

Espoon sulfidisavien todennäköiset esiintymisalueet

Maarit Saresma, Emilia Kosonen, Noora Kähkölä, Antti Ojala, Jaakko Auri ja
Asmo Huusko

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

KUVAILULEHTI

28.2.2020 / GTK/391/03.02/2019

Tekijät Maarit Saresma, Emilia Kosonen, Noora Kähkölä, Antti Ojala, Jaakko Auri ja Asmo Huusko		Raportin laji 	
		Toimeksiantaja Espoon kaupunki/Geotekniikkayksikkö	
Raportin nimi Espoon sulfidisavien todennäköiset esiintymisalueet			
Tiivistelmä Geologian tutkimuskeskus on määrittänyt Espoon kaupungin Geotekniikkayksikön toimeksiantosta sulfidisavien todennäköiset esiintymisalueet Espoossa. Määrittely perustuu paikkatietopohjaiseen savialtaiden kerrostumisympäristön analyysiin. Käytettävissä oli vertailuaineistona Espoon kaupungin pistemäiset sulfiditutkimustulokset ja GTK:n tekemät sulfiditutkimukset. Sulfidisavien luokittelua varten savien syvyyskäyristä tuotettiin savien syvyysmalli, joka yhdistettynä korkeusmallin kanssa muodosti muinaisen merenpohjan topografian kahdessa savien eri kerrostumisvaiheessa. Benthic Terrain Modelerilla tehdyn topografia-analyysin perusteella alueelta tunnistettiin sulfidisavien muodostumiselle suotuisia savisyvänteitä ja painaumia, jotka savien paksuuden ja lieju-/liejusavialueiden kanssa muodostivat lähtökohdat luokittelulle. Muut paikkatietoanalyysit ja aineistot kuten Wind Fetch –analyysi sekä Litorinameren aikainen veden syvyys ja virtaukset tukivat luokittelun perusteena käytettyjä analyysituloksia. Sulfidisavien todennäköiset esiintymisalueet on pääsääntöisesti määritetty käyttäen seuraavia periaatteita: Luokka 1 – Erittäin todennäköinen: Saven paksuus vähintään 5 metriä ja jyrkkäpiirteinen topografiatyyppi ja/tai lieju-/liejusavialue. Luokka 2 - Todennäköinen: Saven paksuus yli 5 metriä.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) Sulfidisavi, todennäköinen, luokittelu, syvyys, BTM, Espoo			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Espoo			
Kokonaissivumäärä 32 + 3 liitettä	Kieli Suomi	Hinta 	Julkisuus
Yksikkö ja vastuualue ERR		Hanketunnus 50401-10453	
Allekirjoitus/nimen selvennys 		Allekirjoitus/nimen selvennys 	

Sisällysluettelo

Kuvailulehti

1	Johdanto ja tutkimuksen tavoite	1
2	Tutkimusalueen sijainti ja geologia	1
3	Lähtöaineisto	4
3.1	Espoon savialueet, saven syvyyssäyrät	4
3.2	Espoon ympäristökeskuksen Potentiaaliset sulfidisavet – kartta	6
3.3	Sulfiditutkimukset	6
3.4	Muut aineistot	7
4	Paikkatietoaineiston käsittely ja analyysit	8
4.1	Saven syvyysmallit, savipaksuus ja veden syvyys Litorinameren ylimmän rannan aikaan	8
4.2	Muinaiset korkeusmallit	10
4.3	Savialtaiden topografinen tyyppi	13
4.4	Wind Fetch Model – tuulen vaikutus	15
4.5	Sulfiditutkimusten luokittelu	17
4.6	Tilastollinen tarkastelu	18
5	Tulokset	19
5.1	Saven paksuuden, korkeustason ja Litorinameren veden syvyyden vaihtelu	19
5.2	Savialtaiden topografinen tyyppi	19
5.3	Tuulen vaikutus	20
5.4	Tilastollinen tarkastelu	22
6	Tulosten tarkastelu, johtopäätökset ja sulfidisavien todennäköisten esiintymisalueiden luokitteluperiaatteet	23
6.1	Tulosten tarkastelu	23
6.2	Johtopäätökset ja sulfidisavien todennäköisten esiintymisalueiden luokitteluperiaatteet	26
7	Lähdeluettelo	29
8	Liitteet	32
8.1	Liite 1	32
8.2	Liite 2	32
8.3	Liite 3	32

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

1 JOHDANTO JA TUTKIMUKSEN TAVOITE

Espoon kaupungin toimeksiannosta Geologian tutkimuskeskus on määrittänyt sulfidisavien todennäköiset esiintymisalueet Espoossa. Malli on tuotettu paikkatietoanalyysillä useaan eri lähtöaineistoon pohjautuen.

Happamat sulfaattimaat aiheuttavat ympäristöhaittoja ja enenevässä määrin myös tietoisuus maaperän aggressiivisuudesta ja korroosioalttiudesta on lisääntynyt etenkin pääkaupunkiseudulla, jossa rakennetaan paljon ja epäedullisille maaperäolosuhteille kuten syville savikoille (Suikkanen ja muut 2018).

Menetelmät potentiaalisten ja todellisten happamien sulfaattimaiden ja korroosioherkkyyden tutkimiseksi vaihtelevat (Edén ja muut 2012; Liikennevirasto 2017; Suikkanen ja muut 2018) ja osa tutkimuksista voi aiheuttaa riskejä hankkeiden aikatauluun ja talouteen. Espoon kaupunki teettää etenkin suurten ja merkittävien rakennushankkeiden yhteydessä happamien sulfaattimaiden ja korroosioalttiuden selvittämiseksi tutkimukset Espoon kaupungin ympäristökeskuksen rajaamalta alueelta (kuva 3). Merkittävä osa tutkimustuloksista on osoittautunut sulfidin osalta puhtaaksi saveksi ja siten on ilmennyt tarve tarkastella mahdollisten sulfidisavien luonnetta tarkemmin. Kaupungin sulfiditutkimustulokset on koottu tietokantaan ja sulfidin ja humus- ja vesipitoisuuden välillä on löydetty tilastollinen yhteys (Hämäläinen 2018). Espoosta on lisäksi tehty stratigrafiatutkimuksia, joissa sulfidia on tunnistettu erityisesti syviin savialtaisiin liittyen (Ojala ja muut 2007; Ojala 2007; Ojala 2009). Etelä-Suomessa happamien sulfaattimaiden esiintymistä on selvitetty GTK:n laajassa kartoitusprojektissa (HASU)(1:250 000). HASU-kartoituksessa potentiaalisesti happamia sulfaattimaita on havaittu esiintyvän hyvin erilaisissa ympäristöissä matalista savialtaista syviin savikoihin, vaikkakin projektin kartoitussyvyys rajautuu maksimissaan 3 m maanpinnan alapuolelle.

Tässä työssä sulfidisavien esiintymisalueiden selvittämisessä lähtökohtana on ollut savialtaiden kerrostumisympäristön analyysi. Saven ominaisuudet vaihtelevat alueellisesti kerrostumisen aikaisista geologisista olosuhteista riippuen ja sulfidisavien esiintymiseen vaikuttavat muun muassa saven kokonaispaksuus savialtaassa, altaan topografinen tyyppi, saven ominaisuudet, korkeustaso ja sijainti Litorinamerivaiheessa sekä kerrostumisvaiheessa vallinneet virtaukset. Paikkatietoanalyysin tuloksia verrataan pistemäisiin sulfiditutkimustuloksiin.

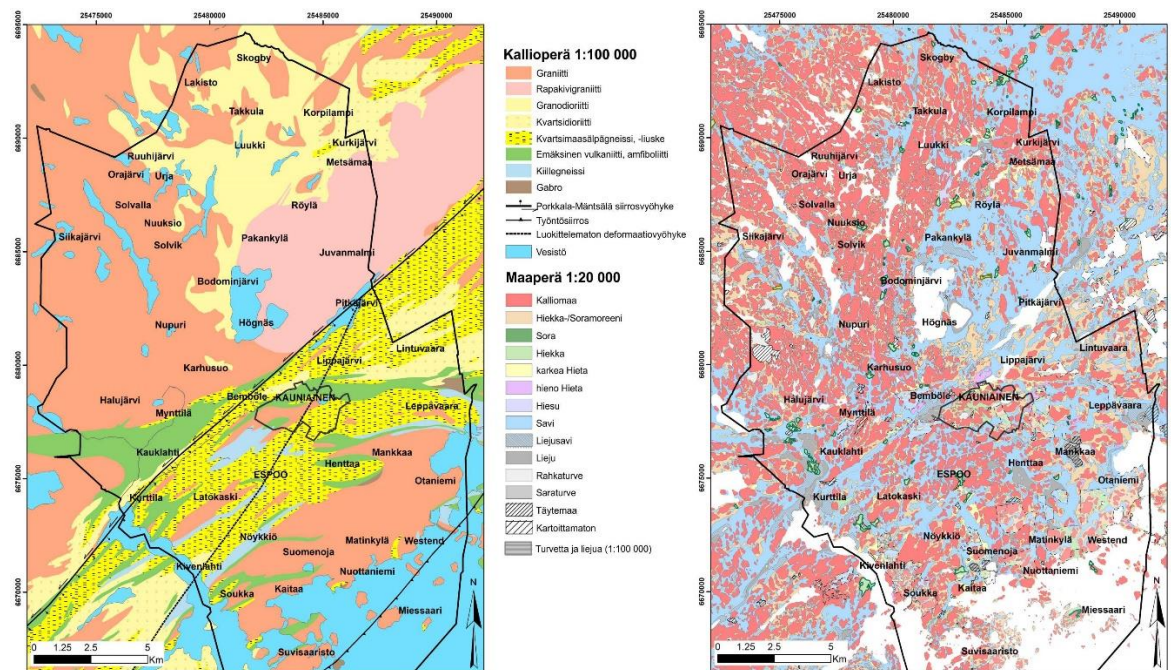
2 TUTKIMUSALUEEN SIJAINTI JA GEOLOGIA

Espoon alueen topografiaa määrittävät kallioperän kivilajien, siirroslinjojen ja rikkonaisuuksien esiintyminen (kuva 1). Etelä-Espoon ja etenkin Nuuksion järviylängön alueen graniittialueita kuvastavat korkeat kallioalueet, kun taas Bodomin rapakivigraniittialue on alavien savialtaiden peitossa. Espoon halki kulkee metamorfisista kivilajeista koostuva liuskejakso (kvartsimaasälpägneissi, kvartsidioriitti, kiillegneissi, amfiboliitti) (Laitala 1960; 1967; 1994).

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

Espoon maaperää karakterisoivat paljaat kalliomäet ja tasaiset savialueet. Huuhtoutunut moreeni reunustaa usein kalliomäkiä. Espoon alueella ei ole nähtävissä yhtenäisiä jäätikön sulamisvesien muodostamia sora- ja hiekkavaltaisia harjuja tai deltoja, vaan pieniä erillisiä muodostumia, jotka sijaitsevat tyypillisesti kallioiden suojasivuilla. Osa lajittuneista hiekkavaltaisista sedimenteistä voi olla myöhemmin kerrostuneiden hienoainesedimenttien (savi) alla. Jääkauden jälkeiset Itämeren merenpinnan vaihtelut muokkasivat Espoon maaperän piirteitä tasoittamalla muodostumia sekä levittämällä ja uudelleen kerrostamalla maa-ainesta (Repo ja muut 1970; Haavisto ja Kukkonen 1975).

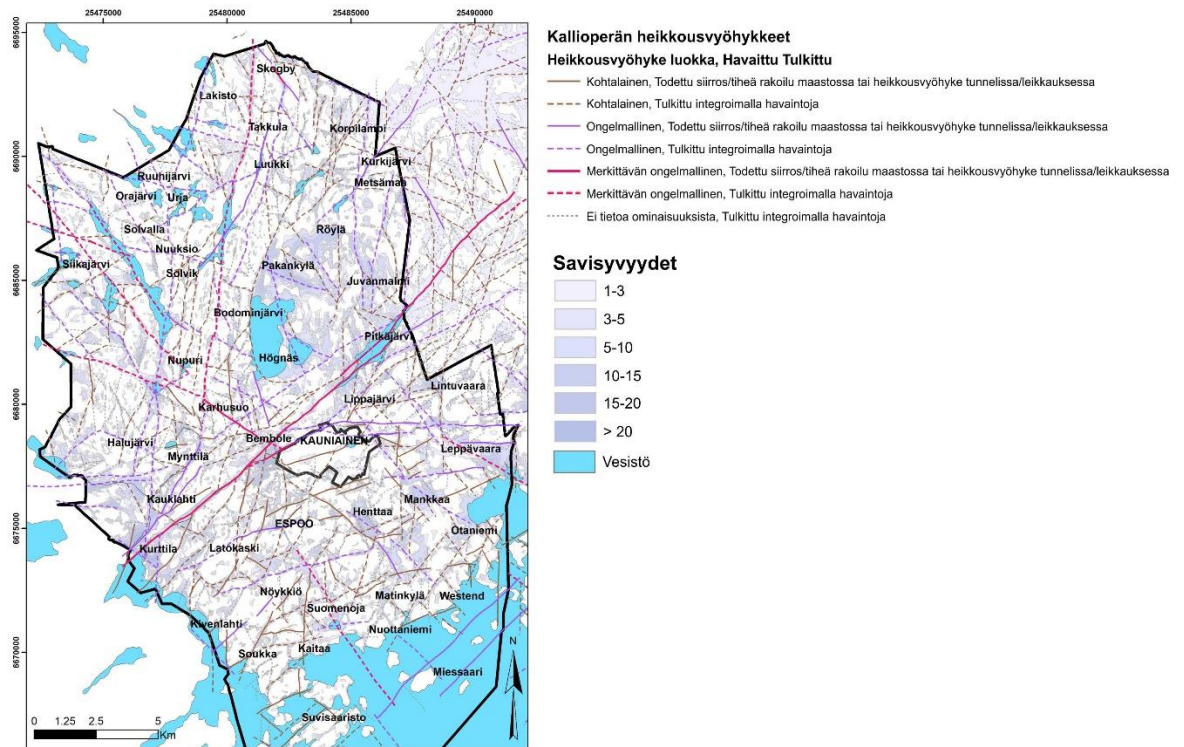


Kuva 1. Espoon alueen kallioperä ja maaperä. Kallioperäkartta 1:100 000; Maaperäkartta 1:20:000/1:100 000 © Geologian tutkimuskeskus

Espoon aluetta halkoo koillis-lounaissuuntainen Porkkala-Mäntsälä siirrosvyöhyke, joka kulkee Pitkäljärveltä Espoonjokea pitkin Kirkkojärven ja Kaukalahden kautta Kallvikinlahdelle (kuva 1). Porkkala-Mäntsälä siirrosvyöhyke ja muut kallioperän heikkousvyöhykkeet muodostavat pitkänomaisia laaksoja ja painanteita. Nämä painanteet ovat täyttyneet muinaisen Itämeren ja järvivaiheiden hienoainessedimenteillä (savi, savilieju, lieju) viimeisimmän jäätikön perääntymisen jälkeen (n. 13 000 vuotta sitten) (kuva 2).

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020



Kuva 2. Pääkaupunkiseudun heikkousvyöhykkeet ja savialueet Espoon alueella. Kallioperän heikkousvyöhykkeet; Savialueet ja syvytydet © Geologian tutkimuskeskus.

