



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

POHJAVEDEN LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Veli-Antti Hietula

Geotieteiden tutkinto-ohjelma

LuK-tutkielma

Huhtikuu 2023

TIIVISTELMÄ

Pohjaveden laatuun vaikuttavat tekijät

Veli-Antti Hietula

Oulun yliopisto, Geotieteiden tutkinto-ohjelma

Kandidaatintutkielma 2023, 18 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: Pertti Sarala

Tässä tutkielmassa perehdytään pohjaveden muodostumiseen ja esiintymiseen, näytteenotto- ja analyysimenetelmiin sekä pohjaveden laatuun vaikuttaviin tekijöihin. Pohjavesi on tärkeä juomaveden lähde, minkä vuoksi sen muodostumisprosessin ja laatuun vaikuttavien tekijöiden ymmärtäminen on tärkeää. Pohjaveden muodostumiseen vaikuttavat esimerkiksi sateen määrä ja maa- ja kallioperän ominaisuudet. Maailmanlaajuisesti suurimmat pohjavesiesiintymät sijaitsevat hiekkakivissä, Suomessa taas harjuissa ja reunamuodostumissa, sillä kallioperämme ei johda vettä hyvin ja huokoisuus on vähäistä. Pohjavesinäytteenotossa oikeat menetelmät ja välineet ovat tärkeitä hyvälaatuisen näytteen saamisen kannalta. Näytteenoton yhteydessä tehdään kenttäanalyysijä herkästi muuttuvista ominaisuuksista, loput ominaisuudet määritetään laboratoriossa. Pohjaveden laatuun vaikuttavat maa- ja kallioperä, sade ja kuivalaskeuma, meri, ihmistoiminta ja ilmastonmuutos. Pohjavesi saa ominaispiirteensä maannoksesta, ja maannoksen poisto esimerkiksi ihmistoiminnan seurauksena muuttaa muodostuvan pohjaveden määrää ja laatua. Maa- ja kallioperän mineraalikoostumuksen voi huomata paikoin pohjaveden kemiallisessa koostumuksessa. Sadeveden ja kuivalaskeuman kautta monia aineita päätyy maan pinnalle ja siitä pohjaveteen. Meren lähellä akviferiin voi tunkeutua suolavettä, joka voi päätyä vedenottokaivoon. Ihmistoiminnan seurauksena pohjaveteen voi päätyä monia erilaisia haitallisia aineita esimerkiksi maataloudesta ja teollisuudesta. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia pohjaveden laatuun ei ymmärretä vielä kovin hyvin. Tutkielma antaa yleiskuvan erilaisista pohjaveden laatuun vaikuttavista tekijöistä.

Asiasanat: pohjavesi, hydrogeologia, vedenlaatu

SISÄLLYSLUETTELO

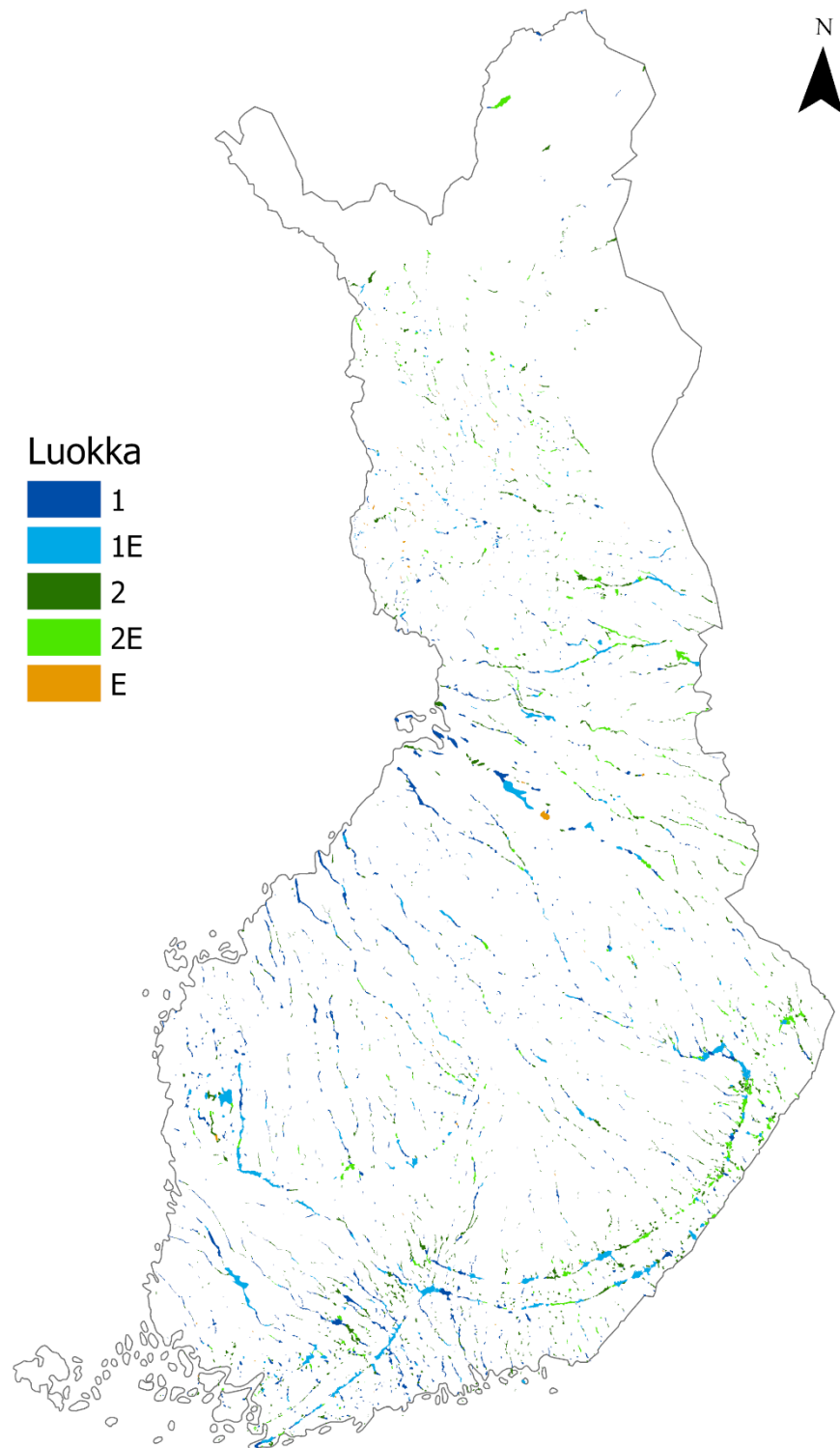
1 Johdanto	3
2 Pohjaveden muodostuminen ja esiintyminen	5
3 Näytteenotto- ja analyysimenetelmät	8
3.1 Näytteenottomenetelmät	8
3.2 Analyysimenetelmät	9
4 Pohjaveden laatuun vaikuttavat tekijät	10
4.1 Maa- ja kallioperä	10
4.2 Sadevesi ja kuivalaskeuma	12
4.3 Merelliset tekijät	13
4.4 Ihmistoiminta	14
4.4.1 Soranotto	15
4.5 Ilmastonmuutos	16
5 Yhteenveto	18

