

Jukka Kettunen

KYLMÄT MATERIAALIT KUPARISULATOLLA

Kemiantekniikan koulutusohjelma

Kemiantekniikka

2013

KYLMÄT MATERIAALIT KUPARISULATOLLA

Kettunen, Jukka

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Kemiantekniikan koulutusohjelma

Tammikuu 2013

Ohjaaja: lehtori, dipl.ins. Hannelius Timo, SAMK

Valvoja: dipl.ins. Lehtola Tuomas, Boliden

Sivumäärä: 69

Liitteitä: 27

Avainsanat: Analyysit, Revertit, Jähmettyneet

Tiivistelmä

Insinööriyössä selvitettiin kylmien materiaalien synty ja niiden syöttö takaisin prosessiin niiden kemiallisten analyysien perusteella. Kylmillä materiaaleilla eli reverteillä tarkoitetaan kaikkia prosessin eri vaiheissa sulasta tilasta jähmettyneitä (=kylmiä), kuparipitoisia materiaaleja. Analyysit tehtiin Boliden Harjavallan laboratoriossa semiQ -XRF laitteella, jolla mitattiin kupari-, rauta- ja rikki pitoisuudet, sekä kaikki muut alkuaineet, joita näytteet sisälsivät.

Insinööriyössä tutustutaan teorian pohjalta Boliden Harjavallan käyttämän ja Outokumpu Oy:n sulfidisille rikasteille kehittämän autogeenisen liekkisulatusmenetelmän perusteisiin, liekkisulatusprosessiin sekä analyysien perusteella oikeisiin kohteisiin syötettäviin kylmiin materiaaleihin.

Tutkituista kylmistä materiaaleista parhaimpia konverttereihin syötettäviä ovat blisteripataholkeista syntyvä murska, joka voidaan syöttää lähes sellaisenaan suoraan konverttereihin sekä kivipataholkeista syntyvä murska, joka isompina paloina voidaan syöttää kuonapuhallusvaiheessa konverttereihin. Muut murskat syötetään murskauksen jälkeen liekkisulatusuuniin.

COLD MATERIALS COPPER SMELTER

Kettunen, Jukka

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Chemical Engineering

January 2013

Supervisor: Lecture, M.Sc. Hannelius Timo, Satakunta University of Applied Sci.

Supervisor: M.Sc. Lehtola Tuomas, Boliden

Number of Pages: 69

Appendices: 27

Keywords: Analyzes, Revert, Solidified, melting, copper

Abstract

Final work investigated the reverts generation and feeding to right parts of process based of their chemical analyzes. Cold materials, or Revert, means all stages of the process from the melt solidified state (= cold), copper-materials. Cold materials are defined to be all copper materials solidified from fused copper in the process. The analyzes were performed in the laboratory of Boliden Harjavalta by using semiQ-XRF analysis equipment all elements, which were present in samples, e.g. copper, iron and sulfur, could be measured by the equipment.

Final work introduces the theory of autogenous flash smelting of sulfidic concentrates developed by Outokumpu, which is also used at Boliden Harjavalta, and the optimal places to feed cold mater based on the analyzes.

The best reverts to feed in to the converters are crushed blister pot sleeves because they can be fed almost directly to the converters and also the resulting stone pot sleeves which can be fed as larger chunks to slag blowing stage of converters. Other crushed reverts can be fed after crushing into the flash smelting furnace.

Kemialliset merkinnät
Alkuaineet

Ag	hopea
Al	alumiini
As	arseeni
Ba	barium
Bi	vismutti
C	hiili
Co	koboltti
Cu	kupari
F	fluori
Fe	rauta
H	vety
Mg	magnesium
Mn	Mangaani
Mo	molybdeeni
Na	natrium
Ni	nikkeli
O	happi
Pb	lyijy
S	rikki
Se	seleeni
Si	pii
Te	telluuri
Zn	sinkki

/1/

Yhdisteet

Al_2O_3	alumiinioksidi
CaO	kalsiumoksidi
$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	kalsiumsilikaatti
Cu_2O	kuparioksiduuli
$\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{FeS}$	kuparikivi
CuO	kuparioksidi
$\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$	rautasilikaatti
FeS	rautasulfidi
H_2SO_4	rikkihappo
MgO	magnesiumoksidi
N_2	typpimolekyyli
O_2	happimolekyyli
S_2	rikkimolekyyli
SeO_2	seleenioksidi
SO_2	rikkidioksidi
SO_3	rikkitrioksidi

/7/

Mineraalit

CuS	koveliiitti
CuS_2	kalkosiitti
Cu_2S	digeniitti
Cu_5FeS_2	borniitti
CuFeS_2	kuparikiisu
$\text{Fe}_2 \cdot \text{SiO}_4$	gammafajaliitti
Fe_3O_4	magnetiitti

FeO	wüstiitti
FeS ₂	rikkikiisu
SiO ₂	kvartsi
ZnS	sinkkivälke

/7/

Symbolit

MeO	metallioksidi
MeSO ₄	metallisulfaatti
Σ	summa
λ	Happikerroin
λ_i	happikertoimen summa
m_i	massaosuus
H	polttoarvojen summa
h_i	polttoarvo
Nm ³	normikuutiometri
t SS	syöttöseoksen syöttö/virtausmäärän suhde

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	2
Abstract	3
Kemialliset merkinnät.....	4
Yhdisteet.....	5
Sisällysluettelo	7
1. Johdanto.....	9
2. Kuparilinja.....	10
2.1. Liekkisulatuslinja.....	11
2.2. Liekkisulatusuuni.....	11
2.2.1. Syöttöseoksen syöttölaitteet.....	15
2.2.2. Murskan syöttö	16
2.2.3. Rikastepoltin	17
2.2.4. Reaktiokuilu.....	17
2.2.5. Alauuni.....	18
2.2.6. Nousukuilu	18
2.2.7. Lentopölyn jälkihapetus ja sulfatointi	19
2.3. Liekkisulatusuunin kaasulinja.....	20
2.4. Kattila.....	20
2.5. Sähkösuodin	21
2.6. Uunien jäähdytysvesikierto.....	21
2.7. Kuparikiven konvertointi.....	22
2.7.1. Konvertterien jäähdykkeet.....	24
2.7.2. Konvertterikaasujen käsittely	24
2.8. Anodiuuniprosessi	25
3. Kokeellinen osio.....	26
3.1. Murskien syntypaikat	26
3.2. Kokeellisen osion suoritus.....	27
3.2.1. Kivipatamonttu	27
3.2.2. Konvertterien edustat.....	28
3.2.3. Konvertterien laskeutumiskammiot	28

3.2.4. Liekkiuunin nokitusbunkkerit	28
3.2.5. Pataholkkien näytteet.....	28
3.3. Tulokset	28
3.3.1. Kivipatahyllyn monttu	28
3.3.2. Kupari liekkiuunin nokitusbunkkerit.....	30
3.3.3. Konvertterien edustat	31
3.3.4. Konvertterien laskeutumiskammiot.....	32
3.3.5. Kivipataholkit	34
3.3.6. Loppukuonapataholkki	34
3.3.7. Blisteripataholkki	35
3.3.8. Eri murskajakeissa syntyvä kupari eroteltuna.....	36
3.4. Tulosten arviointi.....	39
3.4.1. Kivipatahyllyn alunen	40
3.4.2. Nokitusbunkkerit	40
3.4.3. Konvertterien edustat.....	40
3.4.4. Konvertterien laskeutumiskammiot	40
3.4.5. Kivipataholkit	41
3.4.6. Loppukuonapataholkit	41
3.4.7. Blisteripataholkit	41
3.5. Johtopäätökset	41
Liitteet.....	42
Lähdeluettelo	69

1. Johdanto

Kupari on tuotantomäärältään kolmanneksi tärkein metalli raudan ja alumiinin jälkeen. Kuparin ja kuparipitoisten seosten käyttö perustuu niiden erinomaisiin fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin kuten sähkön- ja lämmönjohtavuuteen sekä korroosionkestävyyteen. Tärkeimpiä kuparia sisältäviä seosmetalleja ovat messingit (kuparin ja sinkin seoksia), pronssit (kuparin, tinan ja eräiden muiden metallien seoksia) sekä seoshopeat, joihin on kuparin lujuusominaisuuksien ja koneistettavuuden parantamiseksi lisätty esim. hopeaa, seleeniä tai radiumia. Noin 90 % maailman primäärikuparista on peräisin sulfidisista malmeista. Kuparin kokonaisvalmistusvolyymistä romupohjaisella raaka-aineella on suuri merkitys. /6/

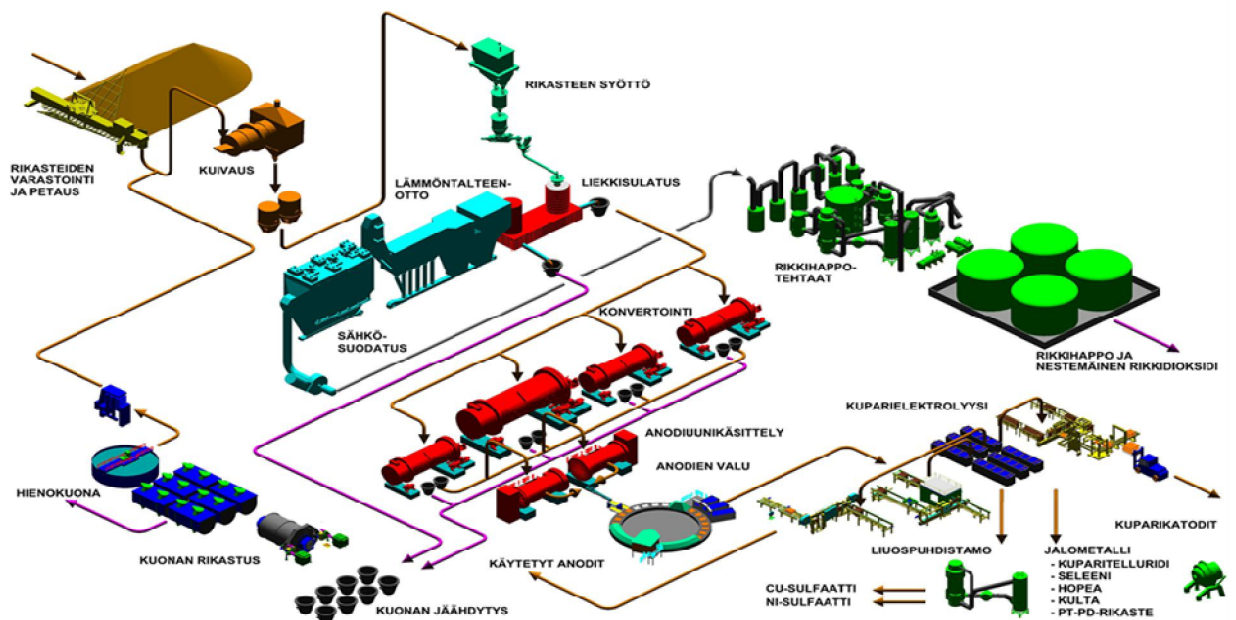
Kuparirikasteiden käsittely metalliseksi on Boliden Harjavalta Oy:n toinen pääprosessilinja. Tämän materiaalin päätarkoitus on käsitellä murskan syntyä ja niiden sijoittelua sulatolla.

Harjavallassa käytetään liekkisulatusmenetelmää sekä nikkeli- että kuparirikasteiden sulatukseen. Liekkisulatusmenetelmä tuottaa tarvitsemansa energian polttamalla rikasteessa olevia sulfideita. Sulatuksessa syntyvää ylimääräistä lämpöenergiaa hyödynnetään myös muissa tuotantoprosesseissa sekä paikallisesti kaukolämmön tuotannossa. /2/

Liekkiiuunista otettava kuparikivi konvertoidaan raakakupariksi Peirce-Smith – konverttereissa. Konvertointia seuraava prosessivaihe on sulan raffinointi (puhdistus) anodi-uunissa. Sulaton lopputuote, anodikupari, sisältää noin 99,3 % kuparia. /2/

Lopputyössä käsitellään kylmiä materiaaleja. Kylmillä materiaaleilla eli reverteillä tarkoitetaan kaikkia prosessin eri vaiheissa sulasta tilasta jähmettyneitä (=kylmiä), kuparipitoisia materiaaleja. Kylmät materiaalit ovat konverterihallin puolella syntyviä ns. hukkamateriaaleja, jotka syntyvät esimerkiksi kivenlaskun yhteydessä. Kuten, rännikamit kivenlaskussa, kiveä siirrettäessä padoissa konverttereihin [pataholkit], konvertoidessa sularoiskeet ja laskeutumiskammioihin lentävät sularoiskeet ja niiden syntymistä eri tuotantovaiheissa, erityisesti työssä paneudutaan murskien syntyyn. Murskaa syntyy liekkiiuunialueella ja erityisesti konvertterialueella. Liekkiiuunialueella syntyvä murska tulee lähinnä kivipäästä ja jätelämpökattilasta, konverttereilla syntyvä murska tulee pataholkeista, turpakameista, konvertterien edustan roiskeista ja laskeutumiskammioista. Näytteet on myös kerätty kyseisiltä paikoilta eli rännikameista, jätelämpökattilan bunkkerista, kivipataholkeista, konvertterien edustan roiskeista ja laskeutumiskammioista analysointia varten. Murskamäärän punnitukset on suoritettu eri yhtiöiden toimesta. Valtasiirron, Lassila & Tikanojan sekä Boliden Harjavallan toimesta.

Tämä aineisto on jaettu tuotantoprosessin mukaisesti eri osiin käsiteltävän materiaalin kulkusuunnassa. Kuparituotannon prosessikaavio on esitetty **kuvassa 1.** /2/



Kuva 1. Kuparituotannon prosessikaavio./2/

2. Kuparilinja

Harjavallassa kuparin valmistusprosessi koostuu syöttöseoksen valmistuksesta ja rikasteiden kuivauksesta, liekkisulatusprosessista, konvertoinnista, anodiuunikäsittelystä, anodivalusta sekä kuonarikastuksesta. Anodit käsitellään edelleen puhtaaksi kupariksi ja sen sivutuotteiksi Porin elektrolyysissä. /2/

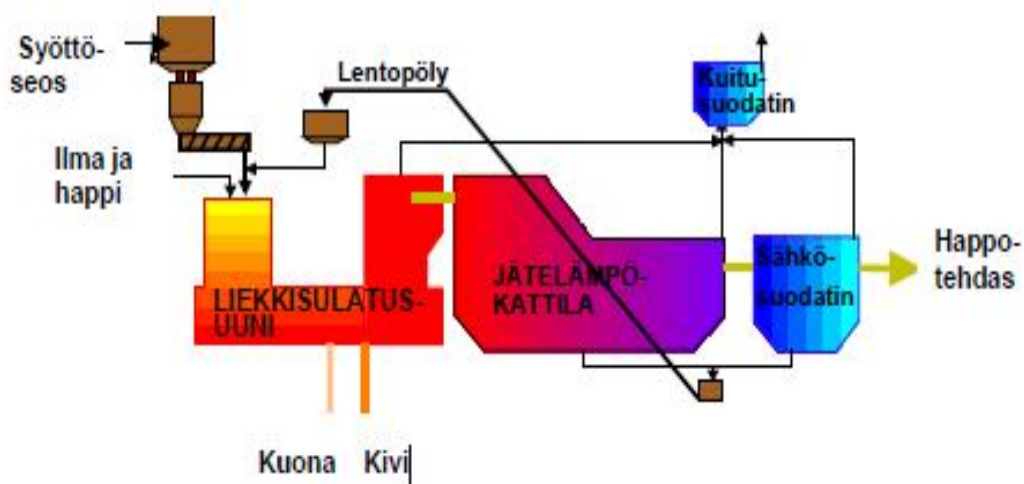
Kuparirikasteissa oleva rauta erotetaan kuparista kuonaamalla eli rauta reagoi silika-pitoisen hiekan piidioksidin (SiO_2) kanssa ja näin muodostuu kuonaa useassa vaiheessa, koska sulatuskuonan kuparipitoisuus nousee (sulfidi) kiven rikastuessa eli sen kuparipitoisuuden noustessa. Jatkuvatoimisen liekkisulatusuunin kuona on tasalaatuista ja sen kuparipitoisuus on matala. Konvertterit toimivat panoksittain. Niiden kuonissa kuparipitoisuus on liekkisulatuskuonia korkeampi ja se nousee puhalluksen edetessä. Puhallukseksi sanotaan tilannetta kun konvertteriin puhalletaan happirikastettua ilmaa hormiputkien kautta. Kupariliekkisulatusuunin ja konverttereiden kuonat käsitellään kuonarikastamolla, jossa tuotettava kuonarikaste palautetaan liekkisulatukseseen. Konvertoinnin loppukuona ja anodiuunin kuona palautetaan konvertointiin eikä niitä

kierrätetään kuonarikastamon kautta. Liekkisulaton tuotantoprosessiin syötettävästä kuparista saadaan noin 99 % talteen. /2/

2.1. Liekkisulatuslinja

Liekkisulatusprosessi perustuu sulfidisen rikasteen hapetusreaktioissa (esim. rikin ja raudan hapettuminen) syntyvän lämpöenergian hyväksikäyttöön sulatuksessa. Liekkisulatusuuni tarvitsee siksi vain vähän ulkoista energiaa (mm. öljyä, maakaasua tai hiiltä, Harjavallassa käytetään öljyä). Liekkisulatuksessa yhdistyvät aiemmin kuparin valmistusprosessissa käytetyt, erilliset prosessit pasutus, sulatus ja osittainen konvertointi yhdeksi prosessivaiheeksi. /2/

Kupariliekkisulatusuunin virtauskaavio on esitetty **kuussa 2**.



