



**LIITE 14: VIIANKIAAVAN HYDRO-  
LOGIAAN VAIKUTTAVISTA  
TEKIJÖISTÄ**

**AA Sakatti Mining Oy**

**Yhteenvetoraportti**

# **VIIANKIAAVAN HYDROLOGIAAN VAIKUTTAVISTA TEKIJÖISTÄ**



*Kuva: Kevättulvaa Viiankiaavalla*

**Laatija: Veli-Pekka Salonen**  
**Salonen Environment**  
**15.5. 2020**

## Viiankiaavan hydrologiaan vaikuttavista tekijöistä

Viiankiaavan luonnonympäristö on tuhansien vuosien kehityksen tulos. Aapasuokompleksin kosteikkosysteemin sijaintiin ja kehitykseen vaikuttavat korkeussuhteet ja luonnon valumaolot, etenkin Kitisen jokiuoma tulvineen. Myös pohjavesien muodostuminen, virtaus ja vuorovaikutus pintavesien kanssa ilmenevät monin tavoin suon hydrologiassa. Vesien ravinnepitoisuus ja pH vaihtelevat niiden alkuperän ja viipymän mukaan. Viime kädessä ilmasto, sen menneet vaiheet, nykyvaihtelut ja tuleva kehitys säättävät ja ylläpitävät suoluonnon moninaisuutta. Kaikesta tästä kasvupaikkatekijöiden kirjosta syntyy vuorovaikutusverkosto, jonka lopputuloksena ovat Viiankiaavan ominaiset, toisiinsa vaihtuvat suotyypit.

Tämän katsauksen tarkoituksena on koota yhteen tietoa etenkin Viiankiaavan fysikaalisista ja luonnonhistoriallisista tekijöistä, jotka säättävät suon hydrologiaa sekä suolle tulevan veden ajallista ja paikallista vaihtelua. Lopullisena tavoitteena on tarkastella tässä valossa Sakatin kaivos Hankkeen yhteydessä tuotettuja aineistoja ja arvioida suunnitellun kaivos Hankkeen mahdollisia vaikutuksia suon ekohydrologiaan. Katsaus ei suppean muotonsa ja yleistävyytensä vuoksi ole tieteellisesti perusteellinen, mutta se pohjautuu kaikin osin referoituun, ajantasaiseen ja yleisesti saatavilla olevaan tutkimustietoon, johon on viitattu normaalilla tavalla. Katsaus hyödyntää Helsingin yliopiston geotieteiden laitoksen projekteissa toteutettujen ympäristö- ja hydrogeologisten selvitysten, opinnäytteiden ja tutkimusten tuloksia ja siinä on myös tarkasteltu eräitä muita keskeisiä aineistoja, kuten pohjavedenpinnan jatkuvatoimintaista seuranta-aineistoa vuosilta 2012 – 2019 ja konsulttien (SRK Limited ja Stantec Consulting Ltd) tuottamaa tutkimusmateriaalia sekä hydrogeologisten vaikutus selvitysten mallinnustuloksia.

Katsaus on toteutettu AA Sakatti Mining Oy:n ja allekirjoittaneen (Salonen Environment) välisenä konsulttitoimeksiantona, jonka tavoitteena on tukea YVA-prosessiin liittyvää tiedonsaantia. Työn rakenne on seuraava:

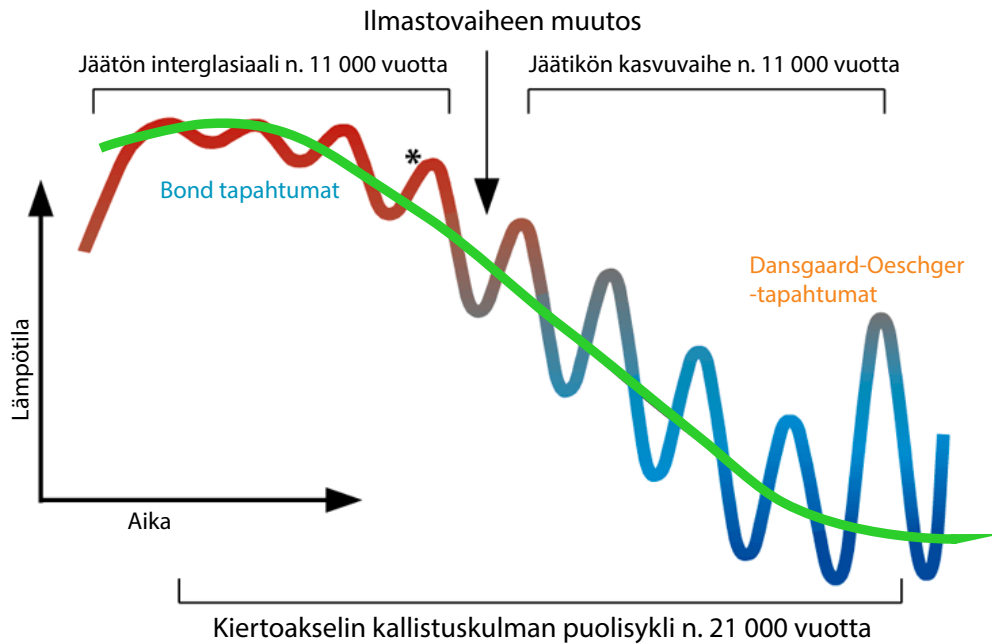
- 1) Katsaus ilmastoon, erityisesti jääkauden jälkeisen ilmaston kehitykseen, nykyilmastoon ja skenaarioihin tulevasta ilmastosta etenkin niiltä osin kuin ne koskettavat Viiankiaavaa.
- 2) Katsaus Viiankiaavan suoaltaan kehityksen vaiheista mukaan lukien ihmisen toiminta
- 3) Suon vesitaseen piirteitä keskittyen etenkin Sakattiojan ja Ruosteojan osavalmu-alueisiin.
- 4) Mallinnetut kaivostoiminnan vaikutukset ja niiden arviointi.
- 5) Arvio ympäristömonitoroinnin kehitystarpeista.

## *Viime jääkauden jälkeisen ilmaston kehitys Lapissa*

Ilmasto muuttuu alinomaa johtuen siitä, että ilmastoa ohjaavat perustekijät eli ilmastopakotteet kuten auringon säteilyvaikutus maan pinnalla, ilmakehän koostumus, merivirtojen kulku ja viime kädessä maanpinnan suurtopografia ovat geologisessa aikaskaalassa muuttuvia. Ilmaston suuri vaihtelu tapahtuu kymmenien ja satojen tuhansien vuosien mittakaavassa ilmentyen esimerkiksi Lapissa jääkausien ja jäädä vapaiden lämpimämpien ajanjaksojen vaihteluna. Tämän suurvaihtelun syynä ovat niin sanotut orbitaalisyklit, eli Milankovićin syklit, joiden yhteenlaskettu vaikutus kriittiselle 65°N leveyspiirille aiheuttaa jopa luokkaa  $\pm 50 \text{ Wm}^{-2}$  ( $\pm 20\%$ ) suuruisen vaihtelun maan pinnalla vaikuttavan tulosäteilyn tehossa (Imbrie ja Imbrie 1980). Orbitaalisyklit johtuvat lähiavaruutemme taivaankappaleiden toisiinsa vaikuttavista vetovoimakentistä. Ne synnyttävät maan kiertorataan ja kiertoakseliin syklisiä muutoksia, jotka puolestaan ovat kyllin voimakkaita muuttamaan maapallon ilmasto-olot perin pohjin (Berger ja Loutre 1991). Niiden aikaansaama ilmastovaikutus on voimakas, mutta hyvin hidas, tuhansien vuosien kuluessa ilmenevä luonnollinen paine kohti kylmää tai kohti lämmintä.

Pian sen jälkeen, kun viime jääkausi oli päättynyt Lapissa 10 000 vuotta sitten, oli maapallon pohjoiselle pallonpuoliskolle tuleva säteily suurimmillaan. Auringon kiertoakselin kaltevuus oli tällöin 24,5°, ja napapiiri kulki nykyisen Kemin korkeudella (65,5°N). Tällä hetkellä maan akselikulma on vähitellen oikeenemassa siirtäen napapiiriä 14 m vuosivauhdilla pohjoisemmaksi, niin että se 12 000 vuoden kuluttua tulee kulkemaan Peurasuvannon korkeudella (67,9° N) kaikkein ylimmässä asemassaan. Akselikulman pienetessä pienenevät myös vuodenaikojen erot pohjoisessa, mikä johtaa siihen, että kesät viilenevät ja talvet leudontuvat. Lopulta kehitys vie uuden jääkauden alkamiseen. Vähittäisen globaalin viilenemisen suuruus on 0,3 °C tuhannessa vuodessa (Bradley 2014).

Ilmastoon vaikuttaa kuitenkin muitakin, lyhyemmän aikaskaalan luonnollisia vaihteluita. Niitä ovat niin kutsutut Bond (Bond *ja muut* 1997) sekä Dansgaard–Oeschger -tapahtumat (Shulz 2002), jotka vaikuttavat Pohjois-Atlantin termohaliiniseen merivirtojen kiertojärjestelmään noin 1500 vuoden sykleissä (kuva 1). Niiden syy ei ole vielä täysin selvillä (Dima ja Lohman 2009), mutta esimerkiksi niin sanottu 8.2 -tapahtuma 8200 vuotta sitten johtui Kanadan valtaviiden jääjärvien nopeasta purkautumisesta pohjoiselle Atlantille. Tapahtuman seurauksena termohaliininen merivirtojen kiertosysteemi muuttui ja Pohjois-Euroopan keskilämpötila laski jopa 3,3 °C yli sadan vuoden ajaksi (Alley *ja muut* 1997).



**Kuva 1. Pohjois-Atlantin suurilmastosysteemin päävaikuttajia ovat Milankovićin syklit sekä termohaliinisen kierron D–O- ja Bond-tapahtumat. Alkuperäisen kuvan lähde:**  
<https://judithcurry.com/2017/05/28/nature-unbound-iii-holocene-climate-variability-part-b/>

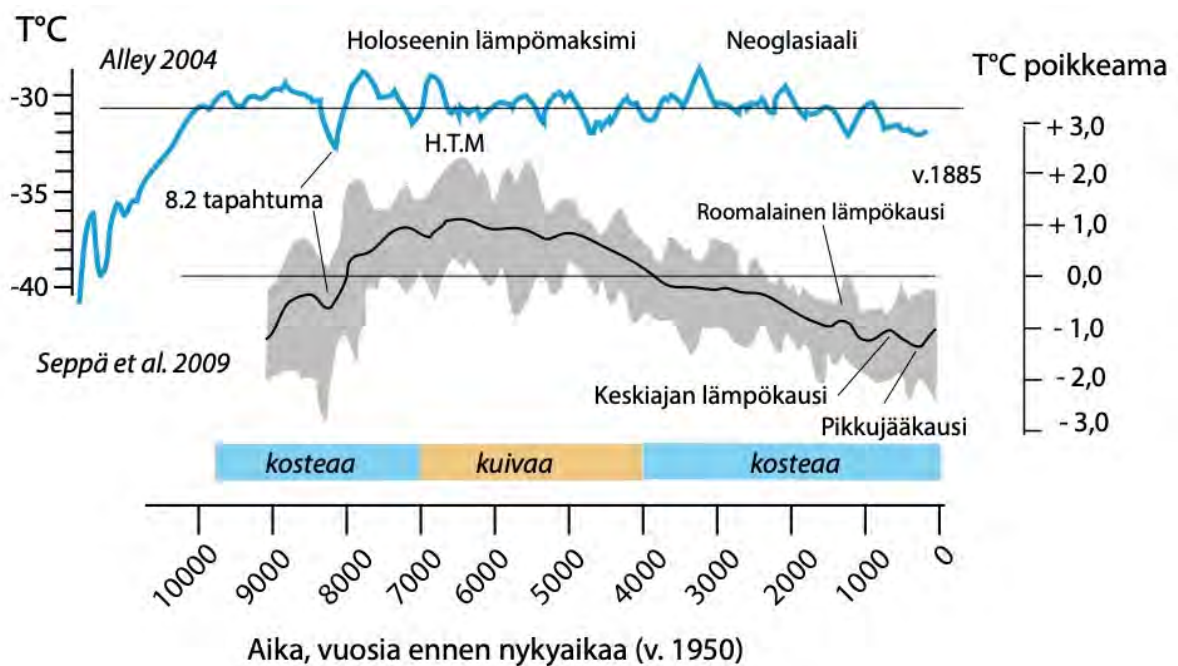
Nämä epäsäännölliset 1000 – 2000 vuoden välein toistuvat lämpötilajaksot ovat rytmittäneet holoseenin aikaista ilmastoa, kuten ilmenee Grönlannin vuositarkasta jäätikkökairasarjasta tehdystä lämpötilarekonstruktiosta (Kuva 2). Samat vaihtelut näkyvät loivempina myös Suomen Lapin ilmaston lämpötilarekonstruktioiden (Seppä ja muut 2009, Mielikäinen ja muut 2013). Niihin kuuluvat erillisinä ilmastojaksoina nimetyt holoseenin lämpömaksimi, neoglasiaali, roomalainen lämpökausi, keskiajan lämpökausi sekä pikkujääkausi (Kuva 2).

Lapin jääkauden jälkeisen aikana vallinnutta ilmastoa on voitu ennallistaa monilla eri aineistoilla. Puhutaan ns. proksiaineistoista. Ne tarkoittavat luonnon ilmiöitä, joilla on yhteys muinaisiin ilmastomuuttujiin ja jotka säilyvät ajoitettavina luonnon arkistoissa kuten turvekerrostumissa tai järvien pohjaliejuissa. Eri proksit indikoivat eri ilmastotekijöitä, mutta niitä yhdistämällä voidaan saada melko luotettava yleiskäsitys viimeisen 10 000 vuoden ilmaston piirteistä.

Ilmastotietoa on Lapista saatu suoturpeista ja järvien pohjaliejuista tutkituista siitepölyistä ja kasvijäänteistä, joista ilmenee paitsi kasvillisuuden sukkessio myös erilaisista olosuhteista kertovien indikaattorien esiintyminen. Mikä tärkeää, voidaan niiden perusteella johtaa tilastollisia ilmastomuuttujia kuten kesän keskilämpötila tai sadanta (Seppä ja muut 2009). Kun tutkimukseen yhdistetään vielä vesieliöiden (vesikirput, piilevät, pohjaeläimet) tunnetut ilmastoriippuvuudet (Kultti ja muut 2006), voidaan arvioida monipuolisesti menneiden aikojen ilmastokehitystä. Tulokset osoittavat, että männyn metsäraja oli Lapin pohjoisimmissa osissa korkeimmillaan 8300 – 4000 vuotta sitten, jolloin heinäkuun keskilämpötila oli 2,5°C nykyistä korkeampi. Tämän ns. holoseenin lämpömaksimin jälkeen ilmasto viileni kylmemmäksi ja

sateisemmaksi neoglasiaaliksi, joka huipentui n. 3500 vuotta sitten. Tätä seurasi pitkä, suhteellisen kuiva ja lauhkea ”roomalainen lämpökausi” ja ”keskiajan lämmin kausi”, joka päättyi nopeaan viilenemiseen, ns. ”pikkujääkauteen”. Se alkoi noin 700 vuotta sitten ja päättyi 1800-luvun puolivälissä (Seppä ja muut 2009) (kuva 2).