LÄHDELUETTELO

1 JOHDANTO

Maapallon vedestä suurin osa, noin 97,6 %, on merissä. Jäätiköissä vettä on noin 1,8 %, pohjavetenä noin 0,53 % ja pintavetenä noin 0,007 % (Mälkki 1999). Vettä on lisäksi myös maavetenä ja ilmakehässä. Arviot eroavat toisistaan jonkin verran lähteestä riippuen, ja Mälkin (1999) mukaan syynä ovat lähinnä toisistaan huomattavastikin poikkeavat arviot pohjaveden määrästä. Pricen (1996) mukaan pohjavesi on suurin saavutettavissa oleva makeanveden lähde sekä usein paras ja joskus myös ainoa keino hankkia juoma- ja kasteluvettä. Appelon ja Postman (2005) mukaan pohjaveden laatu vaikuttaa sen hyödyntämismahdollisuuksiin, ja se voi sisältää terveydelle tai ympäristölle haitallisia aineita. Hyvälaatuinen pohjavesi on tärkeä juomaveden lähde, sillä juomaveden valmistus esimerkiksi suolaa poistamalla on kallis prosessi.

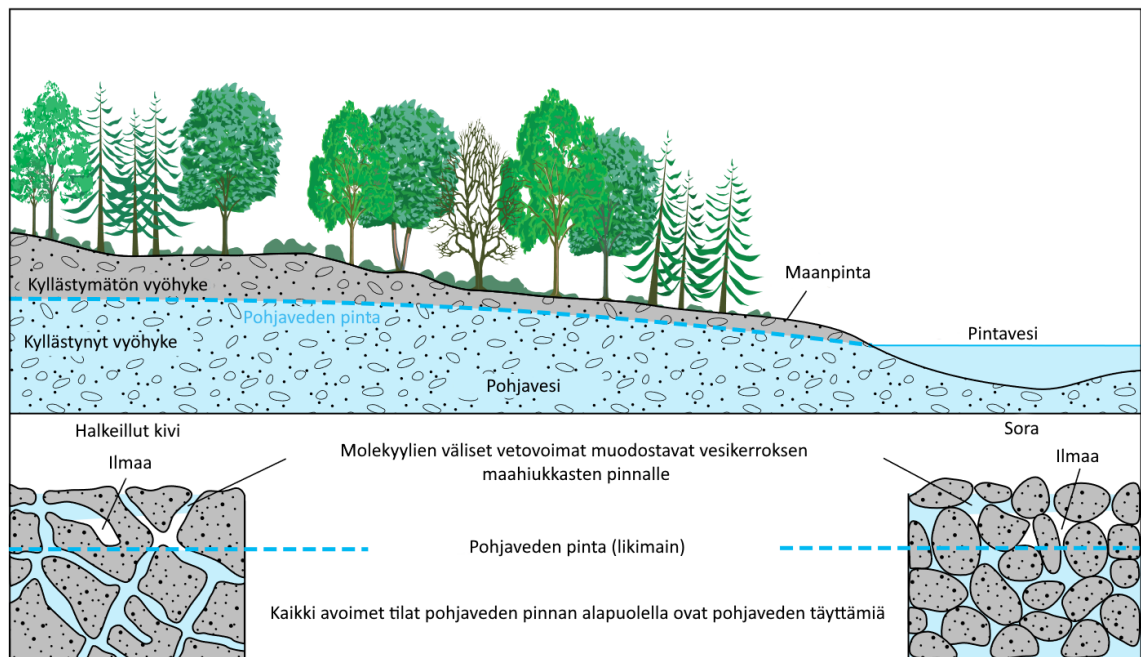
Suomessa pohjaveden osuus talousvedestä on suuri, noin 65 %. Yleensä pohjaveden laatu on pintaveden laatua parempi, eikä se vaadi yhtä paljon käsittelyä. (Suomen ympäristökeskus [Syke] 2019a) Pohjavedessä esiintyy aineita, jotka voivat suurina määrinä aiheuttaa terveydelle haittaa. Sosiaali- ja terveysministeriö on asettanut terveydelliset laatuvaatimukset talousvedelle, jotta haittaa tai vaaraa ei aiheutuisi. Lisäksi laatuvaatimuksia liittyy myös teknisiin ja esteettisiin ominaisuuksiin. Tämä tarkoittaa sitä, että veden pitää olla väritöntä ja kirkasta, eikä siinä saa olla haju- tai makuhaittoja. Se ei myöskään saa syövyttää merkittävästi esimerkiksi vesijohtoja. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996) Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus luokittelee Suomen pohjavesialueet kolmeen luokkaan sen perusteella, miten ne soveltuvat vedenhankintakäyttöön ja mikä niiden suojelutarve on (kuva 1). Luokka 1 sisältää pohjavesialueet, jotka ovat vedenhankinnan kannalta tärkeitä. Niistä otetaan tai on tarkoitus ottaa yli 10 kuutiometriä vettä vuorokaudessa. Luokkaan 2 kuuluvat muut pohjavesialueet, jotka sopivat vedenhankintakäyttöön luokkaan 1 kuuluvien pohjavesialueiden tavoin. E-luokkaan kuuluvat pohjavesialueet, joista maaekosysteemi tai pintavesiekosysteemi on riippuvainen. (Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä [VMJL] 1299/2004, 2 a:10 b §) E-merkintä voidaan myös yhdistää luokkiin 1 ja 2 (Britschgi ym. 2018).



Kuva 1. Suomen luokitellut pohjavesialueet (Aineisto: Syke 2021; Tilastokeskus 2020).

2 POHJAVEDEN MUODOSTUMINEN JA ESIINTYMINEN

Pohjavesi muodostuu sade-, sulamis- ja pintavesistä, jotka suodautuvat maa- ja kallioperään täyttäen kaikki huokokset ja raot (Syke 2019a; Geologian tutkimuskeskus [GTK] 2019). Pohjavettä esiintyy maa- ja kallioperän vedestä kyllästyneessä vyöhykkeessä, ja pohjavedenpinnaksi kutsutaan rajaa kyllästyneen ja kyllästymättömän vyöhykkeen välissä. Kyllästymätön vyöhyke sijaitsee pohjavedenpinnan yläpuolella, ja siinä huokosissa on sekä ilmaa että vettä (kuva 2). Tätä vettä kutsutaan maavedeksi (Kinnunen 2005). Grotzingerin ja Jordanin (2014) mukaan pohjavedenpinta mukailee maanpinnan muotoja, mutta sen muodot ovat loivempia. Jokien ja järvien pohjissa sekä lähteissä se kohtaa maanpinnan kanssa. Pohjavesi virtaa painovoiman vaikutuksesta alaspäin korkeamman pohjavedenpinnan alueilta matalamman pohjavedenpinnan alueille. Syke:n (2019a) mukaan pohjavedenpinta Suomessa voi olla 1–50 metrin syvyydessä, mutta yleensä sen etäisyys maanpinnasta on 2–5 metriä. Pinnankorkeudessa tapahtuu vuodenaikoihin liittyvää luontaista vaihtelua (Syke 2019a), mutta esimerkiksi lisääntynyt pohjaveden pumppaaminen voi alentaa pintaa (Grotzinger ja Jordan 2014).



