

Ilmastotekijöiden ja vesitalouden vaikutus minerotrofisten rimpipintojen esiintymiseen boreaalisissa suosysteemeissä

The effect of climate factors and catchment area on the occurrence of minerotrophic wet level in boreal mire systems

Sakari Rehell

*Metsähallitus, luontopalvelut, PL 81, Veteraanikatu 5, 90101 Oulu,
email: sakari.rehell@metsa.fi*

Tässä tutkimuksessa selvitetään ilmastotekijöiden (lämpötilasta riippuvat muuttujat sekä sadannan ja haihdunnan erotuksena saatava ominaisvalunta) ja paikallisten hydrologisten tekijöiden (veden pääsy valuma-alueelta suolle sekä suon pinnan kaltevuus) vaikutusta pohjoisissa suosysteemeissä esiintyvän minerotrofisen rimpipinnan määrään ja rakenteeseen. Aluksi asiaa lähestytään teoreettisesti tarkastelemalla suosysteemien tasolla ns. diplotelmisen mallin mukaisia soiden hydrologian peruskaavoja, joilla kuvataan minerotrofisen rimpipinnan osuuden olevan suoraan verrannollinen valuma-alueelta tulevan valunnan määrään ja kääntäen verrannollinen kaltevuuteen. Tämän jälkeen tarkastellaan eri ilmastovyöhykkeillä olevien laajojen, luonnontilaisten suosysteemien joukkoa. Näillä on havaittu, että aapasoiden ja keidassoiden vyöhykkeiden rajan arvoja viileämmillä seuduilla minerotrofisen rimpipinnan osuus kasvaa suoraviivaisesti ominaisvaluntarvojen kasvaessa, mutta etelämpänä, lämpimämmällä alueella tällaista riippuvuutta ei ole. Aivan etelärannikon lämpö-oloja vastaavissa olosuhteissa havaittiin, että suhteellisen vähäsateisilla Itämeren rannikon läheisillä seuduilla minerotrofisen rimpipinnan osuus on selvästi suurempi kuin sateisemmilla seuduilla. Kun kasvukausi on riittävän pitkä ja kostea, keidassuomassiivit estävät minerotrofisen rimpipinnan leviämisen. Tulosten mukaan pitkällä aikajaksolla ilmaston lämpeneminen tulee pienentämään aapasoiden rimpipintaisten osien laajuutta riippumatta mahdollisesti lisääntyvästä sadannasta.

Paikallisista hydrologisista tekijöistä tarkasteltiin aapasoiden reunoitusten vaikutuksia keskiboreaalisella vyöhykkeellä. Satunnaisotoksen perusteella arvioitiin sitä, kuinka suuri osa aapasoiden valuma-alueiden vesistä pääsee keskiosien rimpisille ns. vastaanottajaosille ja kuinka suuri osa menee oja myöten muualle. Tulokset osoittivat, että tämän vyöhykkeen kaikista aapasoiden rimpipintaisten osista noin puolet on hävinnyt tai tulee häviämään lähitulevaisuudessa pelkästään suosysteemien reunoilla olevien ojitusten vaikutuksesta. Vanhojen ja uusien ilmakuvien vertailu tuki teoreettisen tarkastelun perusteella tehtyä arviota. Rimpipinnat näyttävät supistuneen siten, että aapasoiden keskiosien rimpialueet ovat reunoilta muuttuneet välipintarakkasammalten peittämiksi. Tällainen rimpien umpeenkasvu keskiosistaan ojitamattomissa suosysteemeissä tulee todennäköisesti jatkumaan vielä ainakin joitakin kymmeniä vuosia, vaikka uusia ojituksia ei tehtäisi.

1. Johdanto

Ilmaston vaikutus kasvillisuuteen näkyy erilaisten kasvillisuusvyöhykkeiden vaihtumisena pohjoisesta etelään mentäessä. Lisäksi kasvillisuus muuttuu siirryttäessä matalilta rannikkoalueilta korkeammille alueille. Boreaalissa vyöhykkeessä suot peittävät usein huomattavan osan maapinta-alasta. Siellä on tyyppillistä soiden esiintymisen laajoina, yhtenäisinä suosysteeminä, joiden rakenteet määräytyvät veden virtauksen perusteella. Koska suon vesitalouteen vaikuttavat sekä ilmastotekijät että ihmisen tekemät kuivatustoimet, voivat nämä molemmat vaikuttaa kokonaisten suosysteemien rakenteeseen.

Suoalueiden ja niiden rakenteiden luokittelussa boreaalisella vyöhykkeellä Cajander (1913) otti käyttöön termin suoyhdistymä. Ne käsittävät laajoja, useista eri suokasvillisuustyypeistä koostuvia kokonaisuuksia. Nämä käsitteet (suoyhdistymä ja suotyyppi) muodostavat suomalaisen soiden luokittelun perustan (Eurola ym. 1984, Ruuhijärvi 1984). Kansainvälisiin tarkasteluihin on usein omaksuttu monipuolisempi, hierarkkinen luokittelu, jossa suosysteemeiksi on sanottu laajoja, maisemallisesti ja hydrologisesti yhtenäisiä suoalueita. Ne koostuvat erilaisista rakenteeltaan tyyppillisistä massiiveista, joilla taas on tyyppilliset, esim. ilmakuivista näkyvät pienrakenteet (Galkina ym. 1974, Masing 1984, Moen 1985, Jurkovskaja 1995). Massiiveja on perinteisesti luokiteltu hydromorfologisin perustein (*shape of the massif and distribution of microsites*) (Moen ym. 2017). Suomessa tällä tavoin on kuvattu niin aapasoiden kuin keidassoidenkin tyyppisiä, joilla on havaittu olevan selviä yhteyksiä alueellisiin ilmasto-oloihin (Ruuhijärvi 1960, Eurola 1962). Suossa tapahtuvan veden virtauksen ratkaisevaa merkitystä laajojen suosysteemien rakenteelle ja kehitykselle on kuvannut esim. Ivanov (1975). Tämän pohjalta on kehitetty matemaattisia malleja, joiden avulla voidaan tarkastella valuma-alueelta tulevien vesien merkitystä vedenpinnan tasolle (van der Schaaf & Streefkerk 2003). Nämä mallit perustuvat oletukseen, että veden virtaus suolla noudattaa niin sanottua akrotelma–katotelma-mallia (Ingram 1983), jossa veden virtausta tapahtuu vain huokoisessa pintakerroksessa horisontaalisesti.

Aapasoiden päarakenteeseen kuuluvat toisaalta rahkaiset syrjäosat (veden luovuttajaosat) ja toisaalta rimpiset keskusosat (veden vastaanot-tajaosat) (Laitinen ym. 2007). Nämä pääosat ovat ilmakuivilta selvästi erottuvia ja niiden välinen raja on havaittu ainakin aapasuoalueella olevan jyrkkä: Vedenjakajien tuntumassa rahkasammalet peittävät tyyppillisesti soita lähes kauttaaltaan. Vastaavasti rimpialueilla, mihin vesi virtaa, rahkasammalten peittävyys on tyyppillisesti pienempi. Aapasuoalueen eteläpuolisella keidassuoalueella suosysteemeissä tavataan samoja rakenneosia (ombrotrofisia ja minerotrofisia massiiveja) (Heikkilä ym. 2001) kuin pohjoisempanakin, mutta eri suhteissa. Laajan suosysteemi-käsitteen omaksuminen suomalaiseen suoluokitteluun tarjoaakin mahdollisuuden uudella tavalla käsitellä minerotrofisten ja ombrotrofisten massiivien ja tätä kautta keidassoiden ja aapasoiden alueellista riippuvuutta ilmastosta. Aapasoiden kehitystä koskevassa tutkimuksessa (Rehell ym. 2012) on havaittu suoyhdistymän päarakenteen kehittymisen riippuvan vesien virtaussuhteista. Tietyn etäisyyden päässä vedenjakajasta (virtauksen kasvaessa riittävän suureksi) rahkasammalten peittävyys laskee porrasmaisesti ja vastaavasti ruoppapinnan peittävyys nousee. Hyvin suurilla virtausmäärillä rahkasammalten peittävyys voi kuitenkin olla huomattava. Tässä tutkimuksessa on yhtenä osana teoreettinen tarkastelu, jossa edellä mainittuja akrotelma–katotelma-mallin mukaisia oletuksia sovelletaan boreaalisten suosysteemien rakenteen muodostumiseen. Olettamuksena on, että tietyn kuvion valuma-alueelta tulevan valunnan kasvaessa riittävän suureksi, vedenpinta saavuttaa suon pinnan ja siinä kohdassa suolla alkaa esiintyä yhtenäistä rimpipintaa.

Euroopan soiden alueellisessa tarkastelussa, jossa on käsitelty sekä massiivien että suosysteemien esiintymistä (Moen ym. 2017), Suomen alueen suot kuuluvat neljään pääalueeseen: Suurin osa pinta- alasta kuuluu aapasoiden (*northern fen region*) ja keidassoiden (*typical raised bog region*) alueisiin. Aivan pohjoisin osa kuuluu palsasoiden (*palsa mire region*) alueeseen ja eteläinen, keskieuropalaisten soiden alue (*nemoral-submeridional fen region*), jossa keidassoiden esiintyminen on vähäistä, on esitetty ulottuvan Ahvenanmaan tienoille Itämeren

rannikko-alueilla. Kaksi ensin mainittua aluetta on Suomen soiden alueellisissa tarkasteluissa (Ruuhijärvi 1960, Eurola 1962) kuvattu ja jaoteltu ilmastollisesti määräytyviin osa-alueisiin. Palsasuot on käsitetty omaksi kompleksityypiksi (Ruuhijärvi 1960) tai (Eurola ym. 1984, 1995) käsitetty aapasoiden vyöhykkeiden pohjoisimmaksi osaksi. Eteläisten suoyhdistymien esiintyminen Suomessa on heikosti tunnettua.

Vaihettumasoiden (*Übergangsmoore*) termiä on käyttänyt jo Weber (1902) tutkiessaan boreaalisen vyöhykkeen etelärajan tienoilla olevia suoyhdistymiä (nykyisessä Liettuassa). Vaihettumasoiden ominaisuudet ovat tyyppillisten keidassoiden (*Hochmoore*) ja luhtasoiden (*Niedermoore*) välissä.

Termiä käytetään nykyisinkin yleisesti Keski- ja Itä-Euroopassa minerotrofisista avosoista, joille on ominaista rahkasammalten runsaus pohjakerroksessa sekä sarojen ja ruohojen esiintyminen kenttäkerroksessa (Joosten ym. 2017, Paal & Leibak 2011). Tästä hieman poikkeavasti esimerkiksi Venäjällä, mm. heti Suomen lähialueella Karjalassa (Botch & Masing 1979), vastaavaa termiä on käytetty muodoltaan aapasoiden ja keidassoiden väliltä oleville suoyhdistymille, joilla on tyyppillistä minerotrofisen välipinnan laajuus ja varsinaisille aapasoille ominaisen rimpin-jänne topografian vähäisyys. Fennoskandian alueen soiden terminologiaan se on tullut EU:n direktiiveissä mainitun luontotyypin (vaihettuma- ja rantasuot) mukana. Kyseistä Natura-luontotyyppiä on esim. Virossa laajasti ja tällaiset suot voivat käsittää laajoja (satojen, jopa tuhansien hehtaarien alueita, vaikka usein ne ovat pienempiä (Paal & Leibak 2011). Ne sijaitsevat usein keidassoiden yhteydessä, mutta keidassoiden kapeat laiteet on käsitetty keidassuoyhdistymien osiksi. Suomessa (Airaksinen & Karttunen 2001) tätä termiä on käytetty laajemmin lähes kaikenlaisista, yleensä hyvin pienialaisista minerotrofisista avosoista, jotka jostain syystä ovat aapa- tai keidassuokompleksien ulkopuolella. Myös Ruotsissa (Naturvårdsverket 2011) tähän tyyppiin on sisällytetty hyvin monenlaisia avoimia tai harvapuusia soita, jotka eivät ole yhteydessä aapa- tai keidassuoyhdistymiin: tasaisia tai heikosti kohoavia ombrotrofisia soita

ja erilaisia karuja tai keskiravinteisia minerotrofisia soita, mukaan lukien luhdet.

Suomessa soiden ojitaminen metsätaloutta varten on ollut hyvin laajaa; maan etelä- ja keski-osissa soita on ojitettu n. 3/4 (Metsäntutkimuslaitos 2006). Lähes kaikki suoyhdistymät ovat ainakin osin ojitusten muuttamia. Aapasuoalueen keski- ja eteläosissa ojitukset ovat tyyppillisesti keskittyneet suoyhdistymien reunaosiin sekä vesistöjen tuntumaan. Märät, avoimet rimpiset suot ovat jääneet usein ojitamatta, mutta valuma-alueilla olevat ojat ovat usein hyvin voimakkaasti muuttaneet niiden vesitaloutta. Valuma-alueelta tulevan veden vähentyessä alun perin rehevät rimpisuot voivat muuttua karummiksi ja rahkaisemmiksi. Tämä saattaa merkitä minerotrofisen rimpipinnan häviämistä ja suoyhdistymän muuttumista keidassuon suuntaan (Tahvanainen 2011). Ilmaston lämpeneminen saattaa vaikuttaa samaan suuntaan. Erityisesti eteläisten aapasoiden luontotyyppi saattaa olla taantumassa voimakkaammin kuin pelkkien ojitusten perusteella on arvioitu (Kaakinen ym. 2012). Tarkkaa tietoa reunaojitusten ja ilmaston muuttumisen vaikutuksista tähän Suomen laajalaisimpaan suoluontotyyppiin ei kuitenkaan ole.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan matemaattisesti veden virtausta suosysteemeissä ja verrataan teoreettisia laskelmia luonnon suosysteemeistä tehtyihin havaintoihin. Tutkimuksen pääkysymykset ovat: 1) Miten eri alueiden suosysteemien ilmakuivilta näkyvien päärakenteiden (minerotrofisen rimpipinnan sekä ombrotrofisten massiivien suhteellinen osuus) riippuu ilmastotekijöistä (kasvukauden pituus ja ominaisvalunta)? ja 2) Miten aapasuosysteemeissä reunojen ojitukset vaikuttavat ojitamattomaan rimpiseen keskusosaan?

Ensimmäistä kysymystä varten verrataan laajoja luonnontilaisia valuma-alueiden mukaan rajattuja runsassoisia alueita keskenään. Kohteet ovat eri puolilta Suomea lukuun ottamatta pohjoista palsasuoaluetta. Lisäksi tarkasteluun otetaan mukaan yksittäisiä alueita Suomen eteläpuolelta Ruotsista ja Virosta. Kuivatusojien vaikutusta tutkittaessa verrataan toisiinsa keskiboreaalaisella vyöhykkeellä olevia aapasuosysteemejä, joissa reunojen ojitukset ovat eri tavoilla muuttaneet hydrologiaa.

2. Aineisto ja menetelmät

2.1 Teoreettinen tarkastelu veden virtauksen vaikutuksesta suosysteemiin

Teoreettiset tarkastelut tehtiin erityisesti aapa-soilla havaitun päärakenteen mukaisesti. Niissä suosysteemi käsittää toisaalta ns. luovuttajaosan, josta vedet lähtevät virtaamaan alemmas ja toisaalta ns. vastaanottajaosan, johon edellä mainitut vedet kertyvät (Laitinen ym. 2007). Ensin mainittu osa käsittää tyypillisesti rahkaisia, karuja soita sekä kangasmaita, jälkimmäinen taas rimpipintaisia soita. Näiden suosysteemien päärakenteosien välinen raja on yleensä selkeä ja sen voi ajatella sijoittuvan siihen kohtaan virtauskentässä, missä suolla virtaava vesimäärä (eli yläpuolisen valuma-alueen pinta-ala) saavuttaa sellaisen arvon, missä koko suon akrotelmakerros täyttyy vedellä ja vedenpinta siis ulottuu suon pintaan asti. Tämä etäisyys riippuu ilmastotekijöistä eli sadannasta, haihdunnasta ja kasvukauden pituudesta sekä suoaltaan muodosta ja kaltevuudesta.

Matemaattisen käsittelyn perustana on Darcyn laki, jota on sovellettu soiden veden virtauksen laskemiseen olettamalla ns. diplotelmisen mallin mukaisesti virtauksen tapahtuvan vain huokoisessa pintakerroksessa (Ivanov 1981). Sen oletusten mukaan vesi virtaa suolla horisontaalisesti vain akrotelmassa ja akrotelman hydraulinen gradientti noudattelee yleistä kaltevuutta (virtaus pinnan suuntaan, ei vaihtelee vuodenaikojen mukana). Yksinkertaisimmassa muodossaan Darcyn lain voi kirjoittaa muotoon:

$$v = Q/w \times d = k \times i, \quad (1)$$

jossa Q = vesimäärä, joka virtaa kuvion poikkeikkauksen läpi: w = leveys, d = vettä johtavan kerroksen paksuus, v = virtausnopeus huokosissa, k = vedenjohtavuuskerroin ja i = vedenpinnan kaltevuus.

