Liite 5



Geologian tutkimuskeskus Yksikön nimi Toimipaikka

28.8.2020

GTK/304/03.02/2020

Terrafame Oy – Sivukivialue KL2:n hydrogeologinen tutkimus

Antti Pasanen, Markku Paananen, Anniina Kittilä, Muhammad Muniruzzaman, Jouni Lerssi, Juha Mursu, Arto Pullinen

Geologian tutkimuskeskus | Geologiska forskningscentralen | Geological Survey of Finland Espoo • Kokkola • Kuopio • Loppi • Outokumpu • Rovaniemi www.gtk.fi • Puh/Tel +358 29 503 0000 • Y-tunnus / FO-nummer / Business ID: 0244680-7

28.8.2020

GEOLOGIAN	TUTKIMUSKESKUS
-----------	----------------

KUVAILULEHTI

28.8.2020 / GTK/304/03.02/2020

Tekijät Antti Pasanen, Markku Paananen, Anniina Kittiliä Mukanamad Munimusaanan, Jauni	_{Raportin laji} Tilaustutkimus		
Lerssi, Juha Mursu, Arto Pullinen	Toimeksiantaja Terrafame Oy		

Raportin nimi

Terrafame Oy – Sivukivialue KL2:n hydrogeologinen tutkimus

Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa on kulkeutumismallintamisen avulla tulkittu sivukivialue KL2:n sekä geotuubikenttien mahdollisesta vuodosta johtuvan pluumin kulkeutumista kohti tulkittuja ruhjevyöhykkeitä sekä arvioitu mahdollista kulkeutumista niissä. Kulkeutumismallin rakentamiseksi tehtiin mittava geologinen, geofysikaalinen ja hydrogeologinen maastotyö- ja tulkintakampanja. Mallinnuksen tuloksena tulkittiin, että mahdollinen vuoto voi kulkeutua ruhjevyöhykkeen yläpintaan hyvinkin nopeasti, alle vuodessa, mutta vuotokohdan etäisyys ruhjevyöhykkeestä vaikuttaa tähän voimakkaasti. Myös konsentraatiot, näissä lyhyen kulkeutumisajan havaintopisteissä osoittivat hyvin vähäistä laimenemista. Yleinen pohjaveden virtaussuunta tutkimusalueella on kohti louhosta. Kaksi ruhjevyöhykketä tulkittiin mallinnuksen perusteella merkityksellisimmiksi, joihin pluumi voi päästä. Näiden kulun perusteella arvioitiin mahdollisia kohteita, joille vuodosta voisi olla haittaa. Tällaisia kohteita ei muutamien kilometrien kulkeutumismatkalla havaittu kaakon suunnassa. Luoteessa ruhjevyöhykkeet voivat alittaa Kolmisoppijärven. Pidemmällä kulkeutumismatkalla ruhjevyöhykkeet keräävät enemmän muita vesiä, joten voidaan olettaa mahdollisten vuotovesien laimenevan kulkeutumismatkan

Asiasanat (kohde, menetelmät jne.)

Hydrogeologia, sivukivialue, kulkeutumismallinnus, geofysiikka, hydrauliset mittaukset

Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Sotkamo, Kainuu					
Karttalehdet					
Muut tiedot					
Arkistosarjan nimi		Arkistotunnus			
Kokonaissivumäärä Kieli Suomi		Hinta	^{Julkisuus} Ei julkinen		
Yksikkö ja vastuualue Vesiratkaisut		Hanketunnus 50401-10507			



Allekirjoitus/nimen selvennys Allekirjoitus/nimen selvennys In la vand Eeva Käpyaho Antti Pasanen Yksikön päällikkö, vesiratkaisut Ryhmäpäällikkö, vesiratkaisut



28.8.2020

Sisällysluettelo

1	Joh	Johdanto				
	1.1	Tutkimuksen tavoitteet	1			
2	2 käytetyt menetelmät (methods)					
	2.1 Lineamenttitulkinta					
	2.2	3D-mallinnus	3			
	2.3	VLF-R -menetelmä	4			
	2.4	Taittumisseisminen luotaus	5			
	2.5	Hydrogeologiset tutkimukset	6			
	2.5.	.1 Pohjavesiputkien asentaminen	6			
	2.5.	.2 Hydraulisen johtavuuden määritys	7			
	2.6	Pohjaveden kulkeutumismallinnus	8			
	2.6.	.1 Herkkyysanalyysi	11			
3	Tulo	okset	11			
	3.1	Lineamenttitulkinta	11			
	3.2	3D-mallinnus	14			
	3.3	VLF-R -menetelmä	15			
	3.4	Taittumisseisminen luotaus	18			
	3.5	Hydrogeologiset tutkimukset	19			
	3.6	Pohjaveden kulkeutumismallinnus	20			
	3.6.	.1 Herkkyysanalyysi	26			
4	Tulo	osten tulkinta	29			
	4.1	Kokonaistulkinta ja kulkeutumisriskin arviointi	29			
5	Joh	Johtopäätökset 32				



1 JOHDANTO

Vaasan Hallinto-oikeus päätöksessään 19/0251/2 velvoitti Terrafame Oy:n selvittämään mahdollisten pohjavettä johtavien ruhjeiden tarkemman sijainnin ja antamaan selvityksen mahdollisten ruhjeiden vaikutuksesta sivukivialueen KL2 sekä geotuubikentän pohjavesille aiheutuvaan pilaantumisriskiin. Terrafame Oy pyysi GTK:ta suunnittelemaan ja toteuttamaan tutkimuksen

Tutkimus aloitettiin toukokuussa 2020 ja raportoitiin elokuussa 2020.

1.1 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on tutkia sivukivialue KL2:n sekä geotuubikentän pohjavesiolosuhteita sekä arvioida niiden perusteella mahdollisesta KL2:n ja geotuubikentän pohjarakenteen rikkoutumisesta johtuvan vuodon (ns. pluumi) etenemistä maaperän kautta kohti ruhjevyöhykkeitä sekä arvioida mahdollisen ruhjevyöhykekulkeutumisen pohjavesiriskejä.

Tutkimuksen yksityiskohtaiset tavoitteet ovat:

- Kartoittaa ruhjevyöhykkeiden alustava sijainti ja kulku
- Interpoloida ja arvioida maapeitteen paksuus tutkimusalueella
- Tehdä horisontaalisesti jatkuva ja päivittyvä 3D-malli olemassa olevista aineistoista sekä päivittää mallia tuotetulla aineistolla
- tarkentaa ruhjevyöhykkeiden tulkintaa sekä maapeitteen paksuuden tulkintaa maastossa tehtävillä geofysiikan mittauksilla
- asentaa maaperän pohjavesiputkia veden virtauksen kannalta merkityksellisiin kohteisiin
- tehdä hydrogeologisia mittauksia pohjavesiputkista virtausmallin parametrien selvittämiseksi
- tehdä vedellä kyllästyneelle vyöhykkeelle kulkeutumismallinnus pluumien etenemisen suuntien ja kulkeutumisajan selvittämiseksi sekä herkkyysanalyysi merkityksellisten parametrien selvittämiseksi
- ja tulkita tutkimustulosten perusteella mahdollisen pluumin kulkeutumista ruhjevyöhykkeisiin sekä kulkeutumista ruhjevyöhykkeissä olettaen ruhjevyöhykkeiden olevan jatkuvia ja vettä johtavia koko kulkunsa matkalta.

2 KÄYTETYT MENETELMÄT

Tutkimuksessa käytettiin monipuolisesti geologisia ja geofysikaalisia tutkimusmenetelmiä olemassa olevien aineistojen lisäksi sekä 3D-mallintamista ja numeerisia mallinnusmenetelmiä aineiston kuvaamiseksi ja vaikutusten arvioimiseksi. Kaikki oleellinen olemassa oleva aineisto sekä tutkimuksen aikana tuotettu uusi aineisto liitettiin geologiseen 3D-malliin, joka mahdollisti harvassa olevien tutkimustulosten interpoloinnin tutkimuskohteiden välille. Samalla 3D-malli tuotti jatkuvan geometrian numeerista kulkeutumismallinnusta varten. 3D-mallin tuottaman interpoloinnin varmistamisessa käytettiin geologista tulkintaa interpoloinnin laadun varmistamiseksi.

Tutkimus aloitettiin olemassa olevan aineiston keräämisellä sekä niiden viemisellä 3D-malliin. Ensimmäinen varsinainen uutta aineistoa tuottava tutkimus oli lineamenttitulkinta, jolla selvitettiin ruhjevyöhykkeiden alustava kulku sekä määritettiin veden kulkeutumisen kannalta merkitykselliset ruhjevyöhykkeet. Lineamenttitulkintaa täydennettiin tutkimuksen aikana muulla tuotetulla



2/35

28.8.2020

aineistolla, erityisesti geofysiikan aineistolla. Lineamenttitulkinta kertoo ruhjevyöhykkeiden kulusta, mutta sillä ei pystytä selvittämään ruhjevyöhykkeiden hydrogeologista jatkuvuutta tai ruhjevyöhykkeen hydraulisia ominaisuuksia.

Maastogeofysiikan tutkimuksia tehtiin VLF-R menetelmällä, jolla tarkennettiin Lineamenttitulkintaa sekä taittumisseismisellä luotauksella, jolla myös tarkennettiin lineamenttitulkinta sekä tarkennettiin maapeitteen paksuuden tulkintaa.

Tutkimustulosten perusteella suunniteltiin maaperän pohjavesiputkien paikat kulkeutumisen kannalta merkittäviin kohtiin. Pohjavesiputkien asennuksesta vastasi Suomen GPS-mittaus Oy. Pohjavesiputkista mitattiin pohjaveden pinnankorkeus sekä määritettiin hydraulinen johtavuus kulkeutumismallintamisen lähtötiedoiksi.

3D-mallinnukseen syötettiin kaikki olemassa oleva aineisto, jonka perustella luotiin malli maapeitteen paksuudesta sekä ruhjevyöhykkeiden kulusta. Tätä mallia käytettiin kulkeutumismallintamisen pohjana. Kulkeutumismallintamisessa tehtiin satunnaisia virtausreittejä sivukivialue KL2:n (13 kpl) ja geotuubikentän (2 kpl) pohjarakenteeseen, joilla simuloitiin mahdollisen vuodon leviämistä maaperässä ja kulkeutumista ruhjevyöhykkeisiin.

2.1 Lineamenttitulkinta

Lineamenttitulkinnan tavoitteena oli määritellä potentiaalisten deformaatiovyöhykkeiden (mm. ruhje- ja rakovyöhykkeiden) sijainnit. Näistä vyöhykkeistä tarvitaan tietoa, kun arvioidaan ja mallinnetaan pohjaveden virtausta ja haitta-aineiden kulkeutumista kallioperässä. Yleensä kallioperän virtaukset keskittyvät juuri rako- ja ruhjevyöhykkeisiin.

Suomen kallioperällä on mosaiikkimainen lohkorakenne, jossa eri kokoiset ruhje- ja rakovyöhykkeet rajaavat kallioperän ehjempiä lohkoja. Koska nämä vyöhykkeet ovat ympäristöään kuluneempia, niiden sijainnit voivat erottua laaksoina, pitkulaisina järvinä ja muina topografisina painanteina. Vyöhykkeiden kartoituksen ensimmäinen vaihe on yleensä lineamenttitulkinta, jossa määritellään jatkuvat lineaariset piirteet satelliitti- ja ilmakuvilta, korkeusmalleista ja erilaisilta topografisilta, geologisilta ja geofysikaalisilta kartoilta.

Päivitetyssä lineamenttitulkinnassa on hyödynnetty Maanmittauslaitoksen korkeusmallia, joka perustuu tarkkoihin lasermittauksiin (LiDAR). Kyseisen aineiston pistetiheys on 0,5 pistettä/m² ja keskimääräinen vertikaalitarkkuus 30 cm. Aiempi korkeusmalliin perustuva tulkinta on tehty selvästi harvemmasta korkeusmallista, jonka pisteväli oli 10 m. Aiemmissa tulkinnoissa oli käytetty myös aerogeofysikaalista aineistoa (Pasanen et al. 2014). Tässä päivitetyssä työssä on pelkän LiDAR-tarkastelun lisäksi osittain hyödynnetty myös ko. aineistoihin perustuvia aiempia tulkintoja. Tulkinnat on sidottu myös vuosina 2008, 2014 ja 2020 tehtyjen seismisten taittumisluotausten tuloksiin, koska ko. tutkimukset tuovat luotettavasti esiin kallion rakoilleet vyöhykkeet. Esimerkki LiDAR-aineistosta ja tulkittu alue on esitetty kartalla kuvassa 2-1. Alue on melko suuri ja kattaa n. 20 km x 20 km alueen kaivosalueen ympärillä.





Kuva 2-1. LiDAR-korkeusmalli tulkinta-alueelta (musta suorakulmio).

2.2 3D-mallinnus

3D-mallinnus tehtiin Leapfrog[™] -ohjelmistolla (Seequent Ltd.) lähtötiedoksi virtaus- ja kulkeutumismallinnusta varten. Malli määrittelee maanpinnan ja kallioperän yläpinnat ja samalla maakerroksen paksuuden mallinnetulla kohdealueella. Kun mallille määritetään lisäksi alapinta tietylle syvyydelle, voidaan sekä kalliosta että hajanaisesta irtomaakerroksesta muodostaa umpinaiset solidikappaleet. Mallin yläpintaa rajoittaa korkeusmalli, joka koostettiin LiDARkorkeusmallista harvennettuna 10 m ruudukkoon, Terrafamelta saadusta louhoksen lasermittauksesta sekä KL2-alueen pintarakenteista. Kallion pinnan syvyysmallissa käytettiin seuraavia aineistoja:

- Korkeusmalli
- Terrafamen kairaukset
- GTK:n ja Outokummun kairaukset
- Tiedot koekuopista
- Seismiset refraktioluotaukset
- Painovoimatulkinnat
- Aerosähkömagneettiset tulkinnat



- Maapeitteen likimääräiset paksuustiedot maaperäkartoista
- Havainnot kalliopaljastumista
- Uusimmat maaperäkairaukset.

Kuvassa 2-2 on esitetty mallinnetun alueen sijainti. Alueen koko on 4 km x 4,9 km. Mallin alapinta sijaitsee merenpinnan tasossa (Z = 0 m m.p.y.), joten syvyysulottuvuus maanpinnan tasosta on n. 250 m.





2.3 VLF-R -menetelmä

VLF-R -menetelmä (The Very Low Frequency – Resistivity) on kaukaisia VLF-taajuusalueessa toimivien asemien lähettämää sähkömagneettista kenttää (tasoaalto) lähteenä käyttävä geofysikaalinen menetelmä. Menetelmällä havainnoidaan maankamaran sähkönjohtavuutta. Menetelmää on perinteisesti käytetty malminetsinnässä, mutta käyttö pohjavesi- ja ympäristötutkimuksissa maaperän paksuuden määrittämiseksi sekä ruhjevyöhykkeiden paikantamiseksi on lisääntynyt (Lindsberg 2008, Müllern and Eriksson 1982).