Kuva 2. Veden esiintyminen kyllästymättömässä ja kyllästyneessä kerroksessa (mukailten United States Geological Survey <https://www.usgs.gov/media/images/groundwater-saturated-zone-soilrock-below-land-surface>).

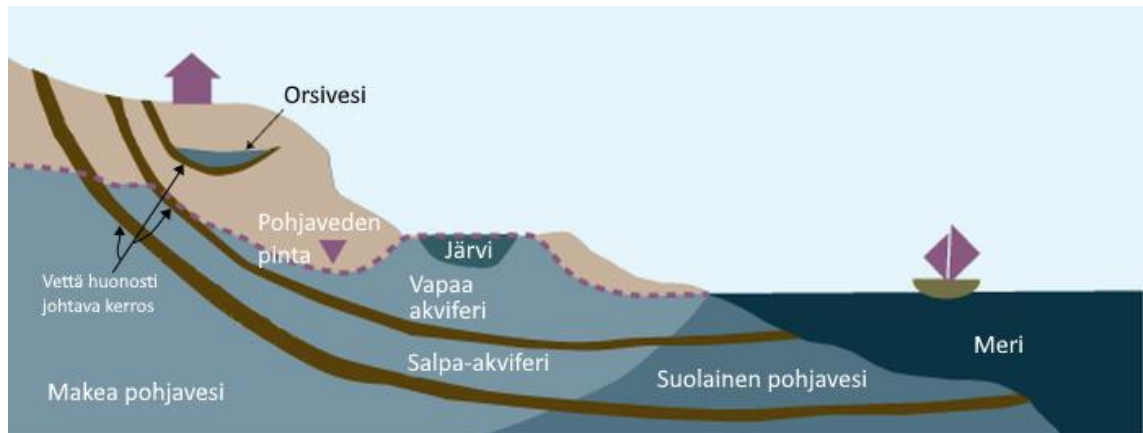
Korkka-Niemen ja Salosen (1996) mukaan sade- ja sulamisvesien määrällä on Suomessa suuri vaikutus siihen, kuinka paljon pohjavettä muodostuu. Maa- ja kallioperän

vedenjohtavuus yhdessä maaston muotojen, kasvillisuuden, maanpinnan laadun ja päällystämisen kanssa vaikuttaa veden imeytymiseen. Pohjavesivarannot täydentyvät keväisin lumien sulaessa ja syksyllä sateiden vuoksi, kun taas kesällä pohjavettä ei muodostu niin paljon haihdunnan vuoksi ja talvella routa vähentää muodostuvan pohjaveden määrää, sillä vesi ei pysty imeytymään silloin maahan (Syke 2019a).

Jos maa on hienorakeista ja läpäisee huonosti vettä, vesi valuu vesistöihin pintavaluntana (Syke 2019a). Esimerkiksi savikot ovat tiiviitä, eikä vesi imeydy maahan hyvin. Karkearakeisessa ja huokoisessa maassa voi sen sijaan esiintyä suuria pohjavesiesiintymiä, koska vesi pääsee imeytymään maahan hyvin. (GTK 2019) Grotzingerin ja Jordanin (2014) mukaan hyvän pohjavesiesiintymän maa- tai kivilajilla on yleensä suuri huokoisuus ja läpäisevyys. Sedimenttikivien huokoisuus vaihtelee tyypillisesti 5 ja 15 prosentin välillä, kun taas useimmilla metamorfisilla ja magmakivilajeilla huokostilavuus on pieni. Mälkin (1999) mukaan maailmanlaajuisesti kaikista merkittävimmän pohjavesiympäristön muodostavat sedimenttikivet, erityisesti hiekkakivet, joissa pohjavesialtaat voivat kattaa tuhansien neliökilometrien pinta-alan, ja altaat voivat ulottua jopa kilometrien syvyyteen. Suomessa antoisuudeltaan suurimmat ja laadultaan parhaat pohjavesiesiintymät sijaitsevat harjuissa ja reunamuodostumissa, jotka ovat muodostuneet hiekasta ja sorasta (GTK 2019). Kalliopohjavesiesiintymät ovat Kinnusen (2005) mukaan Suomen yleisimpiä pohjavesiesiintymiä, ja niiden lisäksi esiintymiä on paljon myös moreenikerrostumissa. Ne ovat antoisuudeltaan kuitenkin pienempiä kuin harjujen ja reunamuodostumien pohjavesiesiintymät. Suomessa kalliopohjavesiesiintymien antoisuus on pieni, koska kallioperän kiviaineksen huokoisuus on vähäistä ja vedenjohtavuus huono (Mälkki 1999).

Pohjavesiesiintymä on Kinnusen (2005) mukaan pohjavesiallas, joka sisältää akviferin valuma-alueineen, ja jonka pohjavettä on mahdollista hyödyntää. Akviferi taas on muodostuma, joka johtaa hyvin vettä, on kylläinen pohjavedestä ja josta on mahdollista pumpata hyödynnettäviä määriä vettä. Vapaan akviferin pohjavesi on vapaata pohjavettä, eikä sen päällä ole salpaavaa kerrosta. Jos akviferin päällä on salpaava eli vedenläpäisykyvyltään huono kerros, voidaan puhua salpa-akviferista ja salpavedestä, joka on paineen alaista. Salpaava kerros voidaan puhkaista, ja jos vettä nousee maanpinnalle oman paineensa alla, salpavesi on arteesista. Tasoa, jolle vesi nousee, kutsutaan pietsometriseksi tasoksi. Orsivedestä ja orsivesiakviferista puhutaan, kun vesikerros sijaitsee erillään varsinaisesta akviferista huonosti vettä läpäisevän

muodostuman, kuten savilinssin päällä. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996; Kinnunen 2005; Robins 2020) Kuvassa 3 on havainnollistettu eri akviferityyppejä.



Kuva 3. Eri akviferityyppejä (mukailien Washington State Department of Natural Resources <https://www.dnr.wa.gov/geology-groundwater#what-is-an-aquifer>).

Pohjaveden määrää voidaan lisätä imeyttämällä maahan pintavettä joko sadettamalla tai käyttämällä imeytyskaivoa tai -allasta (Syke 2019b). Suomessa raakavetenä käytetystä pohjavedestä reilu neljännes on tekopohjavettä. Grotzingerin ja Jordanin (2014) mukaan Kalifornian Orange Countyssa maahan imeytetään pohjaveden määrän vähentymisen vuoksi käsiteltyä jätevettä, joka on sekoitettu toisesta akviferistä saatuun pohjaveteen. Suurin osa epäpuhtauksista suodattuu vedestä akviferin huokosverkoston ansiosta.

