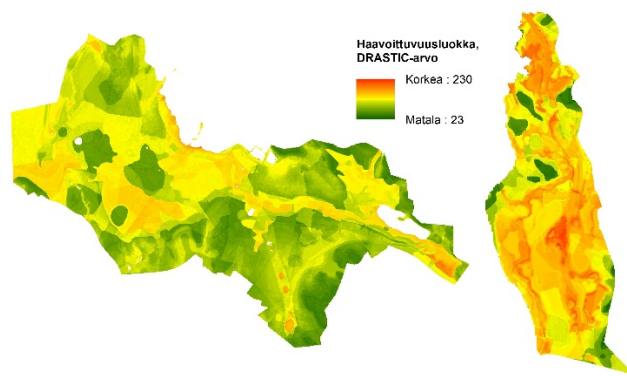


# Pohjavesimuodostuman haavoittuvuusanalyysi DRASTIC-menetelmällä – tutkimuskohteina Mikkelin Hanhikangas ja Lahti

Anu Eskelinen, Tom Rauhaniemi, Samrit Luoma, Arto Hyvönen, Jaana Jarva



15.12.2021

## GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

## KUVAILULEHTI

Tekijät Anu Eskelinen, Tom Rauhaniemi, Samrit Luoma, Arto Hyvönen, Jaana Jarva		Raportin laji GTK:n työraportti	
		Toimeksiantaja CBC RAINMAN -projekti	
Raportin nimi Pohjavesimuodostuman haavoittuvuusanalyysi DRASTIC-menetelmällä – tutkimuskohteina Mikkelin Hanhikangas ja Lahti			
Tiivistelmä Geologian tutkimuskeskus on tehnyt Hanhikankaan ja Lahden pohjavesialueille DRASTIC-haavoittuvuusanalyysin, joka on tarkoitettu pohjaveden pilaantumispotentiaalin yleispiirteiseen tarkasteluun.  Haavoittuvuusherkkyykarttoja hyödynnettiin pohjavettä mahdollisesti uhkaavien päästölähteiden alustavaan riskitarkasteluun nk. MATTI-kohteiden osalta. Pohjavesialueiden suojelusuunnitelmia laadittaessa ja päivitettäessä haavoittuvuusanalyysin hyödyntäminen on perusteltua toimintojen riskinarvioinnissa.  Ilmastonmuutos vaikuttaa lisääntyvän sadannan kautta DRASTIC-analyysin D- ja R-parametreihin, mutta tehtyjen mallinnusten mukaan nämä muutokset eivät vaikuta merkittävästi tässä raportissa esitettyjen tutkimusalueiden haavoittuvuusherkkyyteen lähivuosisikymmenten aikana.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) DRASTIC, haavoittuvuusanalyysi, pohjavesi			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Suomi, Päijät-Häme, Lahti, pohjavesialue Lahti (ELY-tunnus 0439801), Etelä-Savo, Mikkeli, pohjavesialue Hanhikangas (ELY-tunnus 0649101)			
Karttalehdet (KKJ) 3111 03, 3111 06, 3142 05 / (UTM) L4424 B, L4422 F H, M4311 E G, M4313 A			
Muut tiedot			
Arkistosarjan nimi GTK:n työraportti		Arkistotunnus 59/2021	
Kokonaissivumäärä 62 s. + 3 liitettä	Kieli Suomi	Hinta -	Julkisuus julkinen
Yksikkö Vesiratkaisut (VER)		Projektinumero 50403-30120	
Allekirjoitus/nimen selvennys  Eeva Käpyaho, yksikön päällikkö		Allekirjoitus/nimen selvennys  Anu Eskelinen, ryhmäpäällikkö	

15.12.2021

## Abstract

The Geological Survey of Finland (GTK) has analysed the overall groundwater vulnerability of two aquifers in Mikkeli and in Lahti (Hanhikangas and Lahti aquifers). The study is part of the RAINMAN project (Towards higher adaptive capacity in urban water management) which is funded by the South-East Finland – Russia CBC 2014-2020 programme. RAINMAN develops solutions to preserve freshwater resources in changing climatic conditions.

The analysis was done with the standardized DRASTIC method which enables a description of the groundwater pollution potential caused by the hydrogeological setting of the aquifer. The method takes into account hydrogeological parameters that affect the vertical movement of water from the ground surface to the groundwater. It does not take into account the horizontal movement of water in the vadose zone, the sources of discharges, the location of water intakes or other exposures, nor the direction of the groundwater flow. The DRASTIC vulnerability analysis can be applied if there is sufficient hydrogeological data.

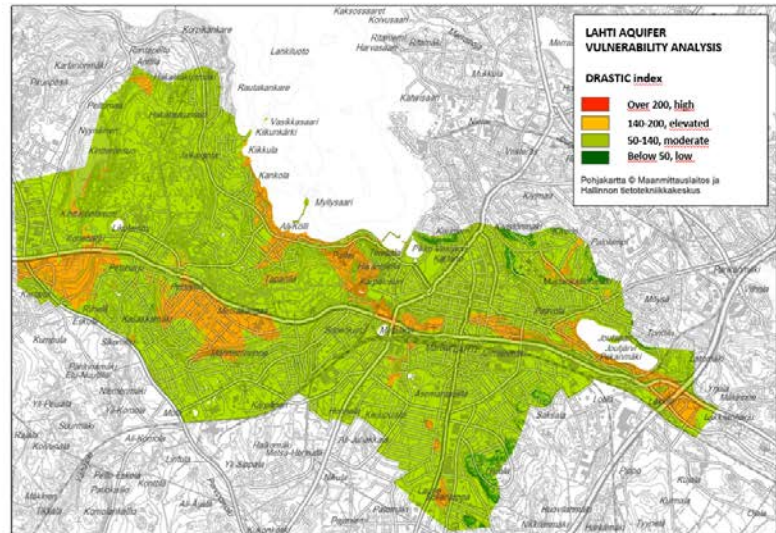
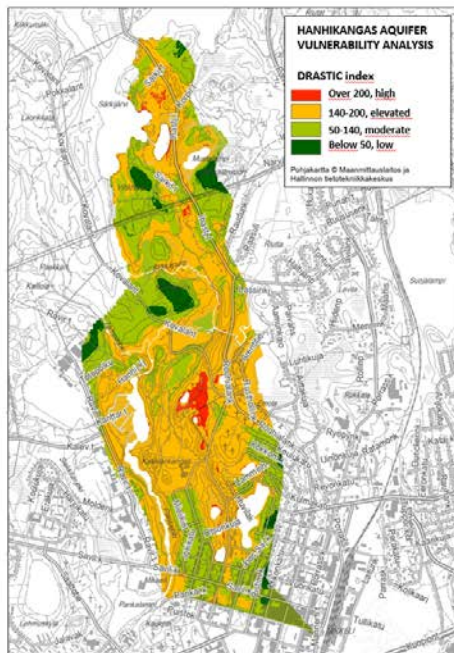
The DRASTIC-method is based on seven hydrogeological parameters:

- 1) **D**epth to water (thickness of the unsaturated, vadose zone; groundwater level)
- 2) net **R**echarge (the amount of water that infiltrates the ground surface and reaches the aquifer)
- 3) **A**quifer media (soil medium in the saturated, groundwater zone)
- 4) **S**oil media (land use and uppermost soil layer)
- 5) **T**opography/Slope (slope of the land surface)
- 6) **I**mpact of the vadose zone (soil medium in the unsaturated, vadose zone)
- 7) hydraulic **C**onductivity (hydraulic conductivity of the saturated, groundwater zone)

These parameters are classified, and a weight factor is assigned based on the parameter's importance related to groundwater vulnerability. As a result, aquifers can be classified into categories that qualitatively describe their vulnerability. This so-called DRASTIC index can obtain numerical values between 23 and 230. These numerical values are divided into vulnerability categories. This classification enables the identification of the most vulnerable areas of an aquifer. In this work, vulnerability was divided into four categories describing vulnerability potential: low (<50), moderate (50–140), elevated (140–200), and high (> 200). The DRASTIC index is also presented with gradation that corresponds with the four vulnerability categories.

If the DRASTIC analysis is to be used to compare the vulnerability of different aquifers, the analysis must be performed using the same methodology for parameter classification and standardized weight factors. In this work, the hydrogeological data from both study sites was comparable. Also, the DRASTIC analysis was performed using the same parameter classification, weight factors, and vulnerability categories. The vulnerability of the Hanhikangas aquifer is mainly elevated (DRASTIC index 140–200). The only highly vulnerable area (DRASTIC index over 200) is located in the vicinity of the municipal water works. The vulnerability of the Lahti aquifer is mainly moderate or low (DRASTIC index less than 140). There is no highly vulnerable area in the Lahti aquifer. The differences in vulnerability between these two aquifers are due to the geological and hydrogeological differences.

15.12.2021



Vulnerability analysis can be applied to groundwater protection by combining potential risk activities to groundwater quality with the vulnerability maps. By adding groundwater flow directions to the map, the risk analysis can be used to assess the probability of contaminant transport to the water intake wells. Many human activities (including industry, transport, contaminated sites, stormwater, oil tanks etc.,) pose a risk to groundwater.

In the RAINMAN project, the vulnerability maps were combined with the data from the national soil condition database MATTI. The MATTI database contains information on land areas that are potentially contaminated, confirmed as contaminated, remediated, or confirmed as remediated. Based on the risk analysis special attention should be paid to those MATTI-sites where some remediation actions are needed, and which are located in a high or elevated vulnerability area. For these sites, it is necessary to make a site-specific assessment. For other risk activities that are not included in the MATTI database, a similar analysis should be performed when groundwater protection plans for the Hanhikangas and Lahti aquifers are updated.

One of the goals in the RAINMAN project is to develop solutions to ensure good groundwater status despite the effects of climate change. Increasing precipitation as a result of climate change can mainly cause changes in the D (depth to water, i.e., groundwater level) and the R (net recharge, i.e., precipitation) parameters in the DRASTIC analysis. According to the modelling performed in the RAINMAN project, changes in these values are, however, likely to be relatively small within the next few decades. Therefore, the DRASTIC vulnerability analysis for the current climatic conditions is also a sufficient tool for assessing the groundwater risk posed by climate change in the next decades.



15.12.2021

**Sisällysluettelo****Kuvailulehti**

1	Johdanto	1
2	DRASTIC-menetelmä	2
3	Tutkimusalueiden geologia	6
3.1	Mikkelin Hanhikangas	6
3.2	Lahti	8
4	DRASTIC-analyysin parametrit	10
4.1	Pohjaveden etäisyys maanpinnasta (D)	10
4.1.1	Mikkeli	10
4.1.2	Lahti	11
4.2	Muodostuvan pohjaveden määrä (R)	12
4.2.1	Mikkeli	13
4.2.2	Lahti	15
4.3	Maalaji pohjavesivyöhykkeessä (A)	16
4.3.1	Mikkeli	16
4.3.2	Lahti	18
4.4	Maankäyttö ja pintamaa (S)	19
4.4.1	Mikkeli	21
4.4.2	Lahti	23
4.5	Maanpinnan kaltevuus (T)	24
4.5.1	Mikkeli	24
4.5.2	Lahti	26
4.6	Maalaji vajovesivyöhykkeessä (I)	26
4.6.1	Mikkeli	27
4.6.2	Lahti	29
4.7	Hydraulinen johtavuus pohjavesivyöhykkeessä (C)	29
4.7.1	Mikkeli	30
4.7.2	Lahti	32
5	DRASTIC-analyysi Mikkeli ja Lahti	33
5.1	Mikkeli	33

15.12.2021

5.2	Lahti	37
6	Haavoittuvuusanalyysin hyödyntäminen pohjaveden suojelussa	39
6.1	Mikkeli – MATTI-kohteet ja DRASTIC-haavoittuvuusanalyysi	41
6.2	Lahti – MATTI-kohteet ja DRASTIC-haavoittuvuusanalyysi	44
6.3	Pohjavedelle riskiä aiheuttavat toiminnot ja toimenpidesuositukset	49
6.4	Ilmastonmuutoksen aiheuttaman pohjavesiriskin arviointi DRASTIC-haavoittuvuusanalyysiä hyödyntäen	50
7	Pohjavesialueiden haavoittuvuuden vertailu	55
7.1	Haavoittuvuusluokat	55
7.2	Eri tutkimusalueille tehtyjen haavoittuvuusanalyysien vertailukelpoisuus	56
8	Yhteenveto	58
9	Viiteluettelo	60

**LIITE 1.** DRASTIC-haavoittuvuusanalyysin muuttujat, niiden luokittelu ja painoarvo.

**LIITE 2.** DRASTIC-haavoittuvuusluokkien ja osa-arvojen HSV-väriarvot.

**LIITE 3.** DRASTIC-haavoittuvuusanalyysin hydrogeologisten parametrien laskenta Esrin *ArcGis*<sup>®</sup>-tuoteperheen *Desktop 10.6.1*-ohjelmalla

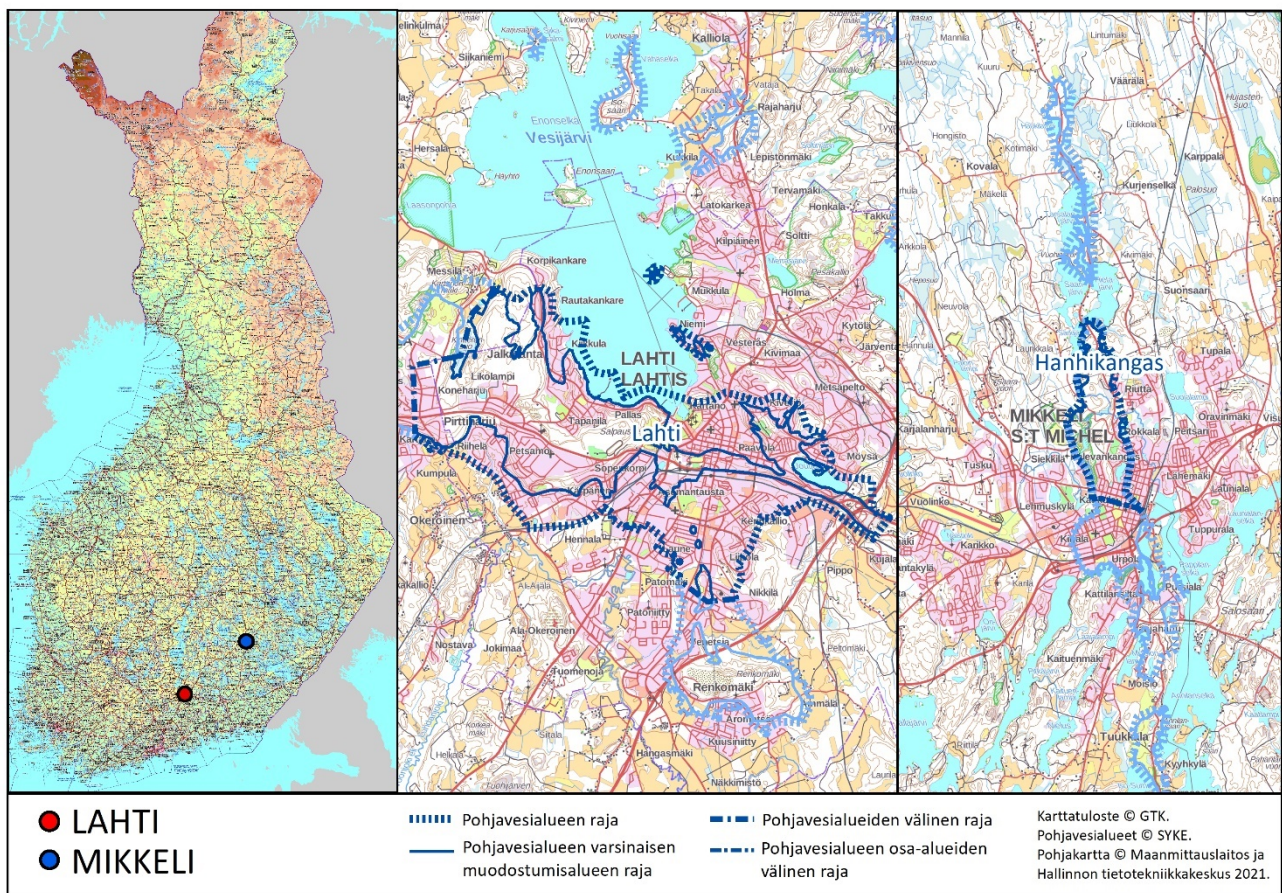
*Kansikuva:* DRASTIC-analyysiin perustuvat Hanhikankaan ja Lahden pohjavesialueiden haavoittuvuusluokittelut.

*Jollei toisin ole mainittu, raportin karttakuvien karttatuloste, maaperäkartta ja kallioperäkartta © GTK, pohjavesialueet © SYKE, pohjakartta © Maanmittauslaitos ja Hallinnon tietotekniikkakeskus.*

15.12.2021

## 1 JOHDANTO

Tässä raportissa esitetään kahden pohjavesimuodostuman (Hanhikangas (Mikkeli) ja Lahti (Lahti)) haavoittuvuusanalyysi, joka on toteutettu DRASTIC-menetelmää käyttäen. Työ on tehty osana Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) koordinoimaa RAINMAN-projektia (Towards higher adaptive capacity in urban water management). RAINMAN-projekti on saanut rahoitusta *Kaakkois-Suomi – Venäjä CBC 2014-2020* -rahoitusohjelmasta. Projektissa kehitetään ja toteutetaan ratkaisuja, joiden päämääränä on turvata pinta- ja pohjavesien hyvä tila muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa. Mikkelissä ja Lahdessa (**kuva 1**) on projektin aikana tuotettu tietoa pohjavesialueiden (Hanhikangas ja Lahti) suojeleusuunnitelmien päivitystä varten.



**Kuva 1.** Mikkelin Hanhikankaan ja Lahden Lahti pohjavesialueet.

**Figure 1.** The location of the Hanhikangas (Mikkeli) and the Lahti aquifers (Lahti).

Pohjavesialueen haavoittuvuusanalyysi on menetelmä pohjaveden pilaantumispotentiaalın arviointiin. Sitä voidaan hyödyntää pohjaveden suojelussa, maankäytön suunnittelussa sekä arvioitaessa päästöjen vaikutusta pohjaveden laatuun. Mikkelin Hanhikankaan ja Lahden Lahti pohjavesialueiden haavoittuvuusanalyysi tehtiin soveltaen DRASTIC-menetelmää, joka on US EPA:n standardoima

15.12.2021

menetelmä (Aller et al. 1985). Yhdysvalloissa kehitettyä DRASTIC-analyysiä on muokattu soveltumaan paremmin Suomen harjuakviferiolosuhteisiin (Luoma et al. 2017). Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueelle on laadittu POAKORI-projektissa (Kemiallisesti huonossa tilassa olevien pohjavesialueiden riskienhallinta) kohteellinen haavoittuvuusanalyysi DRASTIC-menetelmää hyödyntäen (Hyvönen & Luoma 2019). Tehtyä analyysiä päivitettiin RAINMAN-projektin yhteydessä Hanhikankaan pohjavesialueen suojelusuunnitelmaa varten. Lahden Lahti pohjavesialueelle ei ole aiemmin tehty haavoittuvuusanalyysiä DRASTIC-menetelmällä.

DRASTIC-haavoittuvuusanalyysi on tarkoitettu pohjavesimuodostuman luontaisista geologisista ja hydrogeologisista olosuhteista aiheutuvan pohjaveden pilaantumispotentiaalin yleispiirteiseen tarkasteluun. Menetelmä huomioi hydrogeologiset parametrit, jotka vaikuttavat maanpinnalta pohjaveteen kulkeutuvan veden liikkumisen maaperässä vertikaalisesti. Se ei ota huomioon vajovedessä tapahtuvaa horisontaalista veden liikettä, päästölähteitä, vedenottamoiden tai muiden altistujien sijaintia eikä pohjaveden virtaussuuntia (mm. Koivulehto 2020).

DRASTIC-haavoittuvuusanalyysi voidaan laatia, mikäli alueen hydrogeologiasta ja geologiasta on riittävän kattavasti tietoa (Koivulehto 2020). GTK on tehnyt pohjavesimuodostumien rakenneselvityksiä 1990-luvun alusta lähtien ja niitä on tähän mennessä tehty yli 200 kohteeseen. Rakenneselvityksissä tutkitaan pohjavesialueiden geologiaa ja hydrogeologiaa. Rakenneselvitysten tuotettuja aineistoja voidaan hyödyntää myös DRASTIC-haavoittuvuusanalyysiin (Luoma et al. 2017). GTK:n tekemien harjurakenneselvitysten tutkimustiedot ovat koottuna Lähde-palveluun ([lahde.gtk.fi](http://lahde.gtk.fi)).

RAINMAN-projektissa DRASTIC-analyysin lopputuloksena tuotettua haavoittuvuusherkkyyskarttaa hyödynnettiin myös pohjavettä mahdollisesti uhkaavien päästölähteiden alustavaan riskitarkasteluun. Tarkasteluun otettiin nk. MATTI-kohteet eli Maaperän tilan tietojärjestelmän sisältämät kohteet (Suomen ympäristökeskus 2020). Valtakunnalliseen maaperän tilan tietojärjestelmään (MATTI) on koottu pilaantuneen maaperän tietoja noin 28 000 maa-alueesta, joilla maaperä saattaa olla pilaantunut, maaperän tiedetään pilaantuneen tai maaperä on kunnostettu. MATTI-kohteiden lisäksi mahdollisia pohjavettä uhkaavia päästölähteitä ovat mm. valtatiet, hautausmaat ja lentokentät (Koivulehto 2020). Tässä työssä tarkastelu tehtiin ainoastaan MATTI-kohteille. MATTI-kohteiden tai muun toiminnan voi olla mahdollinen päästölähde, vaikka varsinaista päästöä ei olisi tapahtunut. Vastaavia pohjavettä mahdollisesti uhkaavia toimintoja tulisikin aina tarkastella kriittisesti jo siinä vaiheessa, kun niiden sijoittamista pohjavesialueille pohditaan kaavoittamistyössä (mm. Koivulehto 2020).

## 2 DRASTIC-MENETELMÄ

Pohjaveden haavoittuvuusanalyysissä käytetään maailmalla erilaisia menetelmiä, jotka soveltuvat erityyppisiin hydrogeologisiin olosuhteisiin. Yksi suosituimmista on pitkälle kehitetty ja standardoitu menetelmä DRASTIC, joka sopii myös maaperäakviferien (esim. harjualueet) pilaantumispotentiaalin arviointityökaluksi. DRASTIC-menetelmässä arvioidaan vain pohjavesimuodostuman geologisia ja hydrogeologisia olosuhteita (Intrinsic). Menetelmä ei huomioi pohjavesialueella sijaitsevia riskitoimintoja, pohjaveden virtaussuuntia tai vedenottamoiden sijaintia (lähi/kaukosuojavyöhyke) (Luoma et al. 2017, Hyvönen & Luoma 2019).

15.12.2021

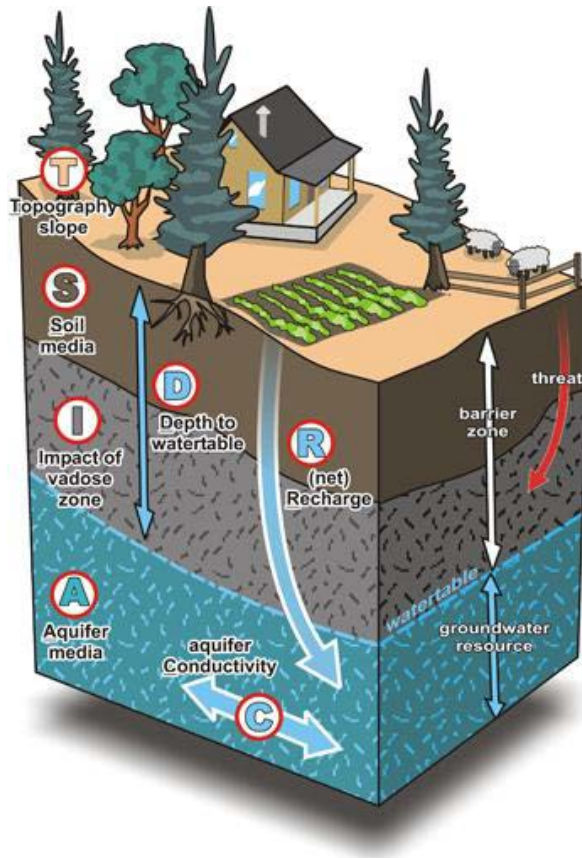
DRASTIC-menetelmässä pohjavesimuodostuman haavoittuvuus arvioidaan seitsemän hydrogeologisen parametrin perusteella (Aller et al. 1985, **kuva 2**), joiden pohjalta voidaan päätellä maan päällä tapahtuvan päästön vertikaalinen kulkeutumisherkyys pohjaveteen (mm. Luoma et al. 2017, Hyvönen & Luoma 2019):

- 1) Pohjaveden etäisyys maanpinnasta (**D**epth to water)
- 2) Muodostuvan pohjaveden määrä (net **R**echarge)
- 3) Maalaji pohjavesivyöhykkeessä (**A**quifer media)
- 4) Maankäyttö ja pintamaa (**S**oil media)
- 5) Maanpinnan kaltevuus (**T**opography/Slope)
- 6) Maalaji vajovesi- eli vadoosivyöhykkeessä (**I**mpact of the vadose zone)
- 7) Hydraulinen johtavuus pohjavesivyöhykkeessä (hydraulic **C**onductivity)

Lisäksi DRASTIC-analyysissä eri hydrogeologisille parametreille annetaan painoarvo perusten niiden merkittävyyteen pohjaveden haavoittuvuusherkyiden kannalta. US EPA:n standardissa DRASTIC-parametrien painoarvot on määritelty asiantuntijapaneelissa Delphi-menetelmää käyttäen, ja ne ovat vakiot tutkimusalueesta riippumatta (Aller et al. 1987). DRASTIC-menetelmän parametrit, niiden yleisimmät tietolähteet sekä painoarvo kokonaisanalyysissä on esitetty **taulukossa 1**.



15.12.2021



**Kuva 2.** DRASTIC-menetelmän hydrogeologiset parametrit. Kuva © Franklin, R. & Turner, R. Geological Survey of Canada, muokattu Cyrille Médard de Chardon (2009) perusteella.

**Figure 2.** The hydrogeological parameters of the DRASTIC method. Picture © Franklin, R. & Turner, R. Geological Survey of Canada, modifications based on Cyrille Médard de Chardon (2009).

15.12.2021

**Taulukko 1.** DRASTIC-menetelmän hydrogeologisten parametrien kuvaus, yleisimmät tiedon lähteet sekä parametrien painoarvot.

**Table 1.** The hydrogeological parameters of the DRASTIC method, data sources and weight factor.

Parametri	Selite	Tiedon lähde	Painoarvo
D	Pohjaveden etäisyys maanpinnasta (Depth to water)  Matka, jonka veden tai haitta-aineen on kuljettava maaperässä päätyäkseen pohjaveteen	Harjujen rakenneselvitystutkimusten yhteydessä laaditut aineistot pohjavedenpinnantasosta  Pohjaveden virtausmallin tuottama pohjavedenpinnan korkeusasema	5
R	Muodostuvan pohjaveden määrä (net Recharge)  Vesimäärä, joka suotautuu pohjavedeksi sadannasta (ml. lumen sulamisvedet)	Säähavaintoasemien sadantatiedosta laskettu vuosisadanta (IL)  Muodostuvan pohjaveden määrä (10–60 % keskisadannasta) riippuen maalajista	4
A	Maalaji pohjavesivyöhykkeessä (Aquifer media)  Pohjaveden haavoittuvuusherkyys kasvaa maaperän vedenläpäisevyyden kasvaessa	Kairaustieto  Geofysikan mittaukset  Maaperäkartta 1:20 000	3
S	Maankäyttö ja pintamaa (Soil media)  Maannoksen ja maankäyttömuotojen vaikutus veden imeytymiseen	CORINE Land cover 2018 aineisto (20x20 m)	2
T	Maanpinnan kaltevuus (Topography)  Maanpinnan muoto ja kaltevuus vaikuttavat veden imeytymiseen ja pintavalunnan määrään	Lidar (2x2 m Maanmittauslaitos)	1
I	Maalaji vajovesivyöhykkeessä (Impact of the vadose zone)  Pohjaveden haavoittuvuusherkyys kasvaa maaperän vedenläpäisevyyden kasvaessa	Kairaustieto  Geofysiikan mittaukset  Maaperäkartta 1:20 000	5

15.12.2021

Parametri	Selite	Tiedon lähde	Painoarvo
C	Hydraulinen johtavuus pohjavesivyöhykkeessä (hydraulic Conductivity)  Pohjavesikerroksen maalajien hydraulinen vedenjohtavuus	Maaperäkartta 1:20 000  Kairaustieto  Kirjallisuus	3

Haavoittuvuusanalyysissä tutkittavan pohjavesimuodostuman hydrogeologisten parametrien ominaisuudet arvioidaan ja luokitellaan. Luokka-arvot (*r*, rating) ovat välillä 1–10, jossa 10 merkitsee helpoimmin haavoittuvaa ja 1 vähiten haavoittuvaa ominaisuutta. Jokaista parametria painotetaan lisäksi painoarvolla 1–5 (*w*, weight). Painoarvo 5 edustaa merkittävintä tekijää pohjaveden haavoittuvuuden kannalta ja 1 vähiten merkittävää tekijää. Eri parametrien luokka- ja painoarvojen tulojen summista saadaan DRASTIC-indeksi (Aller et al. 1987). Liitteessä 1 on esitetty tarkemmin eri parametrien luokka-arvot.

$$\text{DRASTIC-indeksi} = (Dr \times Dw) + (Rr \times Rw) + (Ar \times Aw) + (Sr \times Sw) + (Tr \times Tw) + (Ir \times Iw) + (Cr \times Cw)$$

missä *r* on luokka-arvo (1–10) ja *w* on painoarvo (1–5)

DRASTIC-haavoittuvuusanalyysin lopputuloksena pohjavesimuodostuma jakautuu DRASTIC-indeksin mukaisiin osa-alueisiin, jotka voivat saada lukuarvoja välillä 23–230. Nämä lukuarvot jaetaan haavoittuvuusluokkiin, joiden perusteella laaditaan pohjavesimuodostuman haavoittuvuusanalyysikartta. RAINMAN-projektissa Mikkelin Hanhikankaan ja Lahden pohjavesimuodostumien DRASTIC-indeksin lukuarvot on jaettu neljään haavoittuvuuspotentiaalia kuvaavaan luokkaan: matala (<50), keskinkertainen (50–140), kohonnut (140–200) ja korkea (>200).

### 3 TUTKIMUSALUEIDEN GEOLOGIA

#### 3.1 Mikkelin Hanhikangas

Hanhikankaan pohjavesialue (ELY-tunnus 0649101) sijaitsee Mikkelin kaupungin keskusta-alueen tuntumassa. Se on luokiteltu vedenhankintaa varten tärkeäksi pohjavesialueeksi (1-luokka). Pohjavesialueen pinta-ala on noin 3,5 km<sup>2</sup>, josta pohjaveden varsinaisen muodostumisalueen pinta-ala on 3,21 km<sup>2</sup>. Arvio Hanhikankaalla muodostuvan pohjaveden määrästä on 1 700 m<sup>3</sup>/d. Hanhikankaan pohjavesialue on eteläosastaan yhteydessä Pursialan pohjavesialueeseen (0649151) (Suomen ympäristökeskus 2021a).

