

# Yleiskatsaus Sphagnopsida-luokan sammaliin

Matias Wolff

LuK-tutkielma

Biologian tutkinto-ohjelma, Ekologia

Oulun yliopisto

Kesäkuu 2018

## Contents

1. Johdanto.....	3
2. Morfologia .....	3
2.1 Morfologia .....	3
2.2 Gametoforin morfologia.....	4
2.3 Sporofyytin morfologia.....	5
2.4 Poikkeavien sammalten morfologia.....	5
3. Fylogenia ja luokitus .....	7
3.1 Fylogenia.....	7
3.2 Erileistumisen ajoitukset .....	8
3.3 Fossiililöydöt.....	9
4. Leviäminen .....	9
4.1 Levinneisyys .....	9
4.2 Historiallinen levinneisyys.....	10
6. Ilmastonmuutos.....	11
6.1 Ilmastonmuutos .....	11
6.2 Rahkasammal suot ja ilmastonmuutos.....	11
6.3 Ilmastonmuutoksen mahdolliset vaikutuksen rahkasammaliin.....	12
7. Yhteenveto.....	14
Viittaukset .....	15

# 1. Johdanto

Sphagnopsida, eli rahkasammalten luokka, kuuluu lehtisammalten (Bryophyta) pääjaksoon, joka edustaa n. 65% kaikista sammallajeista. Nykyarvioiden mukaan lehtisammalia on n. 13000 (Magill, 2014), sarvisammalia n. 200 -250 (Villareal ym., 2014), maksasammalia n. 5000 - 6000lajia (von Konrat ym., 2014). Sphagnopsida sisältää lähemmäs 390 hyväksyttyä lajia, joista suurin osa on *Sphagnum*-suvun sammalia. Sphagnopsida eriytyi hyvin aikaisessa vaiheessa muista sammallinjoista ja se on sisarluokka kaikille muille lehtisammalluokille (Newton, Wikström, & Shaw, 2009). Ei ole siis mikään yllätys, että Sphagnopsida-luokan sammatet ovat myös ulkonäöltään ja toiminnoiltaan hyvin erityisiä verrattuna lehtisammaliin tai kaikkiin sammaliin. Sphagnopsida sisältää nykyään vain yhden alaluokan (Sphagnidae), yhden lahkun (Sphagnales) ja kolme eri sukua (*Flatbergium*, *Eosphagnum* ja *Sphagnum*) (Shaw, Szövényi, & Shaw, 2011).

Tässä tutkielmassa tavoitteena on ottaa selvää mitkä asiat tekevät Sphagnopsida luokan sammalista erityisiä ja ainutlaatuisia. Tutkielmani tarkoituksena on vastata seuraaviin kysymyksiin: Mikä on Sphagnopsida, milloin se on kehittynyt, miten se eroaa muista lehtisammalista tai sammalista yleisesti, miten se on levinnyt maapallolla, mitä ekologisia erityispiirteitä se omaa ja millaiset tulevaisuuden näkymät sillä on? Tarkoituksenani on siis tehdä yleiskatsaus Sphagnopsida-luokkaan ja sen jäseniin vastaten yllä oleviin kysymyksiin lähinnä perustuen uuteen tutkimuskirjallisuuteen.

## 2. Morfologia

### 2.1 Morfologia

Rahkasammalet eroavat muista sammalista hyvin paljon sekä morfologisesti, että kehityksellisesti. Iso osa sporofyytin ja gametofyytin morfologiasta on ominaista pelkästään rahkasammalille (Shaw, Cox, & Boles, 2003). Näitä erityispiirteitä esiintyy käytännössä jokaisessa rahkasammalen elinkierron vaiheessa (Shaw ym., 2003). Rahkasammalten itiöt muodostavat itäessään protoneman, jolla on paksuuntumia vain ensimmäisten solujakojen aikana, jonka jälkeen siitä erilaistuu kaksipuolinen apikaalinen solu ja protonemasta on muodostunut sekovarsi (Anderson ja Crosby 1965). Tällaisen sekovarren morfologian jakaa keskenään Sphagnopsida ja

Andreaeopsida. Tämä vihjaa siihen, että kyseessä saattaa olla plesiomorfinen ominaisuus lehtisammalten sisällä (Shaw ym., 2003).

## 2.2 Gametofyytin morfologiaa

Täysikasvuisilla rahkasammalkasveilla (gametofyytti) on useita haaroja, jotka ovat kimppuuntuneet yhteen yhdeksi paksuksi haaraksi. Yleensä yksi tällainen kimppu sisältää 3-5 haaraa, tosin joillakin lajeilla on enemmän, esim. *S. wulfianum*, tai jopa ei ollenkaan, esim. *S. cyclophylum* (Shaw ym., 2003). Merkittävää on myös se, että rahkasammalilla ei ole lainkaan juurtumahapsia (rhizoidi), joilla kiinnittyä substraattiin. Rhizoidit ovat hyvin tavallisia ja tavataan sammalilla monista eri luokista (Andrus ym., 2010). Rahkasammalten haarat ovat dimorfisia ja sisältävät 1 -2 ns. alaspäistä ja 1 -2 ulospäistä haaraa (Andrus ym., 2010). Alaspäiset haarat nimensä mukaisesti ojentuvat alas varren mukaisesti ja ovat tehokkaita veden ulkoiseen kuljettamiseen (Andrus ym., 2010). Ulospäiset haarat, jotka ovat lähellä varren huippua ovat yhtyneet ja muodostavat yhdessä latvuksen (Shaw ym., 2003). Latvuksen ominaisuuksia käytetään usein hyödyksi, kun halutaan selvittää mikä rahkasammallaji on kyseessä (Shaw ym., 2003).

