

**PINTAVEDEN LIIKKEIDEN JA VEDEN KERTYMISEN  
TARKASTELU DRONEMAASTOMALLIN AVULLA**

Soiden ennallistamisen seuranta vesienpalautuskohteella

Ennallistettujen soiden tilan seurannan kehittäminen -projekti

Sirkku Ahonen

Opinnäytetyö

Metsätalous  
Metsätalousinsinööri (AMK)

2021

Metsätalous  
Metsätalousinsinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Sirkku Ahonen	Vuosi	2021
<b>Ohjaaja</b>	Jussi Soppela		
<b>Toimeksiantaja</b>	Metsähallitus Luontopalvelut		
<b>Työn nimi</b>	Pintaveden liikkeiden ja veden kertymisen tarkastelu dronemaastomallin avulla – Soiden ennallistamisen seuranta vesienpalautuskohteella		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	49 + 26		

---

Ennallistetun suoalan kasvaessa ennallistamisen seurannan tarve kasvaa. Seuranta pyritään kehittämään resurssitehokkaammaksi, jotta kattavan seuranta-verkoston ylläpitäminen on mahdollista. Opinnäytetyössä tarkastellaan dronekuvista tuotetun korkeusmallin hyödyntämistä osana ennallistamisen seuranta. Tavoitteena on löytää käyttötarkoitukseen soveltuvia korkeusmallin prosessointeja, joiden avulla voidaan tarkastella veden virtausta ja kertymistä sekä näissä ilmeneviä muutoksia.

Tarkasteluun käytetään Sonkajärvellä sijaitsevaa Vahtisuota. Vahtisuolla on tehty vesienpalautusta ja perinteistä ennallistamista yhdistävä ennallistamisen kokonaisuus 2018. Vahtisuota kuvattiin dronella kahteen kertaan kesän 2021 aikana. Lisäksi tarkastelussa käytettiin Maanmittauslaitoksen avointa korkeusmallia, joka on tuotettu 2014 laserkeilausaineistosta. Maanmittauslaitoksen aineistoa käytettiin myös Vihtanevalla ja Kurkinevalla tarkasteltaessa prosessointien soveltuvuutta ennallistamista edeltävän tilanteen tarkastelussa. Korkeusmalleja analysoitiin SAGA GIS -ohjelman hydrologisilla työkaluilla. Saatuja virtausverkko- ja kosteusindeksirasteritasoja verrattiin ilmakehuun, ja niistä etsittiin parhaiten käyttötarkoitukseen soveltuvat tasot, joita verrattiin keskenään eroavaisuuksien ja muutosten havainnoimiseksi.

Parhaiten käyttötarkoitukseen soveltuivat Top-Down-virtausverkko sekä SAGA-kosteusindeksi. Korkeusmallin esikäsittelyssä virtausverkkojen tuottamista ajatellen kuoppien täyttö Planchon/Darboux, 2001 -menetelmällä toimi paremmin suurella ja Wang & Liu pienellä pikselikoolla. Kosteusindeksien tuottamiseen soveltui Planchon/Darboux- esikäsittelty malli.

Työn tuloksia voidaan hyödyntää valittaessa soiden ennallistamisen seurannassa dronemaastomallin käsittelyyn käytettäviä menetelmiä. Vaikka kaikilla kohteilla ei välttämättä toimi sama menetelmä, aikaa säästetään rajaamalla prosessointi muutamaa hyväksi havaittuun menetelmään. Pitkäaikaisseurannan kannalta on olennaista kuvata kohde kasvillisuuden ja vesiolosuhteiden ollessa mahdollisimman samankaltaiset kuvausajankohdasta toiseen, jotta vertailusta saadaan luotettava.

Avainsanat                      drone, hydrologia, kaukokartoitus, soiden ennallistaminen

Forestry  
Forestry engineer

---

<b>Author</b>	Sirkku Ahonen	<b>Year</b>	2021
<b>Supervisor</b>	Jussi Soppela		
<b>Commissioned by</b>	Metsähallitus Parks & Wildlife Finland		
<b>Subject of thesis</b>	Investigating surface water movements and water accumulation using drone terrain models in a restored peatland		
<b>Number of pages</b>	49 + 26		

---

As the area of restored peatlands grows, the need to monitor restored areas increases. There are plans to make monitoring more resource-efficient so that it is possible to maintain a comprehensive monitoring network in the future. This thesis examines the utilization of the Digital Elevation Model (DEM) produced from drone images as part of the restoration monitoring. The aim is to find suitable elevation model processing tools that can be used to examine the flow and accumulation of water and the changes that occur in them.

Vahtisuoto in Sonkajärvi is used for the study. A restoration entity combining hydrological restoration and traditional restoration methods has been completed at Vahtisuo in 2018. Vahtisuo was photographed with drone twice during the summer of 2021. In addition, the survey used National Land Survey of Finland's open elevation model, which was produced from 2014 laser scanning data. The data from the National Land Survey of Finland were also used at other peatlands. Elevation models were analyzed with SAGA GIS hydrological tools. The resulting flow routes and topographic wetness indices were compared to the aerial image. The most suitable models were compared with each other to detect differences and changes.

Flow Accumulation Top-Down and SAGA Wetness Index were the most suitable processes for the application. Preprocessing tool Fill Sinks Planchon/Darboux, 2001 performed better with large pixels and Fill Sinks Wang & Liu with small pixels. Fill Sinks Planchon/Darboux preprocessing tool was suitable for producing SAGA Wetness Index.

The results of the study can be utilized in selecting the methods used to process the drone terrain model for monitoring the restored peatlands. Although not all sites may work with the same method, time is saved by limiting the processing to a few well-established methods. For long term monitoring, it is essential to do the drone flights when the vegetation and water conditions are as similar as possible within the flight times to make reliable comparisons.

**Key words** drone, hydrology, peatland hydrological restoration, remote sensing

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	5
2 SOIDEN TYYPITTELYÄ .....	7
2.1 Soiden vesitalous.....	7
2.2 Suokasvillisuus .....	8
2.3 Soiden monimuotoisuus.....	9
2.4 Soiden tila Suomessa .....	10
3 SOIDEN ENNALLISTAMINEN.....	12
3.1 Ennallistamisen tavoitteet .....	12
3.2 Kohteet ja menetelmät .....	13
3.2.1 Perinteinen ennallistaminen .....	13
3.2.2 Vesienpalautus.....	15
3.3 Vesistövaikutukset .....	15
3.4 Ennallistamisen seuranta.....	17
3.5 Ennallistettujen soiden seurannan kehittäminen .....	19
4 KEHITTÄMISTYÖN TOTEUTUS .....	21
4.1 Tavoite .....	21
4.2 Aineisto .....	22
4.3 Menetelmät .....	22
4.3.1 SAGA GIS - hydrologisten menetelmien toimintaperiaatteet.....	22
4.3.2 Aineiston käsittely.....	23
5 TYÖN TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI .....	27
5.1 Maanmittauslaitoksen aineistot.....	27
5.2 Tutkimusasetelman mukaiset 2021 kuvatut droneaineistot.....	31
5.3 Dronemaastomallista yleistetyt mallit.....	33
5.4 Vuonna 2021 kuvattu iso aineisto .....	35
5.5 Tulosten vertailu .....	37
5.6 Johtopäätökset .....	43
6 POHDINTA .....	45
LÄHTEET .....	47
LIITTEET .....	50

## 1 JOHDANTO

Erilaiset luonnonhoidon toimet ovat ajankohtaisia ja kiinnostavat toimijoita ympäristöalalla. Kiinnostus monimuotoisuuden lisäämiseen ja vastuulliseen toimintaan on aikaansaanut luonnonhoidollisia hankkeita. Metsäalalla suometsien käyttö on ollut esillä viime vuosina sen ilmastovaikutusten vuoksi.

Soita ennallistetaan kiihtyvällä tahdilla, mutta ennallistamisen seurannassa on kehitettävää. Valtion mailla ennallistamiskohteita seuraa lähinnä Metsähallituksen Luontopalvelut. Nykyään ennallistettuja soita seurataan pitkälti kasvillisuus-kartoitusten ja vedenpintaa paikallisesti mittaavien mittalaitteiden avulla.

Seuranta halutaan tehostaa, sillä tarve lisääntyy ja muuttuu ennallistetun pinta-alan kasvun ja uudentyyppisten ennallistamiskohteiden, kuten vesienpalautuksen myötä. Vesienpalautus eroaa perinteisestä ennallistamisesta siten, että siinä ympäröivien ojituskuivattamalle itsessään ojittamattomalle suolle johdetaan vesiä ympäröiviltä ojitusalueilta johto-ojan avulla. Verrattain uutena menetelmänä vesienpalautuskohteiden seurannoissa on erityisesti kehitettävää. Tavoitteena on luoda ennallistamisen seurantaan laajoille alueille soveltuvat menetelmät. Uusilla resurssitehokkailla seurantamenetelmillä saadaan suurempi osa kaikkien ennallistamiskohteiden tavoitteiden saavuttamisesta kartoitettua.

Opinnäytetyössä keskitytään dronella kuvattavan näkyvän valon aineiston käytön mahdollisuuksiin. Maastomallia käsittelemällä pyritään saamaan aikaiseksi menetelmä, jota voidaan käyttää vesienpalautuskohteilla veden kulkureittien ja ker-tymisen muutosten kartoittamisessa.

Opinnäytetyön tilaaja on Metsähallitus Luontopalvelut. Työ on osa Metsähallituksen koordinoimaa Ennallistettujen soiden tilan seurannan kehittäminen -projektia. Projektissa kehitetään vesienpalautuskohteille soveltuvia seurantamenetelmiä. Projektia tehdään yhdessä Soiden ennallistamisen asiantuntijaryhmän (SuoELO) asiantuntijoiden kanssa.

Opinnäytetyössä tarkastellaan virtausverkkojen ja kosteusindeksien tuottamista dronemaastomalleista. Dronemaastomallit kuvattiin vesienpalautuskohteelta vuonna 2021. Prosessoinnissa saatuja malleja verrataan ilmakuviin ja prosessien

soveltuvuutta käyttötarkoitukseen arvioidaan silmämääräisesti. Tavoitteena on löytää soiden ennallistamisen seurantaan soveltuvia prosessoitteja dronemaastomallille.

## 2 SOIDEN TYYPITTELYÄ

### 2.1 Soiden vesitalous

Maan pinnalle tuleva vesi on peräisin pääasiassa sateista. Sadevesi liikkuu maan pinnalla pintavaluntana ja vajoaa maa-aineksessa alaspäin. Hienojakoiset maa-ainekset, kuten savi läpäisevät vettä suurihuokoisia maalajeja heikommin. Suolla vedenpinta on lähellä maanpintaa ainakin osan ajasta. Kun vesi ei pääse liikkumaan pintavaluntana ja vajoaminen maa-aineksen läpi on hidasta, syntyy kosteusolosuhteiltaan suokasveille otollinen alusta. (Aapala, Similä & Penttinen 2013, 41.)

Suon kasvualusta eli turve muodostuu suokasvillisuuden jäänteistä. Turpeen muodostuksessa oleellisia ovat lähellä maanpintaa oleva hapekas kerros ja vedenpinnan alapuolinen hapeton kerros. Hapekkaassa kerroksessa kasvien jäänteet alkavat hajota, mutta niiden vajotessa vedenpinnan alle hapettomiin olosuhteisiin hajoaminen lähes pysähtyy. (Charman 2002, 3–4.)

Suot ovat vesitaloudeltaan keskenään hyvin erilaisia. Osa soista saa vetensä pelkästään sadevedestä. Näitä soita kutsutaan ombrotrofisiksi. Minerotrofisille soille vettä tulee sateen lisäksi pohja- ja pintavesistä. Termeillä ombrotrofinen ja minerotrofinen ilmenetään suon ravinteiden saantia. Minetrofiset suot ovat ravinteikkaampia kuin ombrotrofiset veden mukana kulkeutuvien ravinteiden vuoksi. (Laine ym. 2018, 10.)

Sadannan ja haihdunnan suhde vaikuttaa soiden hydrologiaan. Aapasuovyöhykkeellä kokonaishaihdunta on keskikesällä sadantaa pienempi. Keidassuovyöhykkeellä haihdunta on sadantaa suurempi. (Laine ym. 2018, 10.)

Keidassuolla suon keskiosa on ombrotrofinen. Ympäröiviltä alueilta voi tulla jonkin verran pintavaluntaa, joka vaikuttaa suon reunaosiin. Keidassuon keskusta on usein ympäristöään korkeammalla, minkä vuoksi valumavedet eivät vaikuta suon keskiosaan. (Aapala ym. 2013, 83.)

Aapasoilla valunta on suuressa osassa suon vesitaloutta ja ravinteiden saantia. Valuma-alueiksi kutsutaan ympäröiviä alueita, joilta aapasuo saa vetensä. Suomessa pinta- ja pohjavedenjakajat ovat tyypillisesti lähellä toisiaan maaston korkeimmassa kohdassa. Tämä johtuu heikosti vettä läpäisevästä maa- ja kalliopohjasta. Valunta kulkeekin tyypillisesti lähellä maanpintaa. (Aapala ym. 2013, 42.)

Muita soiden vesitaloutta luonnehtivia piirteitä ovat lähteisyys, luhtaisuus, nevaisuus, rimpisyys ja sulamisvesivaikutus. Lähteisyys voi ilmetä selkeästi havaittavina lähteinä tai tihkupintana. Luhtaisuutta esiintyy avovesien, kuten järvien ja purojen pinta- ja tulvavesivaikutuksessa. Erityisen yleistä luhtaisuus on maankohoamarannikolla. Nevaisuus ilmenee mätäs-, väli- ja rimpipintojen vaihteluna suolla. Rimpipinnat ovat ainakin osan kasvukaudesta veden vallassa olevia painanteita. Sulamisvesivaikutusta esiintyy pohjoisilla tunturialueiden soilla, jotka saavat vettä ja ravinteita lumen ja roudan sulamisvesistä. (Eurola & Kaakinen 1978, 14–17; Laine ym. 2018, 13.)

## 2.2 Suokasvillisuus

Geologisen määritelmän mukaan suot ovat yli 20 hehtaarin alueita, joilla on turvetta vähintään 30 senttimetriä. Biologisessa määritelmässä suot ovat turvetta muodostavia kasviyhdykskuntia. (Aapala & Lappalainen 1998, 47.)

Ojitetut turvekankaat jaetaan kolmeen kuivatusvaiheeseen. Ojikat ovat vielä lähes muuttumattomia nuoria ojitusalueita, jotka muistuttavat alkuperäistä suota. Muuttumaksi alue luokitellaan, kun puusto on alkanut elpymään tai avosuolla syntyy puustoa. Turvekankaalla suolle tyypillisiä sammalia on alle 25 prosenttia sammalkasvuston peittävydestä. (Laine ym. 2018, 96.)

Suot eivät ole kasvillisuudeltaan yhtenäinen ryhmä. Suon vesiolosuhteiden lisäksi kasvillisuuteen vaikuttavat ravinteet, happamuus, turpeenpaksuus ja laatu, sekä pinnanmuodot, korkeusolosuhteet ja kasvukauden lämpötila. Suolla kasvava kasvillisuus taas vaikuttaa turpeen kehitykseen ja sitä kautta hydrologisiin olosuhteisiin. (Aapala ym. 2013, 41.)

Erityyppisillä soilla kasvaa niille ominaisia kasvilajeja. Alueesta käytetään suotyypin mukaista luokittelua, kun sammalkerroksen kasvillisuudesta yli 25 prosenttia



on suokasvillisuutta. Tyypillisimmät soille ominaiset sammalet ovat rahkasammalia. (Aapala ym. 2013, 20.) Muita soille tyypillisiä kasveja suotyypistä riippuen ovat esimerkiksi saniaiset, sarat, tupasvilla, siniheinä ja raate (Laine ym. 2018, 12–14).

Suot jaetaan suotyyppisiin, joiden kolme pääryhmää ovat korvet, rämeet ja avosuot. Aidoilla suotyypeillä kasvillisuus on yhden päätyypin kasvillisuutta. Sekatyypin soilla mättäillä esiintyy korven tai rämeen kasvillisuutta ja märemmillä rimpipinnoilla neva- ja rimpikasvillisuutta. Soiden luokittelu pohjautuu Cajanderin metsätyypiteoriaan. (Laine ym. 2018, 8–9.) Kaikkiaan suotyyppisiä on yli sata (Aapala & Lappalainen 1998, 49).

Laajoilla suoalueilla reuna-alueen kasvillisuus saattaa erota suon keskiosan kasvillisuudesta huomattavan paljon. Suoalueet muodostuvat usein monen suotyypin yhdistelmästä. Toisiaan muistuttavat suoyhdistelmät muodostavat suoyhdistelmätyypin. Suomessa on kaksi suoyhdistelmätyyppiä: aapasuot ja keidassuot. Kun nämä jaetaan alatyyppeihin, jakautuu Suomi alueellisesti seitsemään suokasvillisuuden alueeseen. (Aapala & Lappalainen 1998, 49.)

### 2.3 Soiden monimuotoisuus

Aapalan ja Lappalaisen (1998, 49) mukaan ”suot ovat maisemallisesti ja biologisesti hyvin monimuotoisia ekosysteemejä.” Monimuotoisuutta voidaan tarkastella ekosysteemien, lajiston ja geenien monimuotoisuutena. Lajiston monimuotoisuutta on helpointa mitata, mutta pelkkä suuri lajimäärä ei kerro suon monimuotoisuudesta. (Aapala ym. 2013, 72.) Lisäksi voidaan tarkastella suoaltaiden tasolla suoyhdistelmätyyppien monimuotoisuutta (Kareksela ym. 2021, 15).

Suot ovat moniin muihin ekosysteemeihin verrattuna varsin vähälajisia. Lajien runsautta tärkeämpää onkin keskittyä suotyypille ominaisten lajien esiintymisen laajuuteen ja ekosysteemien monimuotoisuuteen. (Aapala ym. 2013, 74.)

Soilla kasvualustana toimii turve, joka muodostuu kasvien jäänteistä. Kasvusto ja kasvualusta ovat näin vuorovaikutuksessa keskenään. Myös mikrobit vaikuttavat turpeen muodostukseen ja ovat yhteydessä kasvillisuuden muodostumisen

kanssa. Mikrobikanta vaihtelee kasvillisuuden mukaan ja turpeessa syvemmälle mentäessä mikrobilajisto muuttuu. (Aapala ym. 2013, 72.)

Soilla ensisijaisesti elävistä putkilokasveista 55 prosenttia on arvioitu uhanalaisiksi tai silmälläpidettäviksi (Aapala ym. 2013, 73). Ensisijaisesti soilla esiintyvistä uhanalaisista lajeista 21 lajia on putkilokasveja ja silmälläpidettäviksi lajeista 11. Ensisijaisesti soilla esiintyvistä uhanalaisista lajeista 18 on sammalia. Silmälläpidettäviä sammallajeja ensisijaisesti soilta löytyviä lajeja on yhdeksän. (Rassi, Hyvärinen, Juslén, & Mannerkoski. 2010, 71.) Lisäksi 44 putkilokasvilajia on luokiteltu Etelä-Suomessa uhanalaisiksi (Aapala ym. 2013, 73).

Uhanalaisia lajeja tarkasteltaessa hämähäkkien osuus korostuu soilla esiintyviä lajeja tarkasteltaessa. Kuusi hämähäkkilajia on vaarantuneita ja kymmenen silmälläpidettäviä ensisijaisesti soilla esiintyvistä lajeista. (Rassi ym. 2010, 71.)

## 2.4 Soiden tila Suomessa

Suomen ilmasto on soistumiselle otollinen. Tasaiset pinnanmuodot yhdistettynä viileään ja kosteaan ilmastoon edesauttavat kosteiden painanteiden syntyä. Lisäksi maankohoaminen aiheuttaa kaltevuuden muutoksia, siten että veden virtaaminen mereen hidastuu. Sopivien olosuhteiden myötä painanteisiin on alkanut muodostua suokasvillisuutta ja turvetta. (Aapala & Lappalainen 1998, 47.)

Suomen pinta-alasta 10,4 miljoonaa hehtaaria on ollut soita. Maatalouden käyttöön turvemaita on kuivatettu 700 000 hehtaaria, joista käytössä on noin 200 000 hehtaaria. Metsätalouden käyttöön soita alettiin kuivattaa 1908. Vuosien varrella metsänkasvatukseen on kuivatettu 5,7 miljoonaa hehtaaria turvemaita. Turpeen-  
nostoalueita Suomessa on 57 000 hehtaaria. (Vasander ym. 2003.)

Valtakunnan metsien inventoinnin 11 mukaan Suomessa on soita 8,7 miljoonaa hehtaaria. Ojittamattomia soita on jäljellä 4,1 miljoonaa hehtaaria painottuen Pohjois-Suomeen. Suojelualueilla soita ja turvekankaita on 1,26 miljoonaa hehtaaria, mikä on 12 prosenttia alkuperäisistä soista. Suojelluista soista 95 prosenttia on koko maassa ojittamattomia. Etelässä vastaava luku on 70 prosenttia. Myös soiden suojeleminen painottuu Pohjois-Suomeen. (Alanen & Aapala 2015, 17, 26.)

Soidensuojelutyöryhmä on ehdottanut 747 suon suojelemista soidensuojeluverkon täydentämiseksi. Suurin suojeleminen on Etelä-Suomen hemijä eteläboreaalisen vyöhykkeen soilla, joista vain neljä prosenttia on suojeltuja. (Alanen & Aapala 2015, 26, 61.)

Suomessa esiintyy kansainvälisesti verrattain suuri määrä erilaisia suoekosysteemejä. Tuhansien vuosien aikana Suomessa syntyneet suot ovat kehityksensä aikana muuttuneet useita kertoja. Soiden sanotaankin olevan jatkuvassa muutoksessa. (Aapala & Lappalainen 1998, 48.)

Suomen luontotyyppien 2010 valmistuneessa uhanalaisuuden arvioinnissa suot jaettiin kasvillisuuden perusteella 61 suotyyppiin. Suotyypeistä noin puolet arvioitiin uhanalaisiksi. Erityisesti viljavat ja puustoiset metsäojitukseen soveltuvat korvet olivat uhanalaistuneet. Myös lettoisten ja lähteisten suotyyppien arvioitiin uhanalaistuneen. (Rassi ym. 2010, 67.)

Vuonna 2018 valmistuneessa luontotyyppien uhanalaisuuden arvioinnissa suoluontotyyppien arvioitiin 50. Näistä 54 prosenttia arvioitiin uhanalaisiksi ja 20 prosenttia silmälläpidettäväksi. Välipintakoivuletot ja kalkkiletot arvioitiin äärimmäisen uhanalaisiksi. Suotyyppien uhanalaisuus painottuu erityisesti Etelä-Suomeen, jossa 82 prosenttia suotyypeistä arvioitiin uhanalaisiksi ja kaksi prosenttia silmälläpidettäväksi. Pohjois-Suomessa uhanalaisia suotyyppejä on 26 prosenttia ja silmälläpidettäviä 22 prosenttia. Korpjen ja lettojen tila on heikentynyt eniten koko maassa. Kaikki lettoiset tyypit ja korvet ovat Etelä-Suomessa äärimmäisen uhanalaisia. (Kontula & Raunio 2018, 135.)

Suomen 19:stä soiden luontotyyppiyhdistelmästä 63 prosenttia arvioitiin uhanalaisiksi ja 16 prosenttia silmälläpidettäväksi. Eteläiset sarasuot ja maankohoamisrannikon keidas- ja aapasuokehityssarjat arvioitiin äärimmäisen uhanalaisiksi. Luontotyyppiyhdistelmästä 79 prosenttia heikkenee edelleen lähitulevaisuudessa. (Kontula & Raunio 2018, 140–141; Suomen ympäristökeskus SYKE 2019.)

### 3 SOIDEN ENNALLISTAMINEN

#### 3.1 Ennallistamisen tavoitteet

Ojitukset ovat muuttaneet soita. Ojitetut suot ja osittain niiden läheisyydessä olevat ojittamattomatkin suot ovat kuivuneet. Onnistuneessa metsäojituksessa ojitettu suo muuttuu turvekankaaksi, joka soveltuu hyvin metsänkasvatukseen. Kaikki ojitukset eivät kuitenkaan ole johtaneet turvekankaiden muodostumiseen, vaan ojitettu alue luokitellaan muuttumaksi. Ojitukseen soveltumattomien suotyyppien ojitukset vähentävät näiden suotyyppien pinta-alaa ja heikentävät monimuotoisuutta. (Seppä, Lindholm & Vasander 1993, 26.)

Ennallistamisella tarkoitetaan ihmisen toimintaa, joka palauttaa ekosysteemiä kohti luonnontilaa. Aina luonnontilaa ei kuitenkaan tunneta, eikä tunnettuunkaan luonnontilaan päästä täysin. Voidaankin pohtia, onko vesien palauttaminen kuivuneelle suolle ennallistamista, jos suon luonnontilaa ei tunneta. (Komonen & Halme 2014, 3–4.)

Käsitteiden ja tavoitteiden määrittäminen on osaltaan yhteiskunnan tasolla tapahtuvaa toimintaa. Ennallistamisen voidaan ajatella olevan pyrkimystä mahdollisimman lähelle luonnontilaa. Toisaalta määritelmä voi perustua pääpiirteiden palautumiseen tai kustannustehokkaimmalla ennallistamiskeinolla uusekosysteemin saavuttamiseen. Tarkastelua voidaan tehdä myös ekosysteemipalvelujen näkökulmasta, jolloin pyrkimyksenä on saavuttaa eri ekosysteemipalvelujen tarjonnassa vakaa kokonaisuus. (Kareksela ym. 2021, 11.)

Soiden ennallistamisella pyritään palauttamaan suolle sen luonnontilainen tai sen kaltainen vesitalous. Vesitalouden palautuminen mahdollistaa kasvillisuuden palautumisen. Kasvillisuuden palautuminen taas edesauttaa hydrologian ja turpeenkehityksen palautumista. Joissakin tapauksissa soiden ennallistamisella tavoitellaan tietyn lajin tai ekosysteemin palauttamista. Vesitalouden palauttamisen lisäksi voidaan puustoa vähentää selvästi puustottuneilta alueilta, jotta kasvillisuus saadaan palautettua nopeammin luonnontilaisen kaltaiseksi. (Aapala ym. 2013, 51–53.)