Menneiden ilmastojen tutkimusta on Lapissa tehty etenkin ilmastosensitiivisen männyn puunrajan tuntumassa, mistä on myös kerätty yli 7000 vuoden pituinen yhtenäinen männynlustokronologia (Helama ja muut 2008). Metsänrajamännyn kasvusta johdettu kesä–heinäkuun keskilämpötilavaihtelu korreloi sekä viiveettömästi että 50–80 vuoden viiveellä auringon aktiivisuusvaihteluiden kanssa (Helama ja muut 2010). Tässä aineistossa on huomiota herättävän selkeä syklisyys, joista vahvin on noin 80 vuoden mittainen sykli. Se ilmenee kriittisenä tekijänä männyn metsänrajalla, missä sen vaikutus kesän lämpötilaan on noin  $\pm 0,3$  °C (Mielikäinen ja muut 2013). Tämän syklisyyden syynä pidetään jaksottaista vaihtelua Pohjois-Atlantin oskillaatioindeksissä (NAO) (esim. Helama ja muut 2009, Olsen ja muut 2012) tai rytmistä vaihtelua auringon aktiivisuudessa (Mielikäinen ja muut 2013).



**Kuva 2.** Holoseenin aikaiset ilmastovaihtelut Grönlannin mannerjäätikön isotooppisuhteista määriteltynä (ylempi käyrä) (Alley 2004). Alempi käyrä esittää Pohjois-Euroopasta rekonstruoitua vuoden keskilämpötilakäyrää, joka perustuu 36 tarkasti analysoituun siitepölyrekonstruktion (Seppä ja muut 2009). Harmaa vyöhyke kuvaa vaihtelun suuruutta. Huom. aikaskaala loppuu vuoteen 1950.

Vielä on eräänä ilmastotiedon lähteenä paikallaan mainita Tornionjoen jäiden lähtö, jota on tallennettu aikakirjoihin vuosittain jo 1600-luvun lopulta alkaen. Se on maamme pisin systemaattisesti seurattu ilmastoilmiö, ja sen on osoitettu riippuvan suoraan kevätkuukausien (huhti – toukokuu) lämpötilasta. Niinpä tätä tietoa on voitu hyödyntää pikkujääkaudelta aina nykyaikaan ulottuvan lämpötilasarjan luomisessa (Helama ja muut 2013). Tulokset osoittavat, että kevään lämpötila on noussut jatkuvasti 1700-luvulta näihin päiviin ja että nykyisin, 1900-

luvun lopulta tähän päivään, jäät Tornionjoesta lähtevät noin 10 päivää aikaisemmin kuin 1800-luvun alussa osoittaen aikaisempaan verrattuna n. 2°C lämpimämpiä kevätkausia.

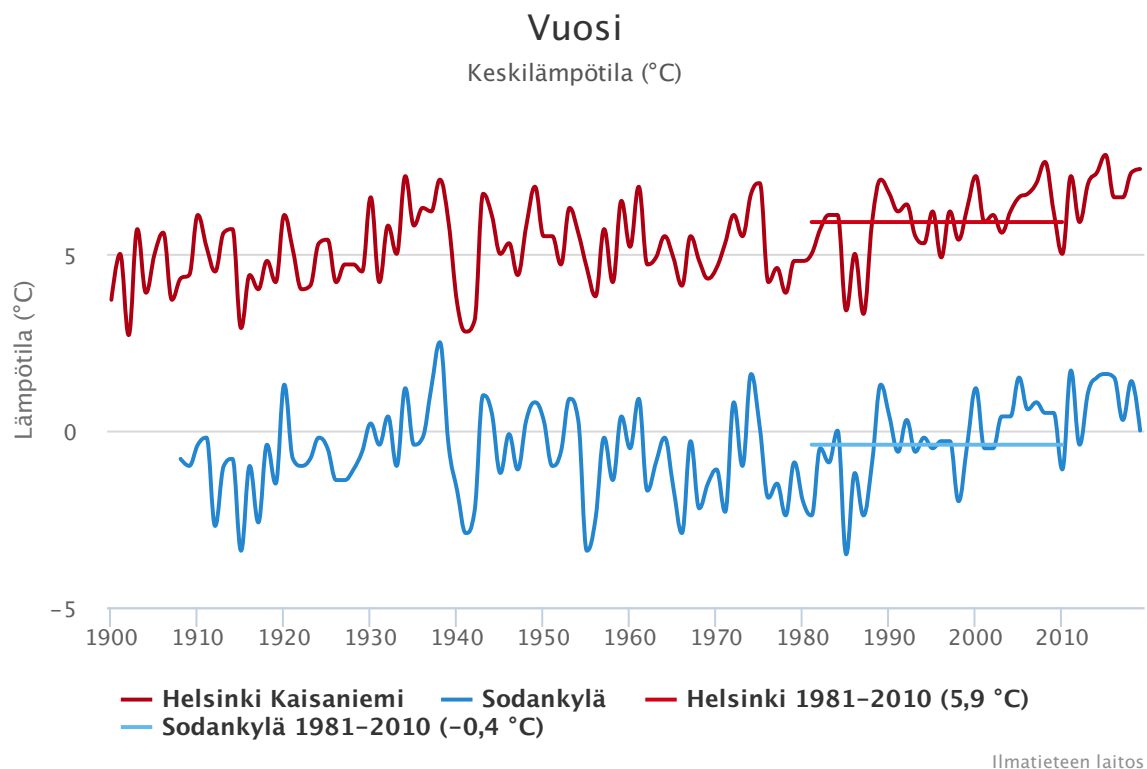
Myös sadannan muinaisia vaihteluita voidaan ennallistaa viime jääkauden jälkeiseltä ajalta. Arviointi on kuitenkin epävarmempaa ja luonteeltaan suuntaa antavaa. Tässä mielessä hyödynnettyjä luonnonarkistoja ovat vesikirppujen jäänteistä johdetut tulkinnat lasku-uomattomien pikkujärvien vedenpintojen vaihtelusta. Näin on selvitetty, että Lapissa vedenpinnat olivat holoseenin alussa korkealla laskien sitten 4-6 metriä keskiholoseenin aikana (7000 – 4000 vuotta sitten) noustakseen taas ylemmäksi holoseenin loppua kohden (Korhola ja muut 2005). Siitepölyjen perusteella tehty rekonstruktio (Seppä ja Birks 2001) vahvistaakin, että männyn puunrajan tuntumassa oli vuotuinen sadanta holoseenin alussa suurta, noin 600 – 800 mm, 8200 – 6700 vuotta sitten sadanta väheni noustakseen taas korkeammaksi viimeisen 2000 vuoden aikana (Kuva 2).

Jääkauden jälkeen vallinneet luonnolliset ilmastonvaihtelut ovat vaikuttaneet monin tavoin myös Viiankiaavan kehitykseen. Luonnollisen ilmaston päätrendit, niiden vaihtelut ja syyt tunnetaan melko tarkasti. Niiden päälle on kuitenkin tullut uusi, ennen kokematon ilmastopakote, joka on ihmisen toiminnasta aiheutuva ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuuden nopea kasvu. Sen muutosvaikutus ylittää luonnollisten tekijöiden vaikutuksen ja sen suuruuden arvioidaan olevan (ICCP 2018) olevan maailmanlaajuisessa maa–meri -lämpötilaindeksissä noin +1,0 °C suuruinen vuodesta 1950 nykyaikaan.

Ihmistoiminta on lisännyt kasvihuonekaasujen, erityisesti hiilidioksidin pitoisuutta ilmakehässä siten, että se on kohonnut luonnon tasosta 280 ppm nykyiseen (04/2020) arvoonsa 416 ppm (<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>). Nykynäkymillä hiilidioksidin päästöt kasvavat edelleen. Se johtaa tulevaisuudessa kiihtyvään ihmistoiminnasta aiheutuvaan eli antropogeeniseen ilmastonmuutokseen, mikä eri alueilla toteutuu eri tavoin. Tämän vuoksi Sodankylän tulevaa ilmastoa eivät menneen ajan vaihtelut selitä, vaan pitää turvautua ilmastomallinnukseen, jota tukevat nykyisestä ilmastosta tehdyt suorat instrumenttimittaukset.

## Sodankylän nykyinen, mitattu ilmasto

Sodankylä on Suomen kylmintä aluetta. Ilmatieteen laitoksen avoimesta datasta ilmenee, että Sodankylän Tähtelän sääasemalla on vuoden keskilämpötila nykyisin  $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (vuosien 1981 – 2010 keskiarvo). Vuoden keskilämpötilassa on lievästi kasvava trendi, sillä etenkin 2000-luvun vuosina ne poikkeavat selvästi,  $+1 - +2\text{ }^{\circ}\text{C}$  verran keskiarvosta (kuva 3). Keskilämpötilan nousu ei kuitenkaan Sodankylän asemalla ole yhtä ilmeinen kuin Helsingin Kaisaniemen asemalla mitattu. Mittaushistorian lämpimintä Sodankylässä oli vuonna 1938, jolloin vuoden keskilämpötila oli  $+2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



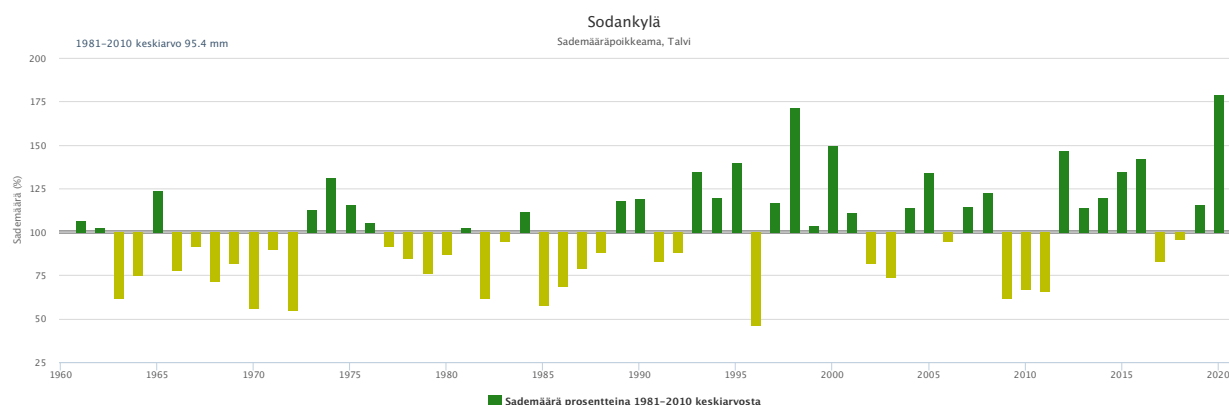
**Kuva 3. Keskilämpötilan kehitys Helsingin Kaisaniemen ja Sodankylän sääasemilla (Ilmatieteen laitos, avoin data).**

Tornionjoen jäidenlähdon aikaistuminen viittaa siihen, että ainakin Länsi-Lapin lämpötila olisi kohoamassa (Helama ja muut 2013). Hydrologisista aikasarjoista on käynyt ilmi, että keväiset tulvat ovat pohjoisen säännöstelemättömissä jokiuomissa lisääntyneet ja aikaistuneet entisestään vuodesta 2004 lähtien (Korhonen 2019).

Vuotuiset sademäärät ovat yleisellä tasolla suurimmassa osassa Lappia 450–550 mm kasvaen luoteesta kaakkoon. Kuivinta on Ounasjoen ja Kitisen laaksoissa. Ympäristöään suurempia sademääriä mitataan etenkin eteläisellä Saariselällä ja Ylläs-Pallaksen tunturijaksolla. Kuivin kuukausi on useimmiten huhtikuu, joskin helmi- ja maaliskuu ovat jokseenkin yhtä vähäsateisia; sademäärät ovat kevättalvella keskimäärin 25–30 mm/kk. Heinä- ja elokuiset sademäärät ovat 60–70 mm. Vuotuisesta sateesta lähes puolet eli 250–300 mm tulee lumena (Kersalo ja Pirinen 2009).

Ilmatieteen laitoksen avoimesta datasta on todettavissa, että normaalijakson 1981–2010 kuluessa mitattu keskimääräinen vuotuinen sademäärä on Sodankylässä 520,5 mm. Tähtelän aseman mittausarjoista ilmenee edelleen, että jakson 1960 – 2020 aikana suurin vuotuinen sademäärä on ollut vuoden 1992 740 mm ja että kuivimpana vuonna 1976 sadetta saatiin vain 395 mm. Vuotuisissa sademäärissä ei ole selkeää trendiä tällä ajalla, joskin on havaittavissa, että talvet ovat mittausjakson aikana tulleet sitten 1990-luvun aikaisempia vuosia sateisemmiksi (Kuva 4).

Keskimääräinen vuotuinen haihdunta on ollut Sodankylässä vuosien 1960 ja 2011 välisenä aikana 320 mm (Moroizumi ja muut 2014).



**Kuva 4. Sodankylän sääasemalla mitatut talviajan sademäärät ajanjaksolla 1960 - 2020. (Ilmatieteen laitos, avoin data).**

Aapasoiden hydrologian kannalta keskeiset kevättulvat sekä pohjavesivarastojen täydentyminen riippuvat talviseen lumipeitteeseen varastoituneiden vesien määrästä ja niiden vapautumisen nopeudesta. Lumen lopputalvinen vesi-arvo esimerkiksi Sodankylässä on vaihdellut vuosina 2014–2019 välillä 150–200 mm. Vuoden 2020 maaliskuussa se ylti ennätyksellisen suureksi ollen Viiankiaavan mittausasemalla suurimmillaan huhtikuun lopulla jo yli 260 mm (<http://www.i3.ymparisto.fi/i3/lumilinja/2019-2020/LAP.htm>).

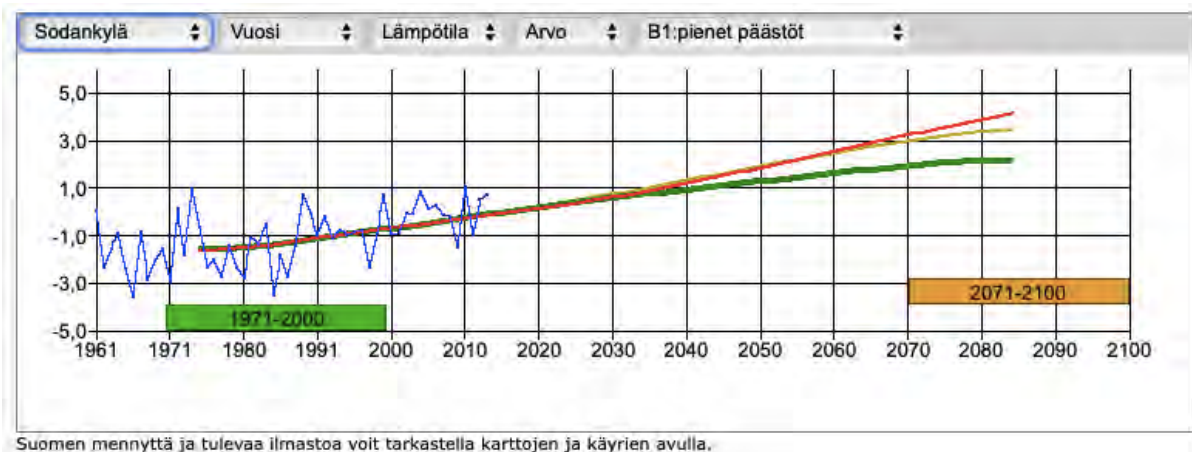
### *Tulevan ilmaston skenaario*

Nykyisen ilmaston tuleva kehitys on jo erkaantunut luonnollisesta kehityskulusta, sillä siihen on etenkin 1900-luvun puolivälistä lähtien kiihtyvästi vaikuttanut ihmisen toiminnasta johtuva kasvihuonekaasujen pitoisuuden kasvu ilmakehässä. Tulevan ilmaston piirteitä on mahdollista monipuolisesti ennustaa nykyaikaisen ilmastomallinnuksen keinoin.

