

Haavoittuvuusanalyysi Hankoniemen pohjavesialueella



02.10.2017

02.10.2017 / GTK/245/03.01/2016

Tekijät Samrit Luoma, Birgitta Backman ja Tiina Kaipainen		Raportin laji Arkistoraportti	
		Toimeksiantaja	
Raportin nimi Haavoittuvuusanalyysi Hankoniemen pohjavesialueella			
Tiivistelmä Tämä raportti on osa pohjavesien yhteistarkkailun kehittämishankkeen tuloksia. Raportissa esitetään pohjavesialueen DRASTIC - haavoittuvuusanalyysimenetelmä ja haavoittuvuusindeksikartta esimerkkialueella vedenhankintaa varten tärkeillä Hankoniemen pohjavesialueilla. DRASTIC – haavoittuvuusanalyysissa pohjavesimuodostuman haavoittuvuus arvioidaan seitsemän hydrogeologisen parametrin perusteella: veden etäisyys maanpinnasta, muodostuvan pohjaveden määrä, maaperä, pintamaa, maanpinnan kaltevuus, vadoosi vyöhyke ja hydraulinen johtavuus. Haavoittuvuusmenetelmä on kehitetty Suomen hydrogeologisiin olosuhteisiin soveltuvaksi. Menetelmä hyödyntää olemassa olevia tietoja rakenneselvitystutkimuksista. Haavoittuvuusindeksillä voidaan priorisoida helpommin haavoittuvat alueet ja pohjavesialueiden pilaantumispotentiaali sekä alueet joille tarvitaan lisää tarkempia kenttätutkimuksia. Yhdistämällä pohjavesialueiden suojelusuunnitelmien riskikohdekartta ja haavoittuvuusanalyysin haavoittuvuusindeksikartta, voidaan riskinarvioinnissa huomioida ulkoisten riskitekijöiden lisäksi pohjavesimuodostuman luonnollinen haavoittuvuus. Haavoittuvuusindeksikartta esitetään väripintakarttana joka on helppo käyttää esimerkiksi muiden karttojen kuten riskikohdekarttojen pohjana. Haavoittuvuusindeksikarttaa voidaan hyödyntää maankäytön suunnittelussa, riskitoimintojen riskien hallinnassa sekä pohjavesialueen suojelusuunnittelussa.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) Pohjavesialue, DRASTIC, haavoittuvuusanalyysi, pohjavesisuojaus			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Suomi, Uusimaa, Hanko			
Karttalehdet K3441, K3443, K3442, K3434, L4143 Hanko			
Muut tiedot -			
Arkistosarjan nimi Arkistoraportti		Arkistotunnus 55/2017	
Kokonaissivumäärä 17 s., 7 liitettä.	Kieli suomi	Hinta	Julkisuus
Yksikkö ja vastuualue GTK PVI		Hanketunnus 50404-40018 POVEYTKE	
Allekirjoitus/nimen selvennys Jussi Ahonen yksikön päällikkö		Allekirjoitus/nimen selvennys Samrit Luoma geologi	

02.10.2017

Sisällysluettelo

Kuvailulehti

1	johdanto	1
2	Testialue	2
3	Lähtöaineistot ja tutkimusmenetelmät	3
3.1	Lähtöaineistot	3
3.2	Haavoittuvuusanalyysimenetelmä	5
3.3	Haavoittuvuusanalyysi	10
4	Tulokset	11
5	Pohdinta	13
6	Yhteenveto ja suositukset jatkotutkimuksista	15
7	Kirjallisuusluettelo	16

LIITTEET

Liite 1. Hankoniemen tutkimusalue ja lähtöaineistot

Liite 2. Maanpinnan korkeuskartta – LiDAR Hankoniemen tutkimusalueella

Liite 3. Maaperäkartta

Liite 4. Pohjavedenpinnan korkeuskartta

Liite 5 DRASTIC - parametrit

- Liite 5.1 Veden etäisyys maanpinnasta
- Liite 5.2 Muodostuvan pohjaveden määrä
- Liite 5.3 Maaperä
- Liite 5.4 Pintamaa
- Liite 5.5 Maanpinnan kaltevuus
- Liite 5.6 Vadoosi vyöhyke
- Liite 5.7 Hydraulinen johtavuus

Liite 6. Hankoniemen haavoittuvuus DRASTIC indeksi kartta.

Liite 7. Hankoniemen haavoittuvuus DRASTIC indeksi kartta ja pohjaveden riskikohteet

2.10.2017

1 JOHDANTO

Pohjavesien yhteistarkkailun kehittämishankkeen (POVEYTKE) valmistelu käynnistyi Etelä-Suomen VEDET-hankkeen yhteydessä. Vuonna 2015 kehitettiin pohjavesialueiden rakenneselvitysten visualisointia (Luoma ja Backman 2015) ja työtä jatkettiin vuosina 2016 - 2017 haavoittuvuusanalyysin kehittämisellä. Haavoittuvuusindeksillä voidaan priorisoida helpommin haavoittuvat alueet ja pohjavesialueiden pilaantumispotentiaali sekä alueet joille tarvitaan lisää tarkempia kenttätutkimuksia. Pohjavesialueiden suojelusuunnitelmiin saadaan haavoittuvuusanalyysillä lisätietoa pohjavesimuodostuman hydrogeologisista ominaisuuksista (Takalo 2011). Yhdistämällä pohjavesialueiden suojelusuunnitelmien riskikohdekartta ja haavoittuvuusanalyysin haavoittuvuusindeksikartta voidaan riskinarvioinnissa huomioida ulkoisten riskitekijöiden lisäksi pohjavesimuodostuman luonnollinen haavoittuvuus.

Geologian tutkimuskeskus (GTK) on tehnyt pohjavesimuodostumien rakenneselvityksiä 1990-luvun alusta lähtien ja niitä on tähän mennessä tehty yli 200 kohteessa. Rakenneselvityksissä tutkitaan pohjavesialueiden geologiaa ja hydrogeologiaa. Saatuja aineistoja voidaan hyödyntää mm. haavoittuvuusanalyysimenetelmän kehittämiseen. Pohjaveden haavoittuvuusanalyysi on pohjaveden pilaantumispotentiaalın arviointimenetelmä. Pohjaveden haavoittuvuusanalyysissä käytetään maailmalla monia erilaisia menetelmiä, jotka soveltuvat erilaisiin hydrogeologisiin olosuhteisiin. Yksi suosittu menetelmä on DRASTIC, joka on pitkälle kehitetty ja standardoitu menetelmä ja sopii maaperän akviferien olosuhteisiin. DRASTIC – haavoittuvuusanalyysissä pohjavesimuodostuman haavoittuvuus arvioidaan seitsemän hydrogeologisen parametrin perusteella: veden etäisyys maanpinnasta (*engl.* Depth to water), muodostuvan pohjaveden määrä (*engl.* net Recharge), maaperä (*engl.* Aquifer media), pintamaa (*engl.* Soil media), maanpinnan kaltevuus (*engl.* Topography/Slope), vadoosi vyöhyke (*engl.* Impact of the vadose zone) ja hydraulinen johtavuus (*engl.* hydraulic Conductivity).

DRASTIC-menetelmässä arvioidaan vain luontaisia geologisia ja hydrogeologisia olosuhteita (*engl.* Intrinsic), eikä menetelmä huomioi pohjavesialueella sijaitsevia riskitoimintoja, pohjaveden virtaussuuntia tai vedenottamoiden sijaintia. Pohjavesimuodostuman luontainen haavoittuvuuserkkyys on akviferin perustieto joka pitäisi olla saatavilla jokaisella pohjavesialueella. Lisäksi pohjavesimuodostuman haavoittuvuusindeksi priorisoi pohjaveden haavoittuvuusalueen pohjavesialueilta. Alueilla joilla on korkea pohjaveden pilaantumispotentiaali, tarvitaan yksityiskohtaisemmat kenttätutkimukset. Suomessa haavoittuvuusanalyysia on aiemmin sovellettu Lavapuron ym. (2008), Takalon (2011) sekä Luoman ym. (2016) tutkimuksissa.

2.10.2017

Tässä työssä on tavoitteena kehittää luontaista haavoittuvuusanalyysimenetelmää ja haavoittuvuusindeksikarttaa olemassa olevan tiedon perusteella. Hankkeen alussa päätettiin käyttämään SINTACS-haavoittuvuusmenetelmää (Luoma ym. 2016). SINTACS-menetelmä on alkuperäinen DRASTIC-menetelmästä, jossa on enemmän vaihtoehtoja erilaisiin hydrogeologisiin ympäristöön. SINTACS-menetelmä on kuitenkin monimutkaisempi kuin DRASTIC. Lopulta käytettiin DRASTIC - menetelmää, jota on muokattu Luoman ym. (2016) tutkimustulosten perusteella ja kehitetty Suomen hydrogeologisiin olosuhteisiin paremmin soveltuvaksi, helppokäyttöiseksi ja helppolukuiseksi. Tärkeänä tavoitteena on hyödyntää kaikki data olemassa olevasta rakenneselvitystutkimuksesta. Haavoittuvuusindeksikartan kehittämisellä pyritään myös siihen, että kartat olisivat useampien tahojen hyödynnettävissä esimerkiksi maankäytön suunnittelussa pohjavesialueilla sekä pohjavesialueiden suojelutoimenpiteiden suunnittelussa.

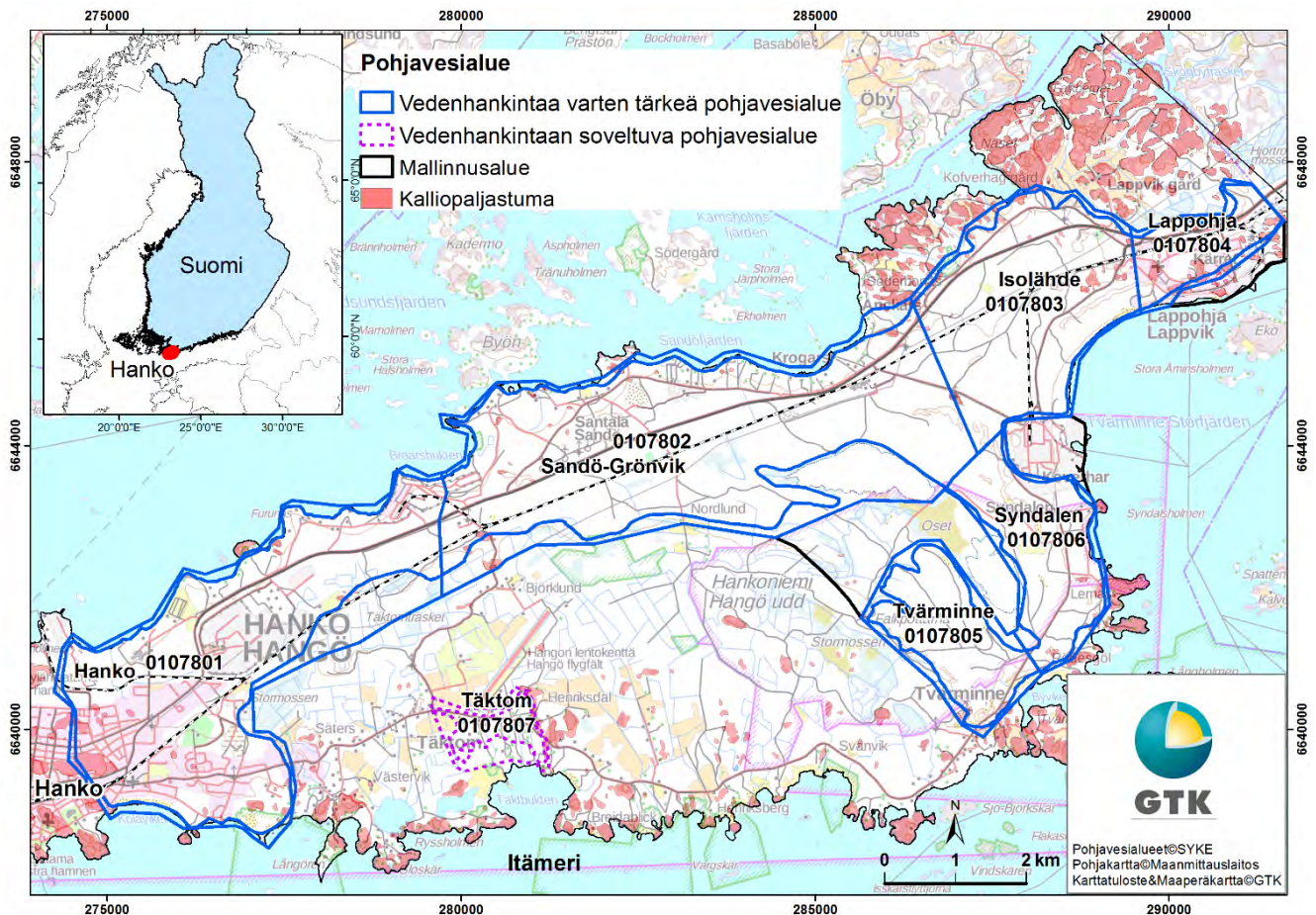
2 TESTIALUE

Pohjaveden haavoittuvuusanalyysimenetelmää kehitettiin käyttämällä Hankoniemen vedenhankinnan kannalta tärkeiden pohjavesialueiden hydrogeologista aineistoa. Hankoniemen pohjavesialueet ovat ensimmäisen Salpausselän alueella olevia, melko suuria ja erilaisilla toiminnoilla kuormitettuja pohjavesialueita. Alueiden pohjaveden laatua kuormittavat mm. asutus, vanha viemäriverkosto, vanhat öljysäiliöt, vanhat kaatopaikat, kemikaaleja käyttävät suuret teollisuuslaitokset ja maa-ainestenotto (FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy, 2013). Hankoniemen pohjavesialueilla on kuitenkin myös laajoja, lähes luonnontilaisia alueita (Kuva 1). Taukukossa 1 on esitetty Hankoniemen pohjavesialueiden pinta-alat ja antoisuudet (SYKE-Hertta-tietokanta, 2016).

Taulukko 1. Hankoniemen vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialueet (Alueluokka I).

Numero	Alueen nimi	Kokonaispinta-ala (km ²)	Muodostumisalueen pinta-ala (km ²)	Kokonaisantoisuus (m ³ /vrk)
0107801	Hanko	14,09	11,62	5000
0107802	Sandö-Grönvik	17,44	13,88	7000
0107803	Isolähde	7,50	6,95	4000
0107804	Lappohja	2,04	1,69	500
0107805	Tvärminne	3,52	2,76	1800
0107806	Syndalen	3,91	3,36	1900

2.10.2017



Kuva 1. Karttaesimerkki tutkimusalueen sijainnista Hankoniemen pohjavesialueilla.