Kuva 2. Kupariliekkisulatuslinjan virtauskaavio. /2/

Sulfidien palamis- eli hapettumisreaktiot tyypillisten kuparirikasteiden tapauksissa voidaan kirjoittaa yksinkertaistetussa muodossa rikasteiden päämineraaleille, kuparirikki- ja magnetiittikiisulle: Yhtälöiden (1)-(3) mukaisesti, jotka ovat kappaleessa 2.2.4. /2/

2.2. Liekkisulatusuuni

Liekkisulatusuuni käsittää seuraavat pääosat:

- rikastepoltin, joka muodostaa prosessikaasusta ja syöttöseoksesta tasalaatuisen suspension,
- reaktiokuilu, jossa tapahtuu pääosa syöttöseossuspension palamisreaktioista (hapetus-) ja panoksen ainakin osittainen sulaminen,
- alauuni, jossa tapahtuvat reaktiot muodostavat kiveä ja kuonaa; se toimii myös sulien varastona ja kivipisaroiden lasketusaltaana,
- nousukuilu, jossa sulat ja kiinteät pölyhiukkaset erottuvat prosessilämpökattilaan johdettavasta kaasusta ja jossa happea tai ilmaa syöttäen jälkipoltetaan ja sulfatoidaan

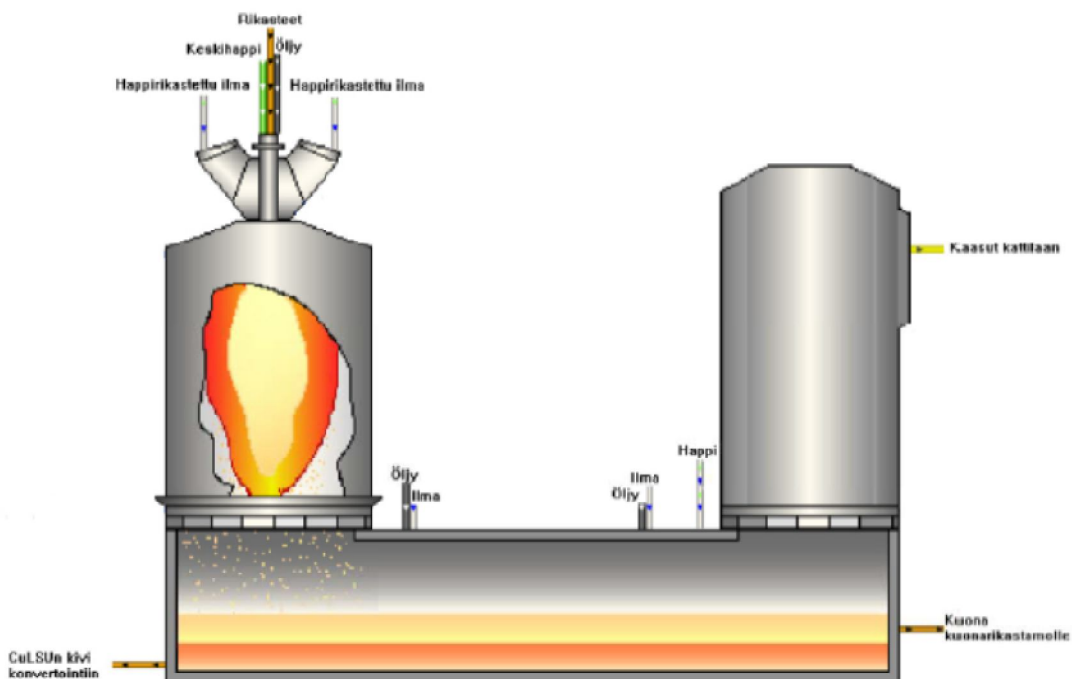
pölyhiukkaset. Lentopölyjen sulfidien hapetuksella alauunissa ja nousukuilussa oksideiksi estetään matalalla sulavien, siten kittaavien sulfidipartikkelien päätyminen kattilaan ja sen säteilyverhoille. Siellä ne saattavat keräytyä hyvin suuriksi kasvettumiksi verhojen takareunoille ja väleihin. /2/

Nousukuiluun voidaan myös kierrättää pesuhappoa, jolloin se hajoaa alkuaineikseen. Pesuhappoa syntyy kun sulatolta tuleva rikkiatrioksidipitoinen $[SO_3]$ kaasu reagoi happotehtaan pesutorneissa veden kanssa ja pyrkii näin väkevöittämään sitä, väkevöitynyt pesuhappo laimennetaan vedellä. /2/

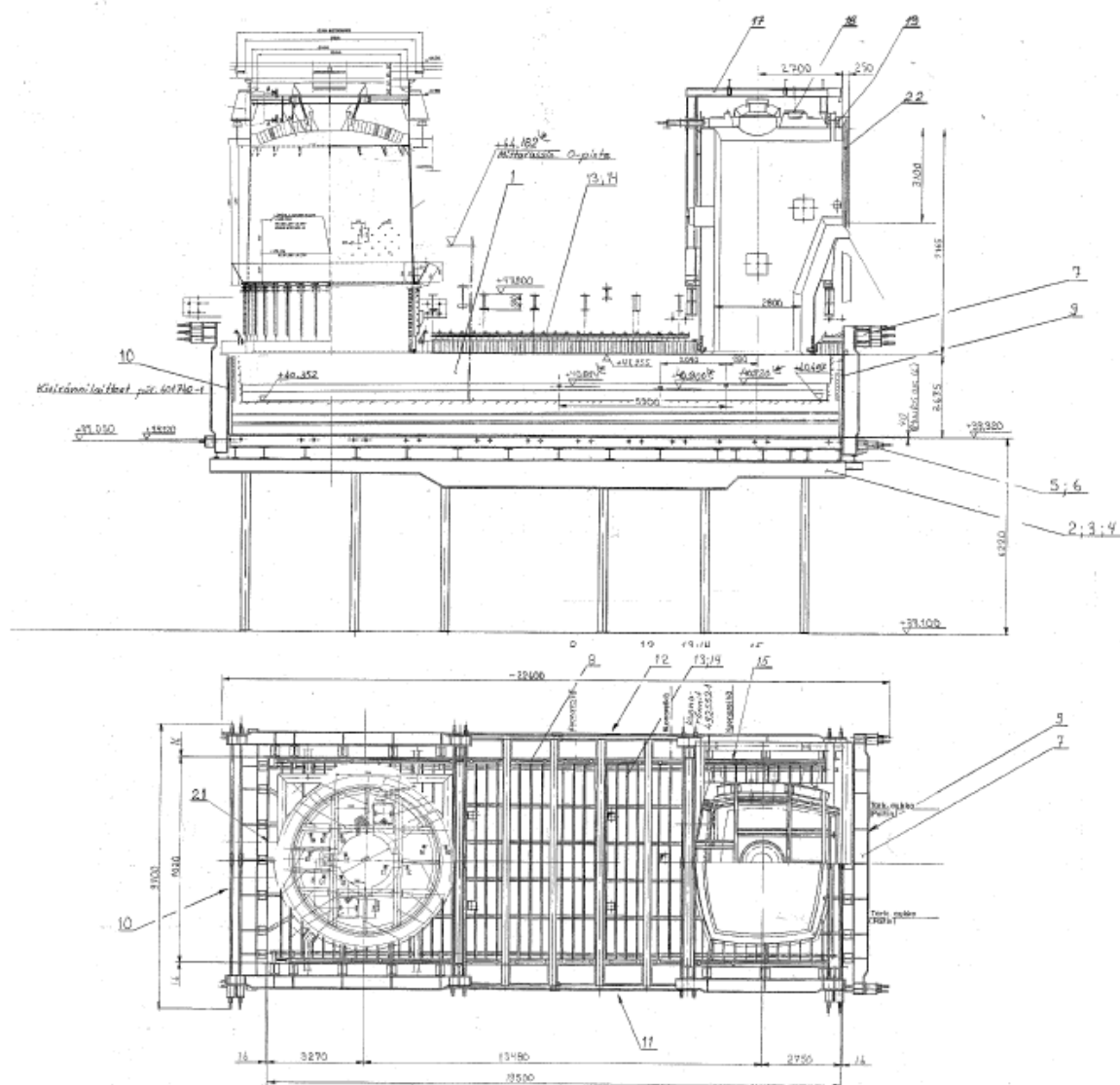
Kaasu ja rikaste sekoittuvat tehokkaasti polttimen jälkeen ja syntyvä suspensio leviää tasaisesti reaktiokuiluun. Homogeenisen suspension sulfidiset rikastepartikkelit kuumentuvat konvektion ja säteilylämmön avulla syttymislämpötilaansa. Syttyttyään partikkelit reagoivat eksotermisesti ja osittain sulavat reaktiokuilussa. Samanaikaisesti hapen osapaine reaktiokuilussa laskee niin, että se on lähes olematon kaasun poistuessa reaktiokuilusta alauuniin. Polttimen tärkein tehtävä on saada aikaiseksi homogeeninen kaasu-partikkeli -seos, minkä ansiosta reaktiokuilun reaktiot ovat hyvin nopeita. /2/

Reaktiokuilua jäähdytetään ulkopuolelta vesivälelun avulla. Kuilun ja alauunin kriittisiin osiin on asennettu vesijäähdytettyjä kuparilaattoja uunin rakenteiden turvaamiseksi. Uunin ulkopuolisella jäähdyttämällä mahdollistetaan myös uunia suojaavan autogeenivuorauksen syntyminen. /3/

Kuva 3. selvittää liekkisulatusuunin rakennetta ja toimintaperiaatetta kaavamaisesti.



Kuva 3. Kuparilinnan liekkisulatusuuni kaavamaisesti esitettynä: reaktiokuilu (RK), alauuni ja nousukuilu sekä reaktiokuilun päällä olevat prosessikaasun ja rikasteen syöttölaitteet. /2/



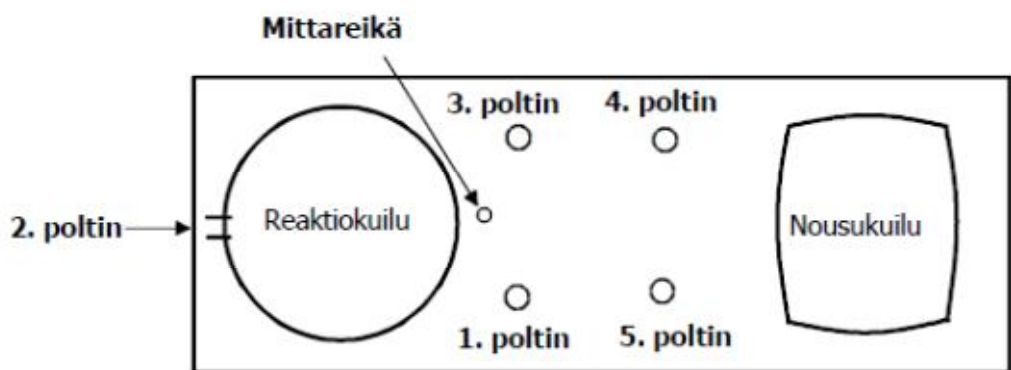
Kuva 4. Kupariliekkiuunin teräsrakenteet, josta havainnollistuvat sen reaktiokuilu ja nousukuilu sekä lämpöliikkeen kompensoinnissa tarvittavat jousirakenteet. /2/

Liekkisulatuksessa syntyy kylmiä materiaaleja, lähinnä murskaa, jota lopputyössä käsitellään. Murskaa syntyy kun kiveä lasketaan patoihin rännejä myöten. Kivi kerääntyy ränneihin lopulta tukkien ne niin, että ne pitää tyhjentää. Tyhjennys tapahtuu rautakangen ja piikkauspyssyn avulla. Ränneihin kerääntynyttä kiveä kutsutaan yleisesti kameiksi ja nämä kamit pudotetaan patojen alla olevaan patamonttuun, josta kauhakuormaaja käy ne tyhjentämässä konvertterihallin itäpäätyyn murskattavaksi. Samalla hallipatojen reunoille kerääntyy kiveä joka laskun yhteydessä hieman, kunnes padasta joudutaan tyhjentämään liian suureksi kasvanut holkki. Tyhjennys suoritetaan nosturin avulla pataa toista pataa vasten kolauttamalla hallin itäpäädyssä. Holkeista,

rännikameista [kivipatahyllyn alta] on otettu näytteet kiviprosentin sekä muun koostumuksen analysointia varten. Analysointi on suoritettu tehtaan laboratoriossa XRF semi Q menetelmällä [röntgenlaitteella] ja analyysit on esitetty erillisessä liitteessä.

Alauunin sivulla on kaksi kuonanlaskureikää ja vesijäähdytteinen liikkuva ränni, josta kuona otetaan pataan. Sekä kivireiät että kuonareiät ovat vesijäähdytteisiä. /2/

Kuparikivi lasketaan liekkiuunin päädyssä uunin pohjan tasalle sijoitetuista kivirei'istä. Kivireikien suukappaleet ovat kuparisia. Kiveä lasketaan normaalisti kahdesta reiästä kerrallaan. Reiät avataan happipillillä polttamalla ja suljetaan savimassalla, eli topilla joka on savesta kartion malliin muotoiltu savikartio. Kuparikivi siirretään padoissa nosturilla konverttereihin. **Kuva 5.** osoittaa paikat joista mitat otetaan. /2/



Kuva 5. Kuparilinjan LSU:n alauunin holvi öljypolttimet reikineen sekä mittarassin paikka. /2/

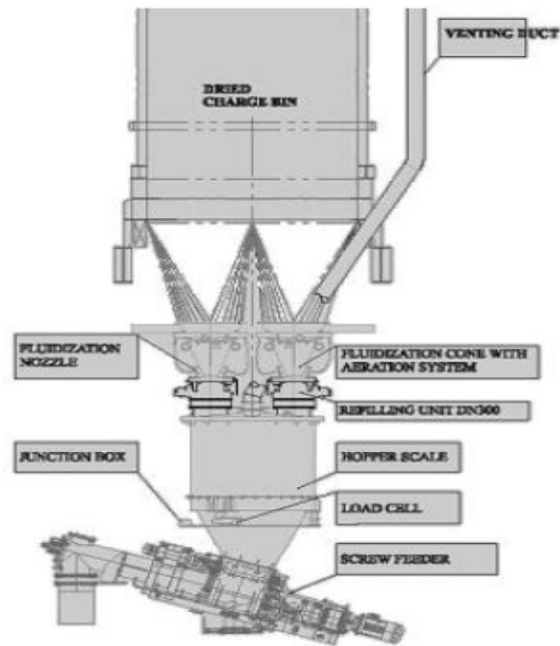
Uunin kivipäädyn työskentelytason alle saadaan rataa pitkin kaksi kivipataa, jotka täytetään samanaikaisesti. /2/

Kuona lasketaan liekkiuunista kuonareikien kautta, jotka sijaitsevat uunin sivussa nousukuilun etureunan alla, 500 mm:n korkeudella pohjasta. Toinen kuonarei'istä on käytössä ja toinen varalla. Kuonareiät avataan polttamalla happipillillä ja suljetaan toppisavella. Kuona lasketaan laskurännin alla oleviin 30 t `kiirunapatoihin`, jotka viedään Kiiruna-trukilla kuonan jäähdytysalueelle. /2/

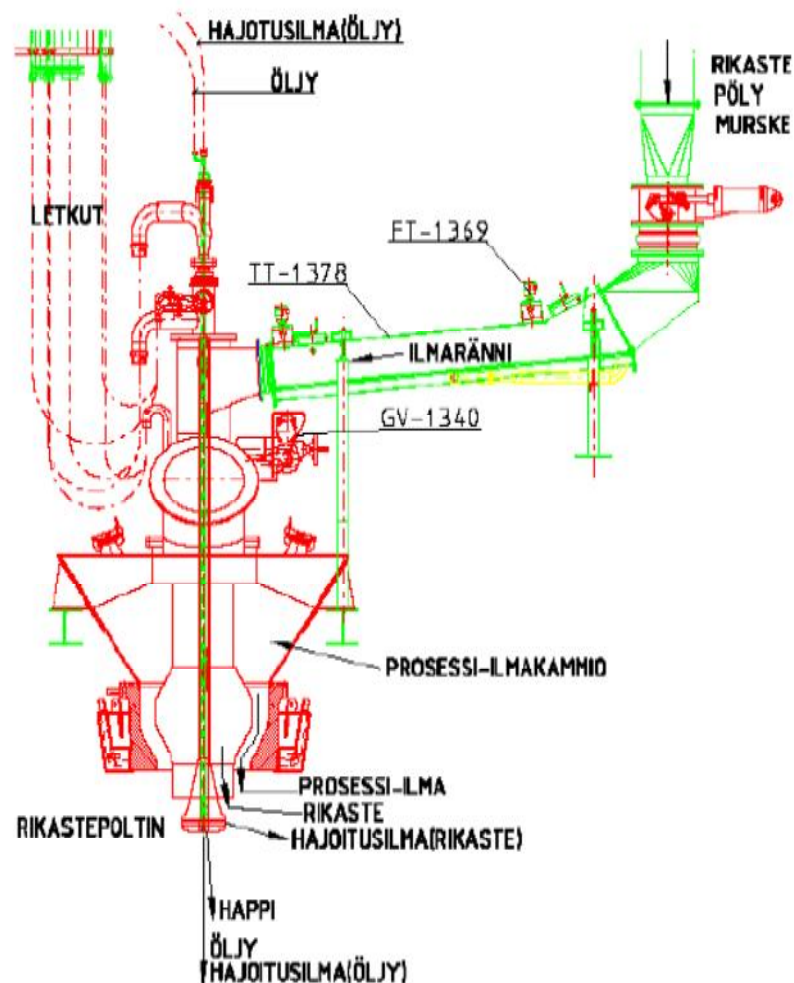
2.2.1. Syöttöseoksen syöttölaitteet

Loss-in-Weight-laitteisto

Kuivauksen jälkeen syöttöseos varastoidaan välivarastosiiloissa, joista se siirretään pneumaattisesti 6-kerrokseen loss-in-weight (LIW) – syöttölaitteiston kuivasyötesiiloon. Laitteisto koostuu kuivasyötesiilosta, annostelusiilosta ja syöttöruuveista, jotka syöttävät syöttöseoksen ilmarännille johdettavaksi ”rikastepolttimelle”. LIW-systeemi on esitetty **Kuvassa 6.** ja ilmarännisysteemi yhdessä rikastepolttimen kanssa **Kuvassa 7.** /2/



Kuva 6. Loss-in-weight syötin (LIW-) punnitussiiloinen. /2/



Kuva 7. CuLSU:n rikastepoltin ja sen ilmaränni; syöttimet ovat ilmarännin takana. /2/

LIW on jatkuvatoiminen, punnitukseen perustuva annostelija, joka säättää syötön kiintoaineen virtausmäärää ruuvien pyörimisnopeudella annosteluosiilon painon vähenemän mukaan (eli "loss-in-weight"). /2/

2.2.2. Murskan syöttö

Kivipatojen holkkeja ja hallin kuparipitoisia siivousjätteitä sisältävä kuparimurska käsitellään sekä varastoidaan sulaton itäpäässä. Osa murskasta syötetään murskauksen jälkeen konverttereille (isommat kokkareet), valtaosa jauhetaan alle 10 mm:n kokoon ja seulotaan 4 mm:n seulalla. Seulan ylite (4-10 mm) syötetään murskan syöttölaitteiden kautta rikastepolttimeen ja pienempi (<4 mm) syötetään rikastevaraston kautta, rikasteseoksen mukana. Murskassa on kuparia 30–50 % ja rikkiä alle 10 %. Valtasiirto syöttää sulaton itäpäässä olevaan alasiiloon murskaa koksihallista kaivinkoneella. Siilosta murska kuljetetaan kauhaeleavaattorilla kuudenteen kerrokseen, jossa se kuljetetaan hihnakuuljetinta pitkin yläsiiloon. /2/

Kuivaamolta tulevan syöttöseoksen lisäksi ilmarännille syötetään murskaa sekä prosessilämpökattilasta, sähkösuodattimelta ja konvertertien sähkösuodattimelta palautettavat pölyt. Konvertertien sähkösuodattimelta tulevat pölyt kuljetetaan pneumaattisesti pölysiiloon. Muut pölyt tulevat hihna- ja ketjukuljettimilla. /2/

Syöttöseos, murska ja pöly syötetään ilmarännin kautta rikastepolttimeen. /2/

2.2.3. Rikastepoltin

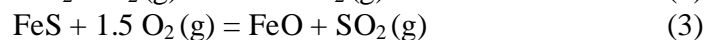
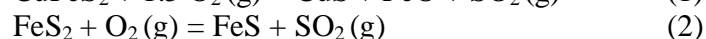
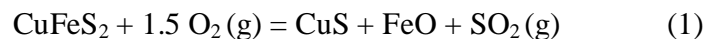
Rikastepoltin on liekkisulatuslinjan keskeisin prosessilaite, jonka hyvään ja oikeaan toimintaan perustuu syöttöseoksen tasainen hapetus sekä mm. lentopölyjen muodostuminen ja nousukuilun happipitoisuus (lentopölyjen muodostuminen ei ole toivottavaa). Nousukuilun happiylimäärällä varmistetaan jälkihapetus, mutta vapaata happea halutaan olevan mahdollisimman vähän. Poltin johtaa suspendoimansa syöttöseoksen ja prosessikaasun oikeassa suhteessa, ajallisesti koko ajan samalla tavoin, reaktiokuiluun ja jakaa sen tasaisesti yli koko kuilun poikki pinnan. /2/

Nyt käytössä oleva CuLSU:n keskeissuihkuhajotusperiaatteella toimivan rikastepolttimen maksimi kapasiteetti on 130t/h syöttöseosta. Rikastepolttimen rakenne on esitetty **kuvassa 7**. /2/

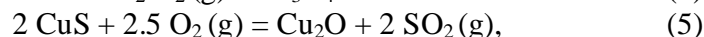
2.2.4. Reaktiokuilu

Reaktiokuilussa tapahtuu siis syöttöseoksen hapetus ja sulaminen alla esitettyjen reaktioiden (1)-(8) mukaisesti. Kiintoaineen putoamisaika reaktiokuilussa on 1-3 sekuntia, jona aikana rikasteen sisältämät partikkelit lämpenevät, reagoivat ja pääosin sulavat ennen kuin ne sekoittuvat alauunissa olevaan sulaan. /2/

Sulfidien palamis- eli hapettumisreaktiot tyypillisten kuparirikasteiden tapauksissa voidaan kirjoittaa yksinkertaistetussa muodossa rikasteiden päämineraaleille, kupari-rikki- ja magnetiittikiisulle: /2/



Osa sulfidisesta raudasta ja kuparista hapettuu myös pitemmälle seuraavasti:

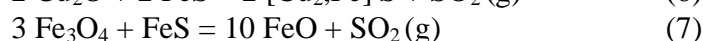


Jolloin mm. muodostuu oksidista kuparia ja 3-arvoista rautaa. Viimeksi mainittu on edellä, reaktio (4), kirjoitettu magnetiitin (Fe_3O_4) muotoon reaktiotuotteena, koska se sellaisena (hitaasti) jäähtyneestä kuonasta usein määritetään. /2/

2.2.5. Alauuni

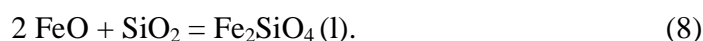
Reaktiokuilun kondensoituneet (kaasusta sulaksi tiivistyneet) sulat ja puolisolat reaktiotuotteet erottuvat kaasusta ja putoavat kuonasulaan reaktiokuilun alla. Tälle alueelle muodostuu kuonasulan pinnalle ehkä parin millimetrin vahvuinen viskoosi (jäykähkö) reaktiovyöhyke, jossa reaktiokuilusta purkautuvat sulat ja osin jähmeät tuotteet jatkavat keskinäisiä reaktioitaan. Uunin pohjalle laskeutuu alimmaiseksi sulaa sulfidia eli kuparikiveä ja sen päälle tiheydeltään kevyempää ja kivisulaan liukenematonta sulaa kuonaa. Kivi- ja kuonakerrosten paksuudet ovat tyypillisesti muutamia kymmeniä senttimetrejä. Kuonan lämpötila (1250 - 1350 °C) on alla olevaa kivisulaa suuruusluokkaa 50 °C korkeampi. (Outokumpu /5/).

