekundäärisenä sukkesiona kohti märempiä kasviyhteisöjä (Väliranta ym. 2007). Suopalo on voinut muuttaa suon kosteusoloja kahdesta syystä: Suon valuma-alueella tapahtuvat palot voivat muuttaa paikallista haihtumista ja valuntaa, josta voi seurata vedenpinnan nousua. Toisaalta suon pintaturpeen ollessa kuivaa (rahkasuo), voimakas turpeen palaminen vähentää turpeen paksuutta, mikä tuo vedenpinnan tason lähemmäs turpeen pintaa ja voi johtaa märkien painanteiden syntymiseen (Väliranta ym. 2007).

Lyalin suolla noin syvyydellä 84–82 cm esiintyneet hiilipartikkelit viittaavat myös suopaloon. Juuri ennen paloa rahkasammalten osuus on kääntynyt kasvuun. Palon aikana niiden osuus kuitenkin romahtaa ja hyvin paloja kestävän tupasvillan osuus kasvaa. Tupasvillalla on kyky käyttää hyväkseen palon jälkeiset muuttuneet ekologiset olosuhteet, kuten vähentynyt kilpailu ja mahdollisuuksien lisääntyminen (Väliranta ym. 2007). Vastaavia tuloksia, joissa tupasvillan jäänteitä esiintyy runsaasti palon jälkeen, on havaittu Suomessa kahdella eteläisellä rahkasuolla (Lakkasuo, Tuittila ym. 2007 ja Kontolanrahka, Väliranta ym. 2007). Tupasvillan lisääntyminen palon jälkeen voi myös vähentää seuraavan palon mahdollisuutta siihen saakka, kun häiriön muuttama sukkesio on edennyt pidemmälle ja toipunut palosta (Tuittila ym. 2007).

#### *5.2.4. Muutokset valuma-alueella*

Suon valuma-alueella tapahtuvat muutokset vaikuttavat ravinteiden kulkeutumiseen suolle, mikä voi aiheuttaa suon nopean rahkoittumisen, vaikka muut olosuhteet suolla pysyisivätkin melko muuttumattomana (Tahvanainen 2011). Esimerkiksi ihmistoiminnasta johtuvat muutokset kuten ojitus, turpeennosto ja rakentaminen voivat aiheuttaa nopeita muutoksia suon valuma-alueella (Korhola 1990).

Monissa tutkimuksissa suon rahkoittumisen on todettu käynnistyneen valuma-alueella sijaitsevan joen uoman muutosten seurauksena (Hughes & Barber 2003), kun muutoksista on seurannut esimerkiksi kuivuutta tai tulvimisen vähentymistä. Honkaneva, Puohtiinsuo ja Lyalin suo sijaitsevat kaikki lähellä jokea ja mahdolliset muutokset niiden vesitasapainossa ja virtaussuunnissa ovat voineet vaikuttaa soiden rahkoittumiskehitykseen.

Myös suon lateraalinen kasvu voi aiheuttaa muutoksia suon olo-suhteisiin. Suo voi laajentua, kun sen reunaosiin kertyy vettä ja tapahtuu reunojen soistumista. Lateraalinen kasvu ei yleensä tapahdu tasaiseen tahtiin, vaan siinä voi tapahtua hitaita ja nopeita muutoksia ja välillä se voi olla lähes pysähdyksissä (Korhola 1992). Lateraalisen kasvun voimakkuus näyttää olevan voimakkaasti yhteydessä ilmastoon (Korhola 1996). Soiden laajuuskasvun sysäyksenä on voinut toimia ilmaston muuttuminen kosteammaksi ja viileämmäksi, jonka seurauksena turpeen muodostuminen sekä kasvu ovat voineet kiihtyä. Holoseenin aikana on ollut kaksi vaihetta, jolloin lateraalinen kasvu on ollut voimakkainta: noin 8000-7300 cal. BP sitten ja 4300-3000 cal. BP sitten (Korhola 1994). Laajuuskasvua säätelevät myös paikalliset topografiset ja hydrologiset tekijät. Usein lateraalinen kasvu tapahtuu suon ollessa vielä sarasuovaiheessa. Rahkasuon kasvaessa lateraalisesti suon reunaosat ovat aina minerotrofisia (Korhola 1992).

### **5.3. Tulevaisuuden skenaariot**

Tulevaisuuden ilmastonmuutosten vaikutusta suoekosysteemeihin on vaikea ennustaa tarkasti, sillä esimerkiksi tulevaisuuden sademäärän ja haihtumisen ja niiden vuodenaikaisen jakautumisen ennustaminen on hyvin hankalaa, vaikka ilmaston

lämpeneminen on erittäin todennäköistä (IPPC 2007). Charman ym. (2012) tutkimuksessa todetaan, että rahkasoilla lämpenemisen myötä perustuotanto kasvaa ja näin ollen turpeen kasvu kiihtyy. Lämpenemisen myötä myös hajotustoiminta kiihtyy, mutta kasvaneen perustuotannon todetaan tutkimuksessa olevan sitä merkittävämpää. Turpeen kasvun kiihtyessä suon pinta joutuu kauemmas vedenpinnasta, jolloin olosuhteet voivat muuttua kuivemmiksi. Toisaalta, jos efektiivinen kosteus lisääntyy, voi suon pinta tästä huolimatta pysyä kosteana.

Turpeen paksuuskasvuun liittyvässä tulevaisuuden skenaariossa suon rahkoittuminen voisi tapahtua siis sekä kostean että kuivan vaihettuman kautta. Jos olosuhteet olisivat kuivat, rahkoittumisen voisi olettaa alkavan sara-tupasvillavaihtumalla samalla tavalla kuin tässä tutkimuksessa esitetyissä tuloksissa, eli tupasvillan yleistymisellä. Tupasvilla muokkasi kasvuympäristöä paremmin rahkasammalille sopiviksi mättäiksi, jonka jälkeen ombrotrofisia rahkasammalia voisi alkaa esiintyä tupasvilla-rahkasammalvaihtumassa ja lopulta ne olisivat dominoiva laji. Tupasvillan tilalla muutoksen laukaisijana voisi olla myös jokin muu vastaavatyypinen laji, kuten kanerva (vrt. Hughes & Dumayne-Peaty 2002).

Kosteiden olosuhteiden vallitessa puolestaan voisi olla mahdollista, että sara-tupasvillavaihe jäisi kokonaan pois, sillä tupasvilla on sopeutunut paremmin kuiviin olosuhteisiin (Kummerow ym. 1988). Kasvillisuus voisi muuttua saravaltaisesta kasvillisuudesta suoraan rahkasammalvaltaiseen. Runsaat sateet voisivat mahdollistaa rahkasammalten levittäytymisen ja johtaa aiemmissakin tutkimuksissa esitettyyn sarasuorahkasuovaihtumaan, sillä ne huuhtoisivat pois ravinteita, jolloin rahkoittuminen voisi alkaa suoraan karuihin ja kosteisiin olosuhteisiin sopeutuneiden rahkasammallajien runsastumisella. Tällöin avainlajina voisi toimia esimerkiksi kuljuraikasammal, kuten Siikanevalla tapahtuneessa märkeissä vaihtumassa. Tällainen rahkoittuminen voisi tapahtua myös voimakkaan palon seurauksena.