VLF-R -menetelmässä mitataan lähetysaseman suuntainen sähkökenttä induktiivisesti sekä sitä vastaan kohtisuora magneettikenttä. Mittaustuloksena saadaan maankamaran

Geologian tutkimuskeskus | Geologiska forskningscentralen | Geological Survey of Finland

5/35

28.8.2020

näennäinen ominaisvastus ja toisiaan vasten kohtisuorien magneetti- ja sähkökenttien vaihe-ero (Cagniard 1953, Hjelt et al. 1990). Teoreettisesti olisi optimaalista mitata oletetun geologisen kulun suunnassa ja sitä kohtisuorassa (90 astetta) sijaitsevia lähetin asemia käyttäen. Tällöin mitataan kohtisuorissa E (sähkökenttä) ja H (magneettikenttä) polarisaatiossa. VLF-R -menetelmällä on hyvä syvyysulottuvuus; kuivalla, huonosti sähköä johtavalla maankamaralla helposti 100 m. Perinteisesti Suomessa on käytetty kanadalaista Geonics Ltd:n EM16R laitetta (Tilsley 1976, Hjelt et al. 1990, Turunen 2008), mutta myös muita kaupallisia laitteita on saatavilla (mm. EDA ja IRIS).

VLF-R- mittaukset tulkitaan tavallisesti 2-kerrosinversiolla ja perinteisiä ominaisvastus- ja vaihekulmakarttoja tutkimalla.

Tutkimusalueen mittaukset, 7 profiilia ja noin 8,5 km, tehtiin GEONICS EM 16-R -mittalaitteella käyttäen lähetinasemana Pohjois-Saksassa sijaitsevaa DHO38 asemaa (23.4 kHz).

2.4 Taittumisseisminen luotaus

Taittumisseisminen luotaus perustuu maa- ja kivilajien erilaisiin kimmo-ominaisuuksiin, jotka määräävät seismisten aaltojen etenemisnopeuden. Seismisten aaltojen etenemisnopeus riippuu maaperäolosuhteissa maalajista, sen tiiveydestä ja kosteudesta. Kallioperässä seismisten aaltojen etenemisnopeuden määrää kivilaji ja varsinkin sen rikkonaisuus. Tällä menetelmällä voidaan selvittää maapeitteen paksuuden ja laadun lisäksi myös kallioperän rikkonaisuus.

Menetelmässä mitataan signaalin nopeinta kulkuaikaa aaltolähteestä (esim. räjäytys, vasaran isku) geofoneihin eli hyödynnetään ns. kriittisesti taittuneita P- eli kompressioaaltoja. Menetelmän edellytyksenä on, että seisminen nopeus kasvaa alaspäin mentäessä (esim. kuiva irtomaa, pohjavesikerros, kallio).

Tässä tutkimuksessa luotaukset tehtiin 100 metrin pituisina vastakkaisluotauksina, joissa geofonit (24 kpl) olivat 5 metrin välein. Geofonilevitysten molemmissa päissä ja keskellä keskipanoksen molemmin puolin oli 3 geofonia 2.5 metrin välein tarkemman irtomaanopeuden määrittämiseksi. Kullakin geofonilevityksellä räjäytettiin 5 panosta täryaallon synnyttämiseksi. Lähipanokset (2 kpl) räjäytettiin levityksen päissä, keskipanos (1 kpl) levityksen keskellä ja kaukopanokset (2 kpl) linjan jatkeilla 100 metrin etäisyydellä kallionopeuden määrittämiseksi. Panoksiin käytettiin 80 – 250 g dynamiittia. Luotauslinja koostuu useista peräkkäisistä geofonilevityksistä. Mittauslaitteistona käytettiin 24-kanavaista Geometrics StrataVisor NZXP –seismografia.

Seismogrammit luettiin Rimrock Geophysics'n Sipik-ohjelmalla, jossa ensisaapujien tuloajat poimittiin. Varsinainen tulkinta on tehty SeisImager\2D –ohjelmistolla. Kallionopeudet on määritetty vastakkaisten kaukopanosten saapumisaikojen erotusten avulla.

Tyypillinen virhearvio seismisesti määritetylle maapeitteen paksuudelle on 10 % ja alle 10 merin paksuuksilla 1 metri. Virherajojen toteutuminen edellyttää kuitenkin oikean tulkintamallin valintaa. Merkittävimmät virheet taittumisseismisiin luotauksiin aiheuttavat yleensä välikerrokset, jotka ovat liian ohuita erottuakseen seismogrammeissa (ns. piilokerros) ja hidas välikerros (esim. hiekkakerros sorakerroksen alla), jolloin nopeamman kerroksen alle jäävä hitaampi kerros jää seismogrammissa näkymättä, koska seisminen aalto kulkee pitkin nopeampaa kerrosta. Piilokerrostapauksessa tulkittu



irtomaakerros jää ohuemmaksi kuin todellisuudessa, hitaan välikerroksen tapauksessa tulkittu kerrospaksuus on suurempi kuin todellisuudessa.

Seismisen aallon nopeus kalliossa ei ole yksikäsitteinen määre kallion rikkonaisuudelle. Mitattuun nopeuteen vaikuttaa kivilajin lisäksi rikkonaisuuden tyyppi ja suunta luotaukseen nähden. Kohtisuoraan rakoilua vastaan mitattuna seisminen nopeus on yleensä huomattavasti alhaisempi kuin rakoilun suunnassa. Kallion pintaan puhkeamaton vaaka-asentoinen rikkonaisuus ei ilmene lainkaan taittumisseismisessä luotauksessa.

Pääsääntöisesti voidaan sanoa, että kallio on ehjää, jos sen seisminen nopeus on suurempi kuin 5000 m/s. Välillä 4500-5000 m/s kalliossa esiintyy rikkonaisuutta ja 4000-4500 m/s kertoo kallion olevan selvästi rikkonaista kivilajista riippumatta. Alle 4000 m/s kallio on ruhjeista.

2.5 Hydrogeologiset tutkimukset

Hydrogeologisten tutkimusten tavoitteena oli tuottaa ainestoa kulkeutumismallia varten. Hydraulisista mittauksista määritetty K-arvo, eli hydraulinen johtavuus on tärkein yksittäinen parametri virtaus- ja kulkeutumismallinnuksessa.

2.5.1 Pohjavesiputkien asentaminen

Hydrogeologisia tutkimuksia varten alueelle suunniteltiin sijoitettavaksi kahdeksan pohjaveden havaintoputkea maapeitteeseen. Näiden suunniteltujen pohjavesiputkien sijainnit valittiin lineamenttitulkinnan, korkeusmalli- ja karttatulkinnan, 3D-mallin ja geofysiikan tutkimusten perusteella todennäköisimmille maaperän pohjaveden kulkeutumisreiteille. Hankalien maastoolosuhteiden vuoksi kairakoneella ei päästy kahdelle suunnitellulle pisteelle, mutta muut kuusi suunniteltua pohjavesiputkea saatiin asennettua (Kuva 2-3, liite 1). Pohjavesiputkien sijaintia suunniteltaessa kohteet priorisoitiin, jotta merkityksellisimmät putket tulevat asennettua. Kaksi asentamatta jäänyttä putkea oli luokiteltu toiseen ja kolmanteen prioriteettiin.

Jokainen pohjavesiputki asennettiin kolmen metrin kalliovarmistuksella ja putkiin asennettiin siivilät koko pohjavesivyöhykkeen alueelle sekä suojaputket lukolla. Pohjavesiputkien asennuksen suoritti alihankintana Suomen GPS-mittaus Oy. Pohjavesiputkien tarkka sijainti ja korkeus määritettiin Terrafame Oy:n toimesta.







2.5.2 Hydraulisen johtavuuden määritys

Asennetuista pohjavesiputkista mitattiin pohjaveden pinnankorkeus sekä hydraulinen johtavuus slugtesteillä. Pohjaveden pinnan korkeus määritettiin ns. piipparilla, eli mittanauhalla, jonka päässä on elektrodi. Veteen osuessaan elektrodi antaa äänimerkin, jonka perusteella pohjaveden pinnankorkeus voidaan mitata.

Slug-testi on hydraulinen testi, jossa muutetaan pohjaveden pinnan korkeutta äkillisesti ylöspäin tai alaspäin (mm. OhioEPA 2016). Ylöspäin tehtävässä testissä (lowering head) pohjavesiputkeen pudotetaan uppoava tanko, eli slug, tai lisätään vettä hyvin nopeasti. Alaspäin tehtävässä testissä (rising head) pohjavesiputkesta poistetaan vettä hyvin nopeasti esim. suurella kertanäytteenottimella. Ennen testin tekemistä putkeen asennetaan paineanturi riittävälle syvyydelle testin alapuolelle mittaamaan riittävällä mittaustaajuudella pohjavedenpinnan palautumista tasapainotilaan. Tässä tutkimuksessa käytettiin sekä rising head menetelmää että lowering head menetelmää (havaintoputki P32). Menetelmän valinta tehdään putken ominaisuuksien ja käytännöllisyyden mukaan. Tuloksiin valitulla menetelmällä ei ole merkitystä.



Slug-testi on ns. kokoputkitesti, joka antaa keskiarvoistetun tuloksen koko havaintoputken siiviläosalle ja ei näin ollen ota huomioon K-arvon vertikaalista vaihtelua. Tässä tutkimuksessa slug-testin antaman tuloksen tulkitaan olevan riittävän tarkka, koska tulosta käytetään kulkeutumismallintamisessa, jossa maapeite on mallinnettu yhtenä yksikkönä. Slug-testin nopeasta luonteesta johtuen sen tulos kuvaa havaintoputken läheistä maaperää. Mallinnusta varten slug-testien tulokset ovat interpoloitu koko alueelle. Tässä tutkimuksessa yhtenä virhelähteenä on slug-testien tekeminen pian pohjavesiputkien asentamisen jälkeen, jolloin pohjavesi ei välttämättä ole ehtinyt asettua tasapainotilaan ja virtaus maaperän ja pohjavesiputken välillä voi olla vaillinnaista. Vaikka osa saaduista palautumiskäyristä on vaikeaselkoisia, tulokset ovat kuitenkin linjassa moreenin vedenjohtavuuksien kanssa ja näin ollen niiden katsotaan olevan riittävän tarkkoja tutkimuksen tavoitteiden kannalta.

Slug-testin palautumiskäyrän perusteella laskettiin hydraulinen johtavuus käyttäen Bouwer & Rice (1976) menetelmää, jossa pohjaveden pinnan palautumiseen sovitetaan suora. Menetelmä soveltuu vapaan (ei-paineellisen) akviferin hydraulisen johtavuuden määrittämiseen, kun pohjaveden pinnan muutos on tapahtunut äkillisesti.

2.6 Pohjaveden kulkeutumismallinnus

Kulkeutumismallinnus tehtiin Finite Element-menetelmään perustuvalla FeFlow-ohjelmalla. Numeeriset simulaatiot tehtiin ns. forward mallinnuksena, jossa ei pystytä tekemään kalibrointia tai validointia, simulaation ennustavan luonteen johdosta. Mallinnus tehtiin yksinkertaisuuden vuoksi ainoastaan vedellä kyllästyneelle vyöhykkeelle, ilman sivukivikasa KL2:ta, jonka odotettiin päästävän kaiken suotautumisen lävitse. Mallissa on huomioutu sivukivikasa KL2:n ja geotuubikentän vettä läpäisemätön pohjarakenne. Maastotutkimusten tulokset on viety kulkeutumismalliin lähtöarvoiksi sellaisenaan. Kulkeutumismallinnuksen alue sekä laskennassa tarvittavat 2D ja 3D elementtiverkot on esitetty kuvassa 2-4a. Mallinnusalue on suorakaiteen muotoinen ja sen mitat ovat n. 4 km x4,86 km syvyysulottuvuuden ollessa n. 250 m. Kulkeutumismallin geometrian rakentamisessa käytettiin 3Dmallinnuksesta saatuja maanpinnan ja kallionpinnan korkeusmalleja sekä mallin alapintaa. Laskennassa käytettävä elementtiverkko luotiin TetGen-algoritmilla (kuva 2-4b-c). Malliin muodostettiin 1513576 elementtiä ja 271681 solmukohtaa.

Pohjaveden virtaus ratkaistiin käyttäen Dirichletin reunaehtoa mallin ulkoreunoilla. Reunaehto olettaa, että mallin reunan hydrauliset olosuhteet eivät muutu mallin sisäisten prosessien mukaan. Lähtötietojen puuttuessa mallin reunoilla, reunaehto asetettiin siten, että pohjaveden pinnan taso määritettiin vähentämällä alueellisesti valittu luku maanpinnan korkeudesta. Käytännössä reunaehto määrää pohjaveden pinnan metristä muutamaan metriin maanpinnan alapuolelle. Avolouhoksen reunoilla käytettiin "seepage face" reunaehtoa, joka asettaa pohjaveden pinnan tason, mutta antaa pohjaveden virrata avolouhokseen. Tämä reunaehto jäljittelee pohjaveden luonnollista virtaamaa avolouhokseen.

Pohjaveden pintoina mallissa käytettiin mitattuja pohjaveden pintoja. Pohjaveteen suotautuvan veden osuudeksi arvioitiin 2,3 % vuotuisesta sadannasta (600 mm/a), sivukivialue KL2:n peittorakenteen tutkimusten perusteella (Pöyry 2019). Kulkeutumismallinnuksessa käytettiin konservatiivista merkkiainetta, joka ei reagoi väliaineen kanssa. 15 summittaista vuotopistettä asetettiin sivukivialue



KL2:n (13 kpl) ja geotuubikentille (2kpl) simuloimaan mahdollisia vuotopisteitä. Näitä pisteitä käytettiin merkkiaineiden lähtöpisteinä ja niille asetettiin reunaehdoksi vakiopitoisuus (kuva 2-5). Kaikki simulaatiot tehtiin 1000 vuoden aikajänteellä. Taulukossa 2-1 on esitetty mallinnuksessa käytetyt parametrit.



Kuva 2-4. Yksinkertaistettu tasokuva mallinnusalueesta (a), tasokuva elementtiverkosta (b), 3Delementtiverkko (c).

Pohjaveden virtaus ratkaistiin käyttäen Dirichletin reunaehtoa mallin ulkoreunoilla. Reunaehto olettaa, että mallin reunan hydrauliset olosuhteet eivät muutu mallin sisäisten prosessien mukaan. Lähtötietojen puuttuessa mallin reunoilla, reunaehto asetettiin siten, että pohjaveden pinnan taso määritettiin vähentämällä alueellisesti valittu luku maanpinnan korkeudesta. Käytännössä reunaehto määrää pohjaveden pinnan metristä muutamaan metriin maanpinnan alapuolelle. Avolouhoksen reunoilla käytettiin "seepage face" reunaehtoa, joka asettaa tietyn pohjaveden pinnan tason, mutta antaa pohjaveden virrata avolouhokseen. Tämä reunaehto jäljittelee pohjaveden luonnollista virtaamaa avolouhokseen. Pohjaveden pintoina mallissa käytettiin mitattuja pohjaveden pintoja.