Kivi ja kuona muodostuvat alauunin pinnalla, aivan reaktiokuilun alla, jossa oksideiksi ylihapettuneet (hienot) sulfidifraktiot reagoivat vähemmän hapettuneiden (karkeat) fraktioiden ja erityisesti niiden rautasulfidien kanssa, mm. seuraavasti: /2/



Hakasulut yhtälössä (6) kuvaavat sulfidikiveä, joka ei ole yhdiste ja sen koostumus voi vaihdella laajallakin alueella. Stökiometriä ei päde rikille kaavassa (6). /2/

Samalla kuona muodostuu (sulatuslämpötilassa kiinteiden) rautaoksidien, esim. FeO ja Fe₃O₄, reagoiessa rikasteeseen lisätyn hiekan sisältämän (kiinteän) piidioksidin kanssa, jolloin muodostuu sulaa rautasilikaattia eli fajaliittikuonaa. Sitä on seuraavassa kuvattu stökiometrisellä fajaliitilla (Fe₂SiO₄), vaikka kyse on sulasta FeO-Fe₂O₃-SiO₂ -liuoksesta eli seoksesta, johon liukenevat syöttöseoksen stabiilit oksidit (esim. CaO ja Al₂O₃): /2/



Silikaattien (oksidinen) kuonasula ja sulfidinen kivisula eivät liukene toisiinsa. Ne erottuvat erilaisten luonteidensa sekä ominaispainojensa takia omiksi, suliksi kerroksiksi siten, että kivi on painavampana alla ja kuona kevyempänä sen päällä. /2/

Syöttöseoksen rauta siirtyy alauunissa pääasiassa kuonaan, mutta osa siitä jää sulfidiseen muotoon (FeS), joka yhdessä kuparisulfidin (Cu₂S) kanssa muodostaa sulan kivifaasin. Kiveen liukenee myös pieniä pitoisuuksia happea sekä kivihakuisia hivenaineita, kuten jalo- ja platinametallit. Kiven rautapitoisuuden (epäsuorana) mittana käytetään kiviprosenttia, joka on kiven kuparipitoisuus. Kuparin sulatuksen olosuhteissa se korreloi hyvin kiven rautapitoisuuden kanssa. /2/

2.2.6. Nousukuilu

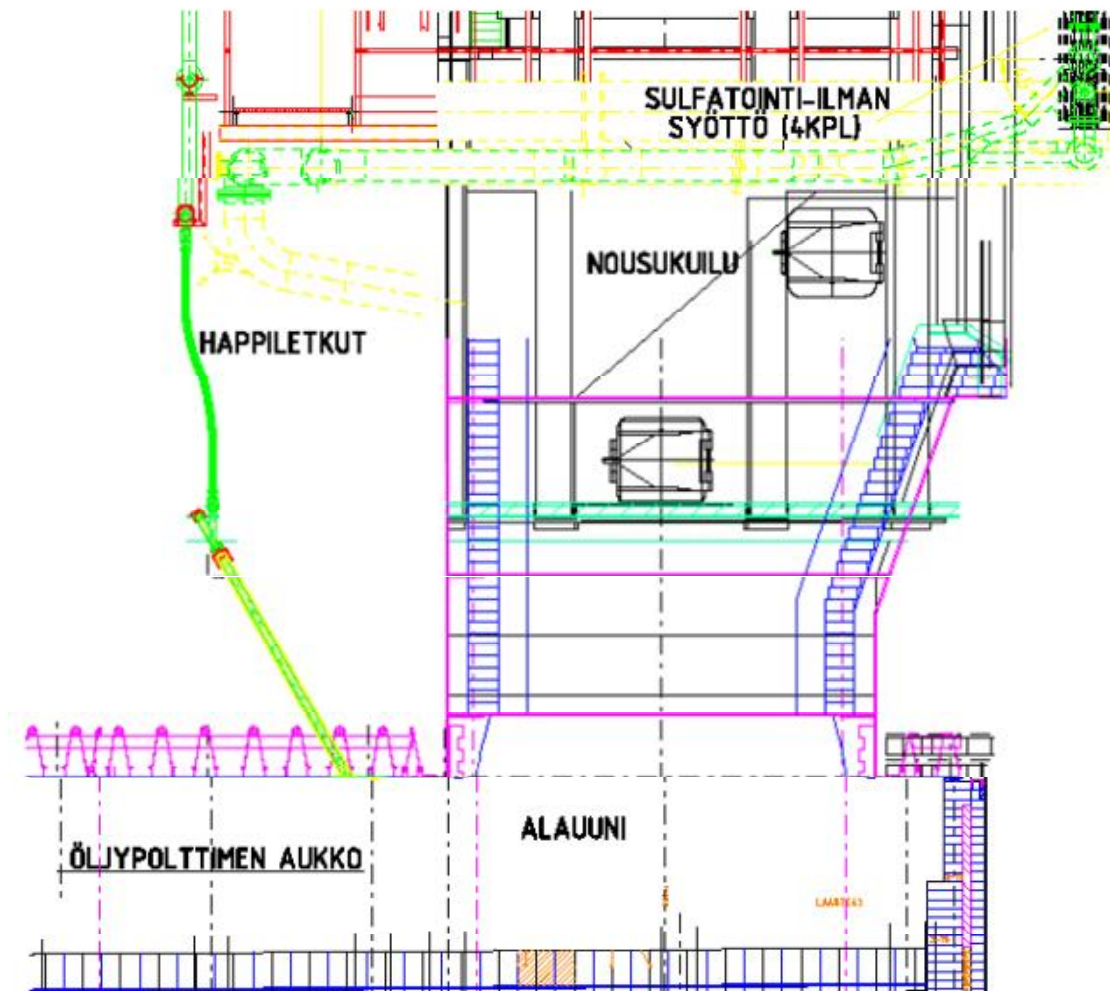
Liekkisulatusuunin nousukuilu liittyy sulatusuunin sulaton kaasulinjaan, jossa on ensin lämmöntalteenottokattila. Rikasteen palamisesta syntyvät, rikkidioksidipitoiset prosessikaasut johdetaan nousukuilun kautta lämmöntalteenottokattilaan. Nousukuilun jälkeinen kattilan kurkku yhdistää fyysisesti uunin kattilaan. /2/

2.2.7. Lentopölyn jälkihapetus ja sulfatointi

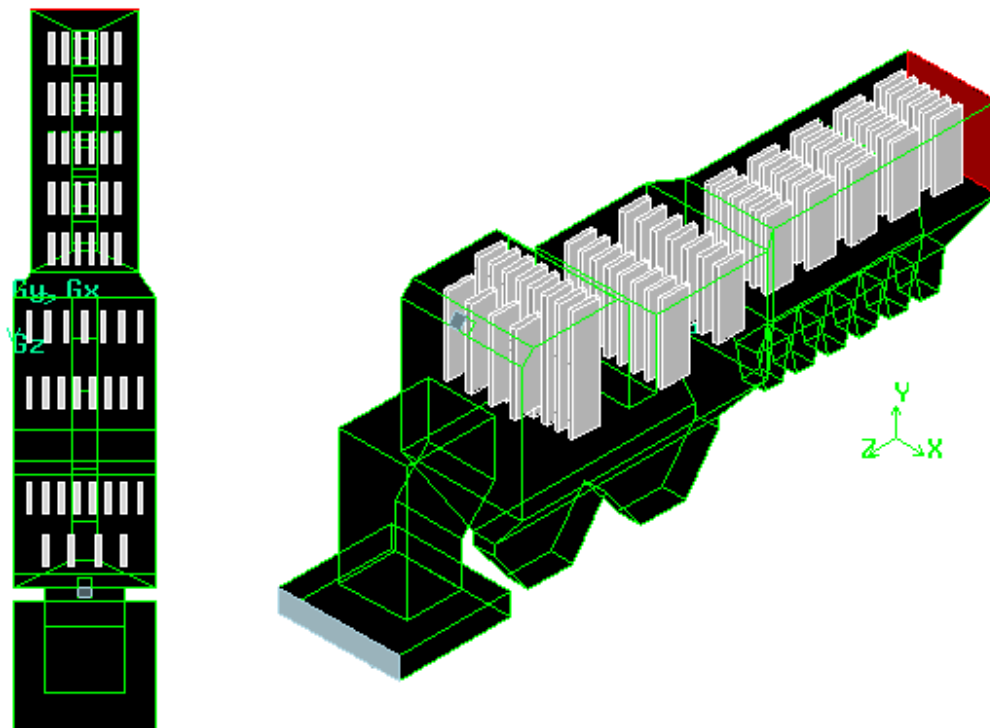
Liekkisulatuksen haittapuoli on suurehko pölyn muodostus ja siitä johtuva lentopölyjen kierrätys. Pölyä muodostuu 5-10 % syöttestä. Se sisältää noin 30 % kuparia, eli tyypillisesti enemmän kuin syöttöseos. Kuparilinjan liekkisulatusuunissa pölyä muodostuu 8-12 t/h. /2/

Lentopöly sisältää kuparisulfidia (Cu_2S) ja muita sulfideja johtuen alauunin alhaisesta happi-pitoisuudesta (1-3 %). Ne hapetetaan alauunissa sekä nousukuilussa oksideiksi ennen niiden kulkeutumista kattilaan ja sen säteilyverhoille. Alauuniin syötetään siksi teknistä happea happilansseilla, joita on 5 kpl nousukuilun juuressa, **kuva 10.** /2/

Happea pitää siis syöttää uunin peräpäähän/nousukuilulle niin paljon, että tahmaiset, sulfidiset pölyt saadaan hapetettua oksideikseen ennen kattilaa. Toisaalta hapen syöttöä rajoittaa pesuhapon syntyminen kattilassa, kts. seuraava kappale. /2/



Kuva 10. Jälkipolton happisyötöt alauunin peräpäässä, sen holvilla.



Kuva 11. 3D-piirros kuparilinjaan kattilasta säteilyverhoineen ja konvektio-osan putkipaketteineen. /2/

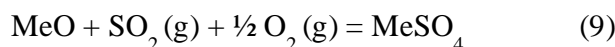
2.3. Liekkisulatusuunin kaasulinja

Liekkisulatusuunista poistuva prosessikaasu johdetaan lämmöntalteenottokattilan ja sähkösuodattimen kautta rikkihappotehtaille. Uunista tuleva, kuuma prosessikaasu jäähdytetään kattilassa sen seinissä kiertävän, paineistetun vesi-höyry-seoksen (max. 60 bar) avulla ja samalla lämpö otetaan talteen höyrynä. Sitä käytetään mm. rikasteiden kuivaamiseen ja prosessikaasun esilämmitykseen. Höyrystä huolehtii Pori Energia, joka toimittaa sitä tehdasalueelle eri käyttäjien tarpeisiin sekä kaukolämpöön. /2/

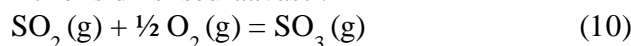
2.4. Kattila

Lämmöntalteenottokattila koostuu kahdesta osasta: säteilyosasta ja konvektio-osasta. Ne ovat saaneet nimensä niissä tapahtuvan lämmönsiirron mekanismin mukaisesti. Säteilysosassa uunista tuleva kuuma (1300–1350 °C) kaasu jäähtyy säteilemällä, erityisesti SO₂:n toimesta, ja kylmät teräsrakenteet, kattilan seinät sekä säteilyverhot, ottavat vastaan kaasun luovuttaman lämpöenergian. Tällöin kaasu jäähdytetään 600–700 °C lämpötilaan, jotta estetään sen kemialliset reaktiot konvektio-osassa, jossa kaasu kulkee suuntaa vaihtaen putkista valmistettujen konvektiopakettien lävitse. Kaasu luovuttaa lämpönsä näihin paketteihin konvektiivisesti ja jäähtyy siten, että se voidaan johtaa sähkösuodattimeen noin 350–400 °C lämpötilassa. /2/

Kuten edellä jo kävi ilmi, kattila on myös kemiallinen reaktori, jossa lentopöly sulfatoituu seuraavan reaktion mukaisesti: /2/



Samalla kaasun jäähtyessä pyrkii myös rikkidioksidi hapettumaan, kilpailevalla reaktiolla, rikkiatrioksidiksi seuraavasti:



Lentopölyjen sulfatoituminen on melko hidas prosessi ja se alkaa liekkisulatusprosessin kaasulinjassa, metallioksidista riippuen 700–800 °C lämpötilassa. Rikkidioksidi ei hapetu sulatusuunin kuumissa olosuhteissa, mutta kattilassa sen tasapaino on jo selvästi trioksidin muodostuksen puolella. Sekin reaktio on kineettisesti hidas ja tarvitsee katalyyttejä toimiakseen, joina kupariliekkisuunin tapauksessa ovat raudan oksidit sekä kuparioksidi (Cu_2O). /2/

Pesuhapon muodostumista edeltävä rikkiatrioksidin syntyminen tapahtuu vasta uunin jälkeisissä kaasulinjan osissa, koska se ei ole liekkisuunin korkeissa lämpötiloissa stabiili millään hapen ja rikkidioksidin suhteella. Sen muodostumisen nopeuden on havaittu olevan suurimmillaan lämpötila-alueilla 450–600 °C, joten sen syntymistä ei kattilassa voida millään tavoin täysin välttää. Kuten reaktioyhtälöstä (10) voidaan päätellä, rikkiatrioksidia (SO_3) ei synny, jos kaasussa ei ole happea ja sen pitoisuus on tärkein reaktion kinetiikkaa hallitseva tekijä CuLSU:ssa. Siten nousukuilun happipitoisuuden kontrolli on keskeinen asia pesuhapon muodostumisen kontrolloinnissa. /2/

Noin puolet kaasussa olevasta lentopölystä laskeutuu kattilassa ja loput sähkösuodattimessa. Putoava pöly ohjautuu kattilan alaosaan olevien pölysuppiloiden kautta sen alapuolella kulkevalle pölykuljettimelle ja se palautetaan liekkisuunin syöttöön. /2/

2.5. Sähkösuodin

Kattilasta kaasu johdetaan hanhenkaulan kautta sähkösuodattimen yläosaan. Sähkösuodattimessa pölyhiukkaset varautuvat sähkökentän vaikutuksesta ja erottuvat kokoojaelektrodeille. Kokooja-elektrodeilta pöly ravistetaan keräyssuppilon pohjalle. Sähkösuodattimen pölyt kerätään kuljettimelle kattilapölyjen kanssa ja palautetaan takaisin sulatusprosessiin. /2/

2.6. Uunien jäähdytysvesikierto

Liekkisulatusuunien ja sähköuunin jäähdytysvedet ovat yhteisessä, suljetussa kierrossa.

3'

2/

K

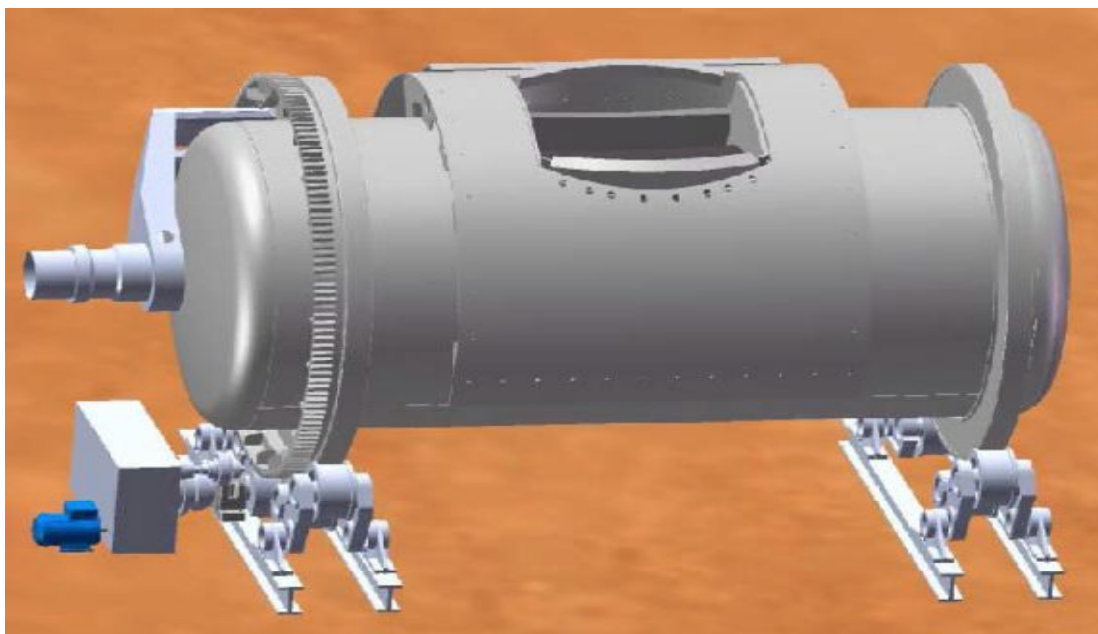
100

tv



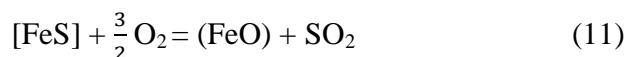
K

12



Kuva 13. Harjavallan 3-konvertterin 3D-kuva; Ø3.962 m x 10.363 m (Ø13" x 34"). /2/

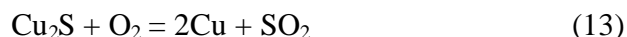
PS-konvertoinnissa kuparikivi käsitellään kaksivaiheisesti. Ensimmäisessä eli nk. kuonapuhalluksessa sulan kiven läpi puhalletaan hapella rikastettua ilmaa, joka hapettaa suurimman osan FeS:sta. Syntynyt rikkidioksidi otetaan talteen eli johdetaan happotehtaalle. /6/



Hapettava rauta muodostaa kvartsihiekan avulla kuonaa, joka säännöllisesti kaadetaan pois konverttereista. /6/



Näin saadaan ns. muuttokiveä, jossa on 80 % Cu_2S :a. FeS:n hapettuminen on voimakkaasti eksoterminen reaktio ja lämpötilan kontrolloimiseksi konvertteriin lisätään kylmää romukuparia ja ns. kivilinssejä Kuonapuhalluksen päätyttyä syntynyt kuona kaadetaan pois ja siirytään seuraavaan vaiheeseen eli Rikkaaksipuhallukseen. Rikkaaksipuhalluksessa puhallusta jatketaan happi rikastetulla ilmalla. Jäljellejäänyt Cu_2S reagoi silloin hapen kanssa ja muodostaa metallista kuparia ja rikkidioksidia. /6/



Tämäkin reaktio on eksoterminen. Tuotteena saadaan raakakuparia, joka sisältää 1-2 % epäpuhtauksia: happea, rikkiä (0,05 %), nikkeliä ja jalometalleja. /6/

Peirce-Smith -konvertointi on tehokas prosessi, mutta sillä on haittapuoliakin. Konvertterista vuotaa tehdashalliin ja muualle ympäristöön SO_2 -pitoisia kaasuja. Kaasupuhallusta on jatkettava myös kaatojen aikana, jotta sula ei tukkisi kaasuhormeja.