3 LÄHTÖAINEISTOT JA TUTKIMUSMENETELMÄT

3.1 Lähtöaineistot

Hankoniemen alueella haavoittuvuusanalyysi on tehty olemassa olevaan aineistoon perustuen. Lähtötietoina haavoittuvuusanalyysissä käytettiin seuraavia aineistoja (kuva 2):

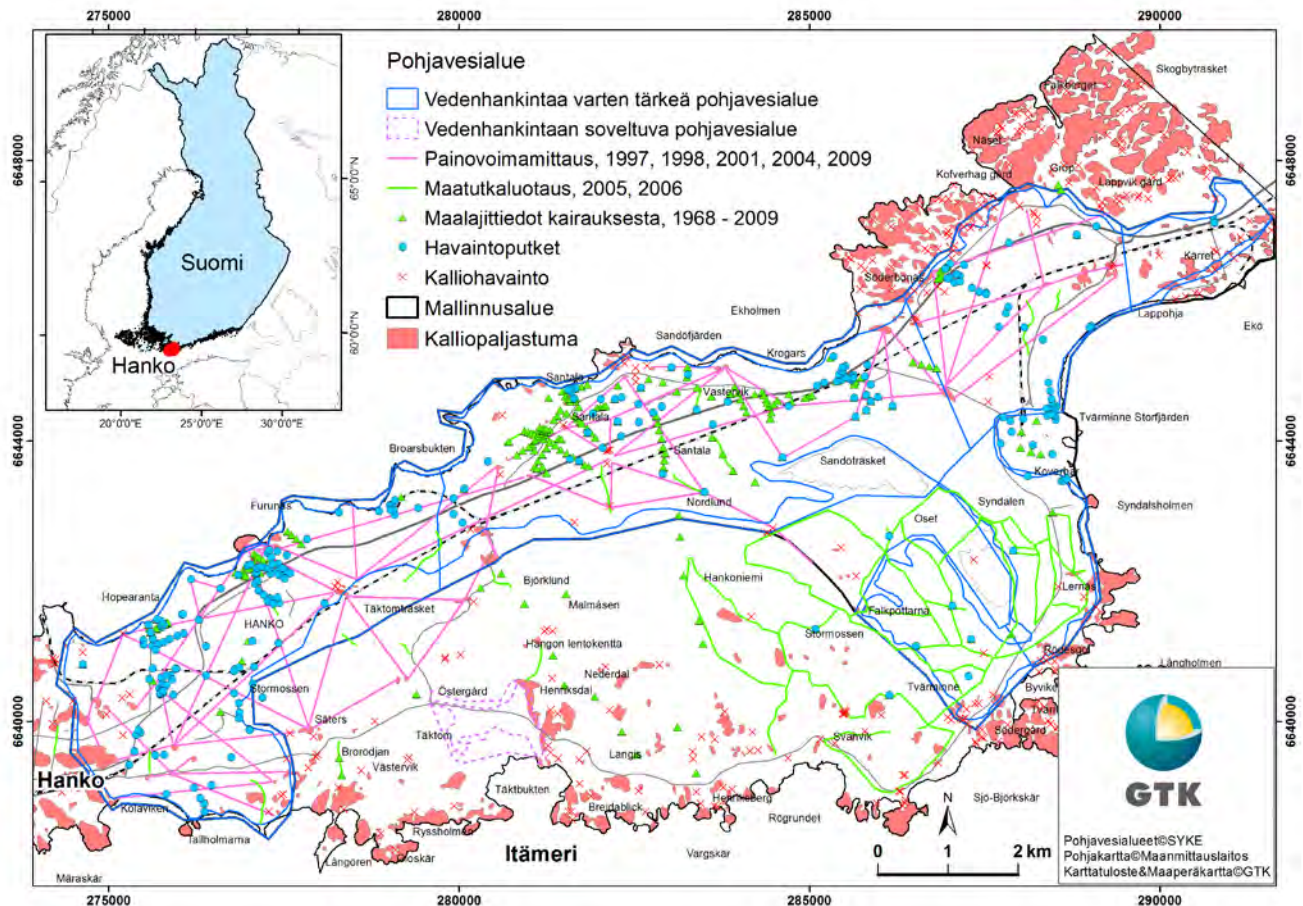
- Luoma ja Backman, 2016. Rakenneselvityskarttojen visualisoinnin kehittäminen. Geologian tutkimuskeskus 110/2015, 31.12.2015.
- Breilin ym., 2004. Pohjavesialueen geologisen rakenteen selvitys I Salpausselällä Hanko – Lappohja alueella. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 5.11.2004

2.10.2017

- Maanmittauslaitoksen maanpinnankorkeuden LiDAR-aineisto (Maanmittauslaitos 2016).
- Aikaisemmat tutkimukset GTK:n toteuttamasta BaltCICA - hankkeesta (hydrogeologinen sekä geologisen rakennemallinnus. painovoimamittaus vuosina 1997, 1998, 2001, 2004, 2009, sekä maatutkaluotaus vuosina 2005, 2006).
- Kairaustiedot, geologiset aineistot, geofysiikan mittausdata, sekä 1:20 000 maaperäkarttatieto GTK:n paikkatietopalvelujen ja rajapintojen Hakku-palvelusta (<http://hakku.gtk.fi/fi>).
- Pohjavesialueiden rajat, pohjavedenpinnankorkeustietoja sekä pohjaveden havaintoputkitiedot Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) Hertta-tietokannasta (2016). (http://www.syke.fi/fi-FI/Avoin_tieto/Ymparistotietojarjestelmat, 11.09.2017).
- Pohjavedenpinnankorkeustiedot sekä pohjaveden vedenlaatutiedot Santalanrannan pohjavesialueella Hangon vesilaitokselta, Santalan Betoni Oy:stä sekä Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry:stä (LUVY).

Aineiston käsittely, kartta-analyysit ja visualisointi on laadittu ArcGIS/ArcMap 10.4-ohjelmalla. Ohjelman käyttämä maalajitieto on saatu tutkimusalueen kairaustiedoista. Pohjavesipinnan ja kalliopinnan mallien interpoloinnissa on käytetty Spatial Analyst-moduulin kriging-menetelmää ArcGIS/ArcMap 10.4-ohjelmalla.

2.10.2017



Kuva 2. Karttaesimerkki tutkimusalueiden lähtöaineistojen sijainnista Hankoniemen pohjavesialueilla. Kartta on suuremmassa koossa liitteessä 1.

3.2 Haavoittuvuusanalyysimenetelmä

Haavoittuvuusanalyysi käytettiin DRASTIC-haavoittuvuusmenetelmää (Aller ym. 1987), jota on muokattu edellisestä tutkimuksesta (Luoma ym. 2016). Menetelmä on kehitetty Suomen kvartaarialueiden hydrogeologisiin olosuhteisiin ja pohjavesiolosuhteisiin paremmin soveltuvaksi ja helppokäyttöiseksi sekä tulosten visualisointiin paremmin soveltuvaksi eri käyttötarkoituksiin.

Pohjavesialueiden DRASTIC-haavoittuvuusanalyysi tehdään seitsemän hydrogeologisen parametrin perusteella: veden etäisyys maanpinnasta (engl. **D**epth to water), muodostuvan pohjaveden määrä (engl. net **R**echarge), maaperä (engl. **A**aquifer media), pintamaa (engl. **S**oil media), maanpinnan kaltevuus (engl. **T**opography), vadoosi vyöhyke (engl. **I**mpact of the

2.10.2017

vadose zone) ja hydraulinen vedenjohtavuus (engl. hydraulic Conductivity). Haavoittuvuusanalyysissä hydrogeologisten parametrien ominaisuudet luokitellaan luokkaväleihin, joita vastaavat määrätyt luokka-arvot (engl. rating). Luokka-arvot ovat välillä 1–10, jolloin 10 merkitsee helpoimmin haavoittuvaa ja 1 vähiten haavoittuvaa ominaisuutta. Jokaista parametria painotetaan lisäksi määrätyllä painoarvolla (engl. weight) välillä 1-5. Painoarvo 5 edustaa pilaantumispotentiaalille merkittävintä ja 1 vähiten merkitsevää tekijää. Hydrogeologisten parametrien luokka- ja painoarvojen tulojen summista saadaan siten DRASTIC indeksi (Aller ym. 1987).

$$\text{DRASTIC indeksi} = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + Irlw + CrCw \quad (1)$$

missä

r on luokka-arvo ja

w on painoarvo

Saatu haavoittuvuusindeksikartta on jaettu haavoittuvuusluokkiin (erittäin korkea, korkea, keskitaso, matala ja erittäin alhainen), jotta saataisiin lopullinen pohjaveden haavoittuvuusindeksikartta. DRASTIC indeksi vaihtelee 27 ja 270 välillä, jolloin suurin arvo viittaa helpoimmin haavoittuvaan alueeseen. Kun pohjavesialue jaetaan osa-alueisiin DRASTIC indeksin mukaan, saadaan pohjavesialueen haavoittuvuuskartta. Seuraavissa kappaleissa esitetään yksityiskohtaiset tiedot parametreista.

Veden etäisyys maanpinnasta

Haavoittuvuusanalyysissä veden etäisyys maanpinnasta (engl. depth to water) osoittaa kuinka pitkän matkan veden tai haitta-aineen on kuljettava maaperässä päästäkseen pohjaveteen. Kun sadevesi imeytyy maan läpi pohjaveteen, veden epäpuhtaudet (humusaineet, suolat, mikrobit) suodattuvat maan pintaosissa, erityisesti maannoskerroksessa tehokkaasti pois vajovedestä. Jos vajovesivyöhyke on kovin ohut, eivät epäpuhtaudet ehdi suodattua vajovedestä vaan pääsevät pohjaveteen asti ja sen seurauksena pohjaveden laatu heikkenee ja haavoittuvuusherkyys kasvaa.

Suomessa pohjavedenpinta on yleensä 1-4 metrin, harjuissa kuitenkin jopa 20 metrin syvyydellä maanpinnasta. Ylimmillään pohjavedenpinta on keväällä kun lumet ovat sulaneet, ja alimmillaan talvella. Pohjavedenpinnan vuotuiset korkeusvaihtelut ovat yleensä 0,1-1,0 metriä, mutta voivat poikkeustapauksissa olla useitakin metrejä (Haavisto-Hyvärinen ja Kutvonen 2007). Hankonimen pohjavesialueella pohjavedenpinnan korkeusdata on saatu 240 havaintoputkesta (SYKE-Hertta tietokanta 2016). Tässä raportissa pistemäinen

2.10.2017

pohjavedenpinnan data on interpoloitu koko mallinnusalueelle käyttäen ArcMapin kriging -interpolointimenetelmää. Veden etäisyys maanpinnasta pohjavedenpintaan -kartta on laskettu maanpinnankorkeudesta (LiDAR-aineistosta) pohjavedenpintaan. Keskimääräinen veden etäisyys maanpinnasta pohjavedenpintaan vaihtelee välillä 0 - 15 metriä ja keskimääräinen arvo on 4 metriä. Haavoittuvuusluokka Veden etäisyys maanpinnasta on esitetty taulukossa 3.

Muodostuvan pohjaveden määrä

Muodostuvan pohjaveden määrä (*engl. net recharge*) on vesimäärä joka suotautuu pohjavedeksi sadannasta (sadevesistä ja lumen sulamisvesistä) eri maalajeihin. Määrä vaihtelee nolasta yli viiteenkymmeneen prosenttiin (Haavisto-Hyvärinen ja Kutvonen 2007). Suotautuva vesi liuottaa ja kuljettaa haitta-aineita kohti pohjavedenpintaa (Aller ym. 1987). Muodostuvan pohjaveden määrä riippuu sadannan, haihdunnan ja pintavalunnan välisistä suhteista. Siihen vaikuttaa maalajien raakoostumus ja sen kerrosrakenteet, maanpinnanmuodot ja kaltevuus sekä kasvillisuus. Harju- ja kangasalueilla sadannasta voi muodostua pohjavedeksi 30–60 prosenttia (Takalo 2011). Pohjaveden haavoittuvuusherkyys kasvaa muodostuvan pohjaveden määrän kasvaessa (Aller ym. 1987).

Tässä tutkimuksessa Hankoniemen pohjavesialueella muodostuvan pohjaveden määrä on saatu pohjaveden virtausmallinnuksesta. Keskimääräinen vuotuinen muodostuvan pohjaveden määrä vuosina 1971-2000 on 283 mm eli noin 42% keskisadannasta 600 mm/vuodesta, ja muodostuvan pohjaveden määrä vaihtelee 10 – 55 % keskisadannasta eri paikoissa mallinnuksen alueella (Luoma ja Okkonen 2014). Haavoittuvuusluokka Muodostuvan pohjaveden määrä on esitetty taulukossa 3.

Maaperä

Maaperä parametri (*engl. aquifer media*) haavoittuvuusanalyysissa tarkoittaa pohjavesivyöhykkeen maalajia. Pohjavesialueen pilaantumispotentiaali kasvaa vedenläpäisevyyden kasvaessa. Pohjavesivyöhykkeen maalajien tieto on saatu kairaustiedoista ja geofysikaalisista luotauksista. Mikäli nämä tiedot puuttuvat, on käytetty 1:20 000 maaperäkartan tietoja ja muodostumatyyppiin perustuvaa geologista tulkintaa (Ahonen ym. 2015). Taulukossa 3 on esitetty pohjavesivyöhykkeen maalajeista käytetyt haavoittuvuusluokat ja arvot. Tämä maalajien luokitus on muokattu aikaisemmista tutkimuksista ja luokituksessa käytetään Suomen pohjavesialueiden maalajeja, jotka sopivat paremmin Suomen hydrogeologisiin olosuhteisiin.

2.10.2017

Pohjaveden hankinnalle tärkeimpiä ovat karkean lajittuneen aineksen kerrostumat jotka ovat huokoisia ja hyvin vettäläpäiseviä kuten esim. jäätikkökisyntyiset harjut tai reunamuodostumat sekä sora-, hiekka- ja hietavaltaiset ranta- ja jokikerrostumat. Jäätikkökijokimuodostumien reunoilla esiintyy usein hienoainesmaalajeja (esim. siltti tai savi-linssi). Suomessa hienoainepitoisiin moreenialueisiin varastoituneen pohjaveden määrä on pienempi ja veden virtaus hitaampaa kuin sora- ja hiekka-alueiden pohjavesivarastoissa. Savi- ja silttikerrokset estävät virtauksen ja niillä on alhaisempi haavoittuvuus kuin vettäläpäisevämmällä hiekalla (Aller ym. 1987).

Pintamaa

Maannoksen (*engl. soil media*) kehittymiseen vaikuttavat maaston pinnanmuodot, kasvipeite, lämpö- ja kosteusolot, pohjavedenpinnan asema ja pohjaveden virtaus, maa-aineksen mineraali- ja raekoostumus, maan pintaosan vedenjohtavuus sekä aika. Myös ihmisen toiminnalla (laiduntaminen, kaskeaminen, ojitus, auraus, ympäristön happamoittaminen jne.) on ollut ja on tärkeä vaikutuksensa (Haavisto-Hyvärinen ja Kutvonen 2007). Luonnontilainen maannoskerros ulottuu yleensä noin 1,5–2,5 metrin syvyyteen maanpinnasta. Luonnontilainen maannoskerros suojaa pohjavettä. Jos luonnontilainen maannoskerros puuttuu tai on ohut, haitta-aineet kulkeutuvat helpommin syvemmälle maaperään ja pohjaveteen, mikä lisää pohjaveden pilaantumisriskiä ja pohjaveden haavoittuvuuksia.

Ihmistoiminta, erityisesti teollisuus ja maatalous voi vaikuttaa pintavesien laatuun ja sen jälkeen pohjaveden laatuun riippuen pohjaveden ja pintaveden vuorovaikutuksesta. Menetelmällä lasketaan myös pintavesialueet esim. järvi tai lampi jotka ovat pohjavesialueella. Tämä johtaa siihen, että pintaveden ja pohjaveden vuorovaikutus pitäisi selvittää tarkemmin. Pohjavesialueella pintamaan datana on käytetty 1:20 000 maaperäkartan tietoja (Ahonen ym. 2015).