Pohjaveteen suotautuvan veden osuudeksi arvioitiin 2,3 % vuotuisesta sadannasta (600 mm/a), sivukivialue KL2:n peittorakenteen tutkimusten perusteella (Pöyry 2019). Kulkeutumismallinnuksessa käytettiin konservatiivista merkkiainetta (traceria), joka ei reagoi väliaineen kanssa. 15 summittaista vuotopistettä asetettiin sivukivialue KL2:n (13 kpl) ja geotuubikentille (2kpl) simuloimaan mahdollisia vuotopisteitä. Näitä pisteitä käytettiin merkkiaineiden lähtöpisteinä ja niille asetettiin reunaehdoksi vakiopitoisuus (kuva 2-5). Kaikki simulaatiot tehtiin 1000 vuoden aikajänteellä. Taulukossa 2-1 on esitetty mallinnuksessa käytetyt parametrit.

(a) Schematic of leakage points (b) Leakage points on 2D mesh





Kuva 2-5. Tasokuva summittaisista vuotopisteistä (a, b), ja 3D-geometriasta (c). Vihreät viivat b-kuvassa osoittavat ruhjevyöhykkeiden kulun. Sivukivialue KL2:n vuotopisteet on merkitty punaisella/oranssilla ja geotuubikenttien vuotopisteet violetilla.



Taulukko 2-1: Numeerisen mallintamisen lähtöarvot ja parametrit.

Parametrit	Arvot
Solmukohtien määrä	271681
Elementtien määrä	1513576
Aikasteppi	Mukautuva
Pohjaveden suotautuminen [mm y ⁻¹]	13
Varastokerroin, maaperä [m ⁻¹]	10-4
Varastokerroin, kallioperä [m ⁻¹]	10 ⁻⁶
Huokoisuus, sedimentti [-]	0.30
Huokoisuus, kallioperä [-]	0.01
Diffuusiokerroin [m ² s ⁻¹]	1×10 ⁻⁹
Pitkittäinen dispersiviteetti [m]	5
Poikittainen dispersiviteetti [m]	1

2.6.1 Herkkyysanalyysi

Vaikutuksiltaan merkittävimpien parametrien löytämiseksi tehtiin herkkyysanalyysi, jossa muutettiin mallinnusparametrien arvoja ja seurattiin niiden vaikutusta mallinnuksen tulokseen. Herkkyysanalyysi tehtiin, jotta nähtiin erilaisten hydraulisten johtavuuksien ja pohjaveden suotautumisen arvojen muutokset mallinnuksen tulokseen sekä merkkiaineen etenemiseen. Nämä parametrit valittiin koska ne ovat kaikista merkityksellisimpiä virtaus- ja kulkeutumisprosesseissa. Kenttämittauksista saatuja tuloksia käytettiin ns. perustilana. Taulukossa 2-2 on listattu herkkyysanalyysien skenaariot.

Taulukko 2-2: Herkkyysanalyysin parametri	Taulukko 2-2	: Herkkyysana	lyysin	parametrit
---	--------------	---------------	--------	------------

Skenaario Muunneltava parametri		parametrin arvo		
Perustila	-	K = slug testeistä, R = 2,3 % vuotuisesta sadannasta		
K1	Hydraulinen johtavuus (K)	$K = K_{perustila} \times 10$		
K2	Hydraulinen johtavuus (K)	$K = K_{perustila} \times 0, 1$		
R1	Pohjaveden suotautuminen (R)	R = 10 % vuotuisesta sadannasta		
R2	Pohjaveden suotautuminen (R)	R = 25 % vuotuisesta sadannasta		
R3 Pohjaveden suotautuminen (<i>R</i>)		R = 50 % vuotuisesta sadannasta		

3 TULOKSET

3.1 Lineamenttitulkinta

Lineamenttitulkinnan tuloksena mahdollisia kallion rikkonaisuusvyöhykkeitä kuvaavia piirteitä paikallistettiin runsaasti. Kuvassa 3-1 on esitetty lineamenttitulkinnan lopputulos koko tulkintaalueelta sekä kuvassa 3-2 KL2-alueen lähiympäristöstä. Tulkitut lineamentit luokiteltiin 4 luokkaan niiden pituuden perusteella (Taulukko 3-1). Pisimmät piirteet kuvaavat yleensä myös todennäköisimmin ruhje- ja rakovyöhykkeitä ja ovat myös geologisesti merkittävimpiä (esim. Scholtz 2002).



Kokoluokka	Pituus
1	> 20 km
2	5-20 km
3	1-5 km
4	< 1 km

Taulukko 3-1. Lineamenttien luokittelu, sovellettu Salmen et al. (1985) luokittelua.

Yleisenä hallitsevana piirteenä havaitaan luode-kaakko- ja lähes pohjois-eteläsuuntaiset lukuisat lineamentit. KL2-aluetta leikkaa sekä pohjois- että eteläosissa merkittävät suunnilleen luode-kaakkosuuntaiset monihaaraiset 2. ja 3. luokan lineamentit. Näiden päävyöhykkeiden välissä on useita pienempiä 3. ja 4. luokan samansuuntaisia piirteitä. Viimeisimmät seismisen taittumisluotauksen profiilit osoittavat, että alueella todella on paljon kallion rikkonaisuutta. Tulkinnassa lineamentit on sovitettu seismisiin luotaustuloksiin. Koska nämä korkeusmallin lisäksi seismisiin indikaatioihin perustuvat piirteet voidaan arvioida muita varmemmiksi, ne on erikseen esitetty kuvassa 3-3.



Kuva 3-1. Tulkitut lineamentit luokiteltuna eri kokoluokkiin. Luokka 1 (punainen): pituus yli 20 km, luokka 2 (vihreä): pituus 5 – 20 km, luokka 3 (sininen): pituus 1 – 5 km, luokka 4 (oranssi): pituus alle 1 km.





Kuva 3-2. Tulkitut lineamentit KL2-alueen lähiympäristössä. Luokka 1 (punainen): pituus yli 20 km, luokka 2 (vihreä): pituus 5 – 20 km, luokka 3 (sininen): pituus 1 – 5 km, luokka 4 (oranssi): pituus alle 1 km. Kahden taittumisseismisen linjan tulokset on myös esitetty kallionopeuksina (keltainen, punainen ja violetti profiileilla kuvaavat rikkonaisuusvyöhykkeitä).



Kuva 3-3. Seismisiin taittumisluotauksiin ja korkeusmalliin perustuvat lineamentit.



14/35

28.8.2020

3.2 3D-mallinnus

Laadittu 3D-malli maaperästä ja kalliosta on esitetty kuvassa 3-4 ja itä-länsi-suuntainen pystyleikkaus kuvassa 3-5. Maaperä on esitetty keltaisella ja kallio punaisella värillä. Mallin yläpintaa rajoittaa LiDAR-topografia, ja alapinta on n. 250 - 300 m syvyydessä maapinnasta.

Irtomaakerroksen paksuus KL2-alueella on tyypillisesti 0 – 5 m (kuva 3-6). Paksumpi, luokkaa 10 m:n irtomaakerros havaitaan laajempana alueen kaakkoiskulmassa ja KL2-alueen pohjoispäässä. Myös alueen länsireunaan on mallinnettu paksumman irtomaan alueita, mutta mallin luotettavuus heikkenee vähäisen aineiston vuoksi siirryttäessä keskeiseltä alueelta reunoille. Mustilla alueilla kallio tulee pintaan tai maakerros on hyvin ohut.



Kuva 3-4. 3D-malli lounaasta katsottuna. Punainen: kallio, keltainen: irtomaakerros.



Kuva 3-5. Itä-länsi-suuntainen pystyleikkaus 3D-mallista. Y = 7096732. Z-koordinaatin korostus 3x.





Kuva 3-6. Mallinnettu irtomaakerroksen paksuus.

3.3 VLF-R -menetelmä

VLF-R mittaukset tutkimusalueella tehtiin maaperän paksuuden ja mahdollisten ruhjeiden/lineamenttien paikantamiseksi. Mitatut profiilit sekä näennäisen ominaisvastuksen ja vaiheen väripintakartat on esitetty kuvissa 3-7 ja 3-8.

VLF-R menetelmän syvyysulottuvuus on helposti yli 100 m, koska tutkimusalueen maaperä on yleisesti melko ohut. Tuloksessa näkyvät tutkimusalueen kallioperää dominoivat hyvin sähköä johtavat mustaliuskeet (kuva 3-8). VLF-R –mittausten 2-kerrosinversion tuloksia voidaan pitää tämän takia paikoin suuntaa-antavina, varsinkin maaperän paksuuden osalta. Profiileilla havaittiin kuitenkin useita kalliopainaumaan/ruhjeeseen viittavia häiriöitä. Mustaliuskehorisontit erottuvat erittäin matalan ominaisvastuksen alueina. Esimerkki VLF-R mittausten 2-kerrosinversiotuloksesta tulkintoineen on kuvassa 3-9. Kaikki VLF-R tulokset on esitetty liitteessä 2. Tulokset ovat kohtuullisen yhteneväisiä lineamenttitulkinnan, kairaushavaintoihin perustuvan maaperän paksuustulkinnan ja seismisten mittausten tulosten kanssa.





Kuva 3-7. VLF-R -mittaustulokset; näennäinen ominaisvastus. Pohjakartta © Maanmittauslaitos 2020





Kuva 3-8. VLF-R -mittaustulokset; vaihekulma. Pohjakartta © Maanmittauslaitos 2020, Suomen kallioperä – DigiKP. Digitaalinen karttatietokanta [Elektroninen aineisto]. Espoo: Geologian tutkimuskeskus [viitattu 18.9.2019]. Versio 2.2.





Kuva 3-9. VLF-R -mittaustulokset; 2-kerrosinversiotulos ja tulkinta profiililta 4 (seisminen profiili 2). Pohjakartta © Maanmittauslaitos 2020.

3.4 Taittumisseisminen luotaus

Taittumisseismisten luotausten tulkinnat on esitetty kuvissa 3-10 ja 3-11. Kallionopeudet vaihtelevat tulkinnan mukaan välillä 3000-5300 m/s. Vyöhykkeet, joissa seismiset kallionopeudet ovat alle 4000 m/s edustavat ruhjeita.



Kuva 3-10. Taittumisseismisen luotauksen tulkinta seismiseltä linjalta 1.





Kuva 3-11. Taittumisseismisen luotauksen tulkinta seismiseltä linjalta 2.

3.5 Hydrogeologiset tutkimukset

Hydrogeologisen tutkimuksen tuloksena syntyivät määritykset pohjavesiputkien lähialueen hydraulisesta johtavuudesta sekä pohjaveden pinnan korkeuksista (taulukko3-2). Kaikki tulokset on esitetty liitteessä 3. Tuloksia käytettiin kulkeutumismallintamisen lähtötietoina. Hydraulisen johtavuuden arvoja laskettaessa pohjavesiputkien asentamisen ja mittaamisen välinen lyhyt aikaväli vaikuttavat tulosten tulkintaan. Pohjavedenpinnan palautumiskäyrissä havaittiin häiriöitä, joita ei odotettu vastaavissa maaperäolosuhteissa tehtyjen slug-testien antaman kokemuksen perusteella. Nämä häiriöt vaikuttivat laskennassa vaadittavaan käyränsovitukseen. Tällaisia häiriöitä olivat hyvin nopeat (noin 1-2 sekuntia) oskillaatiopiikit palautumiskäyrien alussa (pohjavesiputkilla P33, P34 ja P36) sekä epäselvyydet pohjaveden pinnan palautumisessa (pohjavesiputkilla P30, P31 ja P33). Tämän vuoksi aineistoille joissa havaittiin paljon häiriötä, kokeiltiin erilaisia käyränsovituksia ja merkityksellisimpiä tuloksia käytettiin kulkeutumismallin pohjadatana. Käyränsovituksissa otettiin huomioon yksittäisten testien tekninen onnistuminen, sovitettavien pisteiden sijoittuminen Bouwer & Rice menetelmän kannalta merkityksellisimmälle palautumisen vaiheelle, sekä oskillaatiopiikkien vaikutus verrattuna pohjavedenpinnan palautumiseen kokonaisuutena. Häiriötekijöiden huomioon ottamisen vuoksi K-arvolaskennan luotettavuutta arvioitiin empiirisesti asteikolla hyvä, tyydyttävä ja epävarma.



Tunnus	x	У	Maanpinnan korkeus (m, N60)	Hydraulinen johtavuus (m/s)		K- arvolaskennan luotettavuus (1,00= hyvä, 0,75 = tyydyttävä, 0,50 = epävarma)	Pohjaveden pinnankorkeus (m, N60)	
P30	3554193	7099320	219,26	1,60E-04	1,25E-04	1,13E-04	1,00	218,229
P31	3554438	7098987	217,59	1,40E-06			0,50	217,015
P32	3554797	7098212	214,38	9,52E-08			0,75	209,343
P33	3555042	7096110	222,14	1,20E-07			0,75	221,304
P34	3555721	7096103	216,81	3,28E-06			1,00	216,455
P36	3553564	7096051	222,91	2,24E-05	2,34E-05	1,97E-05	1,00	222,179

Taulukko 3-2. Hydrogeologisten tutkimusten tulokset.

3.6 Pohjaveden kulkeutumismallinnus

Pohjaveden kulkeutumismallinnuksessa mallinnettiin satunnaisista pisteistä sivukivialue KL2:n ja geotuubikentän pohjarakenteissa tapahtuva vuoto. Mallin avulla tarkasteltiin kulkeutumisaikaa ruhjevyöhykkeiden yläpintaan sekä merkkiaineen laimenemisen kehitystä. Kuvassa 3-12 on esitetty yksittäisten partikkelien kulkeutuminen kaikista kuvan 2-5 vuotokohdista virtausmallilaskennassa. Kaikkien laskettujen virtausreittien mukaan partikkelien yleinen kulkeutumissuunta maaperän pohjavedessä on kohti avolouhosta. Tämä tulos on myös sopusoinnussa alueen painekorkeusjakauman kanssa, joka osoittaa voimakasta hydraulista gradienttia kohti louhosta. Merkille pantavaa on myös, että kaikki simuloidut reitit läpäisevät pinnassa olevan sedimenttikerroksen, mutta eivät tunkeudu kallioon, joka johtuu kalliolle asetetusta erittäin pienestä vedenjohtavuudesta ruhjevyöhykkeiden ulkopuolella. Mallinnuksen mukaan partikkelien keskimääräinen kulkeuma-aika eri vuotokohdista avolouhokseen on satoja vuosia. Mahdollisesti liuenneiden aineiden kulkeutuminen alueella on siis melko hidasta. Keltaiset pystysuorat tasomaiset piirteet kuvissa 3-12c-d edustavat mahdollisia kallion rikkonaisuusvyöhykkeitä, ja simuloidut reitit KL2-alueen vuotokohdista näyttävät leikkaavan näitä piirteitä. Rikkonaisuusvyöhykkeitä ei ole huomioitu numeerisessa mallissa, mutta virtausta ruhjevyöhykkeiden yläpintaa kohden tarkastellaan.





