



GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

KUOPION YKSIKKÖ

2003

Raportti S/44/0000/1/2003

Marja Liisa Räisänen, Kati Niemelä, Jouko Saarelainen

**RAUTASULFIDIPITOISEN RIKASTUSHIEKAN LÄJITYSALUEEN
RAKENNE JA YMPÄRISTÖN PINTAVESIEN NYKYTILA****Vuosien 2000 ja 2001 seurantatulokset, Hammaslahden vanha kuparikaivos**

Niittykasvillisuuden leviäminen hiekkamoreenilla peitetyllä rikastushiekan läjitysalueella, Hammaslahden vanha kuparikaivos, Pyhäselkä.

SISÄLLYSLUETTELO:

Johdanto	3
Tutkimusalueen geologia	5
Tutkimusalueen maaperä	7
Tutkimusaineisto ja menetelmät	7
Rikastushiekan läjitysalueen kairaus	7
Pintavesikartoitus	9
Pintavesien näytteenotto ja analyysit	9
Vesinäytteenotto rikastushiekkakasan havaintoputkista ja analyysit	10
Tulokset ja niiden tarkastelu	11
Rikastushiekan läjitysalueen kerrosrakenne	11
Pintavesien happamuus	14
Pintavesien kemiallinen laatu	17
<i>Alumiini-, rauta-, rikki- ja mangaanipitoisuudet</i>	17
<i>Raskasmetallipitoisuudet</i>	21
Pintavesien happamuuden synty ja sitä säätelevät tekijät	22
Metalli- ja rikkikuormitus Iiksenjokeen	25
Yhteenveto	26
Kirjallisuus	27

Johdanto

Hammaslahden vanha kuparikaivos sijaitsee Pyhäselän kunnassa Pohjois-Karjalassa. Kupariesiintymä löytyi vuonna 1966 Geologian tutkimuslaitoksen alueellisen kartoituksen yhteydessä. Kaivostoiminta alkoi vuonna 1973 Outokumpu Oy:n toimesta. Kaivos suljettiin vuonna 1986. Hammaslahdesta louhittiin kaikkiaan 7 miljoonaa tonnia malmin, jonka kuparin keskipitoisuus oli 1,16 %. Malmista rikastettiin myös sinkkiä ja kultaa. Malmin louhittiin kolmesta avolouhoksesta ja maanalaisesta kaivoksesta.

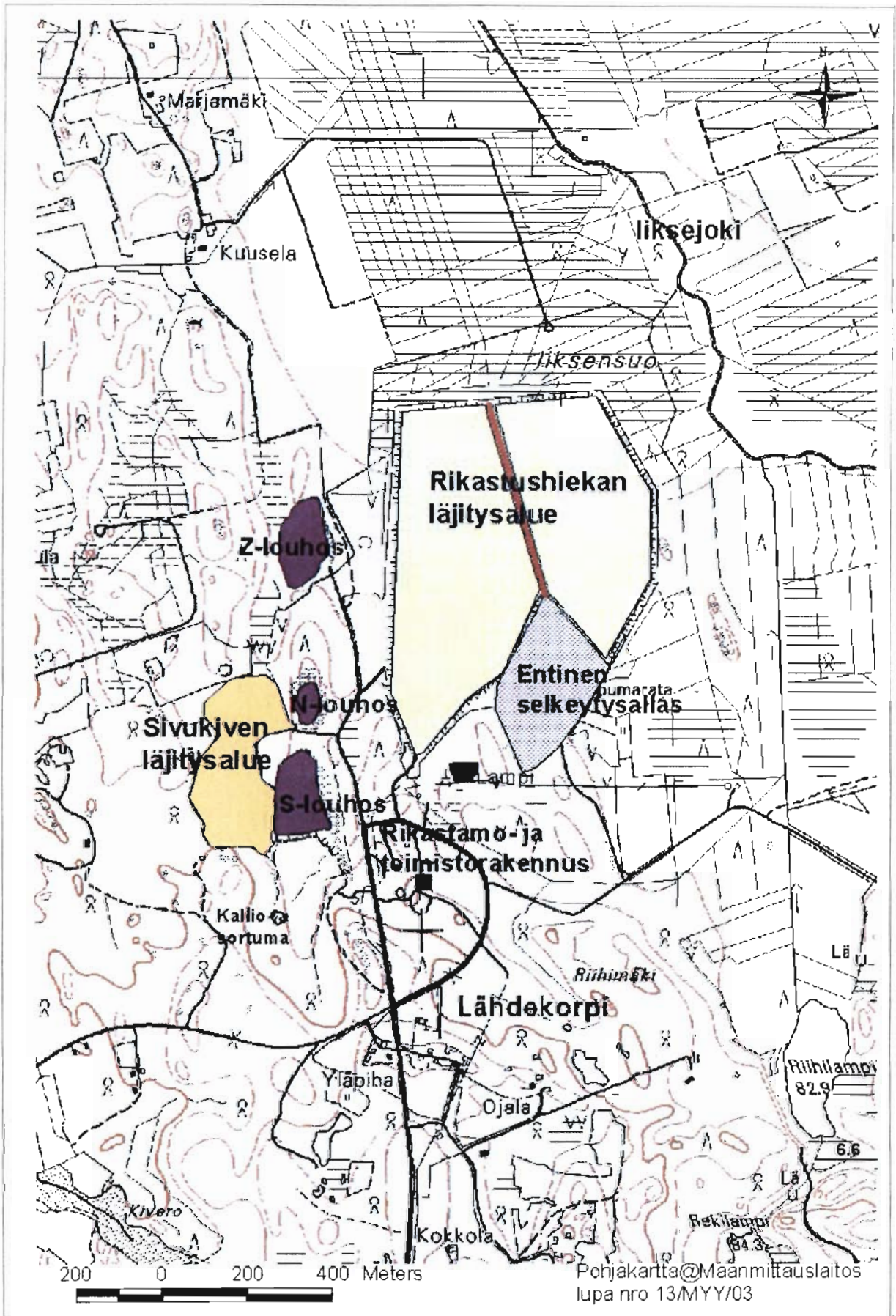
Nykyään vanhalla kaivosalueella on nähtävissä kolme avolouhosta, sivukiven ja rikastushiekan läjitysalueet, kaivostorni ja toimistotilat sisältävä rikastamorakennus, jossa toimii puualan yritys (kuva 1). Avolouhokset ovat yhteydessä toisiinsa maanalaisten tunnelien kautta. Ne täyttyivät vedellä 1990-luvun alussa, jolloin vesi alkoi purkautua pohjoisimmasta (Z-)louhoksesta, sen koilliskulmasta läheiseen suo-ojaan (Urho-Pekka Mustikkamäki, Outokumpu Oyj, suullinen tiedonanto). Vuoden 2002 syksyllä avolouhoksen ylivirtaus muutettiin kiertämään Z-louhoksen lounais- ja eteläpuolelle rakennetun neliosaisen kosteikkoaltaan kautta. Kosteikkoaltaissa puhdistuva vesi virtaa ulos avolouhoksen eteläpuolen allasosasta putken kautta louhoksen itäpuoliseen avo-ojaan ja sieltä edelleen suo-ojaa pitkin Iiksenjokeen.

Rikastushiekan läjitysalue (30 ha) sijaitsee Iiksenjoen laaksotasanteella (kuva 1). Läjitysalue on jaettu välipadolla länsipuolen ja itäpuolen altaisiin (Pelkonen ym. 1973). Alueen kaakkoisosaan sijoittuu selkeytysallas (kuva 2), missä rikastushiekka-altaan vesi laskeutettiin ennen kierrätystä takaisin rikastamolle (Pelkonen ym. 1973). Kaivostoiminnan päätyttyä läjitysalueen veden pinta laski ja pintaosasta kuivunut kasa peitettiin myöhemmin moreenikerroksella. Kasan länsiosassa toimi 80- ja 90 -luvun taiteessa pienkoneiden lentokenttä. Tämä osa läjitysaluetta peitettiin vuonna 1999 (kansikuva). Kasan päällä kasvaa laajalla alalla koivupensaita ja muutaman metrin korkuisia koivupuuta sekä yksittäisiä istutusmäntyjä (kuva 2). Aluskasvillisuus koostuu kuivalle niitylle tyypillisistä ruohokasveista. Kasan reunavallit kasvavat koivupensasta ja nuoria koivupuuta.

Sivukiven läjitysalue (5 ha) sijaitsee eteläisen avolouhoksen (S-louhos) itäpuolella (kuva 1). Sivukivikasaa koostuu pääasiassa voimakkaasti rapautuneista rautakiisupitoisista liuskekivistä (mustaliuske) ja kiisuttomasta hienorakeisesta kiilleliuskeesta (fylliitti). Sivukivikasaa ei ole maisemoitu. Kasan pohjoisosan rinnealue on moreenin peitossa ja kasvaa nuorta koivua ja mäntyä. Muualla kasan rinteet ovat paljaita.

Geologian tutkimuskeskus on tutkinut Hammaslahden vanhan kuparikaivoksen ympäristötilaa vuodesta 1999 lähtien. Suurin osa maastotöistä tehtiin sulana kautena vuosina 2000 ja 2001. Tutkimushankkeen tavoitteena on selvittää

- rikastushiekkakasan rakennetta ja rautasulfidien hapettumisprosessia,
- läjitysalueen maapohjan tiiveyttä ja metallin pidätyskykyä kasan alapuolissa maakerroksissa ja lähiympäristön suoalueella,
- rikastushiekkakasan ja kasasta suotautuvien vesien kemiallista laatua ja niiden happamoittavaa vaikutusta ympäristön pinta- ja pohjavesiin,
- geofysikaalisten mittausmenetelmien soveltuvuutta läjitysalueiden maan sisässä kulkevien suotovesien paikantamiseen ja rikastushiekan läjitysalueen rakenteen kuvaamiseen.



Kuva 1. Rikastushiekan ja sivukiven jäätysalueet sekä avolouhosten sijainti Hammaslahden vanhalla kuparikaivosalueella Liiksejokilaaksossa.

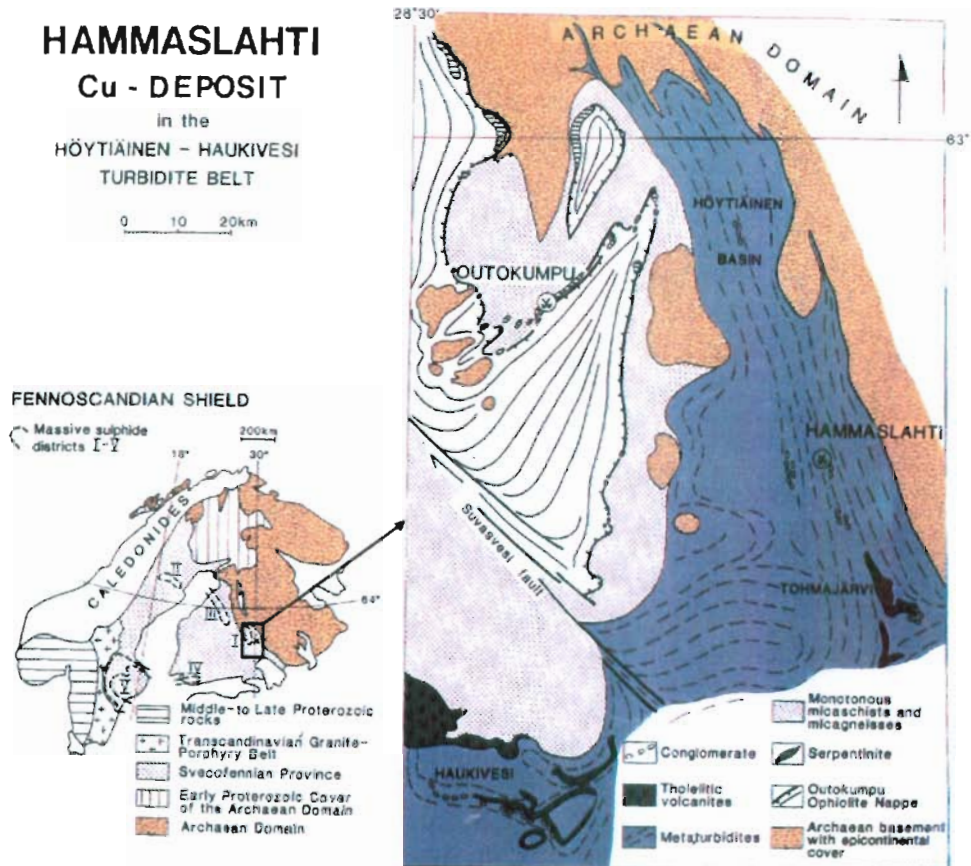


Kuva 2. Näkymä entisen selkeytsaltaan alueelta (kuvan keskiosa) nuorta koivua kasvavalle rikastushiekka-kasalle (kuvan yläosa), Hammaslahden vanha kuparikaivosalue. Selkeytsaltaan alueelle on rakennettu vuoden 2000 syksyllä kiväärirata, jonka ampumataulut näkyvät kuvan oikeassa laidassa. Kuvan keskellä näkyvälle kasvamattomalle alueelle suotautuu vesiä rikastushiekkakasasta.

Tässä selvityksessä kuvataan rikastushiekkakasan rakennetta kairaushavaintojen pohjalta ja esitetään vuosien 2000 ja 2001 seurantajakson pintavesituloksia sekä vuoden 2001 vesituloksia rikastushiekkakasan havaintoputkista. Pintavesitutkimukset julkaistaan kokonaisuudessaan Kati Niemelän pro gradu-tutkielmassa, joka valmistuu Kuopion yliopistosta vuoden 2003 aikana. Rikastushiekkakasan ja sitä ympäröivän Iiksen suon turpeen kemiallista laatua koskevat tulokset raportoidaan myöhemmin vuosien 2003 ja 2004 aikana. Tutkimushankkeen tuloksista on julkaistu aiemmin Sirpa Kumpulaisen pro gradu-tutkielma koskien pintavesiuomissa esiintyvien rautasaostumien mineralogian ja geokemian (2000), Tapio Toivosen raportti Iiksen suon turvetutkimuksista ja turpeen johtavuusmittauksista (2001) sekä Pekka Hännisen & Juha Majaniemen raportti Iiksen suon pintaturpeen sähkönjohtavuudesta (2001).

Tutkimusalueen geologia

Hammaslahden Cu-Zn-Au -esiintymä sijaitsee hiertovyöhykkeessä 12 kilometriä länteen arkeisen ja proterotsooisien kuoren rajavyöhykkeestä (kuva 3). Esiintymän ympäristön kivet kuuluvat Kalevalaiseen ryhmään (2000-1900 milj. vuotta) ja koostuvat metamorfoituneista epiklastisista sedimenteistä (Hämäläinen 1987, Loukola-Ruskeeniemi ym. 1992). Turbidiittiset metasedimentit koostuvat pääasiassa maasälpävaltaisesta grauvakasta, jossa on



Kuva 3. Itä-Suomen alueen kallioperä (Loukola-Ruskeeniemi ym. 1992). Hammaslahden kupariesiintymä sijoittuu metasedimenttikivien alueelle (metaturbidites).

mustaliuske- ja fylliittikerroksia (Loukola-Ruskeeniemi ym. 1992). Malmin isäntäkivenä on metaturbidiitti, joka sisältää fylliittifragmentteja. Malmin kattopuolen kivi on fylliittiä, jota rajaa voimakkaasti ruhjeinen mustaliuske. Mustaliuske rajaa malmia myös jalkapuolelta (Pelkonen ym. 1973). Loukola-Ruskeeniemen ym. (1992) mukaan malmin isäntäkivi, metaturbidiitti on hydrotermisesti muuttunut, kvartsiutunut ja kloriittiutunut, ja siinä on paikoin tremoliittipitoisia kerroksen pätkiä ja linssejä. Malmiesiintymiä rajaa alapuolelta kvartsi-kloriitti-sarvivälkekerros, jonka Loukola-Ruskeeniemi ym. (1992) on tulkinnut vulkanogeeniseksi.

