



Toni Alakangas

Pilaantuneiden maiden tutkimukset ja lysimetrien hyödyntäminen ampu- maradan ympäristötarkkailussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

30.11.2021

Tiivistelmä

Tekijä:	Toni Alakangas
Otsikko:	Pilaantuneiden maiden tutkimukset ja lysimetrien hyödyntäminen ampumaradan ympäristötarkkailussa
Sivumäärä:	42 sivua + 1 liite
Aika:	30.11.2021
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine:	Ympäristötekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Esa Toukoniitty Projektipäällikkö Christian Tallsten

Avainsanat: pilaantuneet maat, tutkimusmenetelmät, näytteenotto, lysimetri, ampumarata, ympäristölupa.

Insinööryön aiheena käsiteltiin pilaantuneiden maiden tutkimuksia ja lysimetrien hyödyntämistä ampumaradan ympäristötarkkailussa. Aluksi teoriaosuudessa esitellään maaperän piirteitä ja ominaisuuksia Suomessa. Tavoite on syventyä pilaantuneiden maiden tutkimiseen, siihen liittyvään lainsäädäntöön ja tutkimusmenetelmiin. Työssä perehdytään siihen, kuinka ampumaratojen toiminnasta aiheutuu ympäristön pilaantumista ja käsitellään niihin liittyviä ympäristölupia. Lopuksi teoriaosuudessa käsitellään lysimetrien toimintaperiaatteita, käyttökohteita ja hyödyntämistä ympäristötutkimuksissa.

Teoriaosuuden jälkeen tarkastellaan lysimetrien suunnittelu- ja rakentamisvaiheita. Tässä projektissa lysimetrejä käytettiin vajoveden tutkimiseen eräällä Etelä-Suomessa sijaitsevalla ampumaradalla. Lysimetrejä rakennettiin yhteensä kolme kappaletta ja ne asennettiin kesän 2021 aikana eri puolille ampumarata-aluetta. Lysimetrien säiliöistä otettiin loppukesän aikana vesinäytteet, jotka lähetettiin laboratorioon.

Vesinäytteille tehtiin ampumaradan päivitettyssä tarkkailusuunnitelmassa määritetyt laboratorioanalyysit. Käyttökokemusten ansiosta saatiin tehtyä johtopäätöksiä lysimetrien heikoista ja hyvistä ominaisuuksista. Kerättyjen tietojen ja tulosten perusteella annettiin kehitysideoita lysimetrien osien materiaalivalinnoista ja keräinastian parantamisesta. Finnish Consulting Group voi hyödyntää projektista saatuja kokemuksia samankaltaisissa tutkimuksissa jatkossa. Lysimetrien protoversioita voidaan kehittää korjaamalla havaittuja ongelmia ja epäkohtia.

Abstract

Author: Toni Alakangas
Title: Contaminated Soil Research and Using Lysimetres to Observe the Environmental Effects of a Shooting Range
Number of Pages: 42 pages + 1 appendix
Date: 30 November 2021

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Energy and environmental engineering
Professional Major: Environmental Engineering
Supervisors: Esa Toukoniitty, Principal Lecturer
Christian Tallsten, Project Manager

Keywords: contaminated soil, research method, sampling, lysimeter, shooting range, environmental permit.

The topic of this thesis was Contaminated Soil Research and Using Lysimetres to Observe the Environmental Effects of a Shooting Range. The aim was to become acquainted with a theory of contaminated soil, research methods and legislation and to analyse the environmental effects of a shooting range. The theoretical part of the thesis presents the properties of Finnish soil. Then, it explores how the operation of shooting ranges causes environmental pollution, and describes the environmental permitting process for a shooting range. Finally, the theoretical part focuses on the operation principles, applications, and utilization of lysimetres in environmental research.

The design and construction stages of the lysimeters are introduced in this thesis. In this project, lysimeters were used to collect gravitation water from the shooting range area in southern Finland. A total of three lysimeters were built and installed on different sides of the shooting range. Installations were completed during the summer of 2021. Water samples were taken from the tanks of the lysimetres in the late summer of 2021 and sent to the laboratory.

The water samples were examined and analyzed by the laboratory, according to the monitoring plan. Based on user experience, conclusions were drawn about the weaknesses and strengths of the lysimetres. Based on the collected data and results, development ideas were provided for the material selection of lysimeter parts and the improvement of the collection vessel. Finnish Consulting Group can utilize the results to similar research in the future. The proto version of lysimeters can be developed by solving the problems and perceived drawbacks.

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Suomen maaperä	2
2.1	Maalajit Suomessa	3
2.2	Maalajien luokittelu	3
2.3	Maalajien ominaisuudet	5
3	Lainsäädäntö	6
3.1	Ympäristönsuojelulaki 527/2014	6
3.2	Asetus maaperän pilaantuneisuudesta ja puhdistusarvioinnista 214/2007	7
3.3	Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 331/2013	8
3.4	Kemikaalilaki 599/2013	8
4	Pilaantuneet maa-alueet	9
4.1	Pilaantuneiden maa-alueiden tutkiminen	11
4.2	Pilaantuneiden maa-alueiden näytteenottomenetelmät	12
4.2.1	Koekuoppa	12
4.2.2	Kairaus	13
4.2.3	Maa-aineksen kasaaminen	13
4.2.4	Käsi­käyttöiset ottimet	14
4.2.5	Vesitutkimukset	15
5	Ampumaratojen ympäristöluvat	16
5.1	Ympäristövaikutukset	17
5.2	Haitta-aineiden leviäminen	19
6	Tietoa lysimetreistä	21
6.1	Esimerkkejä lysimetrien hyödyntämisestä tutkimuksissa	21
6.2	Lysimetrien toimintaperiaate	23
7	Lysimetrit osana ampumaradan tarkkailuseurantaa	25
7.1	Veden kiertokulku	25
7.2	Vajovesilysimetrien suunnittelu ja rakentaminen	26

7.3	Lysimetrien asennus ampumaradalle	28
8	Tarkkailu ja tulokset	30
8.1	Vesinäytteiden laboratoriotulokset	33
8.2	Tulosten arviointia	34
9	Yhteenveto	39
9.1	Lysimetrien kehittäminen	40
9.2	Johtopäätökset	41
	Lähteet	43
	Liitteet	
	Liite 1: Laboratorion analyysitulokset	

Lyhenteet

- FCG: *Finnish Consulting Group Oy.* Suomalainen konsulttialan yritys.
- GTK: Geologian tutkimuskeskus
- ISO: *The International Organization for Standardization.* Kansainvälinen standardijärjestö.
- LUKE: Luonnonvarakeskus
- PAH: *Polysykliset aromaattiset hiilivedyt.* Koostuvat yhteen liittyneistä aromaattisista hiilivedyistä.
- PCB: *Polyklooratut bifenyylit.* Ovat orgaanisia klooriyhdisteitä, joiden bentseenirenkaisuun on kiinnittynyt klooriatomeja.
- PCDD/F: *Polyklooratut dibentso-para-dioksiinit (PCDD) ja polyklooratut dibentsofuraanit (PCDF).* Ovat klooriatomeja sisältäviä tasomaisia kolmirenkaisia yhdisteitä.
- PIMA: Pilaantunut maa-alue. Käytetty termi maa-alueesta, jossa on haitta-aineita siinä määrin, että siitä on terveydellistä haittaa ihmiselle tai ympäristölle.
- SYKE: Suomen ympäristökeskus
- YVA: Ympäristövaikutusten arviointimenettely. ELY-keskuksen menettelytapa lupaharkinnan prosessissa.

1 Johdanto

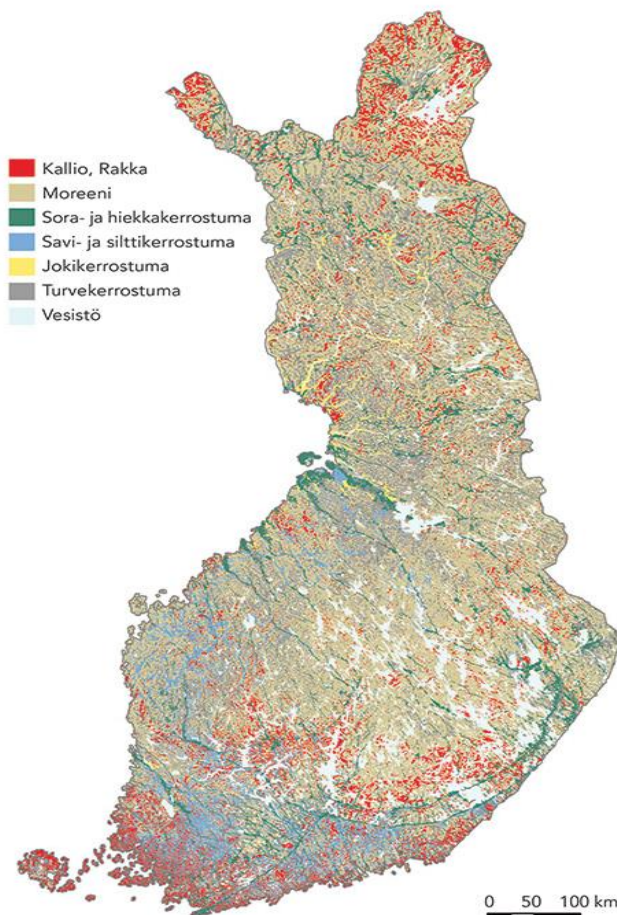
Tämä insinööriyö tehtiin yhteistyössä Finnish Consulting Group Oy:n kanssa. FCG eli Finnish Consulting Group on suomalainen konsulttiyritys, joka toimii kuntien, yritysten ja yhteisöjen kumppanina yhdyskuntasuunnittelussa, osaamisen kehittämisessä, hyvän hallinnon edistämässä ja ohjelmistokehityksessä. Konsernin omistaa kuntaliitto Holding. FCG:n ympäristöosaamiseen piiriin kuuluvat pohja- ja pintavesiselvitykset, melu- ja värinätkarkkailut sekä -mallinnukset, pilaantuneiden maa-alueiden riskienhallinta ja kunnostussuunnittelu, ympäristö- ja luontoselvitykset sekä ympäristövaikutusten arviointi (YVA). (1; 2).

Ajatus opinnäytetyöstä saatettiin alulle kesän 2021 aikana. FCG:n ympäristökunnostusosastolla oli tarve kehittää ja rakentaa lysimetrejä, joilla tutkittaisiin vajoveden laatua eräällä Etelä-Suomessa sijaitsevalla ampumaradalla. Lysimetrit ovat maahan upotettuja laitteistoja, joilla saadaan kerättyä tietoa pinta- ja vajovesien liikkeistä ja ominaisuuksista. Tutkimukset olivat osana ympäristöluvan vaatimaa tarkkailusuunnitelmaa ampumarata-alueella. Tarkkailusuunnitelmaa oli päivitetty, koska aikaisemmin myönnetty ympäristölupa kumottiin ja palautettiin käsittelyyn tiettyjen ampumaratojen osalta. (3.)

Insinööriyön alkuosa koostuu teoriaosuuksista, joissa käsitellään Suomen maaperää, pilaantuneiden maiden määräyksiä, tutkimusmenetelmiä ja niihin liittyvää lainsäädäntöä. Osioon sisältyy tietoa ampumaratojen aiheuttamista ympäristöhaitoista ja ympäristölupaprosessista. Keskiosassa perehdytään lysimetrien toimintaperiaatteisiin ja kuvaillaan suunnittelu- ja rakennusvaiheita. Loppuosassa tarkastellaan laboratorion saatuja vesinäyteanalyyskejä, arvioidaan lysimetrien toimivuutta ja tehdään tuloksien perusteella johtopäätöksiä.

2 Suomen maaperä

Suomessa maaperä on suurelta osaltaan syntynyt nykyiseen muotoonsa edellisen jääkauden jälkeen, jolloin liikkuvat jäätiköt silottivat vanhan maaperän ja veivät mennessään suurimman osan siitä. Jäljelle jäänyt maa-aines kerrostui eri maalajeiksi kallioperän päälle muodostaen uudenlaisen maaperän, jota voidaan kutsua pohjamoreeniksi. Maapeitteen paksuus ei ole yhtenäinen koko Suomen alueelle, vaan se voi vaihdella 100 m:n paksuudesta aina puhtaaseen kallioperään. Keskipaksuudeltaan maa-aineksen kerros on keskimäärin 8,5 m syvä Suomen alueella. Maaperän geologia vaihtelee alueittain (kuva 1) ja se voi sisältää useita erilaisia maakerroksia päällekkäin. (4, 5).



Kuva 1. Kartta Suomen maaperän koostumuksesta (6).

2.1 Maalajit Suomessa

Suomen maaperä voidaan luokitella kivennäismaalajeihin ja eloperäisiin maalajeihin. Kivennäismaalajit ovat muodostuneet jääkauden muokatessa maaperää, kun taas eloperäiset maalajit ovat muodostuneet kasvien ja muiden eliöiden jäänteistä. Kivennäismaiksi luokitellaan maalajit, joiden koostumuksesta alle 20 % sisältää eloperäistä aineista. Eloperäisiin maalajeihin luokitellaan turve ja humus, jotka ovat syntyneet eloperäisen orgaanisen aineen hajotessa. (7.)

Kivennäismaalajeihin kuuluvat moreeni, sora, savi, siltti ja hiekka. Moreeni on Suomen yleisin maalaji, sekoitus erilaisia maalajeja ja sitä esiintyy laajalla alueella, kuten metsien, savikoiden ja turvemaiden alla. Muut kivennäismaalajit, kuten hiekka, savi ja siltti, syntyivät jääkauden jälkeen, kun karkeimmat ainekset laskeutuivat nopeimmin pohjaan ja hienempi maa-aines kulkeutui kauimmaksi jääalueista. Suomessa on ollut tapana käyttää pilaantuneiden maa-alueiden tutkimisessa GEO-luokitusta, mutta sen rinnalle on tullut myös kansainvälinen ISO-maalukitus (ISO 14688-1 ja ISO 14688-2). Taulukossa 1 on esitetty GEO- ja ISO-luokitusten maalajit, lyhenteet ja raekoot. (7; 8, s.12.)

