

Ella Rätty

LEGIONELLAN ESIINTYVYYS MIKKELIN VESILAITOKSEN RAAKAVESIKAIVOISSA

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Ympäristötekniikan koulutus

2024



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri AMK
Tekijä/Tekijät	Ella Rätty
Työn nimi	Legionellan esiintyvyys Mikkelin Vesilaitoksen raakavesikaivoissa
Toimeksiantaja	Mikkelin Vesilaitos
Vuosi	2024
Sivut	23 sivua
Työn ohjaaja(t)	Marjatta Lehesvaara, Reijo Turkki

TIIVISTELMÄ

Legionella-bakteerit ovat gramnegatiivisten sauvabakteerien suku, jotka voivat elää ravinteikkaasti heikoissa elinolosuhteissa ja päästessään ihmisen hengitysteihin voivat aiheuttaa hengitystieinfektion. Legionella pystyy elämään kaikkialla luonnossa, erityisesti kosteassa maaperässä ja pohjavedessä. Ihanteellinen kasvuolosuhde legionellalle on 20–40 °C.

Opinnäytteen toimeksiantaja oli Mikkelin Vesilaitos. Työssä selvitettiin, esiintyykö Mikkelin Vesilaitoksen raakavesikaivoissa legionellaa. Raakavesikaivot ovat kaivoja, joilla nostetaan raakavettä eli pohjavettä puhdistettavaksi vedenottamoille. Tutkimus toteutettiin Mikkelin alueella, Hanhikankaan vedenottamolla.

Legionellanäytteitä otettiin viidestä raakavesikaivosta kahden viikon välein neljä kertaa. Näytteet otettiin yhteistyössä vesilaitoksen henkilökunnan kanssa ja niistä sovittiin etukäteen. Yhteensä näytteitä otettiin 20 kappaletta. Näytteet analysoitiin vesilaitoksen laboratoriossa ja lisäksi neljännen näytekierroksen yhteydessä otettiin näytteet ulkopuoliselle laboratoriolle, minkä tarkoituksena oli varmistaa tutkimuksen tulos.

Otetuista 20 legionellanäytteestä yhdestäkään ei löydetty legionellaa. Tämän selvityksen perusteella tällä hetkellä vesilaitoksen raakavesikaivoissa ei esiinny legionellaa. Tuloksen perusteella voidaan todeta, ettei vesilaitoksen raakavesikaivoissa esiinny legionella-bakteeria. Tulos on tuotu Mikkelin Vesilaitoksen tietoon.

Asiasanat: legionella, pohjavesi, raakavesi, vesilaitos

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Ella Rätty
Thesis title	Prevalence of legionella in raw water wells of Mikkeli municipal waterworks
Commissioned by	Mikkelin Vesilaitos
Time	2024
Pages	23 pages
Supervisor	Marjatta Lehesvaara, Reijo Turkki

ABSTRACT

Legionella bacteria are a genus of gram-negative rod-shaped bacteria that can live in nutrient-poor living conditions and can cause a respiratory infection when they get into the human respiratory tract. Legionella can live anywhere in nature, especially in moist soil and groundwater. The ideal growth conditions for legionella are 20–40°C.

The thesis was commissioned by Mikkelin Vesilaitos, the municipal waterworks of Mikkeli. The objective of the work was to investigate whether legionella is present in the raw water wells of Mikkelin Vesilaitos. Based on the results, information on the state of raw water in the operating area of Mikkelin Vesilaitos were obtained. Raw water wells are wells that raise raw water, i.e. groundwater, to be cleaned at water intakes. The research was carried out in Mikkeli area, at the Hanhikangas water intake.

Legionella samples were taken four times every two weeks from five raw water wells. The samples were taken in cooperation with the water department's staff and were agreed upon in advance. A total of 20 samples were taken. The samples were analyzed in the municipal waterworks' own laboratory. In addition, in connection with the fourth sampling round, samples were taken to an impartial laboratory, with the intent to verify the results of the study.

Legionella was not found in any of the 20 legionella samples taken. Based on the results, it can be concluded that legionella bacteria is not present in the waterworks' raw water wells. The results have been brought to the attention of Mikkelin Vesilaitos.

Keywords: Legionella, ground water, raw water, waterworks

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	LEGIONELLA	5
2.1	Legionella pohjavesissä ja maaperässä	6
2.2	Legionellan analysointi	8
2.3	Legionella rakennusten vesijärjestelmissä.....	10
2.4	Legionellan vaikutukset ihmisen terveyteen	11
3	TOTEUTUS JA MENETELMÄT	13
3.1	Hanhikankaan pohjavesialue	13
3.2	Näytteenottosuunnitelma ja havaitut riskit	16
3.3	Toteutus.....	17
4	TUTKIMUSTULOKSET	18
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	20
	LÄHTEET.....	22

1 JOHDANTO

Suomen vesistöt ovat suurimmilta osin hyväkuntoisia, mutta ilmastonmuutos on uhkana vesistöjen kuormituksen kasvamiselle. Ilmastonmuutoksen odotetaan vaikuttavan vesistöjen lämpenemiseen sekä bakteeri- ja leväpitoisuuden kasvamiseen. Myös veden sekoittumista ja happitilanteen huononemista on esitetty huolenaiheina. (Vesi.fi 2021a.) *Legionella*-bakteeri viihtyy parhaiten lämpimissä vesissä. Ihanteellisimmat kasvuolosuhteet sille lähteestä riippuen noin 20–40 °C. Luonnonvesissä legionellan lisääntyminen ei ole yhtä todennäköistä kuin esimerkiksi rakennusten vesijärjestelmissä tai lämpimissä prosessivesissä. (Metsäteollisuus 2020.) Kuitenkaan legionellan esiintymistä pohja- ja raakavesissä ei ole juurikaan tutkittu Suomessa, joten aihe on ajankohtainen muuttuvassa ympäristötilanteessa ja vesihuollon tulevaisuuden haasteita peilaten. Raakavedellä tarkoitetaan yleisesti pohja- tai pintavettä, jota käsitellään ennen sen jakamista vesijohtoverkkoon talousvedeksi tai teollisuuden prosessivedeksi. (Vesi.fi 2021b.)

Tässä opinnäytteessä tutkitaan legionellan esiintymistä Mikkelin Vesilaitoksen raakavesikaivoissa. Opinnäytetyötä varten tehtävässä tutkimuksessa halutaan selvittää, esiintyykö Mikkeliissä käsiteltävässä raakavedessä *Legionella pneumophila* eli yleisintä legionellan serotyyppiä ennen raakaveden käsittelyyn ottamista vedenottamoille. Tieto on arvokas vesilaitoksen toiminnan ja pohjaveden laadun kannalta, sillä pienikin määrä legionellaa pohjavedessä voi edistää sen lisääntymistä päätyessään kiinteistöjen vesijärjestelmiin.

2 LEGIONELLA

Legionellabakteeri tunnistettiin ensimmäistä kertaa tiedettävästi vuonna 1976 sotaveteraanien Philadelphiassa olleen kokouksen keuhkokuume-epidemian yhteydessä (Mentula & Kusnetsov 2020). Legionellat ovat gramnegatiivinen sauvabakteerien suku, jotka pystyvät elämään ravinteikkaasti heikoissa elinoloissa, vaihtelevissa lämpötiloissa vesistöissä. Legionelloja tunnetaan tällä

hetkellä 61 nimettyä ja ne poikkeavat muista gramnegatiivista sauvoista ravintovaatimuksien osalta. Ne käyttävät eniten energianlähteenään aminohappoja. (Aittokoski 2020, 8–9.)