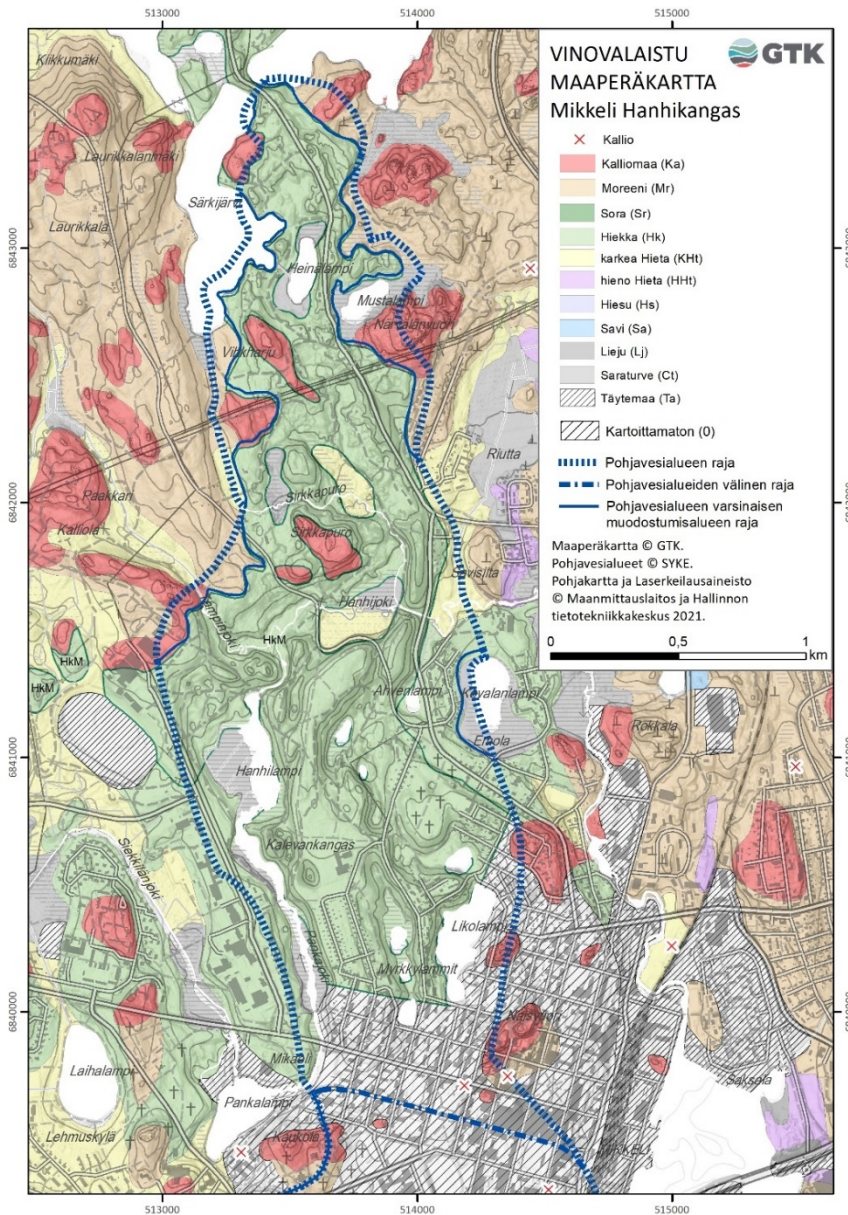
Mikkelin seudun harjumuodostuma on kerrostunut lähes pohjoiseteläsuuntaisena jaksona, joka laajenee Mikkelin keskustan pohjoispuolella Hanhikankaan-Kalevankankaan harjudelta-muodostumaksi. Tästä muodostumasta on erotettavissa varsinainen ydinharjuselänne ja sen vierelle Yoldiameri-vaiheen ylimmän rannan tasoon kerrostuneita deltamuodostumia. Harjun ympäristössä on

15.12.2021

suppakuoppia ja suppalampia, joita ovat esimerkiksi Kalevankankaalla sijaitsevat kolme pientä lampea eli Myrkkylammit sekä Hanhikankaan vedenottamon lähistöllä olevat lammet. Harjulaajentuma on kerrostunut paikallisesti muuta ympäristöään topografisesti alavampaan ja laajempialaiseen kallioperän altaaseen, jossa lännempänä sijaitsee mm. Mikkelin ravirata. Kalliomaat kohoavat tämän painanteen pohjoispuolella Vihkharjun kohdalla ja eteläpuolella Kirjalan-Kaukolan-Naisvuoren-Rokkalan linjalla. Harjujakson luoteispuolella on hyvin selkeänä maanpinnan korkeusmallilta erotettavissa drumlinisoituneita kalliioalueita, joissa kalliokohoumien luoteispuoleiset osat ovat mannerjäätikön aktiivisen liikkeen aikana kuluneet ja pyöristyneet. Sen sijaan kalliokohoumien etelä- ja kaakkoispuolella on kerrostunut moreeniainesta jopa yli kilometrin pituisiksi viivasuoriksi, kohtalaisen mataliksi harjanteiksi (Väänänen et al. 2016).

Hanhikankaan alue on kivilajikartan mukaan kokonaan kiillegneissialueella (biotitiiparagneissi) (DigiKP200 2010). Hanhikankaan pohjavesialueen pohjoisosassa, Särkijärven eteläpuolella on laajoja kalliopaljastuma- ja kalliomaa-alueita, jotka muodostavat hyvin todennäköisen kalliokynnyksen pohjoisen suuntaan ja näin jakavat pohjavesialueen täällä kahteen osaan (Väänänen et al. 2016). Tutkimusalueen vinoalaistu maaperäkartta on esitetty **kuvassa 3**.

15.12.2021



**Kuva 3.** Hanhikankaan pohjavesialueen vinovalaistuu maaperäkartta.  
**Figure 3.** Superficial deposits map of the Hanhikangas aquifer.

### 3.2 Lahti

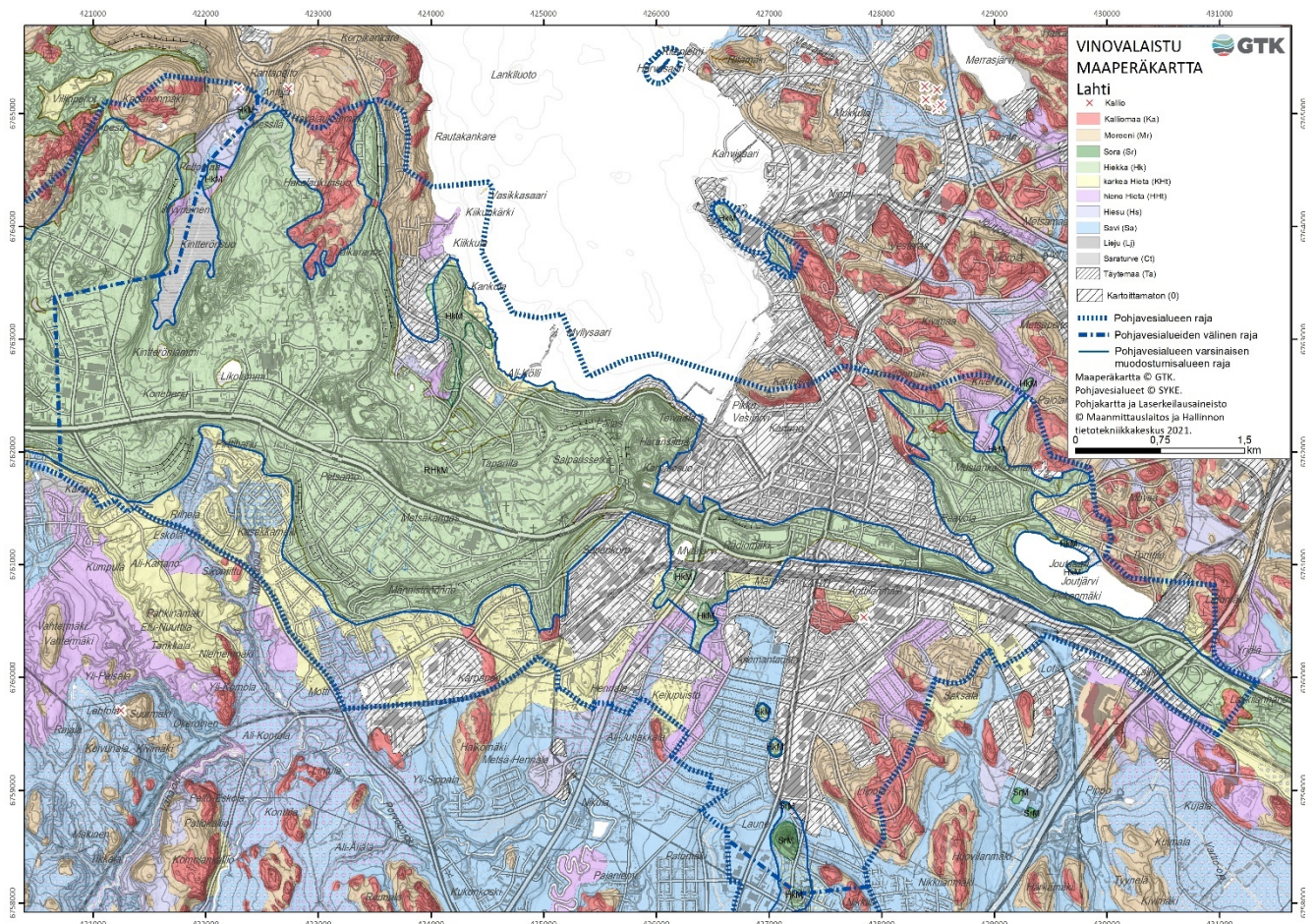
Lahden pohjavesialue (ELY-tunnus 0439801) sijaitsee Lahden kaupungin keskustassa tuntumassa. Se on luokiteltu vedenhankintaa varten tärkeäksi pohjavesialueeksi (1-luokka). Pohjavesialueen kokonaispinta-ala on noin 33,25 km<sup>2</sup>, josta pohjaveden varsinaisen muodostumisalueen pinta-ala on 15,88 km<sup>2</sup>. Arvio Lahden pohjavesialueella muodostuvan pohjaveden määrästä on 30 000 m<sup>3</sup>/d. Pohjavesimuodostuma on vettä ympäristöstä keräävä (synkliininen) ja pohjavesivarannot täydentyvät myös rantaimetyymisen kautta (Suomen ympäristökeskus 2021a).



15.12.2021

Lahden pohjavesialue on osa I Salpausselän reunamuodostumaa, joka Lahden kaupunkialueella on länsi-itä-suuntainen. Salpausselkien kaareva muoto on syntynyt jäätikköjokien kasatessa hiekkaa ja soraa jäätikön kielekkeen eteen. Ensimmäisen Salpausselän deltatasanteet kasvoivat Baltian jääjärven tasoon, jopa 150 metriä nykyisestä merenpinnasta. Kun jäätikön reuna perääntyi länsiluoteeseen ja jääjärven pinta laski, kuluttivat rantavoimat I Salpausselän reunoja vuosisatoja kasaten rantaterasseja noin kymmenen metriä alkuperäisen deltan tason alapuolelle (Saarnisto et al. 1994).

Lahden pohjavesimuodostuman kallioperä koostuu graniitista, granodioriitista ja kiillegneisistä. Kallioperä on monin paikoin näkyvissä laajempina kallioalueina ja pienempinä paljastumina. Toisaalta kallionpintaa peittää paikoin paksutkin irtomaakerrokset, jotka luovat kallioalueiden kanssa alueelle tyypillisen topografian. Kallionpinnan vaihtelut ovat paikoin jyrkkiä. Kallionpinta nousee paikoitellen pohjavedenpinnan yläpuolelle. (Nurminen et al. 2015). Tutkimusalueen vinovalaistu maaperäkarta esitetään **kuussa 4**.



**Kuva 4.** Lahden pohjavesialueen vinovalaistu maaperäkarta.

**Figure 4.** Superficial deposits map of the Lahti aquifer.

15.12.2021

## 4 DRASTIC-ANALYYSIN PARAMETRIT

Tässä kappaleessa kuvataan DRASTIC-analyysin laskennassa käytettävät parametrit sekä niiden laskennassa käytetyt lähtöaineistot. Lisäksi käydään läpi Mikkelin Hanhikankaan ja Lahden pohjavesialueiden DRASTIC-analyysissä käytetyt lähtöaineistot sekä DRASTIC-laskennan tulokset eri parametreille. Esimerkiksi Takalo (2011) on kuvannut parametrien laskennan ArcGIS-paikkatieto-ohjelmistolla. Mikkelin Hanhikankaan ja Lahden Lahti pohjavesialueiden DRASTIC-haavoittuvuusanalyysin hydrogeologisten parametrien laskenta Esrin ArcGis®-tuoteperheen Desktop 10.6.1-ohjelmalla on esitetty tarkemmin **liitteessä 3**. DRASTIC-analyysiä varten tarvittavat parametrit voidaan laskea myös muilla paikkatieto-ohjelmistoilla.

### 4.1 Pohjaveden etäisyys maanpinnasta (D)

Pohjaveden etäisyys maanpinnasta (*Depth to water*) on matka, jonka veden tai haitta-aineen on kuljettava maaperässä päätyäkseen pohjaveteen. Kun sade- tai sulamisvesi imeytyy maaperän läpi pohjaveteen, veden epäpuhtaudet (haitta-aineet, humusaineet, suolat, mikrobit) suodattuvat maan pintaosissa, erityisesti maannoskerroksessa, tehokkaasti pois vajovedestä. Jos vajovesivyöhyke on hyvin ohut, eivät epäpuhtaudet ehdi suodattua vajovedestä, vaan pääsevät nopeasti pohjaveteen ja sen seurauksena pohjaveden laatu voi heiketä. Parametrin D luokka-arvot esitetään **liitteessä 1**.

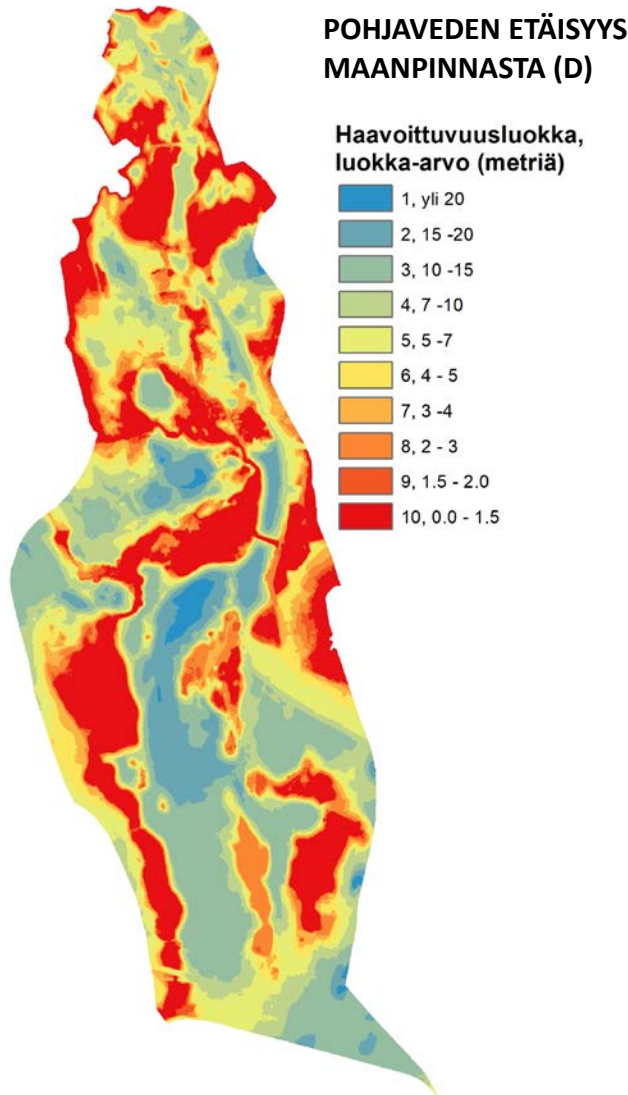
DRASTIC-haavoittuvuusanalyysillä pyritään kuvaamaan pohjavesialueen geologisista ja hydrogeologisista ominaisuuksista aiheutuvaa pilaantumispotentiaalia eli nk. luontaista haavoittuvuusherkkyyttä. Mikkelin Hanhikankaan ja Lahden pohjavesialueilla on kuitenkin vedenottoa, joten DRASTIC-analyysissä käytetty parametri D kuvaa ko. pohjavesialueiden tämänhetkisen ottomäärän mukaista keskimääräistä pohjaveden pinnan tasoa, ei pohjavesimuodostuman luontaista pohjavedenpinnan korkeutta.

Parametrin D painoarvokerroin DRASTIC-analyysissä on korkein mahdollinen eli viisi. Pohjavettä suojaavan maapeitteen eli vajovesivyöhykkeen paksuus on oleellinen tekijä, kun arvioidaan mahdollisen haitta-aineen kulkeutumisaikaa maanpinnalta pohjaveteen.

#### 4.1.1 Mikkeli

Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueella parametrin D laskennassa lähtöaineistoina käytettiin tutkimusalueelle tehdyssä rakenneselvityksessä (Väänänen et al. 2016) mallinnettua pohjaveden pinnankorkeutta sekä Maanmittauslaitoksen valtakunnallisesta laserkeilausaineistosta laskettua maanpinnan korkeustasoa (Maanmittauslaitos 2021). Näiden perusteella laskettiin pohjavesipinnan yläpuolisen maapeitteen paksuus. **Kuvassa 5** esitetään Hanhikankaan pohjavesialueelle laskettu parametri D. Kuvassa esitetään myös parametrin D eri haavoittuvuusluokkien luokka-arvot, jotka perustuvat **liitteeseen 1**.

15.12.2021



**Kuva 5.** Hanhikankaan pohjavesialueen DRASTIC-analyysin parametri D (pohjavedenpinnan etäisyys maanpinnasta).

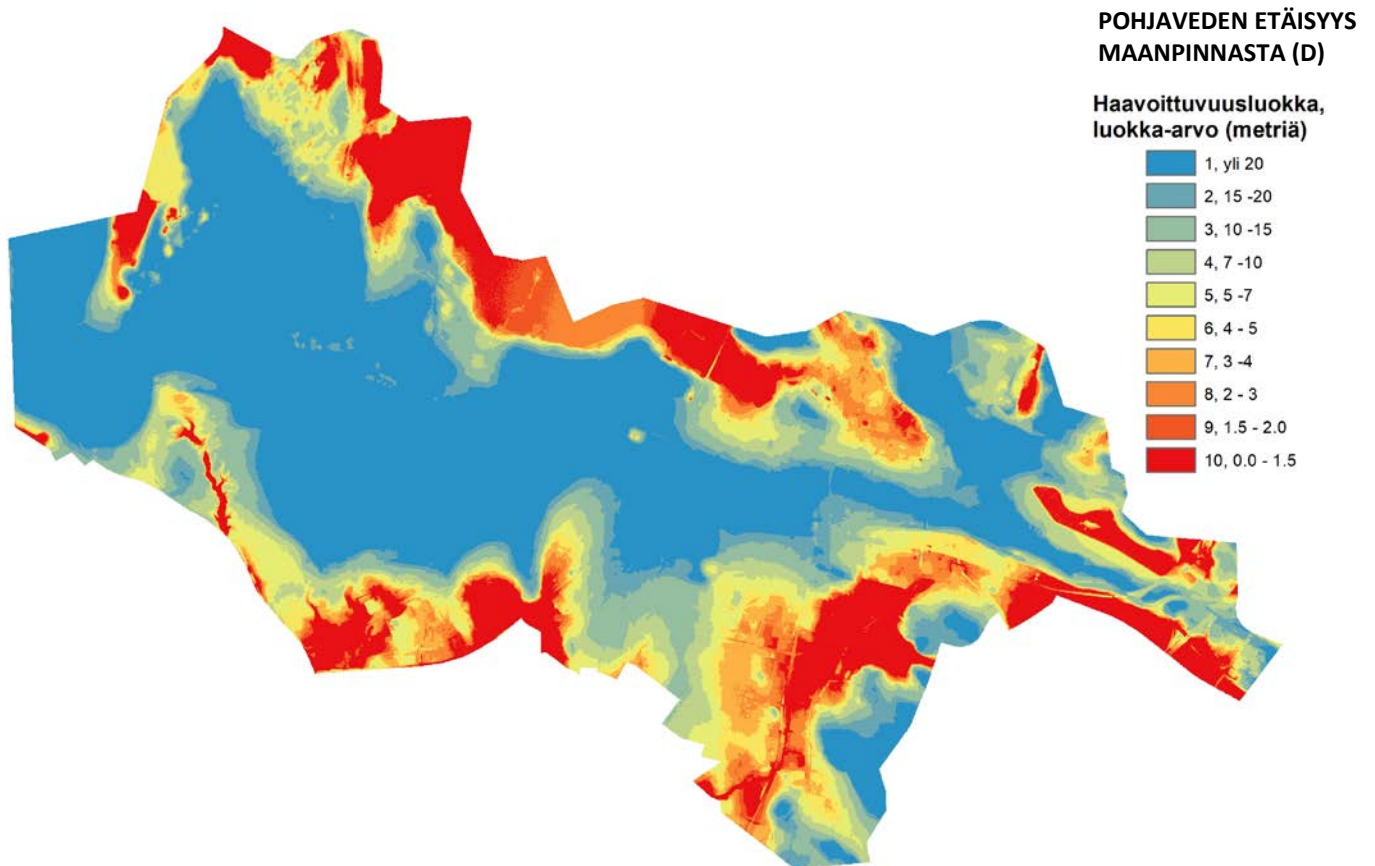
**Figure 5.** The DRASTIC analysis of the Hanhikangas aquifer: the D parameter (Depth to water).

#### 4.1.2 Lahti

Lahden tutkimusalueella parametrin D laskennassa lähtöaineistoina käytettiin tutkimusalueelle tehdyssä rakenneselvityksessä (Nurminen et al. 2015) mallinnettua pohjaveden pinnankorkeutta sekä Maanmittauslaitoksen valtakunnallisesta laserkeilausaineistosta laskettua maanpinnan korkeustasoa (Maanmittauslaitos 2021). Näiden perusteella laskettiin pohjavesipinnan yläpuolisen maapeitteen paksuus. **Kuvassa 6** esitetään Lahden pohjavesialueelle laskettu parametri D. Kuvassa esitetään myös parametrin D eri haavoittuvuusluokkien luokka-arvot, jotka perustuvat **liitteeseen 1**.



15.12.2021



**Kuva 6.** Lahden pohjavesialueen DRASTIC-analyysin parametri D (pohjavedenpinnan etäisyys maanpinnasta).

**Figure 6.** The DRASTIC analysis of the Lahti aquifer: the D parameter (Depth to water).

#### 4.2 Muodostuvan pohjaveden määrä (R)

Muodostuvan pohjaveden määrä (*net Recharge*) on vesimäärä, joka sadannasta (sadevesistä, lumen sulamisvesistä sekä myös roudan sulamisesta) suotautuu pohjavedeksi. Muodostuvan pohjaveden määrä riippuu sadannan, haihdunnan ja pintavalunnan välisistä suhteista. Siihen vaikuttaa maalajien raakoostumus ja sen kerrosrakenteet sekä huokoisuus (tehokas huokoisuus), maanpinnanmuodot ja kaltevuus sekä kasvillisuus. Harju- ja kangasalueilla sadannasta voi muodostua pohjavedeksi 30–60 prosenttia (Airaksinen 1978, Takalo 2011), maa-ainesten ottoalueilla jopa enemmän. Suotautuva vesi liuottaa ja kuljettaa haitta-aineita kohti pohjavedenpintaa ja pohjaveden haavoittuvuusherkyys kasvaa muodostuvan pohjaveden määrän kasvaessa (Aller et al. 1987).

Pohjavedeksi suotautuvan veden määrän arviointi pohjavesialueen eri osissa perustui tässä tutkimuksessa maaperäkartassa (1:20 000) esitettyihin maalajeihin. Maalajista riippuen muodostuvan pohjaveden määrä Suomessa on noin 10–70 % sadannasta. Hiekka- ja sora-alueilla sadannasta pohjavedeksi imeytyvän veden määrä on yleisesti noin 30–50 % ja maa-ainesten ottoalueilla jopa 60–70 %. Vettä huonosti johtavien maalajien alueella imeytymismäärät ovat keskimääräistä alhaisemmat.

15.12.2021

Myös kallioalueilla pohjavedeksi imeytyvä vesimäärä arvioidaan yleensä pieneksi. Tässä tutkimuksessa imeytymisen arvioinnissa otettiin maaperäkartassa esitettyjen maalajien lisäksi huomioon myös esimerkiksi asfaltoidut alueet, tiestö, metsähakkuu sekä pellot. Näille alueille veden imeytyminen eli muodostuvan pohjaveden määrä määritettiin paitsi maalajin myös alueelle erikseen arvioidun imeytymiskertoimen mukaisesti. Vesistöalueille imeytymistä ei arvioitu lainkaan. Sadannasta pohjavedeksi muodostuvan veden määrän arviointi on haasteellista, koska tutkittua muodostuma- tai aluekohtaista tietoa on yleensä varsin rajallisesti saatavilla. Parametrin R luokka-arvot on esitetty **liitteessä 1**.

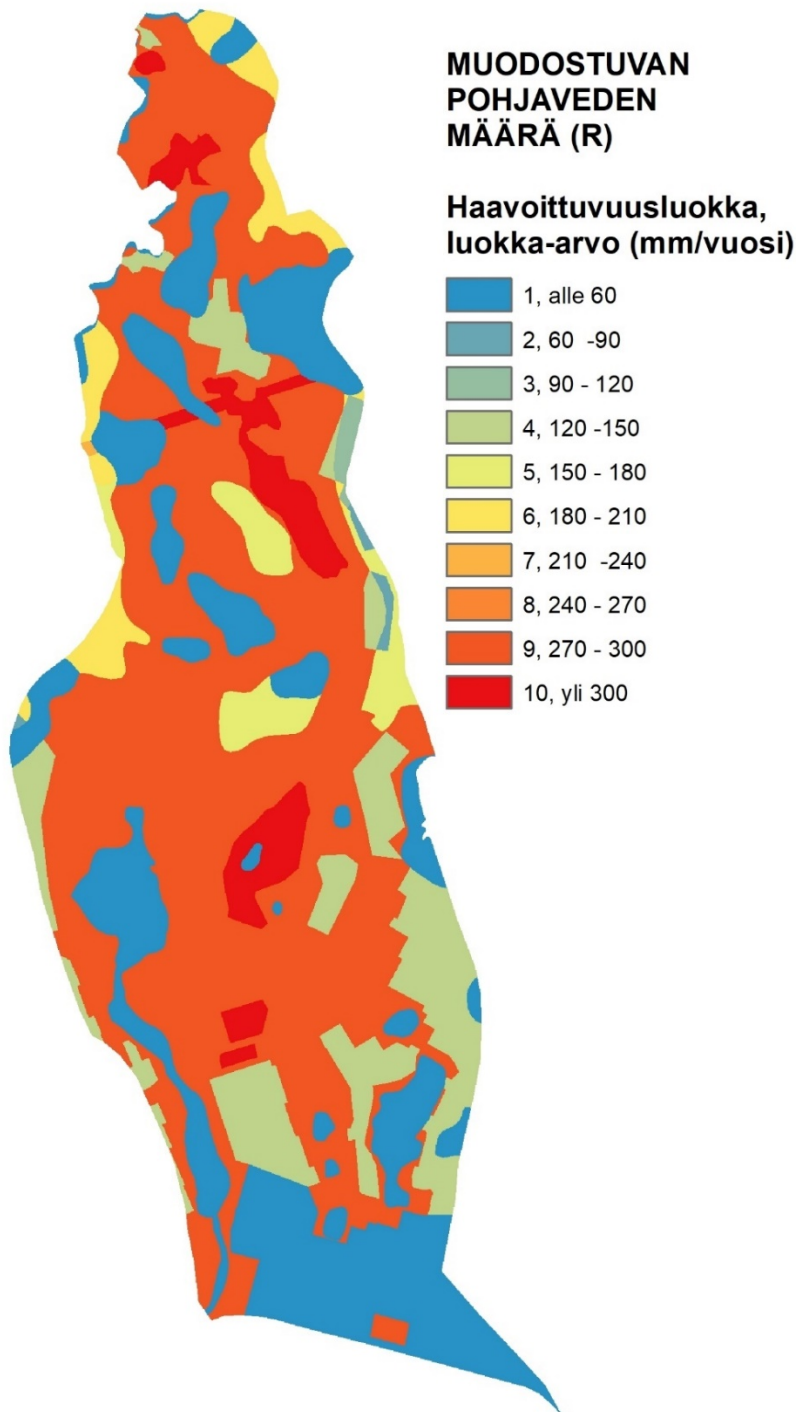
Parametrin R painoarvokerroin DRASTIC-analyysissä on neljä. Sadannasta pohjavedeksi muodostuvan veden määrä on oleellinen tekijä mm. haitta-aineiden kulkeutumiselle maanpinnalta kohti pohjavesivyöhykettä.

#### 4.2.1 Mikkeli

Hanhikankaan pohjavesialueella parametrin R laskennassa lähtöaineistoina käytettiin maaperäkarttaa 1:20 000 (Geologian tutkimuskeskus 2021) ja siihen merkittyjä maalajeja sekä vuotuista keskisadantaa, jonka määräksi tutkimusalueella arvioitiin noin 650 mm vuodessa (Ilmatieteen laitos 2021). **Kuvassa 7** esitetään Mikkelin tutkimusalueelle laskettu parametri R. Kuvassa esitetään myös parametrin R eri haavoittuvuusluokkien luokka-arvot, jotka perustuvat **liitteeseen 1**.



15.12.2021



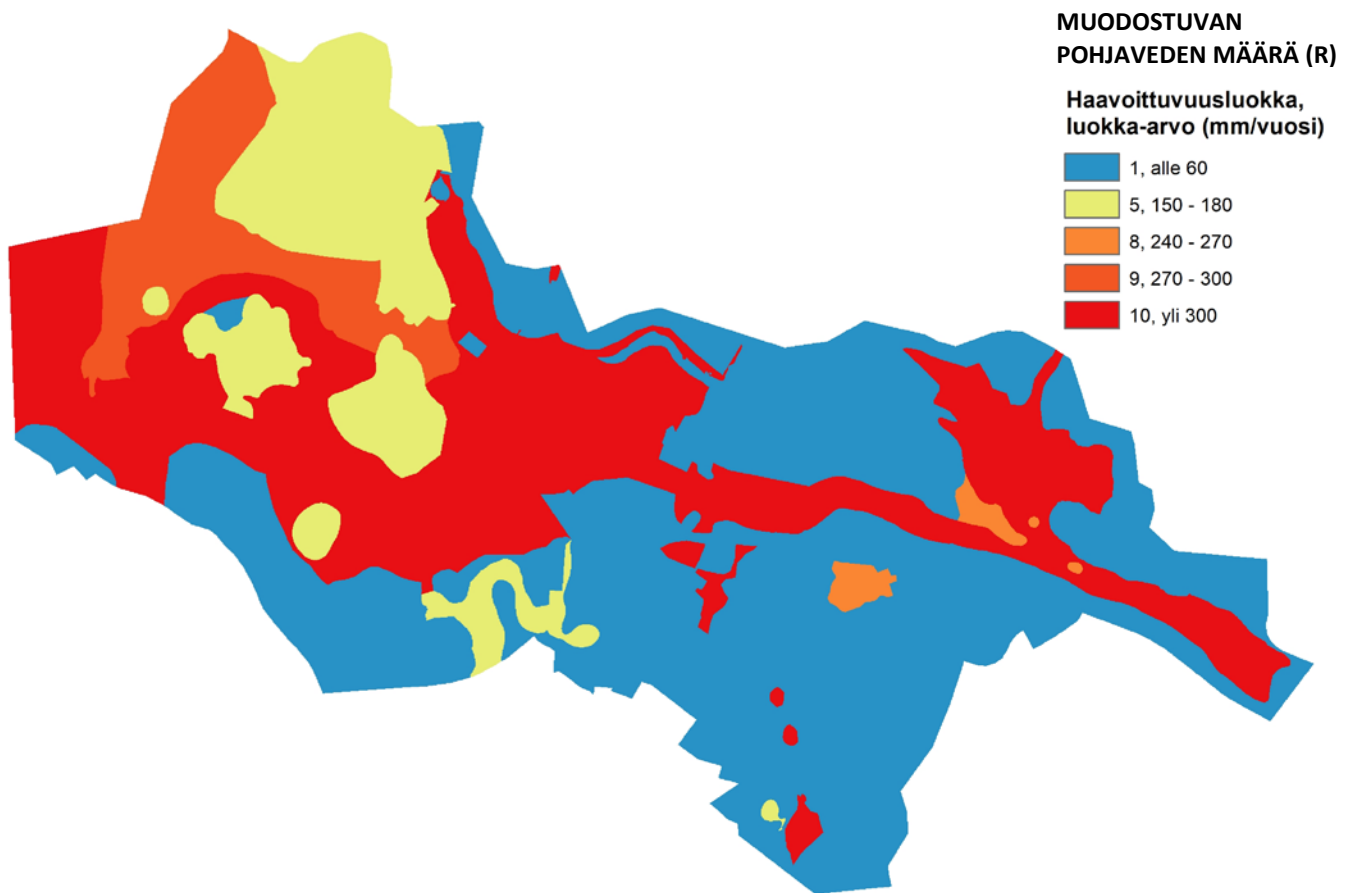
**Kuva 7.** Hanhikankaan pohjavesialueen DRASTIC-analyysin parametri R (muodostuvan pohjaveden määrä sadannasta).