Mallintamisen lähtökohtana ovat tunnetut ja arvioidut muutokset auringon säteilypakotteeseen, erityisesti kasvihuonekaasujen konsentraatioiden muutokset. Muutoksen vastetta eri alueiden ja aikajänteiden ilmastoon voidaan mallintaa hyödyntäen kehittyneitä ilmakehän, merien ja hiilen kiertomalleja. Näin tuotetaan tulevaisuuden ilmastosta ennusteita, skenaarioita, joiden avulla muutoksiin voidaan varautua ja päästöjen vähentämistoimenpiteitä kohdistaa ja perustella.

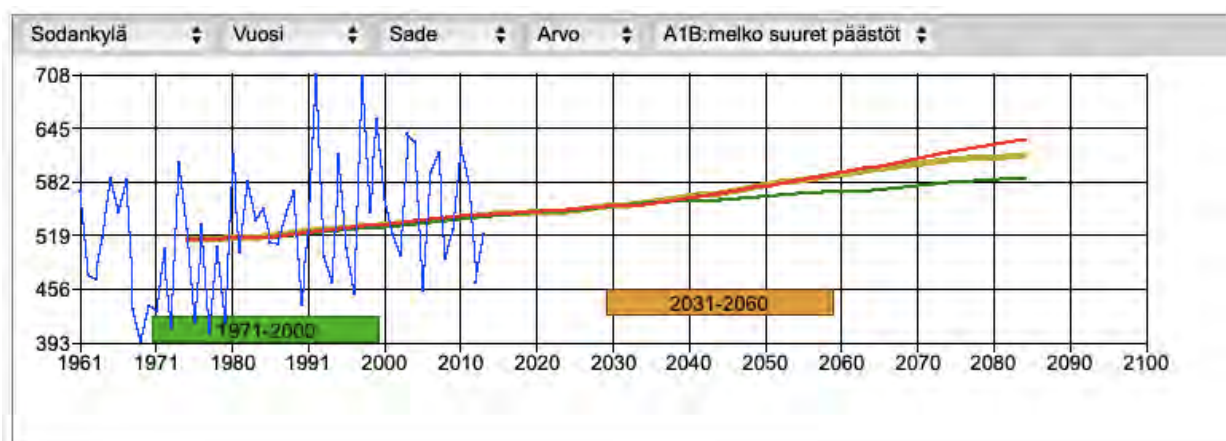
Ilmastomuutostutkimuksen tuloksia julkaistaan hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin IPCC toimesta erilaisina raportteina. Suomen osalta vuoden 2016 mallinnuksiin perustuvat tulokset (Ruosteenoja ja muut 2016) on koottu kansalliseen Ilmasto-oppaaseen (<https://ilmasto-opas.fi/fi/etusivu>), johon tässä esitetyt arviot Sodankylän ilmaston kehityksestä pohjaavat.

Vuoden keskilämpötila on noussut 2000-luvulla n. 0,5°C -asteella (Kuva 5). Vuoteen 2070 mennessä arvioidaan RCP mallin pienten päästöjen skenaariolla keskilämpötilan nousevan Sodankylässä vielä 3–4 asteella. Vuonna 2050 keskilämpötila Sodankylässä olisi ennusteen mukaan +1°C. <https://ilmasto-opas.fi/fi/datat/mennyt-ja-tuleva-ilmasto#DoubleMapTimelinePlace:vertailu>.



**Kuva 5.** Ilmakehämalleilla laskettu vuoden keskilämpötilan kehitysennuste Sodankylässä. Vihreä viiva kuvaa pienten päästöjen tilannetta, punainen viiva suurten päästöjen skenaariota (<https://ilmasto-opas.fi/fi/etusivu>).

Sademäärässä on kasvava trendi, niin että vuotuinen sadanta lisääntyy 10 % vuoteen 2070 mennessä saavuttaen arvon 580 – 620 mm. Etenkin alkutalvisen sadannan (marras-, joulukuun ja tammikuu) osuus skenaarioissa kasvaa.



**Kuva 6.** Sadantaskenaario (<https://ilmasto-opas.fi/fi/etusivu>).

Normaalitalvina maalīs–huhtikuun vaihteen lumipeitteen suurin paksuus Sodankylässä on 80 cm. Tulevassa ilmastossa lumen osuuden ennakoidaan talvisesta sadannasta pienenevän ja lumipeiteajan keskipituuden lyhenevän 20 – 40 päivällä. Lumen vuotuinen maksimiviesiarvo on tällä hetkellä keskimäärin 180 kg/m<sup>2</sup>. Sen arvioidaan tulevan ilmaston keskiskenaariossa (<https://ilmasto-opas.fi>) laskevan n. 20 prosentilla tulevan 50 vuoden aikana.

Tulevan ilmaston haihduntasumman ennakoidaan kasvavan 15 – 20 % ja koko vuoden valuntasumman pienenevän 0-20 %. Vuodenajoittain muutos tapahtuu eri suuntiin siten, että kevätvalunta pysyy lähes ennallaan, mutta kesän valunta pienenee huomattavasti, 20 – 40 %. Syksyinen valuntakin pienenee 0-20 % kun taas talviset valunnat kasvavat jopa 40 – 60 %. (<https://ilmasto-opas.fi>).

Tällaisilla muutoksilla tulee olemaan selkeitä vaikutuksia Viiankiaavan luonnonympäristöön.

### *Viiankiaavan suokompleksin kehitysvaiheet*

Mennyt, nykyinen ja tuleva ilmasto ohjaavat Viiankiaavan hydrologiaa. Jotta ilmastomuutoksen tai suunnitteilla olevan kaivostoiminnan aiheuttaman hydrologisen muutoksen vaikutusta suokompleksiin voidaan arvioida, on vielä tunnettava peruspiirteet suon ja sille puitteet luovan maaperän kehityshistoriasta. Maaperän kehityshistoriaa ja sen vaikutusta hydrogeologiaan on kuvattu aikaisemmissa julkaisuissa (Åberg, A. ja muut 2017, Åberg, S. ja muut 2019 ja Åberg, A. ja muut 2020) sekä raporteissa (Salonen ja muut 2016, Korkka-Niemi ja muut 2017 ja Salonen 2019).

Pääkön (2004) mukaan 6595 hehtaarin laajuinen Viiankiaavan suojelualue kuuluu pohjoisen Peräpohjolan aapasuo-työhykkeeseen. Sen suoalasta kaksi kolmasosaa on avoimia, pääosin keskiravinteisia rimpinevoja. Kompleksi on yhtenäinen aapasuoallas, jonka laajoilla nevoilla vuorottelevat hieskoivua kasvavat kilometrienkin mittaiset jänteet ja rimmet. Lettoja sen alueelta on kartoitettu kaikkiaan 540 hehtaaria, niitä on etenkin Heinäaavalla ja Viiankijärven ympäristössä. 17 % Viiankiaavan alueesta on puustoisia soita eli korpia ja rämeitä.

Heinäaavan alueella on yhdeksän runsasravinteista huurresammallahteikköä (Hjelt ja Pääkkö 2006). Lisäksi yksi eutrofinen lähde sijaitsee Kuusivaaran pohjoispuolella. Aivan Viiankiaavan suojelualueen koillisnurkassa, Särkivaaran pohjoispuolella sijaitsee pienehkö (55 ha) konsentrinen keidassuo, Tirroaapa (Pääkkö 2004).

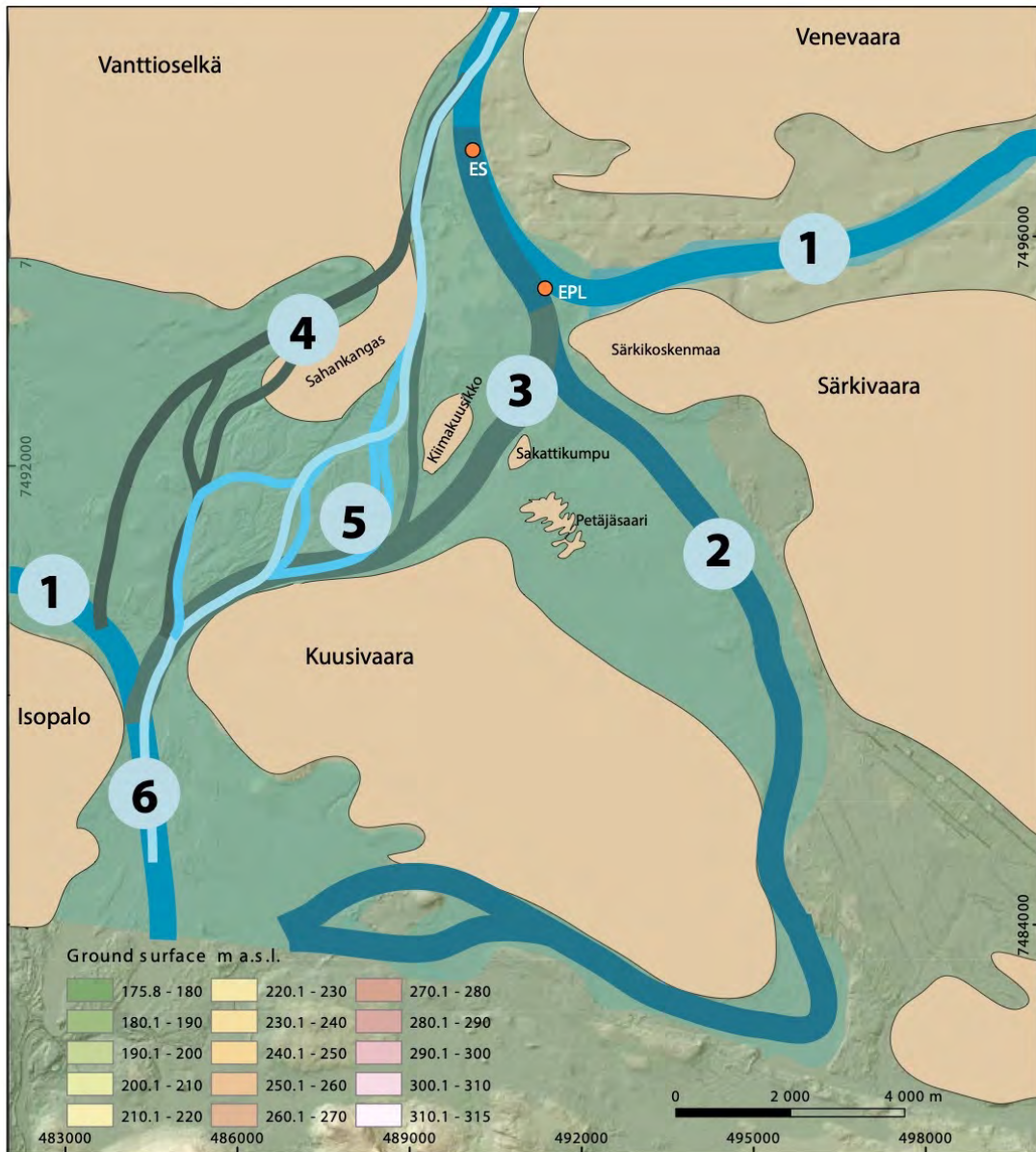
Yleiskuvaltaan Viiankiaapa on varsin laakea mikä osittain johtuu siitä, että turpeen kertyminen on vuosituhansien aikana tasoittanut maaston epätasaisuuksia, täyttänyt pieniä altaita ja muinaisia jokiuomia. Turpeen määrä, laatu ja paksuusvaihtelu on kartoitettu Geologian tutkimuskeskuksen toimesta kahdessa inventoinnissa, jotka tehtiin vuosina 1965 ja 1975 (Lappalainen ja Pajunen 1980). Tietoja turpeen paksuudesta ja suon alla olevasta maaperästä on myöhemmin tarkennettu maatutkauksin (Salonen ja muut 2016, Korkka-Niemi ja muut 2017).

Inventoinnin tuloksena voitiin turpeen kokonaismääräksi laskea 91 miljoonaa m<sup>3</sup> ja keskimääräiseksi tuhkapitoisuudeksi 3,6 % (Lappalainen ja Pajunen 1980). Viiankiaavan turvekerroksen keskipaksuudeksi on mitattu 2,3 metriä, mutta se vaihtelee paljon. Enimmillään turvetta on havaittu 7,8 metrin paksuudelta (Åberg A. ja muut. 2017). Yleisesti tavataan 5-6 metrin turvepaksuuksia, kun taas varsin laajalti, yli 2000 hehtaarin alueella turvetta on vain yhden metrin verran tai vielä vähemmän (Lappalainen 2004).

Viiankiaavan vesitalouteen vaikuttavat Kitisen varressa toimineet vanhat jokiuomat ja mannerjäätikön sulamisvaiheessa syntyneet valumavesijuotit ja suistomaakanavat. Soistuminen on alkanut näistä jokiuomista ja altaista. Muinaisten altaiden ja uomien sijaintia on hahmotettu hyödyntämällä LiDAR-korkeusmallia, turvekairauksia (turpeen paksuus ja pohjamaalaji) ja muita kairautietoja sekä maatutkauksia (Åberg ja muut 2017). Näin on voitu muodostaa yhä tarkentuva käsitys suon pohjamorfologiasta ja nykypäivänä turvekerrosten peittämistä muinaisista jokiuomista. Tämän suon nykyiseenkin hydrologiaan vaikuttavan uomaston sijaintia ja kehitystä on hahmoteltu kuvassa 7.

Numerot viittaavat Kitisen uoman eri vaiheisiin, jotka on kuvattu aikaisemmin Salosen (2019) selvityksessä. **Uoma 1** liittyy Moskujärven varhaisvaiheeseen, jolloin jäätikön sulamisvedet noin 10500 vuotta sitten laskivat sulavan jäätikön reunaa myötäillen Särkivaaran pohjoispuolitse Allema-aavalle ja sitä kautta edelleen Luiron laaksoon. **Uoma 2** kuvaa tilannetta, jossa muinais-Kitisen uoma kiersi Kuusivaaran ja yhtyi nykyiseen Kelujoen uomaan ennen laskuaan Orajärvellä Ancylusjärveen Hirviäkurun rotkon kautta. Uomien 1 ja 2 aikana Moskujärven jääjärvi peitti nykyisen Viiankiaavan aluetta ja korkeimmalla olevat jokisuistokerrostumat Kersilönkankaalla, Poikkijoenkankaalla ja Sahankankaalla syntyivät.