Taulukko 1. Päämaalajien luokituksia. (8, s. 12.)

Maalaji	GEO-luokitus	Raekoko	ISO-luokitus	Raekoko
Savi, Clay	Sa	alle 0,02 mm	Cl	alle 0,002 mm
Siltti, Silt	Si	0,02–0,06 mm	Si	0,002–0,063 mm
Hiekka, Sand	Hk	0,06–2,0 mm	Sa	0,063–2,0 mm
Sora, Gravel	Sr	2,0–60,0 mm	Gr	2,00–63,0 mm
Moreeni, Till	Mr	Sekalainen	S(soil)	

2.2 Maalajien luokittelu

Moreeni on Suomen yleisin pintamaalaji, joka koostuu niin karkeasta kuin hienommasta aineesta. Määritelmän mukaan maa-ainesta voidaan kutsua moreeniksi, jos se sisältää vähintään 5 % sekä karkeaa että hienompaa maata. Sen ominaisuudet vaihtelevat koostumuksen mukaan ja jos mukana on paljon

hienoainesta, sen vedenjohtavuus on yleensä huono. Yksi moreenin tunnusmerkeistä on sen seassa esiintyvät kulmikkaat kivet, ja sitä esiintyy Suomen luonnossa pohjamoreenina kallioperän päällä tiiviinä kerroksena. (8, s. 12–13.)

Savi on kaikkein hienojakoisin maalaji, ja sen raekoko on alle 0,002 mm. Tästä syystä savikerrokset läpäisevät vettä heikosti ja vesi pyrkii liikkumaan horisontaalasti savikerroksen pintaa pitkin. Väriltään savi on yleensä harmaansävyistä, ja se on muodostunut mineraalihiukkasmassasta. (8, s. 12–13.)

Siltti on saven kaltainen maalaji, mutta se on raekooltaan hieman karkeampaa (0,002–0,06 mm) saveen verrattuna. Siltti on usein harmaan sävyistä, mutta voi olla sävyltään myös ruskeaa. Siltti sekoitetaan monesti saven kanssa, mutta hyvä keino niiden erottamiseen on tehdä pyöritystesti. Savea sormenpäissä pyöritettäessä siitä muodostuu helposti soiron mallinen kappale, kun taas siltti halkeilee helpommin, eikä siitä muodostu yhtenäistä kappaletta niin helposti. (8, s. 12–13.)

Hiekka on raekooltaan 0,06–2,0 mm, ja hiekan partikkelit ovat erotettavissa toisistaan. Yleensä vesi läpäisee hiekkakerroksen kohtuullisen hyvin, jos se on puhdasta hiekkaa eikä seassa ole silttiä. Hiekka voidaan tietyissä tapauksissa eritellä myös karkeaan ja hienompaan hiekkaan. (8, s. 12–13.)

Sora on hiekkaan verrattuna paljon karkeampaa, raekooltaan 2,0–60 mm. Karkealla soralla on todella hyvä vedenjohtavuus siitä syystä, että huokoisen rakenteen ansiosta partikkelien väliin jää paljon tilaa, jossa vesi pääsee liikkumaan vapaasti. Jos soran raekoko kasvaa yli 60 mm:n, sitä kutsutaan jo lohka-reiksi. (8, s. 12–13.)

Humus ja turve ovat eloperäisiä maa-aineksia, jotka ovat syntyneet orgaanisten aineiden hajotessa erilaisten prosessien jälkeen. Kivennäismaalajien ja eloperäisen maa-aineksen kemialliset reaktiot eroavat tyypillisesti toisistaan, niiden kohdatessa haitta-aineita. (8, s. 12–13.)

Täyttömaat ovat luonnottomia maa-alueita, jotka ovat ihmisten aikaansaamia. Isoissa kaupungeissa ja keskuksissa pilaantuneen maa-alueen tutkimukset keskittyvät yleensä alueille, joissa ainakin osa maakerroksista koostuu täyttömaasta. Täyttömaan ominaisuudet määräytyvät sen perusteella, mitä maalajeja se pitää sisällään. (8, s 12–13.)

2.3 Maalajien ominaisuudet

Maalajien ja niiden kerrosten ominaisuudet vaikuttavat eri aineiden kulkeutumiseen ja käyttäytymiseen maaperässä. Fysikaaliset ominaisuudet vaikuttavat lähinnä aineiden kulkeutumiseen veden tai kaasujen mukana, kun taas kemialliset ominaisuudet vaikuttavat aineiden esiintymisfaasiin, liukenevuuteen ja pidentäytymiseen. Jotta erilaisten aineiden käyttäytymistä osattaisiin ennustaa maaperässä, tarvitaan tietoa viettosuunnista, maalajeista, maakerrosten paksuudesta ja kerroksista, huokoisuudesta, orgaanisen hiilen pitoisuudesta, pH:sta ja hapetus-pelkistysolosuhteista. Karkeissa maalajeissa, kuten hiekka ja sora, vesi pääsee virtaamaan nopeammin maa-aineksen läpi verrattuna hienoihin maalajeihin, kuten saveen ja silttiin. (8, s. 11.)

Haitta-aineiden kulkeutuminen ja leviäminen maaperään ja sitä kautta vesistöihin riippuu pitkälti niiden kemiallisista ja fysikaalisista ominaisuuksista sekä maaperän koostumuksesta. Haitta-aineilla on kemiallisen rakenteen vuoksi erilaisia fysikaalisia piirteitä, joita ne pyrkivät toteuttamaan maaperään joutuaan. Kulkeutumisriskin kannalta merkittävimpiä ominaisuuksia ovat haihtuvuus, vesiliukoisuus ja haitta-aineiden kyky kiinnittyä maa-ainekseen. Ominaisuuksien perusteella aineet voidaan jaotella ryhmiin, kuten haihtuvat ja heikosti haihtuvat, vesiliukoiset ja veteen niukkaliukoiset sekä helposti kulkeutuvat ja kulkeutumattomat haitta-aineet. (8, s. 11.)

3 Lainsäädäntö

Maaperän pilaantumista, pilaantuneiden maa-alueiden kunnostamista ja maaperän suojelua koskevat useat lait ja säädökset Suomessa. Keskeisiä lakeja ja asetuksia ovat ympäristösuojelulaki 527/2014, asetus maaperän pilaantuneisuudesta ja puhdistusarvioinnista 214/2007, asetus kaatopaikoista 2013/331 ja kemikaalilaki 599/2013. Lisäksi on muitakin lakeja, asetuksia ja ohjeita, jotka koskevat tai liittyvät epäsuorasti pilaantuneisiin alueisiin ja niiden muokkaamiseen. Esimerkiksi rakentamiseen liittyvät säädökset voivat olla tällaisia, mutta niiden tarkempi läpikäyminen on rajattu pois tästä työstä.

3.1 Ympäristönsuojelulaki 527/2014

Ympäristönsuojelulakia 527/2014 sovelletaan teollisuuden ja muiden alojen toimintaan, jotka aiheuttavat tai saattavat aiheuttaa ympäristön pilaantumista. Lakia sovelletaan myös toimintaan, jonka seurauksena syntyy jätettä ja jätteenkäsittelyä. Ympäristönsuojelulain tarkoituksena mm. ehkäistä ympäristön pilaantumista, turvata terveellinen ja monimuotoinen ympäristö, edistää luonnonvarojen kestävä käyttöä, tehostaa vaikutusten arviointia pilaavan toiminnan takia ja parantaa kansalaisten mahdollisuuksia vaikuttaa ympäristöä koskevaan päätöksentekoon. Päästöt ympäristöön aiheuttavat ympäristön pilaantumista ja päästöllä tarkoitetaan aineen, energian, melun, värinän, säteilyn, valon, lämmön tai hajun päästämistä suoraan tai epäsuorasti ilmaan, veteen tai maaperään. Ympäristöpäästöjen seurauksia voivat olla terveyshaitat, haitat luonnolle tai luontoarvojen heikkeneminen, luonnonvarojen käyttämisen vaikeutuminen, ympäristön viihtyisyyden heikentäminen tai kulttuuriarvon vähentäminen, ympäristön virkistyskäytön alentaminen sekä yleisesti ympäristön vahinkoa aiheuttava toiminta. (9.)

3.2 Asetus maaperän pilaantuneisuudesta ja puhdistusarvioinnista 214/2007

Valtioneuvoston maaperän pilaantuneisuus ja puhdistusarvio -asetuksessa käsitellään maaperän pilaantuneisuutta ja puhdistamisarviointia koskevista säännöistä. Asetusta ei sovelleta vesistöjen pohjakerrostumisten pilaantumiseen ja puhdistustarpeen arviointiin. Asetuksessa on määritelty, että arvioinnin tulee perustua maaperässä olevien haitallisten aineiden aiheuttamaan haittaan tai varaan ihmiselle tai ympäristölle. Arvioinnissa on otettava seuraavia asioita huomioon, kuten haitallisten aineiden pitoisuudet, kokonaismäärät, ominaisuudet, sijainti ja taustapitoisuudet maaperässä. Jos maaperää epäillään pilaantuneeksi, täytyy haitallisten aineiden kulkeutuminen ja leviäminen alueella selvittää maaperä- ja pohjavesiolosuhteiden perusteella. Pilaantuneeksi epäillyn alueen historia, nykyinen ja tuleva toiminta on syytä selvittää, jotta osataan arvioida haitallisten aineiden vaikutuksia lyhyen ja pitkän ajan kuluessa. Arviointiin vaikuttaa useamman haitallisen aineen esiintyminen alueella ja niiden aiheuttamat yhteisvaikutukset. Mikäli pilaantuneen maaperän käyttäminen ja olosuhteet muuttuvat jo tehdyn arvioinnin jälkeen oleellisesti, on syytä puhdistustarve arvioida uudestaan. (10.)

Asetuksen liitteessä on lueteltu 52 yleisintä haitta-ainetta, jotka aiheuttavat maaperän pilaantuneisuutta. Liitteessä on tietoja haitallisten aineiden pitoisuuksien kynnys- ja ohjearvoista. Kynnys- ja ohjearvoja käytetään riskinarvioinnin apuna ja asetuksen lisäksi arviointiin sovelletaan ympäristöministeriön julkaisemaa ohjetta: pilaantuneen maa-alueen riskinarviointi ja kestävä riskinhallinta 6/2014. Ohje tarkentaa PIMA-asetusta 214/2007, ohjaa arvioinnin suorittamista ja sisältää päätöksentekoa tukevaa taustatietoa. (10.)

3.3 Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 331/2013

Asetuksen 2013/331 tarkoitus on pintavesien, pohjavesien, maaperän ja ilman pilaantumisen ehkäiseminen. Lailla ohjataan kaatopaikkojen suunnittelua, perustamista, rakentamista, käyttöä, ylläpitoa, käytöstä poistamista, jälkihoitoa ja jätteiden sijoittamista siten, ettei niistä aiheudu vaaraa tai haittaa terveydelle edes pitkän ajan kuluessa. (11.)

Pilaantuneelle maa-ainekselle on määritelty PIMA-asetuksessa 214/2007 yleisempien haitta-aineiden pitoisuuksien kynnykset ja ohjearvot. Alueita voidaan pitää yleisesti pilaantuneina, jos raja-arvot ylittävät sallitut arvot. Pilaantuneen maaperän kaivettujen massojen käsittely ja varastointi määräytyvät arvioiden mukaan. Maamassojen loppusijoituskohteena voi olla kaatopaikat, mikäli maaperän pilaantuneisuus ylittää sallitut rajat, eikä maa-ainesta voida muuten hyödyntää. Maamassojen toimittamisesta vastaanottopaikkoihin on sovittava etukäteen ja vastaanottopaikat vaativat asetuksen 331/2013 vaatimat tiedot jätteestä. (11; 12.)

3.4 Kemikaalilaki 599/2013

Kemikaalilain 599/2013 tarkoituksena on ympäristön ja terveyden suojeleminen kemikaalien aiheuttamilta vaaroilta ja haitoilta. Laki perustuu yhteiseen Euroopan unionin asettamaan kemikaalilainsäädäntöön, joita jäsenvaltiot sitoutuvat noudattamaan. Suomessa kemikaalien terveyshaittojen valvontaviranomainen on sosiaali- ja terveysministeriö ja ympäristölle aiheutuvien vaarojen valvontaviranomainen on ympäristöministeriö. Käytännössä kemikaalien käyttämisen valvonnasta vastaa kuitenkin Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) ja ympäristöasioissa Suomen Ympäristökeskus (Syke) sekä alueelliset elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset (ELY-keskukset). (13.)

4 Pilaantuneet maa-alueet

Pilaantuneella maalla tarkoitetaan maa-aluetta, johon on päätyntä ihmisen toiminnan seurauksena haitallisia aineita siinä määrin, että niistä aiheutuu haittaa tai merkittävä riski ympäristölle tai terveydelle. Haitalliset aineet voivat esiintyä PIMA-alueilla maaperässä, pohjavedessä tai siihen kuuluvalla vesialueella. Pilaantunut alue voidaan rajata tietyn suunnittelu- tai rakennusalueen rajojen perusteella, ja samalla alueella voi olla useita pilaantuneita ja pilaantumattomia osa-alueita. Pilaantunut alue voidaan myös arvioida suoraan haitta-aineiden alueellisen esiintymisen perusteella. Maa-alueiden pilaantuneisuus määräytyy riskinarvioinnin perusteella ympäristölainsäädännön mukaisesti ja aineiden ominaisuudet, pitoisuudet, kokonaismäärät, sijainti ja nykyinen sekä tuleva maankäyttö vaikuttavat arvioon pilaantuneisuudesta. (14.)

