

Keidassuon pintakuvioituksen muutokset viimeisten 82 vuoden aikana Pyhtään Munasuolla

Changes in the surface patterning in the raised bog Munasuo, SE Finland during the past 82 years

Kimmo Tolonen & Markku Suoknuuti

*Kimmo Tolonen, Sepänkatu 4 as 2, 24240 Salo, email: kimmotolonen38@gmail.com
Markku Suoknuuti, Heinäkorvenkuja 146, 48910 Kotka, email: markku.suoknuuti@kymp.net*

Työssä tarkastellaan tyypillisen kaakkoissuomalaisen laakiokeitaan, Pyhtään Munasuon, kasvillisuuden ja pintarakenteiden muutoksia 82 vuoden ajanjaksolla 1941–2022. Aineisto perustuu ilmakeuviin ja maastohavaintoihin. Täydennyksenä esitetään muutamia havaintoja myös Munasuon itäpuolisen Valkmusan-Kananiemensuon suokompleksin alueelta. Pohdimme tekijöitä, jotka mahdollisesti selittävät havaittuja muutoksia. Työmme liittyy ajankohtaiseen tutkimukseen, jossa selvitetään ilmastomuutoksen vaikutuksia soiden kasvillisuuteen.

Työssä käytetty ImageJ-ohjelmisto osoittautui käyttökelpoiseksi työkaluksi suoallikoiden, ruoppakuljujen ja keidassuon pintarakenteiden, kuljujen ja mättäiden, sekä suurempien puiden havaitsemiseen ilmakeuvissa. Pintatopografiassa mättäät ja kermit osoittautuivat varsin pysyviksi, kun taas kuljuissa, ruoppakuljuissa ja allikoissa oli enemmän vaihtelua. Mättäiden rahkasammalten, erityisesti rusorahkasammalten (*Sphagnum rubellum*) suhteellisen peittävyuden lisääntyminen kuljusammallajiston kustannuksella sekä allikoiden avovesipinnan nopea pientyminen saattaa osaltaan ilmentää hiilen sidonnan merkittävää viimeaikaista kasvua Munasuon keidassuoekosysteemissä.

Avainsanat: keidassuo, kermi, kulju, allikko, ruoppakulju, välipinta, progressiivinen kehitys, ilmaston muutos, hiilen sidonta

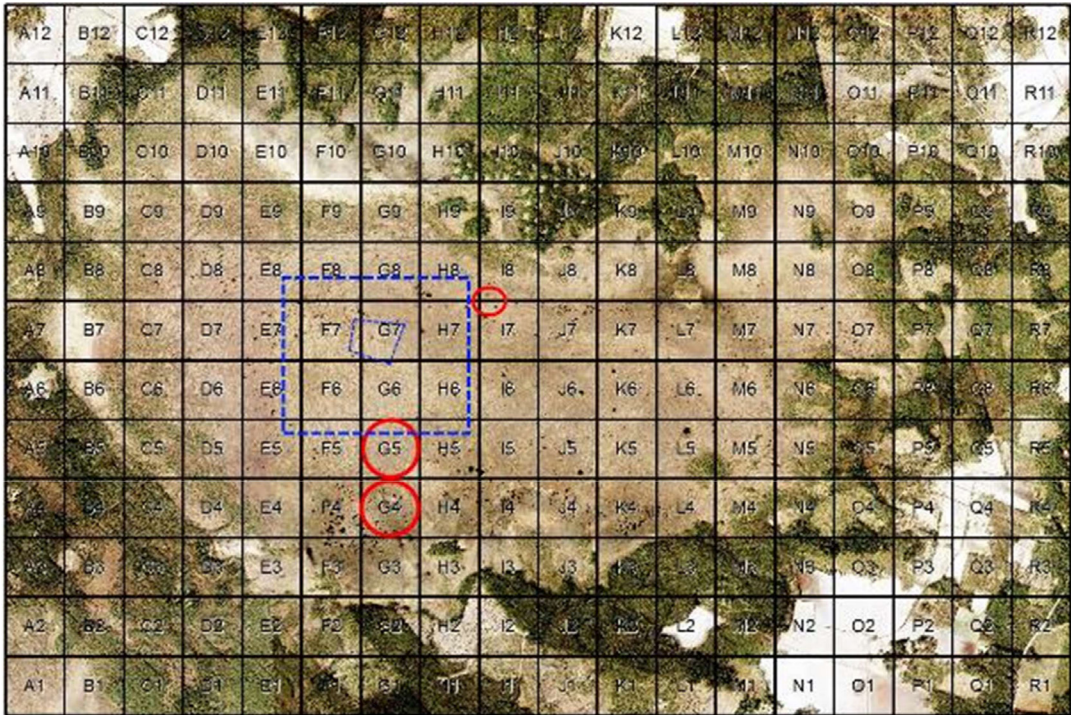
Keywords: raised bog, mud-bottom hollow, mud-bottom pool, carbon sequestration, hummock ridge, progressive development of mire

1. Johdanto

Pyhtään Munasuo ja sen itäpuolella sijaitseva Valkmusa-Kananiemensuon länsiosa ovat suuria laakiokeidastyyppin suokomplekseja. Yhdessä ne muodostavat vuonna 1996 perustetun Valkmusan kansallispuiston, jonka pinta-ala on 19,5 km². Tässä kirjoituksessa kuvataan Pyhtään Munasuon pintarakenteissa, siis mättäiden, kuljujen ja allikoiden muodostamassa mosaiikissa, aikajaksolla 1941–2022 ilmenneitä muutoksia. Munasuolla on tehty pintamuotojen maastohavainnointia vuosina 2003–2022 pitkäaikaisessa tutkimushankkeessa, johon osallistuneet lukuisat tutkijat mainitaan kirjoituksen lopussa. Eräitä maastohavaintoja esitetään myös Kananiemensuolta. Maastohavaintoja

täydentää olennaisesti ilmakehävainneisto, joka käsittää alueen ilmakehävainneisto, joka käsittää alueen ilmakehävainneisto 13 vuodelta ajanjaksolla 1941–2016 ja jota on täydennetty Google-satelliittikuvilla vuosilta 2015–2022. Ilmakehävainneisto on laskettu ja mitattu erityisesti suollikoiden esiintymistä ja pinta-aloja. Tulosten tarkastelussa pohditaan havaittujen muutosten yhteyttä käynnissä olevaan ilmakehävainneistoön sekä muutosten vaikutuksia ilmakehävainneistoön ja suon eliöstön kannalta.

