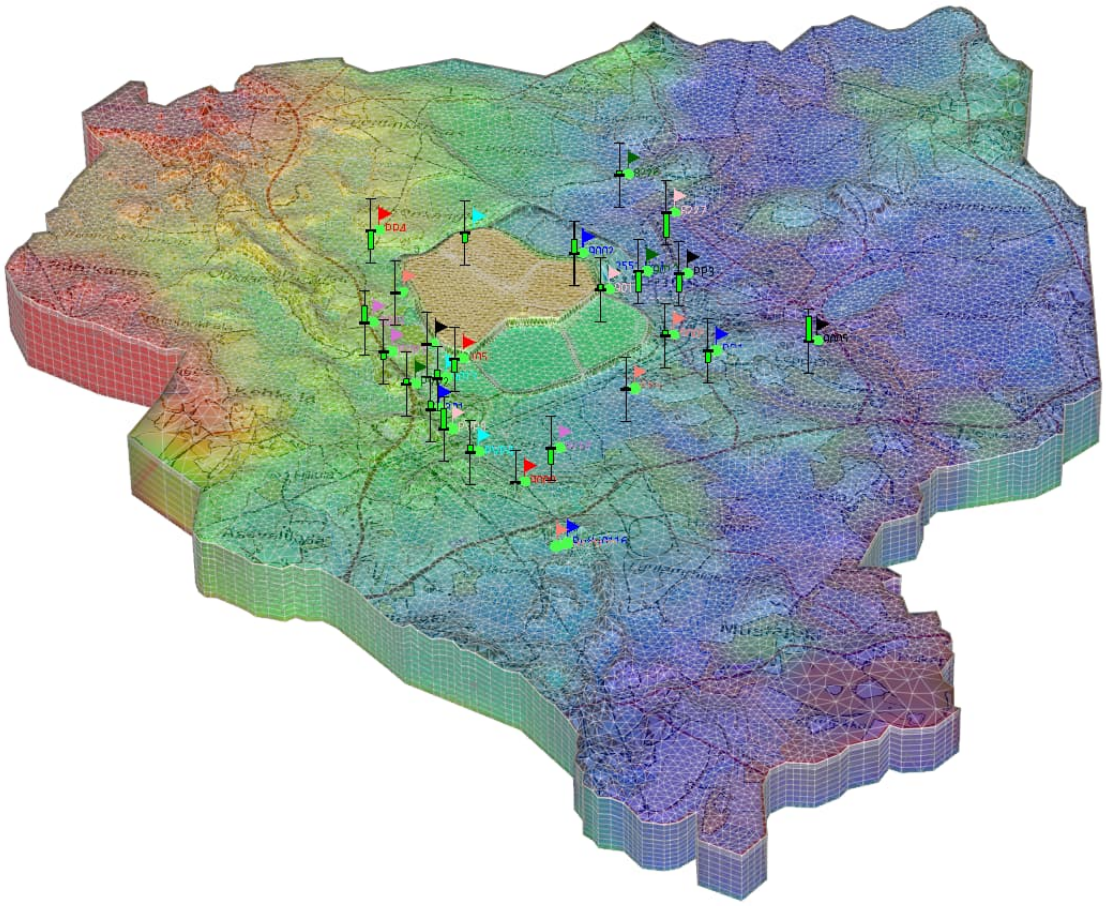


Asiakas: Mondo Minerals B.V. Branch Finland

Projekti: Vuonoksen rikastushiekka-altaan numeerinen pohjavesimallinnus

Projektinumero: 101028111-002

Päiväys
02/11/2026
Projektitunnus
101028111-002

Asiakas
Mondo Minerals B.V. Branch Finland

Vuonoksen rikastushiekka-altaan numeerinen pohjavesimallinnus

TIIVISTELMÄ

Mondo Minerals B.V. Branch Finland louhii Suomessa Kainuussa ja Pohjois-Karjalassa talkkimalmia sekä rikastaa ja jatkojalostaa siitä talkkituotteita. Tuotantolaitokset sijaitsevat Sotkamossa ja Vuonoksessa (Outokumpu). Aktiivisia kaivoksia on Sotkamossa ja Polvijärvellä yhteensä neljä.

Malmi Vuonoksen tehtaalle tuodaan Polvijärvellä sijaitsevista Pehmytkiven ja Karnukan avolouhoksista. Tuotannossa muodostuva rikastushiekka läjitetään rikastushiekan läjitysalueelle. Rikastushiekka-alue on ollut alun perin Outokumpu Oy:n käytössä ja sinne on läjitetty metallin jalostuksessa syntynyttä sulfidipitoista rikastushiekkaa. Mondo Minerals on läjittänyt samalle alueelle talkkituotannossa syntynyttä talkkimalmin rikastuksen magnesiittirikastushiekkaa.

Vuonoksen rikastushiekka-allasalueet 1 ja 2 saavuttavat nykyisen ympäristöluvan mukaisen maksimikorkeuden vuosina 2030–2032. Hankkeen elinkaaren jatkamiseksi Mondo Minerals suunnittelee rikastushiekan läjityskapasiteetin kasvattamista. Vaihtoehtoina yhtiö tarkastelee nykyisen rikastushiekka-altaan korottamista, kokonaan uuden altaan rakentamista tai rikastushiekan kuivaläjittämistä uuteen altaaseen. Tämä mahdollistaisi toiminnan jatkamisen noin vuoteen 2050 asti.

Tässä raportissa esitetään Vuonoksen rikastushiekka-alueen numeerinen pohjavesimallinnus, jossa mallinnetaan nykytilanne (vuosi 2026) ja simuloidaan rikastushiekan läjityskapasiteetin kasvattamisen eri vaihtoehtojen pohjavesivaikutuksia.

Työssä kerättiin ja käytiin läpi Vuonoksen tehdasalueelta saatavilla oleva geologinen, hydrologinen, hydrogeologinen, geofysikaalinen ja geometrinen aineisto. Pohjavesimallinnus tehtiin FEFLOW-ohjelmalla tasapainotilan malleina. Malli kalibroitiin nykytilanteeseen eli vastaamaan mitattuja pohjavesipintoja.

Vuonoksen rikastushiekka-alueen länsipuolella sijaitsee Onkilamminsärkkien (0730917) vedenhankintaan soveltuva luokiteltu pohjavesialue luode-kaakkosuuntaisessa harjumuodostumassa. Harju (Onkilamminsärkät) on geologiselta luonteeltaan ympäristöön vettä purkava eli antikliininen. Rikastushiekka-altaan ja harjumuodostuman välissä altaan padotus on nostanut pohjavesipintojen korkeutta altaan läntisen reunapadon tuntumassa, ja padon länsipuolelle on muodostunut luontaiset vesialtaat eli ns. vastapainealtaat. Rikastushiekka-alue on turve- ja hieta- tai hiesukerrosten päällä, joiden alla on kantava moreeni. Rikastushiekka-altaan alla oleva turvekerros on tiivistynyt heikosti vettäläpäiseväksi.

copyright© AFRY Finland Oy

Pohjavesimallinnuksen perusteella pohjaveden virtaussuunta Onkilammensärkät-harjualueella on pohjoisesta etelään ja kohti harjun reuna-alueita. Rikastushiekka-altaan alueelta pohjaveden yleinen virtaussuunta on kohti etelää ja kaakkoa. Lähtökohtaisesti pohjaveden virtaussuunta ei ole rikastushiekka-altaalta kohti länttä ja harjualuetta. Mallin mukaan rikastushiekka-altaasta ja vastapainealtaista pohjaveden virtauksen mukana lähtevät partikkelit kulkeutuvat kaikissa altaan laajennuksen vaihtoehdoissa altaan ympärysojaan ja altaan itäpuolelle. Länsipuolella vastapainealtaat rajoittavat ainakin jossakin määrin partikkeleiden kulkeutumista. Vastapainealtaista partikkeleita voi kuitenkin päätyä myös harjualueen reunalle, erityisesti pohjavesiputken 301 kohdalle ja sieltä kohti allasalueen eteläpuolella olevaa Teyrisuota. Pohjavesimallin perusteella partikkelit eivät kulkeudu putken 301 alueelta pohjaveden virtauksen mukana pitkin harjua etelään, vaan virtaussuunta on kaakkoon kohti suoaluetta. Rikastushiekka-altaan alla kulkevilla ruhjeilla ei mallin mukaan ole vaikutusta partikkelien kulkeutumiseen.

copyright© AFRY Finland Oy

Sisällys

Tiivistelmä

1 Johdanto 5
1.1 Tausta 5
1.2 Työn tavoite 6
1.3 Raportin sisältö 7
2 Lähtöaineistot ja puuteanalyysi 8
3 Mallinnettava alue 11
3.1 Tuotantolaitos 11
3.2 Topografia 15
3.3 Valuma-alueet 16
3.4 Mallinnusalueen rajaus 17
3.5 Sadanta 17
3.6 Maa- ja kallioperä 18
3.6.1 Maaperä 18
3.6.2 Kallioperä 28
3.7 Pohjavesi 30
3.7.1 Luokitellut pohjavesialueet 30
3.7.2 Pohjaveden pinnankorkeudet ja virtaussuunnat 32
3.8 Hydrogeologinen konseptualisointi 38
4 Numeerisen 3D-pohjavesimallin muodostaminen 41
4.1 2Dverkko 41
4.2 Kerrosmalli 43
4.3 Reunaehdot 47
4.4 Materiaalien ominaisuudet 49
4.5 Kalibrointi 51
4.6 Mallinnuksen tulokset 53
4.6.1 Vaihtoehto VE0/vuosi 2026 53
4.6.2 Vaihtoehto VE1 57
4.6.3 Vaihtoehto VE2a 61
4.6.4 Vaihtoehto VE2b 64
4.6.5 Vaihtoehto VE3 69
5 Yhteenveto ja johtopäätökset 73
6 Epävarmuudet 77
7 Lähteet 77
Liite 1: Putkikortit
Liite 2: Slug-mittaukset

copyright© AFRY Finland Oy

1 Johdanto

1.1 Tausta

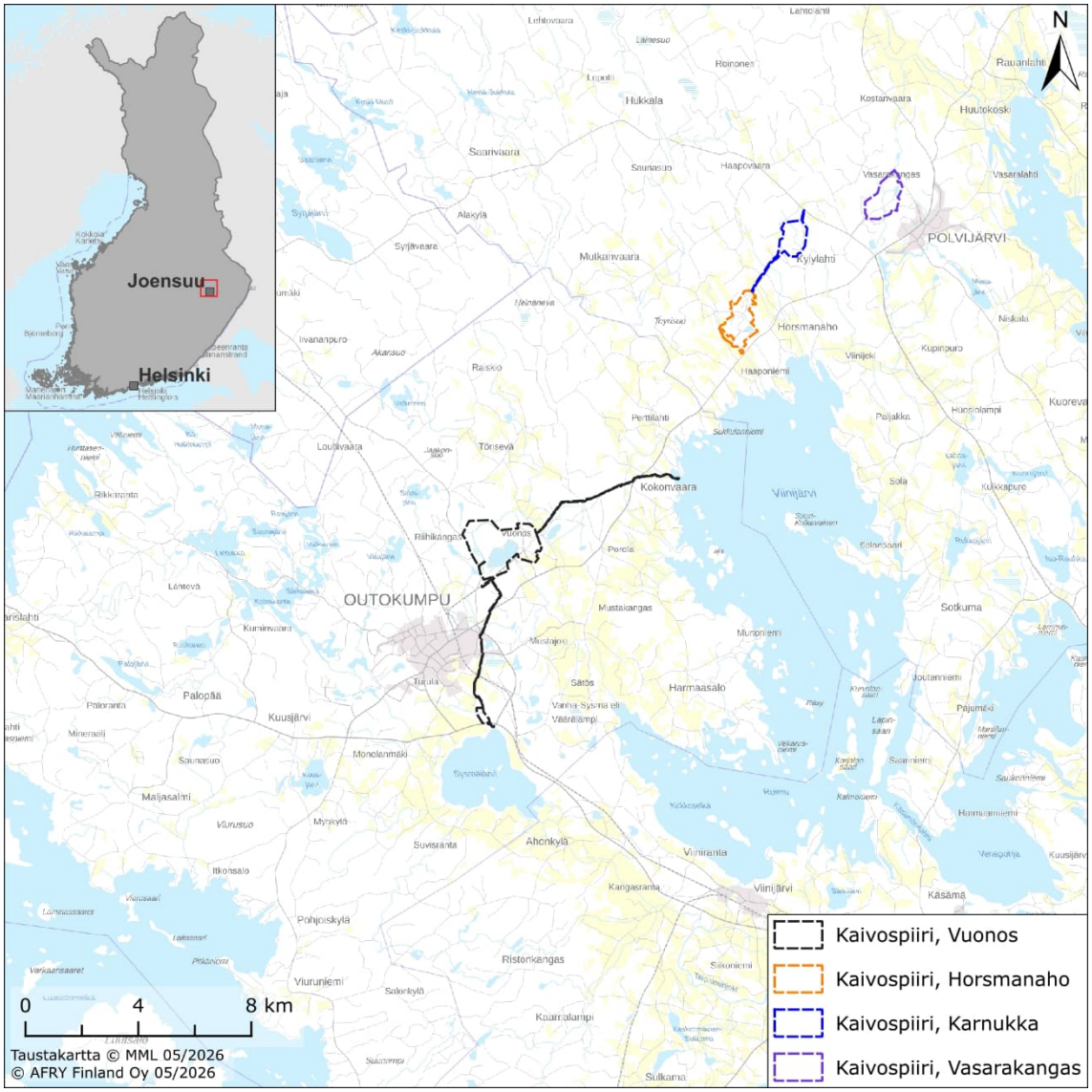
Mondo Minerals B.V. Branch Finland louhii Suomessa Kainuussa ja Pohjois-Karjalassa talkkimalmia sekä rikastaa ja jatkojalostaa siitä talkkituotteita. Tuotantolaitokset sijaitsevat Sotkamossa ja Vuonoksessa (Outokumpu). Aktiivisia kaivoksia on yhteensä neljä kappaletta: Sotkamossa Punasuon ja Uutelan avolouhokset sekä Polvijärvellä Horsmanahon (Pehmytkivi) ja Karnukan avolouhokset.

Vuonoksen tehdasalueen (Kuva 1-1) tuotantotoiminta koostuu talkkimalmin rikastuksesta talkki- ja nikkelirikasteeksi ja jatkojalostuksesta talkkituotteiksi mikrotalkkitehtaalla. Malmi Vuonoksen tehtaalle tuodaan Polvijärvellä sijaitsevista Pehmytkiven ja Karnukan avolouhoksista. Tuotannossa muodostuva rikastushiekka läjitetään rikastushiekan läjitysalueelle. Rikastushiekka-alue on ollut alun perin Outokumpu Oy:n käytössä (1972–1985) ja sinne on läjitetty metallin jalostuksessa syntynyttä sulfidipitoista rikastushiekkaa. Vuodesta 1986 alkaen Mondo Minerals on läjittänyt samalle alueelle talkkituotannossa syntynyttä talkkimalmin rikastuksen magnesiittirikastushiekkaa.

Vuonoksen rikastushiekka-allasalueet 1 ja 2 saavuttavat nykyisen ympäristöluvan mukaisen maksimikorkeuden vuosina 2030–2032. Hankkeen elinkaaren jatkamiseksi Mondo Minerals suunnittelee rikastushiekan läjityskapasiteetin kasvattamista. Vaihtoehtoina yhtiö tarkastelee nykyisen rikastushiekka-altaan korottamista, kokonaan uuden altaan rakentamista tai rikastushiekan kuivaläjittämistä uuteen altaaseen. Tämä mahdollistaisi toiminnan jatkamisen noin vuoteen 2050 asti.

Tässä raportissa esitetään Vuonoksen rikastushiekka-alueen numeerinen pohjavesimallinnus, jossa mallinnetaan nykytilanne (vuosi 2026) ja simuloidaan rikastushiekan läjityskapasiteetin kasvattamisen eri vaihtoehtojen pohjavesivaikutuksia.

copyright© AFRY Finland Oy



Kuva 1-1. Vuonoksen tuotantoalueen sijainti Outokummussa. Kuvassa on esitetty myös Mondon Karnukan, Horsmanahon ja Vasarakankaan kaivokset.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on syventää ymmärrystä Vuonoksen alueen hydrogeologiasta ja laatia alueesta nykytilaa kuvaava 3D-pohjavesimalli sekä simuloida rikastushiekan läjityskapasiteetin kasvattamisen eri vaihtoehtojen pohjavesivaikutuksia. Pohjavesimallinnuksen ensimmäinen työvaihe sisältää lähtötietojen kokoamisen, niiden käytettävyyden arvioinnin. Tämän jälkeen kootaan hydrogeologinen konseptuaalinen malli, jonka perusteella tehdään numeerinen 3D pohjavesimalli alueesta. Pohjavesimalli kalibroidaan nykytilanteeseen mitattujen

copyright© AFRY Finland Oy

pohjavesipintojen perusteella. Kalibroidulla mallilla simuloidaan rikastushiekan läjityskapasiteetin kasvattamisen eri vaihtoehtojen pohjavesivaikutuksia.

1.3 Raportin sisältö

Työn tausta, tarkoitus ja sisältö esitellään luvussa 1. Luvussa 2 käydään läpi lähtöaineisto ja tehdään puuteanalyysi. Luvussa 3 kuvataan mallinnettava alue ja hydrogeologinen konseptuaalinen malli. Numeerisen mallin muodostaminen, mallin kalibrointi nykytilaan, rikastushiekan läjityskapasiteetin kasvattamisen eri vaihtoehtojen pohjavesiolosuhteiden simulointi ja mallin herkkyystarkastelut on kuvattu luvussa 4. Johtopäätökset ja mallin tuloksiin liittyvät epävarmuudet esitetään luvuissa 5 ja 6. Lopuksi luvussa 7 on esitetty lähdeluettelo.

Ellei toisin mainita tässä raportissa esitetyt syvyyslukemat on esitetty yksikössä metriä merenpinnan yläpuolella (m mpy, N2000). Koordinaatistona on käytetty ETRS-TM35FIN.

copyright© AFRY Finland Oy

2 Lähtöaineistot ja puuteanalyysi

Konseptuaalista ja numeerista mallinnusta varten käytiin läpi kaikki saatavilla oleva hydrologinen, geologinen, hydrogeologinen, geofysikaalinen ja geometrinen aineisto mallinnettavasta alueesta. Aineistoja saatiin Mondolta ja ladattiin julkisista tietokannoista: Ilmatieteen laitos, Geologian tutkimuskeskus (GTK), Maanmittauslaitos (MML) ja Suomen ympäristökeskus (SYKE).

Taulukossa 2-1 esitetään saatavilla oleva aineisto, jota voidaan hyödyntää konseptuaalisessa ja numeerisessa pohjavesimallissa sekä esitetään pohjavesimallin kannalta oleelliset, mutta puuttuvat aineistot.

Taulukko 2-1. Konseptuaalisessa ja numeerisessa pohjavesimallissa käytettävä saatavilla oleva ja puuttuva lähtöaineisto.

Aineisto	Kuvaus	Lähde	Parametri malliin	Saatavuus	Puute	Suunnitelma
Hydrologia						
Ilmasto	Paikallinen säähavainto-aineisto: sadanta	Sääasema	Pohjaveden muodostumin en/veden imeytyminen maanpinnalta	Aineisto ladattu Ilmatieteen-laitoksen avoimesta datapalvelusta (Viuruniemi) (Ilmatieteenlaitos 2026)		
Pintavedet	Järvet, joet, purot, uomat, lammet	Maanmittauslaitos, SYKE	Pohjavesi-mallin rajaaminen, mallin geometria, reunaehdot ja pohjaveden muodostu-minen	Aineisto ladattu MML:n palvelusta (MML 2026), 3. jakovaiheen 1990-luvun valuma-alueet (SYKE 2026)		
Geometriat						
Topografia	Maanpinnan topografia	Maanmittauslaitos	Mallin rajaus, malli-geometria	Aineisto ladattu MML:n avoimen datan palvelusta (MML 2026)		
	Kallion pinnan topografia	GTK	Malli-geometria	Aineisto ladattu GTK Hakku-palvelu (GTK 2026)		
Tuotantoalue ja rikastushiek-ka-allas	Rikastushiekka -altaan nykyinen ja laajennuksen eri vaihtoehtojen suunnitelmat, vanhat läjitysalueet, ojitukset	Mondo Minerals B.V. Branch Finland/AFRY Finland Oy		Saatu Mondolta/AFRY tehnyt suunnitelmat		

copyright© AFRY Finland Oy

Aineisto	Kuvaus	Lähde	Parametri malliin	Saatavuus	Puute	Suunnitelma
Geologia						
Maaperä	Maalajit, kerros-paksuudet	GTK maaperäkartta, kairaustiedot, pohjavesiputket	Malli-geometria, maaperän veden-johtavuus	Maaperäkartta (GTK Hakku 2026), kairaukset rikastushiekka-altaalla, pohjavesiputkien putkikortit (Mondo, AFRY)		
Kallioperä	RQD, rakotiheys	-	Kallioperän veden-johtavuus	Ei saatavilla. Kallioperäkairauksia ei ole tehty.	Kallioperän ja mahdollisten ruhjeiden vedenjohtavuudesta ei ole tietoa.	Vuonoksella ei tehdä kallioperän louhintaa. Maaperäkerros on suhteellisen paksu. Rikastushiekka-altaan läjitys-kapasiteetin lisäämisen vaikutusten simulointi voidaan siten rajata pääosin maaperään. Kallioperän tutkimustietoja saatavilla Vuonoksen koillispuolelta Mondon Karnukan, Horsmanahon ja Vasarakankaan louhoksien alueelta.
	Ruhje-vyöhykkeet	GTK	Malli-geometria, kallioperän veden-johtavuus	GTK määritellyt alueelliset ruhjevyöhykkeet (GTK Hakku 2026)		
Hydrogeologia						
Pohjavesi	Maaperän pohjavesi	Pohjavesiputkista tehdyt pohjaveden pinnankorkeuden mittaukset ja slug-mittaukset	Pohjavesi-pinta maaperässä, maaperän veden-johtavuus	Pohjavesi-putkissa tehty pohjaveden pinnankorkeuden seurantaa (Mondo, SYKE: Hertta 2026) ja slug-mittaukset (AFRY Finland Oy 2025a)		Maaperän veden-johtavuudet perustuvat slug-mittauksiin ja mallin kalibrointiin, joka on tehty mitattujen pohjaveden pinnankorkeuk-sien perusteella.
	Kallioperän pohjavesi		Kallioperän ja ruhjeiden veden-johtavuus	Ei saatavilla	Kallioperän ja ruhjeiden veden-johtavuutta ei ole mitattu.	Vuonoksella ei tehdä kallioperän louhintaa. Maaperäkerros on suhteellisen paksu. Rikastushiekka-altaan läjitys-kapasiteetin lisäämisen vaikutusten simulointi voidaan siten rajata pääosin

copyright© AFRY Finland Oy

Aineisto	Kuvaus	Lähde	Parametri malliin	Saatavuus	Puute	Suunnitelma
						maaperään. Kallioperän hydrogeologista tutkimustietoja saatavilla Vuonoksen koillispuolelta Mondon Karnukan, Horsmanahon ja Vasarakankaan louhoksien alueelta.

copyright© AFRY Finland Oy

3 Mallinnettava alue

3.1 Tuotantolaitos

Vuonoksen tehtaiden nykyinen rikastushiekka-alue on Outokumpu Oy:n vuonna 1971 rakentama. Outokumpu Oy käytti rikastushiekka-aluetta vuoteen 1986 asti, minkä jälkeen Mondon talkintuotannosta syntyvä magnesiittihiekka on sijoitettu rikastushiekka-altaalle aiemmin läjitetyn rikastushiekan päälle vuodesta 1986 alkaen. Outokumpu Oy:n aikana rikastushiekka-altaalle on läjitetty metallikaivostoiminnan sulfidipitoista rikastushiekkaa.

Rikastushiekka-alue koostuu kahdesta rikastushiekka-altaasta (rikastushiekka-allas 1 ja rikastushiekka-allas 2) sekä nykyisin selkeytysaltaina toimivista välialtaasta ja pumppausaltaasta (Kuva 3-1). Rikastushiekka-altaiden pinta-ala on noin 97 hehtaaria. Rikastushiekka-altaita täytetään vuorotellen. Rikastushiekka-altaiden 1 ja 2 nykyisen ympäristöluvan mukainen läjityskapasiteetti loppuu arviolta vuosina 2030–2032. Patojen nykyisen ympäristöluvan mukainen maksimikorko on 117 m ja läjityksen 116 m. 11.9.2025 tehdyn mittauksen mukaan korotusvaraa padoissa on vielä 0,5–1,7 metriä.

Rikastushiekka-altaasta 1 vapaa vesi johdetaan dekantointikaivon kautta suoraan pumppausaltaaseen. Rikastushiekka-altaasta 2 vedet johdetaan dekantointikaivon ja välialtaan kautta pumppausaltaaseen. Rikastushiekka-alueelta osa selkeytyneestä vedestä palautetaan rikastamolle ja talkkitehtaalle prosessivedeksi. Loppuosa vedestä pumpataan viemäriä pitkin Lahdenjoen alajuoksulle ja edelleen Sysmäjärveen.

Välialtaan pinta-ala on noin 26 hehtaaria ja se on aiemmin suurelta osin täytetty magnesiittihiekalla. Välialtaan vapaa vesipinta on noin 3 ha ja vesitilavuus noin 0,1 milj. m^3. Pumppausaltaan pinta-ala on noin 30 ha ja vesitilavuus noin 397 737 m^3. Pumppausallas on luodattu vuonna 2025. Pumppausaltaaseen ei ole läjitetty magnesiittihiekkaa, mutta sitä on käytetty mm. altaan pohjasedimenttien peittoon.

Rikastushiekka-altailla ei ole pohjarakenteita. Rikastushiekkaa on läjitetty turve- ja hieta- tai hiesukerrosten päälle. Läjityksen pohjalla oleva turve on todennäköisesti tiivistynyt vettä läpäisemättömäksi. Turvekerroksen alla on moreenin päällä oleva heikosti vettä läpäisevä hieta- tai hiesukerros.

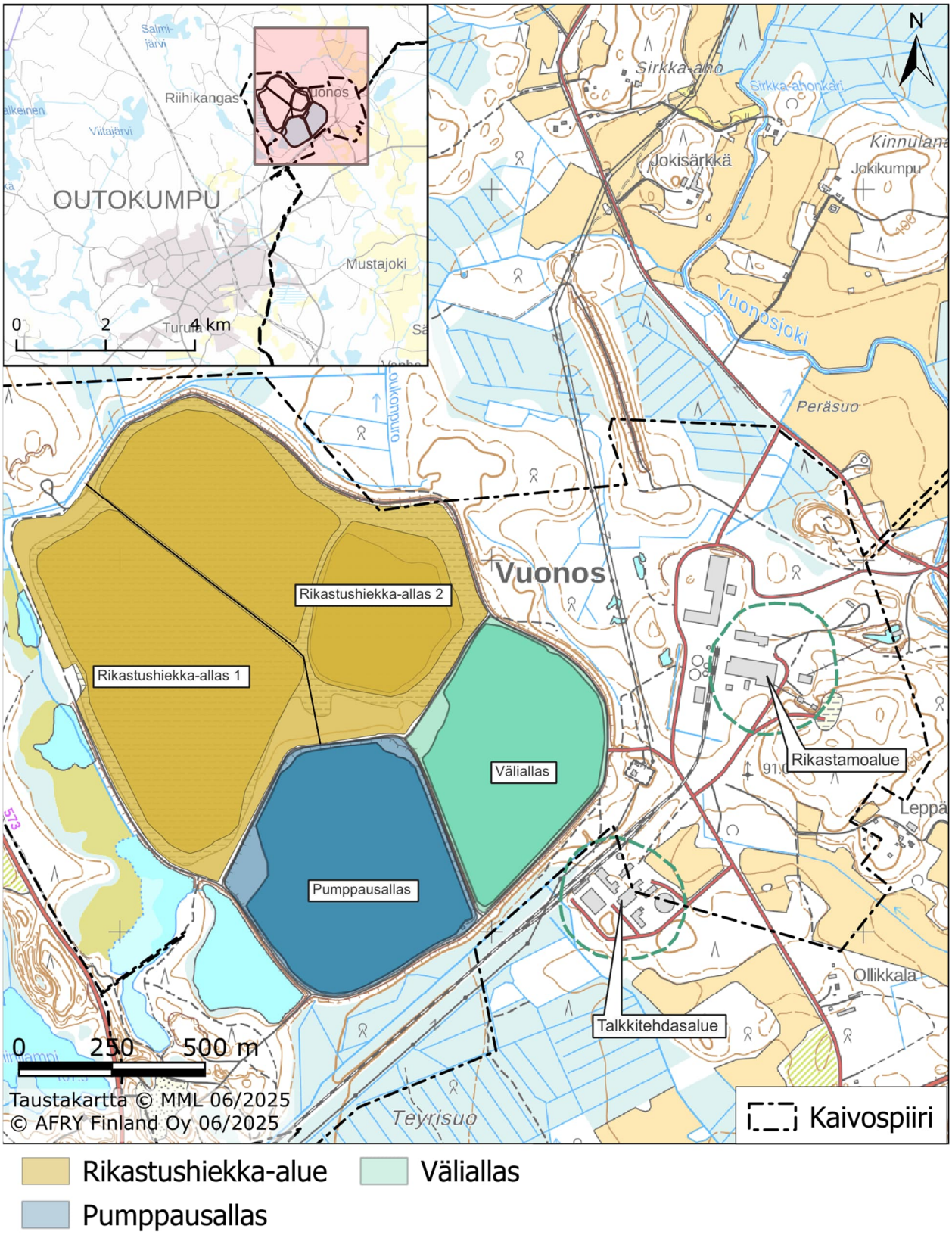
Altaita ympäröivät suotovesiojat ja suotovesiojissa olevien pumppaamoiden avulla suotovedet pumpataan takaisin allasvesikiertoon joko rikastushiekka-altaaseen tai välialtaaseen.

copyright© AFRY Finland Oy

Rikastushiekka-altaan 1 länsipuolella sijaitsevat luontaiset altaat, joita käytetään vastapainealtaina siten, että alemman vastapainealtaan vedenpinta on ylempänä kuin pumppausaltaan vedenpinta ja ylemmän vastapainealtaan vedenpinta on ylempänä kuin rikastushiekka-altaan 1 suotovesiojan vedenpinta (luku 3.7).

Vuonoksen rikastushiekka-altaan läjityskapasiteetin lisäämisen vaihtoehdot VE0, VE1, VE2a, VE2b ja VE3 on esitetty taulukossa 3-1 ja kuvassa 3-2.

copyright© AFRY Finland Oy



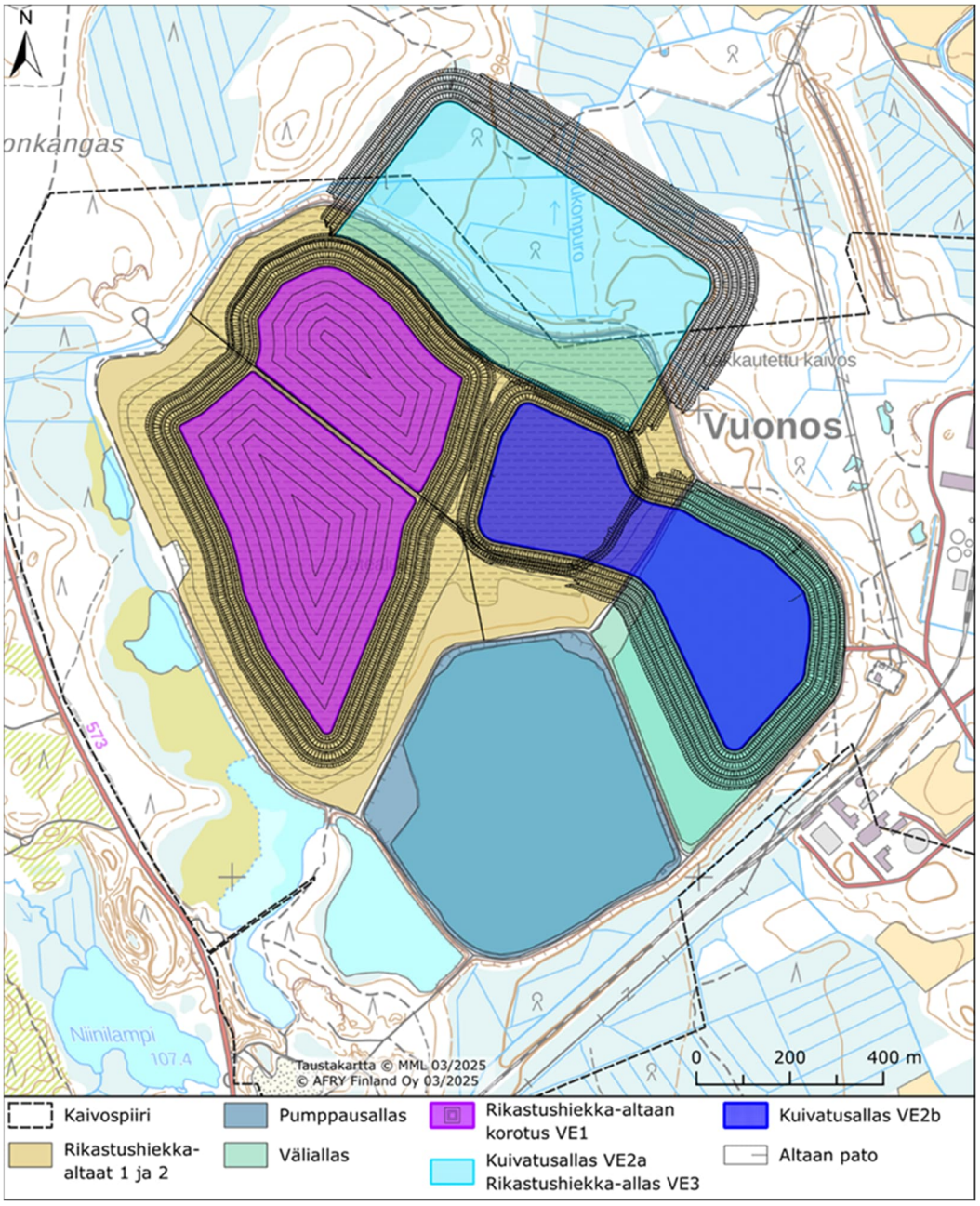
Kuva 3-1. Vuonoksen tehdas-, rikastamo- ja rikastushiekka-alueiden sekä altaiden sijainnit.

copyright© AFRY Finland Oy

Taulukko 3-1. Vuonoksen rikastushiekka-altaan läjityskapasiteetin lisäämisen eri vaihtoehdot.

VE0
• Toiminta jatkuu nykyisellä ympäristöluvalla niin kauan kuin se on lupaehtojen puitteissa mahdollista. Toiminta päättyy rikastushiekka-altaan saavuttaessa nykyisen ympäristöluvan maksimikorkeuden (+116 m mpy (N60) rikastushiekan läjityskorkeus, +117 m mpy (N60) patoharjat) noin vuonna 2030–2032.
VE1
• Rikastushiekka-altaat korotetaan korotussuunnitelman mukaisesti tasolle +126 m mpy (N60) (rikastushiekan läjityskorkeus) ja +127 m mpy (N60) (patoharjat). Tämä mahdollistaisi toiminnan jatkamisen noin vuoteen 2050 asti. Muilta osin toiminta jatkuu ennallaan.
VE2a ja VE2b
• Nykyisiä rikastushiekka-altaita tyhjennetään ja täytetään (RH1- ja RH2-altaat) vuorotellen. Kuivasta (ei sillä hetkellä läjityskäytössä olevasta) altaasta kaivetaan rikastushiekkaa, joka kuivaläjitetään uuteen, rakennettavaan altaaseen. Tällöin toinen puoli rikastushiekka-altaasta on märkäläjityskäytössä ja toinen puoli kuivumassa ja tyhjennyksessä kuivaläjitystä varten. Kuivaläjitys mahdollistaisi toiminnan jatkamisen noin vuoteen 2050 asti. VE2a: Kuivaläjitys nykyisen rikastushiekka-altaan pohjoispuolelle rakennettavaan altaaseen (sama alue kuin VE3, rikastushiekan läjityskorkeus maksimissaan tasolle +116 m mpy (N60)) VE2b: Kuivaläjitys nykyisen rikastushiekka-altaan 2 eteläosaan ja välialtaaseen, rikastushiekan läjityskorkeus +123 m mpy (N60).
VE3
• Rakennetaan uusi rikastushiekka-alue sekä vaadittava infra (ml. suotovesienhallinta, sähköt, tiestö, pumppaamot jne). Uusi rikastushiekka-alue sijoittuu nykyisen rikastushiekka-allasalueen pohjoispuolelle. Nykyinen rikastushiekka-allas suljetaan sulkemissuunnitelman mukaisesti sen saavutettua nykyisen ympäristöluvan mukaisen maksimikorkeuden +117 m mpy (N60). Uuden rikastushiekka-alueen käyttöönotto mahdollistaisi toiminnan jatkamisen noin vuoteen 2050 asti.

copyright© AFRY Finland Oy



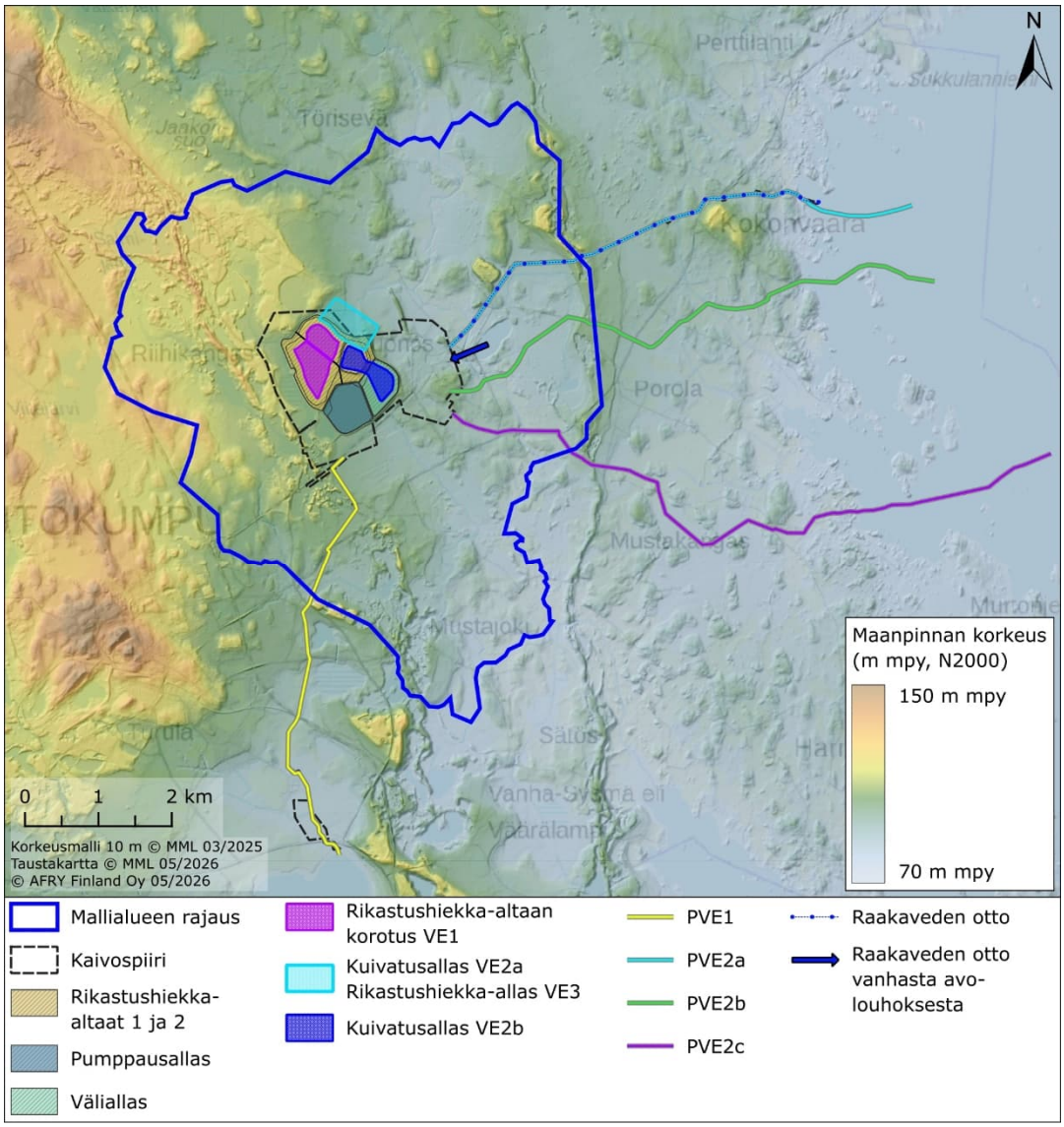
Kuva 3-2. Vuonoksen suunniteltujen toimintojen sijoittuminen hankealueella vaihtoehdoissa VE1, VE2a–b ja VE3.

3.2 Topografia

Vuonoksen rikastushiekka-alue sijoittuu kahden luode-kaakkosuuntaisen harjujakson väliin Vuonosjoki-laaksoon. Rikastushiekka-altaiden alueella maanpinta on noin 100 m mpy (N2000) tasolla, josta se nousee pohjoisen ja lännen harjualueilla korkeimmillaan tasolle 120–130 m mpy (N2000). Rikastushiekka-altaan itäpuolella maanpinta laskee hitaasti kohti Vuonosjokea tasolle 87–90 m mpy. Viinijärven pinnankorkeus on 78,8 m mpy ja Sysmäjärven

copyright© AFRY Finland Oy

85,6 m mpy (N2000). Maanpinnan topografia hankealueen ympäristössä on esitetty kuvassa 3-3.



Kuva 3-3. Vuonoksen alueen varjostettu korkeusmalli.