Hydrologian palauttamisessa pyritään suolle palauttamaan sinne luontaisesti kuuluvat vedet. Huomioon tulee ottaa ajallinen vaihtelu ja vesien laatu, jotta suon vastaanottamat vesimassat vastaavat luontaista tilannetta. Muita huomioitavia asioita ovat vedenpinnan taso ja vesien liikkuminen suolla. (Aapala ym. 2005, 26.) Vedenpinnan tasoon voidaan vaikuttaa vaikuttamalla suolle tulevaan veteen ja sieltä lähtevään veteen. Veden kulkemiseen taas vaikutetaan saapuvan veden ohjaamisella ja painanteissa, kuten vanhoissa ojalinjoissa kulkevan veden virtauksen katkaisemisella pintavallien avulla. (Aapala ym. 2013, 121–122.)

Pitkällä aikavälillä ennallistamisella tavoitellaan lajiston palautumista luonnontilaisen kaltaiseksi. Tällä tarkoitetaan kasvillisuuden ja eliöyhteisöjen lajiston ja lajisuhteiden lisäksi sukcession palautumista. Kun luonnontilaa ei tunneta, selvitetään suon päätyyppi ja arvioidaan ravinteisuustaso. Vertailukohtana käytetään samantyyppisiä soita. (Aapala ym. 2005, 27.)

Suokohtaisesti on olennaista tarkastella pienmuotojen, vedenpinnan tason vaihtelun ja turpeen ominaisuuksien kehitystä ennallistamisessa. Ennallistamistoimia tehdään useimmin soiden ja suoymdistymien reuna-alueilla. Reuna-alueet ovat monimuotoisuuden kannalta tärkeimpiä ja niillä tehtävät toimenpiteet vaikuttavat koko suoalueen toimintaan ja pienmuotojen kehittymiseen. (Aapala ym. 2005, 27.)

Ennallistamistoimet voivat aiheuttaa myös ei-toivottuja vaikutuksia, kuten vetty-mishaittoja viereisillä alueilla. Mahdolliset riskit ja haitat tulee huomioida suunnitteluvaiheessa ja varautua niihin. (Aapala ym. 2013, 126.)

## 3.2 Kohteet ja menetelmät

### 3.2.1 Perinteinen ennallistaminen

Suomessa suurin osa toteutetuista kohteista on perinteisen ennallistamisen kohteita. Perinteisen ennallistamisen kohteet ovat ojitettuja soita, joilla useimmiten ei ole kannattavaa kasvattaa metsää. Ojitukset voivat olla epäonnistuneita tai ravinteisuus liian niukkaa puuston kasvulle. Rehevät luontaisesti puustoiset suotyypit

jäävät usein ennallistamistoimien ulkopuolelle hyvien metsänkasvatusedellytysten vuoksi. Suojelualueilla tällaisilla kohteilla on paremmat edellytykset ennallistamiseen. (Seppä ym. 1993, 51.)

Perinteisessä ennallistamisessa ojituksen aiheuttamaa virtausta pyritään vähentämään tukkimalla ojia. Ojat voidaan tukkia kokonaan ojasta ojituksessa nostetulla turpeella tai osittain patoamalla. Ojien täyttäminen on tehokas keino, mikäli ojasta nostettu maa on käytettävissä. Paikoin turpeen painumisen vuoksi tai jyrksintekniikalla ojitetuissa kohteissa täyttömaata on vaikea saada, jolloin patoaminen on taloudellisempi ratkaisu. (Seppä ym. 1993, 51.) Mikäli ojat halutaan tukkia, mutta ojasta nostettuja maita ei voida käyttää, voidaan ojien läheisyyteen tehdä pieniä kuoppia maan ottamiseksi. Kuopat eivät saa olla yhteydessä toisiinsa. (Aapala ym. 2013, 140.)

Ojien täytön ja patoamisen yhteydessä vettä ohjataan pintavallien avulla pois ojalinjalta, joka jää usein tukkimisen jälkeenkin suonpintaa alemmas. Pintavalleja tehdään koko tukittavan ojan matkalle riittävän tiheään, noin 20–50 metrin välein. Pintavallin riittävä pituus määrittyy tukittavan ojan, suonpinnan ja virtaavan veden määrän mukaan. Tavallisesti 5–10 metrin pintavalli on riittävä, mutta toisinaan tarvitaan pidempiä valleja veden saamiseksi pois ojalinjalta. Joissakin tapauksissa pintavallin yläpuolelle voidaan kaivaa uoma, joka johtaa vettä saralle ja josta saadaan maata pintavalliin. (Aapala ym. 2013, 140–143.)

Ojitetuille soille on ojituksen jälkeen muodostunut puustoa. Ennallistamisen yhteydessä tiheää puustoa voidaan poistaa ojalinjoilta häiritsemästä kaivinkoneen työskentelyä. Pieni risukko ei työskentelyä haittaa, mutta isompi puusto tulee poistaa ennen kaivinkoneen saapumista kohteelle. (Aapala ym. 2013, 138.)

Runsaasti puustottuneilta soilta voidaan korjata ainespuuta tai energiapuuta. Koneellinen korjuu on helpointa toteuttaa talvella ennen ojien tukkimista, koska tällöin suon kantavuus on paras mahdollinen. (Aapala ym. 2013, 139–140.) Puunkorjuussa tulisi huomioida ravinteiden määrä suolla. Erityisesti karuilla soilla tulisi kerätä hakkuutähteet. (Seppä ym. 1993, 54.)

### 3.2.2 Vesienpalautus

Vesienpalautus on verrattain uusi toimenpide. Siitä käytettävä käsite ei ole vielä vakiintunut. Muita käytettyjä käsitteitä ovat esimerkiksi vesien ohjaaminen, vedenpalautus, ja vesien palauttaminen. Kaikilla edeltävillä käsitteillä viitataan samaan toimenpiteeseen.

Valuma-alueella tehtävät vettä ohjaavat toimenpiteet vaikuttavat suon vesitalouteen. Soiden reuna-alueiden ojitukset ohjaavat suolle luontaisesti valuvaa vettä toisaalle ja vaikuttavat itsessään ojittamattoman suon vesitalouteen kuivattavasti. Kuivattava vaikutus voi näkyä useiden satojen metrien päässä ojasta. (Kotiaho, Kuusela, Nieminen, & Päivinen 2015, 150–151.)

Vesienpalautusta voidaan tehdä kunnostusojituksen yhteydessä tai erikseen. Taloudellisesti vesienpalautus kunnostusojituksen yhteydessä on edullinen ennallistamistoimi. Siinä ojitusalueen vesiä johdetaan kuivuneelle suolle johdeojan avulla. Tavoitteena on palauttaa suolle sinne luontaisesti kuuluvat vedet ja niiden myötä myös ravinteet. (Kotiaho ym. 2015, 151.)

Vesienpalautukseen soveltuvia kohteita on kartoitettu Suo-OHKE-hankkeessa. Siinä kohteita kartoitettiin kahden metrin maanpintamallin, virtausverkon ja luontotyypikuvioiden avulla. Soveltuvilla kohteilla virtaus suuntautuu ojitusalueelta suolle ja korkeusero ojitusalueen saran ja johdeojan pään välillä on 40 senttimetriä, siten että ojan pää on alempana. (Autio, Jämsen, Rinkineva-Kantola, & Joensuu 2018, 18–19.)

Suo-OHKEssa tuotettiin karttapalvelu, josta löytyvät kartoitetut vesienpalautukseen soveltuvat kohteet. Kohteet on luokiteltu suunnittelun vaativuuden mukaan kahteen ryhmään. Kohteista on saatavilla Metsäkeskuksen ylläpitämässä karttapalvelussa kohdealueet ja niille laskettu valuma-alue. (Autio ym. 2018, 21–24.)

### 3.3 Vesistövaikutukset

Vaikka ennallistamisen pääasiallinen tavoite on parantaa suoekosysteemin tilaa, sillä voidaan saavuttaa myös alapuolisen vesistön kannalta positiivisia vaikutuksia. Pitkällä aikavälillä ennallistetut suot pidättävät ja suodattavat valumavettä.

Erityisesti vesienpalautus muistuttaa metsätalouden vesiensuojelussa käyttämää pintavalutuskenttää, joka erottaa kiintoainesta tehokkaasti. (Aapala ym. 2013, 21.)

Vesiensuojeluun täytyy kiinnittää huomiota kaikilla kohteilla, joilla toimitaan vesien ohjaamisen parissa. Erityisen tärkeää vesiensuojelu on toimittaessa vesistöjen ja pienvesien läheisyydessä, viljavilla kasvupaikoilla sekä maalajin ollessa lajittunutta hienojakoista kangasmaata tai pitkälle maatonuturvetta. (Saaristo, Kuusinen & Nieminen 2009, 105.)

Ravinteiden ja kiintoaineiden liikkeellelähtöä voidaan ehkäistä paljastamalla pintamaata mahdollisimman vähän. Liikkeelle lähtenyt kiintoainesta voidaan pysäyttää pintavalutuksen tai saostuksen avulla. Saostuksella hienojen aineiden kuten saven erottaminen vedestä on vaikeaa sen hitaan laskeutumisenopeuden vuoksi. (Saaristo ym. 2009, 104.)

Pintavalutus on usein tehokkain ja edullisin vesiensuojelumenetelmä. Siinä käsiteltävät vedet ohjataan pintavalutuskentälle, jossa kasvillisuus sitoo veteen liuennutta kiintoainesta ja ravinteita. Pintavalutukseen tarvitaan riittävä kaltevuus, jotta vesi saadaan virtaamaan ojasta maanpinnalle ja sitä pitkin. Pintavalutukseen käytettävä alue ei saa olla kuitenkaan liian jyrkkä, jotta veden virtausnopeus pysyy alhaisena eikä synny oikovirtauksia, jolloin kasvillisuus ei ehdi sitoa kiintoaineita ja ravinteita. Kenttä voi olla kivennäis- tai turvemaata. (Saaristo ym. 2009, 112.)

Suon ennallistaminen voi olla myös vesistöä kuormittava tekijä. Erityisesti pienellä valuma-alueella vesistön välittömässä läheisyydessä tehdyt ennallistamistoimet voivat lisätä vesistöön päätyvien ravinteiden ja kiintoaineiden määrää. Ennallistamisen aiheuttama kuormitus johtuu ojituksen jälkeen hapekkaassa tilassa tapahtuneesta turpeen muutoksesta, johon ennallistaminen johtaa vettä ja saa aikaan muuttuneen turpeen reagoimisen uudelleenvettymiseen. (Aapala ym. 2013, 164.)

Toimenpiteitä suunniteltaessa tulee varmistua haittoja suuremmasta hyödystä. Osaltaan näiden vertailu voi olla haastavaa, sillä ennallistamisessa haitat ilmene-



vät yleensä nopeammin ja ovat hyötyjä lyhyempikestoisia. Ojituksen lisäksi ennallistamisessa voidaan käyttää erilaisia vesistönsuojelullisia menetelmiä, kuten suojavyöhykkeitä. Esimerkiksi vesien kulkeminen ennallistetulta suolta vesistöön luonnontilaisen suon kautta vähentää ennallistamisen aiheuttamaa vesistökuormaa huomattavasti. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös valuma-alue kohtainen kuormitus ja tarvittaessa hajauttaa ja priorisoida kuormitusta aiheuttavia toimenpiteitä. (Aapala ym. 2013, 164–165.)

### 3.4 Ennallistamisen seuranta

Suon ennallistamistoimien jälkeen seurataan muutoksia suon tilassa. Seuranalla pyritään saamaan tietoa ennallistetun suon kehityksestä ja ennallistamistoimien onnistumisesta ja vaikutuksista. Ennallistetulla suolla voidaan seurata kasvillisuuden kehitystä, hydrologisia muutoksia, turpeen ja ojien kunnan kehitystä. (Seppä ym. 1993, 55.)

Helmi-elinympäristöohjelmassa soiden ennallistamisen pinta-ala tavoitteeksi on vuoteen 2030 mennessä arvioitu 59 300 hehtaaria, joista 30 000 hehtaaria suojelualueilla, 20 000 hehtaaria suojelualueiden ulkopuolella ja 9 300 hehtaaria Metsähallituksen monikäyttömetsissä. Suojelusoiden vesienpalautus kohteiden tavoite on 400 kappaletta. (Ympäristöministeriö 2021, 7.)

Hoitoseurantaa tehdään ennallistetuille soille yhden, kahden, neljän ja kymmenen vuoden kuluttua ennallistamistoimista. Hoitoseurantaa tehdään arvioiden muuttujia silmämääräisesti maastossa tai ilmakuvista. Arvioitavia muuttujia ovat suolle tuleva vesi, veden liikkeet suolla, vedenpinnan taso, kasvillisuus sekä puusto ja taimettuminen. (Aapala ym. 2005, 30–32.)

Kahdella ensimmäisellä seurantakerralla arvioidaan ennallistamisen teknistä onnistumista, kuten patojen ja pintavallien vedenpitävyyttä, oikovirtauksien syntymistä, vedenpinnan tasoa ja veden pääsyä suolle. Jälkimmäisillä kerroilla arvioidaan teknisen onnistumisen lisäksi suon vettymistä ja kasvillisuuden muutoksia. Vettymistä arvioidaan alimpien pintojen märkyyttä tarkastellen. Kasvillisuuden muutosta arvioidaan vertaamalla suosammalten ja mätäs- ja metsäsammalten peittävyyttä alimmilla pinnoilla. Kymmenen vuoden kuluttua ennallistamisesta

tehdään hoitoseurannassa loppuarviointi, jossa arvioidaan ennallistamisen onnistuminen ja mahdollisen lisäseurannan tarpeet. (Aapala ym. 2005, 31–33.)

Hydrologisessa seurannassa seurataan vedenpinnan tasoa, laatua ja valumaa. Valumasuranta voidaan tehdä selkeillä lasku-uomilla mittapatojen avulla. Valumaseuranta tehdään veden virtauksen tutkimiseksi ja sen yhteydessä seurataan usein veden laatua. Valumaseuranta rajoittuu tarkan tutkimustiedon keruuseen, eikä se ole yleinen ennallistamisen seurantakohteilla. (Hyvärinen & Aapala 2009, 51–52.)

Veden laatua voidaan seurata vesinäytteiden avulla. Näytteistä tutkitaan veteen liuenneiden ravinteiden määrää. Vedenpinnan tasoa voidaan seurata manuaalisilla mittauksilla tai vedenpinnan mittaukseen kehitettyjen automaattisten mittausten avulla. Molemmissa vaihtoehdoissa seurataan vedenpinnan korkeuden vaihtelua sulan maan aikaan. Manuaaliset mittaukset vaativat suuremman työnäköksen useiden mittauskäyntien vuoksi, mutta ne ovat automaattisia mittareita edullisempi vaihtoehto. (Ikkala 2021.)

Kasvillisuuden muutoksia seurataan kasvillisuusruutujen avulla. Kasvillisuutta tutkitaan rajatulta alueelta sijoittamalla sinne kasvillisuusruutuja, joista määritetään tutkittava kasvillisuus ja sen peittävyys. Ennallistamisen seurannassa on käytetty kasvillisuusruutujen asettelussa perusalaa. Siinä suorakaiteen muotoinen perusala sijoitetaan tukittavien ojien väliin saralle ja kasvillisuusruudut sijoituvat ennalta määrättyihin kohtiin. Perusalan käyttäminen ei sovellu vesienpalaustuksen seurantaan, sillä se on suunniteltu ojitettujen soiden ennallistamisen seurantaan ja perustuu tukittavaan ojaverkostoon. (Seppä ym. 1993, 57–59; Kotiaho ym. 2015, 150–151.)

Puustoisella ennallistamisalalla puuston sukessiota seurataan mittaamalla puusto perusalalta. Taimien ja pensaiden sukessiota mitataan perusalalle sijoitettavien 4 x 4 metrin taimialaruutujen avulla. Taimialat sijoittuvat perusalan nurkkiin ja sarkaan nähden poikittaisten pitkien sivujen keskelle. Kenttä- ja pohjakerroksen sukessiota mitataan 1 x 1 metrin kasvillisuusruutujen avulla. Perusalaa käytettäessä ruudut sijoitetaan taimiruutujen nurkkiin. (Seppä ym. 1993, 59–61.)

### 3.5 Ennallistettujen soiden seurannan kehittäminen

Soiden ennallistamisen seuranta pyritään kehittämään ennallistamiskohteiden lisääntyessä ja toimenpidevalikoiman monipuolistuessa. Ennallistettujen soiden tilan seurannan kehittäminen -projektissa kehitetään perinteisen ennallistamisen seuranta ja luodaan vesienpalautuskohteille seurantakokonaisuus. Projektia toteutetaan useiden organisaatioiden yhteistyöllä ja se on Metsähallituksen luontopalveluiden koordinoima. (Luonnonvarakeskus 2021.)

Projektissa kehitetään kasviruutujen avulla tehtävää kasvillisuuden seuranta soveltuvaksi vesienpalautuskohteille (Luonnonvarakeskus 2021). Vedenpinnan tason vaihtelua voidaan mitata manuaalisten mittausputkien tai veden pinnan tasoa mittaavien pinnankorkeusanturien avulla. Pinnankorkeusanturit ovat patterilla toimivia laitteita, joiden mittaus perustuu hydrostaattiseen paineeseen (Wika Finland Oy 2021). Automaattisesti vedenpinnan tason muutoksia tallentavia pinnankorkeusantureita on käytetty jo aiemmin ennallistamisen seurannassa. Projektissa pinnankorkeusantureiden käyttöä yhdistetään manuaalisesti mitattaviin vesiputkiin, jotta saadaan kehitettyä resurssit huomioiden aiempaa laajempi vedenpinnan tason seuranta vesienpalautuskohteella. (Hyvärinen, & Aapala 2009, 55; Ikkala 2021; Luonnonvarakeskus 2021.)

Perinteisesti maastossa jalkaisin tehtävää hoitoseuranta pyritään kehittämään. Projektissa tarkastellaan kaukokartoitusaineistojen hyödyntämistä toimenpiteiden vaikutusten seurannassa. Kaukokartoitusaineistoina käytetään dronекuvia sekä satelliittiaineistoja. (Luonnonvarakeskus 2021.)

Dronекuvien avulla voidaan tarkastella hoitoseurannassa käytettäviä muuttujia, joita ovat suolle tuleva vesi, veden liikkeet suolla, vedenpinnan taso, kasvillisuus sekä puusto ja taimettuminen. Dronекuvaamisen avulla tehtävää seuranta voidaan hyödyntää laajojen ennallistamisalueiden seurannan tehostamisessa ja vaikeakulkuisten kohteiden tarkastelussa. Erityisesti onnistuneilla vesienpalautuskohteilla kulkeminen voi olla haastavaa runsaan vesimäärän vuoksi. Maastossa toteutettavaan hoitoseurantaan verrattuna kaukokartoitusaineistoja käyttämällä on mahdollista verrata toimenpiteiden vaikutusten laajuutta ja voimakkuutta. (Hyvärinen, & Aapala 2009, 42–48; Luonnonvarakeskus 2021.)

Näkyvän valon dronekuvista voidaan itse kuvan tarkastelun lisäksi tuottaa erilaisia malleja tarkasteluun. Maastonkorkeusmalli on maanpinnan korkeutta kuvaava rasteritaso. Käytetyistä malleista Maanmittauslaitoksen maastomalli on tällainen. (Maanmittauslaitos 2021.)

Maanpintamalli kuvaa pintaa kasvillisuuden ja muiden objektien pinnalla. Mallista ei ole poistettu kasvillisuuden vaikutusta, joten pinta muodostuu siinä kasvillisuuden pinnalle. Mallin pinta mukailee myös vedenpintaa, sillä näkyvän valon dronekuvassa heijastus muodostuu veden pinnalta. Käytetyistä malleista drone-mallit ovat tällaisia. (Maanmittauslaitos 2021.)

## 4 KEHITTÄMISTYÖN TOTEUTUS

### 4.1 Tavoite

Opinnäytetyö on osa soiden ennallistamisen seurannan kehittämistyötä. Soiden tilaa on tutkittu kasvillisuus- ja hydrologisilla seurannoilla, mikä on hidasta ja vaatii paljon resursseja (Hyvärinen & Aapala 2009, 41).

Erityyppisillä ja eri tavalla muuttuneilla soilla tarvitaan monenlaisia menetelmiä soiden ennallistamiseksi. Soiden ennallistamisen seuranta on kuitenkin tehty pääasiassa perinteisillä ojitusalueiden ennallistamiskohteilla. Ennallistamisen hoito- ja kasvillisuusseuranta vaativat paljon aikaa ja liikkumista suolla. Dronella alue voidaan kuvata suon laidalta käsin. Etuna on myös helppo dokumentointi, sillä dronekuvausta ja siitä johdettuja malleja hyödynnettäessä voidaan kuvamateriaali tallentaa ja siihen palata myöhemmin.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään dronekuvasta tuotetun maastomallin hyödyntämiseen pintaveden liikkeiden ja veden kertymisen mallintamisessa. Käytetty maastomalli on tuotettu näkyvän valon dronekuvasta kolmiulotteisen pistepilven avulla.

Opinnäytetyössä kehitettiin menetelmää droneaineistojen käsittelyyn ja vertailuun. Tavoitteena oli löytää aineistojen käsittelyyn menetelmä, jota voidaan hyödyntää vesienpalautuskohteiden seurannassa. Menetelmällä haluttiin verrata pintaveden liikkeitä ja veden kertymistä suolla vesienpalauttamisen eri vaiheissa.

Opinnäytetyössä arvioitiin dronekuvaamisella tuotettujen aineistojen soveltuvuutta vesienpalautuskohteiden seurantaan. Tarkastelussa oli näkyvän valon droneaineistosta tuotettu maastomalli. Sen pohjalta muodostettiin virtausverkoja ja kosteusindeksejä. Eri tavoin laskettuja malleja verrattiin keskenään sekä Maanmittauslaitoksen kahden metrin korkeusmallista laskettuihin malleihin.

## 4.2 Aineisto

Opinnäytetyössä tarkasteltiin Sonkajärvellä sijaitsevaa Vahtisuon kohdetta, jolle on tehty vesienpalautus vuonna 2018. Lisäksi tarkastelua tehtiin Vihtanevalla Pyhäjärvellä ja Kurkinevalla Pyhännällä Maanmittauslaitoksen aineistoista. Kohteita ei ole dronekuvattu ennen vesienpalautusta.

Tarkastelussa käytettiin vesienpalautusta edeltävää tilannetta kuvaavana aineistona Maanmittauslaitoksen avointa maastomallia ja ilmakuvaa. Ne on tuotettu Vahtisuon, Vihtanevan ja Kurkinevan kohteilla ennen ennallistamistoimia.

Vesienpalautuksen jälkeistä tilaa tarkasteltiin dronekuvatusta aineistosta. Tarkastelussa käytettiin RGB-kameralla kuvattua aineistoa ja siitä johdettua maastomallia. Dronekuvauksessa käytettiin suurta kvaalimitystä ja kuvat yhdistettiin kolmiulotteiseksi malliksi Structure-from-Motion-menetelmällä, jossa algoritmi etsii yhteisiä piirteitä naapurikuvista.

Tarkastelussa käytettiin kolmea aineistoa:

- droneaineisto Vahtisuon tutkimusalueelta 25.5.2021 ja 11.8.2021
- droneaineisto Vahtisuon isolta alueelta 11.8.2021
- laserkeilausaineistosta 23.4.2014 tuotettu kahden metri korkeusmalli ja ilmakuvat 2017.

## 4.3 Menetelmät

### 4.3.1 SAGA GIS - hydrologisten menetelmien toimintaperiaatteet

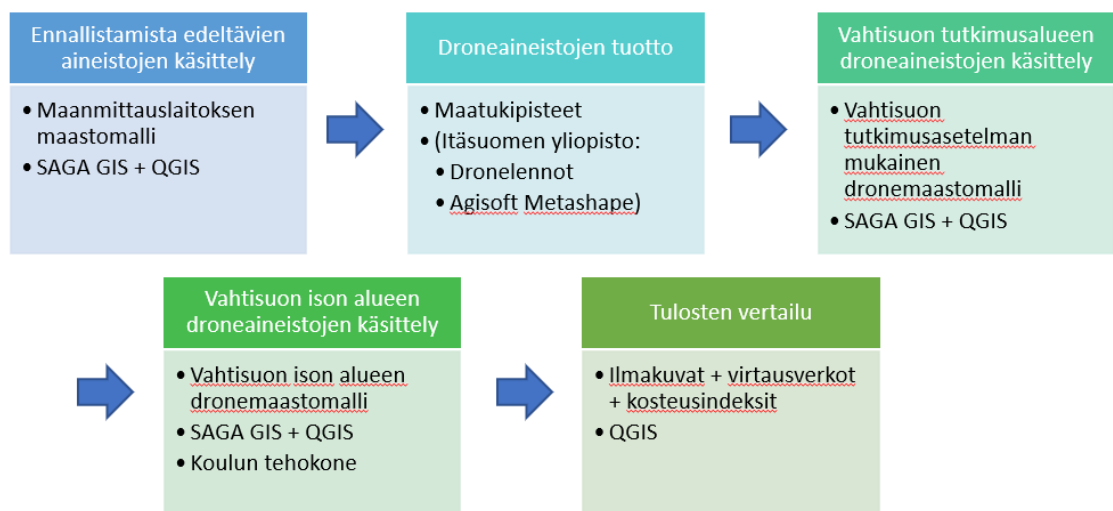
Kuoppien täytön menetelmä Planchon/Darboux, 2001 täyttää kuopat ensin yli ja laskee pintaa vähitellen. Virtausverkkojen laskemiseen käytetään vinottaista kuoppien täyttöä, jotta mallit osaavat jatkaa virtausta. Menetelmä nopeuttaa kuoppien täyttöä verrattuna perinteiseen täyttöön, jossa kuopat täytetään vähitellen. (Planchon & Darboux 2002.) Kuoppien täytön menetelmä Wang & Liu käyttää pienimmän kustannuksen menetelmää, jonka avulla nopeutetaan kuoppien täyttöä (Wang & Liu 2007).