Paksuimmat savikerrostumat löytyvät Kirkkojärven ja Mustalahden alueelta juuri Porkkala-Mäntsälä siirrosvyöhykkeestä. Jäätikön perääntymisen jälkeinen maankohoaminen eristi toiset savialtaat järviksi, joista osa on kasvanut umpeen aikojen saatossa kerrostaen savialtaiden keskiosiin savea verhoavia liejusedimenttejä ja turvetta. Toiset savialtaat ovat jääneet merenpinnan laskun seurauksena rantavoimien ja jokiuomien muokattavaksi.

Suolaisempi ja lämmin Litorinamerivaihe (9000–5000 vuotta sitten BP) ja sen jälkeiset savialtaiden umpeenkasvu vaiheet ovat luoneet otolliset kerrostumisympäristöt sulfidisaville. Rikki on sulfidisedimenteissä pääasiassa peräisin meriveden sulfaattista, joka on eliöiden mikrobitoiminnan seurauksena kerrostunut sedimentaatioaltaan. Hapettomassa alusvedessä altaan pohjan läheisyydessä alun perin orgaaniset rikkiyhdisteet ovat pelkistyneet sulfideiksi, joka saostuu sedimentteihin rautamonosulfideiksi (FeS) ja vielä yleisemmin rautasulfideiksi (FeS₂) eli pyriitiksi (mm. Boman ja muut 2008). Etelä-Suomen savialtaissa ei tavata yhtä usein ja paksult Pohjanmaan Litorinavaiheelle tyypillisiä rautamonosulfidin mustaksi värjäämiä sulfidisavia. Tyypillisesti Etelä-Suomessa tavattava sulfidisedimentti on vihertävän harmaata liejusavea, jossa korkeat rikkipitoisuudet liittyvät pääosin pyriittiseen (FeS₂) sulfidisedimenttiin (Suikkanen ja muut 2018). Litorinameren ylimmän rannan transgressiovaihe on nähtävissä erosionaalisena epäjatkuvuuspintana (ohut hiekkakerros) Espoon ja koko eteläisen rannikkoalueen savialtaissa (Ojala ja muut

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

2016). Savistratigrafisissa tutkimuksissa monosulfidin mustaksi värjäämiä savia on havaittu Espoon alueella tätä epäjatkuvuuspintaa edustavan ohuen hiekkakerroksen yläpuolella; Suurpellon alueella 2-11 m syvyydestä (maanpinnasta) (Ojala ja muut 2007), Mustalahdessa 3-6 m syvyydestä (Ojala 2009) ja Rastaalessa 2-6 m syvyydessä, savikon kokonaispaksuuden ollessa noin 20 m (Ojala 2007). Nämä savialtaat sijaitsevat eri korkeustasoilla nykyisen merenpinnan yläpuolella (Suurpelto +5,2- +5,5 m mpy, Mustalahti +0,81- +1,38 m mpy ja Rastaa +18,7- +20,2 m mpy), mutta jokaisessa altaassa on esiintynyt monosulfidisaville suotuisat hapettomat kerrostumisolosuhteet. Savistratigrafisten tutkimuspisteiden geokemiallisten tulosten suurimmat rikkipitoisuudet eivät kuitenkaan löydy aina mustista monosulfidisavista, vaan mahdollisesti myös yläpuolella olevasta, usein liejupitoisemmasta kerroksesta, jossa rikki esiintyy usein pyriittinä (Suikkanen ja muut 2018). Tämä on nähtävillä myös esimerkiksi Suurpellon alueella (Ojala ja muut 2007). Epäjatkuvuuspinnan alapuolella olevissa Ancylos-savissa esiintyy myös toisinaan monosulfidin heikosti värjäämiä mustia raitoja tai kasautumia, mutta niiden rikkipitoisuus ei tavallisesti ole merkittävän korkea.

3 LÄHTÖAINEISTO

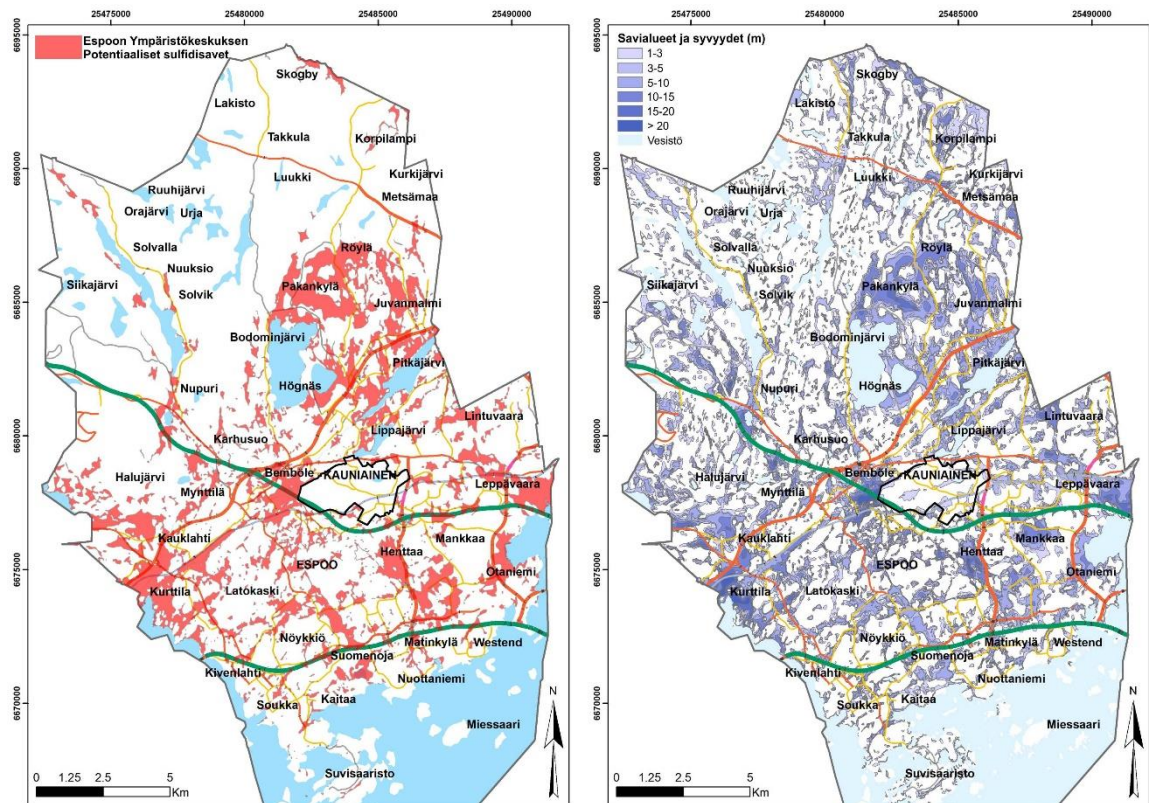
3.1 Espoon savialueet, saven syvyyskäyrät

Geologian tutkimuskeskus on koonnut pääkaupunkiseudun kuntien alueelta savialueet ja syvyydet – karttatuotteen. Espoon saven syvyysaineisto koostuu Espoon kaupungin maaperäkartan (1985) syvyyskäyrästä (3 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m). 1 m syvyyskäyrä editoitiin karttatuotteen koonnin aikana Espoon kaupungin maaperäkarttalehtien 1 m saven syvyyskäyrän, GTK:n maaperäkartan (1:20 000) 1 m savialuerajan ja LiDAR korkeusaineistoon (2 m) avulla. Koottu savisyvyysaineisto toimii lähtöaineistona paikkatietanalyysille (kuva 3).

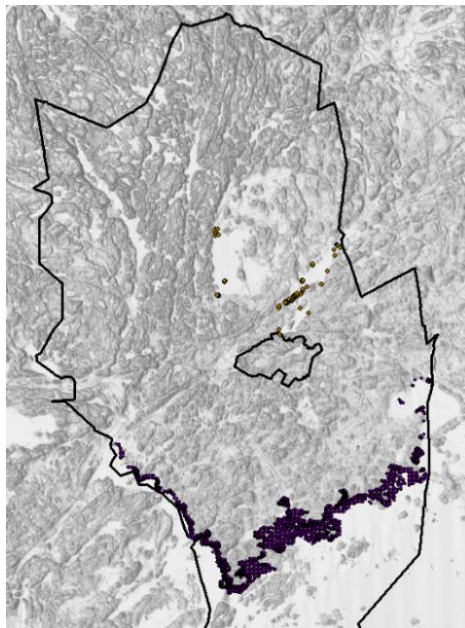
Lisäksi tutkimusta varten saatiin Espoon kaupungin Geotekniikkayksiköltä 3298 pohjatutkimusta vesistöalueilta (kuva 4). 3196 pohjatutkimusta sijaitsee Espoon rannikkoalueella ja 102 pohjatutkimusta Bodominjärven, Espoon Pitkäjärven ja Lippajärven alueella.

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020



Kuva 3. Espoon ympäristökeskuksen (2016) Potentiaaliset sulfidisavet –kartan esiintymisalueet punaisella (vasen kuva), ja GTK:n kokoama Savialueet ja syvyydet –kartta Espoon alueelta (oikea kuva). Savialueet ja syvyydet aineisto toimii lähtöaineistona savialtaiden luokittelulle. Haltik-pohjakartta © Maanmittauslaitos, Potentiaaliset sulfidisavet © Espoon ympäristökeskus, Savialueet ja syvyydet © Geologian tutkimuskeskus



Kuva 4. Pohjatutkimusaineistojen sijainti meri- ja järvalueilla. Tutkimuspisteillä tarkennettiin vedenalaisia savisyvyysaineistoja.

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

3.2 Espoon ympäristökeskuksen Potentiaaliset sulfidisavet – kartta

Espoon ympäristökeskus on laatinut Espoon kaupungin Geotekniikkayksikölle Potentiaaliset sulfidisavet – kartan vuonna 2016 (kuva 3), joka pohjautuu 1) Espoon kaupungin maaperäkartan yli 3 m savialueisiin ja 2) maa-alueisiin, jotka sijaitsevat alle 40 m mpy (Litorinameren ylin rantataso).

3.3 Sulfiditutkimukset

Espoon alueelta on tehty korroosio- ja sulfaattimaatutkimuksia eri konsulttien toimesta. Tutkimusraportteja on yhteensä 33 kappaletta, vuosilta 2007–2019 (kuva 5). Korroosio- ja sulfaattimaatutkimus ja raporttien mukaiset johtopäätökset perustuvat vaihtelevasti eri menetelmiin sekä pääosin seuraavien lähteiden ohjeisiin ja raja-arvoihin:

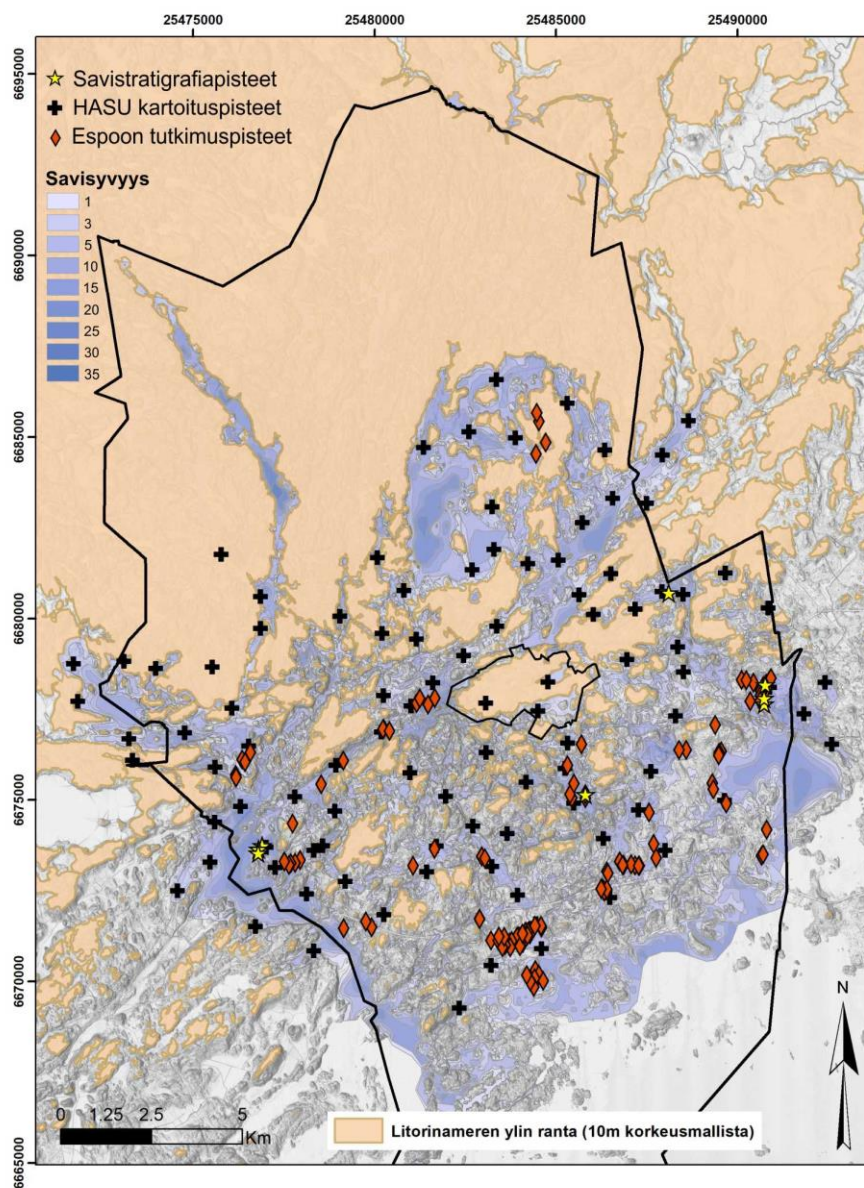
- Tiehallinnon julkaisu Sillan geotekniset suunnitteluperusteet (Tiehallinto 2007)
- Liikenneviraston ohje 11/2012, Sillan geotekninen suunnittelu/Sillat ja taitorakenteet
- Liikenneviraston ohje 13/2017, Eurokoodin soveltamisohje – Geotekninen suunnittelu -NCCI7
- GTK:n kartoitus- ja luokitusohje (Edén ja muut 2012)
- Luleå teknisen yliopiston raportti (Pousette 2007)
- Joissakin tapauksissa potentiaalinen hapan sulfaattimaa on todettu kenttätestein ja aistinvaraisesti

GTK on suorittanut savistratigrafisia ja geokemiallisia tutkimuksia Suurpellon (Ojala ja muut 2007), Rastaalan (Ojala 2007) sekä Perkkaan ja Mustalahden (Ojala 2009) alueilla. Yhteensä 8 tutkimuspisteen geokemiallisia ja fysikaalisia tuloksia on tarkasteltu tässä tutkimuksessa (kuva 5).

Geologian tutkimuskeskus on suorittanut Happamien sulfaattimaiden (HASU) (1:250 000) kartoitusta Espoon alueella vuosina 2017–2018. Kartoituspisteet sijaitsevat GTK:n tulkitseman Litorinameren ylimmän rannan alapuolisilla alueilla (Åberg 2013; Ojala ja muut 2013). Hapan sulfaattimaa määritetään sedimentin pintakerroksesta (0-3 m), pohjavedenpinnan alapuolelta otetusta näytteestä, pH:n inkuboinnilla. Kriteeriksi riittää myös happettuneen kerroksen pH-mittaustulos. Jos pH on mineraalimaassa alle 4, on kyseessä hapan sulfaattimaa (Edén ja muut 2012). Espoon savialtaiden luokittelualueelle sijoittuu 99 kartoituspistettä, joita on tarkasteltu tässä tutkimuksessa (kuva 5).