**Uoma 3** sijaitsee Viiankiaavan länsilaidalla turvekerrosten alla. Sen alueella ovat paksuimmat turvekerrokset ja se edelleenkin kerää ja johtaa turpeen alaisia matalan pohjavesivyöhykkeen suovesiä. **Uoma 4** on Kitisen reitti, joka yhtyy Sahankankaan länsipuolitse Sattaseen. Se on soistunut ja kynnystaso on niin alhaalla, että joen ollessa luonnontilassa tulvavedet kiersivät ajoittain sitä kautta vielä 1900-luvulle asti. **Uomasto 5:n** kynnys on myös vain muutaman metrin korkeudella nykyisestä Kitisen pinnasta. Se on ollut todennäköisesti toiminnassa ainakin tulva-aikoina vielä historiallisina aikoina, mutta asia on tarkemmin selvittämättä. Uoma 5 sijaitsee kriittisellä alueella Sakatin esiintymän päällä ja mahdollisen kaivostoiminnan suorassa vaikutuspiirissä. **Uoma 6** on nykyinen säännöstelty joen juoksu.



**Kuva 7. Suurelta osin turpeen peitossa olevat muinaiset Kitisen uomastot Viiankiaavalla. Kuvassa näkyvät myös Lappalaisen (EPL) ja Suonerän (ES) tutkimien näytepisteiden sijainnit.**

Lappalainen on (2004) tehnyt yhteenvedon Viiankiaavan kasvillisuuden ja soistumisen historian jääkauden jälkeiseltä ajalta. 6,7 metrin syvyyteen ulottuva näytesarja on kairattu Viiankijärven kaakkoisreunalta (Kuva 7). Varhaisimmassa vaiheessaan allas oli osa muinaista jokiuomaa ja sen pohjalle kulkeutui hiekkaa. Sen jälkeen kerrostui järviliejua osoittaen, että allas oli aluksi nykyistä Viiankijärveä laajempi (Lappalainen 1970).

Altaan soistuttua umpeen on pohjimmaisena ruskosammalien jäänteistä syntynyttä turvetta (Lappalainen 2004). Myöhemmin se vaihtuu ruskosammal-saraturpeeksi. Tässä kerroksessa on runsaasti myös puuainesta. Turpeen koostumus viittaa siihen, että paikalla olisivat aluksi vallinneet meso-eutrofiset letot ja niiden jälkeen kohtalaisen ravinnerikkaat nevat. Turpeen kerrosjärjestyksen perusteella suolla jatkui pitkään mesotrofinen nevvavaihe. Tänä aikana kerrostui 1,3 metrin paksuinen ruskosammal-saraturvekerros, syvyydellä 5,2–3,9 metriä. Sitten

seurasi heikohko rahkoittumisvaihe ja muodostui sara-rahkaturvetta, jossa myöhemmin on mukana myös ruskosammalien jäänteitä. Vastaavana aikana on suon koko kehityksen ajan kaikkein voimakkain rahkasammalien itiöiden esiintyminen kerrossarjassa 3,9–3,2 m:n syvyydellä.

Turvekerroksen yläosassa on suon toinen rahkoittumisen vaihe, jolloin kerrostui sararahkaturvetta 2,3–1,2 m:n syvyydelle. Tästä nykyaikaa kohti edetessä saraturpeen osuus taas kasvaa.

Suonperä (2016) jakaa Viiankiaavan kehityksen kolmeen vaiheeseen. Ensimmäinen vaihe alkoi Kitisen vetiseltä suistomaalta 10 000 vuotta sitten. Pienet erilliset altaat ylläpitivät runsasta vesikasvillisuutta ja niiden välisille hiekkaisille kankaille alkoi juurtua pioneerikasvustoa, heiniä, saroja, ja koivikkoa kuten Lappalaisen (1970) siitepölydiagrammissa ilmenee. Turpeen tuhkapitoisuus on hyvin korkea, aluksi yli 20 % ja laskien vähitellen 10 % tuntumaan. Tämä johtuu osaksi lentohiekasta, jota tuulet vielä tässä suhteellisen avoimessa maastossa levittivät, mutta ennen kaikkea tulvivan joen mukanaan tuomasta ja tulvatasanteilleen levittämästä hiekasta. Turpeen kertymänopeus vaihtelee, mutta kasvaa vähitellen ja on keskimäärin noin 0,45 mm/vuosi. Turve on ruskosammal-saraturvetta kuten Lappalaisenkin tutkimassa profiilissa.

Suon kehityksen alkuvaiheissa Kitisen suiston virtauskanavat järjestäytyvät ja siirtyvät vähitellen nykyisen uoman tuntumaan (Uomat 4, 5 ja 6, kuva 7). Vanhemmat Moskujärven ja Siurunmaan kautta toimineet uomat jäävät pois käytöstä maanpinnan kohoamisen myötä. Viiankiaavan keskelle muodostuu vähitellen vedenjakaja Petäjäsaarten ja Särkikoskenmaan väliin.

Alkuholoseenin aikainen suon kehitys päättyi niin kutsuttuun kylmään 8.2 -vaiheeseen. Sitä seurasi suon leviämisen ja turpeen muodostumisen voimakkaasti kiihtynyt vaihe ilmaston lämmitessä ja muuttuessa kosteaksi. Soistuminen vakiintui, turpeen paksuuskasvu oli aluksi hyvin voimakasta, jopa useita millimetrejä vuodessa. Tässä vaiheessa suokasvillisuus todennäköisesti myös levittäytyi nopeasti. Turpeen kertymä laski ajan oloon ollen holoseenin keskivaiheilla 0,37 mm/v. Tuhkapitoisuus vakiintui 5 % tienoille.

Tämän jälkeen suon kehitys oli varsin vakaata tuhansien vuosien ajan niin että vasta viimeisten satojen vuosien aikana siihen on tullut muutoksia. Ilmaperäisestä laskeumaa ilmentävät lyijyn kohonneet arvot, mutta muut mineraaleihin liittyvät alkuainepitoisuudet laskevat. Tämän on Suonperä (2016) tulkinnut siten, että joen patoaminen vähensi sen tulvimisen vaikutusta. Synnyltään tulvasuo vakiintui sulamisvesi- ja pohjavesivaikutteiseksi aapasuoksi jo tuhansia vuosia sitten, kunnes joen patoaminen vakiinnutti suon hydrologian nykytilanteeseensa.

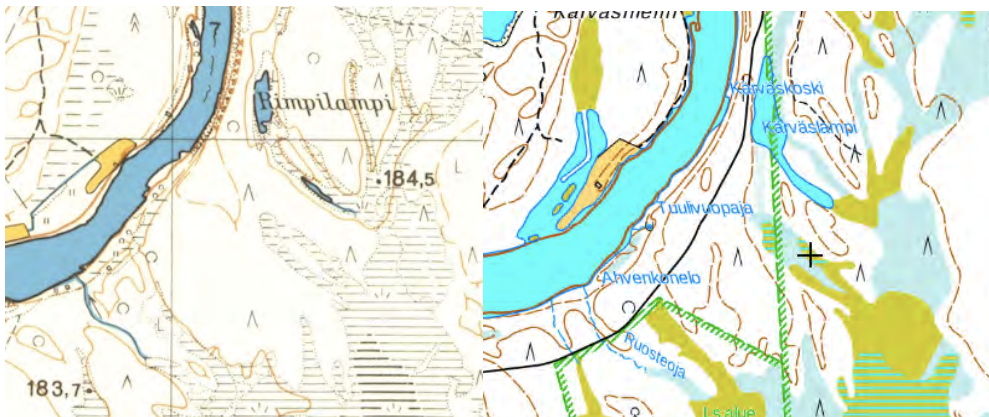
Pohjois-Ruotsissa on havaittu vastaava kehitys turpeen kasvunopeudessa (Rundgren 2008). Se oli 61 turvekairauksen perusteella voimakkaimmillaan 9500 – 8000 vuotta sitten johtuen lämpimästä ilmastosta. Sen jälkeen turpeen kertyminen on ollut tasaista, joskin viime vuosina tuhansina taas kiihtynyt. Sateisuutta ilmentävää rahkoittumista on ilmennyt 5000 vuotta sitten alkaen. Varsinkin aapasoilla turpeen kerrostumisnopeus on ollut suurinta ensimmäisten tuhansien vuosien aikana. Sen jälkeen se on hidastunut tai voinut lähes pysähtyä pitkiksi ajoiksi

(Muurinen 2010). Turvekerrostumien kehityksen luontaiset yleispiirteet sopivat yhteen kuvassa 2 esitettyjen ilmaston suurtekijöiden kanssa.

### *Nykyiset muutokset*

Vaikka Viiankiaavaa ei ole juurikaan ojitettu, on ihmisen toiminta vaikuttanut suon hydrologiaan. Moskuvaaran polkutien rakentaminen vuonna 1926 (maantie vuodesta 1961) on katkaissut suovesien luontaiset virtaukset (Pääkkö 2004) pohjoisesta. Vielä voimakkaammin on vaikuttanut Kitisen jokiuoman asteittainen patoaminen, jonka seurauksena keväiset tulvavedet lakkasivat nousemasta jokivarsien soille ja veden pinta asettui pysyvästi luonnontilaista korkeammalle, patoaltaiden säätämälle tasolle. Suonperän (2016) tutkimuksesta ilmeneekin suon pintaosien osalta, että tulvien vaikutus ei enää näy suon geokemiallisessa koostumuksessa, mutta ilmaperäisen laskeuman merkitys on lisääntynyt.

Salonen ja muut (2016) vertasivat eri ikäisiä karttoja, jotka kuvasivat Viiankiaavan suokuvioiden osoittamaa hydrologiaa ennen (1964) ja jälkeen Kersilön ja Vajukosken patojen rakentamista. Ilmeni, että padon rakentamisen jälkeen vaikeakulkuisten avosoiden pinta-ala oli kasvanut Viiankiaavan länsireunalla, mistä voitiin päätellä, että joen patoaminen on aiheuttanut siellä hydrologisen muutoksen (Åberg A. ja muut 2017) pienentämällä hydraulista gradienttia. Viiankiaavan länsireunalla ilmenee myös ns. bank storage-ilmiötä, jolla tarkoitetaan sitä, että Pahanlaaksonmaan ja Kersilönkankaan orsivesivarastot täyttyvät toukokuussa sulamisvesistä imeytyvästä pohjavedestä purkautuen sitten kesän mittaan kuivuvina tihkupintoina suolle (Åberg, S. ja muut 2019). Myös Poikkijoenkankaalta Pahanlaaksonmaalle kulkevan tien rakentaminen on karttavertailujen perusteella estänyt suon suunnasta Kitiseen tapahtuvaa valumaa, mikä näkyy Ruosteojan osavaluma-alueen vettymisenä sekä Kärvaslammen laajenemisena nykyiseen kokoonsa (Kuva 8).



**Kuva 8.** Kärvasniemen mutkan kohta Viiankiaavalla vuoden 1964 kartassa (vasen) verrattuna nykyiseen peruskarttaan samasta paikasta (Karttapaikka).

## *Viiankiaavan vesitaloudesta*

### *Tausta-aineistoja*

Kitisen kevättulvien merkityksen vähennyttyä on nykyisen Viiankiaavan hydrologian tärkein tapahtumasarja sadanta, veden talviaikainen varastoituminen lumipeitteeseen, pintavalunta ja imeytyminen turpeeseen, maavesivyyhykkeeseen tai hydrogeologisesti kompleksiseen pohjavesien kiertoon. Nykyistä perustilaa on muuttamassa ilmastonmuutos kaikkine seurannaisilmiöineen. Näistä moninaisista Viiankiaavan hydrologiaan vaikuttavista tekijöistä on saatavissa eri tarkkuuksista tietoa (Taulukko 1), jonka yhdistäminen ja mallintaminen on keskeisessä osassa arvioitaessa suunnitellun kaivostoiminnan vesistövaikutuksia yläpuolisella kosteikkoalueella.

**Taulukko 1. Hydrologisia perusmuuttujia Viiankiaavan alueella.**

|                | keskiarvo | vaihteluväli | v. 2050 | viite                      |
|----------------|-----------|--------------|---------|----------------------------|
| Sadanta        | 520 mm    | 400-740      | 580 mm  | IL                         |
| Lumen vesiarvo | 200 mm    | 150-250      | - 20 %  | IL, SYKE                   |
| Imeytyminen    | 40 %      | 19-69 %      | 19-69 % | Åberg ja muut 2019         |
| Haihdunta      | 300 mm    | 250-320      | 360 mm  | Moroizumi ja muut 2014, IL |
| Lämpötila      | -0,4°C    | - 3– +2,2°C  | +1°C    | IL                         |

Sakatin esiintymän hyödyntämiseksi toteutettujen selvitysten tuloksena on syntynyt merkittävä määrä tarkasti dokumentoitua aineistoa, joka valottaa alueen hydrologisia ja geologisia ominaisuuksia. Niitä ovat muun muassa Golder Associates Oy:n suorittamat hydrogeologiset perustilaselvitykset (GA 2012 ja GA 2015), joiden yhteydessä alueelle asennettiin 24 pohjavesiputkea, joista 17:ssä on jatkuvatoiminen pohjaveden pinnankorkeutta mittaava laitteisto. SRK:n toimesta vuosien 2017 ja 2018 aikana tehtyjen hydrogeologisten tutkimusten ja testauksien yhteydessä on alueelle asennettu 14 maaperä- ja 19 kalliopohjaveden havaintoputkea, joista 19 on jatkuvatoimista. Kuusivaaran alueelle on SRK:n tutkimusten yhteydessä asennettu 12 pohjavesikaivoa, joista 4 on kalliopohjavesikaivoa ja 8 on maaperäpohjavesikaivoa vuosien 2017 ja 2018 aikana. AA Sakatti Mining Oy on asennuttanut vuosien 2018 – 2020 aikana 23 pohjavesikaivoa, joista 13 on Sakatin alueella ja 10 on Kuusivaaran alueella.

Maaperän ominaisuuksia ja pohjavesiolosuhteita on tutkittu monissa Helsingin yliopiston geologian yksikön toimesta tehdyissä töissä, jotka on koottu yhteen raporteiksi (Salonen ja muut 2014, 2015, Salonen 2018, Korkka-Niemi ja muut 2017), opinnäytteiksi (Suonperä 2016, Lahtinen 2017, Bigler 2018) tai väitöskirjatutkimusten osajulkaisuiksi (A. Åberg ja muut 2017, S. Åberg ja muut 2019, A. Åberg ja muut 2020).