Maanpinnan kaltevuus

Maanpinnan muoto ja kaltevuus (*engl. topography/slope*) vaikuttavat veden imeytymiseen ja pintavalunnan määrään. Mitä matalampi maanpinnan kaltevuus on, sitä enemmän vedellä on viipymää ja potentiaalia imeytyä, ja sitä korkeampi on pohjaveden haavoittuvuus. Maanpinnan kaltevuuden aiheuttama haavoittuvuus arvioitiin maan pinnan kaltevuuden prosenttiosuuden perusteella. Hankonimen pohjavesialueella käytettiin LiDAR-korkeusmallia (Maanmittauslaitoksen 2016) (ruutukoko on 2 x 2 metriä) alueen topografian kaltevuuden laskemisessa käyttämällä ArcMap Spatial Analyst / Surface-työkalua. Hankoniemen

2.10.2017

pohjavesialueen maanpinta on yleisesti melko tasainen ja keskimääräinen kaltevuus on vain 2,5 %. Käytetyn Maanpinnan kaltevuuden arvo ja haavoittuvuusluokat annetaan taulukossa 3.

Vadoosi vyöhyke

Vadoosi vyöhyke (*engl. impact of the vadose zone*) on pohjavedenpinnan yläpuolisen vyöhykkeen ja juurivyöhykkeen välillä. Haavoittuvuusanalyysissä pohjaveden pilaantumispotentiaalia arvioidaan vadoosin vyöhykkeen maalajin pidätyskapasiteettia perusteella. Mitä läpäisevämpää materiaalia vadoosi vyöhyke on, sitä lyhyempi kulkeutumisaika ja pienempi pidätyskapasiteetti, ja pohjaveden haavoittuvuusherkyys kasvaa. Vadoosin vyöhykkeen vaimennuskapasiteetin haavoittuvuusluokittelussa käytettiin Suomen 1:20 000 maaperäkartan tietoa (Ahonen ym. 2015) (Taulukko 3).

Akviferin hydraulinen johtavuus

Akviferin pohjavesikerroksen maanperän hydraulinen vedenjohtavuus (K-arvo) (*engl. hydraulic conductivity*). Vedenjohtavuus vaihtelee esiintymän eri maalajeissa. Haavoittuvuusanalyysissä korkeampi hydraulinen johtavuus vastaa korkeampaa pohjaveden pilaantumispotentiaalia, koska nopeasti virtaava vesi kuljettaa ja levittää kontaminaatiota tehokkaammin (Aller ym. 1987). Vedenjohtavuusarvot (K-arvot) on saatu kairausten yhteydessä otettujen maanäytteiden seulontatuloksista, pumppaustesteistä, slug-testeistä ja Suomen 1:20 000 maaperäkartasta (Ahonen ym. 2015). Lisäksi parametrien lähtöarvoina käytetään kirjallisuudessa esitettyjä K-arvoja maaperätietoihin perustuen (Taulukko 2) sekä pohjaveden virtausmallinnuksen kalibroinnin tuloksia. Eri K-arvojen haavoittuvuusluokat on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 2. Kirjallisuuden mukaiset vedenjohtavuudet (K-arvot) (Fetter 1991).

Maalaji	K- arvo (m/s)	K- arvo (m/vrk)	Kuvaus
Hyvin lajittunut sora	$10^{-2} - 10^{-4}$	864.0-8.64	Erittäin hyvin vettäjohtava
Hyvin lajittunut hiekka	$10^{-3} - 10^{-5}$	86.4-0.864	Hyvin vettäjohtava
Hieno hiekka	$10^{-5} - 10^{-7}$	0.864-0.00864	Vettäjohtava tai heikosti vettäjohtava
Siltti, Moreeni	$10^{-6} - 10^{-8}$	0.0864-0.000864	Heikosti tai huonosti vettäjohtava

2.10.2017

3.3 Haavoittuvuusanalyysi

Pohjavesialueiden haavoittuvuusanalyysissä käytetään ArcMap/ArcGIS 10.4. ohjelman Spatial Analyst -moduulia. Haavoittuvuusanalyysissä data lasketaan rasterin (tason) tai gridin (verkosto) muotoisena. Kaikki pistemäinen data, kuten pohjavedenpinnan tiedot havaintoputkista, pitää ensin interpoloida rasteriksi. Jokaisen parametrin rasteri on jaettu ruutuihin, esimerkiksi Hankoniemen pohjavesialueilla rasterin data on jaettu 2 x 2 metrin ruudukkoon, mikä on sama ruutukoko kuin LiDAR-korkeusmallissa.

Jokaisessa seitsemässä muuttujassa, kaikki ruudut saavat arvon joka jaetaan luokkaväleihin ja luokka-arvoon (1–10 välillä) ja painoarvoon (1-5 välillä) ArcMap/ArcGIS:n Spatial Analyst/Reclassify moduulissa (taulukko 3). Lopullinen haavoittuvuusindeksikartta on näiden karttojen summa, joka vastaa kaikkien parametrien kumulatiivista luokitusta ja painotusta. Haavoittuvuusindeksikartta lasketaan ArcMap/ArcGIS:n Spatial Analyst/Weighted sum -moduulissa yhtälön (1) mukaisesti. Visualisoinnissa jokaisessa kartassa on käytetty luokka-arvoja vastaavia värisävyjä. Väriskaala voidaan valita sopivalta vaikuttavaksi ja luettavaksi kaikille käyttäjille. Kuvassa 3 on eri parametrin perusteella laskettu synteesikartta ja kuvassa 4 on esitetty Hankoniemen pohjavesialueiden haavoittuvuusindeksikartta. Kuvassa Hankoniemen pohjavesialueiden haavoittuvuusindeksikartassa luokittelun legendaan on otettu vain ne kaksi luokkaa (matala ja erittäin korkea haavoittuvuusherkyys), jotka kohteeseen on laskennan perusteella saatu. Väriskaalaan muuttuu vihreästä violettiin haavoittuvuusindeksiarvojen kasvaessa. Haavoittuvuusindeksikartan luokittelua voidaan muokata paremmin soveltuvaksi kun käytettävissä on enemmän tietoja.

2.10.2017

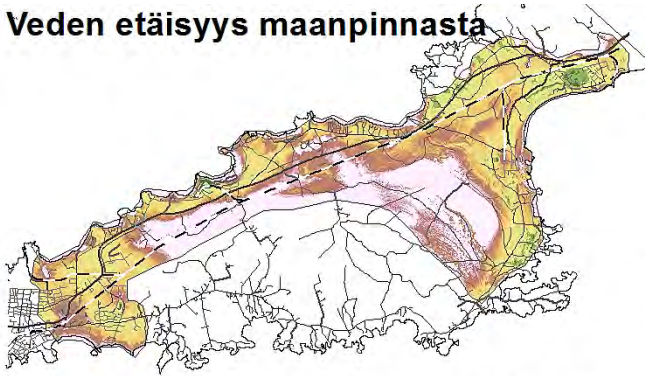
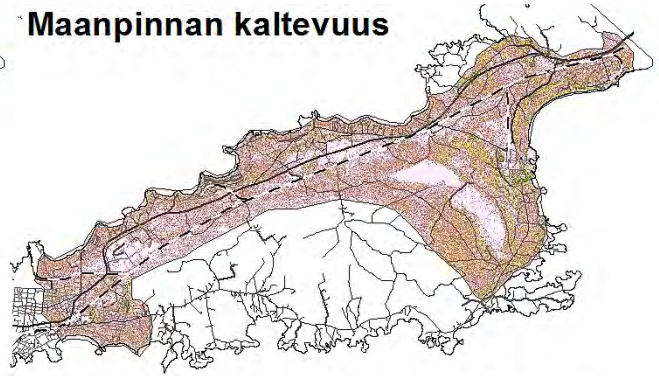
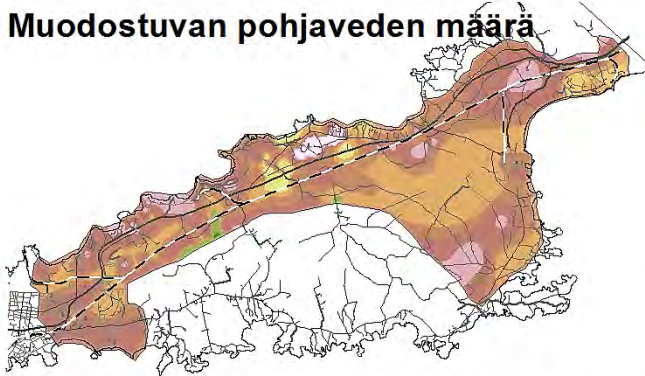
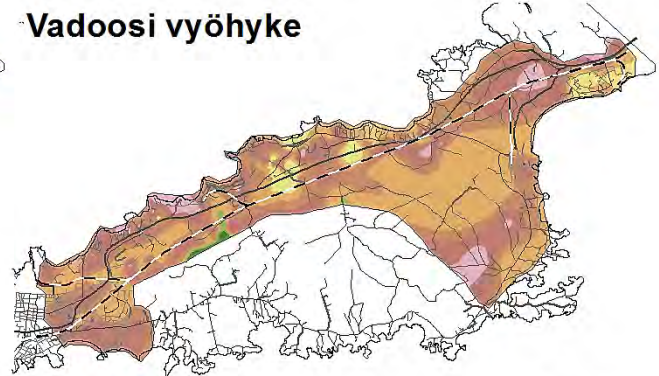
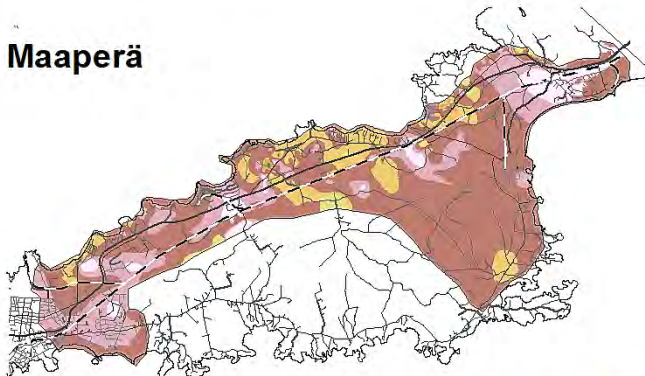
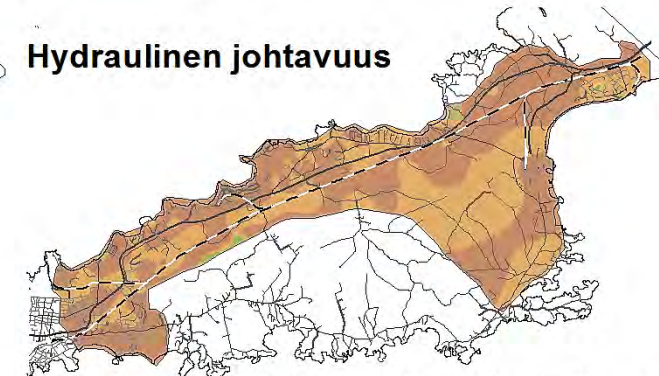
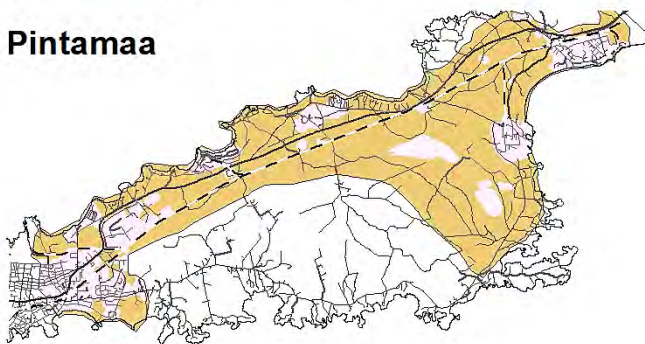
Taulukko 3. DRASTIC – haavoittuvuusanalyysin muuttujat ja niiden luokittelu sekä luokkaväli, luokka-arvo ja painoarvo.

Parametri	Luokkaväli						
	D	R	A	S	T	I	C
Luokka-arvo (1-10)	Veden etäisyys maanpinnasta (m)	Muodostuvan pohjaveden määrä (mm yr ⁻¹)	Maaperä	Pintamaa	Maanpinnan kaltevuus (%)	Vadoosi vyöhyke	Hydraulinen johtavuus (K-arvo, m/s)
1	>20	<60	Savi tai savilinssi	Luonnontilainen maanpinta (1)	26-30	Savikerros	10 ⁻⁹ - >10 ⁻¹⁰
2	15-20	60-90	Silttinen-, hiekkainen-, sorainen savi		22-25	Silttinen-, hiekkainen-, sorainen savi	10 ⁻⁸ - 10 ⁻⁹
3	10-15	90-120	Siltti		19-21	Siltti, hiekkainen-, sorainen siltti	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁸
4	7-10	120-150	Hienoaines-moreeni		18-16	Hienoaines-moreeni	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁷
5	5-7	150-180	Hieno hiekka		13-15	Hieno hiekka	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁶
6	4-5	180-210	Hiekkamoreeni, Soramoreeni	Osittain luonnontilainen maanpinta (5)	10-12	Hiekkamoreeni, Soramoreeni	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁵
7	3-4	210-240	Keskikarkea hiekka		7-9	Keskikarkea hiekka	10 ⁻³ - 10 ⁻⁴
8	2-3	240-270	Karkea hiekka		5-6	Karkea hiekka	10 ⁻² - 10 ⁻³
9	1,5-2	270-300	Sora ja hiekka		3-4	Sora	10 ⁻¹ - 10 ⁻²
10	< 1,5	>300	Sora	Maanpintaosa on poistettu	0-2	Vadoosi vyöhyke puuttuu	>1 - 10 ⁻¹
Painoarvo (1-5)	5	4	3	5	2	5	3

4 TULOKSET

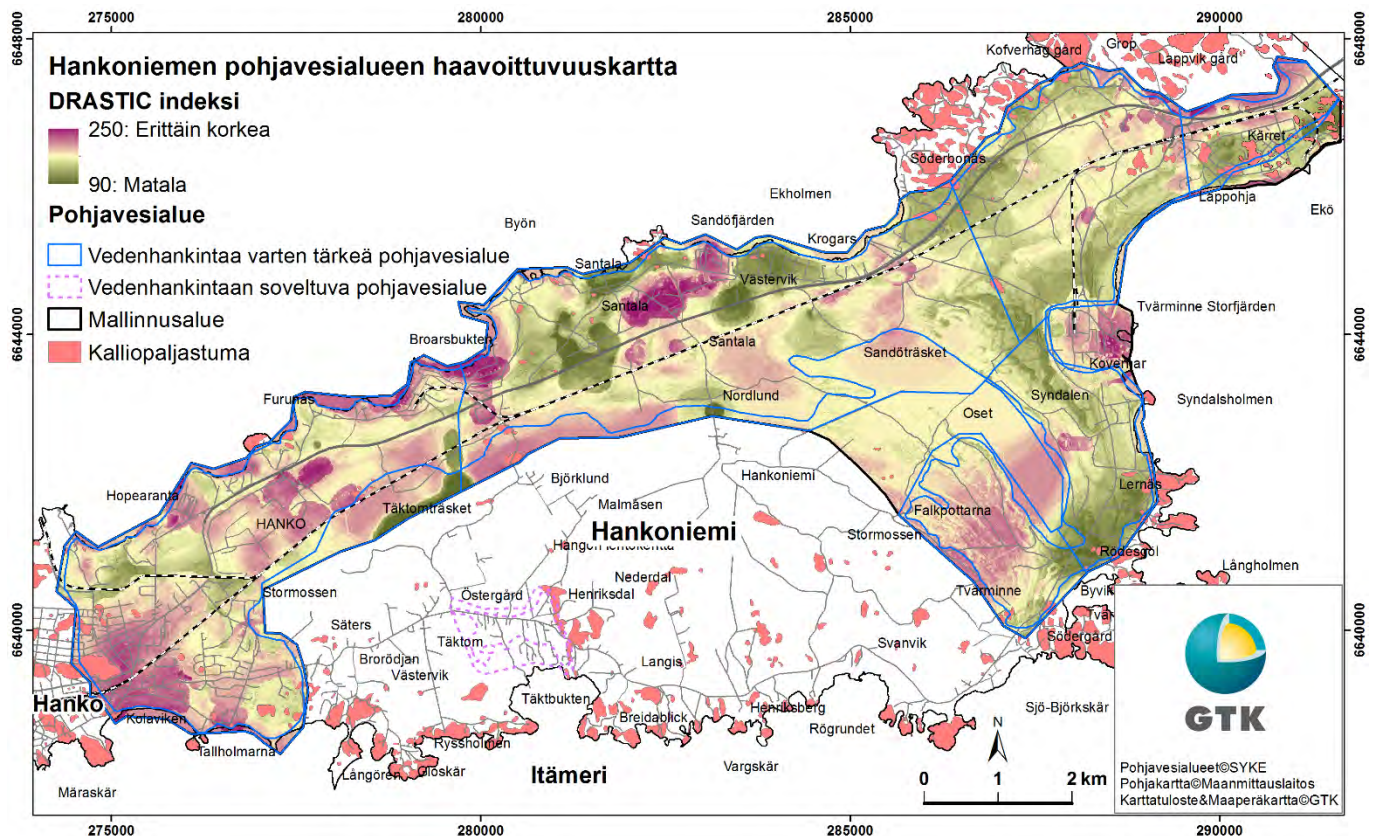
Kuvassa 3 on esitetty haavoittuvuusanalyysin parametrit / muuttujat ja niiden luokka-arvot Hankoniemen pohjavesialueilla. Pohjavesialueiden DRASTIC-haavoittuvuusindeksikartan arvot vaihtelevat 27 ja 270 välillä, jotka edustavat haavoittuvuusluokkia erittäin alhaisesta erittäin korkeaan tasolle. Hankoniemen pohjavesialueiden DRASTIC-haavoittuvuusindeksikartta vaihtelee arvojen 90 ja 250 välillä (kuva 4).