Kirjoittajista Kimmo Tolonen on tutkinut Munasuon kasvillisuutta ja kehityshistoriaa jo 1960-luvulla (Tolonen 1968). Markku Suoknuuti on kuvannut viimeaikaisen ilmakehävainneiston muutoksen ilmenemistä Anjalankosken (Elimäen) pitkäaikaisissa säähavaintosarjoissa (Suoknuuti 2020).



Kuva 1. Ilmakehävainneisto tutkimuskohteena olleelta Pyhtään Munasuon alueelta vuodelta 2001, johon on merkitty koko ilmakehävainneiston vertailuissa käytetty 250 × 250 m ruudukko sekä tarkemmin analysoidut alueet, kuten ruudut G4 ja G5, sinisellä katkoviivalla rajattu nk. Kääriäis-alue, joka on matalalentokuvattu vuonna 1972 sekä punaisella ympyrällä rajattu allikkoinen ns. Lumme-alue. Tutkimusalueen sijainti: N60° 33': E26° 38' (ETRS89).

Figure 1. Munasuo bog in 2001 (N60° 33': E26° 38' (ETRS89)) showing the grid (250 × 250 m) drawn on all the aerial photos investigated in this study to facilitate their comparisons. Areas investigated in detail are also shown, e.g. the grid squares G4 and G5, the so called Kääriäis-area, documented by low-elevation oblique aerial photography in 1972 (delimited by blue dashed line), and the pond dominated area, Lumme area (red circle).

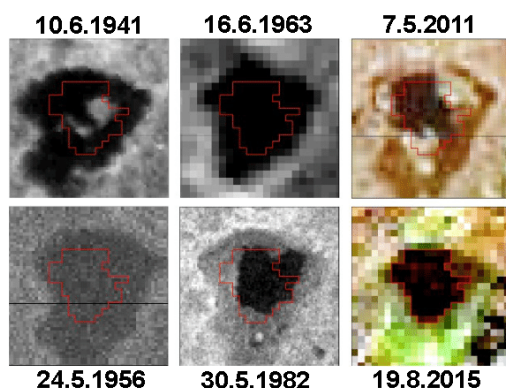
2. Aineisto ja menetelmät

Keskeisin menetelmä Munasuolla tapahtuneiden muutosten selvittämiseksi, oli ilmakuvatulkinta, johon saatiin aineisto 13:lta eri vuodelta aikavälillä 1941–2016. Ilmakuvat mahdollistavat muutosten tarkastelun ja mittaamisen koko laajan suokompleksin alueella. Tarkastelu keskitettiin erityisesti tunnetun lentäjävalokuvaaja Keijo Kääriäisen 1970-luvulla laadukkaasti kuvaamaan alueeseen, josta jatkossa käytetään nimitystä Kääriäis-alue (ks. sinisellä katkoviivalla rajattu alue kuvassa 1). Lisäksi Kääriäis-alueen koillispuolelta rajattiin allikkoalue, jolla tarkasteltiin mm. allikoiden vesipeiton ajallista muutosta (jatkossa ns. Lumme-alue). Ilmakuvatulkintaa verrattiin maastohavaintoihin.

Ilmakuvien keskinäisen vertailun helpottamiseksi niihin piirrettiin yhdenmukaisesti 250×250 metrin koordinaattiviivasto (isoruudukko) sekä pienempiä alueellisia ruudukkoja.

Ilmakuvista helpoimmin ja luotettavimmin tunnistettavia ja rajattavia ovat allikot, koska niiden vesipinta näkyy valokuvissa hyvin tummana, käytännössä mustana (kuva 2).

Aluksi allikoita tutkittiin silmävaraisesti kynällä ilmakuville rajatuista mustista kohteista, jotka edelleen rajattiin digitaalisesti Paint.NET 4



Kuva 2. Allikkoallas K 850 vuosien 1941, 1956, 1962, 1982, 2002 ja 2015 ilmakuvissa. Lineaariregression mukaan altaan vesipeitto supistui vuosien 1941–2021 välillä 8,64 % 10 vuodessa.

Figure 2. The pool basin K 850 in aerial images from the years 1941, 1956, 1962, 1982, 2002 and 2015. The collage made by Seppo Tuominen.

-sovelluksella (<https://www.getpaint.net/doc/latest/HistoryWindow.html>). Rajatuilta alueilta mitattiin niiden kokonaispinta-ala ImageJ-kuvankäsittelyohjelmalla (<https://imagej.nih.gov/ij/docs/examples/index.html>). Näin saatiin allikoiksi tulkittujen pintojen osuus koko kyseisen ruudun pinta-alasta.

Ilmakuvien analysoinnin edetessä selvisi, että väri-ilmakuvista voitiin suoraan-mitata allikoiden vesipeitto ja erottaa toisistaan myös muut suonpinnan eri osa-alueet, kuten mätäs- ja kuljupinnat, vähänveden aikaiset allikoiden vesijättöreunukset sekä ruoppakuljut.

Suon pintarakenteen muutoksia seurattiin harmaasävy (grey tone) -analyysien avulla. Tarkalleen asemoiduista ja muokatuista korkearesoluutioisista ilmakuvista tehtiin Paint.NET-ohjelmalla samankokoisia viipaleita. Niistä tehtiin histogrammit ImageJ-ohjelman avulla (RGB > BW).