Kupari-sinkki-kultaesiintymä koostuu kolmesta malmiosta, S-, N- ja Z-malmioista (Loukola-Ruskeeniemi ym. 1992). S-malmio, joka on louhittu eteläisimmästä avolouhoksesta ja maan alta, on kattanut 70 % malmivaroista. Se on koostunut massiivisesta Cu-Zn-Fe-sulfidimalmista ja breksiamalmista (Cu-Fe-sulfidit). N-malmio on breksiatyyppinen Cu-sulfidimalmi, jota on louhittu keskimmäisestä pienestä avolouhoksesta ja maan alta. Pohjoisimman Z-louhoksen malmi on sisältänyt muista malmioista poiketen pääasiassa sinkkivälkettä (+rikkikiisua ja magneettikiisua, Hämäläinen 1987). Kulta on rikastettu S- ja Z-malmioista. Malmiot ovat sisältäneet vähäisiä määriä myös lyijyä, hopeaa, kobolttia, nikkeliä, antimonia, ja uraania (Loukola-Ruskeeniemi ym. 1992). Harmemineraalit koostuvat pääasiassa kvartseista ja kloriitista (Pelkonen ym. 1973).

Tutkimusalueen maaperä

Hammaslahden entinen kaivosalue sijaitsee Toisen Salpausselän ja siitä länsiluoteeseen, kohti Pyhäselkää lähtevän harjun polvekkeessa jääden näiden sora- ja hiekkamuodostumien pohjoispuolelle. Kaivos- ja rikastushiekka-alueen ympäristö itään ja pohjoiseen on maastoltaan tasaista. Kaakkoisosan Salpausselkävyöhyke on jyrkkäpiirteistä ja länsiosan maaston muodot myötäilevät loivasti kallioperää. Maapeitteen paksuus Iksensuon laaksoalueella ja Salpausselän muodostuma-alueella voi olla paikoitellen useita kymmeniä metrejä.

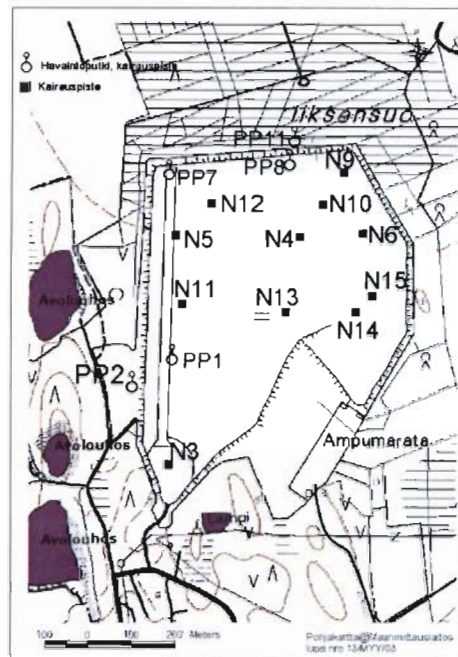
Yleisimmät maalajit Hammaslahden kaivosympäristön kartoitetulla alueella ovat hieta, hiekkamoreeni, saraturve ja kalliomaa (Liite 1). Kalliomaa-alueita ja kalliopaljastumia on kaakkoisosaa lukuun ottamatta lähes kautta koko alueen. Pinta-alallisesti eniten on hietamaita, joita esiintyy Iksensuon ympäristössä ja Pykälikössä. Toiseksi eniten on moreenimaita. Ne sijaitsevat pääasiassa alueen länsireunalla ja eteläosassa. Länsiosassa moreenimaat verhoavat kallioperää pääasiassa ohuena, 1 – 3 m paksuisena kerrostumana, mutta alueen eteläosassa on muutamia hiekkamoreenista koostuvia moreenikumpuja. Niissä moreenipaksuus on yli viisi metriä. Turvemaista valtaosa sijaitsee Iksenjoen varrella Iksensuolla. Turve on pääasiassa saravaltaista, mutta koillisosan Uutelan- ja Iksensuon välinen alue on rahkaturvevaltainen. Kartoitusalueen kaakkois- ja eteläreunalla on lähes sadan hehtaarin alalla myös sora- ja hiekkamaita. Ne liittyvät Toisen Salpausselän muodostumiin.

Tutkimusaineisto ja menetelmät

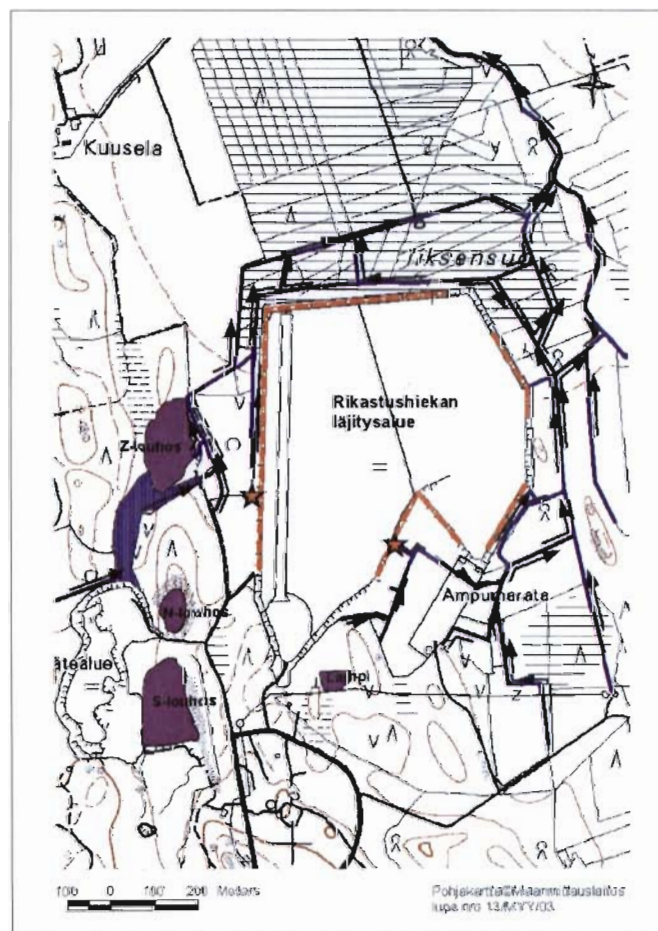
Rikastushiekan läjitysalueen kairaus

Rikastushiekan läjitysalueelle kairattiin monitoimikairakoneella (GM100) neljään kohteeseen vuoden 2000 marraskuussa (22.-24.11.) ja 12 kohteeseen vuoden 2002 toukokuussa (27.-31.5., kuva 4). Kairausten yhteydessä asennettiin kolme allasveden havaintoputkea läjitysalueelle (PP1, PP7 ja PP8) ja kaksi pohjaveden havaintoputkea läjitysalueen ulkopuolelle, suotovesialueelle (PP2, PP11 kuvassa 4). Läjitysalueen pintatopografia vaaitettiin sentti-gps-laitteella kesällä 2002.

Vuoden 2000 kairauksessa profiilinäytteet otettiin kaikkiaan neljästä kohteesta (PP1, N3, N4, N6, kuva 4). Näytteet otettiin männällä varustettuun metrin pituiseen muoviputkeen jatkuvana näytesarjana. Näyteputket suljettiin tiiviisti korkilla ja ilmastointiteipillä molemmista putkenpäistä. Näytteet jäättyivät melko pian ottamisen jälkeen, koska ilman lämpötila vaihteli kairausten aikana -15 - -17 °C. Näyteputket varastoitettiin GTK:n Kuopion yksikön geolaboratorion pakastimeen. Tammikuussa 2001 jäiset putket avattiin päältä ja kuvattiin näytekerrokset sekä erotettiin kemian analyyseihin menevät näytteet rikastumishiekasta ja eri pohjamaakerroksista. Näytteeksi valitun aineksen kerrospaksuus määräytyi hapettumisasteen, veden kyllästymisasteen ja ainesvaihtelun mukaan. Osittain jäässä olevat näytteet pakattiin muovipusseihin ja pakastettiin uudelleen ennen näytteiden kylmäkuivausta ja analysointia. Varastoinnin aikana oli ainoastaan yhden putken päästä noin 10 cm:n pituinen kerros näytettä osittain hapettunut.



Kuva 4. Kairauskohteiden sijainti Hammaslahden vanhan kuparikaivoksen rikastushiekan läjitys- ja suotovesialueella. PP:llä merkityissä kohteissa on havaintoputki.



Kuva 5. Pintavesien virtaussuunnat Hammaslahden vanhalla kuparikaivosalueella. Ruskealla katkoviivalla on merkitty rikastushiekkakasan reunavalliosa, josta suotautuu vettä ympäröivän maan pintakerrokseen (välikerrosvalunta) ja edelleen lähistön ojaan. Tähdellä merkityissä kohteissa on maanpintaan purkautuva suotovesilähde.

Vuoden 2002 kairauksessa näytteet otettiin uudella halkaistavalla teräsnäytteenottimella (ks. kuva 7, sivu 13). Näin havainnot kerrosrakenteesta, vesipinnasta ja ainesvaihteluista voitiin tehdä heti maastossa. Myös analysoitavat näytekeroukset erotettiin välittömästi kairauksen edetessä. Erottelu tehtiin vastaavin perustein kuin yllä mainituista muoviputkiin otetuista näyteprofiileista. Maastossa näytteet pakattiin muovipusseissa näytelaatikoihin, jotka suojattiin välittömästi mustilla jätösäkeillä. Neljä päivää kestäneen kairauksen päätyttyä näytteet jäädytettiin ja varastoitiin GTK:n geolaboratorion pakastimeen Kuopiossa.

Pintavesikartoitus

Hammaslahden vanhan kaivosalueen maastokartoitus aloitettiin toukokuun ensimmäisellä viikolla vuonna 2000. Kartoitusala laajennettiin kesäkuun alussa samana vuonna. Kartoituksessa paikannettiin pintaan purkautuvien suotovesien esiintyminen rikastushiekkan kasan reunavallin alaosaan, pintavesien kulkureitit kasan ympäristön ojissa ja laskuojat Iiksenjokeen (kuva 5). Tärkeänä osana maastokartoitusta oli havainnoida pintaveden pH:n vaihtelu ja rautasaostumien esiintyminen.

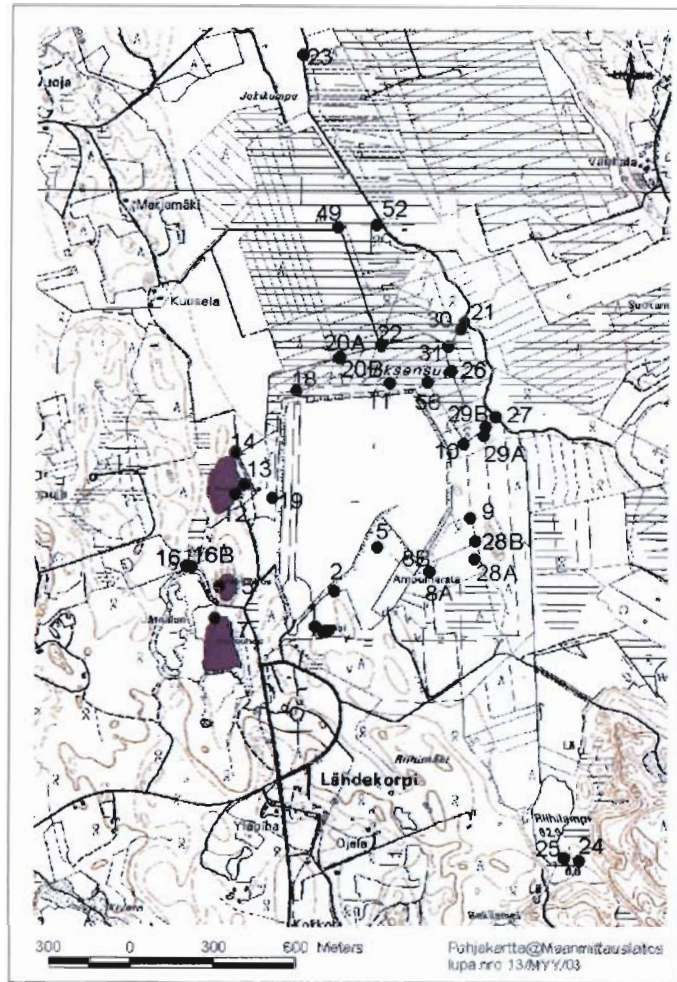
pH mitattiin maastokäyttöisellä pH-mittarilla (WTW pH330/SET) lyhyin välimatkoin alkaen ojien lähtöalueilta kasan läheisyydestä ja päättyen ojien lasku-uomaan, Iiksenjokeen (liite 2). Ojien risteysalueella pH mitattiin kustakin ojasta ennen ja jälkeen ojaliittymän. Mittaustiheyteen vaikutti myös rautasaostumien määrän vaihtelu ja värimuutokset. Liitteestä 2 näkyy maastomittausten tiheys ja arvot elokuussa 2000. pH:t mitattiin samoista pisteistä maastossa myös kesäkuussa ja lokakuussa. Toukokuun maastomittauksissa pistetiheys oli harvempi kuin kesä-, elo- ja lokakuun mittauksissa. Toukokuussa ja kesäkuussa maastossa mitattujen pH-arvojen perusteella valittiin varsinaiset vesinäytteenottokohteet (ks. seuraava kappale). Vuoden 2001 vesinäytteenoton yhteydessä myös veden pH mitattiin maastossa kaikissa kohteissa, joista otettiin vesinäyte kemian analyysiin.

Pintavesien näytteenotto ja analyysit

Pintavesien näytteenottokohteet valittiin vuoden 2000 toukokuussa ja kesäkuussa maastossa havaittujen pH-vaihtelujen perusteella. Kuvassa 6 a on esitetty vuoden 2000 ja kuvassa 6 b on esitetty vuoden 2001 näytteenottokohteet. Vuonna 2001 näytteenottoa tihennettiin osassa kaivosaluetta ja lisättiin verrokinäytteiden määrää läjitysalueen vaikutuspiirin ulkopuoliselta alueelta.

Vesinäytteenotossa kädet suojattiin muovikäsinein (nitrile, powder-free). Vesinäytteet otettiin puolen litran muovipulloon. Ennen varsinaista näytteenottoa pullo huuhdeltiin korkilla suljettuna pari kertaa näytevedellä. Näyte otettiin veden pinnan alta, n. 5-10 cm:n syvyydeltä. Jos ojassa oli vettä niin vähän, ettei vesinäytettä voitu ottaa suoraan pulloon vesipinnan alta, vesinäyte kerättiin muovisella dekanterilla pulloon. Dekantteri pestiin näytevedellä 2-3 kertaa ennen näytteenottoa. Näytteenottovaiheessa varottiin sekoittamasta ojan pohjasedimenttiä tai rautasaostumaa näyteveten. Vastaavasti vesinäytteet otettiin pintaan purkautuvista suotovesilähteistä (kuva 5).

