Heikkouuttomenetelmien käyttö malminetsinnässä Kuusamon Juomasuolla Koillismaalla

Pro gradu –tutkielma

Oulun yliopisto

Kaivannaisalan tiedekunta

Janne Rekilä

2015

TIIVISTELMÄ

Tekesin Green Mining -ohjelmaan kuuluvassa UltraLIM-projektissa tutkittiin geokemiallisten heikkouuttomenetelmien soveltuvuutta subarktisten alueiden malminetsinnässä. Projektin tutkimukset ja kenttätyöt toteutettiin Oulun yliopiston ja Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) yhteistyönä. UltraLIM-projektin tavoitteena oli saada vertailukelpoista ja käytännössä testattua tietoa heikkouuttomenetelmien soveltuvuudesta malminetsintään erilaisille malmityypeille erityyppisillä maaperämuodostuma-alueilla. Pyrkimyksenä oli myös osoittaa parhaat mahdolliset heikkouuttomenetelmät paksujen maapeitteiden alla olevien malmiesiintymien havaitsemiseksi. Projektissa tuotettiin myös suositukset keveiden geokemiallisten menetelmien käytöstä malminetsinnässä erityisesti herkillä luontoalueilla.

Maaperänäytteidenotto ja tutkimukset tehtiin tämän työn osalta Kuusamon Juomasuolla, tunnetun Au-Co-malmimineralisaation alueella, vuosina 2013 ja 2014. Tutkimuksissa käytettiin kuutta eri heikkouuttomenetelmää (MMI-, SGH-, entsyymiuutto-, biouutto-, ammonium-asetaatti- ja ioniuuttomenetelmät), joiden tulosten avulla analysoitiin malmimineralisaation ja sen ympäristön kallioperän aiheuttamia geokemiallisia signaaleita pääasiassa neljälle alkuaineelle: Au, Co, Cu ja U. Tutkimuksella pyrittiin arvioimaan eri menetelmien toimivuutta tunnetun mineralisaation ja muiden kallioperän rakenteiden havaitsemisessa pintamaassa sekä testattiin heikkouuttomenetelmien taustalla olevan mobiilien ionien liikkumisteorian toimivuutta. Oletuksena oli, että Juomasuon sulfidipitoinen Au-Co-malmimineralisaation pitäisi olla heikkouuttomenetelmien käytön kannalta optimaalinen tutkimuskohde. Heikkouuttomenetelmien käytön perustana oleva ionien liikkuminen maapeitteen läpi pintamaahan on voimakkainta sulfidipitoisissa esiintymissä sulfidien hapettumisesta johtuvasta sähkökemiallisen varauseron syntymisen seurauksena.

Tutkimuksissa kerättiin 492 heikkouuttonäytettä. Näytteenotto toteutettiin linjanäytteenottona niin, että 1/3 näytteistä otettiin tunnetun Au-Co-mineralisaation päältä ja loput 2/3 tausta-alueilta. Näytteenotto suoritettiin kahtena peräkkäisenä vuotena tulosten toistettavuuden varmistamiseksi.

Tulosten tulkinnan kannalta haasteita aiheuttivat tutkimuskohteen vaihtelevan paksuinen maaperä (drumliinivyöhyke) ja suoalueet. Myös kallioperän kompleksisuus ja kallioperän pintaosan analyysitietojen puuttuminen vaikeuttivat tulosten arviointia. Sen sijaan drumliinien moreeniaineksen pitkät kuljetusmatkat antavat hyvän lähtökohdan alla olevasta kallioperästä tulevan heikkouuttosignaalin tarkastelulle, koska paikallisen kallioperän ainesta on moreenissa yleensä vähän.

Eri heikkouuttomenetelmien toimivuus sulfidimineralisaation ilmentäjinä oli kohtuullisen hyvä, vaikka kaikilla menetelmillä ei saatu määritettyä kultaa tai pitoisuudet jäivät alle määritysrajan. Parhaiten soveltuvilla (ioni-, SGH-, ja MMI-) heikkouuttomenetelmillä saatiin Au-Co-malmimineralisaatio selkeästi esille ja tulosten perusteella heikkouuttomenetelmien taustalla olevan teorian voidaan nähdä toimivan Juomasuon sulfidimineralisaation alueella vaihtelevan paksuisesta maaperästä huolimatta. Menetelmillä saatiin hyviä tuloksia myös muille tutkituille alkuaineille (Co, Cu, ja U), ja varsinaisen Au-Co-mineralisoituman lisäksi kallioperän kivilajien vaihtelut tulivat hyvin esille.

Menetelmien toistettavuus vaihteli johtuen pääosin sääolosuhteiden ja pH:n eroista eri vuosina. Sääolosuhteiden vaikutuksia pyrittiin minimoimaan tarkastelemalla analyysituloksia rikastuskerrointen avulla. Heikkouuttomenetelmillä analysoitavat alkuainepitoisuudet ovat hyvin pieniä, joten vähäisetkin olosuhteiden muutokset esimerkiksi sääoloissa ja ihmistoiminnassa voivat aiheuttaa malmipotentiaalia ilmaisevan signaalin katoamisen tai kontaminoitumista. Menetelmien hyvinä puolina voidaan pitää mm. sitä, että ne ovat erittäin ympäristöystävällisiä. Näytteenotto on myös helppoa ja halpaa verrattuna perinteisiin menetelmiin. Lisäksi analyysikustannukset ovat kohtuullisia.

Sisällysluettelo

1. JOHDANTO 5
2. ULTRALIM-PROJEKTIN TAVOITTEET 6
3. METALLI-IONIEN KULKEUTUMIS- JA SITOUTUMISMEKANISMIT GLASIAALIKERROSTUMISSA 7
3.1. Sähkökemiallinen kuljetus 7
3.2. Advektio 9
3.3. Muut kulkeutumismekanismit 10
3.4. Metalli-ioninen sitoutuminen sekundäärisessä ympäristössä 10
3.5. Metalli-ionien kulkeutumiseen ja sitoutumiseen vaikuttavia tekijöitä 11
4. HEIKKOUUTTOMENETELMÄT 13
4.1. MMI-menetelmä 14
4.2. Entsyymiuutto 15
4.3. Ioniuutto 15
4.4. Ammonium-asetaattiuutto 16
4.5. Biouutto 16
4.6. Soil Gas Hydrocarbons (SGH) 16
5. NÄYTTEENOTTOMENETELMÄT 17
5.1. Juomasuon näytteenotto vuosina 2013-2014 20
5.2. Laaduntarkkailu 25
5.3. Laboratoriot ja analytiikka 26
6. TUTKIMUSALUE 27
6.1. Juomasuo 27
6.1.1. Juomasuon kallioperä ja mineralisaatiot 29
6.1.2. Juomasuon heikkouuttolinjan sijoittuminen sulfidiesiintymien alueella 31
6.2. Juomasuon maaperä ja kasvillisuus 34
6.3. Kuusamon alueen ilmasto 35
7. TULOKSET 37
7.1. Tulosten käsittely 37
7.2. MMI 38
7.3. Entsyymiuutto 40
7.4. Ioniuutto 43
7.5. Ammonium-asetaatti 45
7.6. Biouutto 47
7.7. SGH 49

7.8. Kalsium 53
7.9. pH 55
8. VUOSIEN 2013-2014 HEIKKOUUTTOTULOSTEN TARKASTELU JA VERTAILU 56
8.1. MMI 56
8.2. Entsyymiuutto 57
8.3. Ioniuutto 57
8.4. Ammonium-asetaattiuutto 58
8.5. Biouutto 58
8.6. SGH 58
9. HEIKKOUUTTOMENETELMIEN TARKASTELU JA VERTAILU 59
10. POHDINTA.....64
10.1. Virhelähteet 68
11. YHTEENVETO.....69
KIITOKSET 72
LÄHDELUETTELO 73
LIITTEET

1. JOHDANTO

Heikkouuttomenetelmät ovat nopeasti saaneet huomiota malminetsintäyhteisössä, ja ne ovat nykyään paljon käytettyjä geokemiallisia menetelmiä paksujen maaperäkerrostumien alla olevien mineralisaatioiden ja sokeiden malmien tunnistamisessa. Heikkouuttomenetelmät ovat varteenotettavia geokemiallisia malminetsintämenetelmiä tavallisiin geokemiallisiin menetelmiin verrattuna mm. siksi, että näytteenottomenetelmät ovat ympäristöystävällisiä ja näytteenottokustannukset ovat vähäiset verrattuna perinteisempiin menetelmiin. Lisäksi heikkouuttomenetelmien etuna on, että niillä erotetaan hyvinkin heikot geokemialliset signaalit glasiaalikerrostumissa ja näytemateriaaliksi käy lähestulkoon minkälainen mineraalimaa tahansa. 1990-luvun lopulla etenkin induktiivisesti kytketyn massaspektrometrianalytiikan (ICP-MS) kehittyminen on mahdollistanut riittävän tarkat alkuainepitoisuuksien määritysrajat heikkouuttomenetelmien hyödyntämiselle (Hall & Bonham-Carter 1998).

Heikkouuttomenetelmillä liuotetaan heikosti mineraalirakeisiin ja orgaaniseen ainekseen sitoutuneita mobiileja metalli-ioneita heikoilla happoliuoksilla. Heikkouuttomenetelmien geokemia perustuu maan pintakerrokseen sähköäjohtavasta mineralisaatiosta kulkeutuneiden metalli-ionien (ns. eksogeeninen signaali) aiheuttamaan pintamaan anomaliaan, joka syntyy paksujen jäätikkökerrostumien alueella lähinnä redox-gradientin aiheuttamasta sähkökemiallisesta ja pohjaveden kuljettamien ionien vertikaalisesta migraatiosta. (Cameron ym. 2004, Hamilton 2007).

Tähän opinnäytetyöhön liittyvät heikkouuttonäytteet kerättiin Kuusamon Juomasuon Au-Co-mineralisaation alueella. Heikkouuttomenetelmien vertailua suoritettiin vuoden 2013 tuloksista parhaiten glasiaalikerrostumien alla olevien sulfidimineralisoituneiden rakenteiden tunnistamiseksi. Heikkouuttotuloksia verrattiin kaivosyhtiöltä saatujen kallioperän alkuainepitoisuuksien, kairaustietojen, geofysiikan mittausten pohjalta tuotettuun karttaan sekä muihin tutkimusalueelta saatuihin tietoihin. Menetelmien toimivuutta ja toistettavuutta testattiin siten, että näytteenotto suoritettiin kahtena

peräkkäisenä vuonna (2013 ja 2014). Vuosien välisessä vertailussa pyrittiin myös selvittämään sääolosuhteiden vaikutusta heikkouuttomenetelmillä saatuihin analyysituloksiin. Tutkimuksen tavoitteena oli todentaa geokemiallisen signaalin aiheuttamat taustapitoisuuden ylittävät anomaliat maaperän pintakerroksen sisältämän mineraali- ja orgaanisen aineksen alkuainepitoisuusuusanalyyseillä kuudella eri heikkouuttomenetelmällä (MMI-, entsyymi-, ioni-, bio-, ammonium-asetaatti- sekä SGH-menetelmät).

Tutkimukset ja opinnäytetyö tehtiin osana GTK:n ja Oulun yliopiston geotieteiden laitoksen/kaivannaisalan tiedekunnan yhteistyönä toteuttamaa, Tekesin Green Mining -ohjelmaan kuuluvaa "Ultra low impact exploration methods in the subarctic" (UltraLIM) -projektia, jossa olin opinnäytetyöntekijänä kesällä 2014.

2. ULTRALIM-PROJEKTIN TAVOITTEET

Tekesin rahoittaman UltraLIM-projektin päätavoite on tutkia "ultrakeveiden" geokemiallisten menetelmien soveltuvuutta malminetsintään pohjoisilla alueilla ja tuottaa käytännön tutkimustietoa menetelmien hyödyntämiseksi erilaisten malmiesiintymien etsimisessä. Projektissa tutkitaan eri näytemateriaalien, kuten mineraalimaan, humuksen, turpeen, kasvien ja lumen sekä eri analyysitekniikoiden, soveltuvuutta glasiaalikerrostumien alueilla sijaitsevien malmiesiintymien havaitsemiseksi. Analyysitekniikoihin kuuluvat selektiivinen uutto / heikkouutto, osittaisuutto ja vesianalytiikka. Tässä pro gradu -työssä keskitytään ainoastaan mineraalimaanäytteisiin ja niiden heikkouuttoanalyyseihin.

UltraLIM-projektin tavoitteena on saada vertailukelpoista ja käytännössä testattua tietoa erilaisten menetelmien soveltuvuudesta malminetsintään eri tyyppisillä maaperämuodostuma-alueilla. Pyrkimyksenä on myös osoittaa parhaat mahdolliset uuttomenetelmät syvällä kalliossa tai paksujen maapeitteiden alla olevien malmiesiintymien havaitsemiseksi.

Projekti tuottaa suositukset keveiden geokemiallisten menetelmien käytöstä malminetsinnässä erityisesti herkillä luontoalueilla. Tämän lisäksi projektin

tarkoituksena on edistää uusien menetelmien ja menetelmäosaamisen käyttöönottoa yrityksissä, jotka harjoittavat malminetsintää.

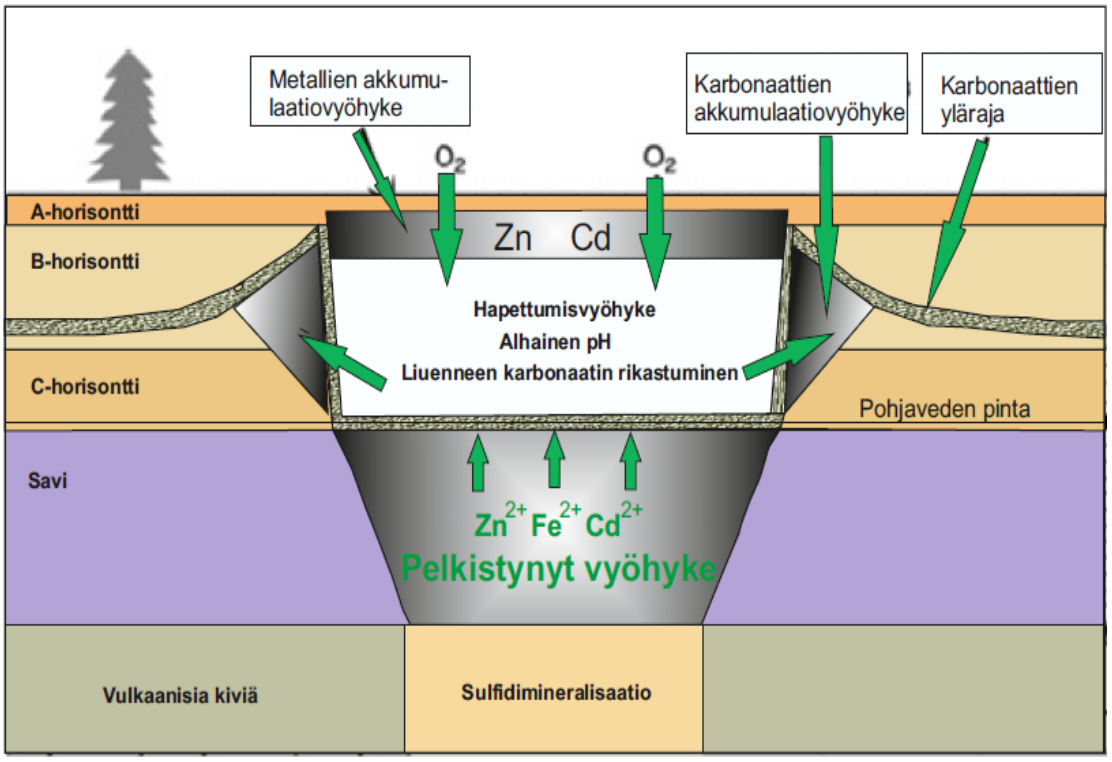
Tässä pro gradu -työssä käsitellyn Kuusamon Juomasuon lisäksi UltraLIM-hankkeen tutkimuskohteita olivat Hakokodanmaa Kittilässä, Kersilö ja Kevitsa Sodankylässä, Kyörtesselkä Savukoskella sekä Vähäjoki Tervolassa. Näistä Hakokodanmaan ja Kyörtesselän tuloksia on käsitelty Kyllösen (2015) opinnäytetyössä.

3. METALLI-IONIEN KULKEUTUMIS- JA SITOUTUMISMEKANISMIT GLASIAALIKERROSTUMISSA

Metalli-ionien kulkeutumismekanismeja on useita – nykyisin vallitsevissa olosuhteissa yhteistä näille kaikille kulkeutumismekanismeille on, että kaikki niistä ovat mahdollisia ja ne toimivat todennäköisesti yhdessä tai ainakin osittain yhdessä olosuhteiden mukaan (Sarala ym. 2007). Tärkeimpinä metalli-ioneja kuljettavina mekanismeina jäätikkökerrostumien alueella pidetään sähkökemiallista ja pohjaveden mukana (advektio) tapahtuvaa vertikaalista kulkeutumista (Hamilton 2007).

3.1. Sähkökemiallinen kuljetus

Sähkökemiallista metallien dispersiomallia sekä redox-solu-teorioita, joihin sähkökemiallinen kuljetus perustuu, ovat kehitelleet mm. Sato & Mooney (1960), Govett (1973, 1976) ja Bölviken & Logn (1975). Hamiltonin (1998) kehittelemä metalli-ionien sähkökemiallinen kulkeutumismalli on edellä mainittujen henkilöiden kehittämistä teorioista ja malleista parannettu versio (Kuva 1), ja nykyään sitä pidetään suosituimpana metalli-ionien vertikaalisen kulkeutumisen mallina. Myös Sutherland (2011) on kehitellyt hiilivetyjen kulkeutumiseen perustuvan teorian (ns. ”Spatiotemporal Geochemical Hydrocarbons”) (Actlabs 2013). SGH-tulokset perustuvat Sutherlandin mallin mukaisiin tulkintoihin ja muut heikkouuttotulokset Hamiltonin malliin.



Kuva 1. Sulfidimineralisaation päälle kehittyneen pelkistyneen vyöhykkeen aiheuttama metalli-ionien migraatio glasiaalikerrostumien läpi. Modifoitu Cameronin ym. (2004) kuvasta.

Sähkökemiallisessa kuljetuksessa johtava malmiesiintymä ja pohjaveden pinnan välinen redox-potentiaaliero (redox-gradientti) aiheuttaa metalli-ionien nopean, ylöspäin suuntautuvan liikkeen, jonka vuoksi pintamaahan kehittyy mineralisaatiosta peräisin oleva geokemiallinen signaali tai anomalia. Pohjaveden pinnalla vallitsevien hapettavien olosuhteiden ja esim. sulfidimineralisaation yläosassa kallioperän pinnalla vallitsevien pelkistävien olosuhteiden välisen varauseron takia mineralisaatiosta vapautuneet pelkistyneet ionit liikkuvat ylöspäin ja hapettuneet ionit alaspäin. (Cameron ym. 2004). Tällöin eri suuntiin kulkeutuvien ionien kohdatessa tapahtuu redox-reaktioita. Pohjavesivyöhykkeessä (lähes hapettomat olot) hapettimet kuluvat nopeasti loppuun. Tämän vuoksi pelkistyneet ionit leviävät ympäristöön, kunnes ne pysähtyvät pohjaveden yläpuolella ja sen pinnalle, koska pelkistyneet ionit hapettuvat ilmakehän hapen toimesta. Samalla sulfidimineralisaation yläpuolelle kehittyy pelkistynyt vyöhyke. (Hamilton 2007).

Pelkistyneiden ionien hapettuminen aiheuttaa vetyionikonsentraation (H+) kasvun, jolloin pH laskee ja karbonaatit sekä happamoitumiselle herkät alkuaineet

mobilisoituvat. Nämä saostuvat mineralisaation reunoille, jossa on korkeampi pH. (Hamilton 2007).

Tyypillinen sähkökemiallisen dispersion aiheuttama anomaliakuvio sähköäjohtavan mineralisaation yläpuolella on kaksihuippuinen, ns. kaninkorva-anomalia. Tämän kaltainen kuvio syntyy tasaisesti horisontaalisesti sijoittuvaan tai massiivisen malmin yläpuolelle. Jos malmiesiintymällä on jyrkempi kaato kallioperässä, syntyy malmin yläpuolella vaikeammin tulkittavia anomalioita. (Govett ym. 1992). Sulfidiesiintymiä, joissa sähkökemiallinen kulkeutumismekanismi vaikuttaa, voidaan usein myös todeta negatiivisten omapotentiaali anomalioiden (self-potential SP) avulla, jotka sijoittuvat sulfidisoituneen alueen ylle maaperään (Cameron ym. 2004).

3.2. Advektio

Metalli-ionien kulkeutuminen pohjaveden mukana tapahtuu pääasiallisesti advektiona. (Hamilton 2007). Veden virtausten mukana liikkuu liuenneita tai suspensiossa olevia aineita, ja tätä prosessia kutsutaan advektioksi. (Heikkinen 2000, Tolppasen 1989 ja Setälän & Assmuthin 1990 mukaan). Advektiota pidetään elektrokemiallisen kulkeutumisen ohella tärkeimpänä vertikaalisen migraation mekanismina glasiaalikerrostumissa – advektiota tapahtuu kuitenkin myös horisontaalisesti (Hamilton 2000, 2007).

Pohjavesikuljetus on tärkeä kuljetusmekanismi etenkin karkearakeisissa sedimenteissä, kuten hiekoissa ja sorissa. Tämä johtuu karkean aineksen korkeasta hydraulisesta johtavuudesta. Aineiden määrään ja kulkeutumisnopeuteen vaikuttavat virtaavan veden kokonaismäärä ja sen virtausnopeus. Yksinkertaistettuna voidaan sanoa, että metalli-ionit kulkeutuvat advektiolla nopeammin, jos veden määrä ja virtausnopeus on suuri. Kulkeutumisnopeuteen vaikuttavat tämän lisäksi myös kuljetettavan aineen viskositeetti sekä ominaispaino. Myös kuljettavan nesteen viskositeetti vaikuttaa, ja siihen puolestaan vaikuttaa lämpötila. (Heikkinen 2000). Esiintymismuodoltaan veteen lienneet alkuaineet ovat ioni-, ionikompleksi tai molekyylimuodoissa (Peuraniemi 2012).

3.3. Muut kulkeutumismekanismit

Muita metalli-ionien kulkeutumismekanismeja ovat diffuusio ja haihtuminen. Veteen liuenneet metalli-ionit kulkeutuvat kosteassa maaperässä diffuusion avulla (Cameron ym. 2007). Tämä mekanismi on kuitenkin advektioon verrattuna hidas ja vähämerkityksellisempi kuljetusmekanismi etenkin maalajiessa, joilla on suuri vedenläpäisevyys. Tehokkainta diffuusiokulkeutuminen on heikosti lajittuneissa, pienihuokoisissa ja hienorakeisissa maalajeissa, ja se on tehokkaampaa pohjavesivyöhykkeessä kuin vajovesivyöhykkeessä (Heikkinen 2000).

Kaasumaiset ionit kulkeutuvat kalliosta maapeitteen läpi esimerkiksi ilmanpaineen vaihtelusta johtuvan kaasujen pumppauksen ja lämpötilaeroista johtuvan haihtumisen seurauksena sekä isompien kaasukuplien (esim. hiilidioksidin ja metaanin) mukana (Sarala ym. 2007). Haihtuminen on merkittävä kulkeutumismekanismi kapillaarivyöhykkeessä (Heikkinen 2000). Joidenkin kaasumaisten metalli-ionien vertikaalinen liike voi johtua bakteeritoiminnasta (Alloway 1995, Kelley ym. 2004). Mikrobiologiset prosessit voivat olla myös olennaisia metalleja mobilisoivia tekijöitä. Nämä vaikuttavat etenkin SGH-menetelmän tuloksiin.

Metalli-ionit voivat liikkua myös kapillaarisesti, joko suoraan maaperän huokosissa tai kasvien juuriston kautta (Sarala ym. 2007). Diffussiivinen ja kapillaarinen kulkeutuminen kuuluvat hydromorfiseen-, kasvien juuriston kautta kulkeutuminen biogeeniseen- ja kaasujen mukana kulkeutuminen kaasumaiseen dispersioon.

3.4. Metalli-ioninen sitoutuminen sekundäärisessä ympäristössä

Mobiilien alkuaineiden sitoutuminen sekundääriseen ympäristöön tapahtuu fysikaalisen ja kemiallisen sorption, saostumisen, kelaation ja kompleksoitumisen avulla. Sedimenttien ja maaperän faasit, joihin mobiilit alkuaineet todennäköisimmin sitoutuvat ovat: amorfiset Mn- ja Fe-oksidit, humuskomponentit, muu orgaaninen aines ja savi.

(Hall 1997). Kasvillisuuden kautta tapahtuva alkuaineiden biokemiallinen kierto rikastaa alkuaineet enimmäkseen humus- ja B-horisonttiin (Rose ym. 1979).

Sorptiossa vesiliukoiset metalli-ionit kiinnittyvät kiinteiden orgaanisten ja epäorgaanisten faasien pinnoille (Heikkinen 2000) joko adsorpoitumalla, komplekseja muodostamalla, absorptiolla tai kerasaostumisella (Cameron ym. 2004). Adsorptiomekanismeja ovat epäspesifinen adsorptio (kationin vaihto), spesifinen adsorptio (kemiallinen sitoutuminen), kerasaostuminen ja orgaaninen kompleksoituminen. Adsorptiossa partikkelit kiinnittyvät kaasu- tai liuosfaaseista väliaineeseen fysikaalisilla tai kemiallisilla voimilla. Jos partikkeli sitoutuu rakenteeseen ennemmin kuin pintaan kyseessä on absorptio. Kerasaostumisessa kiinnittyminen voi tapahtua rakenteeseen tai pinnalle. (Heikkinen 2000).

3.5. Metalli-ionien kulkeutumiseen ja sitoutumiseen vaikuttavia tekijöitä

Metalli-ionien kulkeutumiseen kallioperästä sekundääriseen ympäristöön ja pidättäytymiseen sekundäärisessä ympäristössä vaikuttavat useat monimutkaiset fysikaaliset, kemialliset ja biologiset tekijät ja prosessit (Kelley ym. 2004). Kulkeutumismekanismeihin vaikuttaa voimakkaasti maaperän veden määrä (Heikkinen 2000). Vesitalousmuutokset kylminä, kuumina, kosteina ja kuivina aikoina vaikuttavat metallien kulkeutumiseen ja sitoutumiseen, sillä toisinaan vesi haihtuu ja kulkee ylöspäin ja toisinaan alaspäin (Sposito 1989).

Vedellä kyllästyneessä maaperässä vallitsevat erilaiset kuljetusmekasmit kuin kyllästymättömässä vyöhykkeessä (Heikkinen 2000). Vedellä kyllästymättömässä kerroksessa pohjaveden pinnan yläpuolella oleva vesi ja sen määrä vaikuttaa moniin maaperän fysikaalisiin, kemiallisiin ja biologisiin reaktioihin, jotka määrittävät myös sitoutumis- ja kulkeutumistekijät. Maan vesitalouteen ja täten myös metallien kulkeutumiseen vaikuttavat maaperän tekstuuri eli lajitekoostumus ja struktuuri eli maaperän rakenne.

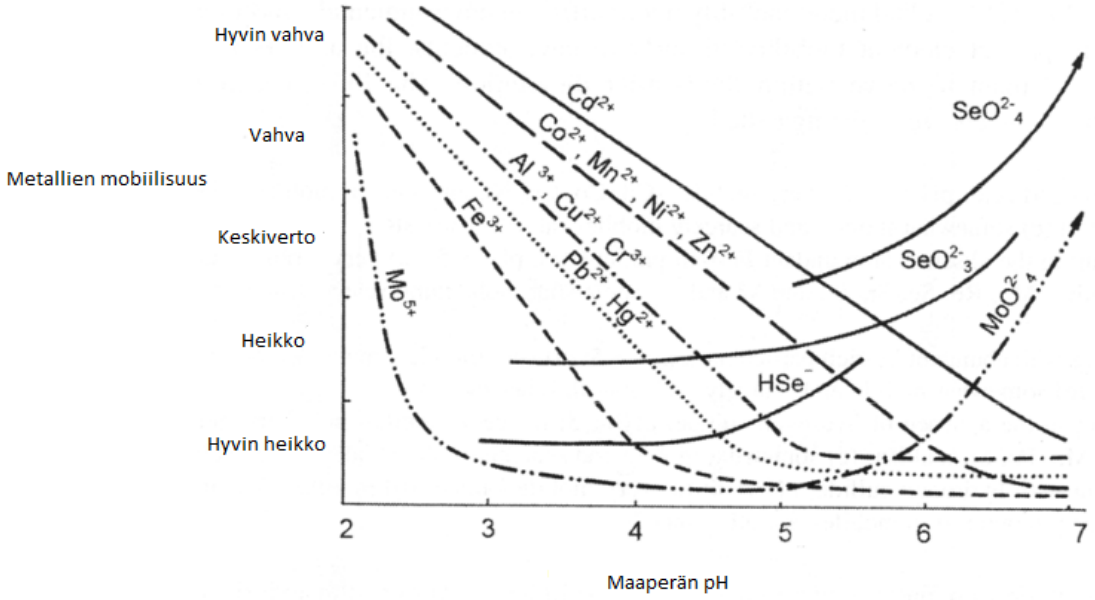
Sateisten ja kuivien alueiden erilaiset pohjavesi- ja maavesiolosuhteet vaikuttavat metallien kulkeutumiseen olennaisesti. Sateisilla alueilla pintakerrosvalunta etenkin vaihtelevan topografian alueella vaikuttaa metallien kulkeutumiseen, koska viettävä maaperä kuljettaa vettä ja siinä olevia partikkeleita sivusuunnassa. Erittäin sateisina aikoina sadeveden suotautuminen maaperässä voi kuljettaa metalleja myös analysoitavan horisontin alapuolelle etenkin huokoisessa maaperässä. Pohjavedessä olevien metallien kuljetusmekanismeihin liittyy olennaisena osana hydraulinen johtavuus, joka vaihtelee maalajitteen mukaan (Heikkinen 2000).

Metallien kulkeutumismekanismit riippuvat myös mm. mineralisaatio- ja maaperätyypistä sekä maaperän paksuudesta (Smee 1998). Muita vaikuttavia tekijöitä ovat orgaanisen- ja hienoaineksen määrä, ioninvaihtokapasiteetti, mineraalikoostumus, partikkelien ominaispinta-ala sekä pintaominaisuudet (Heikkinen 2000, Rybickan & Jedrzejczykin 1995 mukaan). Maaperän pinnan elektrokemialliset ominaisuudet vaihtelevat maaperätyyppien välillä ja riippuvat esimerkiksi maaperä- ja kasvillisuustekijöistä. (Evangelou 1998).

