

TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus

Molekyylierotusmenetelmällä

Molecular Unique Separation Technology
MUST

MUST tutkimuslaitos Vantaalla 2006-2013

Loppuneutraloinnin syötteen ja sen ylitteen puhdistus
2011-2013

Hannu L. Suominen, FT, Jukka Viitanen, DI, Matti Kankkunen, AD

TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus

Bioliuotus – Mytologiaa:

- Talvivaaran kaivoksen mustaliuske-esiintymä on tunnettu jo kauan. Geologinen alkuperä voi olla muinaisessa tulivuoritoiminnassa n. 600 milj vuotta sitten. Outokumpu Oy totesi aikoinaan, että mustaliuskeen metallipitoisuudet olivat niin pienet, etteivät ne riitä kannattavan kaivostoiminnan aloittamiseen.
- Kaksi lähekkäistä esiintymää sisältävät hiiltä n. 15 % ja sulfidimineraaleina pääasiassa rautaa, mangaania, alumiinia, magnesiumia ja erittäin pieniä määriä (n. 0,2 %) nikkeliä, sinkkiä, kuparia ja kobolttia.
- Sulfidimineraaleja sisältävien kallioiden rapautuminen (hapettuminen) ja sen seurauksena liukoisten metallisulfaattien vapautuminen geologisena ilmiönä tunnetaan hyvin. Rapautuvissa kallioissa esiintyy yleisesti rikkiä hapettavia bakteereja. Siksi tätä geologista rapautumista on kutsuttu myös “bioliuotus” eli “bioleaching” ilmiöksi. Ympäristövaikutusten kannalta ilmiö on hidas ja marginaalinen. Suomessa luonnonvesissä ei esiinny haitallisia määriä liunneita metalleja.
- Mutta kun kaivosinsinööri Pekka Perä sai tiedon tästä ilmiöstä, hän uskoi, että bakteerit voisivat liuottaa metallit mustaliuskeesta kannattavasti. Tietämättömyys, kokemattomuus ja ahneus johtivat mytologiseen uskomukseen ja valtavaan ekokatastrofiin. Sijoittajat ja rahoittajat olivat yhtä tietämättömiä ja mytologinen usko valtasi heidät ilman tietoa ja varmistusta.

TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus

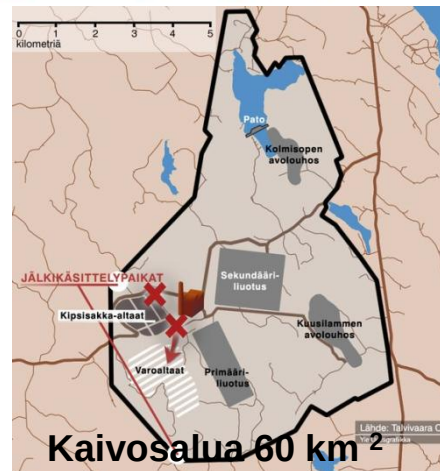
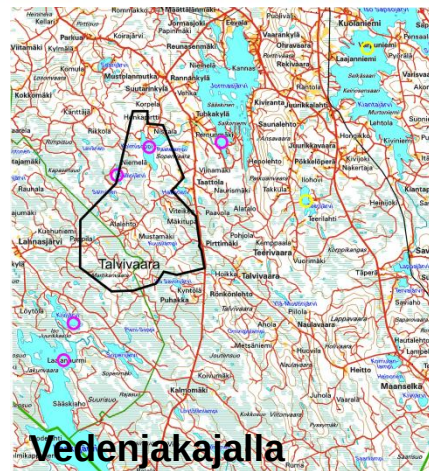
- Kun totuus kannattamattomasta menetelmästä paljastui, alkoi peittely ja vastuun pakoilu. Ekokatastrofin, kustannusten nousun ja pienen metallisaannon aiheuttajaksi syytettiin runsaita sateita eikä tolkutonta rikkihapon käyttöä ja sen neutraloinnin aiheuttamia kustannuksia ja ympäristön tuhoa. Totuuden paljastumista peiteltiin kaikin mahdollisin keinoin ja kaikkien mukana olleiden taholta.
- Tästä peittelystä ja sen mahdollistamasta “rakenteellisesta korruptiosta” syntyi elokuva “**JÄTTILÄINEN**”, mistä kiitos käsikirjoittaja Pekko Pesoselle.
- Tutustuin itse Talvivaaraan sattumalta, johtuen kaivostoimintaan liittyvistä tutkimuksistani, tuotekehityksestä ja patentoimistani menetelmistä ja tuotteista. (48 alkuperäistä patentti-hakemusta ja satoja patenttijulkaisuja myös muilta teollisuuden aloilta).
- Tutkimme Talvivaaran tapauksen kemiallisin kokein ja uutta teknologiaa hyödyntämällä. Kaivoksen vesien puhdistukseen käytimme uutta molekyylierotusmenetelmää ja “sulfaattijään” muodostamista. Sulfaatti- ja metallipitoisuuksien analysointiin käytimme erittäin tarkkaa röntgenfluoresenssianalyysiaattoria muiden kemiallisten analyysimenetelmien lisäksi. Tilaustutkimuksen analyysit teetti Talvivaara itse.
- Yhteenveto tutkimustuloksista esitetään seuraavassa ja tämän esityksen liitteissä.

TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus

Talvivaaran kaivos ja sen jätevedet 2008 - 2016:

1. Tapasin Talvivaara kaivososakeyhtiö Oyj:n (TV) teknisen johtajan Leif Rosenbackin ensimmäisen kerran vuonna 2008. Hänen mukaansa kaivoksen jätevesiongelmien oli ratkaistu.
2. 07.10.2011 lopetimme Talvivaaran tilaaman tutkimuksen kaivoksen jätevesien puhdistamiseksi. Kirjoitin tuloksista raportin: "Talvivaaran kaivoksen loppuneutraloinnin syötteestä (TV2) sovitusprosessilla ja MST-menetelmällä puhdistettu vesi (TV2AL4W)". Raportissa kuvataan haitallisten metallien talteenotto ja puhdistetun veden laatu. (Liite 1)
3. 01.12.2011 - 14.02.2012 jatkoimme omia tutkimuksiamme ja julkaisimme 14.02.2012 tuloksista raportin: "Talvivaaran kaivoksen loppuneutraloinnin ylitteen (TVLONE) puhdistus MST-menetelmällä (Tvlone MSTW)". Raportissa kuvataan kaivoksen jätevesien loppuneutraloinnista jääneen natriumsulfaatin poisto kiinteänä "sulfaattijäänä". (Liite 2). Kehittämälleni menetelmälle olen hakenut patentin yli 30 maassa.
4. 07.06.2013 julkaisin yhteenvedon Talvivaaran kaivoksen toiminnasta ja ehdotuksen sen rikkihappoliuotusmenetelmän korjaamiseksi, jätevesien puhdistamiseksi ja uuden menetelmän käyttöönotoksi, jolla kaivos saadaan kannattavaksi: "Talvivaaran kaivos ja bioliuotus" (Liite 3)
5. 20.11.2013 lähetin kirjeen Talvivaaran hallitukselle ja hallituksen puheenjohtajalle Tapani Järviselle (Liite 4). Kirjeen liitteenä olivat kaikki kaivoksen vesien puhdistustulokset. Kirjeeseen ei koskaan vastattu.
6. 2015 Talvivaara Kaivososakeyhtiö Oyj ajautui kannattamattomana konkurssiin. Valtion 100 % omistama Terrafame Oy otti TV:n haltuunsa; **ylläpitokustannukset yli 20 milj. €/kk!!!.**

TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus



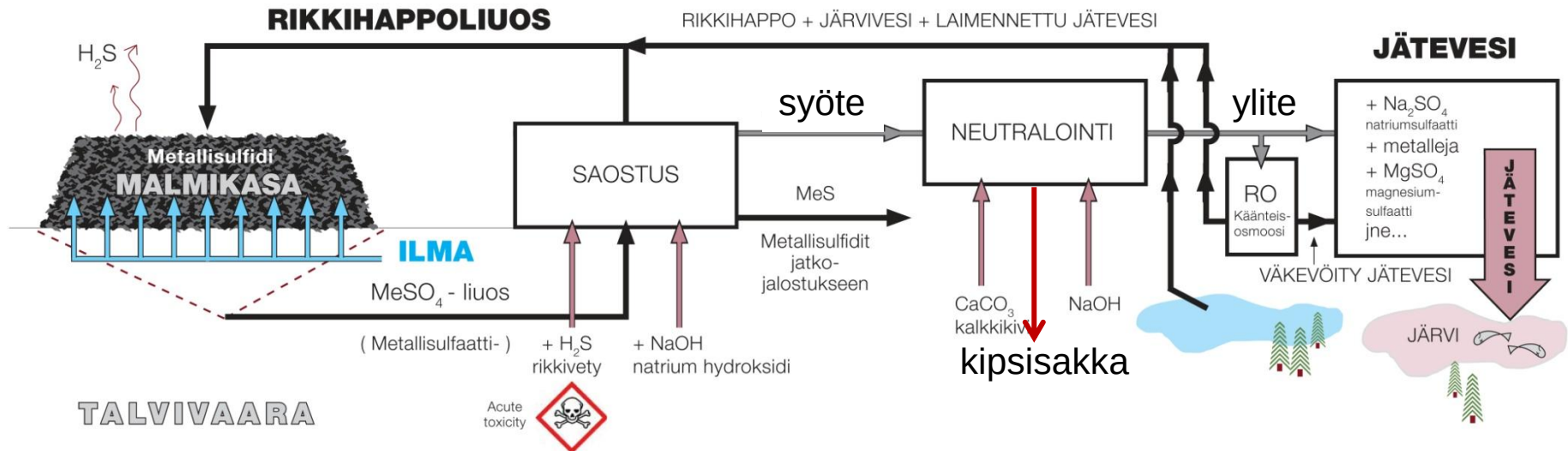
Kuva 1: Talvivaaran Nikkelikaivoksen sijainti Suomessa

TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus

“BIOLIUOTUS”-MENETELMÄ

1 tn Ni => 500 m³ Na₂SO₄ - liuosta / eli 10.000 tn Ni => 5.000.000 m³ jätevettä

Tri Hannu L. Suominen 26.2.2015

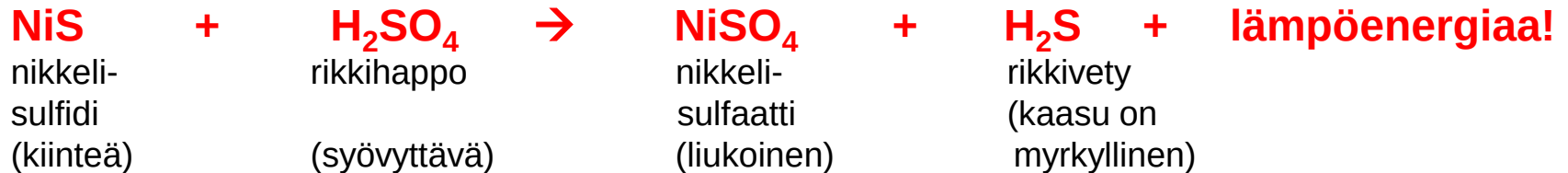


Kuva 2: Talvivaaran kaivoksen toiminta perustuu rikkihappoliuotukseen: Metallisulfidit liukenevat rikkihappoon. Kun ilmaa pumpataan läjiin kerätyn, murskatun malmikiven läpi, liukenevat mm nikkeli ja sinkki sulfaatteina rikkihappoliuokseen. Metallisulfaatit pelkistetään takaisin metallisulfideiksi rikkivedyllä, jolloin ne saostuvat. Metallisulfidisakat otetaan talteen ja rikkihappoliuos neutraloidaan natriumhydroksidilla ja kalkkikivellä, mistä syntyy kipsisakka ja natriumsulfaattipitoinen jätevesi järviin ja jokiin **ja hallitsematon ympäristön tuhoutuminen, joka ulottuu Itämerelle.**
TV:n nikkelin tuotantokustannusarvio: n 75.000 €/tn, kun pörssihinta oli 8.500 €/tn, 2/2016.

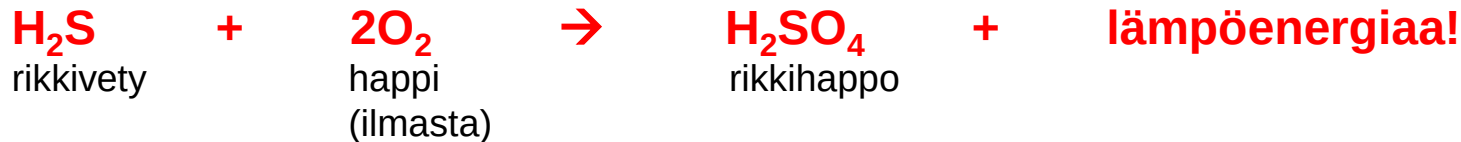
TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus

Taulukko 1: Metalisulfidien liuotus- ja talteenottokemiaa:

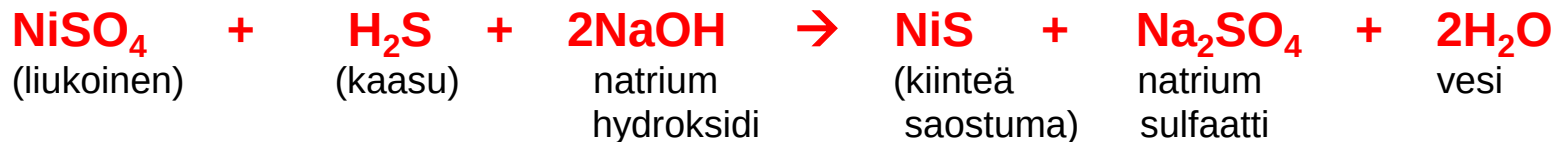
1) Liuotusreaktiot rikkihappoliuotuksella liuotuskasassa:



2) Hapetusreaktio ilmastuksella liuotuskasassa:



3) Saostusreaktiot rikkivedyllä ja natriumhydroksidilla metallien talteenotossa:



4) Osittainen neutralointireaktio metallien talteenotossa:

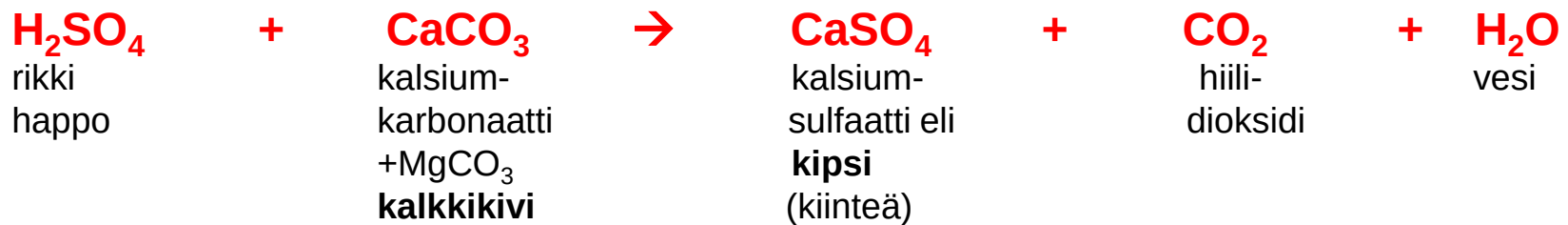


⇒ Jäljelle jää natrium- ja magneesiumsulfaattipitoinen hapoliuos, jossa on myös metalleja kuten rautaa, alumiinia, mangaania ja magnesiumia. Happoliuos menee syötteenä loppuneutralointiin.

TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus

Taulukko 2: Loppuneutraloinnin kemiaa:

1) Rikkihapon loppuneutralointi (LONE) kalkkikivellä, joka sisältää kalsium- ja magnesiumkarbonaatteja:

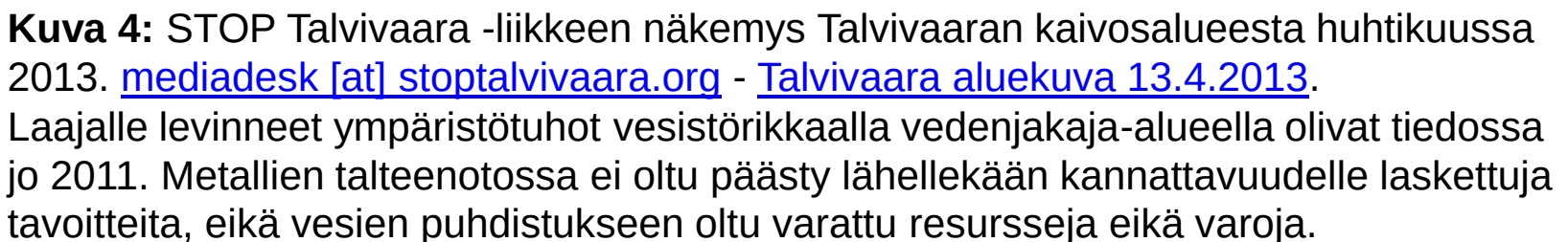


Kalkkikivi neutralisoi rikkihapon ja muodostaa kalsiumsulfaatti- eli kipsisaostuman vain osittain, koska se sisältää n. 30 % magnesium karbonaattia, mikä muodostaa liukoista magnesiumsulfaattia. Se pysyy liukoisena loppuneutraloinnin ylitteessä. Jos pH on loppuneutraloinnissa yli 8,5, silloin useimmat metallit, jotka ovat happoliuoksessa liukoisina, kersaostuvat osittain metallihydroksideina kipsisakan muodostuessa. Natriumsulfaatti pysyy liuoksessa ja joutuu loppuneutraloinnin ylitteen mukana ympäröiviin vesistöihin muiden saasteiden mukana.

TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus



Kuva 3: Talvivaaran kaivosalue vuonna 2012, jolloin lopetimme puhdistuskokeet. Kannattamaton kaivostoiminta ja valtavat ympäristötuhot johtivat siihen, että Suomen Valtio otti kaivoksen haltuunsa 2015. Rikkihappoliuotuksen ja malmin pienten metallipitoisuuksien vuoksi kaivos ei voi kannattaa ja toiminta loppunee vuonna 2016.



TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus



Kuva 5: Ilmakuva Talvivaaran kaivoksesta ja sen ympäristöstä Sotkamossa kesäkuussa 2013; Kipsisakka-altaat ovat syntyneet rikkihapon neutraloinnissa käytetystä kalkkikivestä. Altaat vuotavat yhä enemmän toimintaa jatkettaessa.

TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus



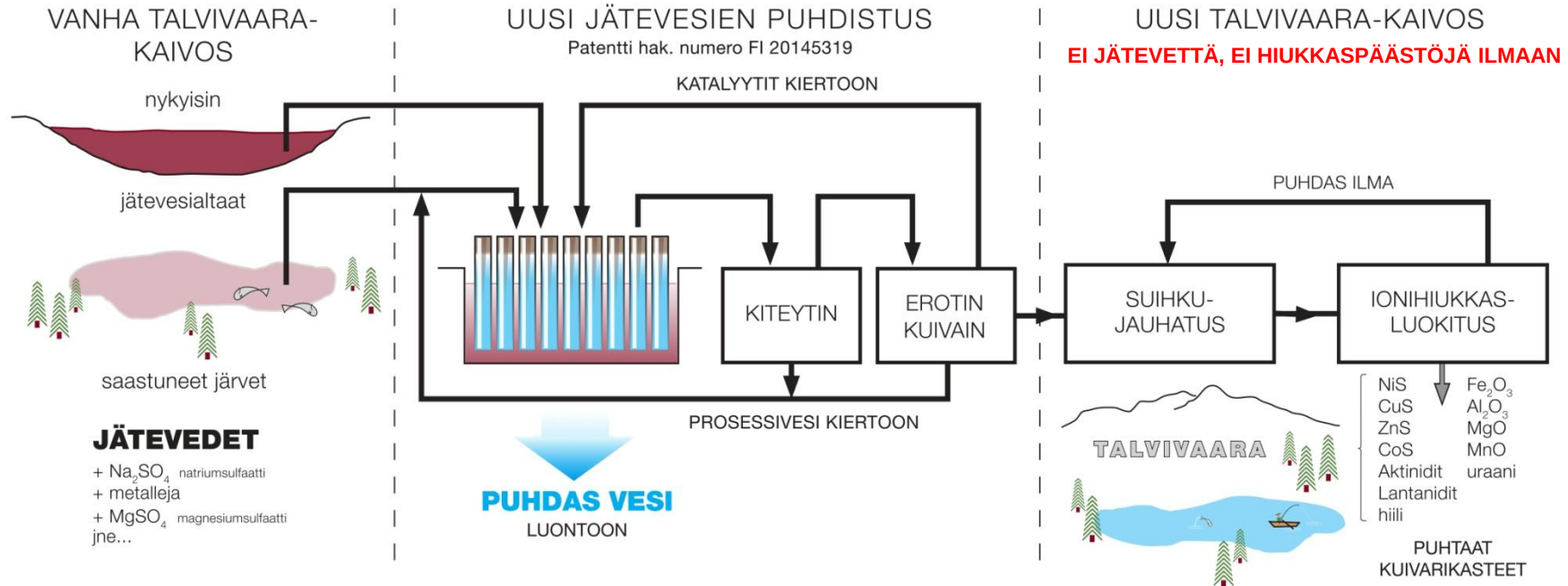
Kuva 6: Talvivaaran jätevedet valuvat hallitsemattomasti luontoon, 2013. Rikkihappoliuotuksessa käytettiin n. 250.000 tonnia väkevää rikkihappoa vuodessa, kun tuotettiin n. 10.000 tonnia nikkeliä. Tästä on syntynyt n. 5 miljoonaa kuutiota eli 5.000.000.000 litraa puhdistamatonta jätevettä, jota on johdettu jatkuvasti ja tarkoituksella ympäristöön jo yli 5 vuotta (yhteensä n. 25 milj. m³).

TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus

PUHDASVESIMENETELMÄ

Tri Hannu L. Suominen 26.2.2015

“Bioliuotus”-menetelmä lopetetaan ja sen tuottama jätevesi (n. 10 milj. m³) sekä jälkihoidossa syntyvä jätevesi (n. 10 milj. m³) puhdistetaan **kaivosalueella**, => kaivos siirtyy käyttämään kuivarikastusmenetelmää.



Kuva 7: Me puhdistimme Talvivaaran kaivoksen jätevedet MUST pilotissa toistuvasti vuosina 2011 – 2013. Loppuneutraloinnin syöttestä otettiin talteen arvokkaat ja haitalliset metallit ja sulfaatista (n.30.000 mg/l) poistettiin n. 93 %. Loppuneutraloinnin ylitteestä poistettiin sulfaatti (7.000 mg/l) haitattomalle tasolle (200 mg/l; yli 97 %). Uraania syötteessä oli noin 30 mg/l. Pienen määrän talteenotto ei kannata. Uraania ei puhdistetuista vesistä löytynyt.

TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus



Kuva 8: MUST koelaitos jota käytettiin Talvivaaran loppuneutraloinnin syötteen ja sen ylitteen puhdistukseen. Reaktorikennot keskellä alhaalla ja erotustornit niiden yläpuolella



Kuva 9 MUST-vedenpuhdistin, joka rakennettiin asiakkaan kaatopaikan suotovesien puhdistukseen. Reaktorikennot keskellä suojuksen alla..

TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus

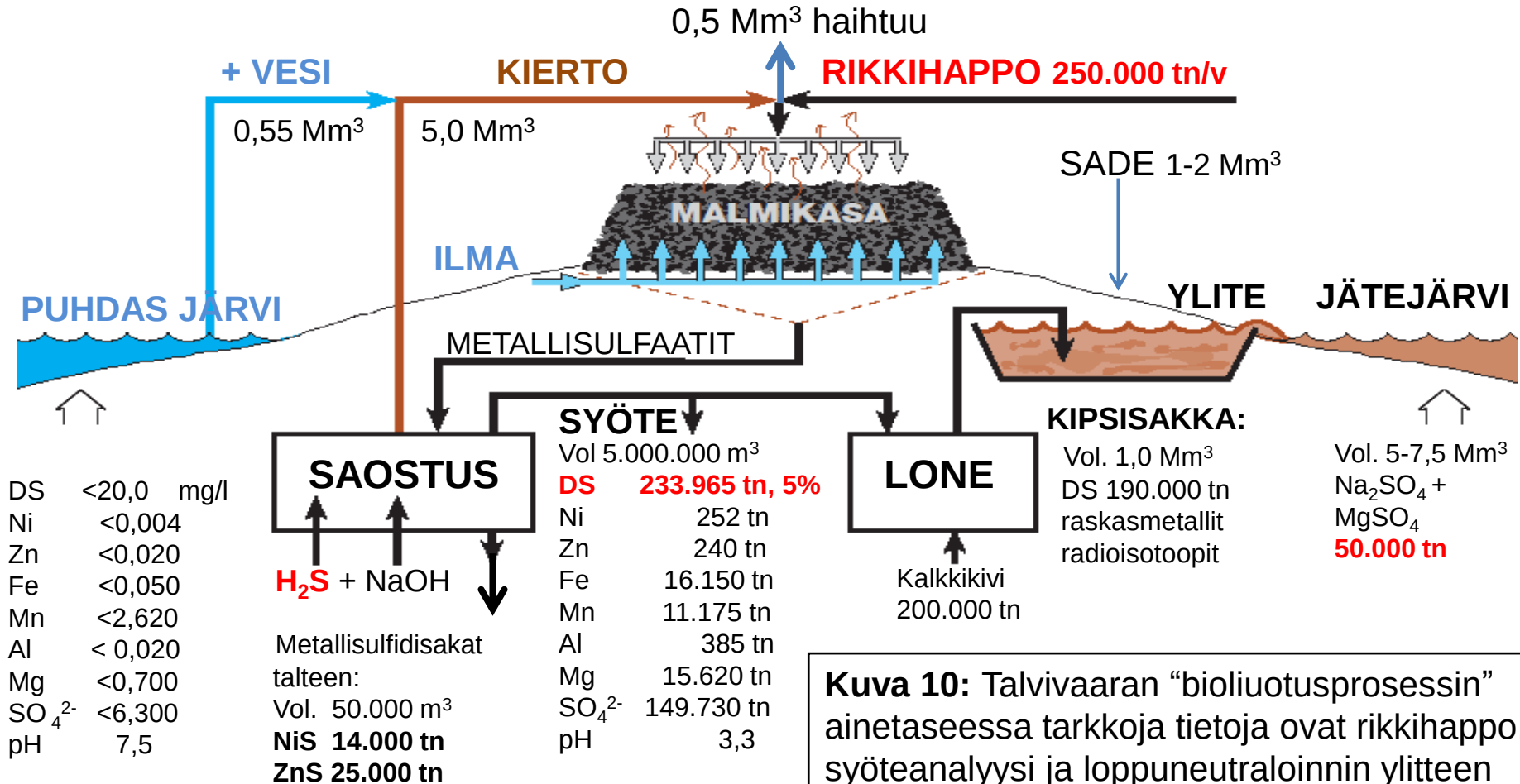
Taulukko 3: Loppuneutraloinin syötteen ja loppuneutraloinnin ylitteen MUST-puhdistus