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020



Kuva 5. Litorinameren ylin ranta, savisyvyyydet sekä Espoon tutkimuspisteet, HASU-pisteet ja savistratigrafisten kohteiden geokemialliset tutkimuspisteet tutkimusalueella eri karttasymboleilla esitettynä. Happamat sulfaattimaat, Muinaisrannat © Geologian tutkimuskeskus, Pohjakartta; LiDAR-korkeusmalli © Maanmittauslaitos

3.4 Muut aineistot

Espoon korroosio- ja sulfaattimaatutkimukset on koottu tietokantaan ja tilastoitu Kataariina Hämäläisen (2018) lopputyössä. Tämän jälkeen tehdyt tutkimukset on myös tarkasteltu ja hyödynnetty tässä työssä.

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

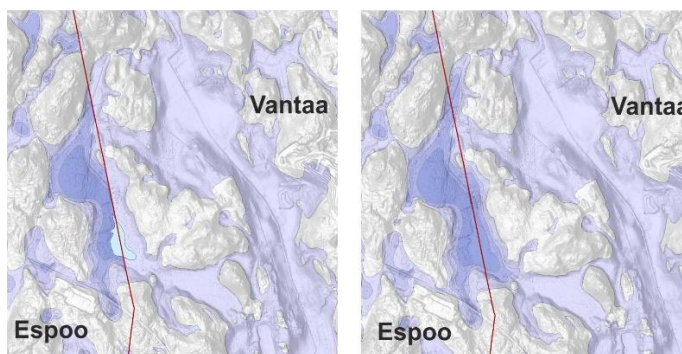
Tutkimuksessa hyödynnetään Geologian tutkimuskeskuksen Muinaisrannat aineiston Litorinameren ylintä rantaa (Åberg 2013; Ojala ja muut 2013) (kuva 5).

Tutkimuksessa tarkasteltiin myös Espoon kaupungin maaperäkartan turvealueita (1-3m, yli 3m) sekä GTK:n maaperäkartan (1:20 000) lieju ja liejusavi – alueita. Korkeamman humuspitoisuuden liejusavi/lieju (Hämäläinen 2018) ja turvealueet (Auri ja muut 2018) usein verhoavat savipeitteisiä alueita ja ovat siten yhteydessä sulfidin mahdolliseen esiintymiseen.

4 PAIKKATietoaineiston KÄSITTELY JA ANALYYSIT

4.1 Saven syvyysmallit, savipaksuus ja veden syvyys Litorinameren ylimmän rannan aikaan

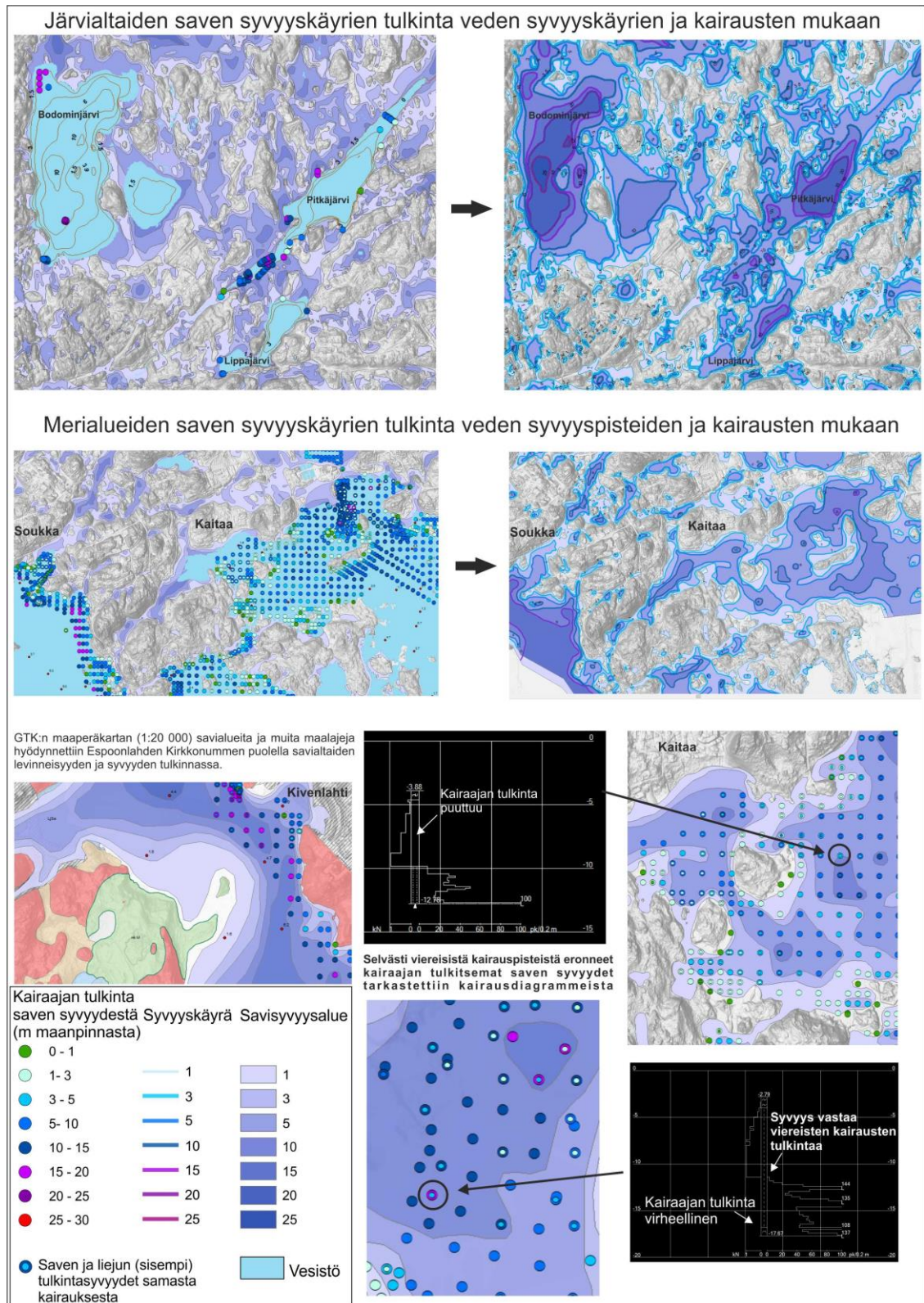
Espoon saven syvyyskäyrät (m maanpinnasta) täydennettiin kuntarajoilla (kuva 6) ja vesistöjen (järvet, rannikkoalue) kohdalla jatkuviksi (kuva 6), jotta savialtaat saatiin kokonaisiksi saviallasluokittelua varten. Kuntarajat ylittävillä savialueilla hyödynnettiin GTK:n maaperäkarttaa, LiDAR korkeusmallia ja mahdollisuuksien mukaan GTK:n pohjatutkimusrekisterin kairaustietoja (Pohjatutkimusrekisteri, GTK). Helsingin kuntarajalla voitiin hyödyntää GTK:n yhdistämää Savialueet ja syvyydet -aineistoa, jossa on mukana Helsingin kaupungin maaperäkartan savisyvyyskäyrät. Järviältäiden osalta syvyyskäyrien editoinnissa hyödynnettiin veden syvyyskäyriä, jotka syvien järviältäiden kohdalla refleктоivat osaltaan myös pehmeiden sedimenttikerrosten paksuutta (Valpola ja Ojala 2006). Nuuk-sion kalliosyvänteisiin kerrostuneiden savialtaiden saven syvyydestä ei ole varmaa tietoa, koska ylänköalueen järvien veden syvyydestä ei ollut saatavilla. Alueen savialtaat sijait-sivat nykyään noin 90–100 m mpy ja alue on kuroutunut Itämerestä jo aikaisessa Yoldia –vaiheessa (Hyvärinen 1999), eivätkä siten todennäköisesti sisällä mahdollisia sulfidisavia. Bodominjärven, Lippajärven ja Espoon Pitkäjärven syvyyskäyrien editoinnissa hyödynnet-tiin kairaajan tulkintoja saven alapinnan syvyydestä Espoon Geotekniikkayksikön 96 painokairauksesta (kuva 7).



Kuva 6. Savisyvyyskäyrät jatkettiin myös kuntarajojen yli ”kokonaisiksi” savialtaiksi.

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020



Kuva 7. Savialtaiden saven syvyyskäyrien täydennys Espoon vesistöalueilla.

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

Päivitysten lisäksi saven syvyyskäyriä jatkettiin Espoon rannikkoalueilla. Tämä onnistui Espoon Geotekniikkayksiköltä saatujen 3151 painokairauksen avulla. Kairaukset sijoituivat Espoon rannikkoalueelle (kuva 4 ja 7). Huomioitavaa on, että kairauksiin pohjautuva saven syvyysaineisto perustuu kairaajan tulkintoihin saven alapinnasta eikä kairausaineistoja ole uudelleentulkittu tämän tulkinnan yhteydessä. Joitakin kairauksia on kuitenkin käyty läpi, jos vierekkäiset kairaukset poikkesivat selvästi toisistaan (kuva 7). Saven alapinnan tulkintaan on käytetty sekä savi että savilieju tulkintoja (kuva 7). Lisäksi pohjatutkimusten ulkopuolisilta alueilta (mm. Espoonlahti, Laajalahti) saven syvyystulkintoja jatkettiin meriveden syvyysaineiston avulla (Haltik, Maanmittauslaitos) (kuva 7) (katso myös Liite 3).

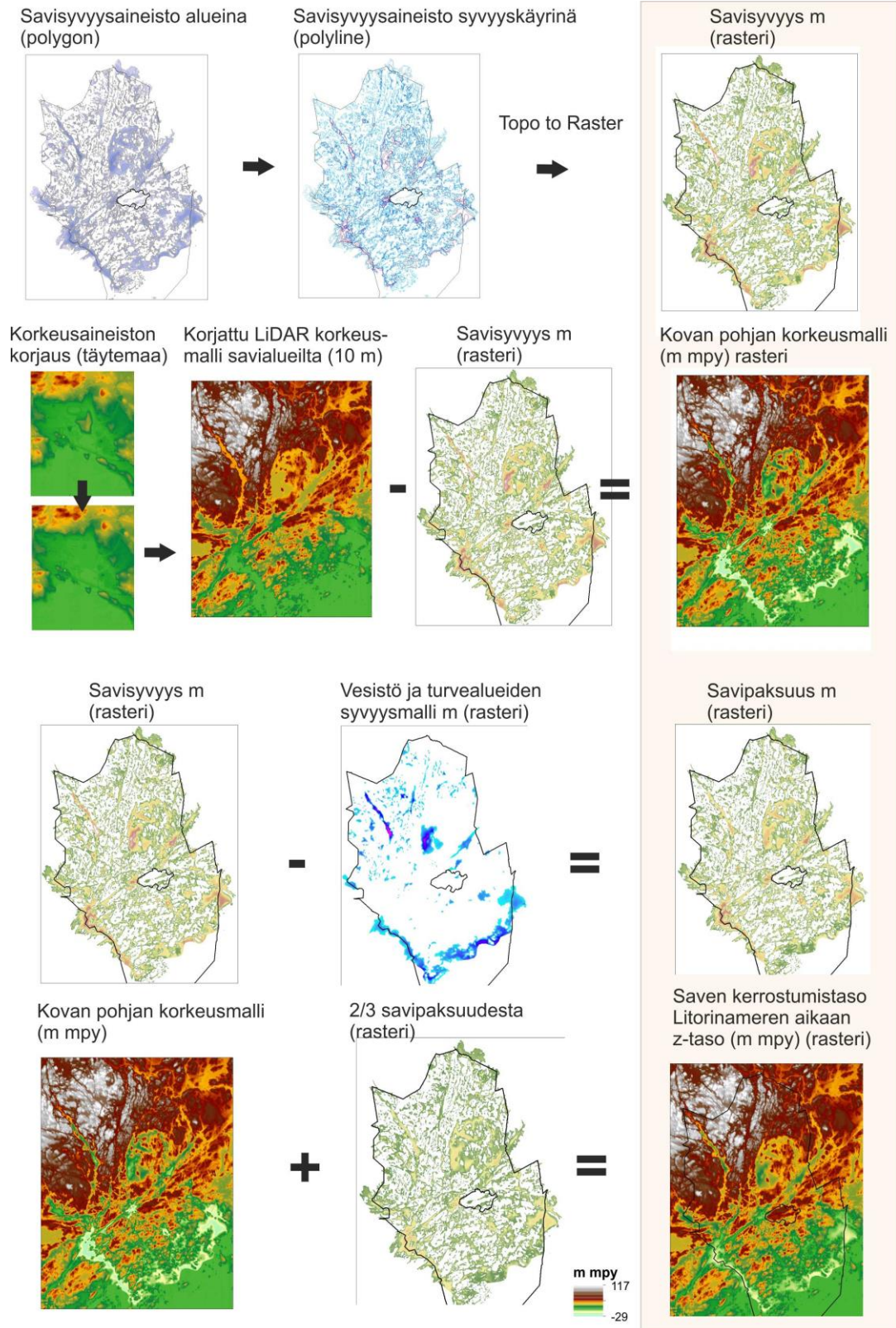
Valmiit savialueiden polygonit muutettiin ensin syvyyskäyriksi (polyline), jotka voitiin interpoloida korkeusmalliksi (rasteri) ArcGis – ohjelman Topo to Raster –työkalulla (kuva 8). Paikkatietoanalyysin ruutukooksi valittiin 10 m.

4.2 Muinaiset korkeusmallit

Saven alapinnan z-taso (m mpy)

Maanmittauslaitoksen 2 m laserkeilausaineistosta (LiDAR) rajattiin Espoon saviallasaluetta huomattavasti laajempi alue (kuva 8), jotta mahdolliset korkeusmallien ja analyysien reuna-alueiden virheet eivät osu itse tutkimusalueelle. Ruutukooksi määritettiin savisyvyysrasteria vastaava 10 m. Espoon alueen LiDAR-korkeusmallissa on nähtävissä paljon rakennettuja kohteita (mm. tiet, tunnelit, rakennukset, täyttömäet). Jos nämä selvästi ympäristöään korkeammat rakennelmat (>3 m korkeusero) osuivat savialtaiden alueelle, muokattiin kohoumat tai vajoamat pois, jotta savialtaan ”alkuperäinen lähtötaso” saavutettiin. Jotta suurempien rakennelmien kohdalla voitiin olla varmoja luonnollisesta maanpinnan lähtökorkeudesta, tarkastettiin vanhoista kartoista (Maanmittauslaitos 1958a; 1958b; 1960; 1961) alueiden luonnontilaisia korkeuskäyriä ja pinnanmuotoja. Muokkaus tehtiin muuttamalla LiDAR rasteri pisteaineistoksi (Point), jonka jälkeen haluttujen kohteiden korkeustasoa voitiin muuttaa savialtaan korkeustasoa vastaavaksi (kuva 8). Saven alapinnan z-taso (m mpy) saatiin vähentämällä korjatusta LiDAR – korkeusmallista saven syvyysmalli (kuva 8). Tämän jälkeen saven alapinnan z-tason korkeusmalli yhdistettiin koko alueen LiDAR korkeusmalliin Mosaic to New Raster –työkalulla. Näin saatiin luotua jatkuva kovan pohjan korkeusmalli, joka vastaa vaihetta ennen savien kerrostumista (kuva 8).