Kuva 3-12. Simuloidut partikkelien kulkeumareitit ja –ajat KL2-alueen ja geotuubikentän vuotokohdista.

Kuten kappaleessa 2.6 kuvattiin, kulkeutumismallinnus tehtiin virtausmallinnuksesta saatujen virtausnopeuksien perusteella. Kuva 3-13 esittää kustakin vuotokohdasta lähtöisin olevat mallinnetut konservatiivisen merkkiaineen pluumit 1000 vuoden kuluttua simuloitujen vuotojen tapahtumaajankohdasta. On hyvä huomata, että kaikki pluumit noudattavat vastaavista vuotokohdista piirrettyjä partikkelien kulkeumareittejä, kuten Kuvassa 3-12 esitettiin, mutta pluumit levittäytyvät laajemmalle alueelle hitaamman advektion ja suhteessa merkittävämmän dispersion vaikutuksesta. Pluumien hidas eteneminen on nähtävissä myös kulkeutumismallin tuloksissa ja itse asiassa jotkin pluumeista (mm. vuotokohdista KL-3, KL-4, KL-6, KL-12 ja KL-13 lähtöisin olevat) eivät ole saavuttaneet avolouhosta vielä 1000 vuoden kuluttua.





Kuva 3-13. Konservatiivisen merkkiaineen pluumit yksittäisistä vuotokohdista 1000 vuoden kuluttua. Merkkiaineen pitoisuus on esitetty väriskaalalla punaisesta tummansiniseen/violettiin, jossa punainen vastaa vuotokohdan pitoisuutta (1 mg/L) ja tummansininen/violetti alle 10 % vuotokohdan pitoisuudesta (<0,1 mg/L).



23/35

28.8.2020

Kuva 3-14 esittää konservatiivisen merkkiaineen pluumien ajallisen kehityksen kustakin vuotokohdasta. On hyvä huomata, että kaikkien pluumien eteneminen tapahtuu ohuessa maaperän kerroksessa, kun taas dispersion myötä osa merkkiaineesta kulkeutuu kallioperän pintaan. Kulkeutumislaskelmien perusteella pluumit todellakin levittäytyvät hitaasti ja ensimmäinen pluumi saavuttaa avolouhoksen vasta noin viiden vuoden kuluttua (Kuva 3-14g). Sadassa vuodessa yksittäiset pluumit alkavat yhdistyä toisiinsa. Jopa 1000 vuodessakaan pluumien kehitys ei vielä ole saavuttanut tasapainotilaa, mutta tänä aikana suurin osa pluumeista on kuitenkin todennäköisimmin osunut yhteen tai kahteen ruhjevyöhykkeeseen, jotka näkyvät keltaisina tasoina Kuvassa 3-14.

Mallinnettujen vuotojen vaikutusta ja niiden mahdollista kulkeutumista kallioperän ruhjevyöhykkeisiin voidaan tarkastella myös merkkiainepitoisuuskäyrien avulla. KL2:n alueelta ja lähiympäristöstä valittiin kallioperän pinnasta 20 pistettä 2. luokkaan kuuluvien lineamenttien (Taulukko 3-1) eli ruhjevyöhykkeiden kohdalta. Näiltä ruhjevyöhykkeiden yläpinnan pisteiltä (Kuva 3-15) vuotoa simuloivan merkkiaineen pitoisuuden kehitystä ajan suhteen on tarkasteltu merkkiainepitoisuuskäyrien avulla (Kuva 3-16).

Kuvan 3-16 merkkiainepitoisuuskäyrät näyttävät konservatiivisen merkkiaineen pitoisuuden kehityksen ajan suhteen kussakin valitussa pisteessä, eli ne kuvastavat simuloidun vuodon päätymistä ruhjevyöhykkeiden yläosiin. Pisteet 5, 7 ja 10, jotka kaikki sijaitsevat saman ruhjevyöhykkeen kohdalla (Kuva 3-15), vaikuttavat olevan alttiimpia simuloiduille vuodoille. Simuloitu merkkiaine saapuu melko varhaisessa vaiheessa (alle yhdessä vuodessa) näille pisteille ja lisäksi merkkiaineen pitoisuus saavuttaa saman tason kuin vuotopisteessä (1 mg/L) ruhjevyöhykkeiden yläpinnan pisteillä 7 ja 10. Pisteet 6, 12, 13, 15 ja 17 ovat seuraavaksi alttiimpia mahdollisten haitta-aineiden kulkeutumiselle ruhjeiseen kallioperään, kulkeutumisaikojen ollessa keskimäärin alle 10 vuotta. On kuitenkin hyvä huomata, että näillä pisteillä merkkiaineen pitoisuus saavuttaa vain noin 10-40 % vuotokohdan pitoisuudesta. Mallinnustuloksista voidaan myös havaita, että muille valikoiduille ruhjevyöhykkeiden yläpinnan pisteille haitta-aineiden kulkeutuminen on mallinnuksen mukaan epätodennäköistä. On kuitenkin tärkeää muistaa, että valikoiduille pisteille mallinnetut merkkiainepitoisuuskäyrät ovat täysin riippuvaisia simuloitujen vuotokohtien alueellisesta sijoittumisesta.





Kuva 3-14. Pluumien ajallinen kehitys kustakin vuotokohdasta. Merkkiaineen pitoisuus on esitetty väriskaalalla punaisesta tummansiniseen/violettiin, jossa punainen vastaa vuotokohdan pitoisuutta (1 mg/L) ja tummansininen/violetti alle 10 % vuotokohdan pitoisuudesta (<0,1 mg/L).





Kuva 3-15. Luokkaan 2 kuuluvien lineamenttien, eli ruhjevyöhykkeiden kohdalta valitut pisteet, joista merkkiaineen pitoisuuden kehitystä ajan suhteen on tarkasteltu.



Kuva 3-16. Merkkiainepitoisuuskäyrät konservatiiviselle merkkiaineelle valikoiduilla ruhjevyöhykkeiden yläpinnan pisteillä. Huomaa logaritminen aikaskaala x-akselilla.



3.6.1 Herkkyysanalyysi

Kuten kappaleessa 2.6.1. on mainittu, herkkyysanalyysillä tarkastellaan eri hydrogeologisten parametrien vaikutusta liuenneiden aineiden kulkeutumiseen. Tässä analyysissä tarkasteltavaksi valittiin vedenjohtavuus ja pohjaveden suotautumisen määrä. Yhteensä laskettiin 5 erilaista herkkyyssimulaatiota.

Kuvassa 3-17 on esitetty simulointitulokset vaihtelemalla sedimenttien vedenjohtavuutta 10 kertaa suuremmaksi ja pienemmäksi suhteessa perusskenaarioon. Merkille pantavaa on, että irtomaakerroksen vedenjohtavuuden kasvattaminen nopeuttaa merkittävästi pluumin kulkeutumista (ensimmäinen ja toinen pystyrivi kuvassa 3-17). Kun merkkiaineen kulkeutuminen louhokseen kestää perusskenaariossa 10 vuotta (Kuva 3-17g), aika lyhenee 1 vuoteen skenaariossa K1 (Kuva 3-17e). Tilanne on päinvastainen skenaariossa K2, missä sovellettiin 10 kertaa pienempää vedenjohtavuutta pintakerrokselle (kolmas pystyrivi kuvassa 3-17). Alemman vedenjohtavuuden takia kulkeuma hidastuu verrattuna perusskenaarioon. Tällöin pluumin kulkeuma eri vuotokohdista olisi lähes 100 vuotta (Kuva 3-17l).

Toinen sarja herkkyyssimulointiskenaarioita (skenaariot R1, R2 ja R3) tarkastelee pohjaveden suotautumisen vaikutusta pohjaveden virtaukseen ja liuenneiden aineiden kulkeutumiseen. Simulaatiot tehtiin vaihtelemalla suotautumismäärää suhteessa perusskenaarioon. Kuvassa 3-18 on esitetty simuloidut pluumit eri suotautumismäärillä. Pluumin eteneminen selvästi nopeutuu, kun suotautumismäärää kasvatetaan. Merkille pantavaa on, että suotautumisen kasvattaminen tuo esiin vedenjakajalle tyypillisiä piirteitä. Tämä havaitaan siten, että pluumi liikkuu joistakin vuotokohdista avolouhoksesta poispäin (kolmas ja neljäs pystyrivi kuvassa 3-18).

Herkkyysanalyysissä voidaan tarkastella myös todennäköisyyttä, jolla liuenneiden aineiden pluumi saavuttaa rikkonaisuusvyöhykkeet piirtämällä merkkiainepitoisuuskäyrät edellisessä kappaleessa kuvatuissa havaintokohdissa. Kuvassa 3-19 on esitetty pitoisuuskäyrät kaikille simuloiduille skenaarioille. Käyrät myös täydentävät kuvien 3-17 ja 3-18 havaintoja. Verrattuna perusskenaarioon skenaarioissa K1 liuenneiden aineiden kulkuaika on huomattavasti nopeampi ja vastaavasti skenaariossa K2 hitaampi (punainen ja oranssi katkoviiva). Sen sijaan pohjaveden suotautumismäärä ei merkittävästi vaikuta liuenneiden aineiden saapumisaikoihin eri paikoissa. Tämä nähdään siitä, että keskimääräisissä saapumisajoissa eri skenaarioissa (violetti, vihreä ja sininen katkoviiva) on vain pieniä eroja. Kuitenkin suotautumismäärän muutokset vaikuttavat merkittävästi maksimipitoisuuksiin. Varsinkin myöhempien ajanhetkien pitoisuudet ovat selvästi kasvaneet lähes kaikissa havaintokohdissa, kun suotautumista on kasvatettu. Pohjaveden kulkeutumismallin ja herkkyysanalyysin laajempi käsittely on esitetty englanniksi Liitteessä 4.





Kuva 3-17. Vedenjohtavuuden vaikutus merkkiainepluumin kulkeutumiseen ja kehittymiseen. Punainen: 1 mg/l, sininen: n. 0.2 mg/l.





Kuva 3-18. Pohjaveden suotautumismäärän vaikutus merkkiainepluumin kulkeutumiseen ja kehittymiseen. Punainen: 1 mg/l, sininen: n. 0.2 mg/l.





Kuva 3-19. Simuloidut merkkiainepitoisuuskäyrät kaikissa havaintokohdissa herkkyysanalyysin eri skenaarioille.

4 TULOSTEN TULKINTA

4.1 Kokonaistulkinta ja kulkeutumisriskin arviointi

Pohjaveden kulkeutumisriskin arvioimiseksi sivukivialue KL2:lta ja geotuubikentältä tehtiin laajat geologiset, geofysikaaliset ja hydrogeologiset tutkimukset. Näiden tutkimusten lopputuloksena tehtiin numeerinen pohjaveden kulkeutumismalli, jossa simuloitiin satunnaisia vuototilanteita sivukivialue KL2:n sekä geotuubikentän pohjien lävitse.

Mallinnustulosten perusteella tulkittiin, että pohjaveden virtaaminen alueen maaperässä on kohtuullisen hidasta yleisen virtaussuunnan ollessa avolouhosta koti. Jotkut satunnaisista vuotokohdista eivät saavuttaneet avolouhosta 1000 vuoden mallinnuksen aikana.

Tutkimuksen päätuloksina havaittiin, että maaperän läpi tapahtuva kulkeutuminen sivukivialue KL2:n pohjan läpi, ruhjevyöhykkeiden yläpintaan voi olla suhteellisen nopeaa, jopa paikoin alle yksi vuosi. Lisäksi näissä nopeimman kulkeutumisen kohdissa konservatiivisen merkkiaineen pitoisuus laimenee



30/35

28.8.2020

vain vähän tai ei ollenkaan. Mallinnuksen tuloksia arvioitaessa, tulee ottaa huomioon, että vuotopisteet ovat valittu satunnaisesti, ottamatta huomioon ruhjevyöhykkeiden kulkua. Jos satunnainen vuotopiste osuu ruhjevyöhykkeen välittömään läheisyyteen, ovat kulkeutumisajat hyvin lyhyitä sekä merkkiaineen konsentraatiot korkeita. Tämän lisäksi kulkeutumismallinnuksessa käytetty konservatiivinen merkkiaine ei pidäty maaperään, joten korkeat pitoisuudet ovat mahdollisia. Mallinnuksessa tulee huomata, että esitetyt merkkiaineen pitoisuudet eivät kuvaa todellista tilannetta, vaan sitä on käytetty kulkeutumisnopeuden ja laimenemisen arviointiin.

Mallinnuksen lähtötietojen mahdollista vaihtelua arvioitiin herkkyysanalyysin kautta. Herkkyysanalyysillä pyrittiin simuloimaan hydraulisen johtavuuden vaihtelun vaikutusta sekä pohjaveteen suotautuvan veden virtaaman vaihtelua.

Hydraulinen johtavuus on interpoloitu kuuden slug-testin perusteella koko mallinnusalueelle. Slugtestien paikallisen luonteen ja laajan interpoloinnin vuoksi on mahdollista, että malli ei kuvaa hydraulisen johtavuuden vaihtelua todenmukaisesti. Lisäksi slug-testit tehtiin hyvin pian pohjavesiputkien asentamisen jälkeen ja testituloksissa oli nähtävissä paikoin häiriötä, jotka saattoivat vaikuttaa tulokseen. Näiden vaikutusten arvioimiseksi tehtiin hydraulisen johtavuuden herkkyysanalyysi 10-kertaisella ja 0,1-kertaisella hydraulisen johtavuuden arvoilla. Nämä arvot ovat hyvinkin luonnollisen vaihtelun sisällä alueen moreenilla ja paikoin hiekkaisilla sedimenteillä.

Pohjaveteen suotautuvan virtaaman herkkyysanalyysilla kuvattiin peittorakenteen oletettua huonompaa toimintaa perustilan 2,3 % suotautumisen lisäksi 10 %, 25 % ja 50 % suotautumisella vuotuisesta sadannasta.

Herkkyysanalyysin perusteella hydraulisen johtavuuden vaihteluilla on merkittävä vaikutus pluumin kulkeutumisnopeuteen. Pohjaveteen suotautuvan veden virtaamalla ei kuitenkaan ole merkittävää vaikutusta pluumin kulkeutumisnopeuteen ja sitä kautta kulkeutumiseen maaperän lävitse ruhjevyöhykkeiden yläpintoihin. Kuitenkin vaikutus merkkiaineen pitoisuuden kasvuun havaitaan suotautumisen kasvaessa.

Kulkeutumisen mallintamisen arvioidaan kuvaavan kohtuullisen hyvin teoreettista vuototilannetta ottaen huomioon myös herkkyysanalyysin tulokset. Vuotokohdan sijainti vaikuttaa huomattavasti kulkeutumisaikaan kohti ruhjevyöhykkeitä ja näin ollen voidaan arvioida, että mahdollisen vuodon kulkeutuminen ruhjevyöhykkeen yläpintaan kohtuullisen lyhyessä ajassa, alle vuodesta kymmeneen vuoteen, on mahdollista.