Flow Tracing -virtaamankertymämenetelmässä jokaisen solun virtaama jäljitetään, kunnes virtaus päättyy mallin reunaan tai kuoppaan (SAGA GIS 2021a). Mass-Flux Method on vielä keskeneräinen (SAGA GIS 2021b). Recursive-menetelmä prosessoi solut, joista on nousu viereiseen soluun. Siinä virtaus luodaan alhaalta ylöspäin. (SAGA GIS 2021c.) Top-Down-menetelmä prosessoi solut korkeimmasta matalimpaan (SAGA GIS 2021d).

Kosteusindeksien laskemiseen käytettävät Basic Terrain Analysis - ja One Step -menetelmät ovat menetelmien ketjuja, jotka ovat pitkälti vakioituja. Käyttäjä voi vaikuttaa rinteiden laskemisen tapaan. SAGA-kosteusindeksi toimii muutoin samoin kuin edellinen, mutta valuma-alue lasketaan eri tavoin. Siinä tasaisessa laaksossa solut saavat suuremman kosteusarvon kuin Basic Terrain Analysis - ja One Step -menetelmillä. Näin se kuvaa todellista kosteustilannetta realistisemmin. (Mattivi, Franci, Lambertini, & Bitelli 2019.)

#### 4.3.2 Aineiston käsittely

Opinnäytetyön prosessi voidaan jakaa kolmeen aineistojen käsittelyn osioon, droneaineistojen tuottamiseen ja tulosten vertailuun. Kuviossa 1. on esitetty prosessin etenemisen vaiheet ja niissä käytetyt ohjelmat sekä aineistot.



Kuvio 1. Prosessin eteneminen

Vahtisuon tarkastelu alkoi ennen vesien palauttamista tuotettujen kaukokartoitus-aineistojen tarkastelulla. Laserkeilauksella tuotetusta korkeusmallista ja ilmakuvista pyrittiin määrittämään toimenpiteitä edeltävä tilanne suon märkydessä ja veden liikkeessä.

Eri SAGA GIS -laskenta-algoritmien toimivuutta testattiin kolmella kohteella, joilta on saatavilla Maanmittauslaitoksen korkeusmalli ja ilmakuva ennen vesienpalautusta. Nämä kohteet ovat Vahtisuo, Vihtaneva ja Kurkineva. Vahtisuon vertailussa käytettävät mallit laskettiin keskenään samoilla aluerajauksilla.

Timo Kumpulan tutkimusryhmä Itä-Suomen yliopistosta kuvasi Vahtisuota dronella kaksi kertaa maastokauden 2021 aikana. Kuvauksessa käytettiin maatikupisteitä varmistamaan mallinnuksen tarkkuus. Näkyvän valon dronekuvasta muodostettiin kolmiulotteinen pistepilviaineisto siihen tarkoitetulla ohjelmalla. Kuvatut aineistot käsiteltiin poistaen häiriötekijöitä pistepilvestä, josta johdettiin korkeusmalli. Korkeusmallista laskettiin virtausverkko ja märkyyssindeksi, joista määritettiin vedenpinnan liikkeitä ja veden kertymistä.

Dronekuvat käsitteli kuvausryhmän ammattilainen Itä-Suomen yliopistosta kuvankäsittelyn erikoisohjelmalla Agisoft Metashape. Paikkatietoaineistoja, kuten korkeusmallia ja ilmakuvaa käsiteltiin opinnäytetyössä QGIS- ja SAGA GIS -ohjelmilla. QGIS:sta käytössä oli englanninkielinen versio 3.16.

Dronemaastomalleille testattiin SAGA GIS -hydrologia prosessointeja. Prosessointi aloitettiin korkeusmallin esikäsittelystä, jossa testattiin Planchon/Darboux, 2001 - ja Wang & Liu - kuoppien täyttö menetelmiä. Kummastakin esikäsittelystä tasosta luotiin virtausverkkoja käyttäen Flow Tracing -, Mass-Flux Method -, QM of ESP -, Recursive- ja Top-Down-prosesseja. Kosteusindeksit luotiin samoin molemmista esikäsitellyistä tasoista käyttäen SAGA-kosteusindeksiä ja Basic Terrain Analysis -menetelmää. Droneaineistojen käsittelyssä käytettiin One Step -menetelmää, joka vastaa Basic Terrain Analysis -menetelmää. Prosessoinnissa käytetyt sisäiset valinnat esitetään liitteessä 3. Vettä keräävät märät alueet määritettiin QGIS-ohjelmalla erottaen kosteusindeksistä rimpialueet soveltuva arvo haarukoiden.



Aineistoja prosessoitaessa saatuja malleja verrattiin ilmakuvaan ja arvioitiin silmämääräisesti mallin kuvaavuutta. Tasoista pyrittiin löytämään tarkoitukseen soveltuvia menetelmiä ja raportoitiin käyttötarkoitukseen soveltumattomia. Mallien todettiin olevan toimivia, mikäli virtausverkot muodostuivat rimpirakennetta vastaan, siten kuin vesi todellisuudessa kulkeutuu suon rakenteessa. Kosteusindeksissä toimivaksi arvioiminen perustui mallin kosteimmiksi luokittelemien alueiden osuminen ilmakuvassa näkyviin rimpialueisiin silmämääräisellä tarkastelulla. Mallien tuli vastata ilmakuvia suurelta osin. Eri aineistoista saatuja alueita ja virtausverkkoja pyrittiin vertaamaan keskenään ja havainnoimaan alueessa tapahtuneita muutoksia.

Aineistojen käsittely suurelta alueelta harventamattomana osoittautui olevan raskasta ja vaati aikaa ja tehokkaan tietokoneen. Jotta aineistojen käsittely olisi jatkossa mahdollista toteuttaa resurssitehokkaasti, haarukoitiin riittävän tarkkojen kosteusindeksien tuottamista varten sopiva pikselikoko. Soveltuvaa kokoa haettiin tutkimusasetelman mukaista mallia harventamalla. Harventaminen tehtiin käyttäen QGIS-ohjelman SAGA-lisäosan Resampling-työkalua. Taulukossa 1 esitetään työkalun sisäiset valinnat. Korkeusmalli harvennettiin 0,3 metrin, 0,5 metrin ja yhden metrin resoluutioon. Eri pikselikokoihin harvennetuista malleista prosessoitiin muilla malleilla toimivaksi osoittautuneita menetelmiä ja verrattiin niitä muihin tuotettuihin tasoihin ja ilmakuvaan. Tavoitteena oli löytää riittävän tarkkaan aluetta kuvaava pikselikoko, jota voidaan kuitenkin käyttää yleistyksen jälkeen tasojen prosessointiin pääasiallisesti käytössä olleella tietokoneella.

Taulukko 1. Resampling-menetelmän sisäiset valinnat

Preserve Data Type	valittu
Upscaling Method	[5] Mean Value (cell area Weighted)
Downscaling Method	[3] B-Spline Interpolation
Fit	[0] nodes

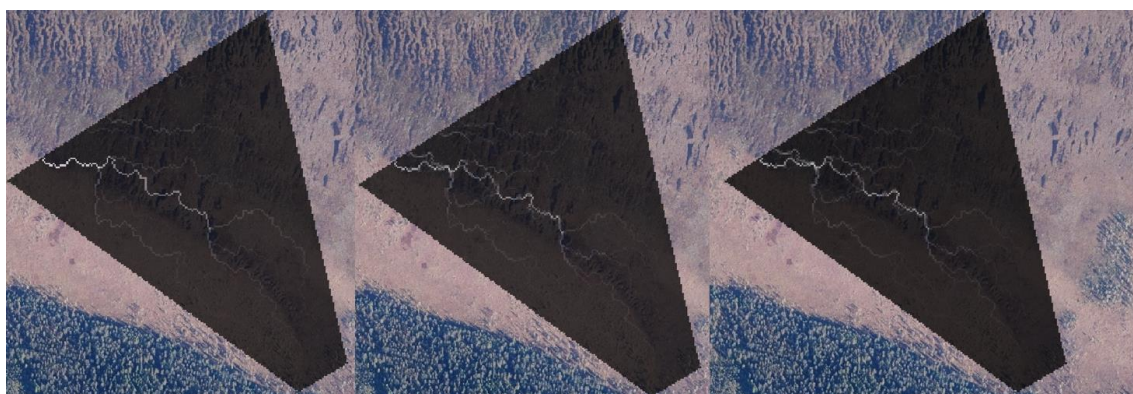
Ison alueen aineistot prosessoitiin yleistettyinä sopivaan pikselikokoon. Menetelmistä rajattiin pois muilla aineistoilla selkeästi tarkoitukseen soveltumattomaksi osoittautuneet menetelmät. Maanmittauslaitoksen maastomallista rajattiin ison alueen droneaineistoa vastaava alue ja sille tehtiin samat prosessoinnit kuin isolle droneaineistolle.

## 5 TYÖN TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

### 5.1 Maanmittauslaitoksen aineistot

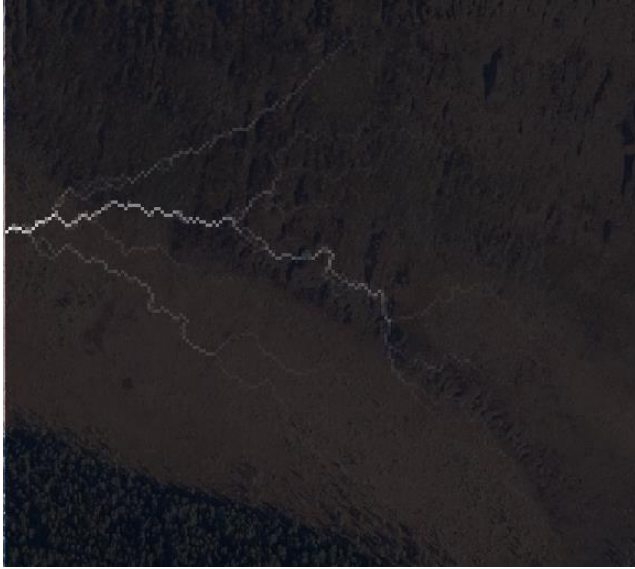
Maanmittauslaitoksen aineistoa käsiteltäessä esikäsittelyn työkaluna toimi parhaiten kuoppien täyttö Planchon/Darboux, 2001. Kuoppien täytön menetelmä Wang & Liu toimi vahtisuolla, mutta ei muualla. Muodostuneet virtausverkot ja kosteusindeksit eivät olleet kuvaavia. Ilmakuvaan verrattaessa virtausverkot eivät kulkeneet rimpirakenteen mukaisesti vaan siihen nähden vinottain. Kosteusindekseissä suuri osa alueesta näyttäytyi tasaisesti vettä kerryttävänä, eikä rimpirakenteet näyttäneet vaikuttavan veden kertymiseen.

Virtausverkon laskemiseen käytettiin virtauksen kertymis -prosesseja, jotka laskettiin onnistuneesti käyttäen Planchon/Darboux, 2001 menetelmällä esikäsittelyjä tasoja. Järkevän näköisiä virtausverkkoja antoivat Flow Tracing, Top-Down ja Recursive (Kuvio 2). Näissä virtausverkko muodostui ilmakuvan rimpirakennetta vastaavaksi. Flow Tracing -prosessilla Vahtisuon ja Kurkinevan virtausverkot näyttivät yksinkertaisilta ja Vihtanevan virtausverkko yksityiskohtaisemmalta. Recursive- ja Top-Down-prosesseilla ei ollut virtausverkon tarkkuudessa merkittävää eroa kohteiden välillä.



Kuvio 2. Flow Accumulation Flow Tracing, Top-Down ja Recursive (Planchon/Darboux, 2001) Vahtisuo (Maanmittauslaitos)

QM of ESP -prosessilla virtausverkot olivat sekavia, eivätkä sopineet todellisen virtaaman kuvaamiseen. Kuviossa 3 on esitetty QM of ESP -prosessilla tuotettu virtausverkko Vahtisuolta tutkimusrajan alueelta ennen toimenpiteitä.



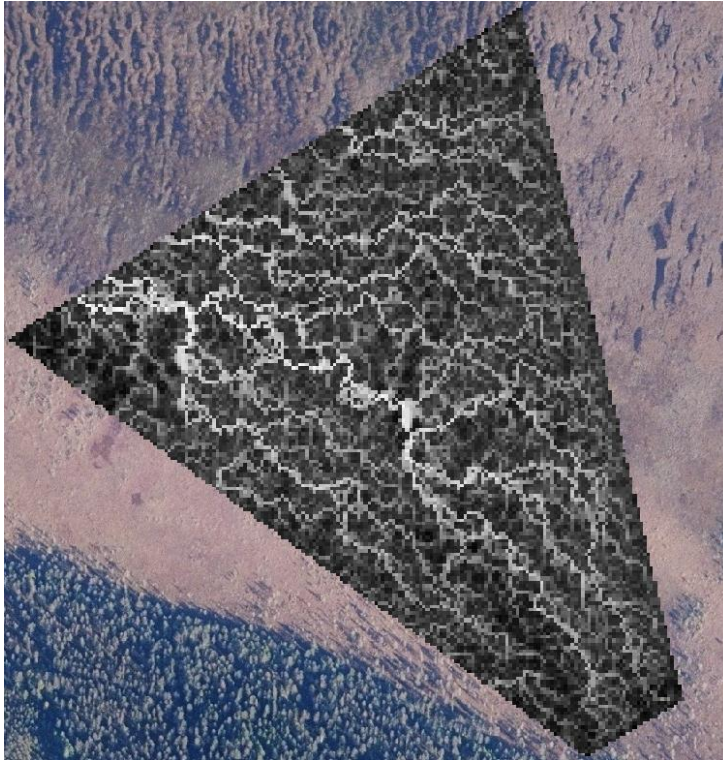
Kuvio 3. Flow Accumulation QM of ESP (Planchon/Darboux, 2001) Vahtisuo (Maanmittauslaitos)

Mass-Flux Methodilla virtaama näytti päätyvän ilmakuvassa kuivalta näyttävälle ympäristöön korkeammalle mäntäälle. Kuviossa 4 on esitetty Mass-Flux Method -prosessilla tuotettu virtausverkko Vahtisuoilta tutkimusrajausten alueelta ennen toimenpiteitä.



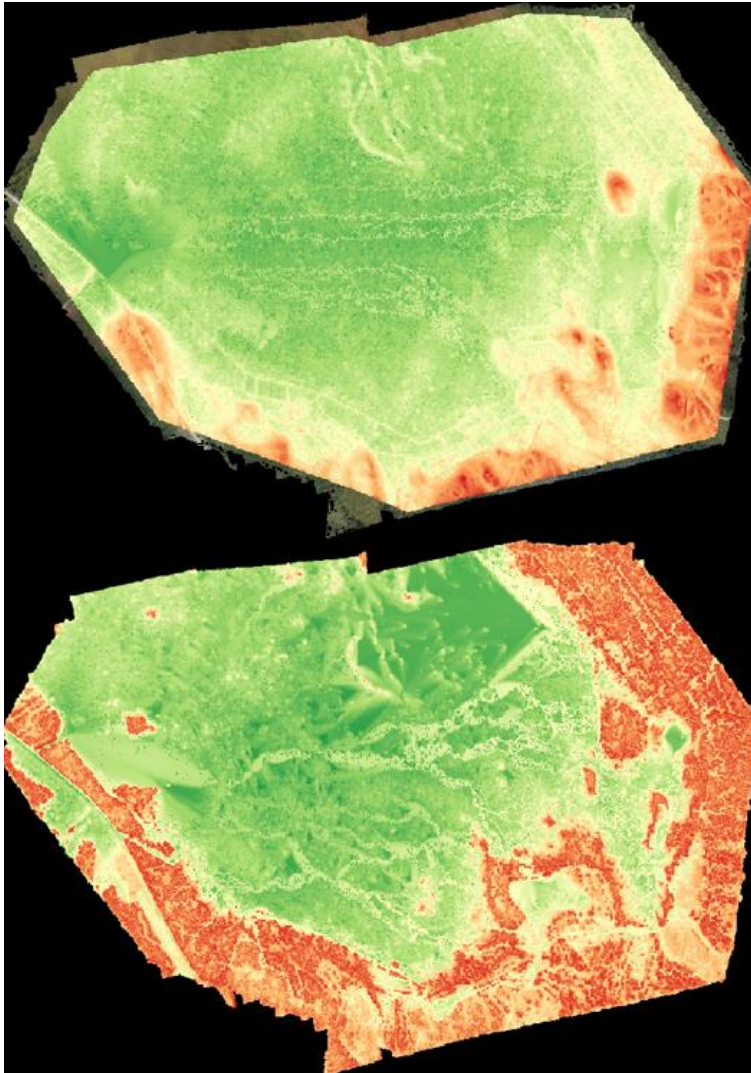
Kuvio 4. Flow Accumulation Mass-Flux Method (Planchon/Darboux, 2001) Vahtisuo (Maanmittauslaitos)

Kosteusindeksi laskettiin kahdella eri prosessilla: SAGA Wetness Index ja Basic Terrain Analysis. Molemmat prosessit laskettiin käyttäen Planchon/Darboux, 2001 - sekä Wang & Liu - prosessoituja tasoja. Mielekkäitä tuloksia saatiin SAGA-kosteusindeksillä kaikilla kohteilla Planchon/Darboux, 2001 - prosessoidulla tasolla. Basic Terrain Analysis (Planchon/Darboux, 2001) -kosteusindeksit näyttivät siltä ettei märeät kohdat osuneet alimmille pinnoille (Kuvio 5).



Kuvio 5. Basic Terrain Analysis (Planchon/Darboux, 2001) Vahtisuo (Maanmittauslaitos)

Kahden metrin pikselikoko oli kuitenkin liian suuri, jotta kosteusindekseistä olisi voitu tehdä luotettavasti tulkintoja tutkimusasetelman mukaisella rajauksella (Liite 1). Isommalla alueella saatiin käsitys ojen kuivattavasta vaikutuksesta, sillä ojalinjosten reunat näyttivät ympäröivää aluetta kuivemmilta. Wang & Liu - esikäsitellyillä tasoilla näytti isoille alueille muodostuvan suuria tasaisesti vettä kerääviä alueita, eikä näillä näkynyt rimpirakenteen tuomia todellisia eroja veden kertymiseen. Kuviossa 6 tumma vihreä tarkoittaa suurinta kosteusarvoa ja tumma punainen pienintä.



Kuvio 6. SAGA Wetness Index (Planchon/Darboux, 2001) ja SAGA Wetness Index (Wang & Liu) Vahtisuo Maanmittauslaitoksen aineistosta

Kosteusindekseistä haarukoitiin QGIS-ohjelmistolla arvoja, joilla voidaan rajata rimpialueet. Arvoja haarukoitiin kaikista tutkimusrajauksella lasketuista kosteusindekseistä. Ilmakuvaan verrattaessa SAGA Wetness Indexillä lasketuista tasoista onnistuttiin löytämään arvo, joka rajasi rimpialueet. Rajaukset eivät olleet tarkkoja ja soveltuvat arvot olivat kohteiden välillä poikkeavat. Basic Terrain Analysis -prosessilla lasketuista tasoista ei löytynyt arvoa, joka rajasi rimpialueet.

Toimivat tasot on merkitty taulukkoon 2 x-merkillä. Lisäksi taulukossa on esitetty soveltuvat kosteusindeksien raja-arvot.

Taulukko 2. SAGA GIS -prosessien toimivuus Maanmittauslaitoksen aineistolla  
(x on toimiva, - ei toimiva)

	Vahtisuo	Kurkineva	Vihtaneva
<b>Fill Sinks</b>			
Planchon/Darboux, 2001	x	x	x
Wang & Liu	x	-	-
<b>Flow Accumulation</b>			
Flow Tracing (Planchon/Darboux, 2001)	x	x	x
Flow Tracing (Wang & Liu)	x	-	-
Mass-Flux Method (Planchon/Darboux, 2001)	-	-	-
Mass-Flux Method (Wang & Liu)	-	-	-
QM of ESP (Planchon/Darboux, 2001)	-	-	-
QM of ESP (Wang & Liu)	-	-	-
Recursive (Planchon/Darboux, 2001)	x	x	x
Recursive (Wang & Liu)	x	-	-
Top-Down (Planchon/Darboux, 2001)	x	x	x
Top-Down (Wang & Liu)	x	-	-
<b>Wetness Index raja-arvo</b>			
SAGA Wetness Index (Planchon/Darboux, 2001)	>10	>9,5	>9,8
SAGA Wetness Index (Wang & Liu)	-	-	-
Basic Terrain Analysis – Topographig Wetness Index (Planchon/Darboux, 2001)	-	-	-
Basic Terrain Analysis – Topographig Wetness Index (Wang & Liu)	-	-	-

## 5.2 Tutkimusasetelman mukaiset 2021 kuvatut droneaineistot

Droneaineistot ovat Maanmittauslaitoksen aineistoja huomattavasti tarkempia ja niiden prosessointi on aikaa vievää. Aineistot rajattiin Vahtisuolle tutkimusasetelman mukaisesti (Liite 1).

Fill Sinks (Wang & Liu) -prosessi toimi parhaiten preprocessing-työkaluna keväällä 25.5.2021 ja loppukesällä 11.8.2021 kuvatuissa aineistoissa. Fill Sinks (Planchon/Darboux, 2001) toimi hitaasti, eikä soveltunut virtausverkkojen tuottamiseen kovin hyvin, sillä virtausverkoista tuli hyvin pienipiirteisiä kuvauksia siitä, miten vesi laskeutuu mättäältä rimpeen.

Virtausverkkoja laskettaessa käytettiin Fill Sinks (Planchon/Darboux, 2001) - sekä Fill Sinks (Wang & Liu) - prosessoituja tasoja. Testattavia Flow Accumulation -prosesseja oli kuusi. Prosessit olivat muutoin samat kuin Maanmittauslaitoksen aineistoilla, mutta lisänä oli uudessa SAGA GIS -versiossa mukana oleva Flow Accumulation (Parallelizable). Koko aluetta tarkasteltaessa silmämääräisesti selkeitä virtausverkkoja saatiin Fill Sinks (Wang & Liu) - prosessoiduilla datoilta Flow Accumulation (Parallelizable) - ja Flow Accumulation (Top-Down) -prosesseilla. Flow Tracing -prosessilla Fill Sinks (Wang & Liu) - prosessoidusta mallista saatiin aikaan pienipiirteinen virtausverkkomalli, joka suuressa kuvassa näyttää erittäin sekavalta. Kuviossa 7 on lähikuvassa Flow Tracing (Wang & Liu) -virtausverkko ja dronekuva Vahtisuolta 11.8.2021.



Kuvio 7. Flow Accumulation Flow Tracing (Wang & Liu) lähelle tarkennettuna



Silmämääräisesti arvioituna tarkoitukseen toimimattomia malleja olivat Recursive ja Mass-Flux Method, sekä Flow Tracing, Top-Down ja Parallelizable Planchon/Darboux, 2001 - kuoppien täytön prosessilla. SAGA GIS kaatui, kun seuraavia ajoja tehtiin: QM of ESP, Mass-Flux Method (Wang & Liu), Recursive (Wang & Liu) 11.8.2021 kuvatusa aineistosta. Syy miksi prosessit eivät menneet läpi ei selvinnyt, sillä SAGA GIS kaatui aina näiden prosessien käynnistyttyä. Arvioin syyn olevan riittämätön tietokoneen keskusmuisti (16 GB).

Kosteusindeksien laskennassa käytettiin kolmea prosessia: SAGA Wetness Index, Basic Terrain Analysis ja uudesta SAGA GIS -versiosta löytyvä One Step. SAGA Wetness Index voidaan laskea Fill Sinks (Planchon/Darboux, 2001) - sekä Fill Sinks (Wang & Liu) - prosessoiduista tasoista. Basic Terrain Analysis ja One Step menivät läpi vain Fill Sinks (Wang & Liu) - prosessoidulla tasolla. Basic Terrain Analysis - ja One Step -prosessien lopputuloksena saadut tasot ovat identtiset.

Kosteusindekseistä haarukoitiin QGIS-ohjelmistolla arvoja, jotka rajaavat rimpialueet. Basic Terrain Analysis ja One Step Wetness Indexeistä ei voitu määrittää silmämääräisesti rimpialueet rajaavaa arvoa. Fill Sinks (Planchon/Darboux, 2001) - prosessoitu malli toimi silmämääräisesti paremmin rimpialueiden rajaamisessa SAGA Wetness Index -prosessilla. Molemmissa rajatuissa aineistoissa rimpialueen raja-arvoksi määritettiin 5,1. Fill Sinks (Wang & Liu) - prosessoidusta tasosta SAGA Wetness Indexin rimpien raja-arvoiksi määritettiin 25.5.2021 kuvatussa aineistossa 7,5 ja 11.8.2021 kuvatussa aineistossa 6. Rajaukset eivät olleet kovin hyviä, sillä niissä esiintyi suoria linjoja, joita maastossa ei todellisuudessa ole.

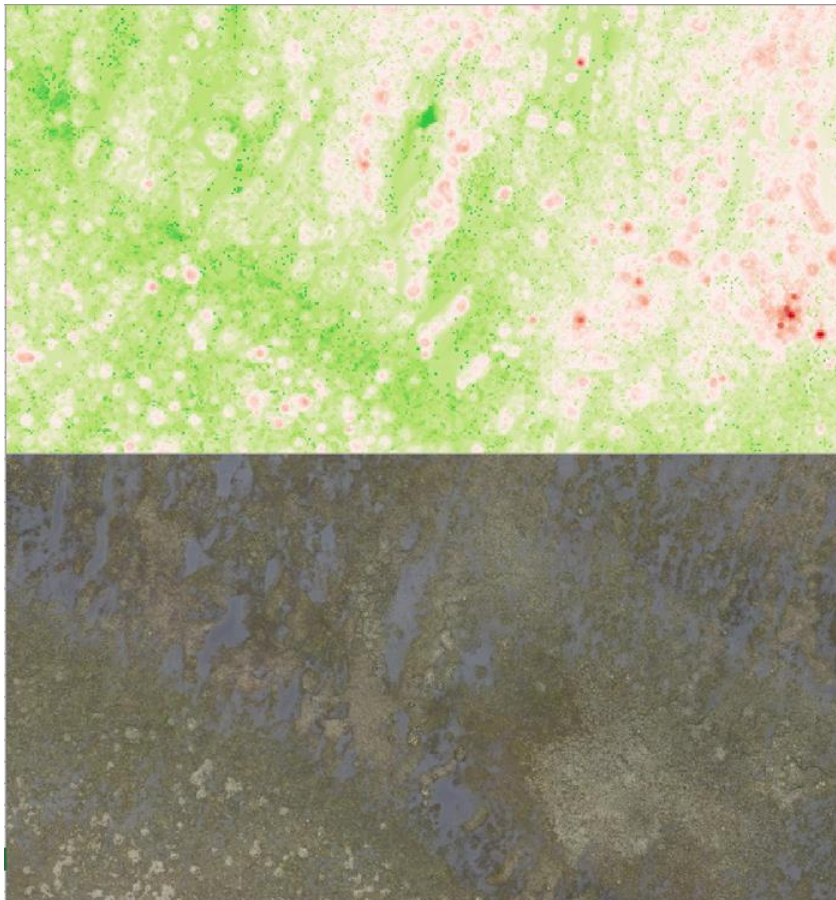
Toimivat tasot on merkitty liitteen 6 taulukkoon x-merkillä. Lisäksi taulukossa on esitetty soveltuvat kosteusindeksien raja-arvot.