Luonnontilaisilla boreaalisilla sarasoilla ei vaikuta kuitenkaan tapahtuneen merkittäviä muutoksia viimeisten vuosikymmenien aikana. Esimerkiksi Mäkilä ym. (2001) esittivät, että turpeen muodostuminen Pohjois-Suomen sarasuolla olisi pysähtynyt. Myös Turunen ym. (2002) havaitsivat hyvin vähäistä turpeen kasvua Patvinsuolla. Hajotuksen

kiihtymisen on joissakin tutkimuksissa todettu voivan johtaa myös sarasuon turpeen häviämiseen (esim. Ise ym. 2008), mikä toisi vedenpintaa lähemmäs suon pintaosia ja aiheuttaisi näin kosteampia olosuhteita. Jos turpeen paksuus vähenisi tai pysyisi ennallaan ja kosteus lisääntyisi, suon olosuhteet palautuisivat kohti ravinteikkaampia sarasuovaiheita ja rahkoittumiskehitys voisi jäädä tapahtumatta tai sen alkaminen voisi vaatia hyvin merkittävää ja äkillistä muutosta suon hydrologisissa olosuhteissa (vrt. ojitus).

Näiden skenaarioiden pohjalta ilmastonmuutoksen vaikutus voisi joko vauhdittaa sarasoiden rahkoittumiskehitystä tai mahdollisesti myös hidastaa sitä. Yleensä aihetta käsittelevissä tutkimuksissa painotetaan vaihtoehtoa, jossa ilmastonmuutos kiihdyttäisi sarasoiden karuuntumista ja rahkoittumista ja sarasuovyöhykkeen siirtymistä pohjoisemmaksi, eikä päinvastoin (esim. Tahvanainen 2011). Suon kehitykseen vaikuttavat kuitenkin monet tekijät, kuten ilmasto, valuma-alueelta suolle tuleva vesi, häiriöt, ravinteet, vedenpinnan taso, kasvillisuus ja turpeen paksuus. Ilmastonmuutos voi vaikuttaa kaikkiin näihin tekijöihin ja siksi sen vaikutuksien ennustaminen on hyvin hankalaa. Edellisen lisäksi rahkoittumiseen kuluvan ajan ennustaminen on vaikeaa. Kuten edellä on todettu, rahkoittuminen voi tapahtua hyvin nopeasti tai hitaasti riippuen siihen vaikuttavista tekijöistä. Äkillisen häiriön aiheuttaman rahkoittumisen voi olettaa tapahtuvan nopeasti ja turpeen paksuuskasvuun liittyvän rahkoittumisen hitaammin. Mitä suurempia ja nopeampia muutoksia tulevaisuuden olosuhteissa tapahtuu, sitä nopeampaa voi myös rahkoittumisen olettaa olevan.

#### **5.4. Luotettavuustarkastelu**

Rahka- ja saraturpeiden muodostuminen tapahtuu eri tavalla, mikä voi vaikuttaa makrofossiilianalyysin tulkintaan. Rahkasammalet kasvavat korkeutta vuosittain kärkisilmuistaan ja uusi orgaaninen aines kerrostuu rahkasuon pinnalle (Laine ym. 2000; Rydin ym. 2006). Saraturpeen muodostumistapa on erilainen. Juuristo on tärkein turpeenmuodostaja, mutta myös muut maanalaiset kasvinosat muodostavat jonkin verran turvetta. Samassa kohdassa turveprofiilia on hyvin eri-ikäisiä kuolleita juuria, sillä osa juuristosta kuolee ja uudistuu vuosittain. Sarasoilla uutta orgaanista ainesta syntyy siis sarakasvien juurten hajotessa suon pinnan lisäksi myös syvempiin turvekerroksiin (Laine

ym. 2000). Saroista turpeeseen jäävät makrofossiilit ovat siis lähinnä juurten palasia, jotka ovat voineet työnntyä syvälle turpeeseen. Tämä vaikeuttaa makrofossiilianalyysin tulkintaa, sillä sarojen juuria voi esiintyä turveprofiilissa aivan eri kohdassa, missä sarat ovat varsinaisesti kasvaneet. Tupasvillan kohdalla kasvista turpeeseen jäävät kääpiövarret edustavat kuitenkin oikeaa aikaa, sillä ne jäävät turpeeseen siihen kohtaan, missä ovat esiintyneet. Kääpiövarsien laskeminen tarkoittaa näin ollen makrofossiilianalyysin tuloksia.

Turveprofiilin kasvimakrofossiilit kertovat suon kasvillisuudesta suksession eri vaiheissa. Nykyaikaa edeltäneitä ekosysteemejä ei kuitenkaan voida täysin selvittää turpeesta. Hitaimmin hajoavat suokasvit rikastuvat turpeeseen, kun maatumisaste nousee. Tämä johtuu siitä, että suokasvien erilainen orgaaninen koostumus vaikuttaa kasvijäännöksen hajoamisnopeuteen. Hajoaminen on hitaampaa rakkavaltaisilla soilla kuin saravaltaisilla soilla, sillä rakkakarike on hitaammin hajoavaa (esim. Coulson & Butterfield 1978; Reader & Stewart 1972; Scheffer ym. 2001). Monien putkilokasvien jäänteet puolestaan hajoavat nopeasti. Tästä syystä paleoekologinen tutkimus rajoittuu niihin menneisyyden organismeihin, joiden jäänteet ovat kestäviä. Onkin tärkeää huomioida, että pitkälle maatuneissa turpeissa eri turvetekijät eivät välttämättä ole edustettuina alkuperäisissä suhteissaan. Makrofossiilianalyysin perusteella saatuja kasviryhmien runsaussuhteita on periaatteessa mahdollista korjata matemaattisesti (esim. Heikurainen & Huikari 1952; Holappa 2010). Makrofossiilin tarkkuutta voi heikentää myös näytevälit. Kun analyysi on tehty tietyllä näytevälillä, on mahdollista, että kaikkea vaihtelua kasvillisuuden kehityksessä ei ole pystytty toteamaan. Tässä tutkimuksessa oleellisinta on kuitenkin suon kasvillisuuden kehityksestä saatava yleiskuva, johon makrofossiilianalyysi ja sen perusteella tehdyt johtopäätökset ovat riittävän täsmällisiä, kunhan niiden antamiin tuloksiin osataan suhtautua kriittisesti.

Radiohiiliajoituksen tarkkuutta voi heikentää turpeen muista kerroksista näytteeseen joutunut hiili. Näin voi käydä, jos nuorempaa orgaanista ainesta joutuu vanhemman sekaan esimerkiksi kulkeutumalla veden mukana alaspäin tai esimerkiksi sarojen juurten tunkeutuessa syvälle vanhempaan turpeeseen. Myös turvenäytteitä käsiteltäessä on mahdollista, että näyte kontaminoituu modernilla materiaalilla, jolloin ajoitustulos

vääristyy. Näytteitä käsiteltäessä oltiin kuitenkin erityisen tarkkoja, joten tämäntyyppisen kontaminaation riski on pieni.