Rahkasammalkasvilla on apikaalinen solu, jolla on kolme leikkauspintaa ja varressa on subapikaalinen ryhmä kasvusolukkoon liittyviä soluja, jotka ottavat osaa sammalen pituus kasvuun. (Andrus ym., 2010). Varren poikkileikkauksessa nähdään myös pieni keskus alue, joka koostuu ohutseinäisistä soluista. Keskusaluetta ympäröi selvä alue pieniä paksuseinäisiä soluja. Tätä kutsutaan ns. puusylinteriksi (Andrus ym., 2010). Rahkasammalten lehtisolut koostuvat kahdentyyppisistä soluista: klorofyllisolusta, jotka sisältävät kloroplasteja, ja läpinäkyviä hyaliinisoluja, jotka ovat kuolleita täysi-ikäisellä rahkasammalella (Glime, 2017). Nämä hyaliinisolut ovat pakkautuneet monimutkaiseen verkostoon klorofyllisoluja, jotka ovat hyvin kapeita verrattuna hyaliinisoluihin (Andrus ym., 2010). Tällainen lehtisolujen kuvio on uniikki rahkasammalille ja tätä muistuttavia kuviota tavataan vain joissakin yksittäisissä sammal lajeissa (Andrus ym., 2010). Näiden hyaliini- ja klorofyllisolujen muodostuminen lehden kehittymisen aikana on myös täysin ainutlaatuinen pelkästään rahkasammalille (Andrus ym., 2010). Täysin kehittyneessä lehdessä yhtä hyaliinisolua ympäröi vähintään 5 klorofyllisolua (Andrus ym., 2010).

## 2.3 Sporofyytin morfologiaa

Rahkasammalten itiöpesäkkeen (sporofyytti) muodostaminen on myös hyvin erilaistunutta. Muodostuneella sporofyytillä ei ole lainkaan pesäkeperää (seta). Sen sijaan sporofyytin nostattaa pseudopodium (Andrus ym., 2010). Tämä ominaisuus on tavattavissa myös Andreaeopsida luokan sammalilla, mutta ei kuitenkaan Andreaebryopsida, Bryopsida tai Takakiopsida luokkiin kuuluvilla lajeilla (Duckett, Pressel, & Renzaglia, 2009). Itiöpesäkkeen (sporangium) sisäinen kudosis muodostuu alkiollisesta amfiteemi kudoksesta ja ympäröi massiivista columella (Andrus ym., 2010). Muilla sammalilla sporangiumin kudosis on muodostunut endoteemisen kudoksen ulkokerroksesta (Andrus ym., 2010). Rahkasammalten columella on myös hyvin roteva verrattuna muitten sammalten hoikkaan columellaan (Andrus ym., 2010). Rahkasammalten amfiteemi ja endoteemi eriytyvät jo hyvin aikaisessa vaiheessa sporofyytin kehitystä (Andrus ym., 2010). Tätä kehityksen ajoituseroa rahkasammalten ja muiden sammalten välillä pidetään hyvin olennaisena ja keskeisenä (Duckett ym., 2009). Rahkasammalten itiöpesäkkeillä on operculumi niin kuin aitosammalilla (Bryopsida), mutta toisin kuin aitosammalilla rahkasammalilla ei ole ollenkaan suuvarusta (Andrus ym., 2010). Itiöpesäkkeet avautuvatkin ainutlaatuisella ns. ”pop-gun” mekanismilla, jossa operculum irtoaa lähes räjähtämällä pesäkkeen kutistuessa vapauttaen itiöt ilmaan (Duckett ym., 2009).

## 2.4 Poikkeavien sammalten morfologiaa

Vuonna 1990 Yamaguchi ym., kuvasivat uuden lajin Tasmaniasta: *Ambuchanania leucobryoides*. Myöhemmin se sijoitettiin omaan lahkoon ja heimoon *Sphagnumin* rinnalle (Crum & Seppelt, 1999). *A. leucobryoides* eroaa morfologisesti *Sphagnum*-lajeista, siten että sillä ei ole ollenkaan haaroista muodostuneita kimppuja. Se on myös hyvin harvasti haaroittunut, eikä sen varressa ole puusylinteriä niin kuin *Sphagnum*-lajeilla (Glime, 2017). *A. leucobryoidesilla* on samalla lailla dimorfiset lehtisolut kuin *Sphagnum*-lajeilla. Tämä on selvä todiste siitä, että lahkot ovat läheistä sukua toisilleen (Andrus ym., 2010). *Ambuchanania* on kiinnittynyt substraattiin rhizoidien avulla ominaisuus, jota tavataan vain yhdellä epifyyttisellä *Sphagnum*-lajeilla (Glime, 2017). *Ambuchanania* on myös huomattavan pieni, sen koko vaihtelee yleensä 0.5 -3cm välillä, tosin sen lehdet ovat kasvin kokoon nähden erittäin suuret (Andrus ym., 2010). *Ambuchanania* sporofyyttiä nostaa koholle pseudopodium. Tämän lisäksi *Ambuchanania* itiöpesäkkeessä on useita valeilmarakoja (pseudostomata), jotka muistuttavat ilmarakoja (stomata), mutta eivät ole toimintakykyisiä. Nämä ovat molemmat ominaisuuksia joita tavataan myös *Sphagnum*-lajeilla (Duckett ym., 2009).