3 NÄYTTEENOTTO- JA ANALYYSIMENETELMÄT

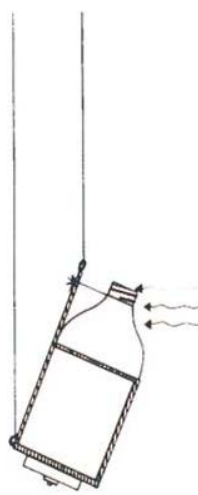
3.1 Näytteenottomenetelmät

Jotta pohjaveden laadusta saadaan oikea käsitys, on tärkeää, että pohjavesinäyte on edustava ja hyvälaatuinen. Tärkeää on näytteenottopaikan soveltuvuus, oikeat menetelmät ja välineet, pohjavesinäytteiden käsittely tavalla, jonka analyysit vaativat ja näytteen oikeanlainen säilytys. Tutkimuksesta riippuen pohjavesinäytteitä on mahdollista ottaa havaintoputkista, lähteistä, koekuopista, kallioporakaivoista ja maakaivoista sekä vesijohtoverkostosta. Näytteenottovälineisiin kuuluu yleensä pumppu, näytteenotin tai noudin, kello, vedenpinnan korkeusmitta, lämpömittari, astia, jonka tilavuus on tarkistettu ja näytteenottopulloja. (Kinnunen 2005) Kuvassa 4 on esitetty Mäkelän ym. (1992) mukaan pohjavesinäytteenottoon soveltuvia noutimia. Muita mahdollisesti tarvittavia välineitä ovat kenttämittarit ja aggregaatti tai akku. Näytteiden kestävöintiin tai kenttämäärittelyyn voidaan tarvita myös kemikaaleja. Näytteenottovälineiden ja astioiden tulee olla puhtaita, eikä niistä saa liueta mitään näytteeseen. Tärkeää on välttää näytteenottopisteiden välistä ristikontaminaatiota ja kontaminaatiota kuljetuksen ja säilytyksen aikana. Näytteenotto aloitetaan puhtaimmalla pisteellä ja jatketaan kasvavan likaisuuden järjestyksessä. (Kinnunen 2005)

Ruttner-tyyppinen noudin



Avoin pullonoudin



Putkinoudin



Kuva 4. Erilaisia vesinäytteenottimia (mukaillen Mäkelä ym. 1992).

Näytteenottopaikan ollessa lähde näyte voidaan ottaa näytepulloon suoraan lähteestä tai letkun avulla. Myös pullonoudinta voidaan käyttää, mutta veden sekoittamista tulee

välttää. (Kinnunen 2005; Mäkelä ym. 1992) Havaintoputkesta näyte otetaan yleensä pumpaamalla, ja lisäksi voidaan käyttää noudinta. Ennen pumppausta pohjavedenpinnan korkeus mitataan. Jos käytössä on polttomoottorikäyttöinen pumppu tai aggregaatti, tulee se sijoittaa siten, etteivät pakokaasut leviä näytteenotto paikalle. (Kinnunen 2005) Jotta saadaan pohjaveden laatua edustava näyte, tulee vettä pumpata ennen näytteenottoa noin 1–2 tuntia. Lappoletkua voidaan käyttää, jos näyte otetaan ylivuotoputkesta. Tällöin tulee varoa irrottamasta putken seinämästä siihen pidäytyneitä aineita. (Mäkelä 1992) Kaivosta voidaan ottaa näytteitä, jotka edustavat joko pohjavettä tai seisonutta vesijohtoverkoston vettä (Kinnunen 2005). Kun pohjavesinäyte otetaan kuilukaivosta, tulee ottaa huomioon, että näyte voi antaa veden laadusta virheellisen kuvan, jos se on otettu pinnasta. Paras näyte saadaan pumpaamalla, ja sopiva pumppausaika ennen näytteenottoa on puoli tuntia. (Mäkelä 1992) Koekuoppia kaivetaan tutkittaessa saastuneita maita, ja näiden kuoppien pohjavesinäytteistä voidaan saada tietoa saasteen kulkeutumisesta. Näytteenottoon käytetään yleensä noudinta. Näytteet ovat usein sameita ja niitä voidaan käyttää vain alustavaan lika-aineiden tutkimukseen. (Kinnunen 2005)

3.2 Analyysimenetelmät

Pohjavesinäytteenoton yhteydessä voidaan tehdä kenttämäärityksiä. Esimerkiksi veden Eh- eli hapetus-pelkistys-potentiaali ja lämpötila on mahdollista määrittää vain kentällä. Muita mahdollisesti kentällä määritettäviä ominaisuuksia ovat rautapitoisuus, pH-arvo, sähkönjohtavuus ja joskus hiilidioksidipitoisuus. (Kinnunen 2005; Robins 2020) Vesinäytteet säilötään tai esikäsitellään kentällä, sillä useat ominaisuudet muuttuvat helposti. Onkin tärkeää toimittaa näytteet laboratorioon mahdollisimman nopeasti. Veden pH:n mittaamiseen käytetään sähköisiä mittareita. Samaa mittaria voidaan käyttää Eh-potentiaalilin määrittämiseen. Eh-potentiaalilin sijaan voidaan määrittää pohjaveden happipitoisuus happimittarilla, sillä molempien mittausten tulosten perusteella on mahdollista arvioida muun muassa mangaanin ja raudan liukenemistä. Lämpötilan mittaaminen on tärkeää muiden mittausten kannalta ja sen perusteella on mahdollista arvioida pohjaveden kerrostuneisuutta. Jos pohjavedessä on polttoainetta, liuotinta tai öljyä, voidaan näyte analysoida kaasukromatografisilla menetelmillä. Öljynäyte voidaan tutkia myös infrapunaspektroskopiolla. (Kinnunen 2005) Kuvaukset käytetyistä analyysimenetelmistä saa laboratorioilta (Robins 2020).

4 POHJAVEDEN LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Pohjaveteen on lienneena humusaineita, kationeja ja anioneja, ja niiden määrät vaihtelevat. Lienneiden aineiden määrä riippuu useasta tekijästä. Pohjaveden laatuun vaikuttavat niin sadeveden laatu, geologiset tekijät, meri, eliötoiminta ja ihmistoiminta. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996)

4.1 Maa- ja kallioperä

Veden reaktiot ja viipymä maaperässä vaikuttavat paljon pohjaveden laatuun ja siihen lienneiden aineiden määrään. Usein pohjaveteen lienneiden aineiden määrä kasvaa ajan myötä, ja mitä hitaammin vesi virtaa, sitä enemmän se siihen liukenee huonosti liukenevia mineraaleja. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996; Price 1996) Maannoksessa tapahtuu sekä biologisia että geologisia aineenvaihtotapahtumia, ja pohjaveden ominaispiirteet syntyvät tässä kerroksessa. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996) Maaperän läpi kulkeutuessaan veteen liukenee mineraaleja, typpiyhdisteitä ja fosfaatteja (Drever 1997). Karike- ja humuskerroksista löytyy paljon veteen liukenevia orgaanisia happoja ja vaihtuvia kationeja (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Eliöiden tuottamat orgaaniset hapot nopeuttavat mineraalien rapautumista (Drever 1997).