Tietylle kuviolle tulevan veden määrä Q riippuu suoraan valuma-alueen pinta-alasta, sekä sadannasta ja haihdunnasta. Ilmastotekijöiden (sadanta ja haihdunta) vaikutusta suon veden pinnan tasoon ovat tarkastelleet matemaattisesti van der Schaaf & Streefkerk (2003). Tässäkin on

oletettu, että suot noudattavat diplotelmista mallia. Tällöin akrotelman transmissiivisuus eli kyky johtaa vettä riippuu vedenpinnan korkeudesta ja vedenjohtavuudesta akrotelman eri kerroksissa. Jos oletetaan, että huokoisen pintaturpeen vedenjohtavuus on eri paikoissa samanlainen, suon pinnan kaltevuus ja veden pinnan korkeus määräävät sen, paljonko vettä paikassa pystyy turpeessa virtaamaan.

Alueellisessa tarkastelussa on suokuvion läpi virtaava vesimäärä arvioitavissa paikan valuma-alueen laajuuden sekä vuotuisen, keskimääräisen sadannan ja haihdunnan erotuksen avulla.

Darcyn laista voidaan johtaa yhtälö:

$$Ta/q_s = A/(w \times i), \quad (2)$$

jossa: Ta (transmissiivisuus) = $k \times d$ (k on akrotelman vedenjohtavuus, d on vedenpinnan taso akrotelman alareunasta laskettuna), q_s = alueelle tyypillinen ominaisvalunta (sadanta-haihdunta), A = valuma-alueen pinta-ala, w = tarkasteltavan yksikön leveys suolla, i = keskimääräinen kaltevuus suolla.

Ns. syrjäosan eli suosysteemin luovuttajaosan pinta-ala voidaan kuvata yhtälöllä:

$$A_D = A_T \times (1 - A_R/A_T), \quad (3)$$

jossa A_T = koko tarkasteltavan valuma-aluekokonaisuuden laajuus ja A_R = siihen kuuluvan rimpipintaisen ns. vastaanottajaosan laajuus.

Syrjäosan alareunalla, jossa rimpipintainen osa alkaa ja vedenpinta ylettyy suon pinnan tasolle, yhtälö (2) voidaan kirjoittaa muotoon:

$$k \times d/q_s = A_T \times (1 - A_R/A_T)/i \times w. \quad (4)$$

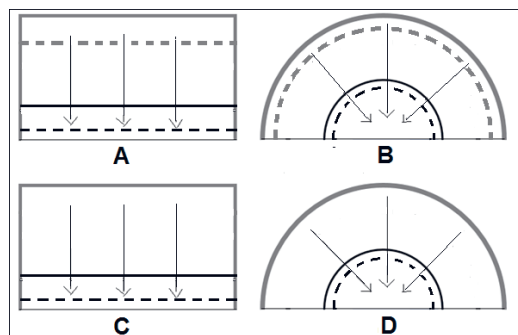
Vastaavasti voidaan tarkastella sitä, miten valuma-alueen muuttuminen vaikuttaa soihin. Tietyn kuvion pintaturpeen läpi virtaava vesimäärä Q on siis tietyissä ilmasto-oloissa suoraan riippuvainen valuma-alueen koosta. Siirryttäessä alemmas veden määrä kasvaa ja tietyssä kohdassa saavuttaa arvon, jossa vesi nousee pintaan. Määritellään tässä kohdassa veden virtausnopeus $v_{cr} = (A_D/w) \times q_s/d$. Jos oletetaan pinnan huokoisen kerroksen paksuus ja vedenjohtavuus vakioksi,

luovuttajaosan ja vastaanottajaosan rajalla suhde A_D/w kuvaa sitä missä kohdassa virtauskenttää näissä ilmasto-oloissa ja tällä kaltevuudella vesi saavuttaa pinnan ja rimpipintainen osa alkaa.

Edellä esitetyn yhtälön (4) avulla voidaan siis arvioida sitä, miten suosysteemin vastaanottajaosan (minerotrofisen rimpipinnan) määrä ja osuus muuttuvat, jos esim. valuma-alueen koko, ominaisvalunta tai kaltevuus muuttuvat. Tämä riippuu kuitenkin ratkaisevasti virtausviivojen sijoittumisesta. Suolla veden virtausviivat (Ivanov 1981) voivat paikallisesti suoaitaiden muodosta ja suomassiivien sijoittumisesta johtuen olla yhdensuuntaisia, suppenevia tai hajaantuvia. Kun tarkastellaan sitä, miten eri muuttujat vaikuttavat rimpipintaisen osan pinta-alaan ja osuuteen, yksinkertaisen matemaattisen käsittelyn kannalta on tapaus, jossa virtausviivat yhdensuuntaiset (Kuva 1a). Tällöin, jos valuma-alueen pinta-ala (= vesimäärä) muuttuu ja kaltevuus sekä kuvion leveys pysyvät vakioina, rimpisen vastaanottajaosan pinta-ala muuttuu luovuttajaosan pinta-alan muutoksen verran. (Kuvan 1a tapauksessa oletettu, että vastaanottajaosa on 1/4 koko pinta-alasta, tällöin luovuttajaosan pinta-alan supistuminen 25 % aiheuttaisi rimpisen vastaanottajaosan hyvin voimakkaan supistumisen (esimerkin tapauksessa sekä pinta-ala että osuus supistuisivat 75 %).

Toinen, matemaattisesti monimutkaisempi malli olettaa valunnan tapahtuvan säteittäisesti (Kuva 1b). Tällöin luovuttajaosan pinta-alan muuttuessa (esim. reunaojitusten vuoksi) (harmaa katkoviiva kuvaa uutta vedenjakajaa) myös leveys muuttuu ja vastaanottajaosan pinta-ala muuttuu edellä esitetyn kaavan mukaisesti niin, että pinta-ala ja osuus alkuperäisestä valuma-alueesta pienenevät 25 % (musta katkoviiva), osuuden uudesta valuma-alueesta pysyessä samana.

Lisäksi tarkasteltiin ominaisvalunnan tai kaltevuuden vaikutusta rimpipinnan laajuuteen. Ominaisvalunnan pieneminen tai kaltevuuden lisääntyminen 25 % aiheuttaa yhdensuuntaisen virtauksen tapauksessa rimpipintaisen vastaanottajaosan pienemisen 75 % (Kuva 1c). Jatkossa oletetaan virtauksen keskiboreaalilla aapasolla noudattavan em. säteittäistä mallia (Kuvat 1b ja 1d).



Kuva 1. Yksinkertaistetut mallit, jotka havainnollistavat valuma-alueen muutosten vaikutuksia suosysteemin pää-rakenteisiin (perustuen aapasuosysteemeiltä esitettyihin pää-rakennepiirteisiin). A. valuma-alue supistuu, oletettu virtauksen olevan yhdensuuntaista. B. Valuma-alue supistuu, virtaus oletettu säteittäiseksi. (Uloin, harmaa viiva kuvaa vedenjakajaa ja sisempi musta viiva rimpisen vastaanottajaosan ulkorajaa. Katkoviivat kuvaavat vastaavia rajoja muuttuneessa tilassa.) Kuvat 1C ja 1D kuvaavat, kuinka ominaisvalunnan tai kaltevuuden muutokset vaikuttavat rimpipintaan vastaavasti (vaikka valuma-alue ei pienene).

Figure 1. Simple graphs, which visualize the effect of the changes in the catchment area on the main structure of mire system (based on the patterns found on aapa mire systems). A. The catchment area shrinks, the flow lines supposed to be parallel. B. The catchment area shrinks, the flow lines supposed to be radially converging. C and D. The catchment area stays in pristine condition, but the runoff value or inclination changes. (The outer, grey line shows the water divide and the inner black line shows the border of the flark-level receiver segment of the mire system. The dotted lines show the equivalent borders in the changed situation).

Säteittäisen virtauksen oletuksella on voimassa kaavat:

$$1/q_s = (A_D/w) \times (i/k) \times d \quad (5)$$

sekä

$$i = (A_D/w) \times q_s / d \times k. \quad (6)$$

Näiden mukaisesti ominaisvalunnan pieneminen tai kaltevuuden kasvaminen 25 % aiheuttaa rimpipintaisen vastaanottajaosan pienemisen 25 % (Kuva 1d).

2.2 Ilmastotekijöiden vaikutus suosysteemeihin

Tähän tutkimukseen valittiin eri puolilta Suomea yhteensä 50 suhteellisen luonnontilaista valuma-aluetta. Kohteet pyrittiin valitsemaan niin, että ne jakautuvat mahdollisimman tasaisesti eri puolille maata (Tunturi-Lapin palsasoiden alue jätetty kuitenkin pois). Rajaus tehtiin niin, että mukaan otettiin valuma-aluekokonaisuuksia, joissa on mukana luonnontilaiset suot valuma-alueineen. Raja vedettiin siis luonnontilaisilla alueilla vedenjakajia tai vesistöjen rantoja myöten. Valuma-alueiden alaosista jouduttiin joissakin tapauksissa jättämään pois ojitetut, pitkälle muuttuneet suot. Tutkimukseen pyrittiin valitsemaan kohteet, joissa tällaisten puutteiden merkitys olisi mahdollisimman vähäinen. Mikäli vedenjakaja sijoittuu keidassuomassiivin kohdalle, on koko massiivi otettu rajaukseen (pyrittiin piirtämään valuma-alueen raja kivennäismaakynnykselle, missä sen oletettiin olleen ennen keidassuon kasvua).

Tutkimuskohteiksi on valittu valuma-aluekokonaisuuksia, joiden pinta-ala on vähintään 1 000 ha ja vähintään 60 % rajatusta valuma-aluekokonaisuudesta on suota. Valuma-alueiden rajojen tuli olla kartoista saatavien korkeustietojen mukaan määritettävissä ja alueiden tuli sijoittua geologialtaan ja topografialtaan keskenään vertailukelpoisille alueille. Kaikki kohteet sijoittuvat suhteellisen loivapiirteiseen ja alavaan maastoon, jossa suhteellinen korkeusero soiden ja niiden valuma-alueiden välillä alle 50 m ja soiden korkeusasema alle 300 m meren pinnan yläpuolella. Ne muodostuvat kangasmaita ja keidassoita käsittävästä vedenjakaja-alueesta ja alempana olevista minerotrofisista soista.

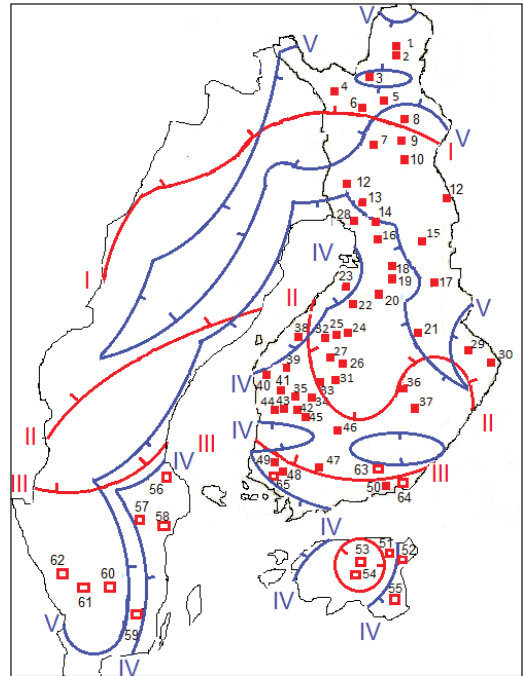
Topografiset erityiskohteet, kuten suurten jokien mutkissa olevat suosysteemit, jätettiin pois tarkastelusta. Koska teoreettinen tarkastelu pohjautuu ns. akrotelma–katotelma-mallin käytölle, otettiin mukaan vain sellaisia suosysteemejä, joilla veden virtauksen voitiin ainakin pääosin olettaa noudattavan tätä mallia. Käytännössä mukaan otettiin vallitsevasti moreenimaata olevia kohteita, joilla soille ympäröivältä valuma-alueelta tuleva valunta on pääasiallisesti pintakerrosvaluntaa eikä soilla ole huomattavia pohjaveden purkautumisalueita. Suoalueita, joille vettä tulee

laajoilta harju- tai reunamuodostumilta ei siis otettu mukaan tähän tutkimukseen. Kohteista kaksi (kohteet 42 ja 46) rajoittuivat laajoihin harju-/reunamuodostumiin, mutta näillä tilanne on sellainen, että vesi suotautuu harjuihin, eikä purkaudu harjusta soille ainakaan kovin merkittävässä määrin. Kohteiden soiden edellytettiin myös olevan niin vanhoja, että aapasuo- tai keidassuosysteemiin pääarakenteilla on ollut aikaa saavuttaa stabiili tila sukkessiossa. Maankohoamisen aiheuttaman rannansiirtymisen perusteella nuorimmissakin kohteissa soistumisen voidaan arvioida alkaneen vähintään 3 800 vuotta sitten (Taipale & Saarnisto 1991). Tämän ikäisten suosysteemiin on soiden kehittymistä käsittelevissä tutkimuksissa arvioitu jo saavuttaneen ilmastolliselle vyöhykkeelle tunnusomaiset piirteet niin keidassuoalueella (Aario 1932) kuin aapasuovyöhykkeelläkin (Rehell ym. 2012). Tällaisia laajoja, luonnontilaisia suoalueita on löytynyt eri puolilta maata lähinnä suojelualueilta. Näissä eri yksiköiden pinta-alojen tarkastelua helpotti se, että yksityiskohtaiset tiedot kasvillisuustyypeistä olivat käytettävissä (Metsähallitus, luontopalvelut).

Maamme eteläisimmissä osissa suoloento on muuttunut niin voimakkaasti, että riittävän mittavia suosysteemejä oli mahdotonta löytää. Tästä syystä aineistoa täydennettiin ottamalla mukaan joitakin hieman suppeampia kohteita maamme eteläisimmistä osista sekä muutamia kohteita Etelä-Ruotsista ja Virossa, missä ilmasto-olot muistuttavat eteläisintä Suomea ja erilaisia suosysteemejä on säilynyt hyvin laajoina ja luonnontilaisina kokonaisuuksina. Näiltä on ollut käytettävissä ilmakuvat (<https://kso.etjanster.lantmateriet.se/?redirected=true>, <http://kaart.delfi.ee/>) sekä kartat, joilta minerotrofisen rimpipinnan, ombrotrofisten massiivien sekä valuma-alueiden rajat pystyttiin arvioimaan ilmakuvalla näkyvän värin sekä morfologian perusteella. Etelä-Ruotsi muistuttaa geologialtaan ja topografialtaan eteläistä Suomea, ilmasto siellä on kuitenkin varsinkin lounaisrannikon tuntumassa jo huomattavasti leudompi ja sateisempi. Näin siellä tavattavia suosysteemejä voidaan hyvin verrata Suomen suosysteemeihin ja saada tietoa ilmaston vaikutuksesta. Viron alue poikkeaa geologialtaan jo selvästi Suomesta, koska siellä kallioperän muodostavat sedimenttiset kalkkikivet ja hiekkakivet.

Kuva 2. Kohteiksi valitut luonnontilaiset valuma-aluekokonaisuudet. Kuvaan on lisäksi merkitty vuotuisen keskilämpötilan (punainen) sekä ominaisvalunnan (sininen) samanarvokäyrien päälinjoja: I = n. $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, II = n. $3\text{ }^{\circ}\text{C}$, III = n. $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, IV = n. 250 mm/v , V = n. 350 mm/v . Käyrät on piirretty siten, että on haluttu korostaa, sitä, että ne eivät ole tarkkoja, vaan paikallista vaihtelua on paljon.

Figure 2. The pristine catchment areas selected for study sites: 1. Pierkivaaranjätkä, 2. Hanhijätkä, 3. Lemmiksäjätkä, 4. Sotkavuoma, 5. Naatsukka-aapa, 6. Salmistonvuoma, 7. Raasuvuoma, 8. Koitelainen, Loueaapa, 9. Joutsenaapa, 10. Raateaapa, 11. Kilsiaapa, 12. Oulanka, Saviaapa, 13. Runkaus, Ahma-aapa, 14. Litokaira, Iso-suo, 15. Riуска, Joutsensuo, 16. Hirvisuo, 17. Tulisuo, 18. Säippäsuo, 19. Tolkansuo, 20. Veneneva, 21. Tiilikka, Maamonsuo, 22. Köyryrimpi, 23. Pitkäsnava, 24. Kivineva, 25. Kotkanneva, 26. Heikinjärvenneva, 27. Hangasneva, 28. Hoikkasuo, 29. Patvinsuo, 30. Koivusuo, 31. Valleusuo, 32. Pilvineva, 33. Matosuo, 34. Haukkanneva, 35. Haukilammenneva, 36. Suurenaukeusuo, 37. Iso-Huppio, 38. Åkantsmossen, 39. Levaneva, 40. Risnäsmossen, 41. Sanemossen, 42. Kauhanneva, 43. Haapakeidas, 44. Mustasaarenkeidas, 45. Häädetkeidas, 46. Siikaneva, 47. Torronsuo, 48. Kurjenrahka, 49. Vaskijärvenrahka, 50. Valkmusia.