**Figure 7.** The DRASTIC analysis of the Hanhikangas aquifer: the R parameter (net Recharge).

15.12.2021

#### 4.2.2 Lahti

Lahden tutkimusalueella parametrin R laskennassa lähtöaineistoina käytettiin maaperäkarttaa 1:20 000 (Geologian tutkimuskeskus 2021) ja siihen merkityjä maalajeja sekä vuotuista keskisadantaa, jonka määräksi tutkimusalueella arvioitiin noin 650 mm vuodessa (Ilmatieteen laitos 2021). **Kuvassa 8** esitetään Lahden tutkimusalueelle laskettu parametri R. Kuvassa esitetään myös parametrin R eri haavoittuvuusluokkien luokka-arvot, jotka perustuvat **liitteeseen 1**.



**Kuva 8.** Lahden pohjavesialueen DRASTIC-analyysin parametri R (muodostuvan pohjaveden määrä sadannasta). Kartan selitteessä esitetään vain ne haavoittuvuusluokat, jotka esiintyvät tutkimusalueella.

**Figure 8.** The DRASTIC analysis of the Lahti aquifer: the R parameter (net Recharge). The legend only shows the vulnerability categories that occur in the study area.

15.12.2021

### 4.3 Maalaji pohjavesivyöhykkeessä (A)

Maalaji pohjavesivyöhykkeessä -parametri (*Aquifer media*) kuvaa haavoittuvuusanalyysissä pohjavesivyöhykkeen maaperää. Pohjavesialueen haavoittuvuusherkyys kasvaa pohjavesivyöhykkeen maaperän vedenläpäisevyyden kasvaessa.

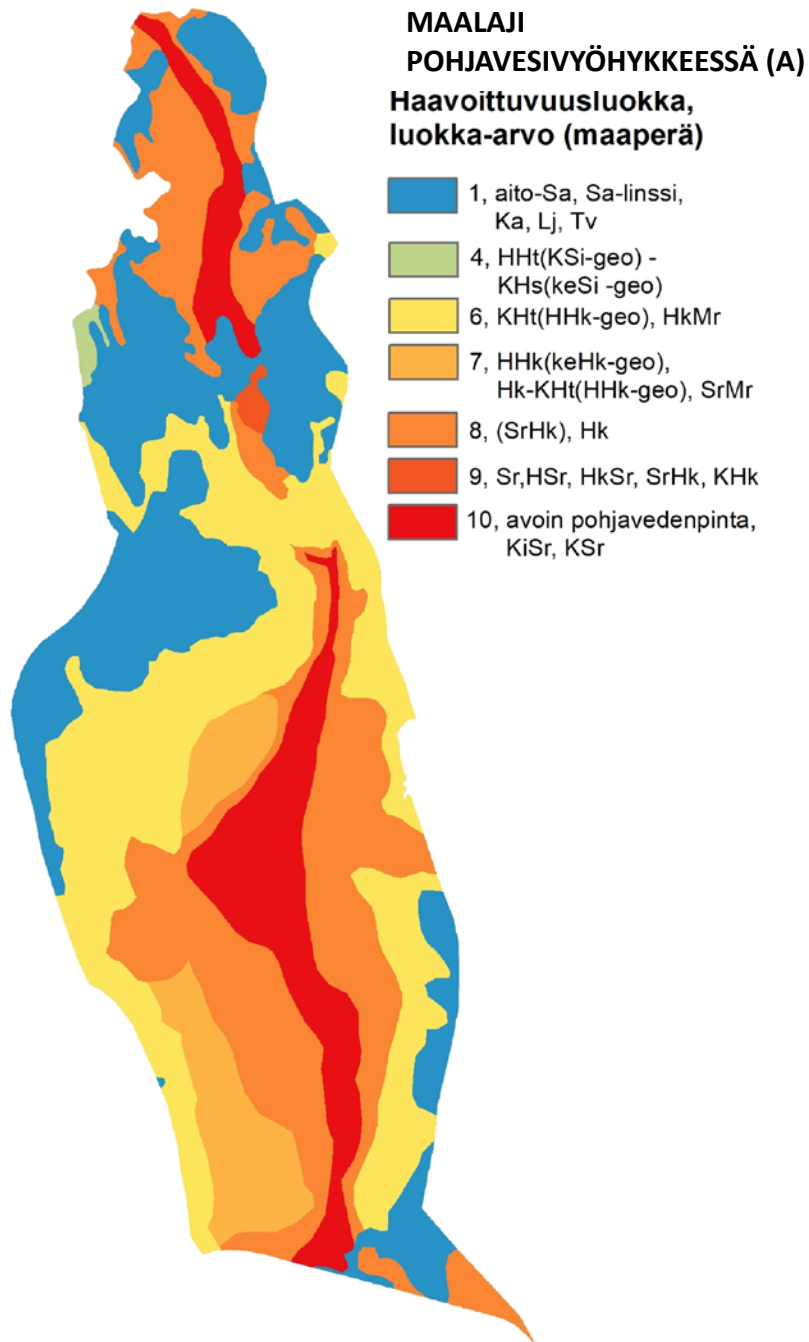
Pohjavesivyöhykkeen maalajitieto saadaan kairaustiedoista ja geofysikaalisista luotauksista. Mikäli nämä tiedot puuttuvat, käytetään mahdollisimman tarkkamittakaavaista maaperäkarttaa ja pohjavesialueen muodostumatyyppiin perustuvaa geologista tulkintaa (Aho et al. 2015). Pohjaveden hankinnalle tärkeimpiä ovat karkean lajittuneen aineksen kerrostumat, jotka ovat huokoisia ja hyvin vettäläpäiseviä. Tällaisia maaperäkerrostumia ovat esimerkiksi jäätikkökjokisyntyiset harjut tai reunamuodostumat sekä sora-, hiekka- ja hietavaltaiset ranta- ja jokikerrostumat. Jäätikkökjokimuodostumien reunoilla esiintyy usein hienoainesmaalajeja (esim. siltti, savi, savilinssi tai -kerros). Parametrin A luokka-arvot on esitetty **liitteessä 1**.

Parametrin A painoarvokerroin DRASTIC-analyysissä on kolme. Karkeammassa materiaalissa virtaava pohjavesi yleensä kuljettaa ja levittää mahdollista kontaminaatiota tehokkaammin. Koska DRASTIC-analyysillä arvioidaan ensisijaisesti maanpinnalta tapahtuvaa haitta-aineiden vertikaalista liikkumista pohjaveteen, painotetaan pohjavesivyöhykkeen maaperän ominaisuuksia vähemmän kuin esimerkiksi pohjavettä suojaavan maapeitteen paksuutta (D).

#### 4.3.1 Mikkeli

Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueella parametrin A laskennassa lähtöaineistoina käytettiin maaperäkarttaa 1:20 000 (Geologian tutkimuskeskus 2021) ja siihen merkittyjä pohjamaalajeja. Lisäksi hyödynnettiin alueella aiempien tutkimusten yhteydessä tehtyjä maaperäkairauksia sekä maatutkaluotauksia (mm. Väänänen et al. 2016). **Kuvassa 9** esitetään Mikkelin tutkimusalueelle laskettu parametri A. Kuvassa esitetään myös parametrin A eri haavoittuvuusluokkien luokka-arvot, jotka perustuvat **liitteeseen 1**.

15.12.2021



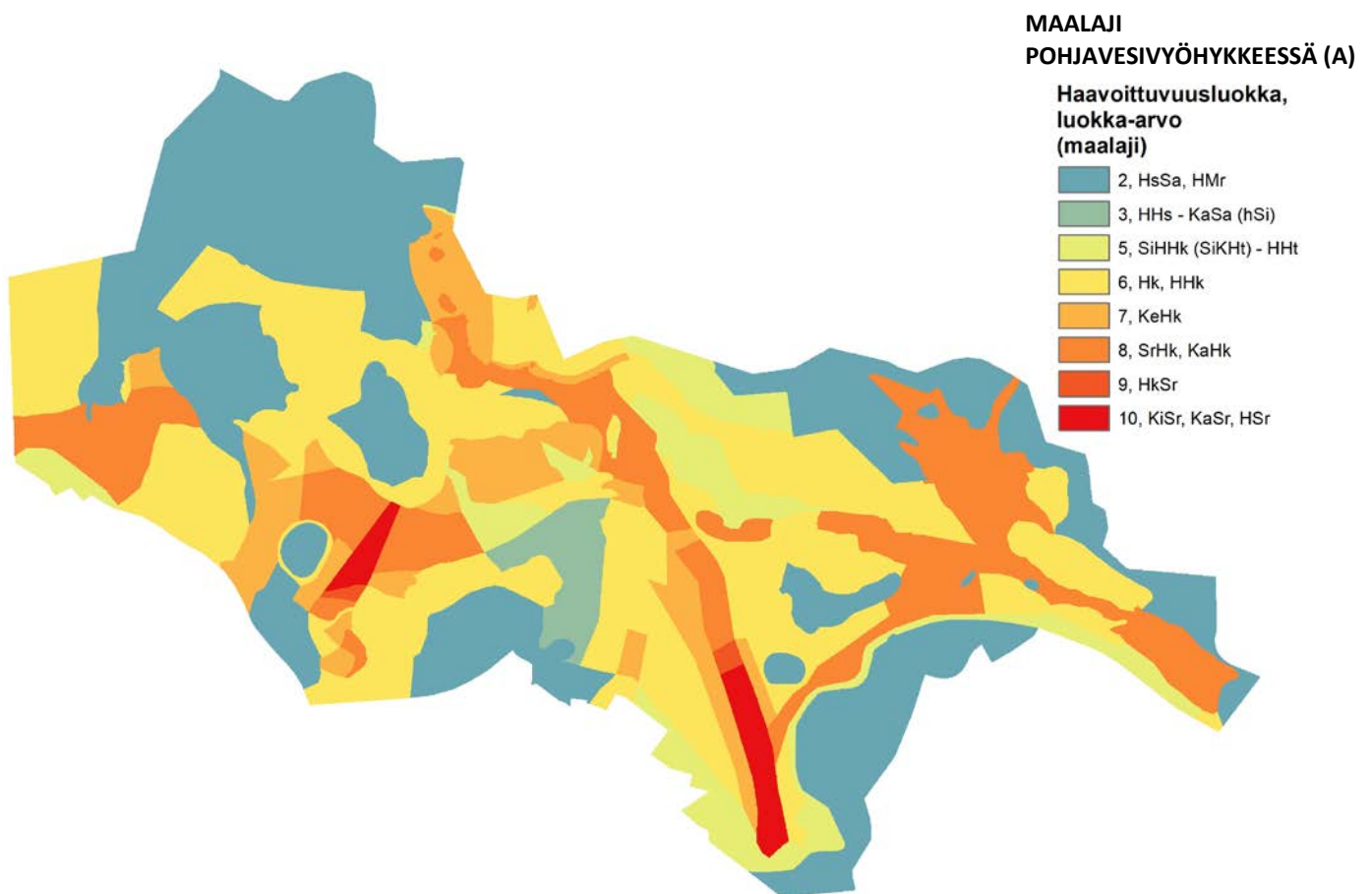
**Kuva 9.** Hanhikankaan pohjavesialueen DRASTIC-analyysin parametri A (maalaji pohjavesivyöhykkeessä). Kartan selitteessä esitetään vain ne haavoittuvuusluokat, jotka esiintyvät tutkimusalueella.

**Figure 9.** The DRASTIC analysis of the Hanhikangas aquifer: the A parameter (Aquifer media). The legend only shows the vulnerability categories that occur in the study area.

15.12.2021

### 4.3.2 Lahti

Lahden pohjavesialueella parametrin A laskennassa lähtöaineistoina käytettiin maaperäkarttaa 1:20 000 (Geologian tutkimuskeskus 2021) ja siihen merkittyjä pohjamaalajeja sekä Lahden kaupungilta RAINMAN-projektin käyttöön saatuja kairaustietoja. **Kuvassa 10** esitetään Lahden pohjavesialueelle laskettu parametri A. Kuvassa esitetään myös parametrin A eri haavoittuvuusluokkien luokka-arvot, jotka perustuvat **liitteeseen 1**.



**Kuva 10.** Lahden pohjavesialueen DRASTIC-analyysin parametri A (maalaji pohjavesivyöhykkeessä). Kartan selitteessä esitetään vain ne haavoittuvuusluokat, jotka esiintyvät tutkimusalueella.

**Figure 10.** The DRASTIC analysis of the Lahti aquifer: the A parameter (Aquifer media). The legend only shows the vulnerability categories that occur in the study area.



15.12.2021

#### 4.4 Maankäyttö ja pintamaa (S)

DRASTIC-analyysin parametri S (*Soil media*) arvioi maannoksen ja pintamaan vaikutusta veden imeytymiseen maanpinnalta vajovesivyöhykkeeseen ja edelleen pohjavesivyöhykkeeseen. Alkuperäisessä DRASTIC-analyysissä parametri S kuvaa maaperän pintaosan biologista aktiivisuutta ja kykyä puhdistaa haitta-aineita (Aller et al. 1985). Maannoksen kehittymiseen vaikuttavat maaston pinnanmuodot, kasvillisuuspeite, 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 maannoksen kehittymiseen (Haavisto-Hyvärinen & Kutvonen 2007).

Koska sekä Hanhikankaan että Lahden pohjavesialueet sijaitsevat kaupunkialueilla, perustuu S-parametri CORINE Land Cover 2018 -aineistoon, joka kuvaa koko Suomen maankäyttöä ja maanpeitteitä vuonna 2018 (Suomen ympäristökeskus 2019a). Aineiston maankäyttöä kuvaavat tason 4 luokat (**taulukko 2**. Corine Level4) jaettiin kymmeneen luokkaan arvoon perustuen kvalitatiiviseen arvioon siitä, kuinka helposti em. maankäyttöluokassa vesi pääsee imeytymään maaperään. Parametrin S luokka-arvot on esitetty **liitteessä 1**.

Parametrin S painoarvokerroin DRASTIC-analyysissä on kaksi.

15.12.2021

**Taulukko 2.** Corine-maankäyttöluokituksen vastaavuus DRASTIC-parametriin S (maankäyttö ja pintamaa).

**Table 2.** CORINE Land Cover 2018 dataset and the DRASTIC parameter S (Soil media).

Corine Level4	Level4 selite	S soil media	Kommentti
3321	Kalliomaat	1	Kaikki corine-luokitellut kallioalueet
3133	Sekametsät kalliomaalla	1	
3244	Harvapuustoiset alueet, cc 10-30%, kalliomaalla	1	
3123	Havumetsät kalliomaalla	1	
1212	Teollisuuden alueet	2	Tiiviin rakentamisen alueet, päällystetyt alueet: pintaosista vesi ei pääse imeytymään maaperään
1221	Liikennealueet	2	
1231	Satama-alueet	2	
1241	Lentokenttäalueet	2	
1312	Kaivokset	2	
1321	Kaatopaikat	2	
1331	Rakennustyöalueet	2	
2111	Pellot	2	Viljellyt alueet, maaperä hiesua/huonosti vettä läpäisevää
2221	Hedelmäpuu- ja marjapensasviljelmät	2	
2311	Laidunmaat	2	
2312	Luonnon laidunmaat	2	
2431	Maataloustukijärjestelmän ulkopuoliset maatalousmaat	2	
2441	Puustoiset pelto- ja laidunmaat	2	
1111	Kerrostaloalueet	3	Rakennettu alue, osin päällystetty
1211	Palveluiden alueet	3	
3112	Lehtimetsät turvemaalla	3	Corine-luokituksen mukaiset turvealueet
3122	Havumetsät turvemaalla	3	
3132	Sekametsät turvemaalla	3	
3243	Harvapuustoiset alueet, cc 10-30%, turvemaalla	3	
4121	Avosuot	3	
4122	Turvetuotantoalueet	3	
4111	Sisämaan kosteikat maalla	3	Corine-luokituksen kosteikat
4112	Sisämaan kosteikat vedessä	3	
4211	Merenrantakosteikat maalla	3	
4212	Merenrantakosteikat vedessä	3	
1121	Pientaloalueet	4	Väljemmän asutuksen alueet, puistot, virkistysalueet, golfkentät. Rakennettu, mutta ei pääosin päällystetty
1411	Puistot	4	
1421	Vapaa-ajan asunnot	4	
1422	Muut urheilu- ja vapaa-ajan toiminta -alueet	4	
1423	Golfkentät	4	
1424	Raviradat	4	
3111	Lehtimetsät kivennäismaalla	5	Corine-luokituksen metsät, jotka ovat kivennäismaalla: ohuehko maannos, jonka alla kohtalaisesti vettä läpäisevä maaperä
3121	Havumetsät kivennäismaalla	5	
3131	Sekametsät kivennäismaalla	5	
3241	Harvapuustoiset alueet, cc <10%	6	
3242	Harvapuustoiset alueet, cc 10-30%, kivennäismaalla	6	
3246	Harvapuustoiset alueet, sähkölinjan alla	6	
3211	Luonnonniityt	7	Ohut maannoskerros/maannoskerros puuttuu, maaperä vettä läpäisevää
3221	Varvikot ja nummet	7	
3331	Niukkakasvustoiset kangasmaat	7	
3311	Rantahietikot ja dyynialueet	9	
1311	Maa-ainesten ottoalueet	10	Maannoskerros poistettu
5111	Joet	10	Vesistöt
5121	Järvet	10	
5231	Meri	10	

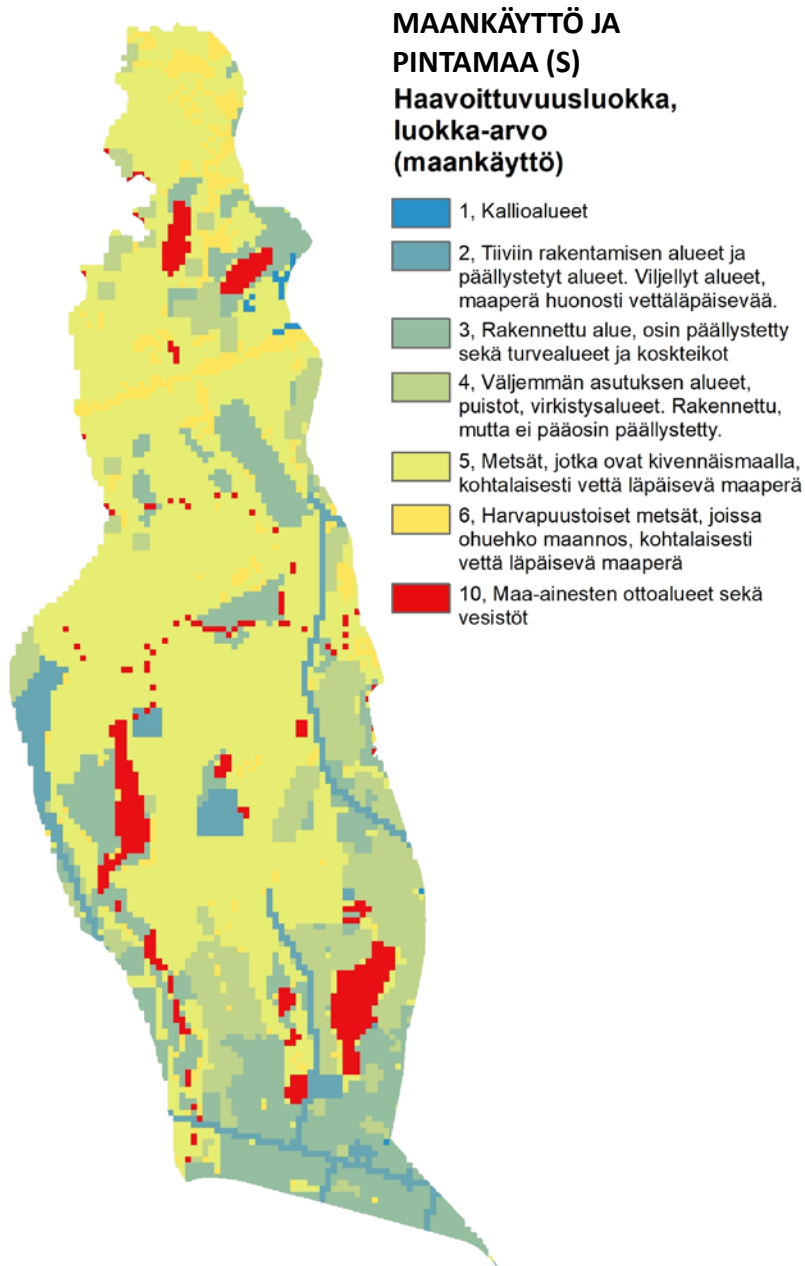
15.12.2021

#### 4.4.1 Mikkelä

Mikkelin Hanhikankaalla käytettiin pohjavesialueen luokittelun perusteena Corine Land Cover 2018 -hankkeessa tuotettua, koko Suomen peittävää paikkatietoaineistoa (solukoko 20x20 metriä) maankäytöstä ja maanpeitteestä (Suomen ympäristökeskus 2019a).

Hanhikankaan pohjavesialueelle sijoittuvat vesistöt on arvioitu kuuluvaksi luokkaan 10, mikä vastaa erittäin korkeaa haavoittuvuusherkkyyttä. Pintaveden ja pohjaveden vuorovaikutus tulisi kuitenkin selvittää tarkemmin, jotta pintavesien todellinen vaikutus pohjavesialueen haavoittuvuusherkkyyteen voidaan arvioida. Tämän vuoksi Hanhikankaan lopullisessa haavoittuvuuskartassa ei ole esitetty pintavesien laskennallista haavoittuvuusluokkaa. **Kuvassa 11** esitetään Mikkelin tutkimusalueelle laskettu parametri S. Kuvassa esitetään myös parametrin S eri haavoittuvuusluokkien luokka-arvot, jotka perustuvat **liitteeseen 1**.

15.12.2021



**Kuva 11.** Hanhikankaan pohjavesialueen DRASTIC-analyysin parametri S (maankäyttö ja pintamaa). Kartan selitteessä esitetään vain ne haavoittuvuusluokat, jotka esiintyvät tutkimusalueella.

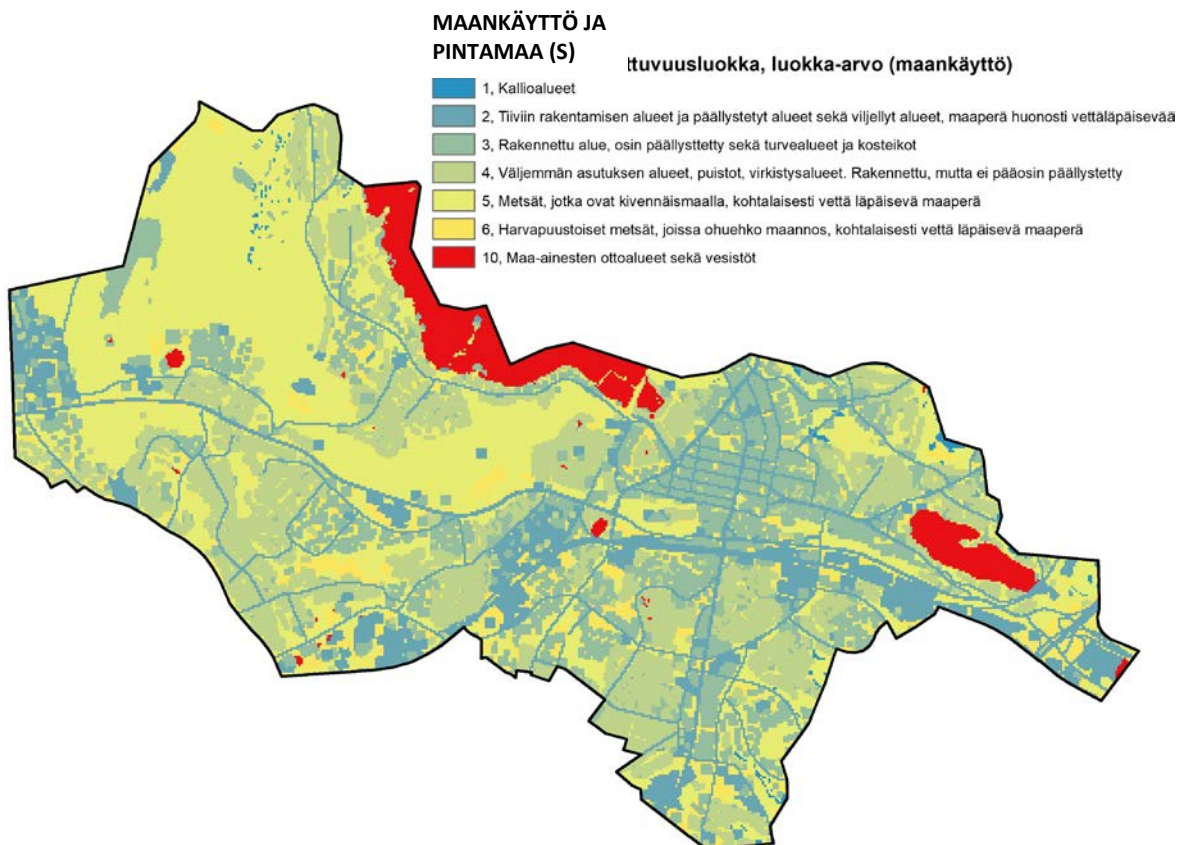
**Figure 11.** The DRASTIC analysis of the Hanhikangas aquifer: the S parameter (Soil media). The legend only shows the vulnerability categories that occur in the study area.

15.12.2021

#### 4.4.2 Lahti

Lahden pohjavesialueella käytettiin alueen luokittelun perusteena Corine Land Cover 2018 -hankkeessa tuotettua, koko Suomen peittävää paikkatietoaineistoa (solukoko 20x20 metriä) maankäytöstä ja maanpeitteestä (Suomen ympäristökeskus 2019a).

Lahden pohjavesialueelle sijoittuvat vesistöt on arvioitu kuuluvaksi luokkaan 10, mikä vastaa erittäin korkeaa haavoittuvuusherkkyttä. Pintaveden ja pohjaveden vuorovaikutus tulisi kuitenkin selvittää tarkemmin, jotta pintavesien todellinen vaikutus pohjavesialueen haavoittuvuusherkkyteen voidaan arvioida. Tämän vuoksi Lahden pohjavesialueen lopullisessa haavoittuvuuskartassa ei ole esitetty pintavesien laskennallista haavoittuvuusluokkaa. **Kuvassa 12** esitetään Lahden tutkimusalueelle laskettu parametri S. Kuvassa esitetään myös parametrin S eri haavoittuvuusluokkien luokka-arvot, jotka perustuvat **liitteeseen 1**.



**Kuva 12.** Lahden pohjavesialueen DRASTIC-analyysin parametri S (maankäyttö ja pintamaa/maankäyttö). Kartan selitteessä esitetään vain ne haavoittuvuusluokat, jotka esiintyvät tutkimusalueella.

**Figure 12.** The DRASTIC analysis of the Lahti aquifer: the S parameter (Soil media). The legend only shows the vulnerability categories that occur in the study area.



15.12.2021

## 4.5 Maanpinnan kaltevuus (T)

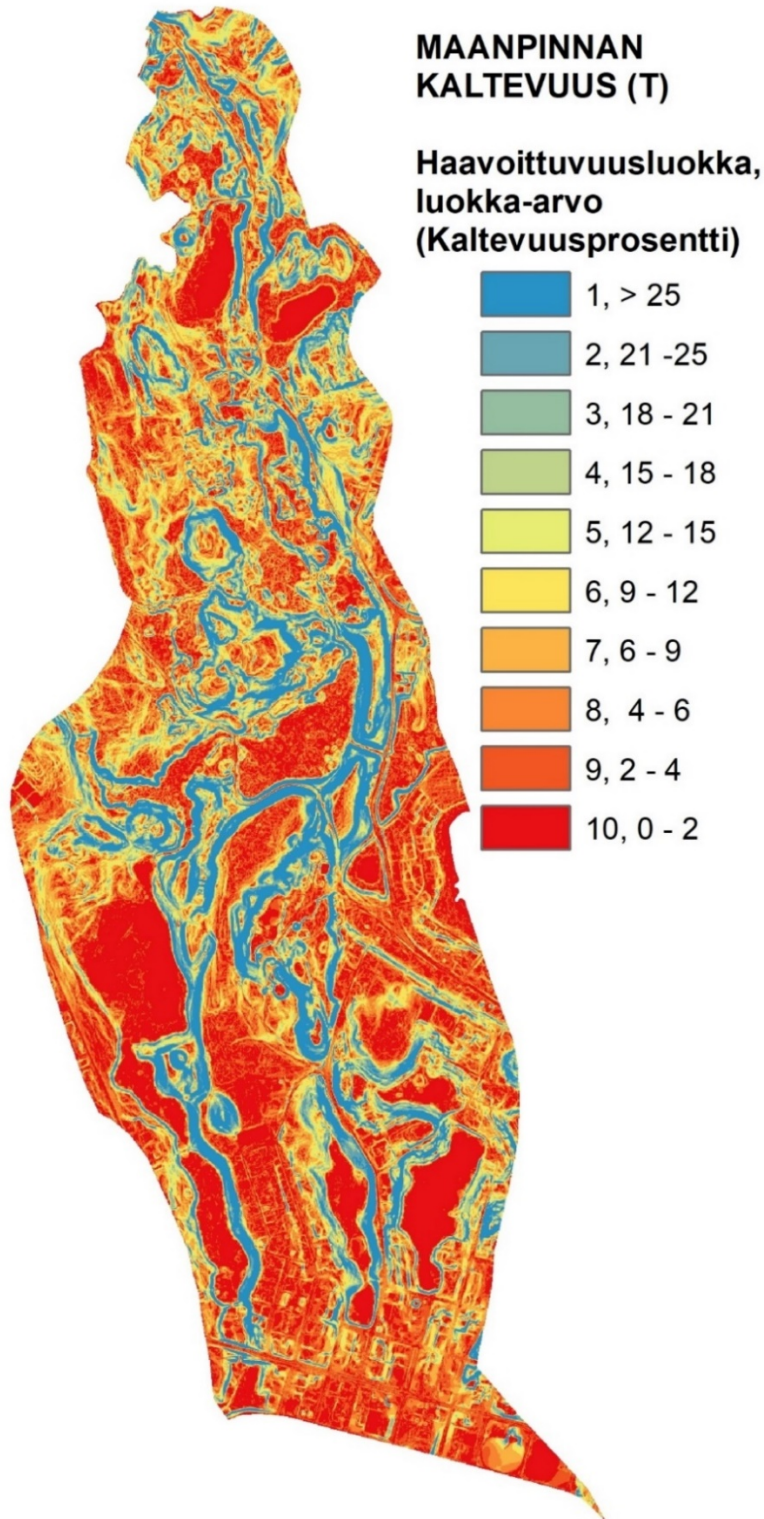
Maanpinnan muoto ja kaltevuus (*Topography/slope*) vaikuttavat veden imeytymiseen ja pintavalunnan määrään. Mitä pienempi maanpinnan kaltevuus on, sitä enemmän vedellä on viipymää ja potentiaalia imeytyä, ja sitä suurempi on pohjaveden haavoittuvuuspotentiaali. Maanpinnan kaltevuuden aiheuttama haavoittuvuus arvioidaan maan pinnan kaltevuuden prosenttiosuuden perusteella (45 asteen kulma on 100 %). Parametrin T luokka-arvot on esitetty **liitteessä 1**.

Parametrin T painoarvokerroin DRASTIC-analyysissä on yksi.

### 4.5.1 Mikkeli

Mikkelin tutkimusalueella parametrin T laskennassa lähtöaineistoina käytettiin Maanmittauslaitoksen valtakunnallista laserkeilausaineistoa (Maanmittauslaitos 2021). **Kuvassa 13** esitetään Mikkelin tutkimusalueelle laskettu parametri T. Kuvassa esitetään myös parametrin T eri haavoittuvuusluokkien luokka-arvot, jotka perustuvat **liitteeseen 1**.