Hajonnan osituksessa selittämättömän vaihtelun osuus jää korkeaksi, mikä viittaa siihen, että tärkeitä kasvillisuuden vaihteluun vaikuttavia muuttujia on jäänyt mallista pois (Suvanto 2012). Mallissa ei ollut mukana esimerkiksi ilmastomuuttujia, ravinteiden vaikutusta tai lajien välistä kilpailua. Turpeen paksuus-muuttujassa ei huomioitu suoalaiden erilaisia ominaisuuksia, kuten pohjan ravinteita ja suon hydrologiaa. Jos nämä olisi huomioitu, olisi paksuuden merkitys kasvillisuuteen vaikuttavana tekijänä voinut olla suurempi.

Yhden turvenäytteen perusteella ei voida tehdä päätelmiä siitä, onko koko suoalueen kehitys ollut samanlaista. Kuten aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu, yhdenkin suon sisällä voi tapahtua erilaisia muutoksia. Yksi turvenäyte ei edusta koko suon kasvillisuuden kehitystä, mutta antaa kuitenkin suuntaa suon kasvillisuuden kehityskulusta.

Makrofossiilien tunnistamisessa minulla oli apunani kokenut ohjaaja ja paljon erilaista lähdekirjallisuutta. Virheelliset tunnistukset ovat silti mahdollisia. Tunnistus tehtiin kuitenkin huolellisesti ja harkiten, joten tämäntyyppisen virheen voi olettaa olevan melko pieni, eikä vaikuttavan oleellisesti tuloksiin. Esimerkiksi rämerahkasammal ja silmäkerahkasammal muistuttavat läheisesti toisiaan solurakenteeltaan ja niiden erottaminen toisistaan voi olla hankalaa. Jos kyseessä on silmäkerahkasammal, näytteessä esiintyy yleensä kuitenkin sammalen haaralehtien lisäksi myös paljon varsilehtiä, joiden perusteella tunnistaminen on helpompaa. Lisäksi muiden paleoekologisten tutkimusmenetelmien, kuten siitepölyanalyysin, käyttö makrofossiilianalyysin tukena, olisi johtanut entistä luotettavimpiin tuloksiin.

Lyalin suon turvenäytteessä ollut katkos ja eri kohdista otetut näytteet aiheuttavat virheellisten tulkintojen mahdollisuuden. Sara-tupasvillavaihettuma näyttää alkaneen Lyalin suolla samansuuntaisesti kuin muillakin tutkituilla soilla, mutta on myös mahdollista, että katkoksen aikana on tapahtunut täysin erilaisia muutoksia.

## 6. Yhteenveto

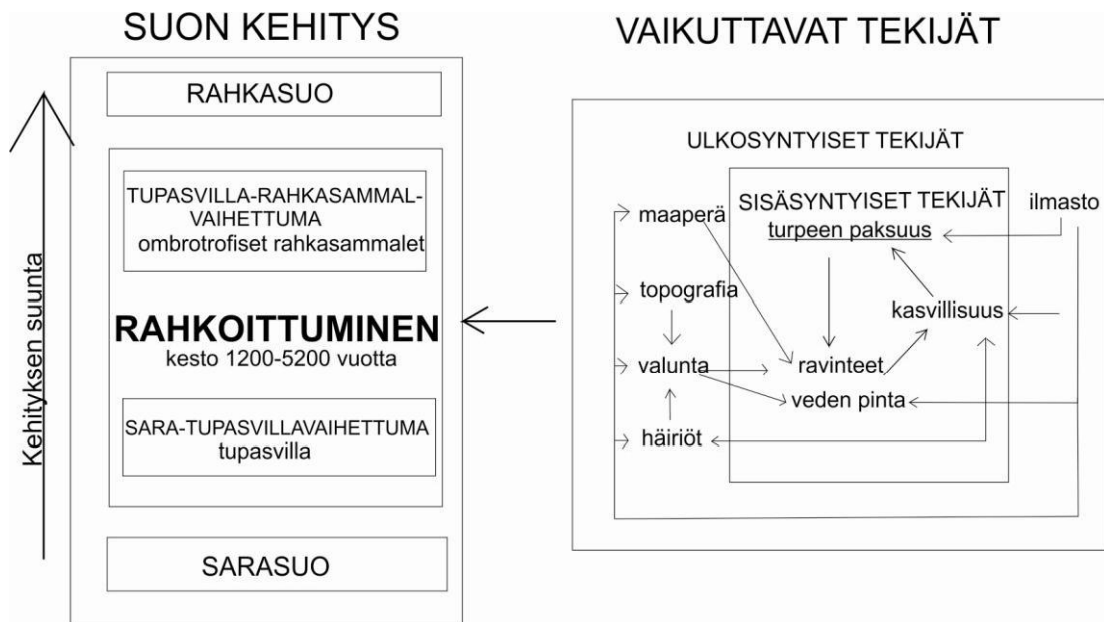
Makrofossiilianalyysin avulla voitiin tutkia suon rakkoittumiskehitystä. Tutkittujen soiden kasvillisuus on kehittynyt ravinteikkaasta kasvillisuudesta kohti vähäravinteista suokasvillisuutta. Kaikkien neljän tutkimussuon kehityskulku on samantyyppinen: suon kehitys alkaa saravaiheella, josta se vaihtuu tupasvilla-vaiheen kautta ombrotrofiseksi rahkasuoksi. Jokaisen tutkitun suon kehitys on kuitenkin yksityiskohdiltaan ja ajoitukseltaan yksilöllinen.

Tässä tutkimuksessa haluttiin selvittää mitkä kasvilajit ovat avainasemassa, kun muutos sarasuosta kohti rahkasuota alkaa. Kaikkien neljän suon kehittämisessä sarasuosta rahkasuoksi etenkin tupasvillalla on ollut suuri rooli muutoksen käynnistymisessä kohti kuivempaa ja vähäravinteista suota. Tupasvillan muodostamat mättäät ovat hyvä kasvuympäristö rahkasammalille ja ne mahdollistavat osaltaan rahkasammalten levittäytymisen. Myös ombrotrofisilla ja erilaisiin kosteusoloihin sopeutuneilla rahkasammalilla on ollut tärkeä rooli suon kehittyessä tupasvilla-vaiheesta edelleen varsinaiseksi rahkasuoksi (vrt. Kuhry 1993, Hughes & Barber 2003; Tuittila 2007). Sen sijaan minero-/mesotrofisten rahkasammalten esiintyminen rakkoittumista edeltäneessä sarasuovaiheessa näytti yllättävän vähäiseltä. Tulokset tukivat tutkimushypoteesia, jonka mukaan tietyt lajit kuten tupasvilla ja punarahkasammal ovat avainasemassa, kun sarasuo vaihettuu kohti rahkasuota (vrt. Hughes ym. 2000; Hughes & Barber 2003; Sillasoo ym. 2007). Punarahkasammal ei osoittautunut kuitenkaan muita ombrotrofisia rahkasammallajeja huomattavasti merkittävämmäksi avainlajiksi.