Tärkein muutos sadeveden suotautuessa maaperään on hiilidioksidin liukeneminen veteen, sillä silikaattimineraalien kemiallisessa rapautumisessa hiilihappopitoinen vesi on tärkeässä roolissa. Rapautumisen seurauksena vapautuvia kationeja ovat etenkin rauta, kalsium ja magnesium. (Price 1996; Mälkki 1999) Kun helposti lienneet mineraalit ovat ajan kuluessa huuhtoutuneet veden mukana, jäljelle on jäänyt huonommin liukenevia mineraaleja. Tällöin pohjaveden liukoisten aineiden määrä on pieni, ellei kyseessä ole kalkkikiviakviferi, jolloin pohjaveteen liukenee kalsium- ja bikarbonaatti-ioneja. (Price 1996) Osa maaveteen lienneista alkuaineista toimii ravinteina kasveille ja palautuu biologiseen kiertoon, osa varastoituu maaperään vaihtuviksi kationeiksi, osa muuttuu sekundäärimineraaleiksi ja osa päätyy pohjaveteen (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Syvemmällä kviferissa ioninvaihto alkaa vaikuttaa pohjaveden koostumukseen aineksen liukenemista enemmän. Akvifereissa on yleensä läsnä savimineraaleja, ja niiden pinnalle adsorboituneet ionit voivat vaihtaa paikkaa veteen lienneiden ionien kanssa. Veden

kalsium- ja magnesiumionit voivat korvautua natriumioneilla, mikä johtaa veden pehmentymiseen. (Price 1996)

Pohjaveden laatuun vaikuttavat myös maaperän bakteerit. Rauta- ja mangaanibakteerien energianlähteenä toimii raudan ja mangaanin hapettuminen, rikkibakteereilla sulfaatin happi. Lisäksi maannoshorisontissa veden laatuun vaikuttavat myös puskureaktiot, jotka vähentävät orgaanisten happojen ja happaman sateen vaikutusta. Suomen maaperässä ei ole paljon karbonaatteja, jotka neutraloisivat happoja, mutta maaperän vaihtokykyiset ionit auttavat hillitsemään pohjaveden pH-arvon laskua. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996)

Kuivilla alueilla, joilla haihdunta on sadantaa suurempaa, pohjaveden purkautumisalueella voi muodostua suolamarskeja tai suolaisia lampia veden haihtuessa ja siihen liuenneiden aineiden jäädessä alueelle. Haihtuminen voi myös aiheuttaa liuenneen aineen saostumisen ja suolapannun tai evaporiittikerroksen syntymisen. Kauan sitten muodostuneiden evaporiittimineraalien ajatellaan olevan syy monien syvien pohjavesien korkeisiin suolapitoisuuksiin. (Price 1996; Drever 1997)

Suomen yleisin maannos on podsolimaannos. Vesi, johon on liuenneena hiilidioksidia ja humushappoja, liottaa mineraaleja ja ajan kuluessa syntyy uutemaahorisontti. Jos podsolimaannos on täysin kehittynyt, uutumiskerroksessa saattaa olla jäljellä vain kvartssia ja kiillettä, jotka eivät liukene. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996) Podsolimaannoksia on kuitenkin erilaisia, ja esimerkiksi alumiinipitoisuus pintamaassa voi olla pohjamaata suurempi. Tähän voi vaikuttaa suuri orgaanisen aineksen määrä, sillä se kykenee sitomaan paljon metalleja. (Lavento 2003; Tarvainen ja Teräsvuori 2006) Veteen liunneet magnesium, natrium, kalium ja piioksidi päätyvät usein pohjaveteen raudan ja mangaanin jäädessä rikastumiskerrokseen hapettumisen ja saostumisen seurauksena. Rauta ja mangaani voivat kuitenkin päätyä pohjaveteen liukoisina kationeina, jos happea ei ole maavesiympäristössä riittävästi. Tästä voi seurata laatuongelmia veden talouskäytössä. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996)

Pohjaveden koostumuksessa voi Suomessa paikoin huomata kallioperän tai maaperän mineraalikoostumuksen (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Pohjavedet ovat monesti hieman happamia, koska happamat ja hyvin rapautumista kestävät kivilajit ovat yleisiä, eikä karbonaattimineraaleja esiinny paljon (Syke 2019c). Emäksisten kivilajien, kuten gabrojen tai amfiboliittien alueella esiintyy suurempia kokonaiskovuuden, alkaliteetin,

sähkönjohtavuuden ja pH:n arvoja (Korkka-Niemi ja Salonen 1996). Pohjaveden pH-arvo pienin arkeisen kallioperän alueella. Pohjavesi virtaa kallioperässä yleensä hitaasti, ja veden viipymän kasvaessa se muuttuu emäksisemmäksi ja suolaisemmaksi. Kallioperän vuoksi alueellisesti saattaa esiintyä haitallisia uraani-, radon-, fluori- tai arseenipitoisuuksia. Fluoridipitoisuudet ovat muuta maata suurempia rapakivialueilla, mikä liittyy rapakivigraniitin suurempaan fluoriittipitoisuuteen. Uraania esiintyy myös graniittisten kivien alueella Etelä-Suomessa. Sulfidimalmit vaikuttavat pohjaveden sulfaattipitoisuuteen. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996; Syke 2019c) Suomessa maaperäaineksen ja suotovesien vuorovaikutusaika on suhteellisen lyhyt, sillä irtomaapeite on yleensä melko ohut. Pienissä rannikkoalueiden pohjavesiesiintymissä, jotka ovat turve-, savi- tai silttipeitteisiä, esiintyy sisämaahan verrattuna enemmän liuenneita alkuaineita. Vanhan merenpohjan alueilla on happamia sulfaattimaita, joilla maaperästä voi liueta haitallisia aineita rikki- ja rautapitoisten sedimenttien vuoksi. (Syke 2019c)

Happamien sulfaattimaiden rikki- ja rautapitoisia sedimenttejä alkoi kerrostua suunnilleen 8000 vuotta sitten Litorinameren ja sen jälkeisten merivaiheiden pohjiin. Sedimenttien rikki on kiinni rautasulfideissa, jotka suurimmaksi osaksi ovat pyriittiä (FeS_2), mutta myös monosulfideja (FeS) esiintyy. Happamat sulfaattimaat saavat mustan värinsä monosulfideista. Kun sulfidikerrokset altistuvat hapelle, alkaa kemiallisten ja biokemiallisten reaktioiden sarja, jonka seurauksena rikki hapettuu rikkihapoksi (H_2SO_4) ja rauta rautahydroksidiksi ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). Suomen maaperässä ei juurikaan ole kalkkikiveä, joka neutraloi happoa, minkä vuoksi maa happamoituu. Näin muodostuu happamia sulfaattimaita, joiden pH-arvo on 4,5 tai vähemmän. pH-arvo voi olla 3,5 kaikista happamimmissa kerroksissa. Monet metallit, kuten alumiini ja useat raskasmetallit, ovat tällaisissa olosuhteissa liukoisia ja niitä liukenee maasta maaveteen. (Uusi-Kämpä ym. 2013)