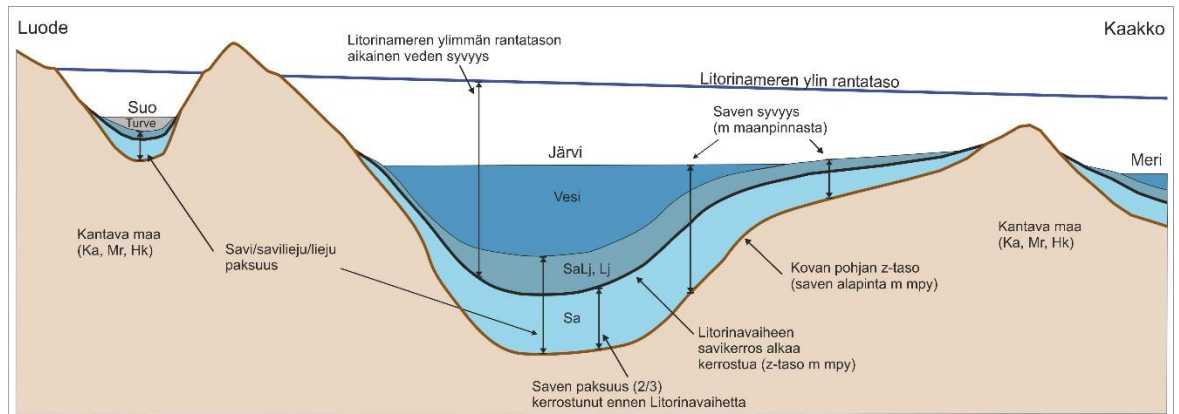
28.2.2020
päivitetty 25.3.2020



Kuva 8. Eri merivaiheisiin ja saven paksuuteen liittyvien korkeusmallien käsittelyvaiheet.

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020



Kuva 9. Havainnekuva mallinnetuista paleotopografisista tasopinnoista, saven paksuudesta sekä Litorinameren aikaisesta vedenpinnan tasosta.

Saven paksuus

Saven syvyysaineistossa on mukana vesi- ja turvekerrokset, koska syvyyskäyrät ilmoittavat saven alapinnan syvyyden maanpinnasta lähtien (kuva 8). Jotta voidaan saada selville savikerroksen kokonaispaksuus, tulee vesi- ja turvekerrokset poistaa syvyysaineistosta (kuva 8) (Rosentau ja muut 2007). Merialueen veden syvyysaineisto koostettiin rantaviivasta (0 m), pohjatutkimusten vedensyvyystiedoista ja Maanmittauslaitoksen Haltik-tietokannan merisyvyyspisteistä. Järvien ja turpeiden osalta käytettiin veden syvyyskäyriä ja Espoon maaperäkartan turvealueiden syvyyskäyriä (1-3m ja yli 3m). Saven paksuus saatiin vähentämällä vesi ja turvekerrosten paksuus -rasteri saven syvyysmallista (kuva 8 ja 9).

Litorinameren ylimmän rannan aikainen saven kerrostumistaso (z-taso m mpy)

Eteläisen Espoon savistrafigrafisten tutkimusten perusteella Litorinavaiheen aikaisia ja sen jälkeen muodostuneita savia/liejusavia/liejuja on Espoon savialtaiden savipaksuudesta keskimäärin noin 1/3 (Ojala 2007; Ojala 2009; Ojala ja muut 2007). Vanhempien merivaiheiden aikana kerrostuneita savia on täten arviolta 2/3 saven kokonaispaksuudesta. Litorinavaiheen aikainen saven kerrostumistaso saatiin lisäämällä 2/3 saven kokonaispaksuudesta saven alapinnan eli kovan pohjan z-tasoon (kuva 8 ja 9). Tämän jälkeen Litorinan aikainen savialtaiden z-tason korkeusmalli (m mpy) yhdistettiin myös koko alueen LiDAR korkeusmalliin Mosaic to New Raster -työkalulla. Näin saatiin luotua jatkuva korkeusmalli, joka vastaa korkeustasoa ennen humus- ja sulfidipitoisempien savien kerrostumisvaihetta.

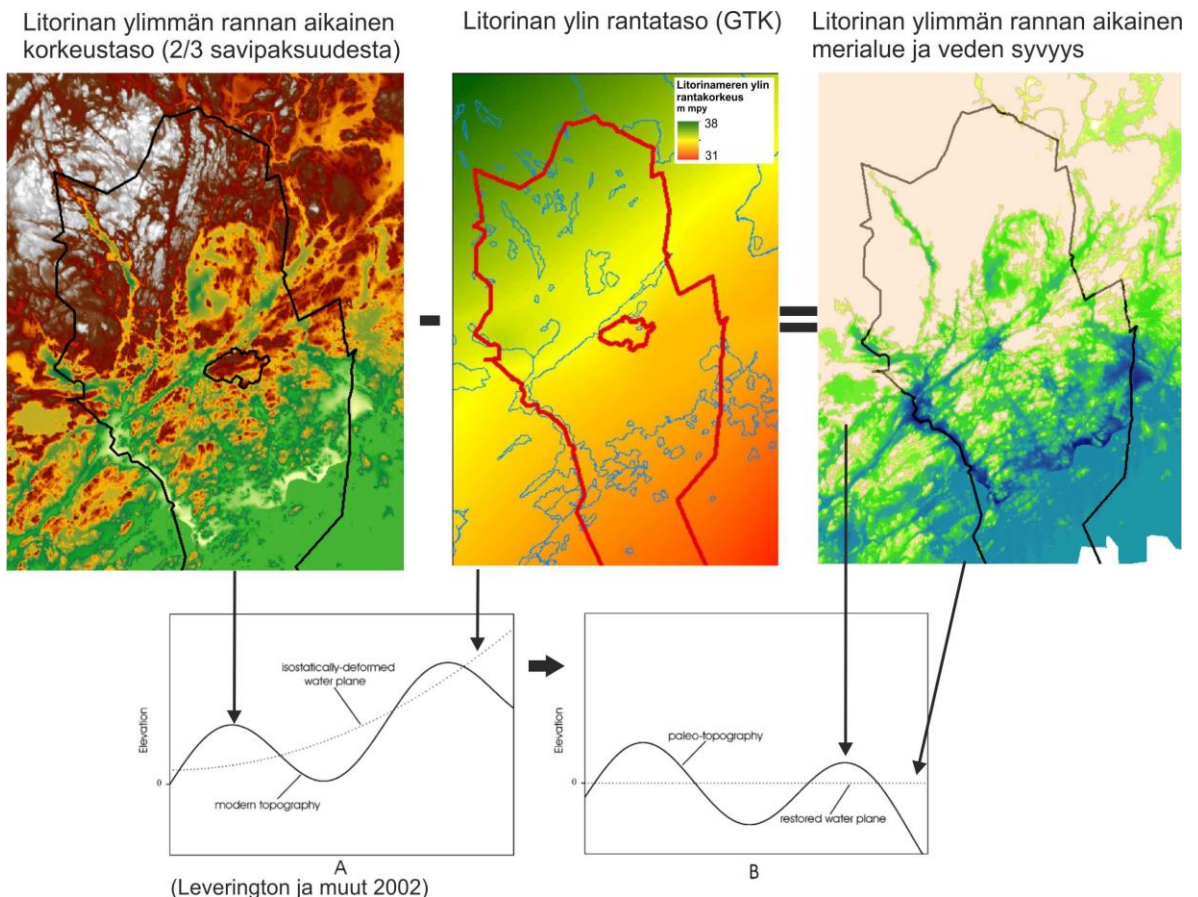
Litorinameren ylimmän rannan aikainen veden syvyys

Litorinameren transgressiovaiheen (9000–6000 vuotta sitten BP) ylin rantapinta on mallinnettu koko Suomen alueelta (Åberg 2013; Ojala ja muut 2013). Pääkaupunkiseudun alueella korkein rantapinta on sijainnut havaintojen ja LiDAR tulkintojen perusteella kaakossa 30 m mpy ja luoteessa 35 m mpy yläpuolella (Ojala ja muut 2013). Espoon alueen

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

mallinnettu rantapinta sijaitsee isobaasien 32–36 (m mpy) välissä (kuva 10). Paleotopografinen korkeusmalli saadaan, kun nykytopografiasta vähennetään muinaisen merivaiheen rantapinta (kuva 10) (Leverington ja muut 2002; Mäkiäho 2009). Kun Litorinameren ylimmän rannan aikaisesta saven kerrostumistasosta vähennetään muinainen rantapinta, saadaan samalla paleotopografisen rantapinnan (- merkkisiltä) merialueilta muinaisen meriveden syvyysmalli (kuva 8 ja 10).



Kuva 10. Litorinameren aikaisen veden syvyysmallin aineistokäsittely.

4.3 Savialtaiden topografinen tyyppi

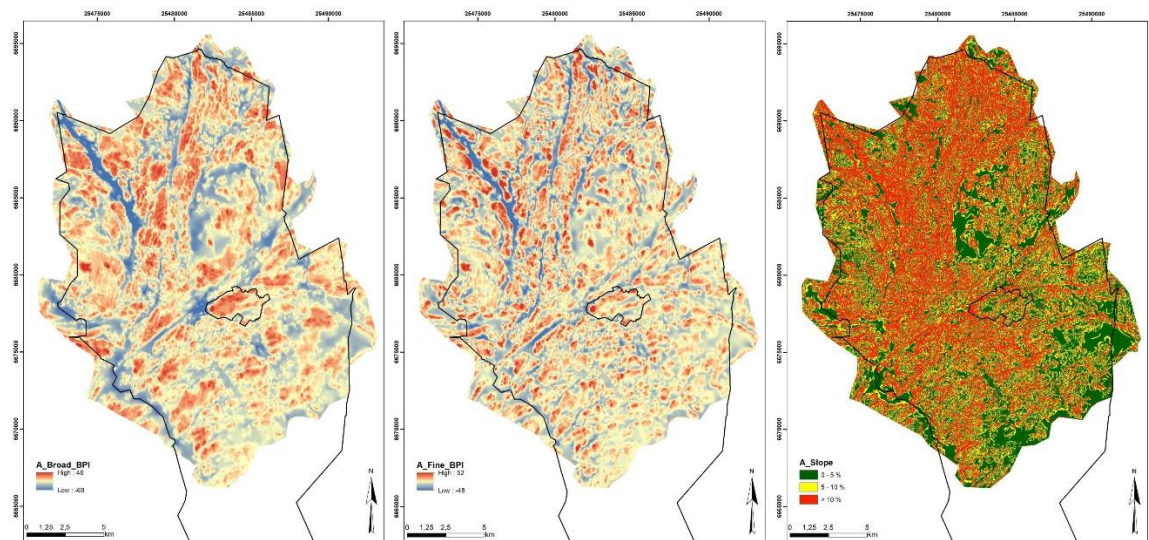
Savialtaiden topografinen tyyppi analysoitiin Benthic Terrain Modelerilla (BTM). BTM:n avulla voidaan tuottaa korkeusaineistoihin ja pintamorfologiaan perustuvia luokitteluja (Wright ja muut 2005), jotka edistävät savikkoaltaiden jakamista erityyppisiin kerrostumisympäristöihin. BTM on ArcGIS-ohjelmiston lisäosa, jolla voidaan vertailla halutun solun korkeutta ympäröivien solujen keskikorkeuteen ja laskea aineistolle solukohtaisesti Benthic Position Index (BPI) -arvo (Wallbridge ja muut 2018). BPI on merellinen vastine Topographic Position Index (TPI) -arvolle (Lundblad ja muut 2006; Weiss 2001). BTM:lla voidaan tuottaa ympäristön topografialuokitteluja (painanteet, kohoumat, tasangot ja rintteet), kun BPI-arvoon yhdistetään rinnekaltevuus. BPI:a ja BTM:a on käytetty meriympä-

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

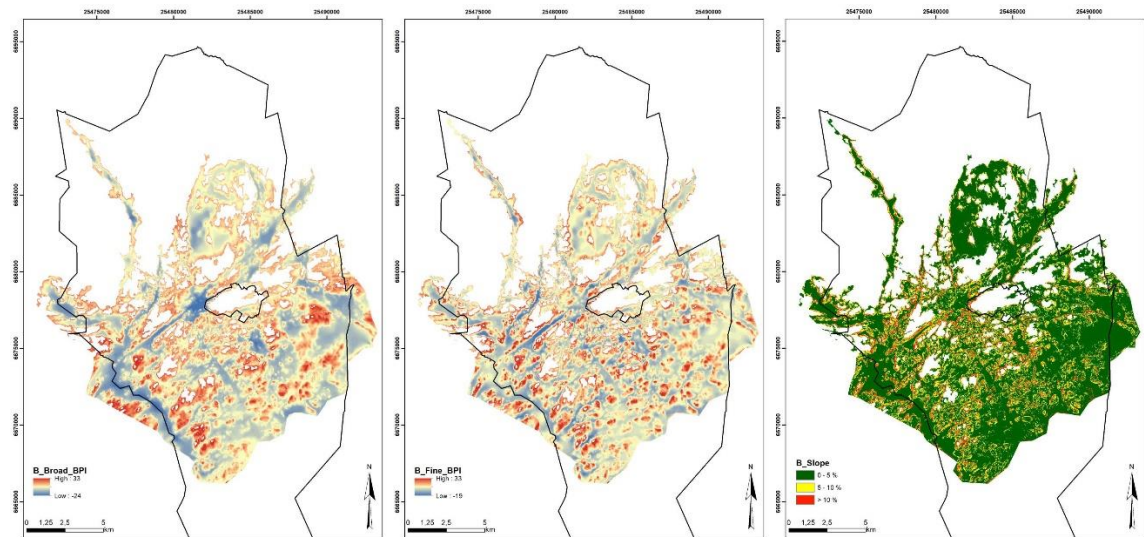
päristöissä muun muassa merenpohjan geologisiin luokitteluihin ja pinnanmuotojen luokitteluun osana luontotyyppien ja pohjaeläimistön mallinnusta ja merenpohjan hapettomien syvänteiden kartoitusta (Erdey-Heydorn 2008; Kaskela 2017; Virtanen ja muut 2019).

BTM-analyyseja varten saven syvyysmalli työstettiin todelliseen korkotasoon ja yhdistettiin korkeusmalliin muinaisen merenpohjan simulointia varten A) jäätikön vetäytymisen jälkeen, kun saven kerrostuminen syvään veteen alkoi koko Espoon alueella B) Litorina-merivaiheen alkaessa, kun arviolta 2/3 nykyisestä savipaksuudesta oli kerrostunut ja Espoon pohjoiset osat vapautuneet meren alta. BPI-arvo laskettiin useilla eri tutkimussäteillä Espoon alueen kokonaisuus huomioiden. Edustavimmaksi kohdekohtaiseksi säteeksi valikoitui BPI 700m, jolla voitiin tarkastella pienipiirteisempiä muinaisen merenpohjan muotoja ja jota testattiin Suurpellon tutkitun savialtaan topografian tunnistamisessa. Laajempaan alueelliseen tarkasteluun valittiin BPI 2km, jolla aineistosta tunnistettiin suurempia painaumia ja kohoumia. Standardoidut BPI-arvot yhdistettiin muinaisen merenpohjan kaltevuuden kanssa (kuva 11) ja luotiin BTM-luokat (taulukko 1).



28.2.2020

päivitetty 25.3.2020



Kuva 11. BPI-rakenteet yhdessä rinnekaltevuuden kanssa muodostavat lähtökohdat alueen topografiselle luokitukselle simuloinneissa A) saven kerrostumisen alkaessa jäätikön vetäydyttyä (13 000 vuotta sitten) ja B) Litorinamerivaiheen alkaessa (9000 vuotta sitten)

Taulukko 1. Merenpohjan topografinen luokittelu (zones). Benthic Position Index (BPI) ”100” viittaa korkeusaineiston standardoituun keskihajontaan.