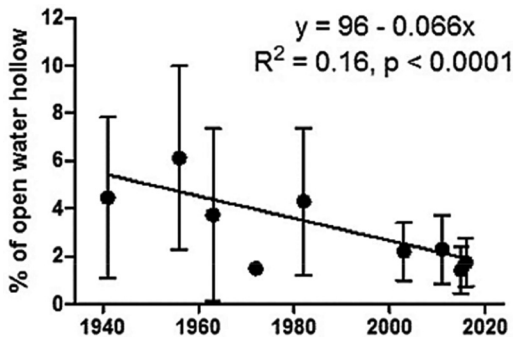
3. Tulokset

3.1. Allikoiden lukumäärän ja koon muutokset

Allikkoaltaiksi tulkittiin mustat laikut kaikkiaan 447 ilmakuva-aineiston kuvasta, jotka edustavat yhdeksää eri vuotta ja 15:tä isoruutua. Vesipeiton kokonaispinta-alan muutos on esitetty aikasarjana kuvassa 3. Koko aineistossa kuvastuu selvä vähenevä trendi, joka lineaariregression perusteella merkitsee vesipinta-alan vähenemistä kymmenen vuoden jaksolla 0,66 %:n verran. Hajonta eri isoruutujen välillä on suurta vuoteen 2000 asti. Sen jälkeen hajonta on ollut tasaisesti pienentyvää allikoiden osuuden pienentyessä kaikissa kokoluokissa.

Tarkimmin allikoiden esiintymistä eri vuosina pystyttiin ilmakuvista selvittämään Kääriäis-alueella (pinta-ala 60,94 ha; vrt. kuva 1). Alueelta tunnistettiin vuoden 2011 ilmakuvista allikoiksi noin 1 900 kappaletta yli 0,9 neliömetrin kokoista laikkua, joista numeroitiin 1 807 yli 3 m²:n kokoista kohdetta.

Maastotarkastuksessa osa ilmakuvilta allikoiksi tulkittujen kohteiden todettiin olevan isojen puiden muodostamia varjoja. Tästä virhelähteestä johtuen vain yli 7 m² kokoiset ilmakuvilta tun-



Kuva 3. Munasuon mustattujen, allikkoaltaiksi tulkittujen yli 7 m²:n laikkujen kokonaisala prosentteina otosalan (useimmiten 60 000 m²) pinta-alasta vuosina 1941, 1956, 1963, 1972, 1982, 2001, 2003, 2015 ja 2016. Pystyjanat kuvaavat hajonnan tulkituilla 19 isoruudulla, vuosi 1972 vain ruudulta G7 (1,49%). (Lineaarinen regressioanalyysi Teemu Tahvanainen).

Figure 3. The total coverage of black patches larger than 7 m², interpreted as open-water pools, measured in the aerial photographs of Munasuo available for the period 1941–2016. For most of the years, the pool area was measured from a total area of some 60 000 m², or 19 Grid squares; the vertical bars show standard error of the areas in different squares. For 1972, the area was measured in only one square (G7). A significant declining trend in the pool surface area is evident.

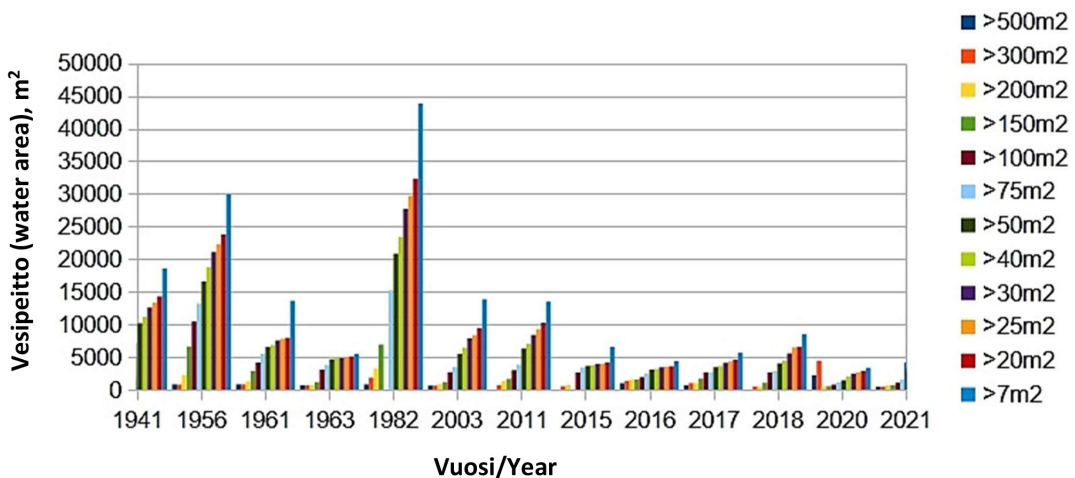
nistetut mustat kuviot hyväksyttiin ilmakuvatar-kastelussa allikkoaltaiksi.

Vesipeitto pieneni Kääriäis-alueen allikoissa merkittävästi havaintojakson aikana, mutta vuosien välinen vaihtelu oli suurta. Eniten allikoiksi tulkittuja mustia kuvioita esiintyi vuonna 1982, vähiten vuonna 1961 (kuva 4). Yli 7 m²:n allikkojen yhteenlaskettu vesipinta pieneni regressio-analyysin perusteella kymmenessä vuodessa 7 %.

Allikoiden syvyysmittauksia tehtiin kaikkiaan 68 allikosta Kääriäis-alueella viitenä ajankoh-tana. Pääosa mittauksista tehtiin talviaikaan. Suurin mitattu allikon syvyys oli 3,8 m (K 191). Suurimmat allikot olivat yleensä 1,2–2,2 metrin syvyisiä. Suurimassa osassa allikoista oli vettä kuitenkin alle 0,5 m. Yksittäisten allikkoaltaiden avovesiala pienentyi lähes suoraviivaisesti koko tarkastelujakson ajan. Esimerkki yksittäisen allikon muutoksesta esitetään kuvassa 5.