Ruhjevyöhykkeitä tarkasteltaessa keskityttiin 1. ja 2. luokan ruhjevyöhykkeisiin (pituus > 20 km ja pituus 5-20 km, Taulukko 3-1, Kuvat 3-1 ja 3-2), joiden tulkittiin olevan merkityksellisimpiä mahdollisen ruhjevyöhykkeiden kautta tapahtuvan pohjaveden kulkeutumisen kannalta, koska pidemmät ruhjevyöhykkeet voidaan olettaa olevan voimakkaammin rikkoutuneita. Näin ollen voidaan myös olettaa niiden hydraulisten ominaisuuksien olevan veden kulkeutumisen kannalta merkityksellisemmät. 3. ja 4. luokan ruhjevyöhykkeet voivat olla paikallisesti merkityksellisiä ja mahdollisen vuodon päästessä niihin, ne voivat toimia syöttökanavina pidempiin ruhjeisiin.

Kuvassa 4-1 on esitetty kulkeutumismallinnuksen perusteella merkityksellisimmät 2. luokan ruhjevyöhykkeet. 1. luokan ruhjevyöhyke on havaittavissa ainoastaan tutkimusalueen itäosassa ja sen



31/35

28.8.2020

vaikutus pohjaveden kulkeutumiseen kaivosalueelta on enintään välillistä. Keskeisen tutkimusalueen läpi kulkee kolme 2. luokan ruhjevyöhykettä, joista yhteen (merkitty punaisella Kuvassa 4-1) on mallinnettu pluumin kulkeutumisajan maaperässä olevan alle yhden vuoden. Kuvassa 4-1 on keltaisella merkitty toinen merkityksellinen 2. luokan ruhjevyöhyke, jossa mallinnuksen perusteella pluumin kulkeutumisaika on kohtuullisen lyhyt, alle 10 vuotta. 3. ja 4 luokan ruhjeet sijoittuvat sivukivialue KL2:n alla pääsääntöisesti näiden ruhjevyöhykkeiden väliin, joten niiden merkitys on parhaimmillaankin vettä syöttävä.



Kuva 4-1. Mallinnuksen perusteella tulkitut pohjaveden kulkeutumisen kannalta merkitykselliset ruhjevyöhykkeet. Pluumin kulkeutumisaika on nopein kulkeutumisaika maaperän lävitse teoreettisilta vuotopisteiltä ruhjevyöhykkeen yläpintaan.

Tässä tutkimuksessa ei ole tutkittu ruhjevyöhykkeiden hydraulisia ominaisuuksia, joten ruhjevyöhykkeiden virtaussuunnista ja veden johtavuudesta ja sitä kautta mahdollisesta kulkeutumisesta ei ole tietoa. Alla oleva arviointi olettaa ruhjevyöhykkeiden ominaisuuksien olevan veden kulkeutumisen kannalta suotuisia ja keskustelu perustuu pelkästään merkityksellisiksi havaittujen ruhjevyöhykkeiden kulkuun.


32/35

28.8.2020

Kuvan 4-1 perusteella voidaan havaita, että tutkimuksessa merkityksellisimmäksi tulkitun, punaisella merkityn, ruhjevyöhykkeen mahdollinen veden kulkeutuminen voi tapahtua kaakkoon kohti keltaisella merkittyä, toiseksi merkityksellisintä, ruhjevyöhykettä ja sitä kautta kohti 1. luokan ruhjevyöhykettä, jonne asti keltaisella merkityn ruhjevyöhykkeen ei kuitenkaan ole tulkittu jatkuvan. Merkityksellisimmän ruhjevyöhykkeen (punainen) mahdollinen veden kulkeutuminen pohjoisen suuntaan olisi kohti keltaisella merkittyä ruhjevyöhykettä sekä sen länsipuolella olevaa 2. luokan ruhjevyöhykettä. Näiden kulku pohjoiseen on kohti Kolmisoppi-järveä.

Haitta-aineiden kulkeutumista Kolmisoppijärven suuntaan ja sieltä kaivospiirin ulkopuolelle sivukivialue KL2:lta pidetään vähäisenä, koska kulkeutumismatkan kasvaessa ruhjevyöhykkeet keräävät enemmän vettä, jolloin mahdolliset haitta-aineiden pitoisuudet laimenevat. Kaakkoon, kohti Naulavaaraa, tapahtuvan mahdollisten haitta-aineiden kulkeutumista kaivospiirin ulkopuolelle pidetään mahdollisesti merkittävämpänä Kolmisopen suuntaan verrattuna. Tämä johtuu tutkimusalueen sijainnista lähellä kaivospiirin rajaa. Kulkeutumisreitin suunnassa ei kuitenkaan ole asutusta tai luonnonsuojelualueita.

Molemmissa tapauksissa mahdollinen haitta-aineiden kulkeutuminen merkityksellisimmän ruhjevyöhykkeen (punainen, Kuva 4-1) kautta tapahtuisi useamman muun ruhjevyöhykkeen kautta monivaiheisena kulkeutumisena. Tällaisen monivaiheisen kulkeutumisen tutkiminen ja tulkinta on erittäin vaativaa.

Geotuubikenttien osalta voidaan todeta mahdollisten haitta-aineiden pääsyn ruhjevyöhykkeisiin olevan merkityksetöntä. Vaikka pluumin kulkeutumisaika ruhjevyöhykkeen pintaan on lyhyt, jopa alle vuoden, jäävät merkkiaineen pitoisuudet hyvin mataliksi.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa selvitettiin sivukivialue KL2:n ja geotuubikenttien mahdollisten pohjarakenteiden läpi tapahtuvien vuotojen kulkeutumista maaperässä kohti tulkittuja ruhjevyöhykkeitä. Vuotokohdat oli valittu satunnaisesti ja tulosta voidaan pitää yleisenä kulkeutumisskenaariona. Tämä tutkimus ei kuvaa todellista tapahtumaa.

Tutkimuksen tuloksista voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

- Kulkeutumismallinnuksen perusteella sivukivialue KL2:n pohjarakenteen läpi mahdollisesti tapahtuva vuoto voi kulkeutua ruhjevyöhykkeiden pintaosaan hyvinkin lyhyessä ajassa, alle vuodessa. Nopeimmilla kulkeutumiskohteilla pitoisuuksien laimenemisen oletetaan olevan vähäistä. Kuitenkin pluumien kulkeutumisnopeus alueen maaperässä on kohtuullisen matala, joten vuotokohdan sijainnilla on suuri merkitys kulkeutumisaikaan.
- Geotuubikentiltä kulkeutumisen ruhjevyöhykkeisiin on tulkittu olevan vähäistä. Paikoin kulkeutumisaika voi olla nopea, alle vuoden, mutta näillä alueilla tapahtuu paljon laimenemista, joten pitoisuuksien voidaan olettaa jäävän mataliksi.
- Herkkysanalyysin perusteella maaperän hydraulisen johtavuuden muuttaminen mallissa vaikuttaa merkittävästi pluumin kulkeutumisaikaan. Pohjaveteen suotautuvan veden virtaaman vaikutus kulkeutumisaikaan on vähäisempi, mutta vaikutus mahdollisen merkkiaineen pitoisuuteen on merkittävämpi.



28.8.2020

- Kulkeutumismallinnuksen perusteella tulkittiin kaksi ruhjevyöhykettä, joihin pluumin kulkeutuminen on merkityksellistä. Toisessa kulkeutumisajaksi mallinnettiin alle yksi vuosi ja toisessa useampi vuosi, mutta alle kymmenen vuotta. Muiden ruhjevyöhykkeiden ei tulkittu olevan merkityksellisiä.
- Ruhjevyöhykkeiden hydrogeologisia ominaisuuksia ei tunneta, joten niitä pitkin mahdollisesti tapahtuvaa haitta-aineiden kulkeutumista tulkittiin ainoastaan ruhjeiden kulun perusteella. Mahdollisen kulkeutumisen lähialueilla ei ole ihmisasutusta eikä niille ole määritelty herkkiä luontokohteita. Kulkeutumismatkan pidentyessä ruhjevyöhykkeet keräävät vettä laajemmalta alueelta, jolloin mahdollisten haitta-aineiden pitoisuuksien odotetaan laimenevan.

Kirjallisuusviitteet

Bouwer, H. and R.C. Rice, 1976. A slug test method for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells, Water Resources Research, vol. 12, no. 3, pp. 423-428.

Cagniard, L., 1953. Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting. Geophysics 18, 605-635 p.

Hjelt, S-E., Heikka, J.V., Pernu, T.K. and Sandgren, E.I.O., 1990. Examples of the application of the VLF-R method to prospecting bedrock structures. Geological Survey of Finland. Report 95. 87-99 pp.

Lindsberg, E., 2008. Seismic Refraction Method and VLF and VLF-R methods in the Estimation of Ground Water. Master's thesis, University of Oulu, Faculty of Science, Department of Physical Sciences. 123 pp. [in Finnish, abstract in English].

Müllern, C-F. and Eriksson, L., 1982. Möjligheter till analys av VLF-anomalier vid prospektering efter grundvatten i berg. SGU Rapport 80-4151. Geological Survey of Sweden. 24 pp. [in Swedish]

OhioEPA, 2016. Technical Guidance Manual for Ground Water Investigations, Chapter 4, Pumping and Slug tests. State of Ohio, Environmental Protection Agency. https://www.epa.state.oh.us/portals/28/documents/TGM-04 final1206W.pdf (viitattu 26.8.2020)

Pasanen, A., Eskelinen, A., Räisänen, M.L., Lerssi, J. & Kittilä, A., 2014. Talvivaaran kipsisakka-altaan vuodon pohjavesivaikutusten selvitys ja leviämisen ja haitan arviointi. Tutkimusraportti, Geologian tutkimuskeskus, 50 sivua, 6 liitettä.

Pöyry, 2019. Terrafame Oy, Peiterakennevaihtoehtojen koetoiminta.

Salmi, M., Vuorela, P. & Kuivamäki, A. 1985. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen aluevalintatutkimukset. Helsinki: Voimayhtiöiden ydinjätetoimikunta. Raportti YJT-85-27, 37 s., 4 liitettä, 60 karttaa.

Scholz, C. H. 2002. The mechanics of earthquakes and faulting. Cambridge University Press, Cambridge.



28.8.2020

Suomen kallioperä - DigiKP. Digitaalinen karttatietokanta [Elektroninen aineisto]. Espoo: Geologian tutkimuskeskus [viitattu 18.09.2019]. Versio 2.2.

Tilsley, J.E., 1976. Very low frequency electromagnetic measurements using a portable signal generator. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy 85, 74-77 p.

Turunen, P., 2008. VLF-R and magnetic surveys at the Asentolampi and Isokangas targets, Portimojärvi, Ranua. Work report. Geological Survey of Finland. 5 p.



28.8.2020

LIITTEET

1 Pohjavesiputkien dokumentit

- 2 VLF-R-mittaukset ja tulkinta
- 3 Slug-testien tulokset
- 4 Virtaus- ja kulkeumamallinnus





Ti	Tilaaja: GTK							HAVAINNOT						
Ko	ohde:		Talvi	ivaara				Putken vlä	ipäästä [m]	Vesipin	ta			
К	unta:		Sotl	kamo		Pvr	n.	Vesipinta	Pohja	[W]		Mittaaja		
Asennus	pvm:		14.7	.2020		14.7.2	2020	1,07	7,00	+ 219,2	20	JH		
Aser	ntaja:		Juhani	Hiltunen		21.7.2	2020	2,04	6,70	+ 218,2	23	AP/GTK		
Puhelir	n nro:		04472	272566										
Asennus	kone:		GM	-150		المار ا	tuc	Kullä	W,max =	+ 219,2	20			
Putk	en tur	nnus:		P30		LUKI	tus	Kylla	W,min =	+ 218,2	23			
Koordinaattijä	irjeste	elmä:		KKJ3				PUTKE	EN KUVA/SIJ	IAINTI				
Korkeusjä	irjeste	elmä:		N60										
X: 355	1493		Y:	709932	0									
Putk	en ylä	ipää:	+	220,27										
N	laanp	ointa:	+	219,26										
Putk	en ala	apää:	+	213,27										
Suojap. mate	riaali	(SP):	FE	89mm										
Putkir	nater	iaali:	PEH	Ø: 6	0 mm									
			(sis	ä) Ø: 5	2mm									
Suod	datinr	nalli:	0,3	mm rake	0									
Putken osa/k	oodi	[m]	Maalaji	Syvyys	5 [m]		PUT	KEN RAKEN	INE JA MAA	LAJIKERR	OK	SET		
Jatkoputki	JP	1,0	Τv	0 -	1,3									
Siivilä+sukka	SS	6,0	HkMr	1,3 -	5,6		2 _			2				
			Kallio	5,6 -	8,6									
				-			1 -			1				
				-				<u> </u>		-				
				-			0			0				
				-			0			0				
				-							≥			
				-			-1 +			-1				
				-										
Kokonaispit	uus:	7,0		-		Ē	-2 -		٦	-2		_		
Putken an	toisul	JS		-		ta [i			ta [
				-		sos	-3 -	— s —	SOS	-3				
Putken vesiti	ilavuu	ıs [I]		-		n ta			n ta		Σ			
#VALU	JE!			-		Inal	-4	_	Ina	-4				
Veden	väri			-		npir			npir					
				-		naa	_6		naaı	_5				
Suositeltava näyt	teenot	totapa		-		ys n			ys n					
				-		Š			Ś.					
				-		Š	-6		S	-ю				
		т		-							_			
				-			-7 +			-7 +	allic			
				-										
				-			-8 +			-8 -				
				-										
				-			-9			-9 📙				
				-			-							
				-			-10			-10				
				-		l .	-10 -							
				-										