Eteläosien täydentävät kohteet (the complementary sites in the southernmost part): 51. Muraka, 52. Agusalu, 53. Laukasoo, 54. Keava, 55. Meenikunno, 56. Florarna, 57. Stora Mossen, 58. Fjällmossen, 59. Stockmyr, 60. Store Mosse, 61. Komosse, 62. Långhultamyren, 63. Enäsuo, 64. Kajasuo, 65. Kolkansuo

Included in the map the same value curves of mean yearly temperature (red) (I = $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, II = $3\text{ }^{\circ}\text{C}$, III = $4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) and runoff (blue) (IV = 250 mm/y , V = 350 mm/y). The same value curves show only the main patterns and do not react to local variation.

Jotta vertailu Suomen soihin olisi mahdollista, valittiin sieltä kohteiksi suosysteemejä sellaisilta alueilta, missä erilaiset savi-, siltti- ja moreenikerrokset (Raukas & Teedumäe 1997) peittävät kallioperää paksuina ($>10\text{ m}$) kerroksina, joten soiden ympäristö ei kovin merkittävästi poikkea monista Etelä-Suomen alavista seuduista. Viron soiden kasvillisuuden ja luontotyyppien tulkinassa käytettiin apuna kuvauksia (Aaviksoo ym. 1997)

Alueilta mitattiin peruskartoilta kohdealueen koko pinta-ala (A_T), soiden osuus, keskimääräinen kaltevuus (i) (mitattu virtaavasta kohdasta, virtausviivojen suunnassa, kolmen, vähintään useiden satojen metrien mittaisen mittaustuloksen keskiarvo). Ilmakuvilta mitattiin virtaavan (minerotrofisen) rimpipinnan pinta-ala (A_R) ja keidassuomassivien pinta-ala. Minerotrofisen rimpipinnan vallitsemaksi pinta-alaaksi mitattiin

ilmakuvilta selvästi tummempana erottuva, veden virtauksen mukaisesti rakentunut kokonaisuus (tumma väri aiheutuu sammalettoman ruoppapinnan laajuudesta, mutta mukaan otettiin myös esim. rimpin väliset jänteet). Samoin keidassuomassiviksi arvioitiin ilmakuvilta ympäristöstään erottuvat suon osat. Kaikilta kohteilta eroteltiin myös pintamorfoloialtaan erilaiset osuudet niin minerotrofisista rimpipinnoista kuin keidassuomassiviestäkin. Minerotrofista rimpipintaa olevat keskusosat jaettiin pintamorfoloian mukaan verkkomaisiin, yhdensuuntaisten rimpin ja jänten vallitsemiin sekä juottimaisiin alueisiin.

Keidassuomassivit jaoteltiin selvästi kermikuljurakenteisiin, pääosin rakenteettomiin mätäspintaisiin sekä laakiomaisiin, mätäs-välmärkäpintaisiin alueisiin. Lisäksi suosysteemeistä arvioitiin puuttoman minerotrofisen välipinnan osuus soista. Tämänkin laajuus arvioitiin ilma-

kuvilta. Sen raja etenkin minerotrofisiin rimpipintoihin on tyypillisillä aapasoilla yleensä selvä, mutta muualla usein vähittäinen ja epäselvä. Rajaamisessa ongelmia aiheuttavat esim. märät rahkasammalpinat (*carpet*), sekä hyvin runsaasti saraa tai ruohoja kasvavat märät juotit (*magno-cariceta*). Nämä molemmat väriltään varsinaisia rimpipintoja vaaleampina yleensä vallitsevasti on luettu välipintoihin. Suosysteemeistä erotettujen osien, minerotrofisen rimpipinnan ja välipinnan sekä keidassuomassivien ulkopuoliset osat käsittelevät pääosin erilaisia puustoisia soita.

Kullekin alueelle saatiin säätilastoista seuraavat hydrometeorologiset tunnuksat: keskilämpötila, termisen kasvukauden pituus, lämpösumma, lumipeiteaika, vuotuinen sadanta, vuotuinen haihdunta, ominaisvalunta ja alkukesän valunta (keskiarvot vuosilta 1931–1960) (Alalammi 1987). Ruotsin vastaavat tiedot saatiin Ruotsin ilmatieteellisen laitoksen (SMHI) julkaisemista tilastoista (ajanjakso 1961–1990). Viron alueen tiedot saatiin teoksesta: Eesti NSV kliimaatlas (1969), jossa tilastoitu ajanjakso on vuosilta 1931–1960. Täydentäviä tietoja saatiin lisäksi erillisteoksesta: Eesti Meteoroloogia ja hüdroloogia instituut (2011). Aikaisemmilta ajanjaksoilta on kasvukauden pituudesta ja lämpötiloista Fennoskandian pohjoisosissa saatu suhteellisen hyvin tietoja puiden lustotiedoista viimeisten n. 7500 vuoden ajalta (Linderholm ym. 2010, Gunnarson ym. 2011). Sademääristä ja valunnoista on heikommin tietoja, luotettavimmin niitä on pystytty arvioimaan järvien korkeusvaihteluiden avulla (esim. Digerfeldt 1988). Lämpötilojen, kasvukauden pituuden sekä sademäärien ja kosteusolojen tulevasta kehityksestä on tehty paljon ennusteita (esim. Ruosteenoja ym. 2016, Ruosteenoja 2011).

2.3. Reunaojitusten vaikutus aapasuosysteemeihin

Lähtöaineistona on käytetty Suomen ympäristökeskuksen tekemää suolaikkulistaa (Pekka Salminen, julkaisematon aineisto). Tässä listauksessa on ilmakuvilta ja kartoilta kerätty tiedot kaikilta yhtenäiseltä suopinta-alaltaan yli 50 ha laajuisista ojitamattomista suolaikuista. Tähän tutkimuk-

seen otettiin tästä aineistosta keskiboreaalisen vyöhykkeen suolaikut, joilla esiintyy ainakin jonkin verran rimpipintaa. Kaikkiaan tällaisia kohteita on 702 kpl (309 111 ha). Tästä määrästä valittiin tutkimukseen satunnaisotannalla joka kymmenes suo; yhteensä 71 kpl (19 883 ha). Nämä kohteet käytiin läpi ilmakuvilta ja kartoilta ja tarkistettiin myös metsähallituksen kuviotiedot, jos kyseessä oli suojeltu alue. Rimpisoiden pinta-ala mitattiin siten, että esim. rimpinevakuvioihin kuuluvat jänteet ja pienehköt rimpipinnan ympäröivät mätäs- tai välipintasaarekkeet ovat mukana pinta-alassa. Tarkastellut alueet, joilta minerotrofisia rimpipintoja etsittiin, rajattiin valuma-aluekokonaisuuksien mukaan, siten että koko tuon ojitamattoman suolaikun rimpiosa kaikkine valuma-alueineen rajattiin mukaan. Valuma-aluekokonaisuudet käsittivät siis paljon laajempia alueita kuin vain kyseiset ojitamattomat suolaikut. Tämän ojitamattoman rimpisuolaikun hydrologista luonnontilaisuutta arvioitiin katsomalla karttojen ja ilmakuvien avulla sitä, paljonko näiden rimpinevojen valuma-alueilla on ojituksia, jotka vaikuttavat rimpialueiden hydrologiaan.

Aapasoilla on varsin tavallista, että reunojen ojista kaikkia vesiä ei ole johdettu muualle, vaan osa on johdettu ojitamattomaksi jätettyyn märkään suon keskusosaan. Tällaisissa tapauksissa tuleva vesimäärä pystyy estämään ainakin paikallisesti rimpipinnan muuttumista, mutta toisaalta tapahtuu myös paikallisia muutoksia, joihin kuuluu sekä kuivumista ja karuuntumista että vettymistä ja kasvillisuuden rehevöitymistä. Jotta valuma-alueilta tulevien vesien vaikutusta minerotrofisiin rimpisoihin voisi tarkastella matemaattisesti, on yhdistettävä tällaisista syöttöojista vain pistemäisesti suolle tulevan veden vaikutus ojien vuoksi kokonaan pois jäävään osuuteen. Tätä varten laadittiin indeksi, jossa laskettiin yhteen sellaisten valuma-alueiden osuudet, joilta vesi pääsee suoraan ilman ojituksia rimpisoiille ja puolet sellaisten valuma-alueiden osien osuuksista, joista vesi tulee syöttöojien kautta.

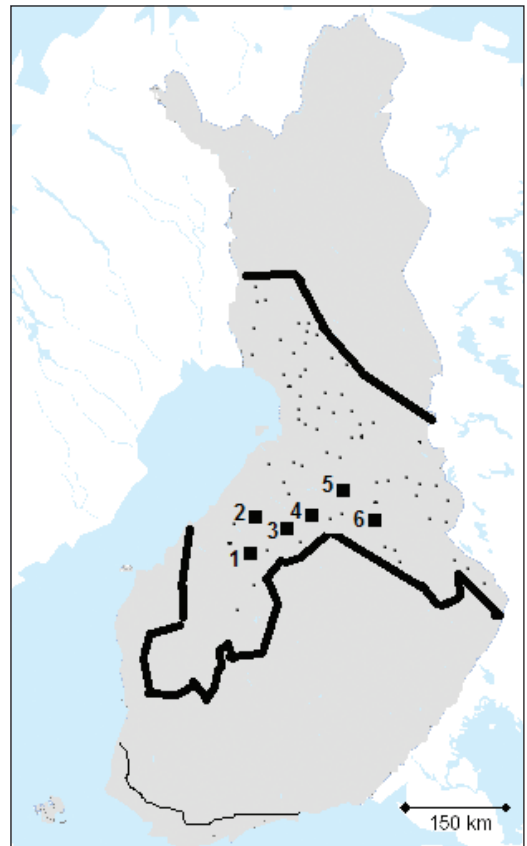
Tarkasteluun tulleista suoalueista kuusi (Kuva 3) olivat sellaisia, että niiltä löytyi Metsähallituksen Pohjanmaan luontopalveluista soiden ennallistamissuunnitelmia varten tilattuja

vanhoja (1950- ja 1960-lukujen) ilmakuvia. Vertaamalla näitä nykyisiin ilmakuviin arvioitiin, kuinka paljon näiden soiden ojittamattomilla osilla rimpipintaisen suon osuus on vähentynyt 1960–1970-lukujen vaihteen tienoilla tehtyjen ojitusten jälkeen. Kyseiset suot, lukuun ottamatta huomattavan luonnontilaista Rumalanrimpeä Vaalassa) ovat reunoiltaan voimakkaasti ojitusten muuttamia, mutta rimpiset keskiosat ovat säilyneet ojittamattomina suojelualueina. Kyseiset kohteet ovat merkittäviä aapasoiden suojelualueita, mistä syystä niihin on valikoitunut laajahkoja (koko valuma-alueiden koko 724–1 669 ha) ja rimpisiä (rimpipinnan osuus 14,5–35 % valuma-alueesta) soita. Ne ovat varsin tyypillisiä keskiboreaalisia aapasoita, ilmastotekijät ja soiden keskimääräinen kaltevuus eivät poikkea kovin paljon toisistaan (minerotrofisten osien kaltevuus 0,0019–0,0033).

3. Tulokset

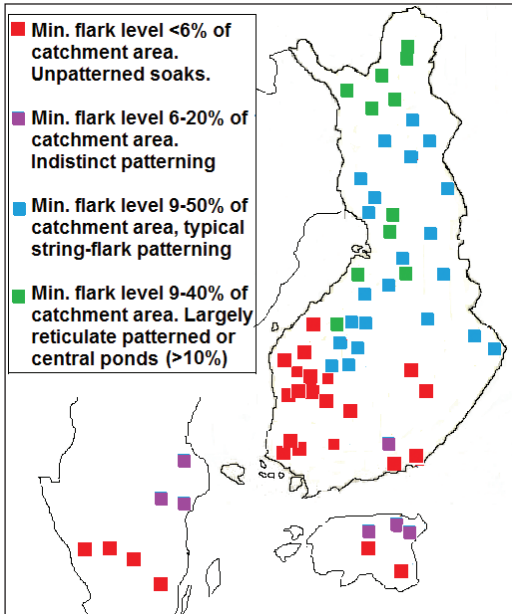
3.1 Suosysteemien rakenne suhteessa ilmastotekijöihin

Tarkastelluissa suosysteemeissä näkyi selviä alueellisia eroja minerotrofisen rimpipinnan laajuudessa ja rakenteissa. Suomen eteläosien, samoin kuin Ruotsin lounaisosien tarkastelluissa suosysteemeissä minerotrofisen rimpipinnan osuus on yleensä pieni; kaikissa tapauksissa alle 6 % valuma-alueesta (keskimäärin n. 2 %) ja se koostuu tyypillisesti vain kapeista juuteista. Myöskään minerotrofisen, avoimen välipinnan osuus näillä soilla ei ole kovin suuri. Kaakkois-Ruotsissa ja paikoin myös Virossa ja joissakin osissa eteläistä Suomea tavataan kuitenkin suosysteemejä, joissa minerotrofista rimpipintaa on selvästi enemmän ja se muodostaa laajempia massiiveja, joissa tyypillisesti on havaittavissa heikkoa jännemäistä rakennetta juottien heikommin virtaavissa reunaosissa. Näillä soilla minerotrofisen avosuo on yleensä vallitsevana ja usein koostuu välipinnaksi luetusta märestä välipinnasta tai luhtapinnasta. Pohjois- ja Keski-Suomen aapasuoalueen kohteilla minerotrofisen rimpipinnan osuus on kauttaaltaan vähintään 9 % valuma-alueesta (keskimäärin eteläisimmillään



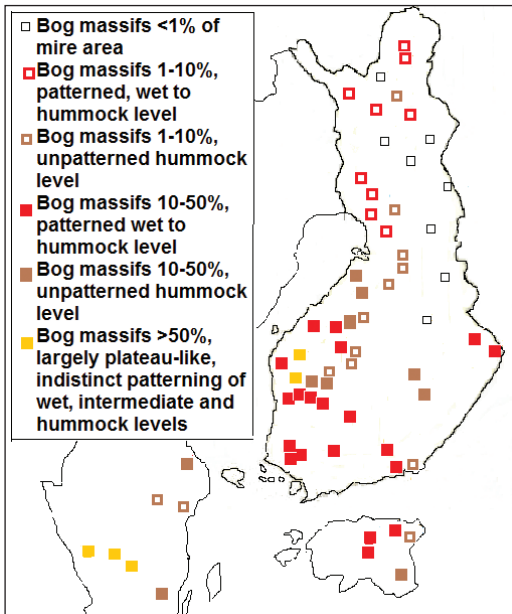
Kuva 3. Keskiboreaaliselta vyöhykkeeltä tutkitut rimpipintaisen suolaikkujen valuma-alueet. Pienet, mustat pisteet: Satunnaisesti valitut suolaikkukohteet (65 kpl), joilta arvioitu rimpipinnan laajuus ja valuma-alueen hydrologinen muutos. Isot, mustat neliöt: Tarkemmin tutkitut kohteet, joilta arvioitu hydrologian muutos sekä vanhoja ilmakuvia käyttäen rimpipinnan muutokset. Paksut mustat viivat kuvaavat keskiboreaalisien vyöhykkeen rajoja pohjoisboreaalista ja eteläboreaalista vyöhykettä vastaan ja ohut viiva hemiboreaalisien vyöhykkeen pohjoisrajaa maassamme.

Figure 3. The studied random set of catchment areas with flark level mire patches with no direct ditching. Small, black dots: Random set of mire patches, where the share of minerotrophic wet level and the hydrological changes in the catchment areas have been assessed (65 couples). Large, black quadrates, the sites, where also the change in the share in minerotrophic wet level has been assessed (6 couples) 1. (Lamminneva, 2. Mällineva, 3. Hirsineva, 4. Haudanneva, 5. Rumalanrimpe, 6. Varissuo). The strong, black lines show the borders of central boreal zone and the narrow, black line the border of hemiboreal zone.



Kuva 4. Minerotrofisen rimpipinnan esiintyminen ja luonne tutkimuksen suosysteemeissä.

Figure 4. The occurrence and patterning of minerotrophic wet level massifs in the studied mire systems.



Kuva 5. Keidassuomassiivien esiintyminen ja luonne tutkimuksen suosysteemeissä.

Figure 5. The occurrence and patterning of raised bog massifs in the studied mire systems.