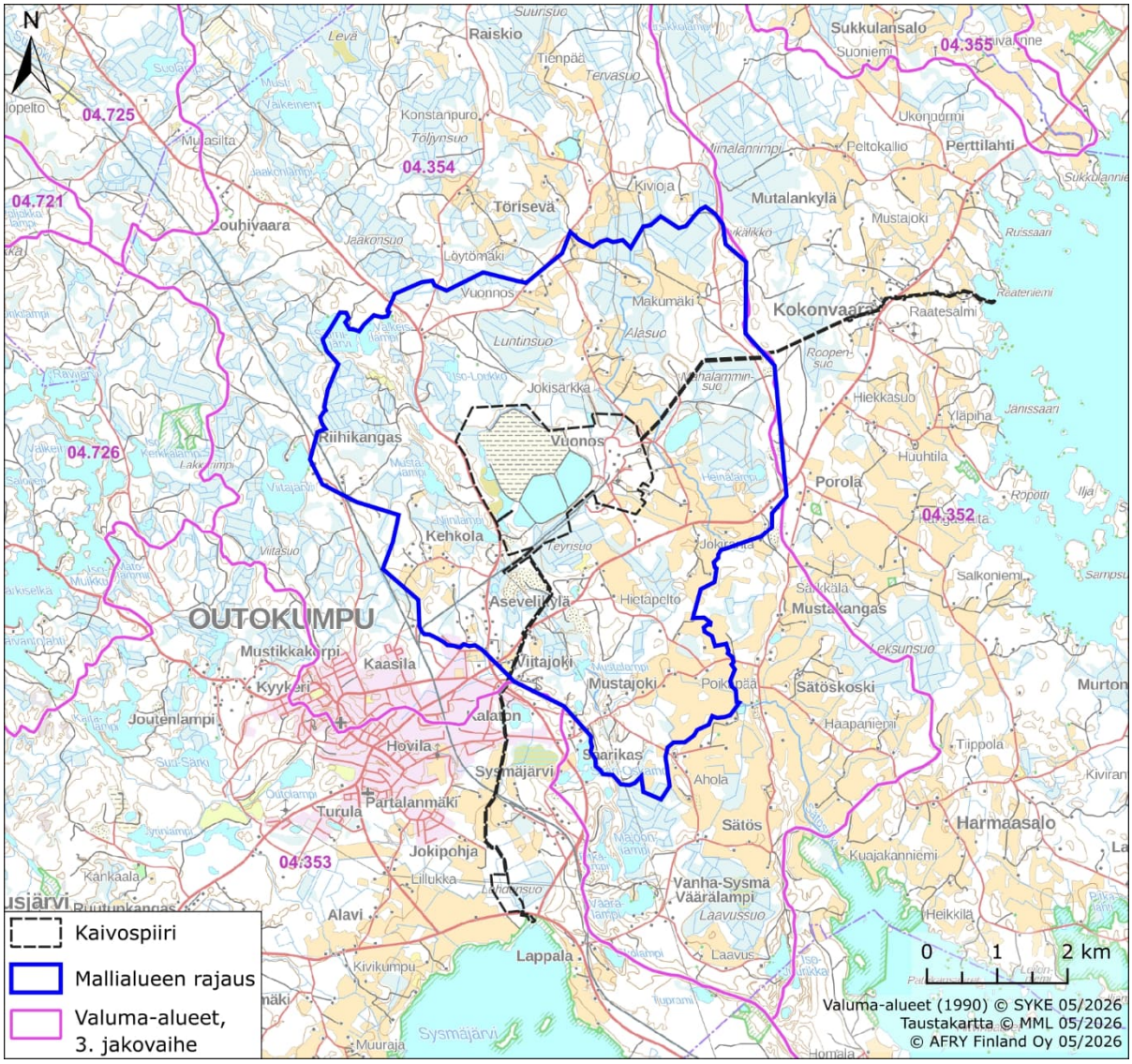
3.3 Valuma-alueet

Vuonoksen tuotantolaitos sijaitsee Sätösjoen valuma-alueella (04.354), joka on 3. jakovaiheen vesistöalueita (SYKE 1990 valuma-aluejako) Vuoksi (04) -päävesistössä (Kuva 3-4). Ensimmäisen jakovaiheen luokituksessa alueet ovat Oriveden - Pyhäselän alueen (04.3) ja Höytiäisen (04.8) valuma-alueilla ja toisen jakovaiheen luokituksessa Viinijärven (04.35) valuma-alueilla.

copyright© AFRY Finland Oy

3.4 Mallinnusalueen rajaus

Kuvassa 3-4 esitetään mallinnusalueen rajaus peruskartalla. Mallin alue rajattiin niin, että sen voidaan olettaa olevan selkeästi rikastushiekka-alueen vaikutusaluetta laajempi. Mallinnusalue on rajattu pintavesien, valuma-alueiden sekä lännessä Sätösjoen ja idässä Viitajoen mukaisesti.



Kuva 3-4. Vuonoksen tuotantolaitoksen lähialueen pintavesien valuma-alueet (3. jakovaihe) ja mallinnettavan alueen rajaus.

3.5 Sadanta

Viuruniemen sääasema sijaitsee noin 15 kilometriä Vuonoksen tuotantolaitokselta lounaaseen Juojärven itäreunalla. Vuosina 2004–2025 keskimääräinen vuosisadanta on ollut noin 668 mm/a (Ilmatieteenlaitos 2026). Ajanjakson pienin

copyright© AFRY Finland Oy

sademäärä oli 545 mm/a vuonna 2009 ja suurin 825 mm/a vuonna 2023 (Kuva 3-5).



Kuva 3-5. Vuosittainen sadanta Viuruniemen sääasemalla vuosina 2004–2025 (Ilmatieteenlaitos 2026).

3.6 Maa- ja kallioperä

3.6.1 Maaperä

Rikastushiekka-alue (120 ha) sijoittuu Hyttisuolle ja on nykyisin talkkituotannon käytössä. Rikastushiekka-alueen pohjalla on aiemman metallikaivostoiminnan rikastushiekkaa (Räisänen & Korhonen 2015).

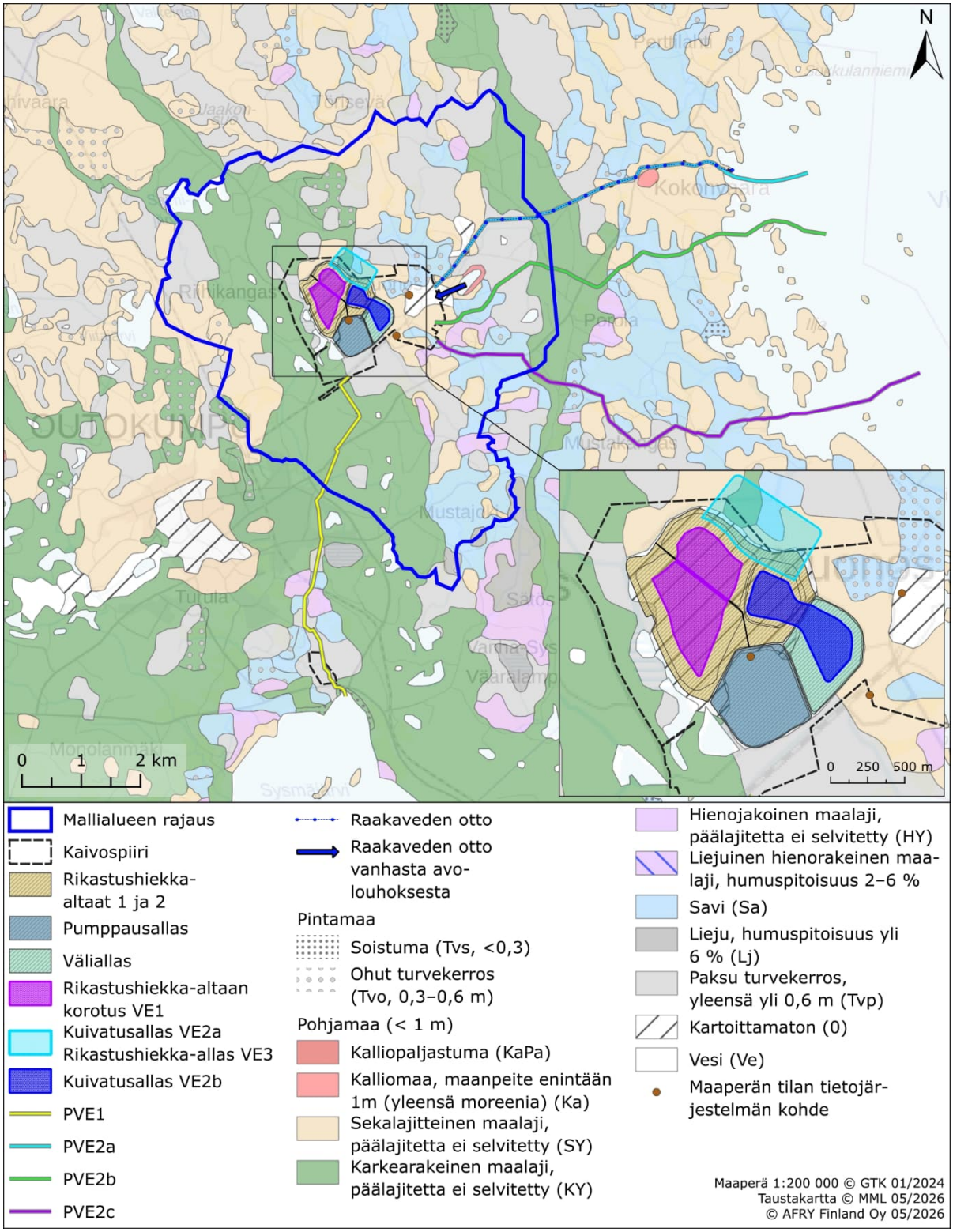
Rikastushiekka-alue on turve- ja hieta- tai hiesukerrosten päällä, joiden alla on kantava moreeni. Läjitysalue sijoittuu kahden luode-kaakkosuuntaisen harjujakson väliin Vuonosjokilaaksoon. Harjun karkearakeisen ydinosan lievealueen hieno hiekka-, hieta- ja hiesumuodostumia esiintyy läjitysalueen pohjoispuolella. Läjitysalueen länsireunamalla harjun lievealueella maa-aines vaihtelee hienosta hiekasta hiesuun ja maakerrosten peitteenä on turvetta yli 1 metrin paksuudelta. Harjun ulkonema työntyy kahdesta kohtaa läjitysalueen länsireunalla reunapadon tuntumaan. Pohjoisemmassa ulkonemassa harjun karkean aineksen epäillään työntyvän hiesukerrostuman alla padon tuntumaan. Padon kohdalla kumpare on moreenia, jossa voi esiintyä karkearakeisia kerroksia. Eteläisemmän ulokkeen maalaji on hiekkaa ja aivan ulokkeen kärjessä hienoa hiekkaa tai hiesua. Muualla rikastushiekan läjitysalueen ympäristössä maaperä muodostuu moreenikumpareista ja niiden välisiin painanteisiin sedimentoituneista ja huuhtoutuneista savi-, hienohiekka- ja hiesukerroksista. Teyrisuon alueella

copyright© AFRY Finland Oy

maakerrosten peitteenä on paksu turvekerros. Moreenikumpareiden maalajit vaihtelevat hiekkamoreenista silttiseen moreeniin. Karkearakeisia moreenimuodostumia esiintyy Teyrisuon kohdalla turpeen alla läjitysalueen välipadon kohdalla ja tehdasalueen luoteispuolella. Muuallakin alueella ainakin moreenin pintaosat voivat olla karkearakeisia. (Pöyry Finland Oy 2011)

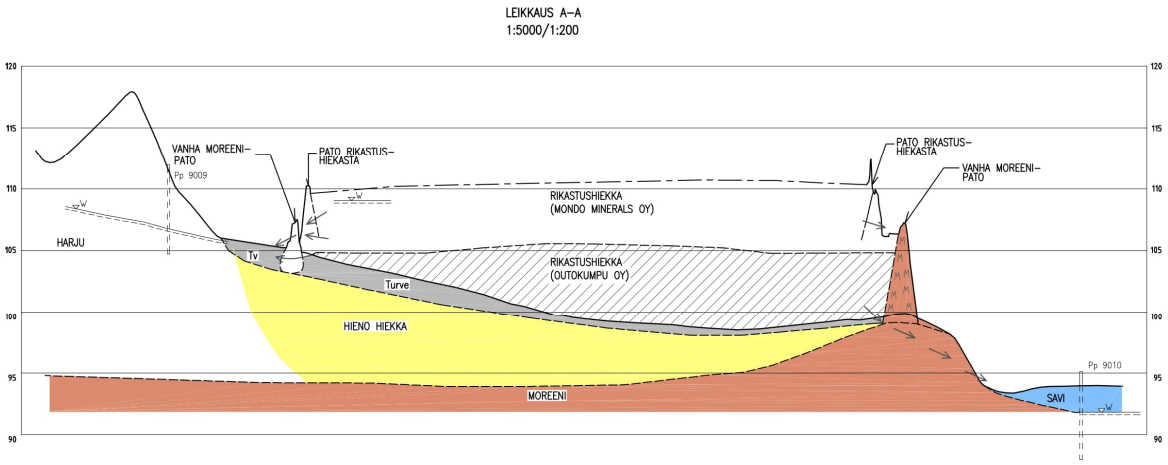
Kuvassa 3-6 on esitetty yleispiirteinen maaperäkartta kaivospiirin alueelta. Kuvassa 3-7 on esitetty ote poikkileikkauspiirroksesta putkien 9009–9010 kohdalta (Lassila ja Viitanen 2003). GTKn karttapalvelun perusteella (GTK Maankamara 2026) maakerroksen paksuus rikastushiekka-altaan kohdalla ja sen itäpuolella on noin 10 m, eteläpuolella 13–15 m ja länsi- sekä pohjoispuolella harjumuodostuman kohdalla noin 30 m (Kuva 3-8).

copyright© AFRY Finland Oy



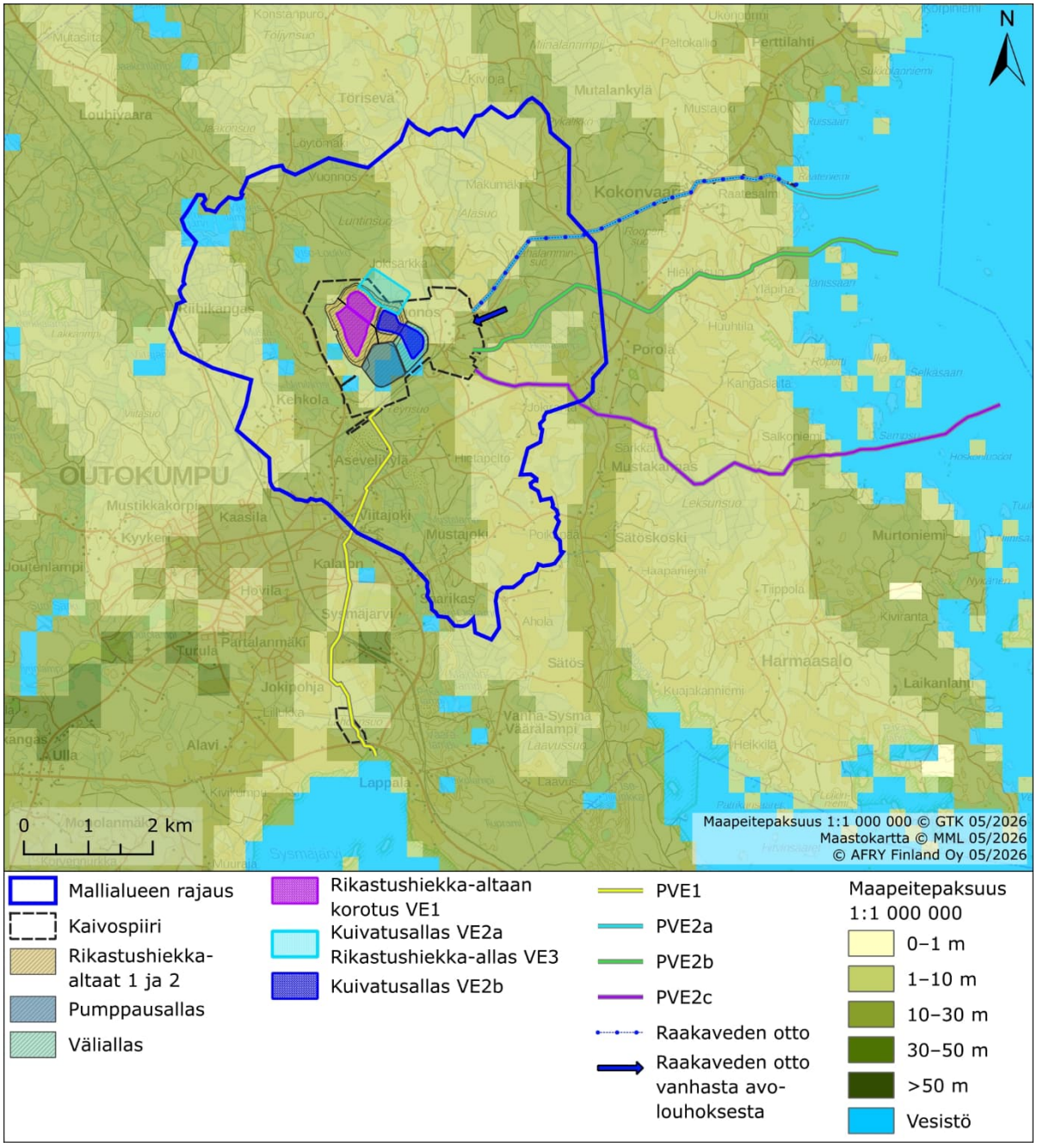
Kuva 3-6. Maaperän yleispiirteet kaivospiirin alueella.

copyright© AFRY Finland Oy



Kuva 3-7. Poikkileikkaus (ote) rikastushiekka-altaan alueelta (Lassila ja Viitanen 2003).

copyright© AFRY Finland Oy



Kuva 3-8. Maapeitepaksuus (GTK Maankamara 2026).

Vuoden 2025 kevättalvella rikastushiekka-alueen välialtaalta sekä rikastushiekka-altailta 1 ja 2 otettiin rikastushiekkanäytteitä yhteensä seitsemästä pisteestä kairaamalla pinnasta pohjamaahan asti (Kuva 3-9). Näytepisteet 1–3 sijoittuvat rikastushiekka-altaalle 1, näytepisteet 4–6 rikastushiekka-altaalle 2 ja näytepiste 7 välialtaalle. Näytteitä otettiin metrin välein. Näytepisteiden syvyydet vaihtelivat näytepisteissä 9–19 metrin välillä. Näytteenoton tavoitteena oli

copyright© AFRY Finland Oy

selvittää rikastushiekka-altaalle eri aikoina läjitettyjen rikastushiekkojen ominaisuuksien nykytilaa.

Pisteessä 1 rikastushiekkakerroksen paksuus oli noin 13,5 m (tasolle 103 m mpy (N2000)) ja sen alla noin 1 metrin paksuinen turvekerros, jonka alla maaperä oli hiekkaa. Pisteessä 2 rikastushiekkakerroksen paksuus oli noin 14 metriä (tasolle 101,5 m mpy (N2000)), alla 1 metrin turvekerros ja sen alla silttistä hiekkaa. Pisteessä 3 rikastushiekkakerroksen paksuus oli noin 19,5 m (taso 98 m mpy (N2000)), alla 1 metrin turvekerros ja savista/silttistä hiekkaa. Pisteessä 4 rikastushiekkakerroksen paksuus oli noin 15 m (taso 100 m mpy (N2000)), alla 1 metrin turvekerros ja savista/silttistä hiekkaa. Pisteessä 5 rikastushiekkakerroksen paksuus oli noin 16,5 m (taso 96 m mpy (N2000)), alla 1 metrin turvekerros ja savea. Pisteessä 6 rikastushiekkakerroksen paksuus oli noin 16,5 m (taso 96 m mpy (N2000)), alla 1 metrin turvekerros ja savea. Pisteessä 7 rikastushiekkakerroksen paksuus oli noin 7 m (taso 99 m mpy (N2000)), alla 2 metrin turvekerros ja hiekkaista moreenia ja soraa.

copyright© AFRY Finland Oy

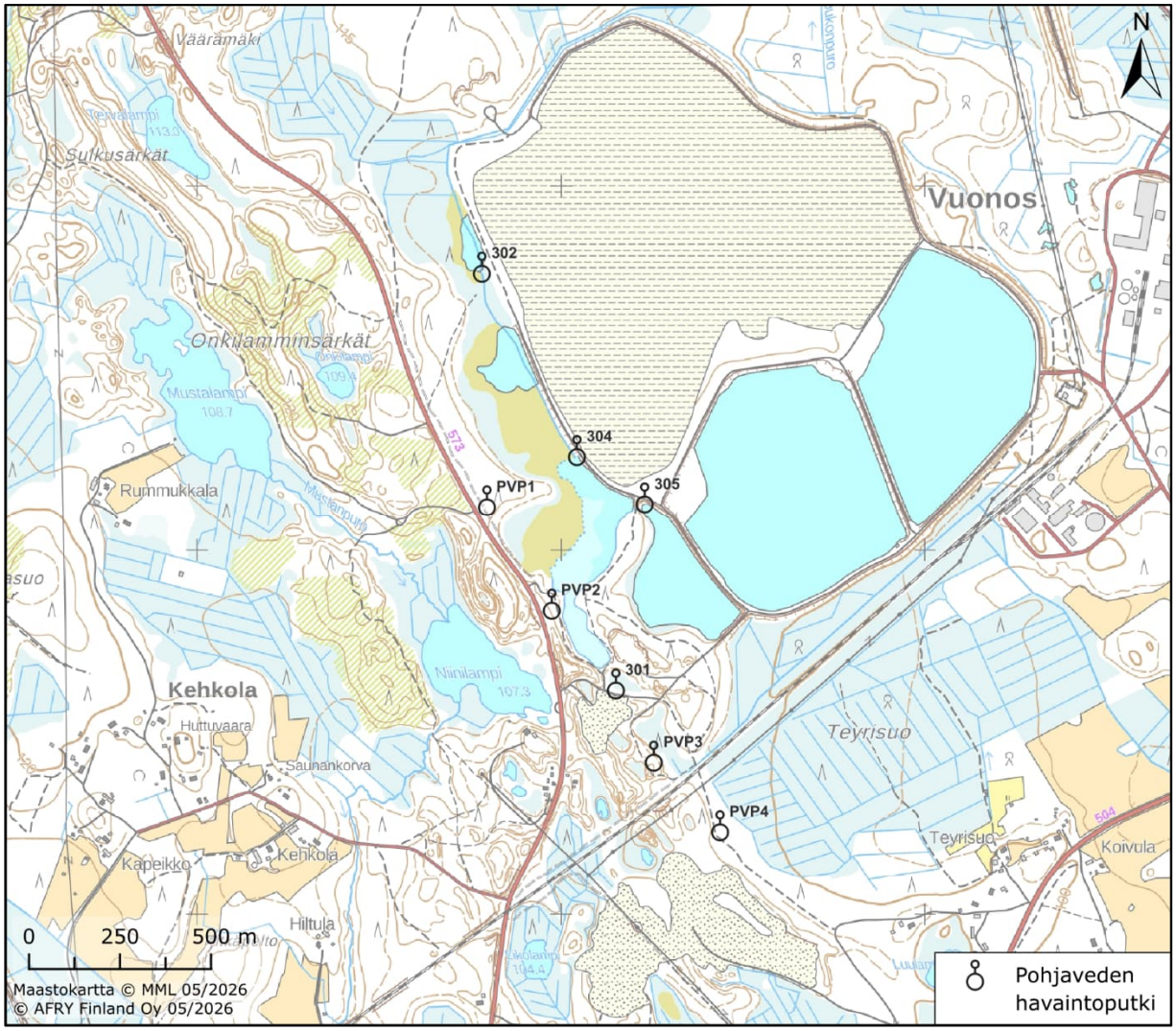


Kuva 3-9. Vuonoksen rikastushiekka-altaan vuoden 2025 tutkimuspisteet.

Vuonoksen rikastushiekka-altaan länsireunalla sijaitsevien pohjavesiputkien 301, 302, 303, 304 ja 305 putkikorttien perusteella alueen maaperä on pintaosassa turvetta ja turpeen alla hiekkaista soraa ja hienoa hiekkaa (Liite 1, Kuva 3-10). Joulukuussa 2025 asennettiin neljä uutta 10–13 metriä syvää pohjavesiputkea rikastushiekka-altaan länsipuolella olevalle harjualueelle. Putkikorttien perusteella maaperä on soraista hiekkaa, hiekkamoreenia ja hiekkaa (Liite 1, Kuva 3-10).

copyright© AFRY Finland Oy

Pohjavesiputkissa 302, 303, 304 ja 305 tehtiin slug-mittaukset elokuussa 2025 (AFRY Finland Oy 2025a, liite 2). Pohjavesiputkien slug-mittaustuloksista laskettu horisontaalinen vedenjohtavuus vaihteli välillä $1{,}9 \cdot 10^{-6}$ m/s – $9{,}1 \cdot 10^{-5}$ m/s. Edustavimpien mittaustulosten geometrinen keskiarvo oli $1{,}7 \cdot 10^{-5}$ m/s ja mediaani $4{,}3 \cdot 10^{-5}$ m/s. Mittauksissa saadut vedenjohtavuuden arvot vastaavat hienon hiekan, hiekan ja soran sekoitteen vedenjohtavuutta (Taulukko 3-2). Turvealueilla ei ole tehty hydraulisen johtavuuden mittauksia. Myöskään turpeen maatuneisuusaste ei ole tiedossa. Turpeen vedenjohtavuus riippuu turvetyypistä, syvyydestä ja turpeen maatuneisuusasteesta. Rahkaturpeen vedenjohtavuus vaihtelee syvyydestä ja maatuneisuusasteesta riippuen välillä $2{,}3 \cdot 10^{-8}$ – $1{,}9 \cdot 10^{-5}$ m/s (Kesäniemi 2009).



Kuva 3-10. Vuonoksen alueen pohjaveden havaintoputket, joista on putkikortit saatavilla. Slug-mittaukset tehtiin putkissa 301, 302, 304 ja 305.

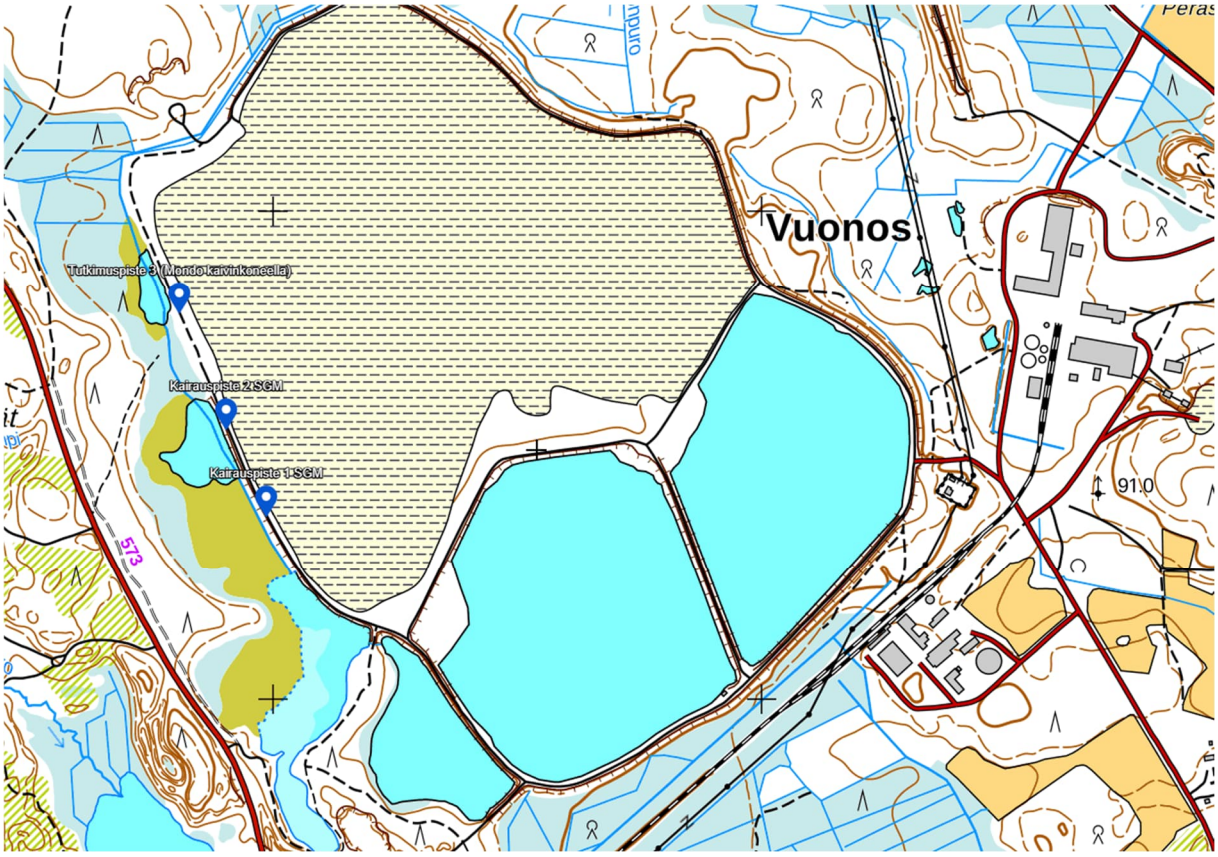
copyright© AFRY Finland Oy

Taulukko 3-2. Vuonoksen alueen havaintoputkien slug-mittausten tulokset.

Putken tunnus	Päivämäärä	Maalaji	K-arvo (m/s)
301	25.8.2025	Keskikarkea hiekka	$9{,}10 \cdot 10^{-5}$
302	26.8.2025	Hiekan ja soran sekoite	$7{,}00 \cdot 10^{-6}$
304	26.8.2025	Hieno hiekka	$1{,}90 \cdot 10^{-6}$
305	25.8.2025	Keskikarkea hiekka	$7{,}90 \cdot 10^{-5}$

Keväällä 2026 Vuonoksen rikastushiekka-altaan länsireunan alkupadolta on otettu maanäytteet kolmelta tutkimuspisteeltä (Kuva 3-11). Kaikille näytteille on määritetty vesipitoisuus ja rakeisuus sekä vedenläpäisevyydet 95 % tiiveysasteessa eli lähellä maksimitiiveyttä. Tutkitut moreeninäytteet vaihtelivat hiekkamoreenista (HkMr) soramoreeniin (SrMr). Laboratoriossa testatut vedenläpäisevyydet vaihtelivat välillä $3{,}8 \cdot 10^{-7}$ m/s … $1 \cdot 10^{-6}$ m/s (Taulukko 3-4). Yksikään määritetty vedenläpäisevyyden tulos ei täytä yleisesti maapatojen osalta käytettyjä vedenläpäisevyysvaatimuksia. Saadut tulokset vastaavat tutkittujen näytteiden ja materiaalin vedenläpäisevyyttä patorakenteessa, jos padon moreeni on tiiveydeltään lähes maksimikuivatilavuuspainon tasolla. Nyt tehtyjen laboratoriokokeiden perusteella ei voida sanoa, missä tiiveydessä moreeni on patorakenteessa. Tehdyt tutkimukset osoittavat patorakenteen materiaalit ja niiden ominaisuudet paikallisesti, mutta selkeiden mahdollisten suotoreittien ja -kohtien arvioimista näiden tutkimusten perusteella ei pysty tekemään. Tutkimuksista on tehty yhteenvetoraportti (AFRY Finland Oy 2026a).

copyright© AFRY Finland Oy



Kuva 3-11. Rikastushiekka-altaan padon tutkimuspisteet.

Taulukko 3-3. Rikastushiekka-altaan padon tutkimuspisteiden maalajit ja vedenjohtavuudet.

Tutkimuspiste ja syvyys	Maalaji	K m/s
Piste 1 1 m	srHkMr	$6{,}8 \cdot 10^{-7}$
Piste 1 2 m	SrMr	$7{,}4 \cdot 10^{-7}$
Piste 1 3 m	srHkMr	$4{,}1 \cdot 10^{-7}$
Piste 1 4 m	srHkMr	$7{,}3 \cdot 10^{-7}$
Piste 2 1 m	srHkMr	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$
Piste 2 2 m	srHkMr	$5{,}3 \cdot 10^{-7}$
Piste 2 3 m	HkMr	$6{,}5 \cdot 10^{-7}$
Piste 2 4 m	hkSrMr	$3{,}8 \cdot 10^{-7}$
Piste 3 1.5 m	HkMr	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$
Piste 3 2.5 m	srHkMr	$1{,}2 \cdot 10^{-6}$
Piste 3 3.5 m	srHkMr	$1{,}0 \cdot 10^{-6}$

copyright© AFRY Finland Oy

3.6.2 Kallioperä

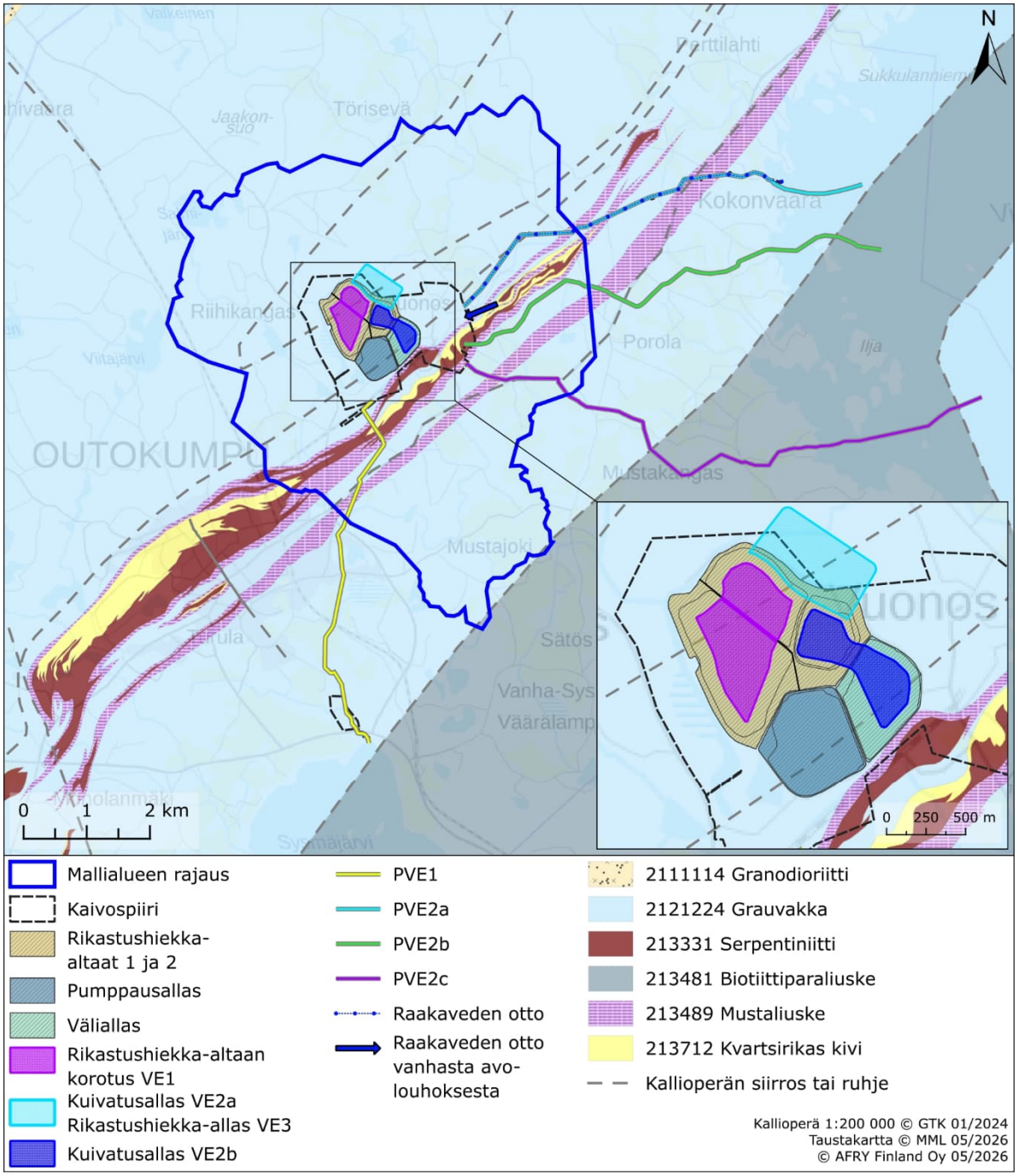
Vuonoksen malmiesiintymä sijaitsee Outokumpu-kivilajijaksossa. Jakson tunnusomaisia kiviä ovat serpentiniitti-ofioliitit (Mg-valtaisia kiviä), joihin liittyy läheisesti alkuaan merellisiä sedimenttikivikerroksia (kiilleliuske, mustaliuske, kvartsiitti, dolomiitti, karsikivi). Kivilajijakson ympäristö koostuu pääasiassa kiillegneissistä (Huhma 1975).

Yleispiirteisen kallioperäkartan mukaan (Kuva 3-12) kaivospiirin alueella kallioperä koostuu grauvakasta ja kaakkoisosiltaan mustaliuskeesta, serpentiniitistä ja kvartsirikkaasta kivestä. Grauvakka on matriksia 15–75 % sisältävä hiekkakivi, jonka mineraali- ja kivilajikappaleet eli klastit ovat kulmikkaita, ja jonka aines on kerrostunut nopean rapautumisen ja kuljetuksen tuloksena. Matriksi eli välimassa on sedimentin tai sedimenttikivilajin klastien välitilan täyttävä klasteja pienirakeisempi aines. Serpentiniitti on metamorfinen kivi, joka koostuu serpentiiniryhmän mineraaleista, jotka ovat oliviinin ja pyrokseenien muuttumistuloksia (Lehtinen ym. 1998). Mustaliuske on grafiitti- ja kiisupitoinen kiilleliuske. Se aiheuttaa ongelmia yleensä metallipitoisuuksien ja happaman valuman riskin takia.

Kallioperäaineiston (GTK 2026) mukaan rikastushiekka-altaan alueella on kaksi siirrosta (thrust fault).

Vuonoksen alueella ei ole tehty kallioperän kairauksia eikä tietoa kallioperän ja ruhjeiden hydraulisesta johtavuudesta ole saatavilla.

copyright© AFRY Finland Oy



Kuva 3-12. Kallioperän yleispiirteet sekä ruhjeet kaivospiirin alueella.

copyright© AFRY Finland Oy

3.7 Pohjavesi

3.7.1 Luokitellut pohjavesialueet

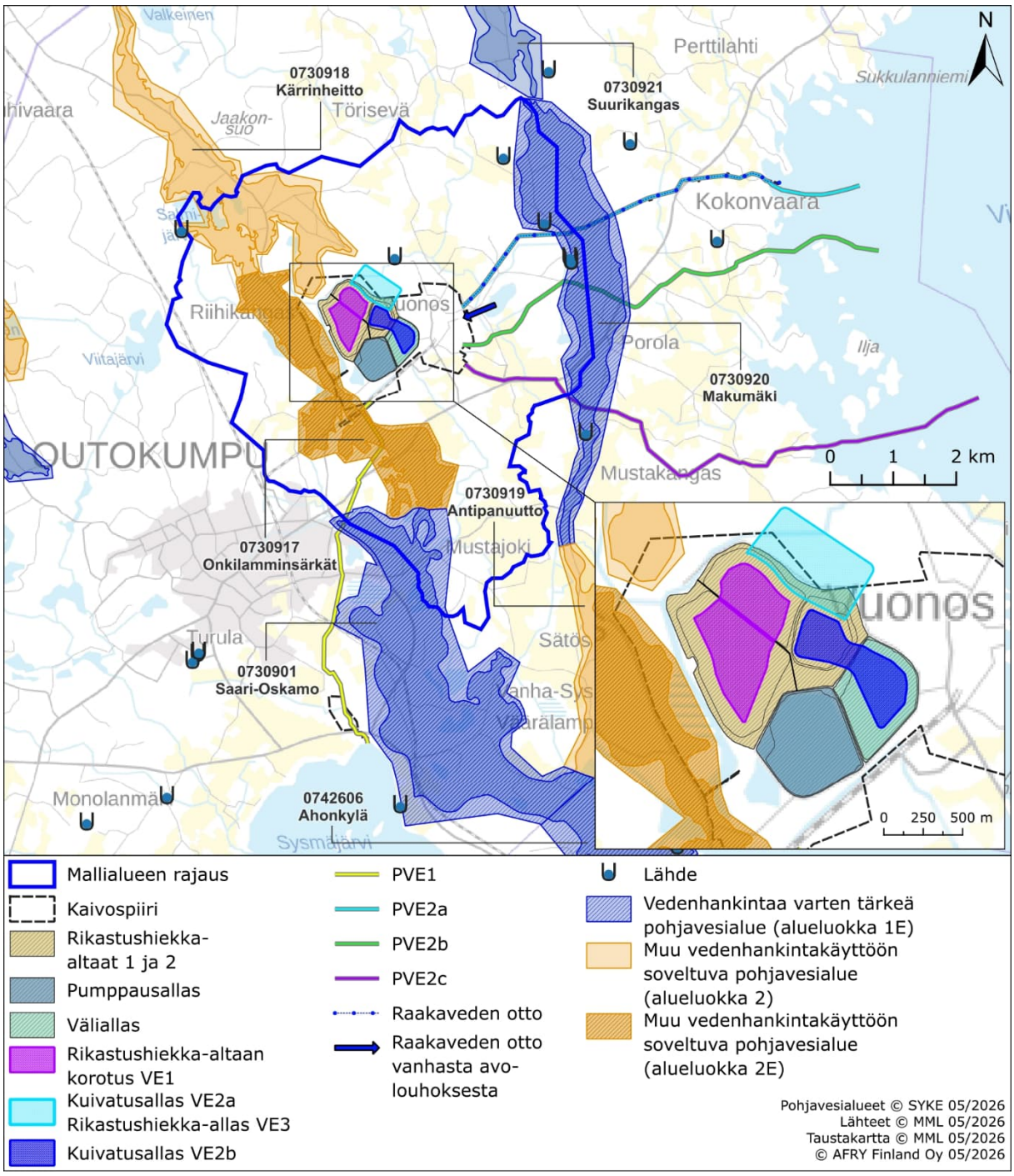
Lupa- ja valvontavirasto (LVV) luokittelee pohjavesialueet sen mukaan, kuinka hyvin ne soveltuvat vedenhankintaan, sekä mahdollisen suojelutarpeen mukaan. Luokkia on kolme: 1-luokkaan kuuluvat vedenhankintaa varten tärkeät pohjavesialueet, joiden vettä käytetään tai on tarkoitus käyttää yhdyskunnan vedenhankintaan taikka talousvetenä enemmän kuin keskimäärin 10 kuutiometriä vuorokaudessa tai yli viidenkymmenen ihmisen tarpeisiin. 2-luokkaan kuuluvat muut vedenhankintakäyttöön soveltuvat pohjavesialueet, jotka pohjaveden antoisuuden ja muiden ominaisuuksien perusteella soveltuvat 1 kohdassa tarkoitettuun käyttöön. E-luokkaan kuuluvat pohjavesialueet, joiden pohjavedestä pintavesi- tai maaekosysteemi on suoraan riippuvainen.