Metalli-ionien kulkeutumisessa ja pidättymisessä yksi olennainen tekijä on ilmasto (lämpötila, sateisuus). Maaperän kosteuden ja maastonmuotojen vaihtelu ovat tärkeässä roolissa maan ja ilmakehän vuorovaikutuksissa ilmastosysteemissä sekä hydrologisessa ja biokemiallisen kierrossa kuin myös kasvillisuuteen suhteen (Senevitrane ym. 2010). Metsän kasvillisuus vaikuttaa maannoksen rakenteeseen ja erilaisissa maannoksissa metallien kulkeutuminen vaihtelee. Myös kationinvaihtokyky on erilainen erilaisissa maannoksissa. Kiinteiden faasien pintareaktiot tapahtuvat enimmäkseen savifraktiossa (Sposito 1989).

pH on tärkein maaperässä olevien metallien adsorptiota ja liukoisuutta kontrolloiva ominaisuus (Welp & Brummer 1999), koska rauta- ja mangaanioksidien/-hydroksidien, savimineraalien ja orgaanisten yhdisteiden stabiilisuudet ovat pH-riippuvaisia (Heikkinen 2000). Happamissa olosuhteissa useimmat raskasmetallit esiintyvät liukoisessa muodossa ja saostuvat neutraaleissa tai emäksisissä olosuhteissa. Jotkin metalleista, kuten molybdeeni, liukenevat emäksisissä olosuhteissa (Alloway 1995).

Kuvassa 2 esitetään metallien mobiilisuus erilaisissa pH-olosuhteissa.



Kuva 2. pH:n vaikutus metallien mobiilisuuteen ohuessa maaperässä (Modifoitu Kabata-Pendiaksen (2000) kuvasta).

Hapetus-pelkistysolosuhteet eivät vaikuta metallien adsorbtioon niin merkittävästi kuin pH (Kabata-Pendias 2000), mutta ovat myös tärkeitä metallien mobiilisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Useammat metallit ovat mobiileja pelkistävissä olosuhteissa, koska silloin metalli-ioneilla on alhaisempi varaus mikä edistää liikkuvuutta (Heikkinen 2000).

4. HEIKKOUUTTOMENETELMÄT

Heikkouuttomenetelmät ovat kemiallisia analysointimenetelmiä, jotka eroavat toisistaan lioutuskohteen ja uuttoliuoksen vahvuuden suhteen. Menetelmät voidaan jakaa selektiivisiin ja ei-selektiivisiin osittaisuuttomenetelmiin. (Heberlein 2013).

Selektiivinen uutto kohdistuu tiettyyn faasiin ja liuottaa vain pienen osan niistä metalleista, jotka liukenevat esim. kuningasvedellä tai totaaliuuttomenetelmillä (Peuraniemi 2012). Selektiiviset menetelmät eivät uuta juurikaan mineraaliainesta eli matriksia, vaan enemmänkin tietyn mineraaliryhmän tai –fraktion, jonka oletetaan sisältävän haluttua informaatiota koskien maaperäkerrostumien alla olevaa kallioperää (Mann 2007).

Ei-selektiivinen uutto liuottaa mineraalirakeista ja erityisesti niiden pinnalta kaikki heikosti kiinnittyneet metalli-ionit (Mann ym. 1998), jotka ovat lähinnä vaihtokykyisiä kationeita, mutta myös mangaanioksideihin, savimineraaleihin ja orgaanisiin aineksiin sitoutuneita alkuaineita ja myös osan karbonaatteihin ja sulfideihin sitoutuneista alkuaineista. Ei-selektiivisillä menetelmillä ei saada tietoa, mihin faaseihin alkuaineet ovat vallitsevasti sitoutuneet. (Peuraniemi 2012).

Heikkouuttomenetelmissä käytetään eri vahvuisia heikkoja happoja, joilla liuotetaan mineralisaatiosta maan pintakerroksiin kulkeutuneita ns. eksogeenisiä metalli-ioneita näytteestä. Niiden osuus totaalikonsentraatiosta on vähäinen, mutta niiden avulla saadaan tausta-/anomalia-kontrasti hyvin erottumaan (Mann ym. 1997). Anomalian tyypillinen ilmentymä heikkouutoilla analysoiduissa näytteissä on ns. kaninkorva-anomalia, eli kaksi huippuinen anomalia, jossa selkeästi taustasta erottuvat pitoisuudet muodostavat kaksi korkeamman pitoisuuden piikkiä. Verkkomaisessa näytteenotossa sama ”kaninkorva” -ilmiö tarkoittaa ns. haloa. (Hamilton 2010, Heberlein 2013). Nämä anomaliatyypit ovat yleisiä sulfidimineralisaatioiden kohdalla.

Tavanomaiset kokonais- ja lähes kokonaisuutot eivät sovellu niin hyvin sähkökemiallisten mekanismien avulla kulkeutuneiden alkuaineiden analysointiin, koska näiden uuttomenetelmien antamat tulokset kertovat enemmänkin matriksista (Bajc 1998), jonka metallipitoisuudet ovat usein klastisen dispersion aiheuttamia.

4.1. MMI-menetelmä

MMI-menetelmä perustuu maan pinnassa olevien mineraalirakeiden pinnoille heikosti sitoutuneiden metalli-ionien pitoisuuksien ja muiden alkuainepitoisuuksien määrittämiseen (Sarala ym. 2008). MMI-menetelmässä käytetään vahvoja ligandeja, joiden avulla saadaan eroteltua analyysiliuokseen mineraalirakeiden pintaan edellä kuvattujen kulkeutumismekanismien vaikutuksesta heikosti kiinnittyneet ionit kompleksimuodostuksen avulla (Mann 1998). Menetelmä on SGS Minerals-laboratorioiden patentoima, eikä analyysiliuoksen koostumus ole yleisesti tiedossa.

MMI-uuttomenetelmissä on käytettävissä useita erilaisia liuoksia. Tämän projektin yhteydessä on käytetty MMI-M-liuotusta, joka on monielementtiliuotus. Alkuainepitoisuudet liuoksista määritetään ICP-MS:llä, jonka määritysrajat ovat luokkaa ppb.

MMI-menetelmää käytetään erityisesti paksujen glasigeenisten maaperäkerrostumien alla olevien mineralisaatioiden ja lakustristen tai mariinisten sedimenttien alla olevien mineralisaatioiden havaitsemiseen, koska perinteiset kallioperätutkimukset ovat tällaisilla alueilla kalliita (Sarala ym. 2008).

MMI-menetelmän toimivuutta Suomen olosuhteissa ovat kuvanneet mm. Ahola (2009) ja Sarala ym. (2007). Tulokset ovat olleet varsin hyviä.

4.2. Entsyymiuutto

Entsyymiuuttomenetelmä on Activation Laboratoriesin (ActLabs) patentoima analyysimenetelmä, joka on ollut kaupallisessa käytössä jo vuosia. Entsyymiuutto on selektiivinen analyysitekniikka, jota käytetään amorfisten mangaanioksidi päällysteisten mineraalirakeiden alkuainepitoisuuksien määrityksiin. Menetelmää käytetään erityisesti sokeiden malmien etsimiseen (Yager ym. 1997).

Entsyymiuuttomenetelmä soveltuu erityisesti seuraaville alkuaineille: Ag, As, Bi, Br, Cd, Cl, Cu, Ga, I, In, Mo, Pb, Re, Sb, Se, Tl, U, V ja W. Kulta ei vapaudu entsyymireaktioissa (Clark 1997), joten menetelmä ei sovellu sen analysointiin. Entsyymiuutto on herkkä pH:n muutoksille (Hall 1998, Smee 1997).

4.3. Ioniuutto

Ioniuutto on ei-selektiivinen ALS-Chemex -laboratorion kehittämä osittaisuuttomenetelmä, joka liuottaa karbonaattimineraaleihin heikosti sitoutuneita metalli-ioneita sekä jossain määrin Mn-oksideihin sekä amorfisiin Fe-oksideihin liittyviä metalleja (Heberlein 2013).

Ioniuutto on staattinen natriumsyanidiuutto, joka perustuu kelaatioon ammoniumkloridin, sitruunahapon ja EDTA:n avulla. Uuttomenetelmä on emäksinen (pH 8,5). (http://www.alsglobal.com/).

4.4. Ammonium-asetaattiuutto

Ammonium-asetaattimenetelmää käytetään vaihtokykyisten ionien ja karbonaattien liuotukseen. Liuottamisessa käytetään joko puskuroimatonta (pH 5) tai puskuroitua (pH 7) liuotinta. Ammonium-asetaattimenetelmä on herkkä maaperän pH-muutoksille. (Heberlein 2013). Ammonium-asetaatin käyttöä Suomessa on kuvannut mm. Hartikainen (2011).

4.5. Biouutto

Biouutto on Actlabsin kehittämä ja patentoima selektiivinen uuttomenetelmä.
Biouutolla liuotetaan näytemateriaaleista kuolleiden bakteerien proteiinijäänteitä, joissa on kallioperästä peräisin olevia alkuaineita. Alkuaineet kulkeutuvat maan pintakerroksiin kuolleiden bakteereiden solun hajoamisen myötä vapautuneiden hiilivetyjen noustessa kaasukuplien mukana. Proteiinit kulkeutuvat suoraan mineralisaation päälle useiden prosessien avulla, jonka jälkeen ne adsorboituvat. (http://www.actlabs.com/page.aspx?page=1326&app=254&cat1=684&tp=12&lk=no&menu=64).

4.6. Soil Gas Hydrocarbons (SGH)

Act Labsin patentoimalla SGH-heikkouuttomenetelmällä (selektiivinen) erotetaan maanpintakerroksiin kallioperän pinnasta kulkeutuneita hiilivetyjä. SGH-analyyseissä käytetään 162 hiilivety-yhdistettä (C5-C17 carbon series range), joista tietyt hiilivety-yhdisteet ja hiilivetyluokat (19 erilaista) indikoivat tietyn tyyppisiä mineralisaatiota (ns. SGH signature). (Actlabs 2013). SGH-hiilivetyjen avulla voidaan myös tunnistaa mineralisoituneiden alueiden pelkistyneitä vyöhykkeitä/redox-soluja (Heberlein 2013).

Malminetsinnässä käytetyt hiilivedyt ovat mikrobien ja bakteereiden hajoamistuotteita. (Actlabs 2013). Hiilivetyjä voidaan tässä yhteydessä käyttää ns. bioindikaattoreina/biomarkkereina. Hiilivedyt eivät esiinny nimestään huolimatta (Soil Gas Hydrocarbons) kaasumaisessa muodossa, eikä niiden käyttö rajoitu ainoastaan maaperänäytteisiin (Actlabs 2013), vaan menetelmän etuina ovat nimenomaan se, että näytemateriaalina voidaan käyttää eri maaperähorisontteja, turvetta, humusta, järvisedimenttejä ja jopa lunta. Fysikaalisilla prosesseilla, pohjaveden pinnan korkeudella tai maaston topografialla ei vaikuta olevan merkitystä anomalioihin, koska SGH-hiilivedyt ovat suhteellisen neutraaleja polaarisuudeltaan ja varaukseltaan ja molekyylipainoltaan raskaita (Actlabs 2013). SGH-tulokset eivät ole kovin luotettavia, jos esiintymän alla oleva maaperä on ohuempi kuin viisi metriä.

SGH-tulokset analysoidaan laboratoriossa ja tuloksista tuotetaan tilaajalle raportti ja karttakuva. Karttakuvat tuotetaan tilaajan toivoman mallin (esim. kulta-, hopea- tai monimetallimallit) mukaan, mikä tarkoittaa, että analyysit tehdään tiettyjen mineralisaatiotyyppien alueella yleisesti esiintyvien hiilivetytutkimusten avulla. Mahdollinen anomalian sijoittuminen kartoilla voi muuttua käytettäessä eri molekyylipainoisia hiilivetyjä tai jos mineralisoitunut vyöhyke on syvällä kallioperässä. Maaperän koostumus ja stratigrafia ei yleensä vaikuta tuloksiin. (Actlabs 2013).

5. NÄYTTEENOTTOMENETELMÄT

Heikkouuttonäytteenotot on hyvä suorittaa linjoittain, jotta tuloksia on helpompi tulkita ja anomaloiden syy on helpompi tunnistaa (Hamilton 2007). Heikkouuttomenetelmien näytteenottolinjojen suunnittelussa suositellaan toimittavan niin, että vähintään puolet, mieluiten kaksi kolmasosaa näytteistä kerätään tausta-alueilta varsinaisen mineralisoituneen vyöhykkeen ulkopuolelta kummaltakin reunalta. Tällöin saadaan riittävä kontrasti ympäristöön sekä taustan tasot alkuaineille. Heikkouuttolinjan pisteiden väli sijoitetaan kokonaislinjalla siten, että pisteväli on maksimissaan 50 m. Yleensä pisteväli on n. 30-40 metriä. Verkkomaista näytteenottoa voidaan käyttää, jos kohde jo selkeästi tiedossa ja siinä on esimerkiksi linssimäisiä rakenteita.

Tutkimusalueella liikutaan GPS-laitteen avulla. Näytteenottolinja merkitään maastosta hyvin erottuvilla nauhoilla esim. lähimpään puuhun. Tarkat koordinaatit näytteenottokuopille merkitään GPS-laitteeseen tai kenttätietokoneelle. Näytteenottokuopat pyritään sijoittamaan niin, ettei analyysituloksiin tule vääriä anomalioita erilaisista kontaminaatiolähteistä, kuten teistä ja kaatuneista puista. Näytteenottokuopat kaivetaan myös hiekkapuhallutetulla lapiolla, jotta maalin aiheuttamalta kontaminaatiolta vältyttäisiin. Jokaisen kaivetun kuopan jälkeen lapio puhdistetaan ennen seuraavan kuopan kaivamista. Suosituksena on myös, että näytteenoton jokaisen kohteen ja menetelmän suhteen suorittaa sama henkilö. Näytteenotto tulee suunnitella niin, että yhden linjan näytteet voidaan kerätä saman päivän aikana ja samanlaisissa sääolosuhteissa.

Kaikki heikkouuttonäytteet (Mobile Metal Ion (MMI), bio-, entsyymi- ja ioniliuotus, Soil Gas Hydrocarbon (SGH)) sekä pH-näyte voidaan ottaa samasta näytteenottokuopasta. Näyte otetaan muovisella puutarhalapiolla. Ennen näytteenottoa yksi kuopan seinämä puhdistetaan puutarhalapiolla. Näytteestä poistetaan suurimmat kivenkappaleet ja juuren palat.

Näytekuopan syvyys on n. 40 - 50 cm välillä riippuen maannosprofiilista. Kuopan leveys on myös n. 40 - 50 cm. Jokainen näytteenottokuoppa kuvataan kuvissa 2-3 esitetyllä tavalla ja täytetään näytteenoton jälkeen. Ennen kuopan täyttämistä havainnot kirjataan ylös esim. kenttätietokoneelle ohjeistuksen mukaisesti (liite 1). Näytteet kerätään ilmatiiviisiin pusseihin (esim. Mini grip-pusseihin), joissa on juokseva numerointi. Puutarhalapio puhdistetaan näytteenoton jälkeen edellisen näytteenottokuopan aineksista.

Kuvat 3-4. Näytteenottokuoppia Kuusamon Juomasuolla 2013. Kuvat: Olli Junttila.

Vähiten maastoon tulee jälkiä siten, että pinnan kunttakerros laitetaan paakkuna ensin sivuun ja sitten kaivetun näytteenottokuopan maa-aines käännetään suoraan kuopan reunalle levitetyn muovin päälle. Näytteenoton jälkeen monttu on helppo täyttää nostamalla muovin päällä oleva maa-aines suoraan takaisin kaivettuun monttuun ja sijoittamalla kunttapaakku kuopan päälle. Näin maahan jää lähes huomaamaton jälki. Ihanneolosuhteissa yhden montun heikkouuttonäytteiden ottoon (6 kpl), havainnointiin ja kuvaukseen kuluu aikaa n. 15 minuuttia.

Kuva 5. Näytteenottoa ja havainnointia. Kuva: Olli Junttila.

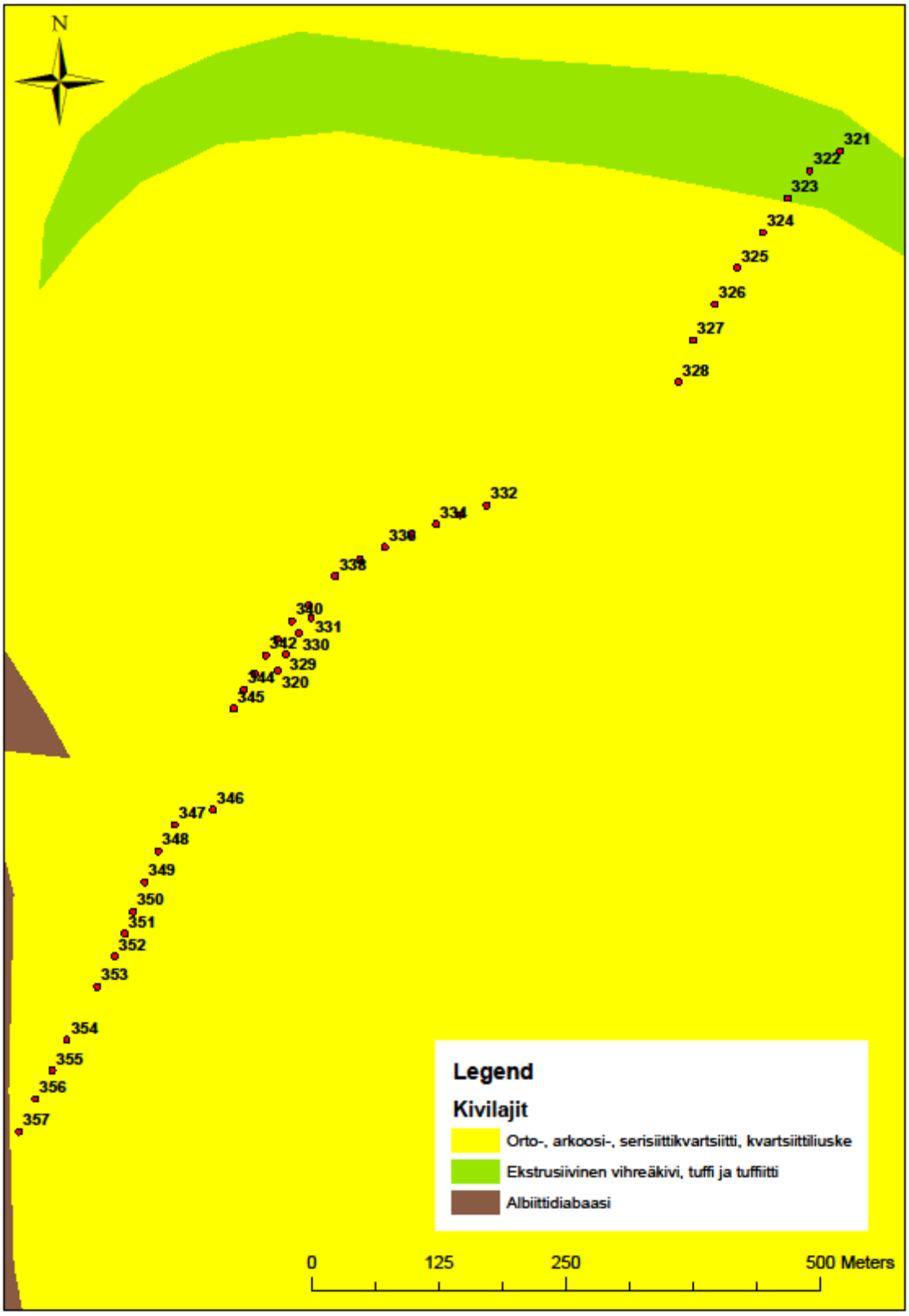
5.1. Juomasuon näytteenotto vuosina 2013-2014

Tässä pro gradu -tutkielmassa käsitellyt heikkouutto- ja pH-näytteet kerättiin kesien 2013 ja 2014 aikana. Vuonna 2013 näytteenotosta vastasivat Elisa Kyllönen ja Olli Junttila. Vuonna 2014 näytteenotosta vastasivat Olli Junttila, Elisa Kyllönen ja Janne Rekilä. Näytteenottolinjat oli suunniteltu etukäteen ArcGIS-ohjelmistolla. Juomasuon linjojen pistevälit poikkeavat hieman ohjeistuksesta, koska linjalle sijoittui suo, josta näytteitä ei kerätty, ja 2013 näytteenotto suoritettiin tiheämmin mineralisaation kohdalla. Linjan pistevälit olivat 15-50 m:n välillä, mutta enimmäkseen n. 20 m.

Taulukko 1. Vuosina 2013-2014 kerättyjen heikkouutto- ja pH-näytteiden määrät.

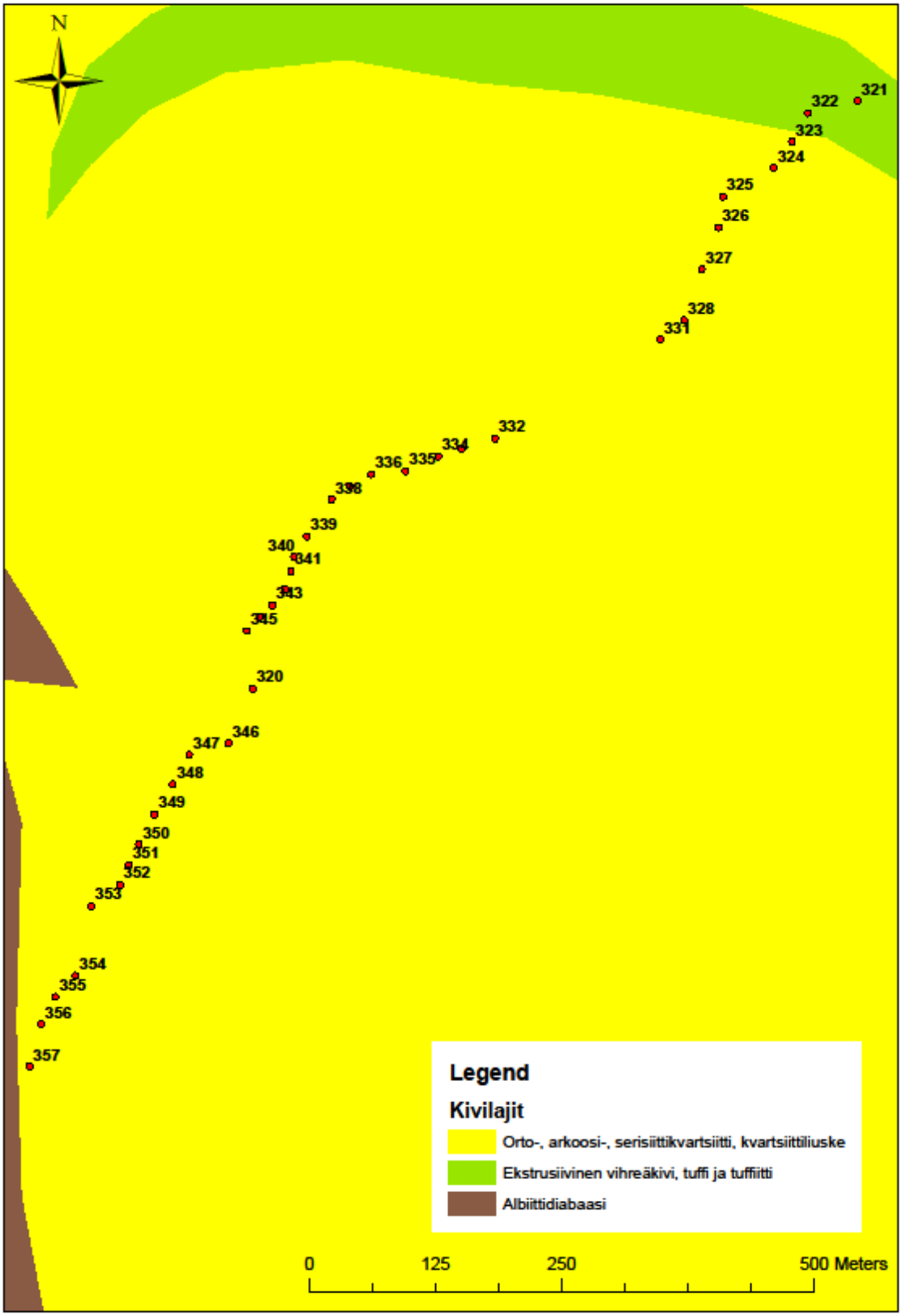
Menetelmä	Näytemäärä 2013	Duplikaatit 2013	Näytemäärä 2014	Duplikaatit 2014	Yhteensä
MMI	38	6	36	2	82
ENTSYYMIUUTTO	38	6	36	2	82
IONIUUTTO	38	6	36	2	82
AMMONIUM-ASETAATTI	38	6	36	2	82
BIOUUTTO	38	6	36	2	82
SGH	38	6	36	2	82
pH	38		36		74
Yhteensä	266	36	252	12	566

Juomasuon näytteenottolinjan pisteet eivät ole jatkuvassa numerojärjestyksessä: vuonna 2013 mineralisaation päälle siirrettiin kohdealueen pohjoisosassa sijaitsevan suon kohdalle alunperin suunnitellut pisteet (329, 330 ja 331). Linjan kärjestä piste 320 siirrettiin myös mineralisaation päälle (Kuva 6). Kuvan 6 kallioperäkartassa ilmenee heikkouuttolinjan pohjoispään kivilajin vaihtuminen pisteiden 321-323 kohdalla.



Kuva 6. Juomasuon vuoden 2013 heikkouuttonäytteenottolinja ja näytteenottopisteet kallioperäkartalla.

Vuonna 2014 pisteet 329 ja 330 jätettiin ottamatta ja piste 331 sijoitettiin pisteen 328 ja suon väliin. Piste 320 sijoittui pisteiden 345 ja 346 välimaastoon (Kuva 7).



Kuva 7. Juomasuon vuoden 2014 heikkouuttonäytteenottolinja ja näytteenottopisteet kallioperäkartalla.

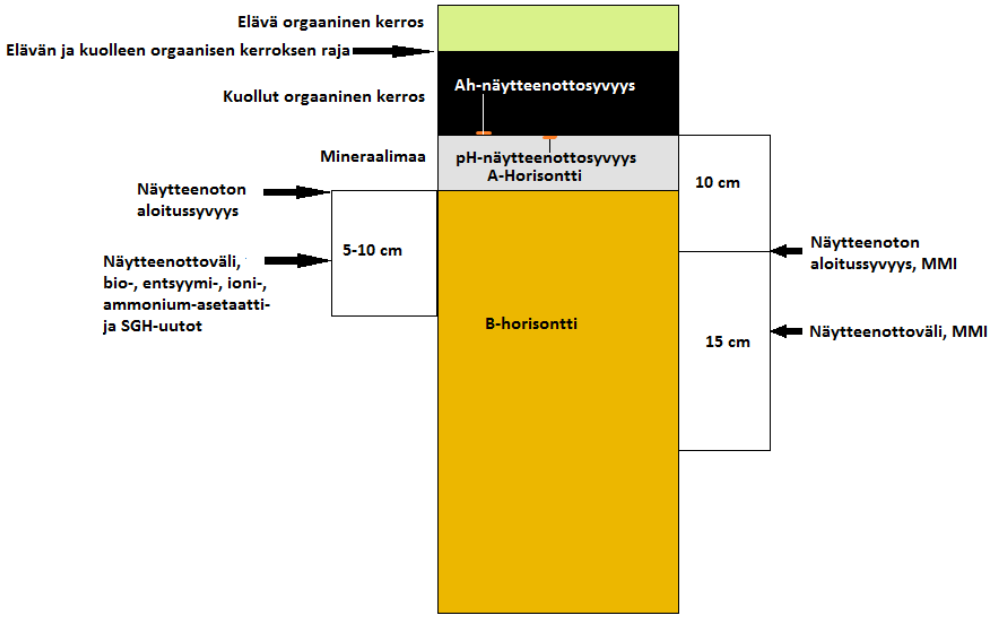
Heikkouutto- ja pH-näytteidenottossa noudatettavista ohjeista voidaan toteta seuraavaa:

MMI-M: Näyte kerätään 10-25 cm:n syvyydeltä mineraalimaan ja humuksen kontaktista alaspäin huolimatta maannosprofiilin kerroksesta. Kivet ja juuret poistetaan näytteestä. Näytekoko on 250-300 g.

Ammonium-asetaatti-, bio-, entsyymi- ja ioniuutto sekä SGH:
Kukin näyte kerätään normaalisti omaan pussiin, mutta vuonna 2014 samoihin laboratorioihin menevät näytteet yhdistettiin. Podsol-maannoksen ollessa kyseessä näyte otetaan B-horisontin pintaosasta n. 5-10 cm:n matkalta. Brunisoil-maannoksessa näyte otetaan orgaanisen kerrostuman alta, mineraalimaan yläosasta n. 0-10 cm:n syvyydeltä. Näytteistä poistetaan kivet ja juuren kappaleet. Näytekoko on n. 250-300 g kussakin näytteessä.

SGH-tulosten tulkinnan kannalta olisi toivottavaa, että näytteenottopisteiden välit olisivat tasaiset ja että näytteenotto suoritettaisiin verkkonäytteenottona. Alle 50 kpl näytemäärät hankaloittavat tulkintaa. (Sutherland 2010).

pH-näyte: Näytteen koko on n. 50 grammaa mineraaliainesta ja se kerätään n. 1-2 cm:n syvyydeltä mineraalimaan pinnasta (A_e-horisontti). pH-mittaukset suoritettiin näytteenottajien toimesta jälkeenpäin GTK:n Pohjois-Suomen yksikössä.



Kuva 8. Suositellut näytteenottosyvyydet heikkouutto- sekä pH-näytteille Podsol-maannoksessa.

5.2. Laaduntarkkailu

Analyysin laatua tarkkailtiin duplikaattinäytteiden avulla, jotka otettiin esim. 10-20 näytteen välein/5-8 % näytteistä. Duplikaattinäyte otettiin rinnakkaisnäytteenä muutaman metrin päästä varsinaisesta näytteenottopisteestä, mutta voitiin ottaa myös samasta kuopasta, mutta eri reunalta. Näytteenottokuopan havainnot kirjattiin ylös kuten varsinaisen näytteen osalta. (Sarala ym. 2008). Rinnakkaisnäyte numeroitiin kuten varsinaiset näytteet, mutta numerointi aloitettiin 10:stä.

Duplikaattien tarkkuutta ei tarkastella tilastollisesti duplikaattien vähäisen määrän takia (tilastollisesti liian vähän). Duplikaattien tarkkuus oli kuitenkin laboratorioiden mukaan hyvä. Duplikaattien ja varsinaisten näytteiden alkuainepitoisuudet ovat liitteinä (Liitteet 12-16).

Analyysilaitteiston tulosten laadun tarkkailemiseksi on mahdollista käyttää myös seurantanäytteitä (ns. projektikohtainen referenssinäyte). Seurantanäytteet kerättiin tausta-alueelta esim. saaviin, jossa näyte homogenisoitiin. Homogenisoinnin jälkeen näytteet pussitettiin ja sijoitettiin näyte-eriin esim. 25-30 näytteen väleillä. Näin

toimimalla on mahdollista seurata analyysin aikaista menetelmästä ja/tai laitteistosta aiheutuvaa virhettä. (Sarala ym. 2008). Referenssinäytteiden tarkkuus oli laboratorioiden mukaan hyvä.