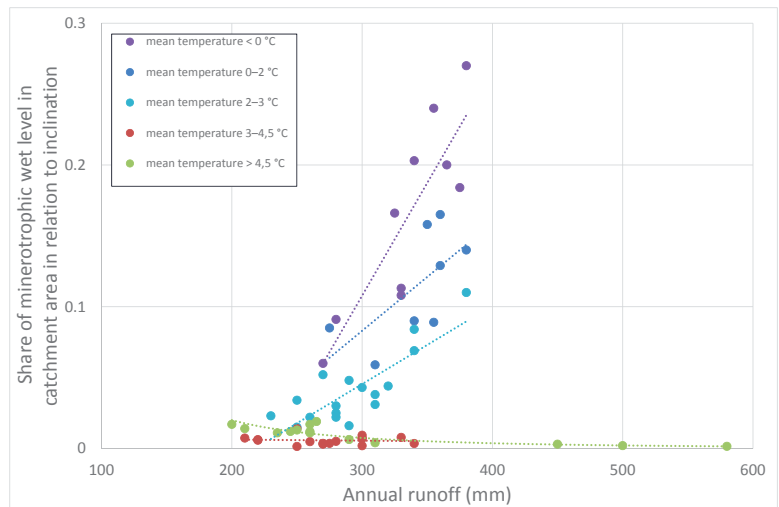
aapasoiilla n. 14 %) ja suurimmassa osassa kohteita rimpisissä osissa vallitsee yhdensuuntaisten jänteiden ja rimpien muodostama rakenne. Pohjoisimmilla tarkastelluilla alueilla rimpialueet ovat suurimmaksi osaksi, joskus lähes kokonaan, rakenteeltaan verkkomaista. Vastaavaa verkkorakenteista rimpipintaa tavataan kuitenkin paikoin etelämpänäkin erityisesti tasaisimmilla suosysteemeillä.

Myös keidassuomassiivien laajuudessa ja rakenteissa oli näkyvissä alueellisia eroja (Kuva 5). Suurimmassa osassa Pohjois-Suomen aapasuovyöhykettä keidassuomassiiveja tavattiin siten, että ne muodostivat n. 1–10 % suopinta-alasta. Pohjoisimmilla alueilla nämä keidassuot olivat yleensä märkiä ja allikkoisia, aapasuovyöhykkeen eteläisemmissä osissa mätäspintaisia, yleensä puuttomia. Kaikkein niukimmin keidassuomassiiveja oli erotettavissa Itä- ja Pohjois-Suomen vaara-alueiden kaltevista, osin lähes rинnesuomaisista suosysteemeistä. Siellä niiden osuus jäi säännöllisesti alle 1 % soiden pinta-alasta. Etelään päin mentäessä keidassuomassiivien osuus suosysteemeistä kasvaa ja keskiborealisen vyöhykkeen eteläosissa keidassoita on usein yli 10 % suopinta-alasta.

Eteläborealisella vyöhykkeellä keidassuomassiivit ovat laajimmillaan; Pohjanlahden rannikon tuntumassa ja Järvi-Suomessa ne ovat vallitsevasti mätäspintaisia *Sphagnum fuscum*-keitaita, tämän eteläpuolella vallitsevat selkeästi kermi–kulju-rakenteiset eksentriset tai konsentriset massiivit. Täällä keidassuomassiivit muodostavat usein lähes puolet suopinta-alasta, lopun pinta-alan ollessa pääosin erilaisia, suurelta osin minerotrofisia puustoisia soita ja välipintaisia avosoita. Lounaisen Ruotsin alueen suosysteemeissä on huomattavaa keidassuomassiivien laajuus (säännöllisesti yli puolet suopinta-alasta) ja rakenne (laakiomainen keskiosa, jossa vaihtelevasti mätäs- väli- ja märkäpintaa). Tätä jossain määrin muistuttavaa suota löytyy myös paikoin eteläisestä Suomesta, esim. Etelä-Pohjanmaalta. Kaakkois-Ruotsissa sekä joissakin osissa Viroa keidassuomassiivien osuus suopinta-alasta jää huomattavan vähäiseksi, useissa tapauksissa alle 10 % suopinta-alasta. Täällä keidassuomassiivit ovat pieniä, heikosti ympäristöstä kohoavia ja usein varsin puustoisia.

Kuva 6. Minerotrofisen (kaltevuuteen suhteutetun) rimpipinnan osuus tutkituista valuma-alueista eri alueilla. Vaaka-akselina paikan keskimääräinen, ominaisvalunta (vuotuinen sadanta – haihdunta).

Figure 6. The share of minerotrophic wet level (in proportion to inclination) of the studied catchment areas. The horizontal axis is the mean yearly runoff (precipitation – evaporation) of the area.



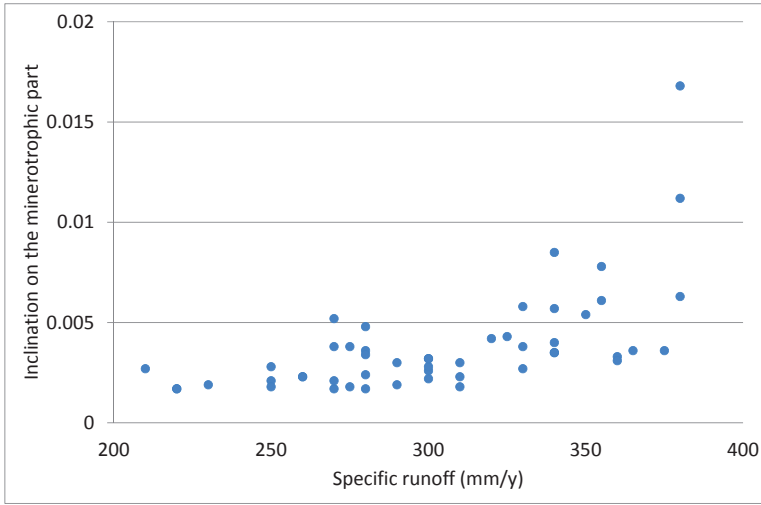
Teoreettisen tarkastelun mukaan kaltevuus vaikuttaa voimakkaasti rimpipinnan esiintymisen laajuuteen. Siksi verrattaessa ilmastotekijöitä rimpipinnan laajuuteen oli minerotrofisen rimpipinnan osuus suhteutettava kaltevuuteen. Tämän havaittiin riippuvan valunnasta (sadannan ja haihdunnan erotus) ja lämpötilasta (Kuva 6) eri tavoin eri vyöhykkeillä. Tutkitut suosysteemit luokiteltiin niiden keskilämpötilan mukaan viiteen ryhmään, raja-arvoina keskilämpötilat 0, 2, 3 ja 4,5 °C. Suot, joilla keskilämpötila jää alle 0 °C sijoittuvat Pohjoiseen Lappiin ja suot, joilla se on yli 4,5 °C sijoittuvat pääosin maamme eteläpuolelle, osin aivan etelärannikon tuntumaan. Aapasuovyöhykkeen ja keidassuovyöhykkeen (keskiboreaalisen ja eteläboreaalisen vyöhykkeen) välinen raja (ks. Kuva 2) sijoittuu suunnilleen 3 °C keskilämpötilan kohdalle. Kuvasta 6 nähdään, kuinka aapasuovyöhykkeellä (keskilämpötila < 3 °C) kaltevuuteen suhteutettu rimpipinnan osuus kasvaa jokseenkin suoraviivaisesti valunnan kasvaessa.

Pohjoisimmissa osissa, erityisesti siellä, missä keskilämpötila jää alle 0 °C, rimpipinnan pinta-ala näyttää kasvavan erityisen jyrkästi valunnan määrän kasvaessa (eli tietty rimpipinnan osuus voidaan siellä saavuttaa jo pienemmällä valunnalla). Keskilämpötila 3 °C (keidassuo- ja aapasuovyöhykkeiden raja) merkitsee kuitenkin selkeää muutosta: tämän rajan eteläpuolella näyttää kaikilla tarkastelluilla eteläsuomalaisilla

suosysteemeillä minerotrofisen rimpipinnan osuus jäävän pieneksi riippumatta valunnan määrästä (Kuva 6). Vielä lämpimämmässä oloissa (keskilämpötila > 4,5 °C) vuosivalunnan ollessa pientä (< 250 mm/v), rimpipinnan osuus on jopa hieman suurempi kuin sateisemmillä seuduilla.

Alueellinen ominaisvalunta vaikuttaa selvästi suon yleiseen kaltevuuteen (Kuva 7). Suurimmalla osalla tarkasteltuja suosysteemejä minerotrofisten osien kaltevuus on välillä 0,002–0,005 (20–50 cm 100 metrin matkalla). Keskimäärin kaltevuus minerotrofisissa juoteissa kaikilla kohteilla on 0,0035, aapasuukohteilla 0,0044. Kaltevuuden lisääntyminen ominaisvalunnan kasvaessa näyttää olevan eksponentiaalista. Sateisimmilla seuduilla (valunta yli 350 mm/v esiintyy selvästi kaltevampia soita, joilla keskimääräinenkin kaltevuus on yli 0,01 (1 m 100 metrin matkalla). Muita selvästi kaltevampia soita (keskimääräinen kaltevuus yli 0,007) on neljällä kohteella, jotka sijoittuvat maan itäosiin, Kainuun–Pohjois-Karjalan alueelle (kohteet 15, 17, 21 ja 30), näillä minerotrofisen rimpipinnan osuus jää selvästi pienemmäksi kuin lämpötiloiltaan vastaavilla, tasaisemmillä soilla.

Ilmastotekijöiden vaikutusta keidassuomassivien määrään on tarkasteltu kuvassa 8. Sen mukaan seuduilla, missä keskilämpötila < 3 °C (aapasuovyöhykettä) keidassuomassivien osuus suopinta-alasta on kaikkialla alle 25 %. Lämpimämmillä seuduilla alkaa esiintyä sellaisia valuma-alueita, joilla niiden osuus on



Kuva 7. Suon pinnan minerotrofisten osien kaltevuuden (pysty akseli) suhde ominaisvaluntaan. Tarkasteltu vain kohteet 1–50, joilta kaltevuus on pystytty mittaamaan tarkimmin.

Figure 7. Inclination in the minerotrophic parts of the mire systems in relation to the mean yearly runoff. (Only the sites 1–50, where the measurement of inclination has been most accurate.

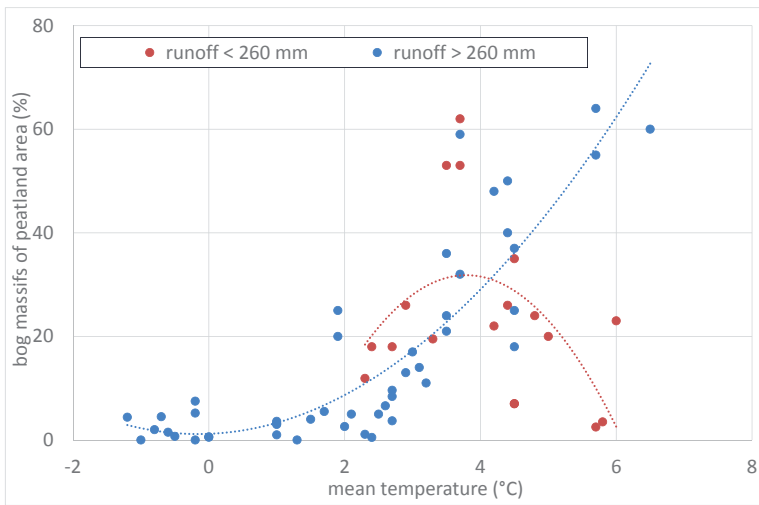
suurempi, jopa > 50 %. Keskilämpötilan ollessa 4,5 °C (vastaa suunnilleen maamme etelärannikon tienoille sijoittuvaa hemiboreaalisena ja eteläboreaalisena vyöhykkeen rajaa) yläpuolella alkaa esiintyä suurempaa hajontaa. Suhteellisen kuivilla (ominaisvalunta alle 260 mm/v) alueilla keidassuomassiivit jäävät vähäisemmiksi ja peittävät vain alle 25 % soista, kun taas sateisemmillä seuduilla (ominaisvalunta yli 260 mm/v) keidassuomassiivit peittävät valtaosan soista.

Ilmakuvilta määritetyn minerotrofisen välipinnan, joka käsittää siis varsinaisen välipinnan lisäksi myös runsaskasvustoisia luhtapintoja, osuuden riippuvuus ilmastokijöistä (kuva 9) on monimutkaisempi. Aapasuovyöhykkeen pohjoisosissa (keskilämpötila <1 °C välipinnan määrä on kauttaaltaan pieni (alle 20 % soista). Hieman etelämpänä aapasuovyöhykkeellä alkaa esiintyä suosysteemejä, joilla minerotrofisen, avoimen välipinta peittää jopa lähes puolet suopinta-alasta. Suomen eteläosien keidassuoalueella (keskilämpötila 3–4,5 °C) minerotrofisen välipinnan osuus on taas selvästi pienempi. Vielä lämpimämpiin oloihin siirryttäessä alkaa esiintyä suurta hajontaa, johon vaikuttaa sateisuuden suhde haihduntaan. Suhteellisen kosteilla seuduilla (ominaisvalunta > 260 mm/v) minerotrofisen, avoimen välipinnan osuus suosysteemeistä jää pieneksi (alle 10 %), mutta kuivemmillä (ominaisvalunta < 260 mm/v) se voi olla huomattavan suuri, jopa lähes puolet suosysteemin alasta.

3.2 Aapasoiden hydrologinen muuttuminen

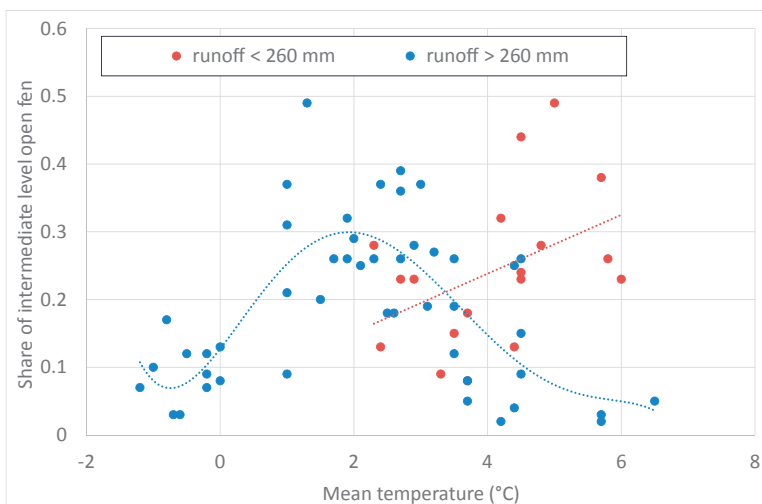
Aapasoiden hydrologisen muuttumisen tutkimukseen valitut 71 aluetta muodostavat satunnaisen otoksen keskiboreaaliselle vyöhykkeelle sijoittuvista ojittamattomista, yli 50 ha laajuisista suoilaikuista. Kyseisiltä alueilta löytyi uusilta ilmakuvilta 5 276 ha minerotrofiseksi, ojittamattomaksi rimpisuoksi tulkittua aluetta. Niillä havaitun rimpipintaisen suon pinta-alasta 457 ha (8,6 %) katsottiin ainakin jossain määrin alapuolisten (rimpinevan alaosiin ulottuvan) ojituksen kuivattamaksi. Muiden kohdesoiden hydrologista luonnontilaa arvioitiin sen perusteella, kuinka suurelta osalta luontaista valuma-alueella nykyisten tietojen mukaan vettä tulee minerotrofiselle rimpipintaiselle suolle.

Kyseisten rimpipintojen luontaisiksi valuma-alueiksi mitattiin yhteensä 37 620 ha. Nykyisin tältä alueelta arviolta 23 915 ha alalta vesi pääsee noille rimpisoille. Tämä merkitsee sitä, että 13 705 ha alalta tuleva vesimäärä poistuu (yleensä aina metsäojitusten vuoksi) jonnekin muualle, eli yhteensä 36,4 % kyseisille rimpisoille luontaisesti kuuluvasta vedestä ei pääse niille lainkaan. Lisäksi tutkitulta 4 636 ha:n (11,3 % valuma-alueesta) alalta vedet tulevat kyseisille rimpisoille pistemäisesti usein pitkiä syöttöojia myöten. Tällaiset syöttöojien kautta tulevat vedet pystyvät siis ainakin paikallisesti pitämään yllä minerotrofista rimpipintasuota, mutta syötön pistemäisyydestä



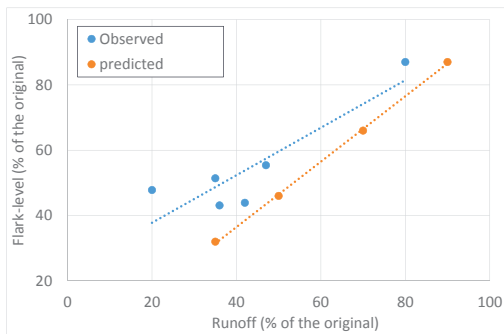
Kuva 8. Keidassuomassiivien osuus suopinta-alasta (pysty akseli) ilmastoltaan erilaisilla alueilla. Vaaka-akselina vuotuinen keskilämpötila. Paikat on jaoteltu valunnan suhteen kahteen ryhmään; siniset pisteet kuvaavat tutkimusalueita, joilla sademäärä suhteessa haihduntaan suhteellisen suuri (ominaisvalunta > 260 mm/v ja punaiset pisteet kuivemmille alueille sijoittuvia tutkimusalueita (ominaisvalunta < 260 mm/v). Tasoituskäyrät kuvaavat ilmiön suuntaa; niiden yhtälöitä ei ole esitetty.