Vuonoksen rikastushiekka-alueen länsipuolella sijaitsee Onkilamminsärkkien vedenhankintaan soveltuva luokiteltu pohjavesialue (0730917, luokka 2E). Ympäristöhallinnon pohjavesialuekuvauksen (SYKE 2024) mukaan Onkilammensärkät liittyy Outokummun keskustaajaman itäpuolelle erkanevaan läntisempään harjujaksoon. Särkillä on erotettavissa selkeä pääselänne ja siihen liittyviä harjulaajentumia etenkin eteläosalla. Onkilamminsärkät rajoittuu kauttaaltaan soihin, joille myös muodostuvat pohjavedet purkautuvat. Aluetta reunustavat useat lammet, ja myös muutama suppalampi on alueella. Pohjoisessa pääasiallinen pohjaveden virtaussuunta on pohjoisesta etelään. Maa-ainestenotto on pinta-alaan nähden vähäistä ja keskittynyt alueen eteläosiin. Pohjavesialueella ei ole vedenottamoa. Vuonna 1992 suoritetuissa kerrosantoisuuspumppauksissa antoisuus oli yhdessä tutkimuspisteessä suurimmillaan 430 m^3/d. Pohjaveden happipitoisuus oli kuitenkin alhainen sekä rauta- ja mangaanipitoisuudet olivat koholla. Alue luokitellaan E-luokkaan (”Pohjavesialue, jonka pohjavedestä pintavesi- tai maaekosysteemi on suoraan riippuvainen”) Kehkolanpuron varren laajojen tihkupinta-alueiden vuoksi. Maa-ainesten oton, liikenteen aiheuttamien päästöjen, vaarallisten aineiden kuljetusten sekä kaivosten jätevesipäästöjen (rikastushiekan läjitysalue) riskit pohjavesialueella on arvioitu kohtalaisiksi. Koboltin pitoisuus on ylittänyt vuosina 2013–2018 pohjaveden ympäristönlaatunormin yhdessä havaintoputkessa pohjavesialueella. Vuonna 2019 koboltin pitoisuus ko. havaintoputkessa alitti ympäristönlaatunormin. Pohjavesialueella ei ole suojelusuunnitelmaa.

Onkilamminsärkkien ja rikastushiekka-alueen pohjoispuolella on Kärrinheiton vedenhankintaan soveltuva pohjavesialue (0730918, luokka 2) ja Onkilamminsärkkien pohjavesialueen eteläpuolella Saari-Oskamon vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue (0730901, luokka 1). Saari-Oskamon

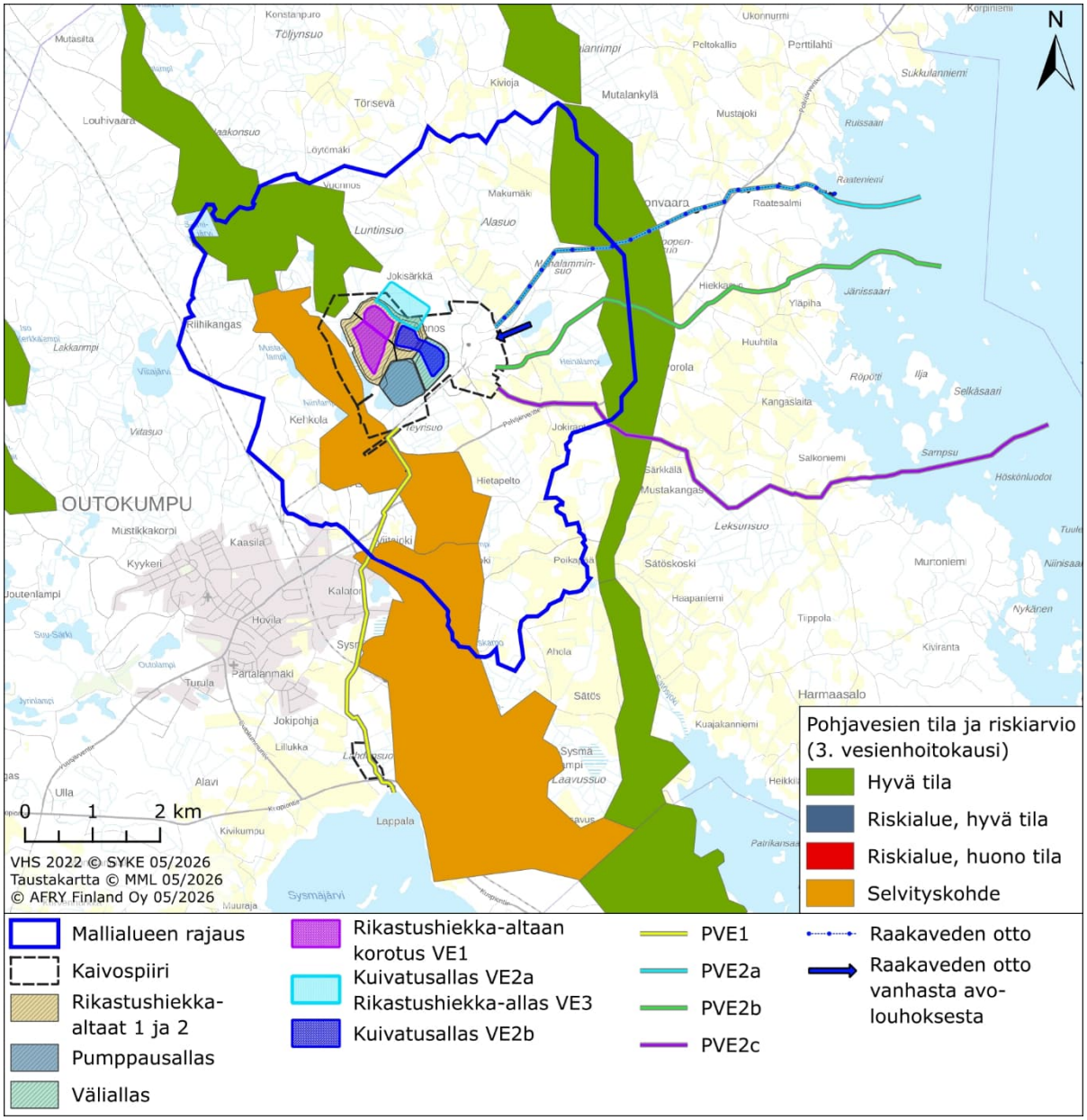
copyright© AFRY Finland Oy

pohjavesialueella on vedenottamo, josta otetaan vettä noin 270 m³/d (Pohjois-Karjalan ELY-keskus 2022). Ottamolla on lupa pumpata vettä 1100 m³/d. Noin 2 km rikastushiekka-altaiden itäpuolella on Makumäen pohjavesialue (0730920, luokka 1E). Pohjavesialueet on esitetty kuvassa 3-13. Lähialueen pohjavesien tila ja riskiarvio (3. vesienhoitokausi) on esitetty kuvassa 3-14.



Kuva 3-13. Pohjavesialueet ja lähteet.

copyright© AFRY Finland Oy



Kuva 3-14. Pohjavesien tila ja riskiarvio (3. vesienhoitokausi) (SYKE 2026).

Vuonoksen kaivospiirin alueella ei ole lähteitä. Lähin lähde sijaitsee noin 600 metrin etäisyydellä allasalueen koillispuolella. Useita lähteitä esiintyy Makumäen pohjavesialueen reuna-alueilla (Kuva 3-13). Tiedossa olevat kaivospiirin lähialueella olevat kaivot on esitetty kuvassa 3-16.

3.7.2 Pohjaveden pinnankorkeudet ja virtaussuunnat

Pohjaveden virtaus riippuu maa- ja kallioperän vedenjohtavuudesta ja hydraulisesta gradientista. Maaperän vedenjohtavuus riippuu maalajista, raekokojakaumasta ja lajittuneisuudesta, ja kallioperässä vedenjohtavuuteen

copyright© AFRY Finland Oy

vaikuttaa rakoilun tiheys, avauma ja jatkuvuus. Maaperän maalaji, vedenjohtavuus ja korkeusasema vaikuttavat pohjaveden muodostumiseen ja pohjavesipinnan korkeuteen. Tyypilliset maaperän vedenjohtavuudet ovat moreenissa 10^{-8}...10^{-6} m/s ja merkittävästi korkeammat lajittuneissa hiekan ja soran kerroksissa, esimerkiksi harjuissa ja reunamuodostumissa (yli 10^{-5} m/s). Savikerrokset ja maatuneet turvekerrokset voivat olla vettä pidättäviä, ja niiden vedenjohtavuus on 10^{-10}...10^{-9} m/s (Airaksinen 1978). Kallioperän vedenjohtavuus on ehyessä kalliossa hyvin pieni, mutta kallion pintaosissa ja rikkonaisuusvyöhykkeissä vedenjohtavuus voi olla jopa korkeampaa kuin maaperässä (10^{-7}...10^{-4} m/s). Vuonoksen alueella on tehty vedenjohtavuusmittauksia maaperäkerroksessa rikastushiekka-altaan länsireunalla (Taulukko 3-2). Kallioperän vedenjohtavuuden mittauksia ei ole saatavilla. GTK:n kallioperäkarttaan (Kuva 3-12) on merkitty, kaksi lounas-koillinen suuntaista siirrosta Onkilamminsärkät pohjavesialueen ja rikastushiekka-alueen ali. Pohjaveden virtauksesta siirroksissa tai siirroksien vaikutuksesta Onkilamminsärkät pohjavesialueen pohjaveden laatuun ei ole tietoa.

Pohjaveden korkeusasema seuraa karkeasti maaston topografiaa. Alavilla maastonkohdilla pohjavesi on lähellä maanpintaa ja korkeammilla maastonkohdilla syvemmällä. Vuonoksen alueella on tarkkailtu pohjaveden korkeutta ja laatua tarkkailuohjelman mukaisesti useiden vuosien ajan. Pohjaveden tarkkailupisteet, mitatut pohjavesipinnan korkeustasot ja yleispiirteinen virtauskuva kohdealueella on esitetty kuvissa 3-15 ja 3-16. Pohjaveden pinnankorkeus on korkein rikastushiekka-altaan pohjois- ja länsipuolilla harjumuodostumassa. Pohjoispuolella pohjaveden pinnankorkeus on noin 112–113 m mpy, ja se laskee harjumuodostumassa etelään päin tasolle 109 m mpy (Onkilampi), 106 m mpy (PVP1) ja 107 m mpy (Niinilampi). Allasalueen eteläpuolella pohjaveden pinnankorkeus on harjumuodostumassa tasolla 100 m mpy (9008 ja Luulampi). Harjumuodostuman itäpuolella pohjavesipinta laskee tasolle 94 m mpy (PP2) ja allasalueen itäpuolella tasolle 94 m mpy (9003) ja 86 m mpy (9005) m mpy. Harjualueella olevissa putkissa 9009 ja PP4 pohjaveden pinnankorkeudet ovat selvästi korkeammalla kuin läjitysalueen reuna-alueilla (esim. putket 302, 304 ja 305). Harjualueen putkessa 301 pohjavesipinta on kuitenkin vain vähän korkeammalla kuin eteläisimmässä alemmassa vastapainealtaassa ja matalammalla kuin pohjoisemmassa ylemmässä vastapainealtaassa. Vastapainealtaissa eteläisimmässä alemmassa vesipinta on noin 104 m mpy ja pohjoisemmassa ylemmässä noin 105,8 m mpy.

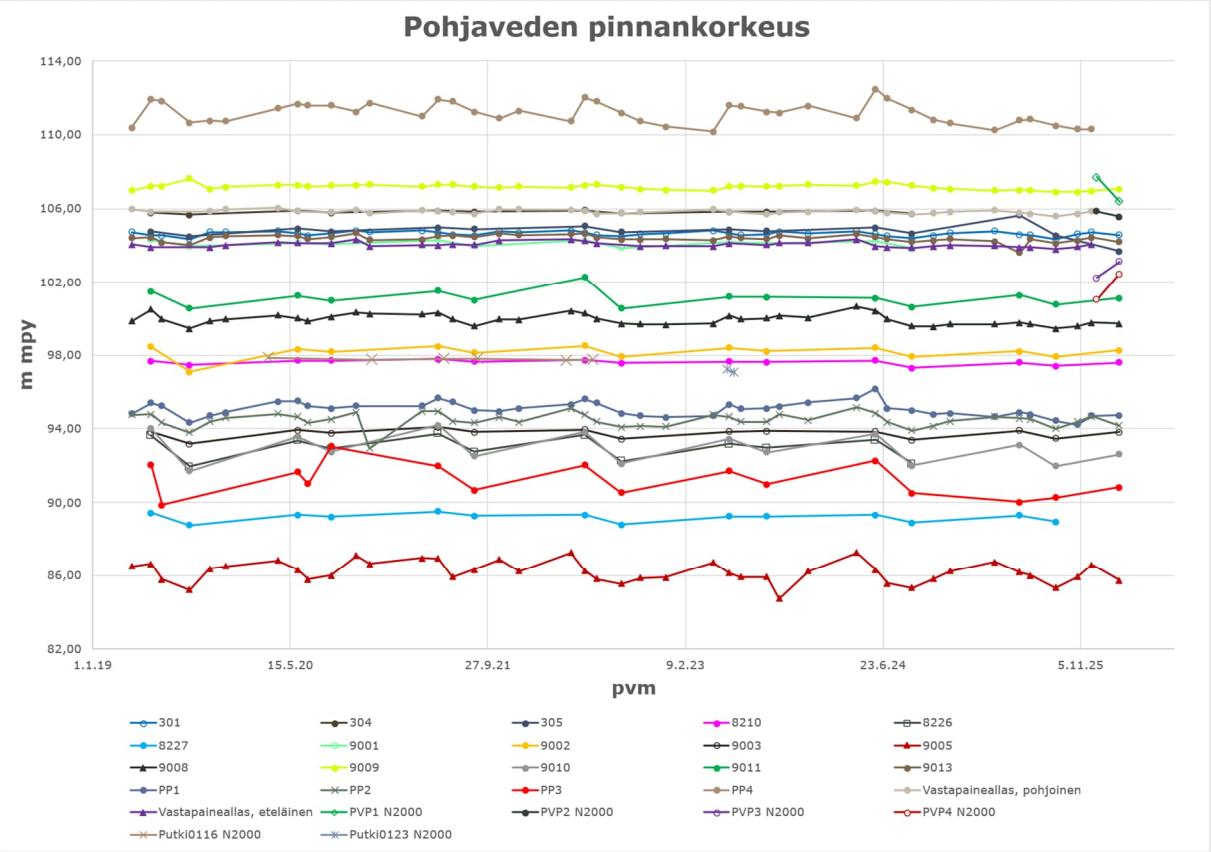
Vuonoksessa rikastushiekka on läjitetty Hyttisuolle, ja pohjamaana on turve, joka on todennäköisesti tiivistynyt vettä huonosti läpäiseväksi. Allasalueen länsipuolinen harju (Onkilamminsärkät) on geologiselta luonteeltaan ympäristöön

copyright© AFRY Finland Oy

vettä purkava eli antikliininen. Luontaisesti harju on purkanut pohjavesiä allasalueen alle jääneelle Hyttisuolle ja sieltä edelleen itäkaakkoon kohti nykyistä Teyripuroa. Rikastushiekka-altaiden rakentamisen jälkeen harjusta purkautuvien vesien virtaussuunta on kääntynyt enemmän etelään reunapadon suuntaan, ja Outokumpu Oy:n aikoinaan tekemät padotustoimet ovat nostaneet pohjavesipintojen korkeutta läntisen reunapadon tuntumassa. Havaintojen perusteella näyttää siltä, että rikastushiekka-alueen länsireunalla tapahtuu suotaantumista vanhojen patojen lävitse ja alitse, mutta virtaus pysähtyy patojen vierialueelle ja suuntautuu etelään pitkin altaan sivustaa. Suotaantumisen merkit ovat selvästi nähtävissä länsireunan allaspadon viereen asennettujen havaintoputkien 302 ja 304 vesianalyysituloksissa. Rikastushiekka-altaan lounaiskulmalta ei näyttäisi olevan hydraulista yhteyttä harjun ydinosaan (Lassila ja Viitanen 2003), ja pohjaveden virtaus todennäköisesti kääntyy altailta eteläsuuntaan. Harjun itäreunaan sijoitetussa putkessa 301 pohjavesipinta on kuitenkin vain hieman korkeammalla kuin eteläisimmässä alemmassa vastapainealtaassa ja matalammalla kuin pohjoisemmassa ylemmässä vastapainealtaassa.

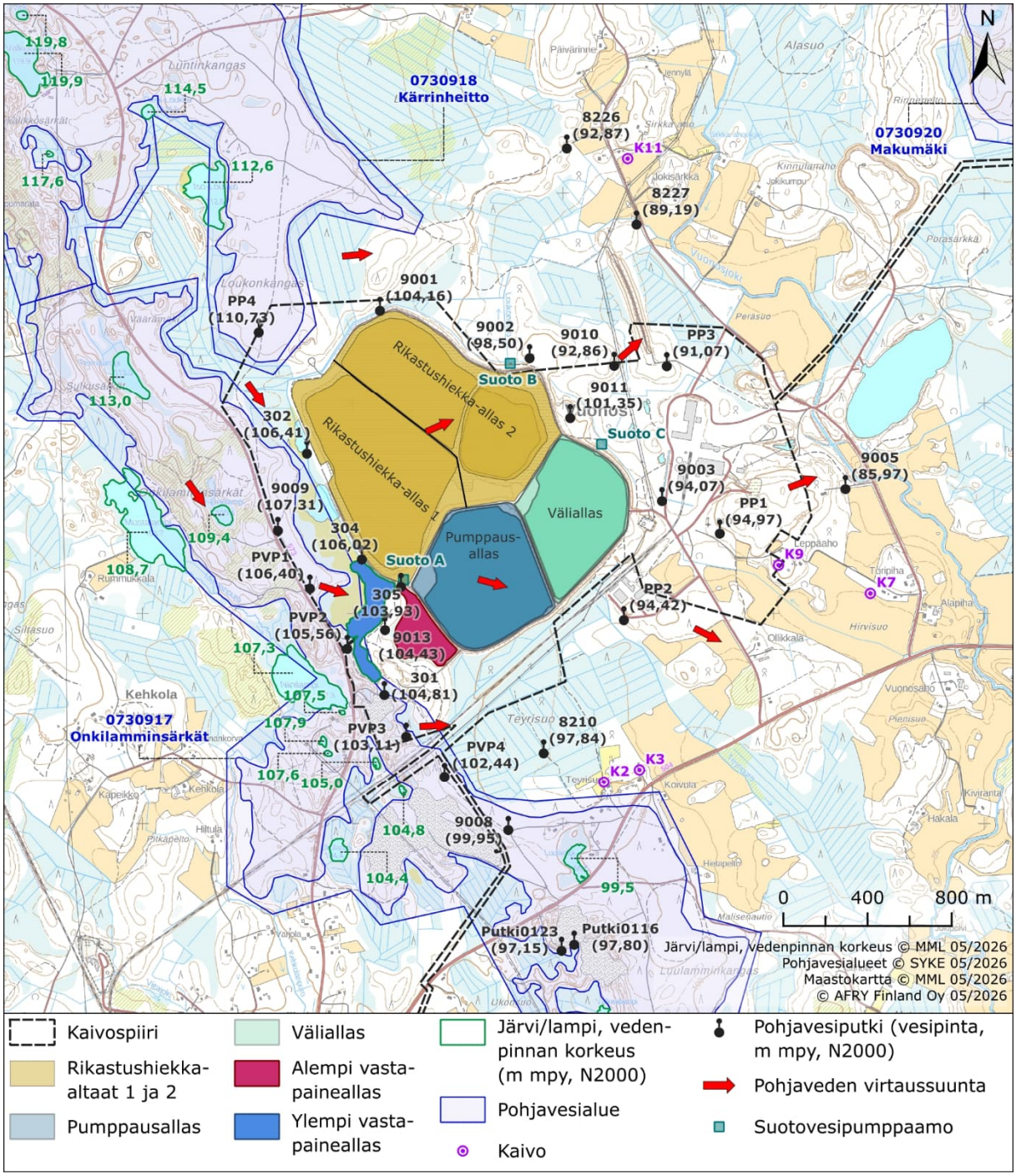
Harjumuodostumassa pohjaveden virtaussuunta on pohjoisesta etelään, ja pohjavettä purkautuu ympäröiville suoalueille. Rikastushiekka-altaan alueelta pohjavesi virtaa pääosin koillisen–idän suuntaan ja eteläosalla myös kaakkoon. Pohjaveden virtausta ei lähtökohtaisesti tapahdu länsipuolella sijaitsevan Onkilamminsärkät pohjavesialueen suuntaan, mutta allasalue sijaitsee aivan pohjavesialueen rajan tuntumassa. Allasalueen ympärillä on suotovesiojat, joissa on pumppaamot (3 kpl, Kuva 3-16). Suoto-ojista vedet palautetaan takaisin altaisiin. Allasalueen länsipuolella Onkilamminsärkät-pohjavesialueen rajalla olevissa luontaisissa vastapainealtaissa vesipinta pidetään korkeammalla kuin väli- ja pumppausaltaissa siten, että alemman vastapainealtaan pinta (noin 104 m mpy) on ylempänä kuin pumppausaltaan pinta (noin 102,5 m mpy) ja ylemmän vastapainealtaan pinta (noin 105,8 m mpy) on ylempänä kuin rikastushiekka-altaan 1 suotovesiojan pinta. Vastapainealtaissa veden virtaussuunta on pohjoisesta etelään. Rikastushiekka-altaiden vesipinta on korkeammalla kuin vastapainealtaiden.

copyright© AFRY Finland Oy



Kuva 3-15. Pohjavedenpinnan korkeuden seurannan tuloksia vuosina 2019–2025 (N60), PVP1–4, Putki0123 ja Putki0116 (N2000).

copyright© AFRY Finland Oy



Kuva 3-16. Pohjaveden tarkkailupisteet, suotovesipumppaamot, pohjavesipinnan korkeus (N2000) ja yleispiirteinen virtauskuva kohdealueella. Pumppausaltaassa vesipinta on noin 102,7 m mpy ja välialtaassa noin 104,0 m mpy (N2000). Eteläisessä alemmassa vastapainealtaassa vesipinta on noin 104,3 m mpy ja pohjoisessa ylemmässä vastapainealtaassa noin 106,1 m mpy (N2000). Rikastushiekan varastoaltaissa vesipinta oli 2/2025 115,22 m mpy (allas 1) ja 114,42 m mpy (allas 2) (N2000). Putket Putki0116 ja Putki0123 ovat Savon kuljetus Oy:n putkia, eivätkä ole mukana Mondon omassa velvoitetarkkailussa.

copyright© AFRY Finland Oy

Taulukko 3-4. Vuonoksen lähialueen pohjavesiputket, putkien koordinaatit ja mitatut pohjaveden pinnankorkeudet. Putket Putki0116 ja Putki0123 ovat Savon kuljetus Oy:n putkia, eivätkä mukana Mondon omassa velvoitetarkkailussa.

Putki	X (TM35FIN)	Y (TM35FIN)	Pohjaveden pinnankorkeuden keskiarvo 2019–2025 m (N60)	Pohjaveden pinnankorkeuden keskiarvo 2019–2025 m (N2000)	Pohjaveden pinnan-korkeus 2/2026 m (N2000)	Pohjaveden pinnan-korkeuden vaihtelu 2019–2025 m
301	605150	6959614	104,64	104,88	104,81	0,48
302	604782	6960759	106,03	106,27	106,41	0,45
304	605043	6960257	105,79	106,03	106,02	0,31
305	605229	6960127	104,78	105,02	103,93	1,95
8210	605907	6959337	97,62	97,86	97,84	0,47
8226	606017	6962211	92,92	93,16	92,87	1,78
8227	606348	6961850	89,18	89,42	89,19 (8/2025)	0,76
9001	605129	6961441	104,08	104,32	104,16 (8/2025)	0,47
9002	605840	6961216	98,17	98,41	98,5	1,43
9003	606469	6960534	93,75	93,99	94,07	0,90
9005	607341	6960591	86,19	86,43	85,97	2,51
9008	605739	6958970	99,94	100,18	99,95	1,22
9009	604644	6960393	107,18	107,42	107,31	0,72
9010	606242	6961180	92,95	93,19	92,86	2,50
9011	606033	6960928	101,12	101,36	101,35	1,72
9013	605153	6959922	104,38	104,62	104,43	1,09
PP1	606744	6960380	95,07	95,31	94,97	1,95
PP2	606288	6959969	94,47	94,71	94,42	2,23
PP3	606492	6961178	91,21	91,45	91,07	3,19
PP4	604553	6961338	111,16	111,40	110,73 (8/2025)	2,30
PVP1	604796.21	6960119.15		107,05	106,4	1,30
PVP2	604974.22	6959832.60		105,71	105,56	0,30
PVP3	605254.28	6959415.80		102,68	103,11	0,87
PVP4	605435.80	6959225.25		101,74	102,44	1,41
Putki 0116	606052	6958427	97,56	97,80		0,14
Putki 0123	605992	6958398	96,91	97,15		0,16

copyright© AFRY Finland Oy

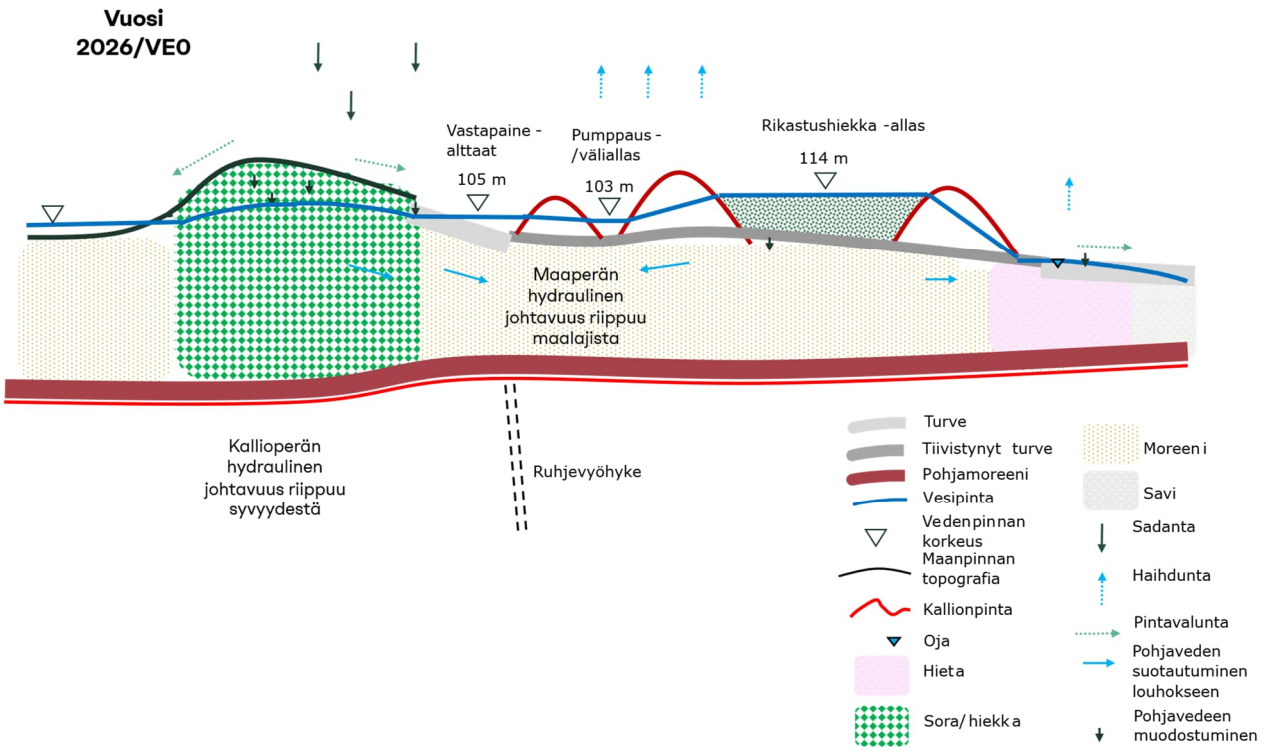
3.8 Hydrogeologinen konseptualisointi

Kaaviomainen poikkileikkaus kuvassa 3-17 esittää rakenteet ja prosessit, jotka huomioidaan numeerisessa 3D-mallinnuksessa konseptuaalisella tasolla nykytilan mallissa sekä rikastushiekka-altaan läjityskapasiteetin lisäämisen eri vaihtoehdoissa. Mallinnettava tilavuus on jaettu maaperään ja kallioperään. Maaperä on soraa/hiekkaa, hiekkamoreenia, hietaa ja savea, joiden päällä on suoalueilla turvekerros. Lajittuneita karkearakeisia kerroksia esiintyy erityisesti harjumuodostumissa ja niiden liepeillä. Maaperän vedenjohtavuus riippuu maalajista (sora/hiekka, hiekkamoreeni, turve, hieta). Maaperän alin kerros on huonosti vettäjohtavaa pohjamoreenia. Maaperäkerroksen alla on rakoilleen kallion vyöhyke ja syvemmällä vähemmän rakoillut kallio. Kallioperässä on alueellisia ruhjevyöhykkeitä. Kallion vedenjohtavuus pienenee syvyyden kasvaessa. Ruhjeissa vedenjohtavuus on korkeampi kuin ympäröivässä kalliossa. Maaperäkerroksen paksuus vaihtelee. Sadannasta osa haihtuu ja poistuu pintavaluntana ja lopusta muodostuu pohjavettä, joka voi purkautua jokiin, ojiin, lähteisiin, lampiin ja järviin. Sadannasta pohjavedeksi imeytyvän veden määrä riippuu maalajista.

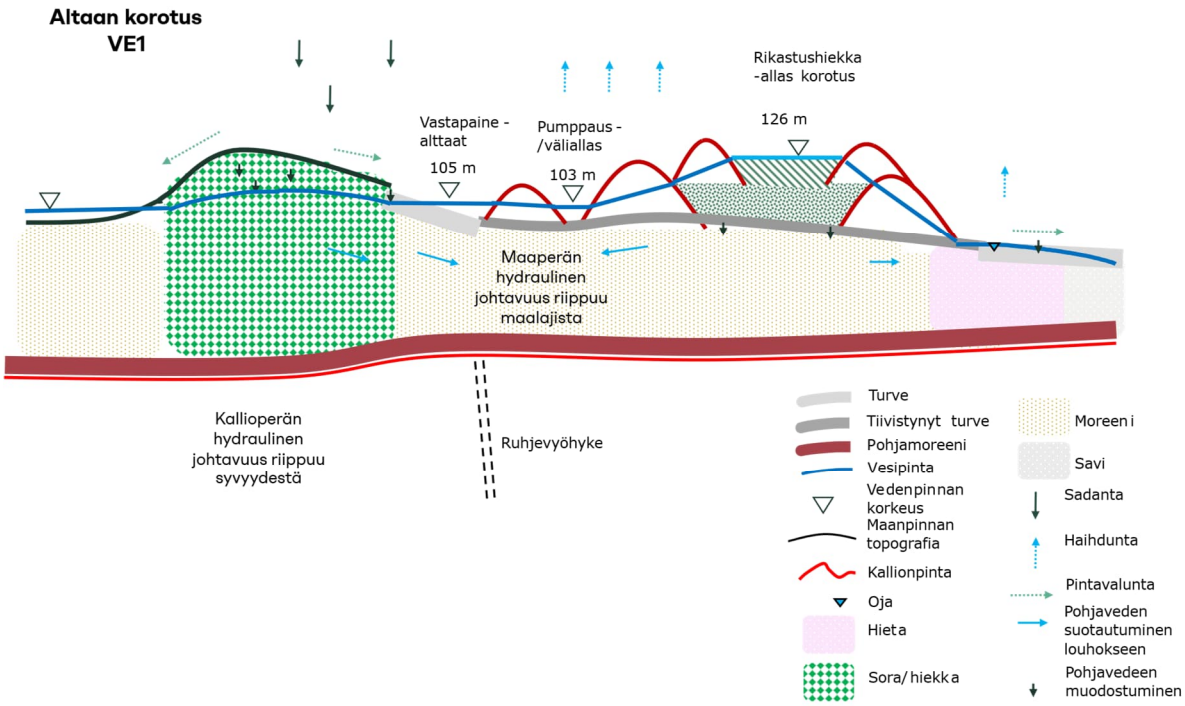
Rikastushiekka-altaassa vesipinta on luontaista pohjavesipintaa korkeammalla. Rikastushiekka-altaan ympärillä on suoto-ojat ja länsireunalla vastapainealtaat. Vastapainealtaissa vesipinta on korkeammalla kuin pumppausaltaissa ja ylemmän vastapainealtaan pinta (noin 105,8 m mpy) on ylempänä kuin rikastushiekka-altaan 1 suotovesiojan pinta. Vastapainealtaissa veden virtaussuunta on pohjoisesta etelään. Rikastushiekka-altaissa vedenpinnan korkeus on korkeammalla kuin vastapainealtaissa. Rikastushiekka-altaan alla oleva turvekerros on tiivistynyt heikosti vettäläpäiseväksi.

copyright© AFRY Finland Oy

a)

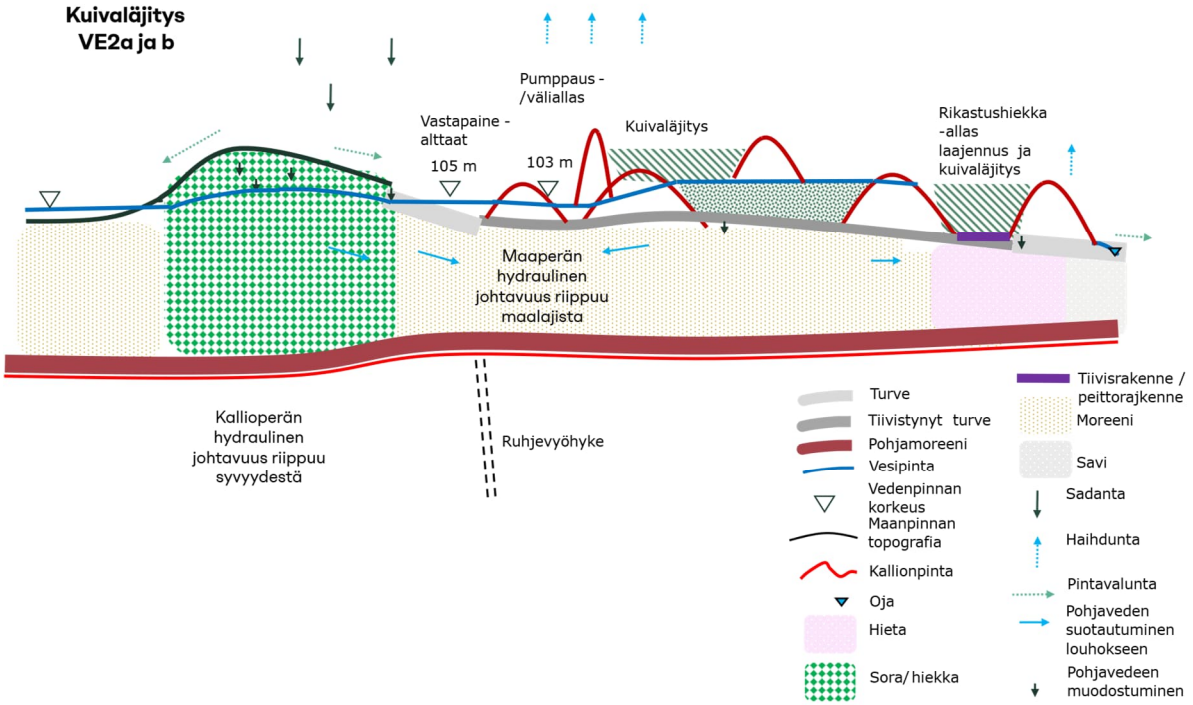


b)

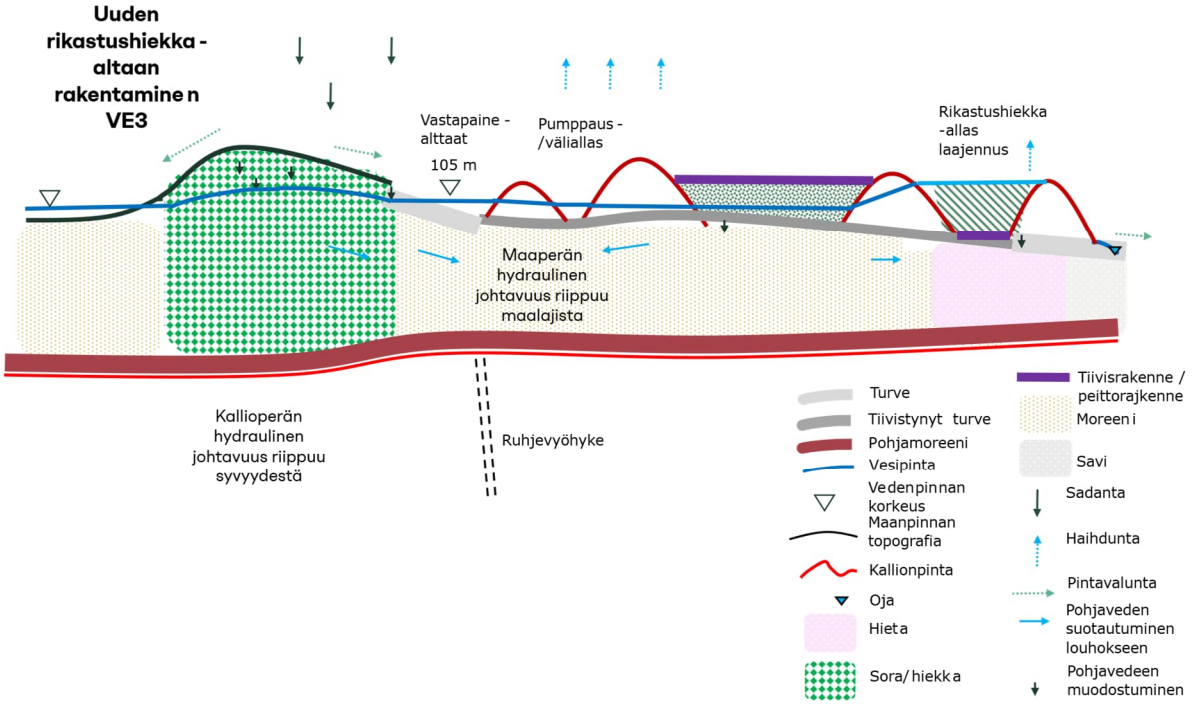


copyright© AFRY Finland Oy

c)



d)



Kuva 3-17. Hydrogeologinen rikastushiekka-altaan konseptualisointi numeerista mallinnusta varten esitettynä kaavamaisena poikkileikkauksena a) nykytilanteelle, b) rikastushiekka-altaan korotuksen vaihtoehdoille (VE1), c) kuivaläjityksen vaihtoehdolle (VE2a–b) ja d) uuden rikastushiekka-altaan rakentamisen vaihtoehdolle (VE3).

copyright© AFRY Finland Oy

4 Numeerisen 3D-pohjavesimallin muodostaminen

Numeerinen pohjavesimalli perustuu hydrogeologiseen konseptuaaliseen malliin, joka on esitetty luvussa 3.8, ja aineistoon, joka on esitetty taulukossa 2-1.