Pohjaveden pintatasoja, virtauskenttiä ja vesitasetta on mallinnettu kolmessa eri yhteydessä. S. Åberg ja muut (2018) sekä A. Åberg ja muut (2020) ovat mallintaneet erityisesti Viiankiaavan

luonnontilaista hydrologiaa ja sitä säättäviä tekijöitä. SRK on tehnyt 2016 – 2018 aikana laajoja hydrogeologisia tutkimuksia (pohjavesiputkien asennukset, vesinäytteenotto, geofysikaaliset tutkimukset) ja testauksia (pakker-testaukset, slug-testit ja pumppauskokeet) selvittääkseen kalliopohjaveden virtauskuva, eri vesityyppien laadullisia eroavaisuuksia, kallioperän rakoilua, eri hydrostratigrafisten yksiköiden ja rakenteiden vedenjohtavuuksia sekä eri hydrostratigrafisten yksiköiden yhteyksiä ja vuorovaikutuksia. Tutkimuksissa on myös simuloitu suunnitellun kaivostoiminnan vaikutusta Viiankiaavan hydrologiaan. Stantecin (2020) työssä on otettu huomioon hydrogeologisten rakenteiden monikerroksellisuus ja eri yksiköiden vaihtelevat vedenjohtavuusominaisuudet (Kuva 14). Simuloinnissa arvioidaan kaivoksen kuivanapidon vaikutuksia pohjaveden pintaan eri toteutusvaihtoehdoilla.

Näitä Viiankiaavan hydrologian perusmuuttujia hyödynnetään seuraavassa tarkastelussa, joka on kohdennettu kahdelle Sakatin hankkeen ympäristövaikutusten arvioinnin kannalta oleelliselle osa-alueelle.

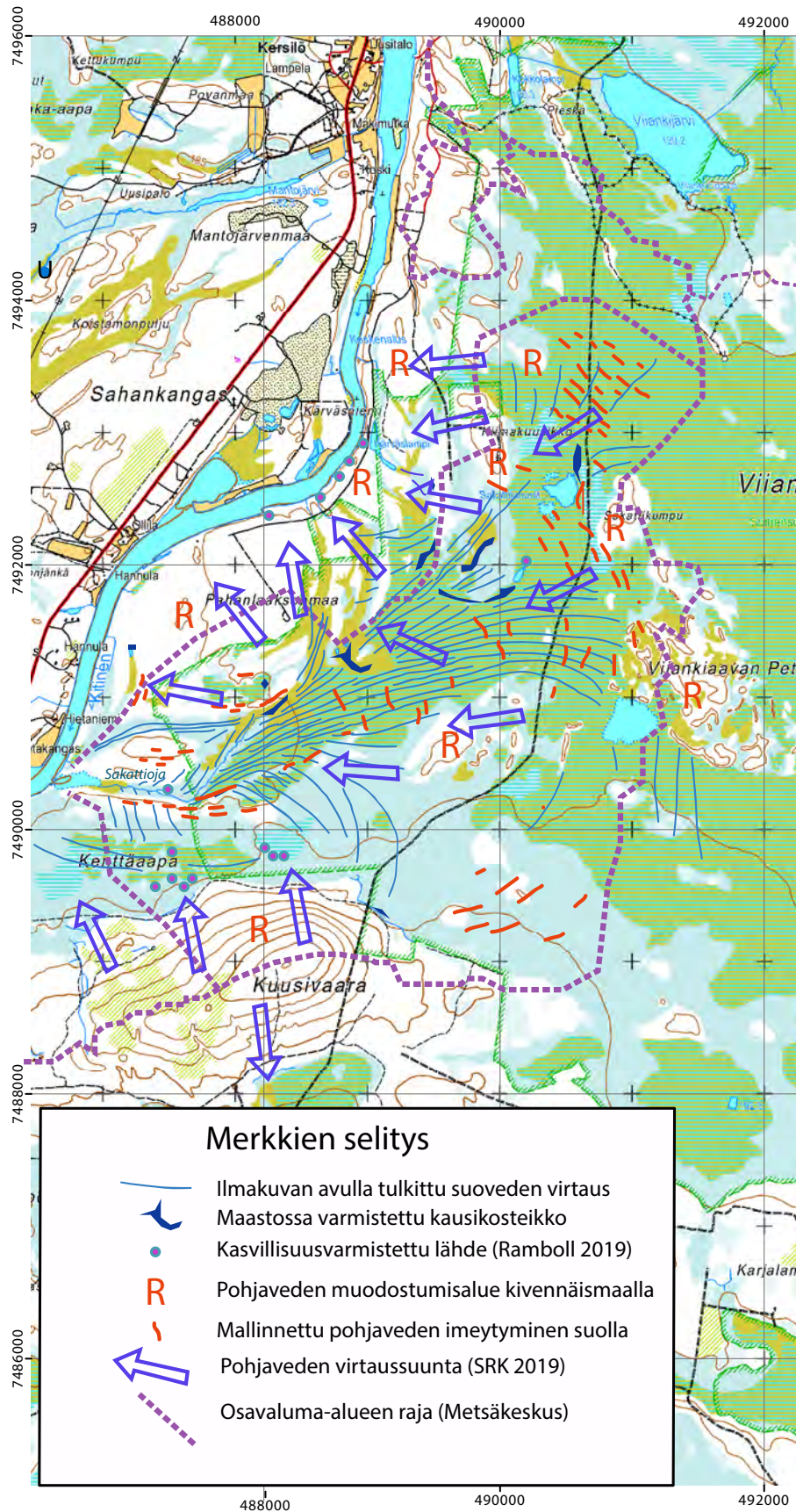
### *Sakattiojan osavaluma-alue*

Sakattiojan osavaluma-alue (Kuva 9) vastaa osittain Stantecin (2020) mallin rajaamaa aluetta. Se käsittää lähinnä avointa nevaa, joka viettää suon 189 metrin korkeudella olevilta keskusosilta lounaaseen, jossa Sakattiojan suu on Kitisen tasossa (181 m mpy). Alueen keskellä ja reunoilla on metsäisiä saarekkeita, Sakattikumpu, Tihiämaa, Kiimakuusikko ja Viiankiaavan Petäjäsaari. Reuna-alueet korpia ja rämeitä, keskiosa vaikeakulkuista rimpinevaa, jossa on vetisen nevan ympäröimiä suolampia kuten Sakattilammit. Pitkät jännejaksot halkovat nevaa korkeuskäyrien suuntaisesti. Kuusivaaran etelälaidan ja Sakattiojan välissä olevalla Kenttääavalla on puustoista rämettä ja avointa lettoa (Pääkkö 2004).

Sakattiojan kautta purkautuvan osavaluma-alueen pinta-ala 15,5 km<sup>2</sup>. Alue on rajattu hyödyntäen Metsäkeskuksen paikkatietojärjestelmässä <https://arcg.is/0yOKXC> esitettyä yksityiskohtaista maanpintamalliin perustuvaa pintaveden virtausverkostoa. Osavaluma-alue on rajattu manuaalisesti virtausverkon perusteella.

Laitinen ja muut (2005) esittivät aapasuolle hydrotopografisen luokittelun. Se perustuu laajamittakaavaisen geo-eko-hydrologisen systeemin määrittelyyn, joka ottaa seikkaperäisen suokasvillisuusanalyysin ohella huomioon pohjaveden muodostumisen ja purkautumisen, sekä niitä yhdistävät virtauskuviot niin suon pinnalla kuin turpeen allakin. Pintavaluman suuntia (Foster ja muut 1983) heijastava hydrotopografinen kuvioitus (rimmet/jänteet) erottuu hyvin ortoilmakuvilta. Pohjaveden imeytymistä tapahtuu vähäisessä määrin suon keskusalueilla, mistä pohjavesivirtaus purkautuu vain harvoin lähteinä.

He (Laitisen ja muut 2007) jatkoivat aapasoiden vedenvirtauskuvioinnin analysointia ja kehittivät yhdistetyn suomalaisen suotypologian, jonka perustana on ilmavalokuvista tehtävä morfologinen luokittelu. Suovesien virtauskuvioiden perusteella on mahdollista määrittää luovuttaja–vastaanottaja -kuviointi kuvaamaan suovesien kulkua. Kuvan 9 suovesien virtauksia on hahmoteltu tällä periaatteella perustuen ilma- ja väärävärικuvien rimpikuviointiin.



Kuva 9. Sakattiojan valuma-alue ja aapasuon hydrologisia piirteitä. Valuma-alue on rajattu Metsäkeskuksen pienipiirteisen valumakartan avulla käyttäen apuna väärävärikuva. Pohjaveden virtaussuunta on määritetty Åberg et al. 2019 ja SRK 2019 mukaan.

Åbergin ja muiden (2020) laatimassa integroidussa pohjavesimallissa on tarkasteltu Viiankiaavan pohjavesivirtauksia vertaamalla yksinkertaista maaperäkonseptia kerrosjärjestykseltään aina vain kompleksisempaan, todellisia olosuhteita vastaavaan malliin. He havaitsivat, että mitä tarkemmin mallissa huomioitiin suon alla olevan maaperän monikerroksisesti vaihtelevat vedenjohtavuudet, sitä selvemmin mallin kuvaama pohjavesivirtaus tapahtui horisontaalisena ja siinä toteutui todellisuutta vastaavaa pienipiirteistä pohjaveden purkautumista (virtausta ylöspäin) ja imeytymistä, virtausta alaspäin. Tämä suon hydrologinen vivahteikas pohjavesikuvio yhtyy sen ekomorfologian piirteisiin (Åberg ja muut 2020). Voidaan erottaa imeytymisvyöhykkeitä (recharge) ja purkautumisvyöhykkeitä (discharge). Pohjavesi/pintavesi -vuorovaikutus osoittautui suurella aapasuoalueella varsin vaihtelevaksi ilmiöksi, jossa imeytymistä on etupäässä suon keskusosissa sekä kivennäismaalajeista muodostuneilla kohoumilla. Pohjaveden purkautumista tapahtuu aika ajoin kaikkialla, keskittyen kuitenkin Sakattiojan suualueelle ja Kitisen väylälle. Tätä Åbergin ja muiden (2020) kuvaamaa vuorovaikutusilmiötä on hahmoteltu kuvassa 9.

Kuvaan on lisäksi merkitty kenttätutkimuksissa varmistetut lähteet (Ramboll 2019) sekä lähinnä kevätsulamiseen liittyvien kausikosteikkojen sijainnit. Varsinaisen pohjaveden virtaussuunnat perustuvat havaintoihin pohjavesiputkien vedenkorkeuksista sekä Åbergin ja muiden (2019) ja SRK:n (2019) mallintamaan pohjaveden virtauskenttään.

Suovesien virtaus kulminoituu keväällä lumeen varastoituneen sadannan vapautuessa. Pohjoisessa yli puolet pintavalunnasta tapahtuu keväällä, eritoten toukokuussa (Sallantaus 2006). Viiankiaavalla sulamisen yhteydessä lumikuormaan varastoitunut vesimäärä vapautuu ja nostaa vedenpintoja lyhytaikaisesti 20-50 cm, kuten havaitaan suolla sijaitsevista jatkuvatoimisesti vedenkorkeutta mittaavista pohjavesiputkista (GA 101, 102 ja 103). Vähäisintä vedenpinnan nousu on suon keskialueilla (20-30 cm) ja suurempaa alempana olevilla vyöhykkeillä, jonne pintavesivalunta johtaa runsaasti vesiä.

Suovesien virtaus tapahtuu osin suon pinnalla, varsinkin jos aapa on vielä roudassa, mutta myös uomamaisissa kanavissa, jotka kulkevat osin turpeen sisässä, vettyneessä akrotelmissä. Tätä ilmiötä edustavat myös kuvan 9 kausikosteikot, joissa keväiset sulamisvedet kanavoituvat ja osin myös purkautuvat korkean veden aikaan. Isotooppimääritykset osoittavat, että tällaisten pohjavesipurkautumien vesi on lumen sulamisesta lähtöisin (Karhu ja muut 2020).

Pahanlaaksonmaan etelälaidalla on useita eri tyyppisiä kausikosteikkoja, joiden hydrologiaa ohjaa sulamisvesistä varastoituvan orsivesiasemassa olevan pohjaveden keväinen purkautuminen. Purkautumisen kausittaisuudesta johtuu, että pohjavesitasojen aletessa ja purkautumisen loppuessa maastossa saattaa loppukesästä näkyä kausikuiva suoaro, eli lakso (Laine ja muut 2018). Tästä juontunee alueen alkuperäinen nimikin: Pahalaksonmaa. Kausikosteikot voivat olla aivan kuivia hiekkapohjaisia heinikoita (Kuva 10) tai ne ovat kautta vuoden vetisiä painanteita, jotka ovat Sakattiojan yläjuoksulla tyypillisiä.



**Kuva 10. Suoaro voi olla loppukesästä kuiva hietikko kuten tässä Pahanlaaksonmaan eteläosassa, aivan suojelualueen länsikulmassa olevassa kohteessa.**

Kultin (suullinen tiedonanto) mukaan Pahanlaaksonmaalta Sakattikummulle toteutetun turvetutkimuslinjan kaikissa tutkimuspisteissä muodosti pinnimmaisena, 50 cm vahvuisen kerroksen täysin vettynyt, lähes maatumaton turve, jonka alaosan radiohiiliajoitus antoi tulokseksi resentin (alle 50 vuotta) iän. Pintakerroksen alla on huonommin vettä johtava kerros, jonka vedenläpäisevyyden mitattiin olevan luokkaa  $10^{-5} - 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$  (Korkka-Niemi ja Turtiainen 2019). Turpeen pohjaosien tiukkaan puristuneen maatuneen turpeen vedenjohtavuus voi olla jopa niin pieni kuin  $10^{-8} \text{ ms}^{-1}$  (Wong ja muut 2009).

Vesien virtaukseen vaikuttavat topografian ohella suon pinnan kasvillisuuden synnyttämä morfologia ja myös suon pohjalla olevan maaperän vaihtelevat ominaisuudet. Sakattiojan valuma-alueella turvekerrosten alla yleisesti olevat hiekat ja vanha jokiuoma (Uoma 3, kuva 7) ohjaavat turpeen pohjaosissa liikkuvan veden kulkua. Suon pohjan epätasaisuudet ja vedenjohtavuuden vaihtelut synnyttävät pienimittakaavaista pohjavesien purkautumista ja imeytymistä (Åberg ja muut 2020) aiheuttaen eri alkuperää olevien vesien sekoittumista, mikä on tyypillinen piirre Viiankiaavan vesille (Korkka-Niemi ja muut 2017).

Viiankiaavan keväinen tulva on äkillinen ja nopeasti ohi menevä tapahtuma, jonka suuruus riippuu lumipeitteen keväisestä vesiärvosta ja kevään lämpötiloista. Vesiärvon keskimäärin 200 mm (Taulukko 1) vaihteluvälillä 150 – 250 mm. Runsaslumisina keväinä kuten vuonna 2020 on odotettavissa voimakasta sulamisvesien tulvimista ja virtausta suoalueella. Suomen ympäristökeskuksen skenaarion mukaan lumen vesiärvon ennustetaan pienenevän vuoteen 2050

mennessä 20 %:lla, mikä tulevaisuudessa vähentää keväisten tulvavesien merkitystä suon hydrologiassa.

Keskimääräinen vuosittainen sadanta alueella on nykyisin 520 mm ja haihdunta on 320 mm (Moroizumi ja muut 2014). Kalibroidun pohjavesien virtausmallin perusteella (Åberg ja muut 2019) Viiankiaavan turvepeitteisillä alueilla sadannasta 19 % imeytyy pohjavedeksi, mikä vastaa noin 100 mm vesipatsasta. Pintavaluman määräksi jää myös noin 100 mm (=sadanta - haihdunta - imeyntä pohjavedeksi).