5.3. Laboratoriot ja analytiikka

Tässä gradussa käsitellyt maaperänäytteet analysoitiin eri heikkouuttomenetelmillä ICP-MS-tekniikkaa käyttäen. Ainoastaan SGH-analyysit tehtiin kaasukromatografilla/ massaspektrometrillä. Entsyymiuutto, biouutto ja SGH-analyysit tuotettiin Actlabsissa (Activation Laboratories Ltd), ammonium-asetaatti- ja ioniuuttoanalyystit ALS-laboratorioissa (Australian Laboratory Services) ja MMI-analyysit SGS-laboratoriossa.

Heikkouuttonäytteet seulottiin (fraktio pääsääntöisesti 0,18 mm) laboratoriossa ennen uuttoa. Uutettava näytemäärä oli menetelmästä riippuen 0,75-50 g (Kyllönen 2015).

Tutkittujen alkuaineiden määritysrajat olivat seuraavat:

Entsyymiuutto: Cu 1 ppb, Co 0,2 ppb, U 0,01 ppb, Au 0,005 ppb, Ni 1, As 0,1 ppb.
Biouutto: Cu 0,5 ppb, Co 0,1 ppb, U 0,01 ppb, Au 0,05 ppb, Ni 0,2 ppb, As 0,5 ppb.

MMI-M: Cu 10 ppb, Co 5 ppb, U 1ppb, Au 0,1 ppb, Ni 5 ppb, As 10 ppb.

Ioniuutto: Cu 1 ppb, Co 0,3 ppb, U 0,1 ppb, Au 0,02 ppb, Ni 1 ppb, As 2 ppb.

Ammonium-asetaatti: Cu 0,05 ppm, Co 0,001 ppm, U 0,0005 ppm, Au 0,001 ppm, Ni 0,05 ppm, As 0,01 ppm.

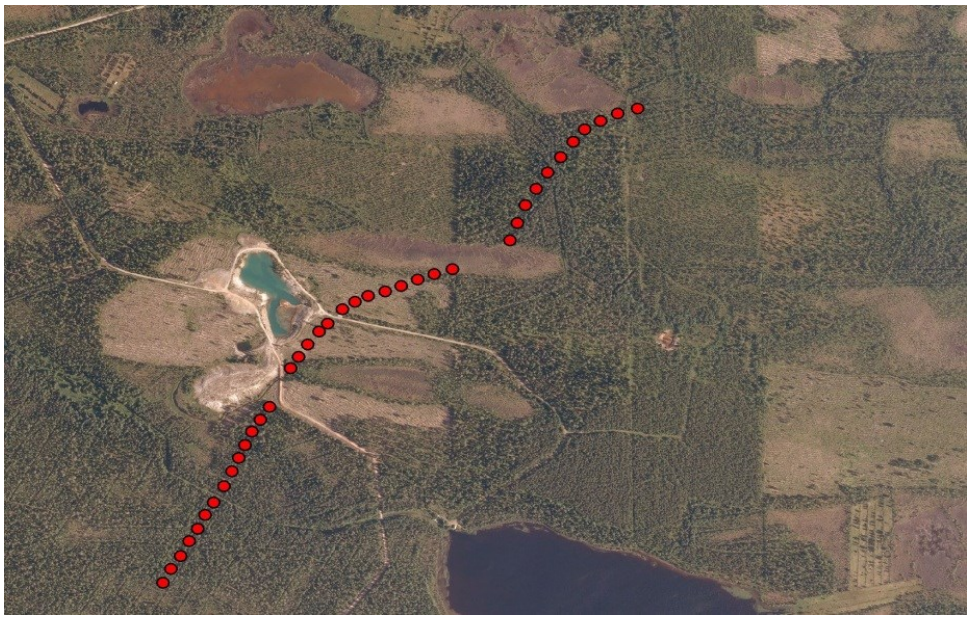
SGH: voidaan määrittää useita yhdisteitä tarkuudella 1 ppt.

6. TUTKIMUSALUE

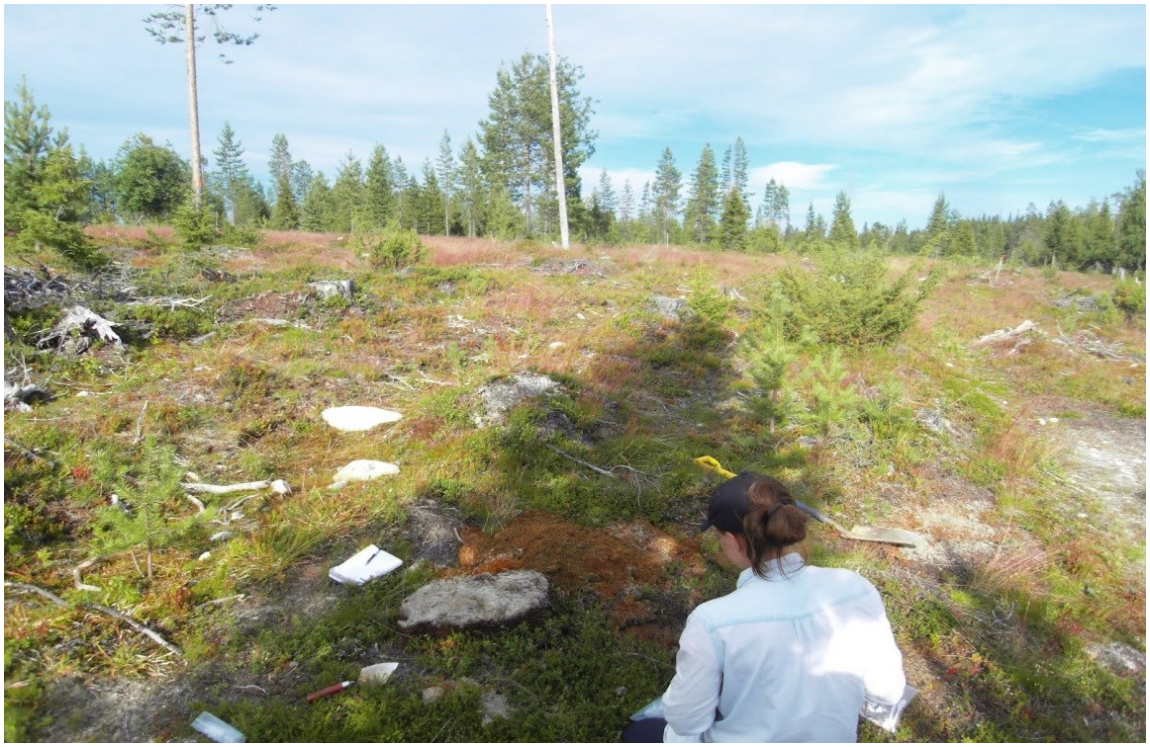
6.1. Juomasuo

Kuusamo sijaitsee Pohjois-Pohjanmaan maakunnassa, Koillismaalla.
Juomasuon tutkimusalue sijaitsee n. 45 km pohjoiseen Kuusamon keskustasta ja n. 3 - 4 km päässä Käylän ja Säkkilän kyläkeskuksista (kuva 9). Noin kilometrin esiintymien pohjoispuolella sijaitsee Kitkajoki, jonne vedet tutkimusalueelta laskevat. Esiintymät sijaitsevat osittain Pohjasvaaraan Käylästä kulkevan metsäautotien alla sekä molemmilla puolilla tietä. (Pankka 1989). Kaivospiirille on kaivettu yksi noin 100 m pitkä tutkimusoja malmiesiintymien ulkopuolelle (kuvassa 10 veden peittämä alue näytteenottolinjan pohjoispuolella).

Kuva 9. Tutkimusalueen sijainti. Pieni kuva WebInfo. Iso kuva Maanmittauslaitoksen Taustakarttasarjan 01/2015 aineistoa.



Kuva 10. Ilmakuva tutkimusalueesta ja näytelinjasta. GTK/Pertti Sarala.



Kuva 11. Näytteenottoa mineralisaation/drumliinin päällä. Kuva Olli Junttila 2013.

Tutkimusalue on morfologisesti loivapiirteistä koostuen drumliineista ja niitä ympäröivistä soista. Tutkitun mineralisaation alueella maapeitteiden paksuus vaihtelee muutamista metreistä yli 10 metriin ja tausta-alueilla noin kaksi metriä. Esiintymien kallioperän pintaan ulottuvat puhkeamat sijaitsevat drumliinikumpareen alla. (Pankka 1989).

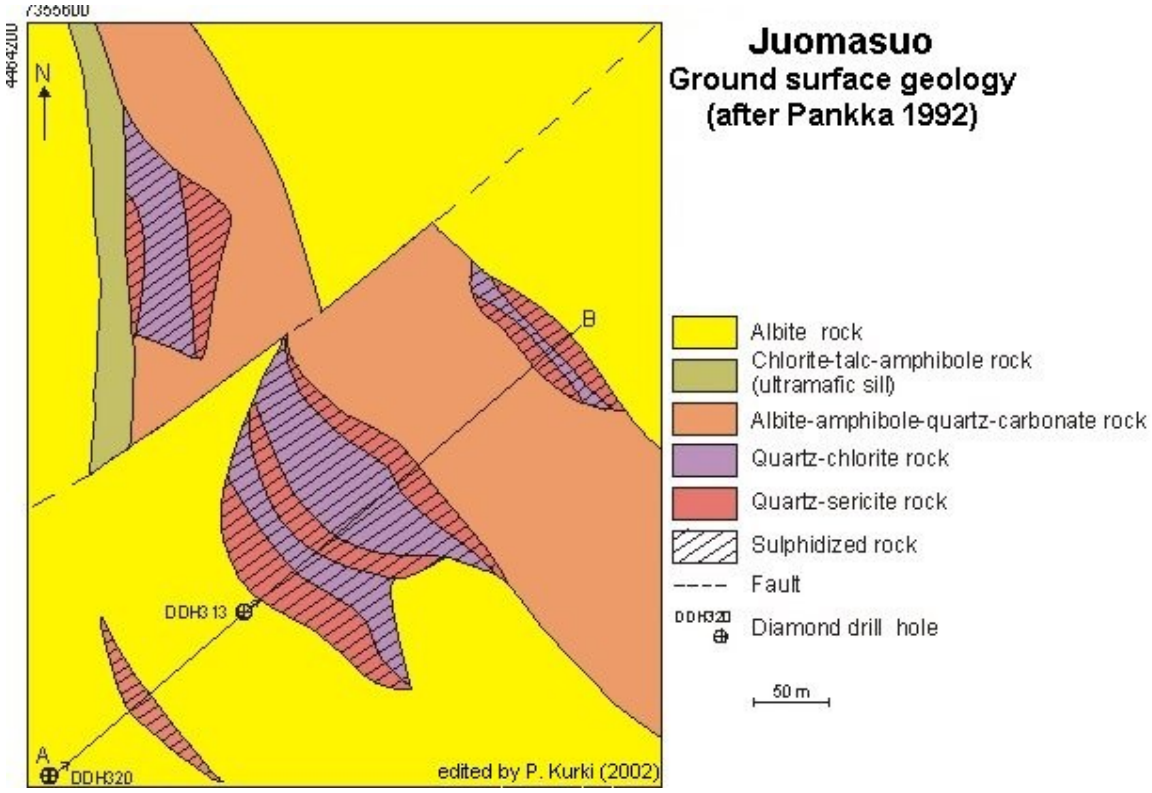
6.1.1. Juomasuon kallioperä ja mineralisaatiot

Juomasuolla on suurin tunnettu kulta- ja kobolttiesiintymä varhaisproteotsooisella Kuusamon liuskealueella. Esiintymässä on rikastuneena myös hopeaa, kuparia, molybdeeniä, nikkeliä, harvinaisia maametalleja ja uraania. Juomasuon Au-Co-mineralisaatio paikannettiin vuonna 1985 keväällä geofysikaalisilta matalalentokartoilta. Paksuista glasiaalikerrostumista johtuen geofysikaalisten tutkimusten ohella Juomasuolla on tehty pääasiassa syväkairausta. (Pankka 1989).

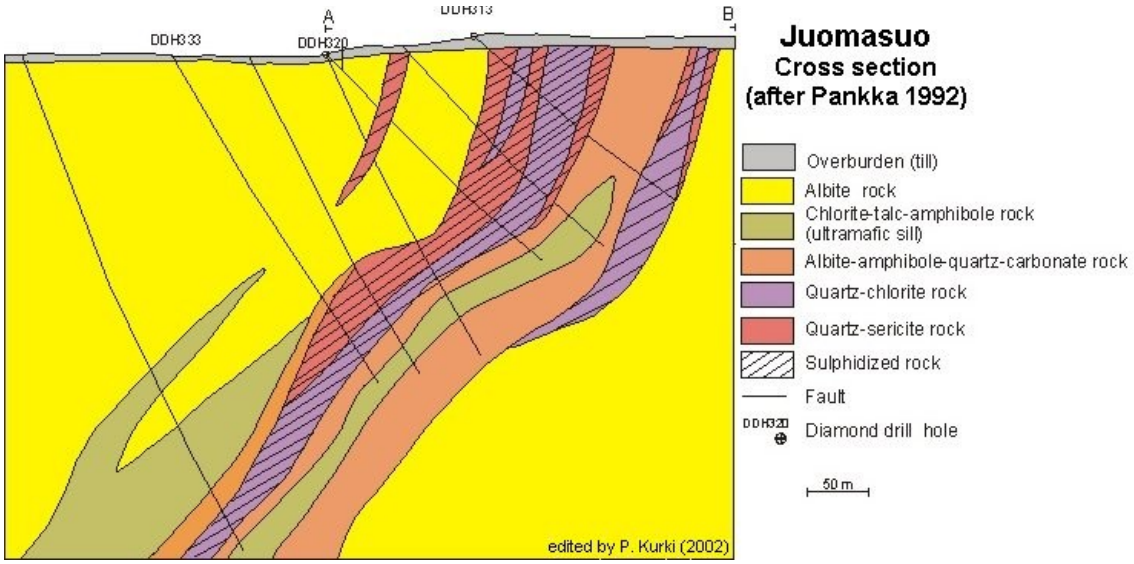
Juomasuon sulfidiesiintymät (Malmiot A, B, C, D ja E) sijaitsevat ns. Käylä-Konttiaho-antikliinin pohjoispäässä, Käylän kylän itäpuolella. Käylä-Konttiaho-antikliini muodostaa geologisesti erittäin sopivan kultamalmien synty-ympäristön, vaikka kullan suhteen koko Kuusamon liuskealue on potentiaalinen. (Vanhanen 1990). Sulfidiesiintymät sijoittuvat serisiittikvartsiittimuodostumaan. Antikliiniakselia jyrkästi leikkaava WNW-ESE-suuntainen ruhjesysteemi kontrolloi esiintymiä. (Pankka ym. 1991).

Juomasuon kulta on rikastuneena kapeisiin, erillisiin kerroksiin ja esiintyy pääasiassa mikroskooppisina raekasaumina ja rakeina vismutti-mineraalien ja telluridien kanssa sekä sulkeumina uraniniitissa, kobolttihohteessa ja rikkikiisussa. Koboltti on jakautunut kiisuuntuneeseen osaan tasaisemmin. Rikki- ja magnetiittikiisun lisäksi pendlandiitti ja kobolttihohde ovat yleisiä sulfidimineraaleja alueella. (Pankka 1989).

Juomasuolla tavatut malmit ovat syrjäytysmalmeja, joiden malmiutuminen keskittyy plastiseen ruhjevyöhykkeeseen. Pintaleikkauksessa malmit ovat litistyneet voimakkaasti, syvyyssuunnassa ne ovat jatkuvia. (Pankka 1989).



Kuva 12. Juomasuon (Malmio A) kallioperän pintaleikkaus. Kuva GTK.



Kuva 13. Juomasuon (Malmio A) kallioperän sivuprofiili mineralisaatiosta. Kuva GTK.

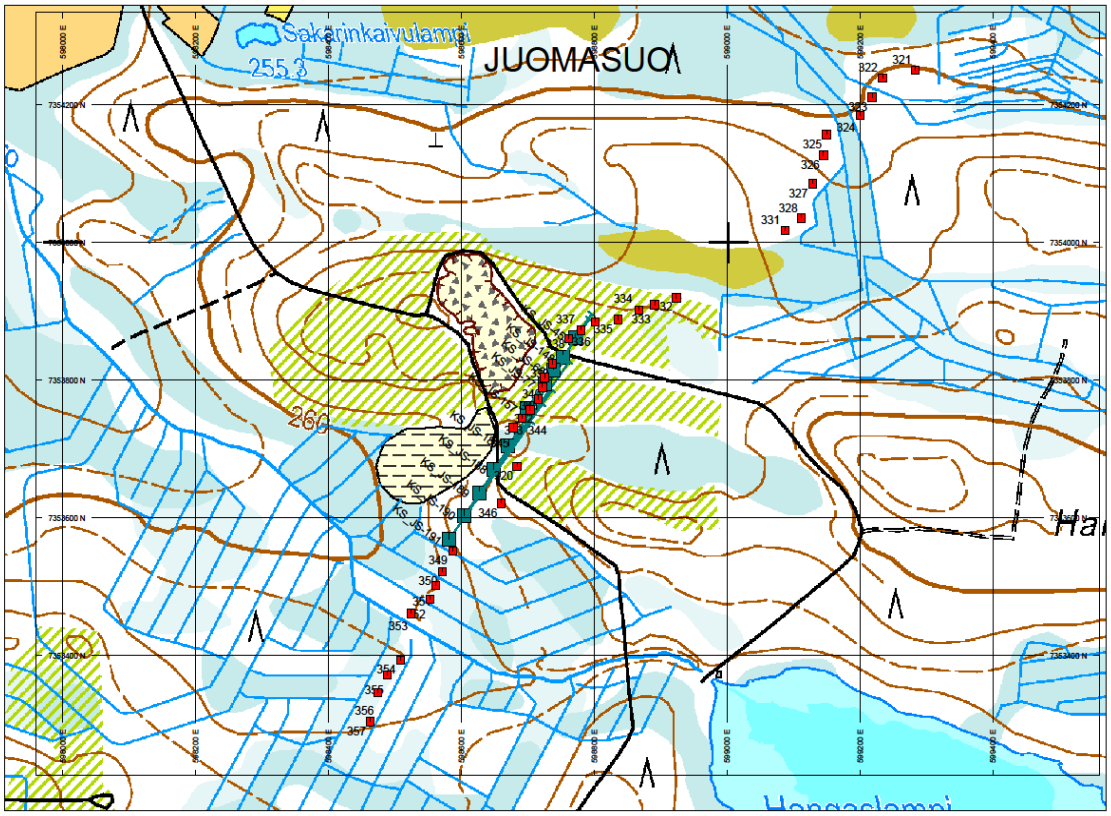
Pankan (1989) mukaan "esiintymät sijoittuvat hydrotermisesti muuttuneisiin serisiittikvartsiittimuodostuman pääasiassa sedimenttisiin kiviin. Vanhinta, voimakkainta ja laaja-alaisinta hydrotermistä muuttumista edustaa albiittiutuminen (Na-

metasomatoosi), joka edeltää malmiutumisvaihetta. Albiittikiveen on Mg-Fe-metasomatoosin vaikutuksesta, varsinkin malmin jalkapuolelle, syntynyt amfiboliporfyroblastinen albiittikivi. Malmivyöhyke on voimakkaasti kloriittiutunut ja serisiittiytynyt. Korkeimmat kulta- ja kobolttipitoisuudet on todettu sulfidipitoisesta serisiittikvartsikivestä, johon myös uraani, volframi ja telluuri ovat rikastuneet".

Juomasuon esiintymät näkyvät geofysikaalisilla matalalentokartoilla lähes 800 metrin pituisena sähköisenä reaalijohteena. Johteisiin liittyy usein myös magneettisia anomalioita. Maanpintamittauksissa lentoanomaliat jakaantuvat useammaksi erillisiksi johteiksi kahden tihentymän alueelle. Näitä erottaa toisistaan 250 metrinen johtamaton alue. Itäisessä tihentymässä on VLF-mittausten mukaan kaksi näkyvää johdetta ja läntisessä kuusi. Kaikki johteet aiheutuvat sulfidimineralisaatiosta. (Pankka 1989). Tiedot sähköisistä anomalioista ovat oleellisia heikkouuttomenetelmien käytön kannalta, koska etenkin sähkökemiallinen kuljetusmalli toimii vain johtavissa kerrostumissa.

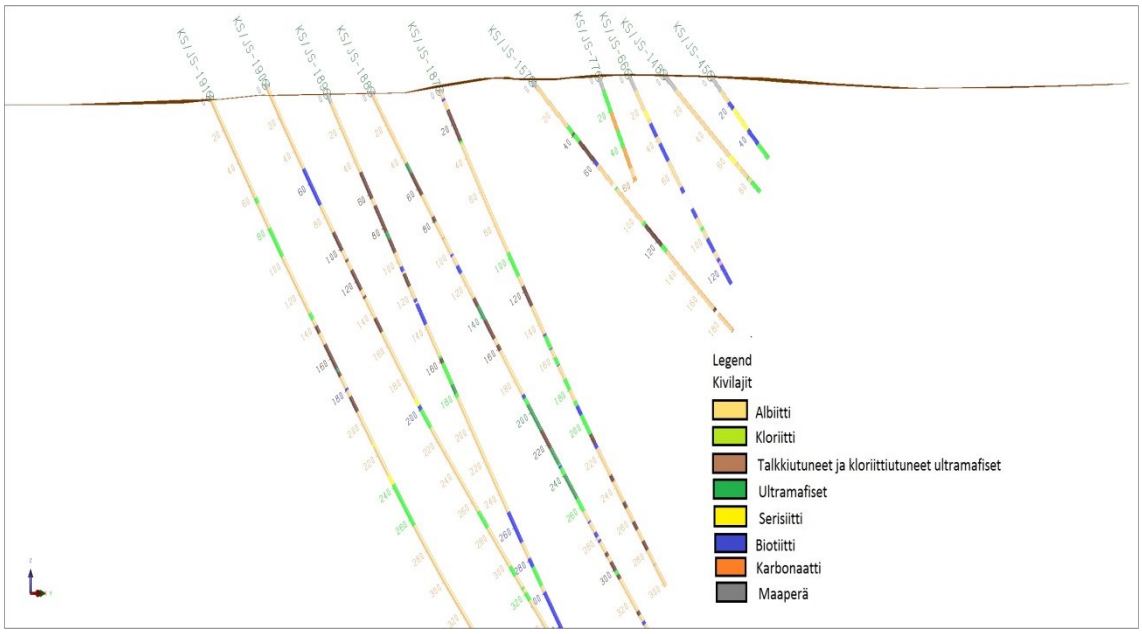
6.1.2. Juomasuon heikkouuttolinjan sijoittuminen sulfidiesiintymien alueella

Heikkouuttonäytteenottolinja kulkee suurin piirtein Outokummun vanhan ja Dragon Mining -kaivosyhtiön jatkaman uudemman kairauslinjan mukaisesti (10 kairauspistettä) (kuva 14.), joka sijoittuu edellä esitettyjen Pankan karttojen (kuvat 12 ja 13) itäpuolelle, mutta kyseessä on sama A-malmio.



Kuva 14. Juomasuon kairauslinjan sijoittuminen heikkouuttolinjalla. Kuva Pertti Sarala/GTK.

Kairauslinjalta saadut kairasydämet on analysoitu kaivosyhtiöiden puolesta vain osittain – kallion pinnasta alkuainepitoisuusanalyysit usein puuttuvat. H. Pankan kuvat (kuvat 12 ja 13) havainnostavat kuitenkin Juomasuon heikkouuttolinjan kallioperää heikkouuttolinjan drumliinin kohdalla varsin hyvin (P. Sarala, suullinen tiedonanto 2015). Kaivosyhtiöltä saaduista kairasydänraporteista saa myös hyvän kuvan mineralisaation kivilajeista ja litologiasta (kuva 15), josta käy ilmi, että serisiittivyöhyke/sulfidimineralisoituneet kohdat vastaavat heikkouuttolinjalla mineralisaation päällä olevaa pohjoisinta osaa, josta mineralisaatio sukeltaa kohti etelää, kuten Pankan kartoissa.

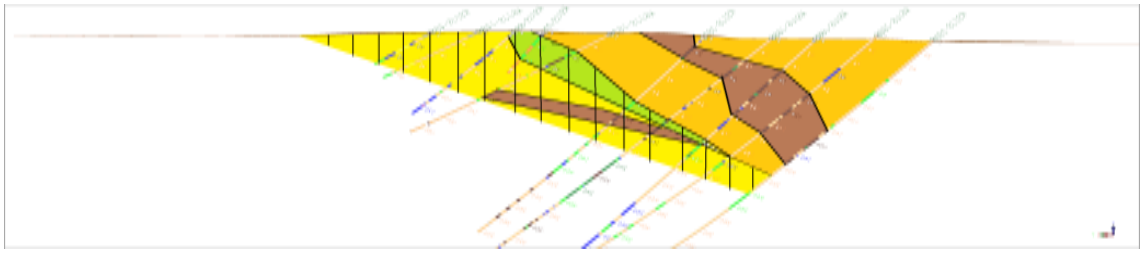


Kuva 15. Juomasuon kairauslinjan litologia. Kuva Dragon mining.

Kuvassa 15 kivilajit on kuvattu eri värein:

Beige kuvastaa laajan kivilajistoa, jossa albiitin määrä on dominoiva. Vaaleanvihreä sisältää kloriittirikkaat kivet ja ruskea sisältää talkkiutuneita ja kloriittiutuneita ultramafisia kiviä. Tummanvihreä tarkoittaa pääsääntöisesti ultramafisia kiviä. Keltainen tarkoittaa serisiittirikkaita kiviä ja sininen biotiittirikkaita kiviä. Oranssi tarkoittaa karbonaattirikkaita kiviä ja harmaa maaperää.

Kairauslinjan litologian perusteella heikkouuttolinjan taustaksi on tehty kallioperästä kuva (kuva 16), jota käytetään tulososiossa heikkouuttodiagrammien yhteydessä. Kuvaan on hahmoteltu kivilajien avulla sulfidisoituneet vyöhykkeet (pystysuora viivoitus). Kuva on heikkouuttolinjan suuntainen eli projisoitu niin, että kuvan vasen laita on pohjoinen. Kuva on peilikuva loggauksista tehdystä kuvasta verrattuna Pankan kuviin.



Kuva 16. Kairaustuloksista tuotettu kivilajikartta malmimineralisoituneesta vyöhykkeestä. Modifoitu; Dragon mining 2014.

Juomasuolla on useita malmioita. Heikkouuttolinja sijoittuu päämalmion A alueelle ja viereisen C-malmion alueelle, joka voidaan myös nähdä päämalmion jatkeena (Parkkinen 1989). Heikkouuttolinja menee kummankin malmion yli (P. Sarala, suullinen tiedonanto, 2015).

6.2. Juomasuon maaperä ja kasvillisuus

Juomasuo kuuluu Kuusamon laajaan drumliinikenttään. Drumliinialue koostuu noin 2400 drumliiniselänteestä (Johansson & Kujansuu 2005), jotka ovat luode-kaakko suuntaisia. Drumliinien rakenteesta ei ole kovin paljon tietoa (Johansson & Kujansuu 2005). Kyseessä on kuitenkin hiekkamoreeni ja pohjamoreeni (V. Peuraniemi, suullinen tiedonanto, 2015). Drumliinien raekoostumuksessa ei ole havaittu syvyyden suhteen suuria eroja (Aarion ym. mukaan (1974) Johansson & Kujansuu 2005).

Kairaustietojen perusteella tutkimusalueen maaperän paksuus tausta-alueilla on noin kaksi metriä ja mineralisaation kohdalla muutamasta metristä hieman yli kymmeneen metriin. Topografisesti alue on loivasti viettävää. Näytteenoton yhteydessä maaperän pintakerroksesta havaittiin maalajeja karkeasta hiekasta silttiin ja saveen, sekä paikoitellen kiviä.

Juomasuon topografian takia maaperän kerrospaksuudet vaikuttavat myös metallien kulkeutumiseen. Tutkimusalueen mineralisaatio sijoittuu drumliinialueelle, missä maaperä/maaperän kosteus-, pohjavesi- ja kasvillisuusolosuhteet vaihtelevat esiintymän päältä tausta-alueelle mentäessä. Näin ollen etenkin hydromorfiseen ja biokemialliseen kiertoon osallistuvien metalli-ionien liikkeet eivät ole mitenkään tasaiset koko linjalla.

Näytteenottolinjan kummallakin tausta-alueella on tiheähköä sekametsää ja pohjoisen tausta-alueen päässä on suo. Mineralisaatio sijaitsee drumliinin alla, minkä päältä puustoa on raivattu eli aluetta ei voi luonnehtia luonnontilaiseksi. Kontaminaatiot metsänraivaus- ja muista liikennevälineistä ovat mahdollisia.

Näytteenotossa oli havaittavissa, että maannosprofiileissa oli paljon eroja. Enimmäkseen näytteenottomontuissa oli havaittuvissa podsol-maannoshorisontteja,

mutta myös brunisoil-horisontteja sekä huonosti kehittyneitä ja sekaisin olevia kerroksia. Etenkin mineralisaation päällä maannos vaikutti muokatulta.

Mineralisaation päällä näytteenottosyvyydessä maaperä oli enimmäkseen hyvin kuivaa, kun taas tausta-alueen näytteenottokuopat olivat ainakin paikoin hyvinkin kosteita ja vetisiä, etenkin vuonna 2013. Tausta-alueella pohjavesi vaikuttaa ulottuvan paikoin jopa näytteenottohorisonttiin asti. Juomasuon maaperän vesitalous on todennäköisesti muuttunut avokoelouhoksen maaperän poiston takia. Alkuaineiden ja ionien kulkeutumismekanismit ovat näin ollen myös jossain määrin häiriintyneet.

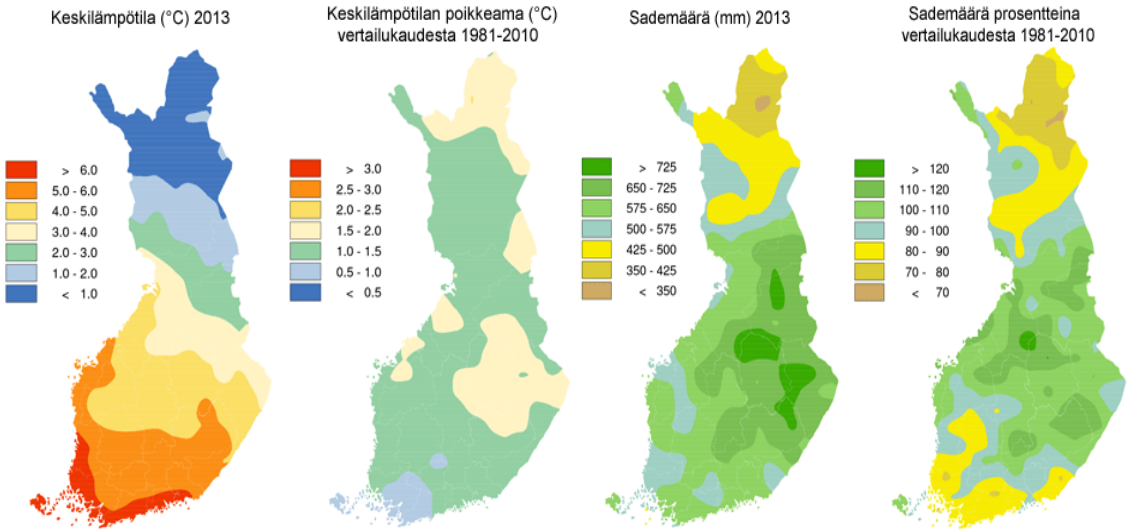
pH -mittausten perusteella Juomasuon maaperä on hapanta (ks. kuvat 34 ja 35), kuten yleensäkin Suomen maaperä on. Tämä tarkoittaa, että useimmat metallit ovat näissä olosuhteissa mobiileja.