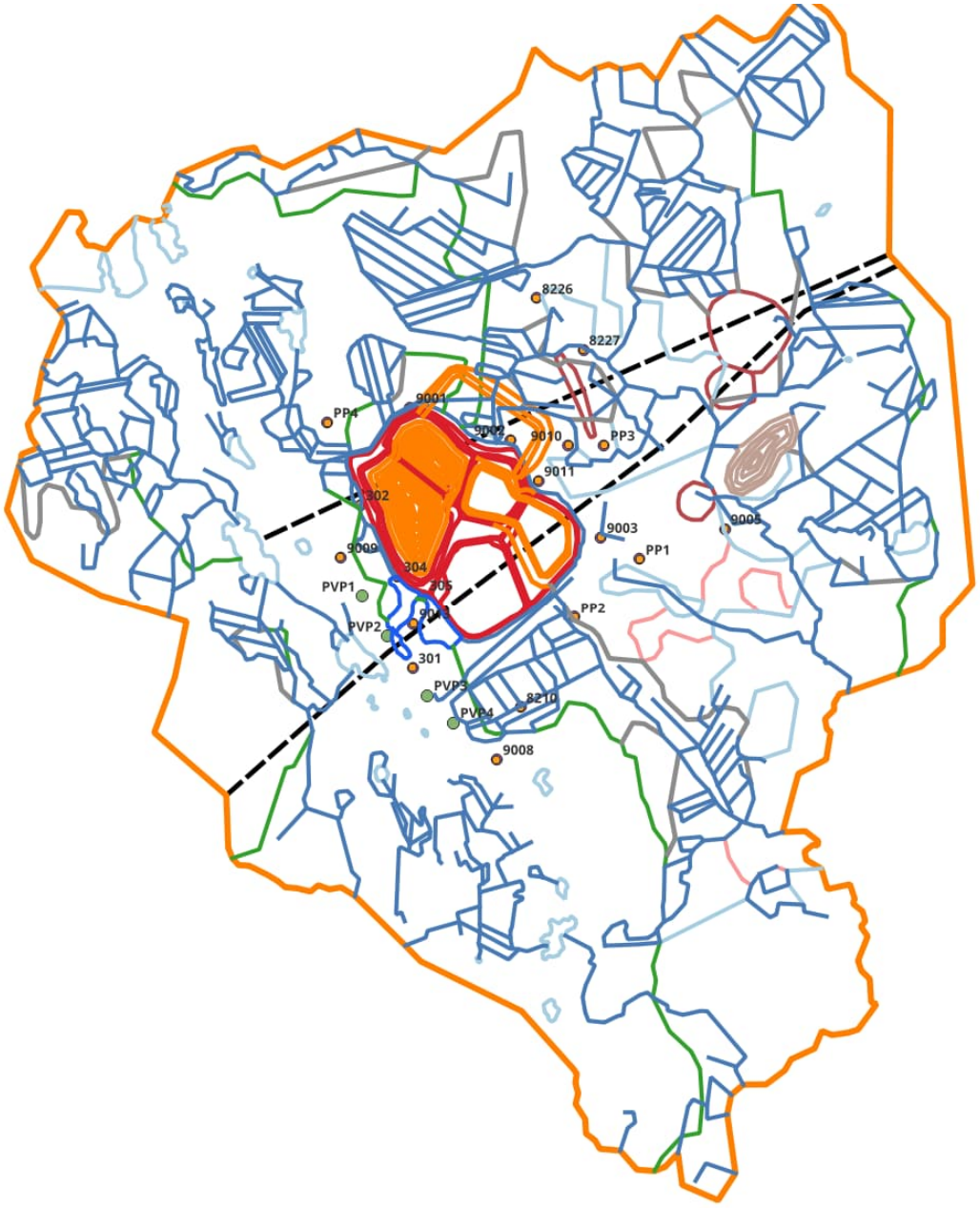
Numeerinen pohjavesimalli tehtiin FEFLOW-ohjelmalla (v 8.1), joka perustuu finite-element laskentaan. Laskennassa mallinnettava tilavuus jaetaan tiheästi pieniin osatilavuuksiin (elementteihin). Elementeille asetetaan ominaisuudet kuten vedenjohtavuus. Mallinnettavat muuttujat paine ja virtaus lasketaan elementtien yhdistymiskohdissa (reunoilla) sijaitsevissa solmupisteissä (noodi), joihin asetetaan tarvittaessa myös laskentaa ohjaavat reunaehdot.

Malli kalibroitiin saatavilla olevien lähtötietojen perusteella vastaamaan mitattuja pohjavedenpinnan korkeuksia. Kalibroidulla mallilla tehtiin rikastushiekka-altaan läjityskapasiteetin lisäämisen eri vaihtoehdoille simuloinnit, joilla arvioitiin eri vaihtoehtojen vaikutusta ympäristöön ja pohjaveden virtaussuuntia. Mallinnukset tehtiin saturoituneella virtauksella tasapainotilanteen mallina.

4.1 2D-verkko

Mallin rakentaminen alkoi karttatietoon perustuvan horisontaalisen 2D-verkon luomisesta. QGIS-ohjelmassa luodut ja shape-tiedostoiksi tallennetut pintageometriat (Kuva 4-1) vietiin FEFLOW-ohjelmaan. Polygonit, pisteet ja viivat esittävät mallin rajauksen, nykyisen rikastushiekka-altaan geometrian sekä laajennetun tai korotetun rikastushiekka-altaan eri vaihtoehtojen (VE1, VE2a–b ja VE3) geometriat eli reunaviivat ja eri korkeustasot, alueelliset ruhjevyöhykkeet, Outokummun vanhan avolouhoksen, vanhat läjitysalueet, ojat, joet ja lammet, turve-, hieta-, sora-, savi- ja moreenialueet, patoreunat ja sekä pohjavesiputket. Ojat sisältävät karttaan merkittyjä luonnonojia sekä tuotantoalueen ojitukset.

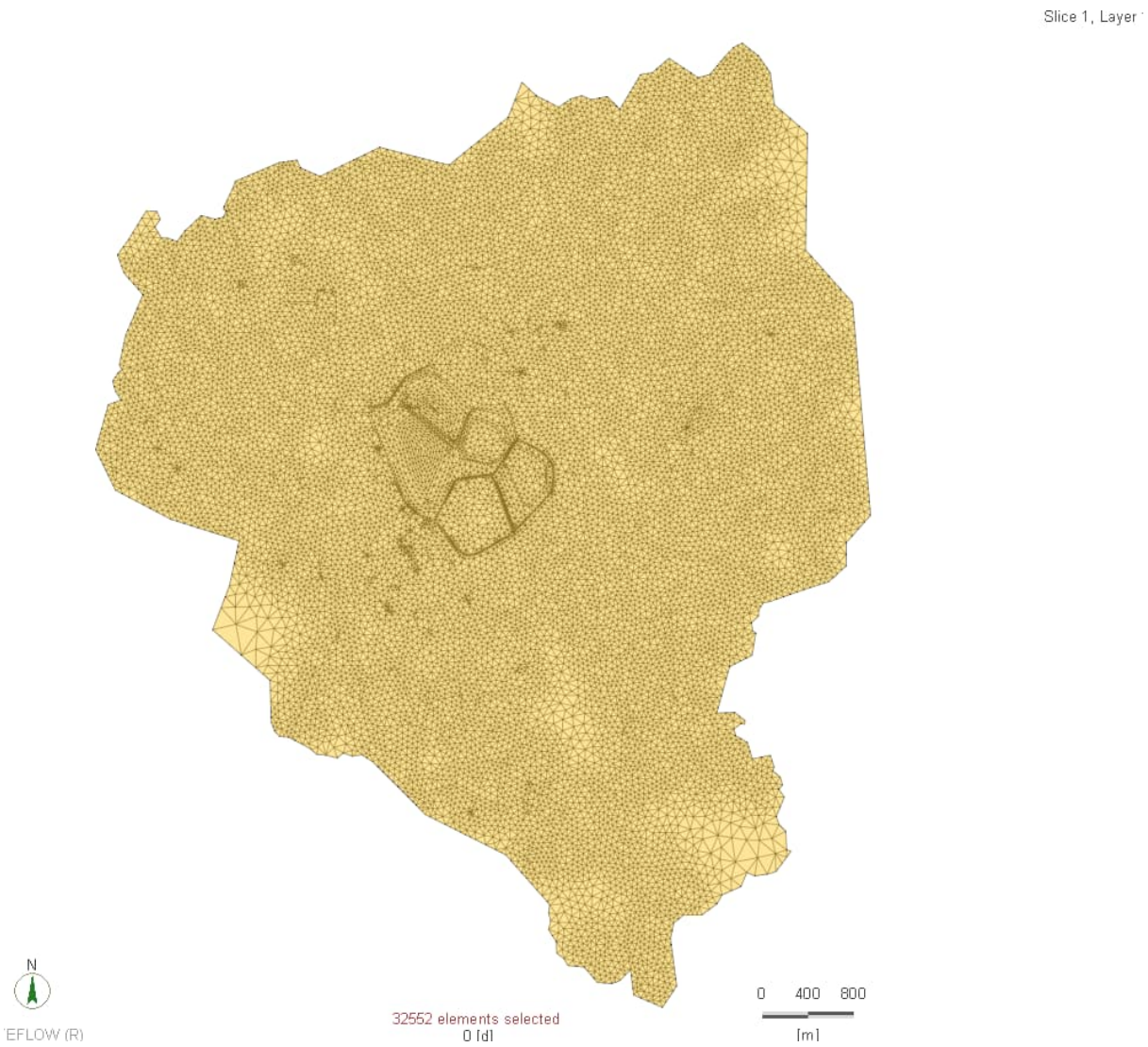
copyright© AFRY Finland Oy



Kuva 4-1. Viivat, polygonit ja pisteet, jotka kuvaavat alueen geometriaa ja joita käytettiin 2D-verkon luomiseen.

copyright© AFRY Finland Oy

Kuvassa 4-2 esitetään FEFLOW-ohjelman tekemä 2D-verkko. Se koostuu 32 552 kolmikulmaisesta elementistä. Verkkoa on tihennetty yllä mainittujen viivojen kohdalla, jotta laskennan tarkkuus paranee suurimpien oletettujen hydraulisten gradienttien kohdalla.



Kuva 4-2. Vuonoksen alueen pohjavesimallia varten luotu 2D-kolmioverkko.

4.2 Kerrosmalli

2D-verkon luomisen jälkeen malligeometrialle määritettiin vertikaali suunta. Mallissa käytettiin kerrosmallia, jossa maaperäosuus on kuvattu seitsemällä kerroksella. Kolme ylintä kerrosta ovat rikastushiekka-altaan aluetta lukuun ottamatta ohuita 0,5 m kukin, ja ne on varattu rikastushiekka-altaan sekä turvekerroksen kuvaamiseen. Rikastushiekka-altaan kohdalla kaksi ylintä kerrosta

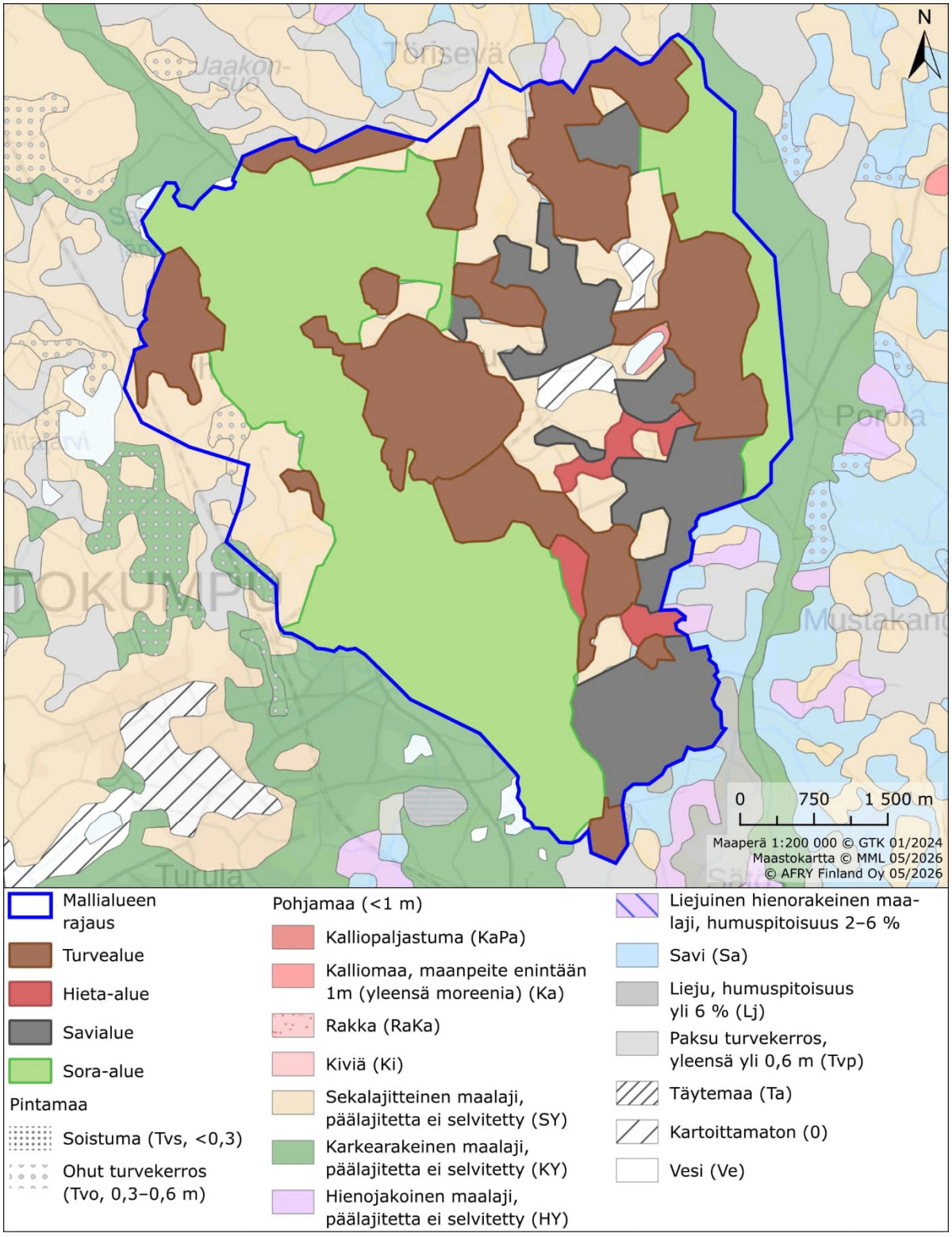
copyright© AFRY Finland Oy

kuvaavat patoja ja rikastushiekkaa. Kolmas kerros kuvaa altaan alla olevaa tiivistynyttä turvekerrosta. Outokummun vanhojen läjitysalueiden kohdalla mallin kolme ylintä kerrosta kuvaavat läjitystä. Muilla alueilla mallin kerrokset 1–6 kuvaavat turve-, sora-/hiekka-, hieta-, savi- ja moreenialueita. Turvealueilla mallin kaksi ylintä kerrosta on asetettu turpeeksi. Turve-, moreeni-, hieta- ja sora-alueet on rajattu mallissa kuvan 4-3 mukaisesti. Mallin seitsemäs kerros kuvaa kallioperän päällä olevaa pohjamoreenikerrosta.

Mallin pinta noudattaa maanpinnan topografiaa, joka perustuu Maanmittauslaitoksen dataan (MML 2026). Mallin maaperäkerroksen paksuus eli kalliotopografia perustuu GTK:n maapeitepaksuuden tietoon (Kuva 3-8). Kallion topografiaa kuvaavan mallin kahdeksannen kerroksen yläpinta laskettiin vähentämällä maanpinnan korkeudesta maapeitteen paksuus (GTK Maankamara 2026). Rikastushiekka-altaan alueella rikastushiekkakerroksen paksuus ja alla olevan turvekerroksen syvyystaso arvioitiin alueella tehtyjen kairausten perusteella (Kuva 3-9).

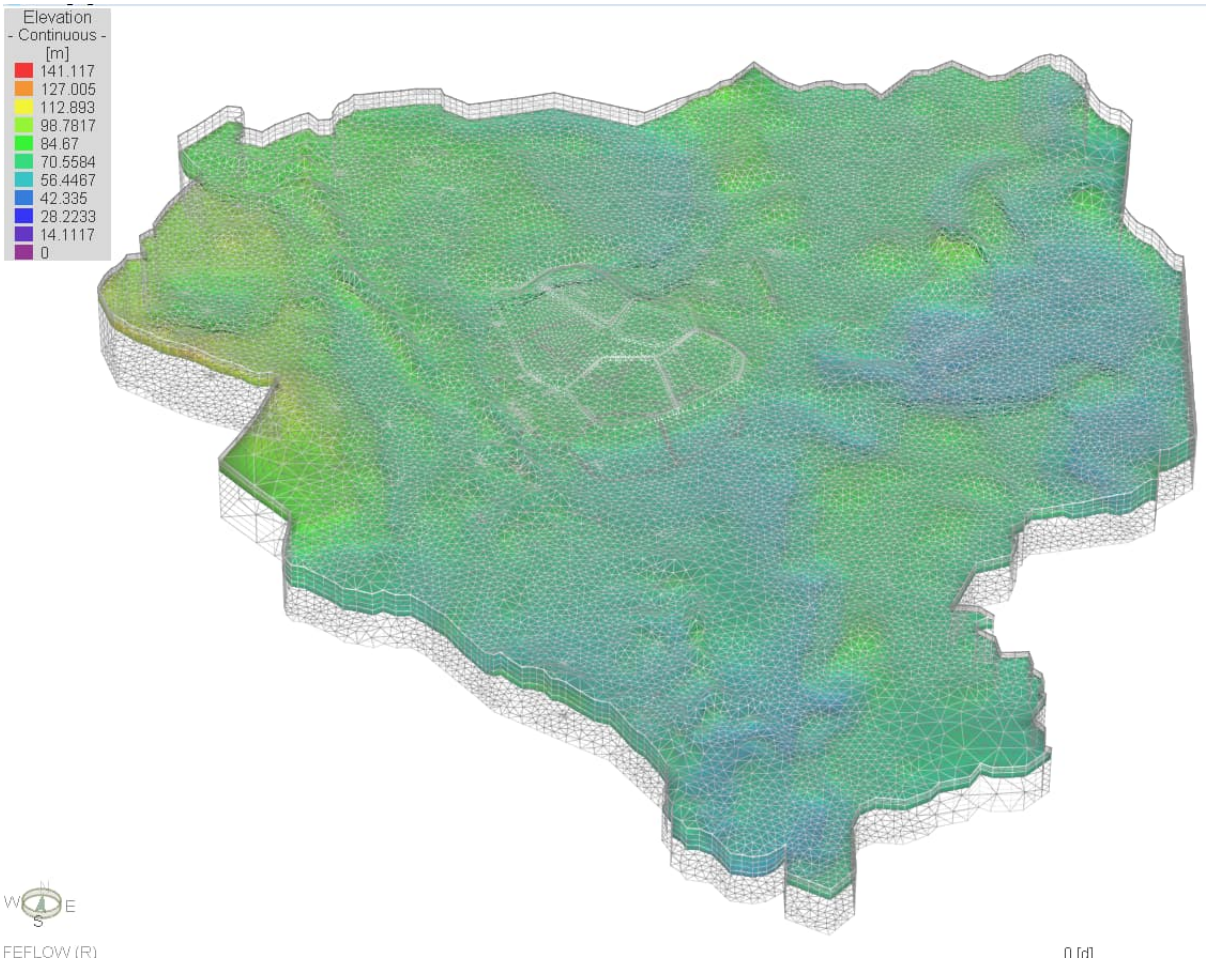
Kallioperän päällä olevan pohjamoreenikerroksen (mallikerros numero 7) paksuudeksi asetettiin 0,5 m. Pohjamoreenikerrosta kuvaavan mallin seitsemännen kerroksen yläpinta laskettiin lisäämällä kalliopinnan korkeuteen 0,5 m.

copyright© AFRY Finland Oy



Kuva 4-3. Maaperäkarttaan perustuvat malliin määritellyt turve-, moreeni-, hieta-, savi- ja sora-alueet.

copyright© AFRY Finland Oy

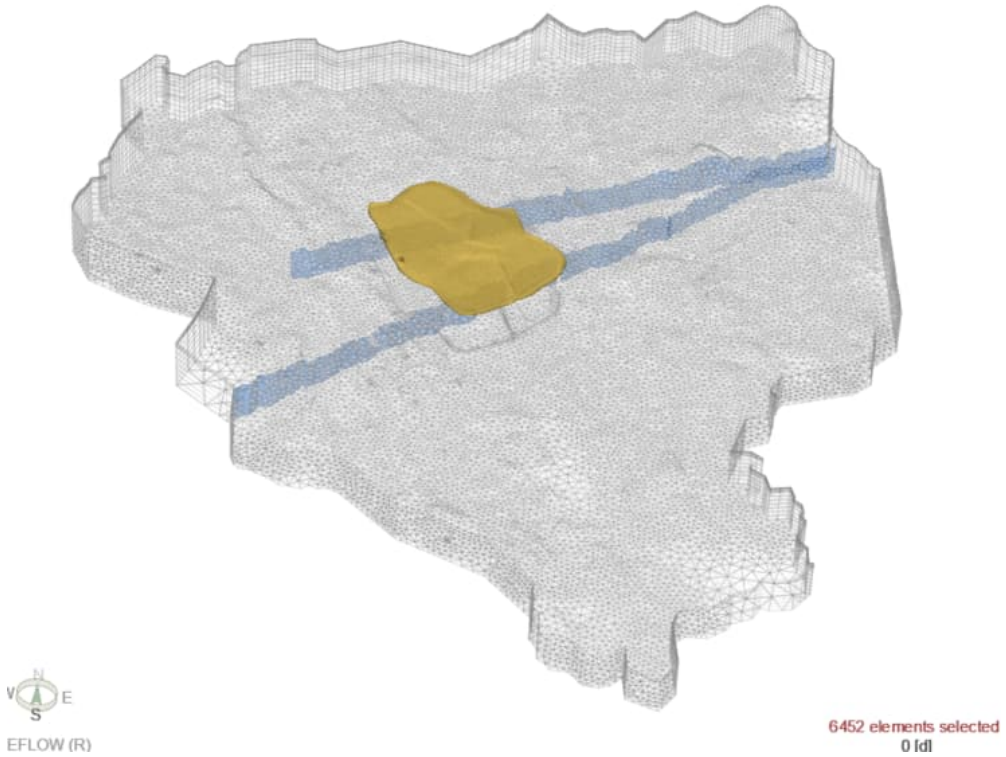


Kuva 4-4. 3D-visualisointi mallin geometriasta FEFLOW-mallissa. Kallion pinta on esitetty väripintakarttana (m mpy).

Mallinnettu kalliotilavuus jaettiin kahdeksaan kerrokseen niin, että alimman kerroksen 15 alapinta on tasolla 0 m (N2000) ja kerrokset 9-14 on asetettu tasaisesti kerrosten 8 (ylin kalliota kuvaava kerros) ja kerroksen 15 välille. Malli koostuu 455 728 elementistä.

Kuvassa 4-5 esitetään 3D-visualisointi mallista niin, että mallissa mukana olevat ruhjevyöhykkeet näkyvät sinisinä pintoina. Ruhjevyöhykkeet mallinnettiin pystyasentoisina ja ne perustuvat GTK:n määrittelemiin alueellisiin ruhjeisiin (Kuva 3-12). Ruhjeiden oletetaan jatkuvan kalliopinnasta mallin toiseksi alimman kerroksen yläpintaan, ja ne on mallinnettu pystysuorina ja 10 m paksuina.

copyright© AFRY Finland Oy



Kuva 4-5. Mallissa mukana olevat ruhjevyöhykkeet sinisellä, rikastushiekka-allas korostettu keltaisella.

4.3 Reunaehdot

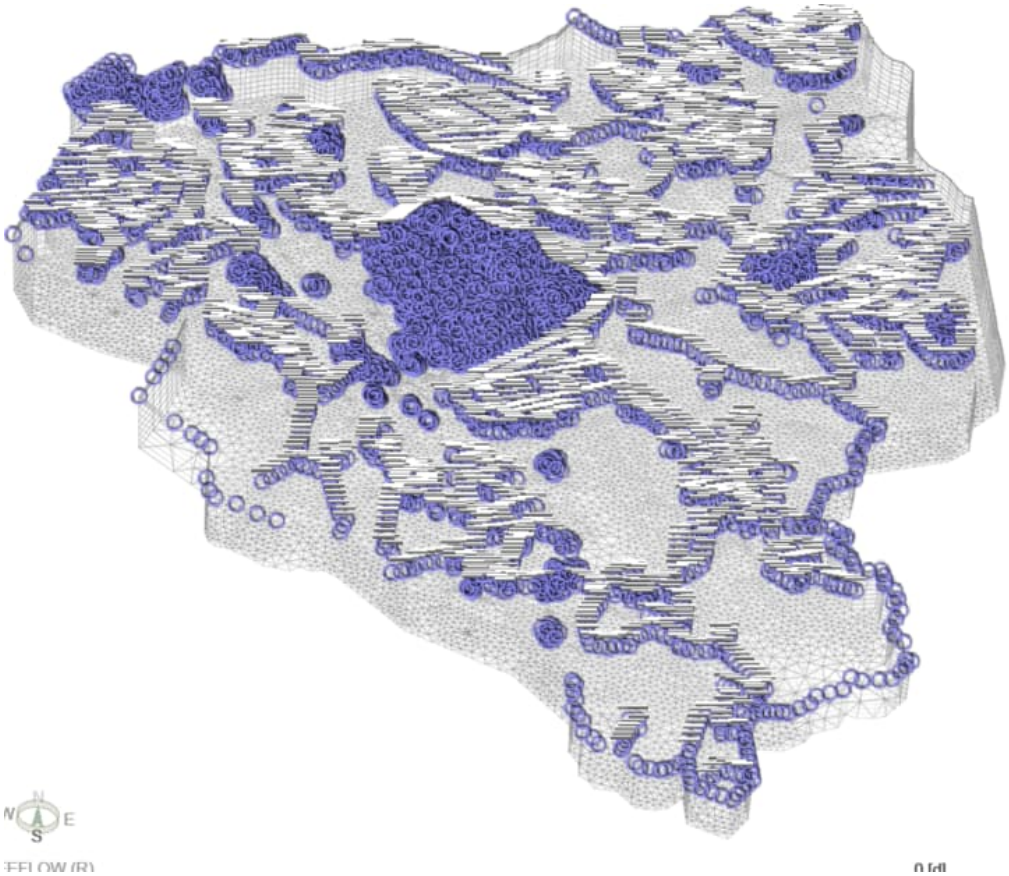
Malligeometrian luomisen jälkeen malliin määriteltiin reunaehdot. Reunaehtojen määrittelyt ovat seuraavat:

- Ei-virtausta reunaehto kaikille mallin reunoille lukuun ottamatta niitä, joihin määritettiin vakiopaine-ehto (katso alla).
- Vakiopainereunaehto seuraaville mallin reuna-alueille ja vesimuodostumille (N2000): Pumppausallas +102,7 m, väliallas +104,0 m, eteläinen vastapaineallas +104,3 m, pohjoiset vastapainealtaat +105,8 m, pohjoisen vastapainealtaan pohjoispuolella oleva ylin lampi +106,1 m, rikastushiekka-allas 1 +115,22 m, rikastushiekka-allas 2 +114,42 m, Heinälampi +88,7 m, Mustalampi (eteläisempi) +93,4 m, Huuhkain +95,2 m, Saari-Oskamo +91,5 m, Valkealampi +93,7 m, Luulampi +99,5 m, Niinilampi +107,3 m, Likolampi +104,4 m, Mustalampi (pohjoisempi) +108.7 m, Onkilampi +109,4 m, Tervalampi +113,0 m, Iso-Loukko +112,6 m, Pieni-Loukko +114,5 m, Valkeislampi +119.9 m, Salmijärvi +122,3 m ja Viitajärvi +119,4 m.

copyright© AFRY Finland Oy

- Vakiopainereunaehto virtauksen malliin estävällä rajoituksella asetettiin rikastushiekka-altaan ympärillä kulkevaan suoto-ojaan 1,25 metriä mallin yläpinnan alapuolelle.
- Vakiopainereunaehto virtauksen malliin estävällä rajoituksella asetettiin mallin alueella oleviin jokiin, puroihin ja ojiin. Vakiopaine-ehto jokaisessa noodissa asetettiin 1 tai 2 metriä mallin yläpinnan alapuolelle riippuen alueesta ja havaitusta pohjavesipinnan korkeudesta.
- Sisään virtaus pinnalla -reunaehto eli pohjaveden muodostuminen sadannasta asetettiin mallin ylimpään kerrokseen (Taulukko 4-1). Asetetut arvot perustuvat eri maalajien tyypillisiin pohjaveden muodostumisen määriin sekä mallin kalibrointiin. Vuonoksen alueella keskimääräinen vuosisadanta on 668 mm/a mm/a (keskiarvo 2004–2025, Ilmatieteen laitos 2026 Viuruniemi). Loppuosa sadannasta poistuu haihdunnan ja pintavalunnan myötä.

Kuvassa 4-6 esitetään 3D-näkymä nykytilan mallista. Vakiopainereunaehto nykytilan mallissa on merkitty sinisellä ympyrällä ja virtauksen malliin estävä rajoite valkoisella viivalla ympyrän päällä.



Kuva 4-6. Malliin asetetut vakiopainereunaehdot vuoden 2026 tilannetta simuloivassa mallissa.

copyright© AFRY Finland Oy

4.4 Materiaalien ominaisuudet

Pohjavesimallissa vedenjohtavuus määriteltiin kaikille mallin elementeille. Mallissa maaperäkerroksissa (kerrokset 1–7) käytetyt hydraulisen johtavuuden arvot on esitetty taulukossa 4-1. Maaperäkerroksen hydraulisen johtavuuden arvot perustuvat alueella tehtyihin slug-mittauksiin (Taulukko 3-2, liite 2) ja mallin kalibrointiin.

Slug-mittauksissa saatiin korkeimmat vedenjohtavuuden arvot kahdessa eteläisimmässä maaperäkartan mukaan harjualueella sijaitsevassa putkessa 301 ja 305. Näiden perusteella mallin soraa/karkeaa hiekkaa kuvaaville alueille asetettiin vedenjohtavuudeksi $1{,}0 \cdot 10^{-4}$ m/s. Putkien 302 ja 304 slug-mittausten tuloksia käytettiin lähtötietona mallin muiden alueiden vedenjohtavuuden arvioinnissa.

Turpeen vedenjohtavuus riippuu turvetyypistä, syvyydestä ja turpeen maatuneisuusasteesta. Rahkaturpeen vedenjohtavuus vaihtelee syvyydestä ja maatuneisuusasteesta riippuen välillä $2{,}3 \cdot 10^{-8}$...$1{,}9 \cdot 10^{-5}$ m/s (Kesäniemi 2009). Mallissa turpeen hydrauliseksi johtavuudeksi arvioitiin $5 \cdot 10^{-6}$ m/s. Turve-, savi-, sora- ja moreenialueiden rajaukset on esitetty kuvassa 4-3.

Taulukko 4-1. Mallissa käytetyt maaperäkerrosten 1–7 hydrauliset johtavuudet sekä pohjaveden muodostumisen määrä.

Kerros	Maalaji	K (m/s)	Pohjaveden muodostuminen mm/a (% sadannasta)
Kerros 1	Moreeni	$4{,}0 \cdot 10^{-6}$	120 mm (18 %)
	Turve	$5{,}0 \cdot 10^{-6}$	130 mm (20 %)
	Sora	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	350 mm (50 %)
	Hieta	$7{,}0 \cdot 10^{-6}$	50 mm (10 %)
	Peltoalueet	$4{,}0 \cdot 10^{-6}$	10 mm (2 %)
	rikastushiekka	$2{,}0 \cdot 10^{-6}$	0 mm/a
	RH-pato	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$	0 mm/a
	tiivistynyt turve	$1{,}0 \cdot 10^{-8}$	
Kerros 2	Moreeni	$4{,}0 \cdot 10^{-6}$	
	Turve	$5{,}0 \cdot 10^{-6}$	
	Sora	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	
	Hieta	$7{,}0 \cdot 10^{-6}$	
	Peltoalueet	$4{,}0 \cdot 10^{-6}$ m/s	
Kerros 3	Moreeni	$4{,}0 \cdot 10^{-6}$	
	Sora	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	
	Hieta	$7{,}0 \cdot 10^{-6}$	
	Peltoalueet	$4 \cdot 10^{-6}$ m/s	
Kerrokset 4–6	Moreeni	$4{,}0 \cdot 10^{-6}$	

copyright© AFRY Finland Oy

	Sora	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	
	Hieta	$7{,}0 \cdot 10^{-6}$	
	Savi	$5{,}0 \cdot 10^{-7}$	
Kerros 7	Pohjamoreeni	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$	

Kallioperän hydraulisen johtavuuden mittauksia ei ole saatavilla Vuonoksen alueelta. Tyypillisesti kallion rakoilu on voimakkainta kallioperän yläosassa ensimmäisellä 10–50 m syvyysjaksolla, ja syvemmällä rakojen määrä vähenee asteittain syvyyden kasvaessa. Mallissa kalliokerroksille asetettiin syvyyden mukaan pienenevä hydraulisen johtavuuden arvo (Taulukko 4-2). Vuonoksen mallissa kallion vedenjohtavuuden arvot on asetettu niin, että ne sopivat yhteen Mondon Horsmanahon, Karnukan ja Vasarakankaan louhosten pohjavesimalleissa käytettyjen kallion vedenjohtavuuden arvojen kanssa (AFRY Finland Oy 2025b, 2026b).

Ruhjevyöhykkeet toteutettiin mallissa tasomaisina erillisinä objekteina (FEFLOW discrete features), jotka lisäävät hydraulista johtavuutta tasoa pitkin Darcyn lain mukaan mallissa. Ruhjeiden vedenjohtavuudesta ei ole mittaustietoa. Jokaisen ruhjevyöhykkeen paksuudeksi asetettiin 10 m ja hydrauliseksi johtavuudeksi asetettiin $5 \cdot 10^{-7}$ m/s.

copyright© AFRY Finland Oy

Taulukko 4-2. Pohjavesimallin kalliokerroksissa käytetyt hydraulisen johtavuuden arvot.

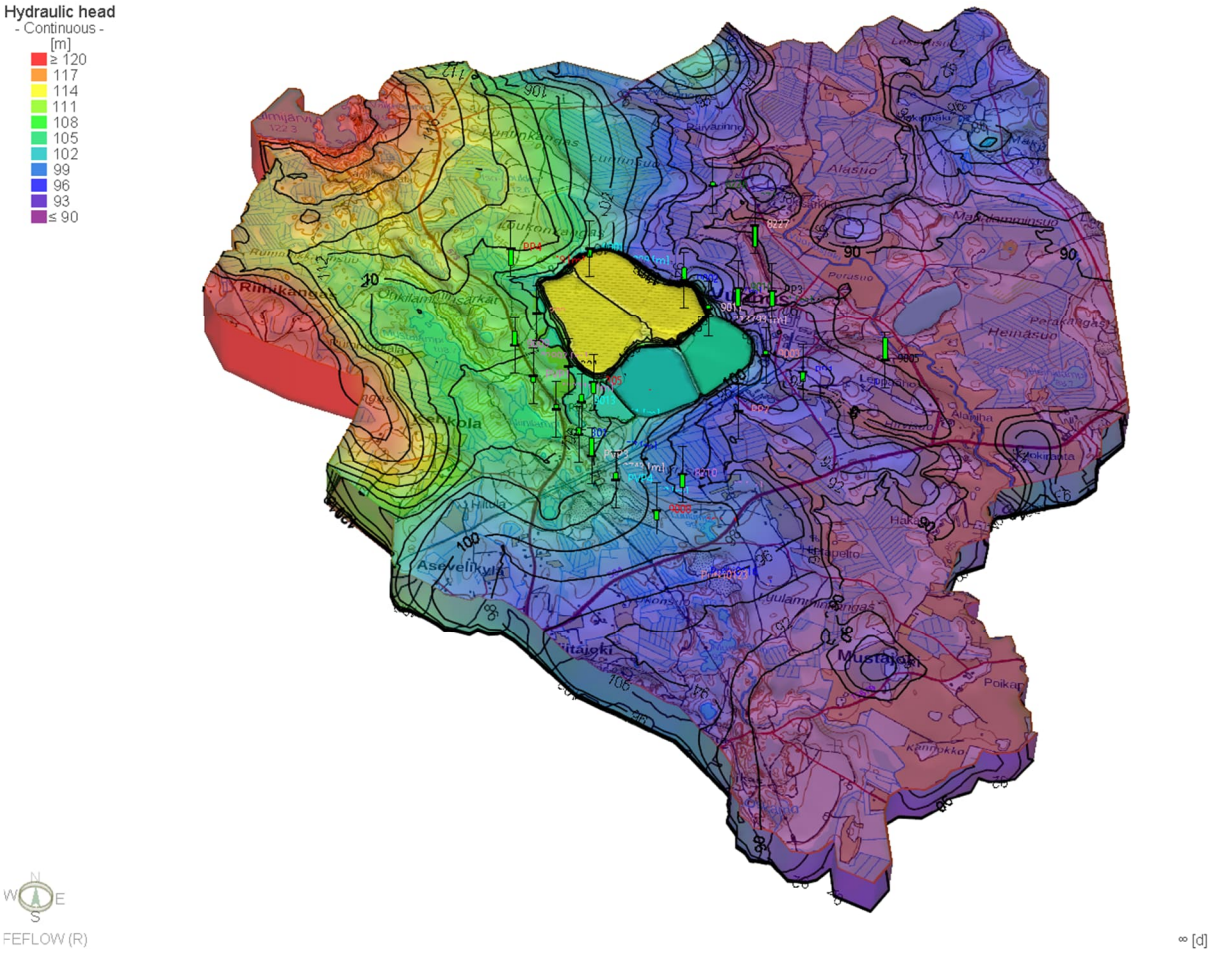
Mallikerros	Kallio Kxyz, m/s
L8	$5{,}0 \cdot 10^{-7}$
L9	$3{,}0 \cdot 10^{-7}$
L10	$2{,}0 \cdot 10^{-7}$
L11	$1{,}0 \cdot 10^{-7}$
L12	$7{,}0 \cdot 10^{-8}$
L13	$3{,}0 \cdot 10^{-8}$
L14	$5{,}0 \cdot 10^{-9}$
L15	$1{,}0 \cdot 10^{-9}$

4.5 Kalibrointi

Mallin kalibrointi tehtiin pohjavesiputkista mitattujen pohjavedenpintojen (luku 3.7) perusteella. Edellisissä kappaleissa on esitetty mallissa käytetyt reunaehdot ja materiaalien ominaisuudet, jotka tuottivat riittävällä tarkkuudella vuosina 2019–2026 mitattuja pohjavesipintoja (Taulukko 3-4) vastaavan laskentatuloksen.

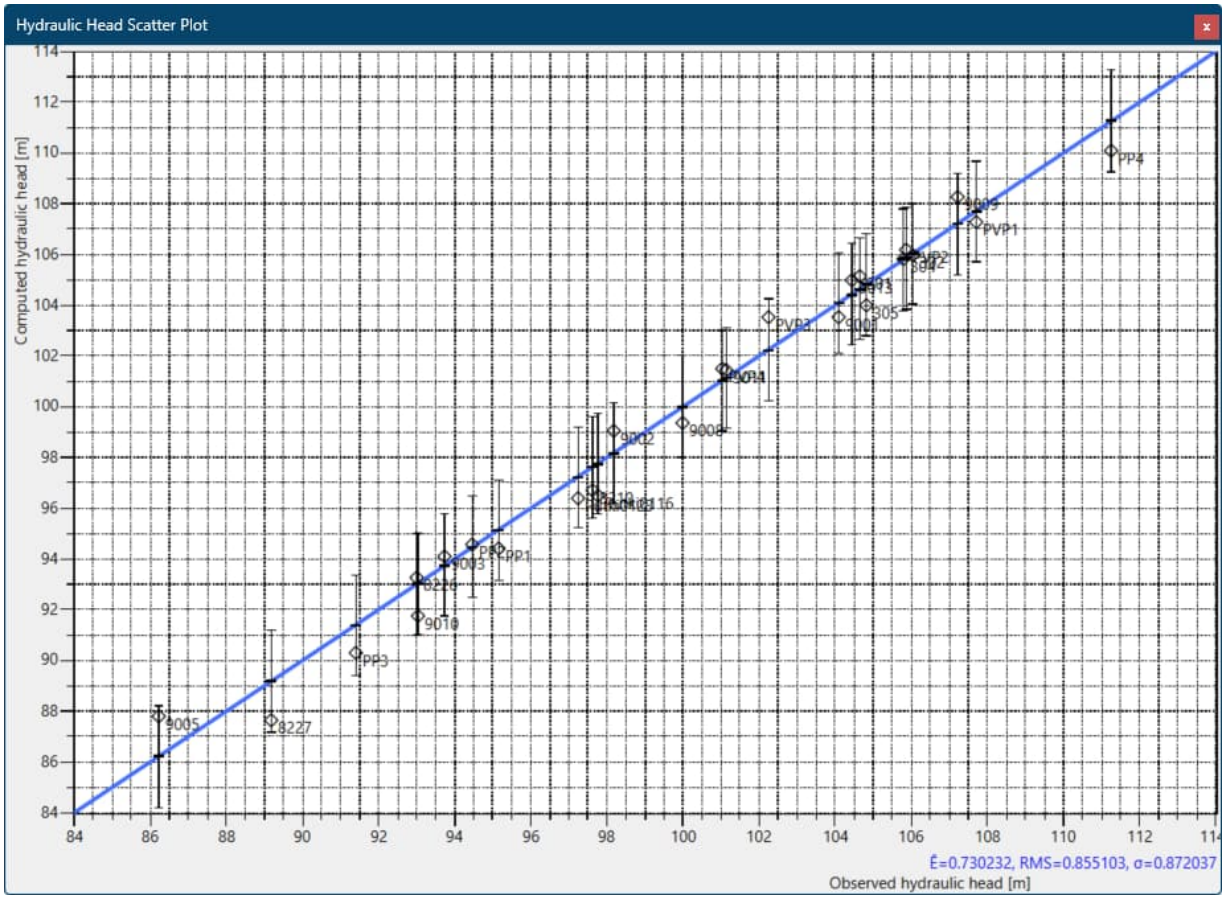
Kalibroinnissa mallin laskema pohjaveden pinta asettui matalalle maakerrokseen, lähelle maanpintaa ja suo- sekä peltoalueilla paikoin hiukan sen yläpuolelle, ja sopi kohtuullisen hyvin yhteen alueella pohjavesiputkista mitattujen pohjaveden pinnankorkeuksien kanssa (Kuva 4-7 ja Kuva 4-8).

copyright© AFRY Finland Oy



Kuva 4-7. Mallin laskemat ja mitatut hydraulisen painekorkeuden arvot esitettynä 3D-malligeometriassa. Pohjavesiputket on esitetty janoina, joissa vihreä palkki kuvaa lasketun ja mitatun pohjaveden pinnankorkeuden eroa. Kun palkki on janan keskikohdan yläpuolella, mallin laskema pohjaveden pinnankorkeus on korkeampi kuin mitattu, ja kun palkki on keskipisteen alapuolella, mallin laskema pohjaveden pinnankorkeus on alempi kuin putkesta mitattu.

copyright© AFRY Finland Oy



Kuva 4-8. Mallin laskemat ja mitatut hydraulisen painekorkeuden arvot esitettynä kaaviokuvassa, jossa hydraulinen painekorkeus numeerisessa mallissa (musta vinoneliö) ja pohjaveden pinnankorkeuden mittaustulokset pohjavesiputkista (sininen viiva).

4.6 Mallinnuksen tulokset

Mallinnus tehtiin viidelle eri vaiheelle: (1) vuosi 2026 ja VE0, (2) VE1 ja (3) VE2a, (4) VE2b ja (5) VE3.

4.6.1 Vaihtoehto VE0/vuosi 2026

Vaiheessa 1 simuloitiin nykyistä eli vuoden 2026 ja vaihtoehdon VE0 (vuodet 2030–2032) tilannetta, jossa rikastushiekka-altaan korkeus on maksimissaan +117 m (N60). Mallin ylimmän kerroksen topografia on maanmittauslaitoksen palvelusta ladatun topografia aineiston mukainen (Maanmittauslaitos 2026).