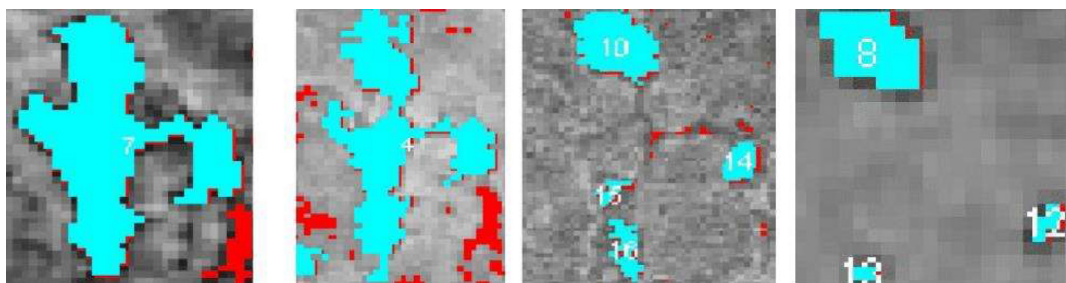
3.2. Suon pintakuvioituksen muutokset

Suon muiden pintaelementtien muutosten arvioi-minen ilmakuvista ei ollut yhtä tarkkaa kuin allikoiden osalta. Seuraavassa muutamia esimerkkejä ilmakuvilta tehdyistä havainnoista. Isoruudussa G4 mätäsinnan osuus kaksinkertaistui ja välik-



Kuva 4. Vesipeitto Kääriäis-alueen allikoissa kokoluokittain vuodesta 1941 vuoteen 2020 ImageJ-ohjelman RGB-työkalulla analysoituna.

Figure 4. Water surface in pools of different size classes identified in the Kääriäis-area in aerial photos of different years, as analysed by the ImageJ program RGB tool.



Kuva 5. Esimerkki allikon muutoksesta. Isoduurun G4 allikko G1 neljänä vuonna, vasemmalta: 1941 (547 m²), 1982 (428 m²), 2015 (139 m²) ja 2019 (69 m²).

Figure 5. The pool G1 in the Grid square G4 in four years (l to r): 1941 (547 m²), 1982 (428 m²), 2015 (139 m²) and 2019 (69 m²).

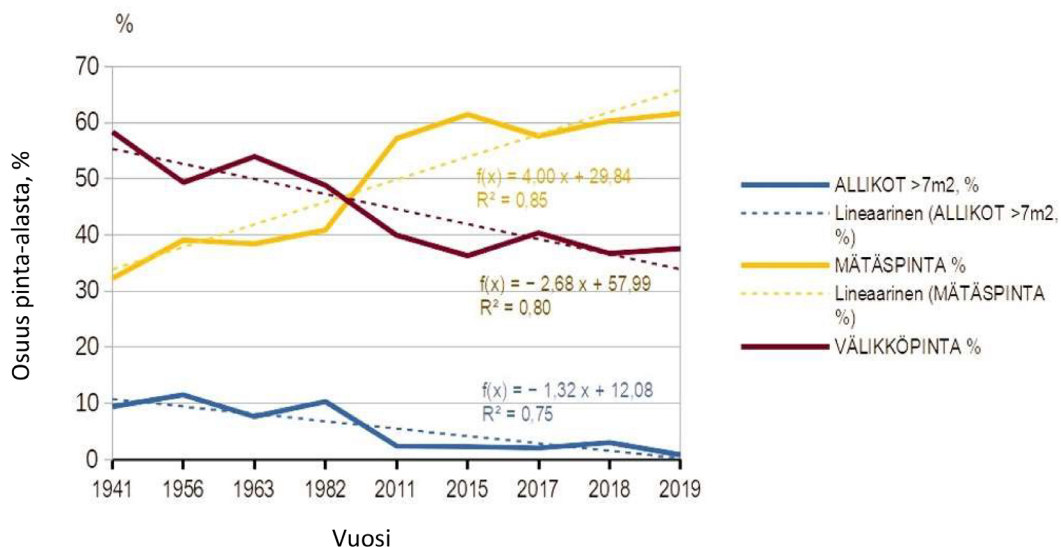
köppinnan osuus väheni noin 55 %:sta 35 %:iin ja allikoiden noin 10:stä alle 1 %:iin alueen pinta-alasta ajanjaksolla 1941–2019 (kuva 6).

Isoruudussa G6 kehitys oli samansuuntainen: mätäspinta lisääntyi 42:sta 62 %:iin, välikköpinta vastaavasti kutistui 55:stä 40 %:iin. Allikoiden osuudessa ei ollut kovin suuria muutoksia.

Isoruudun G7 pidemmän aikavälin historiasa todettiin 46 vuoden ajanjaksolla 1972–2016 lukuisia muutoksia allikoiden määrässä, ruoppakuljujen esiintymisessä ja pieniä muutoksia myös

kermeissä. Osa kermeistä on katkeillut ja toisaalta joidenkin kohdalla aiempi kermien välinen salmi on sulkeutunut. Tältä rajatulta alueelta löydettiin yhteensä 330 yli 7 m²:n laajuista ruoppakuljua, yksi niistä oli syntynyt *Sphagnum*-kuljusta. Ainakin viisi ruoppakuljua oli hävinnyt, muutamat taas muuttuneet allikoiksi.

Pinta-alaltaan alun perin suurimman allikon (K 191) laajuus vuonna 1941 oli 1 240 m². Se supistui vuoteen 2020 mennessä 338 m²:iin eli n. 72 %.