15.12.2021

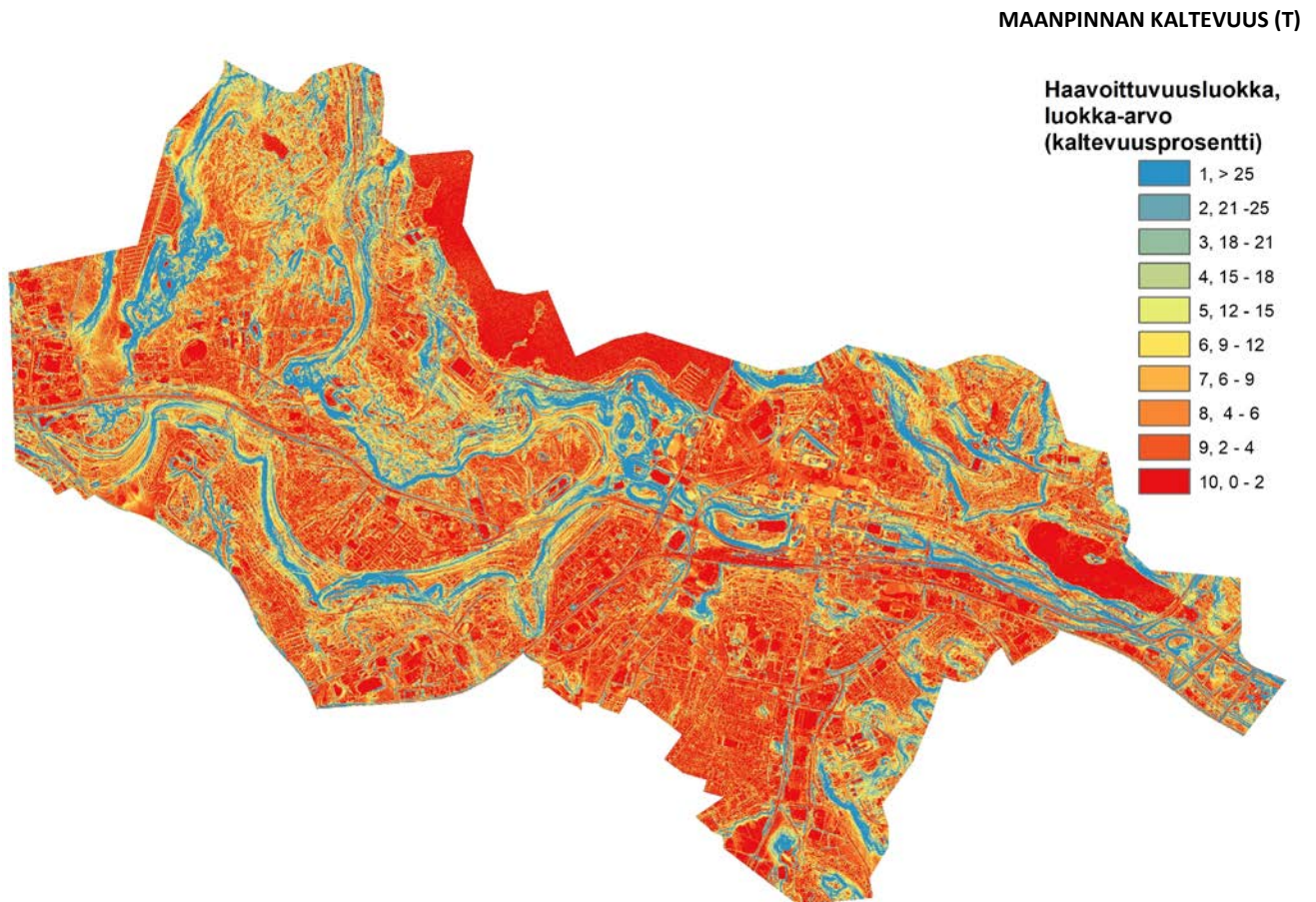


**Kuva 13.** Hanhikankaan pohjavesialueen DRASTIC-analyysin parametri T (maanpinnan kaltevuus).  
**Figure 13.** The DRASTIC analysis of the Hanhikangas aquifer: the T parameter (Topography/Slope).

15.12.2021

#### 4.5.2 Lahti

Lahden pohjavesialueella parametrin T laskennassa lähtöaineistoina käytettiin Maanmittauslaitoksen valtakunnallista laserkeilausaineistoa (Maanmittauslaitos 2021). **Kuvassa 14** esitetään Lahden pohjavesialueelle laskettu parametri T. Kuvassa esitetään myös parametrin T eri haavoittuvuusluokkien luokka-arvot, jotka perustuvat **liitteeseen 1**.



**Kuva 14.** Lahden pohjavesialueen DRASTIC-analyysin parametri T (maanpinnan kaltevuus).

**Figure 14.** The DRASTIC analysis of the Lahti aquifer: the T parameter (Topography/Slope) in Lahti.

#### 4.6 Maalaji vajovesivyöhykkeessä (I)

Maalaji vajovesivyöhykkeessä (*Impact of the vadose zone*) eli vadoosivyöhyke sijoittuu pohjavedenpinnan yläpuolisen vyöhykkeen ja kasvillisuuden juurivyöhykkeen välille. Haavoittuvuusanalyysissä pohjaveden pilaantumispotentiaalia arvioidaan vajovesivyöhykkeen maalajin perusteella. Mitä läpäisevämpää materiaalia vajovesivyöhykkeessä on, sitä lyhempi on aineiden kulkeutumisaika ja samalla myös maaperän pidätyskapasiteetti on pienempi, jolloin pohjaveden haavoittuvuusherkyys kasvaa. Vajovesivyöhykkeen haavoittuvuusluokituksessa

15.12.2021

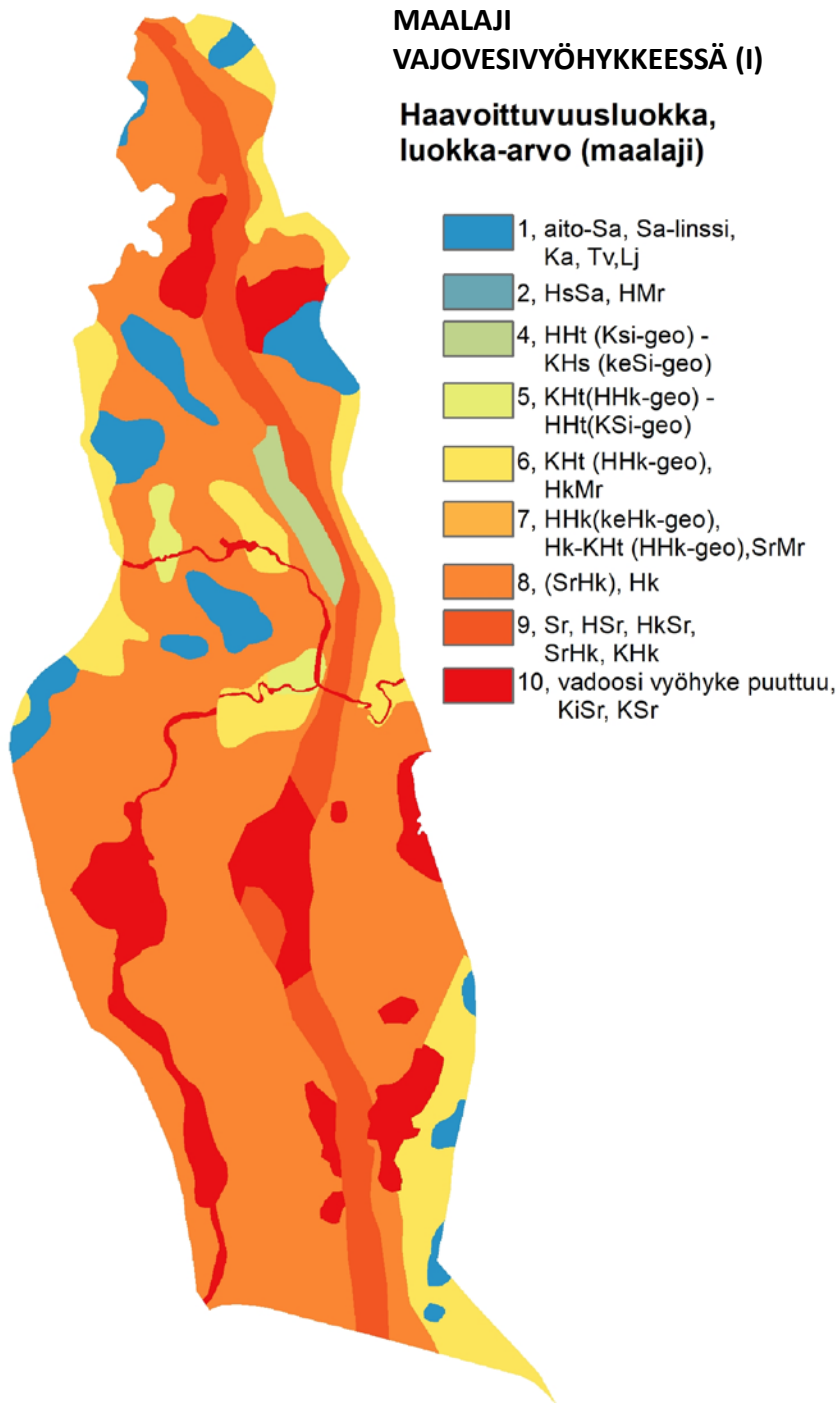
käytetään 1:20 000 maaperäkartan maalajitietoa (Luoma et al. 2017, Hyvönen & Luoma 2019). Maaperäkartan maalajitietoa täydennetään kairaustietojen perusteella, mikäli niitä on tutkimusalueelta käytettävissä. Parametrin I luokka-arvot on esitetty **liitteessä 1**.

Parametrin I painoarvokerroin DRASTIC-analyysissä on korkein mahdollinen eli viisi. Pohjavettä suojaavan maapeitteen eli vajovesivyöhykkeen maaperän vedenläpäisevyys on oleellinen tekijä, kun arvioidaan mahdollisen haitta-aineen kulkeutumisaikaa maanpinnalta pohjaveteen.

#### 4.6.1 Mikkelin

Mikkelin Hanhikankaan parametrin I laskennassa lähtöaineistoina käytettiin maaperäkarttaa 1:20 000 (Geologian tutkimuskeskus 2021) ja siihen merkittyyä pohjamaalajeja sekä alueelta käytössä olleita kairaustietoja (mm. Väänänen et al. 2016). **Kuvassa 15** esitetään Mikkelin tutkimusalueelle laskettu parametri I. Kuvassa esitetään myös parametrin I eri haavoittuvuusluokkien luokka-arvot, jotka perustuvat **liitteeseen 1**.

15.12.2021



**Kuva 15.** Hanhikankaan pohjavesialueen DRASTIC-analyysin parametri I (maalaji vajovesi- eli vadoosivyöhykkeessä). Kartan selitteessä esitetään vain ne haavoittuvuusluokat, jotka esiintyvät tutkimusalueella.

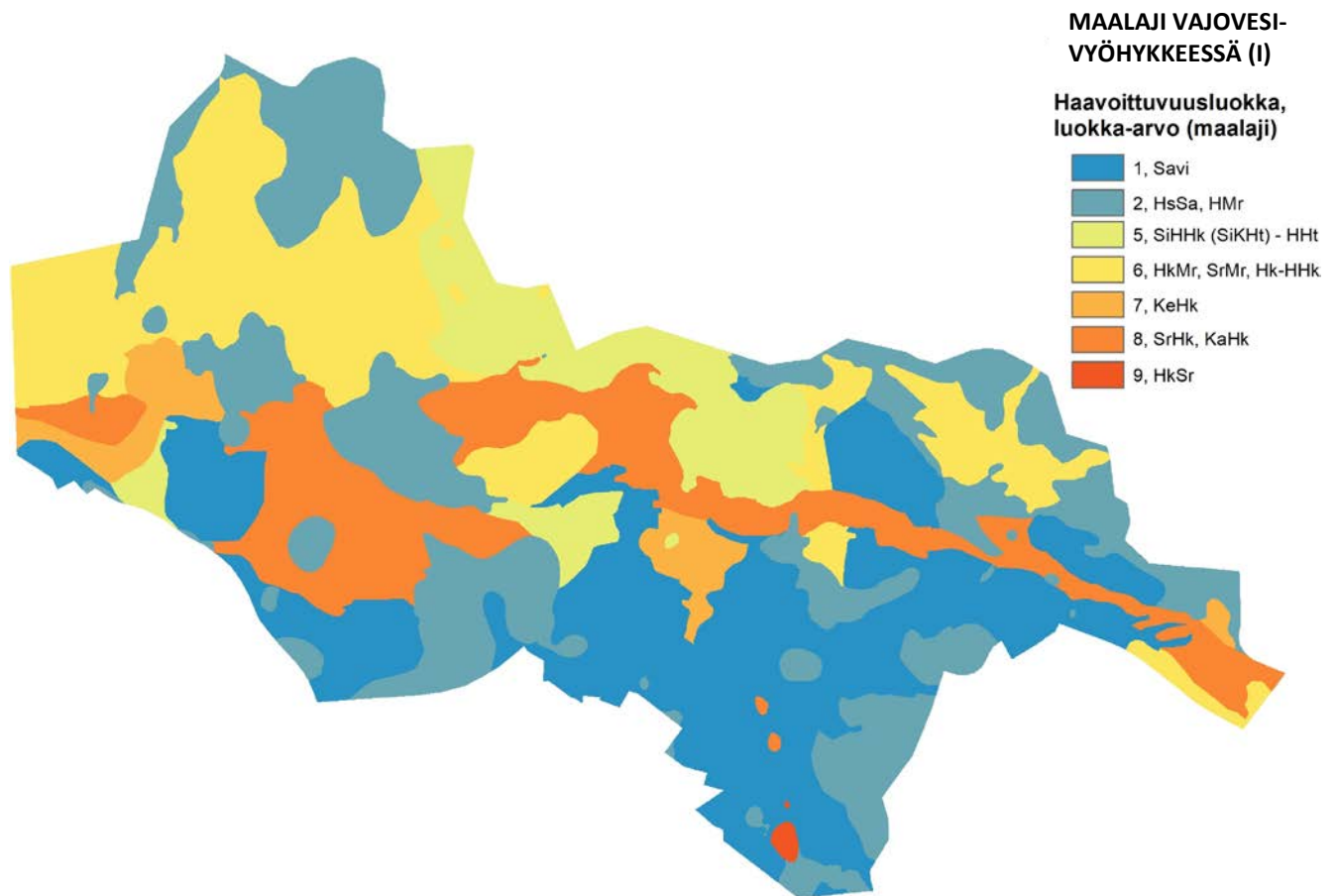
**Figure 15.** The DRASTIC analysis of the Hanhikangas aquifer: the I parameter (Impact of vadose zone). The legend only shows the vulnerability categories that occur in the study area.



15.12.2021

#### 4.6.2 Lahti

Lahden tutkimusalueella parametrin I laskennassa lähtöaineistoina käytettiin maaperäkarttaa 1:20 000 (Geologian tutkimuskeskus 2021) ja siihen merkittviä pohjamaalajeja. **Kuvassa 16** esitetään Lahden tutkimusalueelle laskettu parametri I. Kuvassa esitetään myös parametrin I eri haavoittuvuusluokkien luokka-arvot, jotka perustuvat **liitteeseen 1**.



**Kuva 16.** Lahden pohjavesialueen DRASTIC-analyysin parametri I (maalaji vajovesi- eli vadoosivyöhykkeessä). Kartan selitteessä esitetään vain ne haavoittuvuusluokat, jotka esiintyvät tutkimusalueella.

**Figure 16.** The DRASTIC analysis of the Lahti aquifer: the I parameter (Impact of vadose zone). The legend only shows the vulnerability categories that occur in the study area.

#### 4.7 Hydraulinen johtavuus pohjavesivyöhykkeessä (C)

Akviferin pohjavesikerroksen eri maalajien hydraulinen vedenjohtavuus eli ns. K-arvo (*hydraulic Conductivity*) vaihtelee pohjavesialueen eri osissa maalajin mukaisesti. Haavoittuvuusanalyysissä suurempi hydraulinen johtavuus vastaa suurempaa pohjaveden haavoittuvuusherkkyttä, koska

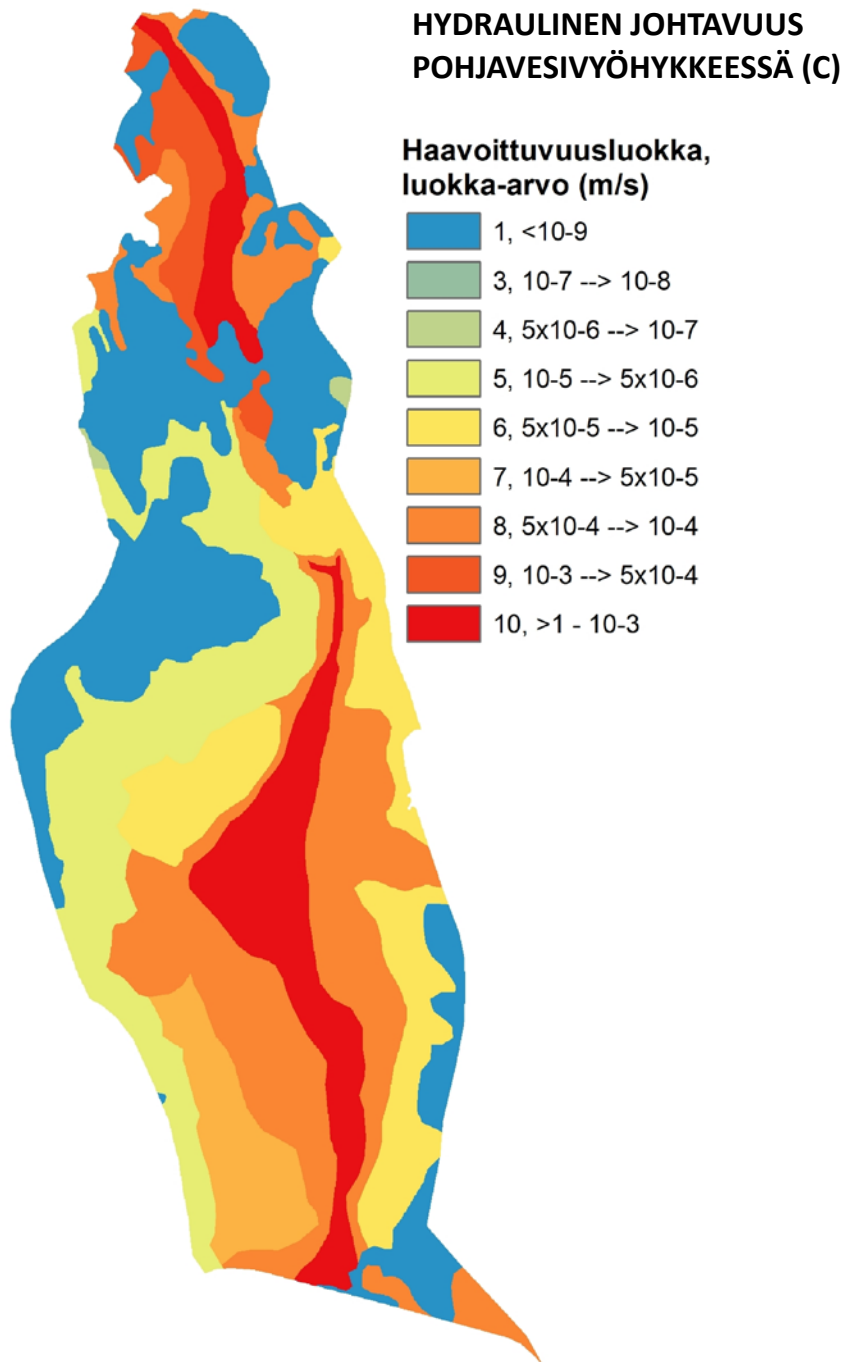
15.12.2021

nopeasti virtaava vesi kuljettaa ja levittää mahdollista kontaminaatiota tehokkaammin (Aller et al. 1987). Parametrin C määrittämiseen käytetään kirjallisuudessa esitettyjä K-arvoja pohjavesivyöhykkeen maalajeille (parametri A). Parametrin C luokka-arvot on esitetty **liitteessä 1**. Parametrin C painoarvokerroin DRASTIC-analyysissä on kolme.

#### **4.7.1 Mikkeli**

Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueen parametrin C laskennassa lähtöaineistoina käytettiin maaperäkarttaa 1:20 000 (Geologian tutkimuskeskus 2021) ja siihen merkittyjen pohjamaalajien kirjallisuudesta saatavia K-arvoja. **Kuvassa 17** esitetään Mikkelin tutkimusalueelle laskettu parametri C. Kuvassa esitetään myös parametrin C eri haavoittuvuusluokkien luokka-arvot, jotka perustuvat **liitteeseen 1**.

15.12.2021



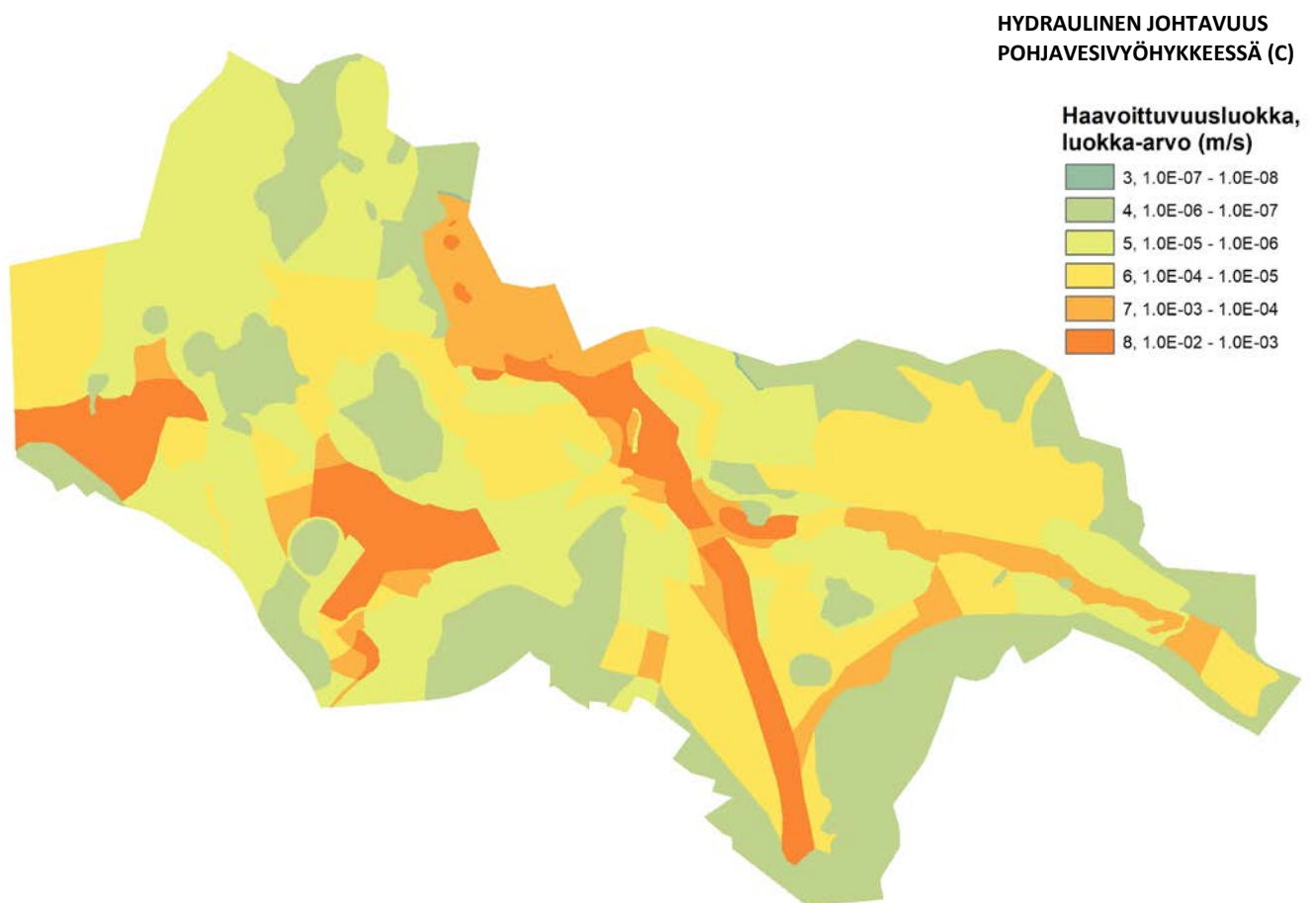
**Kuva 17.** Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueen DRASTIC-analyysin parametri C (hydraulinen vedenjohtavuus pohjavesivyöhykkeessä). Kartan selitteessä esitetään vain ne haavoittuvuusluokat, jotka esiintyvät tutkimusalueella.

**Figure 17.** The DRASTIC analysis of the Hanhikangas aquifer: the C parameter (hydraulic Conductivity). The legend only shows the vulnerability categories that occur in the study area.

15.12.2021

#### 4.7.2 Lahti

Lahden tutkimusalueen parametrin C laskennassa lähtöaineistoina käytettiin maaperäkarttaa 1:20 000 (Geologian tutkimuskeskus 2021) ja siihen merkittyjen pohjamaalajien kirjallisuudesta saatavia K-arvoja. **Kuvassa 18** esitetään tutkimusalueelle laskettu parametri C. Kuvassa esitetään myös parametrin C eri haavoittuvuusluokkien luokka-arvot, jotka perustuvat **liitteeseen 1**.



**Kuva 18.** Lahden pohjavesialueen DRASTIC-analyysin parametri C (hydraulinen vedenjohtavuus pohjavesivyöhykkeessä). Kartan selitteessä esitetään vain ne haavoittuvuusluokat, jotka esiintyvät tutkimusalueella.

**Figure 18.** The DRASTIC analysis of the Lahti aquifer: the C parameter (hydraulic Conductivity). The legend only shows the vulnerability categories that occur in the study area.

15.12.2021

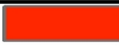




## 5 DRASTIC-ANALYYSI MIKKELI JA LAHTI

Lopullinen DRASTIC-haavoittuvuusindeksi on jokaisen edellä kappaleissa 4.1.–4.7. esitettyjen painoarvokertoimilla kerrottujen seitsemän eri DRASTIC-parametrin summa eli nk. DRASTIC indeksi =  $(Dr \times Dw) + (Rr \times Rw) + (Ar \times Aw) + (Sr \times Sw) + (Tr \times Tw) + (Ir \times Iw) + (Cr \times Cw)$ . RAINMAN-projektissa käytettyjen painoarvokertoimien mukaan DRASTIC-indeksi voi saada lukuarvoja välillä 23–230.

DRASTIC-indeksissä korkea lukuarvo vastaa suurempaa haavoittuvuuspotentiaalia kuin matala arvo. Pohjavesialueen haavoittuvuusherkkyyden tarkastelua varten DRASTIC-indeksin lukuarvot voidaan jakaa erillisiin haavoittuvuusluokkiin. RAINMAN-projektissa päätettiin käyttää neljää haavoittuvuusluokkaa. Luokituksesta tehtiin konservatiivinen ja ääripäiden, korkea tai matala, luokkarajat ovat kapeampia kuin kahden keskimmäisen. Mikkelin Hanhikankaan ja Lahden Lahti pohjavesialueilla käytettiin samaa luokitusta, jotta pohjavesialueiden haavoittuvuuspotentiaalia voitiin verrata toisiinsa. Neliportaisen luokituksen lisäksi molemmille pohjavesialueille tehtiin haavoittuvuusluokitus ilman tarkkoja luokkarajoja samaa liukuväriasteikkoa käyttäen. **Taulukossa 3** esitetään Mikkelin Hanhikankaan ja Lahden pohjavesialueiden DRASTIC-haavoittuvuusluokkien jaottelussa käytetyt DRASTIC-arvot. On huomioitava, että luokkien väliset rajat eivät ole tarkkoja, vaan ainoastaan suuntaa antavia arvioita haavoittuvuusherkkyydestä.

**Taulukko 3.** Haavoittuvuusluokkien DRASTIC-arvot Hanhikankaan ja Lahden pohjavesialueilla.

**Tabel 3.** The DRASTIC vulnerability classes in the Hanhikangas and the Lahti aquifers.

Haavoittuvuus- luokka	DRASTIC-arvo	Karttojen väripaletti neljällä värillä	Karttojen väripaletti liukuväreillä
Korkea	yli 200		
Kohonnut	140 - 200		
Keskinkertainen	50 - 140		
Matala	alle 50		

### 5.1 Mikkelä

DRASTIC-analyysiin perustuva Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueen haavoittuvuusluokittelu on esitetty **kuvissa 19a ja 19b**. Kuvassa 19a luokittelu on esitetty jaettuna neljään eri väriin (vihreä – vaalean vihreä – oranssi – punainen) ja kuvassa 19b luokittelu on esitetty liukuvana väripaletina vihreästä punaiseen.

Haavoittuvuusluokka on paikoitellen korkea (**kuvassa 19a** punaisella merkityt alueet) mm. tutkimusalueen pohjoisosassa, pienillä alueilla Heinäjärven Särkijärven ympäristöissä, alueen keskiosassa Ahvenlammin ympäristössä (Kalevankadun ja Rouhialankadun itäpuolisilla alueilla) sekä pienillä alueilla tutkimusalueen kaakkoisosassa Likolammin länsipuolella olevien pienten vesistöjen ranta-alueilla.

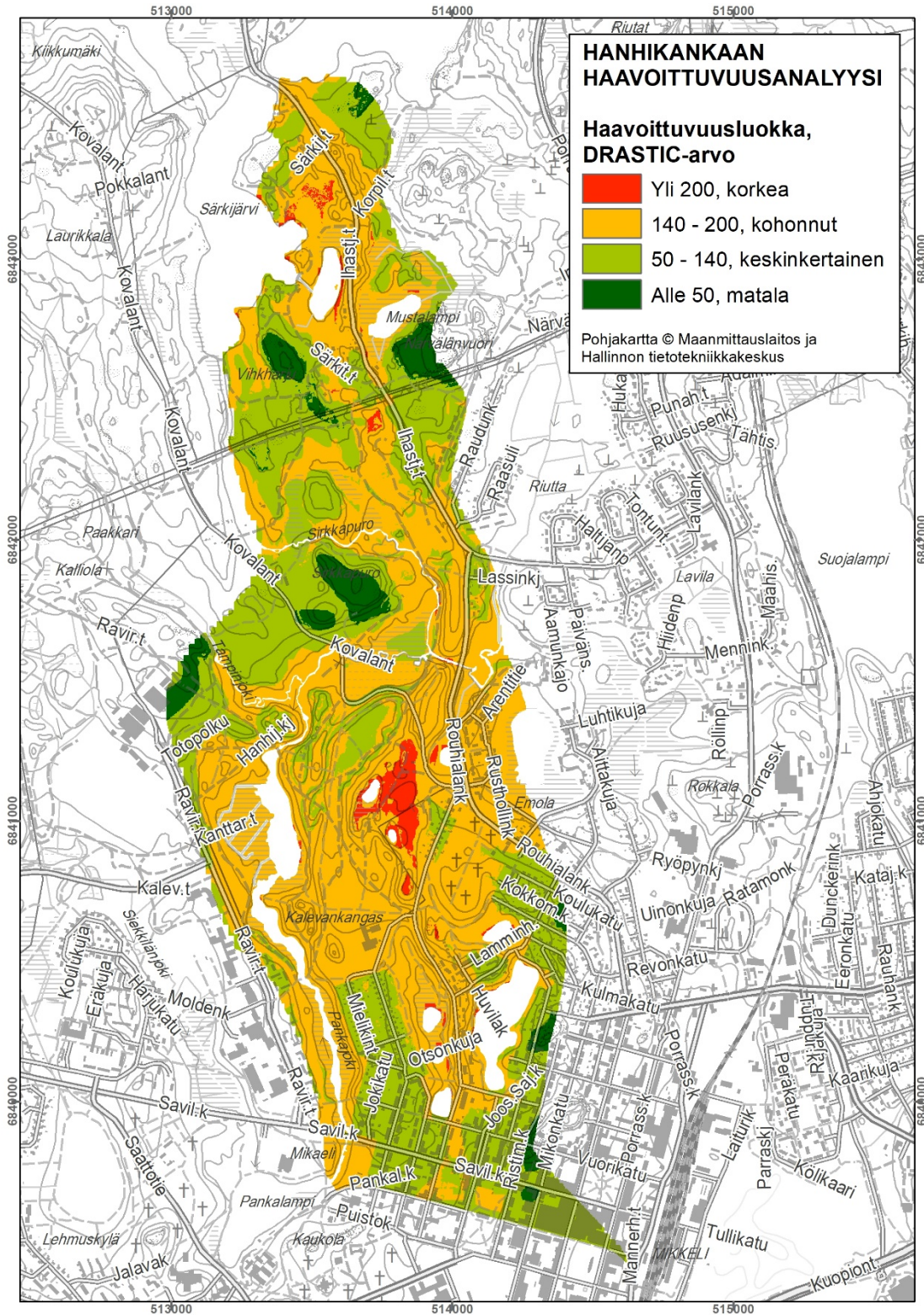


15.12.2021

Haavoittuvuuserkkyydeltään kohonneita alueita (**kuvassa 19a** oranssilla merkityt alueet) ovat mm. tutkimusalueen keskiosassa sijaitseva Kalevankankaan ja hautausmaan alueet, Hanhilammen ympäristö sekä jokiuomien (Pankajoki, Hanhijoki, Sirkkapuro) lähialueet.

Haavoittuvuusluokka on matala (**kuvassa 19a** vihreän sävyillä merkityt alueet) tutkimusalueen länsi- ja kaakkoisosissa Naisvuoren lähialueilla sekä tutkimusalueen luoteisosassa Kovalantien lähialueilla. Tutkimusalueen pohjoisosissa haavoittuvuusluokka on matala mm. Vihkharjun – Närvälänvuoren alueilla.