Figure 8. The share of raised bog massifs of the mire areas (vertical axis) on different climate zones. The horizontal axis is yearly mean temperature. The sites have been divided to two groups according to the yearly runoff value. The blue dots show the sites with high precipitation in relation to evaporation (runoff > 260 mm/y) and the red dots sites situated on drier areas (runoff < 260 mm/y). The lines reveal only main trends and the exact formulas are not shown.



Kuva 9. Minerotrofisen välipinnan osuus suosta ilmasto-oloiltaan erilaisilla tutkimusalueilla. Vaaka-akselina keskilämpötila. Kohteet on jaoteltu kahteen ryhmään ominaisvalunnan suhteen: siniset pisteet kuvaavat tutkimusalueita, joilla sademäärä suhteessa haihduntaan suhteellisen suuri (ominaisvalunta > 260 mm/v ja punaiset pisteet kuivemmille alueille sijoittuvia tutkimusalueita (ominaisvalunta < 260 mm/v). Tasoituskäyrät kuvaavat ilmiön suuntaa; niiden yhtälöitä ei ole esitetty.

Figure 9. The share of minerotrophic lawn and carpet (including *magnocariceta*) levels on different climatic zones. The horizontal axis is yearly mean temperature. The sites have been divided to two groups according to the yearly runoff value. The blue dots show the sites with high precipitation in relation to evaporation (runoff > 260 mm/y) and the red dots sites situated on drier areas (runoff < 260 mm/y). The lines reveal only main trends and the exact formulas are not shown.



Kuva 10: Havaittuja tuloksia rimpipinnan vähenemisestä kuudella ojittamattomalla, suojellulla Pohjanmaan aapasuolla. Vertailuna (punaisella värillä) teoreettisella (säteittäisen virtauksen mukaisen) mallilla ennustettuja arvoja (kaava 2, kuva 1B).

Figure 10. Observed change in the minerotrophic wet level in relation to change in runoff caused by marginal ditches on six mire patches on central boreal aapa mires with no direct ditching on central area (blue dots and line). The red line shows the theoretical calculations predicted by the hydrological changes in the catchment area (formula 2, figure 1B).

johtuen väleihin jää suuria alueita, jotka jäävät ilman vettä ja syöttökohdat tyypillisesti rehevöityvät ja saattavat kasvaa umpeen korkeasta ruohomaisesta kasvillisuudesta. Aapasoiden hydrologista luonnontilaisuutta kuvaava indeksi, joka siis ottaa huomioon ojitusten aiheuttaman valunnan vähenemisen ja puolet syöttöojien avulla suon keskiosiin johdetuista vesistä, saa arvon 0,58. Tämä kuvaa sitä, että tällaisten ojittamattomien suolaikkujen hydrologinen tila on keskimäärin noin 58 %vastaavan luonnontilaisen suon tilasta. Ojituksen ulkopuolelle jääneistä rimpipinnoista, jotka edustavat suhteellisen pientä ojittamatta säilynyttä osaa vyöhykkeen soista, viidesosalla nykyinen tuleva vesimäärä jää alle kolmasosaan luonnontilaisesta ja kolmasosalla alle puoleen luonnontilaisesta.

Niistä kohteista, joilta pystyttiin tarkastelemaan vanhojen ilmakuvien avulla rimpipinnan muutosta (kuva 10), havaittiin, että useilla reunoilta ojitetuilla aapasoilla rimpipintaisen suon pinta-ala näyttää vähentyneen noin puoleen aikaisemmasta, vaikka rimpipintaiset suon osat ovat jääneet ojittamattomiksi. Muutos on tapahtunut siten, että aapasoiden keskiosissa

olevan rimpisen keskusosan ja sitä ympäröivän rakkaisen syrjäosan raja on siirtynyt n. 200–300 m keskiosiin päin.

Entiset rimpialueet ovat muuttuneet yleensä välipintaisiksi ja rakkaisiksi nevoiksi. Reunoilta vähemmän ojitetulla kohteella (Kuva 3, kohde 5) rimpipinnan muutos on ollut vähäisempi. Kaikkiaan suosysteemit ovat siirtyneet rakenteeltaan lähemmäs sitä tilaa, johon ne teoreettisten tarkastelujen mukaan ovat siirtymässä valuma-alueelta tulevan veden vähentyessä.

4. Tulosten tarkastelu

4.1 Suosysteemin rakenteeseen vaikuttavat tekijät

Suosysteemien rakenne riippuu ilmastotekijöiden lisäksi paikallisista tekijöistä, etenkin valuma-alueen laajuudesta sekä mm. siitä tuleeko valunta vallitsevasti pintavesinä vai pohjavesinä. Ilmastotekijöiden vaikutusta voi saada selville, kun vertaillaan keskenään valuma-alueita, jotka kooltaan, geologialtaan ja topografialtaan vastaavat toisiaan mahdollisimman tarkoin. Mitä laajempia alueita vertaillaan, sitä pienemmäksi voidaan olettaa paikallisten tekijöiden vaikutus. Tässä tutkimuksessa on lähdetty tutkimaan suosysteemien rakennetta akrotelma–katotelma-mallin mukaisen virtauksen (Ivanov 1981, Ingram 1983) mukaan. Tästä syystä mukaan on otettu vain suosysteemejä, joissa veden virtauksen voidaan olettaa tapahtuvan mahdollisimman täydellisen horisontaalisesti suon pintakerroksessa, eli esimerkiksi pohjaveden muodostumisesta ja purkautumisesta johtuvat pystysuuntaiset veden liikkeet voidaan olettaa merkityksettömiksi. Akrotelman paksaus ja vedenjohtavuus on laskelmissa oletettu vakioiksi (vrt. Ivanov 1981, Ingram 1983). Luonnossa kuitenkin joissakin tapauksissa esim. akrotelman paksaus voi vaihdella huomattavastikin. Erityisesti ns. perkolaatiosoiden (Joosten ym. 2017) tapaisilla soilla pinnan johtava kerros voi olla paljon normaalia paksumpi ja tästä syystä siellä ei välttämättä tavata sammaletonta ruoppapintaa, vaikka veden virtaus kuvion läpi olisi hyvin suurikin. Tämä todennäköisesti selittää havaitun suuren vaihtelun märkien pintojen

rahkasammalpeitteessä soilla, joissa esiintyy kaikkein suurimpia veden virtausmääriä (Rehell ym. 2012). Tällaiset kuviot eroavat normaaleista aapasoiden keskustoista mm. siinä, että niillä ei tavata selvää rimp-i-jänne -morfologiaa (ns. *outlet fens*, Laitinen ym. 2007). Tällaiset kuviot liittyvät erityisesti voimakkaasti pohjavesivaikutteisiin juotteihin (Joosten ym. 2017). Suomen oloissa tällaisia pohjaveteen liittyviä ilmiöitä esiintyy erityisesti siellä, missä valuma-alueilla on laajoja läpäiseviä harju- tai reunamuodostumia (Laitinen ym. 2007). Läpäisevähajusten harjumuodostumien alueella myös valuma-alueiden rajaaminen pelkkien kartta- ja ilmakuvatietojen perusteella on vaikeaa ja epäluotettavaa. Näistä syistä tämän tutkimuksen kohteiksi pyrittiin valitsemaan kohteita, joille ei tule merkittäviä määriä pohjavettä läpäisevistä harjumuodostumista. Keski-Lapin alueella kuitenkin tyypillisesti maakerrokset ovat moreenipeitteisilläkin alueilla hyvin paksuja ja monikerroksisia (Lahermo ym. 1984), joten täällä lähes kaikilla laajemmilla suosysteemeillä esiintyy vähintään jonkin verran pohjavesivaikutusta suon keskiosissakin (mm. kohteen 7 reunamilla ja keskiosissakin näkyi runsasta lähdevaikutusta ja tähän liittyvä runsassaraisten koivulettomaisen soiden esiintyminen vaikeutti rimpipintaisen keskusosan rajaamista).

Matemaattisen tarkastelun (kuva 1, kaava 5) mukaan rimpisen vastaanottajaosan osuus olisi suurin siellä, missä ominaisvalunta on suurin, mikäli veden virtauskuvio molemmissa on pääpiirteissään sama. Suosysteemeistä ilmakuvilta tehtyjen havaintojen mukaan tällainen esiintyy aapasuovyöhykkeellä, mutta ei sen eteläpuolella (kuva 6). Ilmakuva-analyysissä käytetty luovuttaja- ja vastaanottajaosien raja on tyypillisesti jyrkkä ja hyvin erottuva ja sen on oletettu syntyvän kohtaan, jossa valuma-alueelta tulevan veden määrä riittää täyttämään akrotelman ja vesi näin ollen on suon pinnalla. Tämä liittyy turpeen kasvun eroihin erilaisilla pinnoilla; luovuttajaosalle tyypilliset rakkaiset välipinnat kasvavat rimpipintoja nopeammin (Sjörs 1980, Belyea & Clymo 2001). Vastaanottajaosalla veden virtausta vasten kohtisuoraan kehittyvät jänteet (Ivanov 1981, Rehell ym. 2012b), jotka ovat tyypillisiä aapasuovyöhykkeelle, voivat säädellä vedenpinnan tasoa rimmissä.

Vastaanottajaosan alaosissa valuma-alue on laajempi kuin rajalla, mutta tyypillisesti aapasoilla koko vastaanottajaosa on samanlaista jänteistä rimpialuetta. Alempana veden virtauksen lisääntyminen voi näkyä rakenteissa monella tavoin (Sjörs 1984, Laitinen ym. 2007): kaltevuus voi lisääntyä, jolloin yksittäiset jänteet ovat alaosissa selkeämpiä ja porrasmaisia tai leveys voi lisääntyä, jolloin syntyy virtauksen haarautumiskohtia tai virtaus voi alhaalla keskittyä markiini juotteihin ja pieniin puroihin.

Tulosten perusteella voidaan määrittää kolme suhteellisen selkeää rajaa, joilla minerotrofisen rimpipinnan osuus näyttää alueellisesti muuttuvan ilmaston määräämänä (kuvat 4 ja 5). Selvin muutoskohta sijoittuu perinteiselle aapasuovyöhykkeen ja keidassuovyöhykkeen raja (Ruuhijärvi 1960, Eurola 1962). Lisäksi pohjoisessa erottuu verkkorakenteisten ns. Metsä-Lapin aapasoiden alue (Ruuhijärvi 1960). Tarkastellun keidassuovalueen sisällä näyttää tapahtuvan vähittäinen, ainakin osin topografiaankin liittyvä muutos. Pohjoisosissa ja länsiosassa vallitsevat rakenteiset kermikeitaat, joiden väleissä minerotrofiset avosuot ovat vain kapeita juotteja. Joissakin tarkastelualueen osissa (Kaakkois-Ruotsi ja osat Viroa) tavataan suosysteemeissä yleensä pienten ja matalien keidassoiden lisäksi laajoja minerotrofisia avosuita.

Aapasuovyöhykkeen suosysteemeissä minerogeeninen vesi tulee valuma-alueelta keskiosiin ja reunaosia luonnehtii keidassuomainen kasvilisuus. Keidassuovyöhykkeen suosysteemeissä sitä vastoin keskiosien ombrotrofiset osat ovat kohonneet minerogeenisen veden tason yläpuolelle ja avoimia minerotrofisia soita tavataan vain kapealti systeemin reunoilla (esim. Ruuhijärvi 1960, Eurola 1962). Näin tyypillisimmät aapasuo- ja keidassuoyhdistymät voivat poiketa toisistaan hydrologialtaan ja ekologiaaltaan täysin. Kuitenkin molemmilla vyöhykkeillä suosysteemit yleisesti koostuvat samankaltaisista osista (keidassuomassiveista ja minerotrofisista avosuomassiveista) (Laitinen ym. 2007), joiden suhde vain eri alueilla on erilainen. Suomen keskiosissa varsin tyypillisiä ovat sellaiset suosysteemit, joissa keidassuo-osat ja aapasuo-osat ovat suunnilleen yhtä laajoja, näistä on käytetty ”sekakompleksi” (*Mischkomplex*) -nimeä (Tolonen 1967). Aapasuovyöhykkeen ja

keidassuovyöhykkeen rajalla tapahtuu Suomessa hyvin selvä muutos suoluonnossa.

Selvin muutos koskee minerotrofista rimpipintaa. Sen määrä, kaltevuus huomioon ottaen, muuttuu porrasmaisesti. Samalla tämän rimpipinnan luonne muuttuu, etelämpänä rimpipinnat ovat pääosin rakenteettomia juotteja, pohjoisempänä niillä on enemmän rimpien ja jänteiden muodostamaa pienmorfologiaa. Tämä muutos on jossain määrin vähittäinen; aapasuovyöhykkeen eteläosissa tavataan varsin yleisesti rakenteettomia, rahkasammalrimpipinnasta muodostuvia juotteja (esim. Ruuhijärvi 1960, Sjörs 1990) ja toisaalta keidassuovaltaisella alueella minerotrofisissa juoteissa tavataan paikoin jänteitä (esim. Heikkilä ym. 2001). Minerotrofisen rimpipinnan määrän ja luonteen muutos aapasuovyöhykkeen ja keidassuovyöhykkeen rajalla näyttää määräytyvän ennen kaikkea lämpötilan (termisen kasvukauden pituuden) mukaan, sadannan vaihtelut vaikuttavat vasta aapasuovyöhykkeen sisällä (ks. Kuva 6). Tästä voi päätellä, että tähän asti vallinneessa ilmastossa Etelä-Suomen tyypillisellä keidassuovalueella kasvukauden aikainen kosteus on ollut riittävä rahkasammalten peittämien, ombrotrofisten osien kasvamiselle peittämään suoaltaiden keskeisiäkin osia (Mäkilä 2006).

Aapasuovalueella termisen kasvukauden lyhyys on rajoittanut niiden esiintymisen suppeille vedenjakaja-alueille (Ruuhijärvi 1960). Joidenkin eteläisimpien aapasuovyöhykkeen soiden (erityisesti eteläisellä Pohjanmaalla) on katsottu muistuttavan ”vaihettumissoita” (Huttunen & Tolonen 2006), koska niiltä puuttuu aapasoille ominainen pintamorfologia ja niiden trofitaaso on minerotrofian ja ombrotrofian välissä (esim. tämän tutkimuksen kohteet 34 ja 35). Nämä suot sijoittuvat aivan ilmastollisesti määräytyvien aapasuovyöhykkeen ja keidassuovyöhykkeen välille ja niillä tavataan keidassuomassiiveja epäselvien, mutta suhteellisen laajojen, vallitsevasti välipintaisten aapasuomassiivien rinnalla. On varsin mahdollista, että lämpimät ilmastovaiheet suosivat näillä seuduilla keidassoiden kasvua ja heikosti minerotrofiset suot ovat tällä hetkellä muuttumassa ombrotrofisiksi (Huttunen & Tolonen 2006).

Myös keidassuomassiivien määrä on keidassuovyöhykkeellä suurempi kuin aapasoilla, mutta tämäkin muutos on vähittäinen ja riippuu

paikallisesta topografiasta. Topografialtaan sopivissa kohdissa laajojakin keidassoita voi esiintyä kaikilla aapasuovyöhykkeillä (Ruuhijärvi 1960).

Vastaavasti yleensä Suomen keidassuovyöhykkeen suosysteemeissä ilmakuvilta erottuvien keidassuomassiivien osuus suopinta-alasta jää alle puoleen ja hyvin huomattava osa pinta-alasta on erilaisia, usein puustoisia, heikosti minerotrofisia suokuvioita. Pohjanmaan rannikkoseudun ja Järvi-Suomen (kohteet 22, 23, 25, 36, 37) suosysteemeille on luonteenomaista laajojen *S. fuscum* -keitaiden esiintyminen (Euroola 1962) ja tämä näyttää liittyvän suhteellisen kuiviin (ominaisvalunta huomattavan vähäistä) ja viileisiin (sijoittuvat aapasuovyöhykkeen rajan tuntumaan) ilmasto-oloihin. Ruotsissa, missä valunnan määrät vastaavalla ilmastovyöhykkeellä ovat yleisesti suurempia, tämänkaltaisia *S. fuscum* -keidassuot esiintyy vähemmän (Gunnarsson & Löfroth 2014).