Yleisiä maaperän ja vesistöjen pilaantuneisuuden aiheuttajia Suomessa ovat polttoaineen jakelupisteet ja niiden kuljetustoiminta, sahateollisuus, ampumarata-alueet, kaatopaikat ja jätteenkäsittely, taimitarhat, kemialliset pesulat, onnettomuustilanteet sekä teollinen toiminta. Edellä mainittujen toimintojen seurauksena maaperä on voinut altistua vuosien ajan päästöille, riippuen millaista toimintaa alueella on harjoitettu. Yleisimpiä löydettyjä haitta-aineita PIMA-tutkimuksissa ovat öljyhiilivedyt, raskasmetallit, erilaiset liuottimet, torjunta-aineet, polyaromaattiset hiilivedyt (PAH), polyklooratut bifenyylit (PCB) sekä dioksiini- ja furaaniyhdisteet (PCDD/F). Taulukossa 2 on esitetty, millaisia haitta-aineita erityyppisistä toiminta-aloista voi ympäristöön päätyä. Taulukon alapuolella on selitykset taulukossa esiintyville haitta-aineiden lyhenteille. (8, s. 8; 14.)

Taulukko 2. Yleisiä maaperän ja pohjaveden pilaantumista aiheuttavia toimialoja ja haitta-aineita Suomessa. (8, s. 8.)

Kohde	Haitta-aineet	
Faasi	Maaperä	Pohjavesi
polttoainejakelu	öljyhiilivedyt, BTEX, bensiinin lisäaineet	öljyhiilivedyt, BTEX, bensiinin lisäaineet
sahat ja kyllästämöt	PCP, PCDD/F, PAH, fenolit, metallit	PCP, PAH, fenolit, metallit
ampumaradat	metallit, PAH	metallit
jätteenkäsittely ja romuttamot	öljyhiilivedyt, metallit	metallit
taimi- ja puutarhat	torjunta-aineet	torjunta-aineet
kemialliset pesulat	Klooratut liottimet	klooratut liottimet
muu teollisuus	metallit, PAH, öljyhiilivedyt, muut haitta-aineet	öljyhiilivedyt, metallit, muut haitta-aineet

BTEX = haihtuvat yhdisteet: bentseeni, tolueni, etyylibentseeni, ksyleeni

MTBE = Metyylitertiääributyylieetteri, bensiinin komponentti

PCP = pentakloorifenooli

PCDD/F = dioksiini ja furaanit

PAH = polyaromaattiset hiilivedyt

TRI = trikloorietyleeni

PER = perkloorietyleeni

Pilaantunut maaperä ja siihen kuuluvat vesialueet täytyy puhdistaa, jos on syytä epäillä, että pilaantuminen aiheuttaa ympäristöriskin tai on syytä epäillä pilaantumisen aiheuttavan terveysriskin. Usein puhdistaminen tapahtuu rakentamisen yhteydessä tai pilaantumista aiheuttavan toiminnan päättyessä. Puhdistusvastuu on ensisijaisesti pilaantumisen aiheuttajalla ja puhdistamistarvetta arvioidaan tutkimusten perusteella. Arvioinnissa suoritetaan tutkimuksia kohteessa ja ympäristö- ja terveysriskien pohjalta tehdään päätöksiä alueen puhdistamisesta. Vanhemmissa pilaantunutta koskevissa tapauksissa puhdistamisvastuu voi olla epäselvä, koska 1970-luvun jälkeen pilaantumiseen on alettu puuttumaan lainsäädännöllä. Maa-alueen pilaamisesta voi joutua korvausvastuuseen, jos tapauksista ilmenee lainsäädännön tai lupamääräysten vastaista toimintaa. (15.)

4.1 Pilaantuneiden maa-alueiden tutkiminen

Pilaantuneen maaperän tutkiminen aloitetaan keräämällä tietoja alueiden historiasta, maankäytöstä ja ympäristöolosuhteista. Historianselvityksellä pyritään etsimään tietoa maaperän mahdollisesta pilaantumisesta alueen aikaisemman käytön perusteella. Kuinka paljon tietoja tarvitaan, riippuu pitkälti kohteen luonteesta ja tutkimuksien laajuudesta. Lähtökohtaisesti dataa on hyvä olla riittävä määrä, sillä tietojen perusteella laaditaan tutkimussuunnitelma ja arvioidaan mahdollisia riskejä. (16). Seuraavat historiatiedot ovat tärkeitä suunnitelman laatimisessa:

- karttatarkastelut eri vuosikymmeniltä
- alueiden toiminnan luonne ja niihin käytetyt alueet
- alueella käytetyt kemikaalit ja aineet
- edellisten toimijoiden haastattelut
- toiminta-aika ja toiminnan laajuus
- viranomaisten rekisterit, valvonta- ja lupatiedot
- aiemmat tutkimukset.

Historiantietojen lisäksi ympäristöolosuhteiden selvittäminen on tärkeää tutkimuksien ja näytteenoton suunnittelun kannalta. Tietoja tarvitaan esim. alueiden pohjavesialueista, pintavesistä, asutuksesta ja luonnonsuojelualueista. Ympäristötutkimuksien tiedonhankintamenetelmiä voivat olla maaperä-, huokoskaasut- ja vesinäytteet, jotka tulee suunnitella niin, että alun perin haluttu tieto saadaan selville. Tutkimussuunnitelma voidaan toteuttaa ja laatia, kunhan tarvittava dataa on kerätty riittävä määrä ja se on todettu luotettavaksi. Tutkimussuunnitelman sisältöön kuuluvat ympäristöolosuhteiden selvitys, tutkimusmenetelmien määrittäminen ja historiatietojen, sekä tärkeän datan kerääminen. (16.)

Riskiarviointia tehdessä hyödynnetään tutkimuksista saatuja tuloksia vertaamalla niitä PIMA-asetuksen kynnysarvoihin, alueiden taustapitoisuuksiin ja muihin vertailuarvoihin. Mikäli kynnysarvot, taustapitoisuudet tai muut tärkeiksi määritellyt arvot ylittyvät, alueen pilaantuneisuus ja kunnostustarve täytyy

selvittää tarkemmin. Tavoitteena on selvittää riskien kannalta vaaralliset aineet, niiden lähteet, mahdolliset kulkeutumisreitit ja altistumistilanteet. Toteutumistapa arvioinnille valitaan tapauskohtaisesti tutkittavan kohteen mukaan ja yksinkertaisin tapa on verrata tutkimuksista saatuja mitattuja pitoisuuksia suoraan PIMA-asetuksen ohjearvoihin. Vertailua tehtäessä on hyvä muistaa, että asuin- ja virkistysalueilla sovelletaan alempaa ohjearvoa ja teollisuus-, varasto- ja liikennealueilla käytetään ylempää ohjearvoa. (17.)

4.2 Pilaantuneiden maa-alueiden näytteenottomenetelmät

Pilaantunutta maaperää tutkitaan ottamalla siitä näytteitä erilaisilla menetelmillä, jotka on määritelty tutkintasuunnitelmassa ennakkoon, yleensä ennen näytteenottotapahtumaa. Selvityksistä huolimatta kannattaa näytteenottajan varautua kohteissa esiintyvien haitta-aineiden olomuotojen eri faaseihin ja koostumuksiin. Näytteenottoaikat on yleensä valmiiksi määritelty tutkintasuunnitelmassa tai erillisessä näytteenottosuunnitelmassa.

4.2.1 Koekuoppa

Koekuoppatutkimukset ovat yleisesti käytetty menetelmä pilaantuneiden maiden tutkimuksissa, varsinkin silloin, kun pilaantuneen maa-aineksen epäillään sijaitsevan pintakerroksissa. Kaivuu tehdään yleensä kaivinkoneen avulla sen tehokkuuden ansiosta, varsinkin jos kaivettavia kuoppia on määrällisesti paljon. Näytteenottaja seuraa kuopan kaivamista, ohjaa koneen kuljettajaa ja kirjaa havaintoja ylös maaperän ominaisuuksista. Huomionarvoisia havaintoja ovat maakerrokset ja maalajit, kivien ja lohkareiden osuus maamassasta, kuopan seinämien rakenne ja pysyvyys, pohjaveden korkeustaso sekä havainnot kalliopinnoista. Maanäytteet otetaan pienellä kenttälapiolla esim. Rilsan näytteenottopusseihin, jotka ovat kaasutiiviitä, ja tästä syystä näytteet pysyvät edustavina laboratorioiden analyysejä varten (18). Turvallisuussyistä kaivantoon menemistä on syytä välttää yli metrin syvyisissä kuopissa. Näyte saadaan otettua kuopan pohjalta kaivinkoneen kauhan avulla. Olennaista on, että käytettävä kauha on puhdas,

eikä näytteen kontaminaatoriskiä esim. kaivinkoneen öljyisistä osista pääse syntymään. (8, s. 33–34; 19.)

4.2.2 Kairaus

Tutkimusvaunuja käytetään maaperän geotekniseen tutkimiseen, ja ne soveltuvat hyvin myös pilaantuneiden maiden maaperätutkimuksiin. Tutkimusvaunuilla kairataan tai porataan maahan reikiä ja niillä saadaan otettua näytteenottimien avulla maanäytteitä halutuista syvyyksistä. Niitä on saatavilla 1 000 kg:sta aina 12 000 kg:n kokoluokkaan asti. Vaunuja kutsutaan poravaunuiksi, jos ne varustettu iskuvasaralla, ja silloin ne soveltuvat myös kivisen maan tai kallion poraamiseen. Ilman iskuvasaraa olevat vaunut ovat kooltaan pienempiä, ja niitä kutsutaan kairavaunuiksi. Ympäristönäytteissä käytetään yleisesti porausvaunuja, koska yleensä näytteenottimet ovat halkaisijaltaan suuria verrattuna pelkkään kairatankoon ja vaativat tutkimusvaunuilta enemmän voimaa. Näytteenottimien päätyypit ovat putkinäytteenotin, sisäputkinäytteenotin ja kierrekaira. (8, s. 29–30.)

Kairauksen isoimpia etuja on sen soveltuvuus tiheään rakennettuihin alueisiin, koska tutkimusreikä halkaisijaltaan on varsin pieni, noin 10 cm. Kairausmenetelmää suositetaan myös tapauksissa, joissa oletetaan haitta-aineiden kulkeutuneen syvälle maaperään. Heikkouksina voidaan pitää näytteiden kontaminoitumisvaaraa pystysuunnassa, mikäli halutusta syvyydestä otettu näyte altistuu esim. pintakerrosten maa-aineelle. Tutkimusvaunuissa käytetään paljon hydraulikkaa ja osia rasvataan käytön aikana, joten niiden käyttämisessä on syytä olla huolellinen kontaminaatiovaaran osalta. (8, s. 29–30.)

4.2.3 Maa-aineksen kasaaminen

Maa-ainesta voidaan myös kaivaa kasalle kaivinkoneilla, mikäli koekuoppien kaivamiselle ei koeta tarvetta. Kasat voidaan myös eritellä maakerrosten mukaan tai syvyysalueiden perusteella. Usein työmailla tilan puute on kuitenkin rajoittava tekijä kasaamisen suhteen, varsinkin pääkaupunkiseudulla.

Pilaantuneen maaperän tutkimuksissa otetaan usein maanäytteitä maasta kaivetuista kasoista, kun selvitetään maamassojen hyötykelpoisuutta ja käsittely- tai loppusijoituspaikkaa. Kasanäytteen on tarkoitus edustaa koko kasan koostumusta, joten maa-ainesten massasta riippuen, tarvitaan useita osa- ja kokoonäytteitä. (8, s. 35.) Kuvasta 2 nähdään esimerkki maan kasalle kaivamisesta eräällä työmaalla.



Kuva 2. Pima-työmaalla kaivettua maa-ainesta, joka on läjitetty.

4.2.4 Käsikäyttöiset ottimet

Käsikäyttöisillä ottimilla näytteenotto suoritetaan ilman konevoimaa. Työvälineinä käytetään keräinastioita, lapioita, poria, putkiottimia tai kairoja, mutta paljon pienemmässä mittasuhteessa verrattuna koneelliseen kairaukseen. Käsikäyttöisten näytteenottimien hinta ja ylläpito on reilusti halvempaa koneellisiin menetelmiin verrattuna. Etuina voidaan myös pitää näytteiden ottamisen helpoutta ja nopeutta, mikäli näytteenottosyvyys on alle metrin. Rajoitteena voidaan pitää pieniä näytemääriä ja näytekohtien rajoittumista pintakerrokseen. (8, s. 35–36.)

4.2.5 Vesitutkimukset

Vesinäytteistä voidaan tutkia merkkejä pilaantumisesta aistinvaraisella arvioinnilla ja ottamalla näytteitä alueelta, joita epäillään pilaantuneeksi. Pohjavesitutkimuksissa näytteet otetaan pohjavesiputkesta, kaivosta tai lähteestä. Tarvittavien näytteiden määrä ja oletetut haitta-aineet tiedetään yleensä ennakkoon, joten näytteenottajalla on paikan päälle mennessään alustava näytteenottosuunnitelma. Pohjavesinäytteenottoon on olemassa Syken yleinen toimintamalli, jota päivitetään vuosittain. Sen avulla pyritään ylläpitämään laadukasta pohjavedenottoa ja toimintamallia voidaan hyödyntää suunniteltaessa näytteenottoa sekä sen toteutuksessa. (16; 20). Kuvassa 3 otetaan vesinäytteitä pohjavesiputkesta.