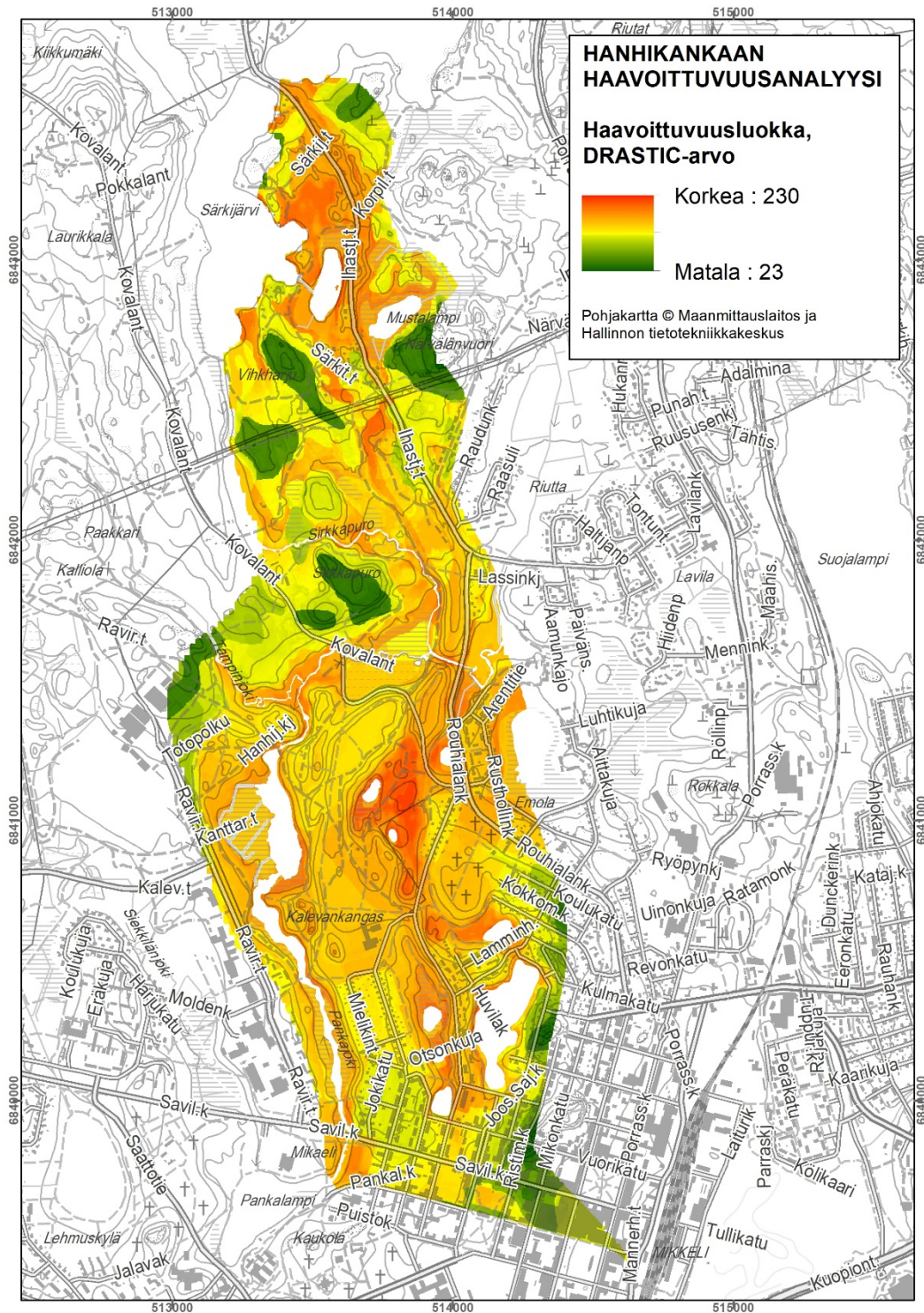
15.12.2021



**Kuva 19a.** DRASTIC-analyysiin perustuva Hanhikankaan pohjavesialueen haavoittuvuusluokittelu.  
**Figure 19a.** The DRASTIC vulnerability analysis of the Hanhikangas aquifer.



15.12.2021



**Kuva 19b.** DRASTIC-analyysiin perustuva Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueen haavoittuvuusluokittelu esitettyinä liukuväreillä.

**Figure 19b.** The DRASTIC vulnerability analysis of the Hanhikangas aquifer presented in gradient colouring.

15.12.2021

## 5.2 Lahti

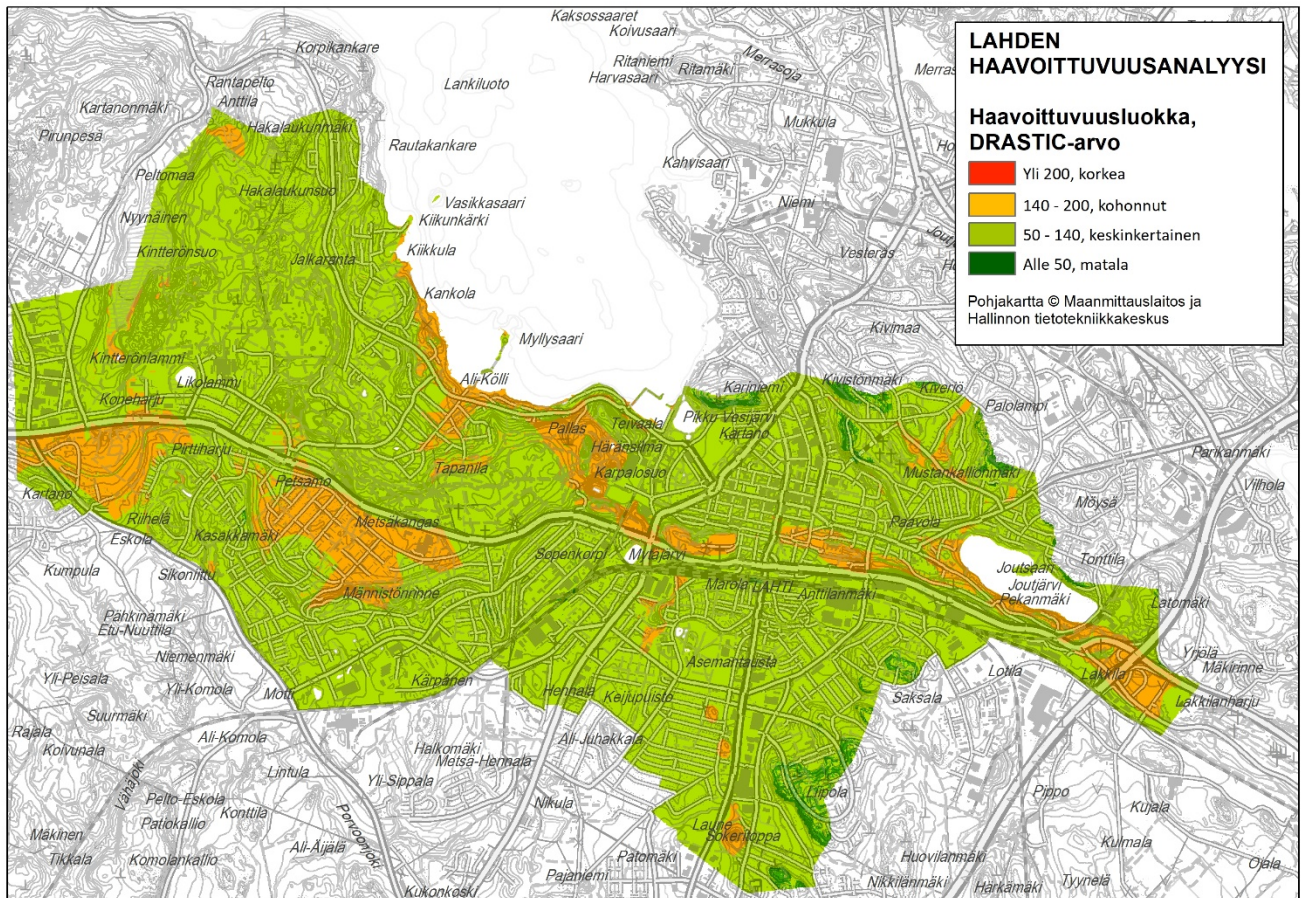
DRASTIC-analyysiin perustuva Lahden pohjavesialueen haavoittuvuusluokittelu on esitetty **kuvissa 20a ja 20b**. Kuvassa 20a luokittelu on esitetty jaettuna neljään eri väriin (vihreä – vaalean vihreä – oranssi – punainen) ja kuvassa 20b luokittelu on esitetty liukuvana väripalettina vihreästä punaiseen.

Analyysin perusteella Lahden pohjavesialueella ei ole korkean haavoittuvuusluokan alueita, mikä johtuu pääasiassa siitä, että pohjavesipinta on laajoilla alueilla yli 20 metrin syvyydellä. Nämä alueet saavat D-parametrin osalta alhaisimman luokka-arvon. Haavoittuvuusherkkydeltään kohonneita alueita (**kuvassa 20a** oranssilla merkityt alueet) ovat mm. lähes koko pohjaveden varsinainen muodostumisalue (**kuvissa 1 ja 4** karttamerkintä sininen katkeamaton viiva) tutkimusalueen keskiosista itään ja tutkimusalueen keskiosassa sijaitsevien Petsamon ja Männistön eteläpuoliset alueet. Myös osa Vesijärven ranta-alueista ja tutkimusalueen lounaisosa Lahden läpi kulkevan Hämeenlinnantien (vanha vt12) eteläpuolella ovat kohonneen haavoittuvuusluokan alueita. Haavoittuvuusherkkyys on kohonnut hyvin pienialaisesti myös luoteisosassa, vedenottamon eteläpuolelta.

Haavoittuvuusluokka on matala tai keskinkertainen (**kuvassa 20a** vihreän sävyillä merkityt alueet) suurimmassa osassa tutkimusaluetta. Haavoittuvuusluokka on matala mm. tutkimusalueen luoteisosassa Likolammin ja Vesijärven välisellä laajalla alueella sekä tutkimusalueen keskiosissa Salpausselän – Pikku-Vesijärven – Mustankallion hautausmaan välisellä alueella. Myös käytännössä lähes koko tutkimusalue pohjaveden varsinaisen muodostumisalueen eteläpuolella kuuluu matalaan/keskinkertaiseen haavoittuvuusluokkaan.



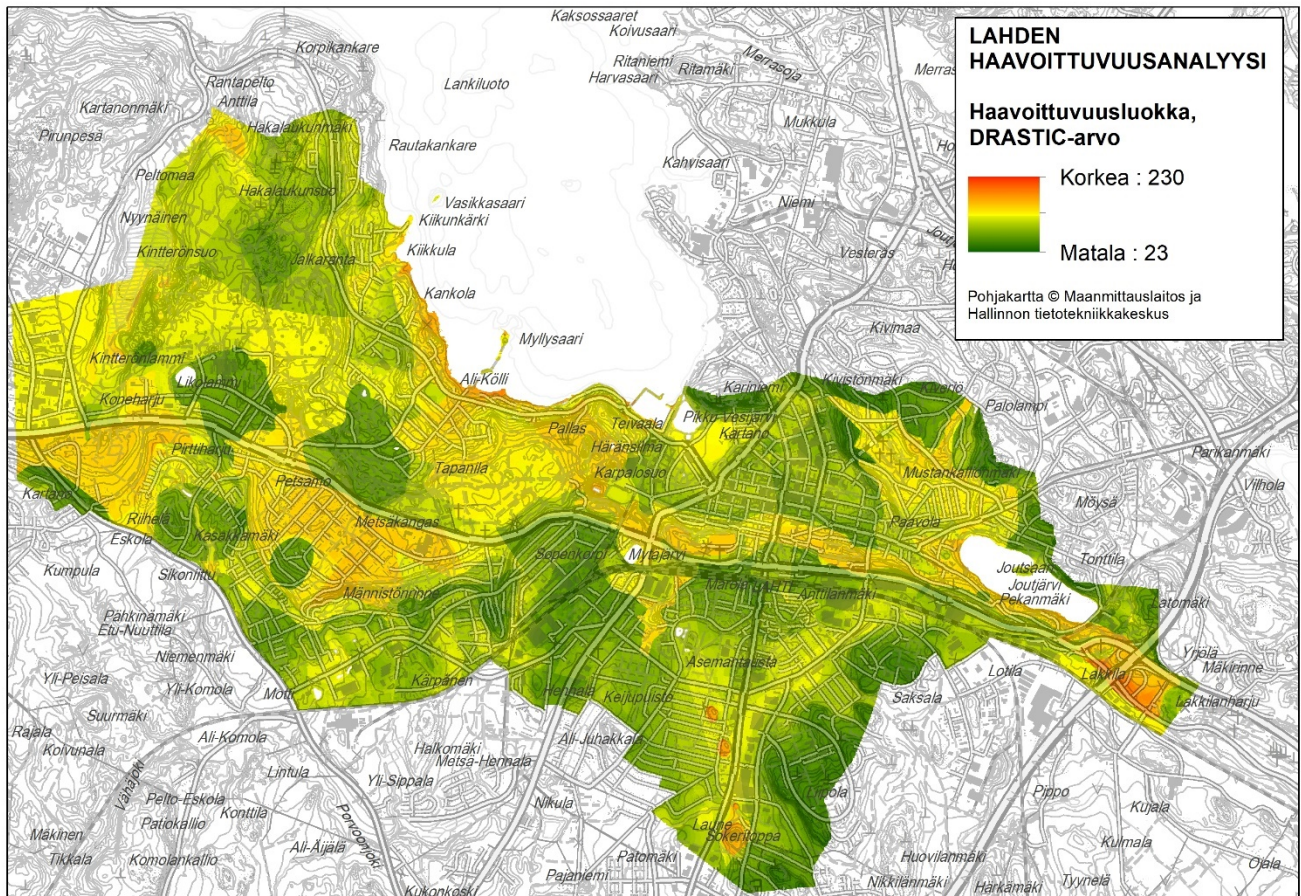
15.12.2021



**Kuva 20a.** DRASTIC-analyyysiin perustuva Lahden pohjavesialueen haavoittuvuusluokittelu.  
**Figure 20a.** The DRASTIC vulnerability analysis of the Lahti aquifer.



15.12.2021



**Kuva 20b.** DRASTIC-analyysiin perustuva Lahden pohjavesialueen haavoittuvuusluokittelu esitetynä liukuväreillä.

**Figure 20b.** The DRASTIC vulnerability analysis of the Lahti aquifer presented in gradient colouring.

## 6 HAAVOITTUVUUSANALYYSIN HYÖDYNTÄMINEN POHJAVEDEN SUOJELUSSA

Pohjavesialueiden suojelusuunnitelma toimii taustana pohjavesialueen maankäytön suunnittelussa sekä lupaprosesseissa. Suojelusuunnitelmat mahdollistavat pohjavesialueen kokonaisvaltaisen riskitarkastelun, koska niissä selvitetään pohjavesialueella sijaitsevat toiminnot, joilla voi olla vaikutuksia sekä pohjaveden laatuun että määrään. Lisäksi suojelusuunnitelmassa esitetään alueella jo oleville sekä sinne mahdollisesti tuleville riskitoiminnoille toimenpidesuosituksia pohjavesiin kohdistuvien riskien vähentämiseksi. Pohjavesialueiden riskinarviointi tehdään olemassa olevien tietojen perusteella ja se pohjautuu joko subjektiivisen asiantuntijanäkemykseen tai pisteytysmenetelmään, jossa arvioidaan sekä sijainti- että päästöriskiä (Britschgi et al. 2018).

15.12.2021

Pohjavesialueen luontaista haavoittuvuutta voidaan arvioida yhdistämällä haavoittuvuusanalyysissä tuotettuun haavoittuvuuskarttaan pohjavesialueen riskikohteet. Lisäämällä tarkasteluun myös pohjaveden virtaussuunnat ja vedenottamot, riskitarkastelulla voidaan arvioida todennäköisyyttä, jolla haitta-aine kulkeutuu pohjaveden mukana päästölähteestä vedenottamolle (Britschgi et al. 2018). Haavoittuvuusanalyysiä on Suomessa käytetty osana pohjavesialueiden suojelusuunnitelmaa vain Kalajoen Kourinkankaalla (A) ja Sievin Lähteenkankaalla (Takalo 2011) sekä RAINMAN-projektin osana Mikkelin Hanhikankaalle laadittavassa suojelusuunnitelmassa. Hyödynnettäessä haavoittuvuusanalyysiä pohjaveden suojelussa on huomioitava, että pohjavesialueella on voimassa pohjaveden pilaamiskielto. Pohjaveden määrää tai laatua heikentävien toimintojen riskitarkastelu on tehtävä myös DRASTIC-analyysin matalan haavoittuvuuden alueille.

Pohjavesiriskiä aiheuttavia toimintoja ovat esimerkiksi teollisuus, liikenne, tienpito, pilaantuneet maa-alueet, asutukseen liittyvät toiminnot (mm. jätevedet, hulevedet, öljysäiliöt, maalämpö, kaukolämpöverkostot), maa-ainestenotto, maa- ja metsätalous sekä hautausmaat. Riskitekijöistä on saatavilla tietoa ympäristöviranomaisten tietojärjestelmistä (esim. MATTI, POVET, VAHTI). Em. toiminnot voivat olla mahdollisia päästölähteitä, vaikka varsinaista päästöä pohjaveteen ei olisi tapahtunut. Tämän vuoksi pohjavettä mahdollisesti uhkaavia toimintoja tulisikin aina tarkastella kriittisesti jo siinä vaiheessa, kun niiden sijoittamista pohjavesialueille pohditaan kaavoittamistyössä (mm. Britschgi et al. 2018, Koivulehto 2020).

Osa nk. MATTI-kohteista, kuten lämmitysöljysäiliöt, saattavat olla maanalaisia. Näiden riskikohteiden osalta DRASTIC-analyysi ei anna oikeaa kuvaa potentiaalisesta pohjaveden haavoittumisriskistä mahdollisessa vuoto- tai onnettomuustilanteessa. DRASTIC-analyysin parametrit, niiden luokituskriteerit sekä painotus perustuvat maanpinnalta pohjaveteen kulkeutuvan veden liikkumisen maaperässä vertikaalisesti. Maanalaisen riskikohteen kohdalla etäisyys pohjaveden pintaan on lyhyempi (D) eli haavoittuvuusherkyys on suurempi, pintamaan ominaisuudet (S) eivät vaikuta haavoittuvuusherkkyyteen samalla tavoin kuin maanpinnan päällä oleviin toimintoihin eli mahdollinen pohjavettä suojaava vaikutus puuttuu ja toisaalta maanpinnan kaltevuudella (T) ei ole yhtä merkittävää vaikutusta maanalaisiin kohteisiin.

RAINMAN-projektissa Mikkelin ja Lahden tutkimusalueille tehtyjä haavoittuvuusherkyyskarttoja (DRASTIC-haavoittuvuusanalyysi) hyödynnettiin pohjavettä mahdollisesti uhkaavien päästölähteiden alustavaan riskitarkasteluun nk. MATTI-kohteiden osalta (Maaperän tilan tietojärjestelmä <https://ckan.ymparisto.fi/dataset/maaperan-tilan-tietojarjestelma-matti>). Valtakunnalliseen maaperän tilan tietojärjestelmään (MATTI) on koottu pilaantuneen maaperän tietoja noin 28 000 maa-alueesta, joilla maaperä saattaa olla pilaantunut, maaperän tiedetään pilaantuneen tai maaperä on puhdistettu (Suomen ympäristökeskus 2019c). Tutkimuksen kohteena olleiden Hanhikankaan ja Lahden pohjavesialueiden suojelusuunnitelmia laadittaessa ja päivitettäessä haavoittuvuusanalyysin hyödyntäminen myös muiden toimintojen riskinarvioinnissa ja toimenpidesuosituksen määrittämisessä on perusteltua.

15.12.2021

## 6.1 Mikkeli – MATTI-kohteet ja DRASTIC-haavoittuvuusanalyysi

Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueelle sijoittuu 18 MATTI-kohdetta, jotka esitetään **taulukossa 4**. Näistä kohteista kaksi sijoittuu DRASTIC-analyysin perusteella arvioidun korkean haavoittuvuuden alueille ja viisi kohonneen haavoittuvuuden alueille. **Kuvissa 21 ja 22** on esitetty myös pohjavesialueen rajauksen ulkopuolisia MATTI-kohteita.

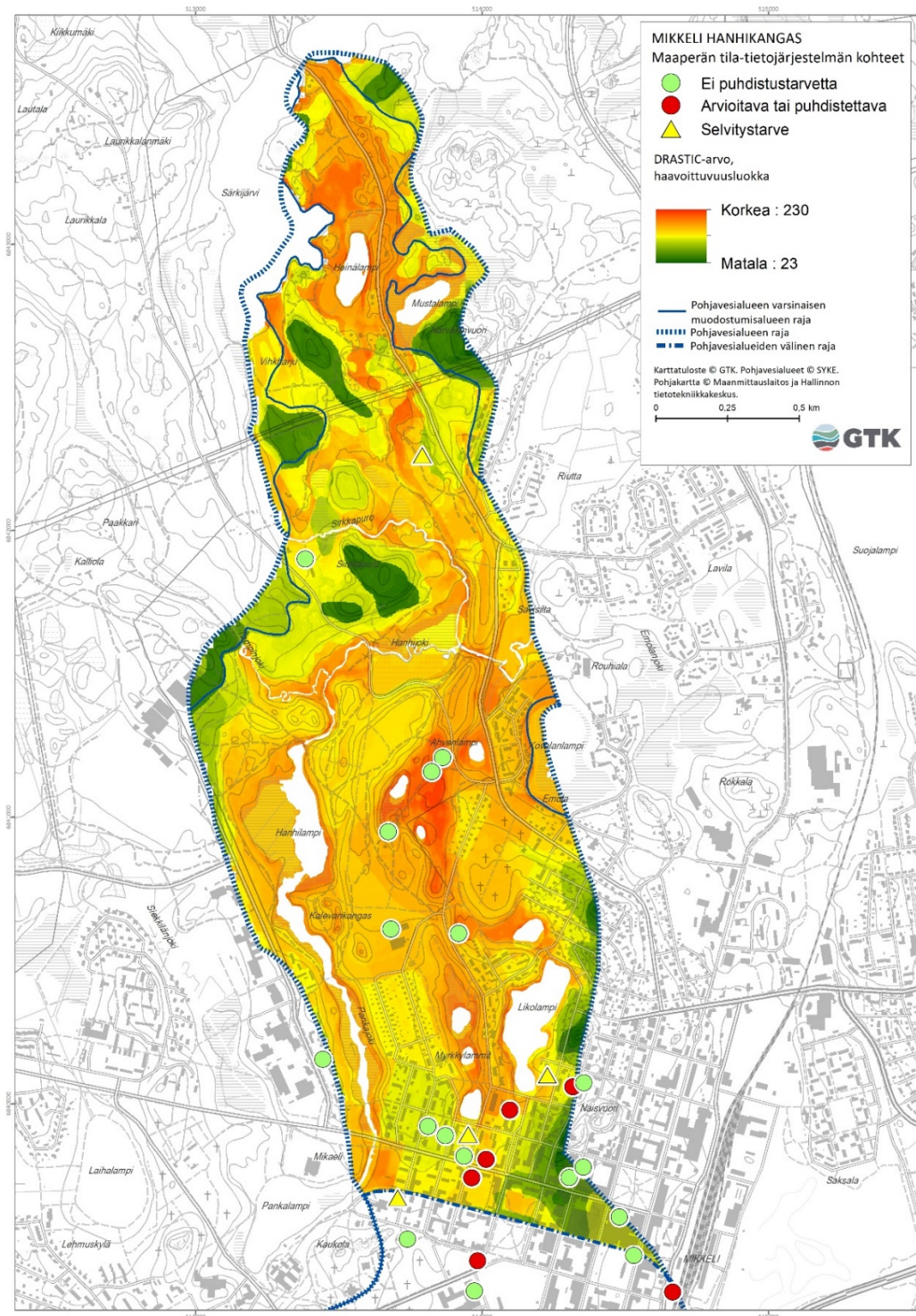
**Taulukko 4.** Hanhikankaan pohjavesialueella sijaitsevat Valtakunnallisen Maaperän tilan tietojärjestelmän (MATTI)-kohteet DRASTIC-analyysin mukaisten haavoittuvuusluokkien alueilla. **Table 4.** The MATTI-sites from the national soil condition database in the Hanhinkangas aquifer combined with the DRASTIC vulnerability classes.

Haavoittuvuusluokka	Toimintalaji	Toiminta	Puhdistustarve	Käyttörajoite	Kunnostettu
Korkea	Muu riskitoiminta	Toimiva	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	
Korkea	Muu riskitoiminta	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	
Kohonnut	Energialaitos (sähkö- tai lämpövoimala)	Toimiva	Arvioitava tai puhdistettava	Maankäyttörajoite	06.04.2016
Kohonnut	Rakennuksen lämmitysöljysäiliö	Toimiva	Arvioitava tai puhdistettava	Tarkista selvitystarve	
Kohonnut	Öljy- ja kemikaalivahinkoalueet	Toimiva	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	04.09.2015
Kohonnut	Yhdyskuntakaatopaikka	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	
Kohonnut	Muu riskitoiminta	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	
Keskinkertainen	Huoltoasema	Lopetettu	Arvioitava tai puhdistettava	Maankäyttörajoite	11.08.2006
Keskinkertainen	Öljy- ja kemikaalivahinkoalueet	Lopetettu	Arvioitava tai puhdistettava	Maankäyttörajoite	
Keskinkertainen	Muu riskitoiminta	Toimiva	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	07.11.2017
Keskinkertainen	Rakennuksen lämmitysöljysäiliö	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	06.05.2008
Keskinkertainen	Rakennuksen lämmitysöljysäiliö	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	
Keskinkertainen	Rakennuksen lämmitysöljysäiliö	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	16.10.2017
Keskinkertainen	Muu riskitoiminta	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	04.03.2010
Keskinkertainen	Rakennuksen lämmitysöljysäiliö	Toimiva	Selvitystarve	Maankäyttörajoite	09.05.2017
Keskinkertainen	Pysyvän jätteen kaatopaikka	Toimiva	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	17.03.2015
Keskinkertainen	Asfaltti-, öljysora- ja murskausasemat	Ei tietoa	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	
Matala	Rakennuksen lämmitysöljysäiliö	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	

**Kuvissa 21 ja 22** esitetään MATTI-kohteet Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueen haavoittuvuuskartalla. Kohteet on luokiteltu puhdistustarpeen (ei puhdistustarvetta, toimiva kohde, arvioitava tai puhdistettava, selvitystarve) sekä käyttörajoitteen (ei käyttörajoitetta, tarkista selvitystarve, maa-aineisten käyttörajoite, maankäyttörajoite) mukaan. MATTI-kohteita ei ole tässä tutkimuksessa priorisoitu esimerkiksi päästölähteen tai mahdollisen päästön ominaisuuksien perusteella eikä niiden merkitystä Hanhikankaan pohjavesialueen haavoittuvuusherkkyydelle ole huomioitu esimerkiksi pohjavedessä todettujen haitta-ainepitoisuuksien perusteella.



15.12.2021

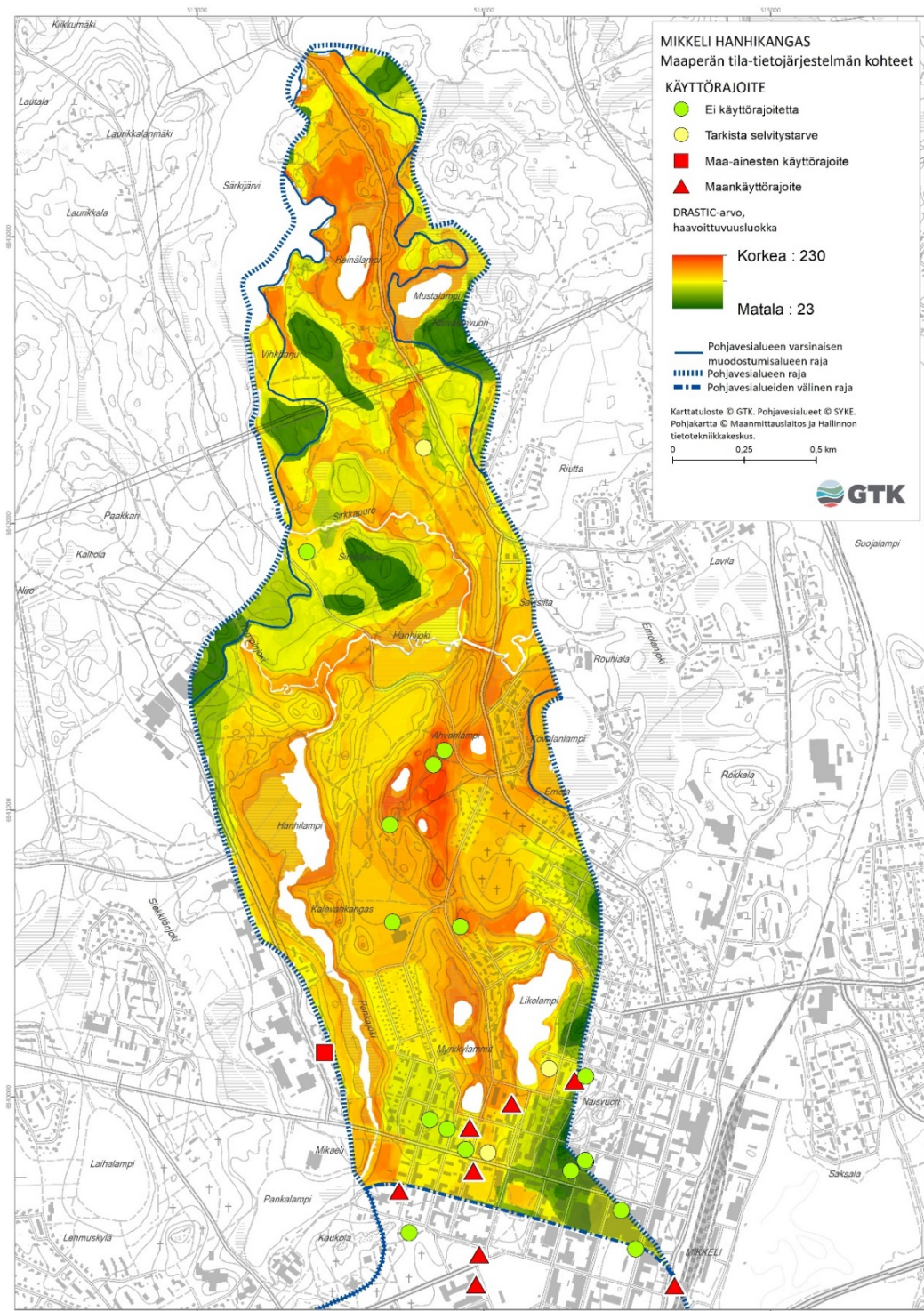


**Kuva 21.** Hanhikankaan pohjavesialueen DRASTIC-analyysiin perustuva haavoittuvuusherkeys yhdistettynä MATTI-kohteisiin, jotka on luokiteltu puhdistustarpeen mukaan.

**Figure 21.** The DRASTIC vulnerability of the Hanhikangas aquifer and the classified MATTI-sites based on their needed remediation actions.



15.12.2021



**Kuva 22.** Hanhikankaan pohjavesialueen DRASTIC-analyysiin perustuva haavoittuvuusherkeys yhdistettynä MATTI-kohteisiin, jotka on luokiteltu käyttörajoitteen mukaan.

**Figure 22.** The DRASTIC vulnerability of the Hanhikangas aquifer and the classified MATTI-sites based on their usage restrictions.



15.12.2021

## 6.2 Lahti – MATTI-kohteet ja DRASTIC-haavoittuvuusanalyysi

Lahden pohjavesialueelle sijoittuu 149 MATTI-kohdetta. Näistä kohteista yksikään ei sijoitu DRASTIC-analyysin perusteella arvioidun korkean haavoittuvuuden alueille ja ainoastaan 11 kohdetta sijoittuu kohonneen haavoittuvuuden alueelle. **Taulukoissa 5 ja 6** esitetään Lahden pohjavesialueella sijaitsevat valtakunnallisen Maaperän tilan tietojärjestelmän (MATTI) -kohteet DRASTIC-analyysin mukaisten haavoittuvuusluokkien alueilla.

**Taulukko 5.** Lahden pohjavesialueella sijaitsevat valtakunnallisen Maaperän tilan tietojärjestelmän (MATTI)-kohteet DRASTIC-analyysin mukaisen kohonneen haavoittuvuusluokan alueella.  
**Table 5.** The MATTI-sites from the national soil condition database in the Lahti aquifer located in areas where the DRASTIC vulnerability is elevated.