4.2 Sadevesi ja kuivalaskeuma

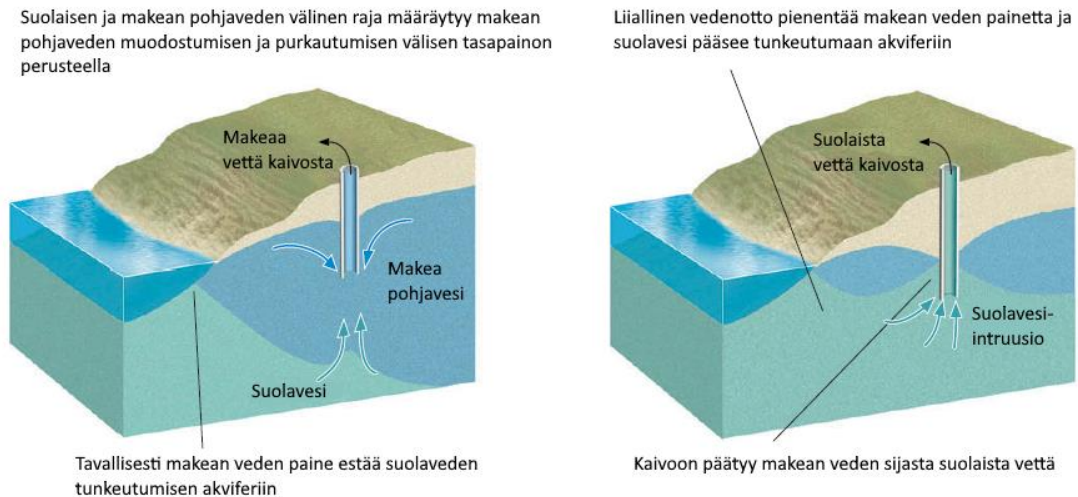
Sadevesi ei ole puhdasta vettä, vaan se sisältää monia siihen liuenneita aineita (Drever 1997). Sadeveden kemiallinen koostumus määräytyy vesihöyryn alkuperän ja sen ilmakehästä saamien ja menettämien ionien perusteella. Merten päällä ja rannikkojen lähellä sadevesi muistuttaa voimakkaasti laimennettua merivettä, ja esimerkiksi kloorionien määrä sadevedessä laskee mitä kauemmas sisämaahan liikutaan. (Drever 1997; Appelo ja Postma 2005) Sadeveteen liittyy ilmakehästä hiukkasia ja kaasuja sekä

luonnollisista että teollisista lähteistä (Mälkki 1999; Appelo ja Postma 2005). Yhdysvalloissa ja Euroopassa on havaittu nitraatti- ja sulfaatti-ionien määrän kasvua sadevedessä. Ionit ovat peräisin teollisuuden ja liikenteen päästöistä, jotka sisältävät kaasumaisia typen ja rikin oksideja. Nämä kaasut hapettuvat ilmakehässä, jolloin syntyy typpi- ja rikkihappoa, jotka aiheuttavat luonnollisesti happaman sadeveden happamuuden kasvua ja happamia sateita. (Drever 1997; Appelo ja Postma 2005) Happamuutta neutraloivaa emästä löytyy esimerkiksi maasta peräisin olevasta pölystä. Kalsiittia on maaperässä lähes kaikkialla, ja kalsiumionit sateessa voivat olla peräisin kalsiittia sisältävästä pölystä. Myös ihmistoiminta, kuten avolouhoksesta louhittua merkelä raaka-aineenaan käyttävä sementtitehdas, voi olla kalsiumin lähde ilmakehässä. (Appelo ja Postma 2005) Eniten klorideja tavataan Suomessa etelä- ja länsirannikolla, kalsiumia taas Etelä- ja Kaakkois-Suomessa. Kalsiumin määrään vaikuttavat paperi- ja selluloosateollisuus sekä kaukolaskeumat Viron öljyliuskelouhoksilta. (Mälkki 1999)

Kuivalaskeumalla tarkoitetaan aerosolien laskeumaa ja kaasujen adsorptiota ilmakehästä. Samoin kuin sadeveden tapauksessa, aineet voivat olla peräisin luonnollisista tai teollisista lähteistä. Kuivalaskeumana maan pinnalle päätyy muun muassa kadmiumia, kuparia, lyijyä ja sinkkiä, sekä huomattavia määriä typen oksideja ja rikkidioksidia. (Mälkki 1999; Appelo ja Postma 2005)

4.3 Merelliset tekijät

Merellisillä tekijöillä on vaikutusta pohjaveden laatuun merten ja suolaisten järvien lähistöllä. Laatuun voi vaikuttaa myös reliktinen merivesi eli jäännösmerivesi, jos alue on ollut ennen meren alla. Akviferin rantavyöhykkeessä vallitsee tasapaino, joka riippuu makean ja suolaisen veden tiheyserosta. Jos merivesi tunkeutuu rannikolla akviferiin, eli tapahtuu suolavesi-intruusio, pohjaveteen päätyy kloori-, sulfaatti-, natrium- ja magnesiumioneja. Ionit voivat päätyä pohjaveteen myös aerosoleina kuiva- tai märkälasseumana. Merivesi voi tunkeutua rannikolla kaivoon, jos vedenotto on liiallista (kuva 5). Esimerkiksi Yhdysvalloissa joidenkin rannikkokaupunkien juomaveden suolapitoisuus ylittää terveelliseksi määritetyn pitoisuuden rajan. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996; Mälkki 1999; Grotzinger ja Jordan 2014)



Kuva 5. Meriveden tunkeutuminen kaivoon liiallisen vedenoton myötä (mukaiillen Grotzinger ja Jordan 2014).

4.4 Ihmistoiminta

Lähes kaikki ihmistoiminta, johon jollain tavalla liittyy pohjavesille haitallisten aineiden käsittelyä, voi aiheuttaa pohjavesien likaantumista. Myös esimerkiksi soranotto tai ojitus lisää likaantumiseriskiä, vaikka pohjavesille haitallisia aineita ei päästetä maaperään sen yhteydessä. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996) Saasteiden leviämiseen vaikuttavat paikallinen geologia, pohjaveden virtausmalli ja huokos- ja molekyyli-tason prosessit. Saasteet voivat levitä nopeasti tai hitaasti ja ne voivat liikkua lähteestään hyvin vähän tai päätyä kilometrien päähän. Kemiaalliset reaktiot voivat aiheuttaa saasteen katoamisen tai saada sen ilmestymään kuin tyhjästä. (Fitts 2013) Maannoskerros on tärkeä bakteeritoiminnan vuoksi, sillä bakteerit voivat hajottaa joitain saasteita. Lisäksi hiili voi estää saasteiden leviämistä sitomalla niitä itseensä. (Robins 2020)

Lika-aineiden lähteitä on monia erilaisia, ja kuormitus voidaan jakaa piste- ja hajakuormitukseen (Fitts 2013). Suurimpia saastuttajia ovat maatalous, teollisuus ja kaupungistuminen. Erilaisia saasteiden lähteitä ovat muun muassa vuotavat polttoaine- tai kemikaalisäiliöt, jätevesijärjestelmät, kaatopaikat, lannoitteet, torjunta-aineet, kaivokset, teiden suolaus ja puunkyllästysaineet. Myös kastelu ja muutokset maankäytössä voivat muuttaa pohjaveden laatua. (Korkka-Niemi ja Salonen 1996; Fitts 2013; Robins 2020) Moni saastumista aiheuttava toiminta sijaitsee lähellä pääliikenneväyliä, jotka puolestaan on rakennettu monin paikoin esimerkiksi

harjuakviferialueille (Mälkki 1999). Pohjaveden liallinen pumppaaminen voi johtaa pohjaveden pinnan liian suureen laskuun ja vahingoittaa akviferia pysyvästi. Tähän liittyy myös suolavesi-intruusion riski. (Robins 2020)