Ihanteellisin lämpötila legionellan lisääntymisen kannalta on 25 °C – 45 °C lämpötilassa. Kuitenkin legionelat pystyvät elämään myös 0 °C – 45 °C lämpötilassa. Lämpötila vaikuttaa legionellan taudinaiheuttamiskykyyn, jolloin lämpimät olosuhteet ovat otollisimmat leviämisen suhteen. Yksinomaan lämpötila ei riitä leviämiseen, vaan *Legionella pneumophila* tarvitsee siihen myös aminohappoja, orgaanista hiiltä sekä mahdollisesti mineraaleja. Pohjavesi ja veden laatu vaikuttavat legionellojen lisääntymiseen siten, että pintavesissä niiden kasvu on suotuisampaa mutta niitä esiintyy myös pohjavesissä ja maaperässä. Pohjavedet eivät ole yhtä suotuisia kasvualusta kuin pintavedet, sillä ne sisältävät vähemmän orgaanisia aineita ja mikrobeja maaperäsuodattumisen ansiosta. (Streng 2021, 20-21; Mentula & Kusnetsov.)

Legionelat, erityisesti *Legionella pneumophila* aiheuttavat legionelloosia, joka on harvinainen tauti, *Legionella pneumophilan* seroryhmä 1 aiheuttaa noin 90 % muista kuin hoitoon tai matkailuun liittyvistä legionelloositapauksista. Euroopan alueella sairauden ilmaantuvuus on keskimäärin 22 tapausta miljoonaa asukasta kohden. Legionelloosin saamiselle on suurempi riski ikääntyneillä, sydämen, munuaisten tai keuhkojen vajaatoiminnasta kärsivillä, vakavaa perussairautta sairastavilla ja immuunipuutosta sairastavilla. Vakavalla perussairaudella voidaan tarkoittaa esimerkiksi diabetesta ja immuunipuutoksella elinsiirtoa. Tartunta tapahtuu useimmiten hengitysilman kautta ja harvemmin veden kanssa suorassa kontaktissa. (Mentula & Kusnetsov 2020.)

2.1 Legionella pohjavesissä ja maaperässä

Legionellaa esiintyy kaikkialla luonnossa, erityisesti kosteassa maaperässä ja pohjavedessä. Pitoisuudet ovat kuitenkin pieniä. Altistuessaan sopimattomille olosuhteille eli liian kylmille tai kuiville olosuhteille, legionella muuttaa aineenvaihduntaa ja pysyy elinkelpoisena, muttei viljeltävänä. (National Library of Medicine 2015.) Legionellabakteeria on löydetty myös erilaisista kasvualustoista, kuten komposteista ja mädäntenäytteistä. Vuonna 2020 Terveyden ja Hyvinvoinnin laitos (THL) sekä Ruokavirasto tekivät selvitystä legionellan

esiintyvyydestä lannoitevalmisteissa ja näytteitä otettiin pussitetuista ruukku-mullista, puutarhamaasta, komposteista ja lannoiteaineeksi käytettävistä biokaasulaitosten mädätteistä. Tuolloin legionellaa löydettiin liki kaikista näyteistä, joka selviää THL:n raportista ja eräistä näytteistä jopa suurina pitoisuuksina. Tutkimuksen mukaan kuitenkin raaka-aineiden alkuperä ja käsittelymenetelmät vaikuttivat legionellapitoisuuksiin. Tutkimusraportissa on todettu, että legionellan turvallista pitoisuutta ei tiedetä, joten tietoisuus legionellarisistä tuotteita käytettäessä on tärkeää. (Ruokavirasto 2020.)

Pohjavedestä löytyvän legionellan yhteydestä sen aiheuttamiin sairauksiin ei ole juurikaan tutkimustietoa samankaltaisissa ilmasto-olosuhteissa, kuin Suomessa. Tämä kerrotaan vuonna 2019 Italiassa tehdyssä tutkimuksessa, jossa on tutkittu sprinklerikastelua legionelloosin mahdollisena taudinaiheuttajana. Positiivisia legionellapitoisuuksia löytyi useista kaivoista sekä talvi- että kesäaikaan, Enemmän positiivisia tuloksia näytteistä saatiin kesällä kuin talvella, mikä viittaa suotuisempiin kasvulämpötiloihin kesäaikaan. Tutkimuksessa todettiin, että pitoisuudet korreloivat veden lämpötilan kanssa niin molempina näytteenottovuodenaikoina. Voidaan todeta, että pohjavedestä aerosolisoitu vesi voi aiheuttaa legionelloosia ja taudin saamiselle on suurempi todennäköisyys kesäaikaan. (De Giglio ym. 2019).

Suomalaista tutkimusta aiheesta on niukasti saatavilla, joten aihe olisi vartenotettava tutkimuskohde suomalaisessa ympäristötutkimuksessa. Yleisesti katsottuna pohjavesien kunto on Suomessa ja Mikkelin alueella pääosin hyvä ja sitä muodostuu vuodessa noin kymmenkertainen määrä käytettyä määrää kohden. Myös vesilaitoksilla on velvoite seurata prosessiinsa nostamaansa pohjaveden laatua. Suurin osa Suomen pohjavesimuodostumista on hyväkuntoisia ja riskialueidenkin vedet ovat useimmiten hyvälaatuisia. Riskialueiksi luokitellaan pohjavesialueet, joiden kunto voi ilman suojelutoimia heiketä. Pohjavesialueille laaditaan suojelusuunnitelmia. Tässä opinnäytetyössä tarkasteltavan Hanhikankaan pohjavesialueelle on tehty vuonna 2021 suojelusuunnitelma. (Suomen ympäristökeskus 2023; Mikkelin kaupunki 2023.)

Hyvää pohjavettä voidaan kuvailla hieman happamaksi, runsashappiseksi ja vähän haitallisia aineita sisältäväksi. Ilmastonmuutoksen seurauksena pohja-

vedessä voi esiintyä enemmän pinnanvaihteluita. Suuret vaihtelut pinnankorkeudessa saattavat vaarantaa pohjaveden laatua, sillä pinnan laskiessa riittävän alas veden alla oleviin maakerroksiin pääsee happea. Happi pystyy reagoimaan maa-aineksen kanssa siten, että osa niistä muuttuu liukoisiksi aineiksi ja pääsee liuettumaan pohjaveteen. Pintojen laskemisen arvioidaan olevan suurinta kesän lopulla sekä syksyllä. Ajankohta selittyy kevään aikaistumisella sekä kesän kuivuusjaksojen pidentymisellä. Syksyisin tosin lisääntyneet sateet nopeuttavat pohjavesivarastojen täyttymistä. (Ilmastonmuutos vaikuttaa pohjaveden laatuun, Hanhikankaan pohjavesialueen suojelusuunnitelma). (Suomen ympäristökeskus 2021; Mikkelin seudun ympäristöpalvelut 2021.)