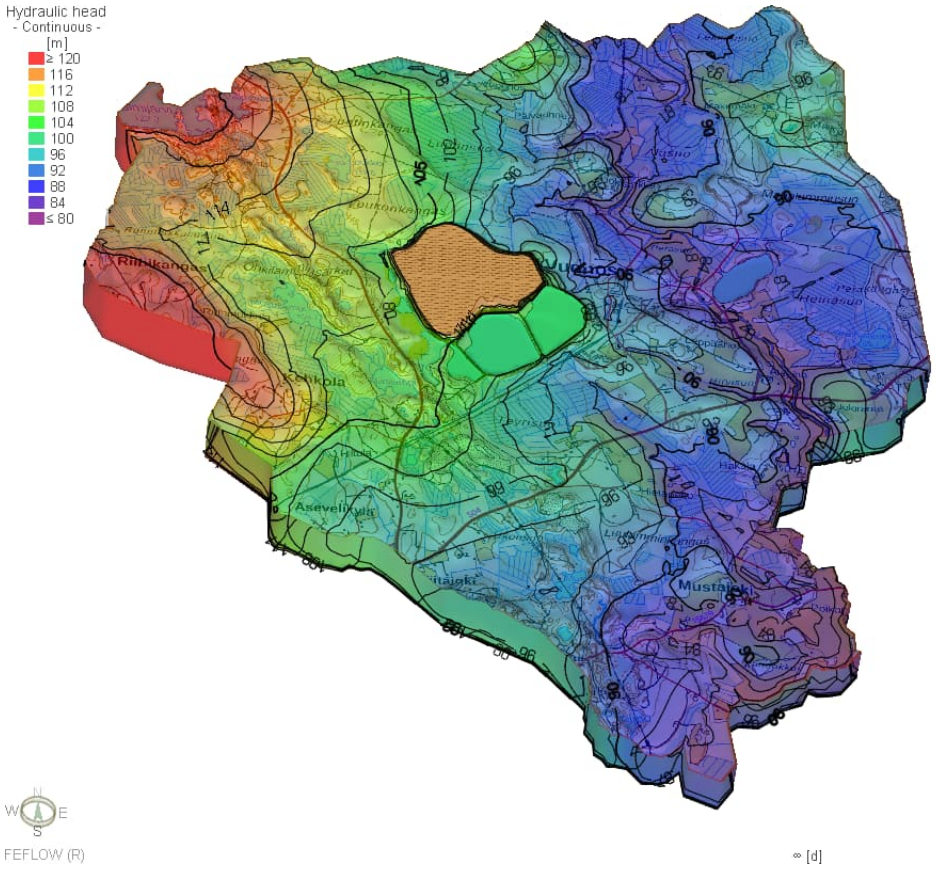
Kuvassa 4-9 on esitetty pohjaveden pinnankorkeus vuoden 2026 tilanteessa. Taustatietona on esitetty maastokartta. Pohjaveden virtaussuunta on Onkilammensärkät-harjualueella pohjoisesta etelään ja kohti harjun reuna-alueita. Rikastushiekka-altaan kohdalla pohjaveden virtaussuunta on kohti etelää ja

copyright© AFRY Finland Oy

kaakkoa. Lähtökohtaisesti pohjaveden virtaussuunta ei ole rikastushiekka-altaalta kohti länttä ja harjualuetta.

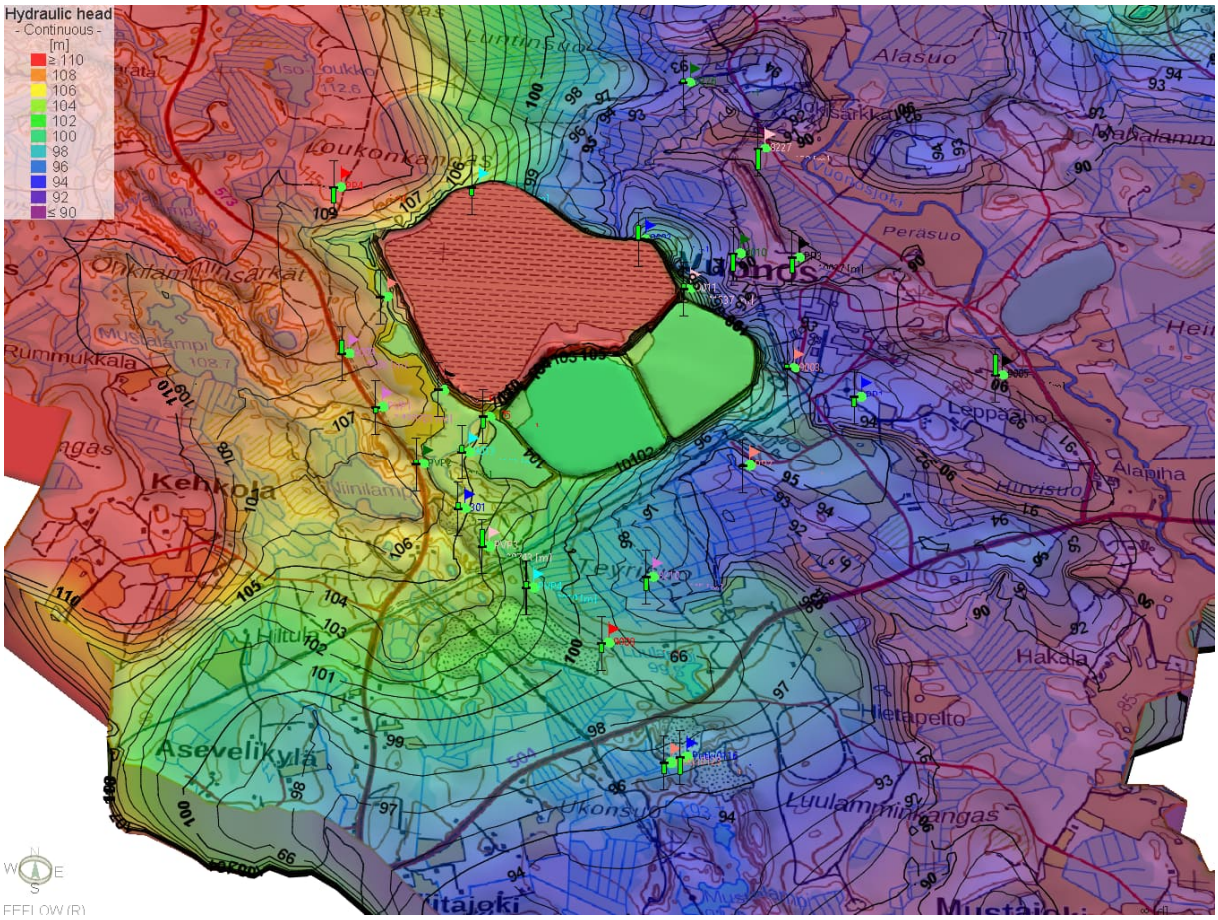
Kuvassa Kuva 4-10 on esitetty rikastushiekka-altaasta ja vastapainealtaista pohjaveden virtauksen mukana lähtevien partikkeleiden kulkeutumisreittejä punaisilla viivoilla. Kulkeutumisreittien osalta tilanne on sama vuonna 2026 ja nykyisen ympäristöluvan mukaisessa rikastushiekka-altaan maksimikorkeudessa vuonna 2030–2032. Rikastushiekka-altaasta partikkeleita päätyy altaan ympärysojaan ja altaan itäpuolelle. Länsipuolella vastapainealtaat rajoittavat ainakin jossakin määrin partikkeleiden kulkeutumista. Vastapainealtaista partikkeleita voi kuitenkin päätyä myös harjualueelle ja putken 301 kohdalle. Rikastushiekka-altaan alla kulkevilla ruhjeilla ei mallin mukaan ole vaikutusta partikkelien kulkeutumiseen.

a)



copyright© AFRY Finland Oy

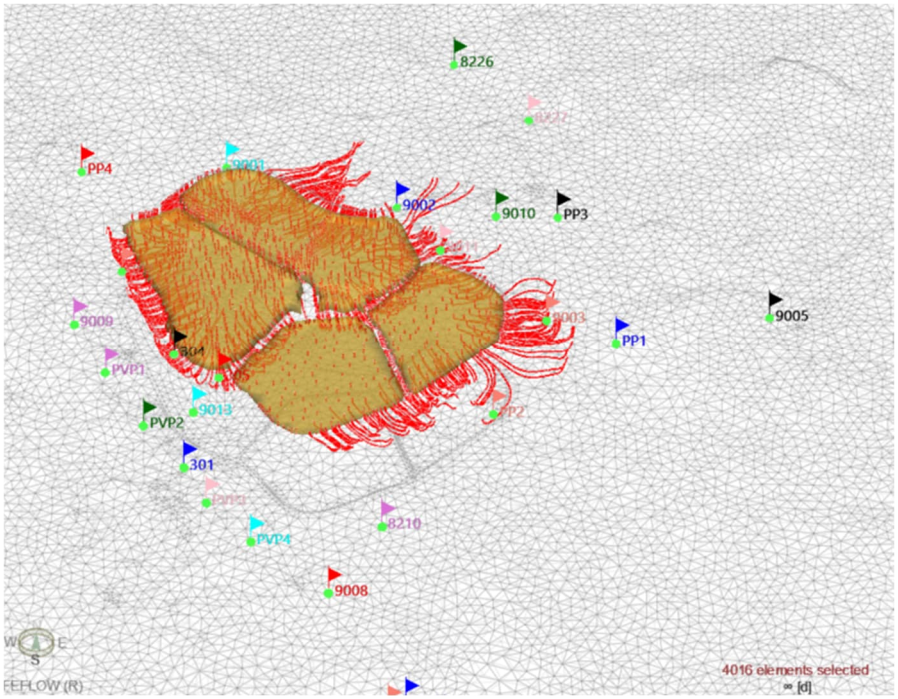
b)



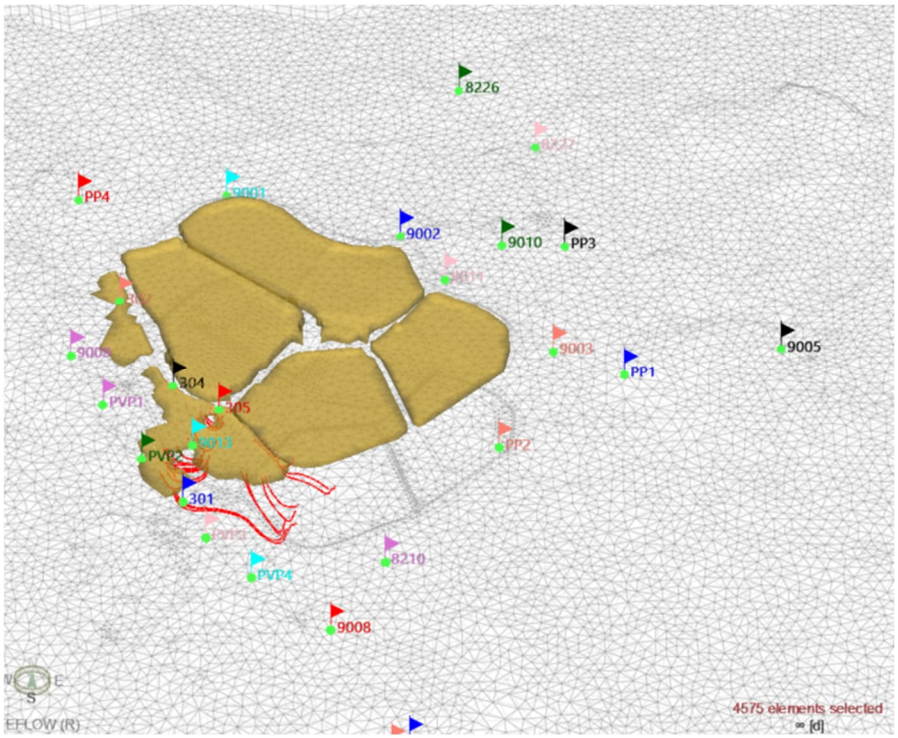
Kuva 4-9. Mallin laskema pohjavedenpinnan korkeus vuoden 2026 tilanteessa a) koko mallinnusalueella ja b) rikastushiekka-altaan lähialueella. Pohjavesiputket on esitetty kuvassa b) janoina, joissa vihreä palkki kuvaa lasketun ja mitatun pohjaveden pinnankorkeuden eroa. Kun palkki on janan keskikohdan yläpuolella, mallin laskema pohjaveden pinnankorkeus on korkeampi kuin mitattu, ja kun palkki on keskipisteen alapuolella, mallin laskema pohjaveden pinnankorkeus on alempi kuin putkesta mitattu. Pohjaveden virtaussuunta on punaisilta alueilta kohti keltaisia, keltaisilta kohti vihreitä, vihreiltä kohti sinisiä ja sinisiltä kohti liiloja alueita.

copyright© AFRY Finland Oy

a)



b)



Kuva 4-10. Mallin laskemia a) rikastushiekka-altaalta ja b) vastapainealtaista pohjaveden virtauksen mukana lähtevien partikkeleiden kulkeutumisreittejä kuvattuna punaisilla viivoilla. Rikastushiekka-alue on korostettu keltaisella.

copyright© AFRY Finland Oy

4.6.2 Vaihtoehto VE1

Vaiheessa 2 mallinnettiin vaihtoehdon VE1 tilanne, jossa rikastushiekka-altaat korotetaan tasolle +126 m mpy (rikastushiekan läjityskorkeus) ja +127 m mpy (patoharjat) (N60).

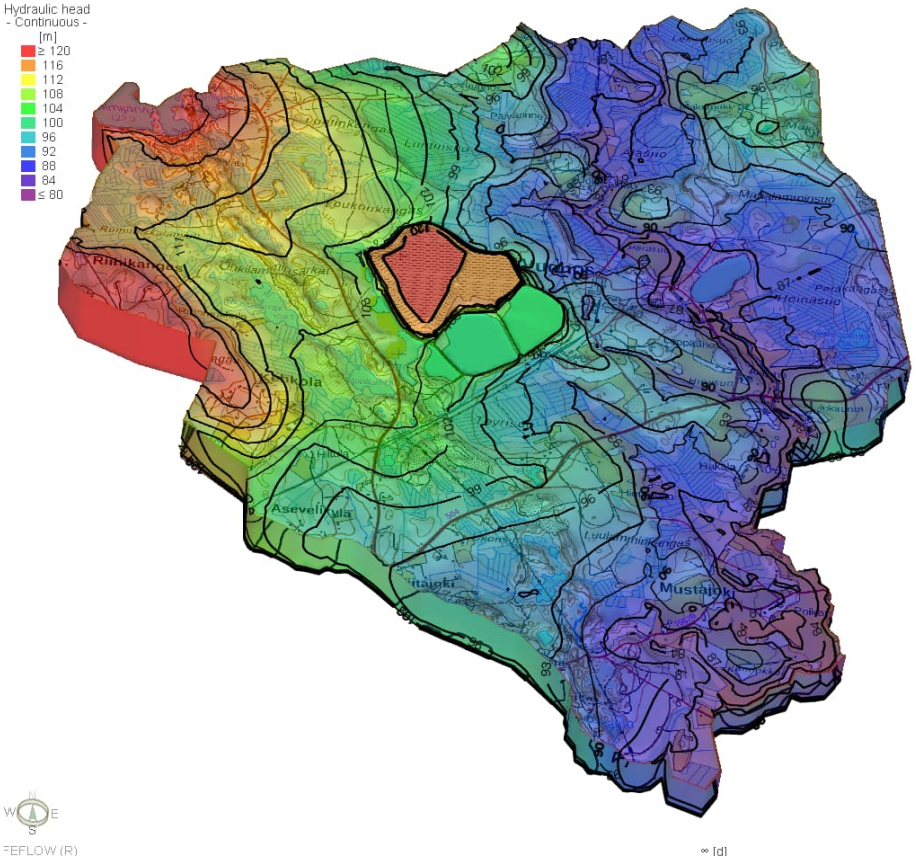
Kuvassa 4-11 on esitetty pohjaveden pinnankorkeus VE1 tilanteessa. Taustatietona on esitetty maastokartta. Pohjaveden virtaussuunnat ovat hyvin saman kaltaiset kuin vaihtoehdossa VE0. Onkilammensärkät-harjualueella pohjavesi virtaa pohjoisesta etelään ja kohti harjun reuna-alueita. Rikastushiekka-altaan kohdalla pohjaveden virtaussuunta on kohti etelää ja kaakkoa. Lähtökohtaisesti pohjaveden virtaussuunta ei ole rikastushiekka-altaalta aivan altaan reuna-aluetta lukuun ottamatta kohti länttä ja harjualuetta. Pohjaveden pinnankorkeuksissa rikastushiekka-altaan ympärillä ei tapahdu muutosta nykytilaan verrattuna.

Kuvassa 4-12 on esitetty rikastushiekka-altaasta ja vastapainealtaista pohjaveden virtauksen mukana lähtevien partikkeleiden kulkeutumisreittejä punaisilla viivoilla. Kulkeutumisreittien osalta tilanne on hyvin saman kaltainen kuin vuonna 2026 ja vaihtoehdossa VE0. Rikastushiekka-altaasta partikkeleita päätyy altaan ympärysojaan ja altaan itäpuolelle. Länsipuolella vastapainealtaat rajoittavat ainakin jossakin määrin partikkeleiden kulkeutumista. Vastapainealtaista partikkeleita voi kuitenkin päätyä myös harjualueelle ja putken 301 kohdalle. Rikastushiekka-altaan alla kulkevilla ruhjeilla ei mallin mukaan ole vaikutusta partikkelien kulkeutumiseen.

Altaan korotus ja vedenpinnan korkeuden nousu altaassa lisäävät altaan pohjan ja patojen läpi suotautuvan veden määrää.

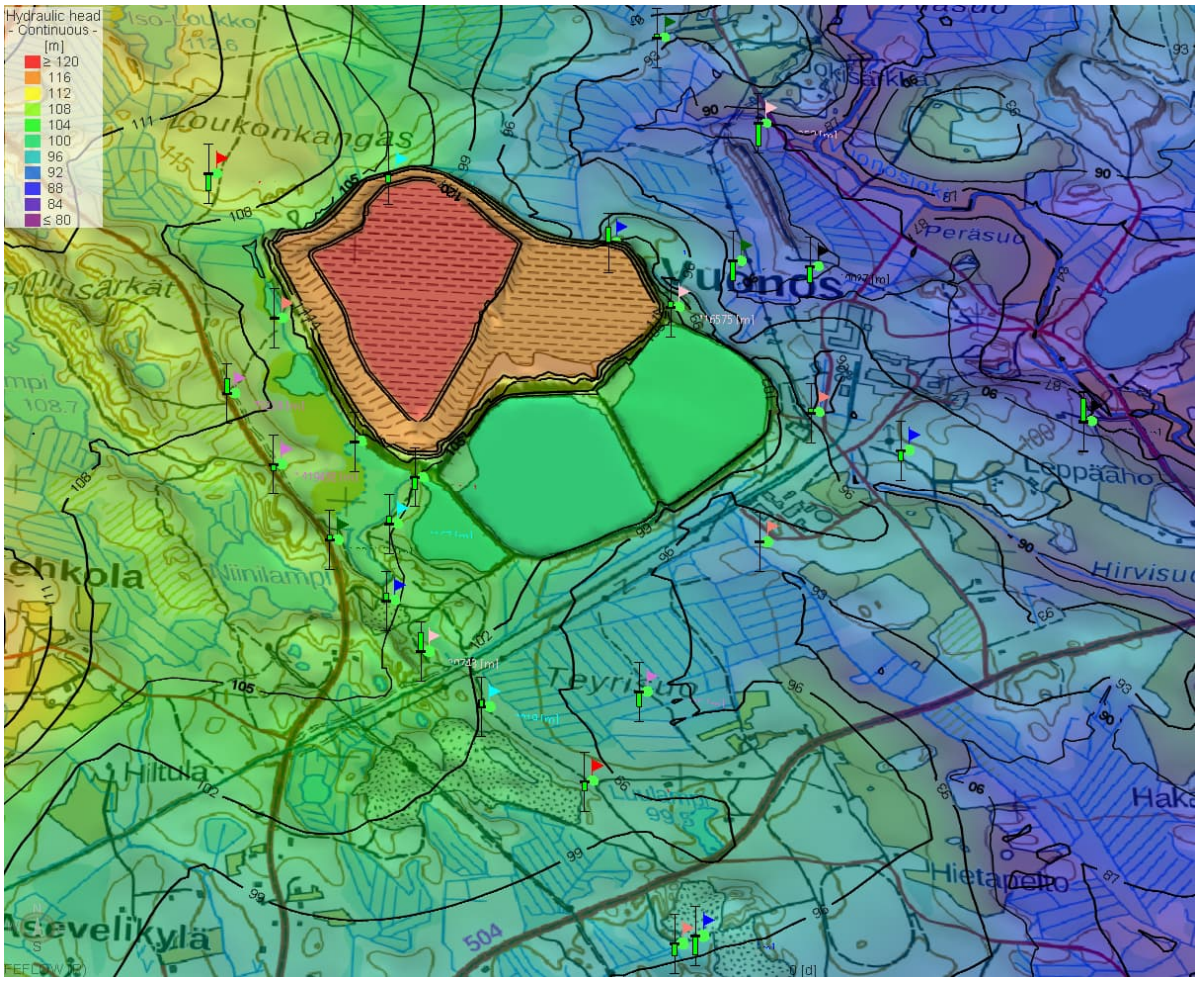
copyright© AFRY Finland Oy

a)



copyright© AFRY Finland Oy

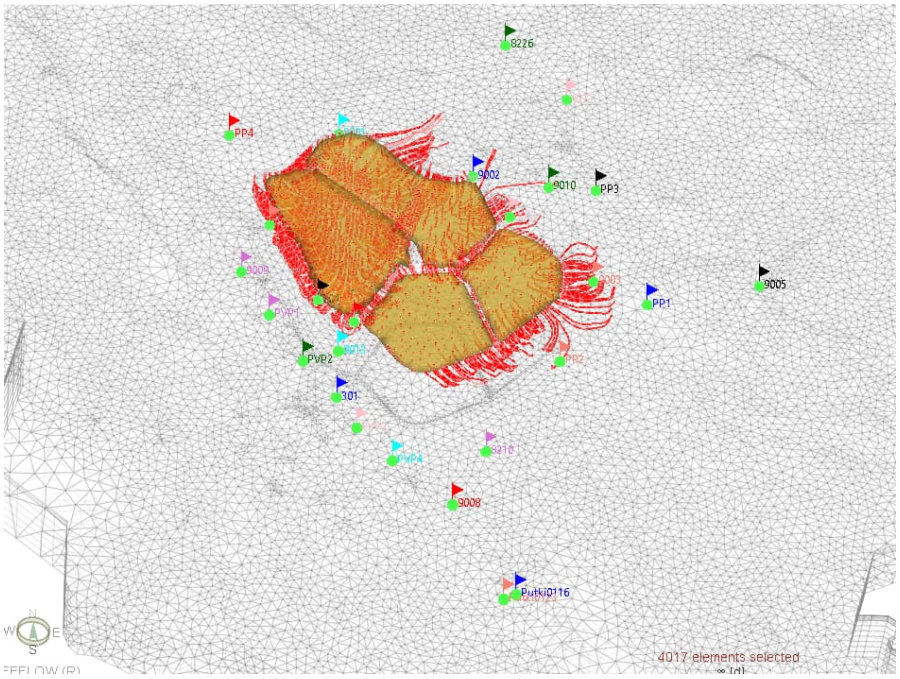
b)



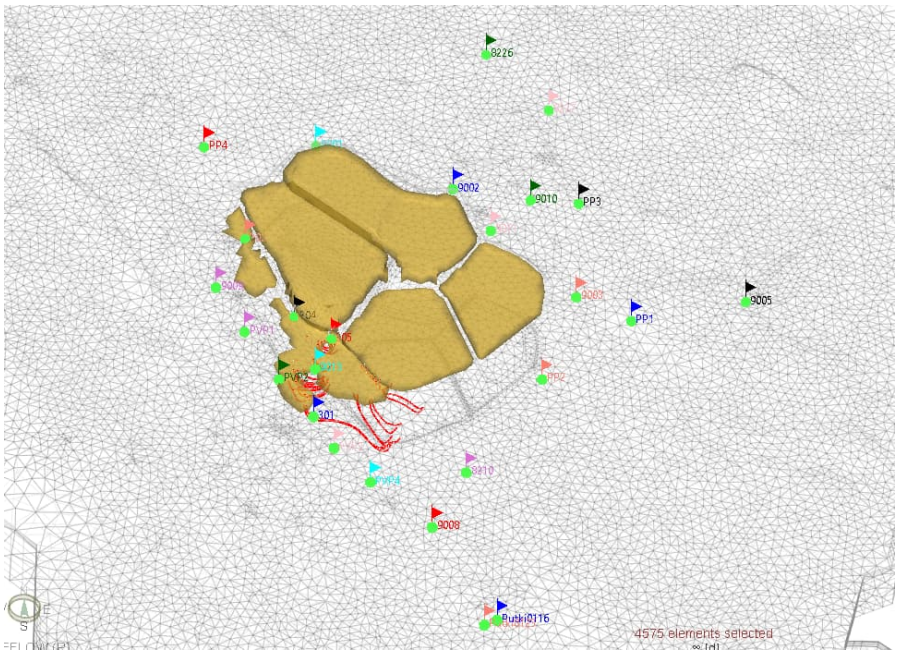
Kuva 4-11. Mallin laskema pohjavedenpinnan korkeus VE1 tilanteessa a) koko mallinnusalueella ja b) rikastushiekka-altaan lähialueella. Pohjavesiputket on esitetty kuvassa b) janoina, joissa vihreä palkki kuvaa lasketun ja mitatun pohjaveden pinnankorkeuden eroa. Kun palkki on janan keskikohdan yläpuolella, mallin laskema pohjaveden pinnankorkeus on korkeampi kuin mitattu, ja kun palkki on keskipisteen alapuolella, mallin laskema pohjaveden pinnankorkeus on alempi kuin putkesta mitattu. Pohjaveden virtaussuunta on punaisilta alueilta kohti keltaisia, keltaisilta kohti vihreitä, vihreiltä kohti sinisiä ja sinisiltä kohti liiloja alueita.

copyright© AFRY Finland Oy

a)



b)



Kuva 4-12. Mallin laskemia a) rikastushiekka-altaalta ja b) vastapainealtaista pohjaveden virtauksen mukana lähtevien partikkeleiden kulkeutumisreittejä kuvattuna punaisilla viivoilla. Rikastushiekka-alue on korostettu keltaisella.

copyright© AFRY Finland Oy

4.6.3 Vaihtoehto VE2a

Vaiheessa 3 simuloitiin vaihtoehdon VE2a tilanne, jossa rikastushiekka-altaita 1 ja 2 tyhjennetään ja täytetään vuorotellen. Kuivasta (ei sillä hetkellä läjityskäytössä olevasta) altaasta kaivetaan rikastushiekkaa, joka kuivaläjitetään uuteen, rakennettavaan altaaseen. Tällöin toinen puoli rikastushiekka-altaasta on märkäläjityskäytössä ja toinen puoli kuivumassa ja tyhjennyksessä kuivaläjitystä varten. Vaihtoehdossa VE2a kuivaläjitys tehdään nykyisen rikastushiekka-altaan pohjoispuolelle rakennettavaan altaaseen, rikastushiekan läjityskorkeus +116 m mpy.

VE2a tilanteen vaikutusten arvioimiseksi tehtiin simulaatio, jossa rikastushiekka-altaat 1 ja 2 sekä väliallas ja pumppausallas pidettiin samoin asetuksin kuin vaiheessa VE0 ja uuden rikastushiekka-altaan patoharjan korkeudeksi asetettiin +117 m ja rikastushiekan +116 m (N60). Uuden altaan patojen vedenjohtavuudeksi asetettiin $3 \cdot 10^{-7}$ m/s ja patojen ulkopuolelle määritettiin suoto-oja 2 metriä maanpinnan alapuolelle. Altaan alaosa (kerros 3) asetettiin huonosti vettä läpäiseväksi ($K = 1 \cdot 10^{-9}$ m/s). Altaalle ei asetettu vakiopainereunaehtoa, vaan altaan kohdalla pohjaveden muodostumisen määräksi asetettiin 330 mm/a eli noin 50 % sadannasta. Simulointi tehtiin niin, että rikastushiekka-altaissa 1 poistettiin vakiopainereunaehto ja asetettiin pohjaveden muodostumisen määräksi 330 mm/a eli noin 50 % sadannasta kuvaamaan ei märkäläjityskäytössä olevaa allasta.

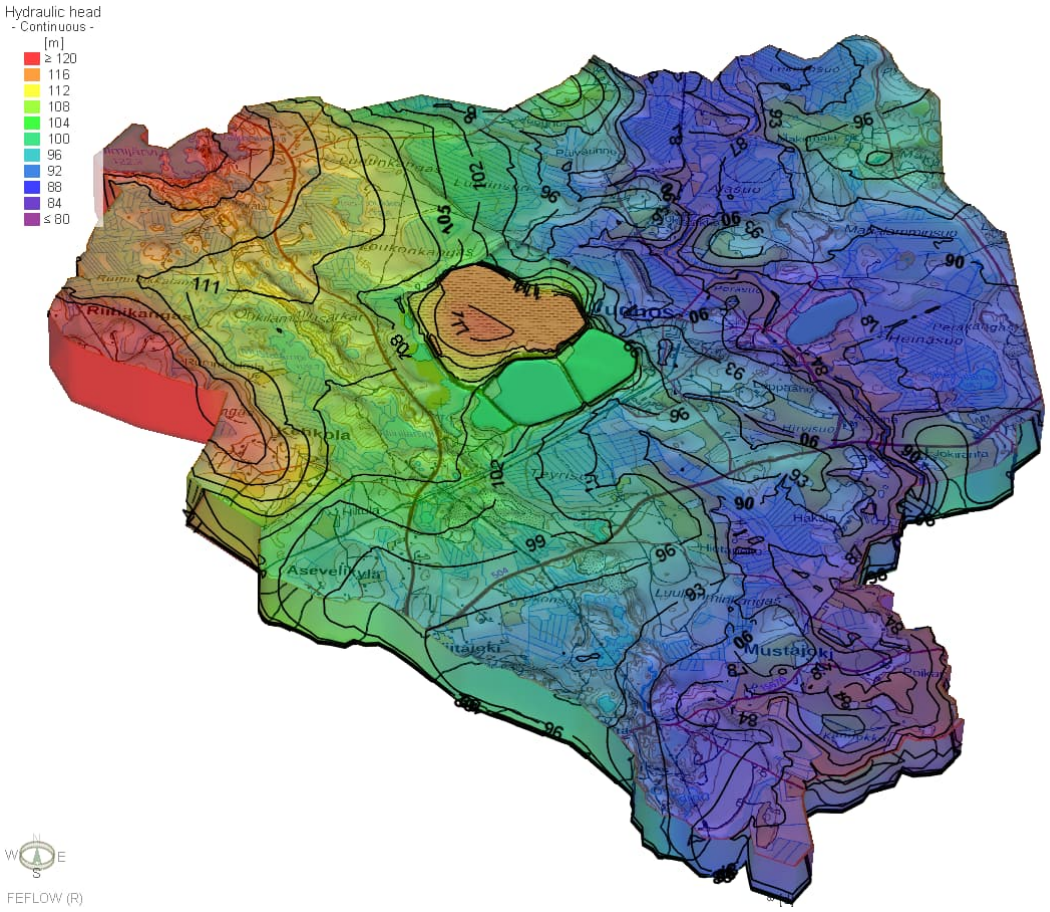
Kuvassa 4-13 on esitetty pohjaveden pinnankorkeus VE2a tilanteessa. Taustatietona on esitetty maastokartta. Pohjaveden virtaussuunnat ovat hyvin saman kaltaiset kuin vaihtoehdossa VE0. Onkilammensärkät-harjualueella pohjavesi virtaa pohjoisesta etelään ja kohti harjun reuna-alueita. Rikastushiekka-altaan kohdalla pohjaveden virtaussuunta on kohti etelää ja kaakkoa. Lähtökohtaisesti pohjaveden virtaussuunta ei ole rikastushiekka-altaalta aivan altaan reuna-aluetta lukuun ottamatta kohti länttä ja harjualuetta. Ei märkäläjityskäytössä olevalla rikastushiekka-altaalla vesipinta voi laskea. Pohjaveden pinnankorkeuksissa rikastushiekka-altaan ympärillä ei tapahdu muutosta nykytilaan verrattuna lukuun ottamatta aluetta, jonne rakennetaan uusi allas. Uuden altaan kohdalla pohjaveden pinnankorkeus voi muuttua paikallisesti, mutta vaikutus ei ulotu laajemmalti altaan ympärille.

Kuvassa 4-14 on esitetty rikastushiekka-altaasta ja vastapainealtaista pohjaveden virtauksen mukana lähtevien partikkeleiden kulkeutumisreittejä punaisilla viivoilla. Kulkeutumisreittien osalta tilanne on hyvin saman kaltainen kuin vuonna 2026 ja vaihtoehdossa VE0. Ainoastaan uuden altaan kohdalla tilanne muuttuu ja partikkeleita päätyy uuden altaan reunaojaan. Rikastushiekka-altaasta

copyright© AFRY Finland Oy

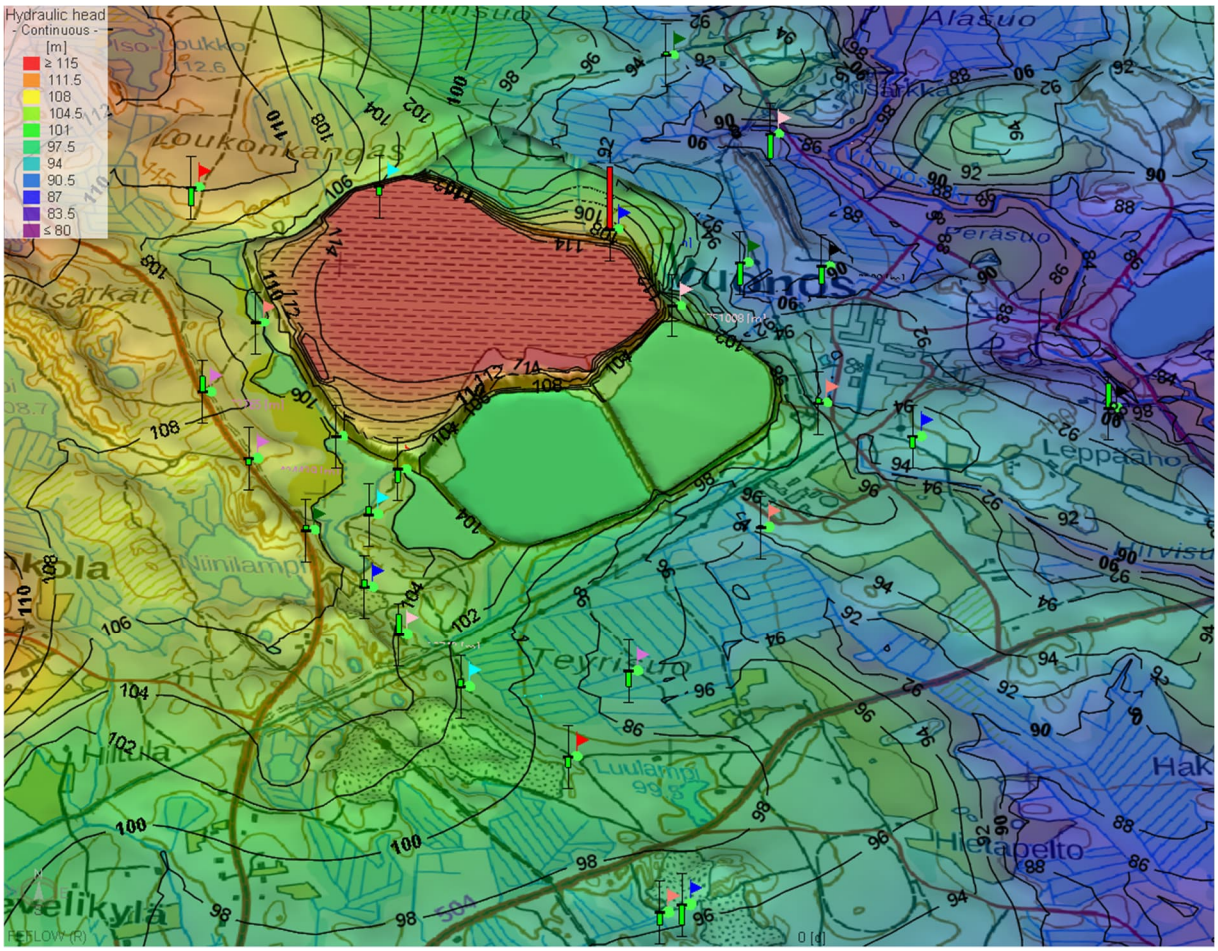
partikkeleita päätyy altaan ympärysojaan ja altaan itäpuolelle. Länsipuolella vastapainealtaat rajoittavat ainakin jossakin määrin partikkeleiden kulkeutumista. Vastapainealtaista partikkeleita voi kuitenkin päätyä myös harjualueelle ja putken 301 kohdalle. Rikastushiekka-altaan alla kulkevilla ruhjeilla ei mallin mukaan ole vaikutusta partikkelien kulkeutumiseen. Ei märkäläjityskäytössä olevalla rikastushiekka-altaalla pohjan ja patojen läpi suotautuvan veden määrä voi pienentyä verrattuna märkäläjityskäytössä olevaan altaaseen.

a)



copyright© AFRY Finland Oy

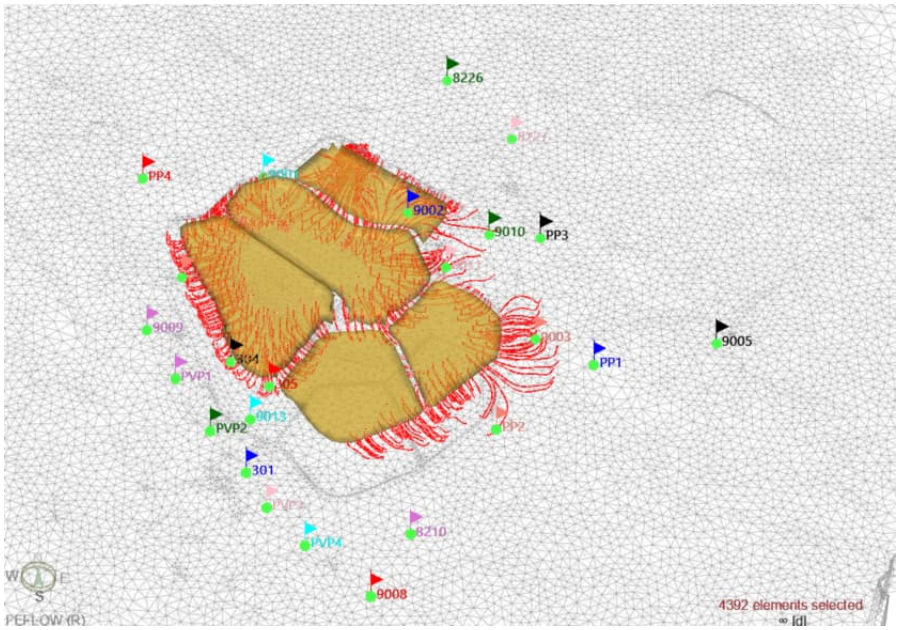
b)



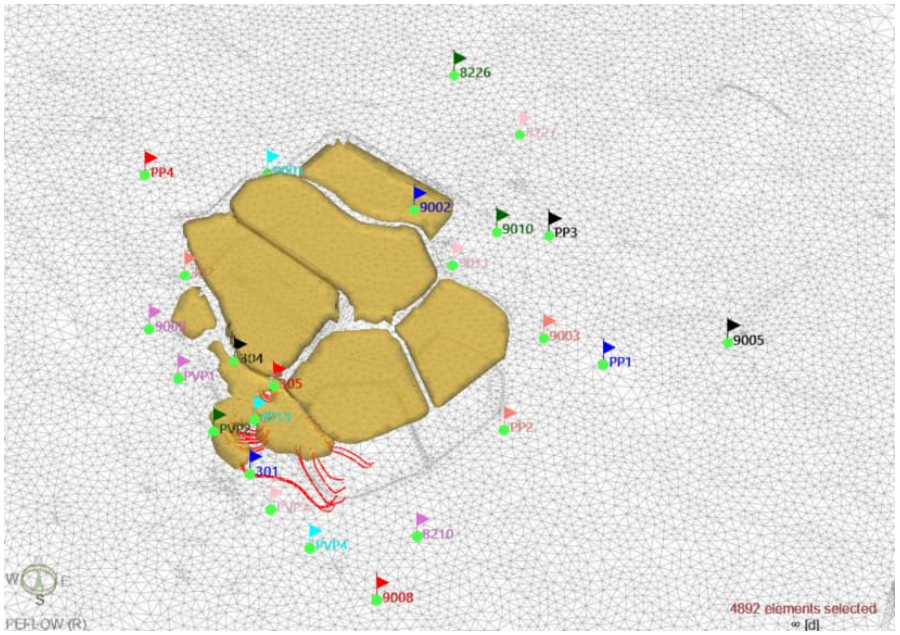
Kuva 4-13. Mallin laskema pohjavedenpinnan korkeus VE2a tilanteessa, jossa rikastushiekka-allas 2 on märkäläjityskäytössä a) koko mallinnusalueella ja b) rikastushiekka-altaan lähialueella. Pohjavesiputket on esitetty kuvassa b) janoina, joissa vihreä palkki kuvaa lasketun ja mitatun pohjaveden pinnankorkeuden eroa. Kun palkki on janan keskikohdan yläpuolella, mallin laskema pohjaveden pinnankorkeus on korkeampi kuin mitattu, ja kun palkki on keskipisteen alapuolella, mallin laskema pohjaveden pinnankorkeus on alempi kuin putkesta mitattu. Pohjaveden virtaussuunta on punaisilta alueilta kohti keltaisia, keltaisilta kohti vihreitä, vihreiltä kohti sinisiä ja sinisiltä kohti liiloja alueita.

copyright© AFRY Finland Oy

a)



b)



Kuva 4-14. Mallin laskemia a) rikastushiekka-altaalta ja b) vastapainealtaista pohjaveden virtauksen mukana lähtevien partikkeleiden kulkeutumisreittejä kuvattuna punaisilla viivoilla. Rikastushiekka-alue on korostettu keltaisella.