Lisäksi tutkittiin, onko syynä muutokseen sarasuosta rahkasuoksi muutos ilmasto-oloissa, häiriöt vai suon oma kehitys. Siikanevan, Honkanevan, Puohtiinsuon ja Lyalin suon kasvillisuushistoriat korostavat kasvillisuuteen vaikuttavien tekijöiden määrittämisen vaikeutta (Kuva 14). Muutoksia kasvillisuudessa ei pystytty selittämään vain yhden tekijän perusteella, vaan niihin näyttivät vaikuttaneen niin suon sisäinen kehitys, ilmasto kuin häiriötilanteetkin. Vaikka kasvillisuuden muutokset seurailevat tunnettuja Holoseenin ilmastovaiheita, muutokset eri soiden välillä ovat tapahtuneet eri aikoina, eikä



niille löytynyt yksittäisiä selittäviä tekijöitä aikaisemmista ilmastorekonstruktioista. Tämä viittaa siihen, etteivät pelkästään ilmastomuutokset olisi olleet merkittävässä asemassa kasvillisuuden muutoksessa vaan ennemminkin suon sisäsyntyiset tekijät kuten turpeen paksuuskasvu ja muutokset suon hydrologiassa (vrt. Väiliranta ym. 2007), kuten myös tutkimushypoteeseissa oletettiin. Myös suopalot vaikeuttavat tulosten tulkintaa, sillä ne ovat ainakin Siikanevalla johtaneet märempään kasvillisuussuknessioon, mikä vaikeuttaa ilmaston osuuden muutokseen arviointia. Vaikka radiohiiliajoitusten perusteella ei löytynyt mitään yksiselitteistä tietoa ilmaston vaikutuksesta rahkoittumiseen, voidaan todeta, että soiden sara-tupasvillavaihe alkoi keski-Holoseenin ilmastokaudella ja tupasvilla-rahkasammal-vaihe myöhäis-Holoseenin ilmastokaudella.



Kuva 14. Yhteenvedokuva rahkoittumisilmioistä ja siihen vaikuttavien tekijöiden monimutkaisuudesta. Ulkosaluenteiset vaikuttavat tekijät ovat oikealla ulommassa laatikossa ja sisäsaluenteiset sisemmässä laatikossa. Nuolet kuvaavat eri tekijöiden vaikutusten suuntaa. Sisä- ja ulkosaluenteisten tekijöiden osalta muokattu Miittisen (2011) mukaan.

Tutkimuksessa vastattiin myös kysymykseen rahkoittumisilmion nopeudesta. Rahkoittuminen osoittautui tapahtuneen kaikilla tutkituilla soilla melko hitaasti monen tuhannen vuoden aikana, mikä vahvistaa olettamusta, että sisäsaluenteinen ja usein hitaasti tapahtuva turpeen paksuuskasvu olisi ohjannut rahkoittumista. Myös nopeita muutoksia

tapahtui etenkin suopalojen aiheuttamien häiriöiden aikana. Suopaloit näyttävät laukaiseen rahkoittumisen Siikanevalla ja Lyalin suolla.

Tutkimuksessa haluttiin selvittää myös, miten soiden sijainti vaikuttaa niiden rahkoittumiseen. Rahkoittuminen alkoi tutkituilla soilla sitä aikaisemmin, mitä etelämpänä suo sijaitti. Sijainti maankohoamisalueella on vaikuttanut merkittävästi Honkannevan rahkoittumisen ajankohtaan ja kehittymiseen. Maankohoaminen jatkuu Honkannevan alueella edelleen ja siitä seuraavat muutokset maaston kallistumiskulmissa voivat yhä muuttaa suon hydrologiaa ja ekologisia olosuhteita.

Usein suon muuttuminen sarasuosta rahkasuoksi on arvioitu silmämääräisesti turvetyypin muutoksen perusteella saraturpeesta rahkaturpeeksi, jolloin rahkaturpeen lisääntymistä on pidetty merkinä rahkoittumisesta. Tässä tutkimuksessa osoitettiin kuitenkin selvästi, ettei muutos sarasuosta rahkasuoksi ole aina nopea vaan muutos voi vaihdella edestakaisin hyvinkin pitkään ja siksi kyseinen tapa on epämääräinen selvittämään suon rahkoittumisprosessia. Silmämääräisesti arvioituihin vaihettumisajankohtiin tulee suhtautua kriittisesti, eikä niiden perusteella voi tehdä tarkkoja johtopäätöksiä suon kehityksestä, vaan tarvitaan tarkentavia makro- ja/tai mikrofossiilianalyyskejä. Sarasuorahkasuovaiheuma osoittautui monivaiheisemmaksi kuin on aiemmin arvioitu (esim. Almquist-Jacobson & Foster 1995) ja siksi se jaettiin kahteen vaiheeseen: saratupasvillavaiheumaan ja tupasvilla-rahkasammalvaiheumaan.

Vaikka rahkoittuminen ei tämän tutkimuksen perusteella ole vahvasti yhdistettävissä ilmastoon, ei nykyisen ilmastonmuutoksen vaikutusta suoluontoon voi kuitenkaan aliarvioida, sillä se voi olla luonteeltaan hyvin erilainen kuin aikaisemmat ilmastonmuutokset. Ilmastonmuutoksen vaikutus voi viimeisimpien tutkimusten (Mäkilä ym. 2001; Hughes & Barber 2003; Ise ym. 2008; Tahvanainen 2011; Charman ym. 2012) valossa joko vauhdittaa sarasoiden rahkoittumiskehitystä tai mahdollisesti myös hidastaa sitä ja mahdollinen rahkoittuminen voi tapahtua joko kuivan tai märän vaiheen kautta. Jos meneillään olevan ilmastonmuutoksen takia rahkoittuminen yleistyy, sarasuot vähenevät ja niiden lajiston monimuotoisuus on vaarassa.

Tulokseni osoittavat, että sekä sisäsyntyisillä ja ulkosyntyisillä tekijöillä on ollut vaikutus soiden rahkoittumiseen, mutta aiheessa riittää vielä tutkittavaa. Jotta tutkimuksista voidaan tehdä yleisesti sovellettavia johtopäätöksiä, tarvitaan vastaavanlaista makrofossiileihin perustuvaa tutkimusta vielä lisää ja laajemmalla maantieteellisellä alueella.

## Lähteet

- Alm, J., K. Tolonen, K. & H. Vasander (1992). Determination of recent apparent carbon accumulation in peat using dated fire horizons. *Suo* 42, 191-194.
- Almquist-Jacobson, H. & D. Foster (1995). Toward an integrated model for raised-bog development: theory and field evidence. *Ecology* 76: 8, 161-174.
- Andersson, S. & K. Schoning (2010). Surface wetness and mire development during the late Holocene in central Sweden. *Boreas* 39: 4, 749-760.
- Arnold J. & W. Libby (1951). Radiocarbon dates. *Science* 113, 111-120.
- Barber, K. (1981). *Peat stratigraphy and climatic change: a palaeoecological test of the theory of cyclic peat bog regeneration*. 219 s. A. A. Balkema, Rotterdam.
- Birks H. (1995). Quantitative palaeoenvironmental reconstructions. *Teoksessa Maddy D. & J. Brew (toim.): Statistical modelling of quaternary science data*, 161–254. Quaternary Research Association, Cambridge.
- Birks, H. (2007). Plant macrofossil introduction. *Teoksessa Elias, S. (toim.): Encyclopedia of Quaternary Science* 3, 2266–2288. Elsevier, Amsterdam.
- Bohlin, E. (1993). *Botanical composition of peat*, 396 s. Väitöskirjajulkaisu, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå.
- Borcard, D., P. Legendre & P. Drapeau (1992). Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology* 73, 1045–1055.
- Bronk, R. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51: 1, 337-360.
- Brown, K., H. Seppä, G. Schoups, R. Fausto, P. Rasmussen & H. Birks (2011). A spatio-temporal reconstruction of Holocene temperature change in southern Scandinavia. *The Holocene* 22: 2, 165-177.
- Bunting, M. & B. Warner (1998). Hydroseral development in southern Ontario: patterns and controls. *Journal of Biogeography* 25: 3-18.
- CalPal (2012) 30.9.2012. < <http://www.calpal-online.de/cgi-bin/quickcal.pl>.>
- Chambers, F., D. Mauquoy, A. Gent, F. Pearson, J. Daniell & P. Jones (2007). Palaeoecology of degraded blanket mire in South Wales: Data to inform conservation management. *Biological Conservation* 137: 2, 197–209.
- Charman, D. (2002). *Peatlands and environmental change*. 301 s. John Wiley & Sons Ltd, Englanti.