Vuonna 2010 Shaw ym. kuvasivat kaksi taksonomisesti uutta lajia: *Flatbergium sericeum* ja *Eosphagnum inretortum* (Andrus ym., 2010). *F. sericeum* on yksi kolmesta *Sphagnum*-lajista, jolla ei ole säikeitä hyaliinisolujen seinillä. Verrattaessa myös muihin *Sphagnum*-lajeihin *F. sericeumilla* on hyvin eriävä klorofylli- ja hyaliinisolujen muodostama kuvio. *F. sericeumilla* on hyaliinisoluja laikuittain, eikä säännönmukaisesti, jossa yhtä hyaliinisolua ympäröi aina 4 - 5 klorofyllisolua (Andrus ym., 2010). Hyaliinisolujen laikkuisuus voi viitata, joko klorofyllisolujen muodostumiseen hyaliinisoluiksi kehityksen aikana, tai solujakaumiin lehden yksilönkehityksen aikana. Lehden reunoja ympäröi joskus myös hampaisto. Tämä on yleistä hyvin monissa eri lajeissa aitosammalten luokassa, mutta sitä ei tavata rahkasammalilla.

*Eosphagnum inretortum* on rakenteeltaan hyvin tyypillinen ja samankaltainen niin kuin *Sphagnum*-lajit. Sillä on päätteinen latvus, tavallinen varren ja haarojen anatomia, kimppuuntuneet haarat ja dimorfiset lehdet hyaliinisoluiheen, ja seinä säikeineen (Andrus ym., 2010). Kuitenkin *E. inretortumin* haarojen ”kuorelta” puuttuu retorttisolut. Nämä retorttisolut puuttuvat myös joiltain *Sphagnum* ja *Rigida* alasukujen lajeilta. Vaikka monet *E. inretortumin* ominaisuudet ovat samankaltaisia, niin kuin *Sphagnum*-alasuvun lajeilla, on sillä piirteitä, jotka eivät sovi kuitenkaan siihen alasuokkuun. *Sphagnum*-lajeilla varren kuori on eriytynyt 3 -4 kerrokseen suurentuneita hyaliinisoluja, mutta *E. inretortumin* varressa on vain yksi kerros. *Sphagnum*-alasuvun lajien lehdet ovat hupullisia ja niillä on useita imeytymis soluseiniä lähellä lehtien huipuja. Molemmat näistä ominaisuuksista puuttuu *E. inretortumilta* (Andrus ym., 2010). Tämä yhdistelmä morfologisia ominaisuuksia erottaa *E. inretortumin* muista *Sphagnum*-alasuvun lajeista.

## 3. Fylogenia ja luokitus

### 3.1 Fylogenia

Sphagnopsida-luokan fylogeniaa on tutkittu paljon viimeisen kymmenen vuoden aikana ja on hyvin mahdollista, että uudet molekyyliaineistot ja tutkimukset saattavat vielä muuttaa nykyistä luokitusta seuraavien vuosien aikana. Vuonna 2003 Shaw ym. tekivät molekyyliaineiston avulla useita fylogeneettisiä testejä selvittääkseen Sphagnopsida-luokan lajien suhteita toisiinsa. Tässä tutkimuksessa testit tehtiin käyttäen *Takakiaceae* ja *Andreaeaceae* -luokkia sisaryhminä. Testin tuloksena saatiin voimakasta tukea siihen, että kaikki neljä suuresta alasuovusta *Sphagnaceae* sisällä (*Sphagnum*, *Cuspidata*, *Subsecunda*, *Acutifolia*) ovat monofyleettisiä. Tämän lisäksi kaksi kladi saatiin selvitettyksi *Sphagnaceae* sisällä, toiseen näistä kuuluvat *Sphagnum*, *Cuspidata* ja *Rigida* alasuovut, ja toiseen *Subsecundan*, *Squarrosa* ja *Acutifolia* - alasuovut. Tosin huomattavaa on tässä toisessa kladissa, että ”parsimonia bootstrap” tuki on liian vähäinen, että sitä voitaisiin pitää merkittävänä. Tämän takia alasuoku *Subsecundan* oikeaa asemaa pidetään vielä ratkaisemattomana. Mikä tuli yllättävästi esille oli kahden *Sphagnum*-suovun lajin eriävyys muista. Trooppisten lajien *Sphagnum lapazensen* ja *Sphagnum sericeumin* (nykyään *Flatbergium sericeum*) fylogeneettinen asema erosi hyvin merkittävästi muista lajeista. Niiden DNA sekvenssi erosi hyvin paljon muista *Sphagnum*-lajeista sekä myös toisistaan. Tämän lisäksi molekyyliaineiston (tai morfologian) mukaan kummankaan lajin alkuperä ei ole hybridi vaan ne ovat kehittyneet itsenäisesti. Vaikka nämä kaksi lajia eroavat osittain morfologisesti muista lajeista, ei näin voimakasta eroavaisuutta olisi pystytty ennustamaan pelkästään näiden morfologisten erojen perusteella. Siksi tulos on hyvin merkittävä, mitä fylogeneettisiin suhteisiin tulee.

Vuonna 2010 Shaw ym. tekivät toisen tutkimuksen Sphagnopsida luokan sammalten suhteista. Tälläkin kertaa he käyttivät laajaa molekyyliaineistoa. Tässä tutkimuksessa kaikki analyysit osoittivat, että *Sphagnopsida*, mukaan lukien *Ambuchanania*- ja kaikki *Sphagnum*-lajit, muodostavat monofyleettisen ryhmän. Aineisto tukee myös sitä, että iso osa *Sphagnum*-lajeista, jotka kuuluvat alasuokuihin: *Acutifolia*, *Cuspidata*, *Polyclada* (pelkästään *S. wulfianum*), *Rigida*, *Sphagnum*, *Squarrosa* ja *Subsecunda*, muodostavat myös monofyleettisen ryhmän.