2.10.2017

Veden etäisyys maanpinnasta**Maanpinnan kaltevuus****Muodostuvan pohjaveden määrä****Vadoosi vyöhyke****Maaperä****Hydraulinen johtavuus****Pintamaa****Luokka arvo**

Kuva 3. Haavoittuvuusanalyysin parametrien luokka-arvoina Hankoniemen pohjavesialueilla. Kuvat ovat suuremmissa koossa liitteessä 5.

2.10.2017



Kuva 4. Hankoniemen pohjavesialueiden haavoittuvuusindeksikartta. Kuva on suuremmissa koossa liitteessä 6.

5 POHDINTA

DRASTIC-haavoittuvuusanalyysillä arvioidaan pohjavesialueen pilaantumispotentiaalia vain geologisten ja hydrologisten parametrien perusteella. Menetelmä ei ota kantaa haitta-aineen ominaisuuksiin, riskitoimintoihin, eikä pohjaveden virtaussuuntiin (Aller et al. 1987). Kuitenkin luontainen pohjavesimuodostuman haavoittuvuus ja sen vaihtelut eri osissa muodostumaa on akviferin perustieto, joka pitäisi olla saatavilla jokaisella pohjavesialueella. Menetelmä on helppo käyttää ja haavoittuvuusindeksikartan avulla voidaan vertailla ja priorisoida pohjavesialueen eri alueiden haavoittuvuutta. Alueilla joilla on korkea pohjaveden pilaantumispotentiaali, tarvitaan yksityiskohtaisia kenttätutkimuksia.

Tässä raportissa käytetään esimerkkialueena Hankoniemen pohjavesialueita. Luokka-välit ja luokka-arvot sekä haavoittuvuusindeksiluokitus ovat muokattavissa paremmin soveltuvaksi kun on enemmän saatavissa olevia tietoja tulevaisuudessa.

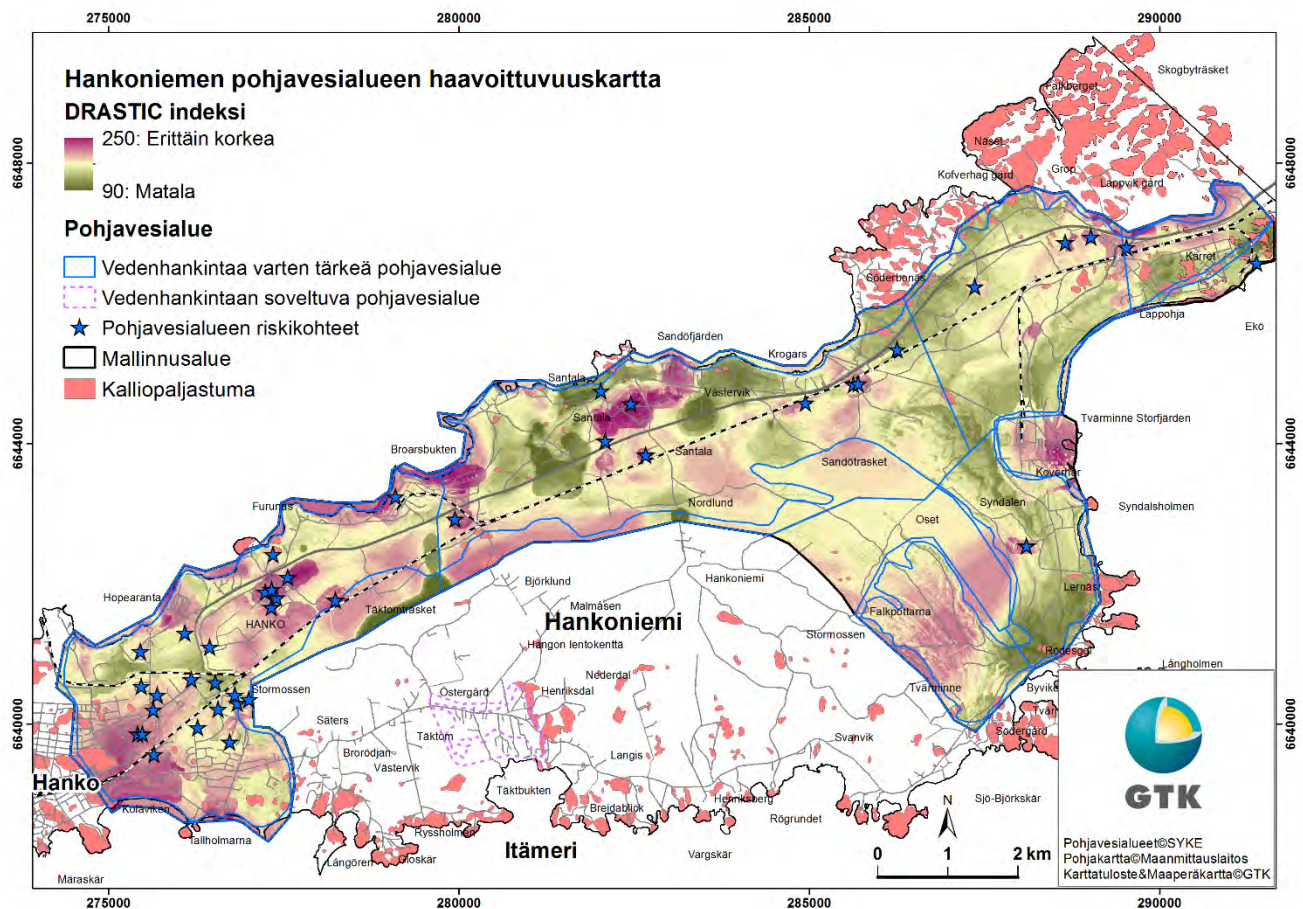
2.10.2017

Useilla pohjavesialueilla aineistossa ja tiedoissa on puutteita. Tällöin haavoittuvuusanalyysi lasketaan datasta tilastollisen tai interpolointianalyysin perusteella. Jokaisella haavoittuvuusindeksikartalla pitää esittää analyysin lähtöaineistojen tieto sekä kaikki haavoittuvuusanalyysin parametrien kartat.

Haavoittuvuusindeksikarttaa voidaan hyödyntää maankäytön suunnittelussa ja pohjaveden suojelun suunnittelussa.. Yhdistämällä pohjavesialueiden suojelusuunnitelmien riskikohdekartta ja haavoittuvuusanalyysin haavoittuvuusindeksikartta, voidaan riskinarvioinnissa huomioida ulkoisten riskitekijöiden lisäksi pohjavesimuodostuman luonnollinen haavoittuvuus. Kuvassa 5 on esimerkkinä Hankoniemen pohjavesialueiden haavoittuvuuskartta ja pohjaveden riskikohteet. Tarkemmat kenttätutkimukset ovat tarpeen helpommin haavoittuvilla pohjavesialueilla, joilla on pohjaveden riskikohteita.

Suomessa monet pohjavesialueet ovat maaperältään karkean lajittuneen aineksen kerrostumia (sora, hiekka), jotka ovat hyvin vettä läpäiseviä. Esimerkiksi Hankoniemen Sandö-Grönvik-pohjavesialueella, pohjavedenpinnan seuranta osoittaa että pohjavedenpinta reagoi nopeasti sademäärän mukaisesti (Luoma ym. 2015). Haavoittuvuusmenetelmää voitaisiin seuraavaksi kehittää ottamalla mukaan esimerkiksi pohjavedenottamoiden suoja-alueiden arviointi, joka ottaa huomioon myös erilaisia kontaminaation kulkeutumisaikoja ja pohjaveden virtaustietoa.

2.10.2017



Kuva 5 Hankoniemen pohjavesialueiden haavoittuvuusindeksikartta ja pohjaveden riskikohteet.

6 YHTEENVETO JA SUOSITUKSET JATKOTUTKIMUKSISTA

Pohjavesialueiden DRASTIC- haavoittuvuusmenetelmä ja indeksikartta on kehitetty Suomen hydrogeologisiin olosuhteisiin paremmin soveltuvaksi esimerkkialueella Hankoniemen pohjavesialueilla. DRASTIC-haavoittuvuusanalyysi on luontaiseen haavoittuvuuden arviointimenetelmä (*engl. intrinsic*), joka arvioi pohjaveden pilaantumispotentiaalin hydrogeologisten tekijöiden perusteella. Menetelmää on helppo käyttää ArcMap/ArcGIS paikkatieto- ja karttakäsittelyn ohjelmalla. Haavoittuvuusanalyysi hyödyntää aiemmista rakenneselvityksistä saatuja tietoja sekä selventää tietoja pohjavesialueiden hydrogeologisista ominaisuuksista ja pohjavesiolosuhteista. Haavoittuvuusindeksikartta on kehitetty helppokäyttöiseksi ja vertailukelpoiseksi. Haavoittuvuusindeksillä voidaan priorisoida

2.10.2017

helpommin haavoittuvat alueet ja pohjavesialueiden pilaantumispotentiaali sekä alueet joille tarvitaan lisää tarkempia kenttätutkimuksia.

Haavoittuvuusanalyysin parametrien luokka-välit ja luokka-arvot sekä haavoittuvuusindeksiluokitus ovat muokattavissa paremmin soveltuvaksi kun on enemmän saatavissa olevia tietoja. Haavoittuvuuskarttaa voidaan hyödyntää maankäytön suunnittelussa ja pohjaveden suojelun suunnittelussa.

Jatkotutkimuksena helpoimmin haavoittuvilla pohjavesialueilla on pohjavedenottamoiden alueiden suojelu (*engl. Well head protection*). Tämä riskianalyysi saadaan lisäämällä menetelmään pohjavesialueen virtausmalli ja haitta-aineiden kulkeutumismallit.

7 KIRJALLISUUSLUETTELO

Ahonen, J., Huusko, A., Sallasmaa, O., Palmu, J.P., Virkki, H., Valjus, T., Saarelainen, J., Räisänen, J., Martinkauppi, A., Väänänen, T., Putkinen, N., Putkinen, S., Huttunen, T., Laxström, H., Nurminen, T. 2015 Thickness of superficial deposits in Finland. The 2nd Finnish National Colloquium of Geosciences. Helsinki University, Helsinki.

Aller, L., Bennett, T., Lehr, J.H., Petty, R.H., Hackett, G. 1987 DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings, USEPA Report 600/2- 87/035. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, Oklahoma.

Backman, B., Luoma, S. ja Klein, J. 2012. Pohjavesiolosuhteet ja vedenhankinta tulevaisuudessa Hangon Santalanrannan vedenottamon alueella. Arkistoraportti 56/2012. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 27 s.

Breilin, O., Paalijärvi, M. ja Valjus, T. 2004. Pohjavesialueen geologisen rakenteen selvitys I Salpausselällä Hango–Lappohja alueella. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 15 s.

Fyfe, G.J. 1991 The morphology and sedimentology of the Salpausselkä I Moraine in southwest Finland. Cambridge University, Fitzwilliam College.

FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy. 27.3.2013. Hangon pohjavesialueiden suojelusuunnitelman päivittäminen. Hangon kaupunki, Hangon vesi- ja viemärilaitos ja Uudenmaan ELY-keskus. 54 s.

GTK:n tuottamat aineistot: <http://hakku.gtk.fi/fi/>.

Haavisto-Hyvärinen, M. ja Kutvonen, H. 2007. Maaperäkartan käyttöopas. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 66 s.:

http://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/gtk_maaperakartan_kayttoopas.pdf

2.10.2017

Kielosto, S., Kukkonen, M., Sten, C.G. ja Backman, B. 1996. Hangon ja Perniön kartta-alueiden maaperä, English summary: Quaternary deposits in the Hanko and Perniö map-sheet areas, Geological map of Finland 1: 100 000, Explanation to the maps of Quaternary deposits, sheets 2011 and 2012. Geological Survey of Finland, Espoo.

Lavapuro, M., Lipponen, A., Artimo, A. ja Katko, T. 2008 Groundwater sustainability indicators: Testing with Finnish data. Boreal Env. Res. 13:381-402.

Luoma, S. ja Pullinen, A. 2011 Field Investigation and Estimates of Hydraulic Conductivity from Slug Tests in the First Salpausselkä formation in the Santala area, Hanko, south Finland, Archived report. Geological Survey of Finland, Espoo.

Luoma, S. ja Backman, B. 2015. Rakenneselvityskarttojen visualisoinnin kehittäminen. Arkistoraportti 110/2015. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 19 s.

http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/110_2015.pdf

Luoma, S. ja Okkonen, J., 2014. Impacts of Future Climate Change and Baltic Sea Level Rise on Groundwater Recharge, Groundwater Levels, and Surface Leakage in the Hanko Aquifer in Southern Finland. Water, 6, 3671-3700; doi:10.3390/w6123671. <http://www.mdpi.com/2073-4441/6/12/3671> , 28 November 2014.

Luoma, S., Okkonen, J., Korkka-Niemi, K., Hendriksson, N. ja Backman, B. 2015. Confronting vicinity of the surface water and sea shore in a shallow glaciogenic aquifer in southern Finland. Hydrol. Earth Syst. Sci., 19, 1353-1370. doi:10.5194/hess-19-1353-2015.

<http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/19/1353/2015/> , 12 March 2015.

Luoma, S., Okkonen, J. ja Korkka-Niemi, K. 2016. Comparison of the AVI, modified SINTACS and GALDIT vulnerability methods under future climate-change scenarios for a shallow low-lying coastal aquifer in southern Finland. Hydrogeol J, 25 (1), 203-222.