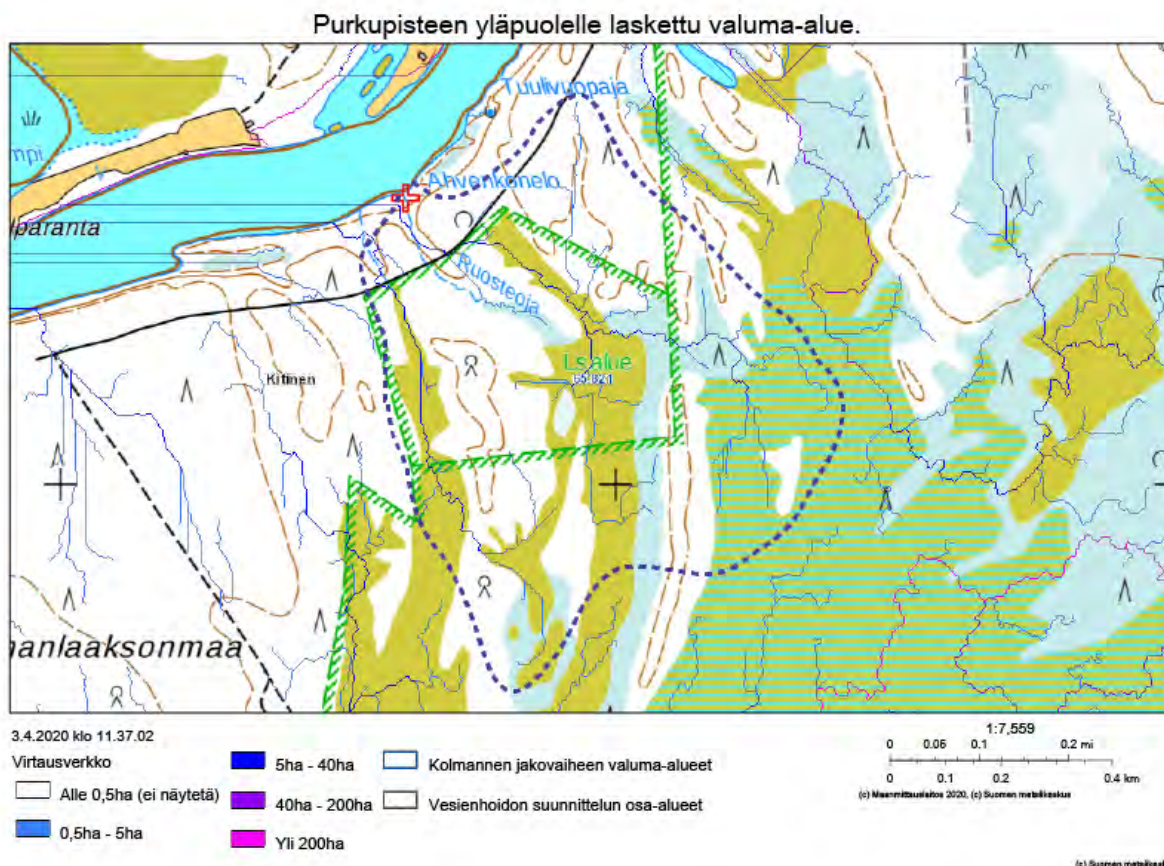
Sakattiojan valuma-alueen (kuva 9) pinta-ala on 15,5 km<sup>2</sup>, eli 1550 hehtaaria. Alueella muodostuvan vuotuisen pintavesivaluman määräksi voidaan edellä esitetyn perusteella laskea 1,55 miljoonaa m<sup>3</sup>. Jaettuna tasan koko vuoden ajalle se vastaa 4250 m<sup>3</sup>/vrk, eli 50 l/s. Pohjavettä muodostuu osapuilleen saman verran.

Ennakoitu ilmastonmuutos vuoteen 2050 mennessä kasvattaa Viiankiaavan alueen vuosisadantaa noin 10 % (Taulukko 1). Sadanta lisääntyy etenkin syksyllä ja talvella, jolloin valunta lisääntyy ja lumen vesi-arvo pienenee (Ilmasto-opas). Keväät aikaistuvat ja lämpenevät, mistä johtuen myös kevättulvat aikaistuvat ja jäävät vähäisimmiksi pienentyneen lumikuorman vuoksi. Kesien lämpeneminen puolestaan lisää haihduntaa, minkä seurauksena suo muuttuu kesän mittaan aikaisempaa kuivemmaksi. Skenaarioiden perusteella on siis ennakoitavissa, että ilmastotekijät heikentävät suon pinnan kosteusoloja tulevaisuudessa.

Muodostuvan pohjaveden määrää tuleva ilmastonmuutos ei todennäköisesti pienennä. Tämä perustuu arvioon, että syksyn ja talven lisääntynyt sadanta ja pintavalunta täydentää pohjavesivarastoja aikana, jolloin haihdunta on vähäistä. Näin ollen keväisten tulvavesien vähenemisestä syntyvä vaje tulee korvatuksi. Myös SRK:n (2019) suorittama numeerinen pohjamallinnus päättyy asiasta samaan tulokseen.

### *Ruosteojan osavaluma-alue*

Viiankiaavan Natura-alue on jaettavissa useisiin pieniin osa-valuma-alueisiin, joiden hydrologiset olosuhteet poikkeavat toisistaan. Ruosteojan osavaluma-alue Viiankiaavan länsireunalla on eräs keskeinen kohde pohdittaessa alueen pohjavesiolosuhteita ja kaivostoiminnan mahdollisia vaikutuksia ympäristöön. Valuma-alueen vedet laskevat Kitisen kuluttamaan ulkokaarteeseen Ahvenkonelon luona Poikkijoenkankaan ja Pahanlaakson välisellä alueella (Kuva 11). Tälle rantakaistaleelle laskee toinenkin pieni puro ja sen tuntumassa on viisi lähdepurkaumaa, joiden kasvillisuuden pohjavesiriippuvaisuus on tarkistettu Rambollin (2019) suorittamassa lähdekartoituksessa. Lähdepurkaumat havaittiin jo Korkka-Niemen ja muiden (2017) suorittamissa lämpökamerakartoituksessa ja niihin liittyvissä vesien ominaisuuksien tutkimuksissa.



**Kuva 11. Ahvenkoneloon laskevien purojen valuma-alue perustuen Metsäkeskuksen valumaverkkoon**  
<https://metsakeskus.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=4ab572bdb631439d82f8aa8e0284f663>

Ruosteoja ja sen länsipuolinen vähäinen puro keräävät vetensä Viiankiaavan länsiosasta, Pahanlaaksonmaan ja Poikkijoenkankaan väliseltä pieneltä valuma-alueelta. Kyseisen pienen osavaluma-alueen yhteinen laajuus 51 hehtaaria ja sen rajaamalla alueella on erillinen luonnonsuojelualue (Kuva 11). Sakatin pääesiintymä sijaitsee osin Ruosteojan osavaluma-alueen pohjoisosan alapuolella.

Ruosteojan valuma-alue on suppea ja maaperän imeytymiskyky hyvä, minkä vuoksi virtaama purossa yleensä ehtyy kesän mittaan. Keväällä, kun pohjavesipinnat ovat korkealla, purouomaan tulee vettä paitsi pintavaluntana suolta, myös jokipenkasta pohjavesivirtauksena (Kuva 12). Kitisen rannassa olevat lähteet purkavat vettä läpi vuoden.

Korkka-Niemen ja muiden (2017) tekemissä lämpökamerakuvauksissa ilmeni, että Ruosteojan osavaluma-alueen piirissä ja etenkin Kitisen rannassa oli hyvin paljon kylmiä anomalioita osoittamassa pohjavesivaikutteisen veden purkautumista. Tällä alueella on myös joitakin kallioperän vertikaalirakoja (Luukas 2017), joiden välityksellä kalliopohjaveden on mahdollista purkautua Kitiseen. Isotooppikoostumukset osoittavat, että vedet ovat sekoittuneita, ts. Viiankiaavan pinnalla haihtuneen veden komponenttia on aina mukana Kitisen rannan lähteiden samoin kuin kallioperän pohjavedessä (Korkka-Niemi ja muut 2017, Karhu ja muut 2020).



**Kuva 12. Ruosteojan uomassa virtasi kesäkuun 2016 alussa suojelualueen suojuottia pitkin ruskeaa suovettä ja siihen yhtyi kirkas pohjavesipuro, joka sai vetensä soraisen jokipenkan orsivedestä.**

Tarkasteltaessa Ruosteojan osavaluma-alueen vesitasetta voidaan arvioida, että sen alueelle tuleva sadanta on noin  $270\,000\text{ m}^3/\text{v}$ . Valuma-alue on pääasiassa hyvin vettä johtavaa soraa, hiekkaa tai huuhtoutunutta moreenia, minkä vuoksi imeytymisprosentiksi voidaan olettaa 50 % (Åberg ja muut 2019). Näin ollen pohjavettä muodostuu  $135\,000\text{ m}^3/\text{v}$ , eli  $370\text{ m}^3/\text{d}$ . Pintavalunnan osuus on vähäinen, mikä ilmenee siinäkin, että Ruosteojaan virtaava suovesi ehtyy jo alkukesällä.

Rantavyöhykkeen tuntumassa sijaitsevilla pohjavesiputkissa (GA 203, 305, 405) on havaittu suurin, jopa 1,5 metrin luokkaa oleva pohjavedenpinnan vuotuisvaihtelu. Nämä ovat myös ainoita putkia, jotka kevätsulamisen ohella reagoivat selkeästi syksyn sateisiin. Vaihtelun suuruus johtunee moreenivälikerrosten pidättämisestä orsivesistä, joiden suhteellisen vähäinen vesivarasto tyhjenee nopeasti kevään – kesän mittaan aiheuttaen suuren aleneman.

Kitisen rannan lähteistä purkautuu kuitenkin runsaasti vettä laajalla vyöhykkeellä kuten lähdekartoituksessa inventoidut viisi lähettä (Ramboll 2019) ja lämpökamerakuvauksissa havaittu laaja kylmä anomalia (Korkka-Niemi ja muut 2017) osoittavat. Voidaankin päätellä, että alueella purkautuu pohjavettä, jonka muodostumisalue on paljon suurempi kuin pintavesien valuma-alue.

Kitisen aikaisemman uoman sijoittuminen (**uoma 5**, kuva 7) ja siihen liittyvien turpeen alaisten sorien ja hiekkojen esiintyminen (Åberg ja muut. 2017), kallioperän painanne siihen liittyvine siirroslinjoinen (Åberg ja muut 2017, Luukas 2017, Stantec 2020) sekä pohjavesien virtausmalleissa (S. Åberg ja muut 2019, SRK 2020) ilmenevä pohjavesien virtauksien kääntäminen (kuva 10) kaikki viittaavat siihen, että tälle alueelle ohjautuu pohjavettä, joka muodostuu laajalla alueella Viiankiaavalla. Pohjavesi purkautuu osittain rantatörmän lähteistä, mutta sitä virtaa myös kallion rakoja ja alimpia hiekkakerroksia myöten Kitiseen pitäen yllä sen luontaista alivirtaamaa. Kaikissa pohjavesissä tällä nimenomaisella alueella, mukaan lukien kalliopohjavedessä on ainakin 100 metrin syvyyteen asti havaittu merkittävä komponentti haihtunutta vettä, joka on siis lähtöisin laajoilla ylempänä olevilla suoalueilla vähitellen imeytyvistä pintavesistä (Karhu ja muut 2020).

### *Yleisiä piirteitä pohjaveden muodostumisesta, virtauksesta ja purkautumisesta*

Pohjavesi muodostuu sadannasta, etenkin lumien sulamisvesien merkitys on suuri, kuten on havaittavissa pohjaveden pinnankorkeutta monitoroivista asemista. Pohjaveden pintojen vuotuinen vaihtelu on Viiankiaavan suoalueella puolen metrin luokkaa, mutta moreenialueilla ja joen itäreunoilla olevissa moreenivälikerroksia sisältävissä hiekka- ja sorakerrostumissa vuotuinen korkeusvaihtelu on orsivesistä johtuen yli metrin suuruista. Korkeimmillaan pohjaveden pinnat ovat touko-kesäkuussa lumien sulettua, minkä jälkeen niiden painetasot laskevat tasaisesti vuoden mittaan ollen alimmallaan lopputalvesta, maaliskuuhun.

Pohjavettä imeytyy erityisesti moreeni- tai hiekkapeitteisillä alueilla suoalueen keskellä tai reunoilla (Kuva 10). Erityisen tärkeitä ovat muinaisen Kitisen uoma- ja särkkäkerrostumat, jotka ulottuvat pitkälle aapasuolle ja jatkuvat turvekerrostumien alla. Isotooppitutkimusten mukaan tavanomaisia, suoraan sadannasta muodostuneita pohjavesiä tavataan vain Kuusivaaran alueella sekä Kiimakuusikon ja Kärvaslammen välisellä alueella ja Kersilönkankaalla. Viiankiaavan laajat avonevat Kiimakuusikon ja Särkikoskenmaan välisellä alueella ovat kautta vuoden varsin vetisiä eikä pintavesien virtausta juuri tapahdu. Tällä alueella tapahtuu todennäköisesti hyvin yleisesti pohjaveden imeytymistä suoaltaista (Åberg ja muut 2020). Näin pohjaveteen siirtyy ikään kuin leimaksi haihtuneen pintaveden isotooppisignaali.

Pohjaveden päävirtaussuunta on idästä länteen, suoalueilta kohti Kitistä (Kuva 10). Pohjaveden pinta on tavallisesti 2-4 metrin syvyydellä maanpinnasta, mutta turvealueilla se on aivan pinnan tuntumassa. Viiankiaavan pintavedet virtaavat hitaasti rimpien ja jänteiden säätelemässä pienipiirteisessä verkostossa (Åberg S. et al. 2019) alavirran suuntaan. Etenkin korkean veden aikana lumen sulamisvedet aikaansaavat kausittaista pohjaveden purkautumista. Tällaisia kausikosteikkoja tavataan etenkin Pahanlaaksonmaan itäpuolella ja Kiimakuusikon eteläpuolisilla suoalueilla, mistä Sakattioja saa alkunsa.

Tyypillistä Viiankiaavan hydrologialle on siis vesien sekoittuminen. Vettä imeytyy vähitellen pohjavedeksi laajoista avorimmista ja niitä yhdistävistä suovesivirtauksista. Näin maaperän

pohjaveteen tai jopa kalliopohjaveteen on tullut mukaan pintavesivaikutusta osoittava haihtuneen veden isotooppisignaali (Karhu ja muut 2020).