Vesinäytepullot varastoitiin kenttätukikohdassa jääkaappiin. Parin vuorokauden varastoinnin tarkoituksena oli laskeuttaa vedestä kiintoaines ja saostuva ainesosa. Laskeutuneesta vedestä dekantoiitiin osanäyte muoviseen dekantteriin, josta mitattiin pH ja sähkönjohtokyky (WTW pH330/SET ja LF330/SET-mittarit). Loppuosasta vesinäytettä otettiin kertakäyttöruiskulla



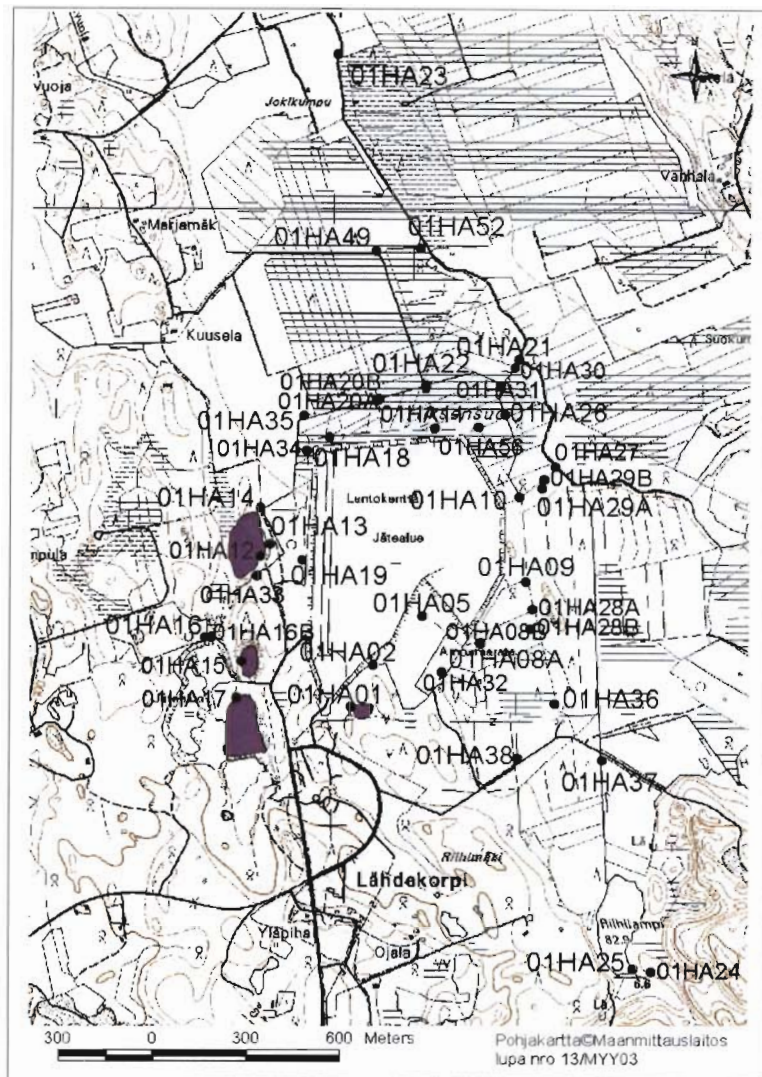
Kuva 6a. Pintavesinäytteenottokohteet vuonna 2000, Hammaslahden vanha kuparikaivosalue.

kemian analyysiin menevä vesinäyte, joka suodatettiin kertakäyttösuodattimilla 100 ml:n muovipulloon. Suodattimen läpäisykoko oli $<0.45 \mu\text{m}$. Näyte kestäväitettiin suprapurtyppihapolla pipetoimalla 0,5 ml happoa 100 ml:n vesinäytettä kohden. Joka kymmenennestä vesinäytteestä suodatettiin rinnakkaisnäyte, joka kestäväitettiin kuten varsinainen näyte. Rinnakkaissuodatuksen tarkoituksena oli seurata kiintoaineksen laskeutumistasoa. Kestäväidystä vesinäytteestä alkuainepitoisuudet mitattiin ICP-AES- ja MS-ICP-laitteilla GTK:n Otaniemen akkreditoitussa geolaboratoriossa.

Vesinäytteenotto rikastushiekkakan havaintoputkista ja analyysit

Rikastushiekkakan havaintoputkista (PP1 ja PP8) otettiin vesinäytteet toukokuun ja lokakuun alussa 2001. Havaintoputket tyhjennettiin nk. sytkypumpulla näytteenottoa edeltävänä päivänä. PP1-putki tyhjjeni vedestä 10-15 minuutin pumppauksella. PP8-putkea tyhjennettiin n. 30 minuuttia.

Näytteet otettiin vesinoutimella kahdesta kerroksesta, PP1-havaintoputkesta 10-11 metrin ja 12,5-13,5 metrin syvyydeltä ja PP8- havaintoputkesta 8-9 metrin ja 10-11 metrin syvyydeltä. Puolen litran muovipulloihin otetuista vesinäytteistä suodatettiin 100 ml:n otos vastaavasti kuin pintavesinäytteenotossa. Suodatettu vesi kestäväitettiin välittömästi näytteenoton jälkeen hapettumisen estämiseksi. Suprapurtyppihappoa pipetoitiin 0,5 ml 100:aan ml vettä. pH- ja alkuaineiden pitoisuusmittaukset tehtiin kuten pintavesien osalta (ks. ed. kappale).



Kuva 6b. Pintavesinäytteenottokohteet vuonna 2001, Hammaslahden vanha kuparikaivos-alue.

Tulokset ja niiden tarkastelu

Rikastushiekan läjitysalueen kerrosrakenne

Rikastushiekan läjitysalueen pinta-ala on noin 30 ha ja kaakkoispuolella olevan selkeytysaltaan pinta-ala 4 ha (Pelkonen ym. 1973). Läjityskasa kohoaa ympäröivän suomaan pinnasta noin 7,5 m etelä- ja itäosassa, 12 m länsiosassa ja 9 m pohjoisosassa. Kasan reunapadot on tehty patomoreenista, joka on vuorattu kaivoksen sivukivilouheella sisä- ja ulkopinnoilta (Pelkonen ym. 1973). Kaivostoiminnan päätyttyä ja vesipinnan laskeutumisen jälkeen läjitysalue peitettiin moreenikerroksella, jonka paksuus vaihtelee 10-60 cm. Alueen länsilaidalla ollut pienkoneiden lentokenttä peitettiin vasta 1999. Viimeisin kasan maisemointiin liittyvä työ tehtiin Outokumpu Oyj:n toimesta syksyllä 2002, jolloin peitettiin 15-20 cm paksuisella turvekerroksella kasan länsi-, etelä- ja kaakkoisreunat, missä kasvillisuuden leviäminen oli ollut muuta aluetta heikompaa.

Läjitysalueen pintatopografia vaihtelee eniten länsipuolen allasosassa, missä maanpinta kohoaa keskialueelta eteläosaan (taulukko 1). Pinnan korkeusero on keskimäärin 4,5 metriä keskiosan ja eteläosan välillä ja 1,5 m keskiosan ja pohjoisreunan välillä. Itäpuolen altaassa maanpinta on lähes samassa tasossa eteläosasta keskiosaan, josta maanpinta nousee pari metriä pohjoisreunalle. Keskiosan painanne sijoittuu pääasiassa itäpuolen allasosaan ja erottuu maastossa keväisin veden peittämänä alanteena. Altaiden välinen pato ei kuitenkaan erotu maastossa kohoumana.

Rikastushiekka on läjitetty suurimmalta osalta turvepeitteiselle hietamaapohjalle (liite 1). Kasan kapenevassa eteläosassa pohjamaana on ohuen turve- ja hietakerroksen peittämä moreeni. Eteläosan kalliopaljastumat sijoittuvat kasan reunavallien alle. Rikastushiekan paksuus vaihtelee 9,5-13,3 m (taulukko 1). Läntisen altaan pohjois- ja keskiosassa rikastushiekkapatja on keskimäärin kaksi metriä paksumpi kuin itäisessä altaassa. Molemmista altaissa rikastushiekka jakaantuu pintaosan kuivaan, hapettuneeseen kerrokseen (ruskea), keskiosan kuivaan, lähes hapettumattomaan kerrokseen (harmaaseen) ja alaosan vedellä kyllästyneeseen kerrokseen (tumman harmaa).

Hapettuneen rikastushiekkakerroksen paksuus on keskimäärin 70 cm länsipuolen altaassa ja 30 cm itäpuolen altaassa. Hapettuneen kerroksen alaosassa esiintyi kovettuneita rautasaostumalinssejä. Rajapinta alla olevaan harmaaseen rikastushiekkään oli kaikissa kairauskohteissa teräväräjäinen. Harmaassa, kuivassa rikastushiekkassa esiintyi satunnaisesti osittain hapettuneita ohuita kerroksia, jotka ilmeisesti ovat hapettuneet kaivoksen toiminnan

Taulukko 1. Rikastushiekan läjitysalueen maanpinnan korkeus (m mpy), peitemoreenin ja rikastushiekan paksuus (m), hapettuneen kerroksen alapinnan ja veden kyllästäjän kerroksen yläpinnan syvyys (m mpy) sekä altaan pohjan syvyys (m mpy) kairauskohteissa, Hammaslahden vanha kaivosalue. Selitys: mpy = meren pinnan yläpuolella.

Kairaus tunnus	Peitemoreeni		Rikastushiekka			
	Maanpinta m mpy	Paksuus m	Paksuus m	Hapettunut alapinta* m mpy	Veden kyllästäjä yläpinta m mpy	Pohjan syvyys m mpy
Läntinen allas						
PP7, pohjoisreuna	94.0	0.1	11.8	93.0	88.1	82.2
N12, painanne	92.5	0.3	11.3	91.6	88.5	81.2
N5	93.9	0.1	12.8	92.9	87.4	81.1
N11	95.7	0.4	13.2	94.9	88.8	82.5
PP1	97.2	0.1	13.3	96.5	88.9	83.9
N3, eteläreuna	97.0	0.4	9.5	96.1	90.0	87.5
N13, itäreuna	92.5	0.3	10.9	91.6	87.8	81.6
Itäinen allas						
PP8, pohjoisreuna	93.7	0.4	12.1	93.7	90.4	81.6
N9	92.4	0.3	10.6	91.8	89.4	81.8
N10, painanne	91.6	0.1	9.9	91.0	90.6	81.7
N6, painanne	91.4	0.6	9.4	91.3	90.6	82.0
N4, painanne	91.9	0.3	10.0	91.9	91.4	82.0
N15	91.3	0.4	9.4	90.4	90.2	81.9
N14, eteläreuna	91.7	0.4	-	91.0	90.4	-

* maanpinnasta laskettuna

aikana, altaan täytön yhteydessä. Harmaan, kuivan rikastushiekan paksuus on keskimäärin 5 m länsipuolen altaassa ja 1 m itäpuolen altaassa. Tämä viittaa vesipinnan alentuneen huomattavasti länsipuolen altaassa. Länsipuolen altaan vesipinnan nopeampi lasku liittyy ilmeisesti pohjoisen reunavallin murtumiseen 90-luvun lopussa, jolloin kapealta alalta reunapatoa vesipitoista rikastushiekkaa valui suolle. Suolle valunut rikastushiekka peitettiin turpeella.

Läntisessä allasosassa rikastushiekan pohja (alapinta) on keskimäärin 5,5 metriä alempana keski- ja pohjoisosassa kuin eteläosassa (taulukko 1). Näin ollen altaan sisällä veden gradientti (virtaussuunta) suuntautuu pääasiassa pohjoiseen. Vedellä kyllästyneen rikastushiekan yläpinta on keskimäärin metrin verran alempana keski- ja pohjoisosassa kuin aivan eteläosassa. Itäpuolisessa altaassa pohjan syvyys on lähes samalla tasolla koko allasosan alueella. Myös vedellä kyllästyneen rikastushiekan yläpinta on kairaustietojen mukaan lähes samalla syvyydellä.

Läjitysalueen maapohja on sara- ja/tai järvikorteturvetta, joka on tiivistynyt rikastushiekka-patjan alla kovaksi vesitiiviiksi kerrokseksi (kuva 7). Turpeen alla mineraalimaa on hienoa hietaa, joka oli myös joissakin kairauskohteissa yläosastaan tiivistynyt kuten turve. Pohjaveden pinta pohjamaassa oli syvimmissä kairauskohteissa 0,5-1,0 metriä rikastushiekan ja tiivistyneen turpeen rajapinnan alapuolella hietakerroksessa. Altaan pohjoisosassa hietä rajoittui vuosikerralliseen, hienojakoiseen sedimenttiin ja eteläosassa moreeniin.

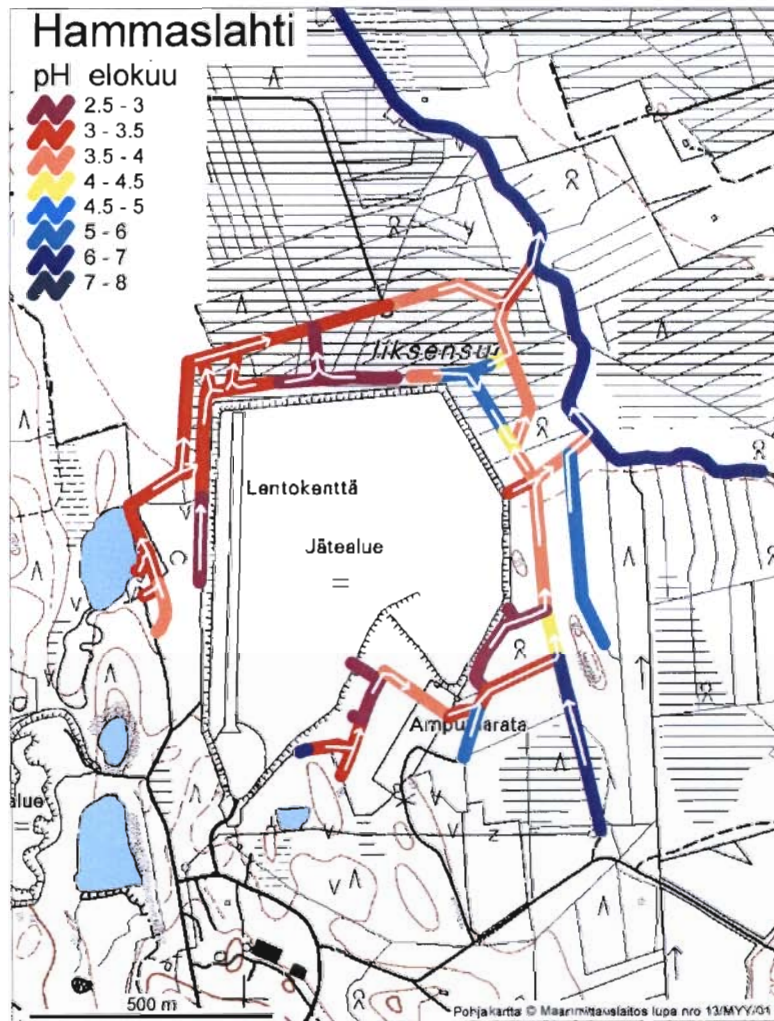


Kuva 7. Kairausprofiili rikastushiekan ja pohjamaan kontaktista, kerrokset oikealta vasemmalle: veden kyllästämä rikastushiekka, tiivistynyt kuiva turve ja kuiva hieno hietä, Hammaslahden vanhan kuparikaivosalue.

Pintavesien happamuus

Kuvan 8 kartassa on esitetty ojavesien pH-vaihtelu maastomittauksissa elokuun alussa 2000 (ks. liite 2). Mittaustulokset paljastavat happamoittavien vesien lähdealueet; rikastushiekan peittämät ojitetut turvemaakohteet, rikastushiekkakasan suotovesialueet ampumaradalla ja kasan kaakkoisreunalla. Näissä kohteissa pH oli alle kolmen. Happamia vesiä kulkeutuu myös Z-louhokselta lähtevässä avo-ojassa, johon louhosvesien lisäksi laskee pintavesiä sivukiven läjitysalueelta (lounaasta) ja rikastushiekkakasan suotovesialueelta (kaakosta, kuva 5).

Kuvan 9 karttaan on rajattu vanhat sortuma-alueet, mihin rikastushiekkaa on levinnyt patovallin sortuessa kaivostoiminnan alkuvaiheessa (kohteet A-C) ja 90-luvun lopulla (kohde D). Rikastushiekan paksuus turpeen päällä vaihtelee 5-30 cm. Kohteissa A ja B ojavesien happamuus on seurausta rikastushiekan hapettumisesta ojapenkereessä tai paljaalla maan pinnalla, jolloin maan routuessa hapettumaton rikastushiekka nousee pintaan ja hapettuu (kuva 10). Näistä poiketen kohteessa C rikastushiekka on hapettunut hyvin vähän, koska sinne ei ole



Kuva 8. Pintaveden pH-vaihtelu Hammaslahden vanhan kaivoksen rikastushiekkakasan ympäristön avo-ojissa. pH-arvot on mitattu maastokartoituksen yhteydessä elokuussa 2000 (ks. menetelmät ja liite 2).



Kuva 9. Rikastushiekan peittämä turvemaalla läjitysalueen reunavallin ulkopuolella, Hammaslahden vanha kuparikaivos (ks. teksti).