Konvertointi on panosprosessi, joten sillä ei voida taata tasaista kaasuvirtaa rikkidioksidikaasun jatkokäsittelyyn. /6/

2.7.1. Konvertterien jäähdykkeet

Kylmillä materiaaleilla eli reverteillä tarkoitetaan kaikkia prosessin eri vaiheissa sulasta tilasta jähmettyneitä (=kylmiä), kuparipitoisia materiaaleja. Konvertoinnissa syntyy lämpöä hapetusreaktioiden seurauksena ja panoksen liiallinen kuumeneminen estetään lisäämällä siihen jäähdykkeitä. Liian korkea lämpötila aiheuttaa konvertterin muurausten nopean kulumisen. Kylmät materiaalit pyritään pääosin käyttämään jäähdykkeinä konvertoinnissa, jolloin samalla niiden sisältämä kupari saadaan talteen blisteriin. /2/

Kylmiä materiaaleja syntyy helposti enemmän kuin konverttereihin pystytään syöttämään. Siksi niiden määrän hallitseminen vaatii, että kylmien materiaalien syntymistä on pyrittävä välttämään. Syntyneet kylmät materiaalit on pyrittävä lajittelemaan mahdollisimman tarkoin heti niiden syntypaikoilla siten, että rautaa sisältävät materiaalit erotellaan mahdollisimman tarkkaan puhtaista, kuparimateriaaleista. Erilaiset reverttimateriaalit varastoidaan niille vara-tuille, omille paikoilleen. /2/

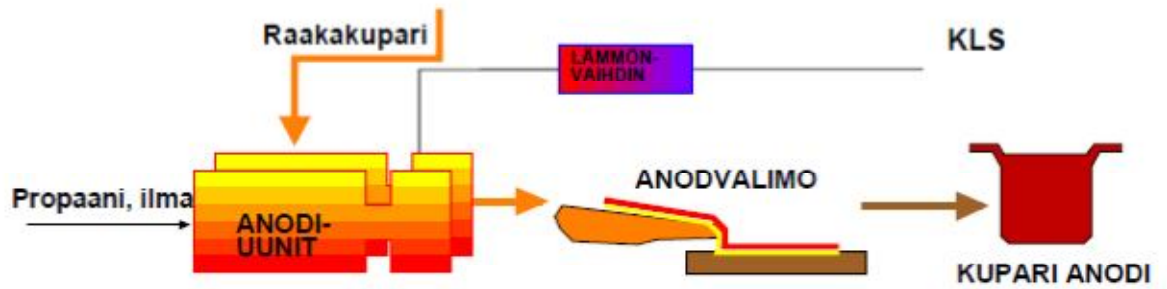
2.7.2. Konvertterikaasujen käsittely

Konvertoinnista tulevat kaasut sisältävät rikkidioksidin ohella kiintoaineita ja runsaasti epäpuhtauksia. Siksi ne puhdistetaan ennen rikkihappotehtaalle johtamista. Konverttereiden kaasut jäähdytetään aluksi vesisuihkulla. Suurimmat partikkelit putoavat laskeutumiskammioihin. Tämän jälkeen kaasut johdetaan konvertterilinjan omaan lämmöntalteenottokattilaan ('konvertterikattila') ja edelleen sähkösuodattimeen pölyjen erottamiseksi. Syntynyt rikkidioksidikaasu johdetaan edelleen rikkihappotehtaille. /2/

Konvertterikaasut käsitellään pääsääntöisesti uusimmalla rikkihappotehtaalla (RHT 7), jonka kaasukapasiteetti on suurin. Tällä tehtaalla ei ole elohopean poistoa tuotehaposta, joten liekkiuunien kaasujen käsittely 7-tehtaalla voi pilata tuotehapon. (Happoon kertyy oksideja joka pilaa sen). /2/

2.8. Anodiuuniprosessi

Konverttereista raaka- eli blisterkupari siirretään padoilla anodiuuniin. Anodiuuniprosessin tarkoituksena on valmistaa sula valua varten eli poistaa konvertoinnissa jäänyt rikki ja sen jälkeen poistaa liuennut happi eli estää blisterien syntymisen anodikuparin jähmettyessä. Lisäksi anodiuunit toimivat raakakuparin varastona ennen valimoa. /2/



Kuva 16. Anodiuuni linja. /2/

3. Kokeellinen osio

Tässä työssä on tarkoitus tutkia mistä, kuinka paljon ja miten murskat eli ns. kylmät materiaalit syntyvät. Murskien syntyperä on kyllä ollut tiedossa jo aiemminkin, mutta niistä ei ole ollut aikaisemmin tutkittua ja dokumentoitua tietoa. Tämän takia asia haluttiin selvittää.

3.1. Murskien syntypaikat

Murskaa syntyy monessa eri paikassa, jotka on suhteellisen helppo löytää ja tunnistaa, kuten kivipatahyllysten alle roiskuneesta kuparikivestä ja rännikameista, jotka pudotetaan kivipatamonttuun. Lisäksi murskaa syntyy mm. liekkiuunin nokitusbunkkereista, konvertterien laskeutumiskammioista, konvertterien edustoilta ja pataholkeista. Murskaa syntyy myös muualla, mutta tässä työssä ei puututa niihin, koska työstäni olisi tullut liian laaja ja muualla syntyvien murskien laatu ja määrä on selvitetty aiemmin. Muualla syntyvistä murskista löytyy teoriaosasta tietoa kappaleista 2.2. Liekkisulatusuuni ja 2.5. Liekkisulatusuunin kaasulinja ja kattila.

Edellä mainittujen paikkojen, murskat sisältävät runsaasti kuparia ja ne halutaan kierrättää uudelleen, jotta hukkaa ei syntyisi ja kuparin talteensaanti olisi mahdollisimman suuri.

Kupariliekkiauunin kivenlaskun aikana sula kuparikivi roiskuu hieman valuessaan kivirännin päästä alas ja osuu samalla patojen reunoihin. Nämä roiskeet siivotaan joka toinen päivä aamuvuoroissa kivipatojen alla olevaan monttuun. Lisäksi laskun yhteydessä alkaa kiveä kertymään laskuränniin niin, että se lopulta tukkii rännit ja ne joudutaan tyhjentämään samaan monttuun seuraavia laskukertoja varten. Kivenlaskukertoja tulee joka vuorossa 6-8 eli n. 12-16 padallista syöttötasosta riippuen. Rännien tyhjennys tapahtuu rautakankea ja lapioita käyttäen kerran jokaisen vuoron aikana, rännejä on käytössä jokaisella laskukerralla kaksi kappaletta. Kivipatamonttu tyhjenetään kaksi kertaa viikossa itäpäädyssä olevalle varastoalueelle Valtasiirron ja Lassila & Tikanojan toimesta.

Kupariliekkiauunin kattilan seinämiin ja verholevyihin kertyy myös kuparikiveä lentopölyn mukanaan tuomien sulapisaroiden takia. Tästä syystä kattilaa joudutaan nokittamaan (tyhjentämään kerran vuoron aikana) ja piikkaamaan sinne kertyvien kamien poistamiseksi ja samalla myös pöly saadaan tippumaan alas. Ajoittain kattilaa joudutaan tyhjentämään myös dynamiittia apuna käyttäen eli ampumalla, kun kertymät ovat kasvaneet suuriksi ja niin ylös, ettei niitä enää saada normaaleilla toimilla pudotettua. Kattilan alaosassa on ns. nokitusbunkkeri, johon kyseiset kamit tippuvat. Bunkkereiden täyttyttyä Valtasiirto hoitaa kamien kuljetuksen hallin itäpäätyyn murskattavaksi.

Konvertterien takaosassa on laskeutumiskammiot. Laskeutumiskammioissa poistetaan kaasuvirran mukanaan tuoma hienojakoinen kuonaa ja runsaasti kuparia sisältävä pöly. Laskeutumiskammioihin jäävä pöly tyhjenetään kaksi kertaa kuukaudessa

kumppanuusyritysten toimesta. Pöly kuljetetaan suoraan rikastevarastoon ja sieltä uudelleen liekkisulatusuuniin. Myös konvertterien edustoille kerääntyy hienojakoista roisketta, joka siivotaan noin kerran kuukaudessa. Konvertterien etupuolelta piikataan ns. turpakamit (konvertterin suuaukolle kertyvä kuparikivi) suurimmaksi osaksi konvertteriin takaisin, mutta osa niistä putoaa kuitenkin konvertterien eteen hallin lattialle, josta kauhakuormaaja käy ne päivittäin keräämässä pois. Turpakami painaa n. 3-5 tonnia ja se kuljetetaan itäpäätyyn murskattavaksi.

Pataholkeista syntyvä murska on ylivoimaisesti eniten murskaa tuottava osa. Patoja suojataan niin, että patoihin kaadetaan kuonaa, jonka annetaan jähmettyä niiden reunoille jonkin aikaa riippuen ulkoilman lämpötilasta, yleensä n. 10–20 minuuttia. Näin syntyy siis holkattu kivipata.

Kivenlaskun yhteydessä patoihin jähmettyy pikkuhiljaa kuparikiveä ja padan paino alkaa kasvaa, kun padan paino on kasvanut noin viisi tonnia, siihen ei mahdu enää riittävästi kuparikiveä, jota niissä kuljetetaan konverttereille. Tällöin ne käydään tyhjentämässä hallin itäpäätyyn murskakasalle omille paikoilleen. Samoin tapahtuu myös konvertteripadoille, joista murskakasalle holkataan loppukuonapataholkki ja blisteripataholkki.

3.2. Kokeellisen osion suoritus

Aluksi tietoja haettiin kirjallisista lähteistä, jotka koskivat murskien eli kylmien materiaalien syntyä sekä haastatteleamalla kyseisillä paikoilla työskenteleviä henkilöitä. Tiedon keruu oli haasteellista, sillä sitä oli hankala löytää, mutta pikkuhiljaa työ eteni.

Murskaa syntyy edellisessä kappaleessa mainituissa paikoissa, joten pohdittavana oli mistä ja miten niistä saataisiin näytteet kerättyä ja punnittua. Punnitusten saamiseksi olin yhteydessä ensin esimiehiini ja sovin heidän kanssaan, että saataisiin käyttää kumppaniyrityksiä työn suorittamiseen. Murskakasojen punnitukset sujuivatkin oikein hyvin, mutta punnitukset pataholkkien kanssa olivat haasteelliset. Pataholkkien punnituksia varten tehtiin punnituslistat joihin merkittiin holkkauksen yhteydessä holkkien painot, kun pataholkit tyhjennettiin konvertterihallin itäpäätyyn. Punnitusten seuranta tapahtui pitkällä aikavälillä ja niistä saatiin suhteellisen tarkka tulos.

3.2.1. Kivipatamonttu

Näytteiden otto tapahtui päiväsaikaan, jolloin työn suoritus oli paras tehdä.

Kivipatamontun näytteet kerättiin, kun Lassila & Tikanoja oli tyhjentänyt kivipatahyllyn alle kerääntyneen murskan ensin hallin lattialle bobcatilla. Tämän jälkeen Valtasiirto punnitsi murskan ja merkitsi painon paperille ja vei murskan konvertterihallin itäpäätyyn murskattavaksi. Kivipatamonttuun ei voi mennä ennen kuin se on puhdistettu kamien tippumisvaaran vuoksi.

3.2.2. Konvertterien edustat

Konvertterien edustan näytteet kerättiin turvallisuussyistä sen jälkeen, kun Valtasiirto oli piikannut painoltaan n. 3 - 5 -tonniset konvertterin turpakamit alas. Näytteen sai kerättyä lekaa ja lapiota apuna käyttäen.

3.2.3. Konvertterien laskeutumiskammiot

Konvertterien laskeutumiskammioista näytteet sai kerättyä puhallusten välillä. Konvertterimiesten kanssa sovittiin, että näytteet haetaan puhallustauon aikana. Ensimmäiset näytteet otettiin murskakasasta rikkaaksipuhalluksen jälkeen, jolloin kasaan päällimmäiseksi jäi lähes puhdasta kuparia. Toiset näytteet käytiin hakemassa kuonapuhalluksen jälkeen ja samalla kasaa sekoitettiin, jotta saatiin mahdollisimman edustavat näytteet.

3.2.4. Liekkiuunin nokitusbunkkerit

Liekkiuunin nokitusbunkkerin näytteet kerättiin nokituksen jälkeen, jolloin kamien tippumisvaaraa ei enää ollut ja työ oli turvallista suorittaa. Tässä vaiheessa kattilassa oli vielä riittävästi imua, etteivät pölyt ja muut murskat putoa alas.

3.2.5. Pataholkkien näytteet

Pataholkkien näytteiden keruu sujui hyvin lekaa ja lapiota apuna käyttäen. Nosturin kuljettajien kanssa sovimme, että ilmoittavat koska ja minkä pataholkin he milloinkin käyvät tyhjentämässä ja mihin. Näytteen otto oli aluksi hieman hankalaa, koska holkit olivat melko suuria ja kuumia. Turvallisuus syistä holkin viereen ei voinut mennä välittömästi holkkauksen jälkeen, sillä vaarana oli sisältä onton holkin romahtaminen päälle. Holkin jäähtyttyä hieman nosturin kuljettaja kävi kolauttamassa holkkia toisella padalla sen verran, että se vajosi kasalle ja tästä kasasta oli turvallisempaa lekalla ja lapiolla kerätä näytteet ämpäriin jäähtymään. Näytteiden jäähtyttyä murskattiin suuremmat palat vasaraa apuna käyttäen sen verran pienemmiksi, että palat saatiin mahtumaan leukamurskaimeen, jossa ne murskattiin sekoittamista varten ja laboratorioon vietäväksi.

Laboratoriossa kaikista näytteistä tehtiin semiQ XRF analyysit, joita käsitellään seuraavassa kappaleessa. Näytteiden analysointi tapahtui varsin mallikkaasti ja nopeasti. Laboratorion esimiehen kanssa sovittiin näytteiden analysoinnista jo hyvissä ajoin etukäteen, ennen näytteiden vientiä.

3.3. Tulokset

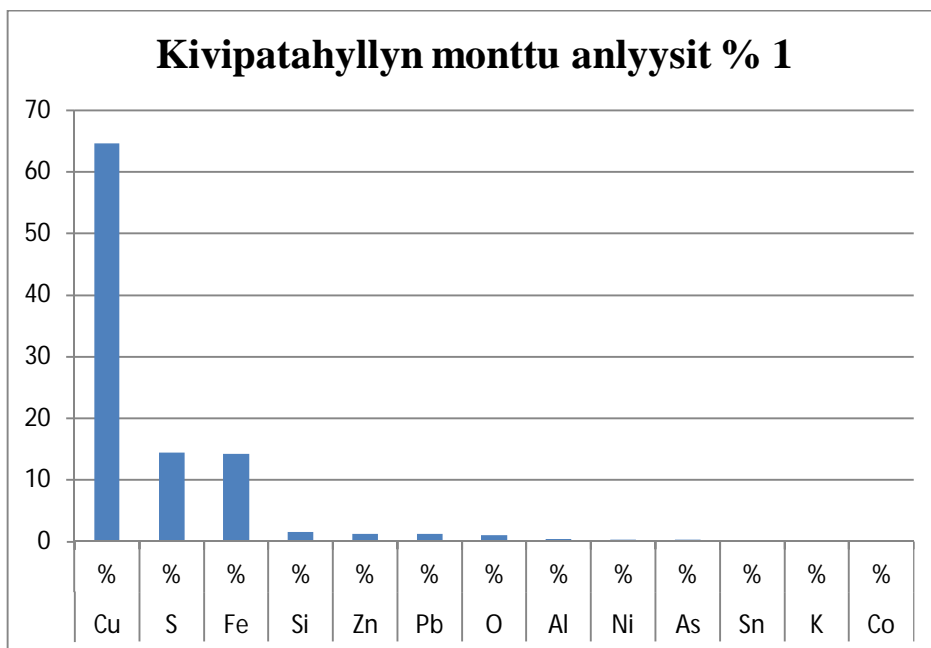
Seuraavissa taulukoissa on esitetty murskien semiQ XRF -analyysit, sekä niiden perusteella lasketut kuparin, raudan ja rikin keskiarvot näytteissä.

3.3.1. Kivipatahyllyn monttu

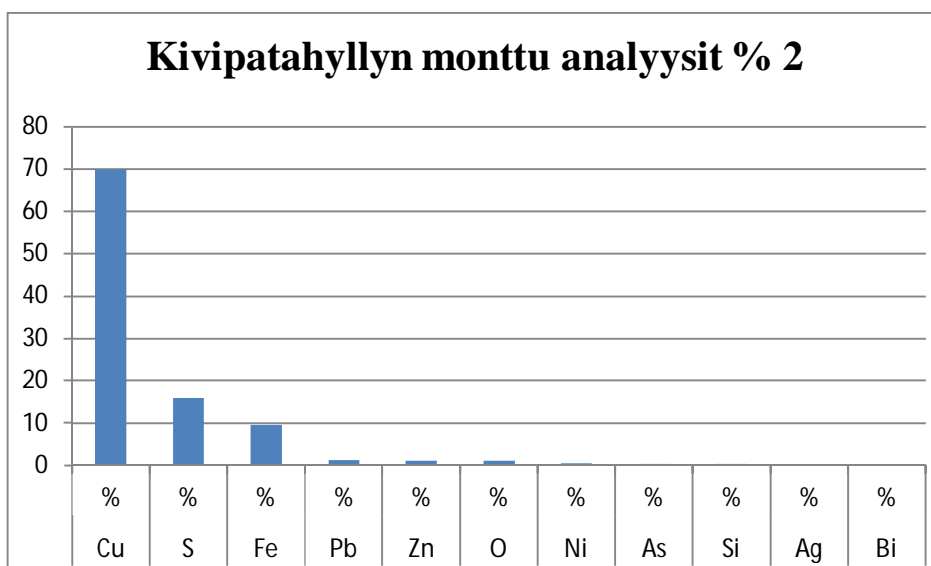
Kivipatahyllyn alta kerätyissä ja analysoiduissa näytteissä kuparikiven keskiarvo on 67,25 %, raudan keskiarvo on 15,10 % ja rikin keskiarvo on 11,87 %.

Pylväsdiagrammeissa on esitetty samat tulokset asian paremmin ymmärtämistä ajatellen. Taulukot on jaettu kahteen osaan, joissa on %-osuudet ja ppm-osuudet omissa taulukoissaan pitoisuuksien paremman erottuvuuden vuoksi.

Tässä vaiheessa syntyvä murskan määrä on keskimäärin 9,42 t vuorokaudessa, mikä on 9,057 % koko murskamäärästä vuorokaudessa. Kupari, rauta ja rikki muodostavat 94,22 % koko kuparikiven määrästä, mikä on helposti havaittavissa alla olevista taulukoista. Muiden metallien osuus on melko pieni.