Kuusamon maaperä on paikoin kalkkipitoista, ja korkeusvaihtelut maastossa ovat huomattavia. Tämän vuoksi kasvillisuus alueella on hyvin monipuolista, ja siihen kuuluu tavanomaisten soiden- ja metsälajistojen lisäksi mm. kalkkia suosivia lajeja sekä tunturikasvillisuutta. (Kuusamon kultakaivoshankkeen ympäristövaikutusten arviontiselostus 2013.)

6.3. Kuusamon alueen ilmasto

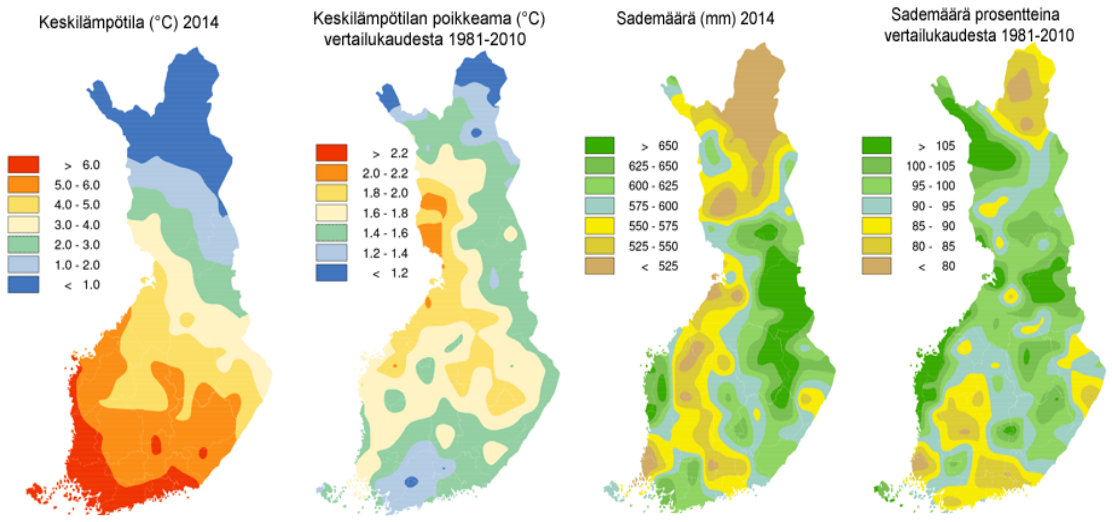
Koillismaan alue kuuluu pohjoisboreaaliseen ilmastovyöhykkeeseen, jossa ilmaston mantereiset piirteet korostuvat hyvin suurina lämpötilan vaihteluina. Paikalliset maastonmuodot ja maaston kohoaminen vaikuttavat talven runsaslumisuuteen ja sademääriin. Koillismaa on maan lumisimpia alueita yhdessä Ylä-Kainuun kanssa. Termiset vuodenajat Koillismaalla ovat hyvin selvät ja ne vaihtuvat melko samanaikaisesti koko alueella. (Kersalo & Pirinen 2009).

Vuosi 2013 oli Juomasuolla, kuten muuallakin maassa, harvinaisen lämmin. Keskilämpötila oli koko maassa tavanomaista korkeampi pitkäaikaiseen keskiarvoon (1981–2010) verrattuna. (http://ilmatieteenlaitos.fi/vuosi-2013). Näytteenoton aikana maaperän pintakerros oli kuitenkin suhteellisen kostea.



Kuva 17. Vuoden 2013 lämpötila- ja sadekartat (http://ilmatieteenlaitos.fi/vuosi-2013).

Vuosi 2014 oli vuoden 1938 jälkeen Suomen mittaushistoriallisesti toiseksi lämpimin. Sademäärät eivät kuitenkaan poikenneet merkittävästi keskiarvoista pitkällä aikavälillä (http://ilmatieteenlaitos.fi/vuosi-2014). Näytteenoton aikana (heinäkuu 2014) alueella oli ollut metsäpalovaroitus voimassa 2 viikkoa (P. Sarala, suullinen tiedonanto, 2014) eli maasto oli ollut pitkään kuivaa. Näytteenotto jouduttiin kuitenkin keskeyttämään sateen vuoksi.



Kuva 18. Vuoden 2014 lämpötila- ja sadekartat (http://ilmatieteenlaitos.fi/vuosi-2013).

7. TULOKSET

7.1. Tulosten käsittely

Tässä työssä vuosien 2013 ja 2014 heikkouuttomenetelmien tulosten käsittelyssä keskitytään pääasiassa Kuusamon Juomasuolla olevan Au-Co-mineralisaation taloudellisesti tärkeimpiin alkuaineisiin/metalleihin (Au, Co, Cu ja U), joita tarkastellaan tilastollisten tunnuslukujen (taulukot 2, 4, 6, 8 ja 10) ja korrelaatiomatriisien (taulukot 3, 5, 7, 9 ja 11) sekä rikastuskerroindiagrammien avulla (kuvat 19-28). Tärkeimpien alkuaineiden lisäksi on tarkasteltu arseeni- ja nikkelipitoisuuksien esiintymistä ja jakautumista vuoden 2013 tuloksissa. Tuloksia on myös analysoitu kummankin vuoden osalta Ca-pitoisuuksien ja pH-arvojen avulla (kuvat 32-35).

Vuosien 2013-2014 heikkouuttotulokset on esitetty ja analysoitu rikastuskerroindiagrameilla sekä SGH:n osalta laboratoriosta tulleiden tulkintamallien avulla (kuvat 29-31). Rikastuskertoimia on käytetty tulosten esittämisessä, koska ne soveltuvat useiden alkuaineiden tarkasteluun samaan aikaan ja eri vuosina tehtyjen analyysitulosten vertailuun. Rikastuskerroin vertaa jokaista arvoa tausta-arvoon ja tulokset esitetään kokonaislukuina. Tausta-arvo on aritmeettinen keskiarvo alkuainepitoisuuksien alimmasta neljänneksestä. Arvot, jotka ovat suurempia kuin viisi, tarkoittavat alkuaineiden anomaalista esiintymistä. (Sarala ym. 2008, Ahola 2009). Absoluuttiset alkuainepitoisuudet ovat normaalisti hyvin pieniä heikkouuttomenetelmien alkuaineanalyyseissä, mutta anomalia-/taustakontrastit ovat selkeästi erottuvia. Alkuaineiden absoluuttiset pitoisuudet vuosilta 2013 ja 2014 on esitetty liitteissä (Liitteet 2-11).

Alkuainepitoisuuksien keskinäisiä suhteita on havainnoitu korrelaatiomatriiseilla vuoden 2013 osalta. Korrelaatiolla määritetään kahden muuttujan lineaarista riippuvuutta arvojen +1 ja -1 välillä. Matriiseissa (taulukot 3, 5, 7, 9 ja 11) arvo 1.00 tai -1 tarkoittaa täydellistä lineaarista riippuvuutta – nämä ovat mahdollisia kuitenkin vain teoriassa. 0 tarkoittaa, ettei muuttujien välillä ole riippuvuutta. Arvojen 0,5 ja -0,5 välille sijoittuvat kertoimet tarkoittavat huonoa korrelaatiota, kun taas arvot 0,6-0,8 / -0,6- (-0,8) ovat hyviä ja 0.8-1.00 ovat erinomaisia korrelaatiota. (Karjaluoto 2007).

Malmipotentiaalisten alueiden ja sulfidimineralisaation kartoittamiseen on käytetty pH-arvoja ja Ca–pitoisuuksia (menetelmillä, joilla kalsiumia on määritetty), koska ne myös voivat olla hyviä indikaattoreita heikkouuttomenetelmien tueksi. pH-mittausten avulla voidaan tuottaa suoria ja epäsuoria indikaatioita sulfidimineralisaatioista (Smee 1998). pH kertoo mm. kallioperän ja maaperän kivilajikoostumuksesta (Sarala et al., 2008).

7.2. MMI

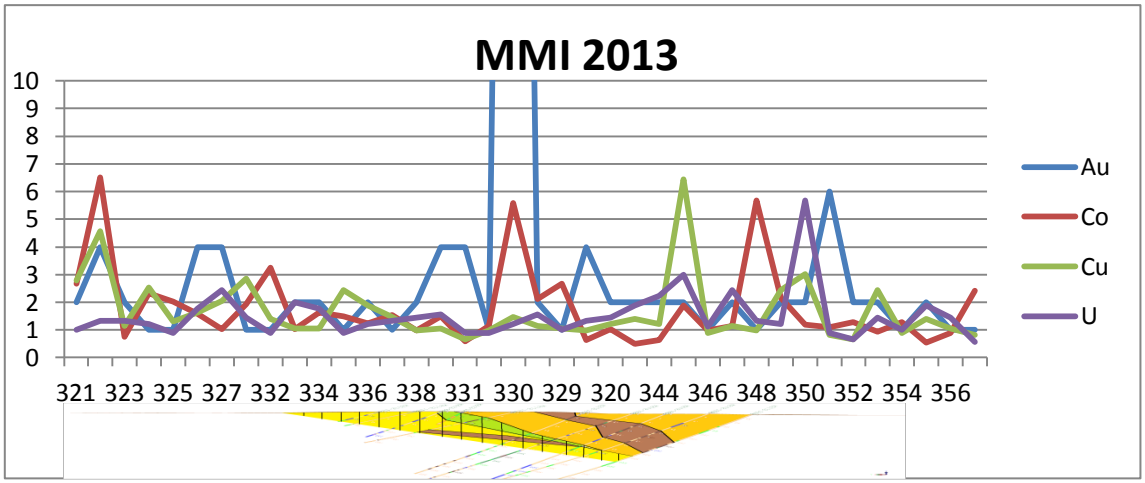
Vuoden 2013 MMI-tuloksissa linjan keskellä on erittäin voimakas Au-anomalia, joka indikoi tunnettua malmiesiintymää. Myös eteläisellä tausta-alueella on kulta-anomalia. Kaksi anomaalisena esiintyvää pistettä (330/3,2 ppb ja 351/0,3 ppb) kuvassa 19 esiintyvät selkeästi anomaalisina, koska ne ovat ainoat reilusti yli määritysrajan olevat pitoisuudet. Kulta ei korreloi minkään tutkitun alkuaineen kanssa.

Koboltille MMI-menetelmä toimii hyvin. Se esiintyy anomaalisena kolmessa kohdassa: linjan pohjoisella ja eteläisellä tausta-alueella sekä linjan keskiosassa samassa kohdassa, jossa on kulta-anomalia. Koboltin pitoisuudet koko näytelinjalla ovat yli määritysrajan. Koboltti ei korreloi muiden alkuaineiden kanssa.

U-pitoisuudet ovat myös koko linjalla yli määritysrajan. Anomaalisesti uraania ei kuitenkaan esiinny kuin pisteen 350 kohdalla (51 ppb). Korrelaatiot muiden alkuaineiden kanssa ovat huonot.

Kupari esiintyy anomaalisesti pisteen 345 kohdalla ja sen pitoisuus on hieman kohollaan pohjoisella tausta-alueella. Korrelaatiot muiden alkuaineiden kanssa ovat huonot.

MMI-menetelmällä anomaalisten kohtien sijoittuminen voidaan nähdä aiheutuvan pohjoisen tausta-alueen kivilajin muutoksella, joka käy ilmi kuvan 5 kallioperätaustakartasta. Muutoin anomaliset kohdat sijoittuvat mineralisaation päälle ja siitä hieman etelään (piste 345), jossa maaperä on ohuempi (1,40 m) kuin kairauslinjan alueella muutoin (keskimäärin 5,30 m).



Kuva 19. Vuoden 2013 MMI-tulokset Au:lle, Co:lle, Cu:lle ja U:lle rikastuskertoimien avulla esitettynä.

Taulukko 2. Tilastolliset tunnusluvut vuoden 2013 MMI-menetelmän tuloksista.

MMI 13	Unit	N	Min	Max	Mean	StDev	Var	Sum	Median
As	ppm	38	5	10	5,13	0,81	0,66	195	5
Au	ppm	38	0,05	3,2	0,19	0,51	0,26	7,05	0,1
Co	ppm	38	10	132	36,16	28,32	801,92	1374	150
Cu	ppm	38	80	790	204,21	140,41	19717	7760	112
Ni	ppm	38	30	239	111,68	38,22	1460,41	4244	5
U	ppm	38	5	51	13,66	7,80	60,88	519	26

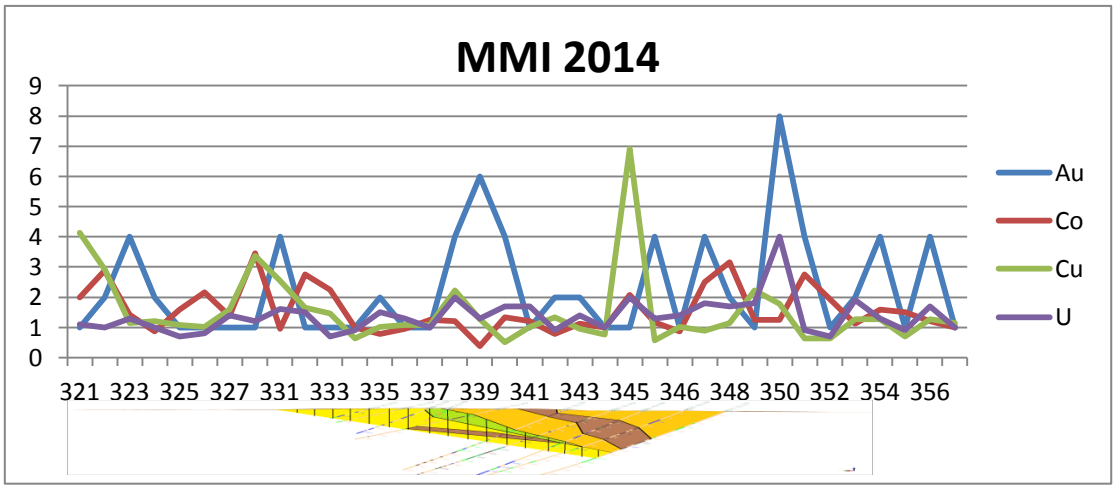
Taulukko 3. MMI-menetelmällä analysoitujen alkuaineiden korrelaatioita vuodelta 2013.

MMI_13	As	Au	Co	Cu	Ni	U
As	1					
Au	-0,04	1				
Co	0,46	0,44	1			
Cu	-0,10	-0,03	0,30	1		
Ni	0,02	-0,01	0,39	0,25	1	
U	-0,04	-0,05	-0,17	0,40	-0,22	1

Vuoden 2014 MMI-tuloksissa kulta-anomaaliset kohdat sijoittuvat linjan keskelle ja eteläiselle tausta-alueelle. Kulta-anomaalisten pisteiden lisäksi kultapitoisuudet ovat kohollaan useassa kohdassa erityisesti linjan eteläosassa.

Pisteen 345 kohdalla eli ohuemman maaperän kohdalla on selkeä kuparianomalia. Linjan pohjoisosassa on myös kaksi kohollaan olevaa kuparipitoisuutta.

Uraani ja koboltti eivät esiinny heikkouuttolinjalla anomalisena. Kobolttipitoisuudet ovat kuitenkin useassa kohdassa hieman kohollaan, ja uraanilla on yksi piikki linjan eteläisellä tausta-alueella.



Kuva 20. Vuoden 2014 MMI-tulokset Au:lle, Co:lle, Cu:lle ja U:lle rikastuskertoimien avulla esitettynä.

7.3. Entsyymiuutto

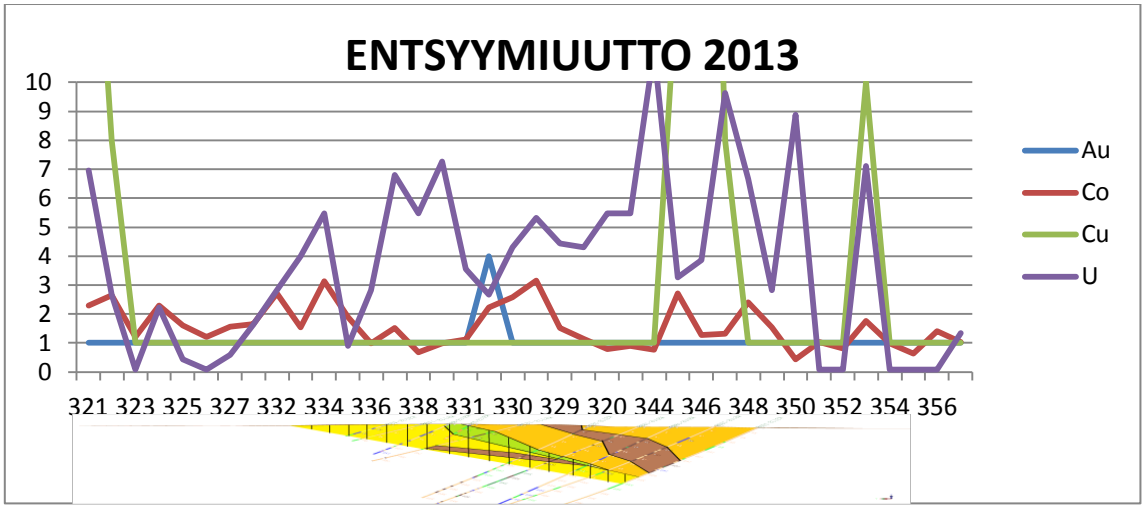
Entsyymiuuton tuloksissa ei ole kullalla yhtään anomaliaa ja kultapitoisuudet ovat yhtä pistettä vaille alle määritysrajan. Ainoa hieman kohollaan oleva pitoisuus (0,01 ppb) sijoittuu kuitenkin malmiesiintymän kohdalle linjan keskivaiheille. Tulokset kullan suhteen eivät ole yllätys, koska entsyymiuuton tiedetään olevan huono analyysimenetelmä kullan suhteen (Clark 1997).

Koboltti ei esiinny myöskään anomalisena, vaikka kaikki pitoisuudet ovat selkeästi yli määritysrajojen. Koboltin korrelaatiot muiden alkuaineiden kanssa ovat huonot.

Uraanipitoisuudet ovat korkeita ja kohollaan lähes koko linjalla ja esiintyvät anomalisina useassa kohdassa. Tausta-alueilla, etenkin pohjoisosassa, pitoisuudet ovat kuitenkin pienempiä kuin mineralisaation päällä. Varsinainen malmiesiintymä linjan keskellä näyttäisi erottuvan selkeänä anomaliakuviona, jota alhaiset pitoisuudet rajaavat.

Kupari esiintyy selkeästi anomalisena kolmessa kohdassa, mutta linjalla on useita alle määritysrajojen olevia pitoisuuksia. Anomaliset kohdat sijoittuvat pohjoiselle- ja eteläiselle tausta-alueelle sekä ohuemman maaperän kohdalle pisteeseen 345.

Korrelaatiot kaikkien alkuaineiden suhteen ovat huonoja.



Kuva 21. Vuoden 2013 entsyymiuuttotulokset Au:lle, Co:lle, Cu:lle ja U:lle rikastuskertoimien avulla esitettynä.

Taulukko 4. Tilastolliset tunnusluvut vuoden 2013 entsyymiuuttomenetelmän tuloksista.

ENT_13	Unit	N	Min	Max	Mean	Stdev	Var	Sum	Median
As	ppm	38	0,2	1,7	0,49	0,27	0,07	18,5	0,45
Au	ppm	38	0,003	0,01	0,003	0,001	1,5E-06	0,10	0,003
Co	ppm	38	4,3	30,5	15,15	7,05	49,81	575,8	14,1
Cu	ppm	38	0,5	18	1,68	3,40	11,62	64	0,5
Ni	ppm	38	9	82	41,55	13,23	175,06	1579	41
U	ppm	38	0,005	0,75	0,25	0,19	0,04	9,50	0,23

Taulukko 5. Entsyymiuuttomenetelmällä analysoitujen alkuaineiden korrelaatioita vuodelta 2013.

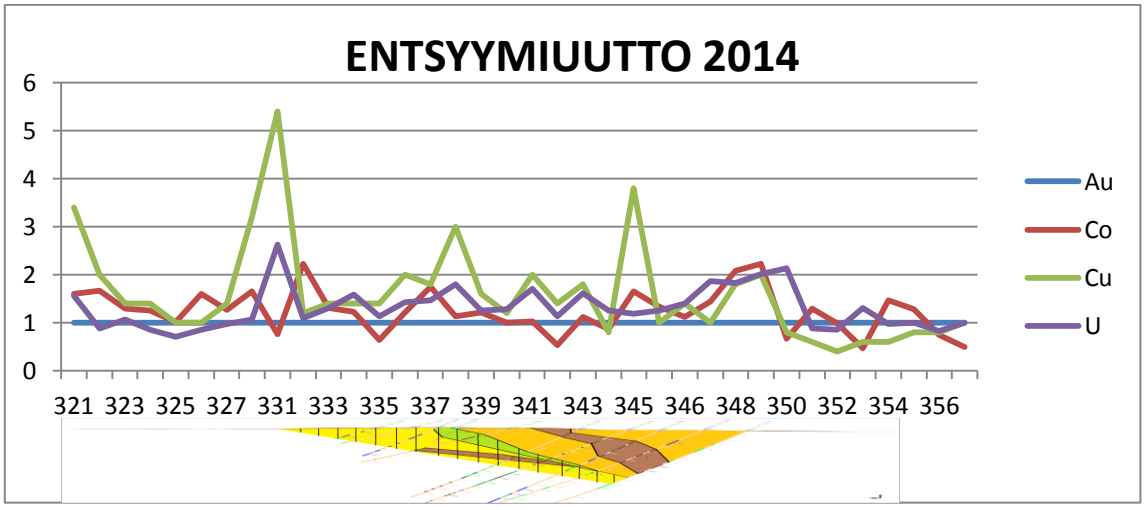
ENT_13	As	Au	U	Co	Ni	Cu
As	1					
Au	0,07	1				
U	0,25	-0,06	1			
Co	0,30	0,15	0,02	1		
Ni	-0,09	0,06	-0,10	0,55	1	
Cu	0,10	-0,06	0,17	0,14	0,12	1

Vuoden 2014 entsyymiuuttotuloksissa kulta on alle määritysrajojen koko linjalla. Minkäänlaista indikaatiota kultaesiintymästä ei tällä menetelmällä tule esiin.

Koboltilla ei ole yhtään anomalioita, mutta kaikki pitoisuudet ovat reilusti yli määritysrajojen.

Uraanikaan ei esiinny anomalisena, vaikka silläkin pitoisuudet ovat kaikki myös reilusti yli määritysrajojen.

Linjan pohjoisosassa on yksi kuparianomalia. Tämän lisäksi pohjoisen tausta-alueen kärjessä, linjan keskivaiheilla ja ohuemman maaperän kohdalla pisteessä 345 on piikit.



Kuva 22. Vuoden 2014 entsyymiuuttotulokset Au:lle, Co:lle, Cu:lle ja U:lle rikastuskertoimien avulla esitettynä.

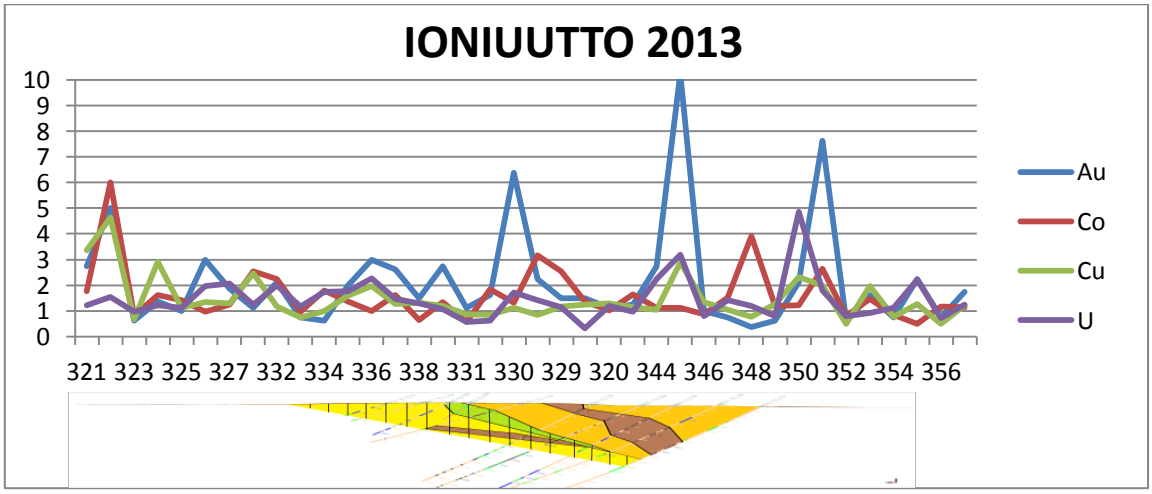
7.4. Ioniuutto

Ioniuutto toimii kullalle varsin hyvin, sillä vaihteluväli on selkeä mineralisoituneen vyöhykkeen ja taustan välillä. Anomaalisia pisteitä on neljä. Kulta myös korreloi arseenin kanssa hyvin (0,61). Kulta-anomaaliset pisteet sijoittuvat pohjoiselle tausta-alueelle kivilajien vaihtumisvyöhykkeen/suon läheisyyteen, linjan keskelle, pisteen 345 kohdalle ja eteläiselle tausta-alueen pohjoispäähän pisteen 351 kohdalle indikoiden malmiesiintymää ja eteläosan mahdollista malmipotentiaalia.

Koboltti esiintyy anomalisena linjan pohjoispään kivilajien vaihtumisvyöhykkeen/suon kohdalla, ja sen pitoisuudet ovat hieman kohollaan linjan keskellä ja eteläosassa. Kaikki pitoisuudet ovat myös yli määritysrajojen. Koboltti ei kuitenkaan korreloi muiden alkuaineiden kanssa.

Uraanin pitoisuudet ovat tasaisia ja yli määritysrajojen. Anomalioita ei esiintyy koko linjalla. Uraani korreloi arseenin kanssa hyvin.

Kupari esiintyy lähes anomalisena pohjoisella tausta-alueella ja pitoisuudet ovat useassa kohdassa hieman kohonneina. Kupari korreloi arseenin kanssa.



Kuva 23. Vuoden 2013 ioniuuttotulokset Au:lle, Co:lle, Cu:lle ja U:lle rikastuskertoimien avulla esitettynä.

Taulukko 6. Tilastolliset tunnusluvut vuoden 2013 ioniuuttomenetelmän tuloksista.

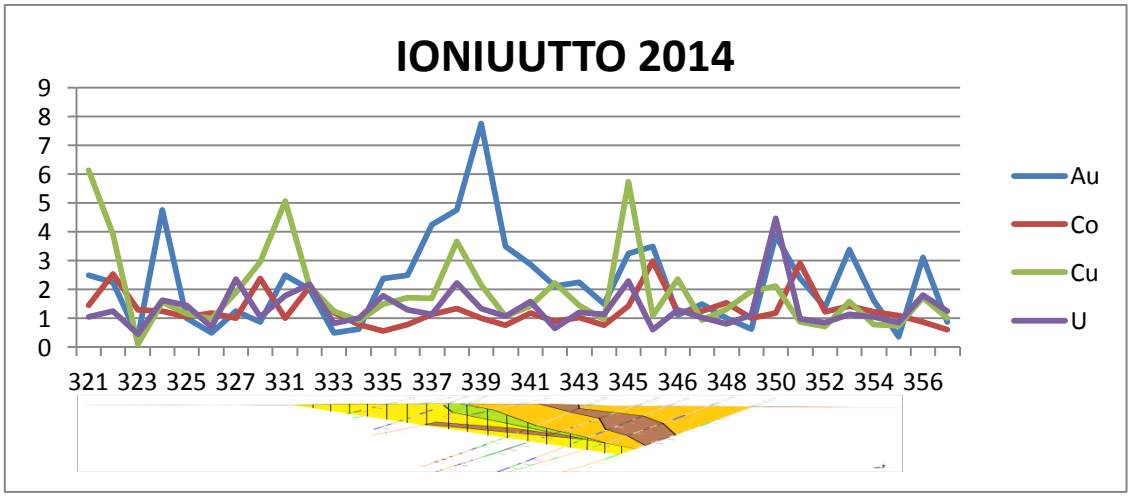
IONI_13	Unit	N	Min	Max	Mean	Stdev	Var	Sum	Median
As	ppm	38	1	13	6,31	2,65	7,03	240	6
Au	ppm	38	0,03	0,82	0,17	0,16	0,02	6,57	0,13
Co	ppm	38	12	148	38,98	25,39	645,83	1481,1	32,55
Cu	ppm	38	75	708	223,71	131,65	17069	8463	187,5
Ni	ppm	38	79	321	138,76	50,99	2600	5273	131
U	ppm	38	2,5	37,3	11,16	6,18	38,25	424,3	9,45

Taulukko 7. Ioniuuttomenetelmällä analysoitujen alkuaineiden korrelaatioita vuodelta 2013.

IONI_13	As	Au	Co	Cu	Ni	U
As	1					
Au	0,61	1				
Co	0,31	0,20	1			
Cu	0,51	0,49	0,49	1		
Ni	-0,19	0,04	0,39	0,008	1	
U	0,66	0,46	-0,02	0,33	-0,24	1

Vuoden 2014 ioniuuttotuloksissa on laaja kulta-anomalia linjan keskellä, Au-mineralisaation kohdalla sekä lähes anomalinen piste pohjoisella tausta-alueella. Myös eteläisellä tausta-alueella on kohonneita pitoisuuksia kullalla.

Koboltti ei esiinny linjalla anomaalisena, kuten ei myöskään uraani. Kupari esiintyy anomalisena pohjoisen tausta-alueen päässä kivilajien vaihtumisvyöhykkeen/suon kohdalla, pisteessä 331 ja ohuemman maaperän kohdalla pisteessä 345.