Kuva 10. Hapettunut rikastushiekka läjitysalueen reunavallin alahelmassa, Hammaslahden vanha kuparikaivos. Kuva on otettu karttakuvan 9 kohteesta A.

kaivettu ojaa. Veden pinta on lähellä maanpintaa ja siten hiekka pysyy pelkistävässä tilassa. Ohut rikastushiekkakerros (5-10 cm) turpeen päällä on mustan sammaleen ja maatumattomien lehtien peitossa, mikä omalta osaltaan estää hapettumista. Alue erottuu ympäristöstään puuttuvan aluskasvillisuuden vuoksi. Tästä huolimatta kohteessa kasvaa koivua kuten muuallakin ympäristössä. 90-luvun lopulla tapahtuneesta patomurtumasta levinnyt rikastushiekka kohteessa D on peitetty Outokumpu Oyj:n toimesta turpeella vuonna 2000 (kuva 9).

Taulukossa 2 on esitetty vuoden 2000 ja 2001 seurantatulosten pH-arvojen ja sähkönjohtokyvyn keskiarvot, minimi- ja maksimiarvot kohderyhmittäin. Kaivosalueen avo-ojien pintavesien pH oli vuoden 2000 ja 2001 seurannassa keskimäärin neljä ollen noin kaksi pH-yksikköä alhaisempi kuin Iiksenjoen ja verrokkiojavesien pH (6-6,5). Sähkönjohtokyvyn keskiarvoissa ero oli lähes kymmenkertainen.

Rikastushiekkakasan suotovesien vaikutus kasaa ympäröivien ojavesien happamuuteen vaihteli jossain määrin sulana kautena. Keväällä tulvavesien aikaan ja runsaiden sateiden jälkeen pH:t olivat hieman korkeampia kuin pitkien poutajaksojen jälkeen elokuussa tai lokakuussa. Maasto- ja laboratoriomittausten pH-arvot poikkesivat vähän toisistaan vähäsateisina ajanjaksoina. Keväällä poikkeamat olivat suurimpia.

Keväällä Z-louhoksessa ja sen ylivuoto-ojassa veden pH oli hieman yli kuusi molempina seurantavuosina. Elokuun ja lokakuun mittauksissa se vaihteli 3-3,5 välillä. pH:n lasku aiheutuu louhoksessa saostuvasta raudasta. Keväällä louhokseen valuu ympäristöstä happi-

Taulukko 2. Hammaslahden vanhan kuparikaivosalueen ja sen ympäristöalueen pintavesien pH ja sähkönjohtokyvyn keskiarvot, minimi- ja maksimiarvot vuoden 2001 ja 2000 seurannassa. Selitys: n = näytelukumäärä.

	2000		2001		
	pH	Sähkön- laboratorio johtokyky mS/m	pH	pH	Sähkön- laboratorio johtokyky mS/m
Kaivosalue					
Avo-ojat	(n=51)		(n=98)		
Keskiarvo	3.8	188	3.9	3.8	193
Minimi	2.7	17	2.8	2.8	13
Maksimi	6.9	624	7.0	6.9	875
Louhokset	(n=8)		(n=12)		
Keskiarvo	3.8	171	5.1	5.0	127
Minimi	3.1	83	3.3	3.3	2
Maksimi	5.8	243	8.7	8.3	369
Iiksenjoki	(n=8)		(n=12)		
Keskiarvo	6.1	18	6.2	5.9	20
Minimi	5.1	10	5.0	4.0	12
Maksimi	7.0	33	6.8	6.6	47
Verrokkiojat	(n=8)		(n=43)		
Keskiarvo	6.6	14	5.7	5.4	48
Minimi	6.4	11	3.3	3.3	8
Maksimi	6.8	16	7.3	7.4	298

pitoista lumen sulamisvettä, joka raskaampana painuu louhoksen pohjalle aiheuttaen vesikiertoa pintaan. Alempien vesikerrosten ferrorauta hapettuu ferriraudaksi, joka saostuu sulfaattipitoisena götiittinä toukokuun ja kesäkuun alun aikana (L. Carlson 2002, suullinen tiedonanto). Tällöin louhoksen vesi värjäytyy punaruskeaksi saostuvasta raudasta. Aktiivista saostumista ei ole havaittu tapahtuvan louhosvedessä muulloin kuin keväisin.

Ampumarata-alueen kuivatusojaveden happamuus aiheutuu siihen suotautuvista rikastushiekkakasan vesistä. Suotovedet purkautuvat patovallin alaosaan ampumarata-alueella peittävään hiekkamoreenikerrokseen (välikerrosvalunta), mistä hapettunut vesi purkautuu aluetta halkovaan ojaan. Hiekkamoreenikerroksen (50-80 cm) alla on vettä heikosti läpäisevä hieno hietamaakerros.

Muista kohteista poikkeavan korkeita pH-arvoja mitattiin N-louhoksen vedestä vuoden 2001 seurannassa (pH>8, taulukko 2). pH:n kasvu aiheutui louhokseen lisäystä sianlantalietteestä. Sianlanta sisältää sulfaatinpelkistäjäbakteeria, joka edesauttaa raudan ja rikin saostumista sulfidina louhoksen pohjalle (U.-P. Mustikkamäki 2000).

Pintavesien happamuustuloksista voidaan päätellä, että pH:n vaihtelu pitkin ojaverkostoa heijastaa joko muutoksia raudan saostumisessa tai eri koostumuksellisten vesien sekoittumista toiseensa. pH laskee, kun veteen liuenneet rauta ja/tai mangaani hapettuu ja saostuu oxyhydroksideina (Nordstrom & Alpers 1999). Myös alumiinin liukeneminen veteen laskee pH:ta (hydrolysoituminen). Tässä tutkimuksessa pintavesinäytteen annettiin seistä jääkaapissa, minkä tarkoituksena oli nimenomaan tasapainottaa raudan liukoisuus ja mitata saostuvan raudan vaikutus pH-arvoihin. Menettely kuvaa tilannetta, missä veden virtauksen vähetessä raudan saostuminen mahdollistuu ja pH laskee. Voimakkaasti virtaavassa vedessä saostuminen on vähäistä. Silloin saostumat erodoituvat ojan pohjalta tai reunoilta veteen ja kulkeutuvat alajuoksulle. Tämä ilmiö nähtiin tapahtuvan kevättulvien ja runsaiden sateiden aikana.

Rikastushiekkakasan itäpuolella ampumaradalta lähtevään pääuomaan sekoittuu kahdessa kohtaa humuspitoisia vesiä Riihilammen pienvaluma-alueelta (kuva 8). Ojaristeysten jälkeen veden pH kohoaa lyhyellä matkalla, kunnes se taas alenee, kun rikastushiekkakasan itäpuolisista ojista suotovesipitoiset pintavedet sekoittuvat pääuoman veteen. pH:n kasvu lyhyellä matkalla ei suinkaan aiheudu laimenemisesta, vaan humuspitoisen sivuojaveden puskuroivasta vaikutuksesta. Vesimäärä sivuojissa oli huomattavasti pienempi kuin pääuomassa. Ojaristeyksen alapuolella rautasaostuman väri vaihtui tumman ruskeaksi, mikä on merkki orgaanisen aineksen kersaostumisesta rautaoxyhydroksidien kanssa. Nämä saostumat ilmeisesti sitovat happamuuden (protonit).

Pintavesien kemiallinen laatu

Alumiini-, rauta-, rikki- ja mangaanipitoisuudet

Taulukossa 3 on esitetty kohderyhmittäin pintavesien alumiinin, raudan, rikin ja mangaanin keskiarvo-, minimi- ja maksimi-pitoisuudet vuosien 2000 ja 2001 aineistosta. Kaivosalueen pintavesien alumiinipitoisuuksien keskiarvo vaihteli 5:stä 6:een mg/l seurantajakson aikana (taulukko 3). Pitoisuusvaihtelu ojaryhmien välillä oli huomattavan suuri (liitteet 3 ja 4). Korkeimmat alumiinipitoisuudet (15-210 mg/l) mitattiin vanhojen sortumakohteiden ojista ja niiden laskuojista sekä vuoden 2001 seurannassa ampumaradalta lähtevästä ojasta.

Taulukko 3. Vuosien 2000 ja 2001 seurantanäytteiden alumiinin, raudan, rikin ja mangaanin keskiarvo-, minimi- ja maksimipitoisuudet kohderyhmittäin, Hammaslahden vanha kupari-kaivosalue. Verrokkiojat sijaitsevat kaivosalueen vaikutuspiirin ulkopuolella. Selitys: n = näytteiden lukumäärä.

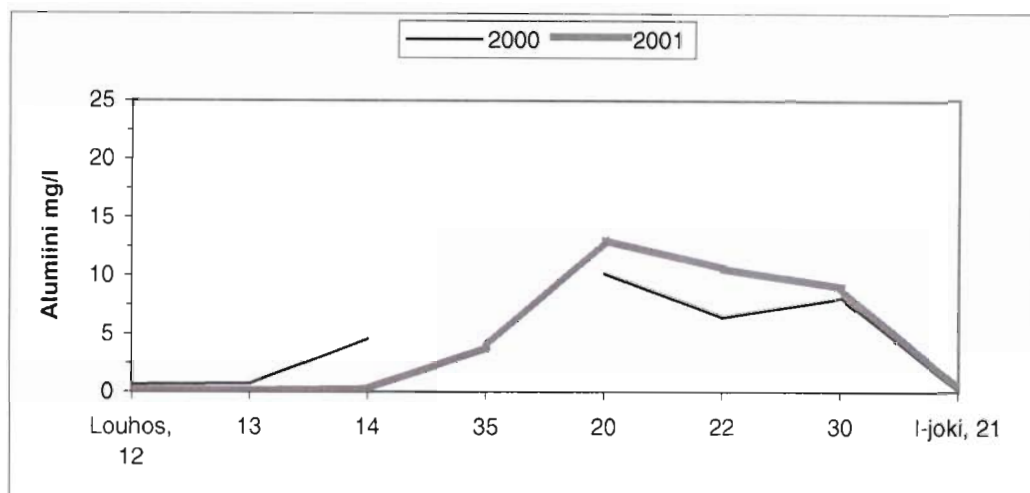
	Al mg/l		Fe mg/l		S mg/l		Mn mg/l	
	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001
Kaivosalue (2000 n=70, 2001 n=92)								
Keskiarvo	5.29	5.79	52.5	33.8	286	354	4.87	6.14
Minimi	<1	<1	<0.03	<0.03	8.4	19.8	<0.05	0.07
Maksimi	67.4	40.7	978	409	1190	1160	16.4	17.9
Ojat rikastushiekkapeitteisellä suolla (2000 n=12, 2001 n=12)								
Keskiarvo	26.0	56.0	393	548	869	1157	11.5	13.2
Minimi	3.2	6.22	24.0	44.5	457	92.8	9.04	1.38
Maksimi	65.9	214	1530	1700	1890	2690	14.8	19.6
Louhokset (2000 n=11, 2001 n=12)								
Keskiarvo	3.9	2.90	10.2	9.95	220	196	4.4	3.79
Minimi	<1	<1	<0.03	<0.03	3.00	1.42	<0.05	0.03
Maksimi	17.6	14.5	41.3	32.2	542	556	11.2	10.4
Iiksenjoki (2000 n=12, 2001 n=12)								
Keskiarvo	0.91	0.35	3.89	1.06	61.5	27.5	1.15	0.33
Minimi	<1	<1	0.40	0.11	10.7	18.0	0.17	0.16
Maksimi	8.99	2.34	38.0	2.70	437	68.3	9.48	0.84
Verrokkiojat (2000 n=17, 2001 n=35)								
Keskiarvo	0.46	0.53	4.64	5.21	14.6	28.6	0.23	0.48
Minimi	<1	<1	0.11	0.05	8.40	7.16	<0.05	<0.05
Maksimi	2.21	4.53	25.3	65.7	33.1	136	0.54	3.30

Kuvassa 11a on esitetty alumiinipitoisuuksien vaihtelu rikastushiekkakasan pohjoispuolen ojissa ja b-kuvassa itäpuolen ojissa. Pohjoispuolen ojissa alumiinipitoisuus kasvaa kymmenkertaisesti, kun Z-louhoksesta lähtevään pääuomaan sekoittuu vesiä ojista, joiden alkupää on kaivettu rikastushiekan peittämään turvemaahan (piste 20 kuvassa 11a, liite 5). Itäpuolen ojissa alumiinipitoisuus pienenee, kun Riihilammen valuma-alueen humuspitoiset vedet sekoittuvat pääuoman veteen (piste 28B kuvassa 11b, liite 5). Pitoisuuden lasku on seurausta alumiinin pidätyksestä orgaaniseen ainekseen, jonka saostuminen tehostuu yhdessä raudan saostumisen kanssa ojien risteysalueella. Pitoisuuksien laimentuminen on vähäistä, koska vesimäärät Riihilammen valuma-alueen ojissa ovat huomattavasti pienempiä kuin pääuomassa. Kesän loppupuolella nämä sivuojat ovat lähes kuivia.

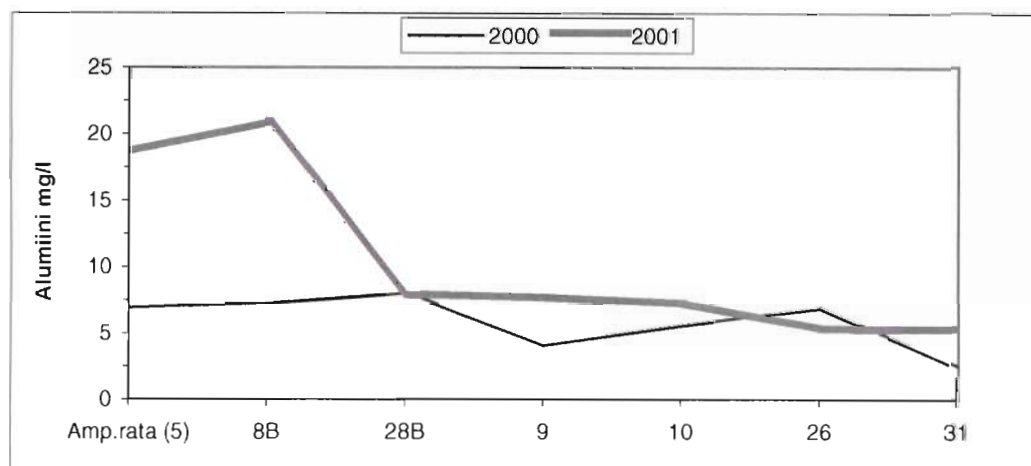
Iiksenjoessa alumiinipitoisuus (0,3-0,9 mg/l) oli keskimäärin lähes kymmenesosa kaivosalueen pintavesien alumiinipitoisuudesta (taulukko 3). Lokakuun näytteistä lasketut keskiarvopitoisuudet olivat suurempia kuin toukokuun ja kesäajan näytteiden keskiarvopitoisuudet molempina seurantavuosina (liitteet 3 ja 4). Toukokuussa alumiinipitoisuus oli jonkun verran suurempi kuin kesä- ja elokuussa.

Verrokkiojien vesissä alumiinia oli keskimäärin (0,5 mg/l) hieman vähemmän kuin Iiksenjoessa. Alumiinipitoisuuksien vaihtelu näytteenottoajankohtien välillä oli samansuuntainen kuin Iiksenjoessa.

(a)



(b)



Kuva 11. Vuoden 2000 ja 2001 seurantajakson alumiinin keskiarvopitoisuuksien vaihtelu rikastushiekkakasan (a) pohjoispuolen ja (b) itäpuolen valtaojassa. Näytteenottopisteiden sijainti näkyy liitteen 5 kartassa. Selitykset: I-joki = Iksenjoki, Amp.rata = ampumarata.