Minerotrofisen rimpipinnan määrän voimakas supistuminen ja sen rakenteen muuttuminen siirryttäessä eteläiseltä aapasuovyöhykkeeltä keidassuovyöhykkeelle liittyy veden virtaukseen. Aapasuomassiiveissa vesi virtaa pitkin leveitä, rimpisiä keskusosia, joissa veden virtausta kuvaavat virtausviivat (Ivanov 1981) ovat tyypillisesti yhdensuuntaisia. Tällöin aapasuovalueen suosysteemeissä valuma-alueelta tulevan veden määrän muutos vaikuttaa suoraviivaisesti minerotrofisen rimpipinnan pinta-alaan. Keidassuovyöhykkeellä vesi joutuu virtaamaan keidassuomassiivien välissä kapeissa juoteissa, joissa virtausviivat ovat sitä voimakkaammin suppevia, mitä enemmän vettä virtaa. Näin näillä kahdella vyöhykkeellä tarkastelun oletuksena ollut veden virtauksen päälinjojen samanlaisuus ei toteudu. Valuma-alueilta tällaisille juoteille tulevan veden määrä vaikuttaa kyllä juottien märkyyteen. Tällaisissa suppevissa juoteissa eivät olosuhteet ole yleensä rimpijänne-morfologian syntymiselle edullisia.

Matemaattisen tarkastelun perusteella (Kuva 1, yhtälö 6) kaltevuus vaikuttaa suoraan rimpipinnan osuuteen: mitä kaltevampi suo, sitä vähäisempi on rimpipinnan osuus. Tulosten mukaan lisääntynyt sadanta (ominaisvalunta) mahdollistaa soiden esiintymisen kaltevammilla pinnoilla.

Aapasuovyöhykkeellä sateisuus siis vaikuttaa soiden rimpisyyteen kahdella vastakkaisella tavalla. Valunnan lisääntyminen pyrkii lisäämään

rimpipintaa, mutta toisaalta kaltevammilla soilla rimpipintaa on vähemmän. Tulokset viittaavat siihen, että kaltevuuden kasvu valunnan lisääntymisessä on eksponentiaalista (Kuva 7); alueella, jolla sateisuus on vain hieman korkeampi kuin toisella alueella, soiden keskimääräinen kaltevuus voi olla moninkertainen. Tulosten perusteella voidaan arvioida, että sateisemmilla seuduilla olevien soiden suuremmasta kaltevuudesta johtuen niillä rimpipinnan osuus jää pienemmäksi kuin vähäsateisemmilla seuduilla. Esimerkiksi siirryttäessä aapasuovyöhykkeellä seudulta, jossa ominaisvalunta on 300 mm/v seudulle, jossa se on 380 mm/v, keskimääräinen kaltevuus on lähes nelinkertainen (keskimäärin 1 %) edelliseen verrattuna. Tällöin rimpipinnan osuus pienenee neljäsosaan, vaikka vesimäärä kasvaa. Noin 1 %:n kaltevuus (0,01) on varsin yleinen aapasoilla. Varsinaisilla rinnesoilla (Sjörs 1946, Havas 1961) kaltevuus on yleensä yli 3 % (0,03). Näitä esiintyy runsasateisilla seuduilla (valunta > 400 mm). Tämän tutkimuksen kohdealueita ei varsinaisille rinnesuoalueille sijoitettu. Rinnesoista tiedetään, että niillä ei juuri esiinny rimpipiä, vaan keskiosat ovat lähinnä välipintaisia juotteja (Sjörs 1946, Havas 1961). Tällainen rakenne viittaa siihen, että kaltevilla soilla veden virtaus on tavallisista aapasoista poiketen voimakkaasti suppenevaa. Rimpipinnan esiintyminen näyttää aapasoilla rajoittuvan hyvin vähäiseksi jo sellaisissa suosysteemeissä, joiden kaltevuus on huomattavasti alle mainitun 3 % rajan. Ruotsissa Gunnarsson ja Löfroth (2014) ovat määrittäneet ns. soligeenisten eli kaltevien soiden (Sjörs 1948) alueen suhteellisen runsasateisilla seuduilla tunturijakson tuntumassa. Täällä suosysteemit poikkeavat jännerakenteisista aapasoista ja muistuttavat yleisesti rinnesoita. Osalla Suomessa kuvatuista, ns. välipintaisista aapasoista (Ruuhijärvi 1960, Kaakinen ym. 2012), jotka ovat tyypillisiä toisaalta aapasuoalueen etelärajoille ja myös Itä-Suomen topografialtaan vaihteleville alueille, rimpipinnan vähäisyys voi-kin johtua ensisijaisesti kaltevuudesta.

Aapasuoalueen pohjoisosille (Ruuhijärvi 1960) ovat tyypillisiä keskusosat, joilla jänteet ovat hyvin selvät, korkeat ja kasvillisuudeltaan osin ombrotrofiset, vaikka rimpipinnat voivat olla huomattavasti rehevämmät. vrt blandmyr (Sjörs 1983, Gunnarsson & Löfroth 2014). Morfologian

perusteella on arvioitu, että ne olisivat kehittyneet matalampijänteisistä aapasoista siten, että jännerakenne tullut selvemmäksi ja rahkasammalet päässeet kasvamaan jänteiden noustessa riittävästi (Sjörs 1990). On mahdollista, että syvälle ulottuva ja pitkälle kesään asti säilyvä routa vaikuttaa kohottavasti näiden pohjoisboreaalisten soiden jänteisiin (Auer 1920). Pohjoisimmilla aapasoilla, erityisesti suhteellisen niukkasateisilla seuduilla, jännerakenne on tyypillisesti verkkomainen ja siellä jänteet ovat usein rahkaisia ja ombrotrofisia. Koska jännerakenne kehittyy veden virtausta vasten kohtisuoraan (Ivanov 1981), voidaan jännerakenteen verkkomaisuus tulkita merkiksi siitä, että näillä paikoilla virtaus ei ole aapasuoalueiden normaaliin tapaan yhdensuuntainen, vaan jossain määrin hajaantuva. Tämä selittäisi osaltaan sen, että pohjoisimmilla aapasoilla valunnan lisääntyminen näyttää vaikuttavan rimpipinnan laajuuteen selvemmin kuin eteläisillä aapasoilla, missä virtausviivat ovat ainakin osin keidassuoalueen tapaan suppenevia. Pohjoisimpien aapasoiden hajaantuva virtaus voisi johtua siitä, että niillä määritetyt rimpiset osat pyrkisivät kohoamaan hieman ympäristöään ylemmäs. Tämä voi liittyä siihen, että voimakas routiminen voi saada aikaan märkien rimpien kohoamista tulvien yläpuolelle. Mekanismi voisi olla vastaava kuin palsojen syntymisen alkuvaiheessa (Seppälä 2006), jolloin rimpipinnan vetinen turve jäätyy syvemmälle kuin kuivempien pintojen turve ja syntyvät jäälinssit voivat kohottaa rimpeä. Vaikka pohjoisilla aapasoilla prosessi ei johdakaan palsojen muodostumiseen, voi pitkään säilyvä routa vaikuttaa jännerakenteen muodostumiseen erilaiseksi kuin eteläisemmällä aapasoilla. Vastaavia verkkomaisia aapasuoalueita tavataan kuitenkin myös etelämpänä, aapasoiden tasaisilla, usein keidassoihin rajoittuvilla osilla. Täällä niiden kehitys on mahdollisesti erilainen kuin Metsä-Lapissa. Morfologian perusteella näillä näyttää olevan selvä yhteys keidassoihin ja on mahdollista, että nämä olisivat joskus suhteellisen lämpimänä ilmastovaiheena (kuten n. 6 000–4 000 vuotta sitten) tulleet ombrotrofisiksi ja saaneet keidassojen rakennepiirteitä ja sen jälkeen ilmaston viilentyessä ja kosteuden lisääntyessä vettyneet ja muuttuneet aapasuon suuntaan. Esimerkiksi Pohjois-Satakunnan allikkoisten keidassoiden

on esitetty ilmaston viilentyessä vettyneen ja kasvultaan hidastuneen (Solantie 2006).

Suomen eteläpuolelta tarkastellut kohteet näyttävät poikkeavan Suomen tyypillisen keidas-suovalueen suosysteemeistä monin tavoin. Kaakkois-Ruotsin ja joissakin Viron suosysteemeissä minerotrofisten avosoiden osuus valuma-alueesta näyttää olevan selvästi suurempi kuin Etelä-Suomen keidassuovyöhykkeellä. Keidassuomassiivien määrä vaihtelee, mutta niiden osuus jää usein pienemmäksi kuin minerotrofisten avosoiden. Keidassuomassiiveista usein huomattava osa on pienehköjä ja vain heikosti ympäristöstä kohoavia (puustoisia metsäkeitaita tai mätäs-välipintaisia laakiokeitaita). Runsassateisessa Keski-Virossa sitä vastoin keidassuot ovat hyvin laajoja ja voimakkaasti ympäristöstä kohoavia. Ne muistuttavat Etelä-Suomen keidassoita, mutta siellä kuitenkin on minerotrofisia avosoiita jäljellä huomattavasti laajempina kokonaisuuksina kuin esim. Etelä-Suomessa (Aaviksoo ym. 1997, Ilomets ym. 1995, Paal & Leibak 2011) mm. erilaisesta maankäytön historiasta johtuen. Näissä suosysteemeissä minerotrofiset rimpipinnat käsittävät laajoja, yhtenäisiä, useiden satojen hehtaarien kokoisia massiiveja, jotka poikkeavat voimakkaasti tyypillisten keidassoiden kapeista laidenevoista. Ne muistuttavat jossain määrin eteläisiä aapasuomassiiveja. Selkeä rimpijänne-morfologia näyttää puuttuvan niiden keskiosista (Sjörs 1990), mutta tyypillisesti niiden reunoilla tavataan usein tiiviisti hyvin heikosti erottuvia, epäyhtenäisiä jännemäisiä muodostumia. Massiivin keskiosista, missä virtaus voimakkain, nämä puuttuvat.

Vastaavanlaisia reunojen jännemäisiä rakenteita tavataan aapasuovalueellakin esim. luhtaisilla perkolaatioosoilla (Joosten ym. 2017, Laitinen ym. 2007). Tämä viittaa siihen, että näillä eteläisillä minerotrofisilla soilla vaaditaan huomattavan suuri ja tasainen virtaava vesimäärä ja mahdollisesti jossain määrin suppeneva virtauskuvio, jotta suo kehittyisi minerotrofiseksi. Näiden eteläisten minerotrofisten soiden pinta-alasta selvästi ilmakuvilta erottuvaa märkäpintaa ei yleensä ole kovin paljon. Poikkeuksena ovat eräät Viron suot, joilla tavataan hyvin vetistä minerotrofista rimpipintaa yhtä paljon kuin tyypillisillä eteläisillä aapasoilla. Sitä vastoin minerotrofiset juotit koostuvat suurelta osin ilmakuvilla hieman vaaleampana

näkyvästä, välipintaan luetusta kasvillisuudesta. Märimmät osat näistä saattavat olla läpivirtaussoiden tapaisia luhtaisia tai lähteisiä soita (*magno-cariceta*, Sjörs 1983), laajasti on myös karumpia, rahkasammalpeitteisiä ns. vaihettumasoita. Ilmatotekijöiden ja soiden rakenteiden vertailu viittaa siihen, että tämän tapaiset eteläiset minerotrofiset avosuot liittyvät oloihin, joissa kesät ovat lämpimiä (vuoden keskilämpötila yli 4,5 °C ja sademäärä suhteellisen pieni (ominaisvalunta alle 260 mm/v). Kaakkois-Ruotsi Itämeren rannikolla, on Ruotsin soiden alueellisessa jaossa merkitty omaksi pääalueekseen (Pine bog -marsh mire region) (Gunnarsson & Löfroth 2014). Nimensä mukaisesti tämän alueen soille on tyypillistä se, että keidassuot ovat pieniä ja metsäisiä ja niiden väliset minerotrofiset, usein voimakkaasti luhtaiset ”topogeeniset” suot, eli vain heikosti kaltevat suot (Sjörs 1948), ovat niihin verrattuna suhteellisen laajoja. Etelä-Ruotsissa on havaittu selvä syy-yhteys alueellisen ominaisvalunnan (sadanta – haihdunta) määrän ja keidassoiden paksuuden välillä (Granlund 1932, Wickman 1951). Tämä näkyy myös Ruotsin suosysteemien rakenteessa eri alueilla. Sateisessa Lounais-Ruotsissa (kohteet 60–62) suosysteemit koostuvat hyvin laajoista keidassuomassiiveista, joita on luonnehdittu laakiomaisiksi (ts. pintamorfologia on usein pienipiirteistä ja välipinnan osuus on suuri). Nämä ovat alueellisessa tarkastelussa (Gunnarsson & Löfroth 2014) luokiteltu yhteen pohjoisempien, tyypillisten kermikeidaskompleksien kanssa. Tehdyt vertailu viittaa siihen, että lämpimissä oloissa (keskilämpötila yli n. 4,5 °C), sademäärän ja haihdunnan erotus ratkaisee keidassuomassiivien kehittymisen. Sateisilla seuduilla (samoin kuin hieman viileämmillä seuduilla) kosteus riittää siihen, että keidassuot kehittyvät hyvin laajoiksi. Mutta vähäsateisemmilla ne jäävät pieniksi ja mataliksi. Todennäköisesti lämpimämmillä seuduilla kesäinen haihdunta on niin suurta, että kuivuus niukkasateisemmilla seuduilla alkaa rajoittaa huomattavasti rahkasammalten kasvua.

Eteläisen keidassuovyöhykkeen sisällä olevia minerotrofisia suomassiiveja on epäilemättä paikoin esiintynyt myös Etelä-Suomessa ja vähäisiä rippeitä niistä on vieläkin jäljellä. Laajimmat ja tyypillisimmät näistä on raivattu pelloiksi jo 1800–1900-lukujen aikana. Esimerkiksi aivan

maamme lounaisimmissa ja kaakkoisimmissa osissa on useita noin 1 000 ha laajuisia turvemaa-
peltoja, jotka vanhoissa 1800-luvun kartoissa on
merkitty ”mutasoiksi”. Hieman pohjoisempana,
ilmastoltaan kuivassa (ominaisvalunta jopa
< 200 mm/v) Etelä-Pohjanmaan Kyrönjoki-
laaksossa on tavattu myös tuhansien hehtaarien
laajuisia reheviä minerotrofisia suosysteemejä
(Toivonen 1997). Ilmeisesti nämä ovat osittain
olleet lettomaisia, mutta ne on raivattu pelloiksi
pääosin jo 1800-luvun lopulla. Aivan maamme
kaakkoisosaan on vielä 1980-luvulla tehdyssä
kartoituksessa (Ruuhijärvi & Hosiaisuus 1988)
merkitty tihentymä ”eteläisiä aapasoita”, mutta
näistä lähes kaikki on sittemmin ojitettu. Muuta-
mista pienialaisista säilyneistä esimerkkikohteista
(kohde 64 sekä osia kohteista 63 ja 50) voidaan
päättellä, minkälaisia nämä ovat aikoinaan olleet
luonnontilaisina. Lisäksi Suomen kaakkoisosan
lähellä, ilmastoltaan ja geologialtaan vastaavassa
ympäristössä tavataan useiden satojen hehtaarien
laajuisia reheviä, luhtaisia ja lähteisiä avosuoma-
siivejä mm. aivan Karjalan tasavallan eteläisim-
missä osissa (Atlas Karelskoi ASSR).

Epäilemättä Suomessa säilyneet suosirpalet
vastaavat luonnoltaan etelämpää kuvattuja ”vai-
hettumasoita”. Aikaisemmin niihin on sisällynyt
myös rehevämpiä lettoja ja luhtia. Suomen etelä-
simmät osat vastaavat lämpö- ja kosteusoloiltaan
edellä mainittuja Kaakkois-Ruotsin ja Viron seu-
tuja, joilla soiden rakenne poikkeaa Etelä-Suomen
tyypillisistä keidassoista. Pienet metsäkeitaat ovat
Suomessakin etelärannikon tuntumassa olevalla
hemiborealisella vyöhykkeellä tyypillisimpiä
keidassoita. Niiden yhteydessä tavataan pieniä
minerotrofisia soita, mutta laajemmat niistä ovat
hävinneet.

Edellä on käsitelty sitä, miten ilmastotekijät
ovat vaikuttaneet nykyisten suosysteemien rak-
enteeseen. Tästä voi tehdä jonkinlaisia arvioita
myös siitä, mihin suuntaan tulevaisuuden ilmas-
tonmuutokset voivat soiden rakennetta muuttaa.
Keidassuoalueella, varsinkin sen eteläosissa
näyttää kosteuden vaikutus keidassoiden tilaan
olevan merkittävä. Tällä alueella tulevaisuudessa
(Ruosteenoja ym. 2016) mahdollisesti lisääntyvät
kuivuuskaudet voivat aiheuttaa keidassoiden kui-
vumista ja metsittymistä sekä niiden kasvun ja le-
viämisen pysähtymistä. Eteläisten minerotrofisten

soiden tila riippuu suoraan siitä, saavatko ne vettä
luontaiselta valuma-alueeltaan; ilmastotekijöiden
vaikutus on todennäköisesti pienempi.