<https://doi.org/10.1007/s10040-016-1471-2>

Maanmittauslaitos ja Hallinnon tietotekniikkakeskus - LiDAR-aineisto:

<http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/korkeusmalli-2-m.20.11.2015>

SYKE - Hertta-tietokanta: http://www.syke.fi/fi-FI/Avoin_tieto/Ymparistotietojarjestelmat, 11.09.2017

SYKE - Pohjavesialueiden rajat -tietokanta: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Pohjaveden_suojelu/Pohjavesialueet/Hangon_pohjavesialueet\(23279\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Pohjaveden_suojelu/Pohjavesialueet/Hangon_pohjavesialueet(23279))

Takalo, H. 2011. Pohjaveden haavoittuvuusanalyysi (DRASTIC) Kalajoen Kourinkankaan (A) ja Sievin Lähteenkankaan pohjavesi-alueilla, menetelmän herkkyyssanalyysi sekä haavoittuvuus-analyysi osana pohjavesialueiden suojelusuunnitelmia. Diplomityö, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto, Vesi- ja ympäristötekniikan Laboratorio, Oulun Yliopisto. 88 s. <http://www oulu.fi/poves/pages/publ/dipl/heiditakalo.pdf>

2.10.2017

Liitteet:

Liite 1. Hankoniemen tutkimusalue ja lähtöaineistot

Liite 2. Maanpinnan korkeuskartta – LiDAR Hankoniemen tutkimusalueella

Liite 3. Maaperäkartta

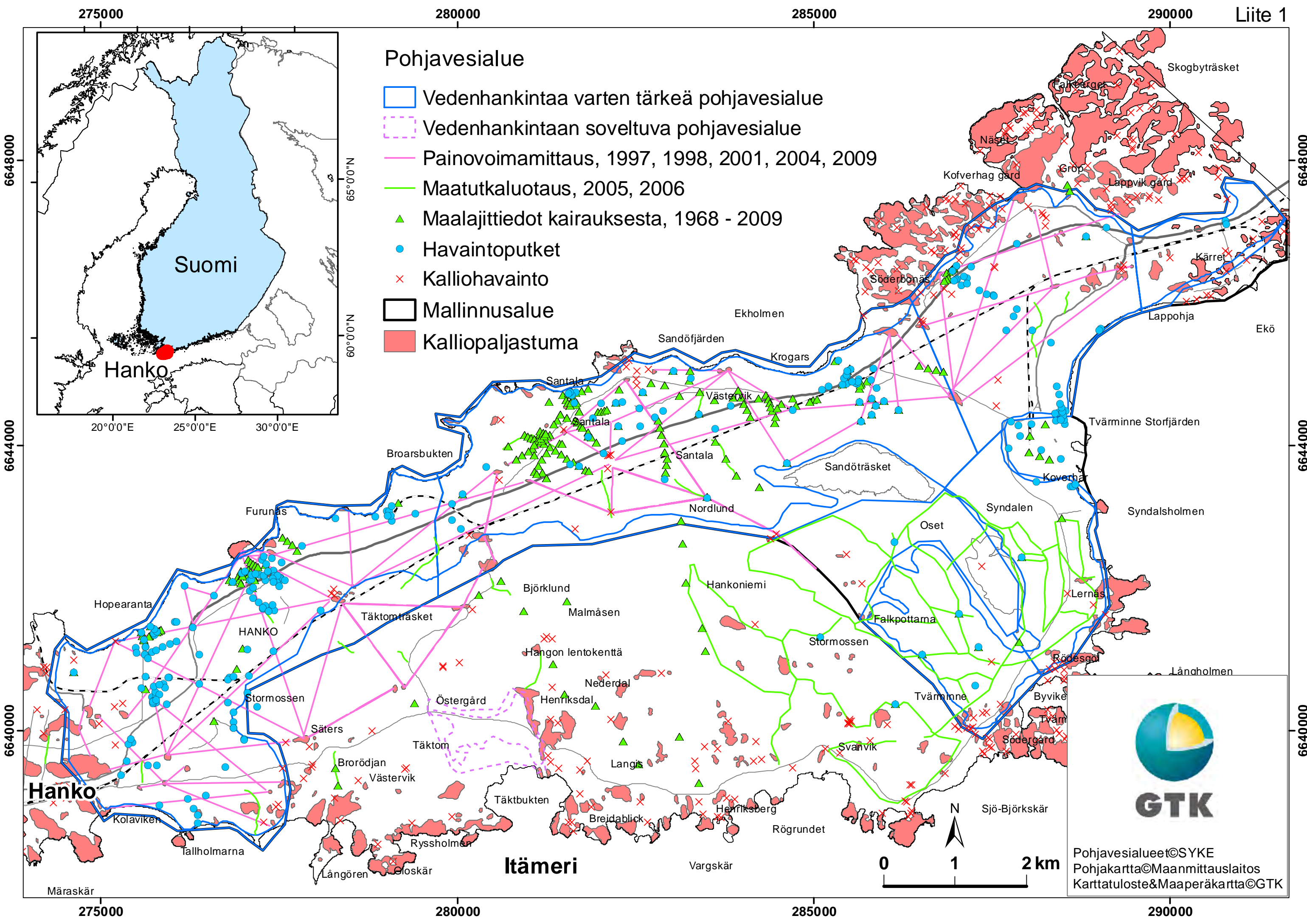
Liite 4. Pohjavedenpinnan korkeuskartta

Liite 5. Haavoittuvuusanalyysin parametria suurena kartat

- Liite 5.1 Veden etäisyys maanpinnasta
- Liite 5.2 Muodostuvan pohjaveden määrä
- Liite 5.3 Maaperä
- Liite 5.4 Pintamaa
- Liite 5.5 Maanpinnan kaltevuus
- Liite 5.6 Vadoosi vyöhyke
- Liite 5.7 Hydraulinen johtavuus

Liite 6. Hankoniemen haavoittuvuus DRASTIC indeksi kartta.

Liite 7. Hankoniemen haavoittuvuus DRASTIC indeksi kartta ja pohjaveden riskikohteet



275000 280000 285000 290000



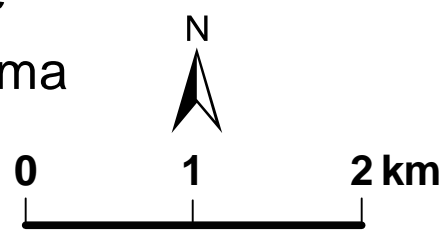
Maanpinnankorkeus (DEM - LiDAR)

32 m mpy.

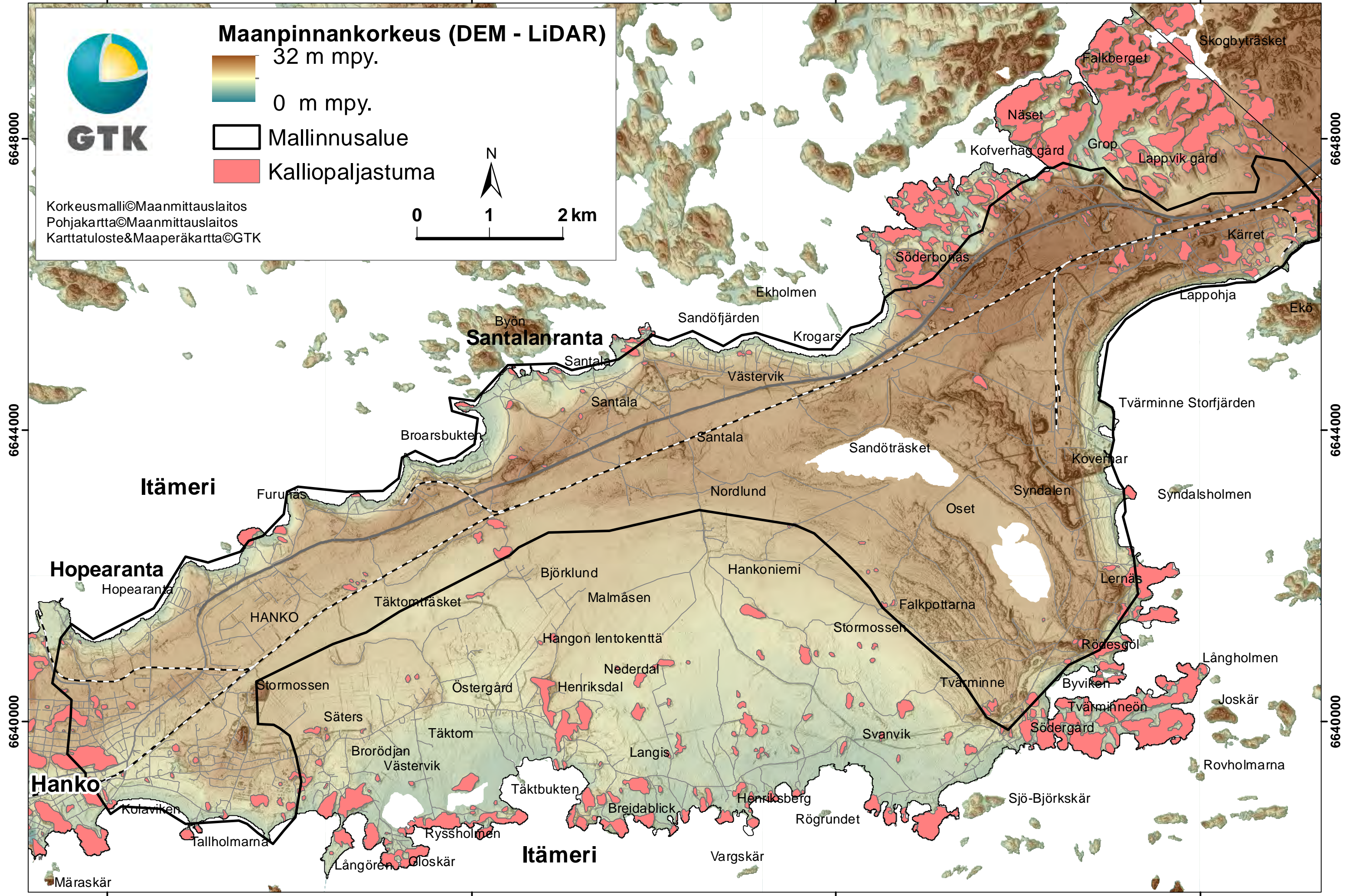
0 m mpy.

Mallinnusalue

Kalliopaljastuma



Korkeusmalli@Maanmittauslaitos
Pohjakartta@Maanmittauslaitos
Karttatuloste&Maaperäkartta@GTK



6648000

6648000

6644000

6644000

6640000

6640000

275000 280000 285000 290000

275000

280000

285000





290000

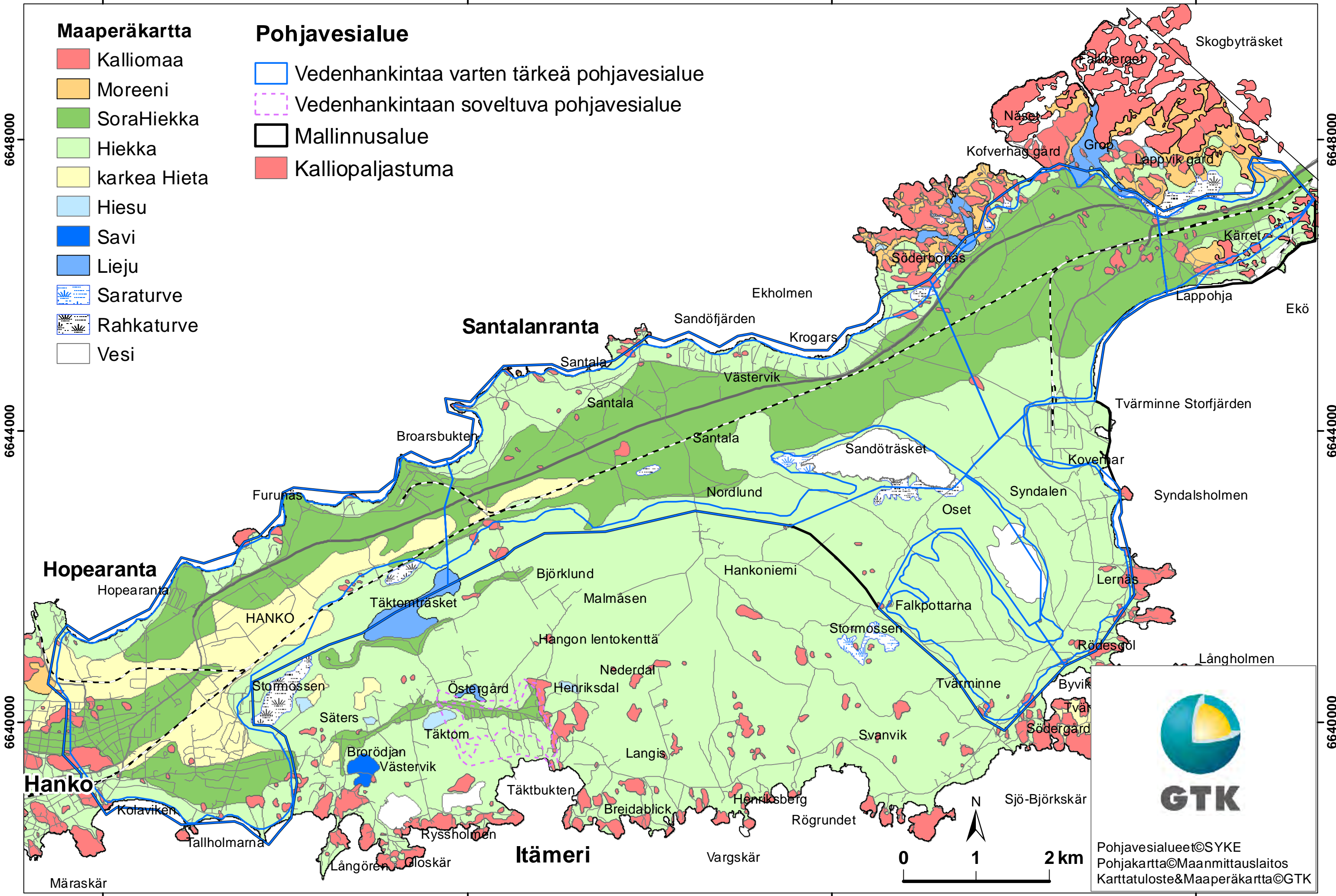
Liite 3

Maaperäkartta

-  Kalliomaa
-  Moreeni
-  SoraHiekka
-  Hiekka
-  karkea Hieta
-  Hiesu
-  Savi
-  Lieju
-  Saraturve
-  Rahkaturve
-  Vesi

Pohjavesialue

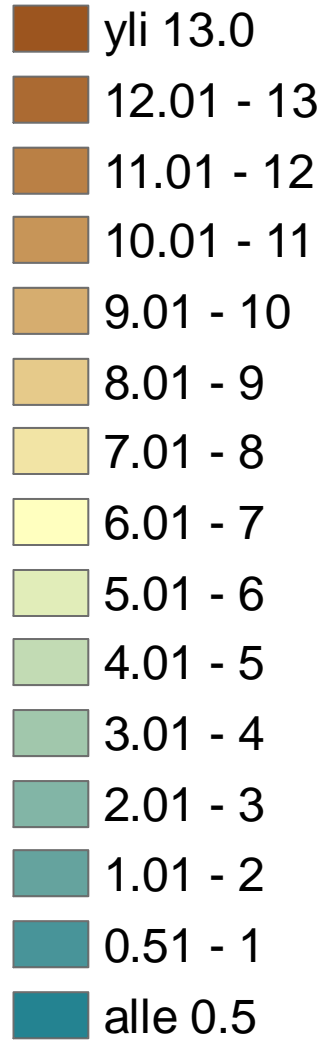
-  Vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue
-  Vedenhankintaan soveltuva pohjavesialue
-  Mallinnusalue
-  Kalliopaljastuma