Kaivosalueen pintavesien rautapitoisuudet vaihtelivat huomattavasti kohderyhmittäin kuten alumiinin pitoisuudetkin (taulukko 3 ja liitteet 3-4). Keskiarvopitoisuus oli noin 53 mg/l vuonna 2000 ja 34 mg/l vuonna 2001. Iksenjoessa ja verrokkiojissa rautapitoisuuksien keskiarvot (1-5 mg/l) olivat noin kymmenesosa kaivosalueen keskiarvopitoisuuksista. Huomionarvoista on, että Iksenjoen rautapitoisuus oli keskimäärin pienempi kuin verrokkiojien. Ero selittyy osittain verrokkiojien maaperän geokemiallisista ominaisuuksista ja osittain Iksenjoen laimentavasta vaikutuksesta. Iksensuon pohjoisosan suo-ojavesien rautapitoisuus oli suurimmallaan 50-65 mg/l vuoden 2001 näytteissä. Raudan lähteenä on mustaliuskepitoinen kallioperä (rautasulfidipitoinen kivi). Myös Riihilammen pienvaluma-alueen lähdevesi sisältää runsaasti rautaa, mutta siellä rauta saostuu tehokkaammin kuin Iksensuon pohjoispuolisissa ojissa eikä siten nosta sen alueen vesien rautapitoisuuksia (Carlson & Schwertmann 1981, Carlson & Loukola-Ruskeeniemi 1998).

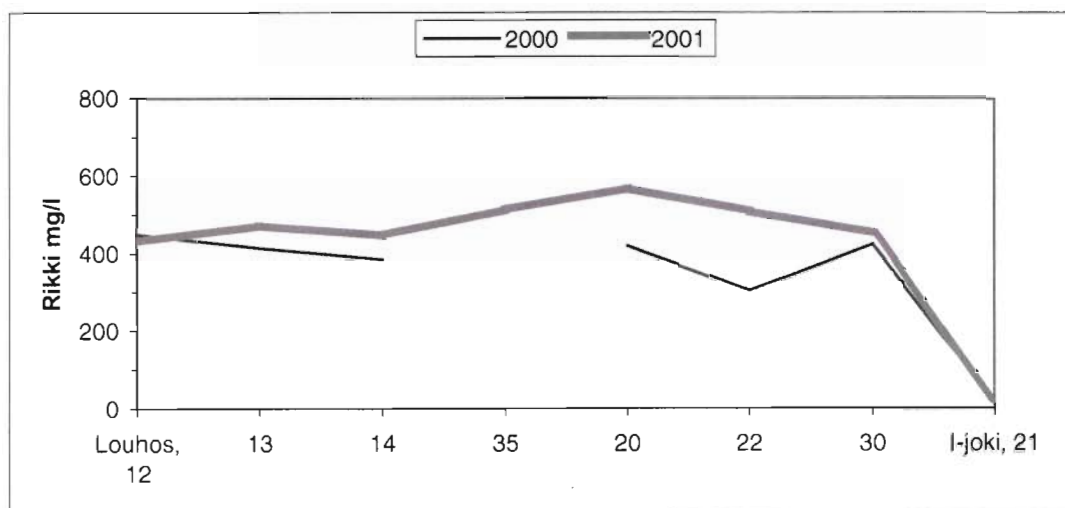
Rautapitoisuuden vaihtelu rikastushiekkakasan pohjois- ja itäpuolen ojien näytepisteissä on vastaavanlainen kuin kuvan 11 alumiinipitoisuuden jakautumiskäyrät. Rikastushiekkakasan pohjoispuolen ojissa rautapitoisuus kaksinkertaistuu, kun sortuma-alueiden ojavedet

sekoittuvat pääuomaan. Sen sijaan itäpuolen ojissa pitoisuudet laskevat huomattavasti, kun Riihilammen pienvaluma-alueen vedet sekoittuvat pääuomaan (piste 28B, liite 5). Vesien sekoittuminen tehostaa raudan saostumista.

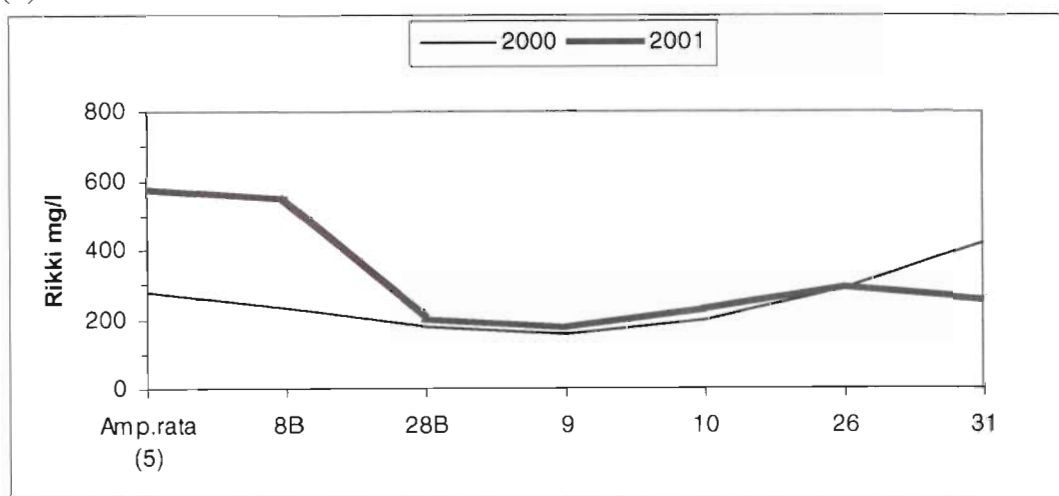
Kaivosalueen pintavesien rikkipitoisuus vaihteli vuoden 2000 seurantanäytteiden keskiarvopitoisuudesta 285 mg/l vuoden 2001 seurantanäytteiden keskiarvopitoisuuteen 350 mg/l (taulukko 3). Iiksenjoen keskiarvopitoisuus oli noin 60 mg/l vuonna 2000 ja lähes 30 mg/l vuonna 2001. Verrokkiojien rikkipitoisuudet vaihtelivat keskimäärin 15-30 mg/l. Korkeimmat rikkipitoisuudet (>1000 mg/l) mitattiin sortuma-alueiden ojista.

Rikkipitoisuuksien keskiarvojen vaihtelu rikastushiekkakasan pohjoispuolen ojissa poikkeaa alumiini- ja rautapitoisuuksien vaihtelusta (kuva 12 a). Pitoisuudet pysyivät korkeina aina Iiksenjokeen saakka, missä ne laimentuivat lähes kymmenesosaan. Sen sijaan kasan itäpuolen ojissa pitoisuusvaihtelu oli samansuuntainen kuin alumiinilla ja raudalla (vrt. kuvat 11b ja 12 b).

(a)



(b)



Kuva 12. Vuoden 2000 ja 2001 seurantajakson rikin keskiarvopitoisuuksien vaihtelu rikastushiekkakasan (a) pohjoispuolen ja (b) itäpuolen valtaojassa. Näytteenottpisteiden sijainti näkyy liitteen 5 kartassa. Selitykset: I-joki = Iiksenjoki, Amp.rata = ampumarata.

Kaivosalueen pintavesien mangaanin keskiarvopitoisuus vaihteli keskimäärin 5-6 mg/l seurantajaksolla (taulukko 3). Iiksenjoessa mangaanin keskiarvopitoisuus (0,3-1,1 mg/l) oli viidesosa tai joillakin näytteenottokerroilla jopa kymmenesosa kaivosalueen ojavesien mangaanipitoisuuksista. Verrokkiojien mangaanipitoisuudet olivat samaa luokkaa kuin Iiksenjoen. Mangaanin keskiarvopitoisuuksien vaihtelu rikastushiekkakanan pohjoispuolen ja itäpuolen ojissa on samankaltainen kuin rikkipitoisuuksien vaihtelu kuvassa 12.

Raskasmetallipitoisuudet

Taulukossa 4 on esitetty vuosien 2000 ja 2001 seurantanäytteiden koboltin, kuparin, nikkelin ja sinkin keskiarvo-, minimi- ja maksimipitoisuudet. Liitteessä 3 ja 4 on esitetty vastaavat pitoisuudet näytteryhmittäin. Liitteiden taulukoista ilmenee myös arseenin, kadmiumin, kromin, lyijyn ja vanadiinin pitoisuusvaihtelu näytteryhmittäin.

Koboltin, kuparin, nikkelin ja sinkin keskiarvopitoisuudet olivat lähes kymmenen kertaa suuremmat kaivosalueen pintavesissä kuin Iiksenjoessa (taulukko 4). Seurantajakson aikainen pitoisuusvaihtelu oli suurin sinkin osalta. Sinkin keskiarvopitoisuus vaihteli 1,4 mg:sta 2,6 mg:aan/l kaivosalueen pintavesissä ja 0,07 mg:sta 0,2 mg:aan/l Iiksenjoessa. Verrokkiojien sinkkipitoisuuksien keskiarvo oli noin 0,05 mg/l.

Taulukko 4. Vuoden 2000 ja 2001 seurantanäytteiden koboltin, kuparin, nikkelin ja sinkin keskiarvo-, minimi- ja maksimipitoisuudet kohderyhmittäin, Hammaslahden vanha kuparikaivosalue. Verrokkiojat sijaitsevat kaivosalueen vaikutuspiirin ulkopuolella.

	Co µg/l		Cu µg/l		Ni µg/l		Zn µg/l	
	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001
Kaivosalue (2000 n=70, 2001 n=92)								
Keskiarvo	69	49	140	91	121	95	2617	1432
Minimi	0.3	0.9	0.4	0.6	3.3	17	12	108
Maksimi	884	203	803	521	468	395	45100	7400
Ojat rikastushiekkapeitteisellä suolla (2000 n=12, 2001 n=12)								
Keskiarvo	340	404	195	167	367	432	4845	6063
Minimi	47	37	13	19	86	59	732	369
Maksimi	718	821	704	739	627	906	16000	18400
Louhokset (2000 n=11, 2001 n=12)								
Keskiarvo	35	26	150	50	100	74	1331	859
Minimi	1.1	0.6	1.4	0.6	1.5	0.7	38	28
Maksimi	81	76	565	196	250	239	4320	3540
Iiksenjoki (2000 n=12, 2001 n=12)								
Keskiarvo	12	3.7	7.8	5.7	25	10	176	73
Minimi	1.0	1.6	1.5	1.0	5.2	5.3	21	24
Maksimi	96	13	32	30	162	33	1200	360
Verrokkiojat (2000 n=17, 2001 n=35)								
Keskiarvo	3.2	4.9	4.8	6.7	9.2	12	40	51
Minimi	0.03	0.04	0.03	0.03	1.9	0.6	4.1	1.9
Maksimi	19	47	26	55	42	100	198	510

Kaivosalueen pintavesien koboltin, kuparin ja nikkelin keskiarvopitoisuudet olivat kymmenesosa tai jopa kolme kymmenesosaa sinkin pitoisuuksista. Pitoisuusero liksenjoen ja verrokkiojien välillä oli pienempi kuparin, koboltin ja nikkelin kuin sinkin osalta. Sen sijaan lyijyn, arseenin ja kadmiumin pitoisuudet olivat hyvin pieniä kaivosalueen pintavesissä. Pitoisuuksien kasvu liksenjoen ja verrokkiojien pitoisuuksiin nähden on merkityksetön, kun huomioi mittaustarkkuus- ja toistettavuusvirheet (liitteet 3 ja 4).

Korkeimmat koboltti-, kupari-, nikkeli- ja sinkkipitoisuudet mitattiin sortuma-alueiden ojista ja ampumaradan kuivatusojasta (taulukko 4 ja liitteet 3 ja 4). Louhosvesien raskasmetalli-pitoisuudet olivat joko samaa suuruusluokkaa (Cu, Ni) tai lähes puolta pienempiä (Co, Zn) kuin kaivosalueen avo-ojavesien raskasmetallipitoisuudet.

Pintavesien happamuuden synty ja sitä säätelevät tekijät

Alumiinilla, raudalla ja mangaanilla on keskeinen rooli veden happamuuden säätelyssä ja sitä kautta ne vaikuttavat myös muiden raskasmetallien liukoisuuteen (Nordstrom & Alpers 1999). Rikastushiekkakasan rautasulfidien rapautumisreaktioissa vapautuu allasveteen ferrorautaa (Fe^{2+}) ja sulfidi (S^-) -ioneja (taulukko 5). Sulfidien rapautumista esiintyy lähinnä kasan pintakerroksessa ja reunavallien läheisyydessä, mihin happea kulkeutuu joko ilmvirtausten tai sadeveden mukana (Jambor & Blowes 1994).

Hammaslahden rikastushiekkakasan pohja rajoittuu tiivistyneeseen turvekerrokseen, mikä estää allasvesien suotautumisen pohjan läpi alla olevaan pohjaveteen. Näin ollen allasvettä suotautuu lähinnä vain reunavallien alaosaan ympäröivään pintamaahan (välikerrosvalunta), missä suotovesi sekoittuu maaveteen. Pintamaasta kontaminoitunut vesi kulkeutuu suurimmalta osin lähimpään avo-ojaan. Maan pintaan purkautuvia suotovesilähteitä löytyi vain kahdesta kohtaa, kasan länsilaidalta ja ampumaradan alueelta (kuva 5).

Taulukko 5. Rikastushiekkakasan allasveden ja maan pintaan purkautuvien suotovesien pH- ja metalli- ja rikkipitoisuudet vuonna 2001, Hammaslahden vanha kuparikaivosalue. Länsipuolen rikastushiekkakasa-alueen allasvesi on otettu havaintoputkesta PP1 ja itäpuolen allasvesi havaintoputkesta PP8. Kohteet näkyvät kuvien 4 ja 5 kartoista.

	Länsipuoli		Itäpuoli	
	Allasvesi	Suotovesi	Allasvesi	Suotovesi
pH	6.3	3.2	6.8	3.0
Al mg/l	0.01	121	<0.01	79
Fe mg/l	87	293	72	194
S mg/l	1249	935	1122	634
Mn mg/l	1.45	11.2	1.26	13.7
Co µg/l	<0.5	910	<0.3	370
Cu µg/l	<5	1250	<2	1090
Ni µg/l	<2	1710	<2	704
Pb µg/l	<0.3	3.6	<0.3	2.6
Zn µg/l	25	8325	20	1960

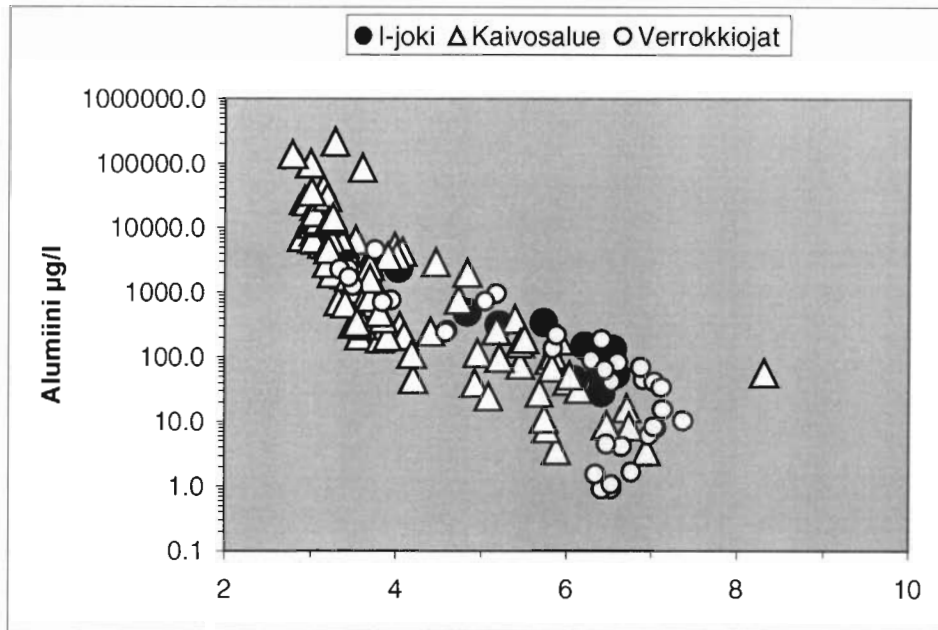
Rauta- ja rikkipitoisen allasveden suotautuessa ilmavan reunavallin läpi ferrorauta (Fe^{2+}) alkaa hapettua ferriraudaksi (Fe^{3+}). Hapettuminen jatkuu suotoveden kulkeutuessaan pintamaakerroksesta avo-ojaan, missä ferrirauta saostuu oxyhydroksideina ja veden pH laskee. Hapan suotovesi liuottaa patovallin sulfidipitoisesta maa-aineksesta ja ympäröivästä pintamaasta alumiinia ja raskasmetalleja. Tämä näkyy pintaan purkautuvien suotovesien kohonneina alumiini- ja raskasmetallipitoisuuksina (taulukko 5, vrt. taulukot 3 ja 4). Allasveden alumiini- ja raskasmetallipitoisuudet olivat alle määritysrajojen, kun taas suotovesissä ja ojavesissä pitoisuudet kohosivat sata- tai tuhatkertaisesti vuoden 2001 vesinäytteissä. Rautapitoisuus kasvoi lähes kolminkertaiseksi pintaan suotautuvassa vedessä. Sen sijaan rikkipitoisuudet laskivat hieman, mikä viittaa rikin pidättymiseen suotokanavassa. Veden happamuus lisääntyi kaksinkertaisesti allasveden suotautuessa ulos hapelliseen ympäristöön.