### 5.3 Dronemaastomallista yleistetyt mallit

Jotta dronella kuvattuja aineistoja ja Maanmittauslaitoksen maastomallista tuotettuja aineistoja voitaisiin verrata keskenään, harvennettiin dronemaastomallit samaan kahden metrin pikselikokoon kuin Maanmittauslaitoksen aineisto. Harvennetuille malleille testattiin samoja prosesseja kuin harventamattomille.

Toimivat tasot on merkitty liitteen 6 taulukkaan x-merkillä. Lisäksi taulukossa on esitetty soveltuvat kosteusindeksien raja-arvot.

Pikselikoon haarukoinnissa soveltuvaksi arvoksi osoittautui 0,5 metrin resoluutio. Resoluutio soveltuu hyvin kosteusindeksien tarkasteluun. Tätä suuremmalla resoluutiolla havaittiin kosteusindeksien vertailussa liiallista epätarkkuutta kosteusmallin rakenteessa. Silmämääräisesti voidaan 0,5 metrin resoluutiolla erottaa kosteita ja märkiä alueita molemmilla Fill Sinks (Planchon/Darboux, 2001) - prosessoiduilla tasoilla: One Step ja SAGA Wetness Index. Rimpialueiden rajaamiseen soveltuvaa arvoa ei kuitenkaan löydy One Step -tasosta. SAGA Wetness Indexillä sopiva märät alueet rajaava arvo on yli kahdeksan. Kuviossa 8 on lähikuvassa SAGA Wetness Index (Planchon/Darboux, 2001) -kosteusindeksi ja saman alueen dronekuva 25.5.2021. Kosteusindeksissä tumma vihreä tarkoittaa suurinta kosteusarvoa, tumma punainen pienintä.



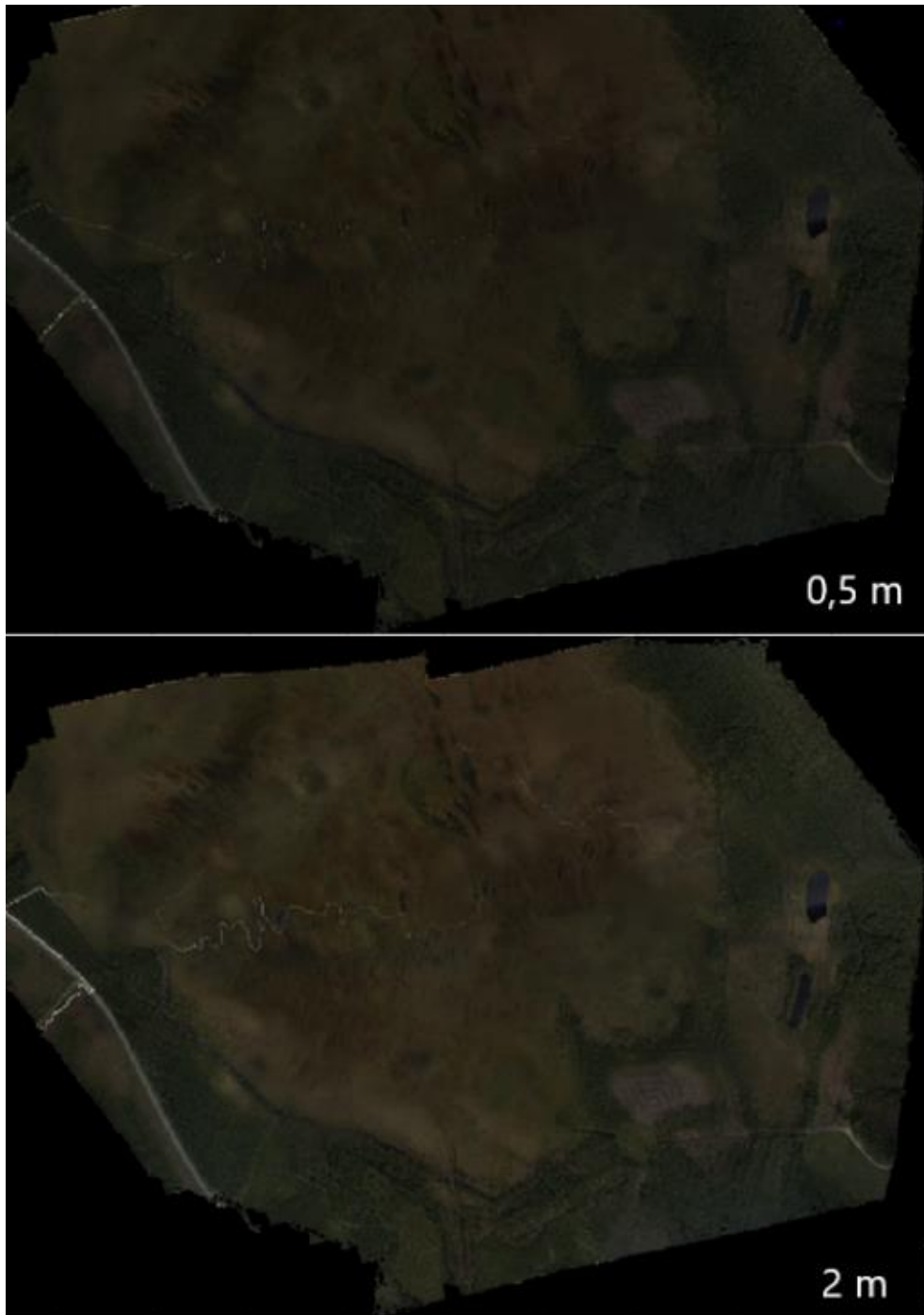
Kuvio 8. SAGA Wetness Index (Planchon/Darboux, 2001) lähelle tarkennettuna

Harvennetulla mallilla muilla prosessointitavoilla toimivat virtausverkot näyttävät kaikki melko järkeviltä. Kaikissa virtausverkon prosesseissa on kuitenkin eroavaisuuksia. Testattuja virtausverkkojen prosesseja ovat Flow Tracing (Planchon/Darboux, 2001), Flow Tracing (Wang & Liu), Top-Down (Planchon/Darboux, 2001) ja Top-Down (Wang & Liu). Tarkkuudeltaan ja selkeydeltään visuaalisesti parhaat virtausverkot saadaan tuotettua Flow Accumulation Top-Down (Planchon/Darboux, 2001) -prosessilla 0,5 metrin resoluutiolla.

#### 5.4 Vuonna 2021 kuvattu iso aineisto

Suuren aineiston käsittely kotikoneella ei onnistunut siten, että saadaan verrattavia tuloksia. Koulun tehokonehuokassa aineistojen yleistäminen 0,5 ja kahden metrin pikselikokoon onnistui ja näillä tasoilla prosessointi tehtiin koulun tehokkaammalla tietokoneella. Isolla aineistolla kokeiltiin muilla aineistoilla toimivia prosesseja. Isosta aineistosta tehtiin prosessointia 0,5 ja kahden metrin pikselikokoon yleistetyistä tasoista. Yleistämätön taso oli liian raskas prosessoitavaksi myös koulun tehotietokoneella.

Muilla aineistoilla toimivat prosessit vaikuttavat silmämääräisesti toimivan isolla alueella samoilla pikselikoilla kuin pienemmällä alueellakin. Virtausverkot ovat yksinkertaisia, eikä tutkimusalueen rajauksella prosessoiduissa tasoissa näkyvät virtausverkot erotu isolla aineistolla. Mitä pienemmällä rasterikoolla aineistoa käsitellään, sitä heikommin suuren alueen virtausverkot erottuvat. Kuviossa 9 on 11.8.2021 kuvatusa isosta aineistosta 0,5 metrin ja 2 metrin pikselikokoon harvennetusta maastomallista tuotettu Top-Down-virtausverkko, jossa esikäsittelynä on Planchon/Darboux, 2001. Kuviosta nähdään 0,5 metrin rasterilla virtausverkon erottuvan heikommin kuin kahden metrin rasterilla. Kahden metrin pikselikoolla prosessoiduilla virtausverkoilla erottuu hyvin yksinkertaistettu virtaama isolla alueella.



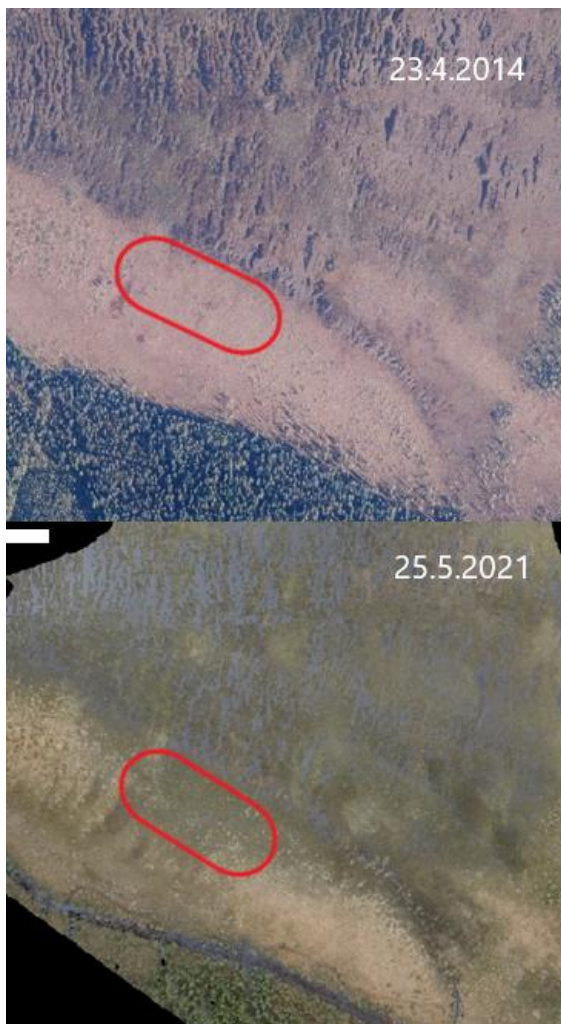
Kuvio 9. Top-Down-virtausverkko (Planchon/Darboux, 2001) 0,5 metrin ja 2 metrin rasterilla

Kosteusindeksejä tarkasteltaessa huomataan 0,5 metrin pikselikoon olevan riittävä silmämääräiseen tarkasteluun. Kahden metrin resoluutiolla kosteusindeksi näyttää siltä, että tutkimusasetelman alueen virtaaman kohdat ovat ympäristöä kuivempia (Liite 8). Toki märimmällä alueella ei ole todellisuudessa kuivia puroja.

## 5.5 Tulosten vertailu

Ilmakuvia verrattaessa huomataan eroja kaikkien kuvien välillä (Liite 2). Alkukesällä 25.5.2021 ja loppukesällä 11.8.2021 kuvattujen ilmakuviin välillä ero alueen kosteudessa ja kasvillisuudessa on selkeä. Keväällä runsaan veden täyttämiä alueita on enemmän kuin loppukesällä. Kevääseen verrattuna loppukesällä rimpien osuus pinta-alasta on pienempi ja kasvillisuus tasoittaa kuivien ja märkien alueiden kontrastia ilmakuvasssa.

Verrattaessa Maanmittauslaitoksen 23.4.2014 kuvattua ilmakuva 25.5.2021 kuvattuun dronekuvaan tutkimusalueen länsiosassa huomataan kuvassa alue, joka on selkeästi vettä. Vettä alue on merkitty kuviossa 10 punaisella. Myös vedenjohto-ojan päädystä koilliseen Maanmittauslaitoksen ilmakuvasa näkyvä kuiva alue on selkeästi pienempi dronekuvissa.



Kuvio 10. Vettä alue

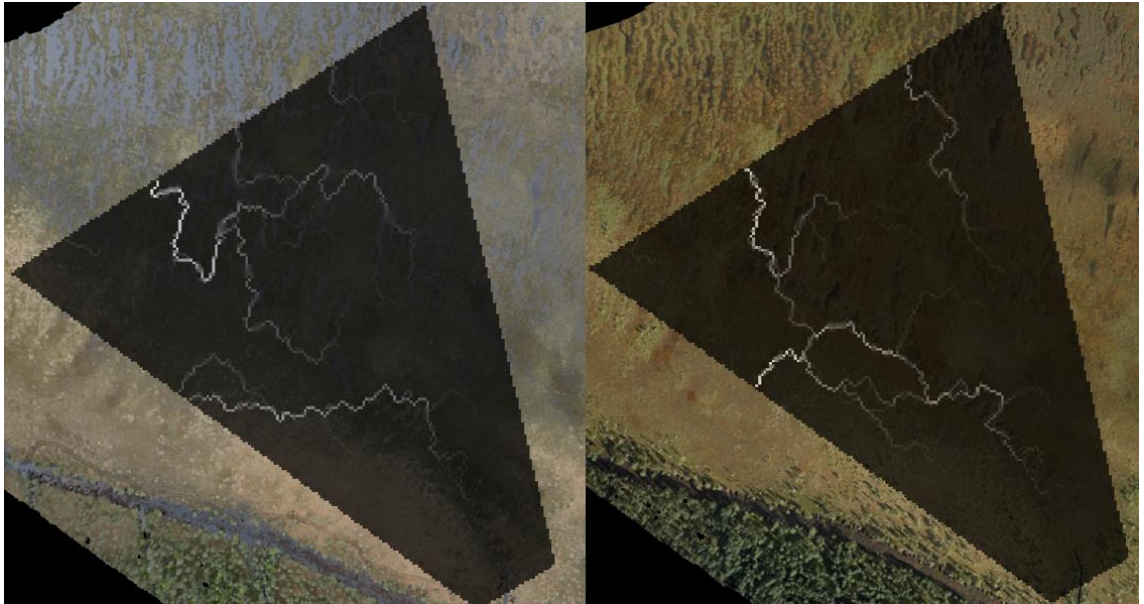
Ison alueen ilmakuvia tarkasteltaessa huomataan suon reuna-alueiden kuivien osien pienentyneen. Erityisesti itäosassa tukittujen ojien läheisyydessä alue on selkeästi märempää. Alueelle on tuotu vettä useaa ojaa pitkin. Kaivettujen johtojien läheisyydessä alue näyttää aiempaa märemmältä ilmakuvissa.

Maanmittauslaitoksen kahden metrin maastomalli vaikuttaa liian epätarkalta verrattavaksi droneaineistojen kanssa sellaisenaan. Virtausverkot (Liite 4) ovat hieman paremmin verrattavissa, mutta kosteusindeksejä (Liite 5) on käytännössä mahdotonta verrata silmämääräisesti. Kahteen metriin yleistetyn mallin kanssa virtausverkkoja voidaan verrata. Parhaiten vertaamiseen soveltuu Flow Accumulation Top-Down (Planchon/Darboux, 2001), joka on molemmissa tasoissa toimiva.

Vuonna 2021 kuvatuista tutkimusasetelman mukaisesti rajatuista korkeusmalleista tuotettuja virtausverkkoja ja kosteusindeksejä voidaan verrata keskenään erinomaisesti. Kesällä 2021 kuvattujen aineistojen välinen vertailu näyttää siltä, että virtausverkko on siirtynyt hieman eri kohtaan kasvillisuuden ja kosteusolojen muuttuessa kesän aikana. Kosteusindeksit näyttävät siltä, että runsaan veden kertymäaluetta on keväällä pienempi osa pinta-alasta kuin syksyllä. Suurimman eron korkeusmalleissa aiheuttaa kasvillisuuden muutokset kasvukauden aikana, mutta myös turpeen kosteusvaihtelut. Muutokset korkeusmallissa aiheuttavat suoraan muutoksen virtausverkoissa ja kosteusindekseissä, sillä ne ovat laskennallisia malleja, jotka perustuvat ainoastaan laskennassa käytettävään korkeusmalliin.

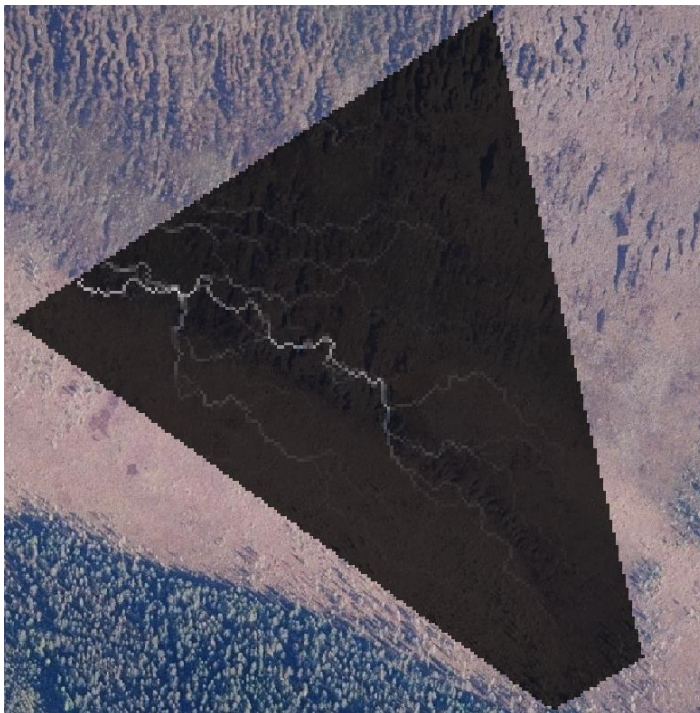
Verrattaessa kevään ja loppukesän virtausverkkoja keskenään eri prosesseilla tuotetut virtausverkot eroavat keskenään, mutta samaa prosessia verratessa huomataan pieni muutos virtausverkkojen laskusuuntaan loppupäässä kaikilla toimivilla tasoilla.

Verrattaessa kaikilla aineistoilla toimivia Top-Down (Planchon/Darboux, 2001) -virtausverkkoja kevään ja loppukesän välillä näkyy pieniä eroja. Kuviossa 11 on kahden metrin maastomallista tuotettu 25.5.2021 kuvauksen aineiston virtausverkko vasemmalla ja 11.8.2021 kuvauksen virtausverkko oikealla.



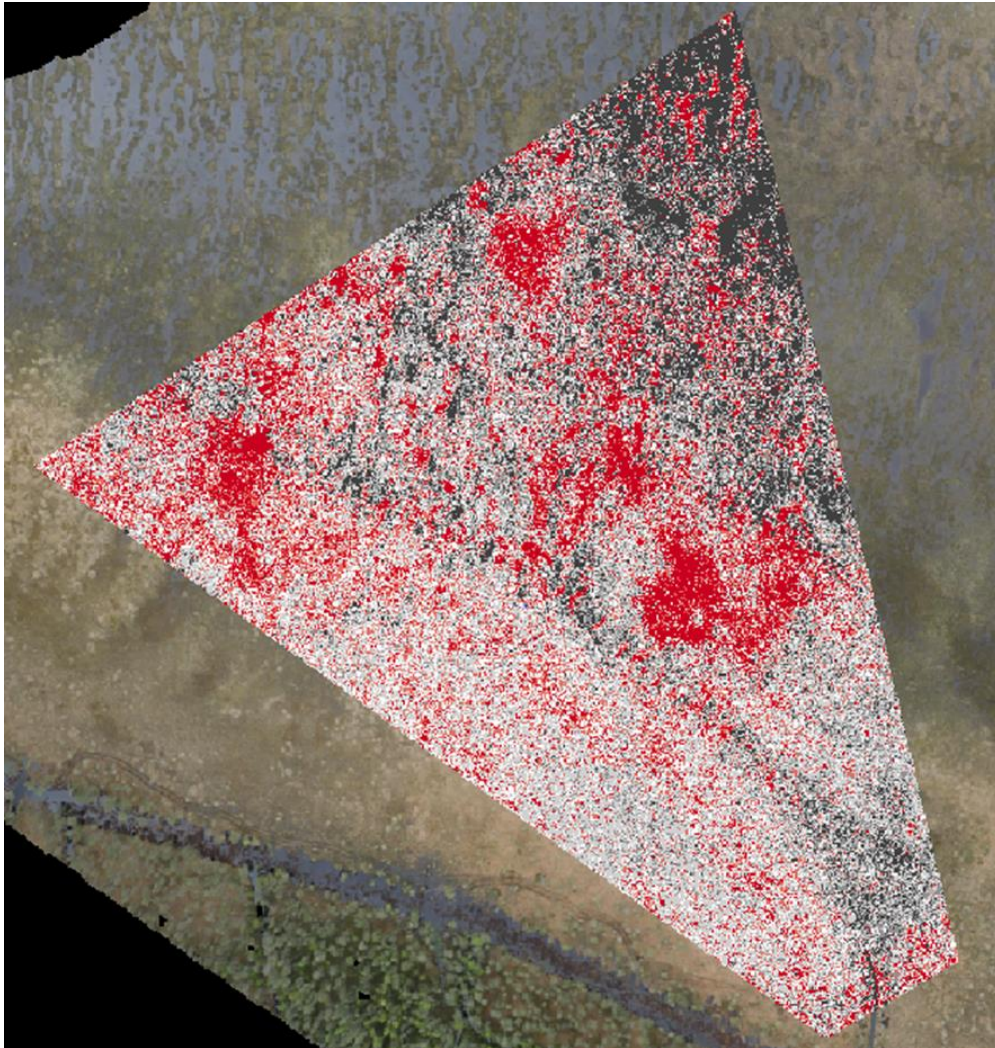
Kuvio 11. Flow Accumulation Top-Down (Planchon/Darboux, 2001)

Maanmittauslaitoksen aineistoista ja droneaineistoista tuotettujen virtausverkkojen välillä näkyy selkeitä eroavaisuuksia. Vaikka suurimman virtauksen paikka on pysynyt kutakuinkin samana, sivuvirtaukset ovat muuttuneet ennallistamistoi-  
mien myötä. 2021 virtausverkot mutkittnevat enemmän, eikä vesi virtaa yhtä suo-  
raa kuin 2014 laserkeilausaineiston virtausverkkojen mukaan (Kuvio 12).



Kuvio 12. Flow Accumulation Top-Down (Planchon/Darboux, 2001)

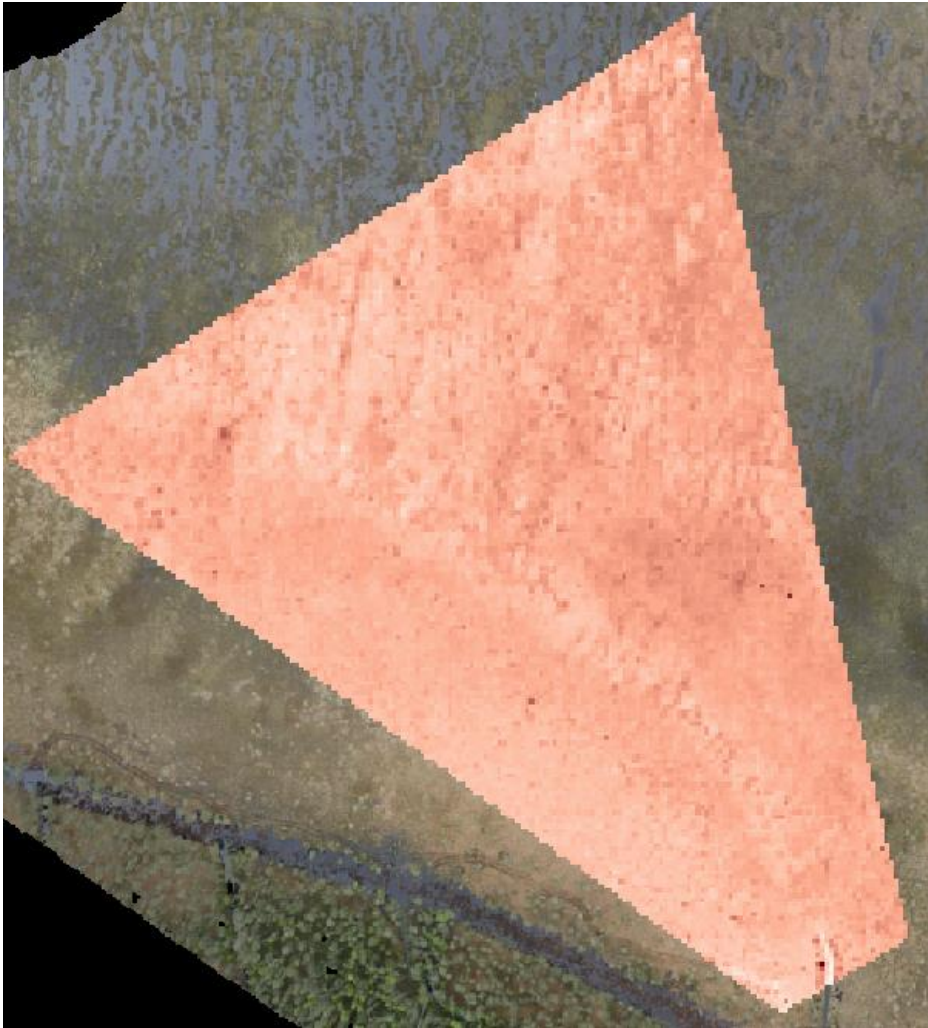
Keväällä ja kesällä kuvattujen korkeusmallien korkeuserot ovat melko pieniä. Kuvat mättäät näyttävät kesän aikana nousseen ja rimpien korkeus laskeneen. Kuviossa 13 on 25.5.2021 ja 11.8.2021 kuvattujen dronemaastomallien korkeuden ero. Kuviossa punainen esittää suurempaa korkeutta 11.8.2021 ja harmaa suurempaa korkeutta 25.5.2021.



Kuvio 13. Dronemaastomallien korkeuden ero.