Haavoittuvuusluokka	Toimintalaji	Toiminta	Puhdistustarve	Käyttörajoite	Kunnostettu
Kohonnut	Polttonesteiden jakeluasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	15.01.2008
Kohonnut	Polttonesteiden jakeluasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	07.10.2008
Kohonnut	Muu jätteen käsittely (kompostointi, lietteen kp, jätteen poltto, täyttömaa)	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	25.04.2005
Kohonnut	Huoltoasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maa-ainesten käyttörajoite	15.11.2019
Kohonnut	Varikko	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	02.01.2001
Kohonnut	Yhdyskuntakaatopaikka	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	
Kohonnut	Rakennuksen lämmitysöljysäiliö	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	
Kohonnut	Muu mekaaninen puunjalostus	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	
Kohonnut	Murskaamo	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Kohonnut	Kasvihuone	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Kohonnut	Kasvihuone	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	

15.12.2021

**Taulukko 6.** Lahden pohjavesialueella sijaitsevat valtakunnallisen Maaperän tilan tietojärjestelmän (MATTI)-kohteet DRASTIC-analyysin mukaisen keskinkertaisen haavoittuvuusluokan alueella.  
**Table 6.** The MATTI-sites from the national soil condition database in the Lahti aquifer located in areas where the DRASTIC vulnerability is moderate.

Haavoittuvuusluokka	Toimintalaji	Toiminta	Puhdistustarve	Kayttorajoite	Kunnostettu
Keskinkertainen	Ampumarata	Ei tietoa	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Polttonesteiden jakeluasema	Lopetettu	Arvioitava tai puhdistettava	Maankäyttörajoite	05.06.2014
Keskinkertainen	Puolustusvoimien toiminta	Lopetettu	Arvioitava tai puhdistettava	Maankäyttörajoite	24.11.2017
Keskinkertainen	Polttonesteiden jakeluasema	Lopetettu	Arvioitava tai puhdistettava	Maankäyttörajoite	31.03.2019
Keskinkertainen	Romunkeräys	Lopetettu	Arvioitava tai puhdistettava	Maankäyttörajoite	26.08.2016
Keskinkertainen	Muu mekaaninen puunjalostus	Lopetettu	Arvioitava tai puhdistettava	Maankäyttörajoite	04.10.2016
Keskinkertainen	Kyllästämö	Lopetettu	Arvioitava tai puhdistettava	Maankäyttörajoite	24.05.2007
Keskinkertainen	Pintakäsittely	Lopetettu	Arvioitava tai puhdistettava	Maankäyttörajoite	
Keskinkertainen	Betoni- ja sementtituotteiden valmistus	Lopetettu	Arvioitava tai puhdistettava	Maankäyttörajoite	
Keskinkertainen	Muu mekaaninen puunjalostus	Lopetettu	Arvioitava tai puhdistettava	Maankäyttörajoite	
Keskinkertainen	Muu riskitoiminta	Lopetettu	Arvioitava tai puhdistettava	Maankäyttörajoite	13.09.2016
Keskinkertainen	Kemiallinen pesula	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	01.12.2006
Keskinkertainen	Huoltoasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	
Keskinkertainen	Polttonesteiden jakeluasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	01.02.2007
Keskinkertainen	Huoltoasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	
Keskinkertainen	Muu mekaaninen puunjalostus	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	23.04.2014
Keskinkertainen	Huoltoasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	30.03.2006
Keskinkertainen	Huoltoasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	21.11.2001
Keskinkertainen	Huoltoasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	
Keskinkertainen	Varikko	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	01.01.1999
Keskinkertainen	Polttonesteiden jakeluasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	01.01.2000
Keskinkertainen	Kasvihuone	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	30.03.2015
Keskinkertainen	Polttonesteiden jakeluasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	
Keskinkertainen	Öljy- ja kemikaalivahinkoalueet	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	16.06.2006
Keskinkertainen	Rakennuksen lämmitysöljysäiliö	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	11.09.2008
Keskinkertainen	Muu riskitoiminta	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	
Keskinkertainen	Öljy- ja kemikaalivahinkoalueet	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	30.09.2017
Keskinkertainen	Yksityinen polttonestesäiliö (ei myyntiä)	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	
Keskinkertainen	Rakennuksen lämmitysöljysäiliö	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	06.03.2012
Keskinkertainen	Öljy- ja kemikaalivahinkoalueet	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	20.11.2013
Keskinkertainen	Muu riskitoiminta	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	19.12.2012
Keskinkertainen	Öljy- ja kemikaalivahinkoalueet	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Ei käyttörajoitetta	18.06.2014
Keskinkertainen	Kyllästämö	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maa-ainesten käyttörajoite	13.08.2015
Keskinkertainen	Huoltoasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maa-ainesten käyttörajoite	20.12.2013
Keskinkertainen	Rakennuksen lämmitysöljysäiliö	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maa-ainesten käyttörajoite	04.10.2004
Keskinkertainen	Varikko	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maa-ainesten käyttörajoite	07.12.2011
Keskinkertainen	Korjaamo	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maa-ainesten käyttörajoite	
Keskinkertainen	Muu mekaaninen puunjalostus	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maa-ainesten käyttörajoite	11.05.2017
Keskinkertainen	Metallien valmistus	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	01.01.2007
Keskinkertainen	Polttonesteiden jakeluasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	28.12.2006
Keskinkertainen	Pintakäsittely	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	
Keskinkertainen	Korjaamo	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	
Keskinkertainen	Valimo	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	17.07.2013
Keskinkertainen	Huoltoasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	22.09.2000
Keskinkertainen	Romunkeräys	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	
Keskinkertainen	Polttonesteiden jakeluasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	12.06.2019
Keskinkertainen	Asfalttiasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	07.11.1996
Keskinkertainen	Huoltoasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	06.06.2012

15.12.2021

TAULUKKO 6. JATKUU EDELLISELTÄ SIVULTA

Haavoittuvuusluokka	Toimintalaji	Toiminta	Puhdistustarve	Kayttorajoite	Kunnostettu
Keskinkertainen	Polttonesteiden jakeluasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	13.09.2016
Keskinkertainen	Varikko	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	
Keskinkertainen	Varikko	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	13.04.2004
Keskinkertainen	Saha	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	06.09.2012
Keskinkertainen	Polttonesteiden jakeluasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	25.11.2010
Keskinkertainen	Rakennuksen lämmitysöljysäiliö	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	02.12.2003
Keskinkertainen	Rakennuksen lämmitysöljysäiliö	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	01.11.2003
Keskinkertainen	Rakennuksen lämmitysöljysäiliö	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	03.02.2006
Keskinkertainen	Yksityinen polttonestesäiliö (ei myyntiä)	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	02.04.2007
Keskinkertainen	Korjaamo	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	
Keskinkertainen	Rakennuksen lämmitysöljysäiliö	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	
Keskinkertainen	Pintakäsittely	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Tarkista selvitystarve	14.12.2018
Keskinkertainen	Huoltoasema	Lopetettu	Ei puhdistustarvetta	Tarkista selvitystarve	10.07.2001
Keskinkertainen	Muu metalliteollisuus	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	30.04.2020
Keskinkertainen	Muu mekaaninen puunjalostus	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Romunkeräys	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Korjaamo	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Muu metalliteollisuus	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Huoltoasema	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Öljy- ja kemikaalivahinkoalueet	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	31.10.1996
Keskinkertainen	Yksityinen polttonestesäiliö (ei myyntiä)	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Saha	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Jätevedenpuhdistamo	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Huoltoasema	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Yksityinen polttonestesäiliö (ei myyntiä)	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Asfalttiasema	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Jätevedenpuhdistamo	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Polttonesteiden jakeluasema	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Kasvihuone	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Kasvihuone	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Rakennuksen lämmitysöljysäiliö	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	14.04.1999
Keskinkertainen	Muu jätteen käsittely (kompostointi, lietteen kp, jätteen poltto, täyttömaa)	Lopetettu	Selvitystarve	Tarkista selvitystarve	09.05.2019
Keskinkertainen	Varikko	Toimiva	Ei puhdistustarvetta	Maankäyttörajoite	08.10.2010
Keskinkertainen	Muu mekaaninen puunjalostus	Toimiva	Toimiva kohde	Maa-ainesten käyttörajoite	
Keskinkertainen	Pintakäsittely	Toimiva	Toimiva kohde	Maankäyttörajoite	06.02.2013
Keskinkertainen	Huoltoasema	Toimiva	Toimiva kohde	Maankäyttörajoite	21.12.2004
Keskinkertainen	Huoltoasema	Toimiva	Toimiva kohde	Maankäyttörajoite	29.01.2001
Keskinkertainen	Muu mekaaninen puunjalostus	Toimiva	Toimiva kohde	Maankäyttörajoite	
Keskinkertainen	Varikko	Toimiva	Toimiva kohde	Maankäyttörajoite	11.11.2002
Keskinkertainen	Valimo	Toimiva	Toimiva kohde	Maankäyttörajoite	
Keskinkertainen	Energialaitos (sähkö- tai lämpövoimala)	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Energialaitos (sähkö- tai lämpövoimala)	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Polttonesteiden jakeluasema	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Energialaitos (sähkö- tai lämpövoimala)	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Muu metalliteollisuus	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Betoni- ja sementtutuotteiden valmistus	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Muu mekaaninen puunjalostus	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Varikko	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	08.08.2010



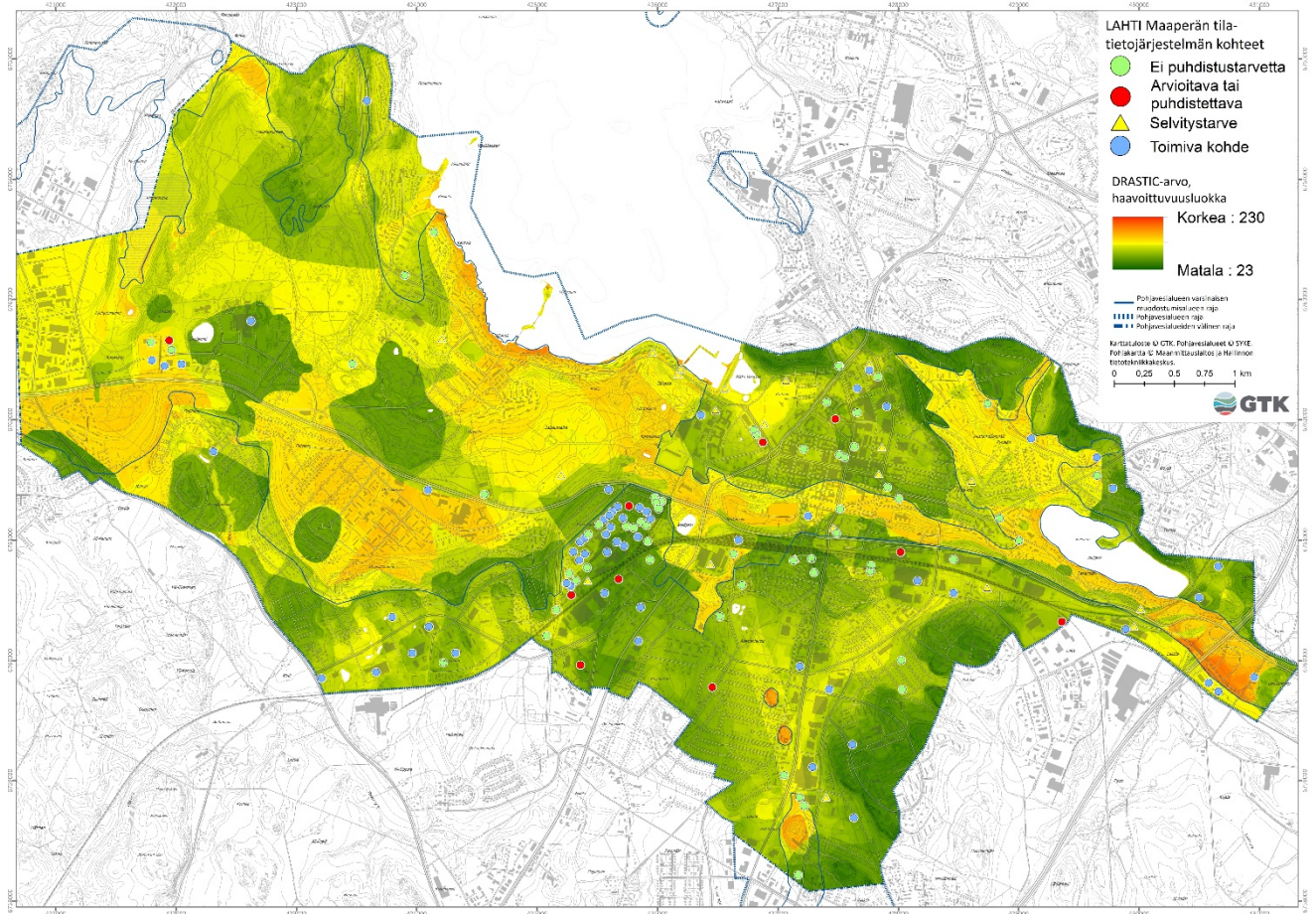
15.12.2021

TAULUKKO 6. JATKUU EDELLISELTÄ SIVULTA

Haavoittuvuusluokka	Toimintalaji	Toiminta	Puhdistustarve	Kayttorajoite	Kunnostettu
Keskinkertainen	Korjaamo	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Energialaitos (sähkö- tai lämpövoimala)	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	13.10.2017
Keskinkertainen	Muu mekaaninen puunjalostus	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Korjaamo	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Polttonesteiden jakeluasema	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	31.08.2015
Keskinkertainen	Energialaitos (sähkö- tai lämpövoimala)	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Polttonesteiden varasto	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Polttonesteiden jakeluasema	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Konepaja	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Varikko	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Energialaitos (sähkö- tai lämpövoimala)	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Muu metalliteollisuus	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Huoltoasema	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Yksityinen polttonestesäiliö (ei myyntiä)	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Muu jätteen käsittely (kompostointi, lietteen kp, jätteen poltto, täyttömaa)	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Varikko	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	04.11.2009
Keskinkertainen	Huoltoasema	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	29.05.2015
Keskinkertainen	Energialaitos (sähkö- tai lämpövoimala)	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Polttonesteiden jakeluasema	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Korjaamo	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Energialaitos (sähkö- tai lämpövoimala)	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Energialaitos (sähkö- tai lämpövoimala)	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	01.09.2015
Keskinkertainen	Kemiallinen pesula	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Polttonesteiden jakeluasema	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Korjaamo	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Rakennuksen lämmitysöljysäiliö	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Korjaamo	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Konepaja	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Rakennuksen lämmitysöljysäiliö	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Korjaamo	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Polttonesteiden varasto	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Teurastamo	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Korjaamo	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Polttonesteiden jakeluasema	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Korjaamo	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Korjaamo	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Teurastamo	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Romunkeräys	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Muu riskitoiminta	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Maalaamo	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Korjaamo	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	
Keskinkertainen	Maalaamo	Toimiva	Toimiva kohde	Tarkista selvitystarve	

**Kuvissa 23 ja 24** esitetään MATTI-kohteet Lahden Lahti pohjavesialueen haavoittuvuuskartalla. Kohteet on luokiteltu puhdistustarpeen (ei puhdistustarvetta, toimiva kohde, arvioitava tai puhdistettava, selvitystarve) sekä käyttörajoitteen (ei käyttörajoitetta, tarkista selvitystarve, maaineisten käyttörajoite, maankäyttörajoite) mukaan. MATTI-kohteita ei ole tässä tutkimuksessa priorisoitu esimerkiksi päästölähteen tai mahdollisen päästön ominaisuuksien perusteella eikä niiden merkitystä Lahden pohjavesialueen haavoittuvuusherkkydelle ole huomioitu esimerkiksi pohjavedessä todettujen haitta-ainepitoisuuksien perusteella.

15.12.2021

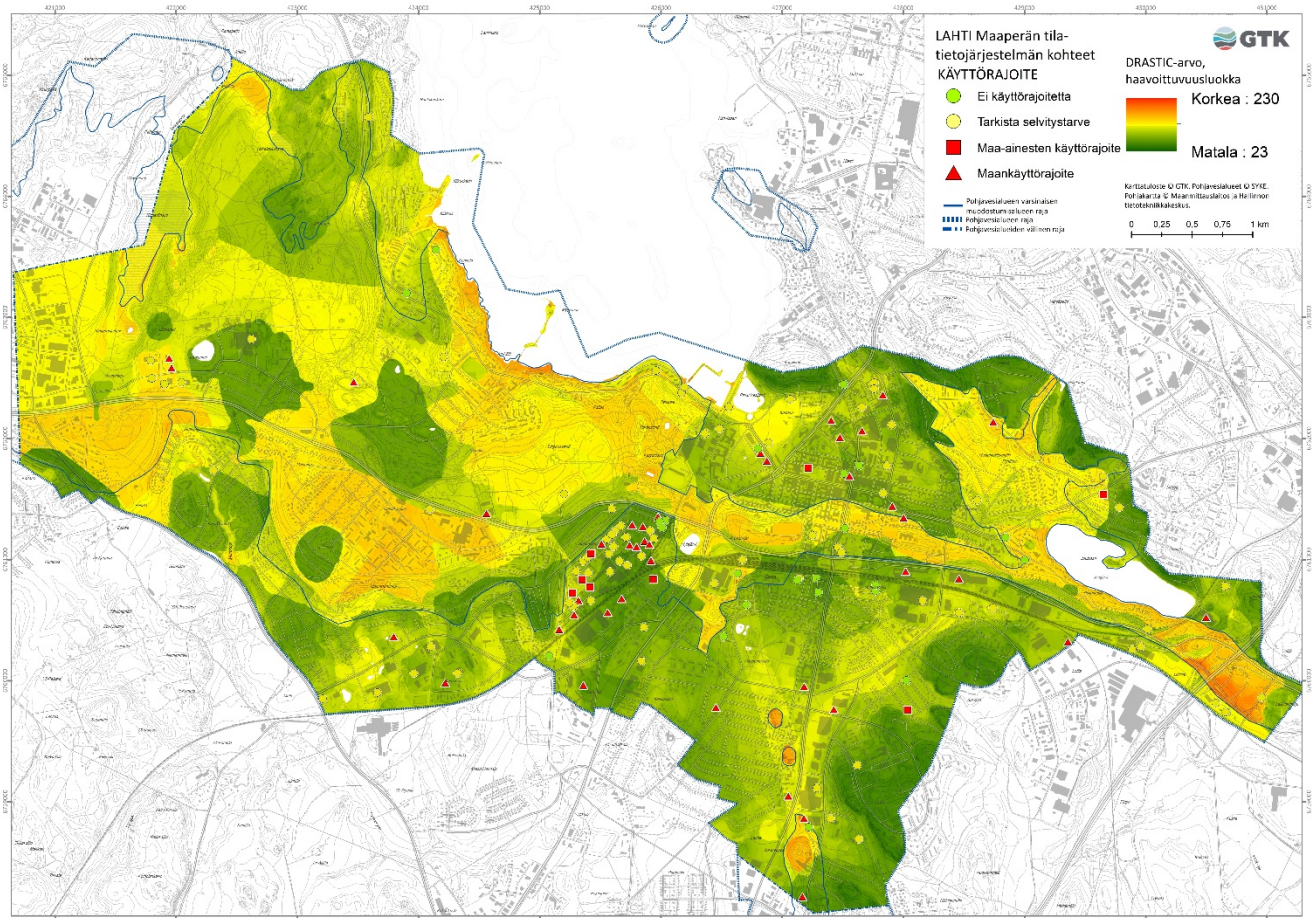


**Kuva 23.** Lahden pohjavesialueen DRASTIC-analyysiin perustuva haavoittuvuusherkeys yhdistettynä MATTI-kohteisiin, jotka on luokiteltu puhdistustarpeen mukaan.

**Figure 23.** The DRASTIC vulnerability of the Lahti aquifer and the classified MATTI-sites based on their needed remediation actions.



15.12.2021



**Kuva 24.** Lahden Lahti pohjavesialueen DRASTIC-analyysiin perustuva haavoittuvuusherkkyys yhdistettynä MATTI-kohteisiin, jotka on luokiteltu käyttörajotteen mukaan.

**Figure 24.** The DRASTIC vulnerability of the Lahti aquifer and the classified MATTI-sites based on their usage restrictions.

### 6.3 Pohjavedelle riskiä aiheuttavat toiminnot ja toimenpidesuosituks

DRASTIC-analyysi on suuntaa antava työkalu pohjavesialueen haavoittuvuusherkkyuden tarkasteluun. Sitä ei tule käyttää kohdekohtaiseen riskinarvioon. Pohjavedelle riskiä aiheuttavien toimintojen, kuten esimerkiksi MATTI-kohteiden, tarkastelu yhdessä haavoittuvuusherkkyyskartan kanssa antaa kuitenkin yleiskuvan siitä, miten mahdolliset pohjaveden pilaantumista aiheuttavat toiminnot sijoittuvat pohjavesialueelle. Erityistä huomiota tulisi kiinnittää niihin riskitoimintoihin, joilla on todettu kunnostustarve tai selvitystarve pilaantuneisuuden arvioimiseksi, ja jotka sijaitsevat korkean tai kohonneen haavoittuvuuden alueella. Näille kohteille on tarpeen tehdä kohdekohtainen arvio mahdollisen päästön aiheuttaman haitta-aineen kulkeutumisen todennäköisyydestä ja haitan suuruudesta.

15.12.2021

POAKORI-projektissa haitta-aineen kulkeutumisen todennäköisyyttä ja haitan suuruutta arvioitiin kolmen päästölähdekohtaisen kysymyksen avulla (Koivulehto 2020):

1. Voiko haitta-aine päätyä pohjaveteen?
2. Voiko haitta-aine kulkeutua altistujalle? Mikäli voi, niin kuinka nopeasti?
3. Voiko haitta-aine aiheuttaa riskejä altistujalle? Mikäli voi, niin kuinka vakavia?

Näihin kysymyksiin olisi hyvä vastata DRASTIC-analyysissä kaikkein haavoittuvimmilla alueilla sijaitsevien riskikohteiden (erityisesti MATTI-kohteiden) osalta. Riskinarvion ja tarvittavien riskienhallintatoimenpiteiden määrittämiseksi karttatarkasteluun on syytä sisällyttää haavoittuvuuskartan ja riskitoimintojen lisäksi pohjaveden päävirtaussuuntia kuvaavat virtausnuolet.

POAKORI2-projektissa on pohdittu huonossa kemiallisessa tilassa olevien pohjavesialueiden priorisointia kiireellisyysjärjestykseen (mm. Järvinen & Koivulehto 2021). Päästön haittavaikutusten arvioinnin kriteereinä ovat mm. haitta-aineen kulkeutuvuus, sen toksisuus ihmiselle, haitta-aineen biohajoavuus ja mahdollinen haitallisuus ympäristölle sekä haitta-aineelle asetetut talousveden laatuvaatimukset. Lisäksi koko pohjavesialueen tarkastelussa arvioidaan, onko vedenottamalla jo todettu haitallisten aineiden pitoisuuksien nousua, mikä on vedenottamoiden merkitys vedenhankinnassa ja mikä on ko. pohjavesialueen tulevaisuuden vedenhankintapotentiaali. MATTI-kohteiden osalta priorisoinnissa otetaan huomioon MATTI-kohteiden lukumäärä pohjavesialueella ja niiden status sekä erityisesti tunnistetaan mahdolliset erityisen riskin MATTI-kohteet. Lisäksi selvitetään MATTI-kohteille tehdyt tutkimukset ja arvioidaan, onko kullekin kohteelle jo tehty kaikki realistiset riskienhallintatoimenpiteet, mikäli päästöriski on edelleen olemassa. Myös tätä menettelytapaa voidaan soveltaa DRASTIC-analyysissä kaikkein haavoittuvimmilla alueilla sijaitsevien MATTI-kohteiden ensi vaiheen riskitarkasteluun.

#### **6.4 Ilmastonmuutoksen aiheuttaman pohjavesiriskin arviointi DRASTIC-haavoittuvuusanalyysiä hyödyntäen**

RAINMAN-projektin yhtenä tavoitteena on kehittää ratkaisuja pohjaveden hyvän tilan turvaamiseksi ilmastonmuutoksen vaikutuksista huolimatta. Tämän vuoksi projektissa pohdittiin myös pohjavesialueen haavoittuvuusanalyysin hyödyntämistä ilmastonmuutoksen aiheuttaman pohjavesiriskin arvioimisessa.

Ilmastonmuutos vaikuttaa pohjaveden muodostumiseen ja vaikutuksia havaitaan erityisesti pohjaveden pinnankorkeudessa. Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) pitkäaikaisten pohjavesiskenaarioiden perusteella Etelä- ja Keski-Suomessa pohjaveden pinnat voivat laskea jopa merkittävästi ilmaston muuttuessa. Pohjavesipintojen lasku olisi em. skenaarioiden perusteella suurinta loppukesällä ja syksyllä. Tämä johtuu kevään aikaistumisesta ja kesän kuivuusjaksojen pidentymisestä, sekä kesällä tapahtuvan haihdunnan määrän lisääntymisestä lämpötilan noustessa ja kasvukauden pidentyessä. Toisaalta syksyisin sadannan lisääntyminen edesauttaa pohjavesivarastojen täydentymistä. Sateisemmat ja pidemmät syysjaksot hidastavat myös routakerroksen muodostumista ja pidentävät pohjavesivaraston täydentymisaikaa nykyiseen verrattuna. Talvella roudattomuus ja lumen toistuvat sulamisjaksot voivat lisätä pohjavesivarastojen täydentymistä aiemmasta poiketen talviaikaan myös Etelä- ja Keski-Suomessa (Suomen ympäristökeskus 2019b).

15.12.2021

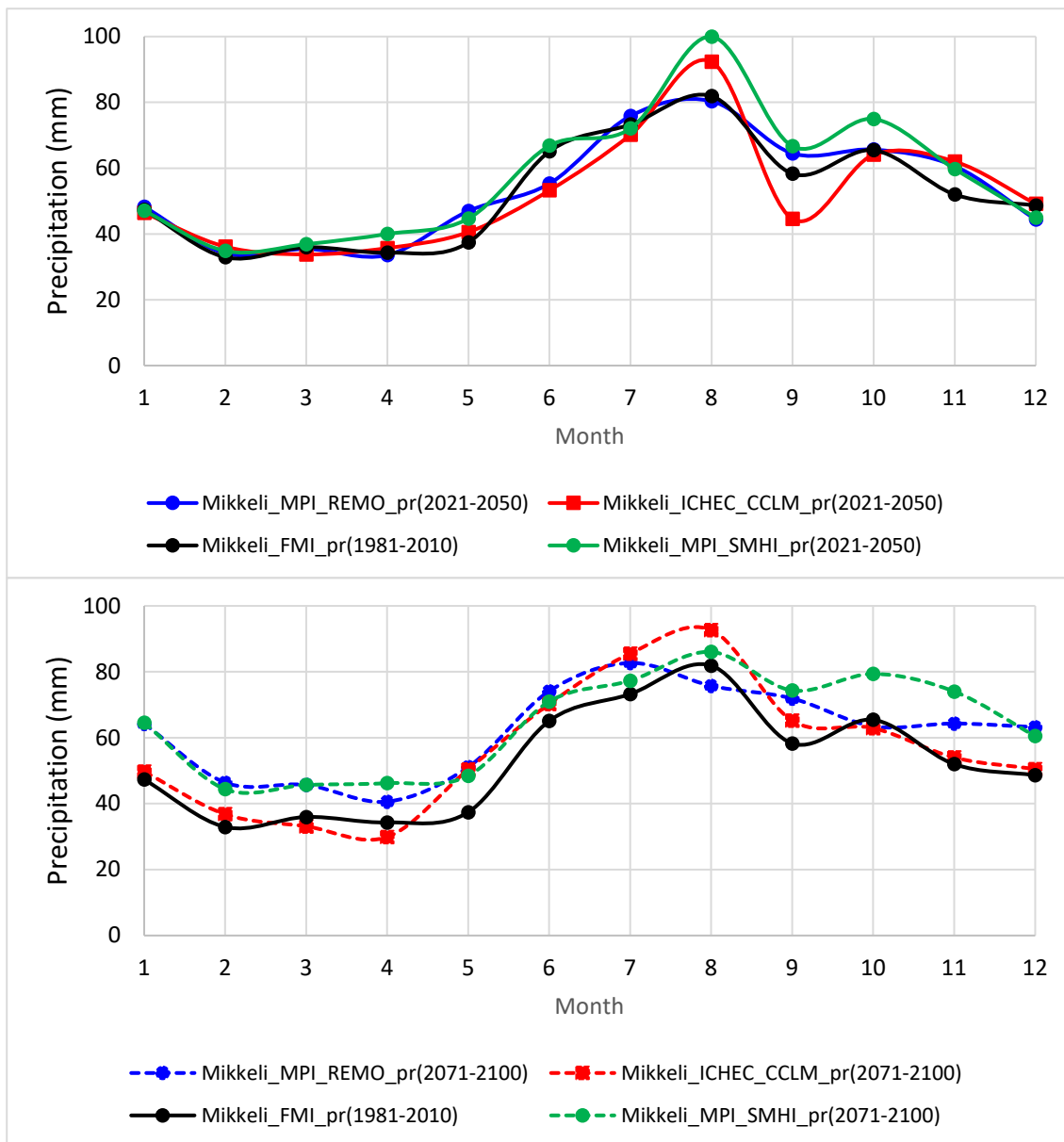
Ilmastonmuutoksen seurauksena pohjaveden pinnat voivat siis vaihdella aiempaa enemmän. Talvella vedenpinnat nousevat luultavasti hieman nykyistä korkeammalle, kesällä ne saattavat laskea nykyistä alemmaksi (Orvomaa 2021). Ilmastonmuutoksen ei kuitenkaan arvioida vähentävän Suomen pohjavesivarantojen kokonaismäärää, vaikka vuodenaikaisvaihtelut voivat ajoittain aiheuttaa haasteita veden riittävydessä (Orvomaa 2020). Paikallisesti ilmastonmuutoksen vaikutukset pohjavesivarantoihin voivat kuitenkin vaihdella riippuen pohjavesimuodostuman koosta sekä muodostumaan kohdistuvasta vedenhankinnasta.

Pohjaveden pinnankorkeuden vaihtelut vaikuttavat myös pohjaveden laatuun. Pohjaveden pinnan lasku muuttaa maaperän happiolosuhteita, mikä puolestaan vaikuttaa maaperässä olevien aineiden liukoisuuteen. Toisaalta pohjaveden pinnan nousu voi edesauttaa maaperässä aiemmin pohjaveden pinnan yläpuolella olleiden haitta-aineiden huuhtoutumista pohjaveteen (mm. Orvomaa 2021). Pohjaveden pinnankorkeuden lasku voi myös lisätä rantaimetyymistä, jolloin pintavettä pääsee pohjavesimuodostumaan ja voi heikentää pohjaveden laatua (Suomen ympäristökeskus 2019).

RAINMAN-projektin yhteydessä selvitettiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia lämpötilaan ja sadantaan Mikkelin ja Lahden seuduilla analysoimalla alueellisten ilmastomallien tuloksia (Klein & Luoma 2020). Analysoidut ilmastomallit olivat REMO2009, CCLM ja SMHI RCA4. Kaikissa malleissa taustalle valittiin IPCC:n RCP8.5 päästöskenaario. Tämä päästöskenaario on kasvihuonekaasujen määrän mahdollinen kehityskulku, jossa kasvihuonekaasujen päästöt kasvavat nykytahdilla (nk. business-as-usual). Tehdyssä ilmastonmuutosanalyysissä arvioitiin lämpötilan ja sadannan kehitystä aikaväleillä 2021–2050 ja 2071–2100. Vertailuarvona käytettiin Ilmatieteen laitoksen vuosina 1981–2010 mittaamien havaintojen keskimääräisiä arvoja. Nykyilmasto sekä lämpötilan ja sadannan kehitys analyysiin valitun päästöskenaarion mukaisesti määrittävät vaihtelualueen, missä rajoissa tutkimuskohteiden ilmasto todennäköisesti kehittyi seuraavien 80 vuoden aikana.