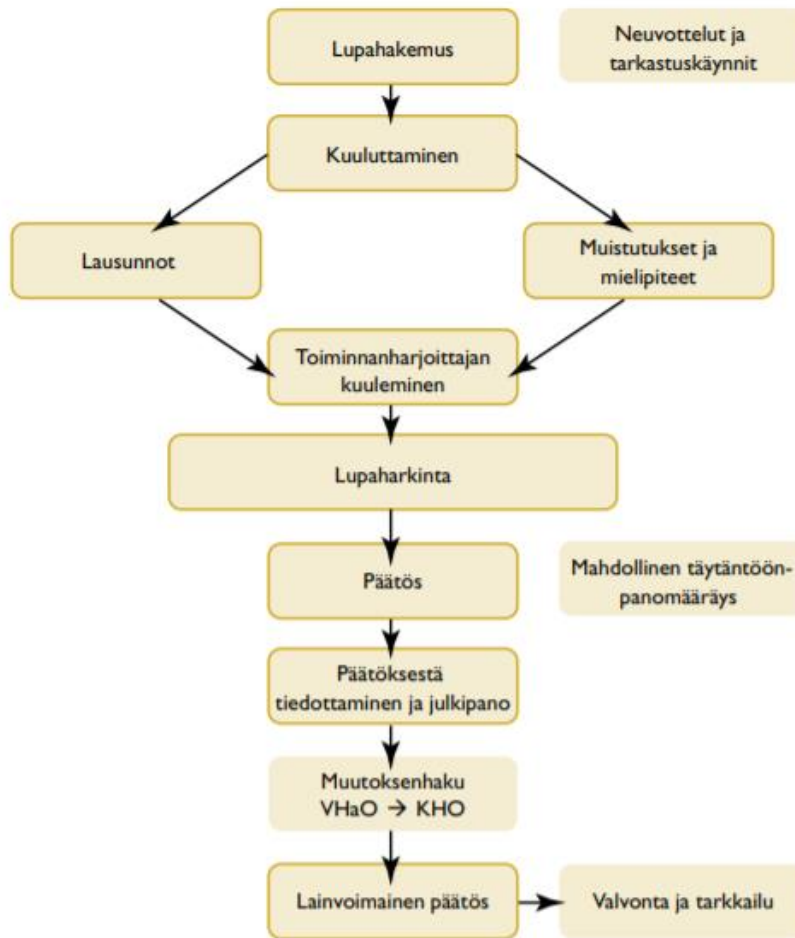
Kuva 3. Vesinäytteenottoa pohjavesiputkesta.

Pintavesitutkimuksessa vesinäytteet otetaan joista, puroista, järvistä, lammista tai ojista erilaisilla ottimilla. Oleellista on edustavan näytteen saaminen. Tavallisesti isompien vesistöjen kohdalla näytteet otetaan noin metrin syvyydestä ja keskisyvyyden kohdalta. Pienempien vesistöjen, kuten ojien tapauksissa pyritään näyte ottamaan keskisyvyydeltä. Pilaantuneiden maiden tutkimuksissa on oleellista selvittää haitta-aineiden kulkeutumista eri puolille valuma-aluetta. (16.)

5 Ampumaratojen ympäristöluvut

Suomessa on arviolta noin 800 ampumarata-aluetta, joita ylläpitävät pääasiassa metsästys-, harrastus- ja urheiluseurat. Puolustusvoimilla on noin 50 ampumarataa käytössä ja myös rajavartiolaitos, poliisi sekä kunnat ylläpitävät pientä osaa Suomen ampumaradoista. Ammuntaa harrastaviin käyttäjiin kuuluu metsästysseurojen, ampumaseurojen, ja reserviläisyhdistyksien jäseniä. Lisäksi on ammatissaan ampumataittoa tarvitsevia ammattiryhmiä, kuten tullin, poliisin, armeijan ja rajavartiolaitoksen henkilökuntaa. Ympäristölupien myöntäminen ampumaradoille kuuluu pääasiassa kuntien ympäristösuojeluviranomaisille ja aluehallintovirastoille. (21, s. 8.)

Ympäristölupaa vaaditaan toimintaan, josta saattaa aiheuta ympäristön pilaantumisen vaaraa ympäristösuojelulain mukaisesti. Ampumarata-alueet tarvitsevat ympäristöluvan toimiakseen, mikäli ne sijaitsevat ulkona ja niillä käytetään ruutiaseita. Ympäristönlupamenettely on prosessi, joka on tarkoin säädelty ympäristönsuojelulaissa ja -asetuksissa. Itse ympäristölupapäätös koostuu useasta eri osasta. Kertoelmaosa on kuvaileva osa hakemuksesta, ja siihen liittyvistä lausunnoista ja muistutuksista. Ratkaisuosassa käsitellään viranomaisen päätöksiä ja toimintaa ohjaavien määräyksien perusteluja. Päätösasiakirjoihin sisältyy lisäksi valitusosoitus, josta selviää ohjeet muutoksenhakuoikeuden käyttämiseen. Ampumaratojen toiminnalle ympäristölupapäätös voidaan myöntää toislaiseksi voimassa olevaksi tai määrääjäksi, riippuen tapauksesta. (21, s. 8–9.) Kuvassa 4 on esitetty ympäristölupamenettelyn eri vaiheita ja prosessi kokonaisuudessaan.



Kuva 4. Ympäristöluvan menettelyprosessi. (22, s. 47).

Ympäristösuojelulain valtuuttamia valvontaviranomaisia ovat ympäristönsuojeluviranomaiset ja aluetta hallinnoiva ELY-keskus. Ympäristöluvan valvominen määräytyy pääosin ympäristöluvassa määrättyihin ja tarkkailusuunnitelmassa esitettyihin tarkkailu- ja raportointimääräyksiin. Toiminnanharjoittajalla on velvollisuus pitää valvontaviranomainen ajan tasalla ja ilmoittaa mahdolliset muutokset viipymättä valvontaviranomaisen tietoon. (22, s. 54.)

5.1 Ympäristövaikutukset

Ampumaratojen ympäristövaikutuksiin kuuluvat ratojen rakentaminen ja ylläpitäminen, amunnasta aiheutuvat päästöt, melu sekä liikenteeseen liittyvät välilliset päästöt. Merkittävimmät ympäristövaikutukset kohdistuvat meluun sekä

maaperän ja vesistöjen laadun heikkenemiseen. Ampumaratojen sijainnilla on suuri merkitys vesistöjen suhteen siinä mielessä, että ovatko ne rakennettu luokitetuille pohjavesialueille. Suomessa toimivista radoista arviolta 300 on rakennettu pohjavesialueille, joista toiminnassa vielä on noin 200 ampumarataa. (21, s. 20.)

Ampumarata-alueiden läheisyydessä asuvien keskuudessa koetaan yleensä melu häiritseväksi tekijäksi. Suurin melusaaste syntyy laukaisuäänestä ja se suuntautuu ampumissuunnan mukaisesti suoraan eteenpäin. Siviiliratojen käytöaste on suurimmillaan arki-iltoina ja viikonloppuisin, joka on otettu huomioon lupapäätöksissä. Äänitasoja ja toiminta-aikoja on pyritty hillitsemään ympäristölupaan sisältyvillä määräyksillä. Melun aiheuttamia haittavaikutuksia voidaan vähentää oikeanlaisella suunnittelulla ja ratojen suuntauksella. Mikäli ampumarata-alueilla ei esiinny luontaisesti ääntä torjuvia pinnanmuotoja ja korkeuseroja, voidaan rakentaa meluvalleja, aitoja, seiniä tai ampumakatoksia. (21, s. 20.)

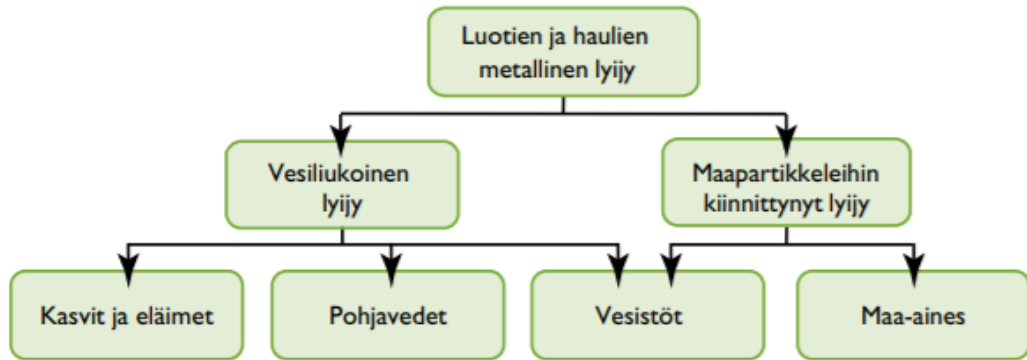
Maaperä-, pinta- ja pohjavesivaikutuksia aiheuttavat lähinnä hauleista ja luodeista irronneet metallit ja puolimetallit sekä haulikkoammunnassa käytettävät savikiekot, jotka päätyvät maaperään. Laukauksien jälkeen luodit ja haulit eivät välttämättä päädy välittömästi maahan asti, vaan ne voivat kiinnittyä myös ampumaratojen rakenteisiin. Rakenteiden rapistuessa ja kemiallisten reaktioiden alkaessa ne päätyvät lopulta kuitenkin maaperään, jossa niistä vapautuu haitta-aineita. (21, s. 22–25.)

Luotien valmistuksessa materiaalina on yleensä käytetty lyijy-ytimiä ja vaippojen osalta kuparia ja sinkkiä. Aikaisemmin käytettiin myös jonkin verran nikkeliä ja lyijyn seosaineena on käytetty antimonia ja arseenia. Haulien materiaalina käytetään pääasiassa lyijyä ja pieniä määriä antimonia ja arseenia. Lyijyä pidetään yleisesti vaarallisena haitta-aineena, koska se aiheuttaa jo pieninä pitoisuuksina eliöille ja kasveille ongelmia. Vaikutukset ihmisiin voivat kohdistua keskushermoston, munuaisten ja luuston vajaatoimintaan, ja erityisesti lapset ovat alttiita lyijyn vaikutuksille. (21, s. 22–25.)

Savikiekot koostuvat yleensä kalsiitista ja kivihiilitervasta. Kivihiilitervan tiedetään sisältävän PAH-yhdisteitä esim. fluoranteenia, bentso(b)antraseenia, bentso(b)fluoranteenia, bentso(k)fluoranteenia, bentso(b)pyreeniä, dibentso (a, h)antraseenia ja kryseeniä. Arvioiden mukaan savikiekkojen massasta noin 0,2 % sisältää näitä polyaromaattisia hiilivetyjä. Nykyään on olemassa niin sanottuja ekokiekkoja, joiden PAH-yhdisteiden määrät on huomattavasti alempia, arvioiden mukaan noin 0,009 % kiekkojen massasta. (21, s. 22–25.)

5.2 Haitta-aineiden leviäminen

Metalliset luodit ja haulit eivät aiheuttaisi ampumaradoilla niin merkittävää ympäristö ja terveysriskiä, jos ne säilyisivät maaperässä alkuperäisessä koostumuksessa. Riskit päästöistä kasvavat, kun metallit alkavat reagoida kemiallisesti ympäristönsä kanssa. Osa aineista voi liueta maaperään suotautuvan veden mukana, osa saostuu eri mineraaleina tai kiinnittyy maaperään pienhiukkasten avulla. Vallitsevilla ympäristöolosuhteilla on todettu olevan erittäin suuri vaikutus haitta-aineiden kulkeutumisessa ja leviämisessä. Luotien ja haulien osalta kosteus, lämpötila, maalajit, happamuus, humuspitoisuus ja kationinvaihtokapasiteetti vaikuttavat rapautumiseen suuresti. Kationinvaihtokapasiteetti kuvaa kuinka paljon maahiukkanen voi pidättää positiivisesti varautuneita ioneja (kationeja) maa-aineksen pinnoille (22). Humus, kasvit ja mikro-organismit voivat nopeuttaa kemiallisia reaktioita mutta toisaalta osa niistä kykenee myös sitomaan metalleja itseensä. (21. s. 22–25.) Kuvasta 5 nähdään lyijyn tyypilliset kulkeutumisreitit ampumarata-alueilla.



Kuva 5. Lyijyn kulkeutumisreitit esitetty kaaviona (21, s. 24.)

Hyvin vettä läpäisevällä maaperällä haitta-aineiden kulkeutuminen pohjaveteen on todennäköisempää verrattuna esim. savipitoisiin maaperiin, jotka läpäisevät vettä heikosti. Tiiviissä maaperässä veden virtaussuunnat ovat enemmänkin horisontaalisia, jolloin haitta-aineiden leviäminen kohdistuu ympärillä oleviin pintavesiin. Riskit ympäristön pilaantumiselle kasvavat, mikäli metallit pääsevät suoraan kosketukseen veden kanssa. Kuivemmassa maaperässä liukoisten aineiden muodostuminen on hitaampaa, kuin kosteissa veden kyllästyneissä maaperissä. (21. s. 22–25.)

Lyijyn ja kuparin osalta maan happamuudella on todettu olevan suuri vaikutus liukenevuuden osalta. Hiekkamailla niiden liukeneminen on vähäistä, kun taas suoalueilla ja happamissa olosuhteissa liukoisuus moninkertaistuu. Maaperän pH arvojen tulisi olla välillä 6–10, jotta ampumaradalla käytettävien metallien liukoisuus olisi vähäisintä. Savikiekkujen PAH-yhdisteet ovat sitoutuneet varsin tiukasti niiden sisältämiin kalkkikivipohjiin. Ne liukenevat heikosti veteen ja kulkeutuminen maaperään on tyypillisesti vähäistä. (21. s. 22–25.)

6 Tietoa lysimetreistä

Lysimetrejä käytetään suotautuvan veden määrän ja laadun mittaamiseen ympäristötutkimuksissa. Ne ovat yleensä maahan upotettavia laitteistoja, joilla saadaan tietoa veden liikkeistä ja vaikutuksista maan pintakerroksista. Niiden avulla voidaan tarkastella pintavesien liikkeitä ja haitta-aineiden kulkeutumista sekä leviämistä suotovesien mukana. Lysimetreillä voidaan myös määrittää haihdunnan määrä maan painon muutoksia seuraamalla, jos laitteisto on varusteltu puntarilla. Ilman punnitusominaisuutta rakennetuista lysimetreistä voidaan haihdunta määrittää vesitaseyhtälön jäännösterminä, mikäli tiedetään läpi virtaava vesimäärä ja maan vesipitoisuus (23). Lysimetrit suunnitellaan ja rakennetaan tutkimuskohtaisesti riippuen tutkittavasta kohteesta, ja rakenteelliset erot voivat vaihdella hyvin suuresti. Pienikokoisia lysimetrejä voidaan rakentaa myös laboratorioihin, ja niillä voidaan simuloida todellisia tilanteita.