Clas s	Zone	BroadBPI_Lo wer	BroadBPI_Up per	FineBPI_Lo wer	FineBPI_up per	Slope_Lo wer	Slope_Up per
1	Harjanne	100		100			
2	Kohouma	100		-100	100		
3	Laaja_painauma		-100	-100	100		
4	Loiva_rinne	- 100	100	-100	100	5	10
5	Pieni_painauma	-100	100		-100		
6	Rinne	-100	100	-100	100	10	
7	Jyrkkapiirteinen_syv anne		-100		-100		
8	Tasanko	-100	100	-100	100		5

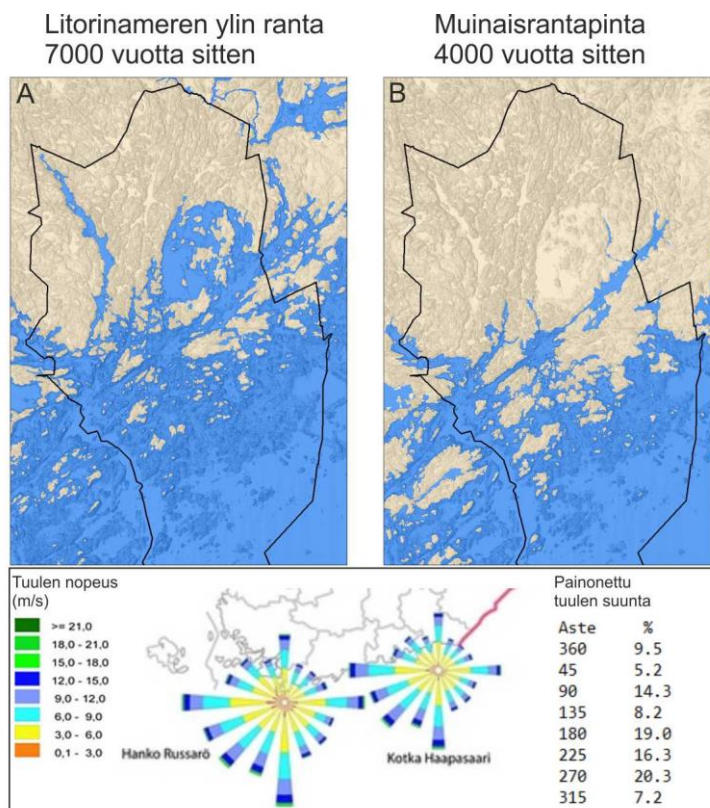
4.4 Wind Fetch Model – tuulen vaikutus

Tuulella ja tuulen vapaasti kulkemalla matkalla vesistöjen pinnalla on vaikutusta veden tehokkaaseen sekoittumiseen ja näin ollen se vaikuttaa myös veden aluskerroksen hapetomien/hapellisten olojen syntyyn. Tuulen vaikutusta ja tuulen pyyhkäisymatkaa vesistöalueilla voidaan mallintaa USGS:n (U.S. Geological Survey) luomalla Wind Fetch-työkalulla, joka toimii ArcGis-ohjelmalla (Rohweder ja muut 2012). Malli ottaa huomioon pai-

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

notetut keskittuun suunnat ja maa-alueiden sekä vesistöjen sijainnit (esim. saaret), jolloin voidaan mallintaa mahdolliset tuulen vaikutukset suojaisat alueet. Wind Fetch-malli luotiin Litorinameren ylimmän rannan aikaiselle merialueelle Espoon alueelta. Wind Fetch-malli tehtiin myös myöhemmälle merivaiheelle (4000 vuotta sitten), jotta tuulen vaikutus matalille rannikkoalueille voitiin testata myös Etelä-Espoon alueelle. Muinaisranta (4000 vuotta sitten) laskettiin Litorinameren ylimmän rannan aikaisen L32-isobaasin (32 m mpy) rannansiirtymiskäyrän ja kaltevuuden (gradientti cm/km) avulla (Hyvärinen, 1999; Leverington ja muut 2002; Mäkiäho 2009). Painotettuina tuulensuuntina käytettiin nykyistä tuulen suunnan jakaumaa Etelä-Suomen alueella (tarkastelujakso 1999–2008) (kuva 12) (Tuuliatlas/Ilmatieteen laitos; Tammelin ja muut 2013).



Kuva 12. Wind Fetch –mallinnuksessa käytetyt tuulen ilmansuunnat ja painotukset (alapaneeli) sekä mallinnuksessa käytetty aluerajaus (Land 1 (ruskea), Water 0 (sininen)) A) Litorinameren ylimmän rannan aikaan (noin 7000 vuotta sitten) ja B) muinaisranta 4000 vuotta sitten.

Veden virtauksiin ja vaihtuvuuteen rannikkoalueilla vaikuttavat tuulen vaikutuksen lisäksi laskujokien sijainnit ja rannikkoalueiden vedenalaiset geomorfologiset piirteet (Henriksen ja Myllyvirta 2006), jotka taas vaikuttavat pohjanläheisen veden hapellisiin ja hapetomiin olosuhteisiin. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin muinaisia laskujokien sijainteja Litorinameren ylimmän rannan aikaan ja nykyisiä jokiuomien reittejä.

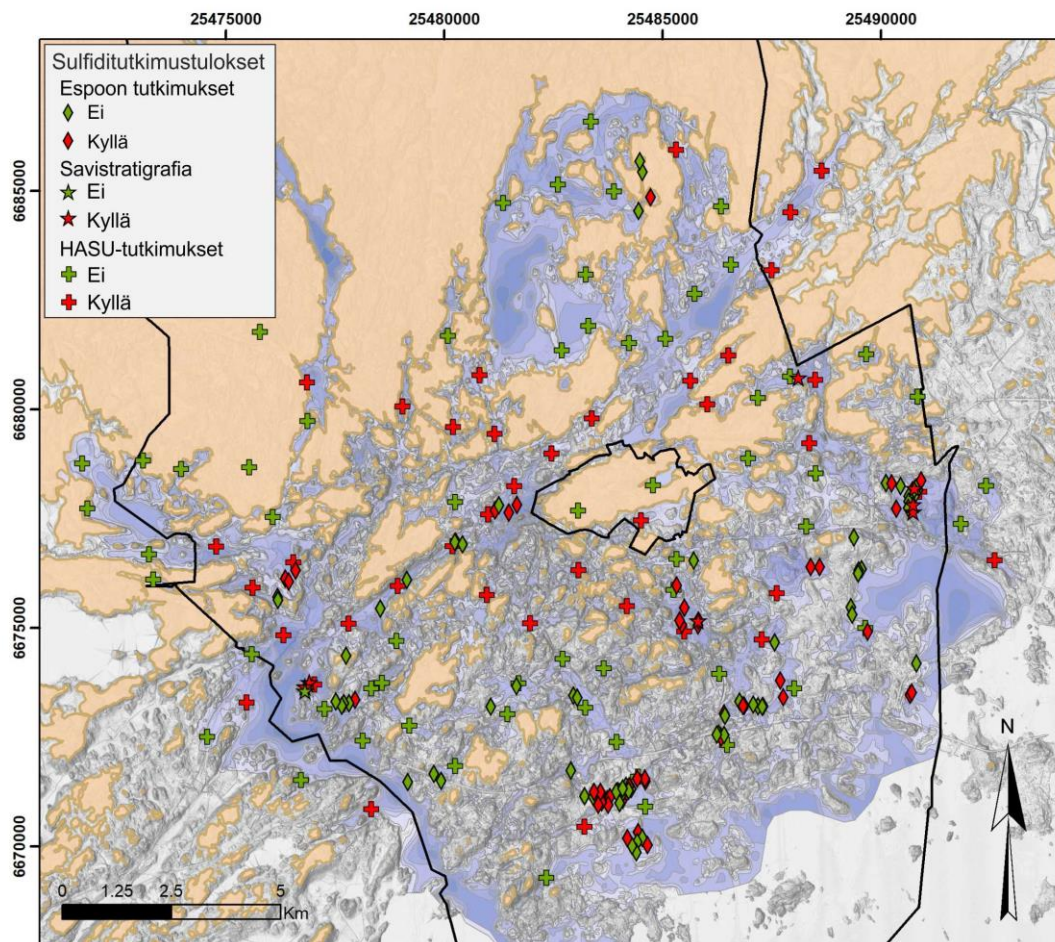
28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

4.5 Sulfiditutkimusten luokittelu

Kaupungin korroosio- ja sulfidisavitutkimukset luokiteltiin luokkiin Kyllä (punainen): sulfidia esiintyy kyseisessä tutkimuspisteessä ja Ei (vihreä): sulfidia ei esiinny kyseisessä tutkimuspisteessä raporttien johtopäätösten perusteella. Savistratigrafisten tutkimuspisteiden geokemialliset tulokset tulkittiin GTK:n ohjeen mukaan (Edén ja muut 2012) ja luokiteltiin yhdessä HASU –kartoituspisteiden kanssa vastaaviin luokkiin (kuva 13).

Sulfiditutkimuksia on Espoon alueelta yhteensä 210 pistettä. Näistä 72 pisteessä (64 kaupungin pistettä, 8 GTK:n stratigrafiapistettä) näytesyvyys > 3 m. Syvemmissä tutkimuspisteissä näytteitä on usein otettu myös maaperän pintaosista. Suuri osa tutkimustuloksista edusti maan pintaosien mahdollista sulfidisavea (saven syvyys < 3 metriä). Syvissä tutkimuspisteissä korroosioherkkyttä indikoivat tulokset osoittivat usein viitteitä sulfidisavesta myös savikerrosten pintaosissa. Sulfidin tarkempi tarkastelu yksittäisten tutkimuspisteiden näytesyvyyden suhteen rajattiin koko Espoon kattavasta luokittelusta pois.



Kuva 13. HASU-, savistratigrafiset ja Espoon tutkimuspisteet jaoteltuna sulfidisavien esiintymisen mukaan luokkiin Kyllä (punainen) ja Ei (vihreä).

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

4.6 Tilastollinen tarkastelu

Kaikki Espoon alueelta käytettävissä olevat sulfiditutkimustulokset koottiin yhteen ja käsiteltiin kategorisiksi muuttujiksi sen mukaan onko kyseisessä tutkimuspisteessä todettu todellisia tai potentiaalisia happamia sulfaattimaita tai aggressiivista maaperää vai ei (kuva 13). Sen jälkeen Saven paksuus (taulukko 2), topografia-analyysin tuloksena saadut tyyppialueet (taulukko 3) ja lieju-/liejusavialueet (taulukko 4) kussakin tutkimuspisteessä tarkasteltiin sulfidin esiintymisen suhteen tilastollisen merkittävyyden kannalta. Kategoristen muuttujien ja lukumäärien käsittelyyn käytettiin Khiin neliö -testiä, jossa todennäköisyysjakautumasta määritetään suureiden välistä riippuvuutta p-arvon avulla. Jokainen solu taulukoissa 2, 3 ja 4 sisältää riittävän määrän havaintoja, jolloin ristiintaulukointi ja Khiin neliö -testi havaittujen ja odotettujen frekvenssien välillä on mahdollinen ja perusteltu.

Taulukko 2. Saven kokonaispaksuus Espoon alueella on jaettu neljään eri kategoriaan. Lukumäärät ilmaisevat sitä määrää sulfidihavaintoja ("kyllä" tai "ei"), jotka osuvat kullekin saven paksuusalueelle.

Sulfidin esiintyminen	Saven kokonaispaksuus				
Havaintojen lukumäärät	0-3m	3-5m	5-10	> 10m	Yhteensä
Ei sulfidia	36	36	37	12	121
Sulfidia	10	14	39	26	89
Yhteensä	46	50	76	38	210

Taulukko 3. Benthic Terrain Modelerilla tunnistettiin kolme eri savialtaisiin liittyvä topografiatyyppiä, jotka liittyvät sulfidin esiintymiseen. Vertailuna on "Ei BTM-alue", joka voi olla esimerkiksi tasanko, jossa esiintyy ohuelti savea ja sulfidia, mutta joka ei täytä luokituskriteerejä painaumaksi.

Sulfidin esiintyminen	Topografiatyyppi				
Havaintojen lukumäärä	Ei BTM-alue	Pieni painauma	Laaja painauma	Jyrkkäpiirt. syväne	Yhteensä
Ei sulfidia	57	27	17	20	121
Sulfidia	23	17	11	38	89
Yhteensä	80	44	28	58	210

Taulukko 4. Sulfidihavaintojen jakautuminen lieju-/liejusavialueilla.

Sulfidin esiintyminen			
Havaintojen lukumäärät	Ei lieju-/liejusavialue	Lieju-/liejusavialue	Yhteensä
Ei sulfidia	89	32	121
Sulfidia	46	43	89
Yhteensä	135	75	210

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

5 TULOKSET

5.1 Saven paksuuden, korkeustason ja Litorinameren veden syvyyden vaihtelu

Saven alapinnan eli kovan pohjan korkeustaso Espoon alueella vaihtelee -29 - 101 (m mpy) välillä, kun taas Litorinameren aikainen saven kerrostumistaso vaihtelee -15 – 36 m mpy välillä.

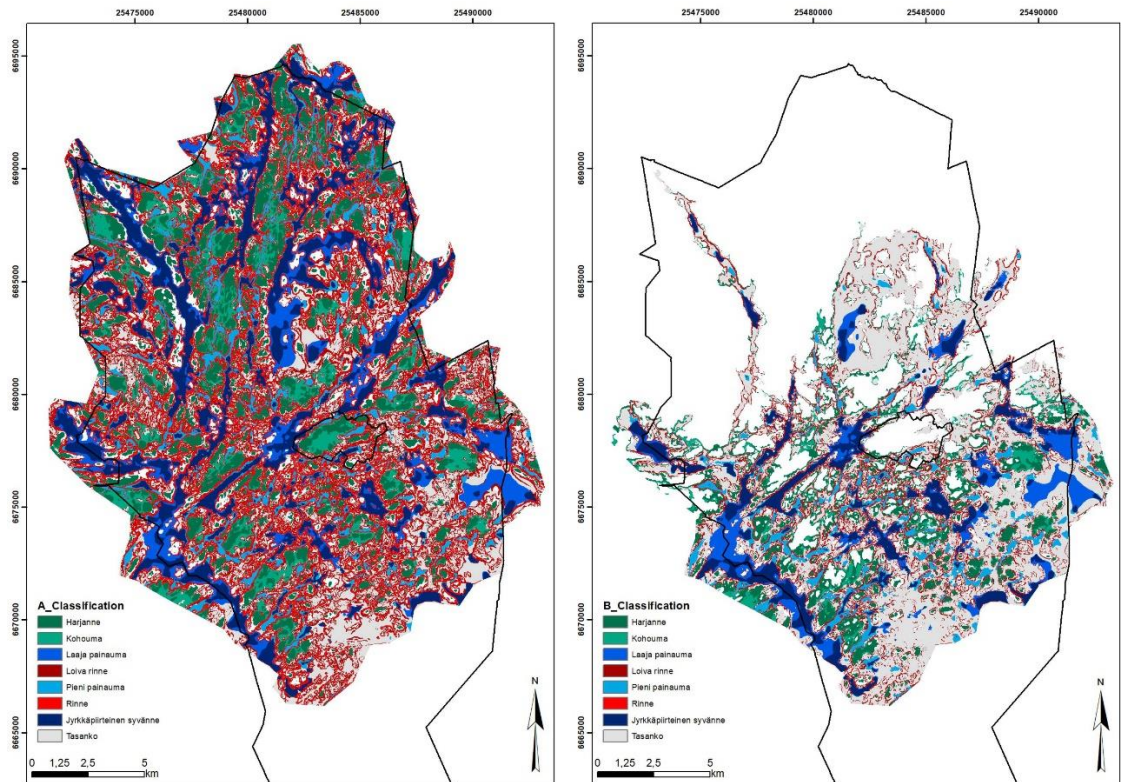
Saven paksuus vaihtelee Espoon alueella 1-25 m välillä, ollen paksuimmillaan Mustalahden, Suurpellon, Kirkkojärven ja Espoonlahden alueella. Litorinameren ylimmän rannan aikainen veden syvyys vaihteli Espoon savialueilla Pohjois-Espoon 0-20 metrin ja Etelä-, Keski- ja Länsi-Espoon 20–50 metrin välillä.