Kaksi lajia, joita pidettiin *Sphagnum*-suovun lajeina, eivät tämän analyysin mukaan kuulu *Sphagnum*-kladiin. Ensimmäinen näistä lajeista on *S. sericeum*, joka muodostaa analyysien pe-

rusteella oma kladinsa Sphagnopsidan sisälle. Toinen on *S. inretortum* (uusi suku *Eosphagnum*), joka myös päättyy *Sphagnum*-kladin ulkopuolelle, mutta on sisar laji *A. leucobryoidesille*. Analyysien mukaan siis *S. sericeum*, *S. inretortum* ja *Ambuchanania* ovat kaikki *Sphagnum*-kladin ulkopuolella, ja nähdään myös, etteivät nämä kolme kuuluisi yhteen kladiin muodostaen sisaren *Sphagnum*-kladille.

Näiden uusien tulosten valossa Shaw ym. (2010) esittivät uuden luokittelun Sphagnopsida-luokan sisälle, joka paremmin kuvastaisi fylogeneettisiä suhteita. Koska *S. sericeum* on tarpeeksi erilainen morfologisesti, puhumattakaan molekyyllisestä eroavaisuudesta, muodostettiin sille erillinen heimo ja suku. Heimon nimeksi annettiin *Flatbergiaceae* ja suvuksi *Flatbergium*, muodostaen lajin nimeksi *Flatbergium sericeum*. *S. inretortumin* ja *A. leucobryoidesin* sisaryhmä suhde, sekä molempien eroavaisuus *Sphagnum*-kladista antaa vahvan argumentin asettaa molemmat erilliseen heimoon. Tässä tapauksessa molemmat kuuluvat nyt *Ambuchananiaceae*-heimoon, mutta erillisiin sukuihin. *S. inretortumin* uudeksi suvuksi määriteltiin *Eosphagnum*, jolloin lajinimeksi muodostui *Eosphagnum inretortum*. Huomattavaa tässä tutkimuksessa on myös se, että *A. leucobryoides* ei ole enää omassa lahkossaan vaan kuuluu samaan Sphagnales-lahkoon kaikkien muiden lajien kanssa. Tämä tarkoittaa sitä, että Sphagnopsida on taas yhden lahkon luokka.

### 3.2 Erilaistumisen ajoitukset

Sphagnopsida on erittäin vanha luokka ja eriytyi muista sammalista jo hyvin varhaisessa vaiheessa (Newton ym., 2009). Sphagnopsida on myös hyvin uniikissa asemassa sillä se muodostaa yhdessä Takakiopsidan kanssa sisar-ryhmän kaikille muille lehtisammalille (Shaw ym., 2011). Karkea määrittäminen tarkalle ajankohdalle milloin Sphagnopsida on erkaantunut Takakiopsidasta on n. 129 -319 miljoonaa vuotta sitten (Andrus ym., 2010). Vaikkakin arvio on karkea kertoo se hyvin kuinka aikaisin eriytyminen on tapahtunut, koska sammalten alkuperä on määritetty olemaan noin 380 miljoonaa vuotta sitten (Newton ym., 2009). Tämä määrittäisi sammalten alkuperän johonkin kohtaan devonikaudelle (Newton ym., 2009). Sphagnopsidan sisällä *Flatbergiaceae* ja *Ambuchananiaceae* erkaantuivat Sphagnaceasta noin 34 -104 miljoonaa vuotta sitten (Andrus ym., 2010). Olemassa olevien rakkasammallajien erkaneminen on tapahtunut verrattain aikaisin ottaen huomioon kuinka vanha luokka Sphagnopsida on (Andrus ym., 2010). Tämä erkaantuminen on tapahtunut noin 7 -20 miljoonaa vuotta sitten, ja sen on mahdollistanut todennäköisesti ilmaston viileneminen pohjoisella pallonpuoliskolla ja boreaalisen kasvuston synty mioseenikaudella (Andrus ym., 2010). On arvioitu, että *Ambuchanania* ja *Eosphagnum* ovat eronneet toisistaan n. 50 miljoonaa vuotta sitten ja on ehkä siksi vähemmän



yllättävää että ne eroavat toisistaan niin paljon (Andrus ym., 2010). Pitkät fylogeneettisen puun haarat, jotka erottavat aikaisin eriytyneet suvut Sphagnopsidan sisällä (*Flatbergium*, *Ambuchanania*, *Eosphagnum*), ja haarat jotka erottavat nämä *Sphagnumista*, viittaavat laajoihin sukupuuttoihin muissa mahdollisissa aikaisin eriytyneissä linjoissa (Andrus ym., 2010).

### 3.3 Fossiililöydöt

Fossiililöydöt *Sphagnumeista* ja Sphagnopsidasta ovat erittäin vähäisiä, mutta se mitä tiedetään ei ole ollut ristiriidoissa arvioitujen eriytymis-aikojen kanssa (Andrus ym., 2010). Aikaisin fossiili, joka on yhdistetty näihin ryhmiin, on Permikaudelta ja sen suku nimetty *Protosphagnumiksi* (Andrus ym., 2010). Tällä lajilla näyttäisi olevan vahva keskisuoni toisin kuin millään muulla olemassa olevalla *Sphagnumilla* (Andrus ym., 2010). Vaikka fossiilista on vaikea sanoa, niin näyttäisi siltä, että se omaa *Sphagnumeille* ominaisen dimorfisen lehden rakenteen (Andrus ym., 2010).