6.1 Esimerkkejä lysimetrien hyödyntämisestä tutkimuksissa

Suomessa ja maailmalla lysimetrejä on hyödynnetty erilaisissa tutkimusprojekteissa. Geologian tutkimuskeskus (GTK) on esim. tutkinut kaivostoiminnasta syntyvien sivukivien ja rikastushiekan haitta-aineiden leviämistä maaperässä lysimetrien avulla. GTK tutkii biokaasun tuotannossa syntyvän mädätysjäännöksen soveltuvuutta kaivannaisjätteiden peittomateriaaliksi. Peittorakenteen ansiosta pyritään estämään hapen ja veden kulkeutuminen maaperään ja minimoimaan kemialliset reaktiot jätteaineksien kanssa. (24.) Kuvassa 6 nähdään GTK:n tutkimuksessa käytettyjä lysimetrejä.



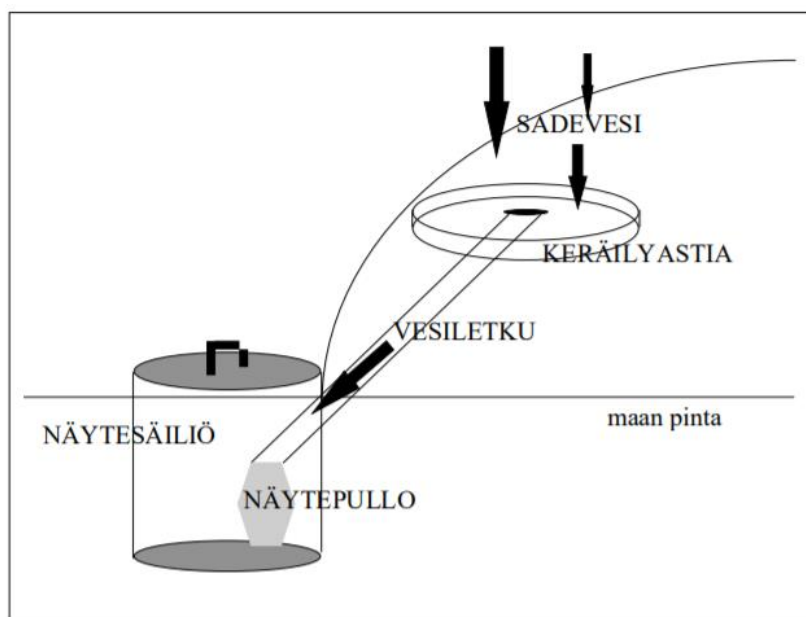
Kuva 6. Lysimetrejä asennetaan paikoilleen tutkimuksia varten. (24.)

SYKE on hyödyntänyt MIDAS2-tutkimuksissa lysimetrejä laboratorio-olosuhteissa tutkimalla tieverkoston liukkaidentorjuntaan käytettävien kemikaalien vaikutuksia maaperässä. Tavoitteena oli löytää perinteisen tiesuolan tilalle sopiva kemikaali, josta aiheutuu mahdollisimman vähän kuormitusta pohjavesiin, poistamatta sen liukkaudenesto-ominaisuuksia. Todellisia ympäristöolosuhteita simuloitiin laboratoriossa ja lysimetrien pinnalle kaadettiin erilaisia kemikaaleja, joista kaliumformaatin todettiin soveltuvan parhaiten liukkaudentorjuntaan ympäristön kannalta. (25.)

Lukella on käytössään Maaningalla sijaitseva kenttätutkimusalue, jossa suoritetaan nurmi-, vilja ja ympäristötutkimusta. Osa tutkimuskentästä, vajaan hehtaarin kokoinen lysimetri- ja pintavalumakenttä, on varattu hankkeeseen, jossa tutkitaan maan läpi suotautuvaa ja pinnassa liikkuvan veden määrää, sekä sen ravinnepitoisuuksia. Vertaamalla ja yhdistämällä tuloksia saadaan luotettavaa tietoa nurmiviljelyn ravinnekuormituksista ja ravinteiden leviämistä ympäristöön. Tulosten pohjalta voidaan edelleen kehittää uusia menetelmiä kuormituksen vähentämiseksi. (26.)

6.2 Lysimetrien toimintaperiaate

Lysimetrit voidaan jaotella kahteen pääryhmään, joita ovat vajovesilysimetrit ja imulysimetrit. Imulysimetrejä voidaan kutsua myös alipainelysimetreiksi, mikä kuvastaa paremmin sen toimintaperiaatetta. Ne eroavat rakenteeltaan toisistaan, ja niitä voidaan soveltaa hieman erilaisiin tutkimuksiin. Vajolysimetrit soveltuvathyvin maavesien tutkimiseen heti maan pintakerroksen läheisyydessä mutta niillä on tietyt rajoitteensa. Nimensä mukaan vajolysimetreillä saadaan kerättyä lähinnä pintavesien vajovesiä, ja vesi alkaa kulkeutua maapatsaan läpi vasta kenttäkapasiteetin täytyttyä. Maan kenttäkapasiteetilla tarkoitetaan maaperän kykyä pidättää vettä ja kun maaperän kenttäkapasiteetti ylittyy, alkaa vettä suotautua alaspäin. Alipainelysimetreillä saadaan kerättyä vajoveden lisäksi adsorptio- ja kapillaarivoimin sitoutunutta vettä maaperästä. Ne soveltuvat paremmin tutkimuksiin, jossa halutaan selvittää esim. kasvien käyttämien ravinteiden hyödyntämistä maaperässä. (27; 28.) Kuvassa 7 on esitetty lysimetrin toimintaperiaate.



Kuva 7. Kuvan avulla havainnoidaan lysimetrin toimintaperiaatetta. (29.)

Imulysimetreissä kerätään vettä ympäröivästä maaperästä alipaineen avulla. Vesi imetään maavesikerroksesta letkuja pitkin näytesäiliöön, johon näyte kerätään. Säiliön materiaalin pitää kestää paineen muutoksia, ja lasinen säiliö soveltuu hyvin tähän tyyppiin. Imuletkun päässä on huokoisesta materiaalista koostuvia keräimiä, jotka suodattavat pois karkean maa-aineksen. Keräimet voivat olla esim. kupin muotoisia, ja niitä voidaan kytkeä useampia samaan laitteeseen. Keraamiset, muoviset ja lasiset materiaalit soveltuvat imulysimetrien keräimiksi. Edullisen hinnan ja käytettävyyden takia keraamiset kuppimaiset keräimet ovat laajasti käytössä yleisesti. Laitteeseen yhdistetään myös pumppuyksikkö, jolla saadaan järjestelmä paineistettua. Alipainelysimetrit tarvitsevat sähkövirtaa, sähköjohtoja ja erilaisia liitoksia toimiakseen, jotka lisäävät mahdollisia ongelmatilanteita ja vaativat tarkempaa seurantaa. (27; 28.)

Vajovesilysimetrit ovat rakenteeltaan hieman yksinkertaisempia, ja niiden toimivuus perustuu painovoiman vaikutukseen veden kiertokulussa. Ne keräävät ainoastaan vapaasti alaspäin suotautuvaa vajovettä. Keräinosana on tavallisesti ympyrän mallinen astia esim. kaivonkuilun kaltainen rakenne, joka täytetään maa-aineksella. Täytetyn maa-aineksen tulisi olla ominaisuuksiltaan mahdollisimman lähellä alkuperäistä, kaivamattoman maa-aineksen kerroksia ja ominaisuuksia. Käytännössä maata kaivaessa maan luonnolliset rakenteet kuitenkin rikkoutuvat ja alkuperäisen rakenteen säilyttäminen maaperässä on haastavaa. Keräinosasta vesi kulkeutuu maa-aineksen läpi letkuja pitkin näytesäiliöön. Näytesäiliöissä voidaan käyttää useita eri materiaaleja, edellytyksenä ettei säiliöstä liukene aineita vesinäytteisiin. Näytesäiliöistä voidaan johtaa letku takaisin maan pinnalle, mistä se voidaan tyhjentää. (27; 28.) Laitteisto voidaan rakentaa ja sijoittaa myös kokonaan maanpinnan yläpuolelle esim. käyttämällä 1 m³:n kokoisia IPC-kontteja, jotka täytetään tutkittavalla maa-aineksella.

7 Lysimetrit osana ampumaradan tarkkailuseurantaa

Etelä-Suomen aluehallintovirasto on myöntänyt 24.5.2016 ympäristöluvan yhdelle Etelä-Suomessa sijaitsevalle ampumaradalle. Vaasan hallinto-oikeus on kumonnut aluehallintoviraston antaman lupamääräyksen 24.9.2018 ratojen 9,10, 12 ja 13 osalta ja palauttanut asian niiden osalta uudelleen käsiteltäväksi. Hakija on palautuskäsittelyn yhteydessä hakenut ympäristöluvan muutosta, ja Etelä-Suomen aluehallintovirasto on 18.11.2020 myöntänyt uuden ympäristöluvan ampumaradan toiminnalle. Lupamääräysten mukaan luvan saajan on toimitettava viranomaisille muutettu tarkkailusuunnitelma. Osana päivitettyä tarkkailusuunnitelmaa tutkitaan ampumarata-alueen vajovesiä ja niihin mahdollisesti liuenneita haitta-aineita. (3.)

7.1 Veden kiertokulku

Sadanta, haihtuminen, valunta, imeytyminen ja suotautuminen ovat termejä, jotka liittyvät veden kiertokulkuun ja veden muodostumiseen. Vajoveden tutkimisen kannalta nämä ovat merkittäviä käsitteitä. Vesisateista ja sulamisvesistä merkittävä osa imeytyy maaperään Suomen olosuhteissa. Osa vedestä haihtuu kuitenkin ilmakehään kasvillisuuden transpiraation kautta, sekä suoralla haihtumisella ilmaan maaperästä. Transpiraatiolla tarkoitetaan biologista haihduntaa, jossa vesi kulkee kasvien läpi ja haihtuu ilmaan kasvien käytettyä osan vedestä elintoimintojen ylläpitämiseen. Suoraa haihtumista maan, veden tai lumen pinnalta ilmakehään kutsutaan evaporaatioksi. Yhdessä ne muodostavat kokonaihaihdunnan, jota kutsutaan myös evapotranspiraatioksi. (23; 30.)

Sade- ja pintavesien tunkeutumista maan pinnan läpi voidaan kutsua imeytymiseksi eli infiltraatioksi. Suodannasta puhutaan silloin, kun vesi on jo läpäissyt maanpinnan ylimmän kerroksen ja alkanut tunkeutua alaspäin kohti pohjavesiä. Valunnalla tarkoitetaan virtauksien kautta poistuvaa vesimäärää, joka voi tapahtua pintavaluntana tai pohjavesivaluntana. Pintavalunnassa vesi ei läpäise maaperän kerroksia ja kulkeutuu kanavia, kuten jokia ja puroja, pitkin valuma-aluetta ja jatkaa veden kiertokulkua. Maanpinnan ja pohjaveden välissä olevaa vettä

kutsutaan maavedeksi. Tässä maavesivyöhykkeessä tapahtuu merkittävä osa sadannan, haihtumisen ja valunnan välisistä vuorovaikutuksista. (23; 30.)

7.2 Vajovesilysimetriä suunnittelu ja rakentaminen

Lysimetriä suunnittelu ja rakentaminen toteutettiin FCG-talolla Helsingissä ke-säkuussa. Aluksi oli tarpeen perehtyä lysimetriä toimintaan, koska niitä oli var-sin vähän käytetty aikaisemmissa tutkimuksissa. Tarkoituksena oli suunnitella mahdollisimman yksinkertaiset, mutta toimivat mallit, joita käytettäisiin vajove-den tutkimiseen yhdellä Etelä-Suomessa sijaitsevalla ampumaradalla. Yksi tär-keimmistä suunnittelun lähtökohdista oli laitteen kompakti koko ja asentamisen helppous. Lysimetrit kaivettiin ja asennettiin käsityönä ampumaradalle. Tästä syystä keräinastiana päätettiin käyttää tavallisia 10 litran ämpäreitä ja säiliönä 2 litran näytteenottopulloja, jotta koko pysyisi kompaktina.

Ampumaradan tarkkailusuunnitelmassa oli määritelty etukäteen tarvittavat ana-lyysit vajovedestä, jotka tuli ottaa huomioon lysimetrejä suunniteltaessa. Vaadit-tavat ominaisuudet ja liuenneiden aineiden pitoisuudet haluttiin selvittää ha-pesta, pH:sta, sähkönjohtavuudesta, nitraatista ja ammoniumista, PAH-yhdis-teistä sekä seuraavista metalleista: antimoni, arseeni, kupari, lyijy, nikkeli ja sinkki. Kaikkiin edellä mainittuihin laboratorioanalyysiin tarvittiin suosituksien mukaan yhteensä 1 500 ml vettä. Tästä syystä säiliöksi valittiin 2 000 ml:n ko-koinen näytepullo.

Rakennusmateriaalit olivat saatavilla näytteenottovarastosta, jossa myös lysi-metriä rakentaminen suoritettiin. Suurinta osaa tarvittavista materiaaleista ja tarvikkeista käytettiin erilaisiin ympäristönäytteenottotilanteisiin ja tutkimuksiin, joten erillisiä hankintakustannuksia ei käytännössä syntynyt. Rakentamiseen käytettiin porakonetta ja halkaisijaltaan 18 mm:n kokoista poranterää reikiä te-kemiseen. Liitoskohtien tiivistämiseen ja vahvistamiseen käytettiin kuumaliimaa. Lysimetriä rakentamiseen käytettiin seuraavia rakennusmateriaaleja:

- kolme kappaletta 10 l:n muoviämpäreitä
- kolme kappaletta 2 l:n näytteenottopulloa (säiliöt)
- muoviletkua n. 4,5 m
- teräsritilää
- puiset tukikepit
- tulpat letkujen päihin.

Rakentamisen tuloksena saatiin kolme kappaletta yksinkertaisia vajolysimetrejä (kuva 8). Kaikki lysimetrit olivat rakenteeltaan samanlaisia, ja ne asennettiin eräälle ampumaradalle testikäyttöön. Tavoitteena oli saada kerättyä ampumara-alueelta vajovettä tutkimuksia varten lysimetrien avulla.