- Clymo, R. (1963). Ion exchange in Sphagnum and its relation to bog ecology. *Annals of Botany* 27: 2, 309–324.
- Clymo, R. (1984). The limits to peat bog growth. *Philosophical transactions of the royal society of London* 303, 605–654.
- Coulson, J. & J. Butterfield (1978). An investigation of the biotic factors determining the rates of plant decomposition on blanket bog. *Journal of ecology* 66: 2, 631–650.
- Damman, A. (1986). Hydrology, development and biogeochemistry of ombrogenous peat bogs with special reference to nutrient relocation in a western Newfoundland bog. *Canadian Journal of Botany* 64, 384–394.
- Drebs, A., A. Norlund, P. Karlsson, J. Helminen & P. Rissanen (2002). Tilastoja Suomen ilmastosta 1971-2000. *Ilmastotietoja Suomesta* 2002: 1. 99 s. Ilmatieteen laitos, Helsinki.
- Ekman, M. (1996). A consistent map of the postglacial uplift of Fennoscandia. *Terra Nova* 8: 2, 58–165.
- Glaser, P., D. Siegel, A. Reeve, J. Janssens & D. Janeky (2004). Tectonic drivers for vegetation patterning and landscape evolution in the Albany River region of the Hudson Bay lowlands. *Journal of Ecology* 92: 6, 1054–1070.
- Glaser, P., J. Janssens & D. Siegel (1990). The response of vegetation to chemical and hydrological gradients in the Lost River peatland, Northern Minnesota. *Journal of Ecology* 78: 4, 1021–1048.
- Gorham, E. (1991). Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications* 1, 182–195.
- Gorham, E. & J. Janssens (1992). Concepts of fen and bog re-examined in relation to bryophyte cover and the acidity of surface waters. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 61: 1, 7–20.
- Granath, G., J. Strengbom & H. Rydin (2010). Rapid ecosystem shifts in peatlands: linking plant physiology and succession. *Ecology* 91: 10, 3047–3056.
- Hämet-Ahti, L., J. Suominen, T. Ulvinen & P. Uotila (toim.) (1998). *Retkeilykasvio*, 4. uudistettu painos, 656 s. Luonnontieteellisen keskusmuseon kasvimuseo, Helsinki.
- Hammarlund, D., S. Björck, B. Buchardt, C. Israelson, C. Thomsen (2003). Rapid hydrological changes during the Holocene revealed by stable isotope records

- oflacustrine carbonates from Lake Igelsjön, southern Sweden. *Quaternary Science Reviews* 22, 353–370.
- Heijmans, M., D. Mauquoy, B. van Geel & F. Berendse (2008). Long-term effects of climate change on vegetation and carbon dynamics in peat bogs. *Journal of Vegetation Science* 19: 3, 307–320.
- Heikkilä, M. & M. Seppä (2003). A 11,000 yr palaeotemperature reconstruction from the southern boreal zone in Finland. *Quaternary Science Reviews* 22: 5-7, 541-554.
- Heikurainen, L. & O. Huikari (1952). Turvelajin mikroskooppinen määrittäminen. *Suo* 37, 29-33.
- Hellén H., H. Hakola, K.-H. Pystynen, J. Rinne & S. Haapanala (2006). C<sub>2</sub>-C<sub>10</sub> hydrocarbon emissions from a boreal wetland and forest floor. *Biogeosciences* 3: 2, 167–174.
- Higham, T. (2002). 30.9.2012. < <http://www.c14dating.com/pret.html> >.
- Hill, M. (1979). *DECORANA - a FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging*. Section of Ecology and Systematics. 52 s. Cornell University, Ithaca.
- Holappa, K. (2010). Pohjois- Pohjanmaan, Kainuun ja Koillismaan suotyyppien sukkessio, turpeiden ominaisuudet ja suokasvien ekologia. 126 s. *Res terrae. Oulun yliopiston geotieteiden laitoksen julkaisuja* 30.
- Hughes, P. & K. Barber (2003). Mire development across the fen-bog transition on the Teifi floodplain at Tregaron Bog, Ceredigion, Wales, and a comparison with 13 other raised bogs. *Journal of Ecology* 91: 2, 253-264.
- Hughes, P. (1997). *The palaeoecology of the fen-bog transition during the early-to mid-Holocene in Britain*. Väitöskirjajulkaisu, University of Southampton.
- Hughes, P. & J. Schulz (2001). The development of the Borth Bog (Cors Fochno) mire system and the submerged forest beds at Ynyslas. *The Quaternary of West Wales Field Guide*, 104-112. Quaternary Research Association, Lontoo.
- Hughes, P. & K. Barber (2004). Contrasting pathways to ombrotrophy in three raised bogs from Ireland and Cumbria, England. *The Holocene* 14: 1, 65-77.
- Hughes, P. (2000). A reappraisal of the mechanisms leading to ombrotrophy in British mires. *Ecology letters* 3: 1, 7-9.

- Hughes, P., D. Mauquoy, K. Barber & P. Langdon. (2000). Mire-development pathways and palaeoclimatic records from a full Holocene peat archive at Walton Moss, Cumbria, England. *The Holocene* 10: 4, 465–479.
- Hughes, P., L. Dumayne-Peaty (2002). Testing theories of mire development using multiple successions at Crymlyn Bog, West Glamorgan, South Wales, UK. *Journal of Ecology* 90: 3, 456–471.
- ICOS(2012).28.9.2012.<[http://www.icosinfrastructure.fi/index.php?option=com\\_content&view=article&id=58&Itemid=](http://www.icosinfrastructure.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=58&Itemid=)>.
- IPCC (2007). *IPCC Fourth assessment report: Climate Change 2007. Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 104 s. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ise, T., A. Dunn, S. Wofsy, P. Moorcroft (2008). High sensitivity of peat decomposition to climate change through water-table feedback. *Nature Geoscience* 1, 763-766.
- Janssens, J., P. Hansen, P. Glaser & C. Whitlock (1992). Development of a raised-bog complex. *Teoksessa H. Wright Jr., B. Coffin & N. Asseng (toim.): The patterned peatlands of Minnesota*, 189-221. University of Minnesota Press, St. Paul.
- Janssens, C. (1992). The Myrtle Lake peatland. *Teoksessa H. Wright Jr., B. Coffin & N. Asseng (toim.): The patterned peatlands of Minnesota*, 223-235. University of Minnesota Press, St. Paul.
- Jauhiainen, S., R. Laiho & H. Vasander (2002). Ecohydrological and vegetational changes in a restored bog and fen. *Annales Botanici Fennici* 39, 185–199.
- Kazda, M. (1995). Changes in alder fens following a decrease in the ground water table: results of a geographical information application. *Journal of Applied Ecology* 32: 1, 100-110.
- Korhola, A. (1994). Holocene climatic variations in southern Finland reconstructed from peat-initiation data. *The Holocene* 5, 43–58.
- Korhola, A., K. Tolonen, J. Turunen & H. Junger (1995). Estimating long-term carbon accumulation rates in boreal peatlands by radiocarbon dating. *Radiocarbon* 37, 575-584.