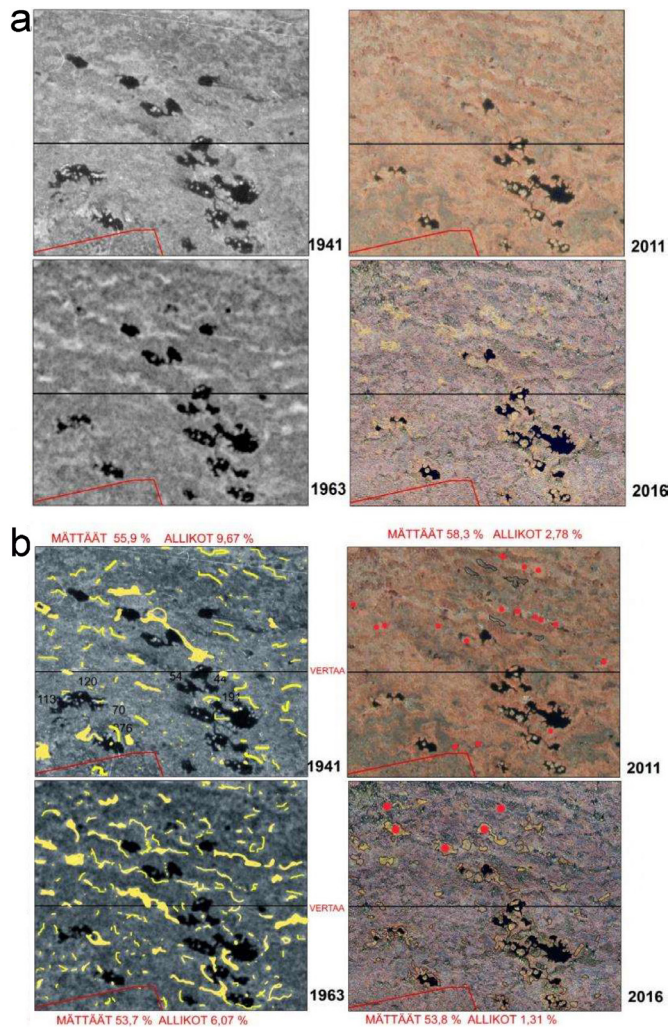


Kuva 6. ImageJ RGB -menetelmällä 13 vuoden ilmakuivista tulkittujen pintaelementtien (allikot, mätäspinta, välipinta) osuus ruudun G4 pinta-alasta Munasuolla. Havaintoaineistoon sovitetut lineaariset tasoitusviivat (regressio) katkoiviivoilla.

Figure 6. Areal coverage of different bog surface elements in the grid square G4, as analysed from 13 aerial photos during 1941–2019 in Munasuo. Allikot=open water pools; Mätäspinta= hummocks; Välikköpinta= lawn surfaces. Regression equations given and linear trends shown for each feature.

Lumme-alueen allikot olivat tarkastelujakson aikana laajimmillaan vuonna 1963. Tuolloin myös vaaleat rimpipinnat ovat selviä ja leveimmillään, mutta sittemmin molemmat elementit kutistuvat (kuva 7). Lumme-alueen allikoitten vesipintojen kokonaispeitto on pienentynyt 9,87 %:sta 1,31 %:iin. Ruoppapinnan osuus vuonna 2011 oli 0,1 %, mutta vuonna 2016 osuus oli suurempi,

1,8 %. Numeroiduista 28 allikosta oli tarkastelujaksolla hävinnyt kuusi kpl, kaksi niistä vasta vuoden 2011 jälkeen, ja suuri osa rimpipinnoista oli muuttunut mätäspintakasvillisuusvaltaisiksi. Toisaalta myös ainakin kaksi uutta pienehköä allikkoa oli syntynyt alueelle. Suo-alueen puusto lisääntyi selvästi tarkastelujakson aikana.



Kuva 7. Alkuperäiset ilmakuvat allikkoiselta ns. Lumme-alueelta (ks. kuva 1) vuosilta 1941, 1963, 2011 ja 2016 (kuva a) sekä ilmakuvatulkinnassa laaditut yksinkertaistetut vastaavat kuvat (kuva b). Kuvissa esitetty myös arviot mättäiden ja allikoiden pinta-alaosuuksista kuvaushetkellä.

Figure 7. Four original aerial photos from the Lumme-area (see fig. 1) from the years 1941, 1963, 2011 and 2016 (fig. a) and their interpretations (fig. b). Estimates of the coverages of hummocks (MÄTTÄÄT) and pools (ALLIKOT) also presented.

3.3. Harmaasävyanalyysit

Harmaasävyanalyysien histogrammit osoittivat, että suon pinta oli tutkituilta osiltaan (Kääriäis-alue, ja suon eteläisen laiteen alue) spatiaalisesti heterogeeninen. Kaikki histogrammit olivat yksihuippuisia. Kun Kääriäis-aluetta tarkasteltiin kokonaisuutena, ei vuosien välillä ollut merkittävää tummuuseroa, mutta sen neljällä rajatulla otosalueella (alaltaan 4,7–8,1 ha) suon pinnan sävy oli regressioanalyysin mukaan vaalentunut, joskin yhdellä 4,1 hehtaarin alueella tummunut. Eteläiseltä laiteelta analysoitiin pienempiä kuva- viipaleita yhteensä 12 alueelta. Niistä viisi oli tutkimusjaksolla selvästi vaalentunut mutta seitsemän sävyltään tummunut. Vaaleneminen voidaan tulkita rahkasammalpiteen lisääntymiseksi kuljuissa ja välipinnoilla. Tummumistrendi saattaa puolestaan liittyä ruoppaintojen lisääntymiseen.

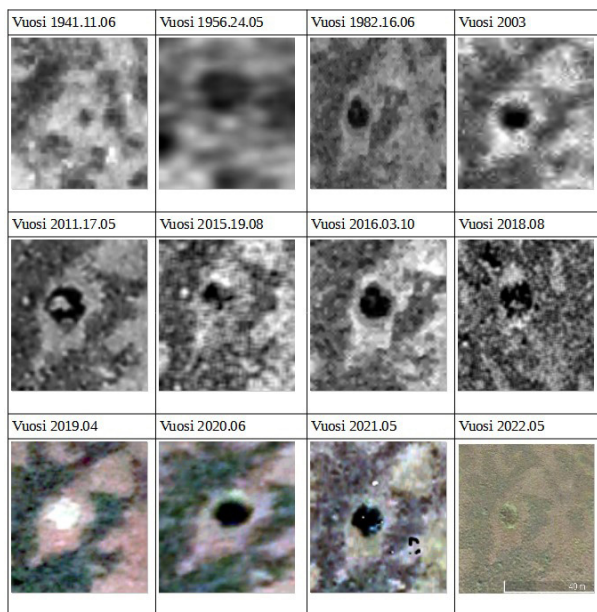
3.4. Allikoiden pysyvyys

Kääriäis-alueelta tunnistettiin kaikkiaan 447 allikkokohdetta, joita tarkasteltiin yhdeksän eri

vuoden ilmakuvista ajanjaksolla 1941–2019. Havaintoja kertyi kaikkiaan 3 304 kappaletta. Allikoista vain suurimmat olivat pysyviä, mutta niidenkin vesipeitto vaihteli vuodesta toiseen.