5.2 Savialtaiden topografinen tyyppi

BTM analyysituloksena selvitettiin muinaisen merenpohjan muodot ja pohjan jako syvänteisiin ja painaumiin ja toisaalta ympäristöstään ylöspäin nouseviin kohoumiin, harjanteisiin tai rinteisiin. Luokitus ja sulfidien esiintymisen kannalta erityisen mielenkiinnon kohteena olevat jyrkkien rinteiden rajaamat syvänteet, laajat laaksomaiset painaumat ja pienimuotoiset painaumat simuloinneissa A) ja B) on esitetty kuvassa 14. Tilanteessa A) jää-tikön perääntymisen jälkeen ennen kuin saven kerrostuminen syvään veteen alkoi, maasto oli hyvin jyrkkäpiirteistä ja topografia-analyysissä erottuvat kallioperän siirros-vyöhykkeet ja kanjonimaiset rotkot. Näihin paikkoihin kerrostuivat ensimmäiset hienora-keiset sedimentit tasaamaan maastoa ja maanpinnan muotoja. Tiiviiden savikerrosten päälle alkoi myöhemmin kerrostua pehmeämpää orgaanispitoista savea tilanteessa B), jossa silloisen Litorinameren alla olivat pääosin eteläisen Espoon alavat osat. Tämän savi-kerroksen sulfidin synnylle suotuisiksi olosuhteiksi tunnistettiin BTM-luokituksessa jyrk-käpiirteiset syvänteet ja erityyppiset painaumat.

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020



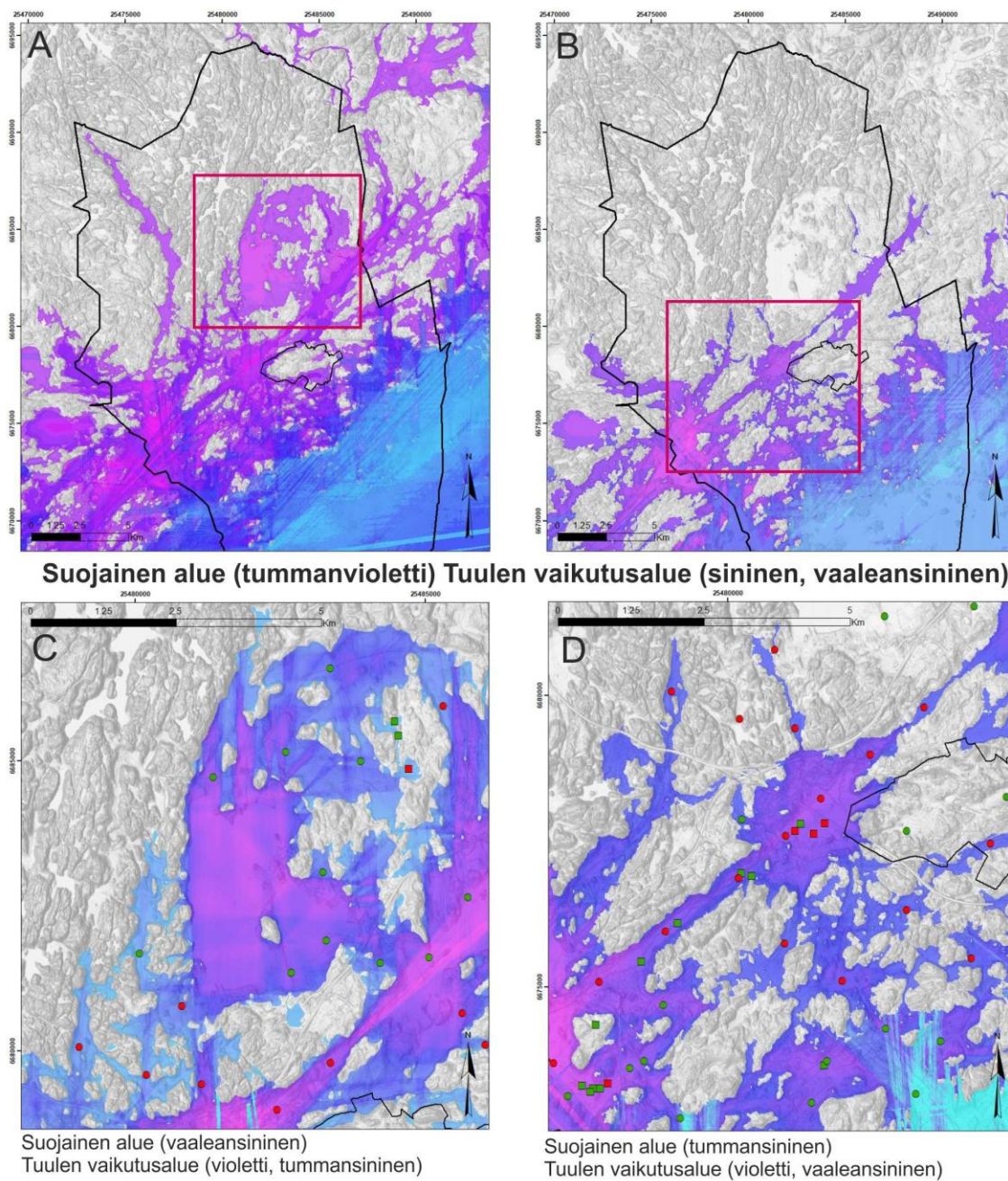
Kuva 14. Muinaisen merenpohjan topografialuokittelu A) jäätikön vetäytymisen jälkeen, kun saven kerrostuminen syvään veteen alkoi koko Espoon alueella ja B) Litorinamerivaiheen alkaessa, kun arviolta 2/3 nykyisestä savipaksuudesta oli kerrostunut ja Espoon pohjoiset osat ja ympäristöään huomattavasti korkeammalla sijaitsevat alueet olivat kuivalla maalla.

5.3 Tuulen vaikutus

Tuulen vaikutusalueen mallintaminen Litorinameren aikaan ja 4000 vuotta sitten osoitti selviä suojaisia alueita matalikoilla ja muinaisilla rannikon saaristoalueella. Suojaisat alueet ja tuulen vaikutus muuttui merenpinnan laskiessa ja merialueen muuttuessa (Kuva 15A ja B). Litorinameren aikaan matalilla Pohjois-Espoon (Bodom, Pitkäjärvet) alueilla tutkimuspisteet, joissa on sulfidia, osuivat suojaisiin kohtiin (Kuva 15C). Rantapinnan lasku tasoon 4000 vuotta sitten osoitti suojaisia alueita sijainneen etenkin Keski-Espoon sokkeloiselle saaristoalueelle (Kuva 15D). Tällä alueella on myös tavattu sulfidia sisältäviä HASU-tutkimuspisteitä. Selviä alueellisia eroja ei nähty avomerialueilla, joissa veden syvyys on ollut 20–40 m vaikuttaen vesikerroksen sekoittumiseen.

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020



Kuva 15. Tuulen vaikutusalueet (Wind Fetch) Litorinameren ylimmän rannan (7000 vuotta sitten) merialueilla sekä 4000 vuoden takaisilla merialueilla (A ja B). Tarkemmissa esimerkkikuvissa (C ja D) tuulen vaikutusalue skaalaus ja värit vaihtelevat.

28.2.2020

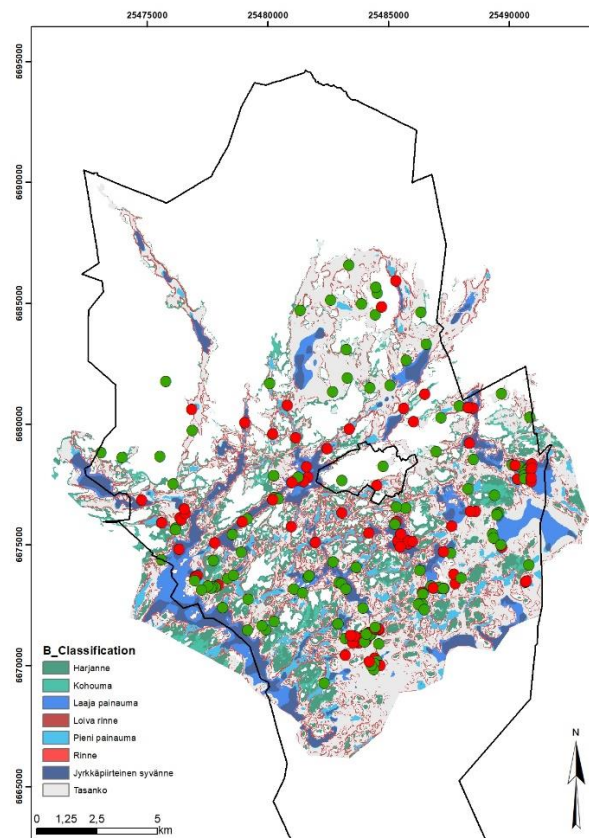
päivitetty 25.3.2020

5.4 Tilastollinen tarkastelu

Käytettävissä olleen aineiston perusteella sulfidisaven esiintymisessä on suurta hajontaa eikä yksittäistä selittävää tekijää odotetusti ollut havaittavissa. Kolmella tutkitulla muuttujalla todettiin kuitenkin yhteys sulfidisaven esiintymiseen.

Khiin neliö-testin mukaan saven paksuus on sulfidin esiintymistä selittävä muuttuja: $df=3$; $\chi^2(2)=25,30$; $p=1,338 \cdot 10^{-5}$. Sulfidin esiintyminen on todennäköisempää savialtaissa, joissa saven paksuus on yli 5 metriä kuin altaissa, joissa saven paksuus on alle 5 metriä.

BTM-alueiden välillä on sulfidin esiintymisen suhteen tilastollisesti merkitsevä ero: $df=3$; $\chi^2(2)=19,16$; $p=0,00025$. Sulfidin esiintyminen liittyy vahvasti jyrkkäpiirteisiin syvänteisiin. Toisaalta myös luokassa "Ei BTM-alue" esiintyy jonkin verran sulfidihavaintoja (kuva).



Kuva 16. Luokitellut sulfiditutkimuspisteet (punainen = 'kyllä', vihreä = 'ei') sijoittuvat vaihtelevasti eri topografialuokkien alueille. Topografialuokista jyrkkäpiirteiset syvänteet, laajat painaumat ja pienet painaumat ovat tilastollisesti yhteydessä sulfidin esiintymiseen, mutta jonkin verran sulfidihavaintoja on myös muiden topografialuokkien alueilla.

Lieju-/liejusavialueet ovat tilastollisesti merkitseviä sulfidin esiintymisen suhteen: $df=1$; $\chi^2(2)=9,75$; $p=0,001793$. Lieju-/liejusavialueilla humuspitoisuus on korkea ja yhteys sulfidin esiintymisen ja humuspitoisuuden välillä on aiemmin todettu Hämäläisen (2018) toimesta.

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

Tarkasteluun valitut muuttujat eroavat tilastollisesta perusjoukosta ja aineistolle on perusteltua luoda lineaarinen malli. Tässä työssä tarkemman tilastollisen mallin rakentaminen ei kuitenkaan ole tarkoituksenmukaista.

6 TULOSTEN TARKASTELU, JOHTOPÄÄTÖKSET JA SULFIDISAVIEN TODENNÄKÖISTEN ESIINTYMISALUEIDEN LUOKITTELUPERIAATTEET

6.1 Tulosten tarkastelu

Benthic Terrain Modelerilla tunnistettiin pinnanmuodoiltaan erilaisia saven kerrostumis-ympäristöjä ja havaittiin eroja tilanteissa A) saven kerrostuminen alkaa ja B) Litoriname-
ren aikainen saven kerrostuminen alkaa. Tilanteessa B) maaston muodot ovat loivapiir-
teisempiä kuin tilanteessa A) ensimmäisten savikerrosten jo täytettyä jyrkkäpiirteisimmät
kanjonit. Tilanteesta B) pehmeän saven kerrostumispohjasta erottuu kuitenkin jyrkkäpiir-
teisiä kraatterimaisia ja kanjonimaisia sulfidisaven muodostumiselle otollisia painanteita.
Useimmiten jyrkkäpiirteiset syvänteet vastaavat alueita, joissa saven paksuus on suurim-
millaan, mutta joissakin savialtaissa jyrkkäpiirteiset syvänteet piirtyvät savialtaan jyrkkien
reunojen tuntumaan, joissa saven paksuus ei ole suurimmillaan. Tällaisissa kohdissa,
joissa savi syvenee jyrkkäpiirteisen syvänteen ulkopuolella, on topografisesti havaitta-
vissa laaja painauma. Laaja painauma edustaa siten loivapiirteistä saviallasta. Pistemäis-
ten sulfiditutkimusten tulosten tilastollinen tarkastelu ja vertailu BTM-alueisiin osoitta-
vat, että savialtaan muodoista juuri jyrkkäpiirteiset syvänteet ovat sulfidin esiintymisen
kannalta merkittäviä.

Paikkatietoanalyysien tulosten ja sulfiditutkimusten vertailun perusteella merkittävin te-
kijä sulfidin esiintymisen suhteen on saven paksuus. Mitä syvempi saviallas, sitä todennä-
köisemmin siinä esiintyy sulfidisavea. Savialtaissa, joissa saven paksuus on yli 5 metriä,
todennäköisesti esiintyy sulfidisavea. Syvissä savialtaissa todennäköisesti myös esiintyy
liejua tai liejusavea saven pintaosissa.

Sulfidisavea esiintyy kuitenkin myös alle 5 metriä paksuissa savialtaissa. Tällaisilla alueilla
usein havaittiin topografisesti pieni painauma, joka on ympäristöään jyrkempirintainen
kohta matalan savikon alueella tai itsenäinen pieni painauma rikkonaisen kallioperän to-
pografiassa, jossa olosuhteet aikanaan ovat olleet suotuisat sulfidin muodostumiselle.
Tällaisissa pienissä savialtaissa savi on yleensä liejua/liejusavea ja savikko suhteellisen
pienikokoinen.