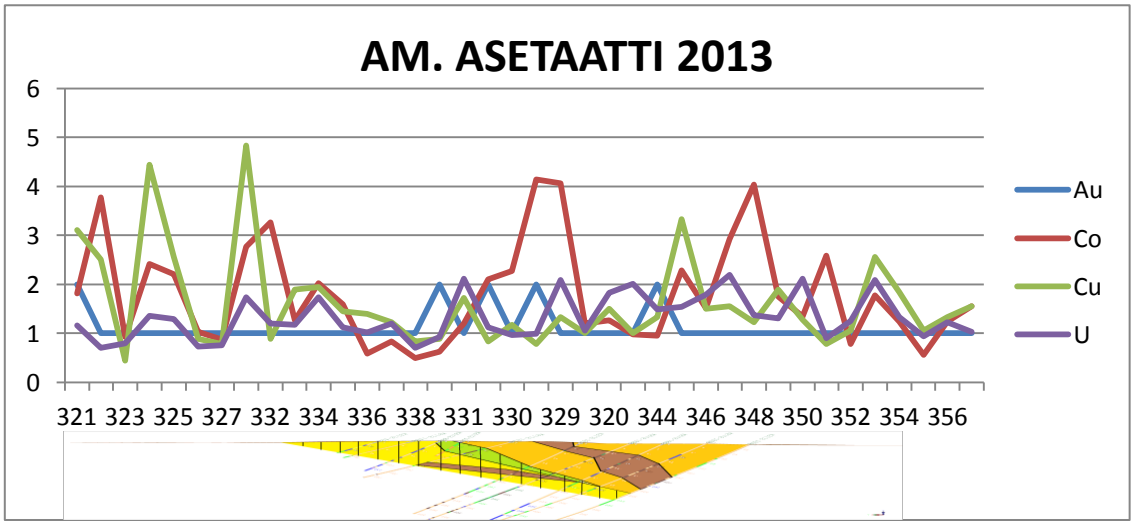


Kuva 24. Vuoden 2014 ioniuuttotulokset Au:lle, Co:lle, Cu:lle ja U:lle rikastuskertoimien avulla esitettynä.

7.5. Ammonium-asetaatti

Vuoden 2013 Ammonium-asetaattituloksissa ei ole yhtään anomaalista alkuainetta. Alkuaineet eivät myöskään korreloi keskenään juurikaan.

Kuparilla ja koboltilla on havaittavissa jonkinlaista vaihtelua pitoisuuksissa, mutta Au- ja U-pitoisuudet indikoivat käytännössä taustan pitoisuustasoa koko linjan matkalla. Hieman kohonneita Au-pitoisuuksia esiintyy juuri mineralisaation kohdalla sekä pohjoisen tausta-alueen kärjessä. Useimmat kultapitoisuudet ovat kuitenkin alle määritysrajojen. Selkeimmät piikit tulevat koboltilla malmimineralisaation kohdalla ja kummallakin tausta-alueella. Myös kuparilla on erottuvia piikkejä lähinnä eteläisellä tausta-alueella.



Kuva 25. Vuoden 2013 ammonium-asetaattitulokset Au:lle, Co:lle, Cu:lle ja U:lle rikastuskertoimien avulla esitettynä.

Taulukko 8. Tilastolliset tunnusluvut vuoden 2013 ammonium-asetaattimenetelmän tuloksista.

AA_13	Unit	N	Min	Max	Mean	Stdev	Var	Sum	Median
As	ppm	38	0,005	0,04	0,01	0,009	7,23E-05	0,38	0,005
Au	ppm	38	0,0005	0,001	0,0005	0,0002	2,93E-08	0,02	0,0005
Co	ppm	38	0,02	0,20	0,09	0,05	0,003	3,31	0,07
Cu	ppm	38	0,08	0,87	0,29	0,18	0,03	11,1	0,24
Ni	ppm	38	0,08	0,61	0,28	0,14	0,02	10,53	0,24
U	ppm	38	0,05	0,16	0,10	0,03	0,001	3,61	0,09

Taulukko 9. Ammonium-asetaattimenetelmällä analysoitujen alkuaineiden korrelaatioita vuodelta 2013.

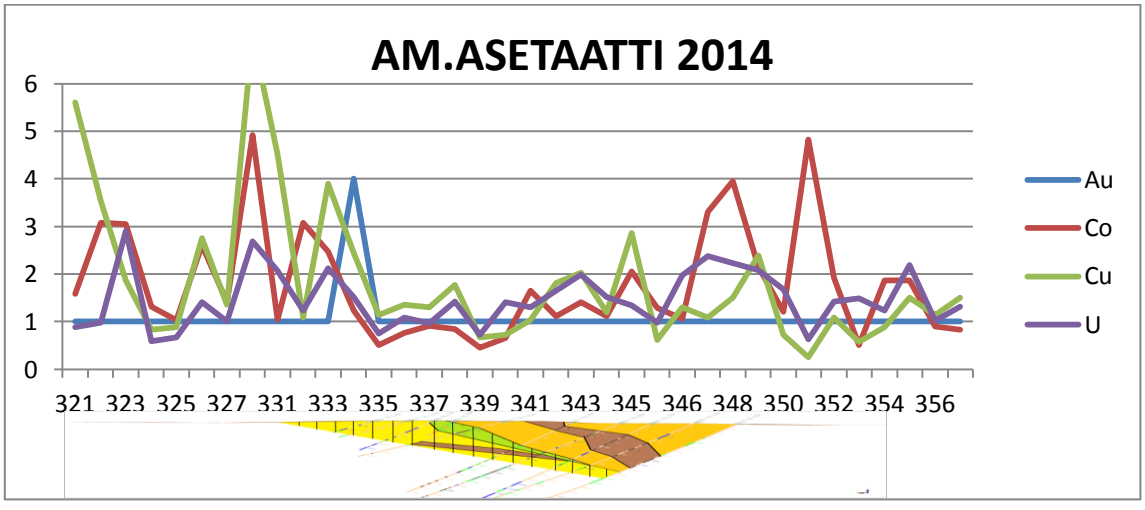
AA_13	As	Au	Co	Cu	Ni	U
As	1					
Au	0,28	1				
Co	0,28	0,05	1			
Cu	0,06	-0,09	0,25	1		
Ni	-0,08	0,01	0,47	0,41	1	
U	0,23	-0,16	0,17	0,29	-0,009	1

Vuoden 2014 tuloksissa esiintyy vain yksi kohonnut pitoisuus kullalla pisteen 334 kohdalla. Muutoin linjan pitoisuudet ovat alle määritysrajojen.

Koboltti esiintyy pohjoisella ja eteläisellä tausta-alueella lähes anomaalisena kahdessa kohdassa (pisteet 329 ja 351) ja kolmessa kohdassa kohonneina pitoisuuksina.

Kupari on kahdessa pisteessä (321 ja 330) anomaalinen. Tämän lisäksi eteläisellä ja pohjoisella tausta-alueella on kohonneita arvoja. Kuparin kohonneet pitoisuudet painottuvat näytteenottolinjan pohjoisosaan.

Uraanipitoisuudet ovat koko linjalla yli määritysrajojen, mutta anomaalisena se ei esiinny koko linjalla.



Kuva 26. Vuoden 2014 ammonium-asetaattitulokset Au:lle, Co:lle, Cu:lle ja U:lle rikastuskertoimien avulla esitettynä.

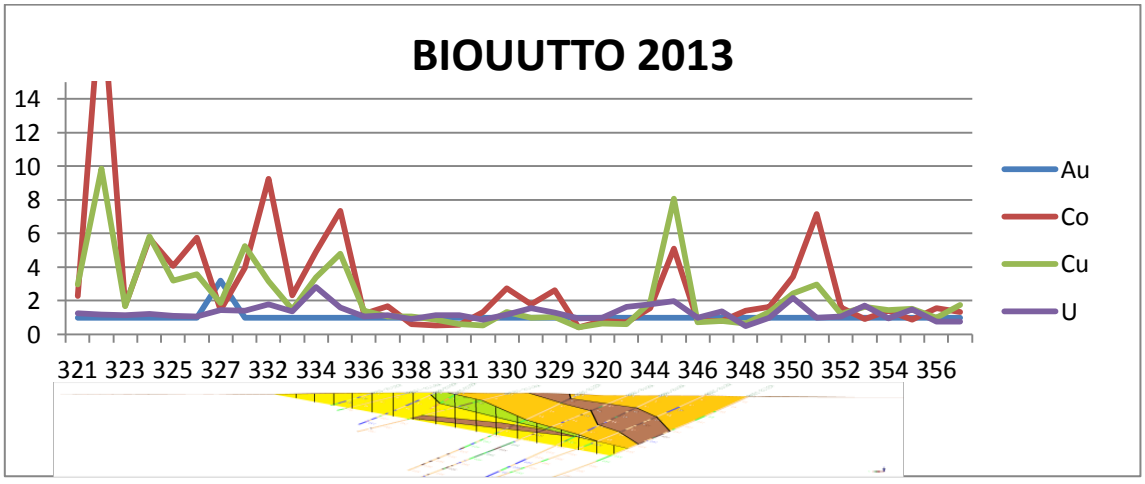
7.6. Biouutto

Vuoden 2013 biouuttotuloksissa kulta on yhtä eteläisellä tausta-alueella sijaitsevaa pistettä lukuunottamatta alle määritysrajojen koko linjalla, joten tunnettu Au-esiintymä ei näy millään tavoin tuloksissa.

Koboltilla ja kuparilla on useita anomaalisia tai selkeästi kohonneita kohtia etenkin heikkouuttolinjan pohjoisella tausta-alueella sekä pisteessä 345 ja koboltin osalta vielä pisteessä 351. Kupari ja kobolttti korreloivat keskenään erittäin hyvin (0,83).

Uraani ei esiinny anomalisena koko linjalla. Pitoisuudet ovat kaikki kuitenkin reilusti yli määritysrajojen.

Arseeni korreloi kuparin (0,57), koboltin (0,53) ja nikkelin (0,59) kanssa kohtalaisesti. Kobolttti korreloi kuparin lisäksi nikkelin (0,88) kanssa erinomaisesti. Au-mineralisaation päälle ei tule indikaatioita malmipotentiaalista millään tarkastellulla alkuaineella. Kaikilla tarkastelluilla alkuaineilla (As, Co, Cu, Ni, U) paitsi kullalla minimi- ja maksimipitoisuuksien kontrasti on huomattavan suuri.



Kuva 27. Vuoden 2013 biouuttotulokset Au:lle, Co:lle, Cu:lle ja U:lle rikastuskertoimien avulla esitettynä.

Taulukko 10. Tilastolliset tunnusluvut vuoden 2013 biouuttotuloksista.

BIO_13	Uni	N	Min	Max	Mean	Stdev	Var	Sum	Median
As	ppm	38	3,4	21,1	11	4,07	16,57	417,9	10,85
Au	ppm	38	0,03	0,08	0,03	0,009	7,96E-05	1,005	0,03
Co	ppm	38	5,2	245	35,72	43,44	1887,24	1357,5	19,25
Cu	ppm	38	40,1	929	211,3	197,90	39166,22	8029,4	139,5
Ni	ppm	38	21,3	461	130,40	115,92	13439,5	4955,3	89,85
U	ppm	38	14,9	85,1	38,79	13,17	173,55	1474,2	35,2

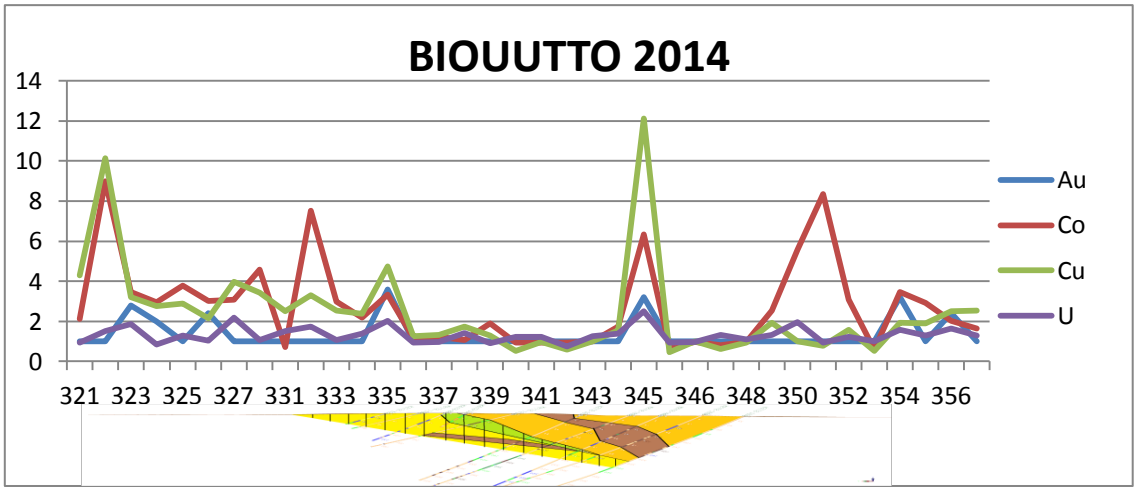
Taulukko 11. Biouuttomenetelmällä analysoitujen alkuaineiden korrelaatioita vuodelta 2013.

BIO_13	As	Au	Co	Cu	Ni	U
As	1					
Au	-0,09	1				
Co	0,53	-0,07	1			
Cu	0,56	-0,03	0,83	1		
Ni	0,56	-0,06	0,88	0,83	1	
U	0,59	0,06	0,18	0,31	0,28	1

Biouuttotuloksissa vuodelta 2014 on muutamia hieman kohonneita arvoja kullalla, mutta ei anomalioita. Linjan kultapitoisuudet ovat enimmäkseen alle määritysrajojen. Koboltin anomaliat ja kohonneet pitoisuudet ovat painottuneet pohjoisen tausta-alueen alueelle, mutta myös pisteessä 345 ja eteläisellä tausta-alueella on selkeästi anomaaliset kohdat.

Kupari on myös vahvasti anomaalinen linjan pohjoispäässä ja pisteessä 345. Kohonneita pitoisuuksia esiintyy pohjoisen tausta-alueen koko matkalla.

Uraanilla ei esiinny anomalisia kohtia, mutta pitoisuudet ovat kaikki yli määritysrajojen.



Kuva 28. Vuoden 2014 biouuttotulokset Au:lle, Co:lle, Cu:lle ja U:lle rikastuskertoimien avulla esitettynä.

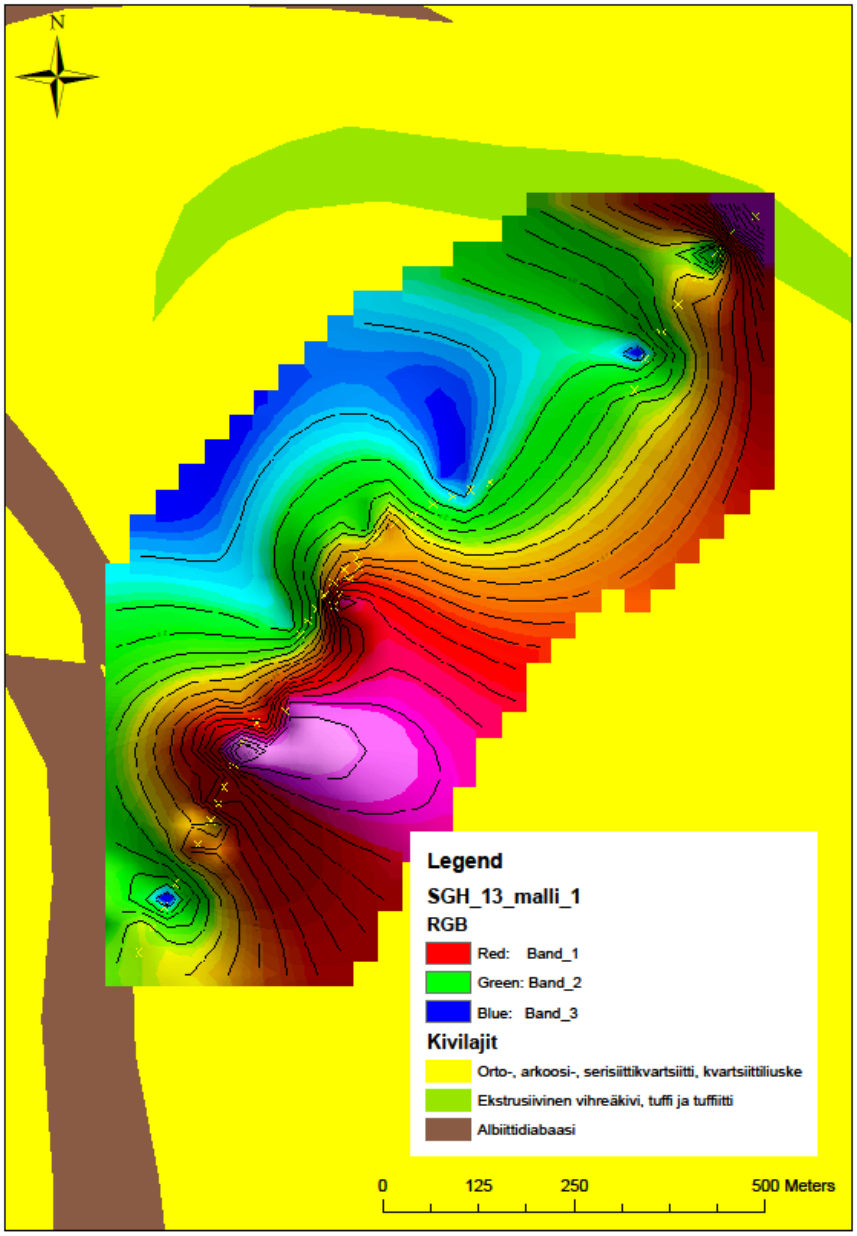
7.7. SGH

SGH-näytteenottotuloksia (2013 ja 2014) on tulkittu suoraan laboratorion toimesta (raportti ja anomalisoituneita alueita kuvaavat interpolointikartat kuvissa 29, 30 ja 31). Kartoissa anomaliat ilmenevät violetteina kohtina. Raporteissa on tulkittu hiilivetyihin perustuvan analyysin perusteella kultamallien antama mineralisaation todennäinen sijoittuminen. Kultamallineissa on käytetty molekyylipainoltaan matalan, keskiraskaan ja raskaan yhdisteluokan hiilivetyjä. Lisäksi raporteissa on subjektiivinen arviointi (skaala 0-6), joka kuvaa mineralisaation kultapotentiaalin esiintymismahdollisuutta tutkimusalueen anomaalisella vyöhykkeellä. Arviointi on tulkinta ja se perustuu laboratoriossa aiemmin tuotettujen tutkimustuloksiin eri kohteilta, joissa on tunnettuja mineralisaatioita. Arvosteluja ei tule soveltaa mineraalivarantoarviointeihin (Actlabs 2013), vaan niitä voidaan käyttää ainoastaan mineralisaation luonnetta ja potentiaalia kuvaavina SGH-menetelmän toimivuuden arvioina tutkittavien malmien osalta.

Vuonna 2013 tuloksista on tuotettu kaksi interpolointimallia, jotka perustuvat erilaisilla kultaa indikoivilla hiilivedyillä ja hiilivetyluokilla tehtyihin analyyseihin. Interpoloinnit perustuvat 44 näytteeseen, joista 6 oli duplikaatteja. Laboratorion mukaan duplikaattien tarkkuus erinomainen (7,3%), kuten myös replikaattien (5,6%).

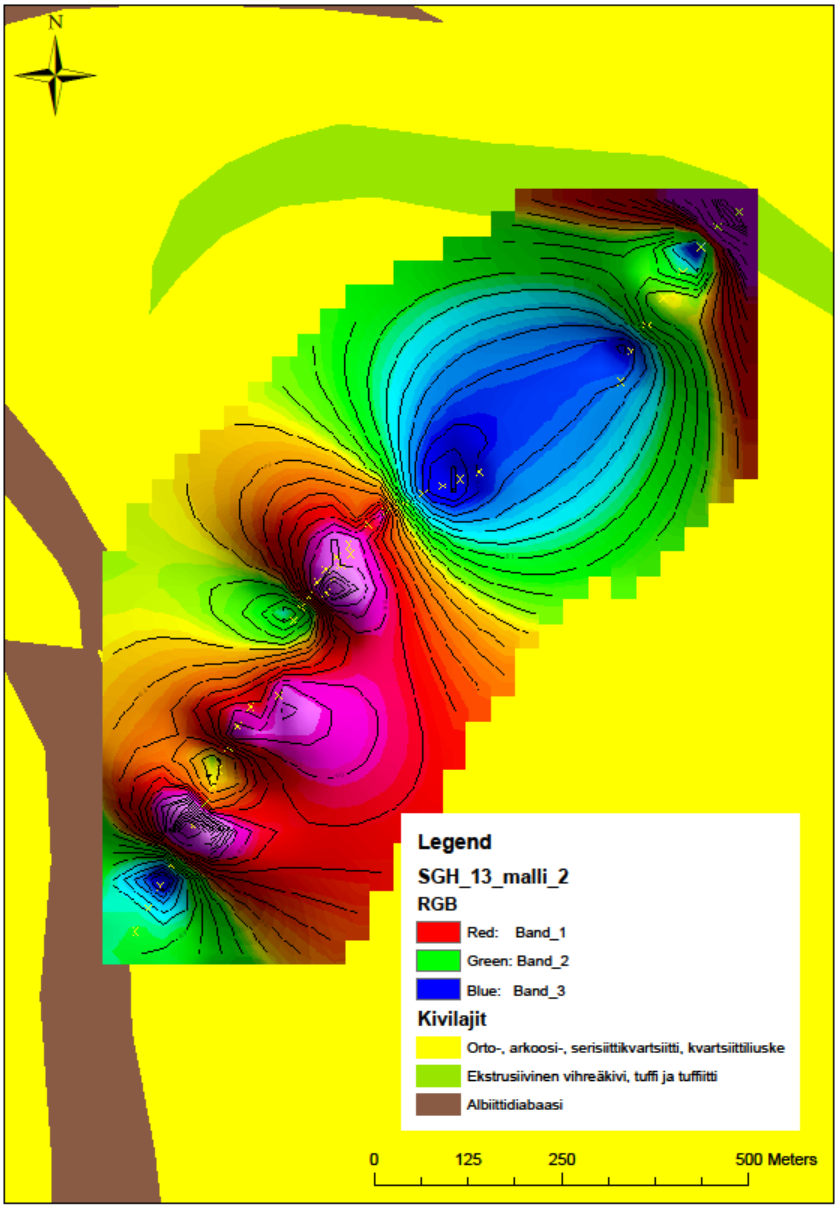
Ensimmäisessä mallissa (kuva 29) laaja anomaalinen vyöhyke sijoittuu eteläisen tausta-alueen pohjoispäähän ja heikommin havaittava anomaalinen kohta linjan keskivaiheille,

jossa näytteenotto on ollut tiheämpää kuin muualla linjalla. Linjan pohjoisen tausta-alueen kärjessä on selkeä kallioperän rakennemuutosta indikoiva kohta kivilajien vaihtumiskohdassa. Laboratorioraportin mukaan mineralisaatio sijoittuu alle 30 metrin syvyyteen. Anomalia tulkitaan apikaaliseksi ja saa kaikkien kultamallien arvostelussa arvon 5.0/6.0, joka tarkoittaa anomalian ympäristössä olevaa mahdollista kultapotentiaalia.



Kuva 29. Actlabsin tuottama ensimmäinen interpoloitu malli SGH-tuloksista vuoden 2013 Juomasuon kultamineralisoituneista vyöhykkeistä kallioperäkartan päällä. Kallioperä kartta GTK.

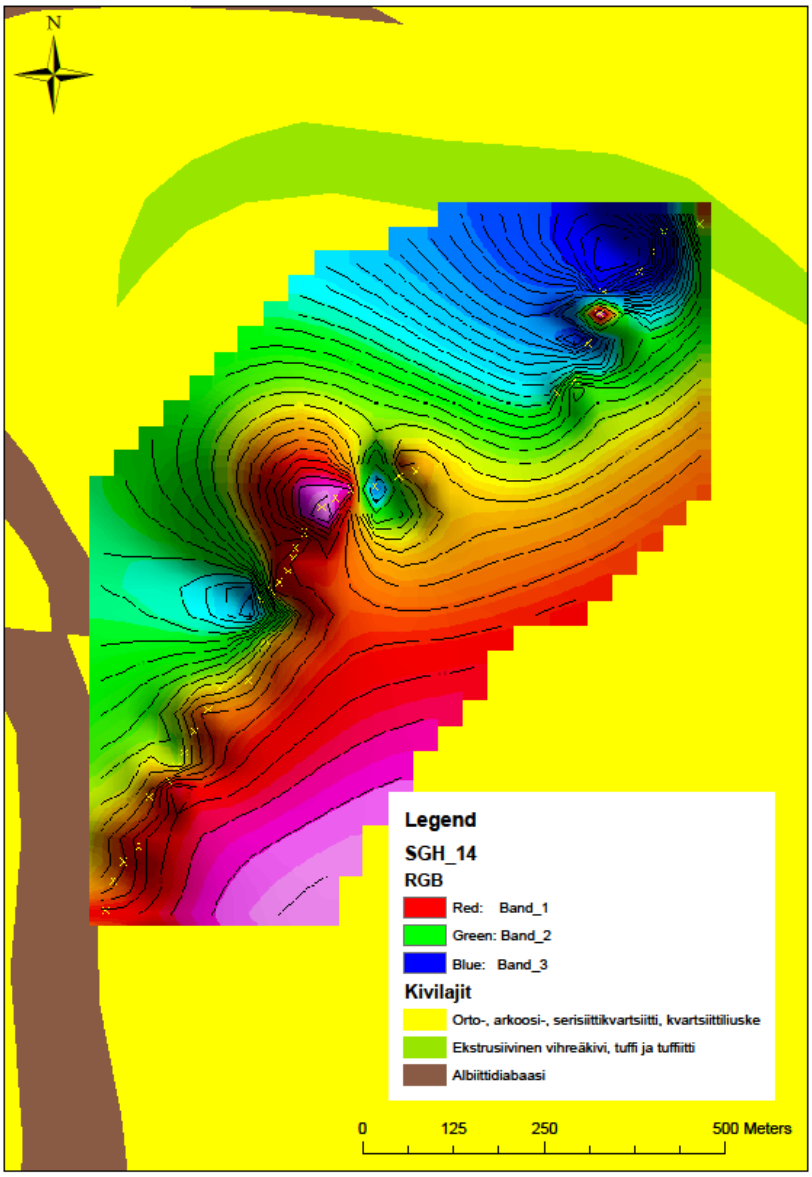
Vuoden 2013 toisessa mallissa (kuva 30) kulta-anomalisia vyöhykkeitä on kolme. Vyöhykkeet sijoittuvat näytteenottolinjan keskiosaan/mineralisaation kohdalle sekä eteläisen tausta-alueen pohjois- ja keskiosaan. Eteläisen tausta-alueen kivilajien vaihtumisvyöhyke näkyy kartassa myös selkeästi.



Kuva 30. Actlabsin tuottama toinen interpoloitu malli SGH-tuloksista vuoden 2013 Juomasuon mineralisoituneista vyöhykkeistä kallioperäkartan päällä. Kallioperä kartta GTK.

Vuonna 2014 tuloksista on tuotettu yksi interpolointimalli, joka perustuu erilaisilla kultaa indikoivilla hiilivedyillä ja hiilivetyluokilla tehtyihin analyyseihin. Interpolointi perustuvat 40 näytteeseen, joista 2 oli duplikaatteja. Laboratorion mukaan duplikaattien tarkkuus erinomainen (3,2%), kuten myös replikaattien (2,8%).

Vuoden 2014 interpolointimallissa (kuva 31) anomaalinen alue sijoittuu kartalla Au-mineralisaation kohdalle/näytteenottolinjan keskelle. Anomaalisia kultapitoisuuksia on mahdollisesti myös heikkouuttolinjan itäpuolella eteläisellä tausta-alueella. Pohjoisen tausta-alueen päässä oleva kivilajin muutosvyöhyke antaa heikon signaalin kallioperän rakennemuutoksesta. Laboratorion mukaan kyseessä on mahdollisesti apikaalinen anomalia tai laajemman anomalian keskus (central position of nested-halo anomaly). Kriittiset kultapotentiaalia merkitsevät tuntomerkit kuitenkin puuttuvat 2014 SGH-tuloksista, minkä vuoksi kyseessä ei välttämättä ole kultamineralisaatio (raportissa viittaus aineiston heikkouteen). Replikaattien tarkkuus oli laboratorion mukaan kuitenkin erittäin hyvä (2,8 %), kuten duplikaattienkin (3,2 %).

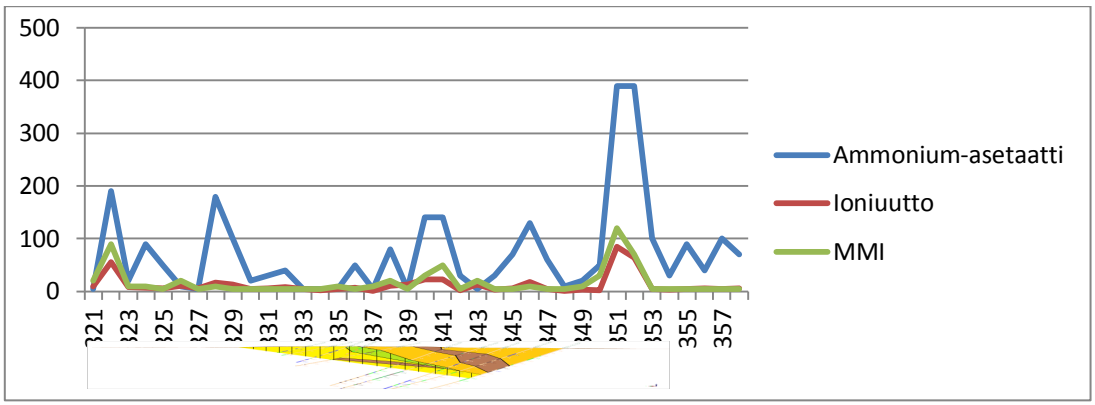


Kuva 31. Actlabsin tuottama interpoloitu malli SGH-tuloksista vuoden 2014 Juomasuon mineralisoituneista vyöhykkeistä kallioperäkartan päällä. Kallioperäkartta GTK.

7.8. Kalsium

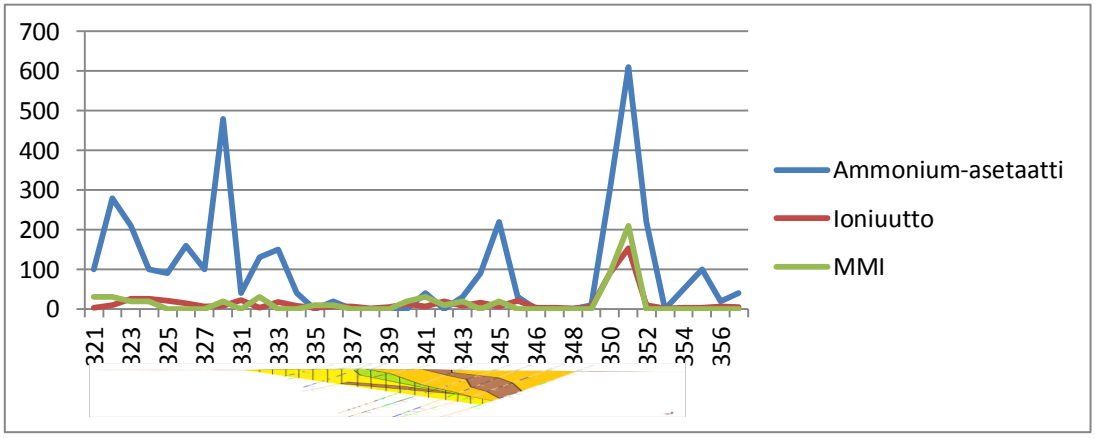
Kalsiumia on perinteisesti käytetty heikkouuttomenetelmien tulosten ohella sulfidimalmipotentiaalisten vyöhykkeiden paikallistamiseen. Alhaisessa pH:ssa helposti liukenevia ja mobilisoituvia alkuaineita, kuten kalsiumia, voidaan käyttää sulfidimineralisaation reunojen paikallistamiseen, koska reunoilla pH on korkeampi kuin muualla maaperässä.