- Korhola, A. & K. Tolonen (1996). The natural history of mires in Finland and the rate of peat accumulation. *Teoksessa* Vasander, H. (toim.): *Peatlands in Finland*, 20-33. Suoseura- Finnish Peatland Society, Helsinki.
- Korhola, A. & K. Tolonen (1998). Suomen soiden kehityshistoria ja turpeen pitkäaikaiskertymät. *Teoksessa* Vasander, H. (toim.) *Suomen suot*, 20-26. Suoseura- Finnish Peatland Society, Jyväskylä.
- Korhola, A. (1990). Suomen soiden synty ja kehitys. *Terra* 102: 4, 256-267.
- Korhola, A. (1992). Mire induction, ecosystem dynamics and lateral extension on raised bogs in the southern coastal area of Finland. *Fennia* 170: 2, 25-94.
- Korhola, A., J. Weckström, L. Holmström & P. Erästö (2000). A quantitative Holocene climatic record from diatoms in northern Fennoscandia. *Quaternary research* 54: 2, 284-294.
- Kuhry, P. & J. Turunen (2006). The postglacial development of boreal and subarctic peatlands. *Teoksessa* Wieder, R. & D. Vitt (toim.): *Boreal peatland ecosystems*, 429 s. Springer, Berliini.
- Kuhry, P., B. Nicholson, D. Gignac, D. Vitt & S. Bayley (1993). Development of *Sphagnum* -dominated peatlands in boreal continental Canada. *Canadian Journal of Botany* 71: 1, 10-22.
- Kuhry, P., L. Halsey, S. Bayley & D. Vitt (1992). Peatland development in relation to Holocene climatic change in Manitoba and Saskatchewan (Canada). *Canadian Journal of Earth Sciences* 29: 5, 1070-1090.
- Laiho, J., M. Pirinen & J. Kumpulainen (2006). *Petkeljärvi-Putkelanharjun sekä Puohtiinsuon Natura 2000 alueen hoito- ja käyttösuunnitelma*. 92 s. Metsähallitus.
- Laine, A., J. Bubier, T. Riutta, M. Nilsson, T. Moore, H. Vasander & E.-S. Tuittila (2011). Abundance and composition of plant biomass as potential controls for mire net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange. *Botany* 90: 1, 63- 74.
- Laine, J., K. Minkkinen, R. Laiho, E.-S. Tuittila & H. Vasander (2000). Suokasvit-turpeen tekijät. 55 s. *Helsingin yliopiston metsäekologian laitoksen julkaisuja* 24.
- Laine, J., P. Harju, T. Timonen, A. Laine, E.-S. Tuittila, K. Minkkinen & H. Vasander (2009). The intricate beauty of *Sphagnum* mosses - a Finnish guide to identification. 190 s. *Helsingin yliopiston metsäekologian laitoksen julkaisuja* 39.



- Laitinen, J., S. Rehell & J. Oksanen (2008). Community and species responses to water level fluctuations with reference to soil layers in different habitats of mid-boreal mire complexes. *Plant Ecology* 194: 1, 17-36.
- Lamb, H. (1965). The early medieval warm epoch and its sequel. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 1, 13-37.
- Leah, M., C. Wells, P. Stamper, E. Huckerby & C. Welch (1998). *The wetlands of Shropshire and Staffordshire, North West Eetlands Survey*, 252 s. University of Lancaster.
- Legendre, P & E. Gallagher (2001). Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia* 129: 271–280.
- Leppälä, M., K. Kukko-Oja, R. Laine & E.-S. Tuittila (2008). Seasonal dynamics of CO<sub>2</sub> exchange during primary succession of boreal mires as controlled by phenology of plants. *Ecoscience* 15: 460-471.
- Libby, W., E. Anderson & J. Arnold (1949). Age determination by radiocarbon content: world-wide assay of natural radiocarbon. *Science* 109: 2827, 227-28.
- Lotsari, E., N. Veijalainen, P. Alho & J. Käyhkö (2010). Impact of climate change on future discharge and flow characteristics of the Tana river, subarctic Northern Fennoscandia. *Geografiska Annaler* 92: 2, 263-284.
- MML, Maanmittauslaitos (2011). *Yleiskartta 1:50 000*. Ladattu PaITuli-paikkatietopalvelusta 20.2.2013.
- Mäkilä, M., M. Saarnisto & T. Kankainen (2001). Aapa mires as a carbon sink and source during the Holocene. *Journal of Ecology* 89: 4, 589–599.
- Mauquoy, D., P. Hughes & B. van Geel (2010). A protocol for plant macrofossil analysis of peat deposits. *Mires and Peat* 7: 11, 1-5.
- Middleton, R., C. Wells & E. Huckerby (1995). *The wetlands of North Lancashire*. North West Wetlands Survey 3. 279 s. Lancaster Imprints, Lancaster.
- Miettinen, A. (2011). *Kasvillisuussukessio aapasuon kehityksen aikana - paleoekologinen näkökulma*. 56 s. Pro gradu-tutkielma. Helsingin yliopisto. Biotieteiden laitos.
- Moore, P. (2002). The future of cool temperate bogs. *Environmental Conservation* 29: 3–20.

- Nichols, H. (1969). The late quaternary history of vegetation and climate at Porcupine Mountain and Clearwater Bog, Manitoba. *Arctic and Alpine Research* 1: 3, 155-167.
- Pajula, R. (2000). Spatio-temporal development of the Soomaa mire system in SW Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences* 49: 2, 194-208.
- Pajunen, H. (2005). Mires. Teoksessa Seppälä, M. (toim.): The physical geography of Fennoscandia, 77–95. Oxford University Press. Oxford.
- Parviainen, M. & M. Luoto (2007). Climate envelopes of mire complex types in Fennoskandia. *Geografiska annaler* 89: 2, 137-151.
- Quinn, G. & M. Keough (2002). *Experimental design and data analysis for biologists*. 539 s. Cambridge University Press, Cambridge.
- R Development Core Team (2011). *R: A language and environment for statistical computing*. R Project for Statistical Computing. Wien. <<http://www.r-project.org>>.
- Ramette, A (2007). Multivariate analyses in microbial ecology. *FEMS Microbiology Ecology* 62: 2, 142–160.
- Reader, R. & J. Stewart (1972). The relationship between net primary production and accumulation for a peatland in Southeastern Manitoba. *Ecology* 53: 6, 1024–1037.
- Rehell, S. & R. Heikkilä (2009). Aapasoiden nuoret sukkessiovaiheet Pohjois-Pohjanmaan maankohoamisrannikolla. *Suo* 60, 1-22.
- Reimer, P., M. Baillie, E. Bard, A. Bayliss, W. Beck, P. Blackwell, B. Ramsey, C. Buck, G. Burr, L. Edwards, M. Friedrich, M. Grootes, T. Guilderson, I. Hajdas, T. Heaton, A. Hogg, K. Hughen, F. Kaiser, B. Kromer, G. McCormac, S. Manning, R. Reimer, D. Richards, J. Southon, S. Talamo, C. Turney, J. van der Plicht & C. Weyhenmeyer (2009). IntCal09 and Marine09 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 51, 1111-1150.
- Rikkinen, J. (2008). *Jäkälät ja sammalet Suomen luonnossa*. 208 s. Otava, Keuruu.
- Robichaud, A & Y. Bégin (2009). Development of a raised bog over 9000 years in Atlantic Canada. *Mires and peat* 5: 4, 1-19.
- Ruuhijärvi, R. (1960). Über die regionale Einteilung der Nordfinnischen Moore. *Annales botanici societatis zoologicae botanicae Fennicae* 31: 1, 1-360.