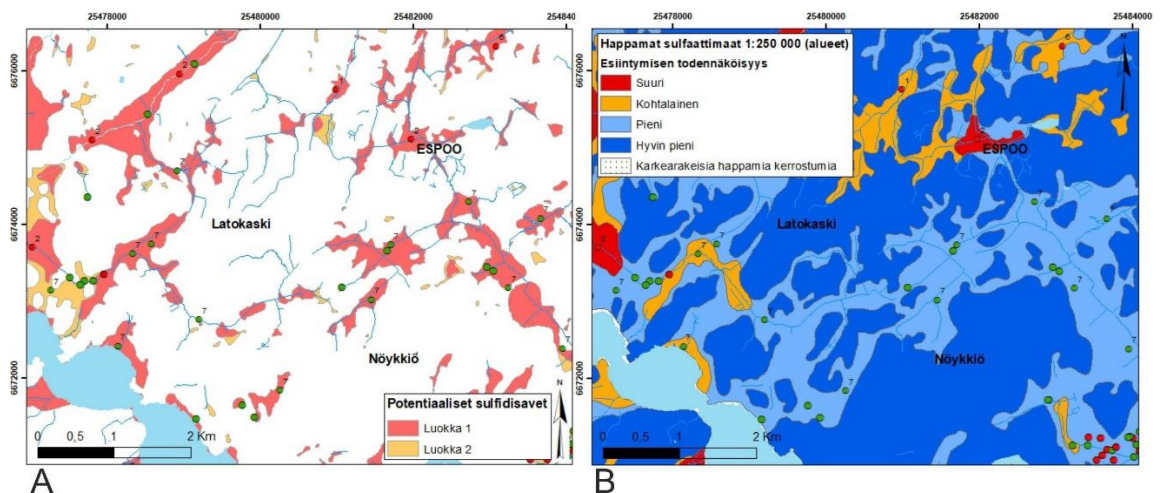
Espoosta havaittiin joitakin poikkeavia alueita analyysitulosten ja sulfiditutkimustulosten
vertailussa. Espoon lounaisosassa, Puolarmetsän ja Latokasken alueella, on geologisen
kerrostumis ympäristön analyysien perusteella erittäin todennäköisesti sulfidisavea (kuva
17). Alueelta tehdyissä pistemäisissä tutkimustuloksissa (HASU ja Espoon tutkimukset) ei
kuitenkaan ole havaittu sulfidisavea. GTK:n HASU-kartassa (1:250 000) alueella on pieni
sulfidisaven esiintymisen todennäköisyys (kuva 17). Sulfidisaven puuttumiseen alueelta

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

on saattanut aikanaan vaikuttaa moni tekijä, kuten esimerkiksi veden virtaukset ja pyörteet, jotka ovat sekoittaneet vettä estäen hapettomat olosuhteet ja sulfidisaven muodostumisen, vaikka kerrostumisympäristö muuten olisi ollut otollinen. Puolarmetsän pohjois-eteläsuuntainen saviallasalue on nykyisinkin lähellä merenpinnan tasoa, ja saviallas sijaitsee ”kanjonimaisessa” pitkänomaisessa laaksossa, joka on suurella todennäköisyydellä ollut pitkään meriveden virtausten ja myöhemmin jokiympäristön muokattavissa ja kulutettavissa (Haavisto ja Kukkonen 1975; Henriksson ja Myllyvirta 2006). Vaikka tutkimuspisteistä ei ole löytynyt sulfidisavea, on alue saven syvyyksien ja kerrostumisympäristö-analyyysien mukaan otollista kerrostumisaluetta ja sulfidisaven puuttuminen tutkimustuloksista ei todista sitä etteikö alueen joissain osissa voisi esiintyä sulfidisavea. Tarkemmat savistratigrafiset tutkimukset voisivat selvittää altaan kerrostumishistoriaa.

Espoossa on myös rakennettuja/läjitettyjä alueita, joilla tässä työssä esitetty geologiseen kerrostumisympäristöön perustuva analyysi ei päde. Näitä alueita tiedetään ainakin olevan Finnoon ja Vermon alueet. Finnoossa voi olla paikoin jopa 4-5 metriä paksuja täyttö-alueita. Vermossa läjitettyjä maita on pinnassa paikoin noin 0-3 metrin syvyydeltä. Näillä alueilla sulfiditutkimustuloksissa havaittiin suurta hajontaa. Osa tutkimuksista on tehty maaperän pintaosista eli mahdollisesti läjitetystä massasta. Näissä tutkimustuloksissa usein ei löytynyt sulfidia. Sen sijaan syvemmältä maaperästä tehdyissä tutkimuksissa sulfidia löytyi. Nämä tulokset tukevat kerrostumisympäristön analyysituloksia ja näin ollen alueet esitetään erittäin todennäköisinä sulfidin esiintymisalueina. Tällaisilla rakennetuilla alueilla on tarkempi tarkastelu sulfidin suhteen kuitenkin aina tarpeen.



Kuva 17. A) Sulfidisavien todennäköiset esiintymisaluet ja tutkimuspisteet Puolarmetsän ja Latokasken alueilta, joissa tutkimuspisteiden tulokset eivät tue todennäköistä sulfidisaven esiintymistä. B) HASU-kartan mukaan kyseisillä alueilla on vain pieni tai korkeintaan kohtalainen todennäköisyys sulfidisavien esiintymiselle. Pohjakartta © Maanmittauslaitos, Happamat sulfaattimaat © Geologian tutkimuskeskus

Mahdollisia sulfidisavialueita ja tutkimuspisteiden tuloksia tarkasteltiin myös Wind Fetch –mallin tuulen vaikutusalueisiin ja Litorinameren veden syvyyteen. Kun tuulen vaikutus-alueita verrattiin mahdollisiin sulfidisavialueisiin ja sulfiditutkimustuloksiin, sijoittuivat

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

luokittelualueet ja sulfidia sisältävät tutkimuspisteet suojaisille alueille. Yhtäläisyys oli nähtävissä etenkin muinaisten merivaiheiden matalan veden alueilla (kuva 15 C ja D). Selviä alueellisia eroja ei nähty Etelä-Espoon alueella kummassakaan merivaiheessa, koska alue on ollut avomerialuetta sekä Litorinameren ylimmän rannan että myöhemmän muinaisrantapinnan (4000 vuotta sitten) aikaan ja veden syvyys savialtaiden kohdalla on ollut noin 20–50 m vaikuttaen vesikerroksen sekoittumismahdollisuuteen.

Paikkatietoanalyysien tuloksia voi tarkimmillaan tarkastella mittakaavassa 1:10 000. Tuloksiin ja niiden luotettavuuteen vaikuttavat lähtömateriaalien tarkkuudet ja tutkimuspisteiden yhteneväisyys. Lähtömateriaalina käytetty saven syvyyskäyräaineisto ei aina vastaa todellisia savialtaiden muotoja. Tämä huomattiin, kun verrattiin 5 metrin saven syvyyskäyrää ja kaupungin tutkimuspisteiden näytesyvyyskäyrä, jotka ulottuivat paikoitellen syvemmälle kuin saven syvyysaineisto antoi olettaa. LiDAR-korkeusaineistossa on muutamissa paikoissa havaittavissa selviä kohoumia savialtaissa kohdissa, joissa syvyyskäyrät näyttivät jopa 10 m syvyyskäyrä. Tämä voi johtua siitä, että syvyysaineisto pohjaa Espoon maaperäkarttaan vuodelta 1985. Syvyyskäyrien päivitys pohjatutkimuksien avulla saattaisi antaa tarkemman kuvan yli 5 m syvyysalueista ja mahdollisesti tarkentaa sulfidisaven todennäköisiä esiintymisalueita. Toisaalta käyrät eivät myöskään ole paras lähtökohta syvyysmallista johdetuille topografia-analyysille. Pistemäinen lähtöaineisto antaisi todennäköisesti tarkimman tuloksen Benthic Terrain Modelerilla, kun syvyysmalli syvenisi kartiomaisesti syvimpään kohtaan käyrien puolestaan tuottaessa syvimpään kohtaan tasaisen alueen.

Sulfidisaven todennäköisten esiintymisalueiden tarkastelu ja vertailu pistemäisten tutkimustulosten avulla oli haastavaa, sillä tutkimuksia on tehty erilaisilla menetelmillä eri saviyvyksiltä. Tutkimustavat ja näytesyvytydet olivat vaihtelevia eivätkä ne usein huomioineet savikon kokonaispaksuutta, altaan muotoa tai saven kokonaispaksuuden vaihtelua rajatulla alueella. Lisäksi tutkimuksia oli rajallinen määrä ja iso osa Espoon tekemistä tutkimuspisteistä on painottunut alueille, missä jo alun perinkin epäiltiin olevan sulfidisavia. Nyt tehty geologiseen kerrostumisympäristöön pohjaava tutkimus parantaa arviota sulfidisavien todennäköisestä esiintymisalueesta ja auttaa ymmärtämään missä kohtaa sulfideja savikolla ilmenee, mutta sulfidisavien esiintyminen tulee edelleen kohdekohtaisesti todentaa sulfidinäytteenotolla. Kohdekohtaiset geologiset tutkimukset vaihtelevista ympäristöistä Espoosta voisivat lisäksi tarkentaa Litorinameren aikaisen savikerroksen paksuutta.

Sulfiditutkimustuloksissa havaittiin suurta hajontaa suhteessa lieju/liejusavialueisiin, vaikka tiedetään, että sulfidisavi yleensä liittyy liejun tai liejusaven läheisyyteen. Hajonta voi selittyä sillä, että vertailua tehtiin GTK:n 1:20 000 maaperäkartan lieju/liejusavialueisiin, joissa kartoitusmittakaava on ollut pienempi. GTK:n Espoon ja yleisesti koko pääkaupunkiseudun alueen maaperäkartoissa on laajoja kartoittamattomia alueita, minkä takia kaikkia lieju/liejusavialueita ei välttämättä saatu vertailuun mukaan.

Kattava paikkatietoaineisto ja -analyysit ovat mahdollistaneet Espoon ympäristökeskuksen sulfidipotentiaalikartan tarkentamisen. Potentiaalikartassa käytetty > 3 m savialue ei

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

kattanut kaikkia yli kolmen metrin syviä savialueita ja aineistoista puuttuivat myös turvealueet. Tästä syystä esimerkiksi Turvesuon alueelta löytyy aiempaa laajempi alue sulfidisaven todennäköiselle esiintymiselle.

6.2 Johtopäätökset ja sulfidisavien todennäköisten esiintymisalueiden luokitteluperiaatteet

Sulfidisavien todennäköiset esiintymisalueet jaettiin kahteen luokkaan: Luokka 1 – Erittäin todennäköinen esiintymisalue ja Luokka 2 – Todennäköinen esiintymisalue (kuva 18). Sulfidisavien todennäköiset esiintymisalueet määritettiin ensisijaisesti viiden metrin savisyvyyskäyrien mukaisesti. Syvyyskäyrästä vain Litorinameren ylimmän rannan alapuoliset viiden metrin käyrät otettiin mukaan. Poikkeuksen muodostavat ne viiden metrin syvyyskäyrät, jotka sijoittuvat alueille, joilla muinaisen Litorinameren aikaisen vedensyvyyden mukaan on olemassa mahdollisuus sulfidisaville.

Topografia-alueita käytettiin apuna luokkien määrittelyssä. Näistä alueista jyrkkäpiirteinen syväne, laaja painauma ja pieni painauma muuttavat luokan 2 luokkaan 1 sijoittuessaan 5m savisyvyyskäyrän sisäpuolelle. Jos jyrkkäpiirteinen syväne laajenee 5 metrin savisyvyyskäyrän ulkopuolelle, on luokkaa paikoitellen laajennettu syvänteen mukaisesti kuitenkin korkeintaan yhden metrin savisyvyyskäyrään asti.

GTK:n maaperäkartan mukaisia lieju- ja liejusavialueita käytettiin myös luokkien määrittelyssä. Lieju ja liejusavialueilla, jotka sijoittuvat 5 metrin savisyvyyskäyrän sisäpuolelle, luokka on 1. Yksittäisiä pienialaisia liejualueita ei ole sisällytetty luokitukseen niiden esiintymisen epävarmuudesta johtuen silloin kun ne eivät liity alueisiin, joissa muut luokitteluperiaatteet täyttyvät.

Luokitteluperiaatteet on esitetty alla tärkeysjärjestyksessä:

1. **Savipaksuus** (käytetty 5m savisyvyyttä sulfidisaviluokkien rajaamisessa)
2. **Topografiatyyppe** (Sulfidisaviluokkien määrittelyssä on käytetty BTM-alueita. Jos BTM laajenee selkeästi 5m savisyvyyden ulkopuolelle, on luokan 1 laajuus rajattu BTM:n jyrkkäpiirteisen syvänteen mukaan, kuitenkin korkeintaan 1m savirajaan asti)
3. **Lieju/Liejusavi** (käytetty GTK:n maaperäkartan mukaisia lieju- ja liejusavialueita sulfidisaviluokkien määrittelyssä)

Luokittelua ei ole päivitetty sulfiditutkimuspisteiden tai muiden muuttujien mukaan, vaan ainoastaan yllä luetellut kolme kriteeriä määrittävät luokkien rajauksen.

Sulfidisavien todennäköisten esiintymisalueiden luokitteluperiaatteet:

- ➔ **Luokka 1 – Erittäin todennäköinen** = vähintään kaksi kriteeriä täyttyä (kuitenkin aina 5m savisyvyys leikattuna Litorinarajalla, paikoitellen laajennettu BTM-jyrkkäpiirteisen syvänteen mukaisesti)
- ➔ **Luokka 2 - Todennäköinen** = 5m savisyvyys leikattuna Litorinarajalla (poikkeuksena Litorinameren aikaisen vedensyvyyden mukaan tarkastellut alueet)

28.2.2020

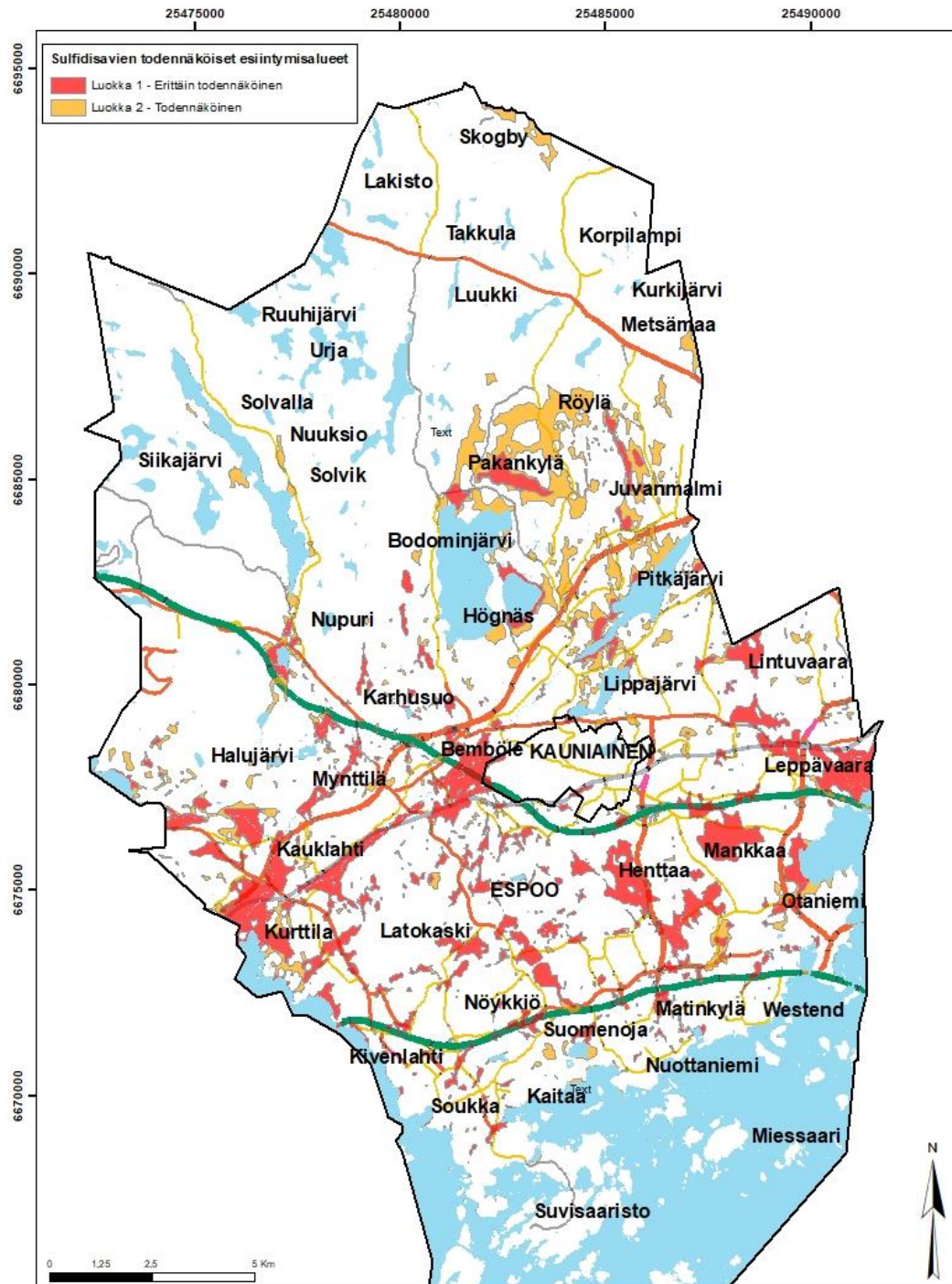
päivitetty 25.3.2020

Sulfidisavien todennäköiset esiintymisalueet ja sulfiditutkimukset on esitetty tarkemmin liitteen 1 pdf-linkissä. Esiintymisalueet on ulotettu myös järvi- ja merialueille sekä Espoon kuntarajan ulkopuolelle ulottuviin savialtaisiin, ja ne on esitetty tarkemmin liitteen 2 pdf-linkissä.