Uhkia, joita ilmastonmuutos voi aiheuttaa pohjavedelle ovat pintavesien laadun heikkeneminen, pohjaveden laadun ja määrän heikkeneminen sekä sateiden muuttuvat ajankohdat ja voimakkuudet. Lisäksi tulvariskit kohoavat, katu- ja suolauksen tarve kasvaa ja pinta- sekä pohjavedessä olevan humuksen määrä kasvaa. (Mikkelin kaupunki 2021.)

2.2 Legionellan analysointi

Tämän opinnäytetyön tutkimuksessa tutkitaan legionellaa pohjavesissä IDEXX:in Legiolert-menetelmällä. Menetelmää käytetään lukuisissa julkisissa, yleishyödyllisissä ja yksityisissä laboratorioissa ympäri maailmaa. Legiolert-menetelmä on tarkoitettu kaikkien *Legionella pneumophila* serotyypin havaitsemiseen. Legiolert-testi perustuu bakteerientsyymien havaitsemiseen Legiolert-reagensissa olevan substraatin avulla. Testissä *Legionella pneumophila*-solut kasvavat tehokkaasti reagensissa olevien vitamiinien, aminohappojen ja muiden ravintoaineiden avulla. Näytteessä esiintyvä *Legionella pneumophila* -kannat muuttuvat ruskeiksi substraatin avulla. Tuloksien valmistamiseen kuluu 7 vuorokautta. Menetelmä on sertifioitu ISO 9001- ja ISO 14001-standardeilla. Legionellaa voidaan tutkia sp-analyyseilla, suodatusanalyyseilla, seroryhmän määrittämisen avulla tai erilaisten pikatestien avulla. (Idexx s.a.)

Tutkimus voidaan tehdä yhden, kymmenen tai sadan millilitran näytemäärästä, joista valikoitui sadan millilitran menetelmä mahdollisimman laajan tutkimustuloksen saamiseksi. Tutkimus tehdään seuraavan kuvauksen mukaisesti. Ensimmäiseksi mitataan näytteen kovuus Legiolert Supplement- pakkauksessa olevilla liuskoilla, jolloin liuska kastetaan näytteeseen ja verrataan kovuutta kovuusasteikkoon. Mikäli kovuutta on 0–2, lisätään supplementtia 0,33 ml ja mikäli 3–4 lisätään supplementtia 1 ml. Tämä tehdään kaikille rinnakkaisnäytteille. (Legiolert-käyttöohje s.a.)

Tämän jälkeen jokaiseen rinnakkaiseen vesinäytteeseen lisätään Legiolert-reagenssi läpipainopakkauksesta ja varotaan koskemasta näytepullon suuaukkoa. Mikäli olisi oletettavaa, että legionellaa löytyy paljon, näyte voidaan laimentaa tislattuun veteen ennen reagenssin lisäämistä. Seuraavaksi tehty liuos kaadetaan Quanti-Tray-muottiin, kun isoja partikkeleja ei ole havaittavissa ja ravistellaan suurimmat ilmakuplat pois muotista. (Legiolert Test s.a.)

Seuraavaksi suljetaan muotti tiiviisti sulkijalaitteella. Tässä tapauksessa oli käytössä sulkijalaitte IDEXX Sealer Plussaan. Liuskaan voi jäädä ilmakuplia ja ne eivät häiritse testin suoritusta. Sulkemisen jälkeen muotit asetetaan paperipuoli alaspäin kostutettuun inkubaattoriin 39 °C ($\pm 0,5$ °C) lämpötilaan seitsemäksi vuorokaudeksi yhtäjaksoisesti ja merkitään muistiinpanoihin inkuboinnin loppumisaika, joka on seitsemän vuorokautta. Tulokset luetaan siten, että positiivisiksi tuloksiksi *Legionella pneumophila*- bakteerille lasketaan kaikki ruskeat ja sameat kuopat kalvolla. Positiiviset kuopat lasketaan ja määritetään tulos MPN-taulukon avulla. Mikäli näyte on laimennettu, huomioidaan laimennoskerroin tulosta laskettaessa. (Legiolert Test s.a.)

Legionellaa voidaan analysoida useammalla tavalla, joista yksi on IDEXX:in Legiolert-menetelmä. Legiolert perustuu standardeihin ISO 9001 ja ISO 14001. Legionellaa voidaan analysoida myös kalvosuodatusmenetelmällä, joka perustuu ISO 11731 standardiin. Menetelmässä legionella eristetään kalvosuodatuksen avulla virtaavasta vedestä, jolloin voidaan analysoida suurempia määriä vesinäytteitä. Menetelmä mahdollistaa suuremman otannan saamisen tuloksiin. ISO 11731 -mukaisia menetelmiä pystytään soveltamaan kaikenlaisiin vesinäytteisiin, kuten luonnonvesinäytteisiin. Standardissa todetaan,

että legionellaa esiintyy laajasti luonnollisissa vesiympäristöissä sekä maaperässä ja ne voivat kasvaa myös solunsisäisesti alkueläimissä. Legionellan seuranta on tärkeää kansanterveydellisistä syistä ja on tärkeää tunnistaa legionelloosin aiheuttamat riskit.

ISO 9001 koskee laadunhallintajärjestelmien vaatimuksia, joita organisaatio voi hyödyntää, kun se tuottaa tuotteita tai palveluita, joiden tulee täyttää asiakasvaatimukset tai se pyrkii lisäämään asiakastytyvyyttä parantamalla prosessejaan ja tuotteidensa laatua. ISO 9001 on yleinen standardi ja se on tarkoitettu kaikille organisaatioille niiden tyypistä tai koosta välittämättä. ISO 14001 koskee ympäristöjärjestelmien vaatimuksia. Standardia noudattamalla yritys voi parantaa ympäristönsuojelun tasoaan. ISO 14001 on tarkoitettu ohjaamaan kohti parempaa ympäristövastuiden hallintaa. Standardia noudattavat yritykset voivat saavuttaa ympäristöjärjestelmällään tuloksia, jotka nostavat yrityksen ympäristöarvoja. (ISO 9001:2015; ISO 14001:2015).

2.3 Legionella rakennusten vesijärjestelmissä

Vesijärjestelmät, joissa veden lämpötila on 20–45 °C ovat otollisia kasvupaikkoja legionellabakteereille. Legionellaa ja muita mikrobeja voi päästä vähäisiä määriä rakennuksien vesijärjestelmiin kulkeutumalla laitoksien käsittelemän veden tai luonnonvesien mukana. Kasvu ja legionellan leviäminen muualle vesijärjestelmään on myös mahdollista, jos yhdessä vesijärjestelmän osassa lämpötila on suotuisa. Lisääntymistä on mahdollista torjua huolehtimalla siitä, että talousvesi on riittävän viileää ja käyttövesi tarpeeksi kuumaa vesijärjestelmässä ennen vedenottopistettä, kuten hanaa tai suihkua. Legionellasta aiheutuvia sairastumisia ilmenee erityisesti, jos bakteeri pääsee vedestä muodostuneiden aerosolien mukana hengityselimiin. (Terveysten ja hyvinvoinnin laitos 2024; Valvira 2023.)