Vuosien 2013-2014 kalsiumpitoisuuksista tehtyjen diagrammien (kuvat 32-33) avulla voidaan nähdä pisteiden 351-353 kohdalla selvä piikki etenkin ammonium-asetaattituloksissa, mutta myös muut kalsiumia määrittävät menetelmät indikoivat kohonneita kalsiumpitoisuuksia samassa kohdassa. Myös pohjoisen tausta-alueen eteläosassa ja kivilajien vaihtumisvyöhykkeen kohdalla on kohonneita kalsiumpitoisuuksia. Mineralisoituneen alueen reunat tulevat kalsiumpiikkien avulla selville mutta piikit indikoivat myös kivilajien vaihtumisvyöhykkeitä.



Kuva 32. Vuoden 2013 absoluuttisia Ca-pitoisuuksia ammonium-asetaatti-, ioniuutto-, ja MMI-menetelmien tuloksista.

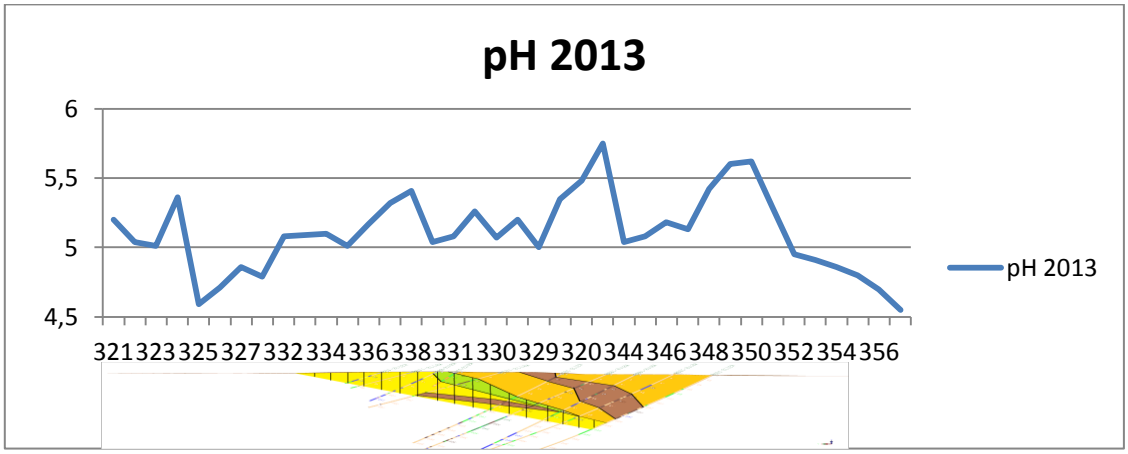
Vuoden 2014 kalsiumpitoisuudet ovat ammonium-asetaatilla kohollaan samoissa kohdissa kuin edellisvuonna, mutta muilla menetelmillä eteläisen tausta-alueen piikit eivät toistu.



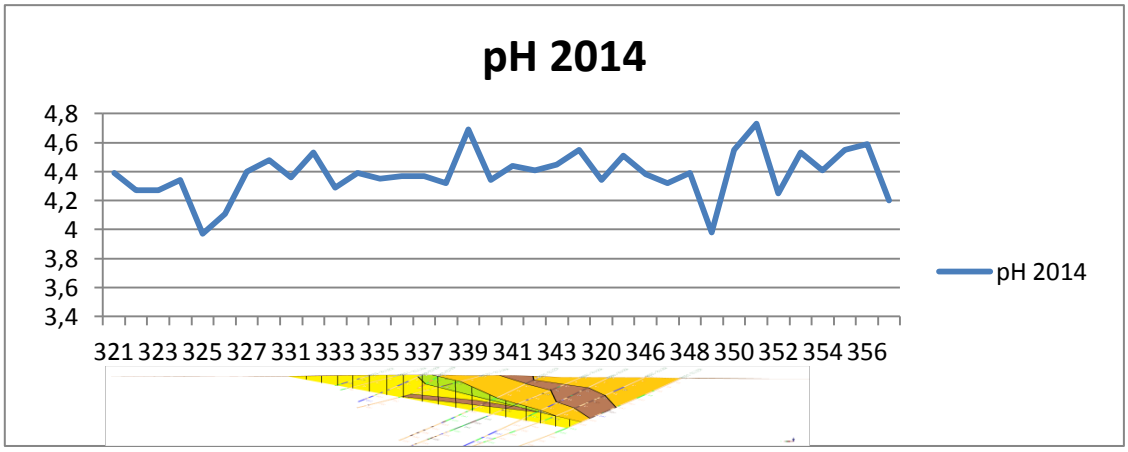
Kuva 33. Vuoden 2014 absoluuttisia Ca-pitoisuuksia ammonium-asetaatti-, ioniuutto-, ja MMI-menetelmien tuloksista.

7.9. pH

Juomasuolta vuosina 2013-2014 kerättyjen pH-näytteiden mittaustulokset esitetään kuvissa 34-35. pH-vaihtelu on vuoden 2013 tuloksissa selkeä ja piikkien voidaan tulkita indikoivan mineralisoituneita rakenteita ja Au-Co-mineralisaation reunoja, koska piikit ovat sulfidimineralisaation reunoilla tai päällä. Vuoden 2014 tuloksissa erottuvat myös hieman kohonneet pH-arvot, jotka kuvaavat myös varsin hyvin sulfidisoituneen vyöhykkeen rajoja, koska pisteiden 339 ja 350 kohdissa esiintyvät piikit muodostavat kaninkorva-anomaliat melko tarkkaan Au-mineralisaation päälle. Pisteen 324 alhainen pH, joka on kummankin vuoden tuloksissa, johtunee kivilajikontaktista, joka alkaa juuri ko. pisteen kohdalla. Vuosien välillä on huomattava ero pH-arvoissa. Tämä vaikuttaa todennäköisesti myös vuosien välisten vertailujen menetelmäkohtaisessa tarkistelussa, koska pH vaikuttaa metallien mobiilisuuteen merkittävästi.



Kuva 34. pH-tulokset vuonna 2013.



Kuva 35. pH-tulokset vuonna 2014.

8. VUOSIEN 2013-2014 HEIKKOUUTTOTULOSTEN TARKASTELU JA VERTAILU

Vuosien 2013 ja 2014 menetelmäkohtaisia vertailuja on tehty visuaalisesti rikastuskerroindiagrammeja vertailemalla. Tilastollisia tunnuslukuja ja korrelaatioita ei ole laskettu, koska heikkouuttolinjat olivat merkittävästi erilaiset vuosien välillä. Tarkastelun tavoite on arvioida menetelmien toimivuutta ja toistettavuutta sulfidimalmiesiintymän ilmentäjänä.

8.1. MMI

Vuosien 2013 ja 2014 MMI-tuloksissa mineralisaatiota hyvin indikoivat kulta-anomaliapiikit ovat samoissa kohdissa, eli menetelmä on kullan suhteen toistettavuudeltaan hyvä. Anomaliat aiheutuvat ja korostuvat kuitenkin pitkälti siitä syystä, että alle määritysrajojen olevia pitoisuuksia on useita kumpanakin vuotena.

Kummankin vuoden tuloksissa on myös selkeät kuparianomaliat pisteessä 345. Kuparin pitoisuudet ovat kumpanakin vuotena suhteellisen korkeat koko linjalla.

Hyvät kobolttianomaliat, jotka esiintyvät vuoden 2013 tuloksissa eivät esiinny vuonna 2014 lainkaan. Koboltin pitoisuudet ovat kuitenkin kaikki yli määritysrajojen ja pitoisuudet ovat varsin tasaisia koko linjalla, jonka vuoksi anomalioita ei tule esiin.

Uraani esiintyy anomalisena ainoastaan kerran vuoden 2013 tuloksissa (piste 350). Vuoden 2014 tuloksissa ainoa kohonnut pitoisuus sijoittuu samaan kohtaan. Kumpanakin vuotena uraanipitoisuudet ovat yli määritysrajojen ja pitoisuudet kumpanakin vuotena ovat suhteellisen tasaisia, joten tästä syystä uraanipiikkejä ei esiinny enempää.

Anomaliset/kohonneet pitoisuudet esiintyvät kumpanakin vuotena samoissa kohdissa. Koboltin osalta toistettavuuden kannalta huonoista tuloksista huolimatta menetelmä vaikuttaa toimivan hyvin Juomasuon tutkimuskohteella.

8.2. Entsyymiuutto

Entsyymiuutto ei toiminut kullan suhteen kumpanakaan vuotena, mikä oli sinänsä odotettua, koska kulta ei vapaudu entsyymireaktioissa. Uraani esiintyi vuoden 2013 tuloksissa anomaalisena useassa kohdassa linjalla, mutta 2014 ei lainkaan. Ainoa huomattava samankaltaisuus, joka toistui kumpanakin vuotena oli pisteessä 345 toistuvat kuparipiikit. Kuparin suhteen vertailu on kuitenkin ongelmallista, koska 2013 vuoden tuloksissa oli useita alle määritysrajojen olevia pitoisuuksia, kun taas vuoden 2014 kaikki pitoisuudet olivat yli määritysrajojen.

8.3. Ioniuutto

Ioniuuttotuloksissa vuosien 2013 ja 2014 vertailussa on paljon samankaltaisuutta kullalla ja uraanilla. Kuparianomaliat esiintyvät myös kummankin vuoden tuloksissa pohjoisen tausta-alueen kohdalla. Koboltti esiintyy anomalisena ainoastaan vuoden 2013 tuloksissa tausta-alueen pohjoisosassa.

8.4. Ammonium-asetaattiuutto

Menetelmän vuosien välisessä vertailussa Cu-, Co- ja U-käyrissä on samankaltaisuutta. Kullalle menetelmä ei toiminut hyvin kumpanakaan vuonna. Vuoden 2013 tuloksissa kohonneita kultapitoisuuksia kuitenkin esiintyi nimenomaan Au-Co-mineralisaation kohdalla ja 2014 vuoden tuloksissa ainoa pitoisuus, joka ei ollut alle määritysrajojen sijoittui myös mineralisaation kohdalle. Mikään alkuaine ei ollut anomaalinen vuoden 2013 tuloksissa, toisin kuin vuoden 2014 tuloksissa. Vuoden 2014 tuloksissa pitoisuudet ovat kultaa lukuun ottamatta selkeästi korkeammalla tasolla kuin vuonna 2013. pH-muutokset voivat selittää erot vuosien välisessä vertailussa, koska menetelmää pidetään herkkänä pH-muutoksille.

8.5. Biouutto

Vuosien 2013-2014 välillä ei ole suuria eroja vuosien välillä, eli menetelmän toistettavuus hyvä. Kullalle menetelmä ei kuitenkaan toimi. Vuosien väliset pienet erot muiden alkuaineiden osalta voivat johtua pelkästään näytteenottokuoppien sijoittumisella, koska ne ovat vähintään kahden metrin etäisyydellä toisiinsa nähden. Biouutto perustuu bakteerin hajoamistuotteiden metallipitoisuuksien analysoimiseen, joten on ymmärrettävää, että menetelmä toimii paremmin kuparille ja koboltille, kuin kullalle ja uraanille. Anomaliat kohdistuvat selkeästi tausta-alueelle, jossa on matala maaperä ja tiheä kasvillisuus. Menetelmä ei indikoi hyvin drumliinin alla olevan kallioperän malmipotentiaalia vaan tuloksista on nähtävissä että alkuaineet rikastuvat mineralisaation reunoille.

8.6. SGH

SGH-menetelmällä saatujen tulosten perusteella visuaalinen kulta-anomalian signaali on selkeä kummankin vuoden tuloksissa, vaikkakin laboratorion mukaan vuoden 2014 tuloksissa kultamineralisaation varmuus oli heikko. Anomaaliset kohdat eivät myöskään sijoitu täysin samaan paikkaan kahdessa vuoden 2013 mallissa. Tämä oli odotettavissa, koska laboratorion raportin mukaan eri hiilivety-yhdisteet aiheuttavat muutoksia

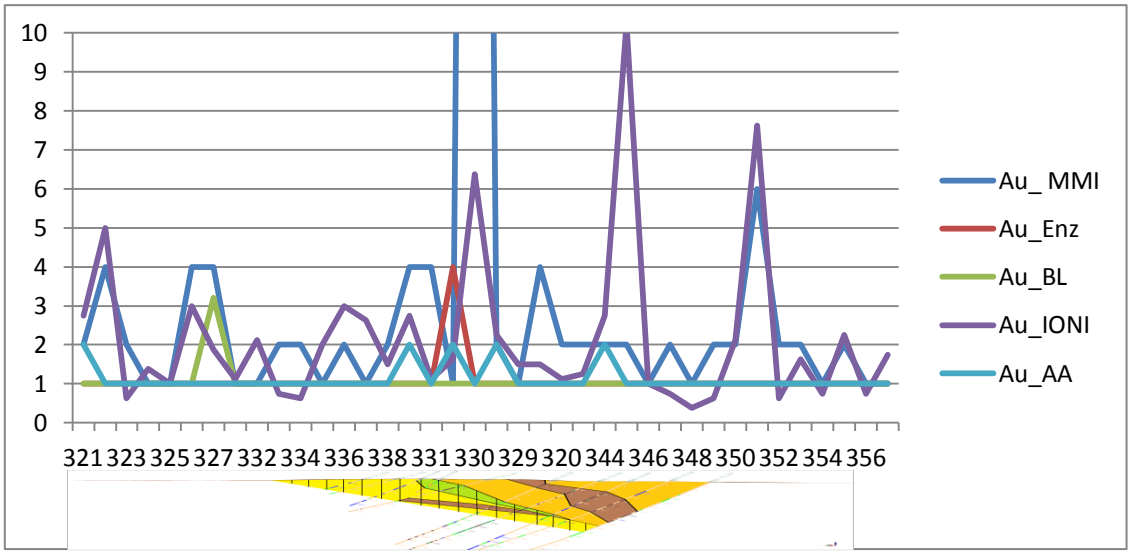
tuloksissa. Todennäköisesti signaaliin aiheuttaa häiriötä ohut maaperä (<5 m), jollaiselle SGH-menetelmän käyttöä ei suositella. Mineralisaation ja etenkin tausta-alueiden alueella on useita alle viiden metrin paksuisia maaperäalueita. Myös suositeltua suuremmat näytelinjan pisteiden välit ja suositeltua vähäisemmät näytemäärät saattavat aiheuttaa kummankin vuoden tuloksissa vääristymiä. Etenkin linjan pisteiden resoluutio oli laboratorion mukaan ongelmallinen tulkintojen kannalta.

Vuoden 2014 tuloksissa anomalia kohdistuu selkeästi juuri mineralisaation päälle. On kuitenkin erikoista, ettei pohjoisen tausta-alueen kivilajimuutoskohta aiheuta kuin heikon anomalian vuoden 2014 kartassa, vaikka se ilmenee selvästi kummassakin vuoden 2013 kartassa.

9. HEIKKOUUTTOMENETELMIEN TARKASTELU JA VERTAILU

Heikkouuttomenetelmien vertailu suoritettiin vuoden 2013 tulosten osalta. Tuloksia vertailtiin merkittävimpien alkuaineiden (Au, Co, Cu ja U) rikastuskertoimilla tehtyjen diagrammien (kuvat 36-39) ja eri alkuaineiden korrelaatiomatriisien avulla. Tulosten vertailun tavoite on määrittää parhaiten alueen mineralisoituneiden vyöhykkeiden havaitsemiseen soveltuvat heikkouuttomenetelmät. Diagrammeissa ei ole mukana SGH-tuloksia, mutta ne on otettu tulkintaan mukaan muutoin.

Heikkouuttomenetelmien vertailussa kullan osalta MMI- ja ioniuuttomenetelmällä on pääsääntöisesti samanlaiset trendit anomaalisten pisteiden kohdalla – pisteen 345 kohdalla olevaa ioniuuttomenetelmän tuloksissa esiintyvää piikkiä lukuun ottamatta (SGH-menetelmän tuloksissa vuoden 2013 osalta kulta-anomaliat olivat painottuneet myös pisteen 345 kohdalle), joka ei esiinny MMI-tuloksissa. Pisteiden 351 ja 330 kohdalla kummallakin menetelmällä tuli esiin hyvät anomaaliset piikit. Lisäksi pohjoisen tausta-alueen kultapitoisuudet ovat kummallakin menetelmällä samassa kohdassa kohollaan. Edellä mainittujen menetelmien tulosten perusteella tutkimusalueen kultapotentiaali tulee varsin hyvin esille. Entsyymi-, bio- ja ammonium-asetaattiuuttomenetelmät toimivat huonosti kullan suhteen. Vuoden 2013 tuloksien korreloituminen kullan osalta menetelmiä vertaillessa on todella huono.



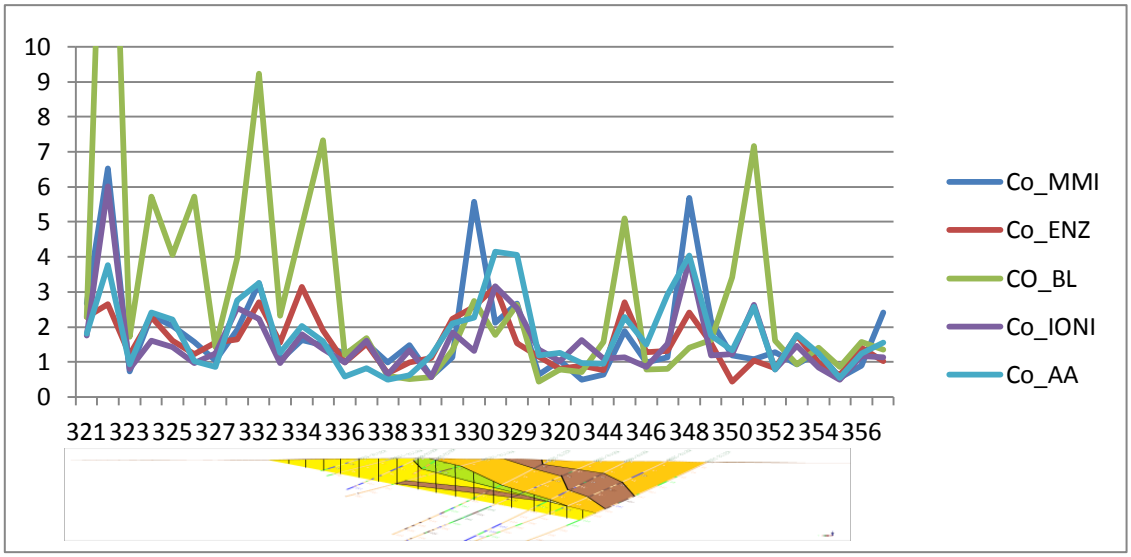
Kuva 36. Rikastuskerrointen avulla esitetyt eri menetelmien kultapitoisuudet vuoden 2013 tuloksista.

Taulukko 12. Kullan korreloituminen eri menetelmillä vuoden 2013 tuloksista.

	Au_MMI	Au_Enz	Au_BL	AU_IONI	Au_AA
Au_MMI	1				
Au_Enz	-0,04	1			
Au_BL	0,005	-0,03	1		
Au_IONI	0,39	-0,04	-0,02	1	
Au_AA	-0,06	0,42	-0,06	0,05	1

Koboltin vertailussa parhaiten toimiva menetelmä on biouutto, jonka tuloksissa on useita anomaalisia pitoisuuksia. Myös MMI-menetelmä toimii koboltilla hyvin. Ioniuutto toimii koboltille kohtalaisesti, kuten myös ammonium-asetaattiuutto. Entsyymiuutto toimii heikosti koboltille.

Ioniuuttotulokset korreloituvat kohtalaisesti (0,55) entsyymiuuton kanssa ja hyvin biouuton kanssa (0,69). Ammonium-asetaattiuutto korreloi hyvin entsyymi- (0,68) ja ioniuuton (0,78) kanssa. Muuten korrelaatiot ovat huonoja.

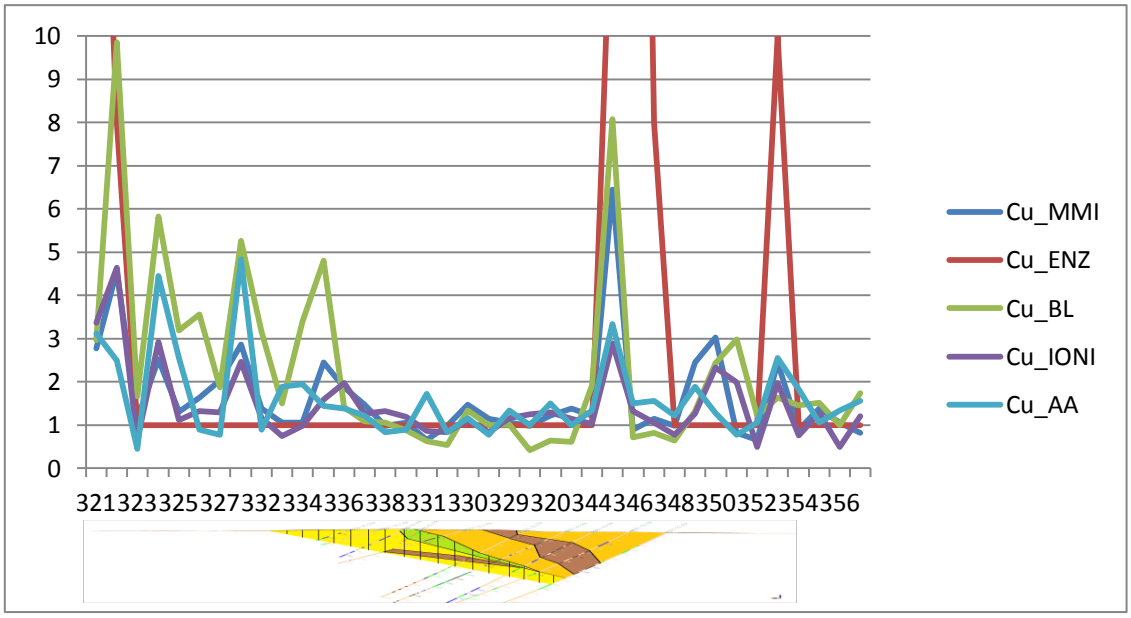


Kuva 37. Rikastuskerrointen avulla esitetyt eri menetelmien kobolttipitoisuudet vuoden 2013 tuloksista.

Taulukko 13. Koboltin korreloituminen eri menetelmillä vuoden 2013 tuloksista.

	Co_MMI	Co_ENZ	Co_BL	Co_IONI	Co_AA
Co_MMI	1				
Co_ENZ	0,11	1			
Co_BL	-0,16	0,45	1		
Co_IONI	0,07	0,55	0,69	1	
Co_AA	0,08	0,69	0,46	0,78	1

Selkeimmät kuparipotentiaali-indikaatiot saadaan bio- ja entsyymiuuttomenetelmillä. Menetelmät eivät kuitenkaan korreloi (0,14). MMI-, ioni- ja ammonium-asetaattimenetelmät toimivat kohtalaisesti. Biouutto korreloi korreloi ioniuuton (0,79), kuten myös ammonium-asetaatin kanssa (0,61) hyvin. Myös ammonium-asetaattiuutto ja ioniuutto korreloivat hyvin (0,61).

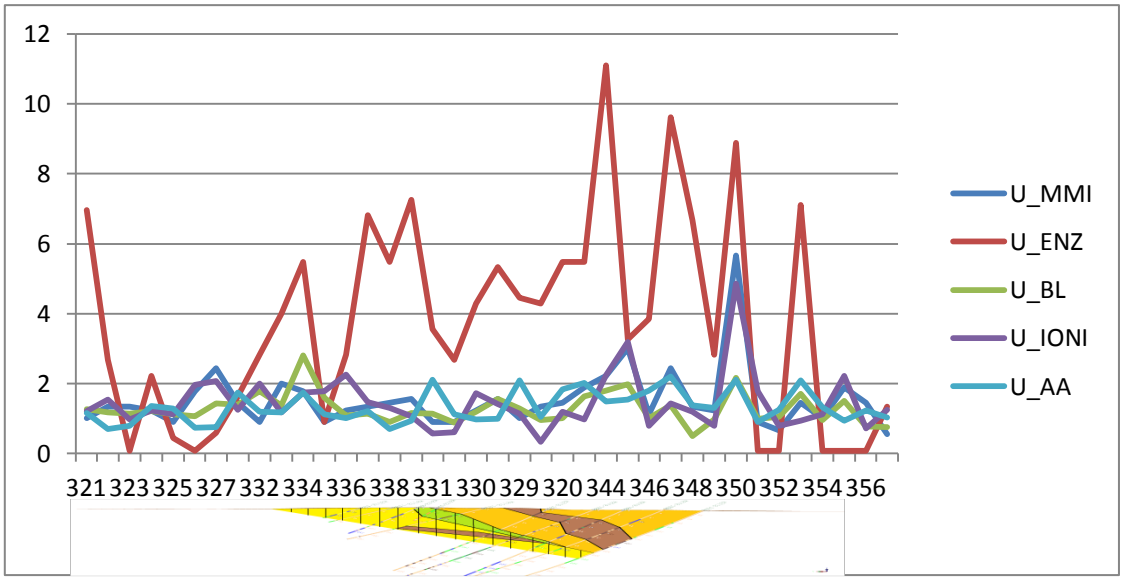


Kuva 38. Rikastuskerrointen avulla esitetyt eri menetelmien kuparipitoisuudet vuoden 2013 tuloksista.

Taulukko 14. Kuparin korreloituminen eri menetelmillä vuoden 2013 tuloksista

	Cu_MMI	Cu_ENZ	Cu_BL	Cu_IONI	Cu_AA
Cu_MMI	1				
Cu_ENZ	0,31	1			
Cu_BL	0,34	0,14	1		
Cu_IONI	0,38	0,34	0,79	1	
Cu_AA	0,31	0,25	0,61	0,61	1

Uraanille voimakkaimman signaalin antaa entsyymiuutto, mutta muut menetelmät eivät tue havaittuja anomalioita varsinkaan alueen keskiosassa eli Au-mineralisaation kohdalla. Ioni- ja MMI-menetelmät toimivat kohtalaisesti ja muut menetelmät huonosti. Ioniuuton uraanipitoisuudet korreloivat hyvin MMI- ja biouuttomenetelmien kanssa. Muuten tulokset eivät korreloi.



Kuva 39. Rikastuskerrointen avulla esitetyt eri menetelmien uraanipitoisuudet vuoden 2013 tuloksista.

Taulukko 15. Uraanin korreloituminen eri menetelmillä vuoden 2013 tuloksista.

	U_MMI	U_ENZ	U_BL	U_IONI	U_AA
U_MMI	1				
U_ENZ	0,39	1			
U_BL	0,50	0,33	1		
U_IONI	0,77	0,20	0,57	1	
U_AA	0,32	0,47	0,37	0,05	1

10. POHDINTA

Eri menetelmien ja alkuaineiden tulosten tarkastelussa huomattavan usein anomaaliset kohdat sijoittuvat pohjoiselle tausta-alueelle, pisteiden 321-323 kohdalle, pisteen 345 kohdalle sekä pisteen 350 lähistölle eteläiselle tausta-alueelle. Kulta ja koboltti esiintyvät anomalisena myös mineralisaation keskivaiheilla. Uraani vaikuttaa olevan tasaisesti jakautuneena koko heikkouuttolinjalla, eli ei synny selkeää kontrastia taustan ja mineralisaation välille. Syy anomalioihin pohjoisella tausta-alueella on ilmeisesti kivilajien vaihtumisvyöhyke, jossa albiitti/serisiittikvartsiitti muuttuu emäksiseksi vulkaniitiksi. Emäksiseen vulkaniittiin liittyvät korkeat Cu- ja Co-pitoisuudet ovat merkittäviä ja osoittavat linjan pohjoispäähän liittyvää mineralisoitumista. Se poikkeaa kuitenkin pääesiintymästä, jossa kulta on selkeästi korkein ja missä kuparia ei esiinny lainkaan anomalisena. Anomalioiden esiintyminen tausta-alueilla viitannee myös liian lyhyeen näytteenottolinjaan ja erityyppiseen kallioperään myös eteläisen tausta-alueen osalta sekä mahdollisiin uusiin, aiemmin tuntemattomiin mineralisoitumiin. Kuparia ja kobolttia päätyy maaperän pintaosiin kasvien juurien kautta. Tämän vuoksi etenkin tausta-alueilla esiintyvät anomaaliset Cu- ja Co-piikit ovat ymmärrettävissä tausta-alueilla tiheämmän kasvillisuuden ja ohuemman maaperän vuoksi. Tausta-alueiden kallioperä (vulkaniitit ja ultramafiset kivet) on myös potentiaalinen aiheuttaja kohonneille Cu- ja Co-pitoisuuksille.

Useilla menetelmillä kobolttituloksissa pitoisuudet ovat jakautuneet varsin tasaisesti, jonka vuoksi anomaliat eivät esiinny kovin selkeinä. Koboltti on kuitenkin aivan selvästi rikastunut etenkin pohjoisen tausta-alueen päähän pisteen 321 kohdalle, Au-Co-mineralisaation päälle ja pisteen 348 kohdalle. Tämä on nähtävissä kaikilla menetelmillä, vaikka biouuttomenetelmällä anomaliota oli myös muualla.

Pisteen 345 alueella esiintyvät useat anomaliat johtuvat mahdollisesti muuta näytteenottolinjaa ohuemmasta maaperästä (1,40 m), johon erityisesti kupari, mutta myös koboltti ja uraani ovat rikastuneet mahdollisesti hydromorfisen lateraalisen dispersion sekä kasvillisuuden kautta ja/tai kivilajin muutoksen takia. Ko. pisteen alapuolella kallioperässä on ultramafisia kivilajeja, mutta kallioperän pinnalla ei

kuitenkaan ole kairaustietojen mukaan kuparia merkittävästi. Kaikilla menetelmillä kupari esiintyy tässä pisteessä kuitenkin anomaalisena tai kohonneina pitoisuuksina.

Suoraan sulfidisoituneiden kivilajien yläpuolella drumliinin päällä on voimakkaita Au-anomalioita ja myös kohonneita/anomaalisia kobolttipitoisuuksia eli menetelmät indikoivat Au-Co-mineralisaatiota hyvin. Nämä hyvät tulokset toistuvat kumpanakin vuotena useimmilla menetelmillä. Anomaliat drumliinin päälle ovat aiheutuneet ilmeisesti sähkökemiallisen kulkeutumisen kautta. Rikastuskerrointen avulla tuotetuissa diagrammeissa anomaliat korostuvat selvästi esim. entsyymiuuttomenetelmän kuparipitoisuuksien osalta (2013 tuloksissa), johtuen useista alle määritysrajojen olevista pitoisuuksista. Samaa ongelmaa on MMI-menetelmässä, mutta kultaindikaatiot mineralisaation/drumliinin päällä ovat hyvin selkeät.