Kokonaisuudessaan tässä työssä todettu todennäköinen sulfidisaven esiintymisalue pienensi Espoon ympäristökeskuksen potentiaalialuetta noin 30 %. Erittäin todennäköinen esiintymisalue on puolestaan 60 % pienempi kuin ympäristökeskuksen sulfidisavien esiintymisalue. Jos mukaan lasketaan myös meri- ja järviaalueet ja Espoon kuntarajan ulkopuolelle ulottuvat savialtaat, kasvoi todennäköisten sulfidisavien esiintymisalue noin 30 % ja pieneni erittäin todennäköisen sulfidisaven alueen osalta noin 20 % verrattuna Espoon ympäristökeskuksen potentiaalikarttaan. Voidaan siis todeta, että tässä työssä määritetty esiintymistodennäköisyys tarkensi tietoa sulfidisedimenttien esiintymisestä Espoon alueella kattaen nyt myös Espoon järvi- ja merialueet sekä kuntarajan ulkopuolelle ulottuvat savialtaat.

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020



Kuva 18. Sulfidisavien todennäköiset esiintymisalueet on jaoteltu kahteen eri luokkaan todennäköisyyksiin perustuen. Haltik-pohjakartta © Maanmittauslaitos

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

7 LÄHDELUETTELO

Auri, J., Boman, A., Hadzic, M. ja Nystrand, M. 2018. Opas happamien sulfaattimaiden kartoitukseen turvetuotantoalueilla. Suomen ympäristökeskus, 21.2.2018

Boman, A., Astrom, M. ja Fröjdö, S. 2008. Sulfur dynamics in boreal acid sulfate soils rich in metastable iron sulfide—The role of artificial drainage. *Chemical Geology* 255 (1-2), 68-77.

Edén, P., Auri, J., Rankonen, E., Martinkauppi, A. ja Boman, A. 2012. Sulfaattimaiden ominaisuudet ja kartoittaminen. HaKu loppuseminaari 11.12.2012

Erdey-Heydorn, M.D. 2008. An ArcGIS Seabed Characterization Toolbox Developed for Investigating Benthic Habitats. *Marine Geodesy* 31, 318-358. doi: 10.1080/01490410802466819.

Haavisto, M. ja Kukkonen, E. 1975. Helsingin merialueen ja rannikon maaperä. Maaperäkartan selitykset, lehti 2034 Helsinki. Suomen geologinen kartta 1:100 000. Geologinen tutkimuslaitos, Espoo. 20 s.

Henriksson, M. ja Myllyvirta, T. 2006. Suomen rannikkoalueen luokittelu rehevöitymisriskin perusteella. Itä-Uudenmaan ja Porvoonjoen vesien ja ilmansuojeluyhdistys r.y.

Hyvärinen, H. 1999. Shore displacement and Stone Age dwelling sites near Helsinki, southern coast of Finland. Teoksessa: Huurre, M. (toim.) Dig it all: papers dedicated to Ari Siiriäinen. Helsinki: Finnish Antiquarian Society: Archaeological Society of Finland, 79-89.

Hämäläinen, K. 2018. Sulfidisavitutkimukset Espoossa – tulosten koonti ja vertailu tavanomaisiin maanäytetutkimustuloksiin, Saimaan ammattikorkeakoulu, Opinnäytetyö. s. 88.

Kaskela, A. 2017. Seabed landscapes of the Baltic Sea: Geological characterization of the seabed environment with spatial analysis techniques. Geological Survey of Finland, Espoo. s. 41.

Laitala, Matti. 1960. Suomen geologinen kartta. Kallioperäkartta, lehti 2032 Siuntio. Geologinen tutkimuslaitos, Espoo.

Laitala, Matti. 1967. Suomen geologinen kartta. Kallioperäkartta, lehti 2034 Helsinki. Geologinen tutkimuslaitos, Espoo.

Laitala, Matti. 1994. Suomen geologinen kartta. Kallioperäkartta, lehti 2041 Lohja. Geologian tutkimuskeskus, Espoo.

Leverington, D.W., Teller, J.T. ja Mann, J.D. 2002. A GIS method for reconstruction of late Quaternary landscapes from isobase data and modern topography. *Computers & Geosciences* 28, 631–639.

Liikennevirasto 2012. Liikenneviraston ohjeita 11/2012. Sillan geotekninen suunnittelu, Sillat ja muut taitorakenteet. Helsinki, Liikennevirasto, 96 s. ISBN 978-952-255-143-6

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

Liikennevirasto 2017. Liikenneviraston ohjeita 13/2017. Eurokoodin soveltamisohje - Geotekninen suunnittelu - NCCI 7 Siltojen ja pohjarakenteiden suunnitteluohjeet 21.4.2017. LIVI/2998/06.04.01/2017

Lundblad, E.R., Wright, D.J., Miller, J., Larkin, E.M., Rinehart, R., Naar, D.F., Donahue, B.T., Anderson, S.M. ja Battista, T. 2006. A Benthic terrain classification scheme for American Samoa. *Marine Geodesy* 29, 89-111.

Maanmittauslaitos 1958a. Peruskartta 1:20 000 Hämeenkylä. Karttalehti 2043 01.

Maanmittauslaitos 1958b. Peruskartta 1:20 000 Nuukio. Karttalehti 2041 10.

Maanmittauslaitos 1960. Peruskartta 1:20 000 Tapiola. Karttalehti 2034 03.

Maanmittauslaitos 1961. Peruskartta 1:20 000 Espoo. Karttalehti 2032 12.

Mäkiäho, J. 2009. Helsinki – Itämeren tytär: Paikkatietomenetelmät rannansiirtymistutkimuksessa. *Terra* 121: 1, 3–17.

Ojala, A.E.K., 2007. Espoon Äijänpellon savikon stratigrafia ja geokemialliset piirteet. Geological Survey of Finland, Open file Report P22.4/2007/26, 10 pp. http://arkisto.gsf.fi/p22/P22.4_2007_26.pdf

Ojala, A.E.K. 2009. Hienorakeisten maalajien kerrosjärjestys: Perkkää ja Mustalahti. Geological Survey of Finland, Open file Report P 22.4/2009/58, 22 s.

Ojala, A.E.K., Ikävalko, O., Palmu, J.-P., Vanhala, H., Valjus, T., Suppala, I., Salminen, R., Lintinen, P. ja Huotari, T. 2007. Espoon Suurpellon alueen maaperän ominaispiirteet. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, Raportti P22.4/2007/39, 51 s.

Ojala, A.E.K., Palmu, J.-P., Åberg, A., Åberg, S. ja Virkki, H. 2013. Development of an ancient shoreline database to reconstruct the Litorina Sea maximum extension and the highest shoreline of the Baltic Sea basin in Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 85(2):127-144.

Ojala, A.E.K., Saresma, M., Virtasalo, J.J. ja Huotari-Halkosaari, T. 2016. An allostratigraphic approach to subdivide fine-grained sediments for urban planning. *Bull Eng Geol Environ* (2018) 77: 879. <https://doi.org/10.1007/s10064-016-0981-4>

Pousette, K. 2007. Råd och rekommendationer för hantering av sulfidjordsmassor, Teknisk rapport, Luleå tekniska universitet, 2007:13

Repo, R., Valovirta, V. ja Rainio, H. 1970. Maaperäkartan selitys, Lehti 2032 Espoo, Suomen geologinen kartta. Explanation to Maps of Superficial Deposits, 1:100 000, Sheet 2032. Geologian tutkimuskeskus.

Rosentau, A., Vassiljev, J., Saarse, L. ja Miidel, A. 2007. Palaeogeographic reconstruction of proglacial lakes in Estonia. *Boreas* 36: 2, 211–221.

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

Rohweder, J., Rogala, J. T., Johnson, B. L., Anderson, D., Clark, S., Chamberlin, F., Potter, D. ja Runyon, K. 2012. Application of Wind Fetch and Wave Models for Habitat Rehabilitation and Enhancement Projects – 2012 Update. Contract report prepared for U.S. Army Corps of Engineers' Upper Mississippi River Restoration – Environmental Management Program. 52 s.

Suikkanen, T., Lindroos, N., Autiola, M., Napari, M., Taipale, T., Laine, J., Forsman, J., Auri, J. ja Boman, A. 2018. Esiselvitys happamien sulfaattimaiden kartoitusmenetelmistä ja suosituksia toimenpiteiksi infrahankkeissa pääkaupunkiseudulla. Ramboll 29.9.2018. <http://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/Esiselvitys%20happamien%20sulfaattimaiden%20kartoitusmenetelmist%C3%A4%20ja%20suositukset%20toimenpiteiksi%20infrahankkeissa%20p%C3%A4%C3%A4kaupunkiseudulla.pdf>

Tammelin, B., Vihma, T., Atlaskin, E., Badger, J., Fortelius, C., Gregow, C., Horttanainen, M., Hyvönen, R., Kilpinen, J., Latikka, J., Ljungberg, K., Mortensen, N.-G., Niemelä, S., Ruosteenoja, K., Salonen, K., Suomi, I. ja Venäläinen, A. 2013. Production of the Finnish Wind Atlas. Wind Energy 16: 19-35. doi: 10.1002/we.517

Tiehallinto 2007. Sillan geotekniset suunnitteluperusteet. Helsinki 2007. 90 s. ISBN 978-951-803-897-2.

Tuuliatlas, Ilmatieteen laitos. www.tuuliatlas.fi

Valpola, S. ja Ojala, A.E.K. 2006. Post-glacial sedimentation rate and patterns on six lakes of the Kokemäenjoki upper watercourse, Finland. Boreal Environment Research 11: 195-211.

Virtanen, E. A., Norkko, A., Nyström-Sandman, A. ja Viitasalo, M. 2019. Identifying areas prone to coastal hypoxia – the role of topography. Biogeosciences 16, 3183-3195. doi: 10.5194/bg-16-3183-2019

Wallbridge, S., Slocum, N., Pobuda, M. ja Wright, D.J. 2018. Unified Geomorphological Analysis Workflows with Benthic Terrain Modeler. Geosciences 8 (3), 94. doi:10.3390/geosciences8030094

Weiss, A.D. 2001. Topographic position and landforms analysis. Poster presentation, ESRI Users Conference, San Diego, CA (2001).

Wright, D.J., Lundblad, E.R., Larkin, E.M., Rinehart, R.W., Murphy, J., Cary-Kothera, L. ja Draganov, K. 2005. ArcGIS Benthic Terrain Modeler. Corvallis, Oregon, Oregon State University, Davey Jones Locker Seafloor Mapping/Marine GIS Laboratory and NOAA Coastal Services Center. Saatavissa <https://coast.noaa.gov/digitalcoast/tools/btm.html>

Åberg, S. 2013. Litorinameren ylin ranta Suomessa. Helsingin yliopisto, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, Geotieteiden ja maantieteen laitos. Pro gradu –tutkielma. 79 s.

28.2.2020

päivitetty 25.3.2020

8 LIITTEET

8.1 Liite 1

Liite1_Sulfidisavien_esiintymisalueet_ja_tutkimuspisteet.pdf

8.2 Liite 2

Liite2_Sulfidisavien_esiintymisalueet.pdf

8.3 Liite 3

Sulfidisavien todennäköiset esiintymisalueet

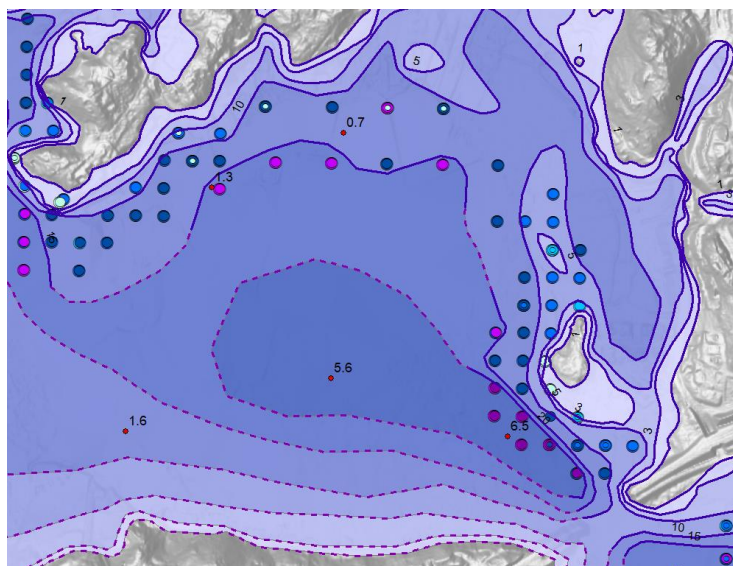
Sulfidisavien_luokittelumalli.dwg

Sulfidisavien_luokittelumalli_luokka1.shp

Sulfidisavien_luokittelumalli_luokka2.shp

Päivitetyt savisyvyyskäyrät

Jatketut ja päivitetyt saven syvyyskäyrät (m maanpinnasta) kattavat syvyydet: 1m, 3m, 5m, 10m, 15m, 20m, 25m, 30m. Saven syvyyskäyräaineisto on jaettu kahteen eri tiedostoon: 1) pohjatutkimuksiin perustuvat tulkinnat on symboloitu jatkuvalla viivalla (*Savisyvyyskäyrät_kairausten_mukaan.dwg*) ja 2) pelkästään veden syvyydestietoihin pohjautuvat tulkinnat on taas symboloitu katkoviivalla (*Savisyvyyskäyrät_tulkinnan_mukaan.dwg*) (kuva 1). Saven syvyyskäyräaineisto on AutoCAD –tiedostomuodossa. Saven syvyyskäyrät kairausten mukaan koostuvat suurelta osin Espoon aikoinaan GTK:lle toimittamasta saven syvyyskäyräaineistosta, mutta aineistoon on lisätty 1 m syvyyskäyrä, joka tulkittiin ja editoitiin Savialueet ja syvyydet – karttatuotetta varten. Lisäksi aineistosta löytyvät tämän työn aikana jatkettua syvyyskäyrät Espoon rannikon merialueilta.



Kuva 1. Pohjatutkimuksiin perustuvat savisyvyyskäyrät (jatkuvaa viivaa) ja veden syvyyden avulla tulkitut syvyyskäyrät (katkoviiva).