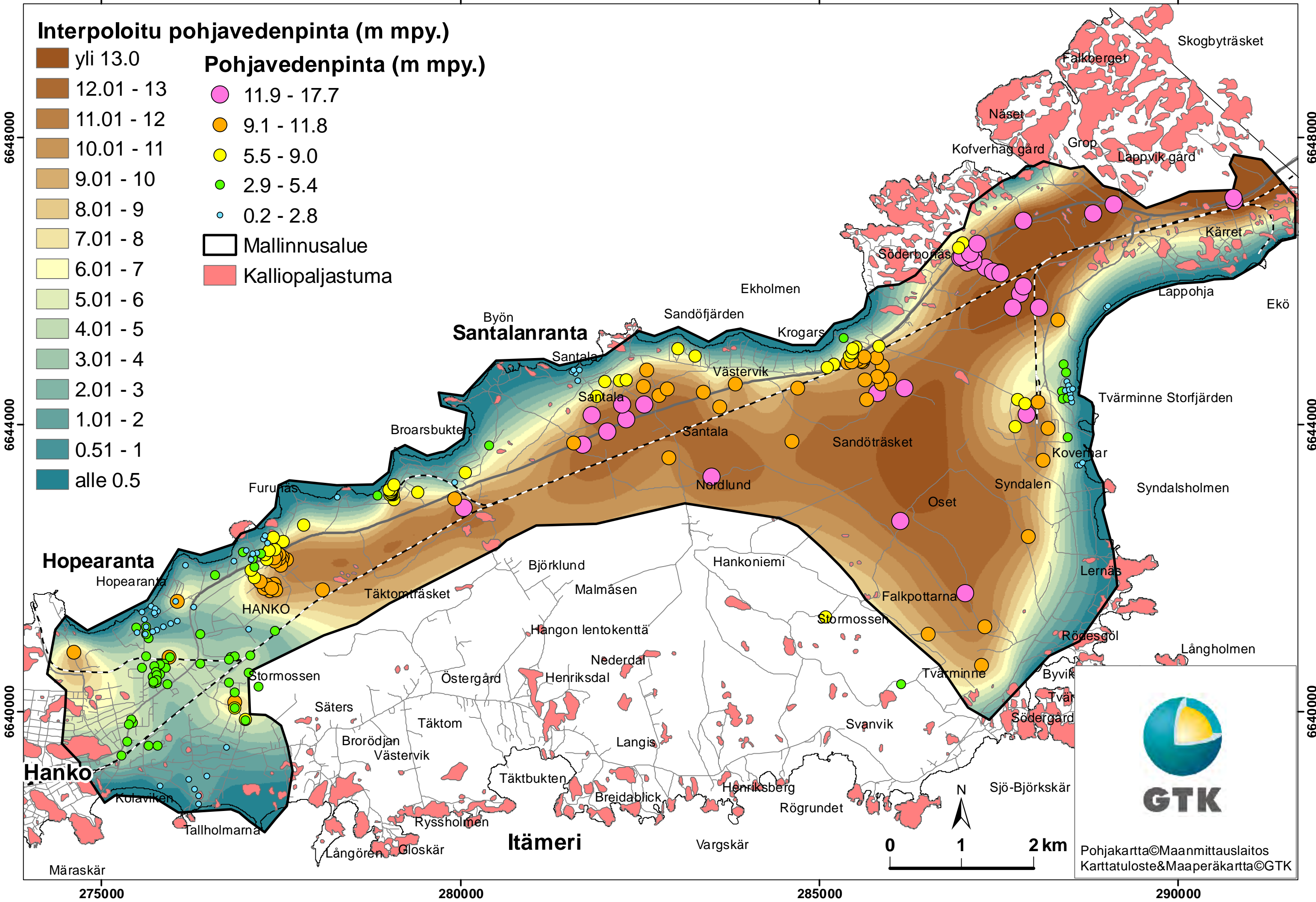
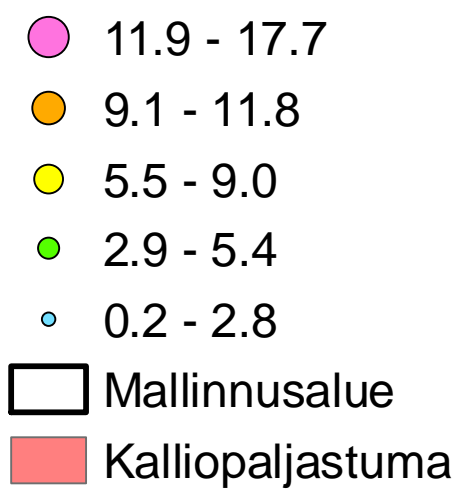

GTK

Pohjavesialueet©SYKE
 Pohjakartta©Maanmittauslaitos
 Karttatuloste&Maaperäkartta©GTK

Interpoloitu pohjavedenpinta (m mpy.)



Pohjavedenpinta (m mpy.)



GTK
 Pohjakartta©Maanmittauslaitos
 Karttatuloste&Maaperäkartta©GTK

275000

280000

285000



290000

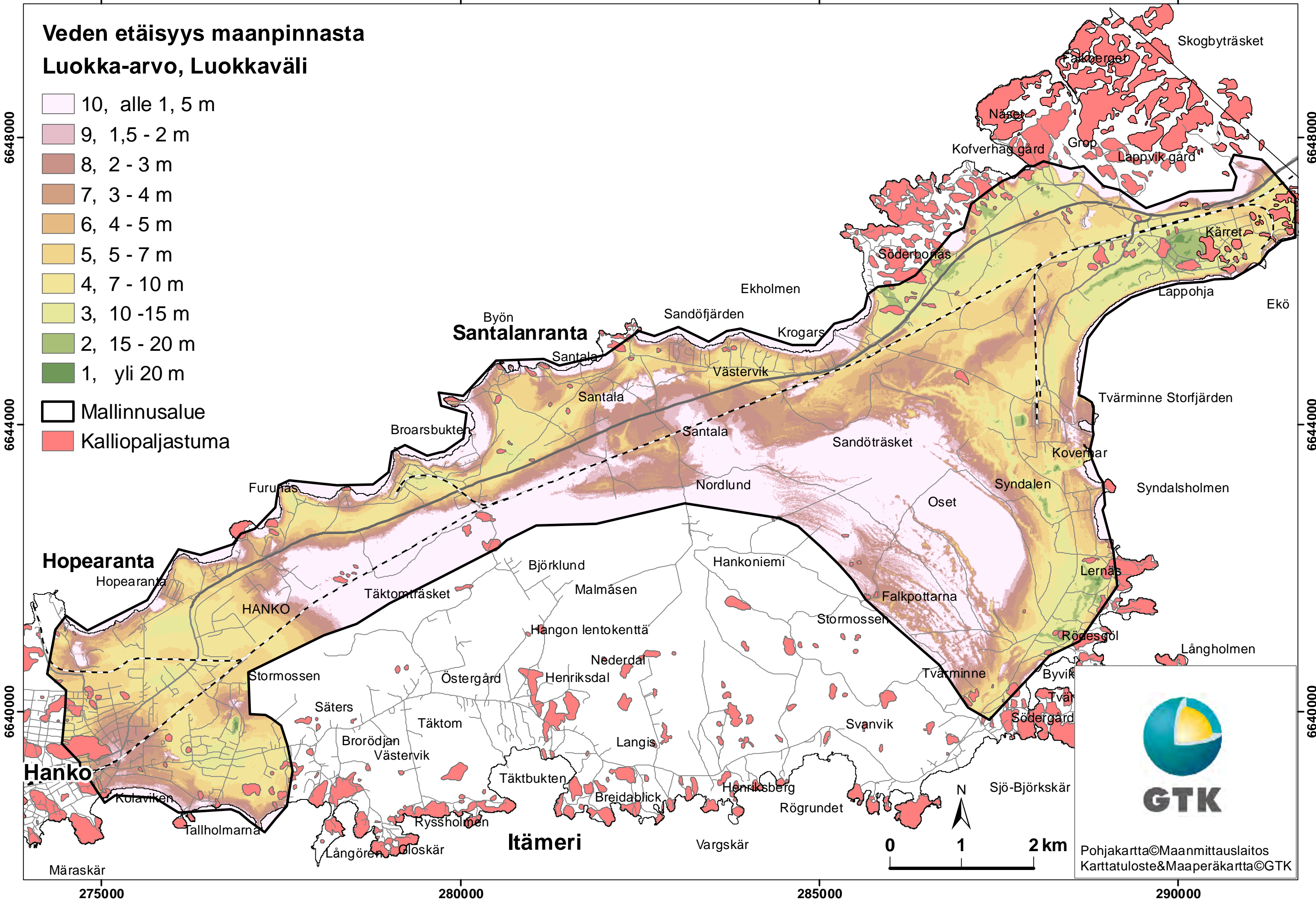
Liite 5.1

Veden etäisyys maanpinnasta

Luokka-arvo, Luokkaväli

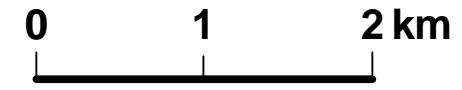
-  10, alle 1,5 m
-  9, 1,5 - 2 m
-  8, 2 - 3 m
-  7, 3 - 4 m
-  6, 4 - 5 m
-  5, 5 - 7 m
-  4, 7 - 10 m
-  3, 10 - 15 m
-  2, 15 - 20 m
-  1, yli 20 m

-  Mallinnusalue
-  Kalliopaljastuma

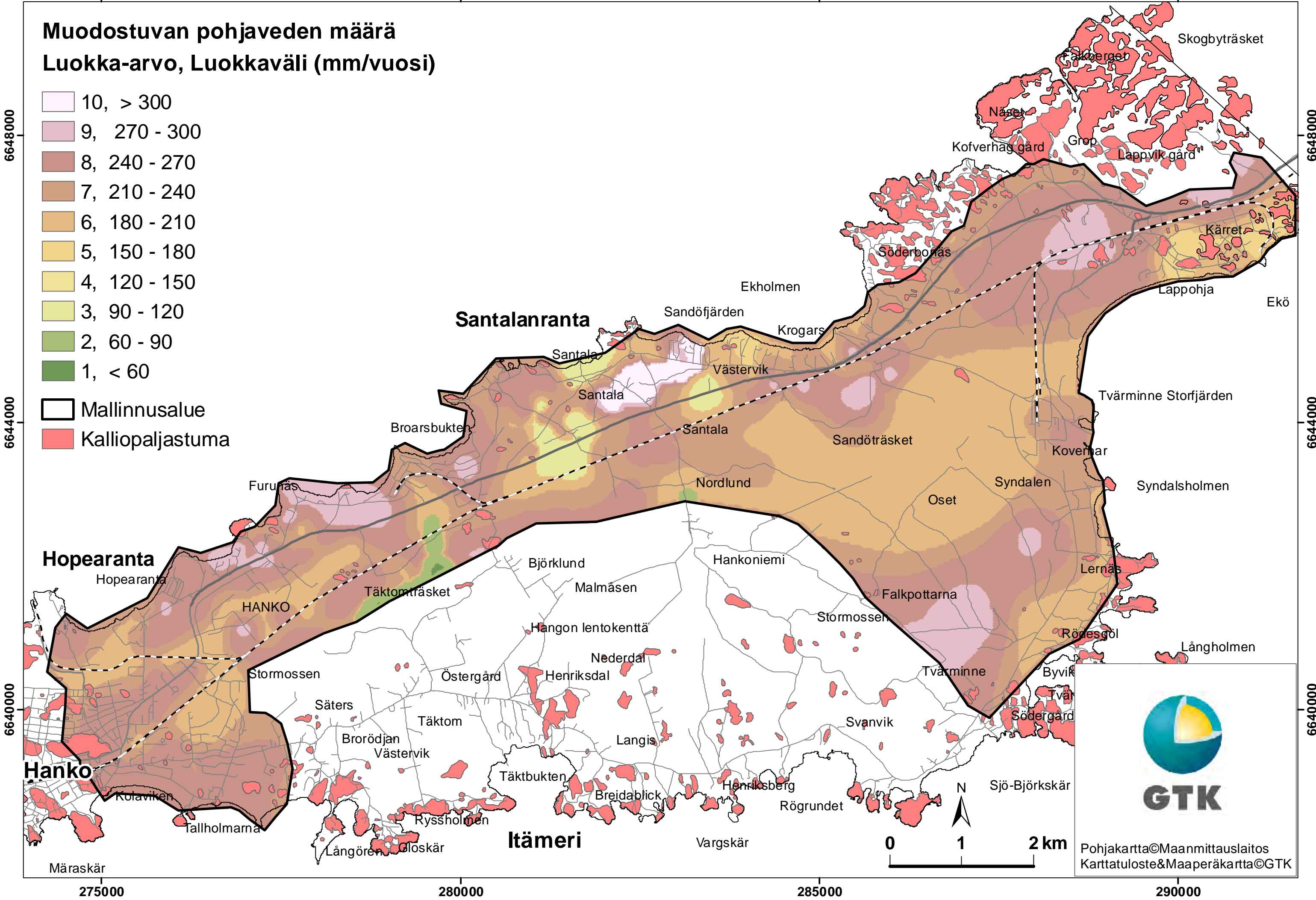
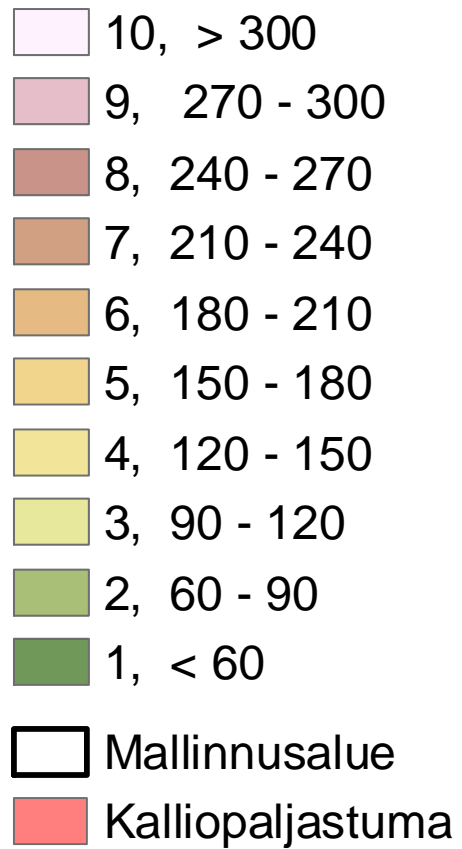


GTK

Pohjakartta©Maanmittauslaitos
Karttatuloste&Maaperäkartta©GTK



Muodostuvan pohjaveden määrä Luokka-arvo, Luokkaväli (mm/vuosi)