Bakteerin kasvuun vesijärjestelmissä vaikuttavat järjestelmän suunnittelu, käyttöönotto, toiminta, käsittely sekä tarvittavat huoltotoimet. Legionellan esiintymisen riskiä nostaa veden virtauksen heikko taso, huoltojen aikana syn-

tyvät ristivirtaukset ja puutteelliset takaisiniskuventtiilit sekä jotkin putkimateriaalit, tuotetut aerosolit ja epäpuhtauksia sisältävä talousvesi. Näitä aerosoleja tuottavat esimerkiksi suihkut, hanat ja wc-kalusteet. Riskialttiita kiinteistöjä legionellan kasvulle ovat kiinteistöt, joissa käytetään jäähdytystorneja sekä erillisiä järjestelmiä kuumalle ja kylmälle vedelle. Riskitekijöitä ovat myös kohteet, joissa on luonnonomaisia kuumavesilähteitä, suihkulähteitä tai porealtaita. (Tervo 2024.)

Mikkelin lähialueilla legionellan esiintyvyyttä on kartoitettu Itä-Savon ympäristöterveydenhuollossa, jonka toimialue on Savonlinnan kaupungin sekä Sulkan, Enonkosken, Juvan, Puumalan ja Rantasalmen kuntien alue (Savonlinnan kaupunki 2023). Itä-Savon ympäristöterveydenhuolto toteutti Sosiaalialan ympärivuorokautisen palveluasumisen Legionella-projektin vuonna 2023, jonka loppuraportti on hyväksytty tammikuussa 2024 (Merinen ym. 2024).

Projektissa legionellaa 32 % tutkituista kohteista, mikä tarkoittaa legionella-löydöksiä kahdeksasta eri kohteesta. Kylmästä talousvedestä löydettiin toimenpiderajan ylityksiä viidestä kohteesta ja lämpimän käyttöveden osalta vastaavia ylityksiä oli viidessä kohteessa. Molempien toimenpiderajojen ylityksiä todettiin kolmessa kohteessa, mikä tarkoittaa 12 % tutkituista kohteista. Kohteille, joista löydettiin legionellaa saivat tiedon tuloksesta puhelimitse sekä kirjallisen toimintaohjeistuksen sähköpostitse. (Merinen ym. 2024.)

2.4 Legionellan vaikutukset ihmisen terveyteen

Legionelat, erityisesti *Legionella pneumophila* aiheuttavat legioonalaistautia eli legionelloosia, joka on harvinainen tauti. *Legionella pneumophilan* seroryhmä 1 aiheuttaa noin 90 % muista kuin hoitoon tai matkailuun liittyvistä legionelloositapauksista. Euroopan alueella sairauden ilmaantuvuus on keskimäärin 22 tapausta miljoonaa asukasta kohden. Legionelloosin saamiselle on suurempi riski ikääntyneillä, sydämen, munuaisten tai keuhkojen vajaatoiminnasta kärsivillä, vakavaa perussairautta sairastavilla ja immuunipuutosta sairastavilla. Vakavalla perussairaudella voidaan tarkoittaa esimerkiksi diabetesta ja immuunipuutoksella elinsiirtoa. (Mentula & Kusnetsov 2020; Vuento 2023.)

Legionelloosi on kuumetauti, johon liittyy yleensä keuhkokuumetta. Ensimmäistä kertaa tautia havaittiin vuonna 1976, kun se aiheutti sotaveteraanien kokoontumisessa keuhkokuume-epidemian. Myöhäistä löytymistä on selitetty sillä, ettei bakteeria saada kasvamaan tavanomaisella bakteeriviljelyllä. (Vuento 2023.)

Bakteeri lisääntyy lämpimän veden vesijärjestelmissä. Legionelloositartunta saadaan usein hengittämällä ilmaa, jossa on vesipisaroita tai vesiaerosolia ja siten legionellaa päätyy hengitysteihin. Mikäli bakteeri pääsee leviämään keuhkoputkiin ja sitä kautta kudoksiin, on vaarana syntyä infektio. Tartuntaa ei voi kuitenkaan saada juomavedestä, sillä veden tulee päästä keuhkoihin pieninä pisaroina. Legionelloosi ei tartu toisiin ihmisiin eikä eläimistä. (Vuento 2023.)

Legionelloosin tartunnalle altistuneista noin 5 % sairastuu keuhkokuumeeseen. Sairastumisriskiä lisäävät korkea ikä, immuunipuute, krooninen keuhkosairaus, diabetes ja tupakointi. Miehillä on myös suurempi todennäköisyys sairastumiseen kuin naisilla. Tartunnan saamisen ja oireiden välisen ajan tiedetään olevan noin 2–5 päivää ja ensimmäisiä oireita ovat usein lihaskivertäminen ja kuumeisuus. Taudin alussa tauti muistuttaa oireenkuvaltaan influenssaa. Mikäli tauti pääsee vakavammaksi, voi ilmetä hengitysvaikeuksia ja sekavuutta. Sairauteen menehtyy hoidosta huolimatta 5–10 % sairastuneista ja useilla menehtyneillä on ollut jokin infektiopuolustusta heikentävä sairaus. (Vuento 2023.)

Kuumeisuuden varhaisessakin vaiheessa voidaan määrittellä veren C-reaktiivisen proteiinin (CRP) pitoisuuden perusteella, onko kyse bakteeri- vai virusinfektiosta ja voiko tautia hoitaa antibiooteilla. Legionellan aiheuttama keuhkokuume voidaan todentaa geenimonistustestillä (PCR-testi). PCR-testillä pystytään myös tutkimaan yhtäaikaaisesti muita keuhkokuumeetta aiheuttavia bakteereita alahengitystienäytteistä. Antibioottihoito kohentaa usein nopeasti vointia ja vähentää vakavan taudin riskiä. Legionelloosia sairastavaa hoidetaan tyypillisesti parin päivän ajan sairaalassa vakavan taudinkuvan havaitsemiseksi. (Vuento 2023.)

Legionelloosiin ei ole kehitetty rokotetta eikä se aikaisemmin sairastettuna suojaa uudelta taudilta. Esimerkiksi matkailija ei voi itse pienentää sairastumisriskiä, paitsi valitsemalla majoituksen, jossa ei ole koneellista ilmastointia. Myös lämmitettyjen altaiden välttäminen pienentää infektion riskiä, mutta se sairauden harvinaisuuden huomioiden ei välttämättä ole kannattavaa. Vesijärjestelmien turvallisuus varmennetaan riittävällä käyttämisellä sekä asianmukaisilla huoltotoimilla. Kaikissa legionelloosi-tapauksissa pyritään ympäristönäytteiden avulla selvittämään tartunnan lähde taudin leviämisen välttämiseksi. (Vuento 2023.)