	Tilaaja: GTK								ŀ	AVAINNOT	•		
	Koł	nde:		Talvi	ivaara				Putken ylä	päästä [m]	Vesipi	nta	
	Ku	nta:		Sot	kamo		Pvr	n.	Vesipinta	Pohja	[W]		Mittaaja
Asenn	us p	vm:		14.7	.2020		14.7.2	2020	1,27	5,20	+ 217,	24	JH
A	sent	aja:		Juhani	Hiltunen		21.7.2	2020	1,49	4,70	+ 217,	.02	AP/GTK
Puhe	elin	nro:		04472	272566								
Asenn	Asennuskone:			GM	-150		الماريل	tue	Kvllä	W,max =	+ 217,	24	
Putken tunnus			nnus:		P31		LUKI	us.	ityiid	W,min =	+ 217,	.02	
Koordinaat	tijär	jeste	elmä:		ККЈЗ				PUTKE	N KUVA/SIJ	AINTI		
Korkeusjärjestelmä					N60								
X: 3	5544	438		Y:	709821	2							
Ρι	utke	n ylä	ipää:	+	218,51								
	Ma	aanp	inta:	+	217,59								
Pu	utke	n ala	pää:	+	213,31								
Suojap. ma	ateri	iaali	(SP):	FE	89mm		l						
Put	tkim	ater	iaali:	PEH	Ø: 6	0 mm							
				(sis	a) Ø: 5	2mm							
St.	uoda	atinn	nalli:	0,3	mm rake								CET
Putken osa	а/ко	odi	[m]	waalaji	Syvyys			PUI	KEN RAKEN	NE JA MAAI	LAJIKER	KOK	SEI
	KI Ka	JP	1,2	۱۷ مارد ت	0 -	1,4		_					
SIIVIIa+Suk	ка	22	4,0	TIKST	1,4 -	3,0		2			2		
				HKIVII	3,0 -	4,0							
	-+			NaiiiO	4,0 -	7,0		1 +			1 +		
	-+				-				SP				
	-+				-			0 🛉	<u> </u>		0 🔶		
	-+				_								
	-+				-		1	-1 +	_		-1	F	
	\neg				-		1						
Kokonais	pitu	us:	5,2		-		1 _	-2		_	-2		
Putken	anto	oisuu	IS		-		<u> </u>	-	SS	<u> </u>	-	244	2
					-		osta	2		osta	2		
Putken ve	sitila	avuu	is [l]		-		tasc	-5		tasc	-5	ł	
#V/	ALUE	:!			-		าลท			าลท			
Vede	en v	äri			-		pinr	-4 +		pinr	-4		
					-		aan			aan			
Suositeltava n	näytte	enott	totapa		-		s a	-5 +		s n	-5 🕂		
					-		Ş			Ś		illey	
					-		Ś	-6 +		Sy	-6 +		
			_		-		1						
MUUTH	HUO	MIO	Т		-		1	-7 +			-7 +		
					-		1						
					-		1	-8 +			-8 -		
					-		1						
					-		1	_a _			-9 L		
					-		1				-		
					-]	10			_10		
					-] '	-10 -			10		
					-								



Kohde: Talvivaara Putken yläpäästä [m] Vesipinta Pohja Mittaa Asennus pvm: 14.7.2020 14.7.2020 7,000 JH Asentaja: Juhani Hiltnen 23.7.2020 5,97 6,87 + 209,34 AP/GT Putken tunnus: 0447272566 23.7.2020 5,97 6,87 + 209,34 AP/GT Putken tunnus: P32 Lukitus Kyllä W,max = + 209,34 AP/GT Rordinaattijärjestelmä: N60 K S354797 Y:<7098212 Putken alapää: + 215,31 Maanpinta: + 214,38 PUTKEN KUVA/SIJAINTI Suojap. materiaali (SP): FE 89mm Putken alapää: + 204,33 Syryys (m) PUTKEN RAKENNE JA MAALJIKERROKSET Suojap. materiaali (SP): FE 89mm Suojai (m) Sivila+sukka 55 4,0 HKr 3,0 5,6 Sivila+sukka 55 4,0 HKr 3,0 5,6 - - - Mutten antoisuus - - - - - - - - - <td< th=""><th>Til</th><th colspan="7">Tilaaja: GTK</th><th colspan="8">HAVAINNOT</th></td<>	Til	Tilaaja: GTK							HAVAINNOT							
Kunta: Sotkamo Pvm. Vesipinta Pohja (W) Mittaa Asennus pvm: 14.7.2020 14.7.2020 7,00 JH Asennuskone: 0447272566 23.7.2020 5,97 6,87 + 209,34 AP/GT Puhelin no: 0447272566 Lukitus Kylla W,max = + 209,34 AP/GT Putken tunnus: P32 Lukitus Kylla W,max = + 209,34 AP/GT Rotordinaattijärjestelmä: N60 KX:3 PUTKEN KUVA/SUAINTI W,min = + 209,34 Nordeusjärjestelmä: N60 Suojap, materiaali (SP): FE 89mm PUTKEN KUVA/SUAINTI Putken valapää: + 208,31 60 mm - - - - Suodatinmalli: 0,3 mm rako 9 PUTKEN RAKENNE JA MAALAJIKERROKSET - </td <td>Ko</td> <td>ohde:</td> <td></td> <td>Talv</td> <td>ivaara</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="5">Putken yläpäästä [m] Vesipinta</td> <td></td> <td></td>	Ko	ohde:		Talv	ivaara				Putken yläpäästä [m] Vesipinta							
Asennus pvm: 14.7.2020 14.7.2020 7,00 20 JH Asennuskone: Juhani Hiltunen 23.7.2020 5,97 6,87 + 209,34 AP/GT Pubelin nro: 0447272566 Ukitus Kyllä W,max = + 209,34 AP/GT Putken tunus: P32 Lukitus Kyllä W,max = + 209,34 W,min = + 209,34 <td>К</td> <td>unta:</td> <td></td> <td>Sot</td> <td>kamo</td> <td></td> <td>Pvr</td> <td>n.</td> <td>Vesipir</td> <td>nta</td> <td>Pohja</td> <td>[W</td> <td>1</td> <td>Mittaaja</td> <td>a</td>	К	unta:		Sot	kamo		Pvr	n.	Vesipir	nta	Pohja	[W	1	Mittaaja	a	
Asentaja: Juhani Hiltunen 23.7.2020 5,97 6,87 + 209,34 AP/GT Puhelin nrc: 044727256 <td>Asennus</td> <td>pvm:</td> <td></td> <td>14.7</td> <td>.2020</td> <td></td> <td>14.7.2</td> <td>2020</td> <td></td> <td></td> <td>7,00</td> <td></td> <td></td> <td>JH</td> <td></td>	Asennus	pvm:		14.7	.2020		14.7.2	2020			7,00			JH		
Puhelin nro: 0447272566 wmmax	Aser	ntaja:		Juhani	Hiltunen		23.7.2	2020	5,97	,	6,87	+ 209	,34	AP/GTK	(
Asennuskone: GM-150 Lukitus Kyllä W,max = + 209,34 Putken tunnus: P32 Lukitus Kyllä W,min = + 209,34 Koordinaattijärjestelmä: N60 PUTKEN KUVA/SIJAINTI Verken tunnus: PUTKEN KUVA/SIJAINTI Korkeusjärjestelmä: N60 PUTKEN VIAPSIJAINTI PUTKEN KUVA/SIJAINTI Korkeusjärjestelmä: + 215,31 PUTKEN KUVA/SIJAINTI PUTKEN RAKENNE JA MAALAJIKERROKSET Suojap. materiaali (SP): FEE 89mm PEH Ø: 60 mm Putken osa/koodi (m) Maalaji Syvyys [m] PUTKEN RAKENNE JA MAALAJIKERROKSET Jatkoputki JP 3,0 5,6 Muthanatti JP 3,0 5,6 Kokonaispituus: 7,0 - Putken vesitilavuus [I] - - WVALUE! - - WUUT HUOMIOT - - jälkeen. - - jälkeen. - - jälkeen. - - jälkeen. - -	Puhelin	nro:		04472	272566											
Putken tunnus: P32 Curkus Kylid W,min = + 209,34 Kordinaattijärjestelmä: KK13 PUTKEN KUVA/SIJAINTI Korkeusjärjestelmä: N60 X: 3554797 Y: 7098212 Putken alapää: + 215,31 Maanpinta: + 214,38 Putken alapää: + 208,31 Suojap. materiaali (Sisä) Ø: 52mm Putken osa/koodi (Milo) 5.6 Jatkoputki JP 3.0 Siivilä+sukka SS 4.0 SS A.0 5.6 Latkoputki JP 3.0 Siivilä+sukka SS 4.0 Kokonaispituus: 7.0 - Putken vesitilavus - - Veden väri - - Suositeltava näyteenottotapp - - Vutku vidva asennuksen - - jälkeen. - - jälkeen. - - jälkeen. - <t< td=""><td>Asennusl</td><td>kone:</td><td></td><td>GM</td><td>-150</td><td></td><td>الماريل</td><td>tue</td><td>Kullä</td><td>i</td><td>W,max =</td><td>+ 209</td><td>,34</td><td></td><td></td></t<>	Asennusl	kone:		GM	-150		الماريل	tue	Kullä	i	W,max =	+ 209	,34			
Koordinaattijärjestelmä: KK/3 PUTKEN KUVA/SIJAINTI Korkeusjärjestelmä: NGO NGO X: 3554797 YI 7098212 Putken yläpää: + 215,31 NGO Maanpinta: + 214,38 Putken alapää: Putken alapää: + 208,31 Putken slapää: Putken alapää: NGO Gomm Suojap. material (SP): FE 89m PUTKEN RAKENNE JA MAALAJIKERROKSET Putken osa/koodi IM Maalaji Syvys [m] Jatkoputki JP 3,0 hKSr 0 - 3,0 Siivilä+sukka SS 4,0 HKMr 3,0 - 5,6 Im A Im Im Im Im Jatkoputki JP 3,0 HKMr 3,0 - 5,6 Im Im Im Im Im Im Im Im Im Im Im Im Im Im Jatkoputki JP Im Im Im Im	Putke	en tur	nnus:		P32	LUKI	lus	Nylla	1	W,min =	+ 209	,34				
Korkeusjärjestelmä: N60 X: 3554797 Y: 7098212 Putken yläpää: + 214,38 Putken alapää: + 208,31 Suojap. materiaali (SP): FE 89mm 0: 60 mm Viii (Sisi) 0: 52 mm 92 mm 92 mm Putken osa/koodi IM 0,3 mm rako 90 mm 60 mm Siivilä+sukka 55 4,0 MkMr 3,0 5,6 8,66 - - Jatkoputki JP 3,0 hkSr - - - Jatkoputki S5 4,0 HKMr 3,0 - - - Jatkoputki S7 - - - - - Molanispituus: 7,0 - - - - - Weten vesitilavuus [I] - - - - - - Weten vari - - - - - - - Suositeitava näytteenottotapa - - -	Koordinaattijä	rjeste	elmä:				PU	ТКЕ	N KUVA/SIJ	AINTI						
X: 3554797 Y: 7098212 Putken yläpää: + 215,31 Maanpinta: + 214,38 Putken alapää: + 208,31 Suojap. materiaali (SP): FE 89mm Putken osa/koodi [m] Maalaji Svyys [m] Putken osa/koodi [m] Maalaji Svyys [m] Putken osa/koodi [m] Maalaji Svyys [m] Jatkoputki JP 3,0 hKKr 0 3,0 Siivilä+sukka SS 4,0 HKMr 3,0 5,6 Siivilä+sukka SS 4,0 HKMr 3,0 - Siivilä+sukka SS 4,0 HKMr 3,0 - Siivilä+sukka SS 4,0 - - - Quala - - - - - Muten antoisuus 7,0 - - - - Weden väri - - - - - - Wuten antoisuus 7,0 - - - - - -	Korkeusjä	rjeste	elmä:		N60											
Putken yläpää: + 215,31 Maanpinta: + 214,38 Putken alapää: + 208,31 Suojap. materiaali (SP): FFE Bymm Putkimateriaali: PEH Ø: 60 mm Suodatinmalli: O.3 mm rako PUTKEN RAKENNE JA MAALAJIKERROKSET Putken osa/koodi [m] Maalaji Svyvys [m] PUTKEN RAKENNE JA MAALAJIKERROKSET Jatkoputki JP 3,0 hKsr 0 - 3,0 Siivilä+sukka SS 4,0 HkMr 3,0 - 5,6 Maalaji Svyvys [m] PUTKEN RAKENNE JA MAALAJIKERROKSET Jatkoputki JP 3,0	X: 3554	4797		Y:	709821	2										
Maanpinta: $+ 214,38$ $+ 208,31$ Putken alapää: $+ 208,31$ Suojap. materialii (SP):FE 89mm (sisä) Ø:Putkimateriali:0,3 mm rakoPutken osa/koodi(m)MalajiiSyvyys (m) (sisä) Ø:Putken osa/koodiMalajiiJatkoputkiJPJatkoputkiJPJatkoputkiSJatkoputkiJAJatkoputkiSJatkoputkiJA	Putk	en ylä	ipää:	+	215,31											
Putken alapää: + 208,31 Suojap. materiaali (SP): FE 89mm Putkimateriaali: PEH Ø: 60 mm Suodatinmalli: 0,3 mm rako PUTKEN RAKENNE JA MAALAJIKERROKSET Putken osa/koodi [m] Maalaji Svyvys [m] PUTKEN RAKENNE JA MAALAJIKERROKSET Jatkoputki JP 3,0 hKsr 0 - 3,0 Silvilä+sukka SS 4,0 HkMr 3,0 5,6 8,6 MUKen antoisuus A A - - Muken antoisuus 7,0 - - Putken antoisuus - - - - MUUT HUOMIOT - - - - - MUUT HUOMIOT - - - - - - jälkeen. - - - - - - - jälkeen. - - - - - - - - Putken antoisuus - - - - - - - - MUUT	IV	laanp	ointa:	+	214,38											
Suojap. materiaali (SP): FE 89mm Putkimateriaali: PEH Ø: 60 mm (sisä) Ø: 52mm Suodatimalli: 0,3 mm rako Putken osa/koodi IM Maalaji Svvys PUTKEN RAKENNE JA MAALAJIKERROKSET Jatkoputki JP 3,0 hKSr 0 - 3,0 Siivilä+sukka SS 4,0 HKMr 3,0 - 5,6 Image: Signa set	Putk	en ala	apää:	+	208,31											
Putkimateriaali PEH Ø: 60 mm Suodatimuli: 0,3 mm rako Putken osa/koodi (m) Maalaji Svyvys (m) PUTKEN RAKENNE JA MAALAJIKERROKSET Jatkoputki JP 3,0 hkSr 0 - 3,0 Siivilä+sukka SS 4,0 HkMr 3,0 - 5,6 Image: Size of the second	Suojap. mate	riaali	(SP):	FE	89mm											
(sisä) Ø: 52mm O,3 mm rako PUtken osa/kooti [m] Maalaji Syvyys [m] Jatkoputki JP 3,0 hkSr 0 - 3,0 Siivilä+sukka SS 4,0 HkMr 3,0 - 5,6 8,6 Kallio 5,6 - 8,6 Kallio 5,6 - 8,6 L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L L Putken antoisus 7,0 L <thl< t<="" td=""><td>Putkir</td><td>nater</td><td>iaali:</td><td>PEH</td><td>Ø: 6</td><td>0 mm</td><td>J</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></thl<>	Putkir	nater	iaali:	PEH	Ø: 6	0 mm	J									
Suodatimmalii: 0,3 mm rako Putken osa/koodi [m] Maalaji Syvyys [m] PUTKEN RAKENNE JA MAALAJIKERROKSET Jatkoputki JP 3,0 hkSr 0 - 3,0 Siivilä+sukka SS 4,0 HkMr 3,0 - 5,6 Image: Sivilä+sukka SS 4,0 HkMr - - - Image: Sivilä+sukka SS 4,0 -				(sis	ä) Ø: 5	2mm										
Putken osa/koodi [m] Maalaji Syvyys [m] PUTKEN RAKENNE JA MAALAJIKERROKSET Jatkoputki JP 3,0 hkSr 0 - 3,0 Siivilä+sukka SS 4,0 HKMr 3,0 - 5,6 Image: Sivilä+sukka SS 4,0 HKMr 3,0 - 5,6 Image: Sivilä+sukka SS 4,0 HKMr 3,0 - 5,6 Image: Sivilä+sukka SS 4,0 HKMr 3,0 - - Image: Sivilä+sukka SS 4,0 HKMr 3,0 - - Image: Sivilä+sukka SS 4,0 HKMr - - - Image: Sivilä+sukka SS -	Suoc	latinr	nalli:	0,3	mm rake	2										
Jatkoputki JP 3,0 hkSr 0 - 3,0 Siivilä+sukka SS 4,0 HkMr 3,0 - 5,6 Muther Kallio 5,6 8,6 - - Muther Muther Muther - - - Muther Muther - - - - - Muther Muther -	Putken osa/k	oodi	[m]	Maalaji	Syvyys	5 [m]		PUT	KEN RAK	(EN	NE JA MAAI	.AJIKER	ROK	SET		
Siivilä+sukka SS 4,0 HkMr 3,0 - 5,6 8,6 Image: Si (1) S,6 8,6 - - - Image: Si (1) S,6 - 8,6 - - Image: Si (1) Image: Si (1) - - - - Image: Si (1) Image: Si (1) - <	Jatkoputki	JP	3,0	hkSr	0 -	3,0										
Kallio 5,6 8,6 Kallio 5,6 8,6 Image: Second se	Siivilä+sukka	SS	4,0	HkMr	3,0 -	5,6		2 _				2 —				
Image: second				Kallio	5,6 -	8,6										
Image: Construction of the second					-			1 4				1				
Image: state of the state					-			-	_			1				
Image: Constraint of the second se					-				S							
Image: Constraint of the second se					-			0 1				0 –		, I.I.		
Kokonaispituus: 7,0 1 - -1 - -1 -					-											
Kokonaispituus: 7,0 Putken antoisuus Putken vesitilavuus [I] Putken vesitilavuus [I] Wolden väri <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td>-1 +</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>-1 +</td> <td>Ξ.</td> <td></td> <td></td>					-			-1 +				-1 +	Ξ.			
Kokonaispituus: 7,0 Putken antoisuus - Putken vesitilavuus [I] - #VALUE! - Weden väri - Suositeltava näytteenottotapa - MUUT HUOMIOT - jälkeen jälkeen jälkeen <t< td=""><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2</td><td></td></t<>					-									2		
Putken antoisuus - Putken vesitilavuus [I] - #VALUE! - Veden väri - Suositeltava näytteenottotapa - MUUT HUOMIOT - putki kuiva asennuksen - jälkeen jälkeen jälkeen jälkeen pohjalla	Kokonaispitu	us:	7,0		-		Ē	-2 -	_		Ē	-2 -	-			
Putken vesitilavuus [I] - #VALUE! - Weden väri - Suositeltava näytteenottotapa - MUUT HUOMIOT - jälkeen jälkeen <t< td=""><td>Putken ant</td><td>toisu</td><td>JS</td><td></td><td>-</td><td></td><td>ia i</td><td></td><td></td><td></td><td>in in i</td><td></td><td></td><td></td><td></td></t<>	Putken ant	toisu	JS		-		ia i				in i					
Putken vesitilavuus [I] - #VALUE! - Weden väri - 0 - Suositeltava näytteenottotapa - MUUT HUOMIOT - Putki kuiva asennuksen - jälkeen. - Tiivis kostea HkMr - pohjalla. -					-		sost	-3 +	_		sost	-3 -	_			
#VALUE! Veden väri - Suositeltava näytteenottotapa - Suositeltava näytteenottotapa - - -	Putken vesiti	lavuu	ıs [l]		-		n ta:				ן ta					
Veden väri-Image: Substitution of the second secon	#VALU	JE!			-		ınar	-4	S		Inar	-4				
Suositeltava näytteenottotapa - Suositeltava näytteenottotapa - Image: Suositeltava näytteenottotapa - Image	Veden	väri			-		npin	•	Š		Jpir	.				
Suositeltava näytteenottotapa - - - - - MUUT HUOMIOT - - - Putki kuiva asennuksen - jälkeen. - Tiivis kostea HkMr - pohjalla. -					-		Jaar	_			Jaar	_				
Image: Second	Suositeltava näyt	teenot	totapa		-		/s m	-5 +			u s/	-5				
MUUT HUOMIOT - Putki kuiva asennuksen - jälkeen. - Tiivis kostea HkMr - pohjalla. -					-		N				Š					
MUUT HUOMIOT - Putki kuiva asennuksen - jälkeen. - Tiivis kostea HkMr - pohjalla. -					-		Ń	-6 +			Ň	-6 +				
Index Hooking I - -7 -7 Putki kuiva asennuksen - - jälkeen. - -8 Tiivis kostea HkMr - pohjalla. -			T		-											
Putki kuiva asennuksen - jälkeen. - Tiivis kostea HkMr - pohjalla. -	MUUT HUOMIOT			-			-7 +				-7 +	- :				
jälkeen. - Tiivis kostea HkMr - pohjalla. -	Putki kuiva asennuksen			-									2			
Tiivis kostea HkMr - pohjalla. -	jälkeen.			_			-8 +				-8 +		—			
pohjalla9	Tiivis kostea HkMr		Лr		-											
	pohjal	la.			-			-9 +				-9 🗕				
-					-			-								
-10					-			10				-10				
					-			-10 -				10				
-					-											