Kallioperän malmipotentiaalista on vaikea saada selkoa kallioperän kompleksisen rakenteen ja vajavaisten kallioperän pinnan tietojen ja alkuaineiden pitoisuustietojen takia, mutta heikkouuttomenetelmillä Juomasuon merkittävimmille alkuaineille saadaan anomalioita. Anomaliat vaikuttavat syntyvän kohtuullisen tarkasti samoihin paikkoihin eri menetelmillä ja eri vuosina. Moreeniaineksen pitkät kuljetusmatkat antavat hyvän lähtökohdan alla olevasta kallioperästä tulevan heikkouuttosignaalin tarkastelulle, koska paikallisen kallioperän ainesta on moreenissa yleensä vähän.

Tausta-alueiden anomaliat eri alkuaineille voivat johtua osittain hydromorfisesta dispersiosta ja ohuemman maaperän vuoksi johtuvasta kasvien aiheuttamasta alkuaineiden rikastumisesta etenkin kuparin ja koboltin osalta. Todennäköisempää on kuitenkin, että anomaliat johtuvat kallioperän kivilajien vaihtumisesta. Kuparianomaliat keskittyvät pääasiassa mineralisaation reunoille tai tausta-alueille eikä anomalioita ole lainkaan drumliinin päällä, mikä viittaisi siihen, että päämineralisaatiossa ei ole kuparia merkittävästi ja että kuparipitoisuudet ovat korkeammat pääesiintymän sivuilla olevissa kivilajeissa. Anomaliat tosin esiintyvät Hamiltonin teorian olettamalla tavalla, eli ne muodostavat mineralisaation reunoille ns. kaninkorvat. Myös kalsium- ja etenkin pH-tuloksissa tuloksissa ilmenee Hamiltonin teorian mukaista käyttäytymistä oletetun mineralisaation reunoilla, eli tässä tapauksessa drumliinin reunoilla.

Sekä pohjoisella- että eteläisellä tausta-alueella kasvillisuutta on paljon enemmän kuin mineralisaation kohdalla, drumliinin alueella. Pisteiden 321-323 ja 350 alueilla maaperä on myös ohut, joten metallien kulkeutumismekanismi analysoitavaan horisonttiin voi

olla mikä tahansa. Lateraalisen hydromorfisen dispersion vaikutus näihin kohtiin on ainakin pienissä määrin todennäköistä drumliinista johtuen. Pääesiintymän lähistöllä sijaitsevan avolouhoksen vuoksi pohjaveden liikkeet voivat olla luonnontilasta poikkeavat ja aiheuttaa metalli-ionien dispersiomekanismeihin muutoksia.

Menetelmäkohtaisesti tarkasteltuna ioniuutto toimii Juomasuon kultapotentiaalin indikaattorina parhaiten ja antaa myös varsin hyvät toistuvat tulokset peräkkäisinä vuosina. Ioniuutolla, joka liuottaa mm. karbonaattimineraaleihin heikosti sitoutuneita metalli-ioneita, anomaliset kohdat sijoittuvat myös lähes täsmälleen näytteenottovuosien pH-piikkeihin.

SGH-menetelmällä kulta-anomaliat esiintyivät varsin tarkasti Au-mineralisaation alueella kaikissa tuloksissa. Vuoden 2014 tuloksissa oli kuitenkin epävarmuutta, joka voi johtua esimerkiksi seuraavista seikoista: SGH-tuloksiin voi vaikuttaa tausta-alueen ohuet maaperäkerrostumat, jotka heikentävät hiilivetyjen käyttöä malmiesiintymän indikoijina, sillä 2/3 tutkimusalueesta on tällaisen maaperän alueella. Mikrobiologisten prosessien vaikutus ja muutokset voivat myös muuttaa tuloksia SGH:n osalta. Nämä muutokset ovat selviä etenkin muuttuneiden pH-olosuhteiden takia. Näytteenottolinjan pistevälit eivät myöskään olleet suositusten mukaisia.

Biouuttomenetelmä toimii koboltin ja kuparin osalta hyvin, mutta uraanille huonosti. Kullalle menetelmä ei toimi lainkaan. Biouutto on kuitenkin toistettavuuden kannalta paras menetelmä. Biouuttomenetelmä perustuu proteiinijäänteiden kulkeutumiseen kaasukuplien mukana. Kaasukuplien diffuusio on pitkälti kiinni ilmastollisista olosuhteista. On mahdollista, että suhteellisen hyvät biouuttotulokset aiheutuivat osittain poikkeuksellisen kuumista kesistä. Menetelmän huono toimivuus uraanin ja kullan suhteen voi johtua liuotettavan näytteen orgaanisperäisyydestä.

Entsyymiuuttomenetelmä ei sovellu Juomasuon kaltaisen kultamineralisaation tunnistamiseen lainkaan. Kullasta, kuten muistakaan pääalkuaineista ei saa selkeää indikaatiota entsyymiuutolla, vaikka anomalioita tuloksissa ilmeneekin. Herkkyys pH-vaihteluille aiheútti ilmeisesti hyvin erilaiset tulokset vuosien välillä. Entsyymiuuttotulosten perusteella Juomasuon esiintymä voi olla uraanin suhteen potentiaalinen, mutta itse menetelmä ei toimi eri vuosina luotettavasti.

MMI-menetelmän tuloksissa Au-mineralisoituma saadaan hyvin esille kummankin vuoden tuloksissa. Tosin se, että alkuainepitoisuudet eivät ole keskimääräisesti kovin korkeat, johtuen useista alle määritysrajojen olevista pitoisuuksista, näkyy tuloksissa. Menetelmällä on hyvä toistettavuus, vaikka sääolosuhteiden takia vuonna 2014 kerättyjen näytteiden pitoisuudet hiipuivat vuoden 2013 tuloksiin verrattuna.

Ammonium-asetaattiuutto käyttäytyy päinvastoin kuin MMI-menetelmä, sillä anomaalisia pitoisuuksia esiintyy vasta vuoden 2014 tuloksissa. Kullalle menetelmä ei toimi erityisen hyvin, vaikka joitain kultapitoisuuksia esiintyy taustaan verrattuna kohonneina pitoisuuksina juuri Au-mineralisaation kohdalla. Muiden tutkittujen alkuaineiden tulokset ovat hyvin samanlaisia kumpanakin vuotena.

Menetelmäkohtaisten vuosien välisten erojen voidaan nähdä aiheutuvan ainakin osittain sääolosuhteiden eroista, jotka heijastuvat esimerkiksi pH:n muutoksista vertailuvuosien välillä. Ilmastolliset erot vaikuttavat eritoten maaperän pohjavesiolosuhteisiin ja maakosteuteen, jotka myös muuttavat metallien mobiilisuutta. Välillisesti tähän vaikuttaa myös pH:n muutokset. pH-mittausten perusteella Juomasuon maaperä on hapan (mikä on normaalia podsol-maannoksessa). Tämä tarkoittaa, että useimmat metallit ovat näissä olosuhteissa liukoisia. Ympäristömuutosten vaikutus tutkimusalueella vaikutti tuloksiin useampien menetelmien kohdalla. Syitä metallipitoisuuksien muutoksiin on kuitenkin vaikea määrittää. Todennäköistä on, että pH-muutokset vaikuttivat tuloksiin enemmän, kuin esimerkiksi pohjaveden pinnan tason muutos, vaikkakin toistettavuus oli vuosien välillä heikko.

Vuoden 2013 näytteenottohetkellä pintamaan havaittiin olevan varsin kostea. Vuonna 2014 Juomasuolla oli näytteenottohetkellä ollut pitkään kuivaa ja alueella vallitsi metsäpalovaroitus. Lämpötila ja etenkin sateisuuserot vuosien välillä vaikuttavat ilman muuta pintamaasta otettavien näytteiden alkuainepitoisuuksiin.

Juomasuon mineralisaation päällä on hakattu ja myllätty maasto, ja tausta-alueella, jossa on tiheähköä sekametsää, on viettävä maa. Tämä aiheuttaa kosteuseroja näytteenottomonttujen välillä. Juomansuon alueen metsiä on käsitelty voimallisesti ja valtaosa alueesta on avohakattua, joka voi aiheuttaa muutoksia vesitaloudessa.

10.1. Virhelähteet

Virhelähteitä vuosien 2013-2014 kesinä otettuihin näytteisiin voi aiheuttaa kairaustöiden, metsätöiden yms. aiheuttamat kontaminaatiot. Kairauksia Juomasuolla on tehty paljon aina 1980-luvulta lähtien. Esiintymän päällä on myös käytetty erilaisia metsäkoneita ja muita ajoneuvoja. Mineralisaation alueella kulkee myös metsäautotie. Kauempaa ilman kautta tulleet laskeumat voivat myös olla kontaminaatiota aiheuttavia tekijöitä. Kontaminaatio on mahdollista etenkin humuskerroksen metallipitoisuuksissa, mutta mineraalimaan pintaosaan aiheutuva häiriö normaalitilaan verrattuna ei ole selvillä.

Maaperän pintakerroksen, josta näytteet kerättiin, olosuhteet eivät ole koko linjalla luontaiset tai menetelmille täysin soveltuvat. Muokatun maaperän takia horisonttien puuttumisen ja sekaisuuden takia näytteet eivät kaikilta osin ole tarkoituksenmukaisesta horisontista. Maaperän koostumus vaihteli linjan eri osissa ja siksi metallien sitoutuminen ja mobilisoituminen vaihtelee näytteenottolinjalla eri kohdissa. Topografiavaihtelu voi aiheuttaa potentiaalisen virhelähteen tuloksien tulkintaan verrattuna tasasyvyiseen maaperään.

Näytteenotto suositellaan yleensäkin tehtäväksi aina linja kerrallaan yhden päivän aikana. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista. Vuonna 2014 näytteenottoa ei saatu tehtyä koko linjalla yhden päivän aikana sateen keskeyttäessä näytteenoton linjan keskivaiheilla. Näytteenottoa jatkettiin seuraavana päivänä sateen laannuttua. Pitkästä edeltäneestä kuivasta kaudesta johtuen maan pintaosassa ei kuitenkaan pystytty erottamaan sateen vaikutusta kosteusolosuhteisiin.

Tulokset pH-mittausten osalta saattavat olla virheellisiä vuoden 2014 osalta. Mittaukset tulisi tehdä viimeistään viikon kuluessa näytteenotosta, mutta vuonna 2014 pH-mittaukset tehtiin noin kahden viikon päästä näytteenotosta.

Kairaustietojen perusteella projisoidun näytelinjan ja mineralisaation anomaalisten sulfidien taustakarttakuvat ovat jokseenkin epätarkkoja, koska kallioperän pinnasta analyysitulokset puuttuivat. Kallioperän ja sulfidipitoisten rakenteiden ja linssien huono

tuntemus on heikkouuttomenetelmien tulosten tulkinnan kannalta ongelmallista ja aiheuttaa epävarmuutta.

Vuonna 2013 näytteenottopaikka merkittiin oransseilla nauhoilla näytteenottokuoppien läheisyyteen. Vuoden 2014 näytteenotossa havaittiin, että nauhoja ei aina löytynyt eikä edellisvuoden kuoppaa voinut havaita, joten kuoppien paikannus jäi GPS:n varaan. Tämän takia kuoppien sijainnissa voi olla useiden metrien heitto. Näytteenottoa toistettaessa näytteenottokuopat tulisi sijoittua mahdollisimman lähelle (1-2 m) edellisvuoden kuoppaa. Tämä ei aina kuitenkaan ollut mahdollista johtuen esim. teistä ja puista. Navigoidessa GPS-laitteen avulla muutamien metrien heitto näytteenottokuopan sijainnissa on mahdollista, joten tästäkin syystä näytevälit eivät välttämättä ole tavoitteen mukaisia.

11. YHTEENVETO

Kuusamon Juomasuolla kerättiin vuosina 2013 ja 2014 yhteensä 492 näytettä maaperän pintaosasta heikkouuttoanalyysejä varten. Tulosten perusteella vertailtiin eri heikkouuttomenetelmien soveltuvuutta maaperägeokemialliseen malminetsintään aiemmin jäätiköityneellä alueella Kuusamon Juomasuon tunnetussa Au-Co-mineralisaatiossa, joka sijaitsee drumliinin alla.

Yleisesti ottaen heikkouuttomenetelmät soveltuvat menetelmänä etenkin pohjoisen pallonpuoliskon malminetsintään hyvin, koska kallioperä on usein paksujenkin glasigeenisten kerrostumien peitossa. Näytteenottomenetelmänä heikkouutot sopivat etenkin vaikeakulkuisille ja herkille luontoalueille erittäin hyvin, koska näytteenotto voidaan tehdä ympäristöystävällisesti ja huomaamattomasti pienistä lapiomontuista. Sen lisäksi näytteenottomenetelmässä tarvittavat välineet, sekä jopa koko näytelinjan näytemateriaali, on suhteellisen kevyt kantaa. Menetelmien hyvinä puolina voidaankin pitää vahvasti sitä, että ne ovat erittäin ympäristöystävällisiä käytännössä maastoon jälkiä jättämättömän näytteenoton vuoksi.

Näytteenotto on helppoa ja malminetsintäkustannukset perinteisiin menetelmiin verrattuna ovat vähäiset. Menetelmien käyttöä voi kuitenkin haitata sääolosuhteet ja lapiokaivuuseen huonosti soveltuva maaperä. Menetelmien heikkoutena tai tulosten

luotettavuuden riskinä voidaan pitää myös kontaminoitusmisalttiutta, koska näytteet otetaan läheltä maan pintaa.

Teorian mukaan on oletettavaa, että heikkouuttomenetelmien perustana oleva metalli-ionien vertikaalisesta kulkeutumisesta aiheutuva geokemiallinen signaali tulee suoraan alla olevasta kallioperästä, eikä näytteiden alkuainepitoisuudet johdu ainakaan merkittävissä määrin klastisesta dispersiosta. Erilaisilla maaperämuodostumilla, stratigrafisilla eroilla ja hydrogeologisilla tekijöillä on kuitenkin vaikutusta ionien ja alkuaineiden kulkeutumiseen, ja näiden vaihtelu saattaa antaa häiriintyneen signaalin kallioperän malmipotentiaalista tai anomaliset kohdat voivat jopa jäädä havaitsematta. Vaikka eri heikkouuttomenetelmillä saadaan useita alkuaineita analysoimalla indikaatiot potentiaalisista malmiesiintymistä, voi yksittäisten alkuaineiden pitoisuudet eri menetelmillä analysoitaessa jäädä alle määritysrajojen ja täten menetelmien käyttöä ei voi aina suositella. Erilaisten kohteiden soveltuminen heikkouuttomenetelmien käyttöön ja tulosten hyödyntäminen vaatii paremman tiedon mm. maaperän rakenteesta ja kallioperästä, kuin mitä tämän projektin yhteydessä oli saatavilla.

Sääolosuhteiden vaihteluilla on merkitystä heikkouuttomenetelmillä saatuihin tuloksiin. Juomasuolla tehtyjen näytteenottojen tuloksista nähdään hyvin sääolosuhteiden vaikutus. Toisaalta tuloksiin vaikuttaa merkittävässä määrin myös maaperän pH, joka muuttui näytteenottovuosien aikana merkittävästi. Joka tapauksessa tulosten toistettavuus ei ollut kovin hyvä, mikä viittaisi sään ja/tai pH:n muutosten vaikuttavan useisiin heikkouuttotuloksiin huomattavasti. Heikkouttomenetelmillä analysoitavat alkuainepitoisuudet ovat hyvin pieniä, joten pienetkin ympäristömuutokset, kuten sateisuus, voivat aiheuttaa malmipotentiaalia ilmaisevan signaalin katoamisen. Tämä on ongelmallinen seikka heikkouuttomenetelmien käytössä Suomen olosuhteissa, jossa muutoksia tapahtuu paljon ja olosuhteet vuosien välillä vaihtelevat. Alkuaineiden pienten pitoisuuksien vuoksi vuosien välisten vertailujen tuloksissa esiintyy todennäköisesti poikkeamia jo pelkästään näytteenottomonttujen sijainnin takia.

Eri heikkouuttomenetelmien toimivuus Au-Co-sulfidimineralisaation ilmentäjänä oli kohtuullisen hyvä, vaikka kaikilla menetelmillä ei saatu määritettyä kultaa tai pitoisuudet jäivät alle määritysrajan. Menetelmien toimivuus kultaesiintymän havaitsemisen suhteen oli ioniuuttomenetelmän osalta erittäin hyvä. Myös MMI-menetelmä toimi kohtuullisesti. Menetelmillä saatiin selkeät indikaatiot

kultamineralisaatiosta ja anomaliat esiintyivät oletetussa paikassa mineralisaation kohdalla drumliinin päällä. Menetelmien toistettavuus oli myös hyvä. SGH-menetelmällä, jolla analysoitiin ainoastaan kultaa, saatiin kultapotentiaali myös varsin hyvin selville. Ilmeisesti liian lyhyt näytteenottolinja kuitenkin vaikutti etenkin vuoden 2014 SGH-tuloksiin, jotka eivät antaneet vuoden 2013 tulosten kaltaista selkeää kultamineralisoitumiseen viittaavaa indikaatiota, eli tämän menetelmän toistettavuus oli huono tai ainakin epävarma. Myös ammonium-asetaattimenetelmä antoi kullalle pienen signaalin drumliinin päälle, mutta pitoisuudet olivat muutoin alle määritysrajojen. Biouutto- ja entsyymiuuttomenetelmät eivät toimi kullan suhteen lainkaan, vaikka Juomasuo on nimenomaan kultakohde. Biouuttomenetelmä vaikuttaisi olevan kuitenkin tulosten toistettavuuden kannalta paras menetelmä. Biouutto toimii myös kuparille ja koboltille varsin hyvin. Koboltille kaikki menetelmät toimivat hyvin, vaikka vuosien välisissä tuloksissa olikin hieman vaihtelua.

Heikkouuttomenetelmät toimivat drumlinisoituneella alueella odotetulla tavalla sähkökemiallisen varauseromallin mukaan, eli ionit kulkeutuvat jopa paksuimman (>10 m) moreenipeitteen läpi. Vaihtelevan topografian ja kompleksisen esiintymän takia sulfidipitoisten rakenteiden indikaatiot jäivät kuitenkin hieman epäselviksi. Anomaliset geokemialliset signaalit eri alkuaineilla vaikuttivat syntyvän niin, ettei tuloksista voi aivan selkeästi nähdä mineralisaation keskusta. Voi myös olla, että heikkouuttolinjan olisi ollut syytä olla pidempi, jotta selkeämpi tausta-alue olisi vahvistunut. Tuloksissa nimittäin näytti tulevan vahvoja anomalioita myös aivan tausta-alueen reunoillekin, mikä voi viitata myös aiemmin havaitsemattomiin mineralisoitumiin tausta-alueella. Tämä osoittaa siten, että heikkouuttomenetelmiä voi käyttää myös ilmentämään kallioperän kivilajivaihtelua.

Kalsiumpitoisuuksien ja pH-arvojen perusteella drumliinin/mineralisoituneen vyöhykkeen reunoille muodostuu piikit, kuten sähkökemiallisessa varauseroteoriassa oletetaan. Vuosien välisten pH-arvojen muutokset vaikuttavat kuitenkin tulosten luotettavuuteen ja toistettavuuteen ongelmallisesti.

KIITOKSET

Haluan osoittaa kiitokseni kaikille UltraLIM-projektin yhteistyötahoille sekä rahoittajille (GTK, Oulun yliopisto, Tekes sekä Dragon Mining), jotka mahdollistivat tämän opinnäytetyön tekemisen.

Erityisesti haluan kiittää opinnäytetyön ohjaajaani professori Vesa Peuraniemeä, jonka kautta sain mahdollisuuden osallistua tähän projektiin – kiitos luottamuksesta. Toinen tärkeä henkilö opinnäytetyön ohjauksessa oli GTK:n erikoistutkija Pertti Sarala, joka kelloa katsomatta jaksoi antaa ohjausta, neuvoja ja palautetta opinnäytetyötäni koskien.

Kiitän myös opiskelutoveriani Elisa Kyllöstä, joka jaksoi tukea ja kuunnella niin hyvinä kuin heikkouuttoisinakin hetkinä. Olli Junttilaa kiitän mm. kuvista ja mukavista hetkistä kentällä. Kiitän myös Anna Kilpeläistä ja Simo Väisästä teknisestä avusta.

Professori Juha-Pekka Lunkkaa ja Professori Eero Hanskia sekä tohtorikoulutettava Tiina Eskolaa haluan kiittää mielenkiintoisista ja innostavista luennoista, jotka loivat pohjan ja antoivat valmiuksia opinnäytetyön kirjoittamiseen.

Kiitän myös ystäviäni Olli Pitkästä, Tommi Rantapirkolaa ja Tommi Välikangasta henkisestä tuesta. Jari ja Juha Niinimaata haluan kiittää joustavasta työntekomahdollisuudesta opintojen ohella.

Iso kiitos myös perheelleni, etenkin vaimolleni Annille, joka jaksoi hoitaa suurperheemme arjen ja mahdollisti minulle työrauhan. Kiitokset myös lapsilleni Sakulle, Ilonalle, Artulle, Hermannille, Lilianille, Tiitukselle ja Niilakselle, olette antaneet tarpeellista vastapainoa kirjoitustyölle.

LÄHDELUETTELO

Actlabsin verkkosivut:

http://www.actlabs.com/page.aspx?page=1326&app=254&cat1=684&tp=12&lk=no&menu=64. Viitattu12.4.2015.

Actlabs, 2013. SGH-Soil Gas Hydrocarbon, Predictive Geochemistry for Geological Survey of Finland. GTK. Kanada. 95 s.

Ahola, H. 2009. The application of the mobile metal ion technique in mineral exploration; two case studies in Northern Fennoscandia. M.Sc thesis. University of Oulu, Department of Geosciences. 103 s.

Alekseejev, S.G., Dukhanin, A.S. Veshev, N.A. ja Voroshilov, N.S. 1996. Some aspects of practical use of geoelektrochemical methods of exploration for deep-seated mineralization. Journal of Geochemical Exploration 56, 79-86.

Alloway B.J. 1995. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic & Professional, Glasgow. 368 s.

ALS-minerals/Global verkkosivut: http://www.alsglobal.com/. Viitattu 18.6.2015.

Aspandiar, M.F., Anand, R.R. ja Gray, D.G. 2006. Geochemical dispersion mechanisms through transported cover: implications for mineral exploration in Australia. CRC LEME Restricted Report 230, 84 s. (Reissued as Open File Report 246, CRC LEME, Perth, 2008).

Bajc, A.F. 1998. A comparative analysis of enzyme leach and mobile metal ion selective extractions; case studies from glaciated terrain, northern Ontario. Journal of Geochemical Exploration 61, 113-148.

Bölviken, B. ja Long, Ö., 1975. An electrochemical model for element distribution around sulfide bodies. Teoksessa: I.L. Elliot and W.K. Flecher (Eds.) Geochemical Exploration 1974. Association of Exploration Geochemist, Special Publications, 2, 631-648.

Cameron, E.M., Hamilton, S.M., Leybourne, M.I., Hall, G.E.M. ja McClenaghan, M.B. 2004. Finding deeply buried deposits using geochemistry. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis 4, 7–32.

Clark, J.R., Yeager, J.R., Rogers, P. ja Hoffman, E.L. 1997. Innovative enzyme leach provides cost-effective overburden/bedrock penetration. Teoksessa: Gubins, A.G. (toim.), Proceedings of Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration, 371-374.

Evangelou, V.P. 1998. Environmental Soil and Water chemistry. Principles and Applications. A Wiley-Interscience Publications, Canada, 592 S.

Govett, G.J.S. 1973. Differential secondary dispersion in transported soils and post-mineralization rocks: an electrochemical interpretation. Teoksessa: M.J.Jones (Ed.) Geochemical Exploration 1972, Institution of mining and Metallurgy, London, 81-91.

Govett, G.J.S. 1976. Detection of deeply buried and blind sulfide deposits by measurements of H+ and conductivity of closely shaped surface soil samples. Journal of Geochemical Exploration 6, 359-382.

Govett, G.J.S. (toim.), Kauranne, L.K., Salminen, R., ja Erikkson, K. 1992. Volume 5 Reogolith Exploration Geochemistry in Arctic and Temperate Terrains. Elsevier.

GTK:n verkkosivut: http://en.gtk.fi/informationservices/commodities/Gold/juomasuo.html. Viitattu 12.6.2015.

Hall, G.E.M. 1998. Analytical perspective on trace elements species of interest in exploration. Journal of Geochemical Exploration 61, 1-19.

Hamilton, S.M. 1998. Electrochemical mass-transport on overburden: a new model to account for the formation of selective-leach geochemical anomalies in glacial terrain. Journal of Geochemical Exploration 63, 155-172.

Hamilton, S.M., Cameron, E.M., McCleghan, M.B. ja Hall, G.E.M. 2004. Redox, pH and SP variation over mineralization in thick glacial overburden, Parts 1-2. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis 4, 33-58.

Hamilton, S.M. 2007. A prospector's guide to the use of selective leach and other deep penetrating geochemical techniques in mineral exploration; Ontario Geological Survey, Open File Report 6209, 39 s.

Hartikainen, A. 2011. Tutkimustyöselostus heikkouuttomenetelmällä analysoiduista maanpintanäytteistä Kaakkois-Suomessa. http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/27_2011.pdf. Viitattu 17.6. 2015.

Heberlain, D.R. 2013. Analytical methods selective and partial leaches. GTK presentations, Rovaniemi, June 10th 2013.

Heikkinen, P. 2000. Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. Tutkimusraportti 150. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 74 s.

Johansson, P. ja Kujansuu, R. (toim.) 2005. Pohjois-Suomen maaperä. Geologian tutkimuskeskus, Espoo, 238 s.

Kabata-Bendias, A., 2000. Trace Elements in Soils and Lands. Third edition, CRC Press. Boca Raton, Florida, 413 s.

Karjaluoto, H. 2007. SPSS opas markkinatutkijalle. Working paper N:o 344. University of Jyväskylä, 55 s.

Kelley, D.L., Cameron, E.M. ja Southam, G. 2004. Secondary geochemical dispersion through transported overburden. Society of Economic Geologist 2004, Perth. Extended Abstracts Volume, 4 s.

Kersalo, J. ja Pirinen, P. 2009. Suomen maakuntien ilmasto. Raportteja 2009:8, Ilmatieteenlaitos, Helsinki, 185 s.

Dragon Mining Oy, 2013. Kuusamon kultakaivoshankkeen ympäristövaikutusten arviointiselostus. 2.12.2013. 393 s.

Kyllönen, E. 2015. Maaperän heikkouuttomenetelmien käyttö malminetsinnässä Kittilän Hakokodanmaalla ja Soklin Kyörtesselällä Pohjois-Suomessa. Pro gradu – tutkielma, Kaivannaisalan tiedekunta, 124 s.

Mann, A. W., Birrell, R. D., Mann, A. T., Humphreys, D. B. ja Perdix, J. L. 1998. Application of the mobile metal ion technique to routine geochemical exploration. Journal of Geochemical Exploration 61, 87-102.

Pankka, H. 1989. Kuusamon Juomasuon Co-Au-esiintymän malmitutkimukset vuosina 1985-1989. Geologian tutkimuskeskus, Raportti M19/4613/-89/1/10, 34 s.

Pankka, H., Puustinen, K. ja Vanhanen, E. 1991. Kuusamon liuskealueen kulta-kobolttiuraaniesiintymät. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 101, 53 s.

Parkkinen, J. 1989. Kuusamon kulta-aiheiden arviointi: Juomasuo, Sivakkaharju, Mestauksenaho. Geologian tutkimuskeskus, Raportti M19/4611,4613/-89/2/10, 34 s.

Peuraniemi, V. 2012. Maaperägeologisen ja -geokemiallisen malminetsinnän jatkokurssi 1 -opintomoniste. Res Terrae, Ser. C. No. 11, 93 s.

Rose, A., Hawkes, H. ja Webb, J. 1979. Geochemistry in mineral exploration. Second edition. Academic Press, London, 657 s.

Rybicka, E.H. ja Jedrzejczk, B. 1995. Premilinary studies on mobilisation of copper and lead from contaminated soils and readsorption on competing sorbents. Applied Clay Science 10, 259-268.

Sato, M. ja Mooney, H.M. 1960. The electrochemical mechanism of sulfide self-potentials. Geophysics 25, 226-249.

Sarala, P. (toim.), Hartikainen, A., Sarapää, O., Iljina, M., Korkiakoski, E., Kousa, J., Heikura, P., Hulkki, H., Pulkkinen, E. ja Törmänen, T. 2008. Mobile Metal Ion (MMI) -menetelmän testaus malminetsintätutkimuksissa Itä- ja Pohjois-Suomessa vuonna 2007. Geologian tutkimuskeskus, Raportti S44/2008/37, 62 s.

Seneviratne, S.I, Corti, T., Davin, E.L., Hirschi, M., Jaeger, E.B., Lehner, I., Orlowsky, B., Teuling, A.J. Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate. Earth-Science Reviews 99, 125-161.

Smee, W.B. 1998. A new theory to explain the formation of soil geochemical responses over deeply covered gold mineralization in arid environments. Journal of Geochemical Exploration 61, 149-172.

Sposito, G. 1989. The Surface Chemistry of Soils. Oxford University Press, New York, 234 s.

Vanhanen, E. 1990. Kuusamon liuskealueen kultapitoiset esiintymät ja alueen kultapotentiaali. Geologian tutkimuskeskus, Raportti M19/4522, 4611, 4613/-90/1/10.

Welp, G. ja Brummer, G.W. 1998. Adsorption and solubility of ten metals in soil samples of different composition. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 162, 155-161.

Yeager, J., Clark, R., Mitchell, W. ja Renshaw, R. 1997. Entzyme leach anomalies with deep Miissisippi Valley-type zinc ore bodies at the Elmwood Mine, Tennesee. Journal of Geochemical Exploration 61, 103 -112.

LIITTEET

LIITE 1. UltraLIM-näytteenottokuoppien havainnointietokaavake.