Parametrit	yksikkö	syöte	MUST	R %	jokireferenssi	yksikkö
pH (syöte)		3,3	8,6	-	7,5	-
Conduct.	mS/cm	20,9	3,0	>99,00	0,3.0	mS/cm
DS	mg/l	46.793,0 (1)	2.465,0	>99,99	<20	mg/l
Ni	mg/l	50,5	0,044	>99,99	< 0,004	mg/l
Zn	mg/l	48,0	<0,02	99,99	< 0,020	mg/l
Co	mg/l	0,91	0,066	99,99	-	mg/l
Cu	mg/l	0,13	<0,03	99,99	< 0,020	mg/l
Fe	mg/l	3.236,0	<0,05	99,99	<0,05	mg/l
Mn	mg/l	2.235,0	0,0691	99,99	2,62	mg/l
Al	mg/l	77,0	2,032	99,99	<0,02	mg/l
Mg	mg/l	3.124,0	94,74	97,0	<0,7	mg/l
Ca	mg/l	61,0	417,6	9,4	4,6	mg/l
Na	mg/l	1.762,0	318,7	82,0	1,0	mg/l
SO₄⁻²	mg/l	29.946,0 (1)	2.158,0	92,8	6,3	mg/l
U	mg/l	< 30,0 (3)	0,185	> 99,00	<0,0001	mg/l
SO₄⁻² (ylite)	mg/l	7.000,0	200,0 (2)	97,0 (>99 syöte)	6,3	mg/l
U	mg/l	<0,2 (3)	<0,0001 (2)	100,0	<0,0001	mg/l

(1) Syöte neutralointiin, (2) puhdistettu ylite luontoon, (3) Arvio, tarkat analyysitulokset puuttuvat.

TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus

TALVIVAARAN “BIOLIUOTUSPROSESSIN” AINETASE



Kuva 10: Talvivaaran “bioliuotusprosessin” ainetaseessa tarkkoja tietoja ovat rikkihappo, syöteanalyysi ja loppuneutraloinnin ylitteen (LONE) sisältämät Na- ja Mg-sulfaatit.

TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus

Taulukko 4: Ainetase on laskettu sillä perusteella, että väkevää rikkihapoa on käytetty 250.000 tn liuottamaan 14.000 tn nikkelisulfidia (10.000 tn Ni) vuodessa. Loppuneutraloinnin syötteen ja ylitteen analyysien perusteella (taulukko 3) syötteen tilavuus on ollut vähintään 5.000.000 – 7.400.000 m³. Kemiallisissa liuotus- ja hapetusreaktioissa (taulukko 1: 1) ja 2) on vapautunut lämpöenergiaa vähintään **478,2 GWh/v. Reaktioiden lämpömäärä riittää keittämällä höyrystämään n. 500.000 m³ vettä/v!**

Loppuneutraloinnin syöte (ainetase laskettu tilavuudelle 5.000.000 m³):

Parametri	mg/l	tn/v	€/tn	M €/v	E/GWh/v
Ni (nikkeli)	50,5	252,0 (10252) ⁽³⁾	8.500	87,14 ⁽³⁾	126,2 ⁽³⁾
Zn (sinkki)	48,0	240,0 (17113) ⁽³⁾	1.700	29,00 ⁽³⁾	62,2 ⁽³⁾
Co (koboltti)	0,91	4,55	22.700	0,103	-
Cu (kupari)	0,13	0,65	4.600	0,003	-
Fe (rauta)	3.236,0	16.150,0	220	3,55	66,4
Mn (mangaani)	2.235,0	11.175,0	1.500	16,76	51,6
Al (alumiini)	77,0	385,0	1.550	0,60	5,4
Mg (magnesium)	3.124,0	15.620,0 (32.800) ⁽²⁾	1.720	26,87	166,4
SO₄²⁻ (sulfaatti)	29.946,0	149.730,0	-	-	-
Na (natrium)	1.762,0	8.810,0 (18.381) ⁽¹⁾	100	1,84	-
Loppuneutraloinnin ylite:			yhteensä:	116,14	<u>478,2</u>
Na₂SO₄ ⁽¹⁾	10.000,0	50.000,0	100	5,00	

(1) laskettuna Na- ja (2) Mg-sulfaattina. Ylitteestä luontoon menee 50.000 tn sulfaatteja ja yli 10.000 tn myrkyllistä mangaania.

(3) metallien talteenotto mukana laskelmissa.

TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus

Taulukko 5 Liukoiset sulfaatit ovat olleet kaivosteollisuuden jätevesien vakavin ongelma jo viimeiset 150 vuotta. MUST- menetelmällä poistimme sulfaatin ja erotimme uraanin Phelps Dodgen Bisbeen kuparikaivoksen jätevesistä jo vuonna **2007**. Referenssitutkimuksen tulokset taulukossa alla:

Parametri	jätevesi (mg/l)	MUST (mg/l)	R (%)	Jääjärvi (mg/l)
pH	2,4	8,3	-	7,5
Sulfaatti	36.700,0	35,7	99,90	<50,0
Uraani ⁽¹⁾	2,16	0,000192	99,99	0,0001
Nikkeli	11,2	0,06	99,46	<0.01
Kupari	247,0	0,15	99,93	<0,20
COD	1.880,0	ND ⁽²⁾	100,00	<5,0

(1 Phelps Dodgen Bisbeeen kuparikaivoksen (AZ, USA) jätevesi sisälsi uraania 2,16 mg/l eli noin 10 x enemmän kuin Talvivaaran nikkelikaivoksen loppuneutraloinnin ylite, mutta sitä ei kannattanut ottaa talteen vaikka saostimme ja eristimme uraanin kvantitatiivisesti.

(2 ND = Not Detected

TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus



Kuva 11: Phelps Dodgen Bisbeen kuparikaivoksen (AZ, USA) kuparisulfaatti jätevesi puhdistettuna MUST-menetelmällä vuonna 2007.

TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus

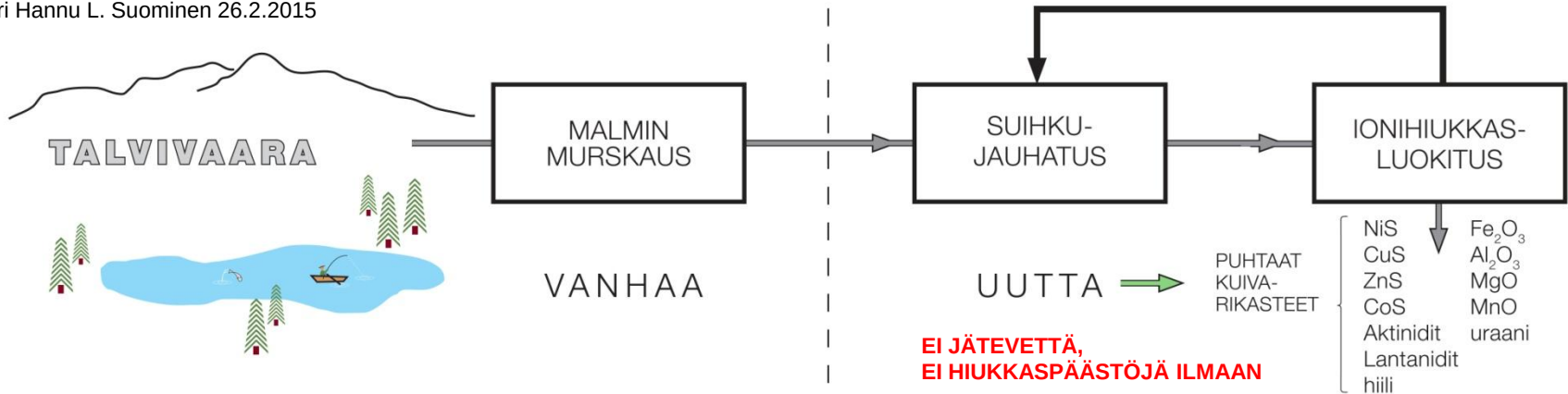


Kuva 12: Talvivaaran kaivoksen loppuneutraloinnin ylitteestä sulfaatti poistettiin kiinteänä **“sulfaattijäänä”** ensimmäisen kerran 2012. (pat.hak. no. 20145319).

TALVIVAARA ja kaivosvesien puhdistus

KUIVARIKASTUSMENETELMÄ 0-päästömenetelmä

Tri Hannu L. Suominen 26.2.2015



Kuva 13. Malmin käsittely kuivarikastusmenetelmällä: Arvokkaat mineraalit ja alkuaineet erotetaan murskatusta malmista suihkuhatuksella ja ionihiukkasluokittimella. Kuivarikastusmenetelmässä **ei tarvita vettä eikä jätevettä synny**. Myös ilma pysyy puhtaana. Menetelmä on Tri Hannu L. Suominen ja hänen yhteistyökumppaneittensa kehittämä ja kansainvälisesti patentoima. **Nikkelin tuotantokustannus uudella menetelmällä on n. 5.000 €/tn, kun tuotanto on 30.000 tn/v. Nikkelin hinta raaka-aine pörssissä oli n. 8.500 €/tn helmikuussa 2016.**