Tarkastelujakson aikana monet pienet allikot olivat hävinneet. Mitä suurempia allikoiden pinta- alat olivat, sitä pysyvämpiä ne myös olivat. Yli 10 m²:n kokoluokasta alkaen pysyvien allikoitten osuus lisääntyi saavuttaen 94,7 %:n pysyvyyden kokoluokassa 100–200 m². Tarkastelujakson aikana ilmestyneitä allikoita oli eniten pienimmissä kokoluokissa. Niiden osuus oli allikon kokoluokassa 10–20 m² vielä 8,7 % mutta sitä suuremmissa enää 2,9 %. Allikoiden häviämisosuus oli 9 % vielä kokoluokassa 20–50 m² mutta sitä suuremmat allikot pysyivät koko tarkastelujakson ajan. Osa allikkoaltaista on ollut vesipintaisia vain vuonna 1941.

Joidenkin allikoiden vesipeitto vaihteli merkittävästi vuosien välillä. Esimerkkinä on allikko T 1016, joka sijaitsee Kääriäis-alueella, isoruudun F7 itäreunassa. Tämän allikon vaihteita seurattiin sekä ilmakuvista että kolmella maastokäynnillä (kuva 8). Vuoden 1941 ilmakuvasta se aluksi

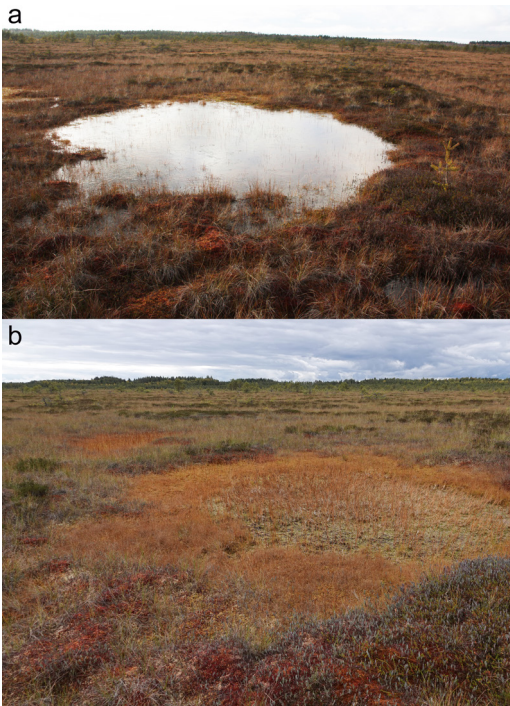


Kuva 8. Allikko T 1016 ilma- ja satelliittikuvissa kahtenatoista vuotena ajanjaksolla 1941–2022.

Figure 8. The pool T-1016 in aerial and satellite images during 12 years in the period 1941–2022.

tulkittiin kokonaan puuttuvaksi. Altaan keskeltä löytyi kuitenkin pieni musta laikku. Vuonna 1956 allikon vesipinta oli laajempi, vuonna 1962 kuitenkin varsin pieni. Keväällä 1982 vesipeitto oli jälleen laaja ja vuonna 2003 tilanne oli edelleen lähes sama kuin vuonna 1982. Vuonna 2011 allikko oli melko suuri ja sen vesipinta-alaksi mitattiin 16,62 m², mutta vuoden 2016 jälkeen sen pinta-ala on pienentynyt.

Lokakuussa 2017 allikon T 1016 (kuva 9a) vesisyvyys oli 1,22 metriä, mutta loppukesällä 2020 syvyydeksi mitattiin vain 15 cm. Syksyllä 2022 allikon oli vallannut suoleväkkö (*Scheuchzeria palustris*) ja kuljuraikasammal (*Sphagnum cuspidatum*) (kuva 9b).



Kuva 9. Edellisen ilmakuvasarjan allikko T 1016 kuvattuna lokakuussa 2017 (a) ja syyskuussa 2022 (b). Nykyisellään allikko on *Scheuchzeria palustris* – *Sphagnum cuspidatum* -valtaista rimpipintakasvillisuutta, reunoilla lisäksi *Rhynchospora alba* – *S. lindbergii* – *S. balticum* – rimpipintaa. Kuvat: Markku Suoknuuti.

Figure 9. The pool T-1016, shown in aerial images in fig. 7, photographed in the ground in October 2017 (a) and September 2022 (b). Presently the site is a wet hollow dominated by *Scheuchzeria palustris* and *Sphagnum cuspidatum*, with *Rhynchospora alba*, *S. lindbergii* and *S. balticum* on the margins.



Kuva 10. Supistuva ruoppakulju Munasuolla 5.5.2018. Kuva:Markku Suoknuuti.

Figure 10. An overgrowing mud hollow in Munasuo-bog in May 5th, 2018.