4.4.1 Soranotto

Soranoton yhteydessä tapahtuvasta maannoskerroksen poistamisesta seuraa se, että useat kemialliset ja biokemialliset reaktiot jäävät uupumaan, ja esimerkiksi happamoitumisherkyys kasvaa puskurointikyvyn pienennyttyä. Maannoskerros pidättää hyvin myös monia mikrobeja ja lika-aineita, ja ilman sitä ne kulkeutuvat helpommin pohjaveteen. (Hatva ym. 1993; Korkka-Niemi ja Salonen 1996)

Suomessa tutkittiin 1980- ja 1990-lukujen taitteessa soranoton vaikutusta pohjaveden laatuun. Soranottoalueilla pohjaveden määrä kasvoi kasvillisuuden ja maannoksen poiston seurauksena. Tämä johtuu siitä, että luonnontilassa kasvit haihduttavat paljon vettä ja maaperän vedenjohtavuus on pienempi maannoksen vuoksi. Monien vajoveteen liuenneiden aineiden pitoisuudet olivat paljaan sorapinnan alueilla korkeampia verrattuna luonnontilaisiin alueisiin. Pohjaveteen päätyy orgaanista ainesta ja suoloja sekä maa-aineksesta että laskeumasta. Eräällä tutkimusalueella vajo- ja pohjaveden happamuudessa havaittiin voimakasta kasvua, jonka aiheutti ilmansaasteiden vaikutuksista johtuva hiilihapon kasvanut määrä vedessä. Happamoituminen aiheutti alumiinipitoisuuden kaksinkertaistumisen vajovedessä, ja se oli voimakkaampaa paljaan sorapinnan alueilla. Toisella tutkimusalueella mineraaliaineksen rapautuminen johti rikkihapon muodostumiseen, mikä aiheutti vajoveden happamoitumista ja korkeita alumiini-, sulfaatti- ja raskasmetallipitoisuuksia. Pohjaveden pinnan yläpuolella sijaitsevilla soranottoalueilla veteen on liennut luonnontilaisia alueita enemmän happea, minkä vuoksi soranottoalueilla rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat pienempiä. (Hatva ym. 1993; Hyyppä ja Penttinen 1993; Sandborg 1993).

Soranottoalueille syntyneiden pohjavesilampien vedenlaatu on perusominaisuuksiltaan suhteellisen samankaltainen kuin sen ympäristön pohjaveden laatu. Lammissa esiintyy kuitenkin monia tapahtumia ja tilavaihteluita, jotka muistuttavat pintavesien tapahtumia. Vuodenaikaisvaihtelu on myös suurta verrattuna häiriintymättömään pohjaveteen, ja muun muassa veden happipitoisuus, lämpötila, happamuus ja ravinnepitoisuus voi vaihdella paljon. Yleisesti lammen vedenlaadun kannalta on hyvä, jos lampi on suuri ja

syvä. Eduksi on myös voimakas hapekkaan pohjaveden virtaus lampeen. Sulfaattimailla, jotka ovat happamia ja hapettomia, esiintyy happamia ja hapettomia lampia, joissa esiintyy korkeita raskasmetallipitoisuuksia. (Hatva 1993; Hyyppä ja Penttinen 1993)

Soranottoalueilla pohjaveden likaantumista voivat aiheuttaa muun muassa bakteerit ja virukset, pölynsitomissuola ja pesuliete. Tutkimuksissa soranottoalueiden pohjavesistä löytyi ajoittain paljon ulosteperäisiä bakteereja. Viruksia ja bakteereita voi kulkeutua pohjaveteen soranottoalueilta, jos alueelle tuodaan etenkin ulosteperäisiä jätteitä, esimerkiksi jätevesilietettä tai lantaa. Pölynsitomissuola, kalsiumkloridi, voi lisätä pohjaveteen päätyvien ionien määrää. Pohjaveden happamuus voi tilapäisesti kasvaa. Kloridipitoisuuden kasvu voi nopeuttaa vesijohtoverkoston korroosiota. Soranottoalueiden maahan levitetystä soranpesulietteestä havaittiin suuria suolapitoisuuksia, ja pesuprosessi voi saada aikaan pohjaveden suolapitoisuuden kasvun. Etenkin sulfaattipitoisuus voi kasvaa. Jos soranottoalueelle pääsee pintavesiä, voi orgaanisen aineksen määrä kasvaa pohjavedessä. Muita likaantumisriskin aiheuttajia ovat esimerkiksi öljyvuodot maansiirtokoneista, kemikaalivuodot ja tiesuola. Soranottoalueet tulisikin jälkihoitaa, jotta pohjaveden laatu pysyisi mahdollisimman hyvänä ja alue sopisi jälkikäyttöön ja maisemaan. Jälkihoidossa aluetta siistitään ja muotoillaan, sille tehdään suojaverhoilu ja istutetaan kasvillisuutta ja valvotaan, ettei ottoalueelle tule kaatopaikkaa. (Hatva ym. 1993; Hyyppä ja Penttinen 1993; Sandborg 1993).

4.5 Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia pohjavesisysteemeihin ymmärretään huonosti, sillä pohjaveden ja ilmaston muuttujien välillä vallitsevat suhteet ovat monimutkaisia, ja joitain muutoksia voi olla vaikea erottaa ihmistoiminnan aikaansaamista muutoksista (Robins 2020). Ilmaston lämpenemisestä johtuva merenpinnannousu voi johtaa rannikoilla suolavesi-intruusioihin (Grotzinger ja Jordan 2014). Suomessa ilmastonmuutos johtaa lyhyempiin talviin, mikä aiheuttaa talvella nykyistä korkeampia pohjaveden pintoja ja loppukesästä nykyistä alempia (Veijalainen ym. 2012). Kevään aikaistuminen ja kesän pidemmät kuivuusjaksot ja lisääntynyt haihdunta pienentävät sulamisvesien täydentävää vaikutusta. Runsaammat syysateet lykkäävät routakerroksen syntyä ja talvella useat lumen sulamisjaksot lisäävät muodostuvan pohjaveden määrää. Pitkät kuivuuskaudet saattavat heikentää vedenlaatua, jos esimerkiksi rantameytyminen joista ja järvistä lisääntyy. Vedessä voi esiintyä muun

muassa maku- ja hajuhaittoja ja muutoksia pH-arvoissa ja lämpötiloissa. Ongelmia voi syntyä myös happamien sulfaattimaiden kanssa pohjaveden pinnan laskiessa. Virtausolosuhteet voivat muuttua ja aiheuttaa haitta-aineiden kulkeutumista. Toisaalta sateisina vuosina esimerkiksi pintavesiä voi kulkeutua vedenotto-kaivoihin. Jätevesialtaat tulee mitoittaa oikein ja on varmistettava, ettei ylivuotovesiä joudu vedenotto-kaivoihin. (Syke 2019d)

5 YHTEENVETO

Pohjavesi on suuri ja tärkeä juomaveden lähde. Se voi sisältää terveydelle haitallisia aineita, joten sen laatu on tärkeä tietää. Talousvedelle onkin asetettu terveydellisiä, teknillisiä ja esteettisiä laatuvaatimuksia.

Muodostuvan pohjaveden määrään vaikuttavat muun muassa sademäärä, maa- ja kallioperän vedenjohtavuus, kasvillisuus ja maan pinnan päällystäminen. Hyvä pohjavesiesiintymä on yleensä hyvin vettä johtava ja sen huokostilavuus on suuri. Sedimenttikivien pohjavesiesiintymät ovat pohjavesiympäristöistä maailmanlaajuisesti merkittävimpiä. Suomessa tärkeimmät esiintymät löytyvät harjuista ja reunamuodostumista, kallioperän vedenjohtavuuden ollessa huono ja huokosten määrä pieni.