Verrattaessa kahteen metriin harvennettua 25.5.2021 kuvattua korkeusmallia Maanmittauslaitoksen 2014 keilattuun malliin, dronemaastomallissa maanpinta on kaikissa rasterin ruuduissa korkeammalla. Ilmakuvaan verrattaessa huomataan, että vettyneillä alueilla korkeuden muutos on suurempaa. Kuvio 14 on Maanmittauslaitoksen 2014 vuoden korkeusmallin ja 25.5.2021 kuvatun drone-maastomallin korkeuden ero. Tummempi punainen esittää suurempaa korkeuden nousua.



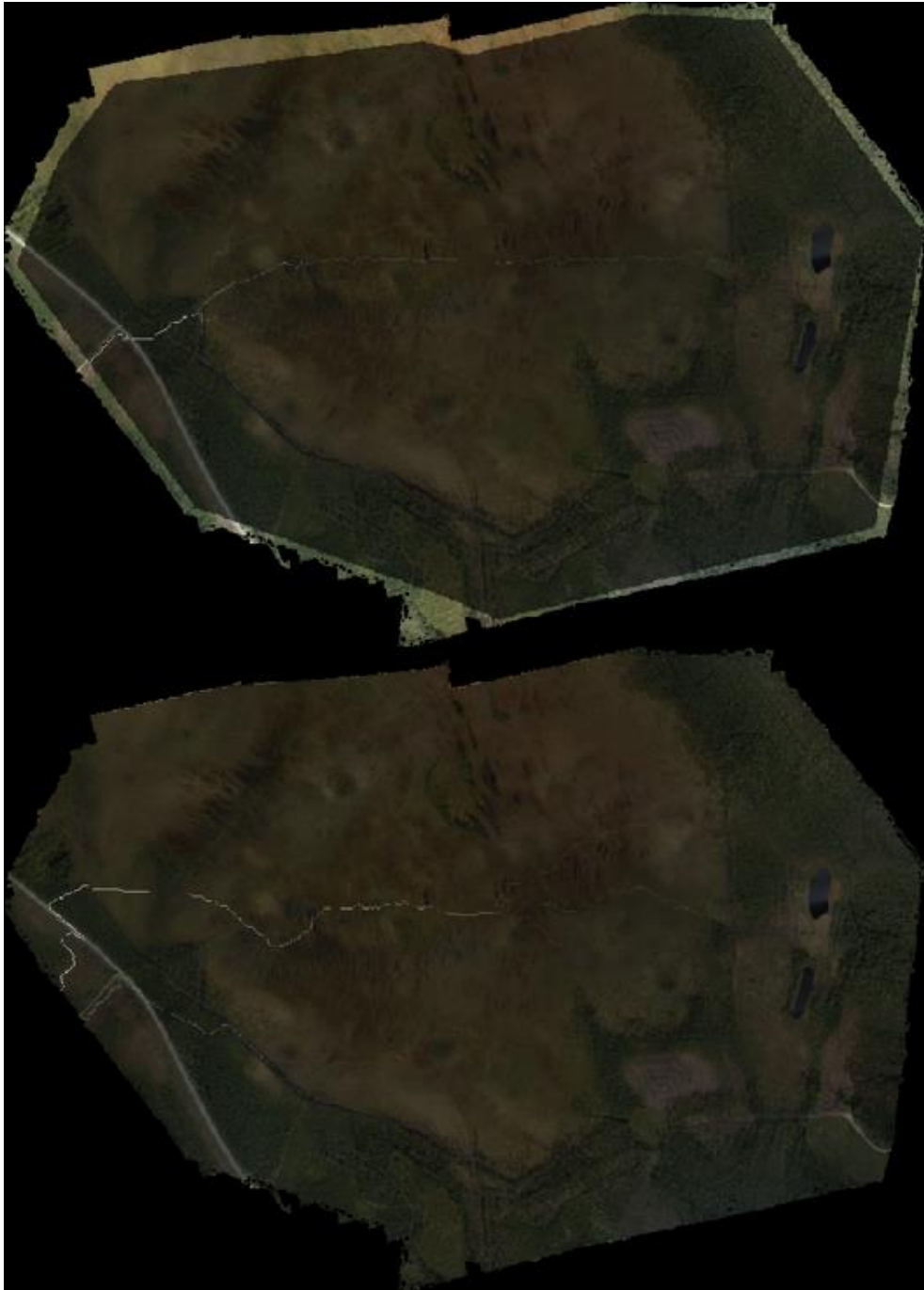


Kuvio 14. Maanmittauslaitoksen korkeusmallin ja kevään dronemaastomallin korkeuden ero

Kosteusindeksejä vertaamalla nähdään isossa mittakaavassa alueita, jotka saavat aiempaa suurempia kosteusarvoja. Samat alueet näyttävät dronekuvassa märemmiltä aiempaan ilmakuvaan verrattuna. Tasot ovat melko karkeita esityksiä suon märkyydestä, eivätkä sovi alueen pienipiirteiseen tarkasteluun. Parempi tarkkuus tutkimusrajan mukaiseen tarkasteluun saadaan 0,5 metrin resoluutiolla. Sitä suuremmalla rasterikoolla alueen visuaalinen vertailu on melko epätarkkaa ja tulkintoja on vaikea tehdä.

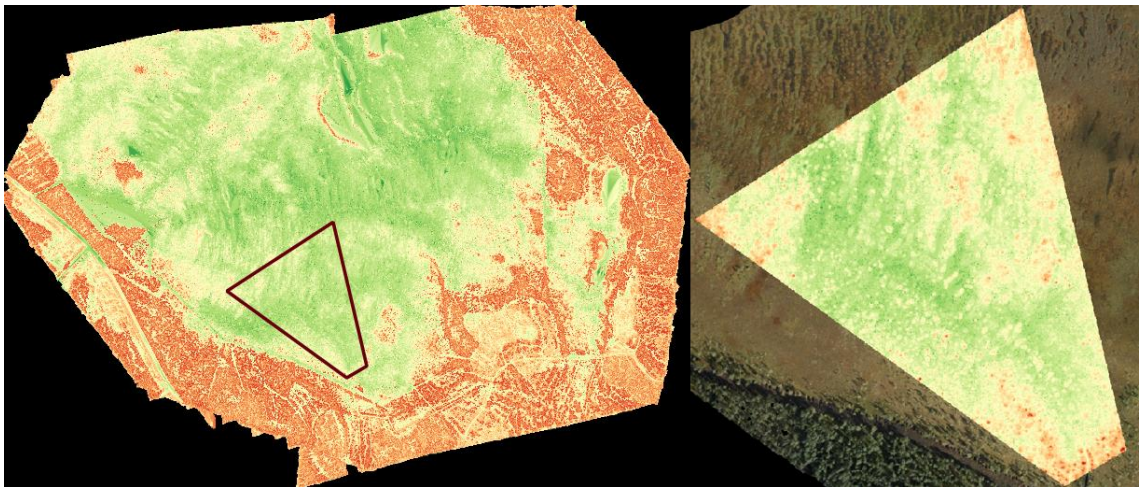
Ison alueen virtausverkkoja voidaan hyvin verrata kahden metrin ja 0,5 metrin resoluutiolla (Liite 7). Ennen ennallistamistoimia virtausverkon mukaan vesi valuu melko suoraa reittiä alueen itäosien vesistöistä länsiosassa kulkevan metsäauto-

tien ojaan. Vuonna 2021 kuvatun aineiston virtausverkossa virtaama on huomattavasti mutkittelevampaa, vaikka suunta on sama. Maanmittauslaitoksen 24.4.2014 maastomallista ja 11.8.2021 dronemaastomallista tuotetut Flow Accumulation Flow Tracing (Wang & Liu) -virtausverkot on esitetty kuviossa 15.



Kuvio 15. Flow Accumulation Flow Tracing (Wang & Liu): Maanmittauslaitoksen aineistosta ja dronemaastomallista

Isolla alueella toimivaa SAGA-kosteusindeksiä (Planchon/Darboux, 2001) verratessa vastaavaan samaan aikaan kuvattuun pienempään kosteusindeksiin huomataan tutkimusasetelman mukaisella kosteusindeksillä reunojen kuivien alueiden korostuvan. Keskellä tutkimusrajauksen aluetta kosteusindeksien rakenne vastaa hyvin toisiaan. Kuviossa 16 on 0,5 metrin rasterikoolla tuotetut SAGA Wetness Index (Planchon/Darboux, 2001) -kosteusindeksit 11.8.2021 aineiston dronemaastomallista Vahtisuolta isolta alueelta ja tutkimusrajauksen alueelta.



Kuvio 16. SAGA Wetness Index (Planchon/Darboux, 2001) dronemaastomallista

## 5.6 Johtopäätökset

Maanmittauslaitoksen aineistojen prosessointi oli nopeaa ja tulokset melko selkeitä. Mallit toimivat suuren alueen tarkastelussa, mutta mallien tarkkuus ei riitä vertailuun harventamattomien mallien kanssa tutkimusasetelman mukaisella alueella.

Droneaineistojen prosessointi oli tutkimusasetelman mukaisen rajauksen alueelta melko hidasta ilman aineistojen harventamista. Harvennettujen aineistojen käsittely sujui nopeasti. Syntyneiden tasojen vertailu ja analysointi oli hidasta ja sopivien esitystapojen etsiminen haastavaa ja aikaa vievää.

Opinnäytetyössä löytyi SAGA GIS -ohjelman prosesseja, jotka soveltuvat soiden ennallistamisen vaikutusten tarkasteluun. On kuitenkin huomioitava, että Vahtisuolle soveltuvat mallit eivät välttämättä sovellu kaikille soille. Epävarmuuksien

poistamiseksi menetelmät vaativat lisää tarkastelua ennen laajamittaisen seurannan käyttöönottoa. Opinnäytteessä havaittuja prosessien ominaisuuksia ja soveltuvuutta voidaan hyödyntää jatkotarkastelussa ja näin ollen voidaan välttää resurssien tuhlaamista käyttötarkoituksessa toimimattomiin prosesseihin.

Soiden pintavesien liikkeen vertaamiseen SAGA GIS -virtausverkoista soveltuu Vahtisuolla parhaiten Flow Accumulation Top-Down. Suurella pikselikoolla paremmin toimii Planchon/Darboux, 2001 - esikäsitelty taso, kun taas pienellä pikselikoolla Wang & Liu -esikäsitelty tuottaa kuvaavamman virtausverkon. Kaikilla aineistoilla soveltuvin kosteusindeksi saadaan SAGA Wetness Index (Planchon/Darboux, 2001) -prosessilla.

Näkyvän valon dronekuvasta tuotetun korkeusmallin yleistäminen mahdollistaa isompien alueiden vertailun teknisten vaatimusten laskiessa. Riittävä resoluutio aineistojen vertaamiseen riippuu siitä, mitä verrataan. Virtausverkoissa suurilla-kin rastereilla saadaan riittävän tarkka lopputulos, mutta kosteusindeksien vertaamiseksi tarvitaan tarkempia tasoja. Myös alueen koko vaikuttaa sopivaan rasterikokoon.

Kahden metrin resoluutio riittää virtausverkojen vertailuun. Silmämääräisellä tarkastelulla virtausverkot eivät muutu merkittävästi tutkimusrajan mukaisella alueella rasterikokoa pienentäessä. Suurella alueella pienempi rasterikoko saa aikaan katkonaisen ja epäselvän virtausmallin.

Puolen metrin resoluutio riittää kosteusindeksien vertailuun. Kosteusindeksien jatkuvuuteen vaikuttaa rasterin koko siten, että pienemmällä rasterikoolla jatkuvuus ja sitä myöten vertailtavuus paranee. Puolen metrin resoluutiolla saadaan aikaan selkeä ja ilmakehuun verrattuna kuvaava kosteusindeksi.

## 6 POHDINTA

Dronekuvien avulla on tarkoitus tarkastella ennallistamisen, tässä tapauksessa vesienpalautuksen vaikutuksia veden virtaamiseen ja kertymiseen. Paikkatietopohjainen tarkastelu helpottaa muutosten laajuuden hahmottamista sekä myöhempää palaamista tarkasteluun, kun alkuperäiset aineistot pysyvät tallella. Eriyisesti tästä hyödytään pidempiaikaisessa seurannassa, kun ensimmäiset dronekuvaukset tehdään jo ennen ennallistamistoimia.

Mallien verrattavuus perustuu silmämääräiseen arvioon. QGIS-ohjelmalla tason esitystä voi muuttaa ja sillä on etsitty kullekin tasolle parhaiten sopiva esitystapa. Kaikilla tasoilla väritykset ja niiden raja-arvot vaihtelevat. Jatkossa olisi resurssien tehokkaan käytön kannalta merkittävää löytää jokin kaikille malleille soveltuva esitysmuoto tai automatisoida soveltuvan esitystavan määrittystä.

Tarkasteluissa käytetyssä dronemaastomallissa kasvillisuutta ei ole suodatettu pois. Näissä malleissa maanpinta muodostuu kasvillisuuden päälle. Kasvillisuus aiheuttaa suurimman muutoksen malleissa, eikä mallit näin kuvaa todellista tilannetta hydrologian muutoksissa.

Muutokset virtausverkossa kertovat veden virtauskohdan ja suhteiden muutoksesta ennallistamisen seurauksena. Muutosta virtausverkkoihin voi aiheuttaa myös esimerkiksi kasvillisuuden aiheuttama muutos korkeusmallissa sekä turpeen turpoaminen veden imeytyessä siihen.

Kosteusindeksit kuvaavat veden kertymistä alueelle tilanteessa, jossa alueelle tulisi tasaisesti vettä ja pinta olisi kauttaaltaan yhtä hyvin vettä läpäisevää. Veden määrän ja liikkeen muutokset vaikuttavat korkeusmalliin, josta kosteusindeksit lasketaan. Myös kasvillisuudessa tapahtuvat muutokset muokkaavat korkeusmallia ja näin myös kosteusindeksin alueet muuttuvat.

Jotta soiden ennallistamisen parissa saadaan mahdollisimman suuri hyöty drone-seurannasta, tulee pohtia riittävää lentokertojen määrää ja soveltuvaa ajankohtaa. Ottaen huomioon kasvillisuuden vaikutuksen dronekuvasta tehtävään korkeusmalliin tulisi kasvillisuuden olla mahdollisimman vähäistä tai ainakin saman kokoista lentokertojen välillä.

Myös vesiolosuhteiden samankaltaisuus parantaa vertailun luotettavuutta, koska dronemaastomallissa maanpinnan taso muodostuu pääasiassa kasvillisuuden päälle ja veden pinnalle. Vaihtelevista vuosista ja vuodenaikaisvaihtelun tuomasta vaihtelusta kosteusolosuhteisiin johtuen voi olla vaikeaa löytää vesi- ja kasvillisuusoloiltaan vastaavia kuvausajankohtia. Kevättulvan jälkeistä aikaa voidaan pitää otollisimpana kuvaukseen, koska silloin mahdollinen routa ja jää eivät enää vaikuta suon pinnanmuotoihin, eikä kasvillisuus ole vielä rehevänä vaikuttamassa mallin muotoutumiseen haittaavissa määrin.

Dronekuvien käsittelyssä voitaisiin jatkossa kehittää kasvillisuuden suodattamista korkeusmalleista ortokuvien kasvillisuusluokittelun avulla. Kasvillisuuden suodattaminen korkeusmallista parantaisi mallin luotettavuutta ennallistamisen seurannassa, sillä suodatetusta mallista prosessoidut virtausverkot ja kosteusmallit kuvaisivat todellisen maanpinnan muutoksia.

## LÄHTEET

Aapala, K. & Lappalainen, I. 1998. Suotyyppien mosaiikkia. Teoksessa I. Lappalainen (toim.) Suomen luonnon monimuotoisuus. EDITA: Oy EDITA Ab/Suomen ympäristökeskus, 47–53.

Aapala, K., Lindholm, T., Sallantausta, T., Salminen, P., Suikki, A. & Vesterinen, P. 2005. Ennallistettujen soiden seuranta. Teoksessa M., K. Aapala & A. Alanen (toim.) Ennallistamisen ja luonnonhoidon seurantasuunnitelma. Metsähallitus, 26–40.

Aapala, K., Similä, M. & Penttinen, J. 2013. Ojitettujen soiden ennallistamisopas. Metsähallitus.

Alanen, A. & Aapala, K. 2015. Soidensuojelutyöryhmän ehdotus soidensuojelun täydentämiseksi. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Autio, O., Jämsen, J., Rinkineva-Kantola, L. & Joensuu, S. 2018. Veden palauttaminen kuivuneille suojele-soille kunnostusojituksen yhteydessä. Viitattu [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/152529/Raportteja\\_10\\_2018.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/152529/Raportteja_10_2018.pdf?sequence=5&isAllowed=y).

Charman, D. 2002. Peatlands and Environmental Change. England: John Wiley & Sons Ltd.

Eurola, S. & Kaakinen, E. 1978. Suotyyppiopas. Porvoo: WSOY.

Hyvärinen, E. & Aapala, K. 2009. Metsien ja soiden ennallistamisen sekä harjumetsien paahdeympäristöjen hoidon seurantaohje. Viitattu <https://julkaisut.metsa.fi/assets/pdf/lp/Bsarja/b118.pdf>.

Ikkala, L. 2021. Ennallistettujen soiden tilan seurannan kehittäminen -hanke. Teams-palaveri 23.4.2021 Oulun yliopiston tohtorikoulutettavan kanssa.

Kareksela, S., Ojanen, P., Aapala, K., Haapalehto, T., Ilmonen, J., Koskinen, M., Laiho, R., Laine, A., Maanavilja, L., Marttila, H., Minkkinen, K., Nieminen, M., Ronkanen, A.-K., Sallantausta, T., Sarkkola, S., Tolvanen, A., Tuittila, E.-S. ja Vasander, H. 2021. Soiden ennallistamisen suoluonto-, vesistö-, ja ilmastovaiikutukset. Vertaisarvioitu raportti. Suomen Luontopaneelin julkaisuja 3b/2021. Viitattu 17.11.2021 <https://luontopaneeli.fi/wp-content/uploads/2021/07/suomen-luontopaneelin-julkaisuja-3b-2021-soiden-ennallistamisen-vaikutukset.pdf>.

Komonen, A. & Halme, P. 2014. Luonnon ennallistaminen on käsitteenä aikansa elänyt. Viitattu 18.5.2021 <https://journal.fi/tt/article/view/47933/13807>.

Kontula, T. & Raunio, A. (toim.) 2018. Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristö 5/2018. Helsinki: Suomen ympäristökeskus ja ympäristöministeriö. Viitattu 17.11.2021 <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161233/Suomen%20luontotyyppien%20uhanalaisuus%202018%20OSA1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- Kotiaho, J., Kuusela, S., Nieminen, E. & Päivinen, J. 2015. Elinympäristöjen tilan edistäminen Suomessa. Viitattu 20.5.2021 [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/156982/SY\\_8\\_2015.pdf](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/156982/SY_8_2015.pdf).
- Laine, J., Vasander, H., Hotanen, J., Nousiainen, H., Saarinen, M. & Penttilä, T. 2018. Suotyypit ja turvekankaat -kasvupaikkaopas. Metsäkustannus Oy.
- Luonnonvarakeskus 2021. Ennallistettujen soiden tilan seurannan kehittäminen 01. Viitattu 8.11.2021 <https://www.luke.fi/projektit/sose-01/>.
- Maanmittauslaitos 2021. Korkeusmallit. Viitattu 16.11.2021 <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/korkeusmallit>.
- Mattivi, P., Franci, F., Lambertini, A. & Bitelli, G. 2019. TWI computation: a comparison of different open source GISs. Viitattu 4.10.2021 <https://opengeospatial-data.springeropen.com/articles/10.1186/s40965-019-0066-y>.
- Planchon, O. & Darboux, F. 2002. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. Viitattu 4.10.2021 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816201001643?via%3Dihub>.
- Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim.) 2010. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.
- Saaristo, L., Kuusinen, M. & Nieminen, M. 2009. Talousmetsien luonnonhoito Metsäammattilaisen käsikirja. Metsäkustannus Oy.
- SAGA GIS 2021a. SAGA-GIS Module Library Documentation (v2.2.3) Module Flow Accumulation (Flow Tracing). Viitattu 4.10.2021 [http://www.saga-gis.org/saga\\_tool\\_doc/2.2.3/ta\\_hydrology\\_2.html](http://www.saga-gis.org/saga_tool_doc/2.2.3/ta_hydrology_2.html).
- SAGA GIS 2021b. SAGA-GIS Module Library Documentation (v2.2.3) Module Flow Accumulation (Mass-Flux Method). Viitattu 4.10.2021 [http://www.saga-gis.org/saga\\_tool\\_doc/2.2.4/ta\\_hydrology\\_18.html](http://www.saga-gis.org/saga_tool_doc/2.2.4/ta_hydrology_18.html).
- SAGA GIS 2021c. SAGA-GIS Module Library Documentation (v2.2.3) Module Flow Accumulation (Recursive). Viitattu 4.10.2021 [http://www.saga-gis.org/saga\\_tool\\_doc/2.2.3/ta\\_hydrology\\_1.html](http://www.saga-gis.org/saga_tool_doc/2.2.3/ta_hydrology_1.html).
- SAGA GIS 2021d. SAGA-GIS Module Library Documentation (v2.2.3) Module Flow Accumulation (Top-Down). Viitattu 4.10.2021 [http://www.saga-gis.org/saga\\_tool\\_doc/2.3.0/ta\\_hydrology\\_0.html](http://www.saga-gis.org/saga_tool_doc/2.3.0/ta_hydrology_0.html).
- Seppä, H., Lindholm, T. & Vasander, H. 1993. Metsäojitettujen soiden luonnon-tilan palauttaminen. Metsähallitus.
- Suomen ympäristökeskus SYKE 2019. Suot. Viitattu 11.5.2021 [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/luonto/luontotyypit/luontotyyppien\\_uhanalaisuus/Suot](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/luonto/luontotyypit/luontotyyppien_uhanalaisuus/Suot).
- Vasander, H., Tuittila, E., Lode, E., Lundin, L., Ilomets, M., Sallantausta, T., Heikkilä, R., Pitkänen, M. & Laine, J. 2003. Status and restoration of peatlands in



northern Europe. Viitattu 12.5.2021 [https://www.researchgate.net/publication/226480989\\_Status\\_and\\_restoration\\_of\\_peatlands\\_in\\_northern\\_Europe\\_Wetlands\\_Ecology\\_and\\_Management\\_11\\_51-63](https://www.researchgate.net/publication/226480989_Status_and_restoration_of_peatlands_in_northern_Europe_Wetlands_Ecology_and_Management_11_51-63).

Wang, L. & Liu, H. 2007. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. Viitattu 4.10.2021 <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13658810500433453?scroll=top&needAccess=true>.

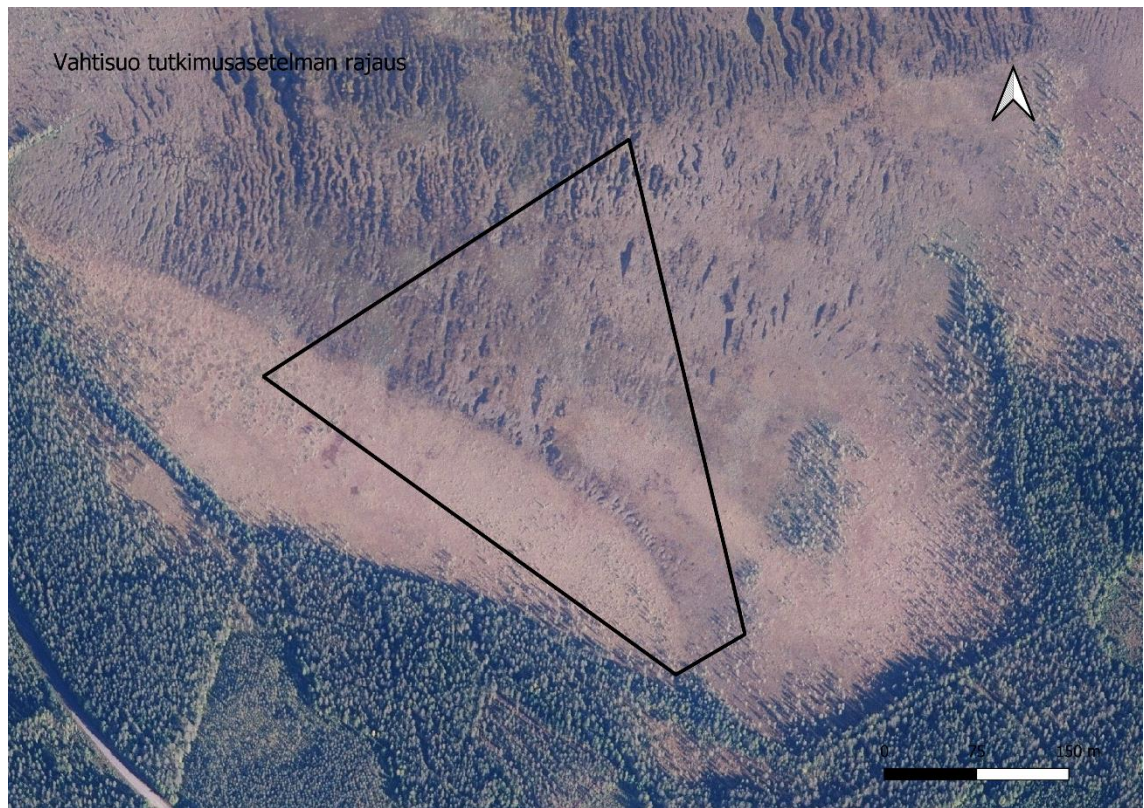
Wika Finland Oy 2021. Pinnankorkeuden anturit. Viitattu 11.11.2021 [https://www.wika.fi/products\\_submersible\\_pressure\\_sensors\\_fi\\_fi.WIKA](https://www.wika.fi/products_submersible_pressure_sensors_fi_fi.WIKA).

Ympäristöministeriö 2021. Helmi-elinympäristöohjelma 2021–2030. Viitattu 19.6.2021 <https://ym.emmi.fi/l/wmz5NPMFrKzt>.