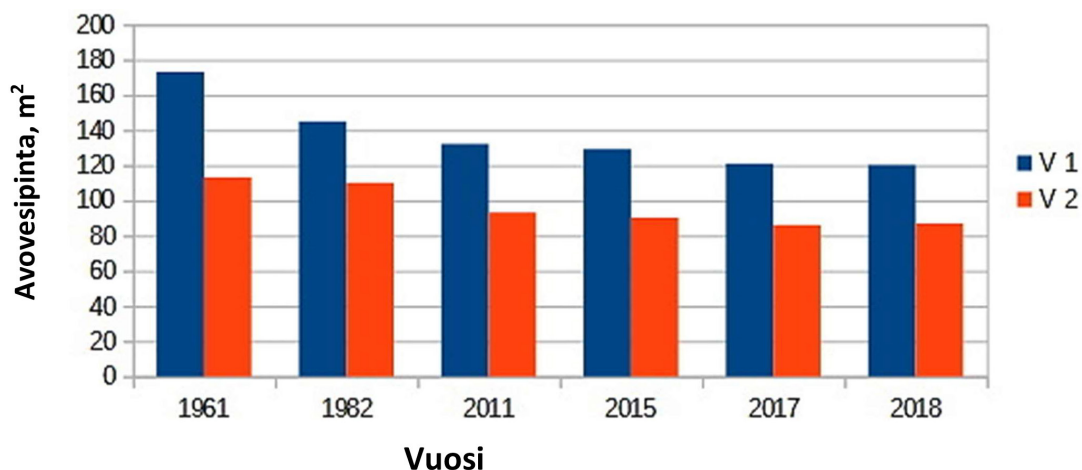
3.5. Havaintoja ruoppakuljuista

Munasuon erilaisten ruoppakuljujen syntyta-voista ja kehitystrendeistä saa viitteitä niiden pintakasvillisuudesta. Useiden ruoppapintojen reunoilla nähdään rahkasammalten eteneminen reunoilta (kuva 10). Joillakin ruoppapinnoilla esiintyy reliktinä kasvilajeja, jotka osoittavat ruoppakuljun kehittyneen mättään tilalle ja suosursua (*Rhododendron tomentosum*), suokukkaa (*Andromeda polifolia*) tai kanervaa (*Calluna vulgaris*) esiintyy enää reliktinä ruopalla. Ruoppakulju voi olla kehittynyt myös sammalpeitteisestä kuljusta (isokarpalo, *Vaccinium oxycoccus*). Varmimman käsityksen kuljujen viimeaikaisesta kehityksestä ja syntytavasta saa turvekerrosta tutkimalla (kuva 11).



Kuva 11. Sammalen alle hautautunut ruoppakulju Munasuolla. Kuva: Heikki Hyttinen.

Figure 11. A former mud hollow overgrown by *Sphagnum* vegetation.



Kuva 12. Valkmusan kansallispuiston itäpuoliskossa sijaitsevan Kananiemensuon läntisen laakiokeitaan kahden isoimman allikon V1 ja V2 vesipinnan ala (m²) kuutena vuonna 1961–2018.

Fig 12. Water coverage of the two largest pools V1 and V2 of the western plateau bog of Kananiemensuo, in the eastern part of Valkmusa National Park, during six years since 1961.

3.6. Kananiemensuon läntisellä laakiokeitaalla havaitut muutokset

Munasuon läheisen, myös Valkmusan kansallispuistoon kuuluvan, Kananiemensuon läntisellä laakiokeidasosalla tutkittiin pintakasvillisuuden muutoksia saatavissa olevien vanhojen ilma- ja satelliittikuvien nojalla vuodesta 1961 vuoteen 2018. Suon kahden suurimman allikon vesipinta-ala oli pienentynyt (V1 ja V2, kuva 12). Suurimman allikon veden syvyydeksi mitattiin 3,2 m.

Turverkerroksen paksuuskasvu on Valkmusan keitaalla ollut hyvin nopeaa. Kalliokoski ym. (2020) tunnustivat vuoden 1510 Askja-tulivuoresta lähtöisin olevan vulkaanisen tuhkerkerroksen 0.90 metrin syvyydessä. Kohde sijaitsee lähellä suurinta V1-allikkoa. Keskimääräinen turpeenkasvu sen mukaisesti on ollut noin 2,7 mm vuodessa ja allikon ikä olisi lähes 1 170 vuotta.

4. Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Munasuon laaja kompleksi on pintamuotojen dynamiikan suhteen spatiaalisesti hyvin heterogeeninen. Harmaasävyjen histogrammit ja väliköpiintojen peiton muutokset olivat erisuuntaisia eri osissa suota. Rakkapeitteen lisääntyminen oli

yleisin trendi, vettymistapaukset olivat vähemmän yleisiä eikä syklistä regeneraatiota (v. Post & Sernander 1910) voitu aineistosta todentaa. Suon hiilitaseen kannalta hiilen sidonta suohon kasvoi märkäpintojen vähenemisen ja mätäspinnan lisääntymisen seurauksena (vrt. Waddington & Roulet 1996).

Kymenlaakson ilmastossa vuosina 1960–2020 on tapahtunut muutoksia, jotka näkyvät keskilämpötilan nousuna ja sademäärän keskimääräisenä lisääntymisenä. Tämän kehityksen voidaan arvioida suosineen rakkasammalten kasvua. Se voi pohjimmiltaan selittää kuvaamamme nopeat muutokset, joista selvin on allikoiden vesipeiton väheneminen ja monien täydellinen häviäminen aikavälillä 1941–2020.

Märän aapasuon rakkautuminen voi tapahtua muutamassa vuosikymmenessä, jos veden virtaus sille kivennäismaalta heikkenee (Tahvanainen 1999). Viimeaikainen progressiivisen kehityksen kiihtyminen luonnontilaisessa Munasuossa kuitenkin ilmentää ilmaston säätelämää muutosta, joka näkyy yleisesti luonnontilaisilla pohjoisilla soilla. Suomessa viettokeittaitten minerotrofiset juotit ovat viimeisten vuosikymmenien aikana kaventuneet peittyen reunoiltaan alkaen rakkasammalten alle. Ilomantsin Ilajansuolla juottien rakkautuminen oli edennyt 15–20 m 1940-luvun

jälkeen, eli 11–15 cm:n vuosivauhtia. (Kolari ym. 2021). Vesakosken (2021) mukaan rimprien peittymisnopeus reunoilta alkaen on ollut Ilomantsin alueen Kalattomansuolla 39,0 cm vuodessa, Viitansuolla 19,7 cm, Ilajansuolla 8,5 cm sekä Kemijärven Hämeenjängällä 16,6 cm vuoden 1970 jälkeen. Mahlanevan aapasuolla Kurikassa rimprien pinta-ala väheni 46 prosenttia ajanjaksona 1947–2019 (Kolari ym. 2021). Saman prosessin on kuvannut Rehell (2017) Pohjanmaan soilta, ja sitä esiintyy myös satelliittikuvien perusteella Pohjois-Ruotsissa ja Vienan-Karjalan laajoissa viettokeidasmassiiveissa. Pintakuvioituksen osalta muutamien vuosikymmenten kuluessa tapahtuneita muutoksia on raportoitu myös pysyvien näytealojen seurannassa eri puolilta Eurooppaa.