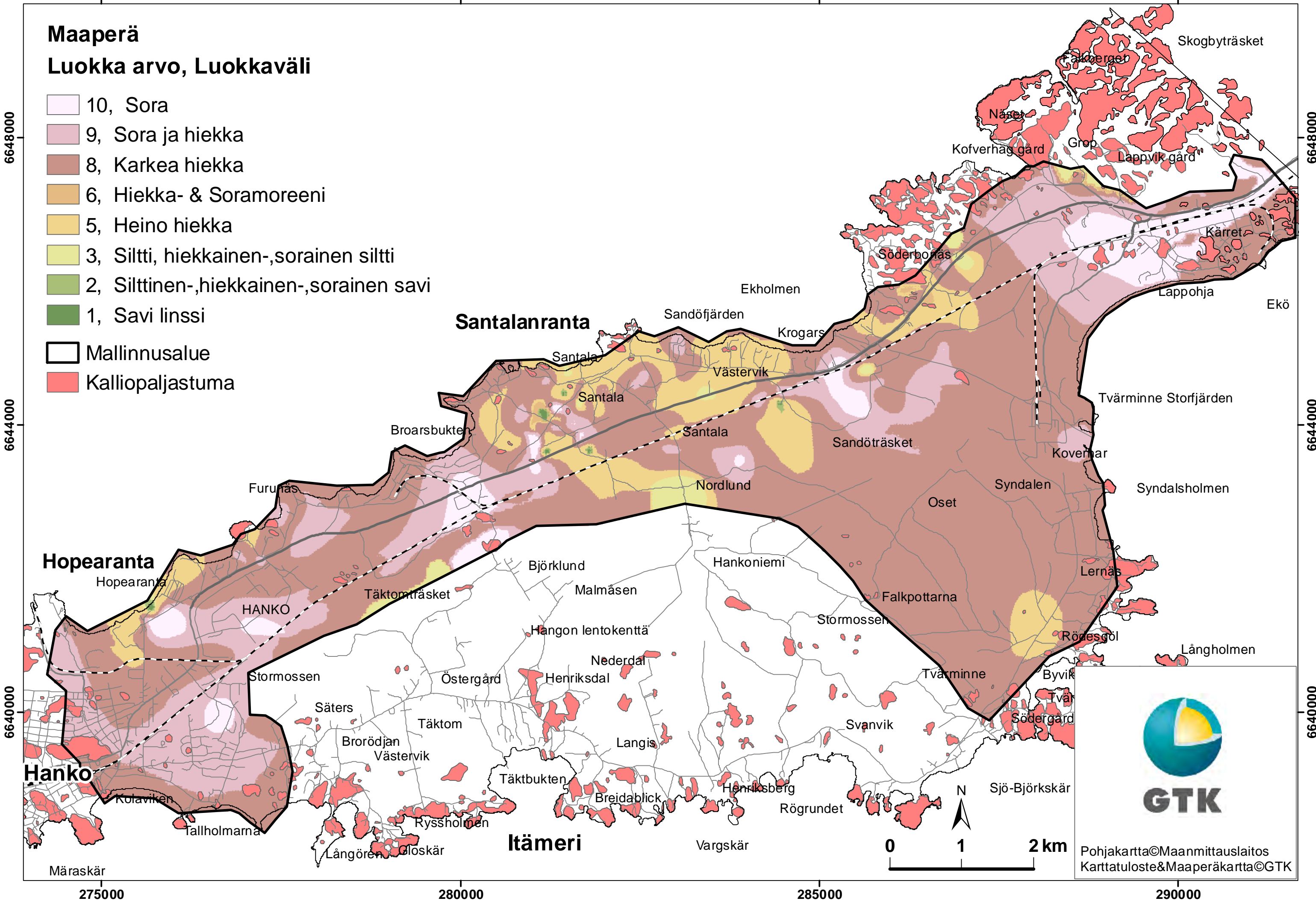


GTK
Pohjakartta©Maanmittauslaitos
Karttatuloste&Maaperäkartta©GTK

Maaperä

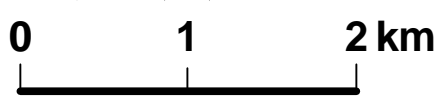
Luokka arvo, Luokkaväli

- 10, Sora
- 9, Sora ja hiekka
- 8, Karkea hiekka
- 6, Hiekka- & Soramoreeni
- 5, Heino hiekka
- 3, Siltti, hiekkainen-,sorainen siltti
- 2, Silttinen-,hiekkainen-,sorainen savi
- 1, Savi linssi
- Mallinnusalue
- Kalliopaljastuma



GTK

Pohjakartta©Maanmittauslaitos
Karttatuloste&Maaperäkartta©GTK



275000

280000

285000

290000

6648000

6648000

6644000

6644000

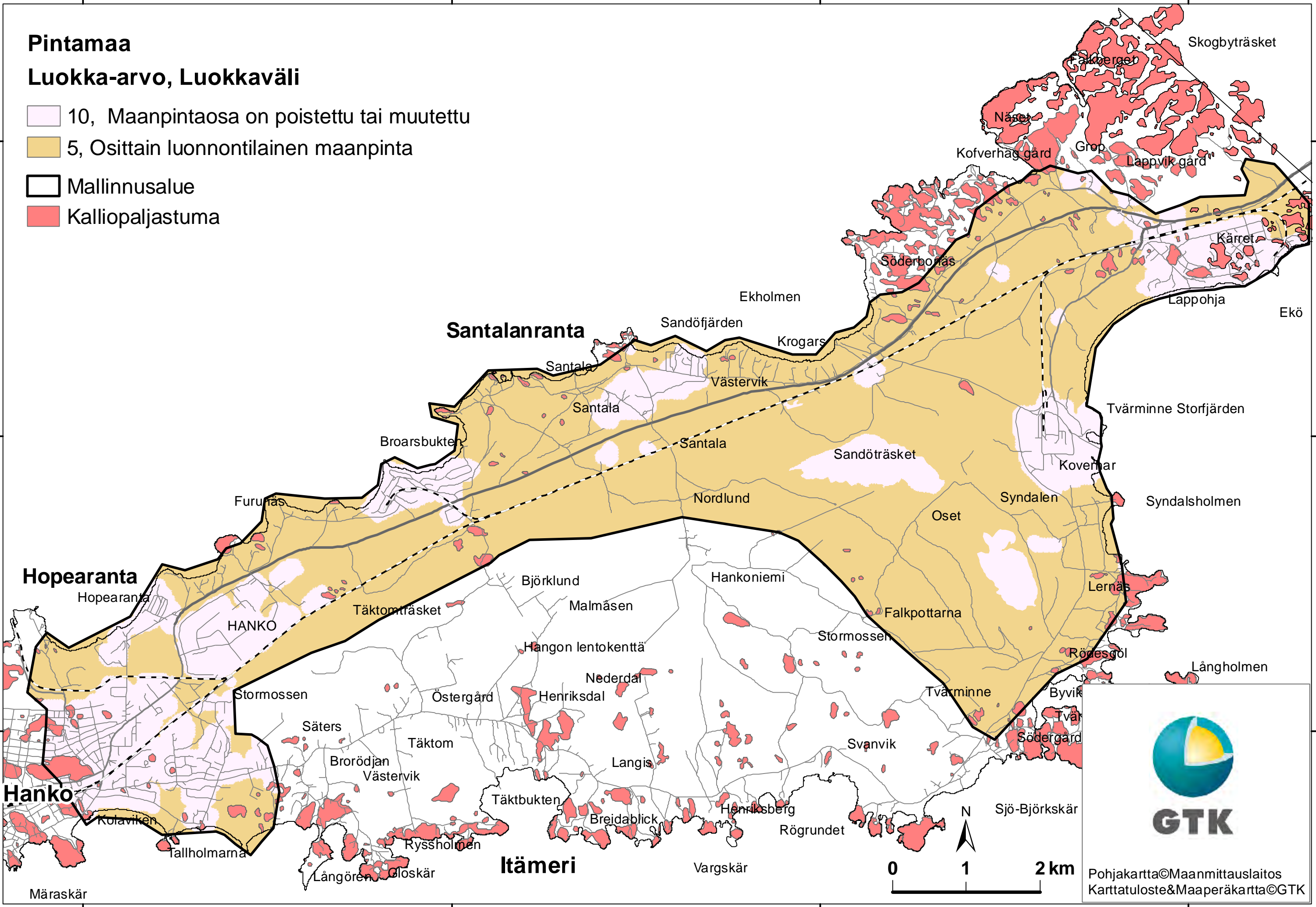
6640000

6640000

Pintamaa

Luokka-arvo, Luokkaväli

- 10, Maanpintaosa on poistettu tai muutettu
- 5, Osittain luonnontilainen maanpinta
- Mallinnusalue
- Kalliopaljastuma

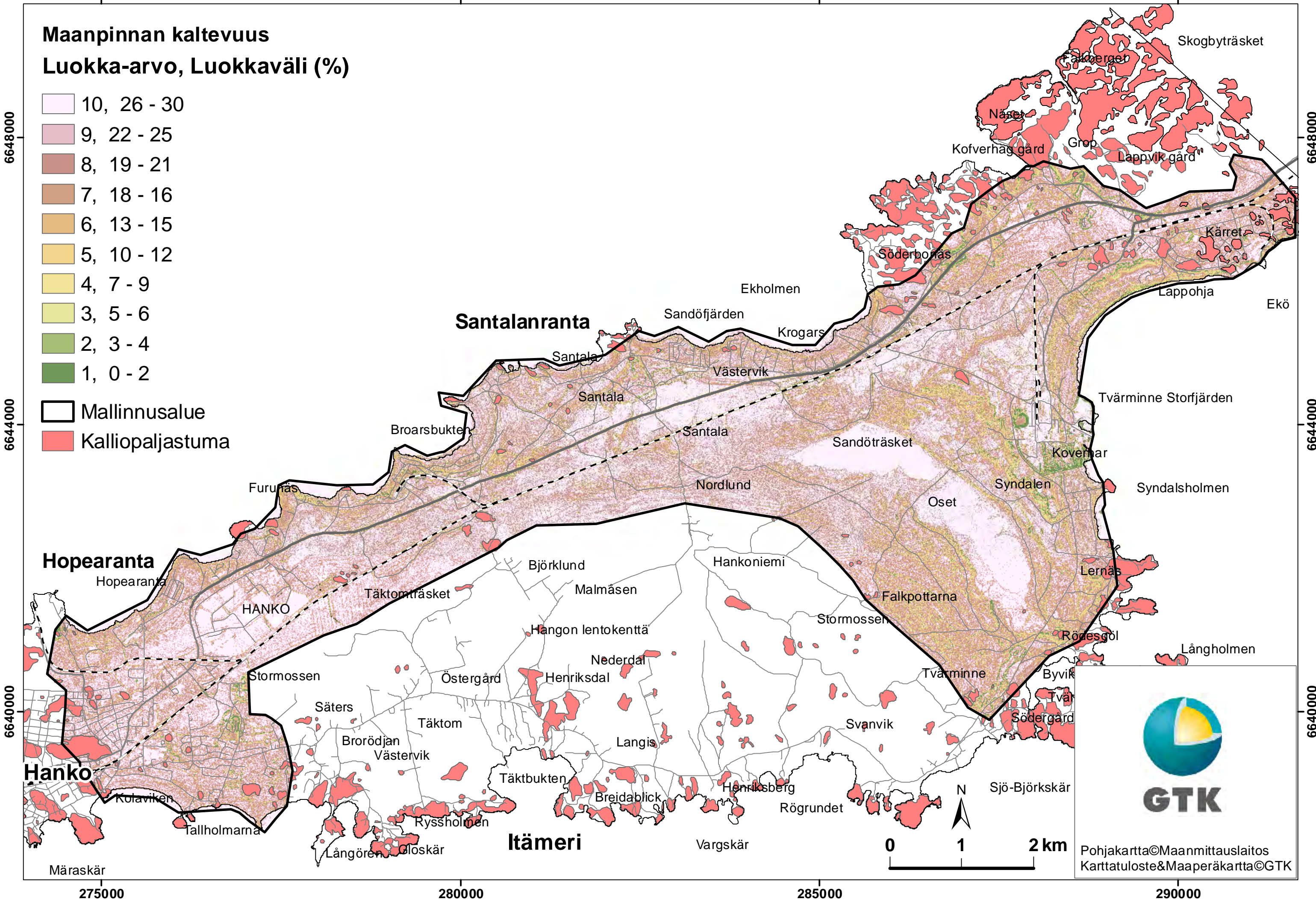


GTK

Maanpinnan kaltevuus Luokka-arvo, Luokkaväli (%)

- 10, 26 - 30
- 9, 22 - 25
- 8, 19 - 21
- 7, 18 - 16
- 6, 13 - 15
- 5, 10 - 12
- 4, 7 - 9
- 3, 5 - 6
- 2, 3 - 4
- 1, 0 - 2

- Mallinnusalue
- Kalliopaljastuma




GTK

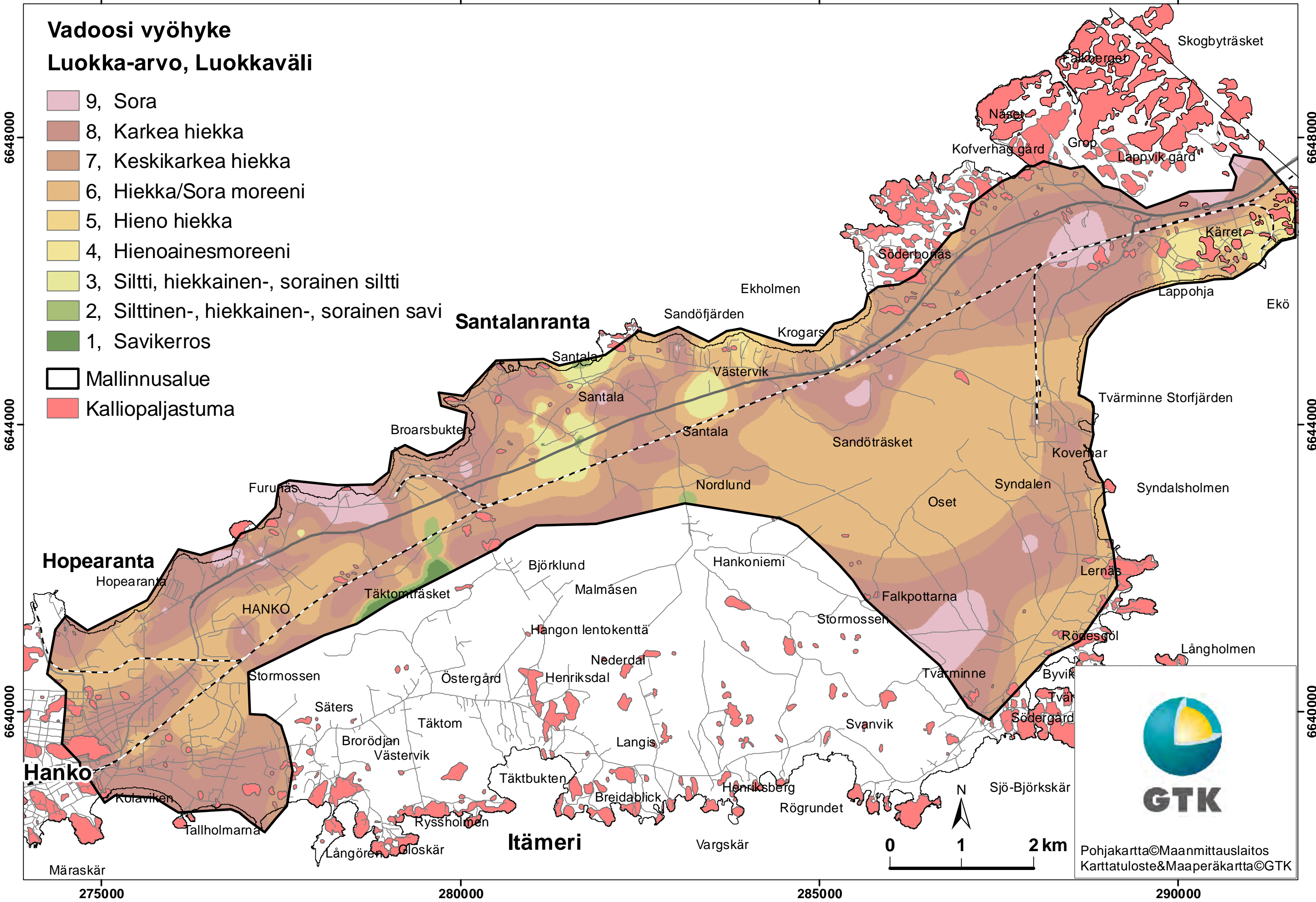
Pohjakartta©Maanmittauslaitos
Karttatuloste&Maaperäkartta©GTK