## LIITTEET

- Liite 1. Vahtisuo tutkimusasetelman rajaus
- Liite 2. Ilmakuvat
- Liite 3. Prosessien sisäiset valinnat SAGA GIS -ohjelmassa
- Liite 4. Virtausverkkojen vertailu
- Liite 5. Kosteusindeksien vertailu
- Liite 6. SAGA GIS -prosessien toimivuus 2021 kuvatuilla rajatuilla aineistoilla
- Liite 7. Vahtisuo iso alue – Flow accumulation Top-Down (Planchon/Darboux, 2001)
- Liite 8. Vahtisuo iso alue – SAGA kosteusindeksit (Planchon/Darboux, 2001)

## LIITE 1. VAHTISUO TUTKIMUSASETELMAN RAJAUS

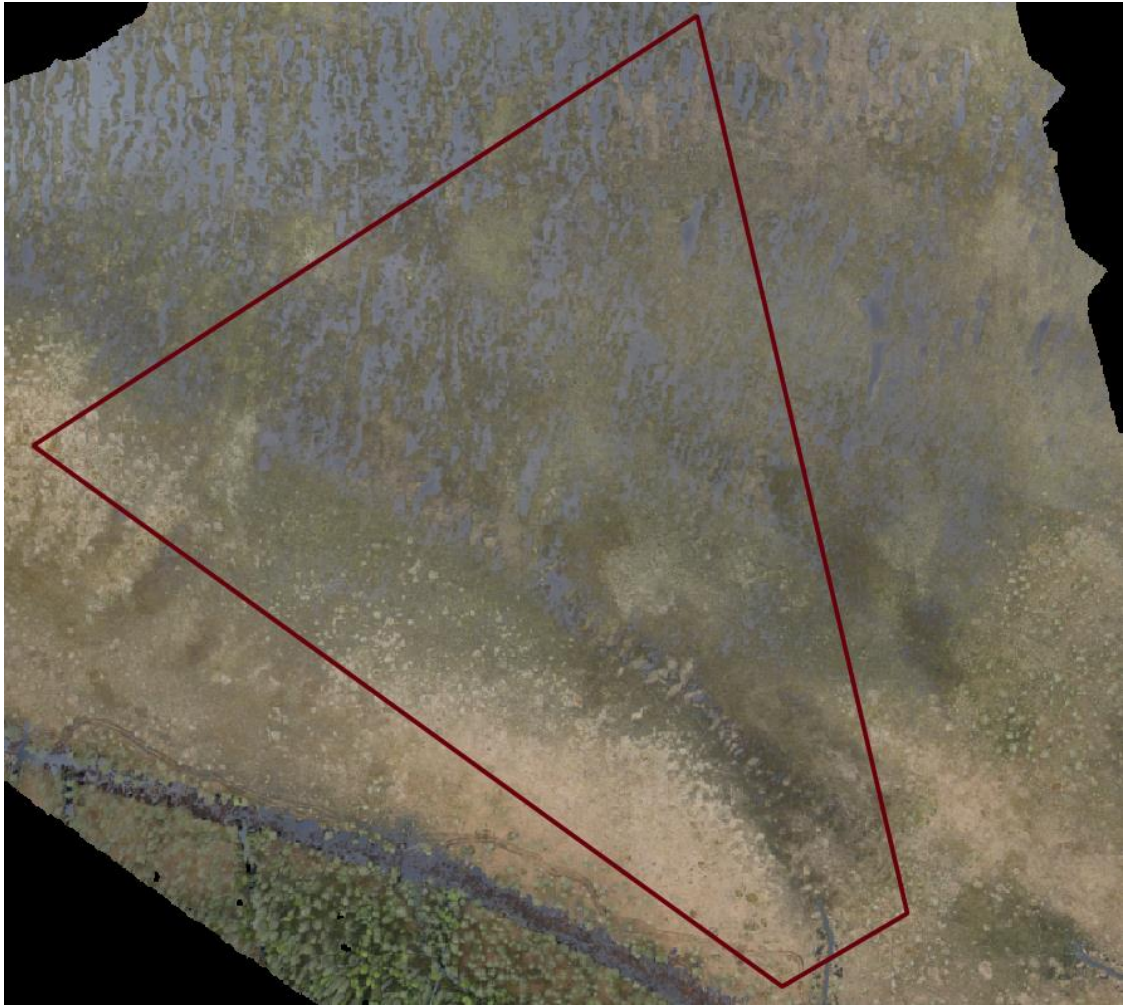


Tutkimusasetelman rajaus esitetään mustalla viivalla.

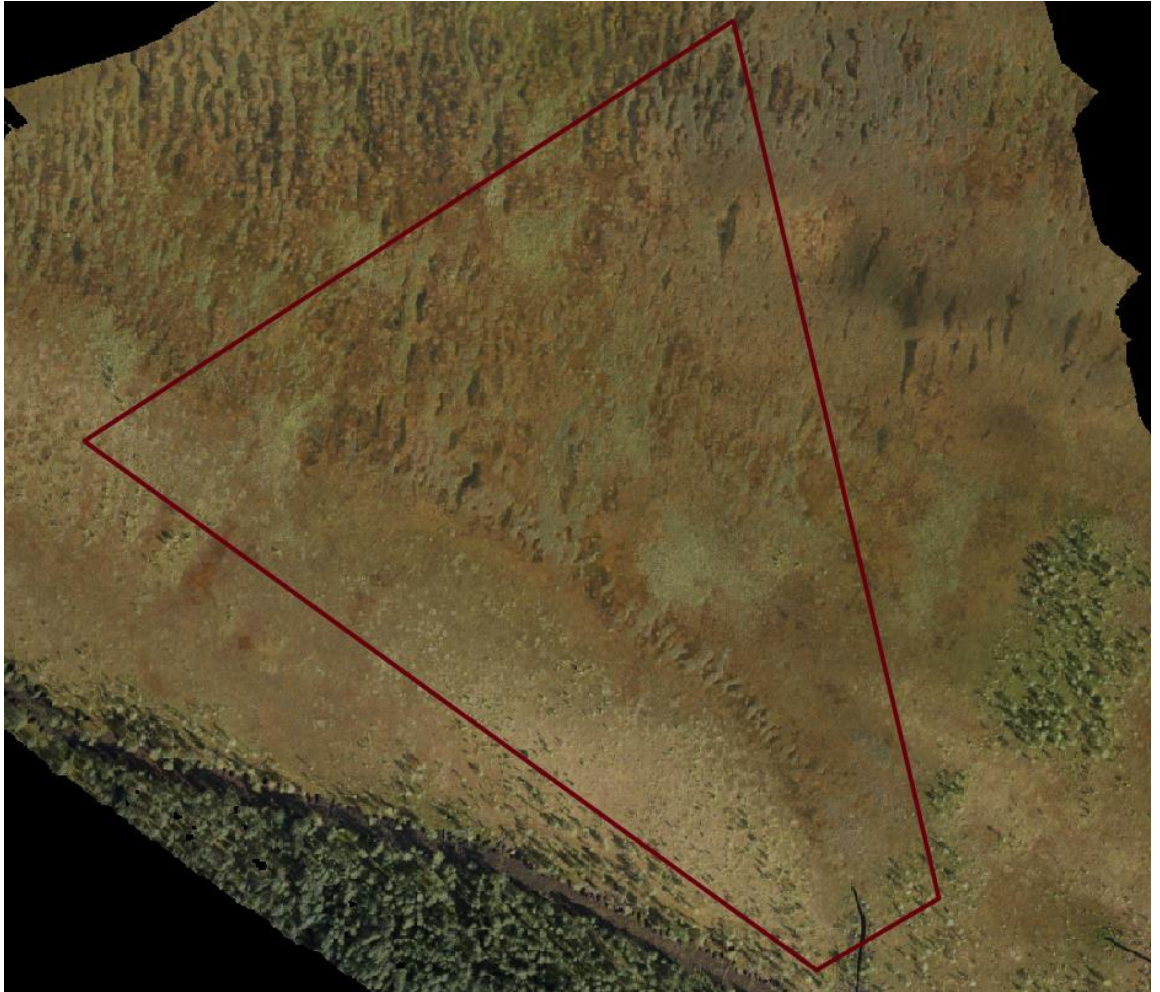
## LIITE 2. ILMAKUVAT

**Ilmakuvat tutkimusasetelman alueelta**

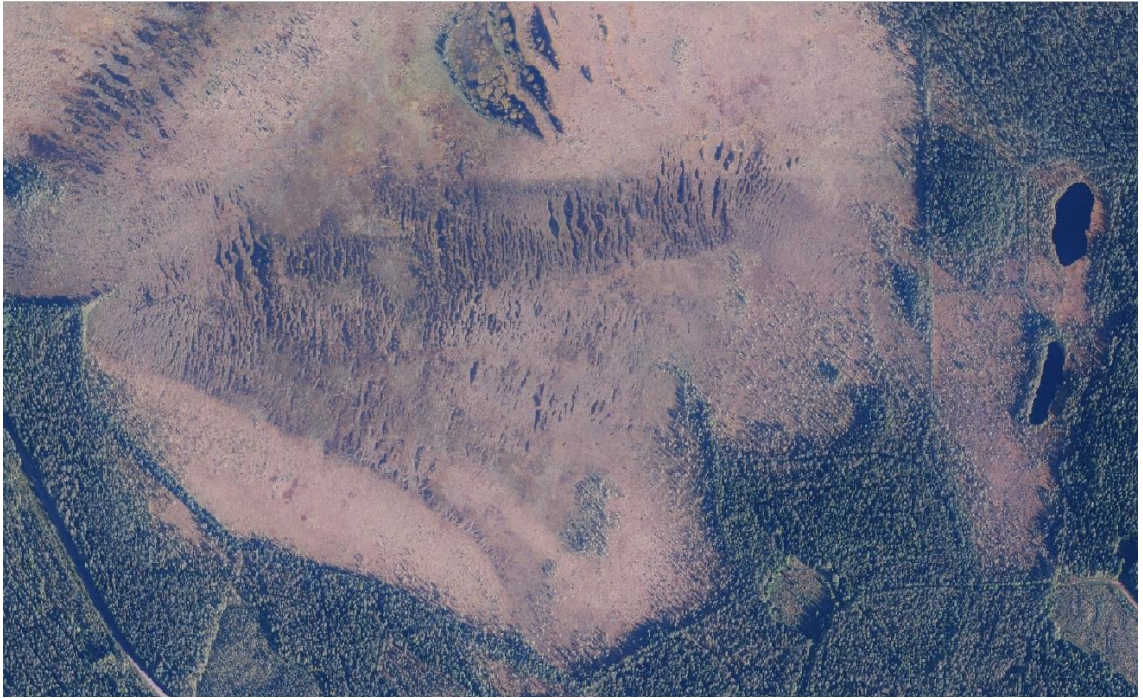
Vahtisuo ennen vesienpalautusta (Maanmittauslaitos)



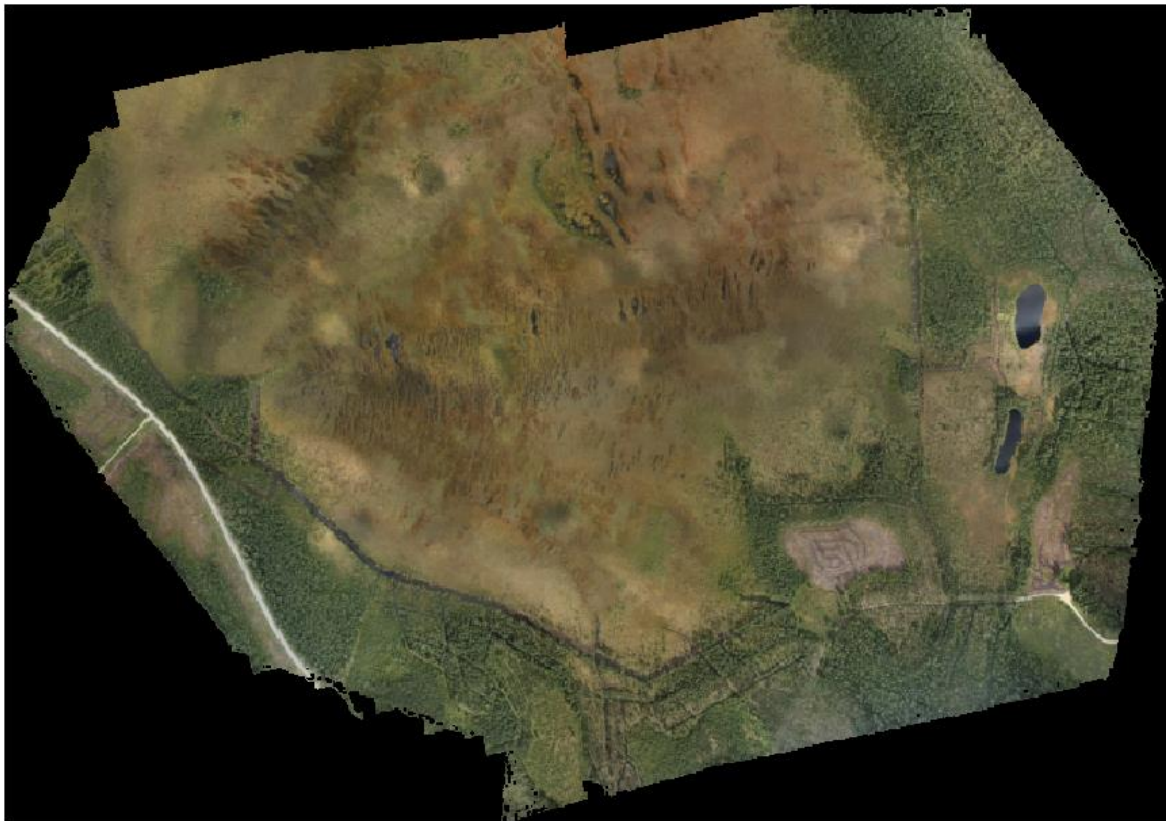
Vahtisuo 25.5.2021



Vahtisuo 11.8.2021

**Ilmakuvat isolta kuvausalueelta**

Vahtisuo ennen vesienpalautusta – iso alue (Maanmittauslaitos)



Vahtisuo 11.8.2021 iso alue

## LIITE 3. PROSESSIEN SISÄISET VALINNAT SAGA GIS -OHJELMASSA

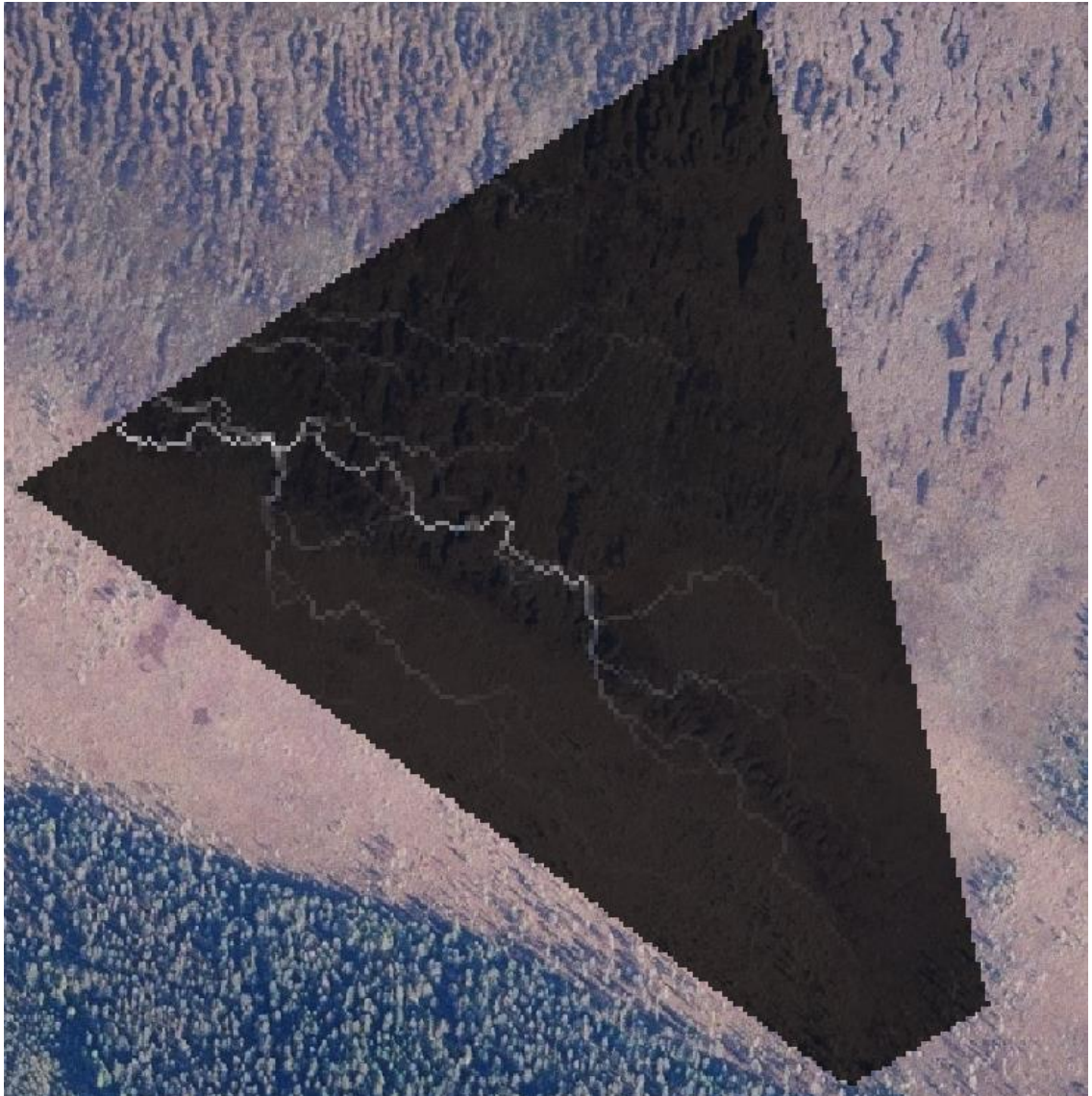
Prosessi	Sisäinen valinta	Valinta
Fill Sinks Planchon/Darboux, 2001	Minumum Slope (Degree)	0,01
Fill Sinks Wang & Liu	Minumum Slope (Degree)	0,1
Flow Tracing	Step	1
	Flow Accumulation Unit	cell area
	m_Method	Kinematic Routing Algorithm
	Flow Correction	valittu
Mass-Flux Method	Flow Split Method	flow width (original)
QM of ESP	Preprocessing	fill sinks temporarily
	Fill Increment	0,01
Recursive	Flow Accumulation Unit	cell area
	Method	Multiple Flow Direction
Top-Down	Step	1
	Flow Accumulation Unit	cell area
	Method	Multiple Flow Direction



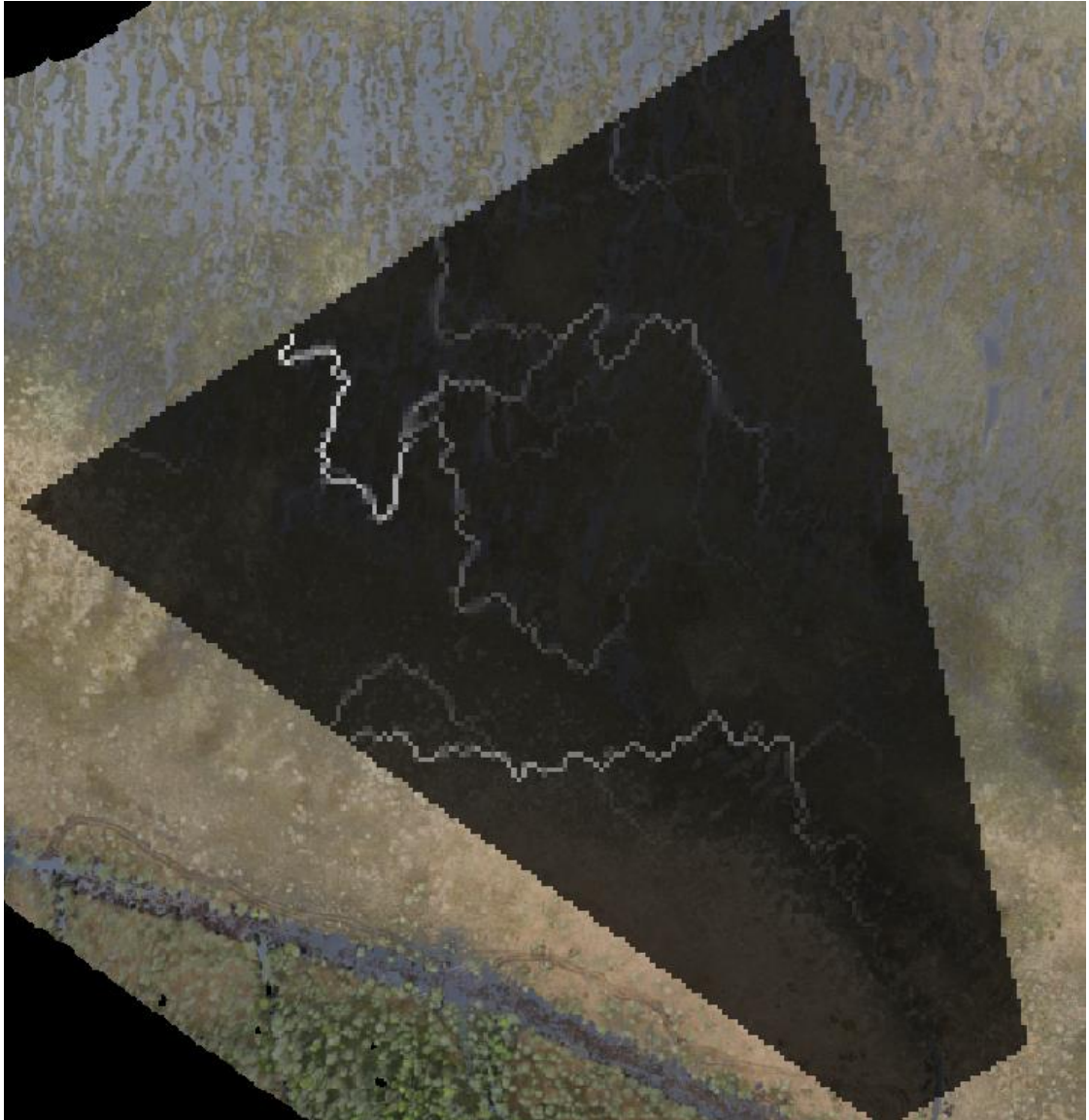
	Theresholded Linear Flow	ei valittu
	Convergence	1,1
SAGA Wetness Index	Suction	10
	Type of Area	square root of catchment area
	Type of Slope	catchment slope
	Minimum Slope	0
	Offset Slope	0,1
	Slope Weighting	1
Basic Terrain Analysis	Channel Density	5
One Step	Flow Distribution	Multiple Flow Direction

#### LIITE 4. VIRTAUSVERKKOJEN VERTAILU

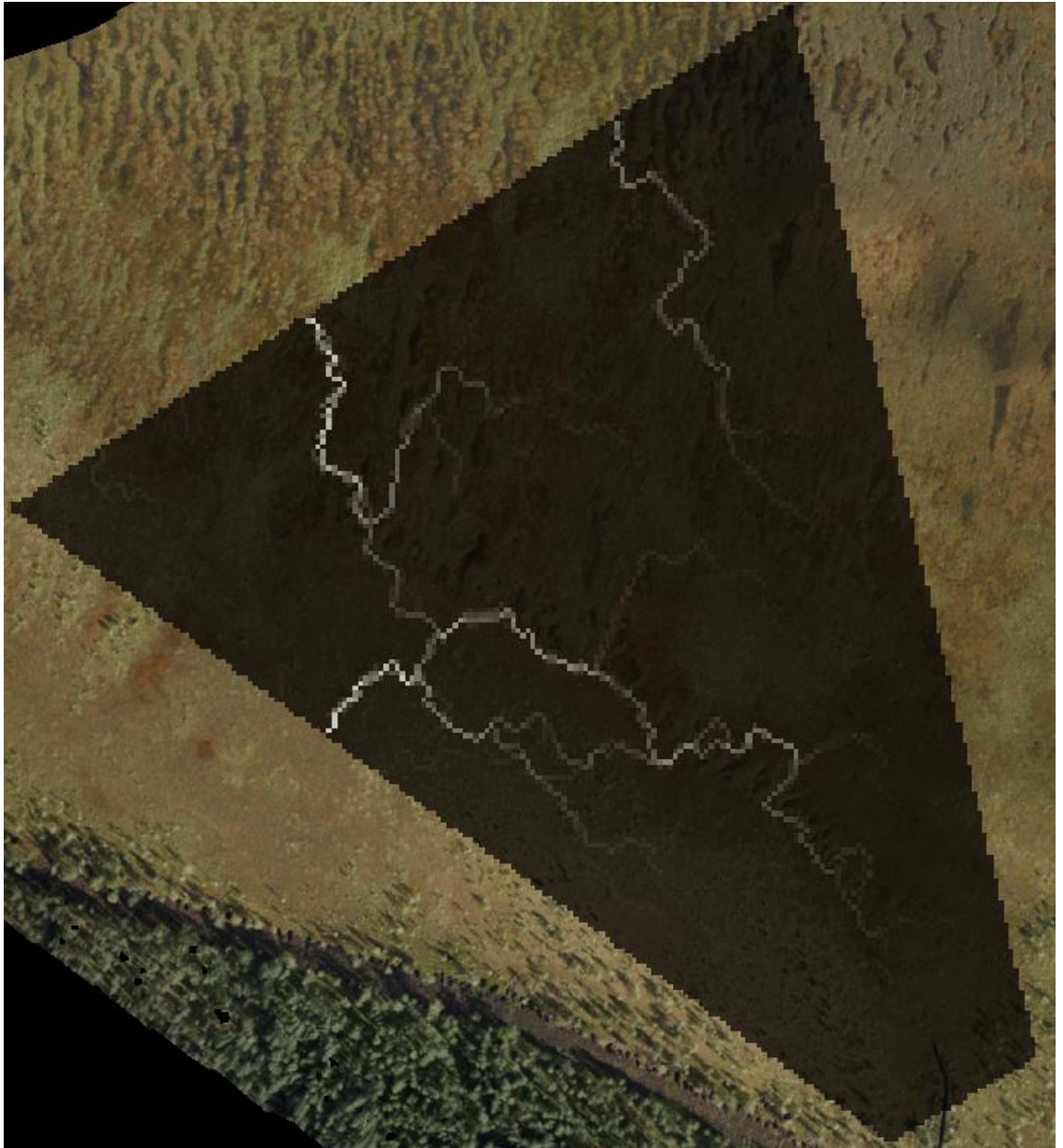
**Toimivat virtausverkot – Flow accumulation Top-Down (Planchon/Darboux, 2001)**