- Ruuhijärvi, R. 1983: The Finnish mire types and their regional distribution. *Teoksessa* Gore, A. (toim.): *Ecosystems of the world 4B: Mires: Swamp, Bog, Fen and Moor*, 47-67. Elsevier, New York.
- Rybniček, K. (1973). A comparison of the present and past mire communities of central Europe. *Teoksessa* H. Birks & R. West (toim.): *Quaternary Plant Ecology*, 237-261. Blackwell, Oxford.
- Rydin, H. & J. Jeglum (2006). *The Biology of Peatlands*. 343 s. Oxford University press, Oxford.
- Rydin, H., U. Gunnarsson & S. Sundberg (2006). The role of Sphagnum in peatland development and persistence. *Teoksessa* Wieder R. & D. Vitt (toim.): *Boreal peatland ecosystems*. 435 s. Springer-Verlag, Berliini.
- Scheffer, R., R. van Logtestijn & J. Verhoeven (2001). Decomposition of Carex and Sphagnum litter in two mesotrophic fens differing in dominant plant species. *Oikos* 92: 1, 44-54.
- Seppä H., D. Hammarlund & K. Antonsson (2005). Low-frequency and high-frequency changes in temperature and effective humidity during the Holocene in south-central Sweden: Implications for atmospheric and oceanic forcings of climate. *Climate Dynamics* 25: 2-3, 285–297.
- Seppä, H. (2002). Mires of Finland: Regional and local controls of vegetation, landforms, and long-term dynamics. *Fennia* 180: 1–2, 43–60.
- Siegel, D., A. Reeve, P. Glaser & E. Romanowicz (1995). Climate-driven flushing of pore water in peatlands. *Nature* 374: 6, 531-533.
- Silander, J., B. Vehviläinen, J. Niemi, A. Arosilta, T. Dubrovin & J. Jormola (2006). Climate change adaptation for hydrology and water resources. *FINADAPT Working paper 6. Finnish Environment Institute Mimeographs* 336. 52 s. Helsinki.
- Sillasoo, Ü., D. Mauquoy, A. Blundell, D. Charman, M. Blaauw, J. Daniell, P. Toms, J. Newberry, F. Chambers & E. Karofeld (2007). Peat multi-proxy data from Männikjärve bog as indicators of Late Holocene climate changes in Estonia. *Boreas* 36: 1, 20–37.
- Sillasoo, Ü., M. Väiliranta & E.-S. Tuittila (2011). Fire history and vegetation recovery in two raised bogs at the Baltic Sea. *Journal of Vegetation Science* 22: 6, 1084–1093.

- Smith, A. & I. Goddard (1991). A 12 500 year record of vegetational history at Sluggan Bog, Co. Antrim, N. Ireland (incorporating a pollen zone scheme for the nonspecialist). *New Phytologist* 118, 167–187.
- Smith, A. & L. Morgan (1989). A succession to ombrotrophic bog in the Gwent Levels, and its demise: a Welsh parallel to the peats of the Somerset Levels. *New Phytologist* 107, 145–167.
- Soudzilovskaia N., J. Cornelissen, H. During, R. van Logtestijn & S. Lang (2010). Similar cation exchange capacities among bryophyte species refute a presumed mechanism of peatland acidification. *Ecology* 91: 9, 2716–2726.
- Suvanto, S. (2012). *Topografian, maaperän ja geomorfologian vaikutukset putkilokasvien biomassan vaihteluun oroarktisella tunturikankaalla*. 71 s. Pro gradu-tutkielma. Helsingin yliopisto. Geotieteiden ja maantieteen laitos.
- Svensson, G. (1988). Bog development and environmental conditions as shown by the stratigraphy of Store Mosse mire in Southern Sweden. *Boreas* 17: 1, 89-111.
- Tahvanainen, T. (2005). Diversity of water chemistry and vegetation of mires in the Kainuu region, middle boreal Finland. *PhD dissertations in biology* 33. 30 s. Joensuun yliopisto.
- Tahvanainen, T. (2011). Abrupt ombrotrophication of a boreal aapa mire triggered by hydrological disturbance in the catchment. *Journal of ecology* 99: 2, 404-415.
- ter Braak, C. (1986). Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67: 5, 1167–1179.
- Tipping, R. (1995). Holocene evolution of a lowland Scottish landscape: Kirkpatrick Fleming. Part I, peat- and pollen-stratigraphic evidence for raised moss development and climatic change. *The Holocene* 5: 1, 69-81.
- Tolonen, K. (1987). Natural history of raised bogs and forest vegetation in the Lammi area, Southern Finland, studied by stratigraphical methods. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae* 144, 1-46.
- Topmap (2013). Vuoden 1968 peruskartta 1:200 000. 22.2.2013 <<http://topmap.narod.ru/>>.
- Tuittila, E.-S., M. Väliiranta, J. Laine & A. Korhola (2007). Quantifying patterns and controls of mire vegetation succession in a southern boreal bog in Finland using partial ordinations. *Journal of vegetation science* 18: 6, 891-902.