Ilmastonmuutosmallien mukaan vuosisadanta kasvaa sekä Mikkelin että Lahden seuduilla aikavälillä 2021–2050 ja 2071–2100 verrattuna vuosina 1981–2010 mitattuun sademäärään (**kuvat 25 ja 26**). Mallien kuvaama sadannan muutos ei ole yksiselitteinen ja kuukausittaisissa sadannan muutoksissa on huomattavia eroja mallilaskelmien välillä. Sivustolla [Ilmasto-opas.fi](http://ilmasto-opas.fi) ([Ilmastonmuutostieto luotettavasti - ilmasto-opas.fi](http://ilmastonmuutostieto.luotettavasti-ilmasto-opas.fi)) käytössä olevan laskurin mukaan vuosittainen sademäärä tulee Mikkelin seudulla kasvamaan vuodesta 2020 vuoteen 2050 mennessä noin 10–20 mm vuodessa riippuen valitusta päästöskenaariosta, ja vuoteen 2070 mennessä vastaavasti noin 25–55 mm vuodessa. Lahden seudulla vuosittaisen sademäärän ennustetaan päästöskenaariosta riippuen kasvavan vuodesta 2020 vuoteen 2050 mennessä noin 35–50 mm, ja vastaavasti vuoteen 2070 mennessä noin 50–70 mm (Ilmatieteen laitos 2021).

15.12.2021

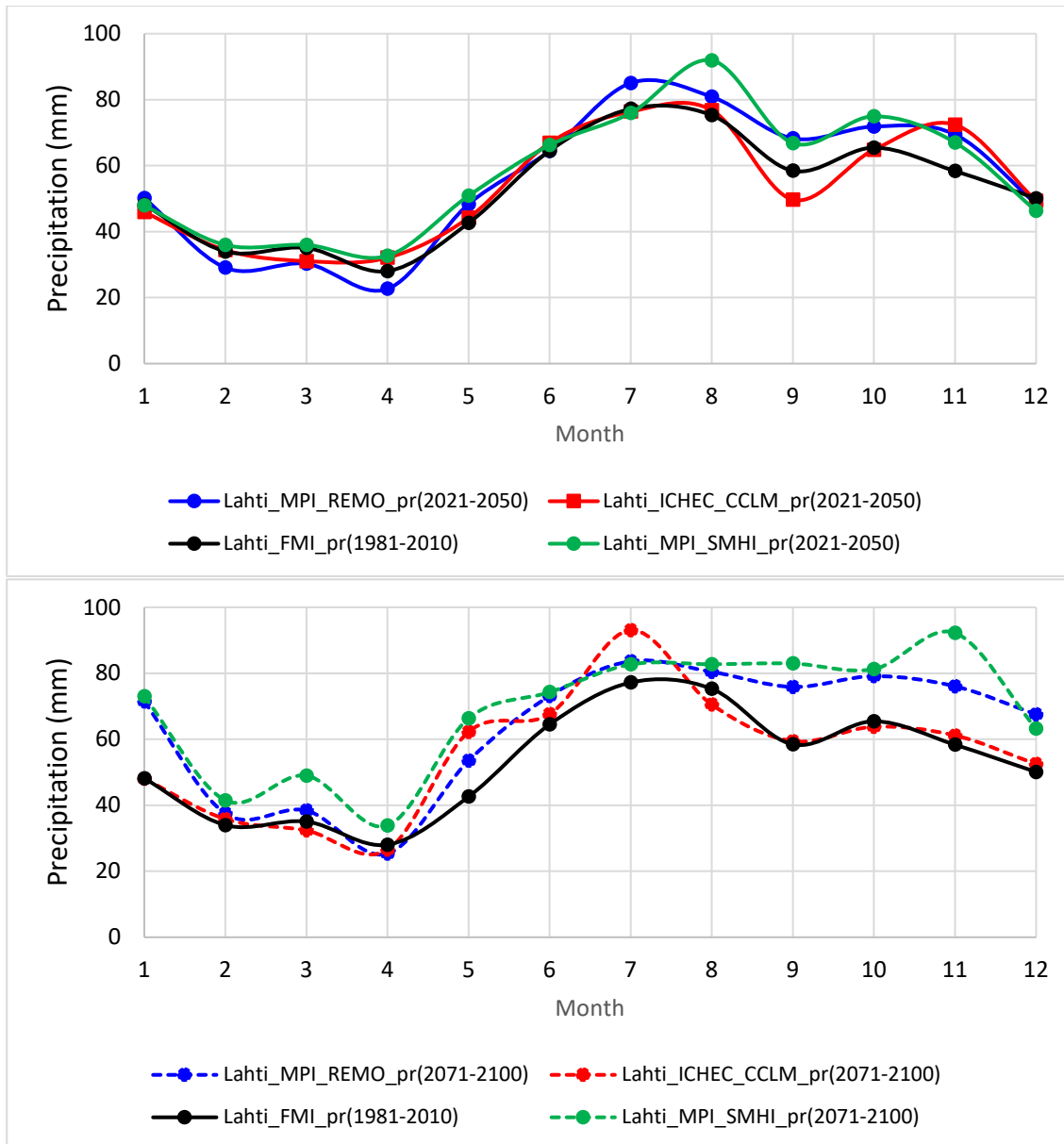


**Kuva 25.** Alueellisten ilmastonmuutosmallien (REMO2009, CCLM ja SMHI) mukaan arvioitu keskimääräinen kuukausittainen sademäärä Mikkelin seudulla aikavälillä 2021–2050 ja aikavälillä 2071–2100 verrattuna sademäärähavaintoihin vuosilta 1981–2010 (FMI) (Klein & Luoma 2020).

**Figure 25.** The absolute monthly mean precipitation in Mikkelin seudulla for the periods 1981–2010 and 2021–2050 (above) and 1981–2010 and 2071–2100 (below) according to the regional climate change models MPI REMO2009, CCLM and SMHI RCA4 under RCP8.5 (Klein & Luoma 2020).



15.12.2021



**Kuva 26.** Alueellisten ilmastonmuutosmallien (REMO2009, CCLM ja SMHI) mukaan arvioitu keskimääräinen kuukausittainen sademäärä Lahden seudulla aikavälillä 2021–2050 ja aikavälillä 2071–2100 verrattuna sademäärähavaintoihin vuosilta 1981–2010 (FMI) (Klein & Luoma 2020).

**Figure 26.** The absolute monthly mean precipitation in Lahti for the periods 1981–2010 and 2021–2050 (above) and 1981–2010 and 2071–2100 (below) according to the regional climate change models MPI REMO2009, CCLM and SMHI RCA4 under RCP8.5 (Klein & Luoma 2020).

15.12.2021

DRASTIC-haavoittuvuusanalyysin osalta ilmastonmuutos vaikuttaa D (pohjaveden etäisyys maanpinnasta) ja R (muodostuvan pohjaveden määrä) -parametreihin. Seuraavassa on arvioitu teoreettisella tasolla muutoksen suuruutta sekä vaikutusta pohjavesialueen kokonaishaavoittuvuuden arviointiin.

DRASTIC-haavoittuvuusanalyysin parametrin R (muodostuvan pohjaveden määrä) laskennassa käytetään vuotuista keskisadantaa, josta maaperän vedenjohtavuudesta riippuen noin 10–60 % imeytyy pohjavedeksi (Hyvönen 2019). Lisääntyvän sadannan aiheuttama kasvu muodostuvan pohjaveden määrässä on ilmastomallinnusten perusteella arvioituna Mikkelin seudulla hieman yli 10 mm ja Lahden seudulla noin 30 mm 2050-luvulle tultaessa. 2070-luvulla kasvu muodostuvan pohjaveden määrässä on Mikkelin seudulla hieman yli 30 mm ja Lahden seudulla hieman yli 40 mm nykyilmastoon verrattuna.

Lisääntyvän sademäärän aiheuttama kasvu muodostuvan pohjaveden määrässä nostaa R-parametria ylempään luokka-arvoon molemmissa tutkimuskohteissa. Lahdessa tämä nousu tapahtuu joillakin pohjavesialueen osa-alueilla todennäköisesti jo 2050-luvulla. Luokka-arvon nousu koskee kuitenkin vain niitä alueita, joissa sadeveden imeytyminen pohjavedeksi arvioidaan olevan tehokasta eli yli 50 % vuotuisesta sadannasta. Tällaisilla alueilla maaperä on vettä hyvin läpäisevää materiaalia, karkeaa hiekkaa ja soraa.

Lisääntyvän pohjaveden muodostumisen aiheuttama muutos pohjavedenpinnan korkeusasemassa eli D-parametrin (pohjaveden etäisyys maanpinnasta) osalta on epävarmaa ja riippuu suuresti paikallista olosuhteista sekä pohjavesimuodostuman koosta ja muodostumatyypistä (antikliininen eli vettä ympäristöön purkava vai synkliininen eli ympäristöstään vettä keräävä). Mikäli kohdealueelta ei ole käytettävissä ajansuhteen muuttuvaa (transient) pohjaveden virtausmallia yhdistettynä ilmastomalliin, ei pohjaveden etäisyyttä maanpinnasta tulevaisuudessa ilmasto-olosuhteissa ole mielekäästi arvioida.

RAINMAN-projektissa tehtyjen mallinnusten mukaan molemmilla tutkimusalueilla pohjaveden muodostumista tapahtuu tulevaisuudessa tasaisemmin läpi vuoden talviaikaisten routajaksojen lyhentyessä tai hävitessä kokonaan. Erityisen merkittävä muutos imeytyvän pohjaveden määrässä näyttäisi olevan keväisin. Lahdessa pohjaveden muodostuminen on tulevaisuudessa tasaista ympärivuoden. Mikkelissä pohjavesivarannot täydentyvät lumien sulamisen myötä jo aiemmin keväällä kuin nykyilmastossa. Mallitarkastelujen perusteella molemmilla tutkimusalueilla pohjavesipinnan korkeustasossa ei pohjavesimuodostuman ydinalueella tapahdu merkittäviä muutoksia, mikäli pohjavedenotto pysyy nykyisellä tasolla. Näin ollen D-parametrin osalta ei tapahdu muutoksia, jotka vaikuttavat parametrin luokka-arvoa nostavasti (Hyvönen et al. 2021 ja Luoma et al. 2022).

Ilmastonmuutos vaikuttaa lisääntyvän sadannan kautta DRASTIC-analyysin D- ja R-parametreihin. RAINMAN-projektissa tehtyjen mallinnusten mukaan parametrien arvoissa tapahtuvat muutokset eivät kuitenkaan vaikuta merkittävästi tutkimuksen kohteina olevien alueiden luokka-arvoihin lähivuosikymmenten aikana. D- ja R-parametreissa tapahtuvien pienten muutosten vaikutus myös pohjavesialueiden kokonaishaavoittuvuuteen on vähäinen. Näin ollen nykyisiin ilmasto-olosuhteisiin

15.12.2021

laadittu DRASTIC-haavoittuvuusanalyysi on riittävä työkalu myös ilmastonmuutoksen aiheuttaman pohjavesiriskin tarkasteluun lähivuosikymmenille.

## 7 POHJAVESIALUEIDEN HAAVOITTUVUUDEN VERTAILU

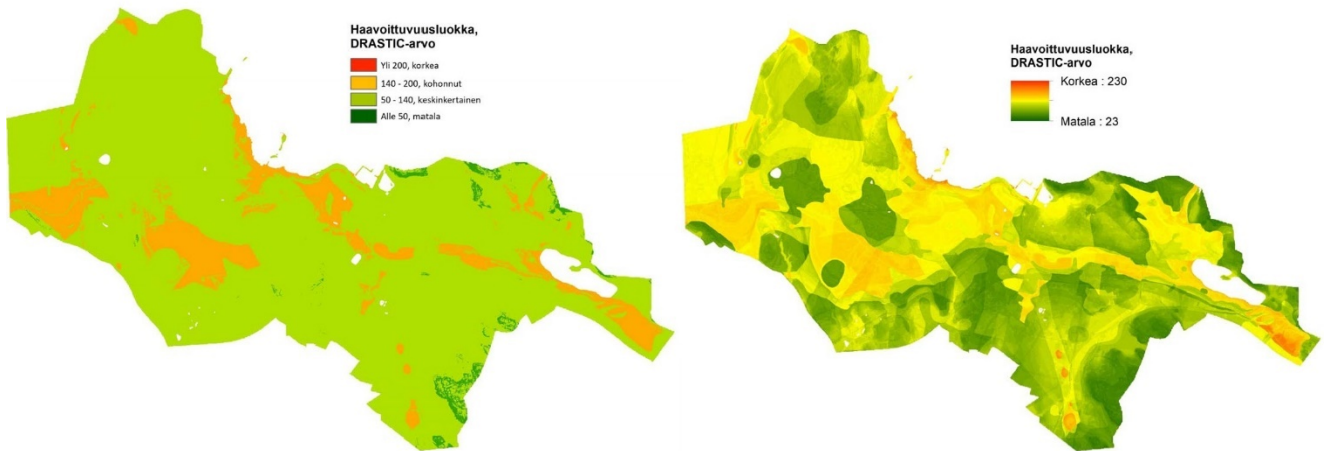
Haavoittuvuusanalyysissä pohjavesimuodostuma luokitellaan lasketun haavoittuvuusindeksin mukaan. Näin voidaan tunnistaa yksittäisen pohjavesialueen haavoittuvimmat alueet. Mikäli haavoittuvuusanalyysiä halutaan käyttää haavoittuvimpien pohjavesialueiden tunnistamiseen, on analyysi tehtävä vakioidulla parametrien luokkajaolla sekä vakioiduilla painoarvoilla.

RAINMAN-projektissa tehdyt Mikkelin ja Lahden tutkimusalueiden DRASTIC-haavoittuvuusanalyysit on tehty yhtenäisellä parametrien luokittelulla, joka on esitetty liitteessä 1. Parametrien painoarvoina käytettiin US EPA:n standardin mukaisia vakioituja painoarvoja (Aller et. al 1985). Tutkimusalueiden haavoittuvuuskartat myös luokiteltiin samalla luokkajaolla, jotta voitiin vertailla näiden kahden pohjavesialueen haavoittuvuusherkkyyttä.

### 7.1 Haavoittuvuusluokat

DRASTIC-analyysin lopputuloksena syntyvä pohjavesialueen haavoittuvuuskartta voidaan esittää monin eri tavoin, mutta olisi hyvä pyrkiä mahdollisimman yksinkertaiseen ja selkeään esitystapaan. Haavoittuvuusluokitus voidaan esittää kartoilla liukuväriä tai erillisinä luokkina. Mikkelin Hanhikankaan ja Lahden Lahti pohjavesialueiden haavoittuvuuskartoissa käytettiin neljää haavoittuvuusluokkaa. Koska haavoittuvuusluokkien lukumäärä ja luokkajako on DRASTIC-analyysin tekijöiden vapaasti määriteltävissä, voidaan tutkimusalueen mahdollisten erityispiirteiden niin vaatiessa luokkien lukumäärää kasvattaa tässä raportissa riittäväksi ja selkeäksi havaitusta esitystavasta, eli neljästä eri haavoittuvuusluokasta. Neliportaiseen luokkajakoon perustuvan luokituksen lisäksi tässä raportissa molemmille pohjavesialueille tehtiin haavoittuvuusluokitus ilman tarkkoja luokkarajoja samaa liukuväriasteikkoa käyttäen. Liukuväreillä esitettynä (**kuva 27**) tutkimusalueen eri alueiden haavoittuvuuden erottuminen saattaa olla varsin haastavaa. Tässä tutkimuksessa käytettyjen eri luokka-arvojen sekä haavoittuvuusluokkien värikoodaukset esitetään **liitteessä 2**.

15.12.2021



**Kuva 27.** Lahden pohjavesialueen haavoittuvuusherkkyysluokat eri esitystavoilla esitettynä.

**Figure 27.** Different presentation techniques of the groundwater vulnerability for the Lahti aquifer.

## 7.2 Eri tutkimusalueille tehtyjen haavoittuvuusanalyysien vertailukelpoisuus

Eri tutkimusalueiden DRASTIC-haavoittuvuusanalyysit ovat keskenään vertailukelpoisia, jos käytettävissä on samojen periaatteiden mukaan muodostetut lähtöaineistot, joita hyödynnetään DRASTIC-parametrien laskennassa. Lähtöaineistojen sijaintitarkkuuden tulisi vastata mahdollisimman tarkasti toisiaan (esim. alkuperäisen kartoitusaineiston sijaintitarkkuus ja/tai siitä edelleen muokatun rasterin pikselikoko).

Eri tutkimusalueiden paikallisiin olosuhteisiin liittyvät erityispiirteet, jotka on otettu huomioon DRASTIC-parametrien laskennassa, saattavat heikentää eri tutkimusalueiden haavoittuvuusanalyysien vertailukelpoisuutta. Vaikka DRASTIC-analyysin parametrien laskennassa pyritään kuvamaan mahdollisimman hyvin eri parametrien vaikutusta pohjaveteen, tutkimusalueiden osa-arvojen toisistaan poikkeavat laskentaperiaatteet ja niiden vaikutukset eri parametrien osa-arvoihin on syytä huomioida vertailtaessa eri alueiden lopputuloksia. Myös eri osa-arvojen kertoimien vastaavuuden vaikutus on syytä huomioida lopputuloksissa.

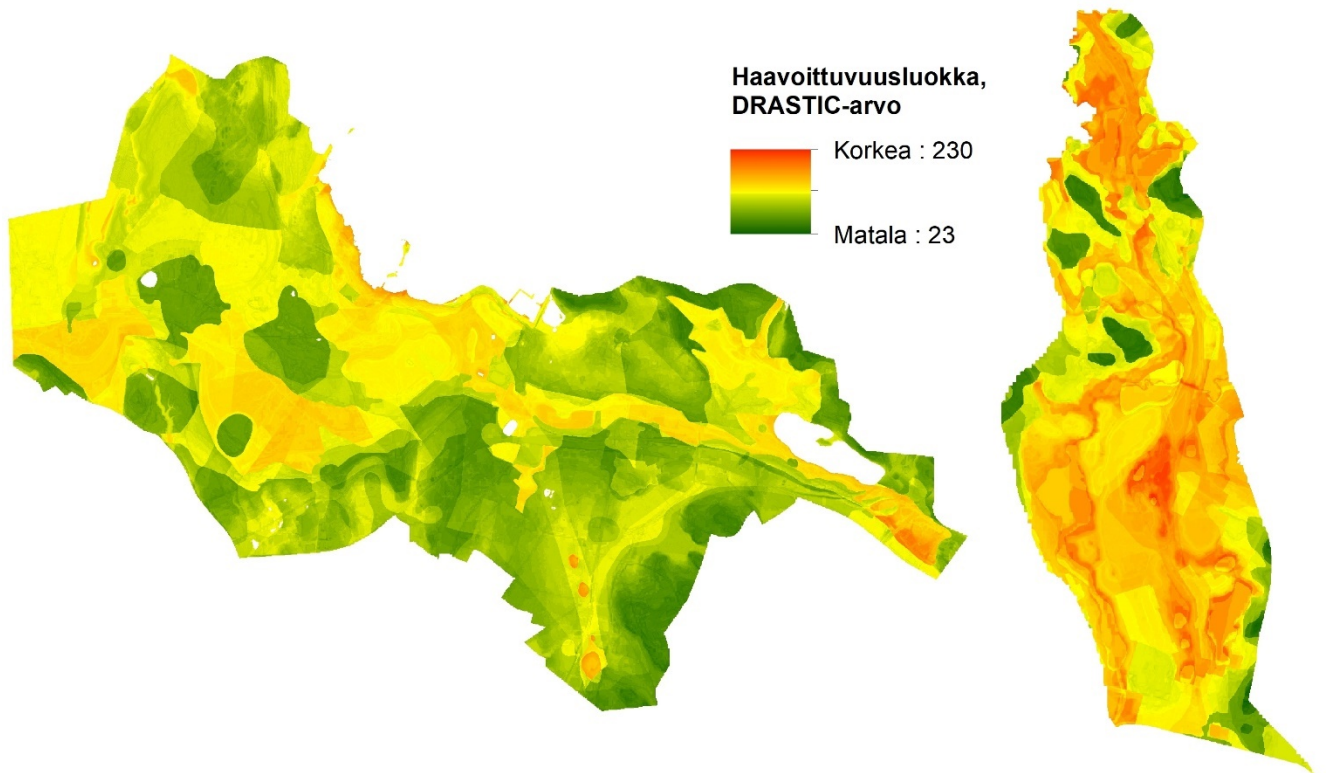
Mikkelin Hanhikankaan ja Lahden Lahti pohjavesialueiden DRASTIC-haavoittuvuusanalyysissä käytetyt lähtöaineistot olivat pääpiirteissään yhteneviä ja vertailukelpoisia. Geologinen ja hydrogeologinen data on molemmille pohjavesialueille tuotettu GTK:n harjurakenneselvitysten (Geologian tutkimuskeskus 2021b) yhteydessä ja molemmilta pohjavesialueilta on myös pohjaveden virtausmalli tukemassa mm. pohjaveden pinnan tason (parametri D) arviointia.

DRASTIC-haavoittuvuuskartat tehtiin Mikkelin Hanhikankaan ja Lahden Lahti pohjavesialueille käyttäen samaa luokitusta (**kuva 28**). Kahden pohjavesialueen välillä näkyy selkeitä yhteneväisyyksiä eli muodostuman liepeet ovat haavoittuvuusherkkyydeltään matalampia kuin varsinainen muodostuman ydinosa. Toisaalta Lahden pohjavesialueelle ei käytetyllä luokittelulla tule korkean haavoittuvuuden alueita ollenkaan, kun taas Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueella korkean haavoittuvuuden alueita



15.12.2021

on enemmän. Tämä johtuu pääasiassa pohjaveden pinnan etäisyydestä maanpinnasta (parametri D), joka Lahden pohjavesialueella on valtaosin yli 20 metriä sekä Lahden pohjavesimuodostuman hienorakeisesta, heikommin vettä läpäisevästä materiaalista (parametrit R, A, I, C). Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueella pohjaveden pinta on Lahden pohjavesialuetta lähempänä maanpintaa ja muodostuman maaperä on Lahden pohjavesialuetta karkearakeisempaa eli sen vedenläpäisevyys on lähes kauttaaltaan suurempi.



**Kuva 28.** DRASTIC-analyysiin perustuvat Lahden ja Hanhikankaan pohjavesialueiden haavoittuvuusluokittelut.

**Figure 28.** The DRASTIC vulnerability analysis for the Lahti and the Hanhikangas aquifers.

15.12.2021

## 8 YHTEENVETO

Geologian tutkimuskeskus (GTK) on tehnyt Kaakkois-Suomi – Venäjä CBC 2014-2020 -ohjelman rahoittaman RAINMAN-projektin (Towards higher adaptive capacity in urban water management) osana kahden pohjavesimuodostuman (Hanhikangas (Mikkeli) ja Lahti (Lahti)) haavoittuvuusanalyysin.

Analyysi tehtiin standardoidulla DRASTIC-menetelmällä, joka on tarkoitettu pohjavesimuodostuman luontaisista geologisista ja hydrogeologisista olosuhteista aiheutuvan pohjaveden pilaantumispotentiaalin yleispiirteiseen tarkasteluun. Menetelmä huomioi hydrogeologiset parametrit, jotka vaikuttavat maanpinnalta pohjaveteen kulkeutuvan veden liikkumisen maaperässä vertikaalisesti. Se ei ota huomioon vajovedessä tapahtuvaa horisontaalista veden liikettä, päästölähteitä, vedenottamoiden tai muiden altistujien sijaintia eikä pohjaveden virtaussuuntia. DRASTIC-haavoittuvuusanalyysi voidaan laatia, mikäli alueen hydrogeologiasta ja geologiasta on riittävän kattavasti tietoa.

DRASTIC-menetelmässä pohjavesimuodostuman haavoittuvuus arvioidaan seitsemän hydrogeologisen parametrin D (pohjaveden etäisyys maanpinnasta), R (muodostuvan pohjaveden määrä), A (maalaji pohjavesivyöhykkeessä), S (maankäyttö ja pintamaa), T (maanpinnan kaltevuus), I (maalaji vajovesi- eli vadoosivyöhykkeessä) ja C (hydraulinen johtavuus pohjavesivyöhykkeessä) perusteella. Analyysissä parametrit luokitellaan ja niille annetaan painoarvo perusten niiden merkittävyyteen pohjaveden haavoittuvuusherkkyyden kannalta. DRASTIC-haavoittuvuusanalyysin lopputuloksena pohjavesimuodostuma jakautuu DRASTIC-indeksin mukaisiin osa-alueisiin, jotka voivat saada lukuarvoja välillä 23–230. Nämä lukuarvot jaetaan haavoittuvuusluokkiin, joiden perusteella laaditaan pohjavesimuodostuman haavoittuvuusanalyysikartta. Näin voidaan tunnistaa yksittäisen pohjavesialueen haavoittuvimmat alueet. Tässä työssä haavoittuvuus jaettiin neljään haavoittuvuuspotentiaalia kuvaavaan luokkaan: matala (<50), keskinkertainen (50–140), kohonnut (140–200) ja korkea (>200).

Mikäli haavoittuvuusanalyysiä halutaan käyttää haavoittuvimpien pohjavesialueiden tunnistamiseen, on analyysi tehtävä vakioidulla parametrien luokkajaolla sekä käyttäen standardoituja painoarvoja. Tässä työssä tehdyt Mikkelin ja Lahden tutkimusalueiden DRASTIC-haavoittuvuusanalyysissä käytetyt lähtöaineistot olivat samantasoiset ja keskenään vertailukelpoiset. Analyysit on molemmissa kohteissa tehty yhtenäisellä parametrien luokittelulla ja käytetty standardin mukaisia parametrien painoarvoja. Analyysin lopputuotteena saadut haavoittuvuuskartat on myös luokiteltu samalla luokkajaolla. Vertailun perusteella voidaan todeta, että Hanhikankaan pohjavesialue on luontaisesti (nykyisillä vedenottomäärillä) haavoittuvampi kuin Lahden pohjavesialue. Hanhikankaan pohjavesialueen haavoittuvuusluokka on pääasiassa kohonnut (DRASTIC-arvo 140–200) ja vedenoton kannalta keskeisellä alueella haavoittuvuusluokka on korkea (DRASTIC-arvo yli 200). Lahden pohjavesialueella haavoittuvuusluokka on pääasiassa keskinkertainen ja matala (DRASTIC-arvo alle 140) eikä muodostumassa ole lainkaan korkean haavoittuvuuden alueita. Erot näiden kahden pohjavesialueen välisessä haavoittuvuudessa johtuvat muodostumien geologisesta syntytavasta, muodostumatyypistä sekä maaperäolosuhteista.

Pohjavesialueelle laadittua haavoittuvuusanalyysiä voidaan hyödyntää pohjaveden suojelussa yhdistämällä haavoittuvuuskarttaan pohjavesialueen riskikohteet. Lisäämällä tarkasteluun pohjaveden

15.12.2021

virtaussuunnat ja vedenottamot, riskitarkastelulla voidaan arvioida todennäköisyyttä, jolla haitta-aine kulkeutuu pohjaveden mukana päästölähteestä vedenottamolle. Pohjavesiriskiä aiheuttavia toimintoja ovat esimerkiksi teollisuus, liikenne, tienpito, pilaantuneet maa-alueet, asutukseen liittyvät toiminnot (mm. jätevedet, hulevedet, öljysäiliöt, maalämpö, kaukolämpöverkostot), maa-ainestenotto, maa- ja metsätalous sekä hautausmaat. Em. toiminnot voivat olla mahdollisia päästölähteitä, vaikka varsinaista päästöä pohjaveteen ei olisi tapahtunut.

RAINMAN-projektissa Mikkelin ja Lahden tutkimusalueille tehtyjä haavoittuvuusherkkyysskarttoja hyödynnettiin pohjavettä mahdollisesti uhkaavien päästölähteiden alustavaan riskitarkasteluun nk. MATTI-kohteiden osalta. Erytystä huomiota tulisi kiinnittää niihin riskitoimintoihin, joilla on todettu kunnostustarve tai selvitystarve pilaantuneisuuden arvioimiseksi, ja jotka sijaitsevat korkean tai kohonneen haavoittuvuuden alueella. Näille kohteille on tarpeen tehdä kohdekohtainen arvio mahdollisen päästön aiheuttaman haitta-aineen kulkeutumisen todennäköisyydestä ja haitan suuruudesta. Tutkimuksen kohteena olleiden Hanhikankaan ja Lahden pohjavesialueiden suojelusuunnitelmia laadittaessa ja päivitettäessä haavoittuvuusanalyysin hyödyntäminen myös muiden toimintojen riskinarvioinnissa ja toimenpidesuosituksen määrittämisessä on perusteltua.

RAINMAN-projektin yhtenä tavoitteena on kehittää ratkaisuja pohjaveden hyvän tilan turvaamiseksi ilmastonmuutoksen vaikutuksista huolimatta. Ilmastonmuutos vaikuttaa lisääntyvän sadannan kautta DRASTIC-analyysin D- ja R-parametreihin. RAINMAN-projektissa tehtyjen mallinnusten mukaan parametrien arvoissa tapahtuvat muutokset eivät vaikuta merkittävästi tutkimuksen kohteina olevien alueiden luokka-arvoihin lähivuosisikymmenten aikana. D- (pohjaveden etäisyys maanpinnasta) ja R- (muodostuvan pohjaveden määrä) parametreissa tapahtuvien muutosten vaikutus pohjavesialueiden kokonaishaavoittuvuuteen on analyysin perusteella vähäinen. Näin ollen nykyisiin ilmasto-olosuhteisiin laadittu DRASTIC-haavoittuvuusanalyysi on riittävä työkalu myös ilmastonmuutoksen aiheuttaman pohjavesiriskin tarkasteluun lähivuosisikymmeninä.

15.12.2021

## 9 VIITELUETTELO

**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.

**Airaksinen, J.U. 1978.** Maa- ja pohjavesihydrologia. Pohjoinen, Oulu. 248 s.

**Aller, L., Bennett, T., Lehr, J.H., Petty, R.H. & Hackett, G. 1985.** DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings, National Water Well Association, Worthington, Ohio / EPA Ada. Oklahoma. EPA/600/2-85/018.

**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.

**Britschgi, R. Rintala, J. & Puharinen, S-T. 2018.** Pohjavesialueet – opas määrittämiseen, luokitukseen ja suojelusuunnitelmien laadintaan. Ympäristöhallinnon ohjeita 3/2018. Ympäristöministeriö. Helsinki 2018.

[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161164/OH\\_3\\_2018\\_Pohjavesialueet\\_opas\\_nettiin.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161164/OH_3_2018_Pohjavesialueet_opas_nettiin.pdf)

**DigiKP200. 2010.** Suomen kallioperä – DigiKP. Digitaalinen karttatietokanta [Elektroninen aineisto]. Espoo. Geologian tutkimuskeskus.

**Geologian tutkimuskeskus. 2021a.** Maaperä 1:20 000/1:50 000.

[https://tupa.gtk.fi/paikkatieto/meta/maaperä\\_20\\_50k.html](https://tupa.gtk.fi/paikkatieto/meta/maaperä_20_50k.html)

**Geologian tutkimuskeskus. 2021b.** Pohjavesialueiden rakenneselvitys.

<https://www.gtk.fi/palvelut/vesi/pohjavesialueiden-rakenneselvitys/>

**Haavisto-Hyvärinen, M. & Kutvonen, H. 2007.** Maaperäkartan käyttöopas. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 66 s. [http://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/gtk\\_maaperakartan\\_kayttoopas.pdf](http://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/gtk_maaperakartan_kayttoopas.pdf)

**Hyvönen, A. 2017.** Mikkelin Porrassalmen pohjavesialueen geologinen rakennetutkimus ja pohjaveden virtausmallinnus sekä Mikkelin pohjavesialueiden (Hanhikangas, Pursiala, Porrassalmi) rakenne- ja virtausmallinnusaineistojen yhdistäminen. Geologian tutkimuskeskus, Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Mikkelin kaupunki ja Mikkelin vesilaitos. Arkistoraportti 22/2017. Geologian tutkimuskeskus.

**Hyvönen, A. & Luoma, S. 2019.** DRASTIC-Haavoittuvuusanalyysi Mikkelin Hanhikankaan, Pursialan ja Porrassalmen pohjavesialueet. Etelä-Savon ELY-keskus. 20 s., 20 liites. RAJOITETTU KÄYTTÖ (EIJULKINEN) : Julkisuuslaki 24.1 § 17. kohta.



15.12.2021

**Hyvönen, A., Klein, J. & Okkonen, J. 2021.** Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueen virtausmalli ja ilmastomuutoksen vaikutusten mallintaminen alueen pohjavedenpintoihin aikaväleillä 2021–2050 ja 2072–2100. Työraportti 48/2021. Geologian tutkimuskeskus.

**Ilmatieteen laitos. 2019.** Suomen ilmastoa kuvaavat vertailukauden 1981–2010 keskiarvot. <https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmastollinen-vertailukausi> luettu 8.10.2019.

**Ilmatieteen laitos. 2021.** Kartat, kuvaajat ja datat. Mennyt ja tuleva ilmasto. Suomen ympäristökeskus, Aalto-yliopisto YTK ja Ilmatieteen laitos. <https://ilmasto-opas.fi/fi/datat/mennyt-ja-tuleva-ilmasto#DoubleMapTimelinePlace:vertailu>

**Järvinen, K. & Koivulehto, L. 2021.** Kemiallisesti huonossa tilassa olevien pohjavesialueiden kokonaisvaltainen riskinhallinta, POAKORI 1-2. Esitelmä. Pohjavesipäivät 3.-4.5.2021.