Kuva 1 Kivipatahyllyn montun näyte

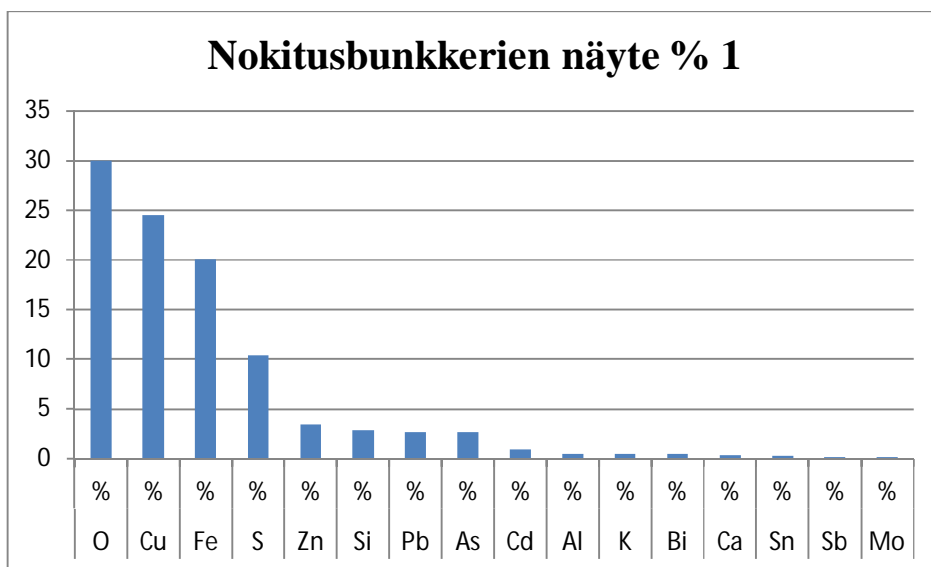


Kuva 2 Kivipatahyllyn montun näyte

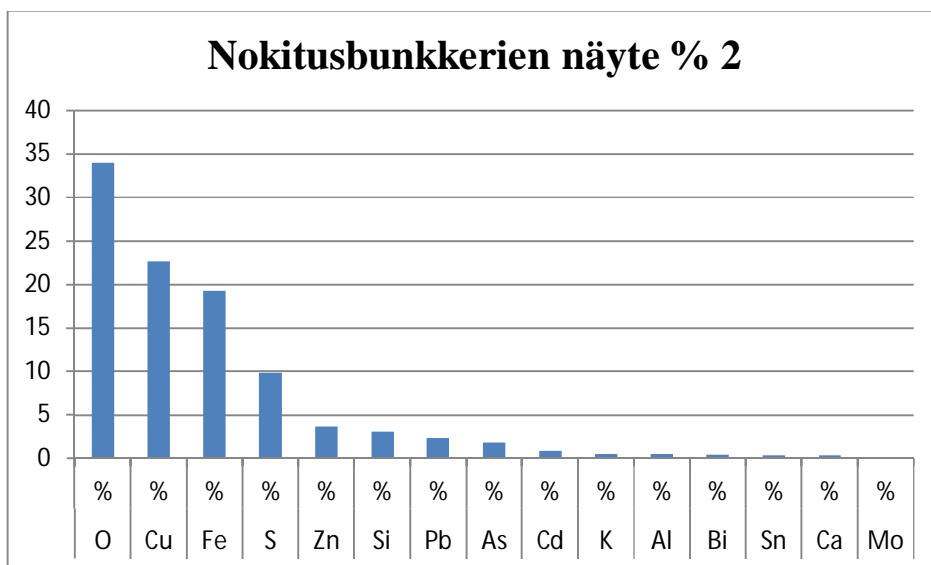
Liitteissä 1-3 löytyvät kivipatahyllyn alta kerätyistä näytteistä tehdyt analyysit.

3.3.2. Kupari liekkiuunin nokitusbunkkerit

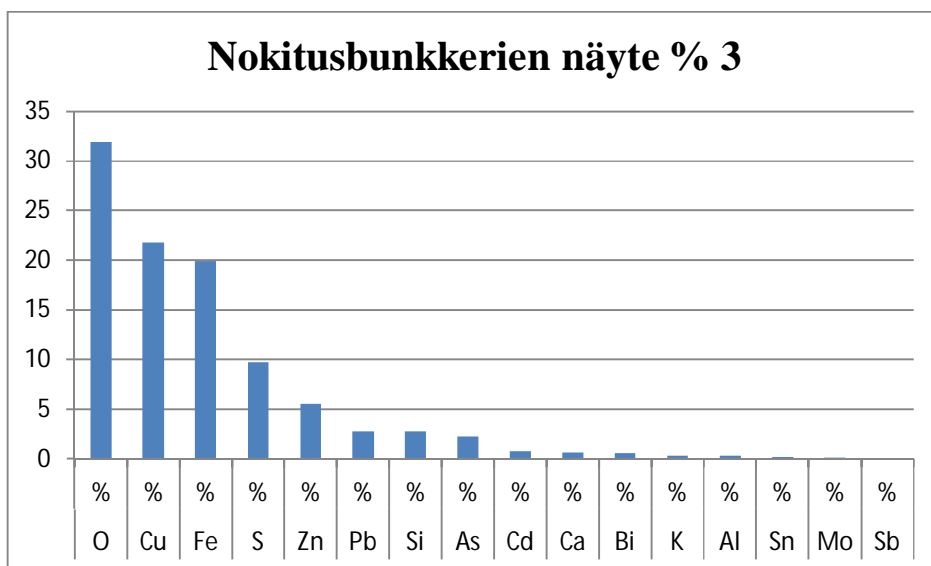
Murskat ovat kahdessa eri bunkkerissa, joista toisessa on karkeaa murskaa ja toisessa hienoa pölyä. Näissä murskissa ei ole keskenään oleellista eroa kuparin, raudan ja rikin pitoisuuksissa, jotka ovat keskimäärin: kupari 22,88 %, rauta 18,63 % ja rikki 10,55 %. Tätä murskaa syntyy noin 2,10 t/vrk, joka on 2,019 % vuorokaudessa syntyvästä murskamäärästä. Murskassa olevat kupari, rauta ja rikki muodostavat 52,06 % nokitusbunkkereissa olevasta murskasta. Näiden murskien määrästä happi on suurimmalla osuudella mukana ja on keskimäärin 31,75 %, muiden alkuaineiden osuuden ollessa yhteensä 16,19 %.



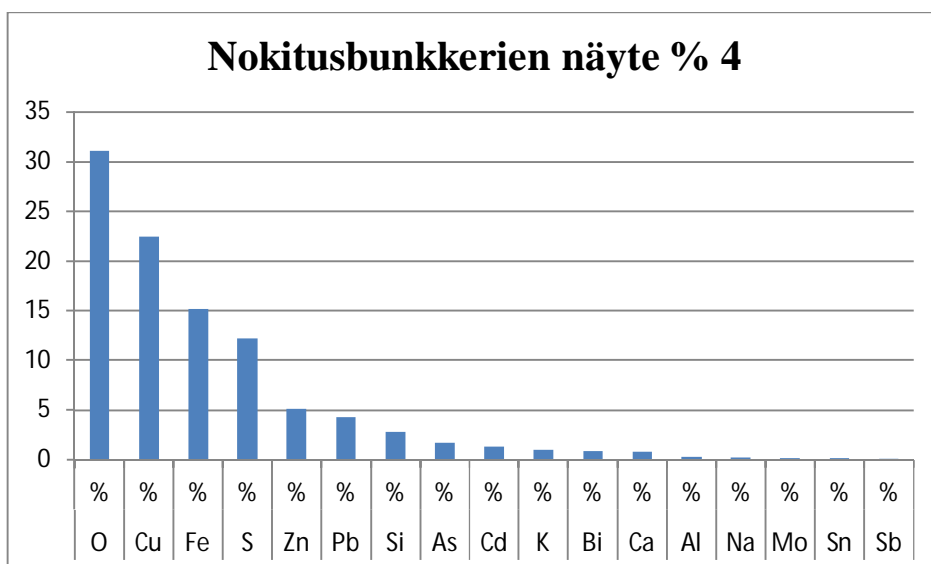
Kuva 3 Kupariliikkiuunin nokitusbunkkerin näyte



Kuva 4 Kupariliikkiuunin nokitusbunkkerin näyte



Kuva 5 Kupariliekkiuunin nokitusbunkkerin näyte

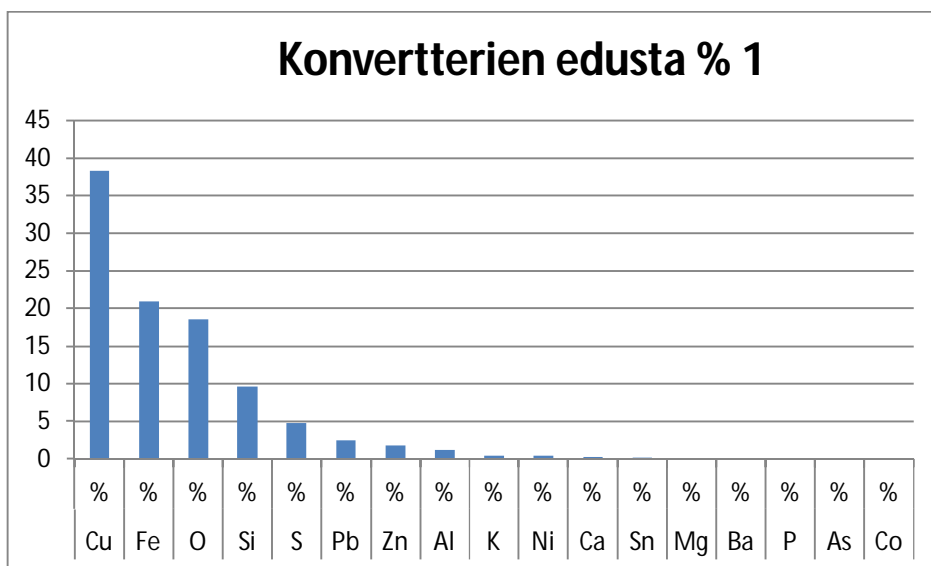


Kuva 6 Kupariliekkiuunin nokitusbunkkerin näyte

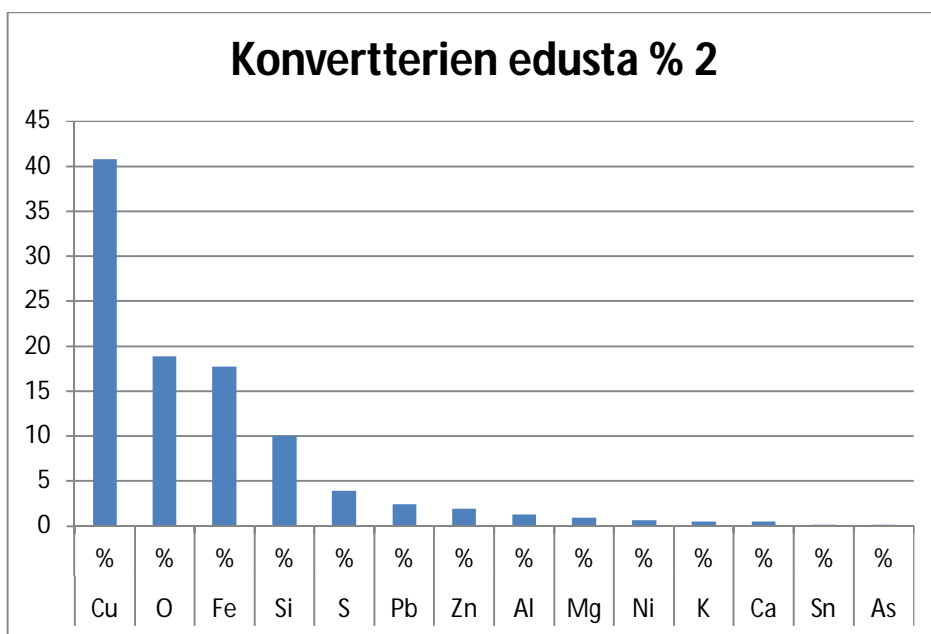
Liitteissä 4-9 on kerätty kupariliekkiuunin nokitusbunkkereista otettujen murskien analyysit sekä laskettu murskanäytteiden keskiarvot.

3.3.3. Konvertterien edustat

Konvertterien edustoilta kerätyissä näytteissä murskassa olevan kuparin, raudan ja rikin osuus on 63,22 %. Tätä murskaa syntyy 19,35 t/vrk, joka on 18,60 % koko vuorokautisesta murskamäärästä. Lisäksi tässäkin murskassa happea on mukana keskimäärin 18,70 %.



Kuva 7 Konvertterien edustan näyte



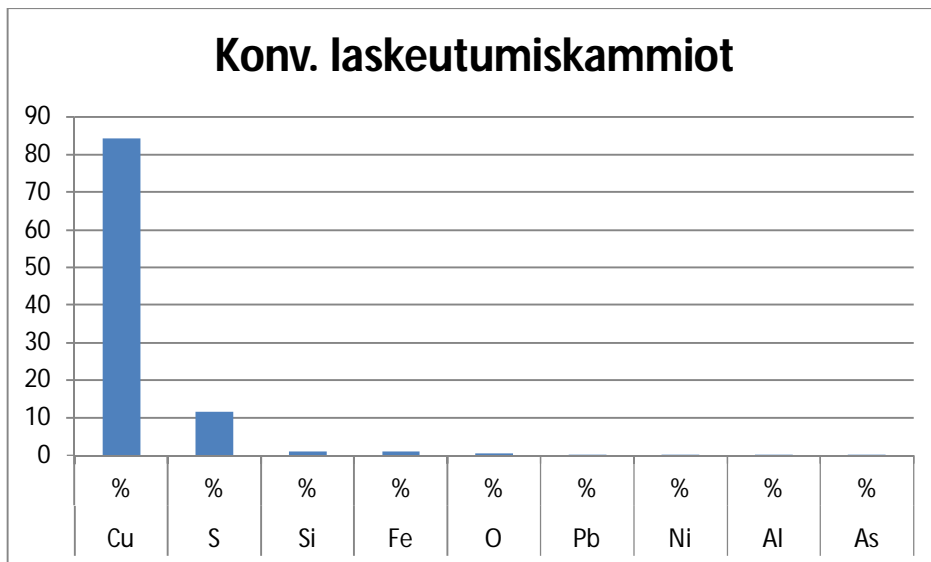
Kuva 8 Konvertterien edustan näyte

Liitteissä 10-12 on konvertterien edustoilta kerättyjen näytteiden analyysit. Murskanäytteiden keskimääräiset pitoisuudet ovat kupari 39,55 %, rauta 19,35 % ja rikki 4,32 %.

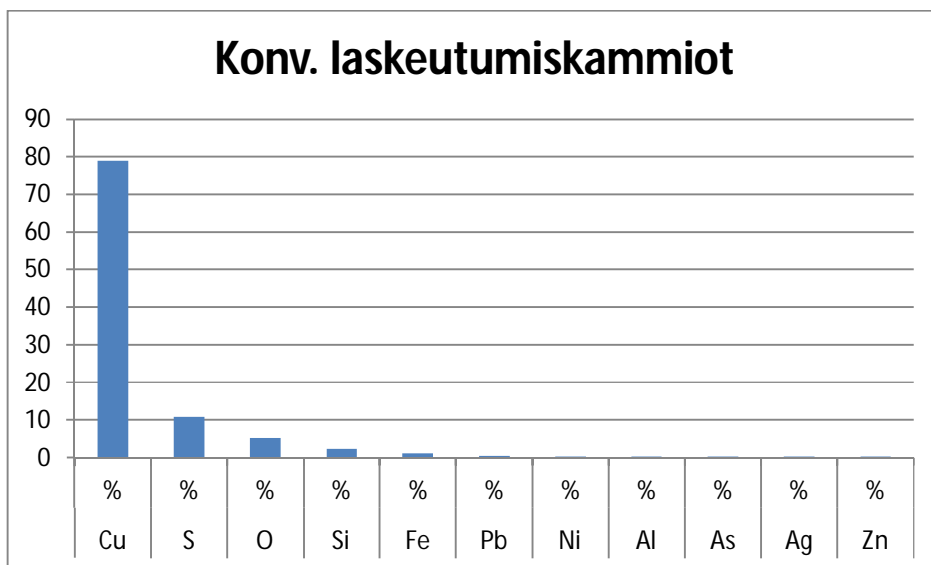
3.3.4. Konvertterien laskeutumiskammiot

Murskassa olevan kuparin pitoisuus keskimäärin on 81,7 %, raudan pitoisuus 0,992 % ja rikin pitoisuus 11,3 %. Murskaa syntyy tässä vaiheessa 3,75 t/vrk, joka on 3,605 % koko

murskamäärän osuudesta. Happea on enää 2,9 %. Murskassa olevan kuparin, raudan ja rikin osuus on 93,992 %.



Kuva 9 Konvertterien laskeutumiskammioiden näyte

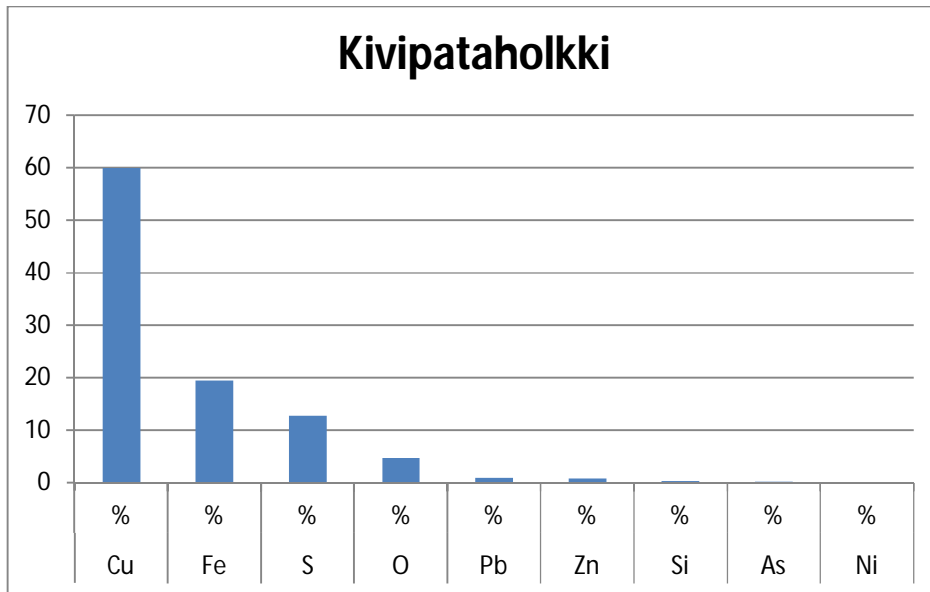


Kuva 10 Konvertterien laskeutumiskammioiden näyte

Liitteissä 13-15 on konvertterien laskeutumiskammioista kerättyjen näytteiden analyysit.

3.3.5. Kivipataholkit

Kivipataholkissa olevan kuparin pitoisuus keskimäärin on 59,9 %, raudan pitoisuus 19,5 % ja rikin pitoisuus 12,7 %. Kuparia, rautaa ja rikkiä on keskimäärin kivipataholkissa 92,1 %. Kivipataholkeista syntyvä murskan määrä keskimääri on 31,74 t/vrk, joka on 30,516 % koko murskamäärästä.