- Turunen, J., A. Rätty, O. Kuzetsov, A. Maksimov, P. Shevelin, S. Grabovik, K. Tolonen, A. Pitkänen, C. Turunen, J. Meriläinen & H. Jungner (2002). Development history of Patvinsuo mire, Eastern Finland. *Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja* 138. 72 s.
- van den Wollenberg, A. (1977). Redundancy analysis. An alternative for canonical correlation analysis. *Psychometrika* 42: 207-219.
- Vasander, Harri (1998). *Suomen suot*. Suoseura ry. Helsinki. 167 s.
- Vitt, D. (2006). Functional characteristics and indicators of boreal peatlands. *Teoksessa* Wieder R & D. Vitt (toim.): *Boreal peatland ecosystems*, 435 s. Springer- Verlag Berlin Heidelberg, Berliini.
- Väliranta, M., A. Korhola, H. Seppä, E.-S. Tuittila, K. Saramaja-Korjnen, J. Laine & J. Alm (2007). High-resolution reconstruction of wetness dynamics in a southern boreal raised bog, Finland, during the late Holocene: a quantitative approach. *The Holocene* 17: 8, 1093-1107.
- Väliranta, M. (2012). Suullinen tiedonanto. 3.9.2012.
- Walker, L. & R. del Moral (2003). *Primary succession and ecosystem rehabilitation*. 442 s. Cambridge University Press, Cambridge.
- Wein, R. (1973). Biological flora of the British Isles: *Eriophorum vaginatum*. *Journal of Ecology* 61: 2, 601-615.
- Wells, C., E. Huckerby & V. Hall (1997). Mid -and late -Holocene vegetation history and tephra studies at Fenton Cottage, Lancashire, U.K. *Vegetation History and Archaeobotany* 6, 153–166.
- Ympäristöhallinto (2012a). 25.4.2012.  
<<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=21212>>
- Ympäristöhallinto (2012b).  
25.4.2012.<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=405639&lan=FI>

**Liite 1.** Tutkielmassa käytettyjen lajien tieteelliset ja suomenkieliset nimet ja niistä käytetyt lyhenteet.

<b>Tieteellinen nimi</b>	<b>Suomenkielinen nimi</b>	<b>Lyhenne</b>
<b>Lajit</b>		
<i>Andromeda polifolia</i>	suokukka	
<i>Aulacomnium palustre</i>	suonihuopasammal	
<i>Betula nana</i>	vaivaiskoivu	
<i>Calla palustris</i>	vehka	
<i>Calluna vulgaris</i>	kanerva	
<i>Carex cespitosa</i>	mätässara	
<i>Carex chordorrhiza</i>	juurtosara	
<i>Carex lasiocarpa</i>	jouhisara	
<i>Carex limosa</i>	mutasara	
<i>Carex magellanica</i>	riippasara	
<i>Carex nigra</i>	jokapaikansara	
<i>Carex pauciflora</i>	rahkasara	
<i>Carex rostrata</i>	pullosara	
<i>Comarum palustre</i>	kurjenjalka	Comapalu
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	vaivero	
<i>Drosera rotundifolia</i>	pyöreälehtikihokki	
<i>Empetrum nigrum</i>	variksenmarja	
<i>Erica tetralix</i>	kellokanerva	
<i>Eriophorum angustifolium</i>	luhtavilla	
<i>Eriophorum vaginatum</i>	tupasvilla	Eriovagi
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	viitasammakonputki	
<i>Juncus filiformis</i>	jouhivihvilä	
<i>Menyanthes trifoliata</i>	raate	Menytrif
<i>Molinia caerulea</i>	siniheinä	
<i>Najas tenuissima</i>	hentonäkinruoho	
<i>Pinus sylvestris</i>	mänty	
<i>Phragmites australis</i>	järvioko	
<i>Polytricum commune</i>	korpikarhunsammal	
<i>Rhododendron tomentosum</i>	suopursu	
<i>Rubus chamaemorus</i>	lakka	
<i>Scheuchzeria palustris</i>	leväkkö	Schepalu
<i>Scorpidium scorpioides</i>	lettolierosammal	
<i>Sphagnum affine</i>	rannikkorahkasammal	
<i>Sphagnum angustifolium</i>	rämerahkasammal	Sphaangu
<i>Sphagnum annulatum</i>	rimpirahkasammal	
<i>Sphagnum aongstroemii</i>	kuultorahkasammal	
<i>Sphagnum auriculatum</i>	rantarahkasammal	

<i>Sphagnum balticum</i>	silmäkerahkasammal	Sphabalt
<i>Sphagnum capillifolium</i>	kangasrahkasammal	
<i>Sphagnum centrale</i>	vaalearahkasammal	
<i>Sphagnum compactum</i>	paakkurahkasammal	
<i>Sphagnum contortum</i>	käyrälehtirahkasammal	
<i>Sphagnum cuspidatum</i>	kuljurahkasammal	Sphacusp
<i>Sphagnum fallax</i>	sararahkasammal	
<i>Sphagnum fimbriatum</i>	viitarahkasammal	
<i>Sphagnum flexuosum</i>	sirorahkasammal	
<i>Sphagnum fuscum</i>	ruskorahkasammal	Sphafusc
<i>Sphagnum girgensohnii</i>	korpirahkasammal	Sphagirg
<i>Sphagnum inundatum</i>	luhtarahkasammal	
<i>Sphagnum jensenii</i>	pohjanrimpirahkasammal	Sphajens
<i>Sphagnum lindbergii</i>	aaparahkasammal	
<i>Sphagnum magellanicum</i>	punarahkasammal	Sphamage
<i>Sphagnum majus</i>	vajorahkasammal	Sphamaju
<i>Sphagnum molle</i>	nummirahkasammal	
<i>Sphagnum obtusum</i>	kuovinrahkasammal	
<i>Sphagnum palustre</i>	etelänrahkasammal	
<i>Sphagnum papillosum</i>	kalvakkarahkasammal	
<i>Sphagnum platyphyllum</i>	lamparerahkasammal	
<i>Sphagnum pulchrum</i>	kurjenrahkasammal	
<i>Sphagnum quinquefarium</i>	särmärahkasammal	
<i>Sphagnum riparium</i>	haprarahkasammal	
<i>Sphagnum rubellum</i>	rusorahkasammal	Spharube
<i>Sphagnum russowii</i>	varvikkorahkasammal	Spharuss
<i>Sphagnum squarrosum</i>	okarahkasammal	Sphasqua
<i>Sphagnum subfulvum</i>	pohjanrahkasammal	
<i>Sphagnum subnitens</i>	kirjorahkasammal	
<i>Sphagnum tenellum</i>	hentorahkasammal	Sphatene
<i>Sphagnum subsecundum</i>	keräpäähkasammal	
<i>Sphagnum teres</i>	lettorahkasammal	Sphatere
<i>Sphagnum warnstorfi</i>	heterahkasammal	
<i>Sphagnum viride</i>	viherrahkasammal	
<i>Sphagnum wulfianum</i>	pallopäähkasammal	
<i>Straminergon stramineum</i>	kalvaskuirisammal	Strastram
<i>Tricophorum cespitosum</i>	tupasluikka	
<i>Vaccinium oxycoccos</i>	isokarpalo	
<i>Vaccinium uliginosum</i>	juolukka	
<i>Zannichellia palustris var pedicellata</i>	otahaura	

## Ryhmät

*Sphagnum acutifolia*-ryhmä  
*Sphagnum cuspidata*-ryhmä  
*Sphagnum palustria*-ryhmä  
*Sphagnum subsecunda*-ryhmä

Seccusp  
Secpalu

## Suvut

*Alnus* spp. lepät  
*Alisma* spp. sarpiokasvit  
*Betula* spp. koivut  
*Calliergon* spp. kuirisammalet  
*Carex* spp. sarat  
*Equisetum* spp. kortteet  
*Eriophorum* spp. suovillat  
*Polytrichum* spp. karhunsammal  
*Rhyncospora* spp. piirtoheinät  
*Sphagnum* spp. rahkasammalet  
*Trichophorum* spp. luikat  
*Warnstorfia* spp. sirppisammalet

Carespp.  
Equispp.

Sphaspp.

Warnssp

## Heimot

*Cyperaceae* sarakasvit  
*Ericaceae* kanervakasvit

Ericdr