Näytteenoton yhteydessä tulee kiinnittää huomiota niin näytteenottopaikkaan, käytettäviin välineisiin ja menetelmiin kuin näytteiden käsittelyyn, jotta pohjaveden laadusta saadaan oikea kuva. Pohjavesinäytteistä tehdään näytteenoton yhteydessä kenttämäärittäyksiä, sillä osa ominaisuuksista muuttuu nopeasti. Näytteet toimitetaan mahdollisimman nopeasti laboratorioon, joka antaa tarkemman kuvauksen käytetyistä analyysimenetelmistä.

Pohjaveden laatuun vaikuttavat maa- ja kallioperä, sadevesi ja kuivalaskeuma, merelliset tekijät ja ihmistoiminta. Maannoskerroksessa tapahtuu monia pohjaveden laatuun vaikuttavia reaktioita, ja pohjavesi saa ominaispiirteensä maannoksessa. Pohjaveteen päätyy monia eri aineita luonnollisista ja teollisista lähteistä sateen ja kuivalaskeuman kautta. Meren lähellä suolainen vesi voi tunkeutua akviferiin ja vedenottokaivoon. Monet ihmisen toiminnot aiheuttavat pohjavesien likaantumiseriskin. Riski liittyy monesti pohjavesille haitallisten aineiden käsittelyyn, mutta esimerkiksi soranotto aiheuttaa likaantumiseriskin maannoskerroksen poiston vuoksi. Haitta-aineet pääsevät kulkeutumaan helposti paljaan sorapinnan läpi. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia pohjaveden laatuun ei ymmärretä vielä kovin hyvin, mutta se voi mahdollisesti vaikuttaa laatuun negatiivisesti.

LÄHDELUETTELO

Appelo, C.A.J. ja Postma, D., 2005. Geochemistry, groundwater and pollution, 2nd edition. A.A. Balkema publishers, Leiden, 634 s.

Britschgi, R., Rintala, J. ja Puharinen, S-T., 2018. Pohjavesialueet – opas määrittämiseen, luokitukseen ja suojeleusuunnitelmien laadintaan. (Ympäristöhallinnon ohjeita 3/2018). Ympäristöministeriö, Helsinki, 142 s.

Drever, J.I., 1997. The Geochemistry of Natural Waters: Surface and Groundwater Environments. Third Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, 436 s.

Fitts, C.R., 2013. Groundwater science, Second edition. Academic Press, Amsterdam, 672 s.

Geologian tutkimuskeskus, 2019. Pohjavesi. Saatavissa <https://www.geologia.fi/2019/12/11/pohjavesi/>. Viitattu 28.1.2023.

Grotzinger, J.P. ja Jordan, T.H., 2014. Understanding Earth. 7th Edition. W. H. Freeman and Company, New York, 672 s.

Hatva, T., Hyyppä, J., Ikäheimo, J., Penttinen, H. ja Sandborg, M., 1993. Soranoton vaikutus pohjaveteen. Raportti V: Soranotto ja pohjaveden suojele. (Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja B 15). Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki, 120 s.

Hyyppä, J. ja Penttinen H., 1993. Soranoton vaikutus pohjaveteen. Tutkimusraportti II: Alueelliset tutkimukset. Osa B. Tutkimustulosten tarkastelu ja johtopäätökset. (Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 329). Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki, 143 s.

Kinnunen, T. (toim.), 2005. Pohjavesitutkimusopas: käytännön ohjeita. Suomen Vesiyhdistys, Helsinki, 194 s.

Korkka-Niemi, K. ja Salonen, V-P., 1996. Maanalaiset vedet – pohjavesigeologian perusteet. Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskus, Vammala, 181 s.

Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 30.12.2004/1299. Saatavissa <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20041299>. Viitattu 11.3.2023.

Lavento, M., 2003. Maannos, maaperä ja niiden tutkimuksen menetelmät; arkeologin näkökulma. Arkeologipäivät 2003, 46–60.

Mäkelä, A., Antikainen, S., Mäkinen, I., Kivinen, J. ja Leppänen, T., 1992. Vesitutkimusten näytteenottomenetelmät. (Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja B 10). Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki, 87 s.

Mälkki, E., 1999. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Tammi, Helsinki, 304 s.

Price, M., 1996. Introducing groundwater, second edition. Chapman & Hall, London, 278 s.

Robins, N., 2020. Introducing hydrogeology. Dunedin, Edinburgh, 107 s.

Sandborg, M., 1993. Soranoton vaikutus pohjaveteen. Tutkimusraportti III: Vajovesitutkimukset. (Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 330). Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki, 127 s.

Suomen ympäristökeskus, 2019a. Pohjaveden muodostuminen ja esiintyminen. Saatavissa https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/Pohjavesien_tila/Pohjaveden_esiintyminen. Viitattu 28.1.2023.

Suomen ympäristökeskus, 2019b. Pohjavesi ja tekopohjavesi. Saatavissa <https://www.vesi.fi/vesitieto/pohjavesi-ja-tekopohjavesi/>. Viitattu 28.1.2023.

Suomen ympäristökeskus, 2019c. Pohjaveden laatu. Saatavissa https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/Pohjavesien_tila/Pohjaveden_laatu. Viitattu 4.3.2023.

Suomen ympäristökeskus, 2019d. Pohjavesi ja ilmastonmuutos. Saatavissa https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/Pohjavesien_tila/Pohjavesi_ja_ilmastonmuutos. Viitattu 12.3.2023.

Suomen ympäristökeskus, 2021. Pohjavesialueet. Suomen ympäristökeskus, Ladattavat paikkatietoaineistot. Saatavissa https://www.syke.fi/fi-FI/Avoin_tieto/Paikkatietoaineistot/Ladattavat_paikkatietoaineistot. Viitattu 2.2.2023.

Tarvainen, T. ja Teräsvuori, E., 2006. Alkuaineiden taustapitoisuudet eri maalajeissa Vihdin ja Kirkkonummen alueilla. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 25 s.

Tilastokeskus, 2020. Kuntien avainluvut 2020, 1:1 000 000. Tilastokeskus, Paitulilatauspalvelu. Saatavissa <https://paituli.csc.fi/download.html>. Viitattu 2.2.2023.

Uusi-Kämpä, J., Virtanen, S., Rosendahl, R., Österholm, P., Mäensivu, M., Westberg, V., Regina, K., Ylivainio, K., Yli-Halla, M., Edén P. ja Turtola, E., 2013. Ympäristöriskien vähentäminen happamilla sulfaattimailloilla – Opas pohjaveden pinnan säätämiseksi. MTT Jokioinen, Jokioinen, 24 s.

Vejjalainen, N., Jakkila, J., Nurmi, T., Vehviläinen, B., Marttunen, M. ja Aaltonen, J., 2012. Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos – vaikutukset ja muutokseen sopeutuminen. WaterAdapt-projektin loppuraportti. (Suomen ympäristö 16/2012). Suomen ympäristökeskus, Helsinki, 138 s.