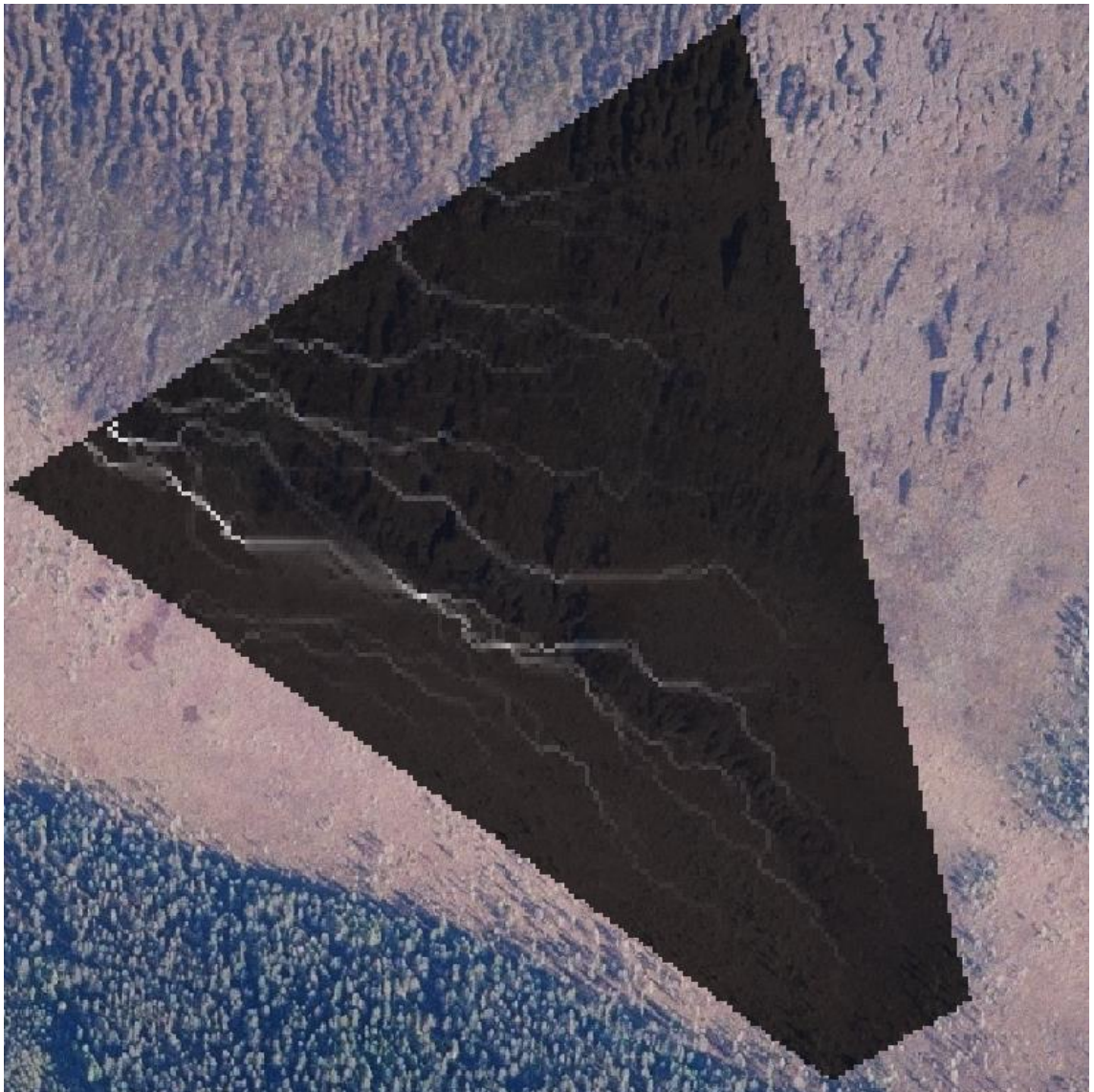
Vahtisuo ennen vesienpalautusta



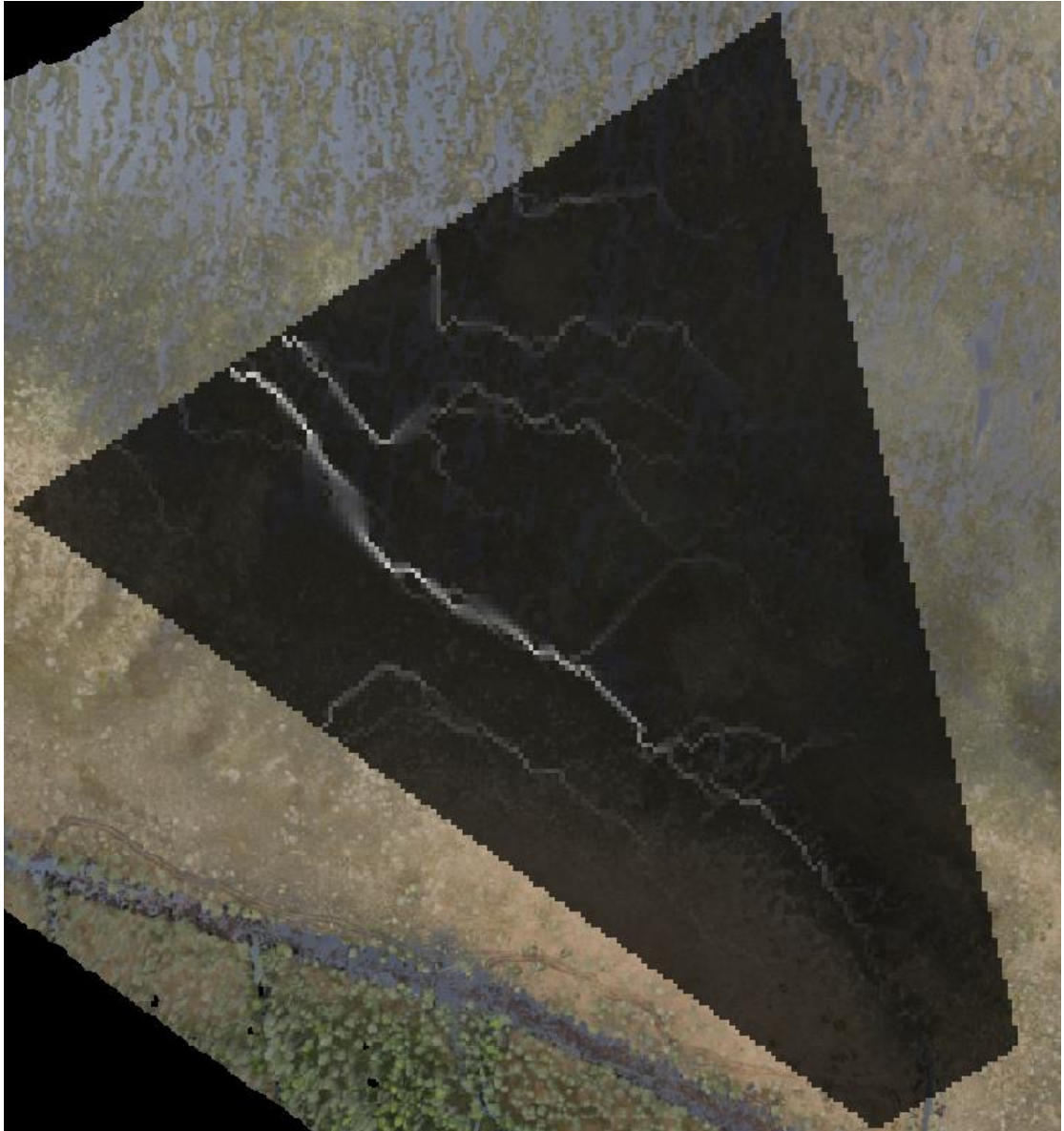
Vahtisuo 25.5.2021 – harvennettu 2 m



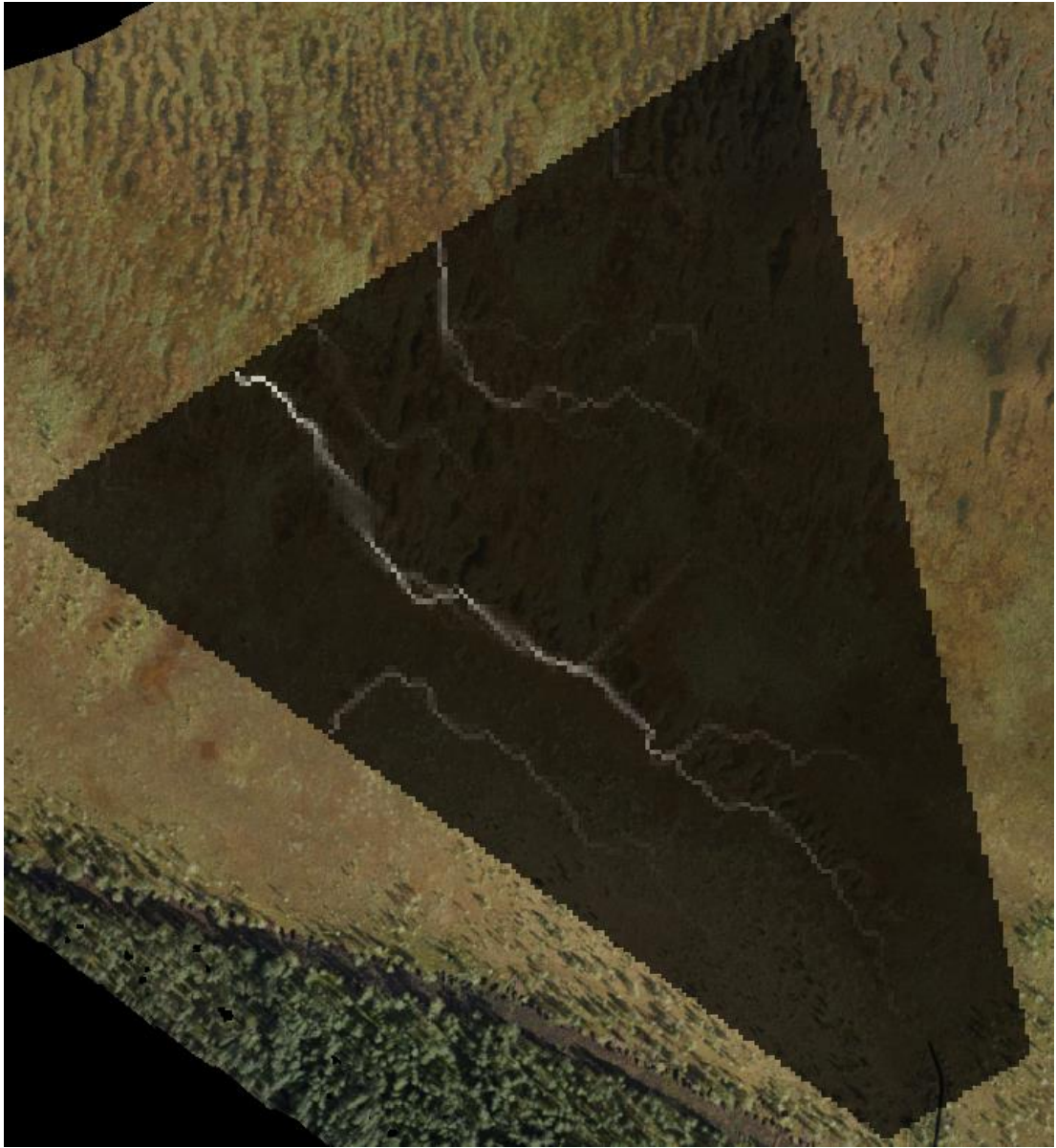
Vahtisuo 11.8.2021 – harvennettu 2 m

**Toimivat virtausverkot – Flow accumulation Top-Down (Wang & Liu)**

Vahtisuo ennen vesienpalautusta



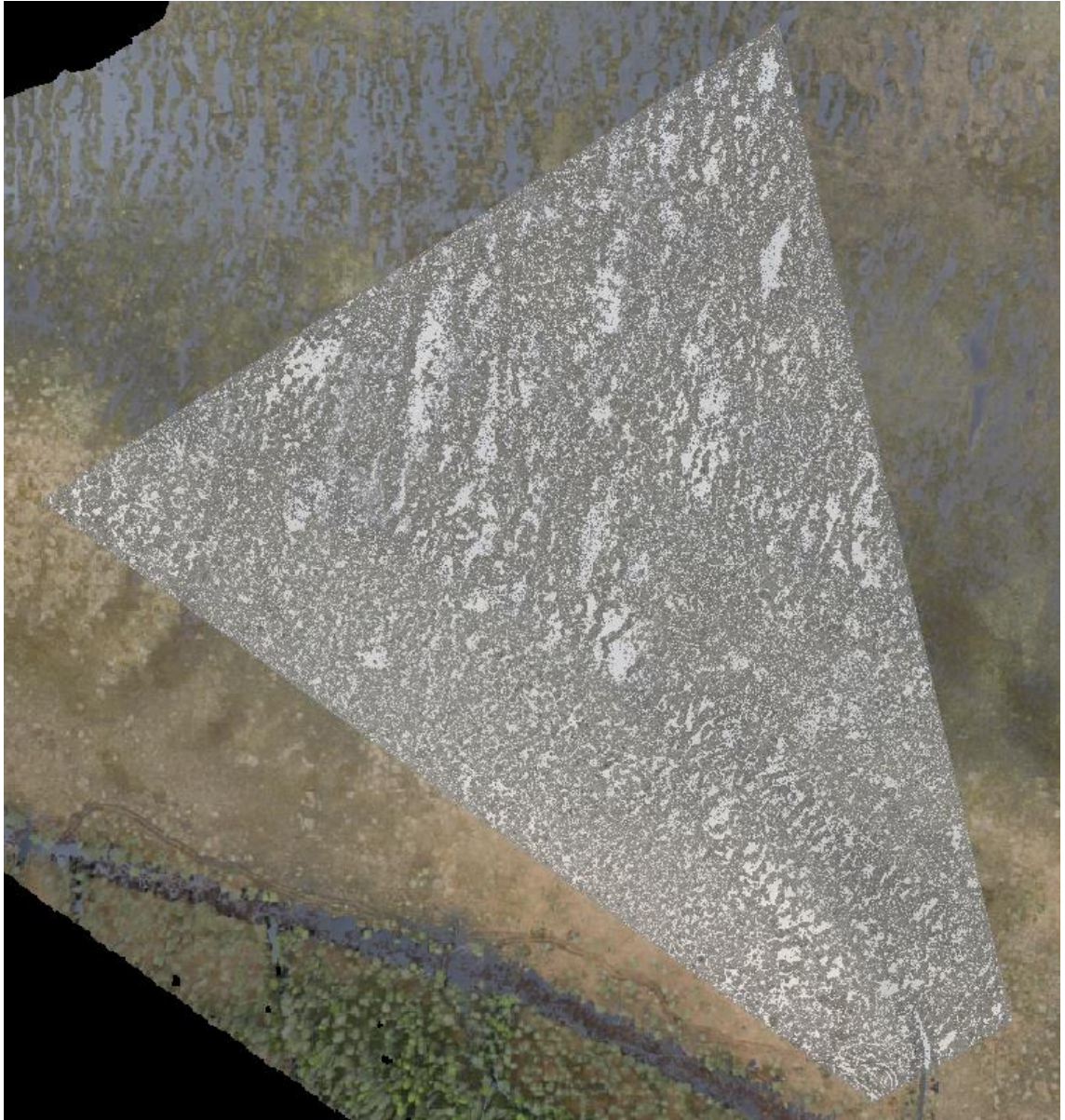
Vahtisuo 25.5.2021 – harvennettu 2 m



Vahtisuo 11.8.2021 – harvennettu 2 m

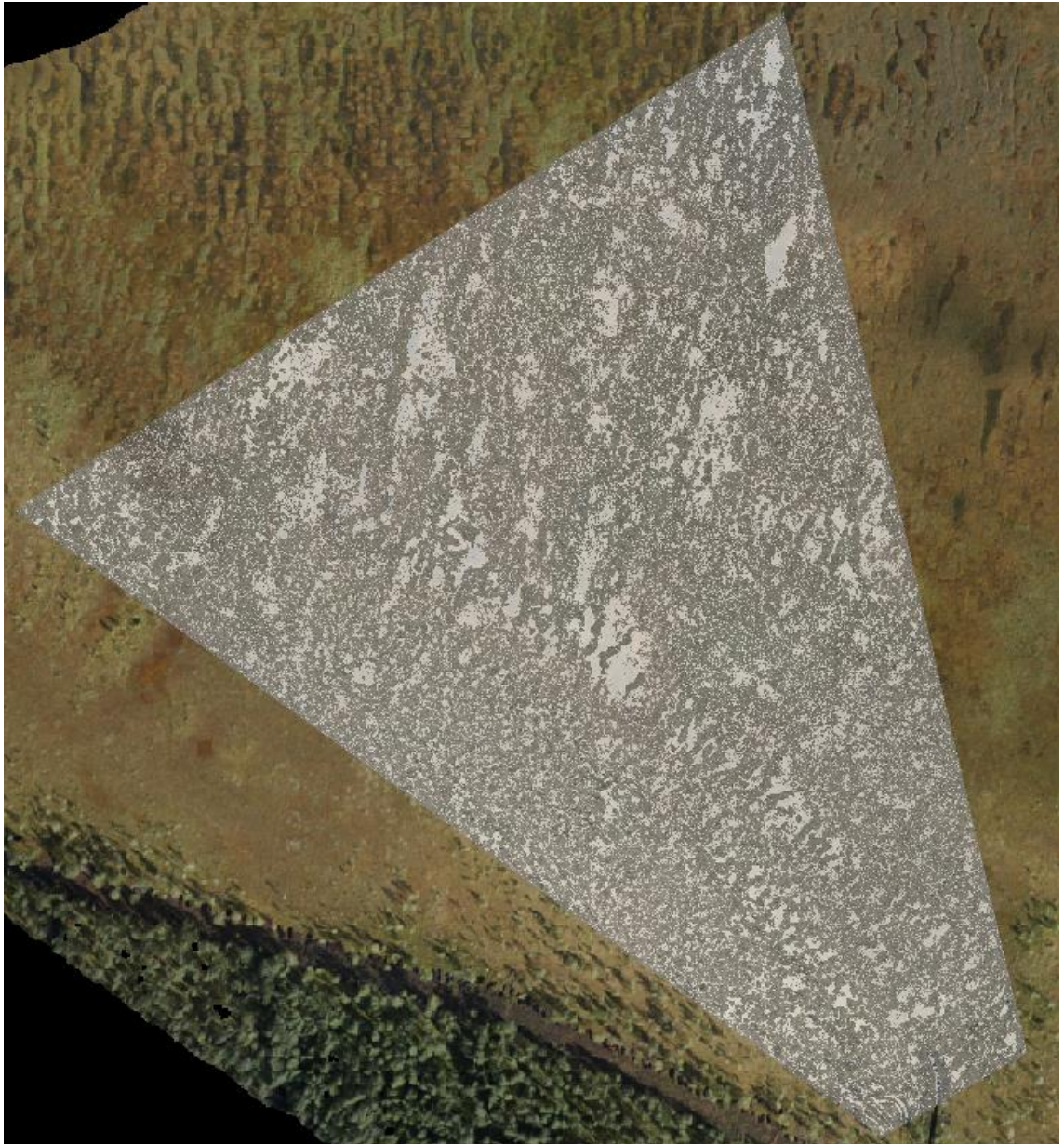
LIITE 5. KOSTEUSINDEKSIEN VERTAILU

**SAGA kosteusindeksit (Planchon/Darboux, 2001)**

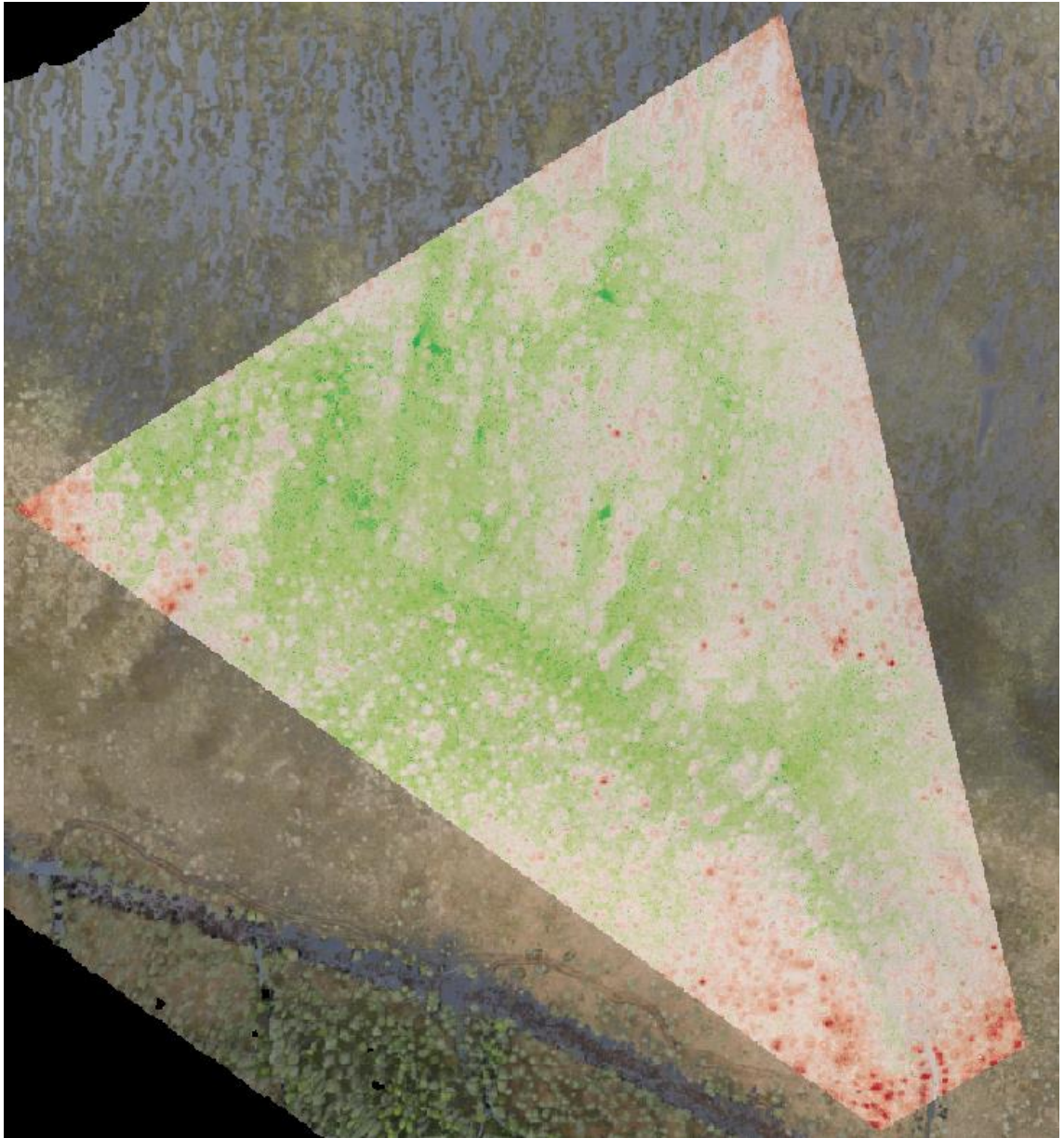


Vahtisuo 25.5.2021

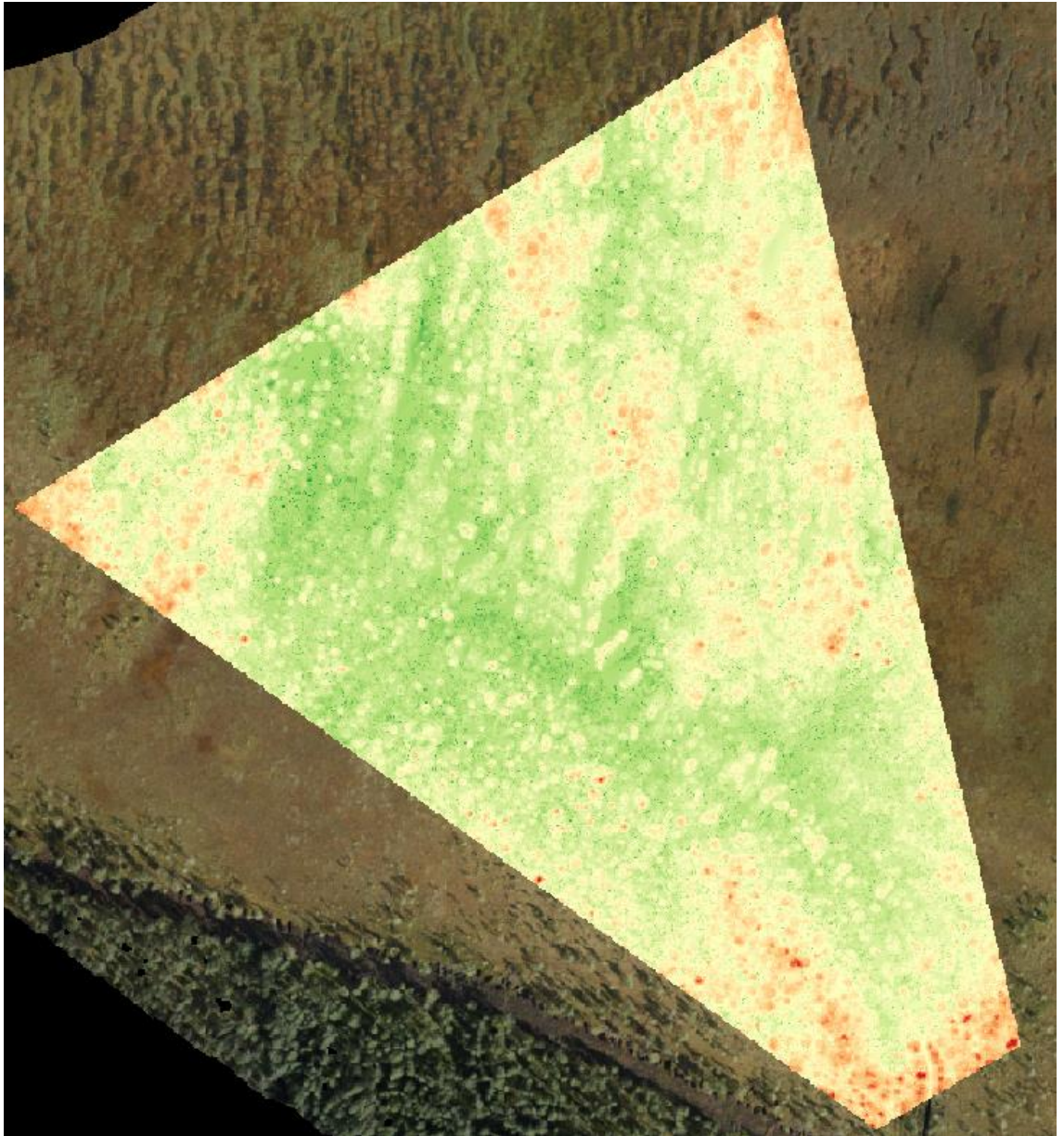




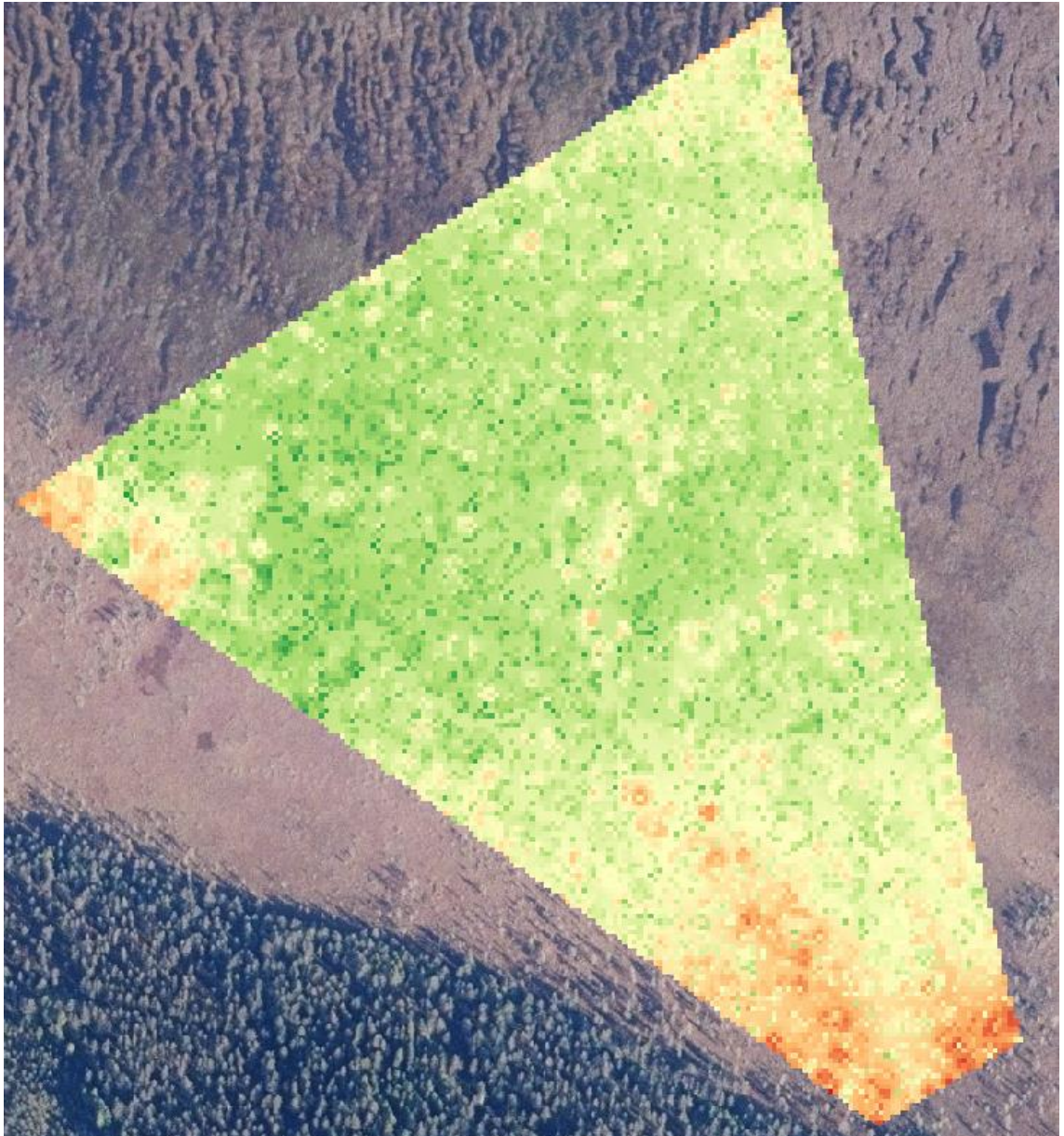
Vahtisuo 11.8.2021

**SAGA kosteusindeksit (Planchon/Darboux, 2001) 0,5 metrin rasteri**

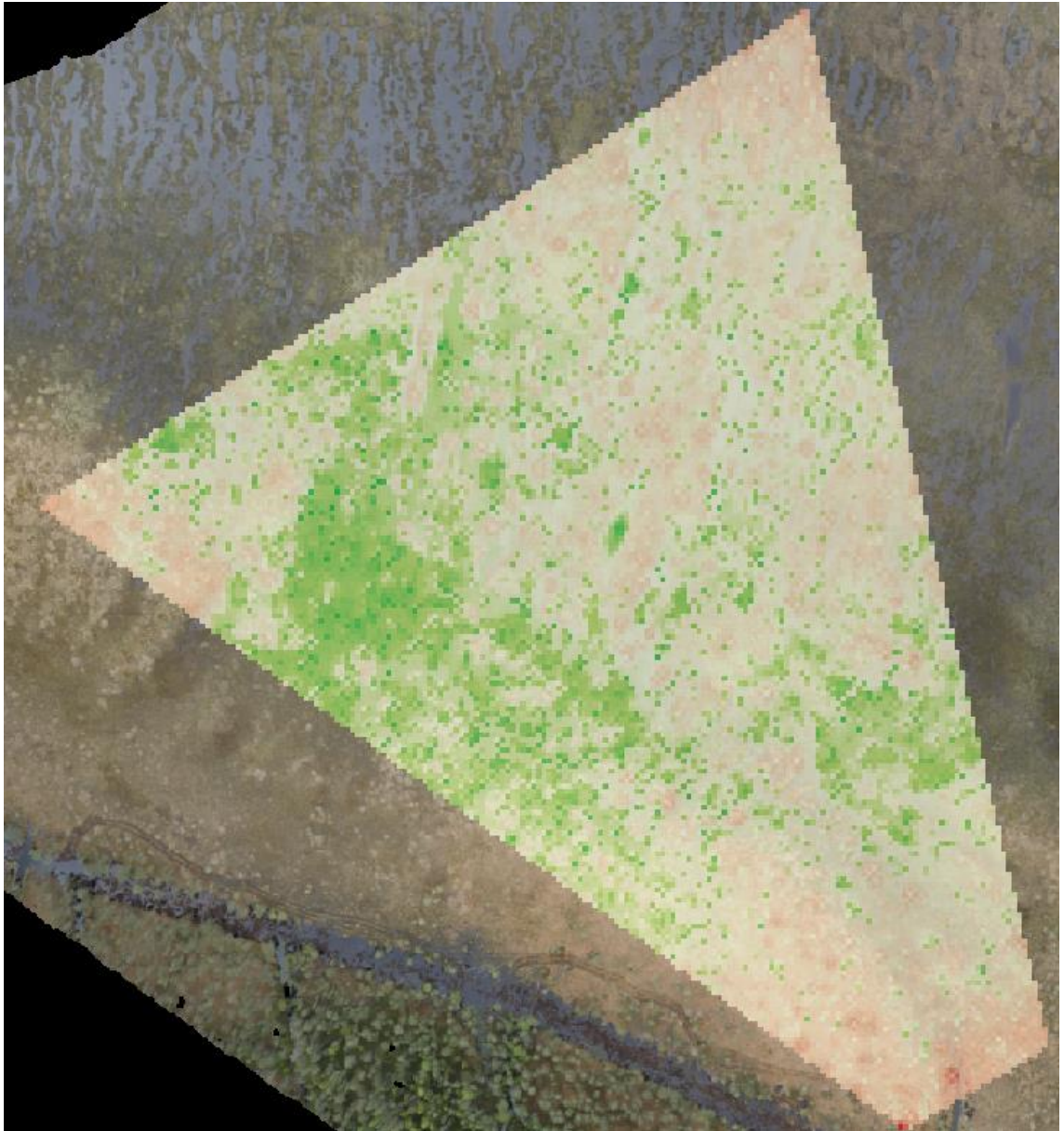
Vahtisuo 25.5.2021 – harvennettu 0,5 m



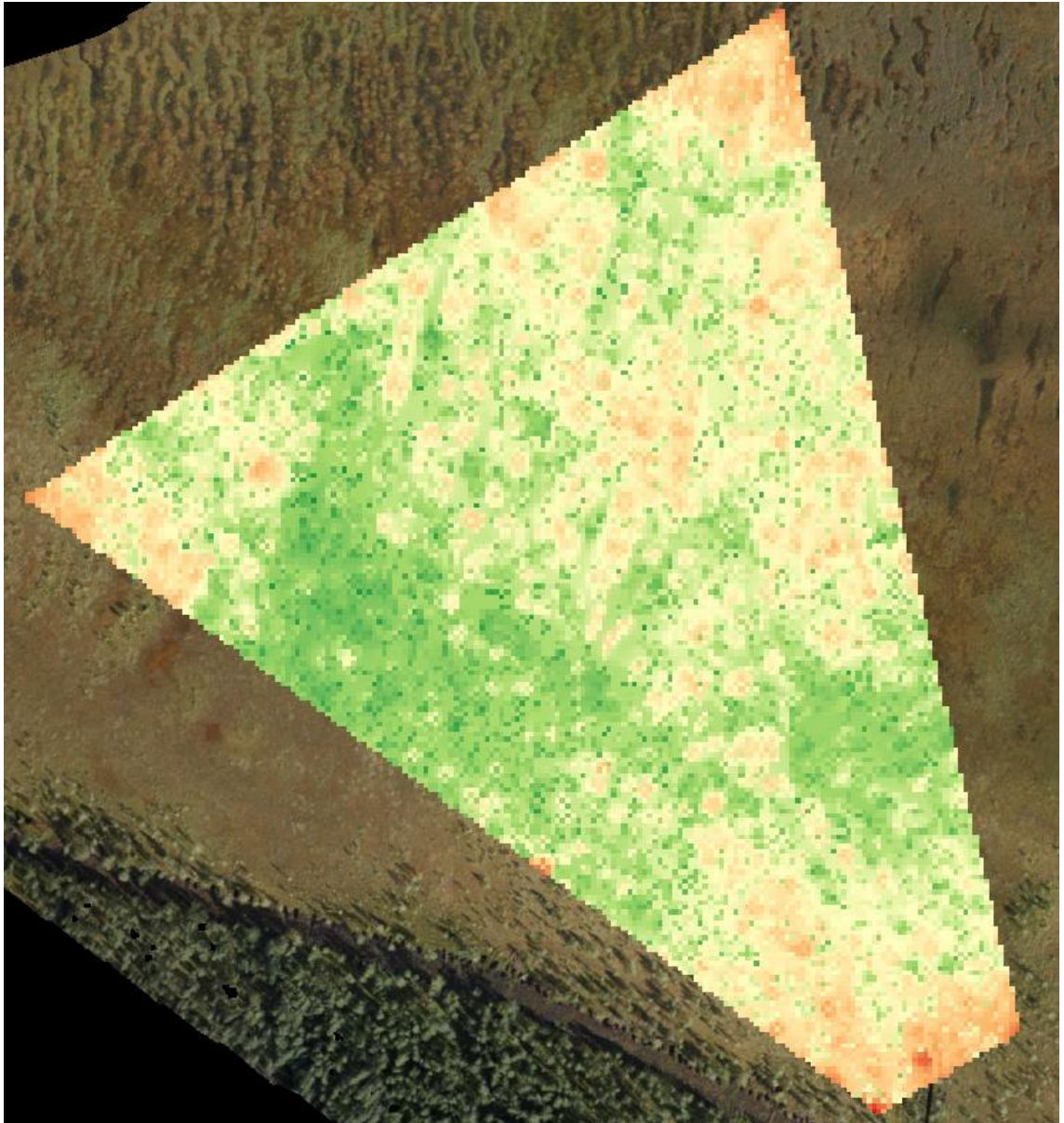
Vahtisuo 11.8.2021 – harvennettu 0,5 m

**SAGA kosteusindeksit (Planchon/Darboux, 2001) 2 metrin rasteri**

Vahtisuo ennen vesienpalautusta



Vahtisuo 25.5.2021 – harvennettu 2 m



Vahtisuo 11.8.2021 – harvennettu 2 m

LIITE 6. SAGA GIS -PROSESSIEN TOIMIVUUS 2021 KUVATUILLA  
RAJATUILLA AINEISTOILLA

(x on toimiva, - ei toimiva)

	25.5.2021	11.8.2021	25.5.2021 2 m yleis- tetty	11.8.2021 2 m yleis- tetty
<b>Fill Sinks</b>				
Planchon/Darboux, 2001	x	x	x	x
Wang & Liu	x	x	x	x