3 TOTEUTUS JA MENETELMÄT

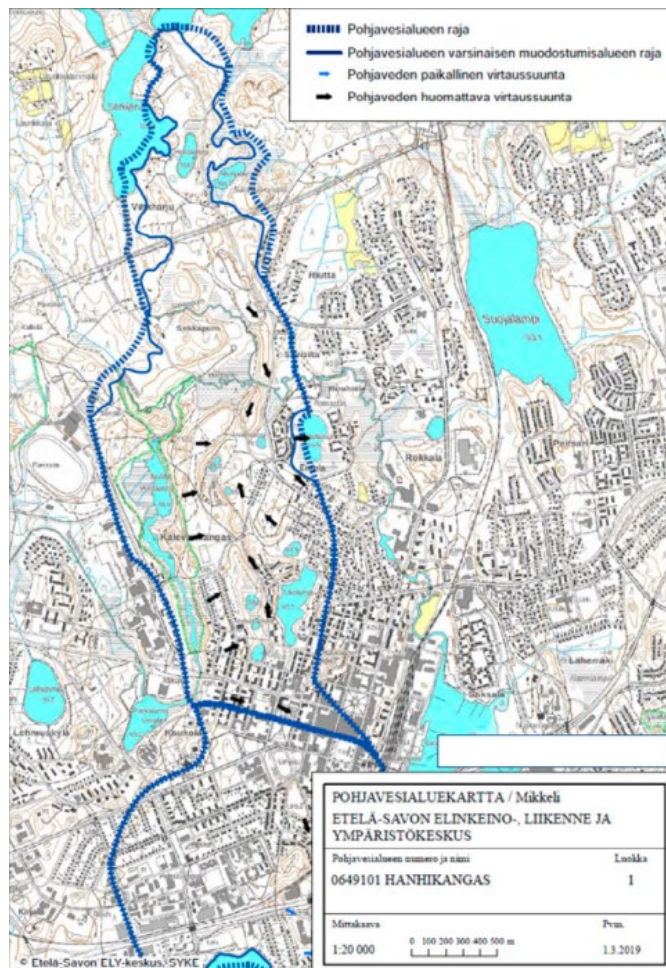
Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää legionellan esiintyvyyttä Mikkelin vesilaitoksen Hanhikankaan vedenottamon raakavesikaivoissa. Hanhikankaan vedenottamo sijaitsee Mikkelin Kalevankankaan kaupunginosan tuntumassa. Kaivoja on 5 kappaletta, joista jokaisesta otetaan näyte jokaisella näytteenotokerralla. Legionellaa esiintyy kaikkialla luonnollisissa vesissä sekä maaperässä. Yleisimpänä legionellan seroryhmänä se on yleisin taudinaiheuttaja legioonalaistaudissa. Näytteenotokertoja on 4, joten yhteensä näytteitä analysoidaan 20 kappaletta IDEXX:in Legiolert-menetelmällä, joka voidaan luokitella pikatestimenetelmäksi.

3.1 Hanhikankaan pohjavesialue

Hanhikankaan pohjavesialue on toinen Mikkelin tärkeimmistä raakavesilähteistä ja se kattaa noin 20 % Mikkelin talousveden tarpeesta. Suojelusuunnitelmassa todetaan suojelun tarve erittäin merkittäväksi, sillä toisessa merkittävään pohjavesialueessa, Pursialassa, on havaittu monia pohjaveden laatua uhkaavia maaperän pilaantumisuuhkia.

Mikkelin seudun ympäristöpalvelut on laatinut Hanhikankaan pohjavesialueelle suojelusuunnitelman vuonna 2021, jonka Mikkelin kaupunginvaltuusto on hyväksynyt elokuussa 2023. Suunnitelma on osa Euroopan unionin (EU) CBC-ohjelman rahoittamaa RAINMAN-projektia (Towards higher adaptive capacity in urban water management). (Mikkelin kaupunki 2023; Mikkelin seudun ympäristöpalvelut 2021.)

Hanhikankaan pohjavesialue (alue 649101) sijaitsee Mikkelin keskusta-alueen läheisyydessä. Alue on luokiteltu vedenhankinnan näkökulmasta tärkeäksi pohjavesialueeksi. Alueen pinta-ala on suuruudeltaan 3,5 km². Hanhikankaan pohjavesialue yhdistyy eteläosastaan Pursialan pohjavesialueeseen (alue 0649151). Etelä-Savon ELY-keskuksen vuosina 2018–2020 tekemässä Hanhikankaan pohjavesialueen luokitus- ja rajaustarkistuksen yhteydessä pohjavesialueen rajaa laajennettiin Särkijärven rannasta 50 m etäisyydelle vesistöön. Rajan muuttaminen liittyi Suomen Ympäristökeskuksen (Syke) Ranta 10-paikkatietoaineiston rantaviivan ja pohjavesialueen rajan yhtenäistämiseen. (Mikkelin seudun ympäristöpalvelut 2021.) Kuvasta 1 voidaan todeta Hanhikankaan pohjavesialueen rajat sekä virtaussuunnat.



Kuva 1: Hanhikankaan pohjavesialue (Mikkelin seudun ympäristöpalvelut 2021, 19)

Hanhikankaan pohjavesialue on syntynyt viimeisimmän jääkauden sulamisvaiheessa, kun oletettavasti jäätikön sisällä virranneen jäätikköisen joen toimin-

taan. Mikkelin seudun harjumuodostelma on muotoutunut pohjoiseteläsuuntaisena jaksona, joka ylittää Mikkelin keskustan pohjoispuolella Hanhikankaan ja Kalevankankaan harjudeltamuodostelmaksi. (Mikkelin seudun ympäristöpalvelut 2021.) Hanhikankaan pohjavesialueen pohjaveden yläpuolella olevan maakerroksen paksuus on paksuimmillaan alueen keskiosassa ollen noin 10–20 metriä. Keskialueella maaperän vedenläpäisevyys on hyvällä tai erittäin hyvällä tasolla, mutta alueen pohjaisosissa vastaava maakerros on huomattavasti ohuempi ja myös vedenläpäisevyys on heikompaa. (Mikkelin seudun ympäristöpalvelut 2021.)

Hanhikankaan pohjavesialueella on Hanhikankaan pohjavedenottamo, jossa Mikkelin vesilaitos vastaa vedenhankinnasta. Vesilaitos vastaa vesihuollon järjestämisestä Mikkelin kantakaupungin lisäksi Rantakylässä, Otavassa, Hauki vuorella, Ristiinassa, Suomenniemellä sekä Anttolassa. Hanhikankaan vedenottamo toimi rakentamisvuodestaan 1911 vuoteen 1959 Mikkelin ainoana vedenhankintapaikkana. Hanhikankaan vedenottamon vedenottolupa sallii 4 500 m³/d vettä. Tämän verran voidaan pumpata vettä vaikuttamatta merkittävästi ympäristöön tai nostettavan raakaveden laatuun. Nykyinen lupa on annettu vuonna 2020 ja aiempi lupa vuodelta 1967 salli pumppaamisen 3 000 m³/d asti. Tulevaisuudessakin pumpattavaa veden määrää on tavoitteena kasvat-
taa ja suurentaa Hanhikankaan vedenottamon osuutta kaupungin tarpeisiin tuotetusta vedestä nykyisestä 20 prosentista. (Mikkelin seudun ympäristöpalvelut 2021.)

Hanhikankaan vedenottamolla on viisi raakavesikaivoa, joista nostetaan vettä pohjavedenottamolle. Vedenottamon prosessina on kemiallisbiologinen prosessi, joka tarkoittaa hiilidioksidin poistoa raakavedestä, pH:n säätämistä lipeäannostelun avulla, flokkausta sekä selkeytystä. Flokkaus tarkoittaa menetelmää, jolla pienemmät hiutaleet vedessä yhdistyvät toisiinsa ja sitä tehostetaan saostuskemikaalin annostelulla (flokkaus). Selkeytyksessä puhdistusprosessista poistetaan veteen muodostunutta rautasakkaa. Lisäksi mangaania poistetaan biologisilla Dynasard-suodattimilla ja viimeiseksi vesijohtoverkoston lähtevä vesi desinfioidaan UV-laitteilla. (Mikkelin seudun ympäristöpalvelut 2021.)