Kuva 8. Protomallit rakennetuista vajolysimetreistä.

7.3 Lysimetrien asennus ampumaradalle

Vajolysimetrejä asennettiin 17.6.2021 kolme kappaletta ampumaradalle, joka sijaitsee Etelä-Suomessa. Laitteet asennettiin eri puolille ampumarata-aluetta, kolmelle ampumaradalle, joiden paikat oli ennakkoon määritelty tarkkailusuunnitelmassa. Lysimetreistä käytettiin nimitunnuksia L1, L2 ja L3. Lysimetri L2 sijoitettiin siluettiradalle, jossa harrastettiin luotiaseella ampumista. Lysimetrit L1 ja L3 sijoitettiin ampumaradoille, joissa ampuma-aseena käytettiin haulikoita. Haulikkoradoilla käytettiin maalikohteina savikiekkoja, joiden jäämiä löydettiin runsaasti haulikkoratojen alueilta.

Lysimetrit asennettiin maahan niin, että keräinosaa upotettiin 5–10 cm:n syvyyteen maan pintakerroksesta kuvan 9 mukaisesti. Säiliölle kaivettiin syvempi kuoppa, jotta se saatiin sijoitettua keräinosan alapuolelle tarpeeksi suuren potentiaalinen energian luomiseksi. Tällä saatiin varmistettua veden virtaus keräinosasta säiliöön.



Kuva 9. Lysimetrin L3 asennusta.

Lysimetrien keräinosan pohjalle asennettiin rakennusvaiheessa teräsverkko estämään maa-aineksen pääsemistä letkuihin. Teräsverkon päälle kerättiin vielä asennusvaiheessa sorakerros kaivuupaikkojen lähistöltä kerätyistä pienistä kivistä (kuva 10). Tällä toimenpiteellä pyrittiin suodattamaan osa veden mukana kulkeutuvasta kiintoaineesta letkujen tukosten välttämiseksi.



Kuva 10. Lysimetreihin laitettiin sorapatja tukkeumien estämiseksi.

Seuraavassa vaiheessa keräinosa, vesisäiliö ja niitä yhdistävät letkut peitettiin maa-aineksella. Kuopan ja laitteiston peittoon käytettiin aikaisemmin kaivettua maata ja se pyrittiin asettelemaan alkuperäisten maakerrosten kaltaisesti. Kuoppaa kaivaessa maan alkuperäiset rakenteet muuttuvat kuitenkin, vaikka oltaisiin kuinka huolellisia. Maanpinnan yläpuolelle jätettiin tukikeppi ja säiliöön johtava letku, josta vesinäyte saataisiin myöhemmin otettua pumpun avulla. Kuvasta 11 nähdään valmiiksi asennettu lysimetri L2 siluettiradalle.



Kuva 11. Maahan upotettu ja asennettu lysimetri L2 siluettiradalla.

8 Tarkkailu ja tulokset

Vesinäytteet haettiin ampumaradalta 12.8.2021 kolmesta lysimetristä peristalttisen pumpun avulla kuvan 12 mukaisesti. Säiliöiden keräämät suotovedet pumpattiin ensin näytekannuun, josta ne kaadettiin edelleen omiin näytepulloihin. Lysimetrit LI, L2 ja L3 asennettiin noin kaksi kuukautta aikaisemmin ampumaradalle keräämään suotautunutta vettä. Lysimetreissä ei ollut mittauslaitteistoa, joka seuraisi veden kerääntymistä säiliöön. Säiliöiden yläosaan tehtiin kuitenkin ylivuotoputki tilanteita varten, jossa säiliöt täytyisivät.



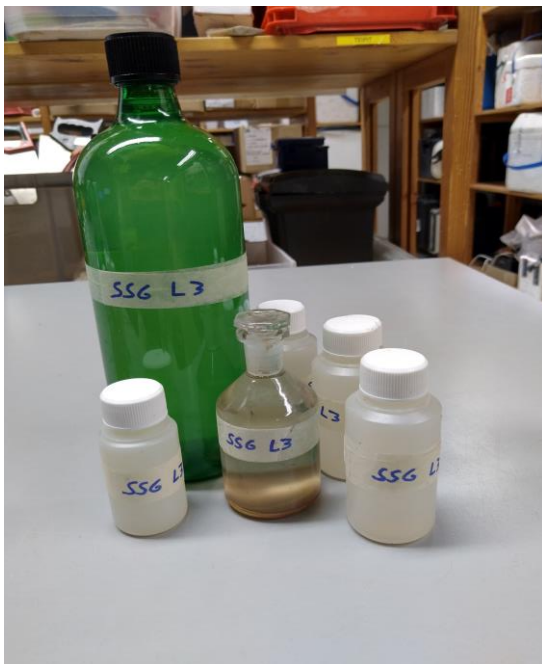
Kuva 12. Näytettä kerätään peristalttisen pumpun avulla näytekannuun.

Elokuun 2021 sateiden jälkeen arveltiin säiliöissä olevan tarpeeksi vettä, jotta määritetyt analyysit saataisiin tehtyä. Säiliöiden keräämät vesimäärät kuitenkin vaihtelivat suuresti laitekohtaisesti. Eniten vesinäytettä saatiin lysimetristä L3, määrän ollessa noin 1 500 ml. Toiseksi antoisin lysimetri oli L2, tuloksen ollessa n.1 000 ml. Lysimetristä L1 saatiin määrällisesti vähiten vesinäytettä n. 300 ml. Kahden lysimetrin (L2 ja L3) osalta saatiin tarvittava määrä vettä laboratorio-analyysejä varten mutta lysimetri L1:n osalta näytteen määrä ei riittänyt kaikkiin vaadittaviin analyysihin. Tarkkailusuunnitelman mukaan oli tarkoitus ottaa vielä myöhemmin syksyllä ampumarata-alueelta sedimenttinäytteitä. Samalla lysimetristä L1 otettiin uusintanäyte 1.9.2021 ja näytemäärästä saatiin analysoitua puuttuvat analyysit. Kuvasta 13 nähdään lysimetrin L2 säiliöstä pois pumpattu vesinäyte.



Kuva 13. Lysimetrin L2 säiliöstä otettu vesinäyte.

Vesinäytteet kaadettiin kannusta laboratoriosuosituksen mukaisiin näytepulloihin, jotka pakattiin kylmälaukkuihin kuljetuksen ajaksi. Näytepullot lähetettiin saman päivän aikana SGS Finland Oy:n Kotkan toimipisteeseen, joka tarjoaa valtuutettuja laboratorioanalyyskejä ympäristönäytteisiin (31). Yhden säiliön vesimäärästä oli tavoitteena saada täytettyä 6 kappaletta näytepulloja (kuva 14). Näistä näytepulloista määriteltiin seuraavat ominaisuudet ja aineiden pitoisuudet: happi, pH, sähkönjohtavuus, nitraatti ja ammonium sekä antimoni, arseeni, kupari, lyijy, nikkeli ja sinkki sekä PAH-yhdisteiden summapitoisuus (3.)



Kuva 14. Laboratorioanalyysiin lähteviä näytepulloja.

8.1 Vesinäytteiden laboratoriotulokset

Seuraavassa osiossa tarkastellaan laboratorion saatuja vesinäytteiden tuloksia. Tarkastelun kohteena olivat erityisesti PAH-yhdisteiden pitoisuudet ja metallien liukoisuus maaperässä, koska ne aiheuttavat tyypillisesti eniten ympäristön pilaantumista ampumarata-alueilla. Sähkönjohtavuus kuvaa veteen liuenneiden mineraalien määrää, ja siitä voidaan päätellä vedessä olevien suolojen määrä. Vesinäytteiden pH-arvosta voidaan päätellä veden happamuustaso. Normaalisti veden pH on lähellä neutraalia (pH 7) mutta Suomen sisävesissä esiintyy yleisesti lievästi hapanta vettä (pH 6,5–6,8). Vesieliöille suotuisa pH-arvo on 6–8, ja pH:n laskiessa tason 6 alapuolelle eliöstöjen olosuhteet heikenevät. Happipitoisuus on hyvä mittari, kun tarkastellaan vesistöjen kuntoa, sillä rehevässä vesistössä liiallinen hapenkulutus voi aiheuttaa happivajetta, josta muodostuu kasveille ja eliöstölle ongelmia. Happipitoisuuteen vaikuttaa voimakkaasti veden lämpötilan muutokset. Kesällä 18–20 °C:n lämpötilassa normaali happipitoisuus on 8–9 mg/l. Typpiyhdisteitä (nitraatti, nitriitti ja ammonium) voi päätyä ympäristöön lannoitteiden mukana, typpeä sisältävien aineiden

hajoamisen seurauksena tai jätevesien päästöinä. Normaalisti typpiyhdisteitä esiintyy runsaasti maatalousalueilla. (32; 33; 34.)

8.2 Tulosten arviointia

Pohjaveden pilaantumisen arviointiin ei Suomessa ole suoraan verrannollisia ohje- ja raja-arvoja. Arvioinnissa voidaan kuitenkin hyödyntää seuraavia lainsäädäntöön kirjattuja viitearvoja, jotka ovat pohjaveden ympäristölaatunormi (VNa 341/2009), talousveden laatuvaatimukset ja -tavoitteet (STM 683/2017) sekä pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimukset ja -suositukset (STM 401/2001). Pintavesien tarkastelussa laboratoriosta saatuja tuloksia voidaan verrata pintavesille laadittuihin ympäristölaatunormeihin (VNa 1022/2006). Taulukoissa 3, 4 ja 5 pintavesien raja-arvoina on käytetty ympäristönormin sisämaan pintavesille asetettuja arvoja. Taulukossa 3 tarkastellaan laboratoriosta saatujen metallipitoisuuksien tuloksia verrattuna ympäristölaatunormeihin sekä yleisiin vedenlaadun suosituksiin ja vaatimuksiin. (35; 36.)

Taulukko 3. Metallien ja puolimetallien tuloksien arviointia taulukon avulla.

Metallien ja puolimetallien pitoisuudet								
1) Pohjaveden ympäristölaatu normit Vna 341/2009								
2) Talusveden laatuvaatimukset ja -tavoitteet STM 683/2017								
3) Pienten yksiköiden talusveden laatuvaatimukset ja -suositukset STM 401/2001								
4) Pintavesien ympäristölaatu normit Vna 1022/2006								
Tunnus	Pv	Viitearvot	As (liuk.)	Sb (liuk.)	Hg (liuk.)	Cd (liuk.)	Co (liuk.)	Cr (liuk.)
		1)	5	2,5	0,06	0,4	2	10
		2)	10	5	1	5	-	50
		3)	10	5	1	5	-	50
		4)	-	-	0,07	0,45	-	-
			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
L1	12.8.2021		<10	81	<0,13	1,2	<10	<10
L2	12.8.2021		<10	<10	<0,13	1,6	<10	<10
L3	12.8.2021		<10	12	<0,13	<1,0	<10	<10
Tunnus	Pv	Viitearvot	Cu (liuk.)	Pb (liuk)	Ni (liuk.)	Zn (liuk.)	V (kok.)	
		1)	20	5	10	60	-	
		2)	2000	10	20	-	-	
		3)	2000	10	20	-	-	
		4)	-	14	34	-	-	
			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	
L1	12.8.2021		20	136	<10	2612	<10	
L2	12.8.2021		83	25	<10	2925	<10	
L3	12.8.2021		<10	<10	<10	4001	<10	

Sinkkipitoisuuksia tarkastellessa voidaan huomata niiden suuret arvot verrattuna muihin haitta-aineiden pitoisuuksiin. Tuloksia ei voida pitää luotettavina sinkkituloksien osalta, koska arvot ovat moninkertaiset esim. lyijyyn verrattuna, jota oletetaan lähtökohtaisesti esiintyvän enemmän ampumaradoilla. Todennäköisesti lysimetrin pohjalla sijaitsevista teräsverkkoritolästä on liuenut sinkkiä suotoveteen sen kulkeutuessa verkon läpi. Todellisen maaperästä lienneen sinkin määrää on lähes mahdoton arvioida, ja sen tarkastelu voidaan rajata pois seuraavasta osiosta.

Lysimetrin L1-tuloksien osalta taulukon 3 yläosassa mainittujen ympäristölaatu-
normien ja vaatimusten viitearvot ylittyivät antimonin, kadmiumin ja lyijyn osalta.
Suurimmat antimonin (81 µg/l) ja lyijyn (136 µg/l) pitoisuudet havaittiin lysimetrin
L1 tuloksista. Lysimetri L1 sijaitsi trap- ja skeet haulikkoampumaradalla, joten
maaperästä veteen liuenneet antimoni ja lyijy ovat todennäköisesti peräisin am-
muksien hauleista. Lyijyn liukeneminen maaperästä ympäristöön voi aiheuttaa
ampumaradalla kasvien ja eliöstön olosuhteiden heikkenemistä. Kadmiumin pi-
toisuus oli varsin vähäinen (1,2 µg/l), vaikka määrä ylittää pohja- ja pintavesien
ympäristölaatu-
normien viitearvon. Kadmiumin pitoisuudesta ei luultavasti ai-
heudu merkittävää ympäristön pilaantumista.

Lysimetrin L2-tuloksien osalta viitearvojen ylittäviä haitta-aineita olivat kadmium,
kupari ja lyijy. Lysimetri L2 sijaitsi siluettiradalla, jossa ampumista harjoitettiin
luotiaseilla. Kuparia ja lyijyä liukenee maaperästä vajoveteen todennäköisesti
luodeista. Ainoastaan lyijyn pitoisuus (25 µg/l) ylittää kaikkien taulukoissa käy-
tettävien vaatimusten viitearvot, ja siitä voi aiheutua ympäristön pilaantumista.
Kuparin pitoisuus oli 83 µg/l, joka ylittää pohjaveden ympäristölaatu-
normin raja-arvon mutta on reilusti talousvesien vaatimuksien alapuolella. Kadmiumin
osalta pitoisuus oli 1,6 µg/l, joka ylittää pohja- ja pintavesien ympäristölaatu-
normien viitearvon.