<b>Flow Accumulation</b>				
Flow Tracing (Planchon/Darboux, 2001)	-	-	-	-
Flow Tracing (Wang & Liu)	x	x	x	x
Mass-Flux Method (Planchon/Darboux, 2001)	-	-	-	-
Mass-Flux Method (Wang & Liu)			-	-
QM of ESP (Planchon/Darboux, 2001)			-	-
QM of ESP (Wang & Liu)			-	-
Recursive (Planchon/Darboux, 2001)	-	-	-	-
Recursive (Wang & Liu)	-		-	-
Top-Down (Planchon/Darboux, 2001)	-	-	-	-
Top-Down (Wang & Liu)	x	x	x	x
Parallelizable (Planchon/Darboux, 2001)	-	-	-	-
Parallelizable (Wang & Liu)	x	x	x	x
<b>Wetness Index raja-arvo</b>				
SAGA Wetness Index (Planchon/Darboux, 2001)	>5,1	>5,1	>5,1	>5,1

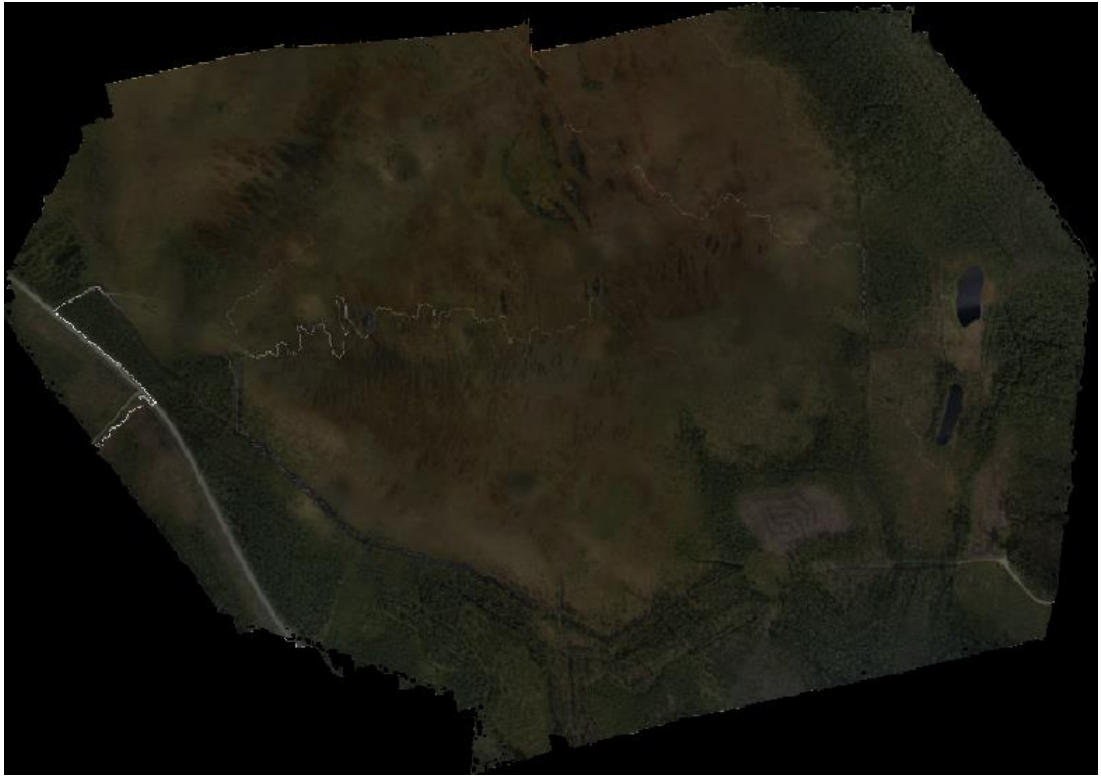
SAGA Wetness Index (Wang & Liu)	>6	>7,5	>6	>7,5
Basic Terrain Analysis – Topographig Wetness Index (Planchon/Darboux, 2001)	-	-	-	-
Basic Terrain Analysis – Topographig Wetness Index (Wang & Liu)	-	-	-	-
One Step (Planchon/Darboux, 2001)	-	--	-	-
One Step (Wang & Liu)	-	-	-	-

LIITE 7. VAHTISUO ISO ALUE – FLOW ACCUMULATION TOP-DOWN  
(PLANCHON/DARBOUX, 2001)



Vahtisuo ennen vesienpalautusta



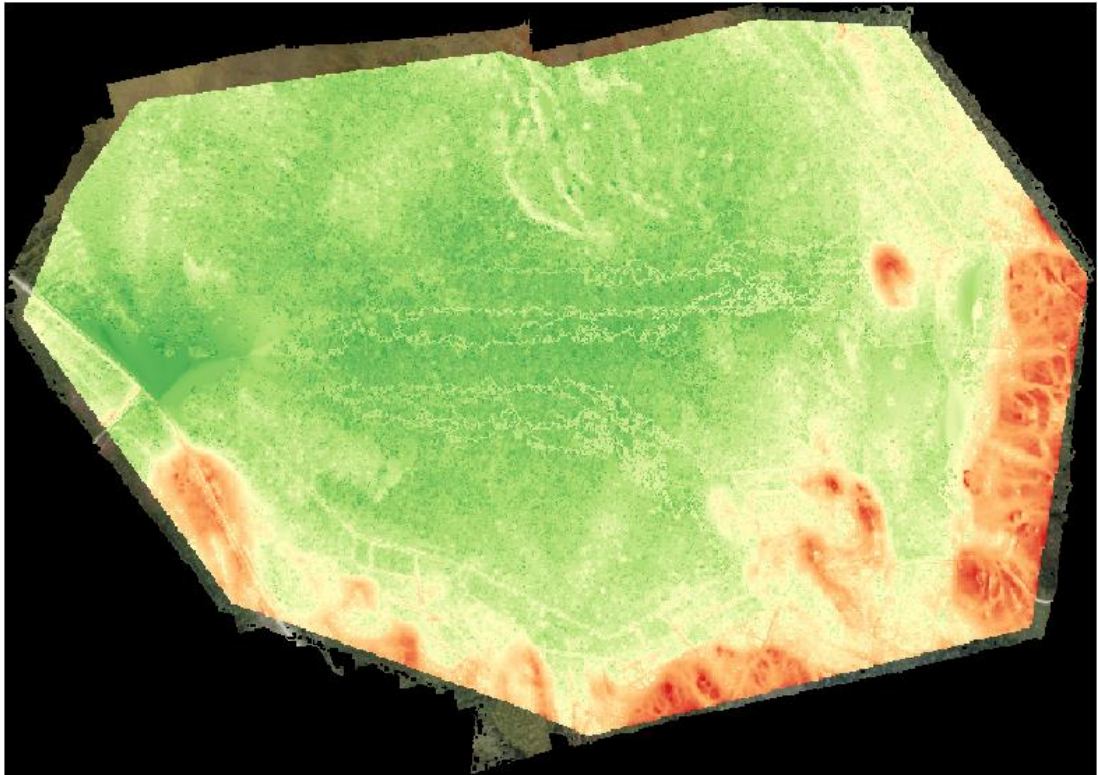


Vahtisuo 11.8.2021 – harvennettu 2 m

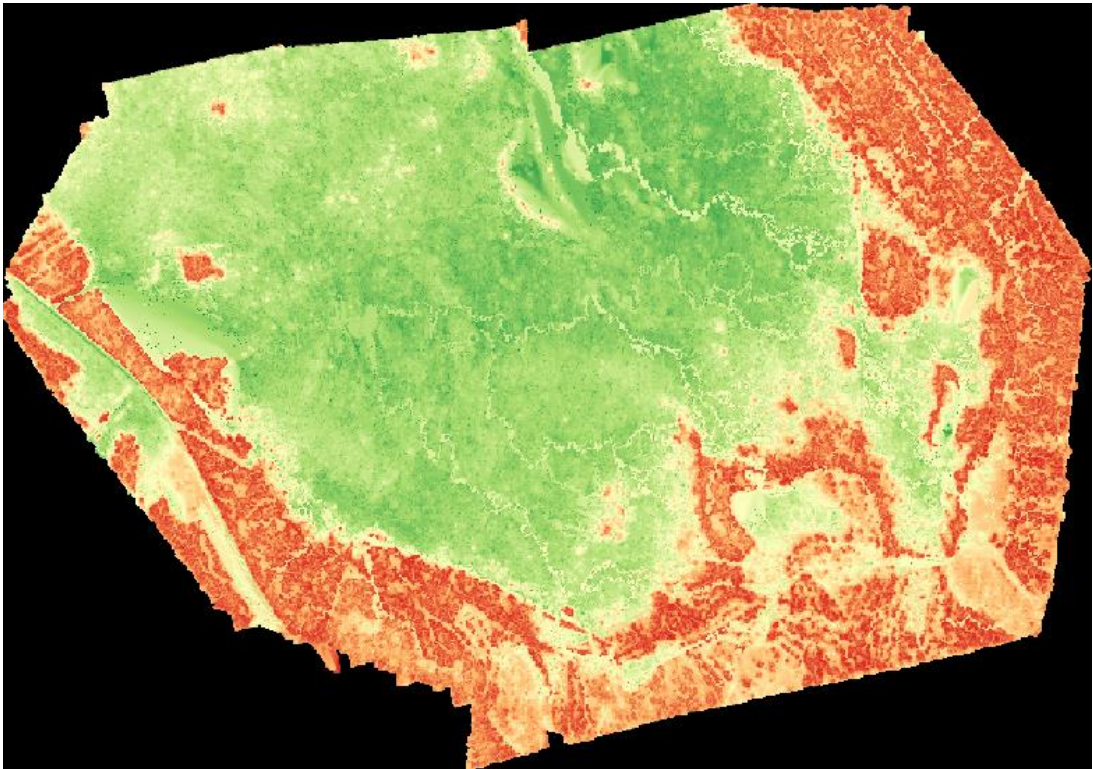


Vahtisuo 11.8.2021 – harvennettu 0,5 m

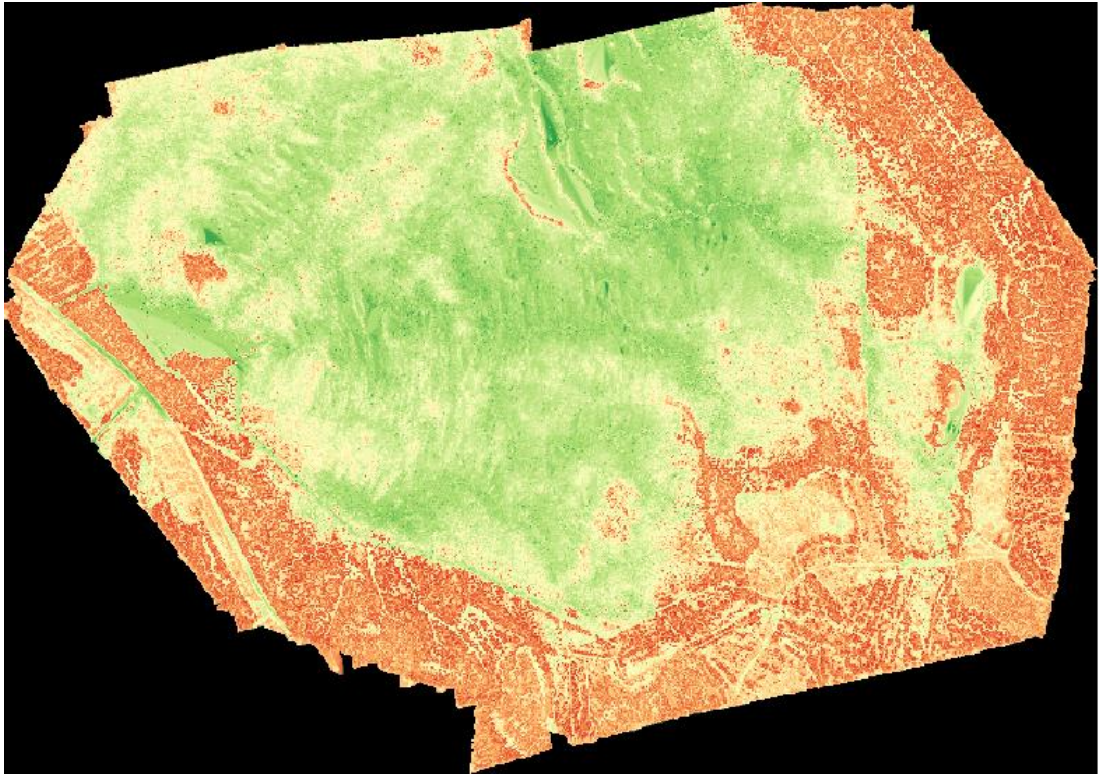
LIITE 8. VAHTISUO ISO ALUE – SAGA KOSTEUSINDEKSIT  
(PLANCHON/DARBOUX, 2001)



Vahtisuo ennen vesienpalautusta



Vahtisuo 11.8.2021 – harvennettu 2 m



Vahtisuo 11.8.2021 – harvennettu 0,5 m