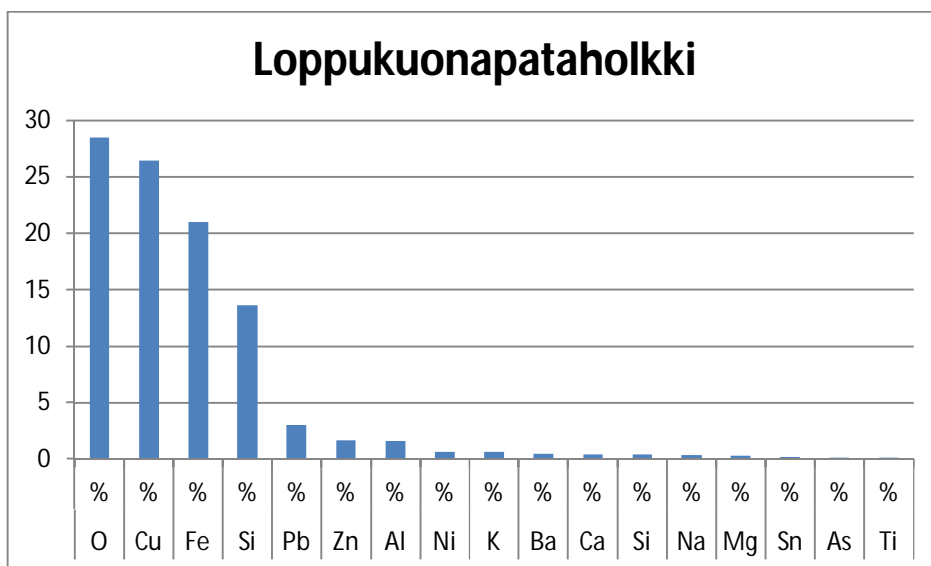


Kuva 11 Kivipataholkin näyte

Liitteissä 16-17 on kivipataholkkien näytteiden analyysit. Analyysit on laskettu useamman eri näytenapin keskiarvona, jotka laskettiin laboratoriossa valmiiksi.

3.3.6. Loppukuonapataholkki

Näytteissä on keskimäärin kuparia 26,5 %, rautaa 21,0 % ja rikkiä 0,40 %. Kuparin, raudan ja rikin pitoisuus loppukuonapataholkissa on 47,9 %. Loppukuonapataholkeista syntyvä murska määrä keskimäärin on 19,95 t/vrk, joka on 19,18 % koko murskamäärästä.

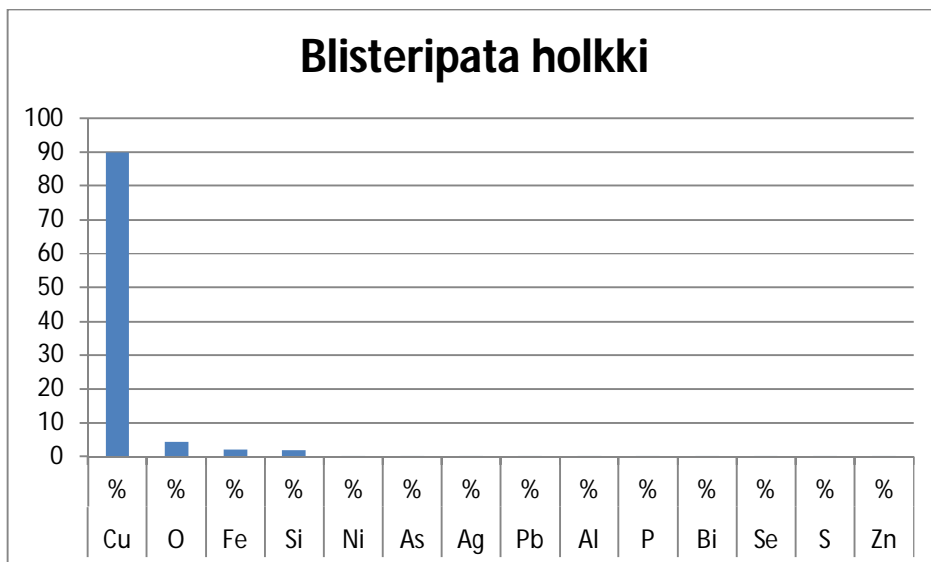


Kuva 12 Loppukuonapataholkin näyte

Liitteissä 18-19 on konvertterien loppukuonapataholkkien näytteiden analyysit.

3.3.7. Blisteripataholkki

Näytteiden keskimääräinen kuparipitoisuus on 89,95 %, raudan pitoisuus on 2,1 % ja rikin pitoisuus on 0,03 %. Kuparin raudan ja rikin yhteinen pitoisuus on 92,08 %. Blisteripataholkeista muodostuva murskamäärä on 17,7 t/vrk joka on 17,017 % koko murska määrästä.



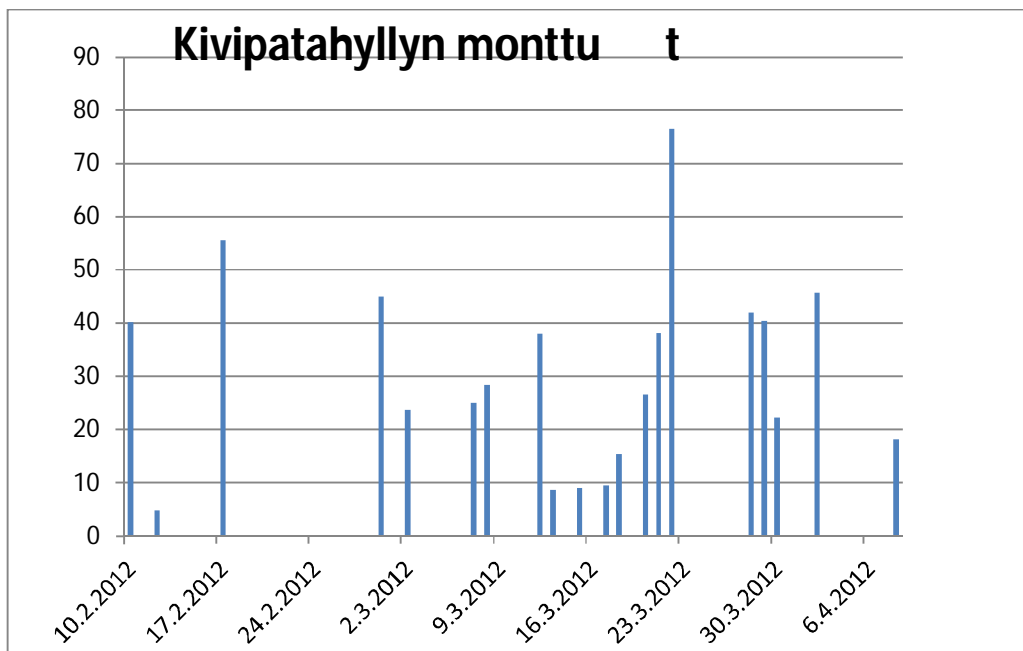
Kuva13 Blisteripataholkin näyte

Liitteessä 20 on blisteripataholkkien näytteiden analyysit.

3.3.8. Eri murskajakeissa syntyvä kupari eroteltuna

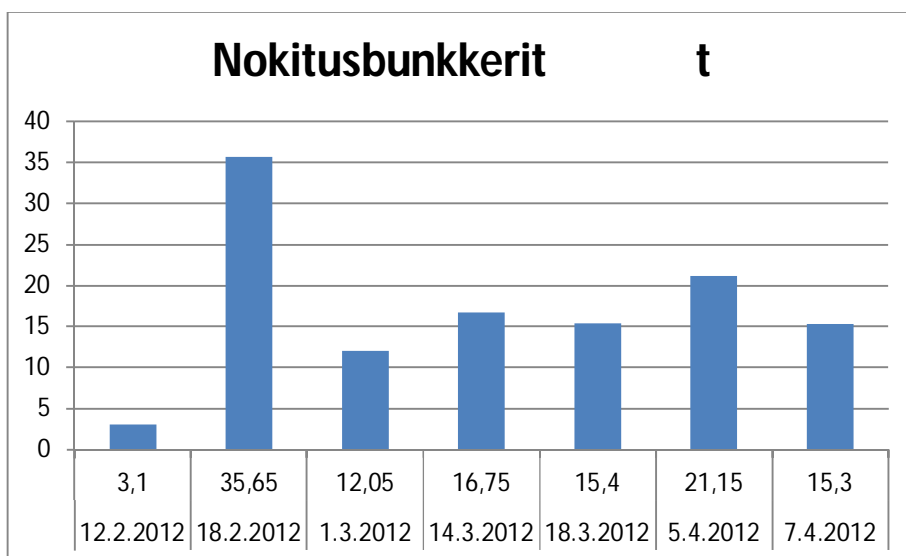
Kivipatahyllyn alta punnittu murskamäärä on 9,42 t/vrk josta kuparia on 6,335 t.

Punnittu murskamäärä tässä jakeessa on esitetty taulukossa 1. Punnitukset on suoritettu 10.2.2012-8.4.2012 välisenä aikana



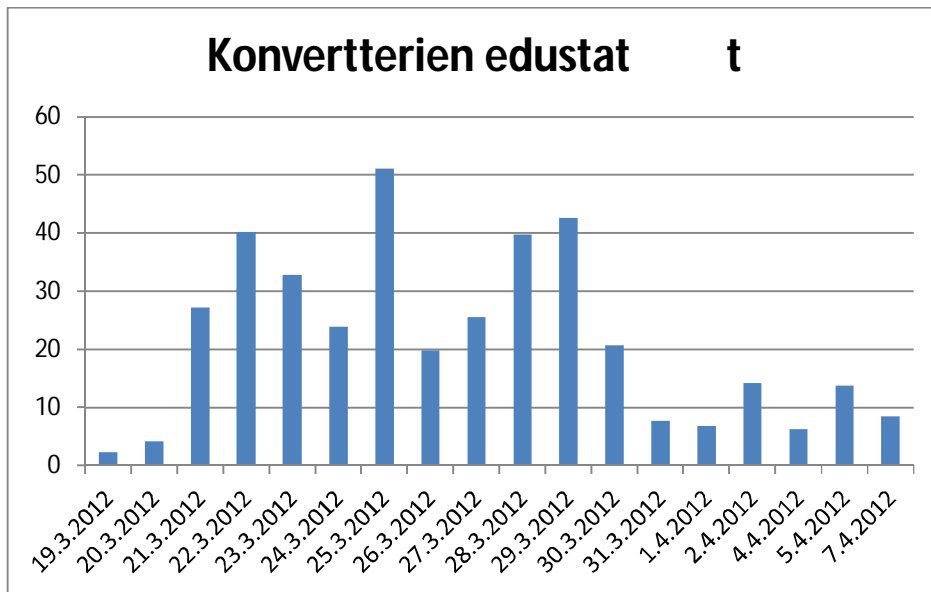
Kuva 1 Murskan syntymäärä kivipatahyllyn montussa

Kupariliikkiuunin nokitusbunkkereissa syntyvä murskamäärä on 2,10 t/vrk josta kuparia on 0,480 t. Taulukossa 2 oleva murskamäärä on punnittu 12.2.2012-7.4.2012 välisenä aikana.



Kuva 2 Kupariliikkiuunin nokitusbunkkerien murskamäärä.

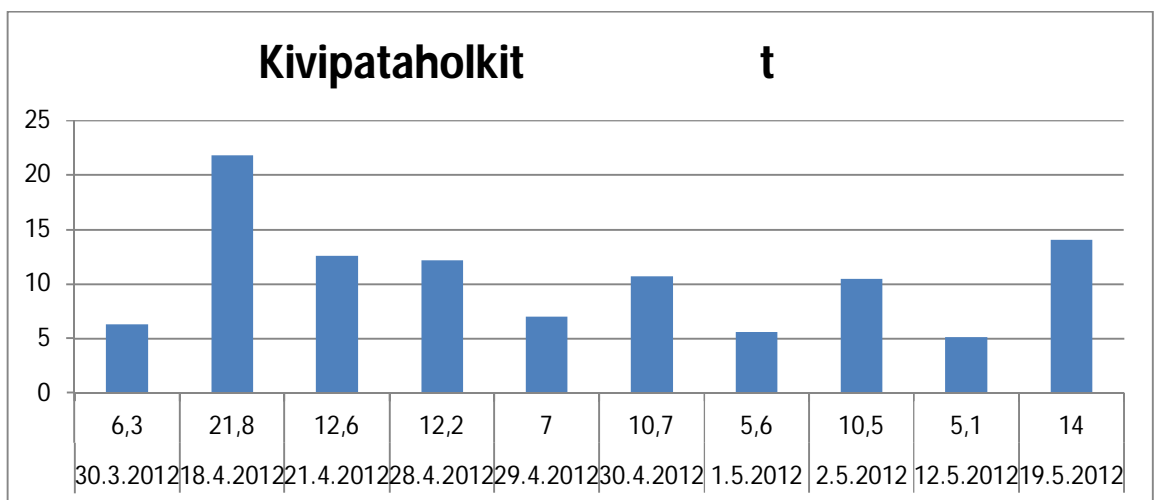
Konvertterien edustoille syntyvä murska määrä on 19,35 t/vrk josta kuparia on 7,653 t. Taulukossa 3 oleva murskamäärä on punnittu 19.3.2012-7.4.2012 välisenä aikana.



Kuva 3 Konvertterien edustojen murskamäärä.

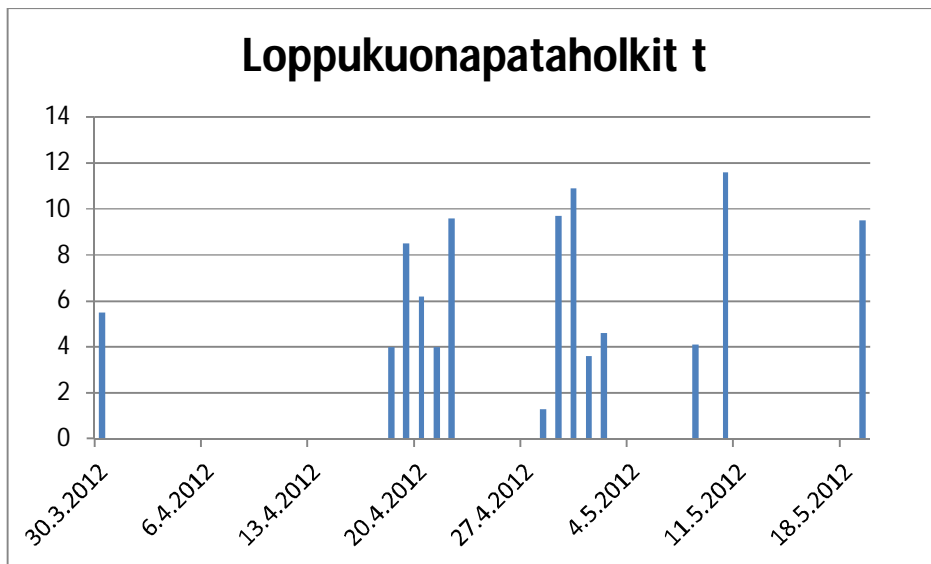
Konvertterien laskeutumiskammioista syntyvä murska määrä on 3,75 t/vrk josta kuparia on 3,064 t. Laskeutumiskammioiden punnituksista ei saanut järkevää taulukkoa aikaiseksi punnituskertojen vähyyden vuoksi, joten tyydyin ilmoittamaan tulokset vain numeerisesti.

Kivipataholkeista syntyvä murskamäärä on 31,74 t/vrk josta kuparia on 19,012 t. Punnitustulokset ovat taulukossa 4 ja punnittu 30.3.2012-19.5.2012 välisenä aikana.



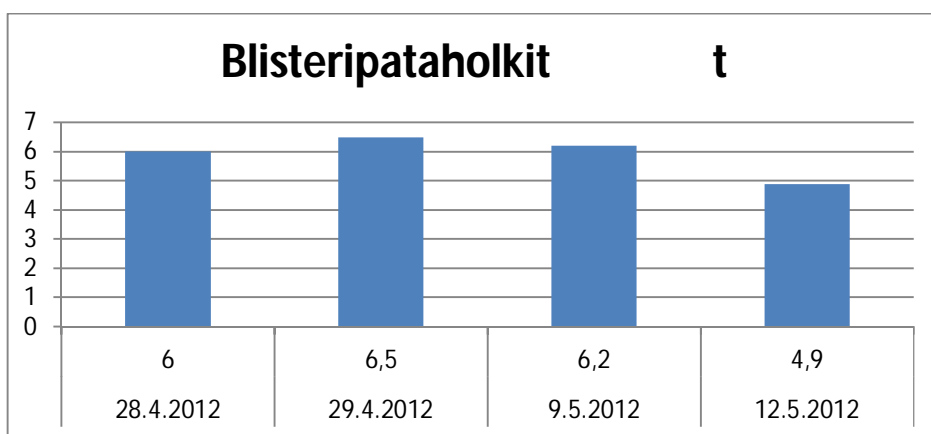
Kuva 4 Kivipataholkeista syntynyt murskamäärä.

Loppukuonapataholkeista syntyvä murska määrä on 19,95 t/vrk josta kuparia on 5,326 t. Taulukossa 5 oleva murskajae on punnittu ajalla 30.3.2012-19.5.2012.



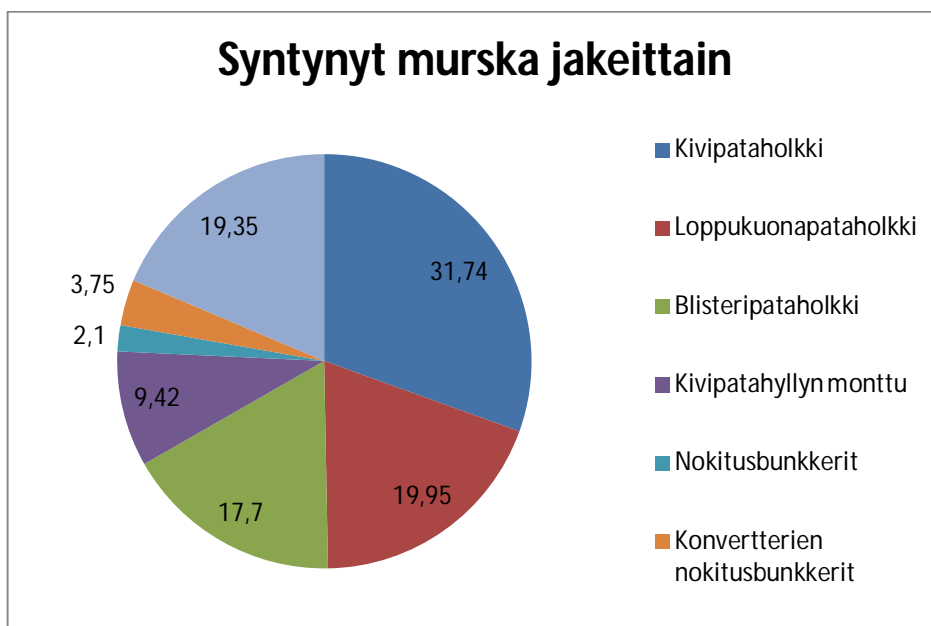
Kuva 5 Loppukuonapataholkeista syntynyt murskamäärä.

Blisteripataholkeista syntyvä murskamäärä on 17,7 t/vrk josta kuparia on 15,921 t. punnitut murskamäärät ajalta 28.4.2012-12.5.2012.



Kuva 6 Blisteripataholkeista syntynyt murskamäärä.

Kokonaisuudessaan syntyvä murska määrä on 104,01 t/vrk josta kuparia on 57,791 t. Koe ja punnitusjakson aikana syntynyt murskamäärä alla esitettynä taulukossa 7. Tässä taulukossa on huomioitu myös nuo nokitusbunkkereiden punnitukset.



Kuva 7 Kokonaismurskamäärä jakeittain.

3.4. Tulosten arviointi

Murskaa syntyy sulatolla eri kohteissa, kuten kivipatahyllysten alle roiskuneesta kuparikivestä ja rännikameista, jotka pudotetaan kivipatamonnttuun, nokitusbunkkereista, laskeutumiskammioista, konvertterien edustoilta ja pataholkeista. Punnitusten kokonaismäärä kaikissa kohteissa on yhteensä 104,01 t/vrk. Syöttötaso on ollut koko punnitusten ja näytteiden oton aikana 80 t/h, mikä vaikuttaa myös murskien määrään. Normaalisti 100 t/h syöttötasolla murskamäärä on hieman suurempi eli noin 120 t/vrk, jolloin murska jakaantuu samoihin kohteisiin hieman suurempina määrinä, kuitenkin suhteessa toisiinsa. Murskan syntyyn vaikuttaa myös oleellisesti prosessihäiriöt, kuten esimerkiksi patavaunun siirtoketjun katkeaminen, joka saa kivipadan jäämään patahyllylle jolloin sitä ei saada siirrettyä pois, vaan padan reunoille alkaa jähmettyä kuparikiveä pikkuhiljaa enemmän ja enemmän. Näin syntyy painava pataholkki, joka lisää murskan määrää. Varsinkin talviaikaan jähmettyminen tapahtuu nopeasti.