4.6.4 Vaihtoehto VE2b

Vaiheessa 4 simuloitiin vaihtoehdon VE2b tilanne, jossa rikastushiekka-altaita 1 ja 2 tyhjennetään ja täytetään vuorotellen. Kuivasta (ei sillä hetkellä läjityskäytössä

copyright© AFRY Finland Oy

olevasta) altaasta kaivetaan rikastushiekkaa, joka kuivaläjitetään uuteen, rakennettavaan altaaseen. Tällöin toinen puoli rikastushiekka-altaasta on märkäläjityskäytössä ja toinen puoli kuivumassa ja tyhjennyksessä kuivaläjitystä varten. Vaihtoehdossa VE2b kuivaläjitys tehdään nykyisen rikastushiekka-altaan 2 eteläosaan ja välialtaaseen, rikastushiekan läjityskorkeus +123 m mpy.

VE2b tilanteen vaikutusten arvioimiseksi tehtiin simulaatio, jossa rikastushiekka-altaat 1 ja 2 sekä väliallas ja pumppausallas pidettiin samoin asetuksin kuin vaiheessa VE0, mutta uuden kuivaläjitysaltaan kohdalta nykyisen rikastushiekka-altaan 2 eteläosasta ja välialtaasta poistettiin VE0-vaihtoehdossa asetettu vakiopainereunaehto. Samoin rikastushiekka-altaissa 1 poistettiin vakiopainereunaehto ja asetettiin pohjaveden muodostumisen määräksi 330 mm/a eli noin 50 % sadannasta kuvaamaan ei märkäläjityskäytössä olevaa allasta. Uuden altaan patojen vedenjohtavuudeksi asetettiin $3 \cdot 10^{-7}$ m/s ja patoharjan korkeudeksi +123 m (N60). Altaalle ei asetettu vakiopainereunaehtoa, vaan altaan kohdalla pohjaveden muodostumisen määräksi asetettiin 330 mm/a eli noin 50 % sadannasta.

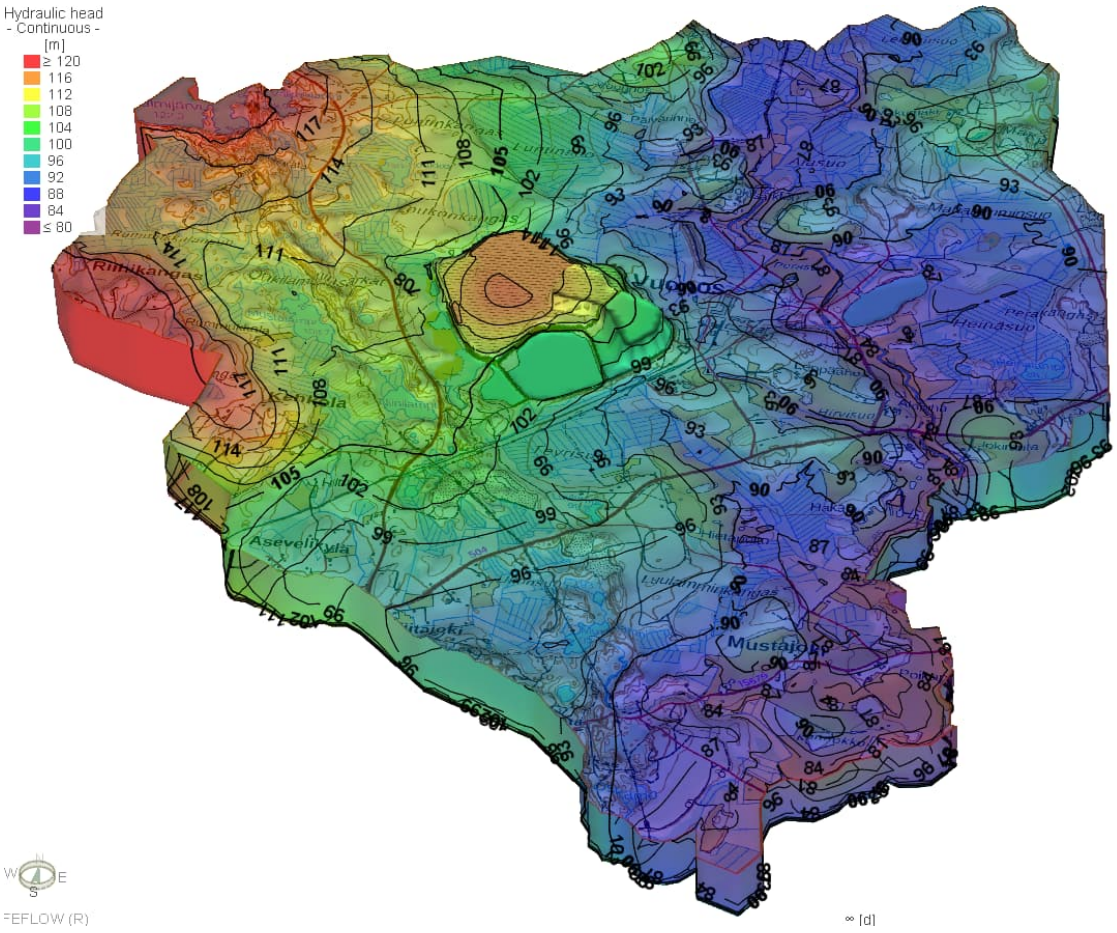
Kuvassa 4-15 on esitetty pohjaveden pinnankorkeus VE2a tilanteessa. Taustatietona on esitetty maastokartta. Pohjaveden virtaussuunnat ovat hyvin saman kaltaiset kuin vaihtoehdossa VE0. Onkilammensärkät-harjualueella pohjavesi virtaa pohjoisesta etelään ja kohti harjun reuna-alueita. Rikastushiekka-altaan kohdalla pohjaveden virtaussuunta on kohti etelää ja kaakkoa. Lähtökohtaisesti pohjaveden virtaussuunta ei ole rikastushiekka-altaalta aivan altaan reuna-aluetta lukuun ottamatta kohti länttä ja harjualuetta. Ei märkäläjityskäytössä olevalla rikastushiekka-altaalla vesipinta voi laskea.

Kuvassa 4-16 on esitetty rikastushiekka-altaasta ja vastapainealtaista pohjaveden virtauksen mukana lähtevien partikkeleiden kulkeutumisreittejä punaisilla viivoilla. Kulkeutumisreittien osalta tilanne on hyvin saman kaltainen kuin vuonna 2026 ja vaihtoehdossa VE0. Ainoastaan uuden altaan kohdalla tilanne muuttuu ja partikkeleita päätyy uuden altaan reunaojaan. Rikastushiekka-altaasta partikkeleita päätyy altaan ympärysojaan ja altaan itäpuolelle. Länsipuolella vastapainealtaat rajoittavat ainakin jossakin määrin partikkeleiden kulkeutumista. Vastapainealtaista partikkeleita voi kuitenkin päätyä myös harjualueelle ja putken 301 kohdalle. Rikastushiekka-altaan alla kulkevilla ruhjeilla ei mallin mukaan ole vaikutusta partikkelien kulkeutumiseen.

Ei märkäläjityskäytössä olevalla rikastushiekka-altaalla pohjan ja patojen läpi suotautuvan veden määrä voi pienentyä verrattuna märkäläjityskäytössä olevaan altaaseen.

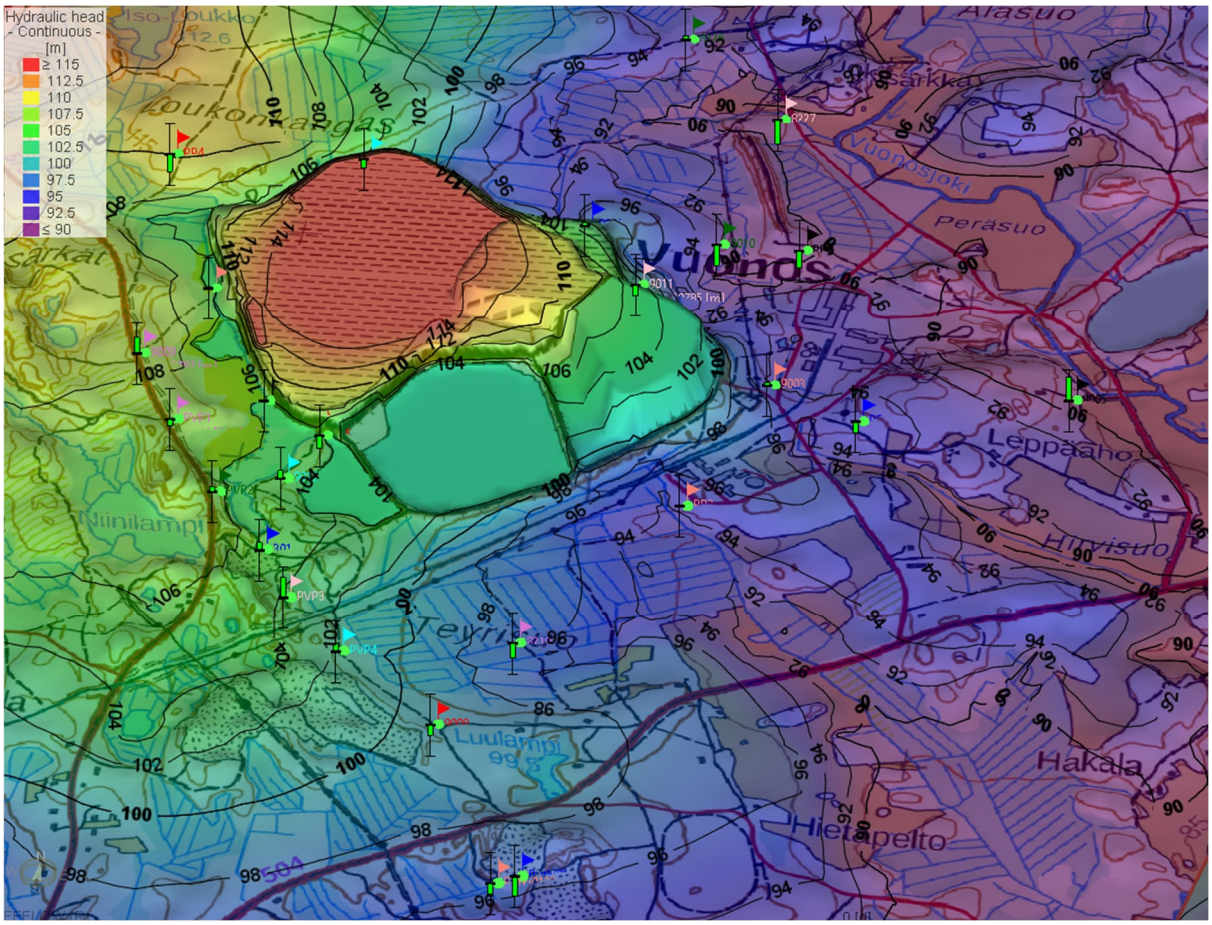
copyright© AFRY Finland Oy

a)



copyright© AFRY Finland Oy

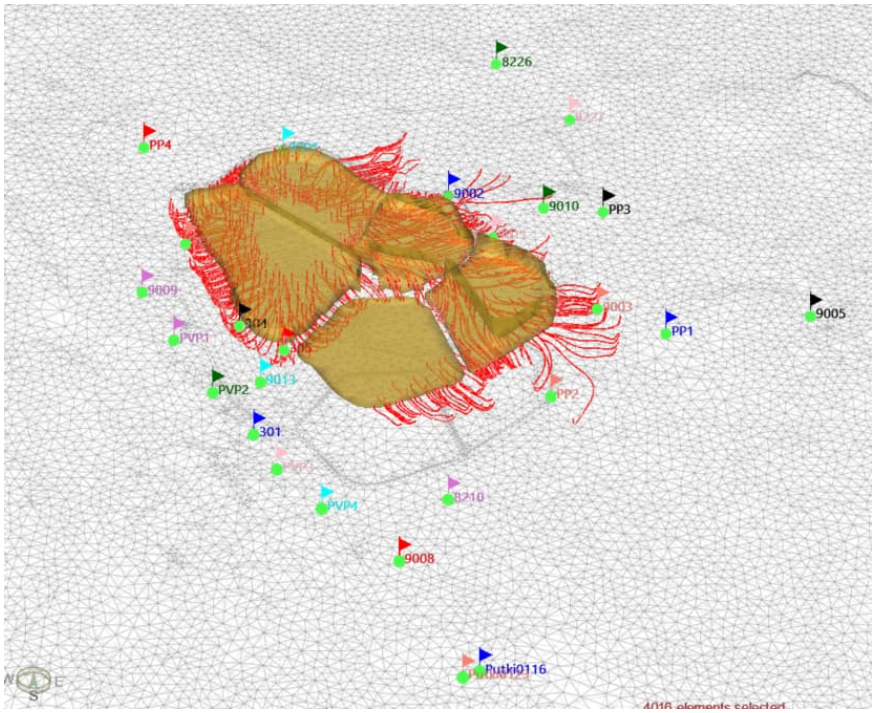
b)



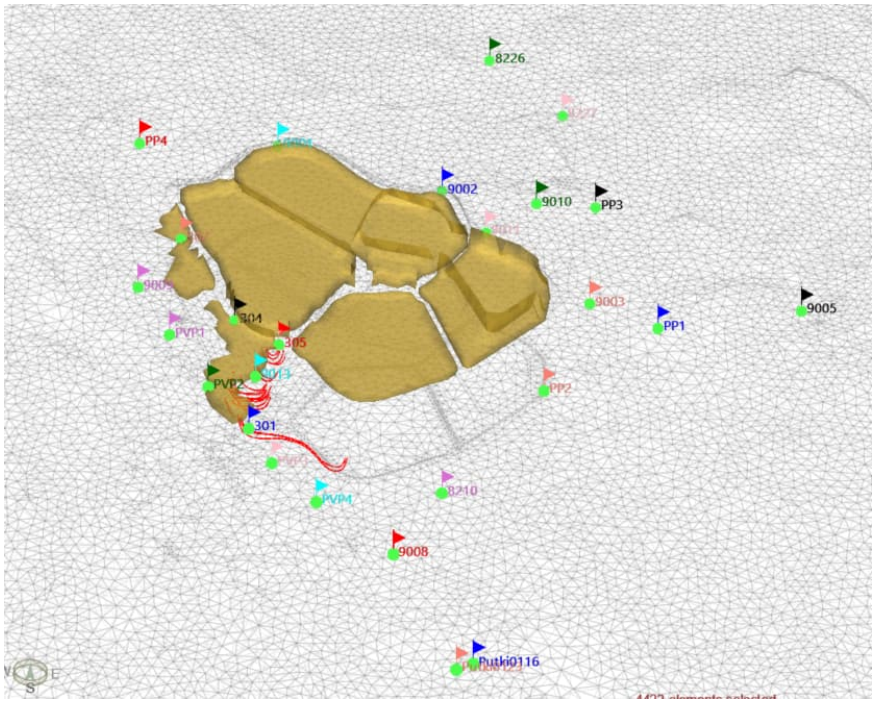
Kuva 4-15. Mallin laskema pohjavedenpinnan korkeus VE2b tilanteessa, jossa rikastushiekka-allas 2 on märkäläjityskäytössä a) koko mallinnusalueella ja b) rikastushiekka-altaan lähialueella. Pohjavesiputket on esitetty kuvassa b) janoina, joissa vihreä palkki kuvaa lasketun ja mitatun pohjaveden pinnankorkeuden eroa. Kun palkki on janan keskikohdan yläpuolella, mallin laskema pohjaveden pinnankorkeus on korkeampi kuin mitattu, ja kun palkki on keskipisteen alapuolella, mallin laskema pohjaveden pinnankorkeus on alempi kuin putkesta mitattu. Pohjaveden virtaussuunta on punaisilta alueilta kohti keltaisia, keltaisilta kohti vihreitä, vihreiltä kohti sinisiä ja sinisiltä kohti liiloja alueita.

copyright© AFRY Finland Oy

a)



b)



Kuva 4-16. Mallin laskemia a) rikastushiekka-altaalta ja b) vastapainealtaista pohjaveden virtauksen mukana lähtevien partikkeleiden kulkeutumisreittejä kuvattuna punaisilla viivoilla. Rikastushiekka-alue on korostettu keltaisella.

copyright© AFRY Finland Oy

4.6.5 Vaihtoehto VE3

Vaiheessa 5 mallinnettiin vaihtoehdon VE3 tilanne, jossa rakennetaan uusi rikastushiekka-alue nykyisen rikastushiekka-allasalueen pohjoispuolelle. Nykyinen rikastushiekka-allas (altaat 1 ja 2) suljetaan sulkemissuunnitelman mukaisesti sen saavutettua nykyisen ympäristöluvan mukaisen maksimikorkeuden +117 m mpy (N60). Pumppaus- ja väliallas jäävät nykyisen eli vaihtoehdon VE0 kaltaiseksi.

Sulkemissuunnitelman mukaan rikastushiekka-altaiden 1 ja 2 sulkemisrakenne on tiivis peitto, jossa bentoniittimatto on veden ja hapen kulkeutumista tehokkaasti estävä kerros. Peittorakenne ulotetaan myös padonreunalle. Nykyisen pumppausaltaan kohdalla patoa puretaan niin, että altaaseen ei sulkemisen jälkeen kerry vettä. Peittorakenteen läpi on sulkemissuunnitelmassa arvioitu suotautuvan noin 10 % vuotuisesta nettosadannasta eli noin 48 500 m^3/a. Tästä maaperään suotautuva osuus olisi noin 19 400 m^3/a.

Nykyisen rikastushiekka-allasalueen pohjoispuolelle rakennettavalle uudelle rikastushiekka-alueelle tehdään tiivis pohjarakenne.

VE3 tilanteen vaikutusten arvioimiseksi tehtiin simulaatio, jossa rikastushiekka-altaiden 1 ja 2 sekä niitä ympäröivien patojen kohdalla mallin ylimmän kerroksen vedenjohtavuudeksi asetettiin arvo $1 \cdot 10^{-9}$ m/s sekä pohjaveden muodostumisen määräksi 25 mm/a (3 % keskimääräisestä sadannasta). Altaiden alueelta poistettiin vakiopainereunaehto. Uuden rikastushiekka-altaan patoharjan korkeudeksi asetettiin +117 m ja rikastushiekan korkeudeksi +116 m (N60). Uuteen altaaseen asetettiin vakiopaine reunaehto tasolle +116 m (N60). Patojen vedenjohtavuudeksi asetettiin $3 \cdot 10^{-7}$ m/s ja patojen ulkopuolelle määritettiin suoto-oja 2 metriä maanpinnan alapuolelle. Altaan alaosa (kerros 3) asetettiin huonosti vettä läpäiseväksi ($K = 1 \cdot 10^{-9}$ m/s).

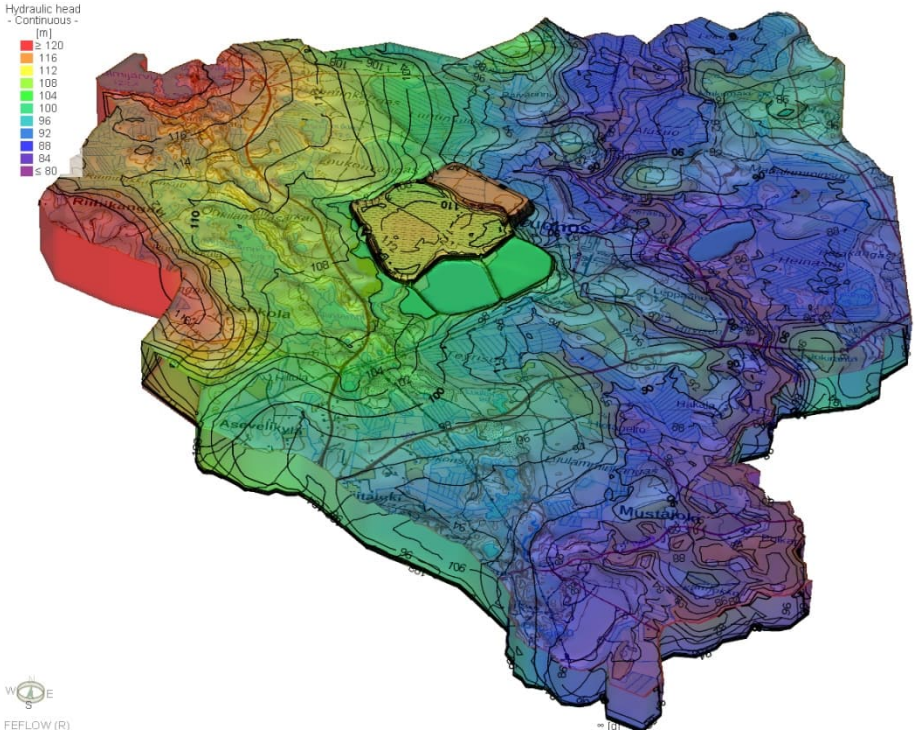
Kuvassa 4-17 on esitetty pohjaveden pinnankorkeus VE3 tilanteessa. Taustatietona on esitetty maastokartta. Pohjaveden virtaussuunnat ovat hyvin saman kaltaiset kuin muissakin vaihtoehdoissa. Onkilammensärkät-harjualueella pohjavesi virtaa pohjoisesta etelään ja kohti harjun reuna-alueita. Rikastushiekka-altaan kohdalla pohjaveden virtaussuunta on kohti etelää ja kaakkoa. Lähtökohtaisesti pohjaveden virtaussuunta ei ole rikastushiekka-altaalta aivan altaan reuna-aluetta lukuun ottamatta kohti länttä ja harjualuetta. Suljetun rikastushiekka-altaan kohdalla pohjavesipinta on tasolla +105…+112 m mpy (N2000). Uuden rikastushiekka-altaan kohdalla pohjaveden pinnankorkeus voi muuttua paikallisesti, mutta vaikutus ei ulotu laajemmalti altaan ympärille.

Kuvassa 4-18 on esitetty rikastushiekka-altaasta ja vastapainealtaista pohjaveden virtauksen mukana lähtevien partikkeleiden kulkeutumisreittejä punaisilla viivoilla.

copyright© AFRY Finland Oy

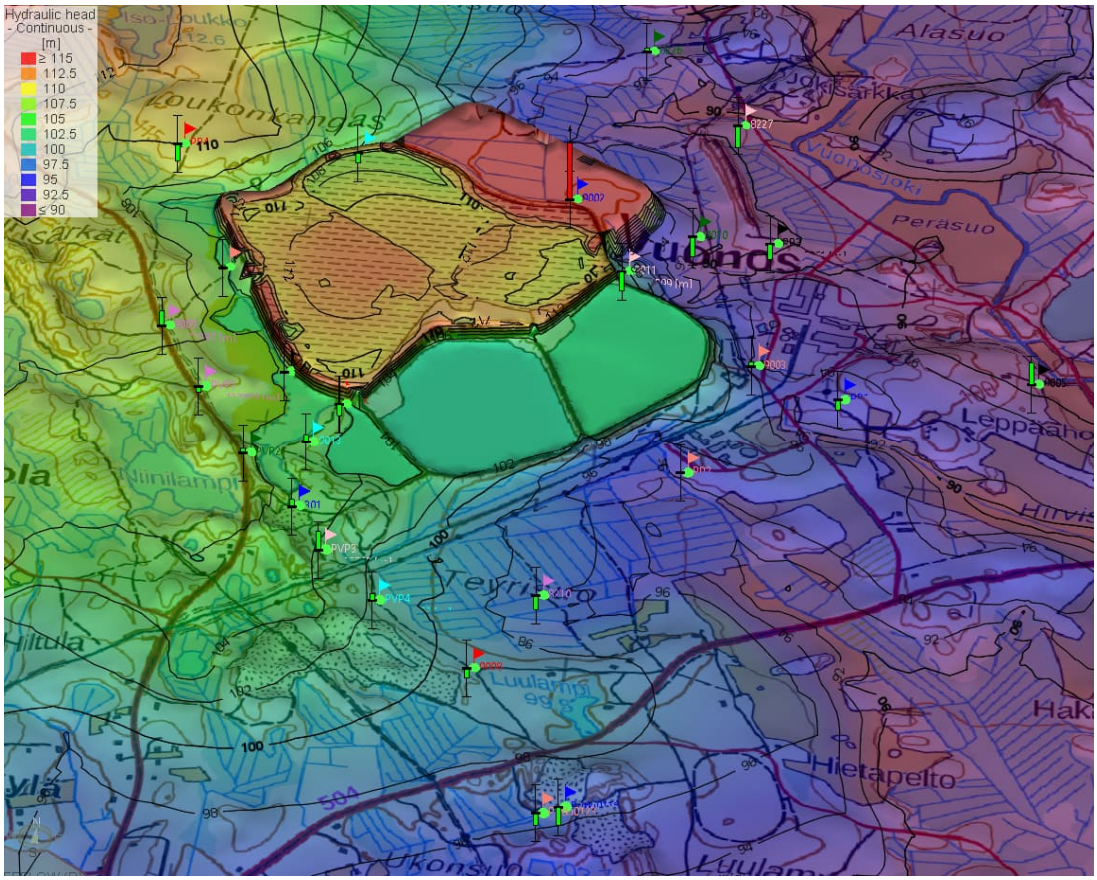
Kulkeutumisreittien osalta tilanne on hyvin saman kaltainen kuin vaihtoehdossa VE0 ja vuonna 2026. Rikastushiekka-altaasta partikkeleita päätyy altaan ympärysojaan ja altaan itäpuolelle. Länsipuolella vastapainealtaat rajoittavat ainakin jossakin määrin partikkeleiden kulkeutumista. Vastapainealtaista partikkeleita voi kuitenkin päätyä myös harjualueelle ja putken 301 kohdalle. Rikastushiekka-altaan alla kulkevilla ruhjeilla ei mallin mukaan ole vaikutusta partikkelien kulkeutumiseen. Suljetun rikastushiekka-altaan läpi suotautuvan veden määrä on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin muissa vaihtoehdoissa, joissa allasta ei ole suljettu. Lisäksi uudella altaalla on tiivis pohjarakenne, mikä vähentää myös allasalueelta ympäristöön suotautuvan veden määrää suhteessa muihin vaihtoehtoihin.

a)



copyright© AFRY Finland Oy

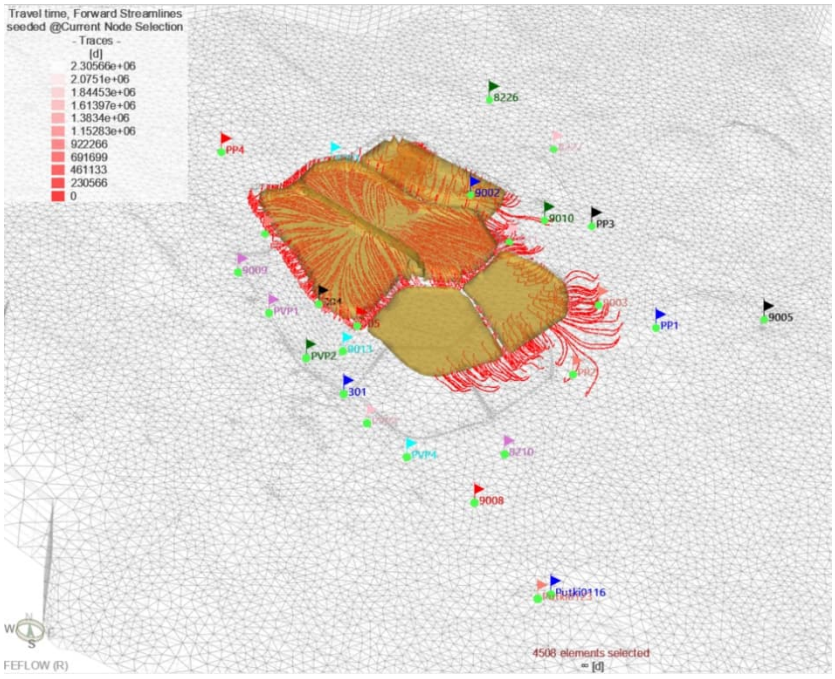
b)



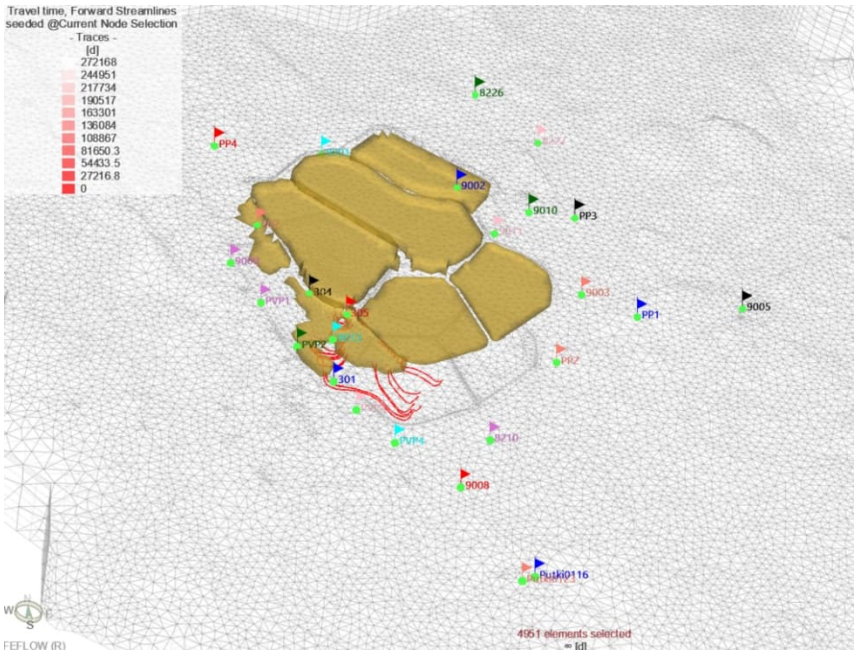
Kuva 4-17. Mallin laskema pohjaveden pinnankorkeus vuoden 2026 tilanteessa a) koko mallinnusalueella ja b) rikastushiekka-altaan lähialueella. Pohjavesiputket on esitetty kuvassa b) janoina, joissa vihreä palkki kuvaa lasketun ja mitatun pohjaveden pinnankorkeuden eroa. Kun palkki on janan keskikohdan yläpuolella, mallin laskema pohjaveden pinnankorkeus on korkeampi kuin mitattu, ja kun palkki on keskipisteen alapuolella, mallin laskema pohjaveden pinnankorkeus on alempi kuin putkesta mitattu. Pohjaveden virtaussuunta on punaisilta alueilta kohti keltaisia, keltaisilta kohti vihreitä, vihreiltä kohti sinisiä ja sinisiltä kohti liiloja alueita.

copyright© AFRY Finland Oy

a)



b)



Kuva 4-18. Mallin laskemia a) rikastushiekka-altaalta ja b) vastapainealtaista pohjaveden virtauksen mukana lähtevien partikkeleiden kulkeutumisreittejä kuvattuna punaisilla viivoilla. Rikastushiekka-alue on korostettu keltaisella.

copyright© AFRY Finland Oy

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Vuonoksen rikastushiekka-altaan läjityskapasiteetin lisäämisen vaihtoehtojen VE0, VE1, VE2a, VE2b ja VE3 (Taulukko 3-1 ja Kuva 3-2) vaikutuksia pohjavesiolosuhteisiin on arvioitu pohjavesimallinnuksen avulla. Vuonoksen rikastushiekka-alueen länsipuolella sijaitsee Onkilamminsärkkien vedenhankintaan soveltuva luokiteltu pohjavesialue luode-kaakkosuuntaisessa harjumuodostumassa. Harju (Onkilamminsärkät) on geologiselta luonteeltaan ympäristöön vettä purkava eli antikliininen. Rikastushiekka-altaan 1 ja Onkilammensärkät-harjumuodostuman välissä altaan padotus on nostanut pohjavesipintojen korkeutta altaan läntisen reunapadon tuntumassa, ja padon länsipuolelle on muodostunut luontaiset vesialtaat eli ns. vastapainealtaat.

Rikastushiekka-alue on turve- ja hieta- tai hiesukerrosten päällä, joiden alla on kantava moreeni. Rikastushiekka-altaan alla oleva turvekerros on tiivistynyt heikosti vettäläpäiseväksi. Rikastushiekka-allasaluetta ympäröi suotovesiojat, joissa olevien pumppaamoiden avulla suotovedet pumpataan takaisin allasvesikiertoon. Havaintojen perusteella näyttää siltä, että rikastushiekka-alueelta tapahtuu veden suotaantumista vanhojen patojen lävitse ja alitse. Altaan länsipuolella pohjaveden virtaus pysähtyy patojen vierialueelle ja suuntautuu etelään pitkin altaan sivustaa. Suotaantumisen merkit ovat selvästi nähtävissä länsireunan allaspadon viereen asennettujen havaintoputkien 302 ja 304 vesianalyysituloksissa. Kohonneita sulfaatin pitoisuuksia ja sähkönjohtavuusarvoja on havaittu vastapainealtaissa viime vuosina, ja myös pohjavesiputkessa 301 sähkönjohtokyvyssä ja sulfaatissa on havaittu nousujohteinen trendi. Kärrinheiton ja Onkilammensärkkien pohjavesialueilla olevissa putkissa PP4, 9008, 9009, PVP1, PVP2, PVP3 ja PVP4 ei ole havaittu kohonneita sulfaatin pitoisuuksia ja sähkönjohtavuuden arvoja.

Pohjavesimallinnuksen perusteella pohjaveden virtaussuunta Onkilammensärkät-harjualueella on pohjoisesta etelään ja kohti harjun reuna-alueita. Rikastushiekka-altaan alueelta pohjaveden yleinen virtaussuunta on kohti etelää ja kaakkoa. Lähtökohtaisesti pohjaveden virtaussuunta ei ole rikastushiekka-altaalta kohti länttä ja harjualuetta. Kun simuloidaan rikastushiekka-altaasta ja vastapainealtaista pohjaveden virtauksen mukana lähtevien partikkeleiden kulkeutumisreittejä, partikkeleita päätyy kaikissa vaihtoehdoissa altaan ympärysojaan ja altaan itäpuolelle. Länsipuolella vastapainealtaat rajoittavat ainakin jossakin määrin partikkeleiden kulkeutumista. Vastapainealtaista partikkeleita voi kuitenkin päätyä myös harjualueen reunalle, erityisesti pohjavesiputken 301 kohdalle ja sieltä kohti allasalueen eteläpuolella olevaa Teyrisuota. Pohjavesimallin perusteella partikkelit eivät kulkeudu putken 301

copyright© AFRY Finland Oy

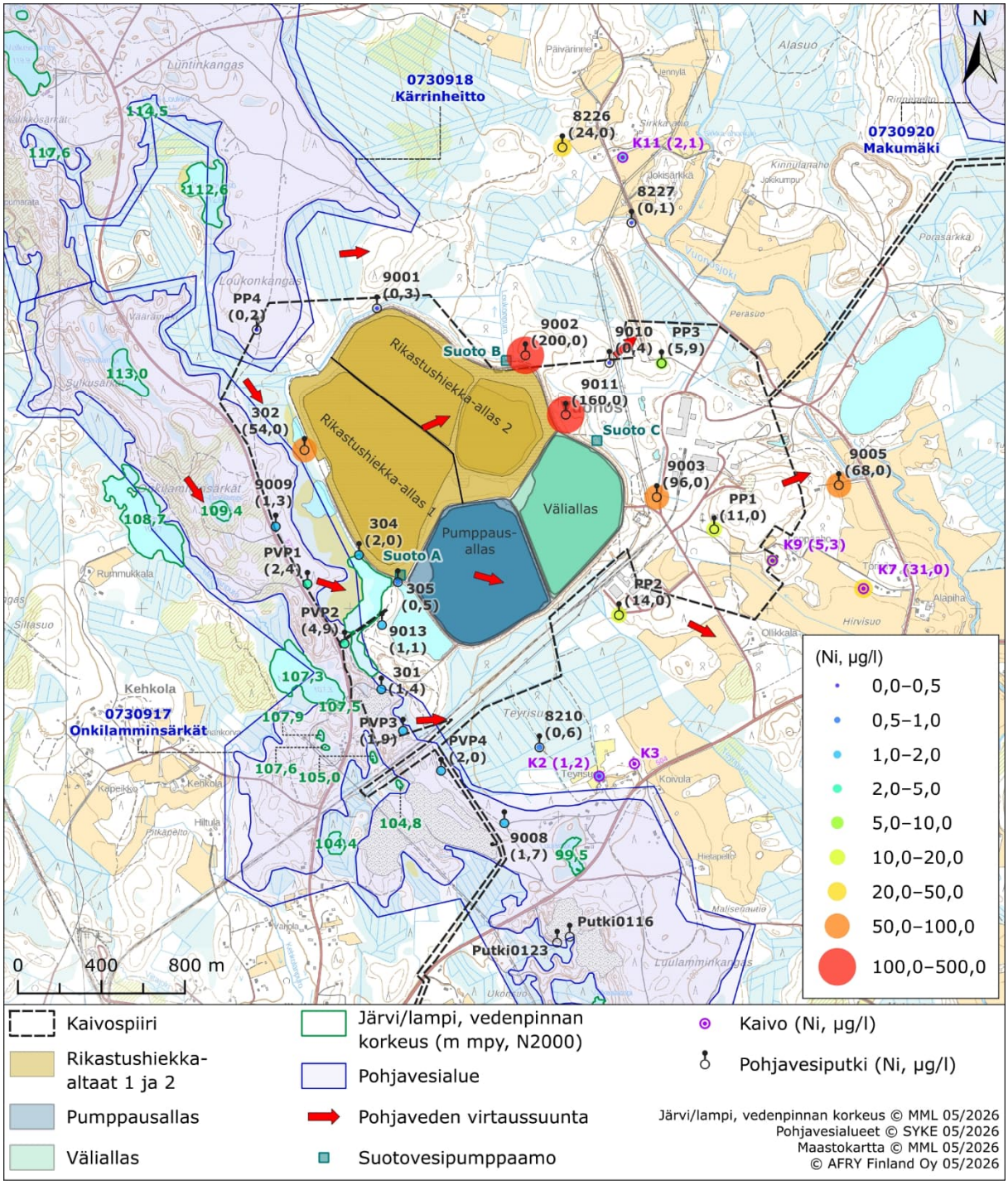
alueelta pohjaveden virtauksen mukana pitkin harjua etelään, vaan virtaussuunta on kaakkoon kohti suoaluetta. Rikastushiekka-altaan alla kulkevilla ruhjeilla ei mallin mukaan ole vaikutusta partikkelien kulkeutumiseen. Pohjavesimallin tulokset sopivat hyvin yhteen harjualueen pohjavesiputkien vesinäytteiden analyysitulosten kanssa (Kuva 5-1 ja Kuva 5-2). Pohjavesinäytteissä ei ole havaittu kohonneita haitta-ainepitoisuuksia harjualueella putken 301 eteläpuolella.

Vaikka partikkelien kulkeutumisreiteissä eri vaihtoehtojen välillä ei ole suurta eroa, läjityskapasiteetin lisäämisen vaihtoehtoilla on kuitenkin vaikutusta altaalta pois suotautuvan veden määrään. Vaihtoehdossa VE1, jossa allasta korotetaan, altaan pohjan ja patojen läpi suotautuvan veden määrä voi lisääntyä verrattuna vaihtoehtoon VE0, koska vedenpinnan korkeus altaassa nousee ja pohjaveden pinnankorkeuden ero altaan kohdalla ja altaan ympärillä kasvaa, mikä lisää veden suotautumista altaasta ympäristöön. Tässä vaihtoehdossa myös Onkilammensärkät-harjualueelle päätyvän suotoveden määrä voi lisääntyä verrattuna VE0 tilanteeseen.

Vaihtoehdoissa VE2a ja VE2b altaan pohjan ja patojen läpi suotautuvan veden määrä vähenee ei märkäläjityskäytössä olevan altaan kohdalla. Tilanne muistuttaa tältä osin nykytilannetta, jossa altaita täytetään vuorotellen. Vaihtoehdot VE2a ja VE2b eroavat siten, että vaihtoehdossa VE2a uudella altaalla on tiivis pohjarakenne ja suotovedet saadaan uuden altaan alueelta paremmin talteen kuin nykyiseltä altaalta, vaikka altaan kokonaispinta-ala kasvaa.