Sen sijaan aapasuoalueella pidemmät kasvu-
kaudet todennäköisesti suosivat rahkasammalten
kasvua, mikä voi muuttaa minerotrofisia rimp-
pintoja rahkaisiksi välipinnoiksi ja minerotro-
fisia välipintoja mätäspintojen suuntaan. Näille
alueille on skenaarioissa (Ruosteenoja ym. 2016,
Ruosteenoja 2011) ennustettu talvisten sateiden
määrän kasvua, mutta tällä ei todennäköisesti ole
juuri merkitystä aapasoiden märkä- ja välipinto-
jen säilymiseen, koska pitemmän kasvukauden
oloissa veden virtauksen määrä keskittyy kapei-
siin juotteihin. Lisäksi aapasuoalueellakin kesän
kuivuuskasvien on ennustettu lisääntyvän ja
kevättulvien muuttuvan vaihtelevimmiksi. Suurin
muutos todennäköisesti koskee aapasuoavyöhyk-
keen eteläistä osaa, jossa lämpö-olot nousevat
vastaamaan keidassuoavyöhykkeen olosuhteita
ja jossa rimpipinnat ovat tyypillisesti saraisia
ja jännerakenteeltaan epäselviä. Pohjoisilla aa-
pasoilla hyvin selvä jännerakenne saattaa estää
rimpipintojen vähenemistä, mutta mikäli roudan
vähenemisen vuoksi jännerakenne siellä heikke-
nee, tämä saattaa muuttaa rimpialueita sielläkin.
Esimerkiksi roudan sulaminen jänteistä nykyistä
aikaisemmin voi madaltaa niitä ja lisätä niiden
läpäisevyyttä, mikä voi vähentää avovetisten ja
ruoppaisten rimpien määrää.

Edellä esitettyjä johtopäätöksiä tukevat mm.
havainnot luonnontilaisten, ojittamattomien soi-
den suokasvillisuuden muutoksista viimeisten
vuosikymmenten aikana, jolloin lämpötilat ovat
yleisesti kohonneet ja kasvukaudet pidentyneet.
Aapasuoalueen ja keidassuoalueen rajoilla mi-
nerotrofisella suolla (Gunnarsson ym. 2000) on
havaittu rahkasammalten leviämistä ja minerotro-
fisen märkäpinnan lajien häviämistä. Vastaavasti
myös aapasuoalueen maankohoamisrannikon
nuorilla, nopeasti kehittyvillä soilla on havaittu
viimeaikaiseen lämpenemiseen liittyvää rah-
kasammalten leviämistä (Tuittila ym. 2012) ja
osittain tähän liittyen lettosammalten häviämistä
(Rehell & Virtanen 2015). Keidassuoalueen ete-
läisissä osissa paikoin havaittu rahkasammalten
häviäminen ojittamattomilla alueilla (esim. Mal-
mer & Wallen 1999) voi johtua useista tekijöistä:
lämpötilojen ja kosteuden muutosten lisäksi esim.

lisääntynyt tyypilaskeuma tai soita ympäröivien alueiden kuivatusten etävaikutukset voivat vaikuttaa merkittävästikin (Gunnarsson ym. 2002), mutta myös haihdunnan lisääntyminen on saattanut vaikuttaa keidassoihin. Varhaisempien ilmaston muutosten liittäminen turvekerroksissa havaittuihin muutoksiin on epävarmaa, koska tietyt ilmastotekijän vaikutus suon rakenteeseen voi olla eri tilanteissa erilainen (Hughes & Barber 2003) ja ilmastotekijöiden lisäksi ovat vaikuttamassa erilaiset paikalliset tekijät ja suon oma autogeeninen kehitys (Frenzel 1983).

Soiden kehityksestä on runsaasti tutkimustietoa esim. Virosta (Ilomets ym. 1995) ja Keski-Euroopasta (Frenzel 1984). Näillä alueilla soiden muuttuminen ombrotrofiseksi on ollut erityisen voimakasta n. 2 000–3 500 vuotta sitten, kaudella, jonka on järvien pinnan vaihteluiden perusteella arvioitu olleet kostea ja sateinen (Digerfelt 1988), mutta ilmeisesti nykyistä viileämpi.

4.3. Reunaojitusten vaikutus suosysteemien ojjittamattomiin rimpialueisiin

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella valuma-alueelta aapasuon keskisiin osiin pääsevän veden määrän pieneneminen pyrkii laajentamaan rahkaisen veden luovuttajaosan osuutta ja näin supistamaan rimpisen vastaanottajaosan osuutta. Havaitut muutokset ovat varsin samanlaisia kuin malleilla ennustetut; muutokset rimpipinnan laajuudessa jäävät kuitenkin jonkin verran ennusteita pienemmiksi. Tämän voi katsoa ilmentävän sitä, että rimpipinnan laajuuden muutos ei ole vielä saavuttanut huippuaan. Mikäli oletetaan, että rimpipinta supistuu pelkän vanhan hydrologisen muutoksen johdosta teoreettisten laskelmien mukaiselle kohdalle, nykyisestä rimpipinnasta häviää keskimäärin vielä noin viidennes – joillakin voimakkaasti muuttuvilla kohteilla vielä yli puolet. Havainnoissa esiintyvä hajonta liittyy mm. siihen, että jännerakenteeltaan erilaiset rimpisuot voivat reagoida eri nopeuksilla sekä siihen, että reunaojitusten vesien pistemäisellä ohjaamisella suolle olla hyvin erisuuruisia vaikutuksia. Esimerkiksi kohteella 6 muutos näyttää olleen huomattavan suuri, mikä voi johtua siitä, että siellä on reunaogan vesiä johdettu suolle yhtä, hyvin

pitkää syöttöajaa myöten. Vastaavasti kohteella 5 vaikutukset ovat varsin pieniä, koska suo on hyvin laaja ja siellä reunaojien vesien virtaaminen suolle tapahtuu useasta kohdasta lyhyillä syöttöajilla. Kohteella 2 huomattavan laajat ja ilmeisen nopeat muutokset saattavat liittyä siihen, että suo on karu ja rimpiosan jännerakenne on epäselvä. Kohteella 3 taas osin selkeä jänteiden ja avorimpien topografia on saattanut hidastaa muutosta.

Rimpipintojen muutosten arviointiin liittyy monenlaisia epävarmuustekijöitä. Ilmakuvilta tummempana näkyvän rimpisen osan rajaamisessa voi vaikuttaa se, minkälaisena ajankohtana kyseinen ilmakeku on otettu. Täysin luotettavan kuvan saamiseksi tarvittaisiin sarja kuvia eri ajankohdilta (Tahvanainen 2011). Erityisen selvää vuosien ja vuodenaikojen välistä vaihtelua tavaataan esim. hiekkamaiden ohutturpeisilla, kausivaihtelevilla soilla (Laitinen ym. 2007). Vanhoilta ilmakuvilta tarkastellut kuusi aluetta edustavat kuitenkin kaikki tasakosteita, paksutturpeisia, moreenipohjalla olevia aapasoita, joilla vuodenaikaiset vaihtelut rimpipinnan laajuudessa jäävät pieniksi. Lisäksi eri alueiden ilmakekuvat olivat eri vuosilta, joten systemaattista virhettä ei pitäisi olla. Näin tulosta rimpipinnan vähenemisestä jokseenkin suoraviivaisesti hydrologisen muutoksen aikaansaamana voi pitää varsin luotettavana. Teoreettisen tarkastelun merkittävin epävarmuus koskee käytettyjen yhtälöiden pohjana olevaa olettamusta vedenvirtauskuviosta. Luonnossa virtauskuviot ovat vaihtelevia ja poikkeavat yksinkertaistetuista malleista. Käytetyn oletuksen säteittäisesti suppenevasta virtauksesta voidaan ajatella antavan jonkinlaisen minimiarvion siitä mille tasolle muutos etenee. Muunlaiset oletukset virtauskuviosta, kuten oletus yhdensuuntaisesta virtauksesta, ennustavat huomattavasti suurempaa rimpipintojen vähenemää.

Tulosten perusteella voidaan antaa jonkinlainen arvio rimpipintaisina säilyneiden soiden sekä keskiboreaalisten aapasoiden laadun muutoksista. Tämän tutkimuksen tulosten mukaan ojjittamattomille keskiboreaalisen vyöhykkeen yli 50 ha laajuisille rimpisille suoilaikuille vesien tulo ympäristön valuma-alueelta on vähentynyt niin, että nämä rimpiset suot ovat menettäneet 42 % luontaisesti niille tulevasta vesimäärästä. Luontotyypin hydrologisten olojen muutos on

ratkaisevin osa soiden muuttuessa karummiksi ja rahkaisemmiksi. Tältä pohjalta huomattavaa osaa keskiboreaalisen vyöhykkeen aapasoiden Suomessa ei voi nykytilassa sanoa toimiviksi aapasoiksi, koska hydrologisesti ne käyttäytyvät keidassoiden tapaan (Tahvanainen 2011). Hydrologinen muutos näkyy ensisijaisesti minerotrofisen rimpipinnan esiintymisessä. Keidassoiden ja aapasoiden alueellisen rajan kohdalla tapahtuu selvä porrasmainen muutos. Keidassuoalueen pohjoisosan luonnontilaisilla suosysteemeillä minerotrofisen rimpipinnan osuus on keskimäärin alle kolmasosa eteläisten aapasoiden rimpipinnoista. Tulosten perusteella voi ajatella, että minerotrofisen rimpipinnan supistuessa alle 5 % pinta-alasta suosysteemit muuttuvat keidassuoalueen tyypisiksi eli minerotrofista rimpipintaa esiintyy vain kapeissa, rahkaisten lohkojen välisissä juoteissa. Kuvan 10 perusteella voi arvioida, että se saavutetaan keskimääräisellä eteläisellä aapasuolla silloin, kun suolle luontaisesti tuleva vesimäärä ja puolet syöttöojista tulevasta vedestä yhdessä ovat alle 35 % alkuperäisestä suolle tulleesta vesimäärästä. Näin voidaan arvioida, että silloin, jos aapasuon rimpisen keskusosan valuma-alueesta alle 35 % vedestä pääsee aapasuon keskusosaan, muutos hydrologiassa on niin iso, että suoyhdistymän ojitamaton osa pyrkii muuttumaan enemmän keidassuoyhdistymän kaltaiseksi eikä siis pysyisi aapasuoyhdistymänä. Suomen keskiboreaalisten aapasoiden keskiosien ojitamattomatkin rimpipinnat ovat siis muuttuneet lyhyessä ajassa voimakkaasti: niitä on tämän tutkimuksen tulosten mukaan jäljellä noin puolet 1950-luvulla olleesta pinta-alasta (Raitasuo 1976) eli ennen runsainta metsäojitusten kautta. Uusimpien VMI-tulosten (VMI 11) mukaan rimpisten soiden häviäminen on saattanut olla vielä laajempaa.

Joka tapauksessa näyttää siltä, että minerotrofisia rimpisiä soita on hävinnyt selvästi enemmän kuin mitä niitä on suoraan muutettu metsäojituksilla, turvetuotannolla tai muilla suorilla muutoksilla. Todennäköisesti väheneminen johtuu suurelta osin reunaojitusten etävaikutuksista. Tämän tutkimuksen arvion mukaan ojitamattomissakin aapasoiden keskiosissa ainakin 42 % näihin liittyvästä rimpipinnasta on joko hävinnyt tai tulee häviämään lähitulevaisuudessa. Vähin-

tään viidesosalla näennäisesti säilyneistä (usein suojelluista) aapasoista reunaojitukset ovat niin laajoja, että rimpiset osat tulevat todennäköisesti supistumaan kapeiksi juoteiksi, eikä suoyhdistymää enää voi pitää aapasuona. Keidassoiden rakenteiden muodostuminen kestäisi satoja tai tuhansia vuosia (Huttunen & Tolonen 2006), joten niitä ei voi pitää keidassoinakaan. Laskuissa on tarkasteltu vain suolle yläpuolen valuma-alueelta tulevan veden määrää. Kun ojitukset ovat keskittyneet aapasoiden laidoilla olevien kivennäismaiden ympärille, tämä merkitsee sitä, että ne vievät erityisesti kivennäismailta suolle tulevia vesiä pois. Supistuvalla rimpialueella jäävä valuma-alue koostuu usein lähes pelkästään suosta (usein laajasti entisestä rimpipinnasta muodostuneesta rahkaisesta suosta). Tämä vaikuttaa huomattavasti tulevien vesien laatuun siten, että vedet ovat hapamampia ja humuspitoisempia kuin luontaisesti. Tämän vuoksi vaikutus etenkin ravinteisempiin rimpisoihin on voimakkaampi kuin pelkkä veden vähenemisestä johtuva rimpipinnan häviäminen.

Muutosten nopeutta on vaikea arvioida. Eriyisen nopeita muutoksia voi tapahtua esim. nuorilla soilla (Rehell & Heikkilä 2009), sekä jännerakenteeltaan epäselvillä tai kehittymättömillä soilla. Parhaiten rimpipinta todennäköisesti säilyy syvissä, avovesirimmisissä (Belyea & Clymo 2001). Vanhoilta ilmakuvilta tarkastelluilla kohteilla havaitut muutokset ovat tapahtuneet viimeisten 40–50 vuoden aikana. Muutos on siis ollut huomattavan nopeaa verrattuna luonnontilaisten suosysteemien luontaisiin muutoksiin (Tahvanainen 2011). Aapasoiden reunaojien aiheuttama allogeeninen hydrologinen muutos aiheuttaa periaatteessa vastaavia muutoksia aapasoilla kuin ennustettu autogeeninen sukessio tulevana nykyistä lämpimämmän ilmaston aikana (Tahvanainen 2011).

Ilmaston muutosten aiheuttamat muutokset kuitenkin liittyvät eri pintojen hieman erilaiseen turpeen kasvuun ja ovat siksi huomattavasti hitaampia. Yhdessä nopeasti vaikuttavat allogeeniset ja hitaasti vaikuttavat autogeeniset prosessit kuitenkin pystyvät tehokkaasti muuttamaan aapasoiden luonnetta tulevaisuudessa.

Pelkästään nykyisten, suurelta osin noin 40–50 vuotta sitten kaivettujen ojien vaikutuksesta aapasoiden keskiosien rimpien umpeutuminen

tulee vielä jatkumaan ja saavuttamaan täyden laajuutensa vasta ehkä joidenkin kymmenien vuosien päästä. Vaikutuksen nopeutta ja kestoja on kuitenkin hyvin vaikea arvioida. Ilmaston muutosten hitaammin etenevät vaikutukset sekä kunnostusojitukset ja varsinkin niihin liittyvä ojien syventäminen tulevat vielä jatkuvasti lisäämään muutosta. Reunaojitusten vaikutusta aapasoidille olisi mahdollista vähentää esim. pyrkimällä muuttamaan ojitusjärjestelyitä siten, että vesiä ohjattaisiin mahdollisimman paljon ojista ojittamattomiin aapasoiden keskiosiin. Jottatämä voisi estää aapasoiden rimpialueiden häviämisen, vesien ohjaamisen tulisi tapahtua mahdollisimman laajoille aloille useita syöttäviä oja myöten.

5. Kiitokset

Tämän tutkimuksen mahdollistaneet kartta- ja ilmakuva-aineistot ovat olleet käytettävissäni Metsähallituksen luontopalveluissa. Työ on liittynyt käynnissä olevaan luontotyyppien uhanalaisuuden arviointiprojektiin. Tätä käsittelevän työryhmän jäsenet (suoyhdistymiä käsittelevä pienryhmä: Kaisu Aapala, Rauno Ruuhijärvi, Pekka Salminen, Teemu Tahvanainen, Seppo Tuominen sekä muu ryhmä: Olli Autio, Seppo Eurola, Juha-Pekka Hotanen, Eero Kaakinen, Aira Kokko, Hanna Kondelin, Tapio Lindholm, Hannu Nousiainen, Tapani Sallantausta, Jukka Turunen, Harri Vasander) ovat antaneet työlle lähtökohdan ja aktiivisesti osallistuneet asian käsittelyyn. Ari Rajasärkkä ja Agu Leivits ovat auttaneet Viron kartta-aineiston löytämisessä. Raimo Heikkilä on antanut tietoja eteläisistä minerotrofisista soista ja Tuomas Haapalehto antanut kommentteja käsikirjoituksesta. Kaikille heille lämpimät kiitokset.

Kirjallisuus

Aario, L. 1932: Pflanzentopographische und paläogeographische Mooruntersuchungen in N-Satakunta. *Fennia* 55 (1): 1–79.

Aaviksoo, K., Kadarik, H. & Masing, V. 1997. Aerial views and close up pictures of 30 Estonian mires. Ministry of Environment, Environment Information Centre. Tallinn.

Airaksinen, O. & Karttunen, K. 2001. Natura 2000 -luontotyyppiopas. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Ympäristöopas 46. 194 s.