UltraLIM- näytteenotto 2013, näytteenottokuoppien havainnointitiedot									
Kerros	**Ah**	**0**		**Kontaminaatio**			**0**		
	Ae	**1**				**tie <20m**	**1**		
	Ae+B1	**2**				**kairausp. <20**	**2**		
	B1	**3**				**ojitus <10**	**3**		
	B2	**4**				**sähkölinj. <10**	**4**		
	ORG	**5**		Muu, määrittele kommenteissa			**5**		
	C	**6**							
				Vietto		**tasainen(0-2°)**	**1**		
Väri	**ruosteenruskea**	**1**				**loiva (2..5°)**	**2**		
	tummanruskea	**2**				**jyrkkä (>5°)**	**3**		
	keskiruskea	**3**							
	vaaleanruskea	**4**		**Suunta**	**Asteina**				
	harmaa	**5**							
	musta	**6**		**Maastotyyppi**		**havumetsä**	**1**		
						lehtimetsä	**2**		
Maalaji	**moreeni**	**MR**	**1**			**sekametsä**	**3**		
	sora	**SR**	**2**			**katajikko**	**4**		
	hiekka	**HK**	**3**			**hakattu**	**5**		
	siltti	**SI**	**4**			**ojitusalue**	**6**		
	savi	**SA**	**5**			**kitumaa**	**7**		
						suo	**8**		
Kosteus	**kuiva**		**1**						
	kostea		**2**	**Moreenimatriksin raekoko mm.**					
	märkä		**3**	Hiekka	0,2	2	**1**		
				Hieta	0,02	0,2	**2**		
Valuvesi	**kuiva**		**1**	Hiesu	0,002	0,02	**3**		
	tihkuva		**2**	Savi		<0,002	**4**		
	valuu		**3**						
				Kerrosten paks		**cm**			

LIITE 2. Absoluuttiset pitoisuudet 2013, MMI.

(Määritysrajat: As 10 ppb, Au 0,1 ppb, Co 5 ppb, Cu 10 ppb, Ni 5 ppb, U 1 ppb.)

MMI 13	As	Au	Co	Cu	Ni	U
320,2	5	0,1	21	150	112	13
321,2	5	0,1	54	340	110	9
322,2	5	0,2	132	560	142	12
323,2	5	0,1	15	140	97	12
324,2	5	0,05	47	310	239	11
325,2	5	0,05	41	160	159	8
326,2	5	0,2	32	200	124	16
327,2	5	0,2	21	250	88	22
328,2	5	0,05	39	350	124	13
329,2	5	0,05	54	130	162	9
330,2	5	3,2	113	180	118	11
331,2	5	0,2	12	80	80	8
332,2	5	0,05	66	170	141	8
333,2	5	0,1	21	130	125	18
334,2	5	0,1	33	130	135	16
335,2	5	0,05	30	300	150	8
336,2	5	0,1	25	230	145	11
337,2	5	0,05	31	180	66	12
338,2	5	0,1	20	120	96	13
339,2	5	0,2	30	130	99	14
340,2	5	0,05	23	120	100	8
341,2	5	0,1	43	140	154	14
342,2	5	0,2	13	120	87	12
343,2	5	0,1	10	170	30	17
344,2	5	0,1	13	150	84	20
345,2	5	0,1	38	790	144	27
346,2	5	0,05	20	110	83	10
347,2	5	0,1	23	140	66	22
348,2	10	0,05	115	120	116	12
349,2	5	0,1	44	300	106	11
350,2	5	0,1	24	370	81	51
351,2	5	0,3	22	100	57	8
352,2	5	0,1	26	80	112	6
353,2	5	0,1	19	300	57	13
354,2	5	0,05	26	110	150	9
355,2	5	0,1	11	170	80	17
356,2	5	0,05	18	130	113	13
357,2	5	0,05	49	100	112	5

LIITE 3. Absoluuttiset pitoisuudet 2013, entsyymiuutto.

(Määritysrajat: As 0,1 ppb, Au 0,005 ppb, U 0,01 ppb, Co 0,2 ppb, Ni 1 ppb, Cu 1 ppb)

ENT 13	As	Au	U	Co	Ni	Cu
320,4	0,5	0,0025	0,37	7,7	42	0,5
321,4	0,7	0,0025	0,47	22,1	42	10
322,4	0,5	0,0025	0,18	25,7	24	4
323,4	0,5	0,0025	0,005	11,6	46	0,5
324,4	0,4	0,0025	0,15	22,1	63	0,5
325,4	0,4	0,0025	0,03	15,6	45	0,5
326,4	0,5	0,0025	0,005	11,8	34	0,5
327,4	0,5	0,0025	0,04	15,1	46	0,5
328,4	0,5	0,0025	0,11	16	41	0,5
329,4	0,8	0,0025	0,3	14,8	36	0,5
330,4	0,2	0,0025	0,29	24,9	40	0,5
331,4	0,2	0,0025	0,24	10,8	41	0,5
332,4	0,6	0,0025	0,19	26,2	41	0,5
333,4	0,3	0,0025	0,27	15	60	0,5
334,4	0,4	0,0025	0,37	30,4	56	0,5
335,4	0,4	0,0025	0,06	18,4	53	0,5
336,4	0,2	0,0025	0,19	9,6	51	0,5
337,4	0,6	0,0025	0,46	14,6	37	0,5
338,4	0,2	0,0025	0,37	6,6	34	0,5
339,4	0,4	0,0025	0,49	9,6	27	0,5
340,4	0,6	0,01	0,18	21,6	46	0,5
341,4	0,5	0,0025	0,36	30,5	82	0,5
342,4	0,3	0,0025	0,29	11,1	44	0,5
343,4	0,2	0,0025	0,37	8,6	34	0,5
344,4	0,3	0,0025	0,75	7,5	33	0,5
345,4	0,7	0,0025	0,22	26,2	63	7
346,4	0,4	0,0025	0,26	12,4	47	18
347,4	1	0,0025	0,65	12,8	38	4
348,4	1,7	0,0025	0,45	23,3	36	0,5
349,4	0,7	0,0025	0,19	14,9	37	0,5
350,4	0,6	0,0025	0,6	4,3	9	0,5
351,4	0,5	0,0025	0,005	10	14	0,5
352,4	0,3	0,0025	0,005	7,9	34	0,5
353,4	0,4	0,0025	0,48	17	50	5
354,4	0,4	0,0025	0,005	9,5	47	0,5
355,4	0,5	0,0025	0,005	6,1	33	0,5
356,4	0,3	0,0025	0,005	13,6	42	0,5
357,4	0,3	0,0025	0,09	9,9	31	0,5

LIITE 4. Absoluuttiset pitoisuudet 2013, ioniuutto.

(Määritysrajat: As 2 ppb, Au 0,02 ppb, Co 0,3 ppb, Cu 1 ppb, Ni 1 ppb, U 0,1 ppb.)

IONI 13	As	Au	Co	Cu	Ni	U
320,6	5	0,09	25,2	197	122	9,2
321,6	9	0,22	43,2	515	100	9,3
322,6	10	0,4	148	708	145	11,8
323,6	6	0,05	19,9	101	111	7,4
324,6	6	0,11	39,6	446	209	9,4
325,6	5	0,08	34,9	171	152	8,5
326,6	10	0,24	23,8	203	97	15
327,6	7	0,15	30,4	198	129	15,9
328,6	6	0,09	62,6	377	184	9,5
329,6	7	0,12	62,5	178	171	8,7
330,6	5	0,51	32,4	171	165	13,2
331,6	2	0,09	13,9	133	111	4,3
332,6	8	0,17	54,8	177	163	15,3
333,6	5	0,06	23,9	115	139	9
334,6	7	0,05	43,9	151	130	13,4
335,6	7	0,16	33,9	244	153	13,6
336,6	6	0,24	24,4	301	128	17,3
337,6	4	0,21	39,5	192	79	11,2
338,6	4	0,12	15,7	202	108	10
339,6	7	0,22	32,7	181	87	8,2
340,6	3	0,13	45,5	127	196	4,7
341,6	6	0,18	78	128	321	10,8
342,6	1	0,12	33,5	190	283	2,5
343,6	5	0,1	40,1	174	132	7,5
344,6	7	0,22	27,2	158	133	17,2
345,6	12	0,82	27,7	441	124	24,4
346,6	5	0,08	21,2	203	84	6,1
347,6	4	0,06	37,2	161	96	10,9
348,6	8	0,03	96,3	118	149	9,1
349,6	5	0,05	29,4	193	135	6,1
350,6	10	0,17	30,2	355	82	37,3
351,6	13	0,61	64,7	305	170	13,7
352,6	4	0,05	19,3	76	101	6
353,6	5	0,13	35,9	301	149	7,1
354,6	6	0,06	20,8	117	141	8,6
355,6	11	0,18	12	195	84	17
356,6	3	0,06	28,9	75	119	5,5
357,6	6	0,14	28	185	91	9,6

LIITE 5. Absoluuttiset pitoisuudet 2013, ammonium-asetaattiuutto.

(Määritysrajat: As 0,01 ppm, Au 0,001 ppm, Co 0,001 ppm, Cu 0,05 ppm, Ni 0,05 ppm, U 0,0005 ppm)

AA 13	As	Au	Co	Cu	Ni	U
320,7	0,01	0,0005	0,061	0,27	0,18	0,1315
321,7	0,03	0,001	0,088	0,56	0,2	0,0829
322,7	0,005	0,0005	0,183	0,45	0,23	0,0501
323,7	0,005	0,0005	0,045	0,08	0,26	0,0571
324,7	0,005	0,0005	0,117	0,8	0,59	0,0971
325,7	0,01	0,0005	0,107	0,46	0,5	0,0922
326,7	0,005	0,0005	0,05	0,16	0,23	0,0521
327,7	0,005	0,0005	0,042	0,14	0,18	0,0538
328,7	0,005	0,0005	0,134	0,87	0,48	0,1245
329,7	0,01	0,0005	0,197	0,24	0,38	0,1505
330,7	0,005	0,0005	0,11	0,21	0,22	0,0695
331,7	0,005	0,0005	0,058	0,31	0,27	0,1515
332,7	0,005	0,0005	0,158	0,16	0,51	0,0858
333,7	0,005	0,0005	0,061	0,34	0,37	0,0843
334,7	0,02	0,0005	0,098	0,35	0,43	0,125
335,7	0,005	0,0005	0,077	0,26	0,37	0,0805
336,7	0,005	0,0005	0,028	0,25	0,19	0,0727
337,7	0,005	0,0005	0,04	0,22	0,12	0,0864
338,7	0,005	0,0005	0,024	0,15	0,09	0,05
339,7	0,02	0,001	0,03	0,16	0,1	0,0666
340,7	0,005	0,001	0,102	0,15	0,24	0,0809
341,7	0,02	0,001	0,201	0,14	0,61	0,0711
342,7	0,005	0,0005	0,058	0,18	0,2	0,0754
343,7	0,005	0,0005	0,047	0,18	0,13	0,1445
344,7	0,005	0,001	0,046	0,24	0,26	0,1065
345,7	0,01	0,0005	0,111	0,6	0,34	0,1105
346,7	0,04	0,0005	0,073	0,27	0,2	0,1285
347,7	0,02	0,0005	0,142	0,28	0,08	0,158
348,7	0,03	0,0005	0,196	0,22	0,2	0,0982
349,7	0,01	0,0005	0,085	0,34	0,26	0,0936
350,7	0,005	0,0005	0,065	0,23	0,18	0,1515
351,7	0,005	0,0005	0,125	0,14	0,29	0,0643
352,7	0,01	0,0005	0,038	0,19	0,24	0,0896
353,7	0,01	0,0005	0,086	0,46	0,17	0,15
354,7	0,01	0,0005	0,06	0,33	0,44	0,0954
355,7	0,005	0,0005	0,027	0,19	0,22	0,0677
356,7	0,005	0,0005	0,06	0,24	0,33	0,0881
357,7	0,005	0,0005	0,075	0,28	0,24	0,0739

LIITE 6. Absoluuttiset pitoisuudet 2013, biouutto.

(Määritysrajat: Cu 0,5 ppb, Co 0,1 ppb, U 0,01 ppb, Au 0,05 ppb, Ni 0,2 ppb, As 0,5 ppb.)

BIO 13	As	Au	Co	Cu	Ni	U
320,4	9,4	0,025	9,4	60,4	34,3	30,5
321,4	21,1	0,025	27,2	280	66,4	38,5
322,4	17,2	0,025	245	929	461	35,5
323,4	11,8	0,025	20,5	157	157	34,1
324,4	13,4	0,025	68,2	550	279	36,5
325,4	13,3	0,025	48,4	301	209	33,8
326,4	17,4	0,025	68,3	336	363	32
327,4	8,6	0,08	17,1	176	90	43,4
328,4	14,5	0,025	47,4	496	171	42,4
329,4	14,8	0,025	31,4	95,8	94,3	38,8
330,4	8,6	0,025	32,8	126	80,8	35,9
331,4	3,4	0,025	6,7	58,5	32,9	34,2
332,4	13,1	0,025	110	298	384	53,9
333,4	8,5	0,025	27,7	141	145	41,3
334,4	11,3	0,025	58,3	320	218	85,1
335,4	14,5	0,025	87,4	453	350	48
336,4	6,4	0,025	14,4	133	84,3	32,7
337,4	12,9	0,025	20	102	61,4	34,5
338,4	4,1	0,025	7,3	100	38,2	27,2
339,4	14,3	0,025	6,2	83,5	26,7	34,9
340,4	8,5	0,025	16	50,5	52,6	26,4
341,4	12,2	0,025	21,2	94,3	108	47,4
342,4	4,2	0,025	5,2	40,1	21,8	28,7
343,4	8,4	0,025	8,4	57,4	21,3	49,1
344,4	11,9	0,025	18,8	180	89,7	54,5
345,4	14,8	0,025	60,8	762	281	59,8
346,4	7,2	0,025	9,4	67,6	26	30,2
347,4	9	0,025	9,6	77,1	28,1	41,3
348,4	12,2	0,025	16,8	59,9	32,2	14,9
349,4	9,7	0,025	19,3	125	59,4	29,5
350,4	6,3	0,025	40,7	230	116	65,6
351,4	19	0,025	85,5	281	274	29,9
352,4	10,1	0,025	19,2	115	94	31,7
353,4	8,7	0,025	11,1	154	42,4	51,8
354,4	10,4	0,025	16,7	138	122	28,7
355,4	11,5	0,025	10,3	143	92,4	45,2
356,4	6,7	0,025	18,7	94,3	79	23,5
357,4	8,5	0,025	16,1	164	69,1	22,8

Liite 7. Absoluuttiset pitoisuudet 2014, MMI.

(Määritysrajat: As 10 ppb, Au 0,1 ppb, Co 5 ppb, Cu 10 ppb, Ni 5 ppb, U 1 ppb.)

MMI 14	As	Au	Co	Cu	Ni	U
320.2	5	0.2	28	90	90	13
321.2	5	0,05	48	650	156	11
322.2	5	0.1	69	460	208	10
323.2	5	0.2	34	180	182	13
324.2	5	0.1	21	190	113	10
325.2	5	0,05	38	170	183	7
326.2	5	0,05	52	160	178	8
327.2	5	0,05	33	250	143	14
328.2	5	0,05	83	530	284	12
331.2	5	0.2	23	400	63	16
332.2	5	0,05	66	260	133	15
333.2	5	0,05	54	230	156	7
334.2	5	0,05	24	100	127	9
335.2	5	0.1	19	160	95	15
336.2	5	0,05	23	170	111	13
337.2	5	0,05	30	170	55	10
338.2	5	0.2	29	350	80	20
339.2	5	0.3	9	200	29	13
340.2	5	0.2	32	80	71	17
341.2	5	0,05	29	160	170	17
342.2	5	0.1	19	210	110	9
343.2	5	0.1	27	150	133	14
344.2	5	0,05	24	120	127	10
345.2	5	0,05	50	1090	159	20
346.2	5	0,05	21	160	48	14
347.2	5	0.2	60	140	78	18
348.2	5	0.1	76	180	104	17
349.2	5	0,05	30	350	134	18
350.2	5	0.4	30	280	72	40
351.2	5	0.2	66	100	70	9
352.2	5	0,05	46	100	166	7
353.2	5	0.1	27	200	44	19
354.2	5	0.2	38	200	154	13
355.2	5	0,05	36	110	80	9
356.2	5	0.2	29	200	241	17
357.2	5	0,05	24	180	114	10

Liite 8. Absoluuttiset pitoisuudet 2014, Entsyymiuutto.

(Määritysrajat: As 0,1 ppb, Au 0,005 ppb, U 0,01 ppb, Co 0,2 ppb, Ni 1 ppb, Cu 1 ppb)

ENT 14	As	Au	U	Co	Ni	Cu
320.4	< 0,1	< 0,005	0,41	12,8	28	5
321.4	0,6	< 0,005	0,51	15,3	37	17
322.4	0,2	< 0,005	0,29	16	28	10
323.4	0,5	< 0,005	0,35	12,4	37	7
324.4	0,3	< 0,005	0,28	12	31	7
325.4	0,3	< 0,005	0,23	9,7	33	5
326.4	0,2	< 0,005	0,28	15,4	39	5
327.4	0,4	< 0,005	0,32	12,2	31	7
328.4	0,2	< 0,005	0,35	15,9	29	16
331.4	0,1	< 0,005	0,86	7,3	18	27
332.4	0,3	< 0,005	0,36	21,3	24	6
333.4	0,6	< 0,005	0,43	12,5	34	7
334.4	0,1	< 0,005	0,52	11,8	38	7
335.4	< 0,1	< 0,005	0,37	6,1	28	7
336.4	< 0,1	< 0,005	0,47	11,6	26	10
337.4	< 0,1	< 0,005	0,48	16,7	20	9
338.4	< 0,1	< 0,005	0,59	10,9	17	15
339.4	< 0,1	< 0,005	0,41	11,6	25	8
340.4	< 0,1	< 0,005	0,42	9,6	14	6
341.4	< 0,1	< 0,005	0,56	9,9	32	10
342.4	< 0,1	< 0,005	0,37	5,1	14	7
343.4	0,2	< 0,005	0,53	10,8	33	9
344.4	0,1	< 0,005	0,41	8,3	29	4
345.4	0,3	< 0,005	0,39	15,9	24	19
346.4	0,2	< 0,005	0,46	10,8	17	7
347.4	0,4	< 0,005	0,61	13,8	37	5
348.4	0,5	< 0,005	0,6	20	28	9
349.4	0,3	< 0,005	0,66	21,4	53	10
350.4	0,4	< 0,005	0,7	6,4	5	4
351.4	0,7	< 0,005	0,29	12,4	6	3
352.4	0,3	< 0,005	0,28	9,5	21	2
353.4	0,2	< 0,005	0,43	4,5	10	3
354.4	0,3	< 0,005	0,32	14,1	38	3
355.4	0,2	< 0,005	0,33	12,3	26	4
356.4	0,3	< 0,005	0,27	7,2	40	4
357.4	0,5	< 0,005	0,33	4,8	22	5

Liite 9. Absoluuttiset pitoisuudet 2014, Ioniuutto.

(Määritysrajat: As 2 ppb, Au 0,02 ppb, Co 0,3 ppb, Cu 1 ppb, Ni 1 ppb, U 0,1 ppb.)

IONI14	As	Au	Co	Cu	Ni	U
320.3	2	0,28	93,7	151	217	5,5
321.3	7	0,2	45,3	851	167	9,6
322.3	8	0,18	79,8	543	265	11,5
323.3	2	0,03	41	15	136	4,2
324.3	12	0,38	39	216	180	14,8
325.3	8	0,08	32,8	163	183	13,3
326.3	4	0,04	37	136	148	6,4
327.3	7	0,1	31,5	262	133	21,5
328.3	5	0,07	74,7	410	257	9,6
331.3	7	0,2	31,3	705	72	16,2
332.3	9	0,16	65,9	295	172	20
333.3	4	0,04	38,2	173	158	7,5
334.3	4	0,05	24,5	129	134	9,2
335.3	6	0,19	17,4	208	113	16,2
336.3	5	0,2	24,7	240	122	11,8
337.3	3	0,34	36	235	73	10,5
338.3	8	0,38	42,1	509	109	20,3
339.3	8	0,62	31,4	301	84	12,3
340.3	6	0,28	23,7	148	66	9,8
341.3	5	0,23	36,9	200	190	14,4
342.3	4	0,17	28,2	310	138	5,9
343.3	6	0,18	32,2	201	139	11,1
344.3	4	0,12	24,1	134	147	10,5
345.3	7	0,26	44,8	798	168	21
346.3	3	0,09	38,8	329	82	11,9
347.3	4	0,12	39,3	130	123	9,4
348.3	3	0,08	48,5	183	126	7,4
349.3	7	0,05	31,8	271	156	10,3
350.3	6	0,31	36,9	294	95	40,7
351.3	4	0,19	91,4	121	92	8,9
352.3	4	0,11	38,8	99	139	7,7
353.3	8	0,27	45,1	219	129	10,4
354.3	3	0,13	38,8	108	198	9,6
355.3	3	0,03	34,7	104	180	7,8
356.3	7	0,25	27,3	240	280	16,4
357.3	5	0,07	18,8	140	97	11,5

Liite 10. Absoluuttiset pitoisuudet 2014, Ammonium-asetaattiuutto.

(Määritysrajat: As 0,01 ppm, Au 0,001 ppm, Co 0,001 ppm, Cu 0,05 ppm, Ni 0,05 ppm, U 0,0005 ppm)

AA14	As	Au	Co	Cu	Ni	U
320.3	0,005	0,0005	0,07	0,12	0,14	0,0841
321.3	0,005	0,0005	0,086	1,08	0,3	0,0764
322.3	0,01	0,0005	0,168	0,68	0,54	0,084
323.3	0,03	0,0005	0,166	0,36	0,79	0,249
324.3	0,005	0,0005	0,072	0,16	0,33	0,0505
325.3	0,005	0,0005	0,056	0,17	0,34	0,0578
326.3	0,03	0,0005	0,142	0,53	0,6	0,121
327.3	0,01	0,0005	0,077	0,26	0,35	0,0863
328.3	0,01	0,0005	0,268	1,35	0,94	0,23
331.3	0,01	0,0005	0,057	0,87	0,17	0,177
332.3	0,02	0,0005	0,168	0,21	0,34	0,1055
333.3	0,04	0,0005	0,135	0,75	0,69	0,182
334.3	0,02	0,001	0,067	0,47	0,41	0,13
335.3	0,03	0,0005	0,028	0,22	0,22	0,0648
336.3	0,01	0,0005	0,042	0,26	0,18	0,0935
337.3	0,005	0,0005	0,05	0,25	0,12	0,0823
338.3	0,01	0,0005	0,046	0,34	0,12	0,122
339.3	0,01	0,0005	0,025	0,13	0,09	0,0626
340.3	0,005	0,0005	0,036	0,14	0,11	0,1205
341.3	0,01	0,0005	0,09	0,2	0,3	0,112
342.3	0,01	0,0005	0,061	0,35	0,19	0,1415
343.3	0,02	0,0005	0,077	0,39	0,26	0,1705
344.3	0,01	0,0005	0,061	0,23	0,38	0,13
345.3	0,03	0,0005	0,112	0,55	0,32	0,1155
346.3	0,01	0,0005	0,058	0,25	0,14	0,1695
347.3	0,02	0,0005	0,18	0,21	0,26	0,204
348.3	0,02	0,0005	0,215	0,29	0,21	0,191
349.3	0,02	0,0005	0,117	0,46	0,44	0,179
350.3	0,01	0,0005	0,066	0,14	0,16	0,1435
351.3	0,005	0,0005	0,263	0,05	0,16	0,0541
352.3	0,01	0,0005	0,105	0,21	0,39	0,1215
353.3	0,01	0,0005	0,028	0,11	0,1	0,128
354.3	0,02	0,0005	0,102	0,17	0,52	0,1055
355.3	0,03	0,0005	0,102	0,29	0,55	0,188
356.3	0,005	0,0005	0,049	0,22	0,48	0,0874
357.3	0,01	0,0005	0,045	0,29	0,29	0,1125

Liite 11. Absoluuttiset pitoisuudet 2014, Biouutto.

(Määritysrajat: Cu 0,5 ppb, Co 0,1 ppb, U 0,01 ppb, Au 0,05 ppb, Ni 0,2 ppb, As 0,5 ppb.)

BIO 14	As	Au	Co	Cu	Ni	U
320.4	< 5	< 0,05	6,3	28,2	16,5	20,4
321.4	16	< 0,05	18,5	273	61,4	20,9
322.4	91	< 0,05	78,8	646	228	33,5
323.4	23	0,07	30,2	204	163	41,2
324.4	23	0,05	25,8	175	140	18,7
325.4	29	< 0,05	33,2	184	197	28,1
326.4	18	0,06	26,4	138	100	22,4
327.4	21	< 0,05	26,9	252	123	47,8
328.4	42	< 0,05	40,2	219	98	23,1
331.4	< 5	< 0,05	6,2	160	12,1	33
332.4	48	< 0,05	65,7	211	151	38,5
333.4	18	< 0,05	26,2	161	102	23,6
334.4	13	< 0,05	19,1	152	84,1	30,8
335.4	18	0,09	29,1	301	166	44,6
336.4	11	< 0,05	10,2	79,6	31,5	20,5
337.4	< 5	< 0,05	10,7	83,7	17	21
338.4	< 5	< 0,05	9,3	111	12,6	30,9
339.4	22	< 0,05	16,6	81,3	49,9	20,2
340.4	7	< 0,05	8,1	33,5	11,5	26,8
341.4	16	< 0,05	8,3	62,1	31	27,3
342.4	5	< 0,05	8,3	36,6	9,1	16,3
343.4	15	< 0,05	8,8	63,7	28,2	27,6
344.4	21	< 0,05	15,2	98,1	75	30,3
345.4	83	0,08	55,5	771	138	55,2
346.4	< 5	< 0,05	8,6	63,5	14,2	21,4
347.4	< 5	< 0,05	7	39,6	31,6	29
348.4	< 5	< 0,05	8,5	58,7	25,1	24,1
349.4	8	< 0,05	22,1	122	70,9	29,1
350.4	170	< 0,05	48,7	64,5	42,5	42,9
351.4	253	< 0,05	73,2	48,7	48,1	20,5
352.4	39	< 0,05	27	101	93,7	26,7
353.4	< 5	< 0,05	5,2	33,1	8,7	22,2
354.4	19	0,08	30,2	123	138	34,7
355.4	16	< 0,05	25,5	121	85,2	28,1
356.4	16	0,06	17,6	159	154	35,9
357.4	14	< 0,05	14,4	162	89,2	28,3

Liite 12. Duplikaattinäytteiden pitoisuudet, MMI 2013

ANALYTE	As	Au	Co	Cu	Ni	U
METHOD	MMI-M5	MMI-M5	MMI-M5	MMI-M5	MMI-M5	MMI-M5
DETECTION	10	0,1	5	10	5	1
UNITS	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
332,2	0,5	0,05	66	170	141	8
332,12	0,5	0,1	56	160	142	10
334,2	0,5	0,1	33	130	135	16
334,12	0,5	0,1	31	140	112	16
339,2	0,5	0,2	30	130	99	14
339,12	0,5	0,2	33	130	90	15
340,2	0,5	0,05	23	120	100	8
340,12	0,5	0,05	30	140	145	8
344,2	0,5	0,1	13	150	84	20
344,12	0,5	0,2	13	160	84	20
346,2	0,5	0,05	20	110	83	10
346,12	0,5	0,05	20	110	73	9

Liite 13. Duplikaattinäytteiden pitoisuuudet, entsyymiuutto 2013

Analyte Symbol	As	Au	U	Co	Ni	Cu
Unit Symbol	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
Detection Limit	0.1	0.005	0.01	0.2	1	1
Analysis Method	ENZ-MS	ENZ-MS	ENZ-MS	ENZ-MS	ENZ-MS	ENZ-MS
332.4	0,6	< 0,005	0,19	26,2	41	< 1
332.14	0,6	< 0,005	0,2	26,5	45	< 1
334.4	0,4	< 0,005	0,37	30,4	56	< 1
334.14	0,5	< 0,005	0,3	25,3	55	< 1
339.4	0,4	< 0,005	0,49	9,6	27	< 1
339.14	0,7	< 0,005	0,58	7,8	29	< 1
340.4	0,6	0,01	0,18	21,6	46	< 1
340.14	0,6	< 0,005	0,29	20,3	53	< 1
344.4	0,3	< 0,005	0,75	7,5	33	< 1
344.14	0,4	< 0,005	0,56	15,5	53	< 1
346.4	0,4	< 0,005	0,26	12,4	47	18
346.14	0,4	< 0,005	0,37	9,5	29	< 1

Liite 14. Duplikaattinäytteiden pitoisuuudet, ioniuutto 2013

	ME-MS23	ME-MS23	ME-MS23	ME-MS23	ME-MS23	ME-MS23
SAMPLE	As	Au	Co	Cu	Ni	U
DESCRIPTION	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
332,6	8	0,17	54,8	177	163	15,3
332,16	9	0,02	50,9	151	90	9,8
334,6	7	0,05	43,9	151	130	13,4
334,16	6	0,08	38,3	160	152	15
339,6	7	0,22	32,7	181	87	8,2
339,16	7	0,15	40	186	104	11,4
340,6	3	0,13	45,5	127	196	4,7
340,16	4	0,22	68,1	124	215	5,1
344,6	7	0,22	27,2	158	133	17,2
344,16	8	0,19	23,1	152	120	17,8
346,6	5	0,08	21,2	203	84	6,1
346,16	5	0,05	25,1	134	90	4,9

Liite 15. Duplikaattinäytteiden pitoisuuudet, ammonium-asetaattiuutto 2013

	ME-MS04	ME-MS04	ME-MS04	ME-MS04	ME-MS04	ME-MS04
SAMPLE	As	Au	Co	Cu	Ni	U
DESCRIPTION	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
332,7	<0,01	<0,001	0,158	0,16	0,51	0,0858
332,17	<0,01	<0,001	0,117	0,2	0,4	0,0763
334,7	0,02	<0,001	0,098	0,35	0,43	0,125
334,17	<0,01	<0,001	0,104	0,33	0,42	0,1165
339,7	0,02	0,001	0,03	0,16	0,1	0,0666
339,17	<0,01	<0,001	0,066	0,18	0,17	0,0775
340,7	<0,01	0,001	0,102	0,15	0,24	0,0809
340,17	<0,01	0,001	0,105	0,17	0,25	0,0942
344,7	<0,01	0,001	0,046	0,24	0,26	0,1065
344,17	<0,01	<0,001	0,026	0,18	0,15	0,0782
346,7	0,04	<0,001	0,073	0,27	0,2	0,1285
346,17	<0,01	<0,001	0,064	0,25	0,16	0,1505

Liite 16. Duplikaattinäytteiden pitoisuuudet, biouutto 2013

Analyte Symbol	As	Au	Co	Cu	Ni	U
Unit Symbol	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
Detection Limit	0.5	0.05	0.1	0.5	0.2	0.01
Analysis Method	Bioleach-MS	Bioleach-MS	Bioleach-MS	Bioleach-MS	Bioleach-MS	Bioleach-MS
332.4	13,1	< 0,05	110	298	384	53,9
332.14	12,9	< 0,05	74,4	262	283	50,2
334.4	11,3	< 0,05	58,3	320	218	85,1
334.14	14,9	< 0,05	72,1	287	256	69,9
339.4	14,3	< 0,05	6,2	83,5	26,7	34,9
339.14	15,7	< 0,05	5,3	78,8	29,6	34,3
340.4	8,5	< 0,05	16	50,5	52,6	26,4
340.14	8,8	< 0,05	13,8	51,3	56,9	34,6
344.4	11,9	< 0,05	18,8	180	89,7	54,5
344.14	13,6	< 0,05	26,3	194	124	59,7
346.4	7,2	< 0,05	9,4	67,6	26	30,2
346.14	8,4	< 0,05	10,9	81,5	32,9	35