3.2 Näytteenottosuunnitelma ja havaitut riskit

Näytteenottosuunnitelman avulla halutaan varmistaa, että näytteenottoon on saatavilla tarvittavat resurssit ja näytteenotto tehdään oikeanlaisilla välineillä edustavista näytteenottopaikoista. Näytteenoton suunnittelua tehtäessä tulee huomioida edellä mainittujen asioiden lisäksi kuinka paljon näytteenotto saa kustantaa, selkeät tavoitteet mitä halutaan tutkia ja millaisia tietoja halutaan tutkimuksessa arvioida. Selkeät tavoitteet muodostetaan tiedon tarpeesta. Laboratorio tai näytteenottaja ovat puolestaan tämän tiedon tuottajia. Arvioitavat tiedot voivat olla esimerkiksi pitoisuuksien jakautumiseen liittyvää tietoa, keskiarvoa tietyllä ajanjaksolla tai korkeimmat tai matalimman pitoisuuden analysoimista. Näytteenottoa suunniteltaessa tulee erityisesti varata aikaa kohteeseen tutustumiseen.

Näytteenottosuunnitelma laadittiin hyvissä ajoin ennen suunniteltua näytteenoton aloitusta. Näytteenottoa varten hankittiin näytteenottopullot sekä analysointia varten tarvittavat kemikaalit. Näytteenotot päätettiin tehdä kahden viikon välein maanantaisin, joka oli sopivin päivä huomioiden työtilanteen. Näytteenottoaikataulu on esitetty taulukossa 1. Näytteet otettiin ohessa olevan taulukon mukaisesti. Ennen näytteenottoa varmistettiin raakavesikaivojen nostopumppujen olevan päällä näytteenottohetkellä. Näytteenottokaivoissa oli pumppu, joka nosti vettä näytteenottoa varten, joten erillisiä näytteenottimia ei tarvittu.

Ennen näytteenottoa näytepullot numeroitiin selkeästi ja kuljetettiin vakaasti siten, että ne säilyivät ehjinä ja puhtaina. Varmistettiin myös, että näytteet eivät pääsisi jäätymään missään vaiheessa. Lämpiympäristön vaaraa ei ollut, sillä näytteenotto tapahtui talvella. Näytteenotot tehtiin viikoilla 4,6,8 ja 10.

Talvinäytteenotto tuotti hieman haasteita työn suorittamiselle. Kovimmilta pakkasilta vältyttiin, mutta sen sijaan jäätyneet lukot tuottivat haasteita. Myös lunta oli paljon, joten kulkeminen näytteenottopaikalle vei aikaa ja oli paikoin haastavaa. Näytteenotoissa huolehdittiin myös työturvallisuudesta sekä oikeista varusteista talviolosuhteissa.

3.3 Toteutus

Raakavesinäytteet otettiin neljä kertaa jokaisesta viidestä raakavesikaivosta näytemäärällä 100 ml, jonka jälkeen näytteet kuljetettiin vakaasti vesilaitoksen laboratorioon. Näytteet otettiin muovisiin näytteenottopulloihin. Otetut raakavesinäytteet analysoitiin Mikkelin vesilaitoksen laboratoriossa saman päivän aikana IDEXX:in Legiolert-menetelmällä. Tutkimus voidaan tehdä yhden, kymmenen tai sadan millilitran näytemäärästä, joista valikoitui sadan millilitran menetelmä mahdollisimman laajan tutkimustuloksen saamiseksi.

Tutkimus tehdään seuraavan kuvauksen mukaisesti. Ensimmäiseksi mitataan näytteen kovuus Legiolert Supplement- pakkauksessa olevilla liuskoilla, jolloin liuska kastetaan näytteeseen ja verrataan kovuutta kovuusasteikkoon. Mikäli kovuutta on 0–2, lisätään supplementtia 0,33 ml ja mikäli 3–4 lisätään supplementtia 1 ml. Tämä tehdään kaikille rinnakkaisnäytteille. (Legiolert-käyttöohje s.a.)

Tämän jälkeen jokaiseen rinnakkaiseen vesinäytteeseen lisätään Legiolert-reagenssi läpipainopakkauksesta ja varotaan koskemasta näytepullon suuaukkoa. Mikäli olisi oletettavaa, että legionellaa löytyy paljon, näyte voidaan laimentaa tislattuun veteen ennen reagenssin lisäämistä. Seuraavaksi tehty liuos kaadetaan Quanti-Tray-muottiin, kun isoja partikkeleja ei ole havaittavissa ja ravistellaan suurimmat ilmakuplat pois muotista. (Legiolert Test s.a.)

Seuraavaksi suljetaan muotti tiiviisti sulkijalaitteella. Tässä tapauksessa oli käytössä sulkijalaite IDEXX Sealer Plusaan. Liuskaan voi jäädä ilmakuplia ja ne eivät häiritse testin suoritusta. Sulkemisen jälkeen muotit asetetaan paperipuoli alaspäin kostutettuun inkubaattoriin 39 °C ($\pm 0,5$ °C) lämpötilaan seitsemäksi vuorokaudeksi yhtäjaksoisesti ja merkitään muistiinpanoihin inkuboinnin loppumisaika, joka on seitsemän vuorokautta. Tulokset luetaan siten, että positiivisiksi tuloksiksi *Legionella pneumophila*- bakteerille lasketaan kaikki ruskeat ja sameat kuopat kalvolla. Positiiviset kuopat lasketaan ja määritetään tulos MPN-taulukon avulla. Mikäli näyte on laimennettu, huomioidaan laimennoskerroin tulosta laskettaessa. (Legiolert Test s.a.)

Legiolert-testi havaitsee Legionella pneumophilan vesinäytteistä ja se perustuu bakteerien entsyymien havaitsemiseen tekniikalla, joka ilmaisee Legionella pneumophilan esiintymisen näytteessä substraatin avulla. Substraatti sisältää aminohappoja, vitamiineja ja muita ravintoaineita, jotka saavat Legionellan lisääntymään näytteessä. Legiolert-substraatti ilmaisee Legionellan esiintymisen näytteessä seitsemän vuorokauden kuluttua.

Kaikkien viiden näytekierroksen näytteet analysoitiin Mikkelin Vesilaitoksen laboratoriossa, jonka lisäksi viidennen näytekierroksen näytteet lähetettiin analysoitavaksi ulkopuoliseen akkreditoituun laboratorioon. Akkreditointi tarkoittaa laboratorion pätevyyden toteamista sekä tuloksien luotettavuuden osoittamista. Tämän perustana on kansainvälisesti hyväksytty standardi ISO 17025, jota sovelletaan testaus- ja kalibrointilaboratorioiden akkreditointivaatimuksiin (SFS-EN 17025: 2017). Akkreditoiduksi laboratorioksi valittiin Eurofins. (Ruokavirasto 2023).