Alalammi, P. (toim.) 1987. Suomen Kartasto, Vihko 131. Ilmasto. (Atlas of Finland, Folio 131, Climate). Maanmittaushallitus – Suomen maantieteellinen Seura 31 s.

Atlas Karelskoi ASSR. Petrozavodsk. 1987.

Auer, V. 1920. Über die Entstehung der Stränge auf den Torfmooren. *Acta Forestalia Fennica* 12(2):1–145.

Belyea, L.M. & Clymo, R.S. 2001. Feedback control of the rate of peat formation. *Proc. R. Soc. Lond. B*: 1315–1321.

Botch, M.S. & Masing, V. 1979. Ekosistemi bolot SSSR. (Mire ecosystems of USSR. 187 s. Leningrad, Nauka.

Cajander, A.K. 1913. Studien über die Moore Finnlands (Studies on the mires of Finland) *Acta Forestalia Fennica* 2(3): 1–208.

Digerfeldt, G. 1988. Studies on past lake-level fluctuations. Teoksessa: Berglund, B.E. (toim.). *Handbook of Holocene Palaeoecology and palaeohydrology*: 127–143. John Wiley & sons. New York.

Eesti Meteoroloogia ja Hidroloogia Instituut 2011. Hidroloogiline Aastaraamat 2010 (Hydrological yearbook 2010). Tallinn.

Eesti NSV Kliimaatlas. 1969. Bit. Tallinn.

Eurola, S. 1962. Über die Regionale Einteilung der südfinnischen Moore. *Annales Botanici Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae Vanamo* 33(2): 1–243.

Eurola, S., Hicks, S. & Kaakinen E. 1984. Key to Finnish mire types. Teoksessa: Moore, P.D. *European Mires*, s. 11–117.

Frenzel, B. 1983. Mires – Prepositories of climatic information or self-perpetuating ecosystems. Teoksessa: Gore A.J.P. (toim.). *Mirfes. Swamr, bog, fen and moor*. Elsevier: 35–65.

Galkina, E.A., Abramova, T.G. & Kiryushkin, V.H. 1974. Printsipy tipologii bolotnikh massivov (Principles of classification of mire massifs). Teoksessa: Abramova, T.G., Botch, M.S. & Galkina E.A. (toim.). *Tipy bolot SSSR I printsipi ikh klassifikatsii (Mire types of USSR and principles of their classification)*. s. 26–35. Nauka. Leningrad.

- Granlund, E. 1932. De svenska högmossarnas geologi. Sver. Geol. Unders. Ser. C. N:o 373.
- Gunnarson, B.E., Linderholm, H.W. & Moberg, A. 2011. Improving a tree-ring reconstruction from west-central Scandinavia: 900 years of warm season temperatures. *Clim. Dyn.* 36: 97–108.
- Gunnarsson, U. & Löfroth, M. 2014. The Swedish Wetland Survey. Naturvårdsverket. Report 6618.
- Gunnarsson, U., Malmer, N. & Rydin, H. 2002. Dynamics or constancy in Sphagnum dominated mire ecosystems? A 40-year study. *Ecography* 25: 685–704.
- Havas, P. 1961. Vegetation und Ökologie der Ostfinnischen Hangmoore. *Annales Botanici Societatis Zoologicae-Botanicae Fennicae "Vanamo"* 33: 1–188.
- Heikkilä, R., Kuznetsov, O., Lindholm, T., Aapala, K., Antipin, V., Djatshkova, T. & Shevelin, P. 2001. Complexes, vegetation, flora and dynamics of Kauhaneva mire system, western Finland. *The Finnish Environment* 489. 97 s.
- Hughes, P.D.M. & Barbe, K.E. 2003. Mire development across fen-bog transition on the Teifi floodplain at Tregaron Bog, Ceredigion, Wales, and a comparison with 13 other raised bogs. *Journal of Ecology* 91: 253–264.
- Huttunen, A. & Tolonen, K. 2006. Mire development history in Finland. Teoksessa: Lindholm, T. & Heikkilä R. (toim.). *Finland-Land of Mires. The Finnish Environment* 23: 79–88.
- Ilomets, M., Animägi, J. & Kallas, R. 1995. Estonian Peatlands. A brief review of their development, state, conservation, peat resources and management. Tallinn. 48 s.
- Ingram, H.A.P. 1983. Hydrology. Teoksessa: Gore, A.J.P. (toim.). *Mires. Swamp, bog, fen and moor. Elsevier. Ecosystems of the world* 4A: 67–158.
- Ivanov, K.E. 1981. *Water Movement in Mirelands.* Academic Press. London, New York, Toronto, Sydney, San Fransisco. 276 s.
- Joosten, H., Moen, A., Couwenberg, J. & Tanneberger, F. 2017. Mire diversity in Europe: mires and peatland types. Teoksessa: Joosten, H., Tanneberger, F. & Moen, A. (toim.). *Mires and peatlands of Europe.* Schweizerbart Science Publishers. Stuttgart: 5–64.
- Kaakinen, E., Kokko, A. & Aapala, K. 2012. Assessment of threatened mire habitats in Finland. Teoksessa: Lindholm, T. & Heikkilä, R. (toim.). *Mires from pole to pole. The Finnish Environment* 38/2012: 181–195.
- Lahermo, P., Valovirta, V. & Särkioja, A. 1984. The geobotanical development of spring-fed mires in Finnish Lapland. Geological Survey of Finland. Bulletin 287. 44 s.
- Laitinen, J., Rehell, S., Huttunen, A., Tahvanainen, T., Heikkilä, R. & Lindholm, T. 2007. Mire systems in Finland- special view to aapa mires and their water flow pattern. *Suo* 58 (1): 1–26.
- Linderholm, H.W., Björklund, J.A., Seftigen, K., Gunnarson, B.E., Grudd, H., Jeong, J.H., Drobyshev, I. & Liu, Y. 2010. Dendroclimatology in Fennoskandia - from past accomplishments to future potentials. *Clim. Past* 6: 93–114.
- Malmer, N. & Wallen, B. 1999. The dynamics of peat accumulation on bogs: mass balance of hummocs and hollows and its variation throughout a millennium. *Ecography* 22: 736–750.
- Masing, V. 1984. Estonian bogs: plant cover, succession and classification. Teoksessa: Moore P.D. (toim.). *European Mires.* London Academic Press. s. 119–148.
- Metsäntutkimuslaitos. 2006. *Metsätalastollinen vuosikirja 2006.* Helsinki. SVT maa-, metsä- ja kalatalous. 438 s.
- Moen, A. 1985. Classification of mires for conservation purposes in Norway. *Aquilo Ser Botanica* 21: 95–100.
- Moen, A., Joosten, H. & Tanneberger, F. 2017. Mire diversity in Europe: mire regionality. Teoksessa: Joosten, H., Tanneberger, F. & Moen, A. (toim.). *Mires and peatlands of Europe.* Schweizerbart Science Publishers. Stuttgart. s. 97–147.
- Mäkilä, M. 2006. Regional distribution of peat increment in Finland. Teoksessa: Lindholm T. & Heikkilä, R. (toim.). *Finland-Land of Mires. The Finnish Environment* 23: 89–93.
- Paal, J. & Leibak, E. 2011. Estonian mires, inventory of habitats. 174 p. Tartu. Eestimaa Looduse Fond.

- Raitasuo, K. 1976. Valtakunnan metsien III inventoinnin mukaiset luonnontilaisten suotyyppien pinta-alat. (The area of natural mire habitat types according to the III national forest inventory). Ympäristöministeriön suoarkisto (Archives in the Finnish Ministry of Environment).
- Raukas, A. & Teedumäe, A. (toim.). 1997. Geology and mineral resources of Estonia. Tallinn. Estonian Academic Publishers.
- Rehell, S. & Heikkilä, R. 2009. Aapasoiden nuoret suksessiovaiheet Pohjois-Pohjanmaan maankohoamisrannikolla. (Summary: Young successional stages of aapa mires on the land uplift coast of northern Ostrobothnia, Finland.). *Suo* 60: 1–22.
- Rehell, S., Huttunen, A., Kondelin, H. & Laitinen, J. 2012. Development of the large-scale hydrotopography of aapa-mires on the land-uplift coastland in Northern Finland. Teoksessa: Lindholm, T. & Heikkilä, R. (toim.). Mires from pole to pole. *The Finnish Environment* 38: 39–50.
- Rehell, S. & Virtanen, R. 2015. Rich fen bryophytes in past and recent mire vegetation in a successional land uplift area. *The Holocene* 26: 136–146.
- Ruosteenoja, K. 2011. Miten ja miksi ilmasto muuttuu? Teoksessa: Virtanen, A. & Rohweder, L. (toim.) Ilmastonmuutos käytännössä: Hillinnän ja sopeutumisen keinoja. *Gaudeamus*. Helsinki.
- Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Kämäräinen, M. 2016. Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. *Geophysica*, 51: 17–50.
- Ruosteenoja, K., Räisänen, J. & Pirinen, P. 2010. Projected changes in thermal seasons and the growing season in Finland. *International Journal of Climatology* 10: 1473–1487.
- Ruuhijärvi, R. 1960. Über die Regionale Einteilung der Nordfinnischen Moore. – *Annales Botanici Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae Vanamo* 31: 1–360.
- Ruuhijärvi, R. & Hosiaislouma, V. 1988. Suokasvillisuus (Mire vegetation). Teoksessa: Alalammi, P. (toim.). Suomen Kartasto 141–143. Elävä luonto, luonnonsuojelu 2–4. Helsinki. Geologian tutkimuskeskus ja Suomen Maantieteellinen Seura.
- Seppälä, M. 2006. Palsa mires in Finland. Teoksessa: Lindholm, T., Heikkilä, R. (toim.). Finland – Land of Mires. *The Finnish Environment* 23: 155–162.
- Sjörs, H. 1946. Myrvegetation i övre Långanomådet i Jämtland. *Ark. Bot.* 33: 1–96.
- Sjörs, H. 1948. Myrvegetation i Bergslagen. *Acta Phytogeogr. Suecica* 21: 1–299.
- Sjörs, H. 1983. Mires of Sweden. Teoksessa: Gore, A.J.P. (toim.). Mires, swamp, bog, fen and moor. Elsevier, Amsterdam. s. 69–94.
- Sjörs, H. 1989. Divergent successions in mires, a comparative study. *Aquilo Ser. Bot.* 28: 67–77.
- Solantie, R. 2006. Climate of Finland and its effect on mires. Teoksessa: Lindholm, T. & Heikkilä, R. (toim.). Finland-Land of Mires. *The Finnish Environment* 23: 17–22.
- Tahvanainen, T. 2004. Water chemistry of mires in relation to the poor-rich vegetation gradient and contrasting geochemical zones of northeastern Fennoscandian shield. *Folia Geobotanica* 39: 353–359.
- Tahvanainen, T. 2011. Abrupt ombrotrophication of a boreal aapa mire triggered by hydrological disturbance in the catchment. *Journal of Ecology* 99: 404–415.
- Taipale, K. & Saarnisto, M. 1991. Tulivuorista jääkausiin. Suomen maankamaraan kehitys. WSOY. Porvoo. 414 s.
- Toivonen, T. 1997. Alajoen muinainen suolaue Ilmajoen kunnassa (Summary: The ancient mire area at Alajoki in the municipality of Ilmajoki, western Finland). Geological Survey of Finland, Report of Investigation 137. 24 s.
- Tolonen, K. 1967. Zur Entwicklung der Moore im Finnischen Nordkarelien (Development of mires in Finnish North Karelia) *Annales Botanici Fennici*. 4: 219–416.
- Tuittila, E.-S., Juutinen, S. & Froelking, S., Väiliranta, M., Laine, A. M., Miettinen, A., Seväkivi, M.-L., Quillet, A. & Merilä, P. 2012. Wetland chronosequence as a model of peatland development: Vegetation succession, peat and carbon accumulation. *The Holocene* 23: 25–35.
- Van der Schaaf, S. & Streefkerk, J.G. 2003. Relationships between biotic and abiotic conditions on Clara Bog (Ireland). Teoksessa: Järvet, A. & Lode, E. (toim.). *Ecological Processes in Northern Wetlands*: 35–40.

- Weber, C.A. 1902. Über die Vegetation und Entstehung des Hochmoores in Augstumal im Memeldelta mit vergleichenden Ausblicken auf andere Hochmooren im Erde. Berlin. Paul Parey, 252 s.
- Wickman, F. 1951. The maximum height of raised bogs and a note on the motion of water in soligenous mires. Geol. Förhandl. BJ 73. H.3.
- Yurkovskaja, T. 1995. Mire system typology for use in vegetation mapping. Gunneria 70: 73–82.
- <https://kso.etjanster.lantmateriet.se/?redirected=true> (ruotsin kartat ja ilmakuvat) <http://kaart.delfi.ee/> (viron kartat ja ilmakuvat)
- <http://mapire.eu/en/map/finland/?bbox=845094.2959328392%2C7599543.668325918%2C4758670.144133864%2C9355760.830206127> (1800-luvun kartat)

Summary: The effect of climate factors and catchment area on the occurrence of minerotrophic wet level in boreal mire systems

The share of minerotrophic wet level is a very characteristic feature on boreal mire systems. It is affected by climatic factors (temperature, precipitation, evapotranspiration) and local factors (inclination and the area and quality of the catchment area). The aim of this article is to study the role of climate and local factors on the mire systems. Furthermore, the changes affected by climate change and local hydrological changes are assessed and predicted. The first part of the study introduces mathematical formulas handling the water table on mires in relation to runoff and inclination. The idea of water flow system affecting the large-scale structure of mire systems is based on the observations made in the zone of aapa-mire systems, where the border of *Sphagnum*-dominated donor segments and flark-level dominated receiver segments are easily distinguishable. Similar large-scale structure of receiver and donor segments can, however, be found also in the zone of raised bogs. The formulas predict reduction in the share of minerotrophic wet level in the receiver segments; if the runoff decreased (other variables remain stable). However, the role of temperature i.e. the length of the growing season seemed to be crucial in determining the main trends in the development of mire systems. The zones of aapa mires and raised bogs differed primarily by temperature factors and the runoff factors seemed to have clearly different effects on these two zones. On the zone of aapa mires (on pristine catchment areas) the share of minerotrophic wet level (in proportion to inclination) was large and had linear correlation with runoff factors. On the zone of typical raised bogs, where the ombrotrophic massifs cover large central parts of mire basins, the relation between runoff values and the share of minerotrophic wet level was more complicated. Of the southernmost studied mire systems, those with great evaporation rates in relation to precipitation had clearly more minerotrophic wet level (including the *magnocariceta* level of swamps) parts and smaller share of ombrotrophic bogs than the mire systems on wetter climate.

The effect of hydrological changes caused by ditches bordering the mire massifs was studied on the zone of central boreal aapa-mires. There the comparison of old and new aerial photographs revealed a clear correlation between the change in the water flow getting to the mire and the change in the share of minerotrophic wet level. The ditches, situated typically on the upper part of the catchment areas, had diminished the water flow reaching the receiver segments of aapa-mires. Consequently, the border of the flark-level dominated receiver segment of aapa-mires had shifted a few hundred meters further from the watersheds. The former flarks had changed to *Sphagnum*-dominated lawn

and carpet level vegetation. The observed change was similar, but still less than the change predicted by the mathematical formulas, obviously because the ditches were only a few decades old and the change had not yet reached its final extent. To assess the overall amount of wet level flarks vanished; the hydrological change in randomized mire patches was assessed. According to this, at least 42% of the minerotrophic wet level on the central boreal aapa mires either has vanished or is going to be vanished soon, just because of the ditches located on the upper marginal parts of the catchment areas.

The results highlight the role of climatic and local factors on the future changes in boreal mire systems. The drainage affecting the hydrology of aapa-mires cause a rapid shift of minerotrophic wet level flarks to *Sphagnum*-dominated lawn and carpet level on the aapa-mire massifs, whose catchment areas have been affected by ditches. The predicted rise in medium temperatures and growing season lengths causes a similar change, which is slower but affects all the aapa mire systems. The predicted rise in precipitations probably does not change the direction, because the longer growing seasons prefer strongly the *Sphagnum* growth and the higher summer temperatures increase the evaporation.

The large minerotrophic mire massifs formerly found in the southernmost parts of Finland have been ecologically different than the aapa mires resembling the minerotrophic massifs found today near the coastlands of the Baltic Sea in Estonia and in the southeastern Sweden. The minerotrophic receiver segments of these southern mire massifs are dependent on surface- and groundwater from the catchment areas. On all mire systems, the share of flark-level is strongly dependent on inclination, which thus affects the patterning of mire massifs. Lawn-level dominated massifs with wet soaks and no clear string-flark -topography are occurring both close to the southern border of aapa mire zone, where they can be considered as an intermediate type between aapa-mires and raised bogs. But they appear also on rainy districts of aapa-mire zone, where they resemble sloping fens. The reticulate-patterned aapa-mire massifs are typical for the northernmost Lapland. However, on very flat terrain, similar patterning is occurring even on the more southern districts.

(Received 1.12.2017, Accepted 12.1.2018)