## 4. Leviäminen

### 4.1 Levinneisyys

Sphagnopsida luokan sammalia tavataan ympäri maailmaa ja sitä tavataan jokaisella mantereella paitsi Antarktiksella (Shaw, Carter, Agüero, da Costa, & Crawl, 2019). Näistä sammalista laajimmille levinneet ovat *Sphagnum*-suvun sammalet (Shaw ym., 2019). *Sphagnum*-suvun sammalet ovat yleisimpiä pohjoisissa suoekosysteemeissä, joissa ne ovat hyvin usein valtalajina ja muodostavat suurimman osan systeemin biomassasta (Malmer, Albinsson, Svensson, & Wallén, 2003). Kuitenkin *Sphagnum*-suvun rahkasammalia tavataan myös trooppisissa systeemeissä Australaasiassa, Afrikassa ja Etelä-Amerikassa (Shaw ym., 2019). Varsinkin Etelä-Amerikassa rahkasammallajien kirjo on hyvin laaja ja värikäs (Shaw ym., 2019). Kaikista viidestä suuresta *Sphagnum*-kladista tavataan lajeja sekä boreaalisella vyöhykkeellä, että trooppisilla alueilla (Shaw ym., 2019). Pohjoiset lajit, joita tavataan korkeilla korkeusasteilla, kuten Andeilla, ei lasketa trooppisiksi niiden ympäristön ollessa hyvin samankaltainen boreaaliseen vyöhykkeeseen verrattuna (Shaw ym., 2019). Turvealueilla eteläisellä pallonpuoliskolla, toisin kuin pohjoisessa, rahkasammallajit ovat harvoin vallitsevana lajina vaan systeemit ovat usein rakentuneet monista muista sammallajeista ilman selvää dominointia yhdeltä lajilta (Arroyo, Mihoc, Pliscoff, & Arroyo-Kalin, 2005).

*F. seriuceum*, joka määritettiin omaan sukuunsa, on löydetty Kaakkois-Aasiasta (Andrus ym., 2010). Sen levinneisyys alue on laaja ja yltää Uudesta-Guineasta Kiinaan pohjoissuunnassa. *A. leucobryooides* on täysin endeeminen Tasmanian saarelle (Andrus ym., 2010).

## 4.2 Historiallinen levinneisyys

Vuonna 2019 Shaw ym. julkaisivat tutkimuksen, jonka tarkoituksena oli ottaa selvää mistä *Sphagnum*-suvun lajit ovat peräisin ja miten ne ovat nykyisin levinneet. Ensisijaisena päämääränä tässä tutkimuksessa oli testata ovatko *Sphagnum*-suvun sammaleet saaneet alkunsa pohjoisella pallonpuoliskolla boreaalaisella vyöhykkeellä ja sieltä levinneet trooppisille alueille ja lopulta eteläiselle pallonpuoliskolle.

Alustava tieto (Shaw, Cox, & Boles, 2005) viittasi vahvaan mahdollisuuteen, että ainakin yksi suurista *Sphagnum*-kladeista (*Acutifolia*) olisi saanut alkunsa boreaalaisella vyöhykkeellä ja siitä edelleen laajentanut levinneisyysaluettaan, ja erikoistunut trooppisilla leveysasteilla. Jos tämä pitää paikkaansa, ja rahkasammalet ovat saaneet alkunsa pohjoisessa, antaisivat ne hyvän ja harvinaisen mallin adaptaatioista lämpimiin olosuhteisiin, kun kantaisät ovat pohjoisesta. Tutkimus voisi siis paljastaa mekanismeja, miten kasvit reagoivat lämpenevään ilmastoon.

Shaw ym. (2019) keräsivät 228 lajia käsittävän aineiston, jonka perusteella he selvittivät fylogeneettisiä suhteita päämääränä selvittää rahkasammallajien maantieteellistä alkuperää. Tulokset tukivat hyvin voimakkaasti sitä, että alasukut *Acutifolia*, *Cuspidata* ja *Subsecunda* ovat lähtöisin pohjoisesta. Tämä ei kuitenkaan pätenyt alasukulle *Sphagnum*, jolle testit eivät antaneet suoraa vastausta. Kuitenkin Shaw ym. (2019) pystyivät löytämään vahvoja todisteita siitä, että pääasiallinen erikoistuminen olemassa oleville *Sphagnum*-suvun rahkasammalille on tapahtunut pohjoisessa ja, että trooppisten ja eteläisten lajien juuret juontavat pohjoisista esi-isistä. Myös Sphagnopsida-luokan eriytyminen on tapahtunut pohjoisilla leveysasteilla ja lajien levittäytyminen pohjoisista osista trooppisiin ja eteläisiin osiin on tapahtunut suhteellisen äskettäin. Tulokset osoittivat vahvasti myös, että jos varhaiset edeltäjät olivat kotoisin pohjoisesta, niin suurella todennäköisyydellä nykyiset jälkeläislajit ovat pohjoisessa.

Shawin ym. (2019) tutkimuksessa ainoastaan pienelle alasukulle *Rigida* ei pystytty merkittävästi määrittämään missä sen erikoistuminen olisi tapahtunut. Ajallinen määrittäminen, milloin leviäminen ja erikoistuminen on tapahtunut, oli hyvin epätarkkaa. Pystyttiin kuitenkin sanomaan, että leviäminen trooppisille leveysasteille on tapahtunut miljoonia vuosia pääasiallisten *Sphagnum*-kladien erikoistumisen jälkeen.