Ulkopuoliseen laboratorioon lähetettyjä Legionellanäytteitä varten tuli ottaa vesinäyte 0,5 litran steriiliin pulloon, mutta suositeltavaa oli toimittaa kaksi 0,5 litran pulloa. Ulkopuolinen laboratorio käytti analyysissä standardimenetelmää ISO 11731:2017. Näytteenotossa toimittiin suosituksen mukaisesti. Laboratorio toimitti näytteenottoa varten tarvittavat pullo, joihin näytteet tuli ottaa ja toimittaa takaisin näytteenotosta 48 tunnin kuluessa. Näytteet toimitettiin kylmäpakkauksessa kylmävaraajien kanssa siten, etteivät näytteet kuitenkaan päässeet jäätymään. (Eurofins 2019.)

4 TUTKIMUSTULOKSET

Legionella pneumophilan esiintyminen tutkittiin kaikista otetuista näytteistä. Yhdestäkään näytteestä ei havaittu *Legionella pneumophila*a. Tulokset on havainnollistettu oheisessa taulukossa 2. Myöskään ulkopuolisessa akkreditoitussa laboratoriossa analysoiduista näytteissä ei esiintynyt Legionellaa. Ulkopuolista laboratoriota varten otettiin näytteet viikon 10 näytteenottokierroksen yhteydessä.

Taulukko 1: Tutkimuksen tulokset (mpn/ 100 ml)

Näytteenottokerta	Kaivo A	Kaivo B	Kaivo C	Kaivo D	Kaivo E
Viikko 4	0	0	0	0	0
Viikko 6	0	0	0	0	0
Viikko 8	0	0	0	0	0
Viikko 10	0	0	0	0	0

Pohjavesinäytteenotossa esiintyy epävarmuustekijöitä, kuten muissakin ympäristönäytteenoton tilanteissa. Epävarmuustekijöitä voivat olla näytteenoton ajankohta, analysoitavan ja otetun näytteen määrä, näytteenoton sääolosuhteet, näytteiden säilytyksessä tapahtuneet virheet ja analysoinnissa tapahtuneet virheet. Myös valittu analysointimenetelmä vaikuttaa tuloksen edustavuuteen ja tässä tapauksessa näyte edustaa vain yhden hetken tilannetta, koska kyseessä on kertaanäyte.

Epävarmuustekijöillä tarkoitetaan tekijöitä, joilla voi olla vaikutusta tutkimuksen lopputulokseen. Näytteenottoajankohdat tässä tutkimuksessa sijoittuivat talviaikaan tammikuulle, helmikuulle ja maaliskuulle, jolloin vuodenaikojen välillä tapahtuvaa vaihtelua ei voida huomioida. Näytteet otettiin maanantaiaamuisin kahden viikon välein, jolloin mahdollista viikon aikana tapahtuvaa vaihtelua ei voida havaita. Ajankohta valikoitui talviaikaan maanantaiaamuihin, koska työpinnäytteen laatiminen sijoittui talviajalle ja työtilanne oli näytteenotolle suotuisin maanantaiaamuisin. Mikäli näytteenotto olisi sijoittunut loppukesään tai syksyyn, voisi legionellan löytyminen näytteenotossa olla mahdollista.

Näytteitä otettiin 100 ml jokaisesta kaivosta kaikilla näytteenottokierroksilla ja koko näytemäärä analysoitiin. Mikäli olisi ollut mahdollista ottaa suurempia näytemääriä ja analysoida ne, pystyttäisiin näkemään laajempi tulos isommasta mittakaavasta. Epävarmuutta aiheuttaa siis pieni näytemäärä. Kaikki näytteenotot on suoritettu talvisessa pakkassäässä siten, että näytteet eivät kuitenkaan päässeet jäätymään. Näytteiden säilytys toteutettiin asianmukaisesti ja kuljetettiin välittömästi näytteenoton jälkeen vesilaitoksen laboratorioon. Näytteet analysoitiin myös saman päivän aikana. Analyysit toteutettiin

täysin ohjeiden mukaisesti, joten virheitä ei uskota tapahtuneen siinäkään suhteessa.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Sääolosuhteemme ovat suuren osan vuodesta sellaisia, jotka eivät anna suotuisia kasvuolosuhteita legionellalle. Legionellan suotuisa kasvulämpötila sijoittuu 20–45 °C:n välille. Tämän perusteella voitaisiin olettaa, että legionellaa olisi mahdollista löytää luonnonvesistä kesäaikaan, jolloin lämpötilat parhaimmillaan yltyvät suotuisiin kasvulämpötiloihin. Ilmatieteenlaitoksen mukaan vuosien 1991–2020 kuukausien keskilämpötila on korkeimmillaan heinäkuussa, jolloin keskilämpötila on 19 °C. Legionellan toteaminen ympäristöstä siis vaatisi korkeampia lämpötiloja, mitä viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana keskiarvallisesti on ollut.

Vuosittain kuukausien lämpötilat vaihtelevat ja poikkeavat joko ylös- tai alaspäin lämpötilan pitkän ajan vuosikeskiarvosta. Esimerkiksi vuosi 2023 oli 2,3°C poikkeavasti lämpimämpi verrattuna pitkän ajan kuukausikeskiarvotilastoon. Hetkittäiset lämpötilat kuitenkin vaihtelevat molempiin suuntiin päiväkohtaisin vaihteluin, joten teoreettisesti voidaan pohtia, olisiko mahdollista, että legionella pääsee kasvamaan korkeissa lämpötiloissa luonnonvesissä. Tulevaisuudessa lämpötilat tulevat nousemaan ilmastonmuutoksen vaikutuksesta, joten tämä saattaa olla varteenotettava tutkimuksen aihe tulevaisuuden ympäristötutkimuksessa. (Ilmatieteenlaitos s.a.)

Tulokset kertoivat, että Hanhikankaan vedenottamolle nostettavassa raakavedessä ei esiinny legionellaa talviaikaan. Tutkimuksessa on kuitenkin todella pieni otanta vesimäärästä, joka vedenottamolle nostetaan, mutta tuloksista voi tehdä pieniä tulkintoja pohjaveden tilasta. Suoritettu tutkimus oli onnistunut siinä mittakaavassa, jossa se toteutettiin. Näytteenotoissa ja analyyseissä ei ilmennyt ongelmia työskentelyn aikana. Myös ulkopuolisen laboratorion analysoimien näytteiden näytetulosten perusteella voidaan sanoa tutkimuksen onnistuneen, sillä tulokset olivat yhteneväisiä. Tulokset vastasivat opinnäytteen

laatijan odotuksia, sillä kasvulämpötilat eivät ole Suomessa näytteenottoaikaan suotuisat.

Tuloksien ollessa puhtaita talviaikaan, voisi olla kiinnostavaa nähdä tilanne lämpimän säätilan aikaan esimerkiksi heinäkuussa tai elokuussa. Tuolloin voitaisiin päästä vesistöissä lämpötiloihin, jolloin legionellan kasvu on suotuisampaa. Tällöin teoriassa legionellaa voisi löytyä pohjavesistä siten, että se saataisiin näkymään myös näytetuloksissa. Tämän opinnäytetutkimuksen ajan puitteissa se ei kuitenkaan ollut mahdollista.