Til	Tilaaja: GTK								HAVAINNOT			
Кс	hde:		Talv	ivaara				Putken yla	ipäästä [m]	Vesipinta	a	
K	unta:		Sot	kamo		Pv	m.	Vesipinta	Pohja	[W]	Mittaa	aja
Asennus	pvm:		15.7	.2020		15.7.	2020	2,00	14,00	+ 220,97	JH	
Aser	ntaja:		Juhani	Hiltunen		23.7.	2020	1,67	13,75	+ 221,30	AP/G1	ГК
Puhelin	nro:		04472	272566								
Asennus	kone:		GM	-150		Luk	itus	Kyllä	W,max =	+ 221,30)	
Putke	en tur	nnus:		P33		LUK	itus	Купа	W,min =	+ 220,97		
Koordinaattijä	rjeste	elmä:		KKJ3				PUTK	EN KUVA/SIJ	IAINTI		
Korkeusjä	rjeste	elmä:		N60								
X: 3555	5042		Y:	709611	0							
Putk	en ylä	ipää:	+	222,97								
N	laanp	inta:	+	222,14								
Putk	en ala	pää:	+	208,97								
Suojap. mate	riaali	(SP):	FE	89mm	_							
Putkin	nater	iaali:	PEH	Ø: 6	0 mm							
			(sis	ä) Ø: 5	2mm							
Suoc	latinr	nalli:	0,3	mm rake	0							
Putken osa/k	oodi	[m]	Maalaji	Syvyys	s [m]		PUT	KEN RAKEN	INE JA MAAI	LAJIKERRC	KSET	
Jatkoputki	JP	1,0	Tv	0 -	1,8							
Silvila+sukka	SS	13,0	HkMr	1,8 -	13,0		2 –			2		
			Kallio	13,0 -	16,0			_				
				-			0 -	PSP		0		
				-							.>	
				-								
				-			-2 -			-2		
				-								
				-			-4 +	_		-4 🕂		
Kokonaisnitu		1/1 0		-								
Putkon ant	toisur	14,0		-		Ξ.	_6		3	-6		
i utkeli alli	lonsul					sta [-0	SS	ita [
Dutkon vositi	law	ic [1]		-		SOSE			SOSE		κ Μ	
		is [1]		-		in ti	-8 -		n ti	-8 +	I	
#VALU				-		nna			euu			
veden	vari			-		inpi	-10		idui	-10		
				-		mae	-		mae			
Suositeltava näytt	teenot	totapa		-		۸s ا			l sVi	12		
				-		λ λ	-12 +		۲. کر	-12		
				-		•,			31			
MUUT HU	омю	т		-			-14 +			-14 🕂	<u>.e</u> —	
				-							Kal	
				-			-16			-16		
				-			-10			10		
				-								
				-			-18 +			-18		
				-								
				-			-20			-20		
				-								
				-								



Т	Tilaaja: GTK							HAVAINNOT							
ŀ	Kohde:		Talvi	vaara				Putken vlä	1						
	Kunta:		Sotl	kamo		Pvr	n.	Vesipinta	Pohja	[w]	Mittaaja				
Asennu	s pvm:		16.7	.2020		16.7.2	2020	2,25	5,00	+ 215,39	JH				
Ase	entaja:		Juhani	Hiltunen		21.7.2	2020	1,18	4,80	+ 216,46	AP/GTK				
Puhel	in nro:		04472	272566											
Asennu	skone:		GM	-150		الماريل	tuc	Kullä	W,max =	+ 216,46					
Put	ken tur	nnus:		P34		LUKI	lus	купа	W,min =	+ 215,39					
Koordinaatti	järjeste	elmä:		KKJ3				PUTKE	N KUVA/SIJ	IAINTI					
Korkeusj	ärjeste	elmä:		N60											
X: 35	55721		Y:	709610	3										
Put	ken ylä	ipää:	+	217,64											
	Maanp	inta:	+	216,81											
Put	ken ala	pää:	+	212,64											
Suojap. mat	eriaali	(SP):	FE	89mm											
Putk	imater	iaali:	PEH	Ø: 6	0 mm										
			(sis	ä) Ø: 5	2mm										
Suc	odatinr	nalli:	0,3	mm rako	0										
Putken osa/	koodi	[m]	Maalaji	Syvyys	s [m]		PUT	KEN RAKEN	NE JA MAAI	LAJIKERRO	KSET				
Jatkoputki	JP	1,0	Τv	0 -	1,4										
Siivilä	SS	4,0	HkMr	1,4 -	4,2		2 _			2					
			Kallio	4,2 -	7,2										
				-			1 +			1					
				-			-			-					
				-			0	SF							
				-			0	5		0					
				-							2				
				-			-1 +			-1					
				-											
Kokonaispi	tuus:	5,0	-	-		Ē	-2 +		Ē	-2 —					
Putken a	ntoisu	IS		-		ta [n		0,	<u>г</u>		٦٢				
				-		sost	-3 +	_	sost	-3 —	H¥				
Putken vesi	tilavuu	ıs [l]		-		n ta			n ta						
#VAL	UE!			-		เทลเ	-4		Inal	-4					
Veder	n väri			-		npin	•		niqr						
				-		Jaar	_		laal	_					
Suositeltava näy	tteenot	totapa		-		ys n	-5 +		vs n	-5 T	0				
				-		^			<u> </u>		(alliv				
				-		Ň	-6 +		Ń	-6 —	×				
NALLET P		т		-											
				-			-7 +			-7 +					
				-											
				-			-8 +			-8					
				-											
				-			-9 +			-9					
				-			-								
				-			10			-10					
				-			-10 -			10					
				-											



Tilaaja	a:	G	ТК		HAVAINNOT								
Kohde	e:	Talv	ivaara				Putken vlä	päästä [m]	Vesipinta				
Kunta	a:	Sot	kamo		Pvr	n.	Vesipinta	Pohja	[w]	Mittaaja			
Asennus pvm	n:	15.7	.2020		15.7.2	2020	2,08	5,00	+ 221,88	JH			
Asentaja	a:	Juhani	Hiltunen		24.7.2	2020	1,78	4,90	+ 222,18	AP/GTK			
Puhelin nro: 0447272566													
Asennuskone	e:	GM	I-150		المار ا	tuc	Kullä	W,max =	+ 222,18				
Putken tunnus: P36						tus	купа	W,min =	+ 221,88				
Koordinaattijärjes	telmä:		KKJ3				PUTKE	EN KUVA/SIJ	IAINTI				
Korkeusjärjes	telmä:		N60										
X: 3553564	Y: 7096051												
Putken y	läpää:	+	· 223,96										
Maar	pinta:	+	222,91										
Putken a	lapää:	+	218,96										
Suojap. materiaa	li (SP):	FE	5 89mm										
Putkimate	eriaali:	PEH	Ø: 6	0 mm									
		(sis	;ä) Ø: 5	2mm									
Suodatii	nmalli:	0,3	mm rake	0									
Putken osa/kood	i [m]	Maalaji	Syvyys	s [m]		PUT	KEN RAKEN	NE JA MAA	LAJIKERRO	KSET			
Jatkoputki JF	1,0	Τv	0 -	0,4									
Siivilä+sukka SS	5 4,0	HkMr	0,4 -	4,0		2 _			2				
		Kallio	4,0 -	7,0									
			-			1 +	<u> </u>		1				
			-				<u>4</u>		_				
			-										
			-			0				2			
			-										
			-			-1 +			-1 +				
			-										
Kokonaispituus:	5,0		-		Ē	-2 -	SS	Ē	-2 —	M			
Putken antoisi	uus		-		ita [r			ta [Ť			
			-		sos	-3 -	_	sos	-3 —				
Putken vesitilavu	ius [I]		-		n ta			n ta					
#VALUE!			-		nna	-4	_	nna	-4				
Veden väri			-		npir			npir					
			-		naa	-5		naa	-5				
Suositeltava näytteene	ottotapa		-		ys n			ys n		0			
			-		Š			~	6	Ka			
			-		Š	-6 +		Ś	-o +				
	от		-										
			-			-7 +			-7 +				
			-										
			-			-8 +			-8				
			-										
			-			-9 +			-9				
			-										
			-			-10			-10				
			-			TO							
	-												

Liite XX

TERRAFANE 2020 KL2 VLF-R-MITTAUSTEN TULOKSET

Jouni lerssi



GFR







Terrafame 2020 Geofysiikka VLF-R tulokset Näennäinen ominaisvastus





Terrafame 2020 Geofysiikka VLF-R tulokset Vaihekulma





Terrafame 2020 Geofysiikka VLF-R tulokset Näennäinen ominaisvastus Digikp





Terrafame 2020 Geofysiikka VLF-R tulokset Vaihekulma Digikp



















Refraktioseismiset profiilit:

Profiilit 1 ja 4





Jouni.Lerssi@gtk.fi

<u>www.gtk.fi</u>





			Slug Test Ana	alysis Re	port				
			Project: Ter	rafame	Pvp-slugit				
			Number: 1						
			Client: Ter	rafame					
Location: Sotkamo		Slug Test: P30-slug	-7		Test Well: P30	1			
Test Conducted by: AP					Test Date: 21.	7.2020			
Analysis Performed by: AP		B&R	B&R Analysis Dat						
Aquifer Thickness: 4,40 m									
			Time [s]						
0 2 1E0 -	2	4 6	8		10	12	14		
9 1E-1									
2				-					
1E-2									
Calculation using Bouwer & Ric									
Observation Well	Hydraulic Condu	Ictivity							
Doo	[m/s]								
P30	1,13 × 10								
























d.m.yyyy

Appendix: Groundwater Flow and Solute Transport Modeling

A1 Modeling Approach

A1.1 Governing Equations

The water movement in subsurface systems is typically described by the following partial differential equation:

$$S_{s} \frac{\partial h}{\partial t} - \nabla \cdot \left[\mathbf{K} \nabla h \right] = Q_{s} \tag{1}$$

where, h [L] is the hydraulic head, S_s [L⁻¹] is the specific storage, **K** [LT⁻¹] is the tensor for the hydraulic conductivity, t [T] is the time, and Q_s [T⁻¹] represents a source/sink term.