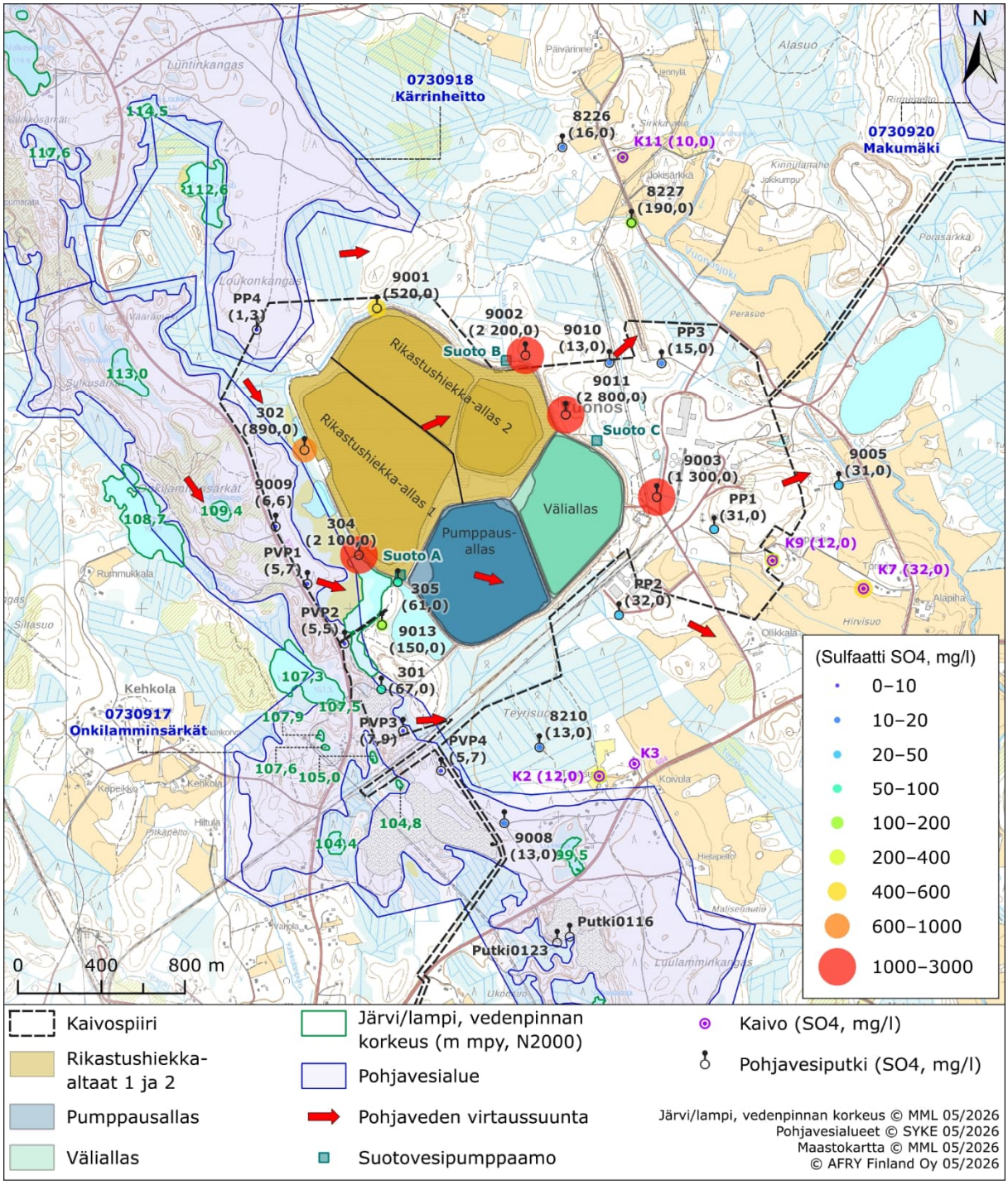
Vaihtoehdossa VE3, jossa nykyiset rikastushiekka-altaat suljetaan ja uuden altaan pohjalla on tiivisrakenne, altaista pohjaveteen suotautuvan veden määrä vähenee nykyisestä.

copyright© AFRY Finland Oy



Kuva 5-1. Pohjavedentarkkailupisteissä mitatut nikkelipitoisuudet vuosina 2025–2026.

copyright© AFRY Finland Oy



Kuva 5-2. Pohjaveden tarkkailupisteissä mitatut sulfaattipitoisuudet vuosina 2025–2026.

copyright© AFRY Finland Oy

6 Epävarmuudet

Numeerisessa pohjavesimallinnuksessa merkittävä epävarmuuden lähde tuloksissa on usein kallio- ja maaperän hydraulinen johtavuus, mikä on vaikea mitata tarkasti ja kattavasti sekä yleistää koko mallinnettavalle maaperä- ja kalliotilavuudelle. Vuonoksen pohjavesimallissa maaperän hydraulisen johtavuuden arvojen merkitys on suurempi kuin kallion hydraulisen johtavuuden arvojen, koska rikastushiekka-allas sijaitsee paksuhkojen maakerrosten päällä eikä alueella ole louhintaa. Vuonoksen pohjavesimallissa kallioperän hydraulinen johtavuus perustuu Mondon Vuonoksen koillispuolella olevien Horsmanahon, Karnukan ja Vasarakankaan louhosten pohjavesimalleissa käytettyihin kallioperän vedenjohtavuuden arvoihin. Näissä malleissa kallioperän vedenjohtavuus perustuu olemassa olevien avolouhosten kuivatusvesimääriin. Vuonoksen pohjavesimallissa maaperän hydraulisen johtavuuden arvot perustuvat slug-testeihin, tyypillisiin eri maalajien vedenjohtavuuden arvoihin sekä mallin kalibrointiin.

Sadannasta pohjavedeksi imeytyvän veden määrää on myös vaikea mitata tai arvioida tarkasti. Pohjavesimallissa käytetty pohjaveden muodostumisen määrä perustuu Ilmatieteenlaitoksen Viuruniemen sääasemalla mitattuun sadannan määrään ja eri maalajeille tyypillisiin pohjaveden muodostumisen määriin sekä mallin kalibrointiin.

Mallin luotettavuutta on mahdollista parantaa tekemällä maaperän vedenjohtavuuden mittauksia ja pohjaveden pinnankorkeuden seurannalla. Pohjaveden pinnankorkeuden ja laadun tarkkailua varten on tämän työn yhteydessä asennettu uusia pohjaveden tarkkailuputkia Onkilammensärkät-harjualueelle.

7 Lähteet

AFRY Finland Oy 2025a. Vuonoksen slug-mittaukset.

AFRY Finland Oy 2025b. Karnukan ja Pehmytkiven louhosten numeerinen pohjavesimallinnus.

AFRY Finland Oy 2026a. Mondo Minerals Oy, Vuonos Rikastushiekka-altaan alkupadon moreenin laboratoriotutkimukset. Yhteenvetoraportti. 28.5.2026.

AFRY Finland Oy 2026b. Vasarakankaan louhosten numeerinen pohjavesimallinnus

Airaksinen, J. 1978. Maa- ja pohjavesihydrologia. Pohjoinen 1978. ISBN 951-9099-73-5. 248 s.

copyright© AFRY Finland Oy

GTK Hakku-palvelu 2025. https://hakku.gtk.fi/fi/locations/search, haettu rakennetulkinnat ja maapeitteenpaksuus

GTK Maankamara 2026. https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/index.html

Huhma, A. 1975. Outokummun, Polvijärven ja Sivakkavaaran kartta-alueiden kallioperä. Summary: Precambrian rocks of the Outokumpu, Polvijärvi and Sivakkavaara mapsheet areas. Suonien geologinen kartta,1:100000. Kallioperäkartan selitykset, 4222 Outokumpu, 4224 Polvijärvi, 43/1 Sivakkavaara. 151 pages, 54 figures, 8 tables.

Ilmatieteenlaitos 2026. Avoimen datan palvelu. Haettu sadanta, sääasema Viuruniemi 2004–2025.

Kesäniemi 2009. Rahkaturvemaiden hydrauliset ominaisuudet. Teknillinen korkeakoulu, Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos, Lisensiaatintyö.

Lassila ja Viitanen 2003. Mondo Minerals Oy Vuonoksen tehdas, Tehdasalueen maaperä- ja pohjavesiolosuhteet. Jaakko Pöyry Infra PSV-Maa ja Vesi, raportti P01662.

Lehtinen, M., Nurmi, P. & Rämö, T. (toim.) 1998. Suomen kallioperä: 3000 vuosimiljoonaa. Helsinki, Suomen Geologinen Seura ry., 375 s.

Maanmittauslaitos 2026. Avoimen datan palvelu, maanpinnan topografia, taustakartta-aineistoa.

Pohjois-Karjalan ELY-keskus 2022. Pohjois-Karjalan vesienhoidon toimenpideohjelma vuosille 2022–2027. 212 s.

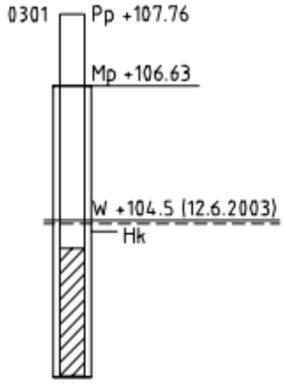
Pöyry Finland Oy 2011. Mondo Minerals B.V. Branch Finland, Vuonoksen rikastamo ja talkkitehdas, Ympäristö- ja vesitalouslupahakemus, 67090059.BGE3, 26.04.2011.

Räisänen, M.L. ja Korhonen K. 2015. Vuonoksen talkkitehtaan rikastushiekka-altaan ja rikastamon ympäristön pohja- ja pintavesien kemiallinen nykytila vuonna 2004. ARKISTORAPORTTI 58/2015. Geologian tutkimuskeskus.

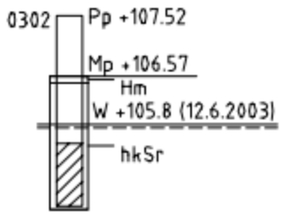
SYKE (Suomen ympäristökeskus ja ELY-keskukset) 2024. [https://www.syke.fi/fi-FI/Avoin_tieto/Ymparistotietojarjestelmat] Pohjavesitietojärjestelmä POVET / 4/2024

SYKE (Suomen ympäristökeskus) 2026. Ympäristöhallinnon avoimet ympäristötietojärjestelmät. Haettu pohjavesialueet ja 3. jakovaiheen valuma-alueet, pohjavesiputkitiedot (Hertta), pohjavesien tila.

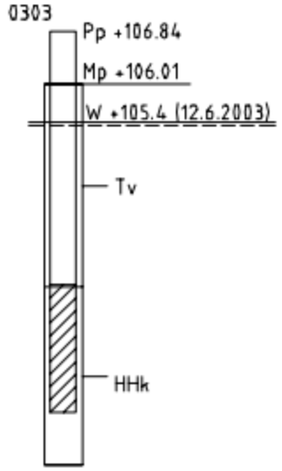
copyright© AFRY Finland Oy



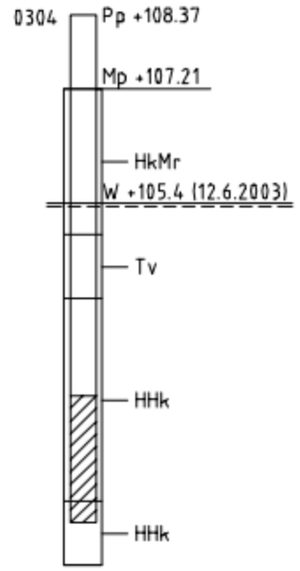
9M01662
x 6961194.0
y 4452061.0



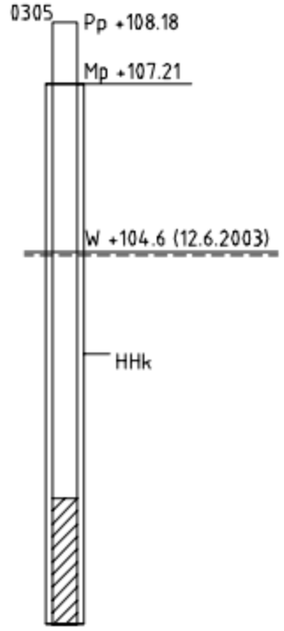
9M01662
x 6962355.0
y 4451747.0



9M01662
x 6962109.0
y 4451848.0



9M01662
x 6961842.0
y 4451984.0



9M01662
x 6961703.0
y 4452164.0

Kaup.osa	Korttel	Tontti	Alue
Rak.toimenpide			
Tilaaja MONDO MINERALS OY VUONOS			
JAAKKO PÖYRY INFRA PSV-Maa ja Vesi Sammonkatu 16, PL20, 90571 OULU puh. 08-8869 222, fax. 08-8869 250 email: etunimi.sukunimi@poyry.fi			
Pvm	Tiedosto PV-PUTKET	Piirt.	
Suunn.	Tark.		

Viranomaisen arkistointimerkintöjä	
Piirustuslaji	
Työn nimi RIKASTUSHIEKKA-ALUE	
Piirustuksen sisältö POHJAVESIPUTKET 0301-0305	Mittakaava 1:100
Työnumero P01662	Piir.n:o

Pohjavesiputkikortti

Tilaaja:	Mondo Minerals
Kohde:	Vuonos
Kunta:	Outokumpu
Asennus pvm:	18.12.2025
Asentaja:	Terho Tahvanainen
Puhelin nro:	0447272398
Asennuskone:	GM100GT
Putken tunnus:	PVP1
Koordinaattijärjestelmä:	ETRS-TM35FIN
Korkeusjärjestelmä:	N2000
X: 6960119.150	**Y:** 604796.214
Putken yläpää:	+ 113,10
Maanpinta:	+ 112,00
Putken alapää:	+ 103,80
Suojap. materiaali (SP):	Fe (sinkitty)
Putkimateriaali:	PEH **Ø:** 60 mm
	(sisä) **Ø:** 52 mm
Suodatinmalli:	Rako 0,3mm

HAVAINNOT

Pvm.	Putken yläpäästä [m] Vesipinta	Pohja	Vesipinta [W]	Mittaaja
18.12.2025	5,40	9,30	+ 107,70	T.T
Lukitus	Ei lukkoa		**W,max =**	+ 107,70
			W,min =	+ 107,70

PUTKEN KUVA/SIJAINTI



Putken osa/koodi		[m]	Maalaji	Syvyys [m]		
Jatkoputki	JP	5,3	srHk	0	-	5,0
Suodatin+Sukka	S+S	4,0	HkMr	5,0	-	12,0
					-	
					-	
					-	
					-	
					-	
					-	
					-	
					-	
Kokonaispituus:		**9,3**			-	

Putken antoisuus

Putken vesitilavuus [l]

8,28

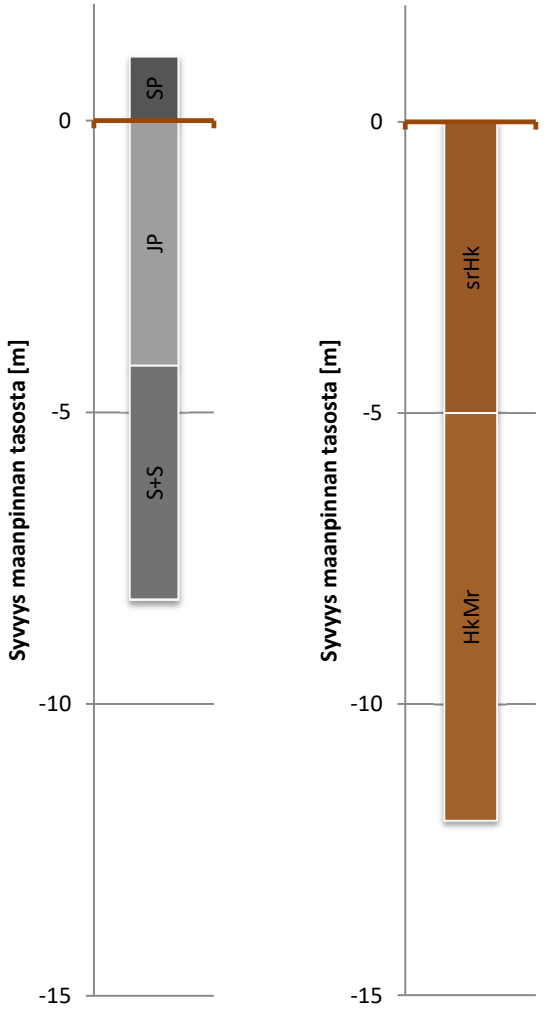
Veden väri

NO-tapa, suositus

MUUT HUOMIOT

Suodatinsukka siiviläosuudella

PUTKEN RAKENNE JA MAALAJIKERROKSET



Pohjavesiputkikortti

Tilaaja: Mondo Minerals

Kohde:	Vuonos
Kiinteistötunnus:	309-406-93-10
Kunta:	Outokumpu
Osoite:	
Asennus pvm:	18.12.2025
Asentaja:	Terho Tahvanainen

PUTKEN TIEDOT

Putken tunnus:	PVP1		
Koordinaattijärjestelmä:	ETRS-TM35FIN		
Korkeusjärjestelmä:	N2000		
X: 6960119.150	**Y:**	604796.214	
Putken yläpää:	+ 113,10		
Maanpinta:	+ 112,00		
Putken alapää:	+ 103,80		
Suojap. materiaali (SP):	Fe (sinkitty)		
Putkimateriaali:	PEH	**Ø:**	60 mm
Suodatinmalli:	Rako 0,3mm		

Putken osa/koodi		**[m]**	**Maalaji**	**Syvyys [m]**		
Jatkoputki	JP	5,3	srHk	0	-	5,0
Suodatin+Sukka	S+S	4,0	HkMr	5,0	-	12,0
				12,0	-	
					-	
					-	
					-	
Kokonaispituus:		**9,3**			-	

NÄYTTEENOTON PERUSTIEDOT

Putken antoisuus:	
Putken vesitilavuus [l]:	8,28 l
Veden väri:	
Suositeltava näytteenottotapa:	

HAVAINNOT

Pvm.	**Putken yläpäästä [m]** Vesipinta	Pohja	**Vesipinta [W]**	**Mittaaja/ Näyte[N]**
18.12.2025	5,40	9,30	**+ 107,70**	T.T

Pohjavesiputkikortti

Tilaaja:	Mondo Minerals
Kohde:	Vuonos
Kunta:	Outokumpu
Asennus pvm:	17.12.2025
Asentaja:	Terho Tahvanainen
Puhelin nro:	0447272398
Asennuskone:	GM100GT
Putken tunnus:	PVP2
Koordinaattijärjestelmä:	ETRS-TM35FIN
Korkeusjärjestelmä:	N2000
X: 6959832.595	**Y:** 604974.217
Putken yläpää:	+ 109,46
Maanpinta:	+ 108,30
Putken alapää:	+ 100,96
Suojap. materiaali (SP):	Fe (sinkitty)
Putkimateriaali:	PEH **Ø:** 60 mm
	(sisä) **Ø:** 52 mm
Suodatinmalli:	Rako 0,3mm

Putken osa/koodi		**[m]**	**Maalaji**	**Syvyys [m]**		
Jatkoputki	JP	4,5	srHk	0	-	3,0
Suodatin+Sukka	S+S	4,0	HkMr	3,0	-	10,0
					-	
					-	
					-	
					-	
					-	
					-	
					-	
					-	
Kokonaispituus:		**8,5**			-	

Putken antoisuus

Putken vesitilavuus [l]

10,40

Veden väri

NO-tapa, suositus

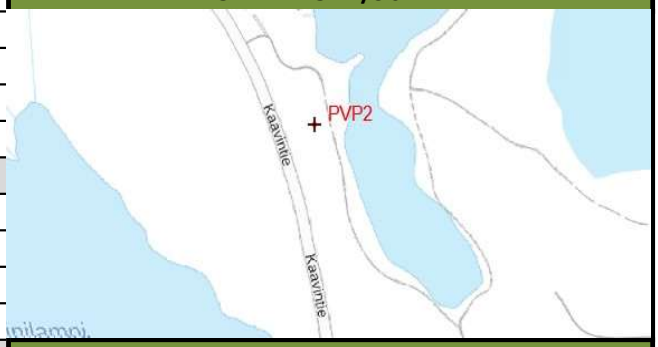
MUUT HUOMIOT

Suodatinsukka
siiviläosuus

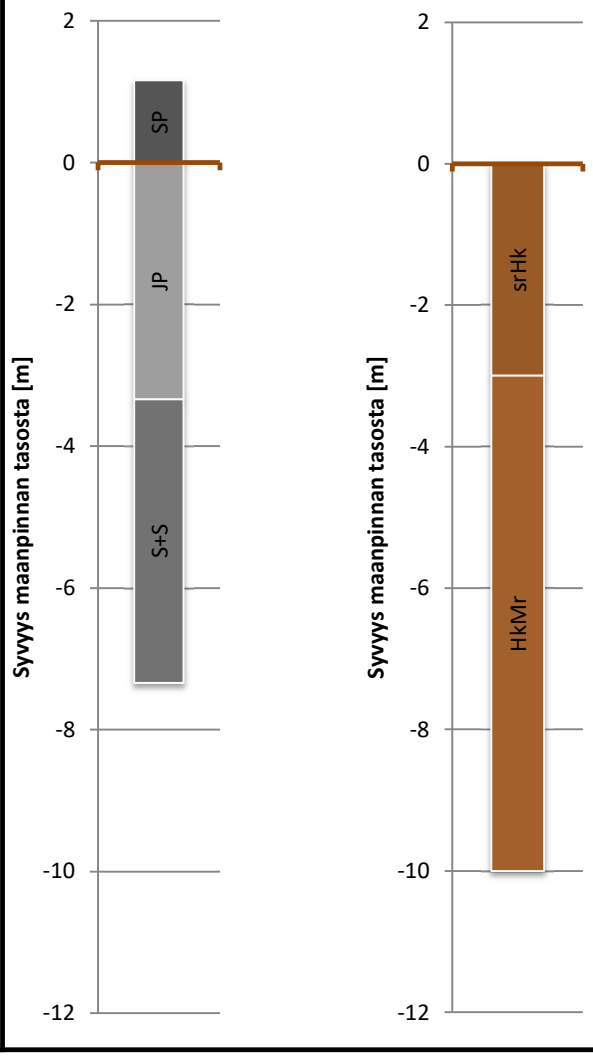
HAVAINNOT

Pvm.	**Putken yläpäästä [m]** Vesipinta	Pohja	**Vesipinta [W]**	**Mittaaja**
17.12.2025	3,60	8,50	**+ 105,86**	T.T
Lukitus	ei lukkoa	**W,max =**	**+ 105,86**	
		W,min =	**+ 105,86**	

PUTKEN KUVA/SIJAINTI



PUTKEN RAKENNE JA MAALAJIKERROKSET



Pohjavesiputkikortti

Tilaaja: Mondo Minerals

Kohde:	Vuonos
Kiinteistötunnus:	309-406-165-1
Kunta:	Outokumpu
Osoite:	
Asennus pvm:	17.12.2025
Asentaja:	Terho Tahvanainen

PUTKEN TIEDOT

Putken tunnus:	PVP2		
Koordinaattijärjestelmä:	ETRS-TM35FIN		
Korkeusjärjestelmä:	N2000		
X: 6959832.595	**Y:**	604974.217	
Putken yläpää:	+ 109,46		
Maanpinta:	+ 108,30		
Putken alapää:	+ 100,96		
Suojap. materiaali (SP):	Fe (sinkitty)		
Putkimateriaali:	PEH	**Ø:**	60 mm
Suodatinmalli:	Rako 0,3mm		

Putken osa/koodi		**[m]**	**Maalaji**	**Syvyys [m]**		
Jatkoputki	JP	4,5	srHk	0	-	3,0
Suodatin+Sukka	S+S	4,0	HkMr	3,0	-	10,0
				10,0	-	
					-	
					-	
					-	
Kokonaispituus:		**8,5**			-	

NÄYTTEENOTON PERUSTIEDOT

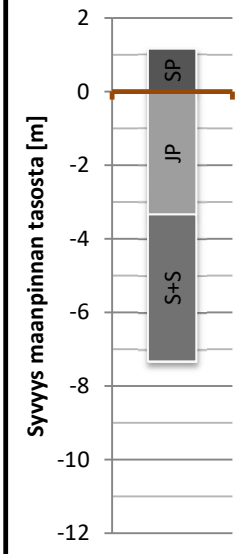
Putken antoisuus:	
Putken vesitilavuus [l]:	10,40 l
Veden väri:	
Suositeltava näytteenottotapa:	

HAVAINNOT

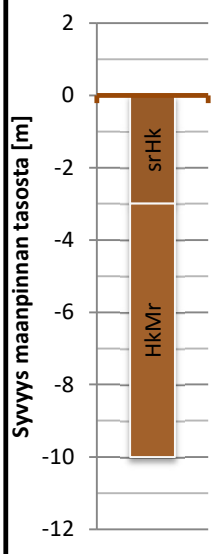
Pvm.	**Putken yläpäästä [m]** Vesipinta	Pohja	**Vesipinta [W]**	**Mittaaja/ Näyte[N]**
17.12.2025	3,60	8,50	**+ 105,86**	T.T

Lukitus:	ei lukkoa	**W,max =**	**+ 105,86**	
		W,min =	**+ 105,86**	

PUTKEN RAKENNE



MAAPERÄTIEDOT



PISTEEN SIJAINTI KARTALLA

Pohjavesiputkikortti

Tilaaja:	Mondo Minerals
Kohde:	Vuonos
Kunta:	Outokumpu
Asennus pvm:	16.12.2025
Asentaja:	Terho Tahvanainen
Puhelin nro:	0447272398
Asennuskone:	GM100GT
Putken tunnus:	PVP3
Koordinaattijärjestelmä:	ETRS-TM35FIN
Korkeusjärjestelmä:	N2000
X: 6959415.801	**Y:** 605254.275
Putken yläpää:	+ 108,34
Maanpinta:	+ 107,26
Putken alapää:	+ 97,34
Suojap. materiaali (SP):	Fe (sinkitty)
Putkimateriaali:	PEH **Ø:** 60 mm
	(sisä) **Ø:** 52 mm
Suodatinmalli:	Rako 0,3mm

HAVAINNOT

Pvm.	Putken yläpäästä [m] Vesipinta	Pohja	Vesipinta [W]	Mittaaja
16.12.2025	6,10	11,00	**+ 102,24**	T.T

Lukitus	ei lukkoa	**W,max =**	**+ 102,24**
		W,min =	**+ 102,24**

PUTKEN KUVA/SIJAINTI



Putken osa/koodi		[m]	Maalaji	Syvyys [m]
Jatkoputki	JP	7,0	srHk	0 - 3,0
Suodatin+Sukka	S+S	4,0	HkMr	3,0 - 6,0
			Hk	6,0 - 13,0
Kokonaispituus:		**11,0**		

Putken antoisuus

Putken vesitilavuus [l]

10,40

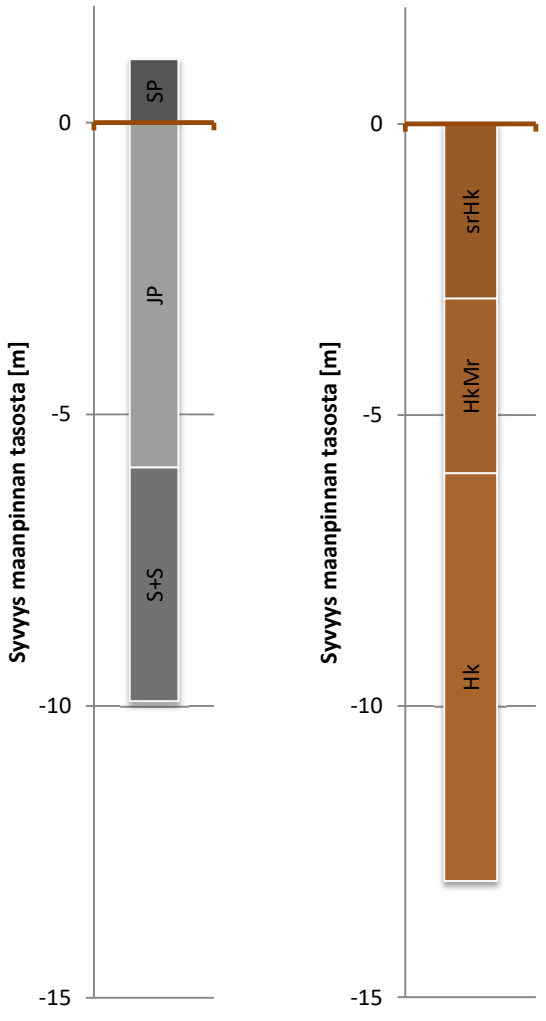
Veden väri

NO-tapa, suositus

MUUT HUOMIOT

Suodatinsukka siiviläosuudella

PUTKEN RAKENNE JA MAALAJIKERROKSET



Pohjavesiputkikortti

Tilaaja: Mondo Minerals

Kohde:	Vuonos
Kiinteistötunnus:	309-406-165-1
Kunta:	Outokumpu
Osoite:	
Asennus pvm:	16.12.2025
Asentaja:	Terho Tahvanainen

PUTKEN TIEDOT

Putken tunnus:	PVP3		
Koordinaattijärjestelmä:	ETRS-TM35FIN		
Korkeusjärjestelmä:	N2000		
X: 6959415.801	**Y:**	605254.275	
Putken yläpää:	+ 108,34		
Maanpinta:	+ 107,26		
Putken alapää:	+ 97,34		
Suojap. materiaali (SP):	Fe (sinkitty)		
Putkimateriaali:	PEH	**Ø:**	60 mm
Suodatinmalli:	Rako 0,3mm		

Putken osa/koodi		**[m]**	**Maalaji**	**Syvyys [m]**		
Jatkoputki	JP	7,0	srHk	0	-	3,0
Suodatin+Sukka	S+S	4,0	HkMr	3,0	-	6,0
			Hk	6,0	-	13,0
				13,0	-	
					-	
					-	
Kokonaispituus:		**11,0**			-	

NÄYTTEENOTON PERUSTIEDOT

Putken antoisuus:	
Putken vesitilavuus [l]:	10,40 l
Veden väri:	
Suositeltava näytteenottotapa:	

HAVAINNOT

Pvm.	**Putken yläpäästä [m]** Vesipinta	Pohja	**Vesipinta [W]**	**Mittaaja/ Näyte[N]**
16.12.2025	6,10	11,00	**+ 102,24**	T.T

Pohjavesiputkikortti

Tilaaja:	Mondo Minerals
Kohde:	Vuonos
Kunta:	Outokumpu
Asennus pvm:	15.12.2025
Asentaja:	Terho Tahvanainen
Puhelin nro:	0447272398
Asennuskone:	GM100GT
Putken tunnus:	PVP4
Koordinaattijärjestelmä:	ETRS-TM35FIN
Korkeusjärjestelmä:	N2000
X: 6959225.253	**Y:** 605435.796
Putken yläpää:	+ 104,63
Maanpinta:	+ 103,60
Putken alapää:	+ 93,63
Suojap. materiaali (SP):	Fe (sinkitty)
Putkimateriaali:	PEH **Ø:** 60 mm
	(sisä) **Ø:** 52 mm
Suodatinmalli:	Rako 0,3mm

Putken osa/koodi		**[m]**
Jatkoputki	JP	5,0
Suodatin+Sukka	S+S	6,0
Kokonaispituus:		**11,0**

Maalaji	**Syvyys [m]**		
srHk	0	-	2,0
HkMr	2,0	-	5,0
Hk	5,0	-	13,0

Putken antoisuus

Putken vesitilavuus [l]

15,71

Veden väri

NO-tapa, suositus

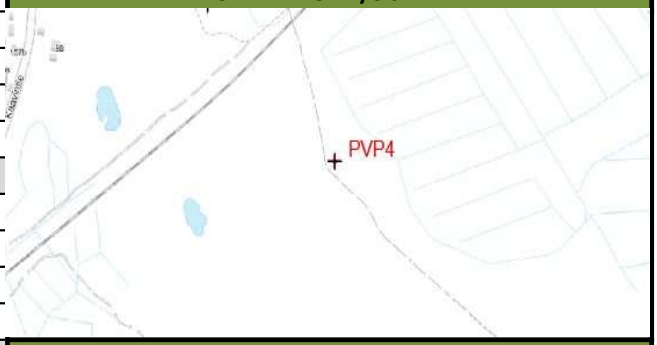
MUUT HUOMIOT

Suodatinsukka siiviläosuudella

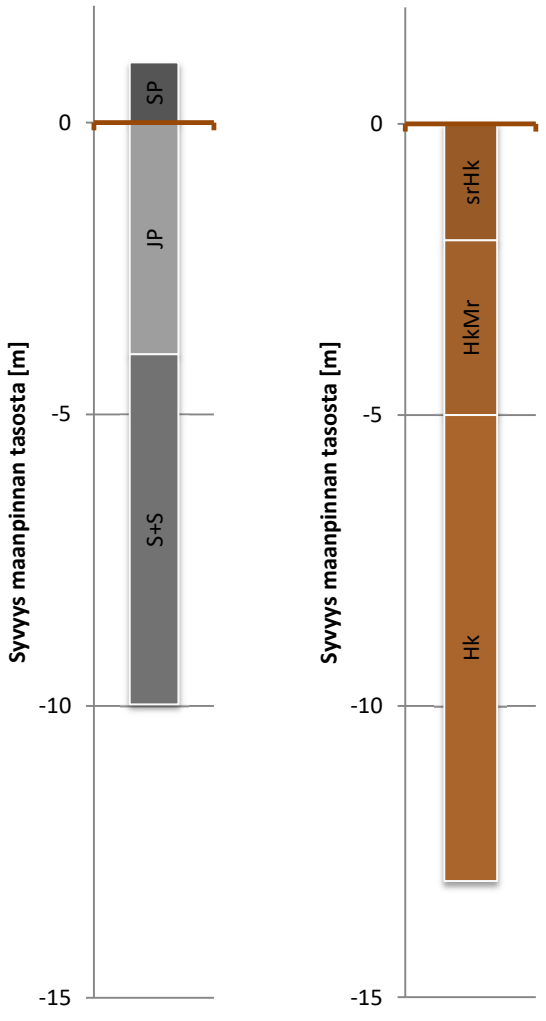
HAVAINNOT

Pvm.	**Putken yläpäästä [m]** Vesipinta	Pohja	**Vesipinta [W]**	**Mittaaja**
15.12.2025	3,60	11,00	**+ 101,03**	T.T
Lukitus	ei lukkoa	**W,max =**	**+ 101,03**	
		W,min =	**+ 101,03**	

PUTKEN KUVA/SIJAINTI



PUTKEN RAKENNE JA MAALAJIKERROKSET



Pohjavesiputkikortti

Tilaaja: Mondo Minerals

Kohde:	Vuonos
Kiinteistötunnus:	309-406-114-19
Kunta:	Outokumpu
Osoite:	
Asennus pvm:	15.12.2025
Asentaja:	Terho Tahvanainen

PUTKEN TIEDOT

Putken tunnus:	PVP4		
Koordinaattijärjestelmä:	ETRS-TM35FIN		
Korkeusjärjestelmä:	N2000		
X: 6959225.253	**Y:**	605435.796	
Putken yläpää:	+ 104,63		
Maanpinta:	+ 103,60		
Putken alapää:	+ 93,63		
Suojap. materiaali (SP):	Fe (sinkitty)		
Putkimateriaali:	PEH	**Ø:**	60 mm
Suodatinmalli:	Rako 0,3mm		

Putken osa/koodi		[m]	Maalaji	Syvyys [m]		
Jatkoputki	JP	5,0	srHk	0	-	2,0
Suodatin+Sukka	S+S	6,0	HkMr	2,0	-	5,0
			Hk	5,0	-	13,0
				13,0	-	
					-	
					-	
Kokonaispituus:		**11,0**			-	

NÄYTTEENOTON PERUSTIEDOT

Putken antoisuus:	
Putken vesitilavuus [l]:	15,71 l
Veden väri:	
Suositeltava näytteenottotapa:	

HAVAINNOT

Pvm.	Putken yläpäästä [m] Vesipinta	Pohja	Vesipinta [W]	Mittaaja/ Näyte[N]
15.12.2025	3,60	11,00	**+ 101,03**	T.T



Asiakas: Elementis Minerals B.V. Branch Finland

Projekti: Elementis Vuonos slug-mittaukset

Projektinumero: 101028111-003

Raportti

Yhteyshenkilö
Eveliina Tammisto
Puhelin
+358505270804
Sähköposti
eveliina.tammisto@afry.com

Pvm.
03/11/2025
Projektiviite
101028111-003

Asiakas
Elementis Minerals B.V. Branch Finland

Vuonoksen slug-mittaukset

Sisältö

1 Tausta 3

2 Pohjavesiputket 4

3 Mittaustulosten tulkinta....5

4 Slug-mittaus ja -tulokset....8

4.1 Mittaukset....8

4.2 Tulokset 9

5 Yhteenveto....11

Lähdeviitteet....12

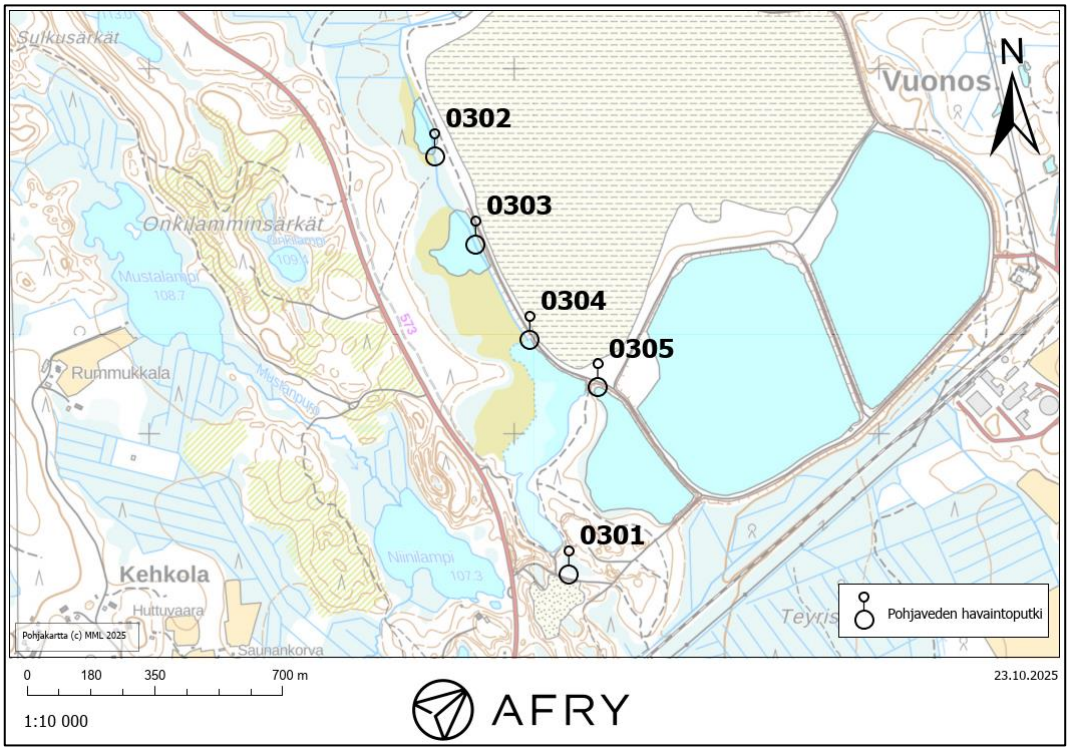
Liitteet 13

copyright © AFRY

1 Tausta

Vedenjohtavuustutkimukset tehtiin Elementis Minerals B.V. Branch Finland Oy:n toimeksiannosta 25.-26.8.2025. Tutkimusten tavoitteena oli selvittää slug-mittausten avulla maaperän vedenjohtavuusominaisuuksia Vuonoksen tehdasalueella. Tutkimukset tehtiin neljään pohjavesiputkeen tehdasalueen rikastushiekka-altaiden läheisyydessä. Putkien sijainnit on esitetty kuvassa 1-1.

Vedenjohtavuusmittaukset tehtiin joko kasvattamalla (slug-in, kaatokoe) tai pienentämällä (slug-out) vesipinnan korkeutta pohjavesiputkissa. Vesipinnan palautumista seurattiin mittaamalla hydrostaattista painetta putkessa. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 4-1 ja raportin liitteissä.



Kuva 1-1. Vuonoksen alueen havaintoputket. Slug-mittaukset tehtiin putkiin 0301, 0302, 0304 ja 0305.

copyright © AFRY

2 Pohjavesiputket

Vedenjohtavuusmittaukset tehtiin neljään pohjavesiputkeen, jotka sijaitsivat Vuonoksen tehdasalueen rikastushiekka-altaiden läheisyydessä. Mittauksia tehtiin putkiin 0301, 0302, 0304 ja 0305. Mittauksia ei tehty havaintoputkeen 0303, koska putkea ei löytynyt. Havaintoputket on asennettu Jaakko Pöyry Infra PSV-Maa ja Vesi Oy:n toimesta. Pohjavesiputket on esitetty kuvissa 2-1, 2-2, 2-3 ja 2-4.

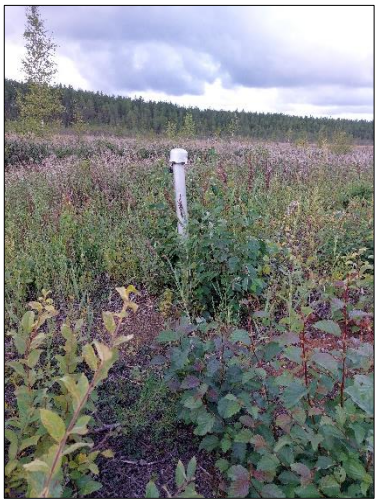
Tarkemmat tiedot on esitetty liitteenä olevissa putkikorteissa.



Kuva 2-1. Havaintoputki 0301.



Kuva 2-2. Havaintoputki 0302.



Kuva 2-3. Havaintoputki 0304.



Kuva 2-4. Havaintoputki 0305.

copyright © AFRY

3 Mittaustulosten tulkinta

Slug-mittauksessa saatujen tulosten tulkintaa varten on olemassa useita laskentamalleja. Tässä raportissa käsiteltävien slug-mittausten tulkinta perustuu Bouwer & Rice -menetelmään (Bouwer ja Rice 1976), jonka avulla voidaan arvioida akviferin hydraulista johtavuutta testattavan putken läheisyydessä. Menetelmä soveltuu käytettäväksi mittauskohteena olevan putken läpäistessä kokonaan tai osittain paineellisen tai vapaapintaisen akviferin.

Bouwer & Rice -menetelmä perustuu Thiemin yhtälöön (Thiem 1906). Putken tai kaivon vesipinnan ollessa etäisyyden *h* alempana kuin häiriintymätön pohjaveden pinta sen ympärillä, voidaan virtaus *Q* kaivoon esittää seuraavasti:

$$Q = 2\pi KL \frac{h}{ln\frac{R_e}{r_w}} \qquad 3\text{-}1$$

Missä

Q = virtaama [m^3/s]

K = hydraulinen johtavuus [m/s]

L = putken tai kaivon siiviläosan tai muuten vapaan osan pituus [m]

h = vesipinnan alenema [m]

R_e = mittauksen vaikutusalueen säde [m]

r_w = horisontaalinen etäisyys pohjavesiputken keskipisteestä häiriintymättömään akviferiin [m]

Vesipinnan nousunopeus *dh/dt* putkessa/kaivossa voidaan ilmaista kaavalla:

$$\frac{dh}{dt} = (\frac{Q}{\pi r_c^2}) \qquad 3\text{-}2$$

Missä

r_c = suojaputken (tai muun kaivon osan) säde, jossa vesipinnan muutosta mitataan (Jos mittaus tapahtuu siiviläosuudella tai muuten vapaalla

copyright © AFRY

putken/kaivon osuudella, ympäröivän maan tiheys ja huokoisuus tulee ottaa huomioon).