Rikastushiekkakasan suotovesien lisäksi happamuuden lähteenä ovat kasan ulkopuolella olevat, ojitetut rikastushiekan peittämät turvemaat ja pohjoisimman avolouhoksen ylivuotovesi. Rikastushiekan peittämät turvemaat sijaitsevat aivan läjitysalueen reunavallin läheisyydessä. Sinne on rikastushiekkaa levinnyt patovallin sortuessa. Rikastushiekka hapettuu avoimissa ojapenkereissä tai pintamaakerroksessa, missä routiminen nostaa hapettumatonta rikastushiekkaa pintaan. Avolouhoksen ylivuoto-ojan veden happamuus on peräisin louhosveden raudan hapettumis- ja saostumisilmiöstä alkukesästä, louhoksen reunapatojen rautasulfidipitoisten kivien hapettumisesta ja ojaan tulevista läjitysalueiden suotovesistä.

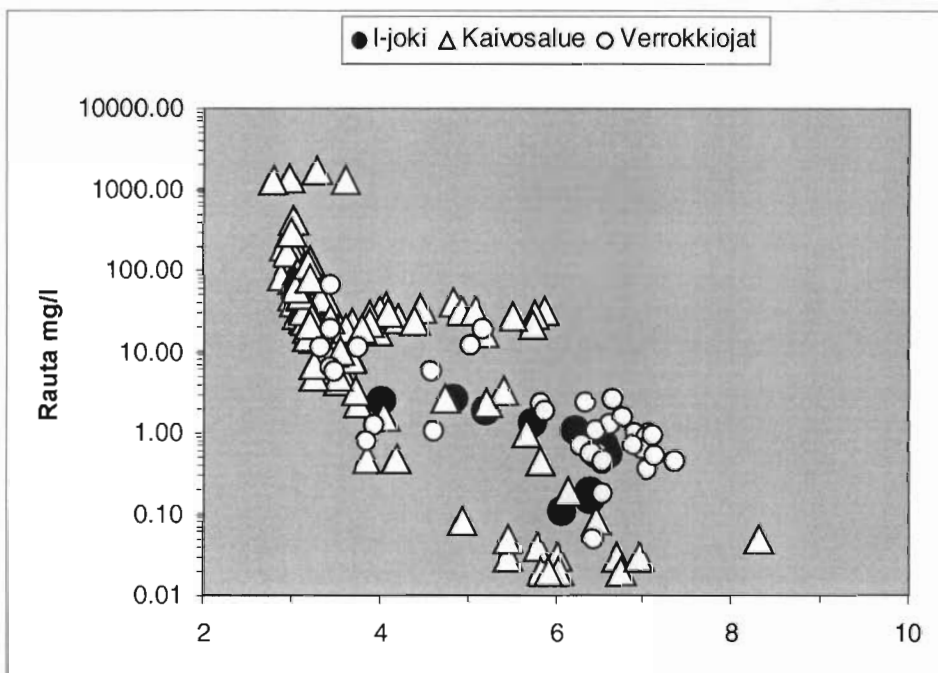
Raudan saostuminen oxyhydroksideina on alkusyy pH:n alenemiseen (Nordstrom & Alpers 1999). Ojavesien happamuutta ylläpitää puolestaan alumiinin hydrolysoitumisreaktiot, mikä näkyy veden pH:n vakioitumisena esimerkiksi kasan pohjoispuolen ojissa aina liksenjokeen saakka. Kuvassa 13 a ilmenee pH:n ja veden alumiinipitoisuuksien välinen riippuvuussuhde. Sen sijaan raudan liukoisuus vaikuttaa pH-arvoon merkitsevästi vain joissakin kohteissa (kuva 13b).

Mangaanin hapettumis- ja hydrolysoitumisella on myös vaikutusta veden happamuuteen (Beveridge & Doyle 1989). Tämä ilmeni mm. louhoksen ylivuoto-ojassa ja ampumaradan kuivatusojassa, missä mangaanin pitoisuudet olivat suuria (>5 mg/l).

(a)



(b)



Kuva 13. Pintavesien (a) alumiini- ja (b) rautapitoisuuksien ja pH:n välinen riippuvuussuhde Hammaslahden vanhan kaivosalueen avo-ojissa ja louhosvesissä (kaivosalue), liksenjoessa (I-joki) ja verrokkiojissa.

Metalli- ja rikkikuormitus Iiksenjokeen

Hammaslahden vanhalta kaivosalueelta pintavedet kulkeutuvat Iiksenjokeen kahta reittiä, rikastushiekkakasan pohjoispuolella olevaa ojaa pitkin koilliseen ja kasan itäpuolen ojasta lähtevää suo-ojaa pitkin itään (liite 6). Näihin ojiin asennettiin syksyllä 2000 mittapadot, joista virtaumat mitattiin vesinäytteenoton yhteydessä.

Taulukossa 6 on esitetty keskeisten raskasmetallien ja rikin päivittäiskuormitus (kg/pv) näytteenottopäivinä lokakuussa 2000 ja touko-, kesä-, elo- ja lokakuussa 2001. Metalleja ja rikkiä kulkeutui lähes kolme kertaa enemmän pohjoisen kuin itäisen lasku-uoman kautta sulana kautena. Lasketuissa päiväkohtaisissa kuormitusmäärissä on kuitenkin huomattavia eroja varsinkin alumiinin ja raudan osalta. Molempien patojen kautta yhteenlaskettu päivittäiskuormitus sulana kautena vaihteli alumiinin osalta 5-17 kg/pv, raudan osalta 23-68 kg/pv, rikin osalta 340-530 kg/pv, mangaanin osalta 7-13 kg/pv ja sinkin osalta 0,5-3 kg/pv. Muiden raskasmetallien osalta päivittäiskuormitus mittausajankohtina oli hyvin pieni.

Taulukko 6. Hammaslahden kaivosalueelta Iiksenjokeen laskevien pääojien raskasmetalli- ja rikkikuormitus (kg/pv) näytteenottopäivinä lokakuussa 2000 (loka00) ja touko-, kesä-, elokuu- ja lokakuussa 2001. Mittapatojen sijainti näkyy liitteen 6 kartasta.

	Loka 00	Touko 01	Kesä 01	Elo 01	Loka 01
	kg/pv				
Mittapato 30, koillinen laskuoja					
Al	6.6	7.9	5.4	3.6	11.2
Fe	24	60	15	16	40
S	249	395	283	321	397
Mn	6.0	9.9	6.1	6.1	6.0
Co	0.07	0.08	0.04	0.03	0.07
Cu	0.02	0.08	0.02	0.01	0.03
Ni	0.1	0.1	0.06	0.05	0.1
Zn	0.8	1.2	0.6	0.4	1.0
Mittapato 29B, itäinen laskuoja					
Al	2.8	3.1	1.6	1.8	5.4
Fe	12	7.8	10	6.9	19
S	92	139	108	57	131
Mn	1.5	3.5	1.6	0.8	1.7
Co	0.03	0.06	0.02	0.01	0.03
Cu	0.04	0.1	0.04	0.03	0.07
Ni	0.07	0.1	0.05	0.03	0.07
Zn	0.5	1.7	0.5	0.2	0.8

Yhteenveto

Hammaslahden vanhan kuparikaivoksen rikastushiekan läjitysalueen pinta-ala on noin 30 ha. Rikastushiekan keskimääräinen paksuus on vajaat 12 metriä. Läjitysalue on jaettu etelä-pohjoissuuntaisella välipadolla kahteen osaan. Kerrosrakenne on seuraava (suluissa keskimääräiset paksuudet): peitemoreeni (0,3 m), hapettunut, kuiva rikastushiekkakerros (itäosa 0,3 m, länsiosa 0,7 m), hapettumaton, kuiva rikastushiekkakerros (itäosa 1 m, länsiosa 5 m), hapettumaton, veden kyllästämä rikastushiekkakerros (itäosa 6,5 m, länsiosa 8,5 m).

Rikastushiekkakasan pohja rajoittuu tiivistyneeseen turvekerrokseen, jonka alapuolella on hietaa ja vuosikerrallista hiesua tai savea. Eteläosassa ohuen turve- ja hietakerroksen alla oli moreenia. Tiivistynyt turvekerros estää allasvesien suotautumisen pohjan läpi alla olevaan pohjaveteen. Näin ollen allasvettä suotautuu lähinnä vain reunavallien alaosaan ympäröivään pintamaahan (välikerrosvalunta). Maan pintaan purkautuvia suotovesilähteitä löytyi vain kahdesta kohtaa, kasan länsilaidalta ja ampumaradan alueelta. Länsipuolen allasosan reunavalli rajautuu eteläosassa kallioon, mikä estää suotovesien kulkeutumisen eteläpuolelle.

Rikastushiekkakasan ympäristön pintavedet happamoituvat, kun kasan rauta- ja rikki-pitoiset vedet hapettuvat suotautuessaan reunapadon läpi. Hapettuminen tehostuu kasan ulkopuolella suotovesien kulkeutuessa pintamaassa ja edelleen avo-ojissa. Ferrorauta hapettuu ferriraudaksi, joka saostuu oxyhydroksideina ja samalla veden pH laskee. Hapan suotovesi liuottaa patovallin sulfidipitoisesta maa-aineksesta ja sitä ympäröivästä maasta alumiinia ja raskasmetalleja, mikä näkyy ympäristön vesien kohonneina alumiini- ja raskasmetallipitoisuuksina. Pitoisuudet ovat sata- tai tuhatkertaiset kasan sisällä olevan veden pitoisuuksiin nähden.

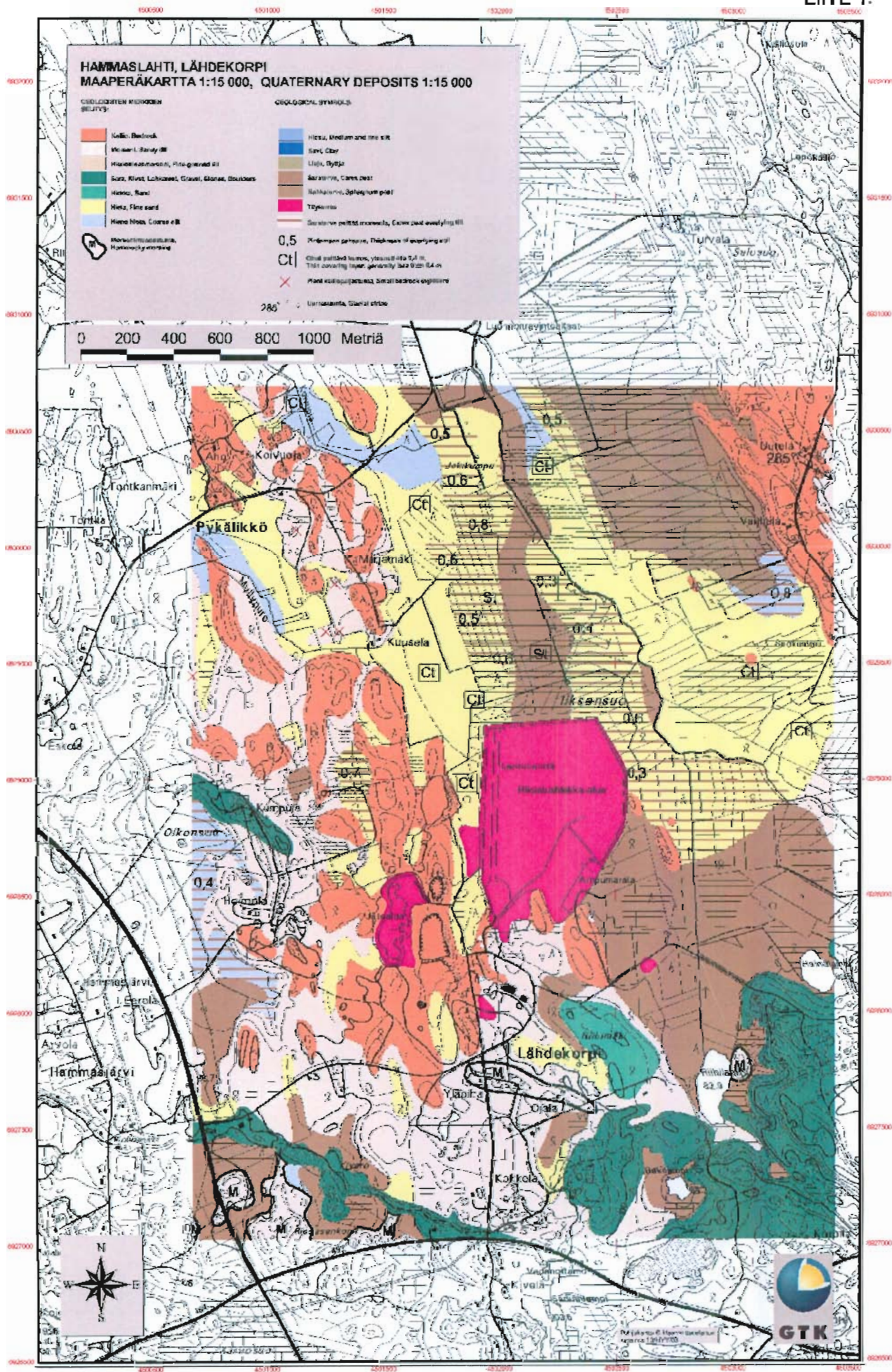
Suotovesien lisäksi pintavesien happamuuden lähteenä ovat hapettuneen rikastushiekan peittämän turvemaan ojavedet ja pohjoisimman avolouhoksen ylivuoto-ojan vedet. Rikastushiekan peittämiä turvemaita on aivan kasan reunavallin läheisyydessä, mihin rikastushiekkaa on valunut patovallin sortuessa toiminnan aikana ja yhdessä kohtaa 90-luvun lopulla. Alueet ovat pinta-altaan pieniä ja rikastushiekan paksuus kohteissa vaihtelee 5-30 cm.

Vuosien 2000 ja 2001 seurantajaksolla rikastushiekkakasan lähiympäristön ojavesien pH vaihteli 3-3,5, kun kasan sisällä olevan veden pH oli yli kuuden. Iiksenjoen pH oli keskimäärin kuusi. Kaivosalueen vaikutuspiirin ulkopuolisten suo-ojien (verrokkiojien) pH vaihteli keskimäärin 5,5-6,5.