Viiankiaavan alueella imeytynyt pohjavesi painuu vähitellen etenkin Kärväslammen ja Pahanlaaksonmaan välisen alueen kautta kohti Kitistä, missä se purkautuu joen reunatörmän lähteiden kautta ja myös joen pohjalta suoraan jokiveteen. Pohjavesivirtaus näyttää keskittyvän tietyille vyöhykkeille, joiden välissä ja ympärillä on laajojakin alueita, joissa Viiankiaavan haihtunutta vettä ei ole havaittu. Maatutka-aineiston perusteella näyttää mahdolliselta, että muinaisen Kitisen hiekkatäyteinen uoma (Uoma 5, kuva 7) toimii Kärväslammen ja Pahanlaaksonmaan välisellä alueella pohjavettä keräävänä yksikkönä. Myös kallion pinnalla oleva jääkautta vanhempi rapauma sekä raot ja siirrokset mahdollistavat pohjaveden virtausta.

Matalalla kallioperän vedellä (12-96 m) on yhteys suon haihtuneeseen pintaveteen. Pohjavesinäytteissäkin on aivan nuoria ikä ja pintavesivaikutuksesta kertovaa haihtumissignaalia. Kallioperän vedenjohtavuus pienenee 150 – 200 metrin syvyydessä (SRK 2019) ja syvällä olevat rakenteet ovat huonosti yhteydessä toisiinsa. 900 metrin syvyydellä olevan syväruuhkan veden ikä on todennäköisesti satoja miljoonia vuosia (Korkka-Niemi ja muut 2019b, Karhu ja muut 2020). Sillä ei ole yhteyttä pinnalla oleviin vesiin.

Viiankiaavan ja Sakattiojan eteläpuolella Kuusivaarassa vallitsee oma erillinen pohjavesisysteeminsä, jonka veden isotooppiarvot heijastavat paikallisen sadannan koostumusta. Kuusivaaralla pohjaveden imeytyminen on tehokasta huuhtoutuneen moreenin sekä rinteiden juurella olevien hiekkakerrostumien ansiosta. Tällä alueella muodostunutta pohjavettä purkautuu Kenttäaavalla kartoitetuissa huurresammallähteissä (Ramboll 2019).

Korkka ja muut (2018) tarkastelivat kiiltosirppisammalen (*Hamatocaulis vernicosus*) esiintymistä selittäviä hydrologisia ilmiöitä. He havaitsivat, että kasvupaikat sijaitsivat 2-4 metriä paksun turvekerrostuman alueella, missä turpeen alla on hiekka tai soraa (vanha uoma). Kasvupaikat ovat vettyneillä alueilla, missä ilmenee selvimmin lumien sulamis- ja pintavesien kertymistä ja purkautumista eli kausikosteikkoja. Vanhan uoman kohdalla suon pohjalla virtaava vesi kehittyy hapettomana rautapitoiseksi, sen orgaanisen hiilen pitoisuus on alhainen, kalsium ja magnesium korkealla tasolla ja alkaliteetti korkealla. Tällaiset olosuhteet ovat yleisiä Viiankijärven eteläpäästä Pahanlaaksonmaalle ulottuvat vetisellä vyöhykkeellä (Kuva 13) vastaten Ulvisen ja muiden (2002) tietoja, joiden mukaan kiiltosirppisammal kasvaa rimpipinnoilla ruosteisten suovesien piirissä.



**Kuva 13.** Kausikosteikoista Viiankiaavalla purkautuu matalan vyöhykkeen rautapitoista vettä hangelle lumien sulamisen aikaan.

### *Ilmastonmuutoksen mahdolliset vaikutukset suon hydrologiaan*

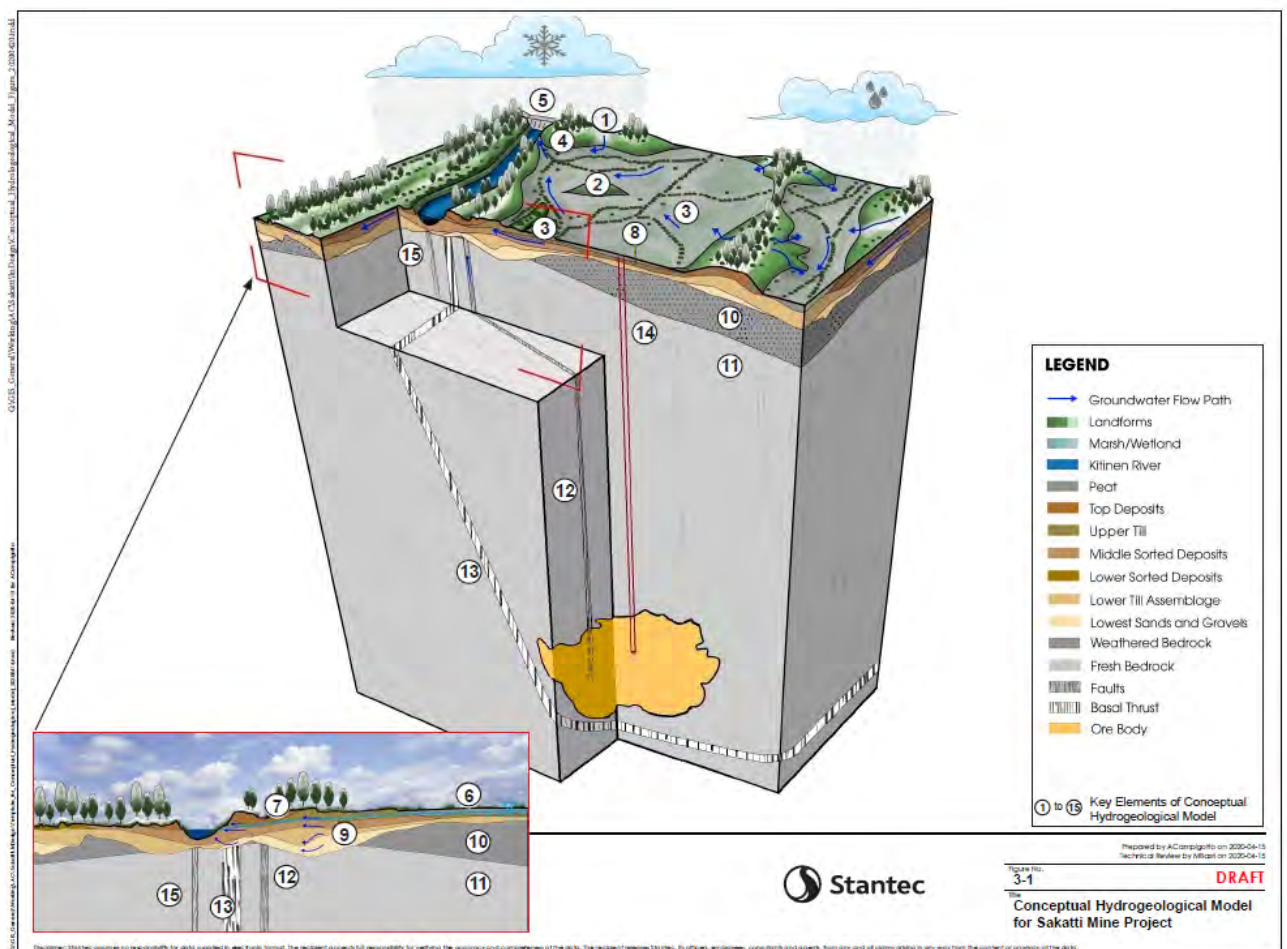
Ilmastonmuutoksen vaikutuksia voidaan ennakoida tukeutumalla Ilmatieteen laitoksen päivittämiin mallinnusskenaarioihin (<https://ilmasto-opas.fi/fi/datat>). Suunnitellun kaivoksen toiminta-aikana (vuoteen 2050 mennessä) sadanta lisääntyy n. 10 %, lumen vesi-arvo pienenee 20 % ja haihdunta kasvaa 20 % samalla kun vuoden keskilämpötila kohoaa n. 1,5 °C (Taulukko 1). Nämä muutokset vaikuttanevat suon hydrologiaan siten, että syksyiset ja alkutalven pintavalumat kasvavat, kevättulvat pienenevät ja kesäinen valunta vähenee selvästi. Varsinaisen pohjaveden muodostumiseen muutoksella ei todennäköisesti ole vaikutusta, sillä imeyntä lisääntyy loppusyksyllä ja alkutalvesta sadannan kasvaessa ja haihdunnan ollessa vähäistä. Lumen vesi-arvon väheneminen heikentää kevättulvia ja se saattaa myös johtaa orsivesivarastojen pienenemiseen ja orsivesien nykyisestä aikaisempaan kesän mittaan tapahtuvaan vajumiseen. Orsivesiä on havaittu maatutkauksissa erityisesti Pahanlaaksonmaalla ja Poikkijoenkankaalla.

Suon kesäinen vesitilanne tulee sekin tulevaisuudessa olemaan nykyistä heikompi. Tämän voi ennakoida vaikeuttavan pysyvästi vettyneillä suoalueilla menestyvän kasvillisuuden kuten kiiltosirppisammalen elinolosuhteita.

Lähteiden vesimääriin tai vedenlaatuun ei ennakoitu ilmastonmuutos todennäköisesti merkittävästi vaikuta.

### *Mallinnetut kaivostoiminnan vaikutukset ja niiden arviointi*

SRK (2019) ja Stantec (2020) ovat mallintaneet suunniteltujen kaivostilojen louhinnan ja niistä tapahtuvan vedenpoiston vaikutuksia Viiankiaavan alueen pohjavesien virtaukseen ja pohjaveden pintaan. Mallinnuksen lähtöarvot perustuvat ajantasaisiin meteorologisiin tietoihin, pohjaveden pintojen pitkäaikaiseen tarkkailuun sekä geologiseen mallinnukseen, jossa on otettu huomioon vettä johtavien ja varastoivien yksiköiden monimutkainen rakenne (Kuva 14).



**Kuva 14.** Stantecin pohjavesimalleille simuloitiin suunnitellun kaivostoiminnan ennakoitua vaikutusta Viiankiaavan vesitaseeseen ja pohjaveden pintoihin. Mallinnusten perustana olevassa käsitteellisessä mallissa ilmenevät eri hydrogeologiset yksiköt. Kuvassa malmi on esitetty keltaisella harmaan kalliomassan (11) sisällä. Kalliassa on rakoja (12) siirroksia (13) ja rapaumaa (10). Kallion päällä on monikerroksinen maaperä (9), jonka ylimpänä yksikkönä ovat Kitisen jokikerrostuman (7) sekä Viiankiaavan turvekerrostuma (6).

SRK:n (2019) mallitarkastelun perusteella kaivostiloihin tulee vettä n. 2000 m<sup>3</sup>/vrk, rakentamisvaiheessa hieman enemmän. Vesi tulee louhostiloihin kalliossa olevia rakoja myöten pienentäen jokiin tapahtuvaa purkautumista. Suurin merkitys on ns. pohjaruhjeella, joka nykytietojen perusteella joudutaan läpäisemään Kuusivaaran ja Pahanlaaksonmaan välisellä osuudella malmioon vievää vinotunnelia louhittaessa. SRK:n mallinnuksessa koko Viiankiaavan suoalueelta tapahtuva veden väheneminen olisi kaivostoiminnan aikana vain 150 m<sup>3</sup>/vrk, mikä tarkoittaisi noin 1 mm vedenpinnan alenemaa vuositasona. Se on suuruusluokaltaan merkityksetön. Mallin mukaan selkein kaivostoiminnasta aiheutuva muutos on alivirtaaman pieneminen jokisysteemissä: purkautuminen jokeen vähenee noin 1000 m<sup>3</sup>/vrk. Suhteessa Kitisen virtaamaan (5,8 miljoonaa m<sup>3</sup>/vrk) on vaikutus kuitenkin minimaalinen.

Stantecin (2020) tekemässä pohjavesimallinnuksessa huomioitiin yksityiskohtaisemmin maaperän eri kerrosyksikköjen, kalliorapauman ja rakojen vedenjohtavuusvaihtelut (Kuva 14). Simuloitaessa kaivoksen 22 vuotta kestävää toiminta-aikaa, havaittiin kaivostiloihin tulevan veden määrän vähitellen toiminnan kuluessa kasvavan, lopulliseen arvoonsa, noin 3000 m<sup>3</sup>/vrk. Mallinnus osoitti, että Pahanlaaksonmaan ja Poikkijoenkankaan välisellä kaistaleella (Kuva 11) oleva kallion heikkousvyöhyke, rapauma ja maakerrosten pohjalla olevat lajittuneiden ainesten kerrostumat johtavat pohjavettä alueen alle louhittaviin kaivostiloihin siten, että maaperän pohjaveden pinnassa tapahtuu jopa 50 cm luokkaa oleva alenema.

Pohjaveden pinnan alenema koskettaisi erityisesti Pahanlaaksonmaata, jonka alla sijaitsee suunnitelmien mukainen malmiin johtava vinotunneli (Stantec 2020). Mallilla simuloitiin myös erilaisten suojaamistoimien vaikutusta. Havaittiin, että alenema saadaan pienennettyä noin 10 cm suuruiseksi ja alueellisesti hyvin suppeaksi, mikäli kaivostiloja rakennettaessa toteutetaan systemaattinen vettä johtavien rakojen tiivistäminen injektoimalla (migitointi). Samalla on oleellisen tärkeää huolehtia siitä, että kaikki maanpinnalta malmiin tehdyt kairalävistyksiset tarkasti tulpataan. Tällöin päivittäin kaivostiloihin tulevan veden määräksi jää 1500 m<sup>3</sup>.

Viiankiaavan alueella lajittuneissa kerrostumissa veden pinnan alenema on mallitarkastelun perusteella 10 cm luokkaa, mikä saadaan vähennettyä 5 cm suuruiseksi, jos louhinta kaivostiloissa toteutetaan rakotiivistyksin (Stantec 2020). Sakattiojan valuma-alueen hydrologiaa ylläpitävä tekijä on talvinen lumen tulo ja sen sulaminen keväällä. Koska suoalueen maatuneen turpeen vedenjohtavuus on hyvin vähäinen, se varastoi pintavesiä orsiveden tapaan altaina, joista tapahtuu hidasta imeytymistä ja virtausta alaspäin. Suunnitellut kaivostilat eivät tule saatavissa olevien tietojen perusteella vaikuttamaan suon pintaosien vesitilanteeseen kuvassa 9 rajatulla osavalmu-alueella.

Edellisen perusteella voidaan päätellä, että louhittavat tilat eivät myöskään tule vaikuttamaan Viiankiaavalla tapahtuvaan pohjaveden purkautumiseen kausikosteikkoina. Kenttääavalla olevat huurreammallähteet saavat puolestaan vetensä Kuusivaaralla muodostuvista pohjavesistä, minkä vuoksi nekin eivät ole suunniteltujen louhostilojen vaikutuspiirissä.

Tätä vastoin Kitisen törmässä olevat viisi lähettä (kuva 9) ovat eri asemassa. Stantecin (2020) pohjavesimallinnuksessa ilmenikin, että lähteessä 3 (Tuulivuopajan lähde) toteutuu suunnitellun

kaivostoiminnan loppuvuosina 10 cm alenema. Heidän tekemänsä virtausmalli osoittaa myös, että kaivostoiminta saa pohjavesiputkissa GA 305, 405 aikaan 10 cm (migitoitu) 20 cm (ei migitoitu) aleneman. Itse suolla turpeen alaisissa lajittuneissa kerrostumissa kaivostilojen louhinnan vaikutus vedenpintaan on mallin mukaan 5 cm suuruusluokkaa.