## 6. Ilmastonmuutos

### 6.1 Ilmastonmuutos

Olemme nykyään keskellä suurinta muutosta joka on nähty tuhansiin vuosiin mitä tulee omaan ilmastoomme ja luontoon. Ilmaston muutos on meneillään ja se uhkaa maailmanlaajuisesti erilaisia elinympäristöjä ja ekosysteemeissä. Nykyään olemme jo keskellä ”biodiversiteetti kriisiä” ihmisen aiheuttamat muokkaukset maapallon ekosysteemeissä ovat muuttaneet biodiversiteettiä voimakkaasti jo ympäri maapalloa vesiekosysteemeistä maaekosysteemeihin (Hillebrand ym., 2018). On siis täysin odotettavissa, että muuttuva ympäristö ilmaston takia tulee vaikuttamaan ja muuttamaan biodiversiteettiä vielä entistä enemmän maailmanlaajuisesti (Hillebrand ym., 2018). Biodiversiteetin muutosta on esitetty uhanalaisten eliöiden lisääntymisellä, tai avaineliöiden runsauden vähentymisellä (Hillebrand ym., 2018).

Ilmastonmuutoksen suurena tekijänä on keskilämpötilan nousu kasvihuonekaasujen ja muiden päästöjen takia. On arvioitu, että keskilämpötilan nousu tulee olemaan jossain 1 -3°C välillä (IPCC, 2013). Tässä on kuitenkin huomioitava, että lämpötilan nousun ennustetaan olevan maailmanlaajuista keskiarvoa korkeampi korkeilla leveysasteilla, kuten pohjoismaissa (Breeuwer, Heijmans, Robroek, & Berendse, 2008).

### 6.2 Rahkasammalet soilla ja ilmastonmuutos

Ilmastonmuutoksen vaikutus pohjoisiin soihin on hyvin tärkeä selvittää, koska ne ovat merkittävä tekijä hiilen varastona (Breeuwer ym., 2008). Borealiset suoekosysteemit kattavat vähemmän kuin 3% maanpinta-alasta, mutta varastoivat keskimäärin 250-455Pg hiiltä, joka on n. 20-30% maaperän sisältämästä hiilestä (Tuba, Slack, Stark, Vile, ym., 2012). Soita pitää yllä korkeampi kasvien nettotuotanto verrattuna kasvien hajoamiseen (Oke & Hager, 2017). Varsinkin rahkasammallajien tuotanto on tärkeää soiden ylläpidon kannalta, koska ne voivat olla vastuullisia jopa 50%:sta maaperässä sijaitsevasta hiilestä pohjoisissa suoekosysteemeissä (Oke & Hager, 2017). Suot syntyvät viileiden lämpötilojen ja korkean kosteuden yhdistelmänä, joten ilmasto säätelee niitä hyvin tiukasti (Oke & Hager, 2017). Hiilen sitomisen lisäksi rahkasammalet toimivat hyvinä ympäristön muuttumisen indikaattoreina ja näin voivat määritellä gradientteja soiden sisällä ja välillä (Tuba, Slack, Stark, Vile, ym., 2012). Rahkasammallajit varsinkin ovat luonnossa levittäytyneet mikrotopograafiselle kosteus gradientille, jossa jotkut lajit

suosivat kosteampia notkoja soilla, kun taas toiset viihtyvät kuivemmilla mättäillä (Breeuwer ym., 2008). Havainnoimalla muutoksia lajien leviämässä pystytään myös siis päättelemään, mitä muutoksia on tapahtunut ympäristössä.

Nykyinen ilmasto on merkittävästi muuttumassa aikaisesta holoseenikauden ilmastosta jolloin nykyiset suot ovat kehittyneet (Oke & Hager, 2017). Ei ole siis täysin selvää miten tämä ilmastomuutos tulee vaikuttamaan rahkasammallajeihin, tai ylipäätään rahkasammalsoiden leviämiseen (Oke & Hager, 2017). Jotkut tutkimukset ovat esittäneet, että lämpeneminen nostaisi rahkasammalten nettotuotantoa, joka johtaisi myös tehokkaampaan hiilen varastointikykyyn (Breeuwer ym., 2008; Tuba, Slack, Stark, Vile, ym., 2012). Kuitenkin on päinvastaisia tuloksia, joiden mukaan hiilen varastointikyky heikkenisi, koska lämpeneminen lieventäisi mikrobihajoamisen rajoituksia, joka aiheuttaisi hiilen määrän vähenemisen soilla (Oke & Hager, 2017). Tämä antaa kuvan siitä kuinka vaikeaa on ennustaa mahdollisia muutoksia, koska muuttuvia ja vaikuttavia tekijöitä on erittäin paljon (Oke & Hager, 2017). Niinkin yksinkertainen asia kuin lämpötilan nostaminen ei vaikuta pelkästään yhden rahkasammal yksilön tuotantoon ja hajoamiseen, vaan myös eri lajien väliseen tasapinon sillä alueella (Breeuwer ym., 2008). Suurena haasteena ekologeille onkin kyky ennakoita miten ilmastomuutos tulee muuttamaan lajien esiintyvyyttä eri ekosysteemeissä (Breeuwer ym., 2008). On havaittu, että lämpötilan nostaminen vaikuttaa eri lailla biomassan muodostamiseen eri lajien välillä (Robroek ym., 2017).