Lysimetrin L3-tuloksien osalta ainoastaan antimoni (12 µg/l) ylittää pohjaveden
ympäristölaatu-
normin viitearvon. Muiden haitta-aineiden osalta pitoisuudet alit-
tivat kaikki taulukossa käytettävät viitearvot. Lysimetri L3 sijaitsi kompak-spor-
ting-haulikkoradalla. Esimerkiksi lyijyn pitoisuus oli alle laboratorion määrittä-
mistason ja eroaa huomattavasti trap- ja skeet ampumaradan tuloksesta. Haulit ovat
voineet levitä laajemmalle radan ympäristöön, eikä niitä ole välttämättä kerään-
tynyt suurta määrää lysimetrin L3 läheisyyteen. Seuraavassa taulukossa 4 tar-
kastellaan PAH-yhdisteiden tuloksia.

Taulukko 4. PAH-yhdisteiden tulosten arviointia taulukon avulla.

PAH-yhdisteiden pitoisuudet								
		1) Pohjaveden ympäristölaatu normit Vna 341/2009						
		2) Talusveden laatuvaatimukset ja -tavoitteet STM 683/2017						
		3) Pienten yksiköiden talusveden laatuvaatimukset ja -suositukset STM 401/2001						
		4) Pintavesien ympäristölaatu normit Vna 1022/2006						
Tunnus	Pv	Viitearvot	Antraseeni	Ase-naftaeeni	Ase-naftyleeni	Bentso(a)antraseeni	Bentso(a)pyreeni	Bentso(b)fluoranteeni
		1)	60	-	-	-	0,005	-
		2)	-	-	-	-	0,01	-
		3)	-	-	-	-	0,01	-
		4)	0,1	-	-	-	0,27	0,017
			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
L1	12.8.2021		<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
L2	12.8.2021		<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
L3	12.8.2021		<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Tunnus	Pv	Viitearvot	Bentso(g,h,i)peryleeni	Bentso(k)fluoranteeni	Dibentso(a,h)antraseeni	Fenantraeeni	Fluoranteeni	Fluoreeni
		1)	-	-	-	-	-	-
		2)	-	-	-	-	-	-
		3)	-	-	-	-	-	-
		4)	0,008	0,017	-	-	0,12	-
			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
L1	12.8.2021		<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
L2	12.8.2021		<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
L3	12.8.2021		<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Tunnus	Pv	Viitearvot	Indeno(1,2,3-c,d)pyreeni	Kryseeni	Naftaleeni	Pyreeni	PAH 16 (summa)	
		1)	-	-	1,3	-	-	
		2)	-	-	-	-	-	
		3)	-	-	-	-	-	
		4)	-	-	130	-	-	
			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	
L1	12.8.2021		<0,10	<0,10	0,16	<0,10	<1,6	
L2	12.8.2021		<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<1,6	
L3	12.8.2021		<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<1,6	

Tuloksista voidaan päätellä, että PAH-yhdisteitä sisältävistä savikiekoista ei ole liuennut merkittävästi polyaromaattisia hiilivetyjä vajoveden kautta ympäristöön. Lähes kaikkien PAH-yhdisteiden pitoisuudet ovat alle laboratorion määristysarvojen ja liukoisuus veteen on vähäistä tai sitä ei esiinny ollenkaan. Ainostaan lysimetrin L1 tuloksista havaittiin naftaleenin pitoisuus 0,16 µg/l, ja sekin oli alle pohjaveden ympäristölaatumormin viitearvon. Seuraavassa taulukossa 5 tarkastellaan muita veden ominaisuuksia, pitoisuuksia ja tuloksia.

Taulukko 5. Tuloksia veden yleisistä ominaisuuksista ja pitoisuuksista.

Muut havainnot ja pitoisuudet										
1) Pohjaveden ympäristölaatumormit Vna 341/2009										
2) Talusveden laatuvaatimukset ja -tavoitteet STM 683/2017										
3) Pienten yksiköiden talusveden laatuvaatimukset ja -suositukset STM 401/2001										
Tunnus	Pv	Väri	Lämpötila	Viitearvot	pH	Happi	Nitraatti (NO ₃ ⁻)			
				1)				-	-	50
				2)				6,5-9,5	-	50
				3)				6,5-9,5	-	50
					(^{mg/l})	(^{mg/l})				
L1/1	12.8.2021	V.ruskea	15 °C		6,6	-	53			
L1/2	1.9.2021	-	-		7,1	1,9	-			
L2	12.8.2021	Kellertävä	14,5 °C		5,9	7,9	47			
L3	12.8.2021	V.keltainen	14 °C		6,2	8,9	120			
Tunnus	Pv	Väri	Lämpötila	Viitearvot	Nitraattityppi (NO ₃ -N)	Ammoni- um (NH ₄ +)	Ammoni- um- typpi (NH ₄ -N)			
				1)				-	0,25	0,2
				2)				-	0,50	-
				3)				11	0,50	0,4
					(^{mg/l})	(^{mg/l})	(^{mg/l})			
L1/1	12.8.2021	V.ruskea	15 °C		12	0,14	0,11			
L1/2	1.9.2021	-	-		-	-	-			
L2	12.8.2021	Kellertävä	14,5 °C		11	0,51	0,4			
L3	12.8.2021	V.keltainen	14 °C		28	0,14	0,11			

Vesinäytteiden pH-arvot vaihtelivat välillä 5,9–7,1. Ampumaradoilla esiintyvien yleisimpien metallien kannalta arvot ovat hyviä, koska niiden liukoisuuden arvelaan olevan vähäisintä pH:n ollessa tasolla 6–10. Vesinäytteiden L2 ja L3 osalta pH-arvot olivat talousveden laatuvaatimusten raja-arvojen ulkopuolella, mutta vain lievästi happamia.

Veden happipitoisuus oli hyvällä tasolla näytteiden L2 (7,9 mg/l) ja L3 (8,9 mg/l) osalta. Sen sijaan näytteen L1 osalta happipitoisuus oli varsin matala, sen ollessa 1,9 mg/l. Tästä voi aiheutua haittaa trap- ja skeet-rata-alueen kasvustolle ja eliöille.

Väritään vesinäytteet olivat hieman sameita, kellertävän ja vaalean ruskean sävyn väliltä. Vesinäyte L2 oli kirkkain ja vesinäyte L1 tummin. Tuloksien mukaan myös tummimman näytteen L1 sähkönjohtavuus oli suurin (51,7 mS/m) ja kirkkaimman näytteen L2 pienin (24,1 mS/m). Kolmannen näytteen L3 sähkönjohtavuus oli 32,9 mS/m.

Typpiyhdisteiden pitoisuudet (nitraatti, nitriitti ja ammonium) ylittivät vertailukuina käytettyjä viitearvoja kaikkien näytteiden osalta. Niiden esiintyminen ampumarata-alueella johtuu todennäköisesti kuitenkin lähialueen maaperän koostumuksesta sekä kasvien ja ihmisen aiheuttamasta kuormituksesta. Maalajeina alueella esiintyy mm. rahka- ja saraturvekerroksia sekä suoalueita ja viereisellä tontilla toimii jäteasema (31.)

9 Yhteenveto

Lysimetreillä saatiin kerättyä tietoa vajovesiin liuenneista haitta-aineista ampumarata-alueella ja kaikki ennakkoon suunnitellut analyysit saatiin tehtyä. Loppu-tulos oli sinänsä onnistunut ja kriittisiltä ongelmilta, kuten tukoksilta vältyttiin.

Lysimetrien yksinkertainen rakenne ja osat mahdollistivat nopean suunnittelun ja rakentamisen. Projektin aikana saatiin käyttökokemuksia, joiden pohjalta lysimetrejä voidaan parannella. Seuraavassa kappaleessa käsitellään parannusehdotuksia.

9.1 Lysimetrien kehittäminen

Ensimmäinen kehitysidea liittyy teräsverkon poistamiseen tai korvaamiseen muulla materiaalilla. Teräsverkko oli luultavasti pinnoitettu sinkillä, jota liukeni huomattava määrä vajoveden mukana näytesäiliöön. Tästä syystä voidaan vahvasti epäillä, etteivät suuret sinkkipitoisuudet olleet peräisin maaperästä liuenneesta sinkistä. Jatkossa teräsritilä voidaan poistaa kokonaan, mikäli keräinastian pohjalle laitettaisiin esim. 2–5 cm:n korkuinen sorapatja. Sorapatjan avulla saataisiin keräinastian alareunasta lähtevän letkun pää peitettyä. Tällä toimenpiteellä pyritään estämään karkean kiintoaineksen pääseminen letkuihin ja näytesäiliöön. Myös nykyistä ratkaisua, jossa sorakerros sijoitetaan ritilän päälle, voidaan parantaa, vaihtamalla verkon materiaali sellaiseen, josta ei liukene aineita vesinäytteeseen.

Keräinastiana käytettyjen 10 l:n ämpäreiden pinta-alat ovat n. 0,057 m². Pinta-ala on varsin pieni, kun se suhteutetaan tutkittavien alueiden pinta-alaan. Tästä syystä keräinastian kokoa tulisi kasvattaa leveyssuunnassa tai laitteistoja tulisi asentaa useampi kappale tutkimusaluetta kohden. Näistä kahdesta vaihtoehdosta säilön koon kasvattaminen on kustannustehokkaampaa. Vajoveteen liuenneista haitta-aineista saatiin suuntaa antavia tuloksia mutta tarkkoja johtopäätöksiä haitta-aineiden kulkeutumisesta on vaikea arvioida. Tavallisesti ympäristötutkimuksissa käytettyjen lysimetrien keräinastioiden pinta-alat ovat suuruudeltaan 1 m²:n luokkaa.

Liitokset keräinastian, näyteastian, poistoletkun ja näytteenottoletkun välille toteutettiin poraamalla letkun halkaisijan (18 mm) kokoiset reiät astioihin, joihin letkut kiinnitettiin. Liitoksien tiivistämiseen käytettiin kuumaliimaa ja kokemusten perusteella kuumaliimasta ei liennut vesinäytteisiin aineita. Vaihtoehtoinen tapa letkujen tiivistämiseen olisi käyttää esim. kumitiivisteitä, jotka on suunniteltu kyseisiin liitoksiin.

9.2 Johtopäätökset

Insinööriyön asetettuihin tavoitteisiin päästiin osittain. Teorian ja käytännön tasolla kokemusta saatiin PIMA-tutkimuksista, näytteenottomenetelmistä ja ampu-maratojen ympäristöselvityksistä. Pää tavoitteena oli toimivien lysimetrien suunnittelu, rakentaminen ja asentaminen ampumaradalle sekä vesinäytteiden tulosten saaminen kyseisistä laitteista. Edellä mainitut työn tavoitteet toteutettiin hyvällä menestyksellä.

Projektissa pyrittiin noudattamaan ampuradan päivitettyä tarkkailusuunnitelmaa ja hankkimaan tietoa vajovesien ominaisuuksista kolmelta ampumaradalta lysimetrien avulla. Kaikista kolmesta lysimetristä saatiin otettua suunnitellut vesinäytteet ja kerättyä tietoa, joita voidaan hyödyntää jatkossa ampumaradan tarkkailussa. Kokemusten perusteella lysimetrien havaitut ongelmat voidaan välttää tulevaisuudessa, kun ne ovat tiedossa. Jatkossa yritys voi rakentaa kehittämisideoiden perusteella parempia versioita lysimetreistä.

Tuloksien perusteella tehtyihin päätelmiin tulee kuitenkin suhtautua kriittisesti, koska lysimetrien keruusäiliöiden pinta-alat olivat hyvin pieniä ja edustavat vain pientä osaa tutkittavasta alueesta. Lisäksi itsenäinen työskentely ja vähäinen kokemus alalta on voinut johtaa virhepäätelmiin. Tuloksia voidaan kuitenkin pitää suunta antavina ja jatkoselvitysten tarpeellisuus voidaan arvioida myöhemmin.

Työn tekeminen oli mielenkiintoista ja monipuolista. Työsuhde FCG:n kanssa kesti toukokuusta elokuuhun, jonka aikana sain kerättyä kokemusta ympäristön kunnostamiseen liittyvissä asioissa. Samalla sain tilaisuuden tutustua ympäristöalan konsulttiyrityksen toimintatapoihin. Projektin alkuvaiheessa sain tukea tarvittaessa kollegoilta pyytämällä. Lysimetrien suunnittelu, rakentaminen ja asentaminen toteutettiin työsuhteen aikana. Insinööriyön kirjoittaminen aloitettiin elokuun loppupuolella työsuhteen päätyttyä. Suurin osa kertyneistä työtunneista sijoittui ajanjaksollisesti syys- ja lokakuulle. Pääasiassa työtä tehdessä

pysyttiin projektisuunnitelman mukaisessa aikataulussa, pieniä viivästyksiä lukuun ottamatta ja työ valmistui ajallaan.

COVID-19-pandemian takia lähitapaamiset työhön osallistuvien ihmisten kesken jäivät vähäisiksi. Esimerkiksi kokoukset ohjaajien kanssa toteutettiin Microsoft Teamsin avulla etänä ja keskustelut hoidettiin lähinnä sähköpostin avulla. Projektin alkuvaiheessa työtunteja kertyi jonkin verran myös FCG-talolla, jolloin kanssakäyminen hoidettiin kasvotusten.