Kaikista näytteistä yhteen laskettu puhdas kuparimäärä on 57,751 t/vrk. Kuparia on noin hieman yli puolet koko murskamäärästä. Punnitustulosten osalta tulokset ovat melko tarkkoja lukuun ottamatta pataholkkien punnituksia, joissa punnitusjakson olisi pitänyt olla vielä paljon pidempi. Pataholkkipunnitusten haasteellisuuden ja alkavan kesäseisokin takia tulokset on kerrottu kolmella, koska tehdas työskentelee kolmessa vuorossa. Tulokset ovat kuitenkin riittävän tarkkoja, jotta niiden perusteella on voitu laskea murska määrät eri jakeissa. Analyysit murskanäytteistä ovat hyvin tarkkoja ja kertovat niiden kuparipitoisuuden, mikä tässä työssä on tärkeintä.

3.4.1. Kivipatahyllyn alunen

Kivipatahyllyn alle kerääntynyt murska on kumppanuusyritysten toimesta siivottu ja viety hallin itäpäätyyn murskattavaksi. Ennen siivousta on otettu näytteet ja toimitettu ne laboratorioon analysoitavaksi. Samanaikaisesti murskakasat on myös punnittu ja punnitustulokset ovat liitteissä. Analyysitulokset ovat edellä olevissa taulukoissa.

Analyysien ja punnitustulosten perusteella on laskettu koko syntynyt murskamäärä, joka tässä kohteessa on 9,42 t/vrk. Näytteissä oleva kuparipitoisuus on keskimäärin 67,25 %. Puhdasta kuparia tässä määrässä on 6,335 t. Punnitustulos on pitkän aikavälin tulos ja on melko tarkka. Liite A.

3.4.2. Nokitusbunkkerit

Nokitusbunkkerien murskien punnitus ja siivous tapahtui myös kumppanuusyritysten toimesta. Näytteet toimitettiin laboratorioon analysoitaviksi ja niistä on myös analysoitu yllä. Punnitustulokseksi saatiin 2,10 t/vrk, joka on melko pieni määrä kokonaisuudessaan. Kuparia näissä näytteissä on 22,8 % ja nämä murskat sopivat oikein hyvin syötettäviksi kupariliekkiiuuniin, kuitenkin niin, että ne sekoitetaan muun rikasteen joukkoon. Nämä murskat sisältävät hyvin paljon happea, joka niihin sitoutuu kemiallisissa reaktioissa nousukuilulla ja kattilan etuosassa rikastepölyn sulfatoituessa. Puhtaaksi kupariksi laskettu määrä on 0,479 t/vrk Liite B.

3.4.3. Konvertterien edustat

Konvertterien edustoille kerääntyy murskaa mm. kun konvertterit nostetaan pystyyn ja puhallus on samanaikaisesti päällä, jolloin konverttereista lentää ulos sulaa kuonaa ja kuparikiveä. Puhalluksen päälläolo samanaikaisesti on välttämätöntä, jottei konvertterien hormiputket tukkeentuisi sulan tunkeutuessa niihin. Konvertterien ollessa eteen käännettynä niistä piikataan ns. turpakamit, kuitenkin niin, että kamit piikataan suurimmaksi osaksi konvertteriin takaisin. Siitä huolimatta osa kameista putoaa konvertterien eteen, josta kumppanuusyritykset siivoavat ne lähes päivittäin pois. Kameista ja edustan murskasta on punnitustulokseksi saatu 19,35 t/vrk ja kuparipitoisuus näytteissä on 39,55 %, mikä on koko syntyvän murskan määrästä 18,60 %. Puhdasta kuparia syntyy 7,653 t Liite C.

3.4.4. Konvertterien laskeutumiskammiot

Konvertterien laskeutumiskammioihin kerääntyy hienojakoista murskaa puhallusten yhteydessä. Kuona- sekä rikkaaksipuhalluksessa kuona ja kuparikivi kerrostuvat päällekkäin ja murskaa pitää ensin sekoittaa, jotta siitä saataisiin edustava näyte.

Murskaa syntyy keskimäärin 3,75 t/vrk ja sen kuparipitoisuus on keskimäärin 81,7 %. Tämä on koko syntyvästä murskan määrästä 3,605 %. Puhdasta kuparia murskassa on 3,064 t. Liite D.

3.4.5. Kivipataholkit

Kivipataholkit on punnittu Bolidenin toimesta ja punnitukset on kerätty erilliselle listalle, joka on lisätty liitteeksi E. Kivipataholkeista kertyvä murskamäärä on 31,74t/VRK ja tämä on ylivoimaisesti eniten murskaa tuottava kohde. Tämä on koko syntyvästä murskamäärästä 30,516 %. Murskassa on 59,9 % kuparia, mikä on puhtaaksi kupariksi laskettuna 19,012t vuorokaudessa.

3.4.6. Loppukuonapataholkit

Myös loppukuonapataholkit punnittiin Bolidenin toimesta. Loppukuonapataholkeista syntyy murskaa 19,95 t/vrk, joka on 19,181 % koko murskamäärästä. Näytteissä on kuparia keskimäärin 26,5 %. Puhtaan kuparin määrä syntyvässä murskassa on 5,287 t. Punnitustulokset ovat liitteessä F.

3.4.7. Blisteripataholkit

Blisteripataholkit on punnittu myös Bolidenin toimesta. Näiden pataholkkien näytteissä kuparia on keskimäärin 89,95 %. Murskaa tässä vaiheessa syntyy 17,7 t/vrk, joka on 17,017 % koko murskan määrästä. Puhdasta kuparia blisteripataholkeissa on keskimäärin 15,921 t. Liite G.

3.5. Johtopäätökset

Kuparimurskissa happipitoisuuden ollessa korkealla ja kuparipitoisuuden ollessa matalalla voidaan päätellä, että kupari on oksidisessa muodossa ja näin se olisi hyvä syöttää takaisin liekkisulatusuuniin. Rautapitoisuuden ollessa korkealla murskajakeelle paras paikka on liekkisulatusuuni, samoin rikkipitoisuuden ollessa korkealla paikka olisi myös liekkisulatusuunissa.

Konverttereihin syötettävän murskajakeen tulisi olla mahdollisimman runsaasti kuparia sisältävää ja karkeaa, jotta sitä voidaan syöttää jäähdykkeeksi turvallisesti konverttereihin leimahdusvaaran vuoksi. Näissä murskajakeissa, joita olen käsitellyt tässä työssäni, paras jae konvertteriin syötettäväksi on blisteripataholkeista syntyvä murska, jossa kuparipitoisuus on 89,95 %. Lisäksi raudan (2,1 %) ja rikin (0,03 %) määrät ovat hyvin pieniä ja murska on riittävän karkeassa muodossa.

Vaikka konvertterien laskeutumiskammioissa olevassa murskassa on korkea kuparipitoisuus (81,7 %) ja raudan (0,992 %) ja rikin (11,3 %) pitoisuudet ovat alhaisia, ei se hienojakoisuutensa vuoksi sovi mielestäni konverttereihin syötettäväksi. Tämän murskajakeen paikka olisi siis liekkisulatusuuni.

Kaikki muut murskajakeet tulisi syöttää liekkisulatusuuniin, paitsi blisteripataholkeista syntyvä murska, joka voidaan syöttää suoraan takaisin konverttereihin jäähdykkeeksi.

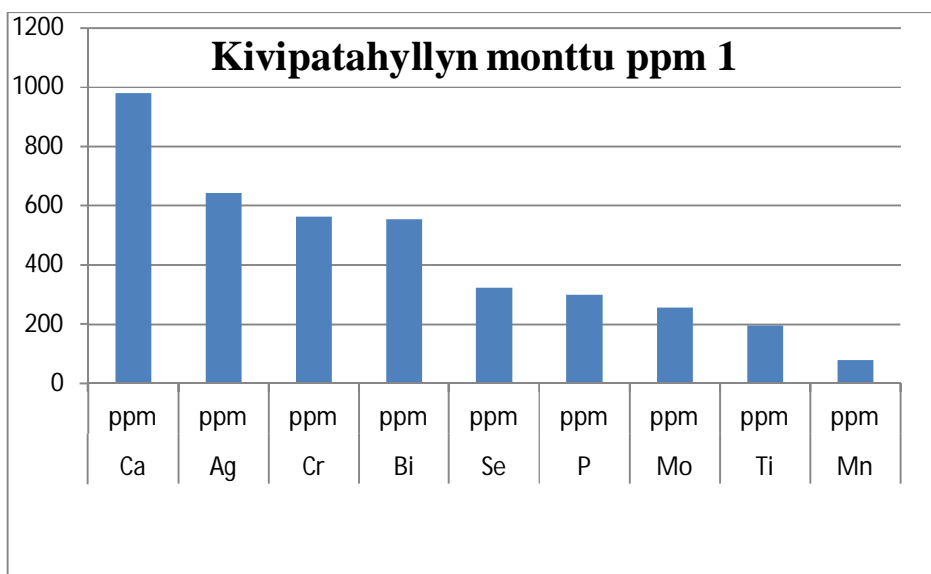
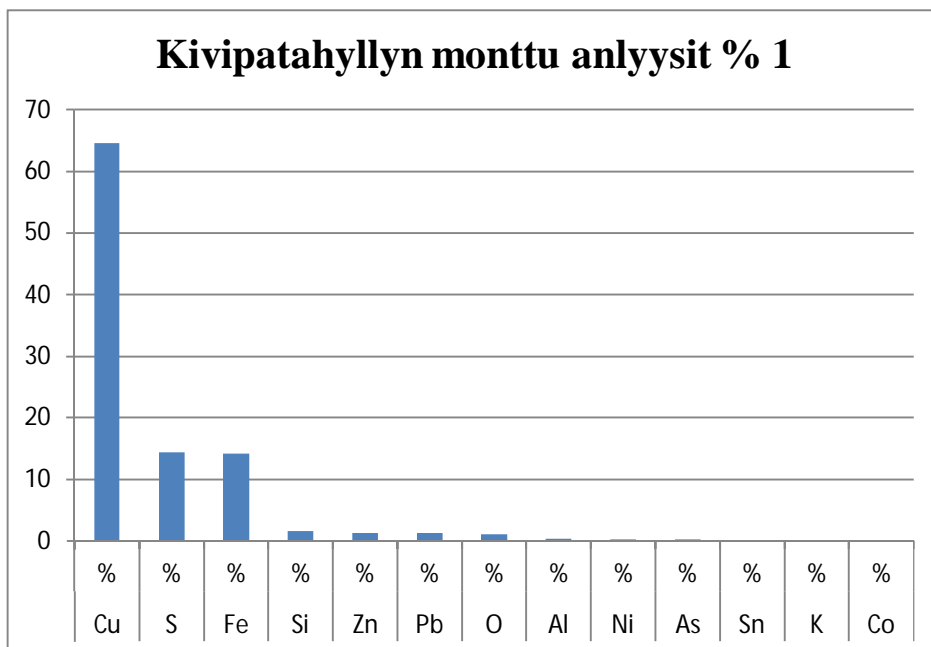
Liitteet

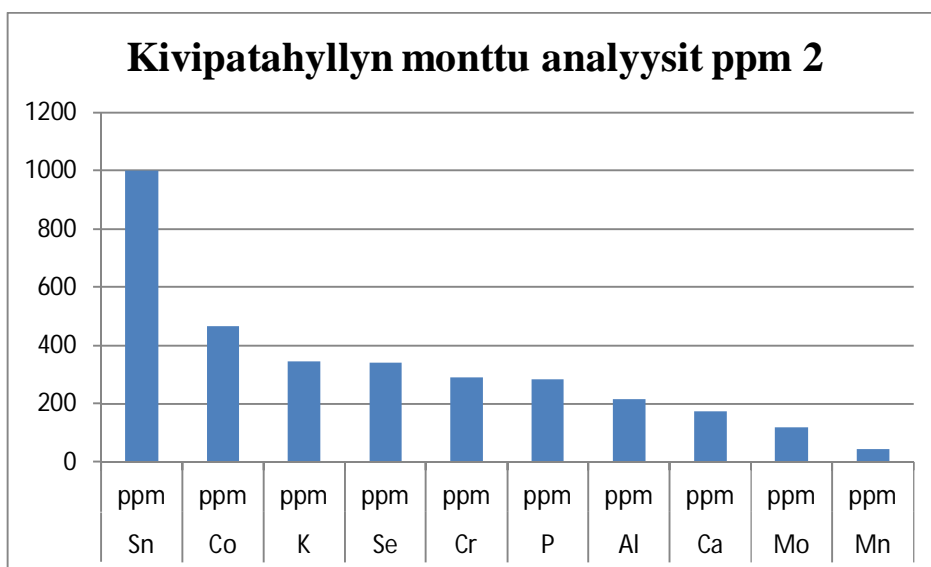
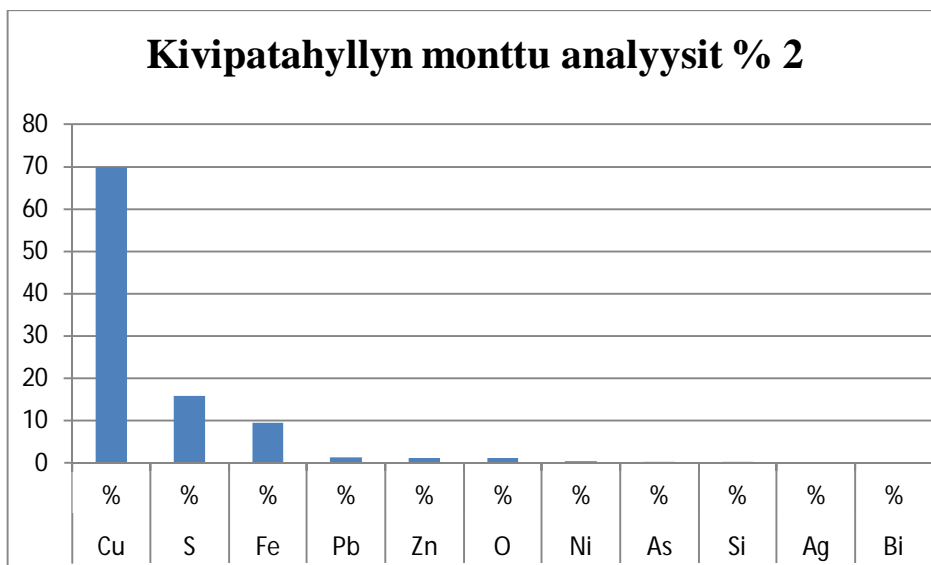
Kivipatahyllyn alta kerätyn näytteen analyysit

Liite 1

Kivipatahyllyn monttu %		
Cu	64,6	%
S	14,4	%
Fe	14,2	%
Si	1,55	%
Zn	1,25	%
Pb	1,24	%
O	1,1	%
Al	0,362	%
Ni	0,316	%
As	0,25	%
Sn	0,13	%
K	0,12	%
Co	0,1	%
Ca	981	ppm
Ag	643	ppm
Cr	564	ppm
Bi	554	ppm
Se	323	ppm
P	301	ppm
Mo	256	ppm
Ti	195	ppm
Mn	80	ppm

Kivipatahyllyn monttu 2 %		
Cu	69,9	%
S	15,8	%
Fe	9,54	%
Pb	1,29	%
Zn	1,11	%
O	1,1	%
Ni	0,45	%
As	0,224	%
Si	0,188	%
Ag	0,145	%
Bi	0,136	%
Sn	1000	ppm
Co	468	ppm
K	345	ppm
Se	340	ppm
Cr	289	ppm
P	283	ppm
Al	215	ppm
Ca	174	ppm
Mo	119	ppm
Mn	44	ppm



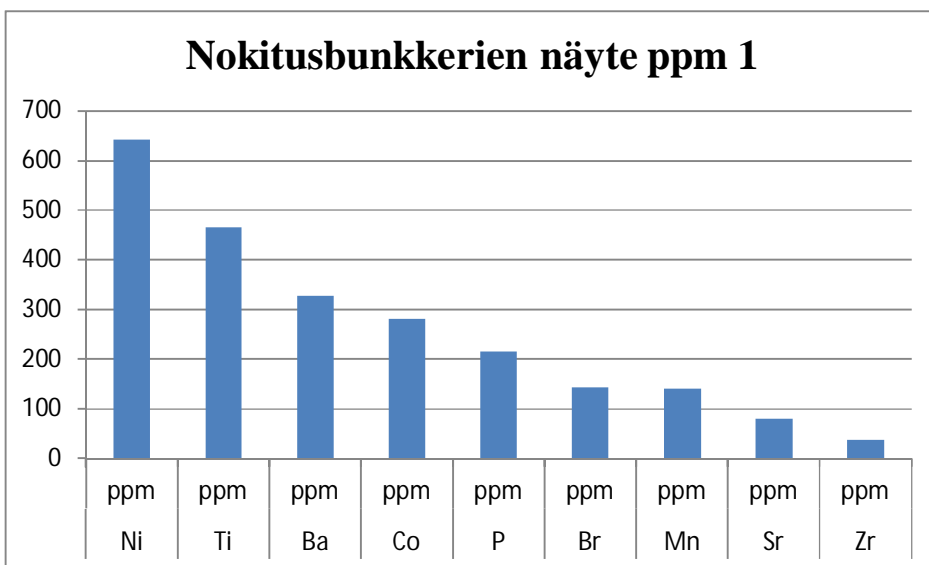
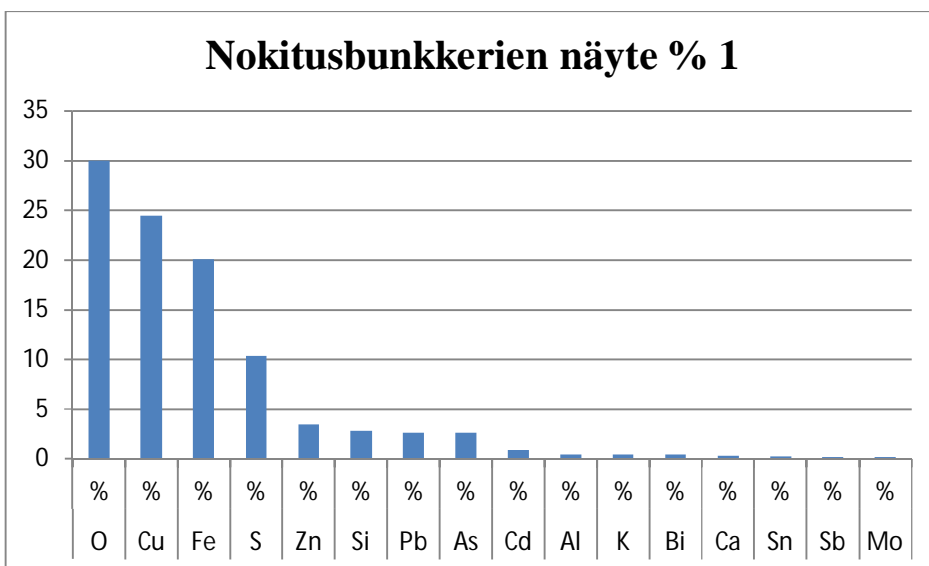