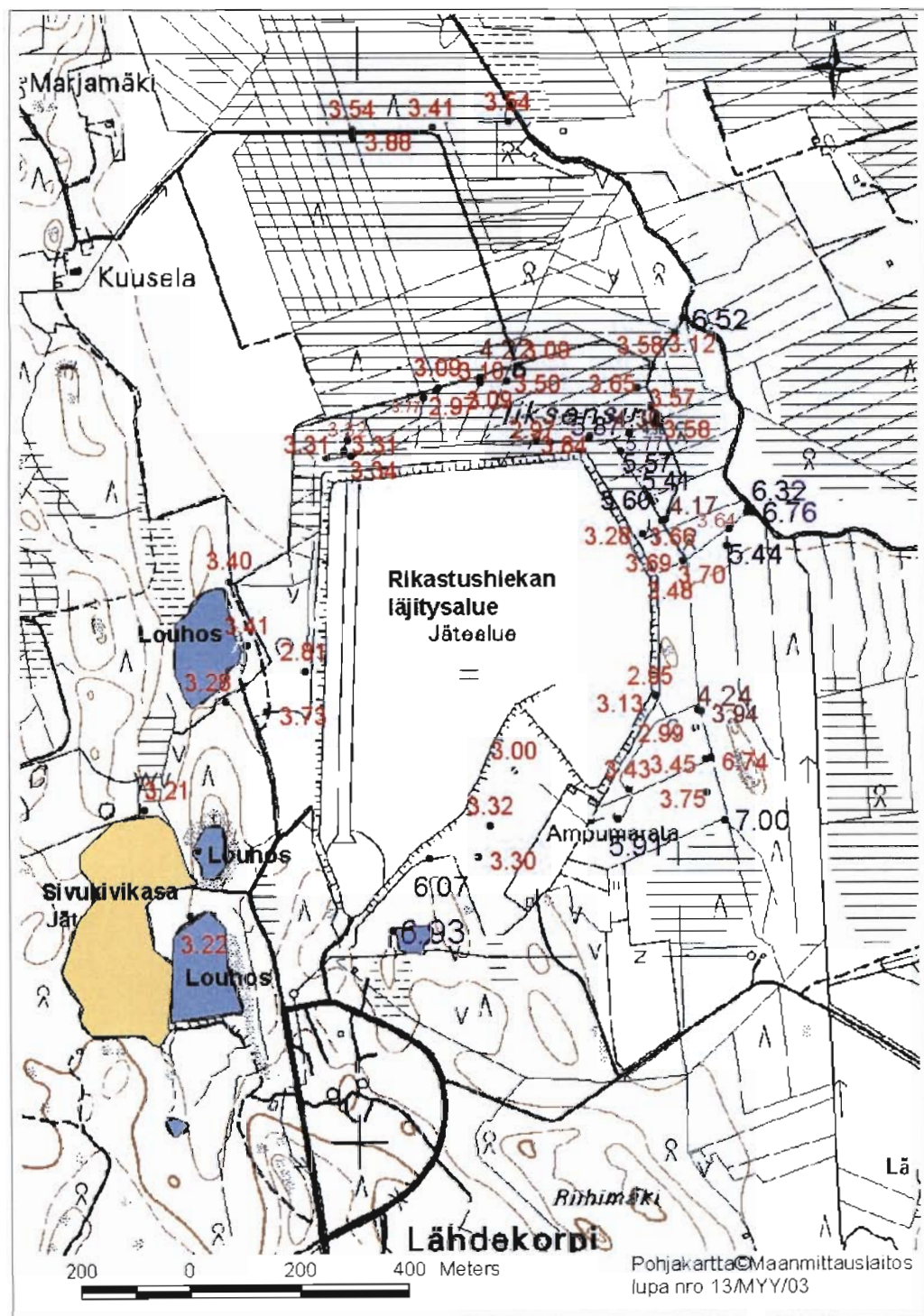
Kaivosalueen pintavesien alumiinipitoisuuksien keskiarvo vaihteli 5-6 mg/l, rautapitoisuuksien keskiarvo 30-50 mg/l, rikki-pitoisuuksien keskiarvo 280-350 mg/l, mangaanipitoisuuksien keskiarvo 5-6 mg/l ja sinkkipitoisuuksien keskiarvo 1,0-2,5 mg/l vuosien 2000 ja 2001 sulan kauden seurannassa. Iiksenjoen tai verrokkiojavesien vastaavat alkuainepitoisuudet olivat noin kymmenesosa edellä mainituista pitoisuuksista (tai sitäkin pienemmät). Metall- ja rikkikuormitus Iiksenjokeen kahden valtaojan kautta vaihteli alumiinin osalta 5-17 kg/pv, raudan osalta 23-68 kg/pv, rikin osalta 340-530 kg/pv, mangaanin osalta 7-13 kg/pv ja sinkin osalta 0,5-3 kg/pv. Muiden raskasmetallien osalta päivittäiskuormitus oli hyvin pieni.

Kirjallisuus

- Beveridge, T.J. & Doyle, R. J. 1989. Metal Ions & Bacteria. Library of Congress Cataloging in Publication Data. 461 s.
- Carlson, L. & Schwertmann, U. 1981. Natural ferrosulfides in surface deposits from Finland and their association with silica. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 45, 421-429.
- Carlson, L. & Loukola-Ruskeeniemi, K. 1998. Raskasmetallien pidättyminen rautasaostumiin malmiesiintymien ja kaivosten ympäristössä. *Vuoriteollisuus* 3, 37-41.
- Hämäläinen, I. 1987. Hammaslahden sinkkimalmi. Julkaisematon pro gradu-tutkielma, Turun yliopisto, Geologian ja mineralogian laitos, 110 s.
- Hänninen, P. & Majaniemi, J. 2001. Maaperän pintaosien sähkönjohtavuuskartoitus; mittauksia ja esimerkkitapauksia. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti P31.4.027, 20 s.
- Jambor J. L. & Blowes, D. W. 1994. Short course handbook on environmental geochemistry of sulfide mine wastes. Mineralogical association of Canada, Waterloo.
- Kumpulainen, S. 2000. Hammaslahden Cu-Zn-Au kaivoksen saostumien mineralogia ja geokemia. Julkaisematon pro gradu tutkielma. Helsingin yliopisto, Geologian laitos, geologian ja mineralogian osasto, 76 s.
- Loukola-Ruskeeniemi, K., Gaal, G. & Karppanen, T. 1992. Geochemical and structural characteristics of a sediment-hosted copper deposit at Hammaslahti, Finland: comparison with Besshi-type massive sulphide deposits. Teoksessa: K. Loukola-Ruskeeniemi. *Geochemistry of Proterozoic metamorphosed black shales in eastern Finland, with implication of exploration and environmental studies*. Väitöskirja, Helsingin yliopisto. Geologian tutkimuskeskus, Espoo.
- Mustikkamäki, U.-P. 2000. Metallipitoisten vesien biologisesta käsittelystä Outokummun kaivoksilla. *Vuoriteollisuus* 1, 44-47.
- Nordstrom, D. K. & Alpers, C. N. 1999. Geochemistry of acid mine waters. Teoksessa: G. S. Plumlee and M. J. Longsdon (toim.) *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Part A: Processes, Techniques and Health Issues*. Society of Economic Geologists, *Reviews in Economic Geology*, Volume 6A, 133-160.
- Pelkonen, K., Alopaeus, E., Penttilä, S. & Korhonen, O. 1973. Outokumpu Oy:n Hammaslahden kaivos. *Vuoriteollisuus* 2, 90-96.
- Toivonen, Tapio 2001. Turvetutkimusten ja johtavuusluotausten käyttö Pyhäselän Hammaslahden kaivoksen jätealueen ympäristötutkimuksissa kesällä 2000. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti P 4.45.004, 28 s.



Liite 2. Pintavesien pH-arvot maastomittauspisteissä elokuussa 2000, Hammaslahden vanha kaivosalue.



	Toukokuu (n=2)			Kesäkuu (n=4)			Elokuu (n=6)			Lokakuu (n=5)		
	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
Tausta (Riihilampi 24,25 ja muut 28A, 29A, 49, 52)												
pH	6.5	6.5	6.5	6.2	4.9	6.8	6.2	5.1	6.7	5.6	3.3	6.7
Al µg/l	36.8	1.69	72	213	0.9	746	590	18.5	1660	658	0.9	2210
Fe mg/l	0.6	0.5	0.73	3.3	0.11	11.4	4.0	0.28	9.88	8.0	0.27	25.3
S mg/l	9.45	8.40	10.5	14.3	10.7	21.9	15.1	9.29	24.9	16.1	9.390	33.1
As µg/l	0.1	0.1	0.2	0.5	0.0	1.4	1.0	0.9	1.6	0.5	0.1	1.4
Cd µg/l	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.4	0.1	0.0	0.3
Co µg/l	0.3	0.1	0.6	1.1	0.0	3.9	5.0	0.1	19.0	3.9	0.1	15.0
Cr µg/l	0.2	0.1	0.2	0.5	0.1	1.4	4.9	4.9	4.9	1.0	0.1	2.6
Cu µg/l	0.6	0.3	0.9	7.4	0.1	26	5.6	0.9	21	3.5	0.0	11.0
Mn µg/l	92	85	99	180	13	531	236	68	450	320	180	540
Ni µg/l	4.3	3.5	5.0	5.6	2.7	9.1	11.0	2.5	28	12	1.9	42
Pb µg/l	0.1	0.02	0.1	1.1	0.0	3.2	0.7	0.1	1.3	0.8	0.02	2.1
V µg/l	0.1	0.01	0.1	0.5	0.0	1.9	1.2	0.9	1.8	0.6	0.01	2.6
Zn µg/l	6.9	5.9	7.8	36	4.1	108	59	6.7	198	35	11	77

	Toukokuu (n=2)			Kesäkuu (n=3)			Elokuu (n=3)			Lokakuu (n=4)		
	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
Iiksenjoki (21, 23, 27, 27B)												
pH	5.8	5.6	5.9	6.7	6.4	7.0	5.4	5.1	5.8	6.2	5.2	6.6
Al µg/l	236	217	255	117	74.2	182	215	113	323	2352	78.3	8990
Fe mg/l	0.91	0.82	0.99	0.79	0.68	0.99	0.73	0.41	1.29	10.1	0.40	38.0
S mg/l	11.0	10.7	11.3	19.8	14.7	25.6	42.7	38.3	50	132.0	14.9	437
As µg/l	0.2	0.2	0.2	0.2	0.16	0.19	0.9	0.9	0.9	0.2	0.12	0.52
Cd µg/l	0.1	0.1	0.1	0.1	0.03	0.17	0.2	0.14	0.19	0.3	0.03	0.78
Co µg/l	2.4	2.3	2.5	2.0	1.04	3.71	8.2	6.96	10.2	28.1	1.51	95.6
Cr µg/l	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	4.9	4.9	4.9	0.8	0.1	2.44
Cu µg/l	3.9	3.5	4.2	4.3	1.75	9.32	9.5	5.7	11.6	11.2	1.5	32.1
Mn µg/l	182	175	189	233	165	295	611	430	914	2715	220	9480
Ni µg/l	8.4	8.2	8.5	7.7	5.17	11.5	19.3	17.2	22.3	51.5	5.9	162
Pb µg/l	0.1	0.1	0.1	0.1	0.07	0.14	0.2	0.14	0.18	0.3	0.02	1.12
V µg/l	0.2	0.2	0.2	0.1	0.09	0.11	0.9	0.9	0.9	0.2	0.03	0.43
Zn µg/l	37	32	43	53	21	114	143	105	166	363	27	1200

Liite 3. Pintavesien pH ja alkuainepitoisuudet, keskiarvo, minimi ja maksimi vuoden 2000 seurannassa, Hammaslahti

	Toukokuu (n=2)			Kesäkuu (n=5)			Elokuu (n=6)			Lokakuu (n=6)		
	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
Itäojat (8B, 9, 28B, 10, 26, 31)												
pH	4.3	4.2	4.3	3.7	3.3	4.8	3.4	3.3	3.7	3.3	3.1	3.4
Al µg/l	1840	1280	2400	3151	657	10100	8913	2310	13200	5320	3460	9040
Fe mg/l	8.90	7.09	10.7	22.8	1.45	87.6	25.9	4.72	38.4	28.2	11.7	83.7
S mg/l	117	86	147	264	80	696	267	162	330	232	114	300
As µg/l	0.2	0.2	0.2	0.5	0.1	1.3	1.0	0.9	1.2	0.5	0.3	0.9
Cd µg/l	2.2	2.1	2.2	2.1	0.5	6.3	3.5	0.9	4.8	1.4	1.1	2.4
Co µg/l	30	22	37	28	3	57	82	53	107	64	29	92
Cr µg/l	0.2	0.2	0.2	1.0	0.1	2.6	4.9	4.9	4.9	1.2	0.9	2.3
Cu µg/l	90	77	103	138	53	395	261	30	366	76	18	176
Mn µg/l	1770	1170	2370	5020	760	16400	4183	2020	6360	3917	1590	6780
Ni µg/l	63	57	69	64	6	144	181	88	243	120	63	142
Pb µg/l	1.1	1.0	1.2	1.7	0.2	4.1	2.8	1.0	4.0	2.2	1.2	3.0
V µg/l	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1
Zn µg/l	1285	1260	1310	1361	119	3920	2011	644	2810	1154	933	2080

	Toukokuu (n=4)			Kesäkuu (n=5)			Elokuu (n=5)			Lokakuu (n=5)		
	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
Pohjoisojat (13,14,20,22,31B,30)												
pH	3.7	3.1	5.0	3.0	2.3	3.5	3.2	3.1	3.4	3.1	2.9	3.4
Al µg/l	11974	397	18200	16040	284	67400	3948	734	6520	4539	43.0	10200
Fe mg/l	37.5	34.2	41.0	213	13.9	978	33.5	7.52	52.6	20.8	0.75	37.4
S mg/l	307	230	383	552	417	1020	504	477	554	289	8.42	366
As µg/l	0.4	0.1	0.5	8.3	0.1	40	0.9	0.9	0.9	0.3	0.2	0.5
Cd µg/l	3.3	0.5	7.1	1.8	0.4	6.7	0.5	0.3	1.0	0.5	0.0	0.8
Co µg/l	123	47	170	213	23	884	54	26	78	57	0.3	99
Cr µg/l	1.0	0.9	1.2	17	0.9	80	4.9	4.9	4.9	0.9	0.2	1.2
Cu µg/l	364	17	803	32	6.8	58	29	7.9	64	16	0.4	31
Mn µg/l	6715	5770	7860	8960	3590	11000	9734	8610	11200	7406	100	9540
Ni µg/l	196	68	317	114	59	239	93	66	116	112	3.3	162
Pb µg/l	0.9	0.0	2.0	2.9	0.3	11	1.3	0.6	1.9	0.7	0.1	1.1
V µg/l	0.1	0.1	0.1	1.8	0.1	8.6	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1
Zn µg/l	1928	372	3340	9560	411	45100	779	472	1040	818	12	1240

Liite 3. Pintavesien pH ja alkuainepitoisuudet, keskiarvo, minimi ja maksimi vuoden 2000 seurannassa, Hammaslahti

	Toukokuu (n=6)			Kesäkuu (n=6)			Elokuu (n=2)			Lokakuu (n=1)		
	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo		
Selkeytysallas, ampumarata (2,3,4,5,6,7)												
pH	4.6	3.5	6.3	4.0	3.0	6.5	4.9	3.5	6.3	3.1		
Al µg/l	2579	7.74	9060	3481	7.91	7930	2458	85.0	4830	15300		
Fe mg/l	109	0.02	524	127	0.02	584	11.2	0.02	22.4	119		
S mg/l	294	40.7	1150	355	62.2	1190	127	69.1	185	449		
As µg/l	0.6	0.1	2.4	0.9	0.1	3.9	0.9	0.9	0.9	0.7		
Cd µg/l	5.9	2.8	9.9	4.8	3.3	7.6	2.8	2.3	3.3	2.3		
Co µg/l	59	12	189	67	5.0	189	37	18	57	83		
Cr µg/l	2.0	0.1	9.9	4.1	0.1	20	7.8	7.6	8.0	4.4		
Cu µg/l	266	9.4	452	262	49	466	172	84	260	255		
Mn µg/l	2406	156	7430	3221	49	8430	1236	212	2260	5410		
Ni µg/l	121	41	385	142	44	417	66	36	96	125		
Pb µg/l	1.7	0.02	6.5	2.8	0.03	8.7	0.5	0.2	0.9	1.2		
V µg/l	0.4	0.01	1.9	0.8	0.01	3.9	2.0	1.6	2.5	0.2		
Zn µg/l	4473	2480	6220	3945	2460	5440	2295	2060	2530	1880		
	Toukokuu (n=3)			Kesäkuu (n=3)			Elokuu (n=3)			Lokakuu (n=3)		
	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
Sortumaojat (11, 19, 18)												
pH	3.0	2.9	3.1	2.9	2.7	3.2	2.9	2.8	3.1	3.0	2.9	3.1
Al µg/l	25967	14000	34700	28847	3240	65900	22100	12900	28200	27233	11700	44700
Fe mg/l	150	67.1	237	309	24.0	833	592	115	1530	523	63.3	1360
S mg/l	644	478	787	755	457	1310	1030	580	1870	1049	559	1890
As µg/l	1.8	0.5	2.9	2.1	0.1	4.1	4.8	0.9	9.9	1.7	0.5	2.6
Cd µg/l	3.9	3.5	4.2	2.0	0.6	3.4	2.8	0.9	6.2	1.4	0.2	3.1
Co µg/l	314	117	516	331	47	718	363	124	605	350	119	636
Cr µg/l	6.4	0.9	9.9	8.7	0.9	20	25	4.9	50	5.1	1.3	11
Cu µg/l	211	169	280	158	21	378	297	37	704	113	13	298
Mn µg/l	12347	9040	14800	11667	10800	13300	11260	9480	13900	10733	9700	11500
Ni µg/l	461	271	564	301	86	595	343	170	525	364	185	627
Pb µg/l	1.2	0.6	2.1	2.6	0.8	4.0	2.1	1.9	2.4	0.9	0.2	1.5
V µg/l	1.8	0.1	3.0	1.6	0.1	3.9	4.1	0.9	9.9	1.1	0.1	2.0
Zn µg/l	2467	1750	2970	6281	732	16000	4490	1590	7890	6143	1450	14200