Yhdistämällä kaavat 3-1 ja 3-2 sekä integroimalla ja ratkaisemalla yhtälö *K*:n suhteen, saadaan:

$$K = \frac{r_c^2 \cdot \ln\left(\frac{R_e}{r_w}\right)}{2L} \cdot \frac{1}{t} ln\left(\frac{y_0}{y_t}\right) \qquad 3\text{-}3$$

Missä

K = akviferin hydraulinen johtavuus pohjavesiputken ympärillä [m/s]

r_c = pohjavesiputken siivilättömän osan säde [m]

R_e = mittauksen vaikutusalueen säde [m]

r_w = horisontaalinen etäisyys pohjavesiputken keskipisteestä häiriintymättömään akviferiin [m]

L = pohjavesiputken siiviläosan pituus [m]

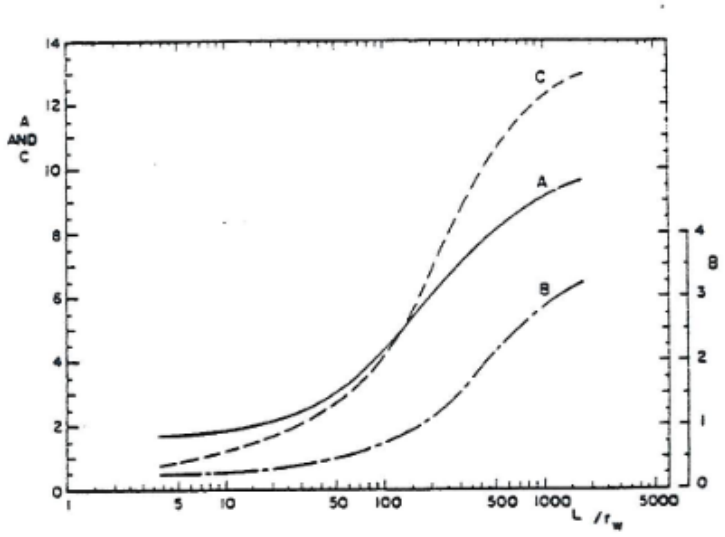
t = aika [s]

y_0 = vesipinnan korkeus ajan hetkellä t_0 = 0 [m]

y_t = vesipinnan korkeus ajan hetkellä $t > t_0$ [m] (suhteen y_t/y_0 täytyy olla pienempi kuin yksi, ts. vesipinnan täytyy lähestyä tasapainotilaa ajan kuluessa)

Koska slug-mittauksen todellisen vaikutusalueen säde (R_e) tiedetään vain harvoin, Bouwer ja Rice määrittivät vastusverkkoanalogian avulla empiiriset vakiot (*A*, *B* ja *C*) vaikutussäteen huomioimiseksi. Kun *L* ja r_w tiedetään, voidaan *A B* ja *C* määrittää kuvaajista (Kuva 3-1). Vakioita *A* ja *B* käytetään putken/kaivon läpäistessä akviferin osittain ($H < D$) ja vakiota *C* käytetään vain putken/kaivon läpäistessä akviferin kokonaan ($H = D$).

copyright © AFRY



Kuva 3-1. *Bouwerin & Rice -menetelmässä käytettävien vakioiden A, B ja C määrittämiseen käytettävä käyräsarja (Bouwer 1989).*

Tulosten tulkinnassa on oletettu, että $H = D$, jolloin analyysissä on käytetty seuraavaa funktiota:

$$ln\frac{R_e}{r_w} = \left[\frac{1.1}{\ln\left(H/r_w\right)} + \frac{C}{L/r_w}\right]^{-1} \qquad 3\text{-}4$$

Missä

H = veden alla olevan pohjavesiputken vertikaalinen pituus [m]

C = dimensioton suhdeluku L/r_w funktiona (Kuva 3-1)

Mittausaineiston analyysissä käytettiin Yhdysvaltain Geologian Tutkimuskeskuksessa (USGS) kehitettyä Excel-laskentataulukkoa (Halford ja Kuniasky 1998), jossa laskenta tehdään Bouwer & Rice -menetelmällä. Laskentataulukko on vapaasti saatavilla USGS:n verkkosivuilta (https://pubs.usgs.gov/).

copyright © AFRY

4 Slug-mittaus ja -tulokset

4.1 Mittaukset

Slug-mittaus on yleinen tutkimusmenetelmä maa- ja kallioperän horisontaalisen vedenjohtavuuden määrittämiseksi, missä aiheutetaan äkillinen muutos mittauskohteena olevan pohjavesiputken pohjaveden pinnankorkeuteen samalla mitaten pinnan palautumista. Muutos voidaan aiheuttaa mm. upottamalla kaivoon umpinainen sylinteri (slug), jolloin vesipinnan tasossa tapahtuu sylinterin syrjäyttämän vesimäärän suuruinen muutos (slug-in). Vastaavasti kun sylinteri poistetaan kaivosta, sen vesipinta laskee tasapainotilastaan sylinterin tilavuuden verran (slug-out). Vesipintaan voidaan aiheuttaa muutos myös käyttämällä vedennoudinta (bailer), joka täyttyy kaivoon laskettaessa, tai nostamalla kaivon vesipintaa lisäämällä kaivoon vettä (nk. kaatokoe).

Vuonoksen tehdasalueella sijaitseviin neljään havaintoputkeen tehtiin vedenjohtavuustutkimuksia slug-mittauksilla AFRY Finland Oy:n toimesta 25.-26.8.2025. Tutkimukset tehtiin havaintoputkiin 0301, 0301, 0304 ja 0305. Ennen mittauksen aloittamista pohjavesiputkien häiriintymättömät pohjaveden pinnankorkeudet mitattiin manuaalisella pinnankorkeusmittarilla. Pinnankorkeustietoja hyödynnettiin slug-mittausten aikana, kun seurattiin vesipinnan palautumista siihen aiheutetun häiriön jälkeen sekä myös tulosten tulkinnassa K-arvoa määriteltäessä. Pohjaveden pinnanmittausten jälkeen putkiin asennettiin korkean resoluution paineloggerit (Kellerin DCX-22VG, erottelukyky ja mittaustarkkuus <1 cm) tallentamaan vesipinnan palautumista slug-mittauksen aikana. Paineloggerin datan tallennusväli pidettiin mahdollisimman lyhyenä (1 s), jotta nopeakin vesipinnan palautuminen voitiin mitata luotettavasti. Vuonoksen mittauksissa käytettiin kahta paineloggeria (loggerit nro. 2 ja nro 8). Putkien pohjaveden pinnankorkeuksia tarkkailtiin reaaliaikaisesti loggeriin USB-johdolla kytketyllä tietokoneelta. Paineloggereiden asennusvaiheessa pohjavesiputken vesipinta häiriintyi, kun putkeen asennettu loggeri ja loggerin kaapeli syrjäyttivät putkessa olevaa vettä tilavuutensa verran. Putken vesipinnan annettiin tasaantua alkuperäiseen pinnankorkeuteen loggerin asennuksen, slugin tiputtamisen (slug-in) ja nostamisen (slug-out) jälkeen.

Slug-mittaukset tehtiin käyttäen yksinkertaista polyasetaalista (POM) valmistettua umpinaista sylinteriä (slug) syrjäyttämään vettä pohjavesiputkessa. Ennen slug-mittausten aloittamista pohjaveden pinnan annettiin palautua alkuperäiseen pinnankorkeuteen. Slug-mittauksessa sylinteri upotettiin ensin mahdollisimman nopeasti putkessa olevaan veteen, jonka jälkeen sylinterin syrjäyttämänä nousseen vesipinnan palautumista

copyright © AFRY

seurattiin takaisin lähtötasolle (slug-in). Kun vesipinta oli palautunut alkuperäiseen tai mahdollisimman lähelle (n. 1–5 cm päähän) lähtötasoon, sylinteri nostettiin mahdollisimman nopealla liikkeellä pois reiästä ja vastaavasti vesipinnan nousua seurattiin takaisin tasapainotilaan (slug-out). Havaintoputkiin 0301 ja 0305 suoritettiin myös kaatokoe, koska sylinterillä tehtyjen mittausten vedenpinnanmuutokset olivat liian pieniä. Putken vesipinta palautui alkuperäiseen pinnankorkeuteen liian nopeasti. Putkiin tehtiin kaatokoe nostamalla putken vesipintaa kaatamalla putkeen 10 litraa vettä, ja samalla seuraamalla vesipinnan palautumista lähtötasoon.

4.2 Tulokset

Vuonoksella sijaitsevien neljän havaintoputken mittaustulosten perusteella laskettiin hydraulinen johtavuusarvo (K-arvo). K-arvot kuvaavat havaintoputkia ympäröivän maaperän hydraulista johtavuutta eli vedenläpäisevyyttä.

Error! Reference source not found. on esitetty kohteiden mittausten ajankohta, käytetty mittausmenetelmä, putkien pohjavedenpinnat sekä mittaustulosten perusteella laskettu putkikohtainen vedenjohtavuus ja maalaji. Bouwer & Rice -menetelmällä tulkittujen slug-mittaustulosten edustavimmaksi arvioitu K-arvo on korostettu taulukossa. Edustavin slug-mittaustulos on yleisesti arvioituna slug-out, koska slug-out vaiheessa on todennäköisimmin vähiten mahdollisia häiriötä tai vuotoja. Muita tulosten edustavuuden arviointiin vaikuttavia tekijöitä voivat olla myös mittausvaiheet, havaitut mahdolliset häiriötekijät sekä mitatun datan konsistenssi.

Edustavimmaksi tulokseksi valittiin slug-out, jos samassa putkessa oli tehty useampi mittausmenetelmä. Pohjavesiputkessa 0302 edustavimmaksi tulokseksi valittiin slug-in. Mittaustulosten tulkintamallissa maaperän maalaji erosi putkikortin mukaisesta maalajista. Putken slug-in vastasi putkikortin maalajitietoa.

Eri menetelmien lasketut vedenjohtavuudet olivat yleisesti ottaen yhdenmukaiset. Suurin ero mittausmenetelmien välisissä tuloksissa oli havaintoputkessa 0305 (**Error! Reference source not found.**). Pohjavesiputkien slug-mittaustuloksista laskettu horisontaalinen vedenjohtavuus vaihteli välillä 1,9E-06 m/s – 9,1E-05 m/s. Edustavimpien mittaustulosten geometrinen keskiarvo oli 1,7E-05 m/s ja mediaani 4,3E-05 m/s.

Tarkemmat tiedot mittaustuloksista ja pohjavesiputkien putkikortit on esitetty raportin liitteissä. Luettelo liitteistä on esitetty sivulla 13.

copyright © AFRY

Taulukko 4-1. Vuonoksen tehdasalueen havaintoputkien Slug-mittausten tulokset (edustavin K-arvo korostettu).

Putken tunnus	Päivämäärä	Mittaus	Pohjaveden pinta (m)	Maalaji	K-arvo (m/s)
0301	25.8.2025	Pohjavedenpinnan manuaalimittaus	2,51		
	25.8.2025	Slug-in		Keskikarkea hiekka	8,90E-05
	25.8.2025	Slug-out		Keskikarkea hiekka	**9,10E-05**
	25.8.2025	Kaatokoe			
0302	26.8.2025	Pohjavedenpinnan manuaalimittaus	0,68		
	26.8.2025	Slug-in		Hiekan ja soran sekoite	**7,00E-06**
	26.8.2025	Slug-out		Hieno hiekka	2,10E-06
0304	26.8.2025	Pohjavedenpinnan manuaalimittaus	1,54		
	26.8.2025	Slug-in		Hieno hiekka	1,80E-06
	26.8.2025	Slug-out		Hieno hiekka	**1,90E-06**
0305	25.8.2025	Pohjavedenpinnan manuaalimittaus	2,69		
	25.8.2025	Slug-in		Keskikarkea hiekka	3,60E-05
	25.8.2025	Slug-out		Keskikarkea hiekka	**7,90E-05**
	25.8.2025	Kaatokoe			

copyright © AFRY

5 Yhteenveto

Vuonoksen tehdasalueella tehtiin vedenjohtavuustutkimuksia (slug-mittaukset) AFRY Finland Oy:n toimesta 25.-26.8.2025. Slug-mittaukset suoritettiin pohjavesiputkiin 0301, 0302, 0304 ja 0305. Putkea 0303 ei paikannettu. Tutkimukset tehtiin Elementis Minerals Oy:n toimeksiannosta.

Slug-mittauksissa pohjavesiputkien vesipintaan saatiin muutos tiputtamalla putkeen umpinainen sylinteri (slug-in ja slug-out). Kahteen havaintoputkeen tehtiin slug-mittauksen lisäksi kaatokoe. Pohjaveden pinnanmuutoksia, ja erityisesti pinnan palautumista, seurattiin putkessa olevalla paineloggerilla. Mittaustulokset analysoitiin Bouwer & Rice -menetelmällä. Mittaustulosten perusteella jokaiselle mitatulle putkelle saatiin laskettua putkikohtainen hydraulinen johtavuus (K-arvo).

Eri mittausmenetelmien tulokset ja tulosten perusteella arvioidut maalajit olivat yhdenmukaisia lukuun ottamatta yhden havaintoputken osalta. Alueen maaperä vaihteli pääasiassa hienon hiekan ja hiekka/sorasekoitteen välillä. Edustavimmaksi valituista putkien vedenjohtavuusarvoista suurin vedenjohtavuusarvo (9,1E-05) todettiin keskikarkeassa hiekassa, ja pienin (1,9E-06) hienossa hiekassa.

copyright © AFRY

Lähdeviitteet

Bouwer, H. 1989. The Bouwer and Rice Slug Test – An Update. Groundwater Volume 27, pp. 304-309.

Bouwer, H. ja Rice, R.C., 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.

Halford, K. ja Kuniansky, E., 1998. Bouwer and Rice slug test analysis. U.S. Geological Survey Excel workbook.

Thiem, G. 1906. Hydrologische Methoden. J.M. Gebhardt, Leipzig.

copyright © AFRY

Liitteet

0301.01 Pohjavesiputki 0301. Slug-mittauksen tulkinta Bouwer & Rice -menetelmällä, Slug-in.
0301.02 Pohjavesiputki 0301. Slug-mittauksen tulkinta Bouwer & Rice menetelmällä, Slug-out.

0302.01 Pohjavesiputki 0302. Slug-mittauksen tulkinta Bouwer & Rice -menetelmällä, Slug-in.
0302.02 Pohjavesiputki 0302. Slug-mittauksen tulkinta Bouwer & Rice menetelmällä, Slug-out.

0304.01 Pohjavesiputki 0304. Slug-mittauksen tulkinta Bouwer & Rice -menetelmällä, Slug-in.
0304.02 Pohjavesiputki 0304. Slug-mittauksen tulkinta Bouwer & Rice menetelmällä, Slug-out.

0305.01 Pohjavesiputki 0305. Slug-mittauksen tulkinta Bouwer & Rice -menetelmällä, Slug-in.
0305.02 Pohjavesiputki 0305. Slug-mittauksen tulkinta Bouwer & Rice menetelmällä, Slug-out.

Pohjavesiputkien putkikortit

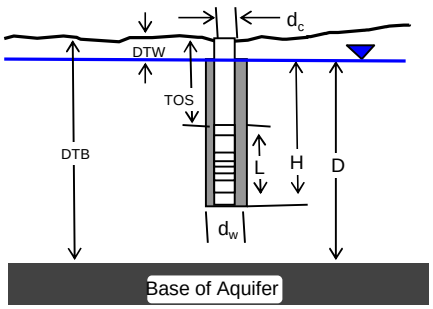
copyright © AFRY

WELL ID: 0301

Local ID: Vuonos
Date: 8/2025
Time:

INPUT

Construction:		
Casing dia. (d_c)	0,052	Meter
Annulus dia. (d_w)	0,052	Meter
Screen Length (L)	2	Meter
Depths to:		
water level (DTW)	**2,51**	Meter
top of screen (TOS)	2,36	Meter
Base of Aquifer (DTB)	4,36	Meter
Annular Fill:		
across screen --	Open Hole	
above screen --	Open Hole	
Aquifer Material --	Medium Sand	



COMPUTED

L_{wetted}	1,85	Meter
D =	1,85	Meter
H =	1,85	Meter
L/r_w =	71,15	
$y_{0\text{-DISPLACEMENT}}$ =	0,41	Meter
$y_{0\text{-SLUG}}$ =	0,93	Meter

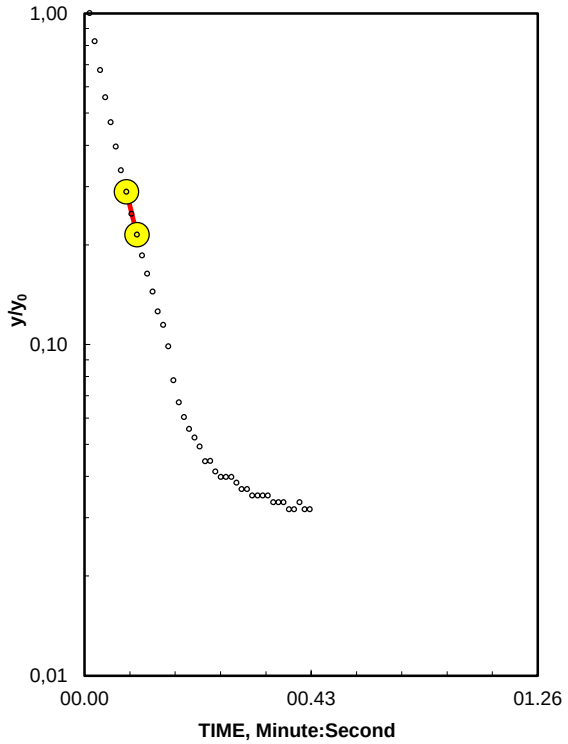
From look-up table using L/r_w

Fully penetrate C =	3,423	
ln(Re/rw) =	3,268	
Re =	2,24	Meter
Slope =	0,064972	$\log_{10}$/sec
$t_{90\%}$ recovery =	15	sec

Input is consistent.

K = 8,90E-05 Meter/Second

Adjust slope of line to estimate K



REMARKS: Bouwer and Rice analysis of slug test, WRR 1976

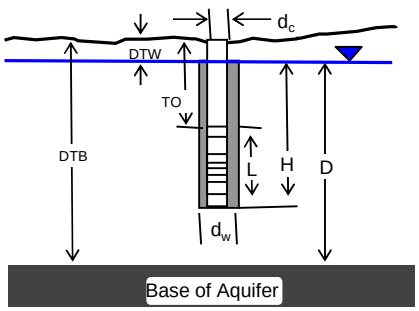
Vuonos, groundwater monitoring well 0301. Slug-in.

WELL ID: 0301

Local ID: Vuonos
Date: 8/2025
Time:

INPUT

Construction:		
Casing dia. (d_c)	0,052	Meter
Annulus dia. (d_w)	0,052	Meter
Screen Length (L)	2	Meter
Depths to:		
water level (DTW)	**2,51**	Meter
top of screen (TOS)	2,36	Meter
Base of Aquifer (DTB)	4,36	Meter
Annular Fill:		
across screen --	Open Hole	
above screen --	Open Hole	
Aquifer Material --	Medium Sand	



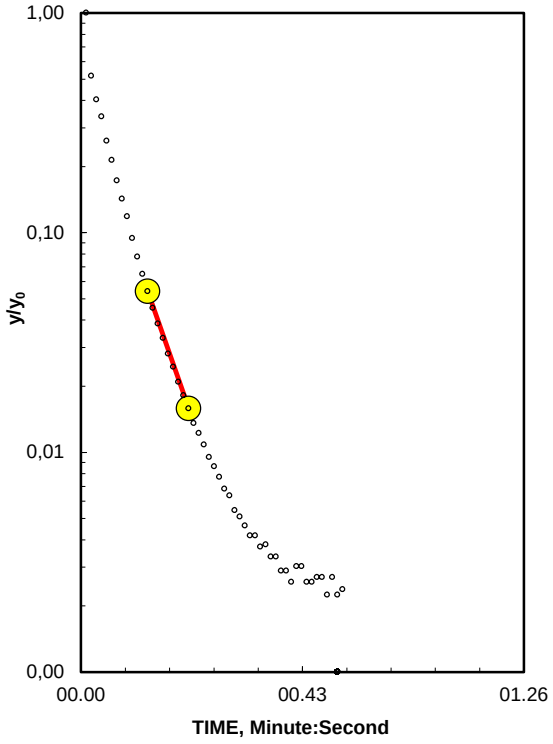
COMPUTED

L_{wetted}	1,85	Meter
D =	1,85	Meter
H =	1,85	Meter
L/r_w =	71,15	
$y_{0\text{-DISPLACEMENT}}$ =	1,45	Meter
$y_{0\text{-SLUG}}$ =	0,93	Meter
From look-up table using L/r_w		
Fully penetrate C =	3,423	
ln(Re/rw) =	3,268	
Re =	2,24	Meter
Slope =	0,066573	$\log_{10}$/sec
$t_{90\%}$ recovery =	15	sec

Input is consistent.

K = 9,10E-05 Meter/Second

Adjust slope of line to estimate K



REMARKS:

Bouwer and Rice analysis of slug test, WRR 1976

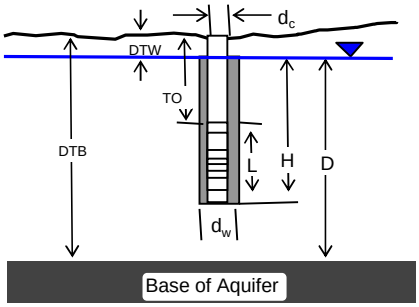
Vuonos, groundwater monitoring well 0301. Slug-out.

WELL ID: 0302

Local ID: Vuonos
Date: 08/2025
Time:

INPUT

Construction:		
Casing dia. (d_c)	0,052	Meter
Annulus dia. (d_w)	0,052	Meter
Screen Length (L)	1	Meter
Depths to:		
water level (DTW)	**0,68**	Meter
top of screen (TOS)	1,05	Meter
Base of Aquifer (DTB)	2,05	Meter
Annular Fill:		
across screen --	Open Hole	
above screen --	Open Hole	
Aquifer Material --	Sand and Gravel Mixes	



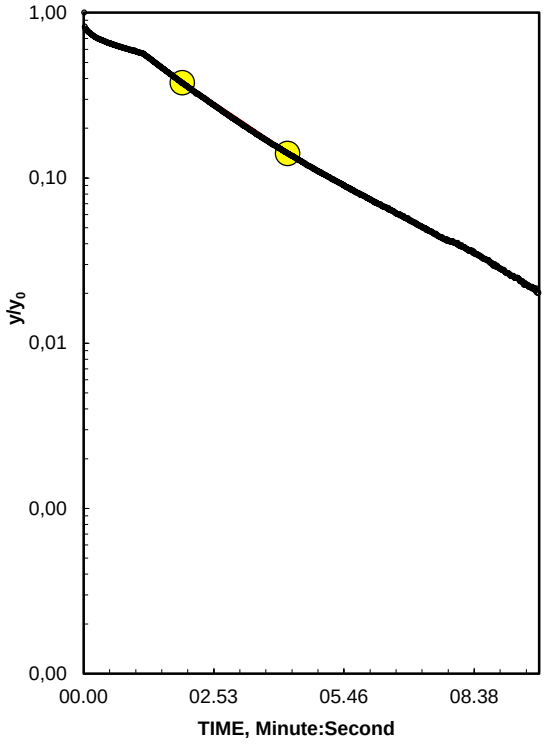
COMPUTED

L_{wetted}	1	Meter
D =	1,37	Meter
H =	1,37	Meter
L/r_w =	38,46	
$y_{0\text{-DISPLACEMENT}}$ =	1,15	Meter
$y_{0\text{-SLUG}}$ =	0,93	Meter
From look-up table using L/r_w		
Fully penetrate C =	2,400	
ln(Re/rw) =	2,942	
Re =	1,62	Meter
Slope =	0,003059	$\log_{10}$/sec
$t_{90\%}$ recovery =	327	sec

Input is consistent.

K = 7,00E-06 Meter/Second

Adjust slope of line to estimate K



REMARKS: Bouwer and Rice analysis of slug test, WRR 1976

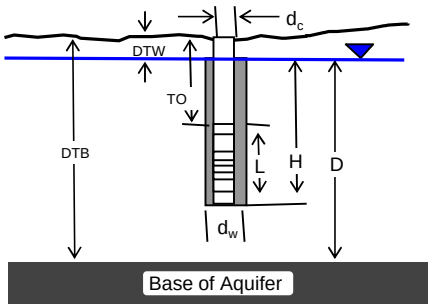
Vuonos, groundwater monitoring well 0302. Slug-in. Hiekkainen sora putkikortissa.

WELL ID: 0302

Local ID: Vuonos
Date: 08/2025
Time:

INPUT

Construction:		
Casing dia. (d_c)	0,052	Meter
Annulus dia. (d_w)	0,052	Meter
Screen Length (L)	1	Meter
Depths to:		
water level (DTW)	**0,68**	Meter
top of screen (TOS)	1,05	Meter
Base of Aquifer (DTB)	2,05	Meter
Annular Fill:		
across screen --	Open Hole	
above screen --	Open Hole	
Aquifer Material --	Fine Sand	



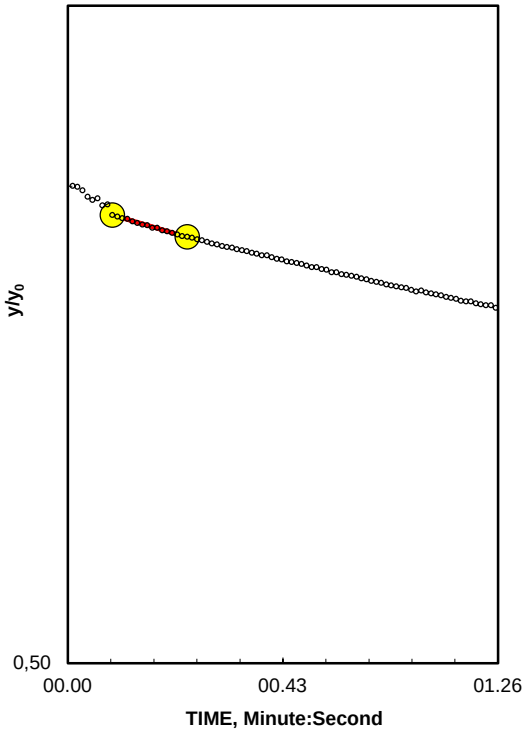
COMPUTED

L_{wetted}	1	Meter
D =	1,37	Meter
H =	1,37	Meter
L/r_w =	38,46	
$y_{0\text{-DISPLACEMENT}}$ =	0,59	Meter
$y_{0\text{-SLUG}}$ =	0,93	Meter
From look-up table using L/r_w		
Fully penetrate C =	2,400	
ln(Re/rw) =	2,942	
Re =	1,62	Meter
Slope =	0,000925	$\log_{10}$/sec
$t_{90\%}$ recovery =	1081	sec

Input is consistent.

K = 2,10E-06 Meter/Second

Adjust slope of line to estimate K



REMARKS: Bouwer and Rice analysis of slug test, WRR 1976

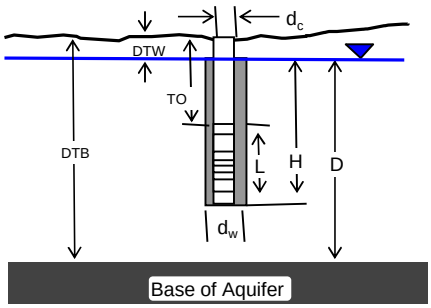
Vuonos, groundwater monitoring well 0302. Slug-out. Hiekkainen sora putkikortissa

WELL ID: 0304

Local ID: Vuonos
Date: 08/2025
Time:

INPUT

Construction:		
Casing dia. (d_c)	0,052	Meter
Annulus dia. (d_w)	0,052	Meter
Screen Length (L)	2	Meter
Depths to:		
water level (DTW)	**1,54**	Meter
top of screen (TOS)	4,63	Meter
Base of Aquifer (DTB)	6,63	Meter
Annular Fill:		
across screen --	Open Hole	
above screen --	Open Hole	
Aquifer Material --	Fine Sand	



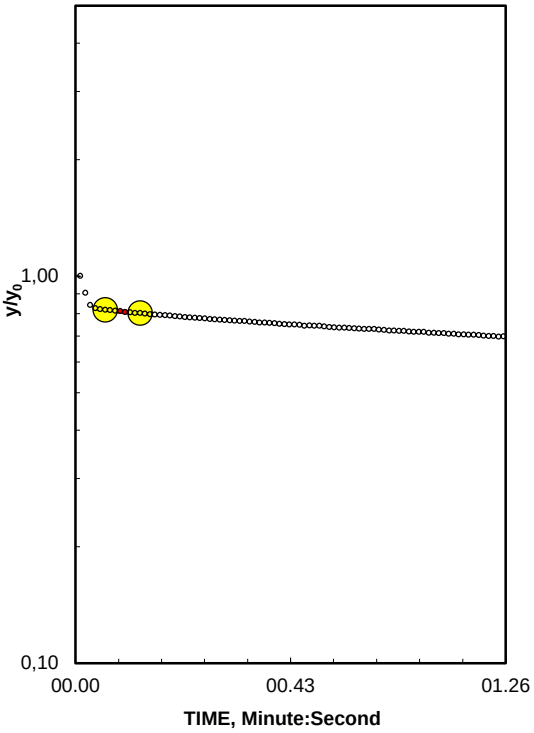
COMPUTED

L_{wetted}	2	Meter
D =	5,09	Meter
H =	5,09	Meter
L/r_w =	76,92	
$y_{0\text{-DISPLACEMENT}}$ =	1,08	Meter
$y_{0\text{-SLUG}}$ =	0,93	Meter
From look-up table using L/r_w		
Fully penetrate C =	3,614	
ln(Re/rw) =	3,915	
Re =	4,28	Meter
Slope =	0,001179	$\log_{10}$/sec
$t_{90\%}$ recovery =	848	sec

Input is consistent.

K = 1,80E-06 Meter/Second

Adjust slope of line to estimate K



REMARKS:

Bouwer and Rice analysis of slug test, WRR 1976

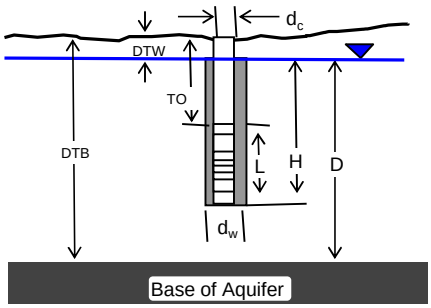
Vuonos, groundwater monitoring well 0304. Slug-in.

WELL ID: 0304

Local ID: Vuonos
Date: 08/2025
Time:

INPUT

Construction:		
Casing dia. (d_c)	0,052	Meter
Annulus dia. (d_w)	0,052	Meter
Screen Length (L)	2	Meter
Depths to:		
water level (DTW)	**1,54**	Meter
top of screen (TOS)	4,63	Meter
Base of Aquifer (DTB)	6,63	Meter
Annular Fill:		
across screen --	Open Hole	
above screen --	Open Hole	
Aquifer Material --	Fine Sand	



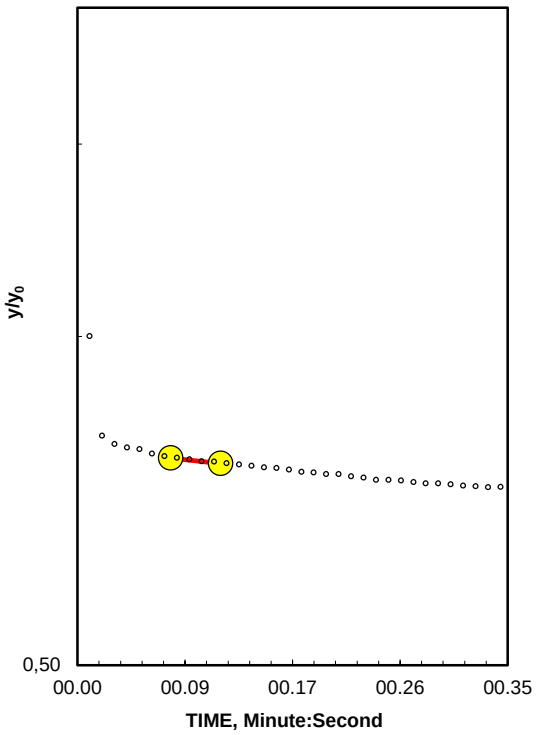
COMPUTED

L_{wetted}	2	Meter
D =	5,09	Meter
H =	5,09	Meter
L/r_w =	76,92	
$y_{0\text{-DISPLACEMENT}}$ =	1,22	Meter
$y_{0\text{-SLUG}}$ =	0,93	Meter
From look-up table using L/r_w		
Fully penetrate C =	3,614	
ln(Re/rw) =	3,915	
Re =	4,28	Meter
Slope =	0,001243	$\log_{10}$/sec
$t_{90\%}$ recovery =	805	sec

Input is consistent.

K = 1,90E-06 Meter/Second

Adjust slope of line to estimate K



REMARKS:

Bouwer and Rice analysis of slug test, WRR 1976

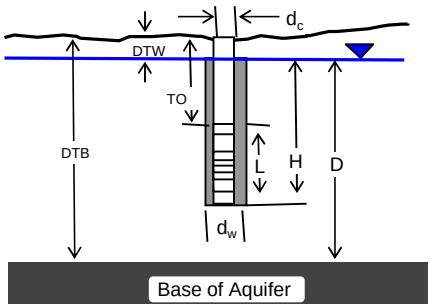
Vuonos, groundwater monitoring well 0304. Slug-out.

WELL ID: 0305

Local ID: Vuonos
Date: 8/2025
Time:

INPUT

Construction:		
Casing dia. (d_c)	0,052	Meter
Annulus dia. (d_w)	0,052	Meter
Screen Length (L)	2	Meter
Depths to:		
water level (DTW)	**2,69**	Meter
top of screen (TOS)	6,53	Meter
Base of Aquifer (DTB)	8,53	Meter
Annular Fill:		
across screen --	Open Hole	
above screen --	Open Hole	
Aquifer Material --	Medium Sand	



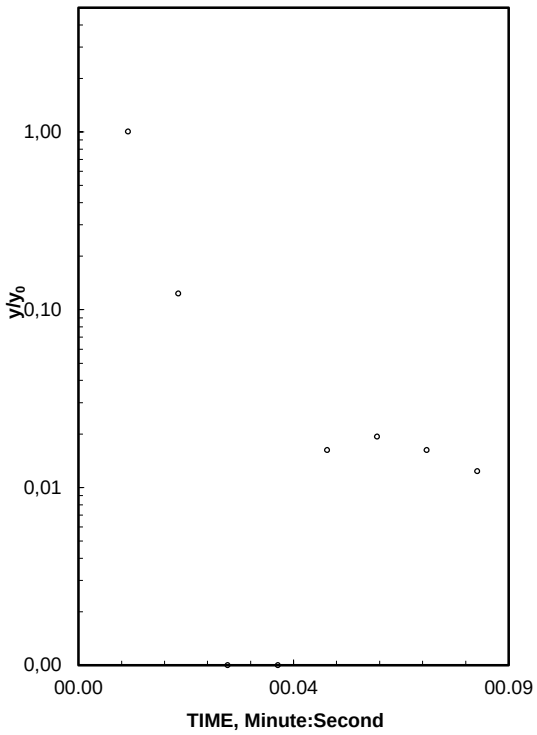
COMPUTED

L_{wetted}	2	Meter
D =	5,84	Meter
H =	5,84	Meter
L/r_w =	76,92	
$y_{0\text{-DISPLACEMENT}}$ =	0,85	Meter
$y_{0\text{-SLUG}}$ =	0,93	Meter
From look-up table using L/r_w		
Fully penetrate C =	3,614	
ln(Re/rw) =	3,998	
Re =	4,65	Meter
Slope =	0,023244	$\log_{10}$/sec
$t_{90\%}$ recovery =	43	sec

Input is consistent.

K = 3,60E-05 Meter/Second

Adjust slope of line to estimate K



REMARKS:

Bouwer and Rice analysis of slug test, WRR 1976

Vuonos, groundwater monitoring well 0305. Slug-in.

WELL ID: 0305

Local ID: Vuonos
Date: 08/2025
Time:

INPUT

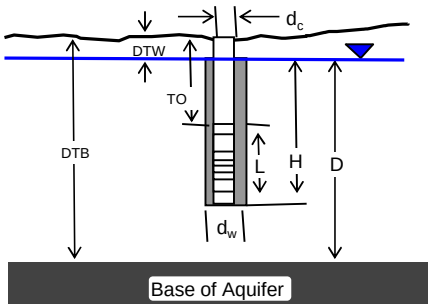
Construction:		
Casing dia. (d_c)	0,052	Meter
Annulus dia. (d_w)	0,052	Meter
Screen Length (L)	2	Meter
Depths to:		
water level (DTW)	**2,69**	Meter
top of screen (TOS)	6,53	Meter
Base of Aquifer (DTB)	8,53	Meter
Annular Fill:		
across screen --	Open Hole	
above screen --	Open Hole	
Aquifer Material --	Medium Sand	

COMPUTED

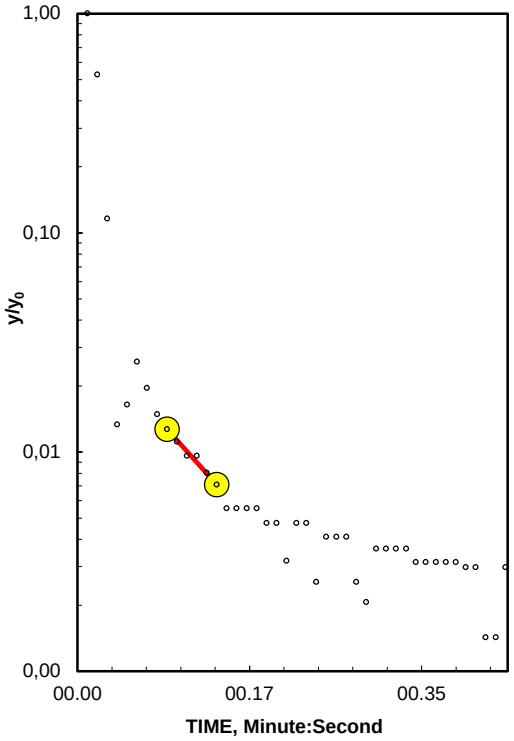
L_{wetted}	2	Meter
D =	5,84	Meter
H =	5,84	Meter
L/r_w =	76,92	
$y_{0\text{-DISPLACEMENT}}$ =	0,42	Meter
$y_{0\text{-SLUG}}$ =	0,93	Meter
From look-up table using L/r_w		
Fully penetrate C =	3,614	
ln(Re/rw) =	3,998	
Re =	4,65	Meter
Slope =	0,050685	$\log_{10}$/sec
$t_{90\%}$ recovery =	20	sec

Input is consistent.

K = 7,90E-05 Meter/Second

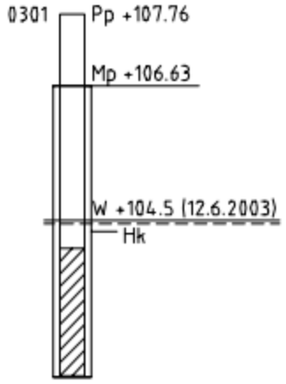


Adjust slope of line to estimate K

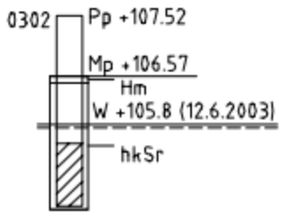


REMARKS: Bouwer and Rice analysis of slug test, WRR 1976

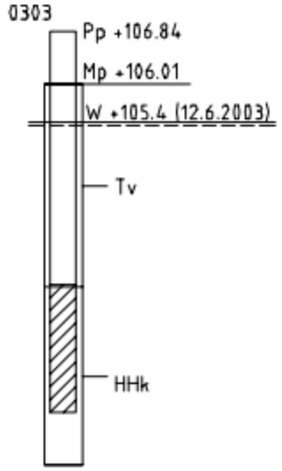
Vuonos, groundwater monitoring well 0305. Slug-out.



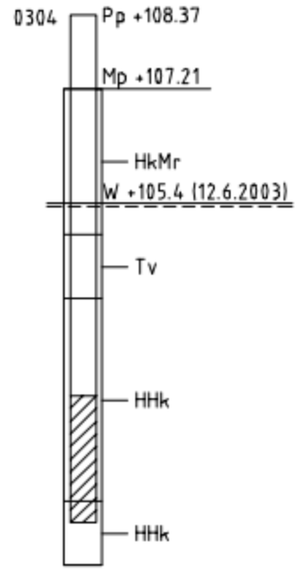
9M01662
x 6961194.0
y 4452061.0



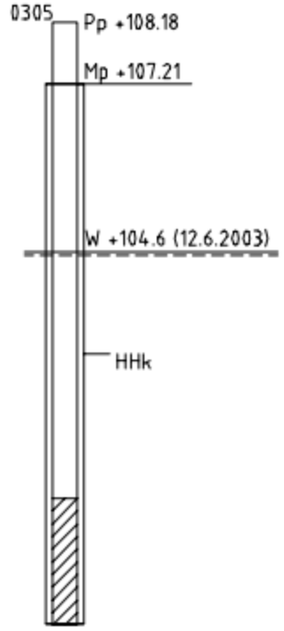
9M01662
x 6962355.0
y 4451747.0



9M01662
x 6962109.0
y 4451848.0



9M01662
x 6961842.0
y 4451984.0



9M01662
x 6961703.0
y 4452164.0

Kaup.osa	Korttel	Tontti	Alue
Rak.toimenpide			
Tilaaja MONDO MINERALS OY VUONOS			
JAAKKO PÖYRY INFRA PSV-Maa ja Vesi Sammonkatu 16, PL20, 90571 OULU puh. 08-8869 222, fax. 08-8869 250 email: etunimi.sukunimi@poyry.fi			
Pvm	Tiedosto PV-PUTKET	Piirt.	
Suunn.	Tark.		

Viranomaisen arkistointimerkintöjä	
Piirustuslaji	
Työn nimi RIKASTUSHIEKKA-ALUE	
Piirustuksen sisältö POHJAVESIPUTKET 0301-0305	Mittakaava 1:100
Työnumero P01662	Piir.n:o