Lähteet

- 1 Tietoa meistä. Verkkoaineisto. Finnish Consulting Group Oy. <<https://www.fcg.fi/tietoa-meista>>. Luettu 6.8.2021.
- 2 Kestävä elinympäristö. Verkkoaineisto. Finnish Consulting Group Oy. <<https://www.fcg.fi/kestava-elinymparisto/ymparistokonsultointi>>. Luettu 7.8.2021.
- 3 Päivitetty ampumaradan tarkkailusuunnitelma. 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti. Finnish Consulting Group Oy.
- 4 Maaperän synty. 2018. Verkkoaineisto. Geologia.fi. <<https://www.geologia.fi/2018/05/21/maaperan-synty/>>. Luettu 10.8.2021.
- 5 Suomen maaperän synty. Verkkoaineisto. Geologian tutkimuskeskus. <<http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/maapera.htm>>. Luettu 10.8.2021.
- 6 Puhtaan lähdeveden maa. Verkkoaineisto. Slowfinland.fi. <<https://slowfinland.fi/puhtaan-lahdeveden-maa/>>. Kuvamateriaali. Luettu 12.8.2021.
- 7 Moreeni on yleisin maalaji Suomessa. Verkkoaineisto. Ruokatieto.fi. <<https://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/ruokaketju-ruuan-matka-pelloilta-poytaan/luonto/maapera/moreeni-yleisin-maalaji-suomessa>>. Luettu 14.8.2021.
- 8 Björklöf, Katarina; Lepistö, Jani; Schultz, Eija; Uljas, Jenni & Westerholm, Henrik. 1/2014. Hyvät käytännöt pilaantuneiden maiden kenttätutkimuksessa. Ympäristöopas. Suomen ympäristökeskus.
- 9 Ympäristönsuojelulaki. 2014. 527/27.6.2014.
- 10 Valtioneuvoston asetus maaperän pilaantuneisuudesta ja puhdistusarvioinnista. 2007. 214/1.3.2007.
- 11 Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista. 2013. 331/2.5.2013.
- 12 Yleiset toimitusehdot. 2019. Verkkoaineisto. Suomen erityisjäte. <<https://www.erityisjate.fi/client/erityisjate/userfiles/se-yleiset-toimitusehdot-071219.pdf>>. Luettu 10.9.2021.
- 13 Kemikaalilaki. 2013. 599/9.8.2013.

- 14 Pilaantuneet maa-alueet. 2013. Verkkoaineisto. Ympäristö.fi. <https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus_ja_tuotanto/pilaantuneet_maaalueet>. Päivitetty 4.6.2019. Luettu 12.9.2021.
- 15 Pilaantuneen alueen puhdistamisvelvollisuus. 2020. Verkkoaineisto. Ympäristö.fi. <https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus_ja_tuotanto/pilaantuneet_maaalueet/Pilaantuneen_alueen_puhdistamisvelvollisuus>. Päivitetty 31.12.2021. Luettu 12.9.2021.
- 16 Tutkimusmenetelmät. 2019. Verkkoaineisto. Maaperäkuntoon.fi. <<https://www.maaperakuntoon.fi/fi-FI/Selvittaminen/Tutkimusmenetelmät>>. Päivitetty 12.6.2020. Luettu 13.9.2021
- 17 Riskien määrittely- ja arviointi. 2013. Verkkoaineisto. Ympäristö.fi. <https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus_ja_tuotanto/Pilaantuneet_maaalueet/Riskien_maarittely_ja_arviointi>. Päivitetty 4.6.2019. Luettu 13.9.2021.
- 18 Tuoteryhmät. Verkkoaineisto. GME-engineering. <<https://gwm-engineering.fi/fi/tuoteryhmat/maaperanaytteenotto-pilaantuneiden-maa-alueiden-kunnostus/rilsan-pussit-haihtuvia-yhdisteita-sisaltaville-naytteille/>>. Luettu 15.9.2021
- 19 Saari, Matti. 2017. Pohjatutkimusmenetelmät ja niiden potentiaali Suomessa. Kandinaatintyö. Oulun yliopisto. <<http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201711243157.pdf>>. Luettu 20.9.2021.
- 20 Pohjavesinäytteenoton toimintamalli. 2017. Verkkoaineisto. Syke. <<https://www.syke.fi/pohjavesinaytteenotto>>. Päivitetty 8.9.2017. Luettu 20.9.2021.
- 21 AMPY-työryhmä. 2012. Ampumaratojen ympäristöopas. Opas toiminnanharjoittajille sekä lupa- ja valvontaviranomaisille. Suomen ympäristökeskus.
- 22 Haikarainen, Iina. 2017. Kationinvaihtokapasiteetti. Verkkoaineisto. <https://www.maajakotitalousnaiset.fi/sites/default/files/attachment/15.3.2017_iina_haikarainen_kationinvaihtokapasiteetti.pdf>. Luettu 25.9.2021.
- 23 Hydrologian perusteet ja maan vesitalous. Verkkoaineisto. Salaojayhdistys. <https://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2016/05/hydrologian_perusteet_ja_maan_vesitalous_2013-2.pdf>. Luettu 25.9.2021.

- 24 GTK vahvistaa kaivannaisjätteiden peittorakenteisiin liittyvää osaamista. 2020. Verkkoaineisto. Geologian tutkimuskeskus. <<https://www.gtk.fi/ajankohtaista/gtk-vahvistaa-kaivannaisjatteiden-peittorakenteisiin-liittyvaa-osaamista/>>. Luettu 25.9.2021.
- 25 Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kulkeutuminen pohjavedessä. 2013. Verkkoaineisto. Suomen ympäristökeskus. <<https://www.syke.fi/hankkeet/midas>>. Päivitetty 1.12.2020. Luettu 26.9.2021.
- 26 Tutkimusaseman arkea. Verkkoaineisto. Luonnonvarakeskus. <<https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/mtt/esittely/toimipaikat/maaninka/tutkimusaseman-arkea>>. Luettu 26.9.2021.
- 27 Pohjavesitutkimusopas. 2005. Verkkoaineisto. Suomen vesiyhdistys. <<https://www.vesiyhdistys.fi/pdf/Pohjavesiopas.pdf>>. Luettu 2.10.2021
- 28 Halme, Jaana. 2006. Alipaine- ja vajovesilysimetrit kenttäkoetöinnassa. Tutkintotyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 29 Lindroos, Sirpa; Naumanen, Petri; Penttinen, Riina; Pyy, Outi; Rajala, Päivi; Sorvari, Jaana & Tiainen, Jari. 2002. Ampumarata-alueiden pilaantunut maaperä. Pohjois-Karjalan ympäristökeskus.
- 30 Hydrologia. 2013. Verkkoaineisto. <http://users.jyu.fi/~thutula/WETA150/WETA150_6.pdf>. Luettu 3.10.2021.
- 31 Laboratorioanalyysit. Verkkoaineisto. SGS.fi. <<https://www.sgs.fi/fi-fi/chemical/chemical-feedstocks-services/monomers/laboratory-analyses>>. Luettu 3.10.2021.
- 32 Sähkönjohtavuus. Verkkoaineisto. Opetushallitus. <http://www03.edu.fi/opimateriaalit/laboratorio/ymparistoanalyysit_veden_sahkonjohtavuus.html>. Luettu 5.10.2021.
- 33 Miten tulkitseen vesitutkimustuloksia. 2017. Verkkoaineisto. Ympäristönyt.fi <<https://ymparistonyt.fi/miten-tulkitsen-vesitutkimustuloksia/>>. Luettu 5.10.2021.
- 34 Typpiyhdisteet. 2019. Verkkoaineisto. Ympäristö.fi. <https://www.ymparisto.fi/fi-fi/Rakentaminen/Rakennushanke/Talotekniset_jarjestelmat_LVI/Vedenhankinta_kaivosta/Kaivoveden_laatu_ja_riittavyys/Typpiyhdisteet>. Päivitetty 13.12.2019. Luettu 10.10.2021.

- 35 Riskinarviointi. 2019. Verkkoaineisto. Maaperä kuntoon.fi.
<<https://www.maaperakuntoon.fi/fi-FI/Selvittaminen/Riskinarviointi>>. Päivitetty 31.12.2021. Luettu 10.10.2021.
- 36 Valtioneuvoston asetus vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista. 2006. 1022/23.11.2006.

Liite 1. Laboratorion analyysitulokset

Näyttenumero KE21-05591.006
Näytteen nimi ████████ L1
Näytteenottopvm 01.09.2021

Analyysi

Yksikkö

DL

pH vedestä Menetelmä: ISO 10523

pH	pH-yksikkö	2	7.1
----	------------	---	-----

Happi vesinäytteestä Menetelmä: SFS-EN 25813

Happi	mg/l	0.3	1.9
-------	------	-----	-----

Nitriitti- ja nitraattitypen summa vedestä, CFA Menetelmä: SFS-EN ISO 13395 (continued)

Nitriitti- ja nitraattitypen summa	µg N/l	5	2300
------------------------------------	--------	---	------

Ammonium/Ammoniumtyppi vedestä, CFA Menetelmä: SFS-EN ISO 11732

Ammonium, NH ₄	µg/l	6.5	360
Ammoniumtyppi, NH ₄ -N	µg N/l	5	280

Polyaromaattiset hiilivedyt (PAH) vesinäytteestä Menetelmä: ISO 28540

Naftaleeni *	µg/l	0.1	0.16
Asenaftyleeni *	µg/l	0.1	<0.10
Asenafteeni *	µg/l	0.1	<0.10
Fluoreeni *	µg/l	0.1	<0.10
Fenantreeni *	µg/l	0.1	<0.10
Antraseeni *	µg/l	0.1	<0.10
Fluoranteeni *	µg/l	0.1	<0.10
Pyreeni *	µg/l	0.1	<0.10
Bentso(a)antraseeni *	µg/l	0.1	<0.10
Kryseeni *	µg/l	0.1	<0.10
Bentso(b)fluoranteeni *	µg/l	0.1	<0.10
Bentso(k)fluoranteeni *	µg/l	0.1	<0.10
Bentso(a)pyreeni *	µg/l	0.1	<0.10
Indeno(1,2,3-cd)pyreeni *	µg/l	0.1	<0.10
Dibentso(a,h)antraseeni *	µg/l	0.1	<0.10
Bentso(g,h,i)peryleeni *	µg/l	0.1	<0.10
16 PAH-yhdistettä yhteensä *	µg/l	1.6	<1.6

Liukoinen elohopea vesinäytteestä Menetelmä: Kumottu SFS-EN 1483:2007

Elohopea suodatetusta näytteestä	µg/l	0.13	<0.13
----------------------------------	------	------	-------

Liukoiset metallit vesinäytteestä, ICP-AES Menetelmä: ISO 11885

Arseeni *	µg/l	10	<10
Kadmium *	µg/l	1	<1.0
Koboltti *	µg/l	10	<10

Liukoiset metallit vesinäytteestä, ICP-AES Menetelmä: ISO 11885 (continued)

Kromi *	µg/l	10	<10
Kupari *	µg/l	10	15
Nikkeli *	µg/l	10	<10
Lyijy *	µg/l	10	101
Vanadiini *	µg/l	10	<10
Sinkki *	µg/l	10	2192
Antimoni *	µg/l	10	53

Näyttenumero	KE21-05098.001	KE21-05098.002	KE21-05098.003
Näytteen nimi	█ L1	█ L2	█ L3

Analyysi

Yksikkö

DL

Polyaromaattiset hiilivedyt (PAH) vesinäytteestä Menetelmä: ISO 28540

Naftaleeni *	µg/l	0.1	-	<0.10	<0.10
Asenaftyleeni *	µg/l	0.1	-	<0.10	<0.10
Asenafteeni *	µg/l	0.1	-	<0.10	<0.10
Fluoreeni *	µg/l	0.1	-	<0.10	<0.10
Fenantreeni *	µg/l	0.1	-	<0.10	<0.10
Antraseeni *	µg/l	0.1	-	<0.10	<0.10
Fluoranteeni *	µg/l	0.1	-	<0.10	<0.10
Pyreeni *	µg/l	0.1	-	<0.10	<0.10
Bentso(a)antraseeni *	µg/l	0.1	-	<0.10	<0.10
Kryseeni *	µg/l	0.1	-	<0.10	<0.10
Bentso(b)fluoranteeni *	µg/l	0.1	-	<0.10	<0.10
Bentso(k)fluoranteeni *	µg/l	0.1	-	<0.10	<0.10
Bentso(a)pyreeni *	µg/l	0.1	-	<0.10	<0.10
Indeno(1,2,3-cd)pyreeni *	µg/l	0.1	-	<0.10	<0.10
Dibentso(a,h)antraseeni *	µg/l	0.1	-	<0.10	<0.10
Bentso(g,h,i)peryleeni *	µg/l	0.1	-	<0.10	<0.10
16 PAH-yhdistettä yhteensä *	µg/l	1.6	-	<1.6	<1.6

Liukoinen elohopea vesinäytteestä Menetelmä: Kumottu SFS-EN 1483:2007

Elohopea suodatetusta näytteestä	µg/l	0.13	<0.13	<0.13	<0.13
----------------------------------	------	------	-------	-------	-------

Liukoiset metallit vesinäytteestä, ICP-AES Menetelmä: ISO 11885

Arseeni *	µg/l	10	<10	<10	<10
Kadmium *	µg/l	1	1.2	1.6	<1.0
Koboltti *	µg/l	10	<10	<10	<10
Kromi *	µg/l	10	<10	<10	<10
Kupari *	µg/l	10	20	83	<10
Nikkeli *	µg/l	10	<10	<10	<10
Lyijy *	µg/l	10	136	25	<10
Vanadiini *	µg/l	10	<10	<10	<10
Sinkki *	µg/l	10	2612	2925	4001
Antimoni *	µg/l	10	81	<10	12

Happi vesinäytteestä Menetelmä: SFS-EN 25813

Happi	mg/l	0.3	-	7.9	8.9
-------	------	-----	---	-----	-----

pH vedestä Menetelmä: ISO 10523

pH	pH-yksikkö	2	6.6	5.9	6.2
----	------------	---	-----	-----	-----

Sähkönjohtavuus vesinäytteestä Menetelmä: SFS-EN 27888

Sähkönjohtavuus	mS/m	0.5	51.7	24.1	32.9
-----------------	------	-----	------	------	------

Ammonium/Ammoniumtyppi vedestä, CFA Menetelmä: SFS-EN ISO 11732 (continued)

Ammonium, NH ₄	µg/l	6.5	140	510	140
Ammoniumtyppi, NH ₄ -N	µg N/l	5	110	400	110

Nitraatti/Nitratityppi vedestä, CFA Menetelmä: SFS-EN ISO 13395

Nitratityppi, NO ₃	µg/l	23	53000	47000	120000
Nitratityppi, NO ₃ -N	µg N/l	5	12000	11000	28000