### 6.3 Ilmastonmuutoksen mahdolliset vaikutuksen rahkasammaliin

Breeuwer ym. (2008) tutkimuksessa testattiin eri rahkasammallajien vastetta lämpötilan nostamiseen. Tutkimuksessa otettiin mukaan neljä eri *Sphagnum*-lajia: *S. fuscum*, *S. balticum*, *S. magellanicum* ja *S. cuspidatum*. Tutkimuksen tuloksista nähtiin, että monokulttuuri kasvualustassa kaikkien kasvien koko kasvoi lämpötilaa nostettaessa. Lämpötilan noustessa kaikkien lajien yksilöt muodostivat myös löyhemmän kasvumuodon, joka johti pienempään tiheyteen. Vaikka tiheys laski, niin kaikkien kasvilajien biomassatuotanto silti kasvoi. Todennäköinen syy tähän kasvuun oli korkeampi fotosynteesiaste. Rahkasammallajeilla fotosynteesin aste kasvaa lämpötilan kanssa, kunnes se saavuttaa optimin 20 -25°C lajista riippuen (Breeuwer ym., 2008). Breeuwer ym. (2008) tutkimus viittaisi siis siihen suuntaan, että kasvava lämpötila olisi rahkasammallajeille eduksi ja parantaisi niiden tuotantoa. Nettotuotannon kasvu taas johtaisi suurempaan hiilenvarastointi kykyyn, joka olisi positiivinen muutos. Breeuwer ym. (2008) tutki-

muksessa kuitenkin huomautettiin, että vaikka testiolosuhteissa kaikkien esimerkkilajien tuotanto ja koko kasvoi lämpötilan noustessa niin samanlaisia trendejä ei kuitenkaan ole laajasti mitattu kenttätutkimuksissa. Kenttätutkimuksissa on löydetty hyvin vähän positiivista tai edes negatiivista korrelaatioita lämpötilan ja rahkasammallajien koon ja tuotannon kanssa. Syyinä tähän voi olla kilpailu putkilokasvien kanssa, kuivuudesta aiheutuva stressi tai äärimmäiset lämpötilan nousut tai muutokset.

Naumov ja Kosykh (2011) suorittivat tutkimuksen, joka tähtäsi ennustamaan millä lailla rahkasammalsuot reagoivat ilmastonmuutokseen. Tutkimus kohdistui Luoteis- Siperian soihin ja siihen kuinka lämpötilan nousu vaikuttaa niiden levinneisyyteen. Heidän tutkimustulosten mukaan he ennustavat, että jos lämpötilan nousu jatkuu nykyisten ennustusten mukaisesti niin, nostaisi se rahkasammal- ja sarakasvi- rahkasammalsoiden leviämistä pohjoisemmaksi. Suurempaa häiriötä kuitenkin saattaa tapahtua rahkasammallajien eteläisellä levinneisyysrajalla. Tällä hetkellä soilla, jotka sijaitsevat eteläisimmillä alueilla, on rajoitettu resurssien saanti. Koska ne sijaitsevat luonnollisen esiintymisalueen rajalla, ne eivät muodosta kattavia suoalueita niin kuin täällä pohjoisessa. Sen sijaan esiintymisalueet ovat hyvin laikukkaisia ja hajanaisia ja tämän takia hyvin haavoittuvia. Haavoittuvuus on vielä suurempaa esiintymisalueilla, jotka sijaitsevat lähellä asutusta tai alueilla, jotka ovat alttiita muutoksille, kuten tulipalot, metsäkadot tai turvetuotanto. Naumov ja Kosykhin (2011) tutkimuksessa huomattiin, että juuri tulipalot ovat vaikuttaneet vahvasti näillä alueilla. Rahkasammalkerros ei juuri uusiudu tulipalon jälkeen ja turpeen muodostuminen pysähtyy. Tämä viittaisi siihen, että lämpötilan nousu voisi kasvattaa näiden eteläisen alueiden esiintymien haavoittuvuutta vielä enemmän verrattuna nykyiseen.

Oke ja Hager (2017) tutkimus tuotti samanlaisia tuloksia kuin Naumova ja Kosykh (2011). Heidän tutkimuksensa kuitenkin sijoittui Pohjois-Amerikan alueelle. Heidänkin tuloksistaan havaittiin, että kasvava lämpötila laajentaisi rahkasammalille käypää elinaluetta entisestään varsinkin rannikkoalueilla. Lämpötilan noustessa tärkeäksi rajoittavaksi tekijäksi muodostuu veden saaminen. Suoalueiden pysyvyys tai muodostumista hallitsee paljolti sademäärä ja haihtumisen tasapaino. Rannikkoalueilla, missä sataa ympäri vuoden, maaperän kosteutta säätelee sademäärät, kun taas manneralueilla, joissa kesälämpötilat ovat korkeammat on lämpötila pääasiallinen maaperän kosteuden säätelijä. Tämän takia saattaa olla mahdollista, että lämpötilan nousu ilmastonmuutoksen takia johtaisi mantereella sijaitsevien suoalueiden vähenemiseen, koska ne ovat riippuvaisia alemmasta lämpötilasta.

Vaikka useat tutkimukset viittaavat mahdolliseen rahkasammalten leviämisalueen kasvuun, Vile ym. (2011) julkaisivat kaksi tutkimusta, joissa molemmissa tutkittiin kuivuuden vaikutusta Kanadan suoalueisiin. Molemmista tutkimuksista ilmeni selvästi, että pitkäaikaisella kuivuudella on hyvin voimakas kontrolloiva vaikutus rahkasammalten tuotantoon ja sitä kautta myös hiilen kiertoon. Kuivuus aiheuttaa stressiä rahkasammalille ja näin myös rajoittaa leviämistä kuivuusstressin lisääntyessä.

Monet tutkimukset tukevat rahkasammalten mahdollista lisääntymistä ilmastonmuutoksen myötä, mutta on mahdotonta tarkasti ennustaa miten tosiasiallisesti käy rahkasammalille ja niiden sitomalle hiilelle. Ilmastonmuutos vaikuttaa lukemattomiin tekijöihin ja vaikuttaa eri ekosysteemeihin eri lailla. On siis hyvin mahdollista, että suot lisääntyvät toisella puolella maapalloa ja vähenevät toisella, tai ehkä suot lisääntyvät globaalisti. Tämän takia onkin elintärkeää tutkia kaikkia mahdollisia tilanteita, jotta voisimme paremmin ennustaa mitä tuleman pitää, jotta voimme valmistautua sen mukaan. Mitä enemmän tietoa saadaan sitä tarkemmin ja tehokkaammin pystytään suojelemaan vaarassa olevia rahkasammalia ja suo alueita.