Liite 3. Pintavesien pH ja alkuainepitoisuudet, keskiarvo, minimi ja maksimi vuoden 2000 seurannassa, Hammaslahti

	Toukokuu (n=9)			Kesäkuu (n=9)			Elokuu (n=8)			Lokakuu (n=9)		
	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
Tausta (Riihilampi+muut)												
pH	5.3	3.3	6.5	5.8	3.4	7.1	6.1	3.4	7.4	5.8	3.8	7.0
Al µg/l	566	4.52	2300	590	0.90	2280	319	1.08	1720	632	0.90	4530
Fe mg/l	4.42	0.57	12.0	5.85	0.18	19.2	8.90	0.44	65.7	2.08	0.05	11.3
S mg/l	31.7	7.16	136	26.9	10.1	63.7	26.9	9.73	88.9	28.5	9.16	100
As µg/l	0.5	0.1	1.4	0.5	0.1	2.0	0.3	<0.04	1.1	0.2	<0.04	0.8
Cd µg/l	0.1	<0.02	0.3	0.1	<0.02	0.3	0.1	<0.02	0.5	0.4	<0.02	3.0
Co µg/l	4.3	0.1	11.8	3.6	0.1	14.9	5.3	0.1	35.6	6.4	0.04	47.4
Cr µg/l	0.8	<0.2	2.2	0.8	<0.2	2.5	0.5	<0.2	1.9	0.6	<0.2	1.9
Cu µg/l	13	0.1	55	6.6	0.1	28	3.0	<0.03	11	4.0	<0.03	15
Mn µg/l	424	70	1610	378	49	1030	392	63	1170	699	20	3300
Ni µg/l	11	2.9	30	11	1.7	37	13	0.6	78	14	0.8	100
Pb µg/l	1.0	<0.03	5.3	0.5	<0.03	2.4	0.2	<0.03	0.4	0.2	<0.03	0.5
V µg/l	1.2	0.3	3.2	1.0	<0.04	2.9	0.2	<0.04	0.9	0.4	<0.04	2.9
Zn µg/l	55	4.9	168	37	3.0	107	27	1.9	131	82	9.0	510

	Toukokuu (n=3)			Kesäkuu (n=3)			Elokuu (n=3)			Lokakuu (n=3)		
	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
Iiksenjoki (21,23,27)												
pH	5.3	4.8	5.7	6.4	6.2	6.5	6.5	6.4	6.6	5.5	4.0	6.4
Al µg/l	380	315	485	135	127	146	61.8	53.6	77.1	804	28.4	2340
Fe mg/l	2.0	1.31	2.7	0.9	0.7	1.07	0.4	0.19	0.57	0.9	0.11	2.55
S mg/l	26.0	21.4	34.7	21.0	18.9	22.1	22.0	18.0	29.5	40.9	27.0	68.3
As µg/l	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3
Cd µg/l	0.1	0.1	0.1	0.1	0.04	0.1	0.04	0.04	0.05	0.2	0.03	0.5
Co µg/l	4.0	3.2	4.6	2.3	1.7	3.2	2.1	1.6	2.7	6.4	2.9	13
Cr µg/l	0.4	0.4	0.6	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.7	0.1	1.9
Cu µg/l	5.7	3.7	7.6	3.1	2.1	4.9	2.6	1.5	3.7	11	1.0	30
Mn µg/l	329	266	432	258	218	284	238	156	378	503	330	840
Ni µg/l	10	9.3	11	8.0	6.4	10	6.3	5.3	6.8	16	6.2	33
Pb µg/l	0.3	0.2	0.4	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.02	0.2
V µg/l	0.7	0.3	1.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	0.5	0.1	0.1	0.3
Zn µg/l	66	36	97	42	28	68	28	24	33	157	40	360

Liite 4. Pintavesien pH ja alkuainepitoisuudet, keskiarvo, minimi ja maksimi vuoden 2001 seurannassa, Hammaslahti

	Toukokuu (n=6)			Kesäkuu (n=6)			Elokuu (n=6)			Lokakuu (n=6)		
	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
Itäojat (8B, 9,28B,10, 26,31)												
pH	3.6	3.4	3.8	3.4	3.0	3.7	3.2	2.9	3.4	3.1	3.1	3.2
Al µg/l	1906	906	3030	4366	675	13700	9445	1910	26800	20417	11900	40700
Fe mg/l	7.6	2.4	18.1	45.5	8.35	173	50.5	9.35	197	47.6	24.7	114
S mg/l	105	53.2	231	254	117	673	390	203	775	394	280	631
As µg/l	0.2	0.2	0.2	0.4	0.1	1.1	0.8	0.3	2.3	1.0	0.6	1.7
Cd µg/l	1.4	0.8	2.9	1.4	0.2	3.6	1.9	0.6	4.7	4.0	2.2	8.1
Co µg/l	35	21	55	46	19	120	65	34	164	94	66	162
Cr µg/l	0.4	0.1	0.9	1.4	0.3	4.1	4.0	1.2	15	16	3.1	55
Cu µg/l	62	10	145	117	6.7	364	144	31	377	252	123	521
Mn µg/l	2247	1400	3460	3463	1790	7950	5715	2380	9490	5282	3460	6920
Ni µg/l	53	33	72	86	28	209	140	61	314	231	160	395
Pb µg/l	1.5	0.4	2.3	4.4	0.3	9.1	1.7	1.2	2.4	2.6	1.7	6.0
V µg/l	0.6	0.1	1.2	0.2	0.1	0.4	0.6	0.01	2.7	1.2	0.1	2.7
Zn µg/l	1063	380	2600	1230	108	3180	1429	381	4150	2308	1490	4260

	Toukokuu (n=6)			Kesäkuu (n=6)			Elokuu (n=6)			Lokakuu (n=6)		
	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
Pohjoisojat (13,14, 35, 20B,22,30)												
pH	4.5	3.0	5.9	3.6	3.2	4.9	3.3	3.0	3.8	3.4	3.0	4.4
Al µg/l	3505	3.7	10700	4947	40	8380	4973	193	11400	10967	243	21700
Fe mg/l	38.6	28.0	73.8	25.0	14.8	32.1	28.1	15.2	47.1	43.6	19.6	69.2
S mg/l	260	183	317	534	436	640	580	556	634	595	544	681
As µg/l	0.4	0.1	1.3	0.3	0.2	0.4	0.4	0.3	0.6	0.8	0.3	1.0
Cd µg/l	1.0	0.3	3.1	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.4	0.5	0.1	1.0
Co µg/l	43	15	123	48	24	65	45	17	78	72	21	123
Cr µg/l	2.2	1.9	3.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	5.0	1.9	6.5
Cu µg/l	63	0.7	266	16	0.6	27	12	2.9	23	24	2.8	52
Mn µg/l	5692	4570	6550	9990	9370	10400	10282	9110	11400	9712	9330	10100
Ni µg/l	72	37	180	83	57	101	72	42	106	106	49	161
Pb µg/l	0.5	0.1	2.3	0.4	0.1	0.6	0.9	0.5	1.2	0.7	0.1	1.4
V µg/l	0.4	0.3	0.7	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1.1	0.3	1.9
Zn µg/l	791	227	2610	675	352	917	660	269	1160	983	290	1560

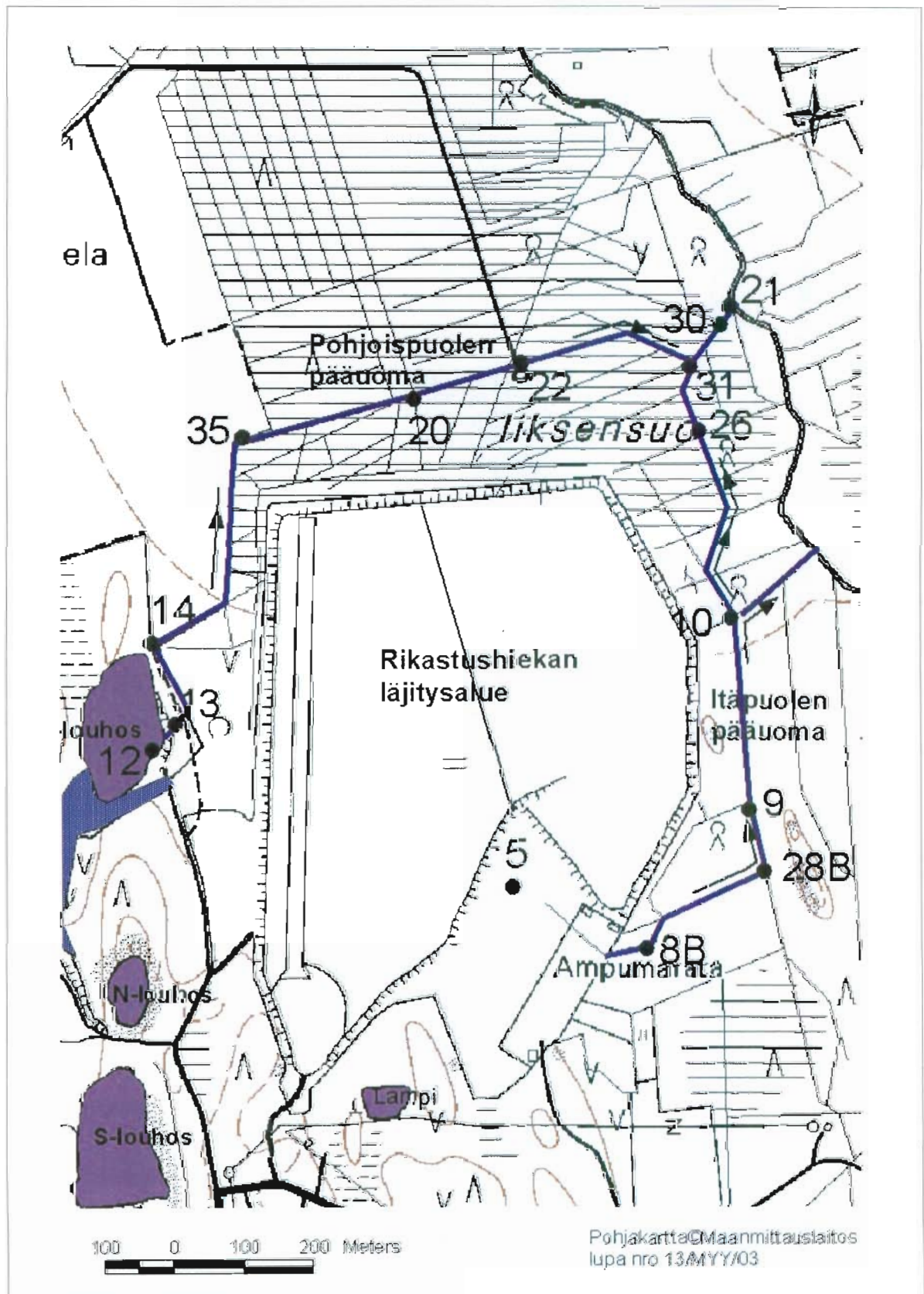
Liite 4. Pintavesien pH ja alkuainepitoisuudet, keskiarvo, minimi ja maksimi vuoden 2001 seurannassa, Hammaslahti

	Toukokuu (n=2)			Kesäkuu (n=2)			Elokuu (n=2)			Lokakuu (n=2)		
	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
Selkeytysallas (2,5)												
pH	4.6	3.3	5.8	5.0	3.2	6.7	4.5	3.0	6.0	4.6	3.2	6.0
Al µg/l	2439	107	4770	4069	8	8130	16022	43	32000	15026	53	30000
Fe mg/l	20.3	0.02	40.6	65.0	0.02	130	205	0.03	409	58.5	0.02	117
S mg/l	109	40	178	232	59	406	617	73	1160	348	128	567
As µg/l	0.3	0.1	0.4	0.4	0.2	0.6	2.0	0.1	3.9	0.8	0.2	1.5
Cd µg/l	2.4	1.9	2.9	1.4	1.2	1.6	4.3	3.3	5.4	4.7	4.4	5.0
Co µg/l	46	40	52	50	2.4	97	108	14	203	69	25	113
Cr µg/l	1.0	0.1	1.9	1.1	0.1	2.1	10	0.9	20	11	1.1	20
Cu µg/l	241	169	312	195	51	340	361	203	518	370	254	486
Mn µg/l	2500	2370	2630	3729	67	7390	9040	180	17900	3845	540	7150
Ni µg/l	65	58	72	74	32	116	180	89	270	157	86	228
Pb µg/l	0.4	0.02	0.8	2.2	0.1	4.4	0.7	0.0	1.5	0.8	0.4	1.3
V µg/l	0.2	0.04	0.3	0.2	0.1	0.3	2.0	0.1	3.9	1.7	0.3	3.1
Zn µg/l	2475	1800	3150	1750	1580	1920	5080	2930	7230	4315	3500	5130

	Toukokuu (n=3)			Kesäkuu (n=3)			Elokuu (n=3)			Lokakuu (n=3)		
	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
Sortumaojat (11,18,19)												
pH	3.3	3.1	3.6	3.1	3.0	3.3	2.9	2.8	3.0	3.2	3.0	3.3
Al µg/l	39200	8500	85700	40240	6220	100000	56773	6620	138000	87667	12800	214000
Fe mg/l	503	63.4	1280	490	44.5	1350	508	78.7	1280	690	80.2	1700
S mg/l	740	92.8	1660	1223	594	2250	1251	697	2220	1416	749	2690
As µg/l	2.3	0.3	4.6	4.0	0.3	9.9	4.2	1.7	8.8	4.6	1.3	11
Cd µg/l	3.1	0.8	7.1	1.0	0.3	1.4	0.7	0.5	1.1	1.0	0.5	1.4
Co µg/l	357	37	676	409	59	696	392	177	776	456	205	821
Cr µg/l	23	2.6	50	9.1	1.9	20	4.0	0.1	10	16	12	20
Cu µg/l	342	20	739	71	19	148	92	37	124	162	27	322
Mn µg/l	10760	1380	17400	15200	10100	19600	14700	12000	18900	12267	11100	12900
Ni µg/l	369	59	731	479	93	755	446	203	906	432	271	655
Pb µg/l	1.6	0.7	2.3	1.2	0.5	1.7	1.8	0.7	3.7	1.6	0.5	2.3
V µg/l	4.8	1.9	9.9	2.4	0.3	6.0	4.1	0.3	10	6.6	2.3	12
Zn µg/l	7233	369	17400	6683	802	18400	5412	796	12700	4923	990	11900

Liite 4. Pintavesien pH ja alkuainepitoisuudet, keskiarvo, minimi ja maksimi vuoden 2001 seurannassa, Hammaslahti

Liite 5. Hammaslahden vanhan kaivosalueen pintavesien pääkulkeutumisreitit liksenjokeen. Karttaan on merkitty pääomien näytteenottokohteet ja niiden pistenumerot. Piste 21 sijaitsee liksenjoessa ojaristeyksen pohjoispuolella.



Liite 6. Veden virtaumatopojen (piste 29B ja 30) sijainti Iiksenjokeen laskevissa ojissa, joihin laskee Hammaslahden vanhan kuparikaivosalueen pintavedet.