**Klein, J. & Luoma, S. 2020.** Regional Climate Change Scenarios for the Water Management in Lahti and Mikkeli. Työraportti 61/2019. Geologian tutkimuskeskus.

**Koivulehto, L. 2020.** POAKORI. Kemiallisesti huonossa tilassa olevien pohjavesialueiden kokonaisvaltainen riskienhallinta. Projektiraportti. Ramboll. 35 s., 5 liitettä.

**Luoma, S., Backman, B. & Kaipainen, T. 2017.** Haavoittuvuusanalyysi Hankoniemen pohjavesialueella. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. Arkistoraportti 55/2017. 17 s., 7 liites.

**Luoma, S., Eskelinen, A., Jarva, J., Klein, J. & Okkonen, J. 2022.** Groundwater flow modelling for an assessment of climate change impacts on groundwater recharge at the Lahti aquifer, southern Finland. GTK Open File Work Report 3/2022.

**Maanmittauslaitos 2021.** <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/laserkeilausaineisto-05-p> Luettu 24.8.2021.

**Nurminen, T., Sallasmaa, O., Ahonen, J. & Valjus, T. 2015.** Pohjavesialueen geologisen rakenteen selvitys Lahden ja Kunnaksen pohjavesialueilla Lahdessa. Geologian tutkimuskeskus ja Hämeen ELY-keskus. GTK:n arkistoraportti 84/2015 14 s., 12 liites.

**Saarnisto, M., Rainio, H. ja Kutvonen, H. (toim.) 1994.** Salpausselkä ja jääkaudet. Geologian tutkimuskeskus. Opas 36. Lahden Kaupunginmuseon julkaisu. Espoo. 52 s.

**Suomen ympäristökeskus 2019a.** Maankäyttö- ja maanpeiteaineistojen tuottaminen CORINE Land Cover 2018-hankkeessa ja Copernicus Land -aineistojen validointi Suomessa. <https://www.syke.fi/hankkeet/corine2018>

**Suomen ympäristökeskus 2019b.** Pohjavesi ja ilmastomuutos. Pitkät ja lämpimät kesät vaikuttavat pohjavesien määrään / Toisaalta leudot talvet helpottavat pohjavesien tilannetta. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Pohjavesien\\_tila/Pohjavesi\\_ja\\_ilmastonmuutos](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Pohjavesien_tila/Pohjavesi_ja_ilmastonmuutos)

**Suomen ympäristökeskus 2019c.** Pilaantuneet alueet Suomessa. Valtakunnallinen Maaperän tilan tietojärjestelmä (MATTI). <https://www.ymparisto.fi/pilaantuneetalueetsuomessa>

**Suomen ympäristökeskus 2020.** Maaperän tilan tietojärjestelmä MATTI. <https://ckan.ymparisto.fi/dataset/maaperan-tilan-tietojarjestelma-matti>

15.12.2021

**Suomen ympäristökeskus 2021a.** Hertta -tietojärjestelmä. Suomen ympäristökeskus.

<https://www.syke.fi/fi->

[FI/Avoin tieto/Ymparistotietojarjestelmat/Avoimet ymparistotietojarjestelmat\(36048\)](https://www.syke.fi/fi-) 29.9.2021

**Suomen ympäristökeskus 2021b.** Missä pohjavettä on? / Pohjavesi ja vuodenaajat. Suomen ympäristökeskus, Ilmatieteen laitos, Tulvakeskus, vesialan asiantuntijaorganisaatiot.

<https://www.vesi.fi/pohjavesitilanne/> 31.8.2021

**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.

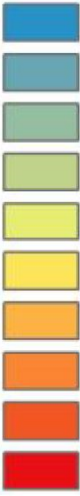
<http://www oulu.fi/poves/pages/publ/dipl/heiditakalo.pdf>

**Väänänen, T., Hyvönen, A., Mursu, J. & Hyvärinen, J. 2016.** Hanhikankaan rakennetutkimus ja virtausmallinnus. Geologian tutkimuskeskus, Etelä-Savon ELY-keskus, Mikkelin kaupunki ja Mikkelin Vesilaitos. GTK:n tutkimusraportti 2/2016. 55 s.

Parametri	D	R	A	S	T	I	C
Luokkarvo	Pohjaveden etäisyys maanpinnasta (m)	Muodostuvan pohjaveden määrä (mm/v)	Maalaji pohjavesivyöhykkeessä	Maankäyttö ja pintamaa	Maanpinnan kaltevuus (%)	Maalaji vajovesivyöhykkeessä	Hydraulinen johtavuus pohjavesikerroksessa (K-arvo, m/s)
1	>20	<60	Aito-Sa (Sa-linssi)	Kaikki Corine-luokitellut kalliialueet	26-30	Aito-Sa (Sa-linssi)	$10^{-9}$ - $>10^{-10}$
2	15-20	60-90	HsSa, HMr	Tiiviin rakentamisen alueet, päällystetyt alueet sekä viljellyt alueet, joiden maaperä huonosti vettä-läpäisevää	22-25	HsSa, HMr	$10^{-8}$ - $10^{-9}$
3	10-15	90-120	HHS - KaSa (hSi)	Rakennettu alue joka osin päällystetty sekä turvealueet mm. pal-veluiden alueet, kerrostaloalueet ja metsät turvemaalla	19-21	HHS - KaSa (hSi)	$10^{-7}$ - $10^{-8}$
4	7-10	120-150	Hht - Khs (kSi)	Rakennettu, mutta ei pääosin päällystetty mm. pientaloalueet, puistot, virkistysalueet	18-16	Hht - Khs (kSi)	$10^{-6}$ - $10^{-7}$
5	5-7	150-180	SiHHK (SiKht) - HHT	Ohuehko maannos, jonka alla kohtalaisesti vettä läpäisevä maaperä mm. metsät kivennäismaalla	13-15	SiHHK (SiKht) - HHT	$10^{-5}$ - $10^{-6}$
6	4-5	180-210	HkMr, SrMr, Hk-HHK-kerrallinen (harjun lieve)	Ohuehko maannos, jonka alla kohtalaisesti vettä läpäisevä maaperä mm. havapuustoiset metsät	10-12	HkMr, SrMr, Hk-HHK-kerrallinen (harjun lieve)	$10^{-4}$ - $10^{-5}$
7	3-4	210-240	KeHk	Ohut maannoskerros tai se puuttuu, maaperä vettä läpäisevää mm. luonnonniityt, varvikot ja nummet	7-9	KeHk	$10^{-3}$ - $10^{-4}$
8	2-3	240-270	SrHk, KaHk	Voimakkaasti muokattu maanpinta	5-6	SrHk, KaHk	$10^{-2}$ - $10^{-3}$
9	1,5-2	270-300	HkSr	Maannoskerros poistettu tai ei ole mm. rantahietikot ja dyynialueet	3-4	HkSr	$10^{-1}$ - $10^{-2}$
10	< 1,5	>300	KiSr, KaSr, HSR	Maannoskerros poistettu tai sitä ei ole mm. maa-ainesten ottoalueet, joet, järvet, meri	0-2	Vadoosi vyöhyke puuttuu, KiSr - Hsr	$>1$ - $10^{-1}$
Painoarvo	5	4	3	2	1	5	3

## RAPORTIN OSA-ARVOJEN KARTTAKUVIEN HSV-VÄRIT


Luokka	HSV	HSV	HSV	Kuvaus
1	200	80	78	Sininen
2	190	42	70	Turkoosiin vivahtava
3	135	21	74	Sinertävän vihreä
4	77	35	83	Vihreä
5	63	52	93	Kellertävän vihreä
6	51	64	99	Keltainen
7	36	73	99	Oranssi
8	25	80	98	Tumma oranssi
9	15	86	95	Punertava oranssi
10	359	93	91	Punainen



Lähde: Valmis väripaletti **Prediction**

## RAPORTIN HAAVOITTUVUUSLUOKKIEN HSV-VÄRIT

Luokka	HSV	HSV	HSV	Kuvaus
1	120	100	38	Tumman vihreä
2	70	100	77	Vaalean vihreä
3	44	100	100	Oranssi
4	9	100	100	Punainen







Tässä dokumentissa kuvataan DRASTIC-haavoittuvuusanalyysin eri osa-arvojen sekä lopullisen haavoittuvuusanalyysin laskenta Esrin *ArcGis*®-tuoteperheen *Desktop 10.6.1*-ohjelmalla (Mikkelin) Hanhikankaan ja Lahden pohjavesialueilla.

## HAAVOITTUVUUSANALYYSIN HYDROGEOLOGISETPARAMETRIT

### **Pohjaveden etäisyys maanpinnasta (Drastic), osa-arvon ”Dr” laskeminen**

Parametrin D laskennassa lähtöaineistoina käytettiin tutkimusalueille tehdyissä pohjavesialueiden rakenneselvityksissä (Lahdessa Nurminen et al. 2015 ja Mikkelissä Hyvönen 2017) tuotettuja pohjaveden pinnankorkeusmalleja sekä Maanmittauslaitoksen valtakunnallisen laserkeilausaineiston perusteella laskettua maanpinnan korkeustasoa (Maanmittauslaitos 2021a). Näiden perusteella alaskettiin pohjavesipinnan yläpuolisen maapeitteen paksuus.

Pohjavesipinnan yläpuolisen maakerroksen paksuudesta tehtiin uusi rasteri, jolle annettiin nimi ”Dr” ja luokiteltiin taulukon 1 mukaisesti luokka-arvoihin (1–10). Luokitteluun käytettiin *Spatial Analyst / Reclassify*-työkalua.

Tuloksena saatu rasteri ”Dr” on DRASTIC-analyysin osa-arvo *pohjaveden etäisyys maanpinnasta* ja sen jokainen solu sisältää arvon yhdestä kymmeneen (1–10).

**Taulukko 1.** Drastic-analyysin eri osa-arvojen luokka-arvot sekä osa-arvojen painokertoimet.

Parametri	D	R	A	S	T	I	C
Luokka-arvo	Pohjaveden etäisyys maanpinnasta (m)	Muodostuvan pohjaveden määrä (mm/v)	Maalaji pohjavesivyöhykkeessä	Maankäyttö ja pintamaa	Maanpinnan kaltevuus (%)	Maalaji vajovesivyöhykkeessä	Hydraulinen johtavuus pohjavesikerroksessa (K-arvo, m/s)
1	>20	<60	Aito-Sa (Sa-linssi)	Kaikki Corineluokitellut kalliialueet	26-30	Aito-Sa (Sa-linssi)	$10^{-9}$ - $>10^{-10}$
2	15-20	60-90	HsSa, HMr	Tiiviin rakentamisen alueet, päällystetyt alueet sekä viljellyt alueet, joiden maaperä huonosti vettä-läpäisevää	22-25	HsSa, HMr	$10^{-8}$ - $10^{-9}$
3	10-15	90-120	HHS - KaSa (hSi)	Rakennettu alue joka osin päällystetty sekä turvealueet mm. palveluiden alueet, kerrostaloalueet ja metsät turvemaalla	19-21	IIIs - KaSa (hSi)	$10^{-7}$ - $10^{-8}$
4	7-10	120-150	Hht - Khs (kSi)	Rakennettu, mutta ei pääosin päällystetty mm. pientaloalueet, puistot, virkistysalueet	18-16	Hht - Khs (kSi)	$10^{-6}$ - $10^{-7}$
5	5-7	150-180	SiHHk (SiKHt) - Hht	Ohuehko maannos, jonka alla kohtalaisesti vettä läpäisevä maaperä mm. metsät kivennäismaalla	13-15	SiHHk (SiKHt) - Hht	$10^{-5}$ - $10^{-6}$
6	4-5	180-210	HkMr, SrMr, Hk-HHk-kerrallinen (harjun lieve)	Ohuehko maannos, jonka alla kohtalaisesti vettä läpäisevä maaperä mm. havapuustoiset metsät	10-12	HkMr, SrMr, Hk-HHk-kerrallinen (harjun lieve)	$10^{-4}$ - $10^{-5}$
7	3-4	210-240	KeHk	Ohut maannoskerros tai se puuttuu, maaperä vettä läpäisevää mm. luonnonniityt, varvikot ja nummet	7-9	KeHk	$10^{-3}$ - $10^{-4}$
8	2-3	240-270	SrHk, KaHk	Voimakkaasti muokattu maanpinta	5-6	SrHk, KaHk	$10^{-2}$ - $10^{-3}$
9	1,5-2	270-300	HkSr	Maannoskerros poistettu tai ei ole mm. rantahietikot ja dyynialueet	3-4	HkSr	$10^{-1}$ - $10^{-2}$
10	< 1,5	>300	KiSr, KaSr, HSr	Maannoskerros poistettu tai sitä ei ole mm. maainesten ottoalueet, joet, järvet, meri	0-2	Vadoosi vyöhyke puuttuu, KiSr - HSr	$>1$ - $10^{-1}$
<b>Painoarvo</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>3</b>

### Muodostuvan pohjaveden määrä (dRastic), osa-arvon ”Rr” laskeminen

Tutkimusalueen vuosittaisena sademääränä (mm) käytettiin Ilmatieteen laitoksen mittauksiin perustuvaa keskimääräistä sademäärää aikavälillä 2000 – 2020 (Ilmatieteenlaitos 2021). Muodostuvan pohjaveden määrän laskennassa käytettiin tarkkamittakaavaista (1:20 000) maaperäkarttaa (Geologian tutkimuskeskus 2021). Maaperäkartasta valittiin tutkimusalueella sijaitsevat pohjamaalajit (*Selection / Select By Location*).

Valittu polygoniaineisto tallennettiin uudeksi shape-tiedostoksi toiminnolla *Data/Export Data*. Tiedosto nimettiin ”Pohjamaa”. Polygoniaineiston atribuuttitaulukkoon luotiin uusi kenttä Imeytymiskerroin ”IK”. Kentän tyyppinä oli ”Floating point”.

Uudelle kentälle ”IK” laskettiin imeytymiskertoimet. Kertoimina käytettiin 10–60 % keskisadannasta, esim. hiekka- ja sora-alueille 30–50 %. Kertoimet merkittiin kenttään desimaalilukuina eli 10 % = 0,1 ja 20 % = 0,2 jne. (**taulukko 2**). Maalaji kerrallaan editoitiin rivit työkalulla *Field Calculator*. Laskimessa annettiin sarakkeen ”IK” valituille riveille sadeveden imeytymistä kuvaava arvo. Esimerkiksi hiekkapolygoneille annettiin imeytymiskertoimen arvoksi ”0,5”. Atribuuttitaulukkoon lisättiin kenttä sademäärälle, ”Sade\_mm”. Kenttään ”Sade\_mm” laskettiin alueella muodostuva pohjavesi kaavalla (IK \* nn), jossa nn on alueen vuotuinen sademäärä millimetreinä.

Kun kaikille maalajeille oli saatu sateesta muodostuvan pohjaveden määrä sarakkeeseen ”Sade\_mm” muutettiin polygoniaineisto rasteriaineistoksi työkalulla *ArcToolbox / Conversion Tools / To Raster / Polygon to Raster*. Lähtöaineistona oli polygoni ”Pohjamaa” ja sen sarake ”Sade\_mm”, jonka arvo tuli muodostettavan rasterin solun arvoksi.

**Taulukko 2.** Imeytymiskertoimet eri maalajeilla. Taulukko O. Sallasmaa ja S. Luoma, GTK.

POHJAMAALAJI	Imeytymiskerroin
Hienojakoinen maalaji. päälajitetta ei selvitetty	0,2
Kallioma	0,05
Kalliopaljastuma	0,05
Karkearakeinen maalaji. päälajitetta ei selvitetty	0,6
Kartoittamaton	0,2
Kiviä	0,1
Lieju	0,1
Liejuinen hienorakeinen maalaji	0,1
Paksu turvekerros	0,3
Rakka	0,3
Savi	0,05
Sekalajitteinen maalaji. päälajitetta ei selvitetty	0,2
Täytemaa	0,2
Vesi	0



Seuraavaksi Maastotietokannasta (Maanmittauslaitos 2021b) poimittiin sadeveden imeytymistä estävät ja edistävät alueet ja niille annettiin kerroin sen perusteella, kuinka hyvin vesi imeytyy ko. alueella. Esimerkiksi päällystetyillä tiealueilla ja kallioalueilla normaalia vähemmän sadannasta imeytyy pohjavedeksi, joten nämä alueet saivat kertoimeksi 0,1. Toisaalta maa-aineksen ottoalueilla, missä maannoskerros on poistettu, sadannasta imeytyy pohjavedeksi enemmän kuin luonnontilaisilla sora-alueilla eli kerroin on 1,2.

Imeytymistä estävät ja edistävät -rasteri ja pohjaveden imeytymisen millimetreinä sisältävä rasteri "sade\_mm" kerrottiin keskenään *Spatial Analyst*-työkalulla *Map Algebra / Raster Calculator*. Laskutoimituksella saatiin rasteri "Rakennetut-alueet", jossa on pohjaveteen imeytyvä sademäärä millimetreinä teiden, kallioiden, maa-aineksenottoalueiden, rakennusten jne. alueella.

Lopputuloksena saatavaan rasteriin "Muodostuva\_pv" poimittiin Maastotietokannan rakennetuille alueille korvaavat arvot "Rakennetut-alueet" -rasterista ehtolauseella *Spatial Analyst*-työkalulla *Map Algebra / Raster Calculator*.

Rasteri "Muodostuva pv" luokiteltiin uudelleen *Spatial Analyst / Reclassify*-työkalulla muodostuvan pohjaveden määrän mukaisesti luokkiin 1–10 ja tallennettiin nimellä "Rr". Uudelleen luokittelun luokka-arvot on esitetty **taulukon 1** sarakkeessa "R".

Tuloksena saatu rasteri "Rr" on DRASTIC-analyysin osa-arvo *muodostuvan pohjaveden määrä* ja sen jokainen solu sisältää arvon yhdestä kymmeneen (1–10).

### **Maalaji pohjavesivyöhykkeessä (drAstic), osa-arvon "Ar" laskeminen**

Maalaji pohjavesivyöhykkeessä -parametri (*Aquifer media*) kuvaa haavoittuvuusanalyysissä pohjavesivyöhykkeen maalajia. Pohjavesialueen haavoittuvuusherkyys kasvaa pohjavesivyöhykkeen vedenläpäisevyyden kasvaessa.

Mikkelin Hanhikankaan pohjavesialueella parametrin A laskennassa lähtöaineistoina käytettiin maaperäkarttaa 1:20 000 (Geologian tutkimuskeskus 2021) ja siihen merkittävät pohjamaalajeja. Lisäksi hyödynnettiin alueella aiempien tutkimusten yhteydessä tehtyjä maaperäkairauksia sekä maatulkuotauksia (mm. Väinänen et al. 2015) Lahden pohjavesialueella parametrin A laskennassa lähtöaineistoina käytettiin maaperäkarttaa 1:20 000 sekä Lahden kaupungilta RAINMAN-projektin käyttöön saatuja kairaustietoja.

Maaperäkartasta valittiin tutkimusalueella sijaitsevat pohjamaalajit *Selection / Select By Location* ja valittu polygoniaineisto tallennettiin uudeksi shape-tiedostoksi *Data/Export Data*. Polygoniaineiston attribuuttitaulukkoon tehtiin uusi kenttä "A" (drAstic). Kentän tyyppi on kokonaisluku (Long Integer).

Seuraavaksi laskettiin uudelle kentälle "A" arvot **taulukon 1** mukaisesti. Esim: Avoin pohjavesipinta, KSr, KiSr, Sr, ja HSr = 10. -> Kallio, Savi, Turve, Lieju = 1. Kun kaikille maalajeille oli saatu Drastic-luokka-arvo sarakkeeseen "A" muutettiin polygoniaineisto rasteriaineistoksi työkalulla *ArcToolbox / Conversion Tools / To Raster / Polygon to Raster*. Lähtöaineistona oli Polygoni "Pohjamaa" ja sen sarake "A", jonka arvo tuli muodostettavan rasterin "Ar" solun arvoksi.

Tuloksena saatu rasteri "Ar" on DRASTIC-analyysin osa-arvo *maalaji pohjavesivyöhykkeessä* ja sen jokainen solu sisältää arvon yhdestä kymmeneen (1–10).





### Maankäyttö ja pintamaa (draStic), osa-arvon "Sr" laskeminen

Hanhikankaan ja Lahden pohjavesialueet sijaitsevat kaupunkialueilla, joten S-parametri perustuu Suomen ympäristökeskuksen CORINE Land Cover 2018 -aineistoon, joka kuvaa Suomen maankäyttöä ja maanpeitteitä vuonna 2018. Aineiston maankäyttöä kuvaavat tason 4 (*level 4*) luokat. Corine Land Cover 2018 -aineisto käytettiin rasterimuodossa ja se luokiteltiin *Spatial Analyst / Reclassify*-työkalulla kymmeneen luokka-arvoon perustuen kvalitatiiviseen arvioon siitä, kuinka helposti em. maankäyttöluokassa vesi pääsee imeytymään maaperään (**taulukko 3**). Parametrin S luokka-arvot on esitetty **taulukossa 1**.

Tuloksena saatu rasteri "Sr" on DRASTIC-analyysin osa-arvo *maankäyttö ja pintamaa* ja sen jokainen solu sisältää arvon yhdestä kymmeneen (1–10).

### Maanpinnan kaltevuus (drasTic), osa-arvon "Tr" laskeminen

Laskennassa käytettiin Maanmittauslaitoksen valtakunnallista laserkeilausaineistoa (maanpinnan korkeus 2 x 2 m rasterina). Valtakunnallisesta aineistosta tallennettiin laskennan nopeuttamiseksi tutkimusalueet omiksi rastereikseen toiminnolla *Data / Export* samalla solukoolla kuin alkuperäinen korkeusaineisto.

Työkalulla *Spatial Analyst / Surface / Slope* laskettiin korkeusaineistosta maanpinnan kaltevuus prosentteina. Tuloksena saatu gridi sisältää maanpinnan kaltevuusprosentin. Tästä uudelleenluokiteltiin uusi rasteri, joka jaoteltiin **taulukon 1** kaltevuusprosentin mukaisesti luokkiin 1–10. Luokitteluun käytettiin *Spatial Analystin Reclassify*-työkalua ja jolle annettiin nimi "Tr".

Tuloksena saatu rasteri "Tr" on DRASTIC-analyysin osa-arvo *maanpinnan kaltevuus* ja sen jokainen solu sisältää arvon yhdestä kymmeneen (1–10).

**Taulukko 3.** Corine-maankäyttöluokituksen Level4-vastaavuus DRASTIC-parametriin S.

Corine Level4	Level4 selite	S soil media	Kommentti
3321	Kalliomaat	1	Kaikki corine-luokitellut kallioalueet
3133	Sekametsät kalliomaalla	1	
3244	Harvapuustoiset alueet, cc 10-30%, kalliomaalla	1	
3123	Havumetsät kalliomaalla	1	
1212	Teollisuuden alueet	2	Tiiviin rakentamisen alueet, päällystetyt alueet: pintaosista vesi ei pääse imeytymään maaperään
1221	Liikennealueet	2	
1231	Satama-alueet	2	
1241	Lentokenttäalueet	2	
1312	Kaivokset	2	
1321	Kaatopaikat	2	
1331	Rakennustyöalueet	2	
2111	Pellot	2	Viljellyt alueet, maaperä hiesua/huonosti vettäläpäisevää
2221	Hedelmäpuu- ja marjapensasviljelmät	2	
2311	Laidunmaat	2	
2312	Luonnon laidunmaat	2	
2431	Maataloustukijärjestelmän ulkopuoliset maatalousmaat	2	
2441	Puustoiset pelto- ja laidunmaat	2	
1111	Kerrostaloalueet	3	Rakennettu alue, osin päällystetty
1211	Palveluiden alueet	3	
3112	Lehtimetsät turvemaalla	3	Corine-luokituksen mukaiset turvealueet
3122	Havumetsät turvemaalla	3	
3132	Sekametsät turvemaalla	3	
3243	Harvapuustoiset alueet, cc 10-30%, turvemaalla	3	
4121	Avosuot	3	
4122	Turvetuotantoalueet	3	
4111	Sisämaan kosteikot maalla	3	Corine-luokituksen kosteikot
4112	Sisämaan kosteikot vedessä	3	
4211	Merenrantakosteikot maalla	3	
4212	Merenrantakosteikot vedessä	3	
1121	Pientaloalueet	4	Väljemmän asutuksen alueet, puistot, virkistysalueet, golfkentät. Rakennettu, mutta ei pääosin päällystetty
1411	Puistot	4	
1421	Vapaa-ajan asunnot	4	
1422	Muut urheilu- ja vapaa-ajan toiminta -alueet	4	
1423	Golfkentät	4	
1424	Raviradat	4	
3111	Lehtimetsät kivennäismaalla	5	Corine-luokituksen metsät, jotka ovat kivennäismaalla: ohuehko maannos, jonka alla kohtalaisesti vettä läpäisevä maaperä
3121	Havumetsät kivennäismaalla	5	
3131	Sekametsät kivennäismaalla	5	
3241	Harvapuustoiset alueet, cc <10%	6	
3242	Harvapuustoiset alueet, cc 10-30%, kivennäismaalla	6	
3246	Harvapuustoiset alueet, sähkölinjan alla	6	
3211	Luonnonniityt	7	Ohut maannoskerros/maannoskerros puuttuu, maaperä vettä läpäisevää
3221	Varvikot ja nummet	7	
3331	Niukkakasvustoiset kangasmaat	7	
3311	Rantahietikot ja dyynialueet	9	
1311	Maa-ainesten ottoalueet	10	Maannoskerros poistettu
5111	Joet	10	Vesistöt
5121	Järvet	10	
5231	Meri	10	



### Maalaji vajovesi- eli vadoosivyöhykkeessä (drastic), osa-arvon "Ir" laskeminen

Vajovesivyöhykkeen maalajin määrittämiseen käytettiin maaperäkarttaa 1:20 000 ja siihen merkittävät pohjamaalajeja (Geologian tutkimuskeskus 2021). Maaperäkartasta valittiin tutkimusalueella sijaitsevat pohjamaalajit *Selection / Select By Location*. Valittu polygoniaineisto tallennettiin uudeksi shape-tiedostoksi *Data/Export Data*. Tiedosto nimettiin "PVmaalaji".

Polygoniaineiston attribuuttitaulukkoon lisättiin uusi kenttä "i" (drastic). Kentän tyyppi on kokonaisluku *Long Integer*. Uudelle kentälle "i" laskettiin arvot Drastic- luokittelun (**taulukko 1**) mukaisesti. Esim: Avoin pohjavesipinta, KSr, KiSr, Sr, ja HSr = 10. -> Kallio, Savi, Turve, Lieju = 1.

Maalaji kerrallaan editoitiin työkalulla *Field Calculator*, jossa annettiin sarakkeen "i" valituille riveille arvo Drastic-luokittelun mukaisesti. Kun kaikille maalajeille saatiin Drastic-luokka-arvo sarakkeeseen "i", muutettiin polygoniaineisto rasteriaineistoksi työkalulla *ArcToolbox / Conversion Tools / To Raster / Polygon to Raster*. Lähtöaineistona on polygonitiedosto "PVmaalaji" ja sen sarake "i", jonka arvo tulee muodostettavan rasterin "Ir" solun arvoksi.

Tuloksena saatu rasteri "Ir" on DRASTIC-analyysin osa-arvo *maalaji vajovesi- eli vadoosivyöhykkeessä* ja sen jokainen solu sisältää arvon yhdestä kymmeneen (1–10).

### Hydraulinen johtavuus pohjavesivyöhykkeessä (drastic), osa-arvon "Cr" laskeminen

Pohjavesivyöhykkeen maalajin määrittämiseen käytettiin maaperäkarttaa 1:20 000 ja siihen merkittävät pohjamaalajeja (Geologian tutkimuskeskus 2021). Tämä polygoni taso tehtiin jo osa-arvon "Ir" laskentaa varten ja sitä käytettiin lähtöaineistona myös osa-arvon "Cr" laskennassa. Maaperäkartan pohjamaalaji-tiedoston attribuuttitaulukkoon lisättiin sarake "C\_luokka". Tähän sarakkeeseen syötettiin maalajien K-arvoon perustuvat, **taulukossa 1** esitetyt parametrin "C" luokka-arvot (*Editor/Start Editing/Pohjamaa*).

Polygoniaineisto, jossa oli arvo "C\_luokka", muunnettiin rasteriksi *Arc Toolbox / Conversion Tools / To Raster / Polygon to Raster*. Tuloksena rasteri, jonka soluissa on lopullisen Drastic-indeksin laskennassa tarvittava osa-arvo "hydraulinen johtavuus", osa-arvo "Cr".

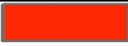




Tuloksena saatu rasteri "Cr" on DRASTIC-analyysin osa-arvo *hydraulinen johtavuus pohjavesivyöhykkeessä* ja sen jokainen solu sisältää arvon yhdestä kymmeneen (1–10).

### DRASTIC-HAAVOITTUVUUSANALYYSIN LASKEMINEN

Lopullinen haavoittuvuusindeksikartta on jokaisen osa-arvojen rasterikarttojen summa. Tässä ohjeessa tehdyt rasterit kerrottiin **taulukossa 1** esitetyillä painoarvoilla ja laskettiin yhteen työkalulla *Spatial Analyst / Map Algebra / Raster Calculator*. Summan laskennassa käytetään kaavaa  **$(Dr \times Dw) + (Rr \times Rw) + (Ar \times Aw) + (Sr \times Sw) + (Tr \times Tw) + (Ir \times Iw) + (Cr \times Cw)$**  missä *r* on luokka-arvo (1–10) ja *w* on painoarvo (1–5).

Tuloksena saatiin DRASTIC-indeksi pohjaveden muodostumisalueille. DRASTIC-indeksissä korkea lukuarvo vastaa suurempaa haavoittuvuuspotentiaalia kuin matala arvo. DRASTIC-indeksin lukuarvot jaettiin neljään haavoittuvuuspotentiaalia kuvaavaan luokkaan, jotka esitetään **taulukossa 4**.

**Taulukko 4.** Haavoittuvuusluokkien DRASTIC-arvot

Haavoittuvuus- luokka	DRASTIC-arvo	Karttojen väripaletti neljällä värillä	Karttojen väripaletti liukuväreillä
Korkea	yli 200		
Kohonnut	140 - 200		
Keskinkertainen	50 - 140		
Matala	alle 50		

**Lähdeviitteet:**

**Geologian tutkimuskeskus. 2021.** Maaperä 1:20 000/1:50 000.

[https://tupa.gtk.fi/paikkatieto/meta/maapera\\_20\\_50k.html](https://tupa.gtk.fi/paikkatieto/meta/maapera_20_50k.html)

**Hyvönen, A. 2017.** Mikkelin Porrassalmen pohjavesialueen geologinen rakennetutkimus ja pohjaveden virtausmallinnus sekä Mikkelin pohjavesialueiden (Hanhikangas, Pursiala, Porrassalmi) rakenne- ja virtausmallinnusaineistojen yhdistäminen. Geologian tutkimuskeskus, Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Mikkelin kaupunki ja Mikkelin vesilaitos. GTK:n arkistoraportti 22/2017. 13 s., 43 liites.

**Ilmatieteen laitos. 2021.** Kartat, kuvaajat ja datat. Mennyt ja tuleva ilmasto. Suomen ympäristökeskus, Aalto-yliopisto YTK ja Ilmatieteen laitos.

<https://ilmasto-opas.fi/fi/datat/mennyt-ja-tuleva-ilmasto#DoubleMapTimelinePlace:vertailu>

**Maanmittauslaitos 2021a.** Tuotekuvaukset/Laserkeilausaineisto

<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/laserkeilausaineisto-05-p>

**Maanmittauslaitos 2021b.** Tuotekuvaukset/Maastotietokanta

<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/maastotietokanta-0>

**Nurminen, T., Sallasmaa, O., Ahonen, J. & Valjus, T. 2015.** Pohjavesialueen geologisen rakenteen selvitys Lahden ja Kunnaksen pohjavesialueilla Lahdessa. Geologian tutkimuskeskus ja Hämeen ELY-keskus. GTK:n arkistoraportti 84/2015 14 s., 12 liites.

**Väänänen, T., Hyvönen, A., Mursu, J. & Hyvärinen, J. 2016.** Hanhikankaan rakennetutkimus ja virtausmallinnus. Geologian tutkimuskeskus, Etelä-Savon ELY-keskus, Mikkelin kaupunki ja Mikkelin Vesilaitos. GTK:n tutkimusraportti 2/2016. 55 s.