## **7. Yhteenveto**

Rahkasammalet ovat hyvin ainutlaatuinen. Ne omaavat ainutlaatuisia ominaisuuksia, joita ei muilla tavata ja ne ovat myös fylogeneettisesti hyvin ainutlaatuisia. Rahkasammalet ovat hyvin mielenkiintoinen ryhmä ja täynnä salaisuuksia ja piirteitä, joita ei ole vielä täysin selvitetty. Tulee olemaan hyvin mielenkiintoista seurata rahkasammaltutkimusta sen edetessä ja paljastaessa uusia asioita. Kaikkein mielenkiintoisinta on seurata tutkimusta, joka liittyy ilmastonmuutokseen ja fylogeniaan. Rahkasammalten osuus ilmastonmuutokseen on suhteellisen vastikään käynyt ilmi ja rahkasammalten fylogeniasta ja kehityshistoriasta saadaan uutta tietoa vuosi vuodelta. Näiden tutkimusten edistymistä odotan mielenkiinnolla ja innolla.

## Viittaukset

- Andrus, R., Cave, L., Buchanan, A. M., Larraín, J., Greilhuber, J., Devos, N., ... Shaw, A. J. (2010). Newly resolved relationships in an early land plant lineage: Bryophyta class Sphagnopsida (peat mosses). *American Journal of Botany*, *97*(9), 1511–1531.
- Arroyo, M. T. K., Mihoc, M., Pliscoff, P., & Arroyo-Kalin, M. (2005). The Magellanic moorland. In *The World's Largest Wetlands: Ecology and Conservation*.
- Breeuwer, A., Heijmans, M. M. P. D., Robroek, B. J. M., & Berendse, F. (2008). The effect of temperature on growth and competition between *Sphagnum* species. *Oecologia*, *156*(1), 155–167. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-0963-8>
- Crum, H., & Seppelt, R. D. (1999). *Sphagnum leucobryoides* reconsidered. *Contributions from the University of Michigan Herbarium*.
- Duckett, J. G., Pressel, S., & Renzaglia, K. S. (2009). Exploding a myth : the capsule dehiscence mechanism and the function of pseudostomata in *Sphagnum*, 1053–1063.
- Hillebrand, H., Blasius, B., Borer, E. T., Chase, J. M., Stanley, W., Downing, J. A., ... Ryabov, A. B. (2018). Biodiversity change is uncoupled from species richness trends : Consequences for conservation and monitoring, (March 2017), 169–184.
- IPCC. (2013). Summary for policymakers. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Magill, R. E. (2014). Moss diversity: new look at old numbers. *Phytotaxa*, *9*(1), 167-174.
- Malmer, N., Albinsson, C., Svensson, B. M., & Wallén, B. (2003). Interferences between *Sphagnum* and vascular plants: Effects on plant community structure and peat formation. *Oikos*, *100*(3), 469–482.
- Newton, A. E., Wikström, N., & Shaw, A. J. (2009). The Timetree Of Life, 138–145.
- Oke, T. A., & Hager, H. A. (2017). Assessing environmental attributes and effects of climate change on *Sphagnum* peatland distributions in North America using single- and multi-species models. *PLoS ONE*, *12*(4), 1–17.
- Robroek, B. J. M., Jassey, V. E. J., Payne, R. J., Martí, M., Bragazza, L., Bleeker, A., ... Verhoeven, J. T. A. (2017). Taxonomic and functional turnover are decoupled in European

peat bogs. *Nature Communications*.

- Shaw, A. J., Carter, B. E., Agüero, B., da Costa, D. P., & Crowl, A. A. (2019). Range change evolution of peat mosses (*Sphagnum*) within and between climate zones. *Global Change Biology*, 25(1), 108–120.
- Shaw, A. J., Cox, C. J., & Boles, S. B. (2003). Polarity of peatmoss (*Sphagnum*) evolution: Who says bryophytes have no roots? *American Journal of Botany*, 90(12), 1777–1787.
- Shaw, A. J., Szövényi, P., & Shaw, B. (2011). Bryophyte diversity and evolution: Windows into the early evolution of land plants. *American Journal of Botany*, 98(3), 352–369.
- Tuba, Z., Slack, N. G., Stark, L. R., Naumov, A. V., Kosykh, N. P., Tuba, Z., ... Stark, L. R. (2012). The Structure and Functional Features of *Sphagnum* Cover of the Northern West Siberian Mires in Connection with Forecasting Global Environmental and Climatic Changes. In *Bryophyte Ecology and Climate Change*. 301-315. Cambridge University Press
- Tuba, Z., Slack, N. G., Stark, L. R., Vile, M. A., Scott, K. D., Brault, E., ... Stark, L. R. (2012). Living on the Edge: The Effects of Drought on Canada's Western Boreal Peatlands. In *Bryophyte Ecology and Climate Change*. 277-297. Cambridge University Press
- Villarreal, J. C., Cargill, D. C., Hagborg, A., Soderstrom, L., & Renzaglia, K. S. (2014). A synthesis of hornwort diversity: Patterns, causes and future work. *Phytotaxa*, 9(1), 150-166.
- Von Konrat, M., Soderstrom, L., & Hagborg, A. (2014). The Early Land Plants Today project (ELPT): A community-driven effort and a new partnership with Phytotaxa. *Phytotaxa*, 9(1), 11-21.