Ruoppapintojen umpeenkasvu on havaittu olevan erittäin nopeaa Viron kohosilla (Karofeld ym. 2015). Ruoppapinnat ovat poikkeuksellisen suuri metaanin päästölähde kiihdyttäen siten ilmaston lämpenemistä (Karofeld 2004).

Tolonen ja Seppä (1994) kokosivat kairausten avulla saadut tulokset Munasuon pienmuotojen muutoksista. Heidän mukaansa vain muutamissa noin 30 tutkimuspisteessä kermi- ja kuljuvaiheet olivat vaihdelleet. Eräässä kuljuvaiheen kesto oli ajoitusten mukaan noin 600 vuotta. Vanhimmat kuljut ovat syntyneet noin 2 000 vuotta sitten, ja vanhimmat allikot arvioitiin 3 000 vuoden ikäisiksi.

5. Kiitokset

Kiitämme tutkimusprojektiin osallistuneita: Seppo Tuominen, Teemu Tahvanainen, Timo Kumpula, Heikki Seppä ja Airi Räsänen ja muita tutkimuksessa avustaneita: Heikki Hyttinen, Aki Peltoniemi, Matti Pihko, Heikki Simola, Jussi Syväoja ja Jukka Turunen.

Kirjallisuus

Kalliokoski, M., Gudmundsdottir, E. & Wastgård, S. 2020. Hekla 1947, 1845, 1510 and 1158 tephra in Finland; challenges of tracing tephra from moderate eruptions. *Quaternary Science* 35(6): 803–816. <https://doi.org/10.1002/jqs.3228>

Karofeld, E. 2004. Mud-bottom hollows: ex-

ceptional features in carbon-accumulating bogs? *The Holocene* 14: 119–124. <https://doi.org/10.1191/0959683604hl694rp>

Karofeld, E., Rivis, R., Tonisson, H. & Vellaj, K. 2015. Rapid changes in plant assemblages on mud-bottom hollows in raised bog: a sixteen-year study. *Mires and Peat* 16(11): 1–13.

Kolari, T. H. M., Sallinen, A., Wolff, F., Kumpula, T., Tolonen, K. & Tahvanainen, T. 2021. Ongoing fen-bog transition in a Boreal aapa mire inferred from repeated field sampling, aerial images, and Landsat data. *Ecosystems* 25: 1166–1188. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00708-7>

v. Post, L. & Sernander, R. 1910. Pflanzenphysiognomische Studien auf Torfmooren in Närke. *Guide des excursions en Suede du X^{ieme} Congresse Géologique International* 1(14): 1–48 + 5 App.

Rehell, S. 2017. Ilmastotekijöiden ja vesitalouden vaikutus minerotrofisten rimpipintojen esiintymiseen borealisissa suoekosysteemeissä. (Summary: The effect of climate factors and catchment area on the occurrence of minerotrophic wet level in boreal mire ecosystems *Suo* 68: 41–66.

Suoknuuti, M. 2020. Kymenlaakson muuttuva ilmasto. *Kymenlaakson Luonto* 2020, ss. 10–14.

Tahvanainen, T. 2011. Abrupt ombrotrophication of a boreal aapamire triggered by hydrological disturbance in the catchment. *Journal of Ecology* 99(2): 404–415. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01778.x>

Tolonen, K. 1968. Pyhtään Munasuon kasvillisuudesta. (Zusammenfassung: Über die Vegetation des Schärenfinnland-Hochmoores Munasuo in Pyhtää, Südfinnland). *Kymenlaakson luonto* 9: 1–11.

Tolonen, K. & Seppä, H. 1994. Pyhtään suursoiden kasvillisuudesta, morfologiasta ja kehityspiirteistä. (Summary: On the vegetation, morphology and natural history of large mire complexes in Pyhtää, southeastern Finland). *Terra* 106(3): 216–225.

Vesakoski, V. 2021. Aapasoiden muutokset kasvivyhteisöissä ja hiilenkertymisessä pienen jääkauden ja sen jälkeisen lämpenemisketähtäksen aikana. *Pro gradu -tutkielma*.

Itä-Suomen yliopisto, 67 s. <http://urn.fi/urn:nbn:fi:uef-20210230>

Waddington, J. M. & Taylor, N. T. 1996. Atmosphere-wetland carbon exchange: Scale dependence of CO₂ and CH₄ on the devel-

opmental topography of a peatland. *Global Biogeochemical Cycles* 10(2): 233–245. <https://doi.org/10.1029/95GB03871>

Summary: Changes in the surface patterning in the raised bog Munasuo, SE Finland during the past 82 years

The paper is focused on the changes in the vegetation and surface patterns on a typical plateau raised bog in SE Finland during the past 82 years (1941–2022), studied by means of aerial images and field observations. Further, it aims to find explanations for the changes. It is part of the current studies on the changes in the mire vegetation in Finland linked with the present warming.

Our main body of data is collected from Munasuo bog, which constitutes the western part of the Valkmusa National Park (est. 1996, total area 19.5 km²). Some additional observations are from the western plateau of Kananiemensuo raised bog, situated in the eastern part of the National Park.

The photogrammetry-based identification and analysis of mire features in aerial photographs and field measurements showed that the hummock ridges were rather permanent, as opposed to the more variable lawn surfaces, mud-bottom hollows and pools. The observed increase in the relative coverage of hummock *Sphagnum* (notably *S. rubellum*) vegetation replacing hollow mosses and the very rapid shrinking of the open-water area of the pools may indicate a significant increase in the carbon sequestration in the Munasuo bog ecosystem.

Keywords: raised bog, mud-bottom hollow, mud-bottom pool, carbon sequestration, hummock ridge, progressive development of mire