Vadoosi vyöhyke

Luokka-arvo, Luokkaväli

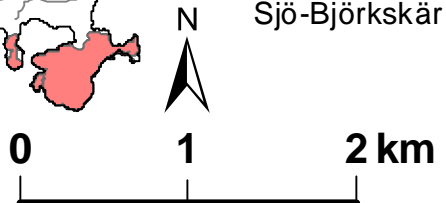
- 9, Sora
- 8, Karkea hiekka
- 7, Keskikarkea hiekka
- 6, Hiekka/Sora moreeni
- 5, Hieno hiekka
- 4, Hienoainesmoreeni
- 3, Siltti, hiekkainen-, sorainen siltti
- 2, Silttinen-, hiekkainen-, sorainen savi
- 1, Savikerros

- Mallinnusalue
- Kalliopaljastuma



GTK

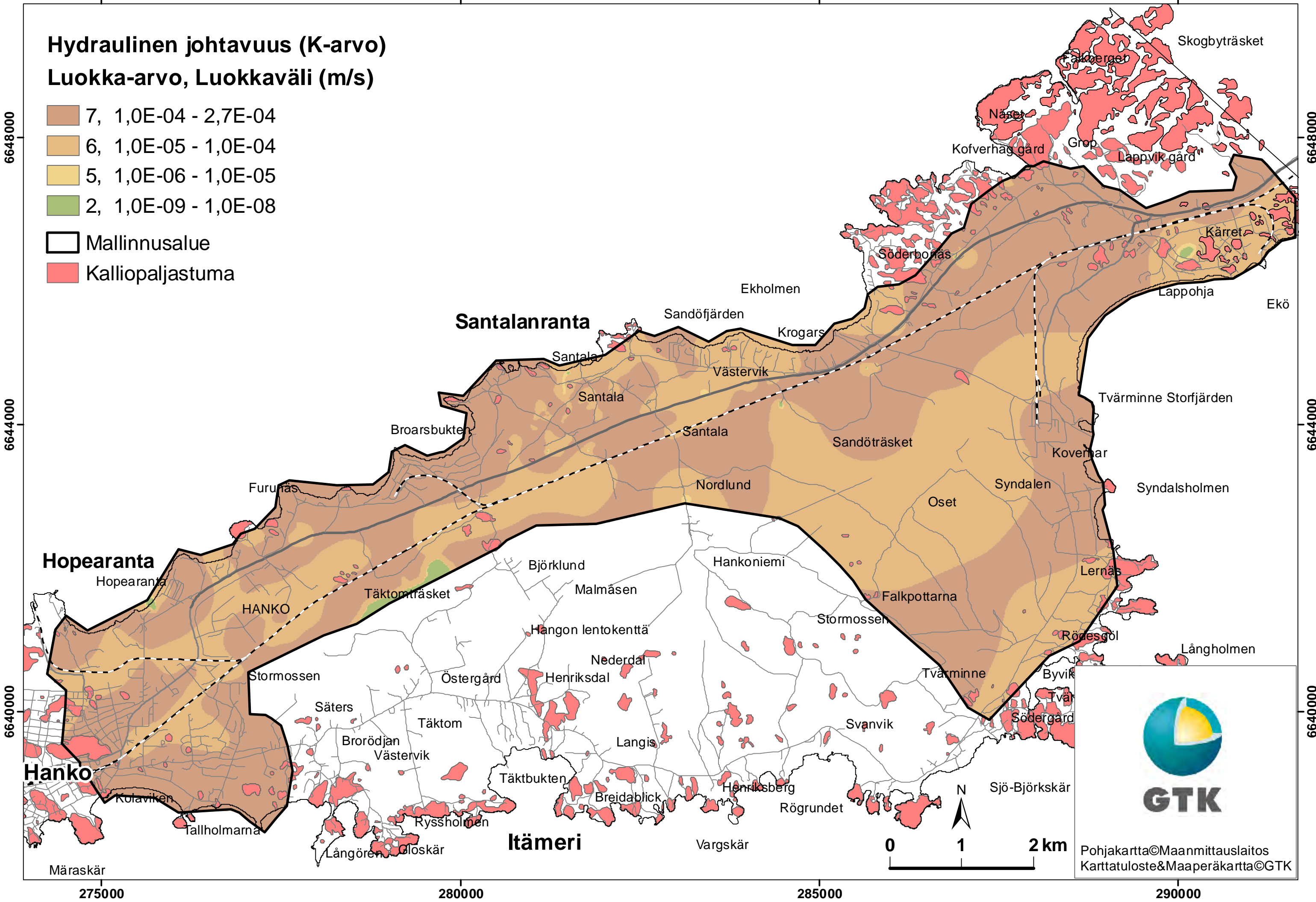
Pohjakartta©Maanmittauslaitos
Karttatuloste&Maaperäkartta©GTK



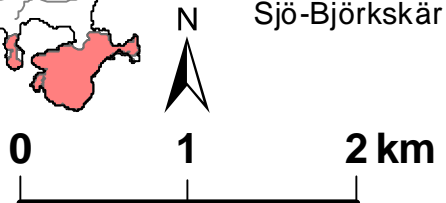
Hydraulinen johtavuus (K-arvo)

Luokka-arvo, Luokkaväli (m/s)

- 7, 1,0E-04 - 2,7E-04
- 6, 1,0E-05 - 1,0E-04
- 5, 1,0E-06 - 1,0E-05
- 2, 1,0E-09 - 1,0E-08
- Mallinnusalue
- Kalliopaljastuma



GTK
 Pohjakartta©Maanmittauslaitos
 Karttatuloste&Maaperäkartta©GTK



275000

280000

285000

290000

Liite 6

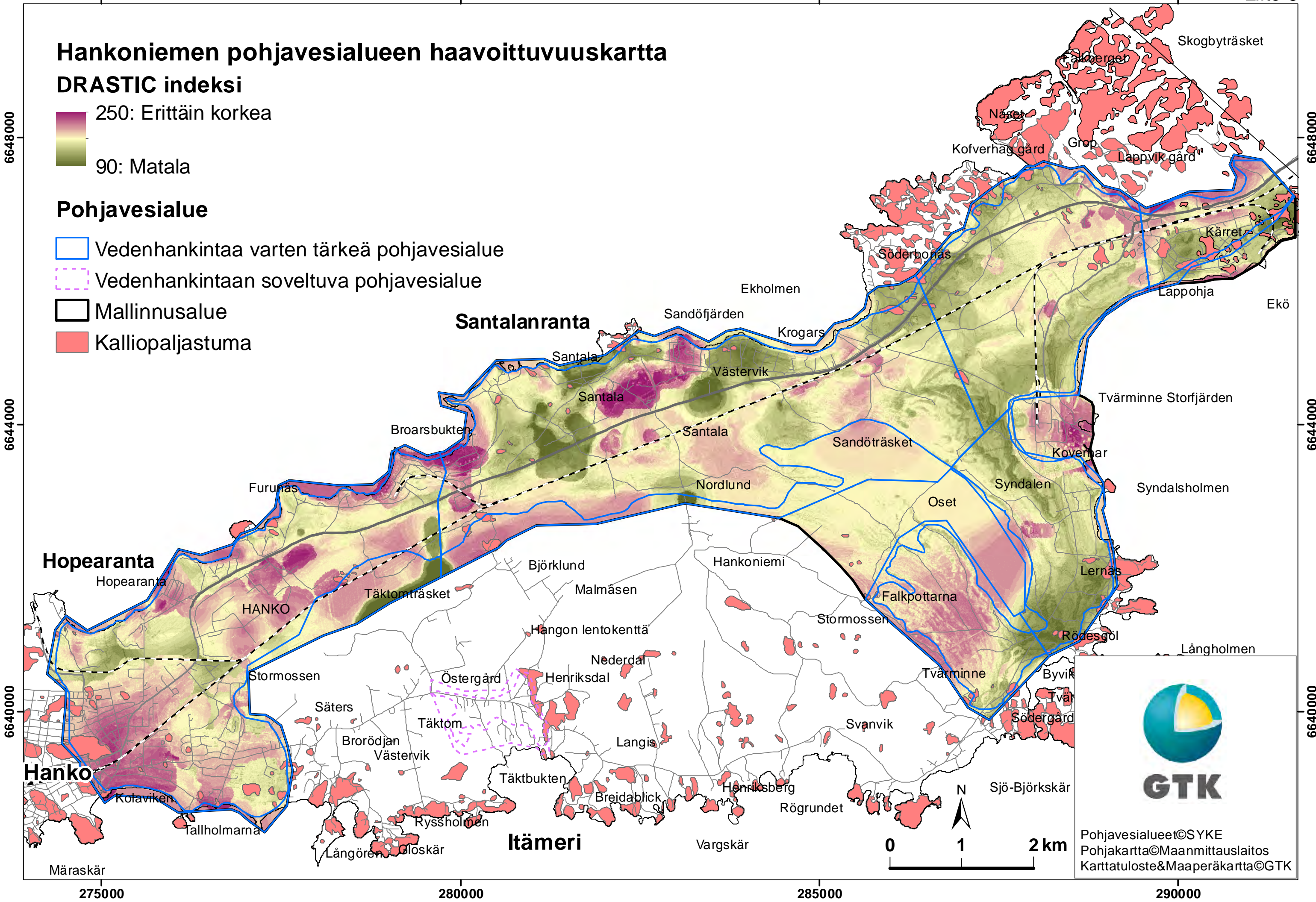
Hankoniemen pohjavesialueen haavoittuvuuskartta

DRASTIC indeksi

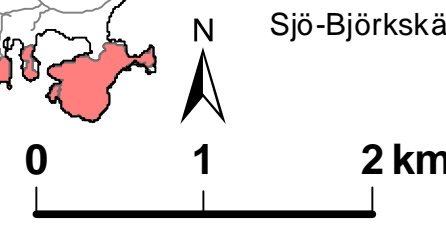


Pohjavesialue

- Vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue
- Vedenhankintaan soveltuva pohjavesialue
- Mallinnusalue
- Kalliopaljastuma



GTK
Pohjavesialueet©SYKE
Pohjakartta©Maanmittauslaitos
Karttatuloste&Maaperäkartta©GTK



275000

280000

285000

290000

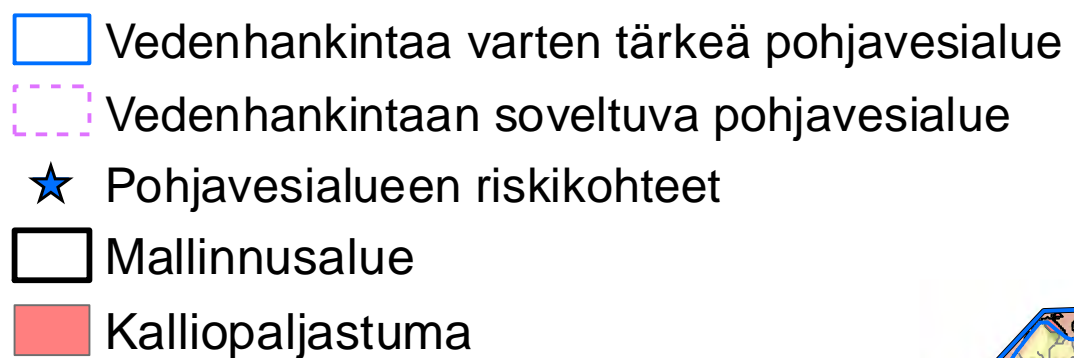
Liite 7

Hankoniemen pohjavesialueen haavoittuvuuskartta

DRASTIC indeksi



Pohjavesialue



6648000

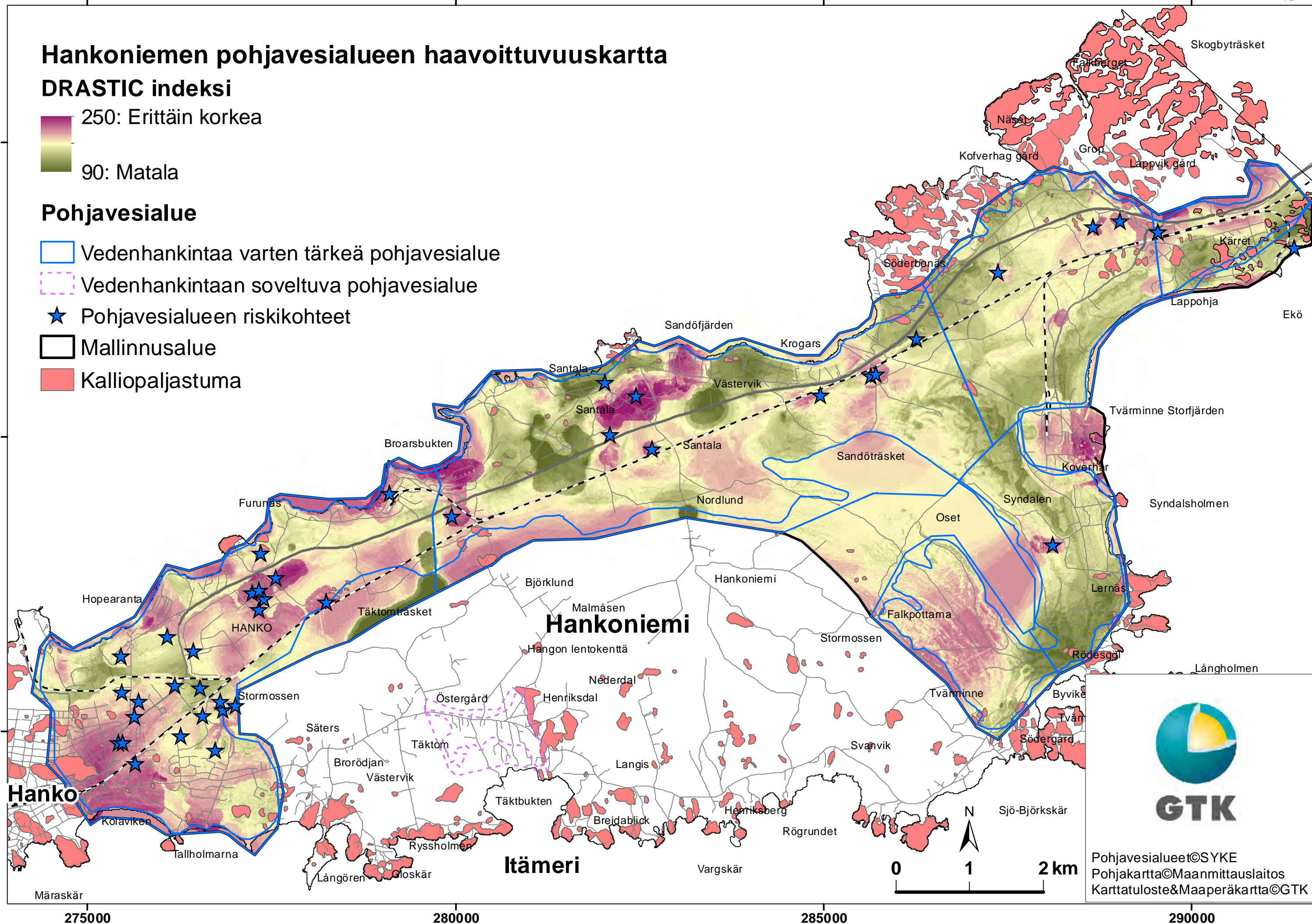
6648000

6644000

6644000

6640000

6640000



Pohjavesialueet©SYKE
Pohjakartta©Maanmittauslaitos
Karttatuloste&Maaperäkartta©GTK

275000

280000

285000

290000