LÄHTEET

Aittokoski, I. 2020. Legionella-suvun bakteerien määrittämenetelmän verifiointi talousvedestä. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Laboratorioanalytiikka. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa:

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/349577/Ilona_Aitto-koski_Opinn%c3%a4ytety%c3%b6_Legionella.pdf?sequence=2&isAllo-wed=yv [viitattu 20.1.2024].

De Giglio, O., Napoli, C., Apollonio, F., Brigida, S., Marzella, A., Diella, G., Callia, C., Scrascia, M., Pacifico, C., Pazzani, C., Uricchio, V & Montagna, M s.a. Occurrence of Legionella in groundwater used for sprinkler irrigation in Southern Italy 2019. Elsevier. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www-science-direct-com.ezproxy.xamk.fi/science/article/pii/S0013935118306789> [viitattu 27.3.2024].

flokkaus | hiutaloittaminen | höytälöityminen | hiutaloituminen | flokkiintuminen. 2014. Tieteen termipankki. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://tieteentermi-pankki.fi/wiki/Ymp%C3%A4rist%C3%B6tieteet:flokkaus> [viitattu 30.3.2024].

Hanhikankaan pohjavesialueen suojelusuunnitelma on hyväksytty. 2023. Mikkelin kaupunki. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://mikkeli.fi/2023/09/19/ehdotus-hanhikankaan-pohjavesialueen-suojelusuunnitelma-aksi-on-valmistunut/> [viitattu 19.2.2024].

Hanhikankaan pohjavesialueen suojelusuunnitelma 2021. 2021. Mikkelin seudun ympäristöpalvelut. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://mikkeli.fi/wp-content/uploads/2023/09/Hanhikankaan_PVSUSU_2021.pdf [viitattu 27.2.2024].

Ilmastonmuutos lisää vesistöjen kuormitusta. 2021. Vesi.fi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/vesitieto/ilmastonmuutos-lisaa-vesistöjen-kuormitusta/> [viitattu 24.4.2024].

Ilmastonmuutos vaikuttaa pohjaveden laatuun. 2021a. Suomen ympäristökeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/vesitieto/ilmastonmuutos-vaikuttaa-pohjaveden-laatuun/> [viitattu 2.4.2024].

Idexx s.a. Legiolert-käyttöohje. PDF-dokumentti. Intranet.

Kuukausitilastot s.a. Ilmatieteen laitos. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot> [viitattu 5.4.2024].

Mikkelin seudun ympäristöpalvelut. 2023. Hanhikankaan pohjavesialueen suo-
jelu suunnitelma 2021. Saatavissa: https://mikkeli.fi/wp-content/uploads/2023/09/Hanhikankaan_PVSUSU_2021.pdf [viitattu 5.4.2024].

Legiolert s.a. Idexx. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.idexx.com/en/water/water-products-services/legiolert/> [viitattu 21.1.2024].

Legiolert Test s.a. Idexx. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.idexx.com/files/legiolert-100ml-protocol-poster.pdf> [viitattu 21.1.2024].

Legionellaa esiintyy biologisilla jätevedenpuhdistamoilla. 2020. Metsäteollisuus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.metsateollisuus.fi/uutishuone/legionellaa-esiintyy-biologisilla-jatevedenpuhdistamoilla> [viitattu 24.4.2024].

Legionellabakteerit vesijärjestelmissä. 2024. Terveystieteiden tutkimuskeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://thl.fi/aiheet/ymparistoterveys/vesi/legionellabakteerit-vesijarjestelmissa> [viitattu 28.3.2024].

Legionnaire's disease, weather and climate. 2015. National Library of Medicine. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4450703/> [viitattu 31.3.2024].

Legionella-näytteiden toimittaminen. 2019. Eurofins. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.eurofins.fi/media/2852422/legionella-naeytteiden-toimittaminen.pdf> [viitattu 27.3.2024].

Mentula, S. & Kusnetsov, J. 2020. Mikrobiologia. Kustannus Oy Duodecim. E-kirja. Saatavissa: <https://www.oppiportti.fi/op/opk04495> [viitattu 20.1.2024].

Merinen, M., Munck, T., Rouvinen, T. & Laitinen, S. 2024. Sosiaalialan ympäristövuorokautisen palveluasumisen Legionella-projekti 2023. Savonlinnan kaupunki. PDF-dokumentti. Saatavissa: [2024409-5-31968.PDF \(oncloudos.com\)](https://oncloudos.com/2024409-5-31968.PDF) [viitattu 31.3.2024].

Rakennusten vesilaitteistojen legionellabakteerin ja lyijyn riskinarviointi ja riskienhallinta. 2023. Valvira. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://valvira.fi/documents/152634019/172742982/Rakennusten-vesilaitteistojen-riskinarviointi.pdf/8b3fbeb3-3093-dd38-37bf-0154005701fe/Rakennusten-vesilaitteistojen-riskinarviointi.pdf?t=1692697381351> [viitattu 28.3.2024].

Pohjavesien tila on Suomessa yleisesti hyvä. 2022. Suomen ympäristökeskus. 2023. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/fi/ympariston-tila/vesi/pohjavesien-tila> [viitattu 11.3.2024].

Ruokaviraston nimeämät ja hyväksymät laboratoriot. 2023. Ruokavirasto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/laboratoriopalvelut/ruokaviraston-hyvaksymat-laboratoriot/#nimetyt-laboratoriot-ovat-osoittaneet-patevyytensa> [viitattu 27.3.2024].

Savonlinnan ympäristöterveydenhuollon valvontasuunnitelma vuodelle 2024. 2023. Savonlinnan kaupunki. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.savonlinna.fi/wp-content/uploads/2023/12/valvontasuunnitelma-2024-nettisivuille-1.pdf> [viitattu 31.3.2024].

SFS-ISO 9001. 2015. Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset.

SFS-ISO 11731. 2017. Water quality. Enumeration of Legionella.

SFS-ISO 14001. 2015. Ympäristöjärjestelmät. Vaatimukset ja niiden soveltamisohjeita.

Streng, P. 2021. Kiinteistöjen vesijärjestelmien riskinarviointi- ja hallinta: Legionella-bakteerin esiintyvyys. Itä-Suomen yliopisto. Ympäristö- ja biotieteiden laitos. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/25792/urn_nbn_fi_uef-20211116.pdf?sequence=1 [viitattu 1.2.2024].

Tervo, O. 2022. Legionellan esiintyminen kiinteistöjen vesijärjestelmissä Päijät-Hämeen alueella. Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu. Ympäristöteknologian koulutusohjelma. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/703606/Tervo_Outi.pdf?sequence=2&isAllowed=y [viitattu 13.3.2024].

Turvalliset työtavat tarpeen legionellabakteerilta suojautumiseen. 2020. Ruokavirasto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/teemat/tieteellinen-tutkimus/uutisia-tieteellisesta-tutkimuksesta/turvalliset-tyotavat-tarpeen-legionellabakteerilta-suojautumiseen/> [viitattu 24.4.2024].

Vastuullinen vedenkäyttö. 2021b. Vesi.fi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/vesitieto/vastuullinen-vedenkaytto/> [viitattu 20.1.2024].

Vuento, R. 2023. Legioonalaistauti (legionelloosi). Duodecim terveyskirjasto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00580#s1> [viitattu 19.2.2024]. y