Suunnitellun kaivoksen kuivanapidon selkein vesistövaikutus kohdistuu siis mahdollisesti juuri Ruosteojan osavalmu-alueelle ja sen tuntumassa oleviin lähteisiin. Kuvassa 11 esitetyn alueen hydrogeologista rakennetta (orsivesiolosuhteet, kallion pinta, rapauma, kallioraot, uomien sijainti) ja ominaisuuksia on tarpeen edelleen tarkentaa, jotta mahdollisten pohjavesivaikutusten torjumiseksi osattaisiin toteuttaa oikein kohdennettuja toimenpiteitä.

### *Monitorointitarpeita*

- 1) Ilmastolla, etenkin lumen vesiarvolla ja kevättulvilla on oleellinen vaikutus suon ekohydrologiaan. Ilmastomuutoksen myötä ennakoitaan talvisen ja syksyisen imeynnän kasvavan, kevättulvien vähenevän ja kesien muuttuvan kuivemmiksi. Tällä on vaikutusta suon ekohydrologiaan, minkä vuoksi ilmastomuutoksen aiheuttamia mahdollisia muutoksia Viiankiaavan hydrologiaan olisi ehkä tarpeen monitoroida. Myös pohjavesimallien jatkokehitys ja kalbrointi hyötyisi siitä, että myös purkautuvista vesimääristä ja niiden vuotuisvaihteluista olisi havaintoja. Tätä tietoa olisi tärkeä saada Sakattiojan virtaamista. Virtaaman suuruusvaihtelua voisi myös seurata asentamalla Sakattiojan alajuoksulle 1-2 jatkuvatoimista pohjaveden korkeusmittausasemaa.
- 2) Viiankijärvestä Kokkolammen kautta laskevan Tiukuojan virtaamamittaus palvelisi samaa asiaa. Virtaaman seurannan voisi järjestää mittapadolla tai virtaamamittarilla paikassa, jossa Tiukuoja alittaa Viiankiaavan tien.
- 3) Kitisen törmän lähdevyöhykkeestä purkautuvan veden määrän ja vuotuisen vaihtelun laskenta mallintamalla edellyttäisi ehkä yhden uuden pohjavesiputken asentamista rantakaistaleelle sekä säännöllisiä purkausmittauksia vuoden mittaan. Rantatörmän lähteiden ylivuodon seuranta olisi perusteltua, koska ne sijaitsevat kaivostoiminnan todennäköisimmän vesistövaikutuksen piirissä.

## *Kirjallisuus*

- Alley, R. B., Mayewski, A., Sowers, T., Stuiver, M. Taylor, K. C. ja Clark, P. U. (1997). Holocene climatic instability; a prominent, widespread event 8,200 yr ago. *Geology*. **25**(6): 483–6.
- Alley, R.B. (2004). GISP2 Ice Core Temperature and Accumulation Data. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series #2004- 013. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.
- Berger, A., ja Loutre, M.F. (1991). Insolation values for the climate of the last 10 million years. *Quaternary Science Reviews*, 10, 297-317.
- Bigler, 2018. Hydrogeology and hydrogeochemistry of western margin of Viiankiaapa mire in Sodankylä – Factors affecting the distribution of endangered species. MSc thesis, University of Helsinki.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., deMenocal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I. ja Bonani G. (1997). A Pervasive Millennial-Scale Cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates". *Science*. 278: 1257–66.
- Bradley, R. (2014). PALEOCLIMATOLOGY (3rd edition) Elsevier. 675 s.
- Dima, M. ja Lohmann, G. (2009) Conceptual model for millennial climate variability: a possible combined solar-thermohaline circulation origin for the ~1,500-year cycle. *Clim Dyn* **32**, 301–311.
- Foster D.R., King G.A., Glaser P.H. ja Wright H.E., Jr. (1983). Origin of string patterns in boreal peatlands. *Nature* 306: 256–258.
- GA (2012). Viiankiaapa – Preliminary Hydrological and Hydrogeological Characterisation., Golder Associates, Report number 11514150081.500/B.0, 25 s + liitteet. AA Sakatti Mining Oy 2012.
- GA (2015). Viiankiaapa pinta- ja pohjavesiolosuhteet ja kairareikien ympäristövaikutukset. Golder Associates, Report, 32 s. AA Sakatti Mining Oy 2015
- Helama, S., Mielikäinen, K., Timonen, M. ja Eronen, M. (2008). Finnish supra-long tree-ring chronology extended to 5634 BC. *Norsk Geografisk Tidsskrift* Vol. 62, 271-277.
- Helama, S., Timonen, M., Holopainen, J., Ogurtsov, M. G., Mielikäinen, K., Eronen, M., Lindholm, M. ja Meriläinen, J. (2009). Summer temperature variations in Lapland during the Medieval Warm Period and the Little Ice Age relative to natural instability of thermohaline circulation on multi-decadal and multi-centennial *scales*. *Journal of Quaternary Science*, **24**(5), 450-456.
- Helama, S., Jiang, J., Korhonen, J., Holopainen, J. ja Timonen, M. (2013). Quantifying temporal changes in Tornionjoki river ice breakup dates and spring temperatures in Lapland since 1802. *J. Geogr. Sci.* 2013, **23**(6): 1069-1079.
- Hjelt, A. ja Pääkkö, E. (2006). Viiankiaavan hoito- ja käyttösuunnitelma. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja C 11, 51 s.
- ICCP (2018). Intergovernmental Panel on Climate Change.  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15\\_Chapter1\\_Low\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_Chapter1_Low_Res.pdf)

Imbrie, J., ja Imbrie, J.Z., (1980). Modelling the climatic response to orbital variations. *Science*, 207, 942–953.

Imbrie, J. ja Imbrie, K. P. (1986). *Ice Ages: Solving the Mystery*. Harvard University Press.  
p. 158. ISBN 978-0-674-44075-3.

Karhu, J.A., Salonen, V-P. ja Korkka-Niemi, K. (2020). Hapen ja vedyn isotooppikoostumus Viiankiaavan ja sen ympäristön pinta- ja pohjavesissä. Raportti AA Sakatti Miningille.

Kersalo, J. ja Pirinen, P. (2009). Suomen maakuntien ilmasto. Ilmatieteen laitos, Helsinki. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2009:8. 185 s.

Korhola, A., Tikkanen, M., ja Weckström, J. (2005). Quantification of holocene lake-level changes in Finnish Lapland using a cladocera: lake depth transfer model. *Journal of Paleolimnology*, 34(2), 175-190. <https://doi.org/10.1007/s10933-005-1839-0>

Korhonen, J. (2019). Long-term changes and variability of the winter and spring season hydrological regime in Finland UNIVERSITY OF HELSINKI  
Faculty of Science Institute for Atmospheric and Earth System Research . REPORT SERIES IN GEOPHYSICS No 79.

Korkka-Niemi, K. (toim.), Rautio, A., Åberg, S., Åberg, A., Bigler P. ja Salonen, V-P. (2017). Hydro- and environment geological studies during the years 2016-2017 around Sakatti exploration target. Final report: Characterization of geo-hydro-ecological factors possibly controlling the distribution of endangered species of Viiankiaapa mire. AA Sakatti Mining Oy 31.12. 2017. University of Helsinki. Division of Geology and Geochemistry.

Korkka-Niemi, K. ja Turtiainen, H. (2019a). Hydraulic properties of peat and hydrogeochemical characteristics of groundwater and porewater in Viiankiaapa mire. Progress report for AA Sakatti Mining Oy . University of Helsinki Department of Geosciences and geography.

Korkka-Niemi, K., Koskimaa, K. ja Karhu, J. (2019b). The hydrogeology of Sakatti exploration target area: the dating of groundwater . Report: 7th October 2019 (Draft1) for AA Sakatti Mining Oy . University of Helsinki Department of Geosciences and geography. 40 s.

Kultti, S., Mikkola, K., Virtanen, T., Timonen, M. ja Eronen, M. (2006). Past changes in the Scots pine forest line and climate in Finnish Lapland: a study based on megafossils, lake sediments, and GIS-based vegetation and climate data. *The Holocene* 16: 381–391.

Lahtinen, T. (2017). Hydrogeochemical characterization of the Sakatti mine prospecting area, Sodankylä, Finnish Lapland. MSc-thesis. University of Helsinki.

Laine, J., Vasander, H., Hotanen, J-P., Nousiainen, H., Saarinen, M. ja Penttilä, T. (2018). Suotyypit ja turvekankaat – kasvupaikkaopas. Metsäkustannus Oy, 160 s.

Laitinen, J., Rehell, S. ja Huttunen, A. (2005). Vegetation-related hydrotopographic and hydrologic classification for aapa mires (Hirvisuo, Finland). - *Annales Botanici Fennici* 42(2): 107-121.

- Laitinen, J., Rehell, S., Huttunen, A., Tahvanainen, T., Heikkilä, R. ja Lindholm, T. (2007). Mire systems in Finland – special view to aapa mires and their water-flow pattern. *Suo* 58(1): 1–26.
- Lappalainen, E. (1970). Über die spätquartäre Entwicklung der Flussufermoore Mittel-Laplands. – *Bulletin de la Commission géologique de Finlande* 244. Geologinen tutkimuslaitos. 79 s.
- Lappalainen, E.P. (2004). Kallio- ja maaperä sekä kasvillisuuden jääkauden jälkeinen kehityshistoria. Sivut 18–43 teoksessa Keski-Lapin aapasoiden luonto. Toim. Elisa Pääkkö. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja Sarja A No 145.
- Lappalainen, E. ja Pajunen, H. (1980). Lapin turvevarat. Geologinen tutkimuslaitos maaperäosasto, raportti P 13.6/80/20, 158–159.
- Luukas, J. (2017). Updates of the Sakatti deposit fault and lithological 3Dmodels in May 2017. GTK, Alueellinen Geotieto. Julkaisematon raportti AA Sakatti Mining oy.
- Mielikäinen, K., Timonen, M., ja Helama, S. (2012). Ilmastonmuutokset ja niiden syyt puulustojen ja muiden proksitietojen pohjalta. *Metlan työraportteja* 240, ss. 32–52.  
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp240.htm>.
- Moroizumi T., Ito N., Koskiaho J. ja Tattari S. (2014). Long term trends of pan evaporation and an analysis of its causes in Finland. *SYKE-OU Project Report*: 23–46.
- Muurinen, T. (2015). Soiden kartoitus. s. 27–35 teoksessa: Sarala, P. (toim) Lapin geologiset luonnonvarat 2010. *ACTA LAPPONICA FENNIAE* 25 1–141.
- Olsen, J., Knudsen, M.F. ja Anderson, N-A. (2012) Variability of the North Atlantic Oscillation over the past 5,200 years. *Nature Geoscience* 5(11):808–812
- Pääkkö, E. (2004). Luontotyytit. Sivut 46–83 teoksessa Keski-Lapin aapasoiden luonto. Toim. Elisa Pääkkö. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja Sarja A No 145.
- Ramboll (2019). Sakatin lähteiden biologinen kartoitus. Antje Neumann, Heli Lehvola. Jussi Mäkinen: Loppuraportti Viiankiaavan ja Kuusivaaran ympäristön potentiaalisten lähteiden biologisesta kartoituksesta 1510050309, 17 s.
- Rundgren, M. (2008) Stratigraphy of peatlands in central and northern Sweden: evidence of Holocene climatic change and peat accumulation, *GFF*, 130:2, 95–107, DOI: [10.1080/11035890801302095](https://doi.org/10.1080/11035890801302095).
- Ruosteenoja, K., Jylhä, K. ja Kämäräinen, M. (2016) Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. *Geophysica*, 51, 17–50.
- Sallantausta, T. (2006). Mire ecohydrology in Finland. - In: Lindholm, T. & Heikkilä R (eds.), Finland - land of mires. *The Finnish Environment* 23/2006: 105–118.
- Salonen, V.-P, Korkka-Niemi, K., Rautio, A., Koivisto, E., Åberg, A., Åberg, S. Laakso, J., Lahtinen, T. ja Suonperä, E. (2016). Sakatti geoenvironments. A baseline study on Quaternary sediments, hydrogeological conditions and groundwater – surface water interactions in Kersilö area, Sodankylä. AA Sakatti Mines OY Report. Helsinki, 101 pp.

Salonen, V-P. (2019). Ympäristögeologinen maaperäselvitys Sakatin kaivoshankkeen YVA-selostuksen tausta-aineistoksi - Viiankiaavan ja sen ympäristön maaperän kehitys ja sen erityispiirteet. Raportti AA Sakatti Mining Oy, 22.5.2019. Salonen Environment 41 s.

Schulz, M. (2002). On the 1470-year pacing of Dansgaard–Oeschger warm events. *Paleoceanography* **17**, doi:10.1029/2000PA000571.

Seppä, H., ja Birks, H. J. B. (2001). July mean temperature and annual precipitation trends during the Holocene in the Fennoscandian tree-line area: pollen-based climate reconstructions. *The Holocene*, **11**(5), 527–539.

Seppä, H., Bjune, A. E., Telford, R. J., Birks, H. J. B., ja Veski, S. (2009). Last nine-thousand years of temperature variability in Northern Europe, *Clim. Past*, **5**, 523–535.

SRK (2019). A hydrological impact assessment study for the Sakatti deposit, Northern Finland. Prepared for Anglo American Sakatti Oy by SRK Consulting Ltd.

Stantec (2020). Groundwater Modeling Assessment of the Proposed Underground Mine at the Sakatti Cu-PGE-Au Deposit, Northern Finland. Report Nr 12765708690 Prepared for: Anglo American Sakatti Oy by Stantec Consulting Ltd.

Suonperä, E. (2016). Holocene paleohydrology of Viiankiaapa mire, Sodankylä, Finnish Lapland. MSc-thesis. University of Helsinki, Helsinki. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2017112251590>.

Ulvinen, T., Syrjänen, K. ja Anttila, S. (2002). Suomen sammalet – levinneisyys, ekologia, uhanalaisuus, Suomen ympäristö 560.

Åberg, A., Salonen, V-P., Korkka-Niemi, K., Rautio, A., Koivisto, E. ja Åberg, S. (2017). A conceptual 3D sedimentary model in visualizing complex glacial deposition within the ice divide zone, Finnish Lapland. *Boreal Env. Res.*, **22**, 277–298.

Åberg SC, Korkka-Niemi K, Rautio A, Salonen V-P ja Åberg AK (2019). Groundwater recharge/discharge patterns and groundwater–surface water interactions in a sedimentary aquifer along the River Kitinen in Sodankylä, northern Finland. *Boreal Environ Res* **24**: 155–187.

Åberg, A.K., Susanne Charlotta Åberg, S.C. ja Korkka-Niemi, K. (2020, submitted). 3D hydrostratigraphical models and groundwater flow in complex Quaternary deposits and weathered/fractured bedrock – testing increasing model complexity. *Hydrogeology journal*, *in review*.

Wong, L.S., Hashim, R. ja Ali, F.H. (2009). A Review on Hydraulic Conductivity and Compressibility of Peat. *Journal of Applied Sciences*, **9**: 3207-3218.