The transport and migration of the dissolved solutes and contaminant plumes in such groundwater systems are described by the classical advection-dispersion equation:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\theta c) = -\nabla \cdot (\mathbf{q}c) + \nabla \cdot (\theta \mathbf{D} \nabla c) - R_s$$
(2)

where, $c \,[\text{ML}^{-3}]$ is the concentration of the dissolved solute, θ [-] is the aqueous phase porosity, **q** [LT⁻¹] is the vector of specific discharge, **D** [L²T⁻¹] represents the tensor for dispersion coefficients, and R_s [ML⁻³T⁻¹] is the reactive source/sink term. The specific discharge term in Equation (2) is coupled to the groundwater flow equation (Eq. 1) via Darcy's law. In this study, the above set of flow and solute transport equations are numerically solved with a finite element method (FEM) by utilizing the groundwater modeling software FEFFLOW (DHI-WASY GmbH).

A1.2 Modeling Domain and Boundary Conditions

To simulate groundwater flow and solute transport in the study site, a model area in the proximity of the open-pit was considered (Fig. 1a). The chosen domain has a rectangular shape with the dimensions of approximately $4 \text{ km} \times 4.86 \text{ km}$, and an average depth of ~250 m. The domain is composed of a very thin layer of soil sediments (average depth < 1 m), which show scattered patterns throughout the entire area, underlain by the bedrock. In order to build the numerical model in FEFLOW, elevations of the ground surface, bedrock surface, and the bottom of the domain were imported from the geological modeling software Leapfrog. Afterwards, the 3D geometry of the groundwater model was created based on these imported 2D surfaces. The entire domain was discretized into fully unstructured meshes utilizing the mesh generator called TetGen (Fig. 1b-c). In the simulations performed in this study, the model discretization included 1513576 elements and 271681 finite element nodes.

d.m.yyyy



Fig. 1. Schematic of the top view of the model domain (a), finite element mesh of the domain topology (b), and fully unstructured 3D mesh of the entire simulation domain (c).

d.m.yyyy

The groundwater flow was solved by considering a Dirichlet boundary condition at the outer borders of the domain. Such boundary condition implicitly assumes that the hydraulic conditions at these boundaries are indeed unaffected by the processes occurring inside the domain. In all the simulations, hydraulic head values were considered to be a function of the ground surface elevation at the boundary nodes (i.e., fixed head at boundary nodes = ground surface elevations minus a threshold). In contrast, a so called "seepage face" boundary condition was applied at the open-pit nodes. This type of boundary represents a constraint hydraulic head boundary condition, which fixes the hydraulic heads to the elevations at these nodes. Such condition automatically adjusts the water fluxes at these boundary nodes to keep the water level at the ground surface elevation, and thus it mimics the dewatering conditions of an open-pit in a mine site. The initial distribution of hydraulic heads and hydraulic conductivities in the model were defined based on the series of field investigations. In addition, the recharge rate was estimated to be 2.3% of annual precipitation (600 mm/a). The transport simulations were performed by considering a conservative tracer and the possible reaction, sorption or other physicochemical mechanisms are ignored for the sake of simplicity. In this step, a series of leakage points (15 in total) was arbitrarily defined as the potential source of the tracer, and a constant concentration boundary condition was applied at these source points (Fig. 2). The leakage points were representative of the possible contamination sources from the KL-2 and geo-tube area in the vicinity of the open-pit mine. Figure 2 shows the distribution of these points both in the 2D and 3D geometry of the model. All the simulations were performed for a period of 1000 years. Table A1 lists the input parameters used in the simulations.

Parameters	Values
Number of nodes	271681
Number of elements	1513576
Time step	adaptive
Recharge rate [mm y ⁻¹]	13
Specific storage, sediment $[L^{-1}]$	10-4
Specific storage, Bedrock [L ⁻¹]	10-6
Porosity, sediment [-]	0.30
Porosity, bedrock [-]	0.01
Diffusion coefficient $[m^2s^{-1}]$	1×10 ⁻⁹
Longitudinal dispersivity [m]	5
Transverse dispersivity [m]	1

Table A1: Input paramete	rs used in the r	numerical modeling
--------------------------	------------------	--------------------



Fig. 2. Schematic of the leakage points in 2D planner view (a, b), and in 3D geometry (c). The green lines indicate the fractures.

A1.3 Sensitivity Analysis

To identify the most sensitive parameters in the flow and transport calculations, additional simulations were also performed by varying the different parameter values. These simulations were specifically targeted to explore the impact of hydraulic conductivities and groundwater recharge rates on the model results as well as propagation of the dissolve solutes through the domain. These parameters were particularly chosen because of their crucial role in flow and transport processes, and due to the fact that these parameters can be easily measured by the typical field investigation methods. The set of model parameters obtained directly from the field investigations were considered as the "Base Case" scenario, whereas a set of model scenarios was designed relative to this Base Case scenario to investigate the model sensitivity. Table A2 lists the simulation scenarios that were considered in the sensitivity analysis. These scenario names are consistently used throughout the rest of this report.

Table A2: Simulation scenarios used in the sensitivity analysis

Scenario	Parameter to vary	Parameter value
Base Case	-	K = from slug tests, R = 2.3% of annual precipitation
K1	Hydraulic conductivity (K)	$K = K_{Base \ Case} \times 10$
K2	Hydraulic conductivity (K)	$K = K_{Base \ Case} \times 0.1$
R1	Recharge rate (R)	R = 10% of annual precipitation
R2	Recharge rate (R)	R = 25% of annual precipitation
R3	Recharge rate (R)	R = 50% of annual precipitation

A2 Results of Flow and Transport Simulations

A2.1 Hydraulic Head Distribution, Depression Cone, and Travel Time

The numerical simulations were performed based on the data collected in the field-scale investigations. The modeling was conducted in a forward simulation fashion (i.e., without performing a formal calibration and/or validation), and the results of the different field tests were directly fed into the model as input parameters. Figure 3 shows the simulated hydraulic head distributions after 1000 years. It is evident that the hydraulic head follows a somewhat topographical pattern, where significantly lower values are observed directly at the open-pit (Fig. 3a-b). The hydraulic gradient is also mostly localized in the open-pit area as can be seen from the distribution of hydraulic head isosurfaces (Fig. 3b). Such behavior is driven by the requirement of the dewatering condition at the open-pit.



Fig. 3. Distribution of the hydraulic heads after 1000 years of simulation time: (a) 3D continuous map, (b) isosurfaces, (c) clipped view superimposed with groundwater table and contours, and (d) cross-sectional view through the open-pit.

The white contour line in Figure 3 represents the groundwater table in the domain, and it shows that water tables gradually decreases from the domain boundary to the open-pit. The depression cone formed due to the dewatering processes is shown in Figure 4. It is also apparent that the depression cone (surface of groundwater table) also involves the minima directly at the open-pit. However, an irregular shape is clearly observed due to both the heterogeneity of hydraulic conductivity as well as the scattered patterns of the overburden layer (Fig. 4b-c).



Fig. 4. Distribution of hydraulic head contours and groundwater table (a), isosurface of groundwater table (b, c).

Figure 5 shows the results of the forward particle tracking from all the leakage points as described in Figure 2. The streamlines from each leakage point clearly indicate that particles from all these locations travel towards the direction of the open-pit. This behavior is consistent with the hydraulic head distribution, which suggests a rather high hydraulic gradient towards the open-pit. It is also interesting to note that all these simulated streamlines mostly pass through the top sediment layer and cannot penetrate to the bedrock due to extremely low hydraulic conductivity of the bedrock. According to the model, the average travel time of particles from the different leakage points to the open-pit seems to be in the order of a few hundred years. This represents rather slow solute propagation through the domain. The yellow vertical planes in Figure 5c-d represent the possible fracture zones in the bedrock, and it is apparent that most of the streamlines originated from the leakage points at the KL-2 area are likely to pass more than one fracture. The fracture zones were not taken into account in the numerical model but the presence of such connected fractures may lead to considerable solute migration into the bedrock.



Fig. 5. Forward particle tracking from all the leakage points defined in the KL-2 and geo-tube area.

A2.2 Transport Simulation and Solute Plume Evolution

The transport modeling was performed based on the velocity field obtained from the flow simulations as illustrated in Section 2.6. Figure 6 depicts the simulated plumes, after t = 1000 a, of a conservative tracer from the individual leakage points defined in the vicinity of the open-pit area. It is interesting to note that while all the solute plumes follow the corresponding streamlines as shown in Figure 5, they considerably spread due to slower advection and relatively higher dominance of the dispersive transport. The slow propagation of the solute plumes is also confirmed from the transport simulations, and, in fact, some of the plumes (e.g., originated from leakage points KL-3, KL-4, KL-6, KL-12, KL-13) have not reached the open-pit after 1000 years.



Fig. 6. Maps of the solute plumes from the individual leakage points after 1000 years.

Figure 7 shows the temporal evolution of the tracer plumes from all the source locations. It is worthwhile to notice that all the solute plumes' propagation takes place through the thin overburden layer, whereas the dispersion mechanism leads to some level of penetration in the upper surface of the bedrock. According to the transport calculations, the development of solute plumes is certainly slow, and it takes around 5 years for the first solute plume to reach the open-pit (Fig. 7g). After 100 years, the plumes originated from the different locations start to merge together. Even after 1000 years all the plumes are still under development and far from the steady-state condition. During the course of solute transport, most of the plumes are likely to hit one or two fractures as indicated by the yellow planes in Figure 7.



Fig. 7. Temporal evolution of the solute plumes originated from the different leakage points.

d.m.yyyy

The impact of the solute release and its possible penetration into the fracture zones can be further analyzed by looking at the solute breakthrough curves at different locations along the fractures. For this purpose, a series of observation points was selected along the fracture zones directly on the top surface of the bedrock. Only the fractures identified as "class 2" were considered in this step. Figure 8 shows the distribution of these observation locations, and solute breakthrough curves were extracted at all these points.









Fig. 8. Locations of the observation points for solute breakthroughs along the fractures.

Figure 9 shows the simulated breakthrough curves at each observation point. These breakthrough curves represent the time series of a solute plume at the particular locations, and thus provide an indication of solute migration into the fractured bedrock. According to the model, the observation locations 5, 7 and 10 seem to be more prone to contamination based on the selected source distribution. An early breakthrough occurs at these particular locations (< 1 year), and a plateau of the source concentration (1 mg/L) is achieved at the observation point 7 and 10. These observation points are located along the same fracture (Fig. 8). Observation points 6, 12, 13, 15, and 17 represent the next level risky locations for the solute migration into the fractures. However, the maximum concentrations achieved in these points is also considerably delayed with the average breakthrough time of > 10 years. Based on the simulations, the remaining observation points involves relatively lower risk of solute migration as the the maximum breakthrough concentrations were relative small. However, it should be noted that the specific features of the individual breakthrough curve are also dependent on the distribution of the source leakage points.



Fig. 9. Breakthrough curves of a conservation tracer at the observation points selected along the fracture zones.

A2.3 Sensitivity Analysis

As explained in Section 2.6.3 that a sensitivity analysis is performed to demonstrate the impact of different hydrogeological parameters on the overall solute transport behavior. In particular, hydraulic conductivity and recharge rate were selected in these analyses, and a set of five additional sensitivity simulation scenarios were designed. Figure 10 summarizes the distribution of the hydraulic heads in different modeling scenarios. An increased hydraulic conductivity value for the overburden (Scenario K1) has a tendency to produce a relatively wider shape of the depression cone compared to the Base Case (Fig. 10b). An opposite trend is observed in Scenario K2 (Fig. 10c). In contrast, the higher recharge condition leads to the gradual increase of the absolute values of hydraulic heads in different scenarios (lower row panels). Such result implies that at extremely higher recharge rates, such as 25% of 50% of the annual precipitation, partially flooding condition may prevail in certain zones of the model area.



Fig. 10. Distribution of hydraulic heads in the different simulation scenarios used in the sensitivity analysis.

Figure 11 shows the simulation results by varying the hydraulic conductivity values of the sediments up to ten times greater and smaller compared to that of the Base Case scenario. It is remarkable that upon increasing the hydraulic conductivity of the overburden layer, the solute plumes' propagation is significantly accelerated (first and second column panels). While it takes around 10 years for the tracer plumes to reach the open-pit in the Base Case scenario (Fig. 11g), the solute plumes reach the open-pit only within 1 year in the Scenario K1 (Fig. 11e). The situation is opposite in Scenario K2, where tenfold smaller hydraulic conductivities were assigned for the sediment layer (third column panel). Due to the lower conductivity, plume propagation is slower in this scenario compared to the Base Case scenario. In fact, it takes almost a century for the plumes originated from the different leakage points to reach the open-pit in this particular simulation scenario (Fig. 111).



Fig. 11. Impact of hydraulic conductivity on the release and evolution of tracer plume.

The second series of the sensitivity simulation scenarios (Scenario R1, R2, and R3) involves the impact of the groundwater recharge rate on the groundwater flow and solute transport. These simulations were performed by varying the groundwater recharge rate with respective to the Base Case scenario. Figure 12 shows the simulated plumes for the sensitivity simulations highlighting the recharge rate. The solute plumes' propagation clearly shows an accelerating trend with the increase of the recharge rate. It is interesting to note that upon increasing the recharge rates, an effect of groundwater divide like behavior becomes more prominent. This behavior is reflected in the movement of the solute plumes from some of the leakage points towards the direction opposite to the open-pit (third and fourth column panels).

The likelihood of the solute plumes to reach the fracture zones in these sensitivity simulations can also be further illustrated by plotting the breakthrough curves at the different observation locations defined in the previous section. Figure 13 summarizes the breakthrough curves for all the simulation scenarios considered in the sensitivity analysis. The breakthrough curves also complement the observations of Figure 11 and 12. In Scenario K1 and K2, the solute breakthrough time is significantly faster and slower, respectively, compared to the Base Case scenario in all the observation points (red and orange dash-dotted lines). In contrast, the recharge rate does not have a significant impact on the solute arrival time at different locations because little differences are observed in terms of the mean arrival time in different scenarios (dashed lines). However, the breakthrough peak concentrations are remarkably affected by the variation in the recharge rate. In particular, the late time solute concentrations are significantly increased in almost all observation locations upon the increase of groundwater recharge into the domain.



Fig. 12. Impact of groundwater recharge rate on the release and evolution of tracer plume.



Fig. 13. Simulated breakthrough curves at different observation points for different simulation scenarios used in the sensitivity analysis.