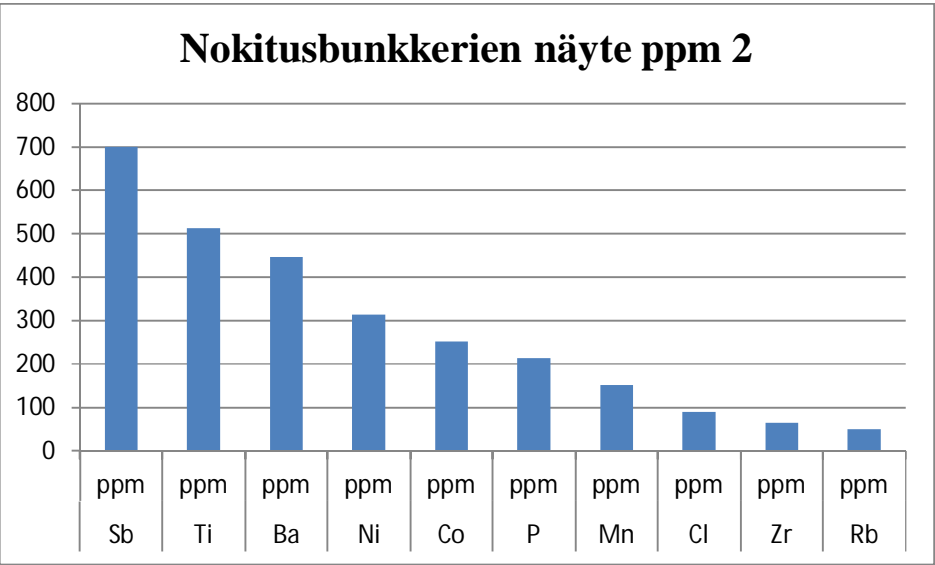
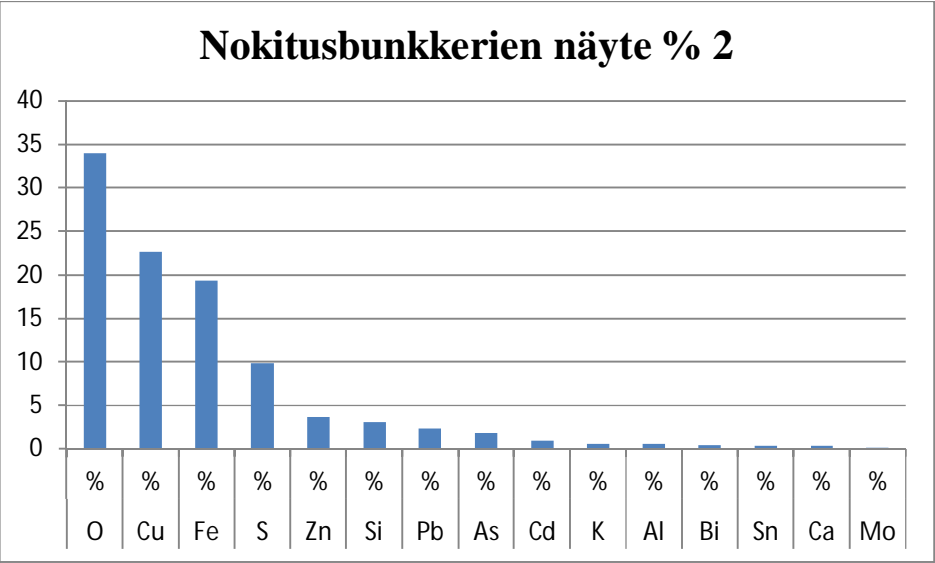
Nokitusbunkkerien näyte 1		
O	30	%
Cu	24,5	%
Fe	20,1	%
S	10,4	%
Zn	3,46	%
Si	2,84	%
Pb	2,67	%
As	2,66	%
Cd	0,87	%
Al	0,486	%
K	0,455	%
Bi	0,448	%
Ca	0,351	%
Sn	0,291	%
Sb	0,149	%
Mo	0,124	%
Ni	642	ppm
Ti	466	ppm
Ba	328	ppm
Co	282	ppm
P	215	ppm
Br	143	ppm
Mn	141	ppm
Sr	81	ppm
Zr	38	ppm

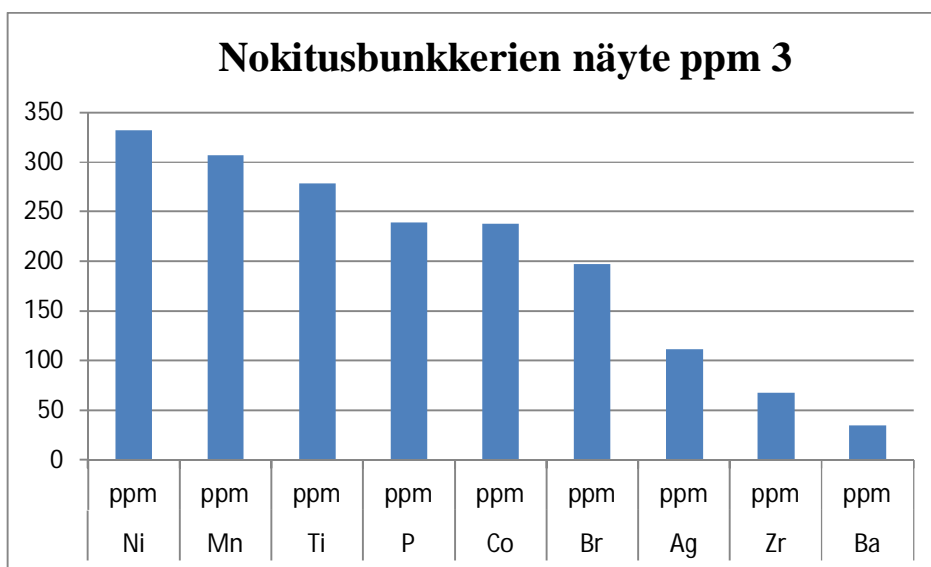
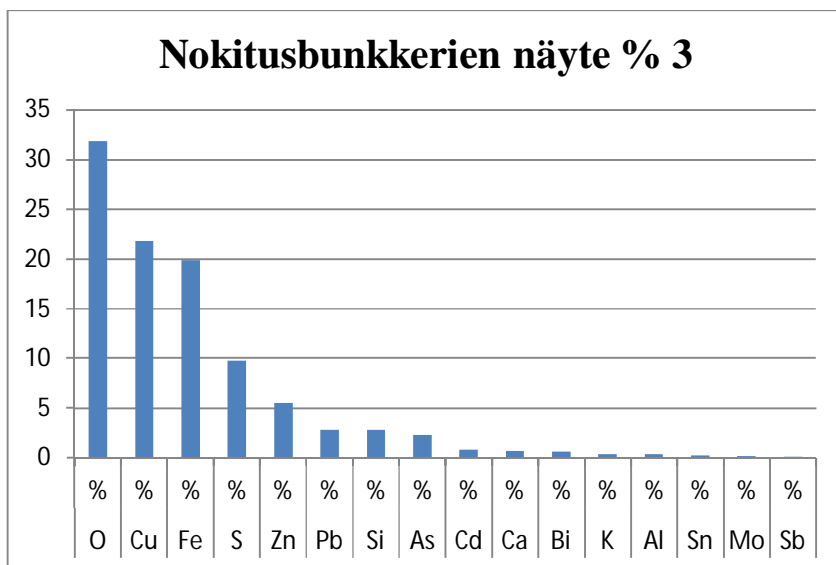
Nokitusbunkkerien näyte 2		
O	34	%
Cu	22,7	%
Fe	19,3	%
S	9,86	%
Zn	3,71	%
Si	3,04	%
Pb	2,35	%
As	1,83	%
Cd	0,873	%
K	0,506	%
Al	0,49	%
Bi	0,417	%
Sn	0,282	%
Ca	0,274	%
Mo	0,112	%
Sb	700	ppm
Ti	512	ppm
Ba	447	ppm
Ni	315	ppm
Co	253	ppm
P	214	ppm
Mn	153	ppm
Cl	89	ppm
Zr	65	ppm
Rb	51	ppm

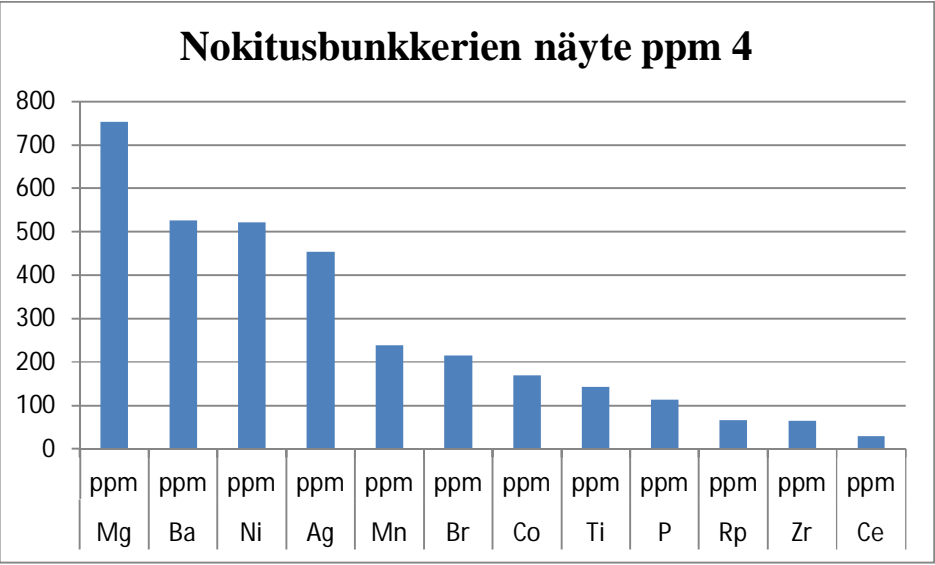
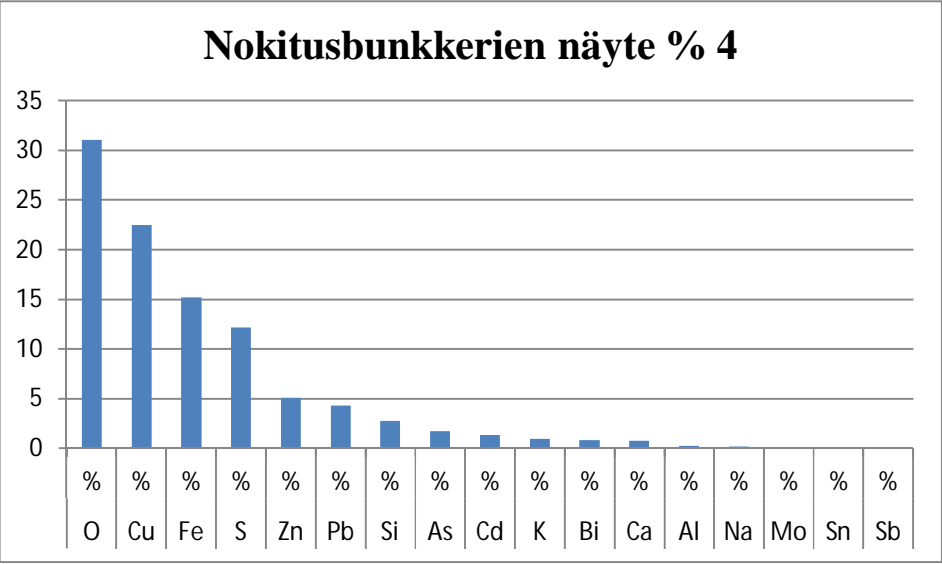
Nokitusbunkkerien näyte 3		
O	31,9	%
Cu	21,8	%
Fe	19,9	%
S	9,72	%
Zn	5,51	%
Pb	2,79	%
Si	2,79	%
As	2,27	%
Cd	0,743	%
Ca	0,657	%
Bi	0,607	%
K	0,365	%
Al	0,316	%
Sn	0,197	%
Mo	0,159	%
Sb	0,114	%
Ni	332	ppm
Mn	307	ppm
Ti	279	ppm
P	239	ppm
Co	238	ppm
Br	197	ppm
Ag	112	ppm
Zr	68	ppm
Ba	35	ppm

Nokitusbunkkerien näyte 4		
O	31,1	%
Cu	22,5	%
Fe	15,2	%
S	12,2	%
Zn	5,08	%
Pb	4,26	%
Si	2,8	%
As	1,7	%
Cd	1,35	%
K	0,945	%
Bi	0,849	%
Ca	0,781	%
Al	0,241	%
Na	0,239	%
Mo	0,167	%
Sn	0,129	%
Sb	0,103	%
Mg	753	ppm
Ba	527	ppm
Ni	521	ppm
Ag	454	ppm
Mn	238	ppm
Br	216	ppm
Co	170	ppm
Ti	142	ppm
P	114	ppm
Rp	66	ppm
Zr	65	ppm
Ce	29	ppm



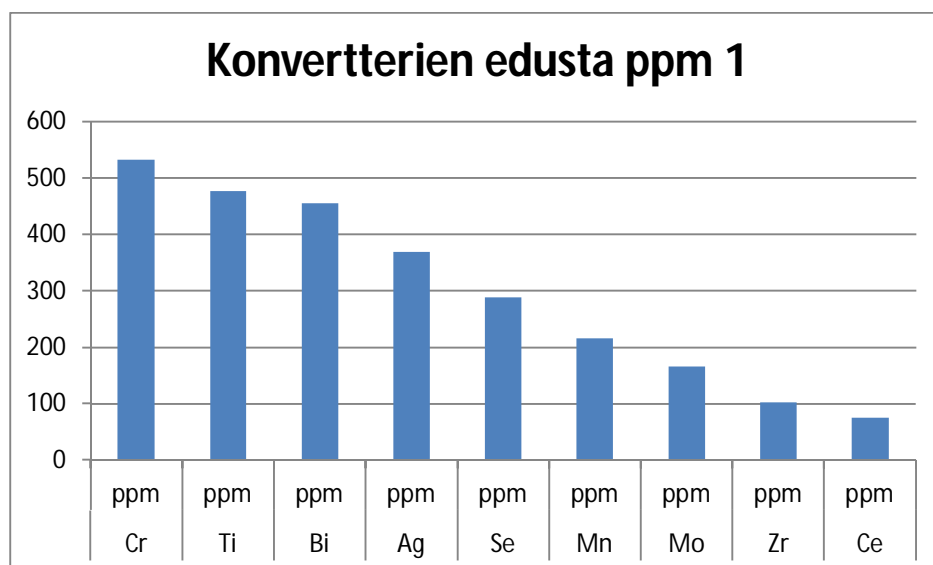
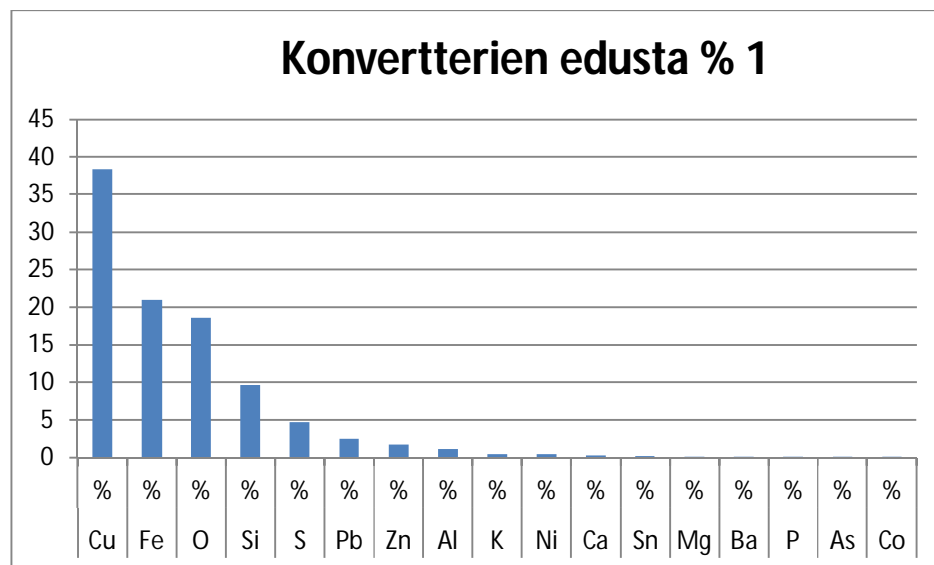


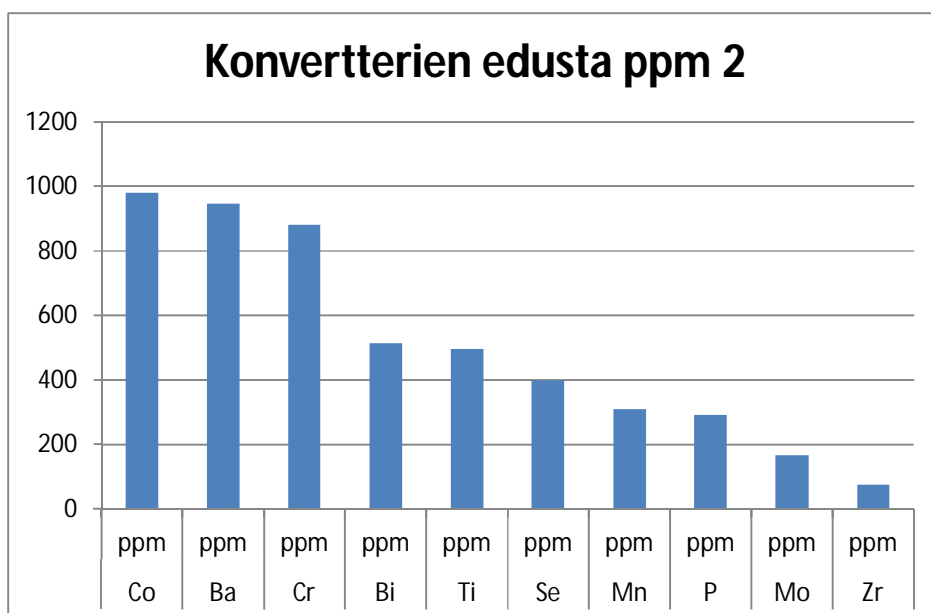
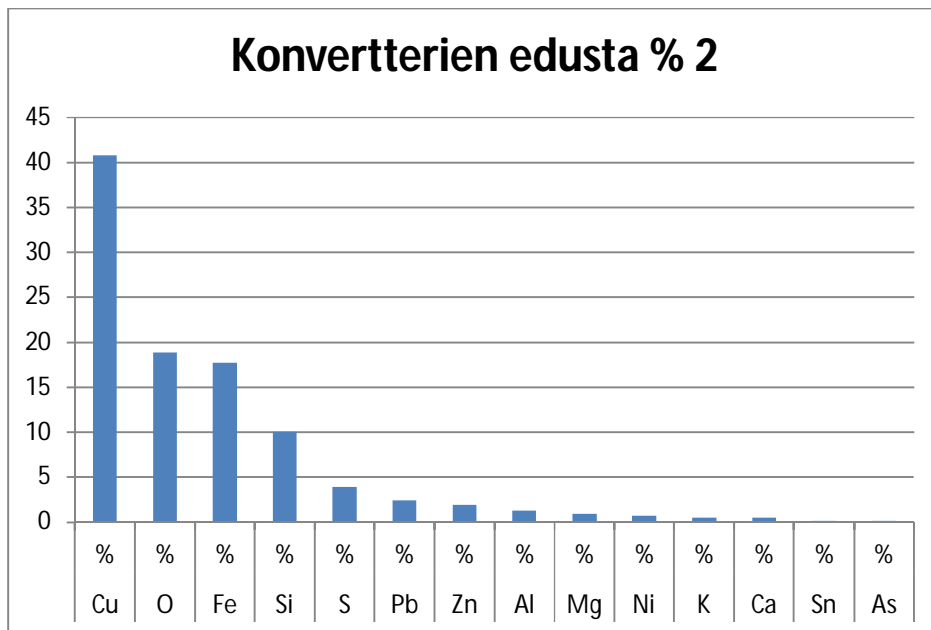




Konvertterien edusta näyte 1		
Cu	38,3	%
Fe	21	%
O	18,6	%
Si	9,62	%
S	4,72	%
Pb	2,54	%
Zn	1,77	%
Al	1,21	%
K	0,457	%
Ni	0,442	%
Ca	0,263	%
Sn	0,154	%
Mg	0,149	%
Ba	0,133	%
P	0,117	%
As	0,115	%
Co	0,1	%
Cr	533	ppm
Ti	477	ppm
Bi	456	ppm
Ag	369	ppm
Se	289	ppm
Mn	216	ppm
Mo	166	ppm
Zr	102	ppm
Ce	76	ppm

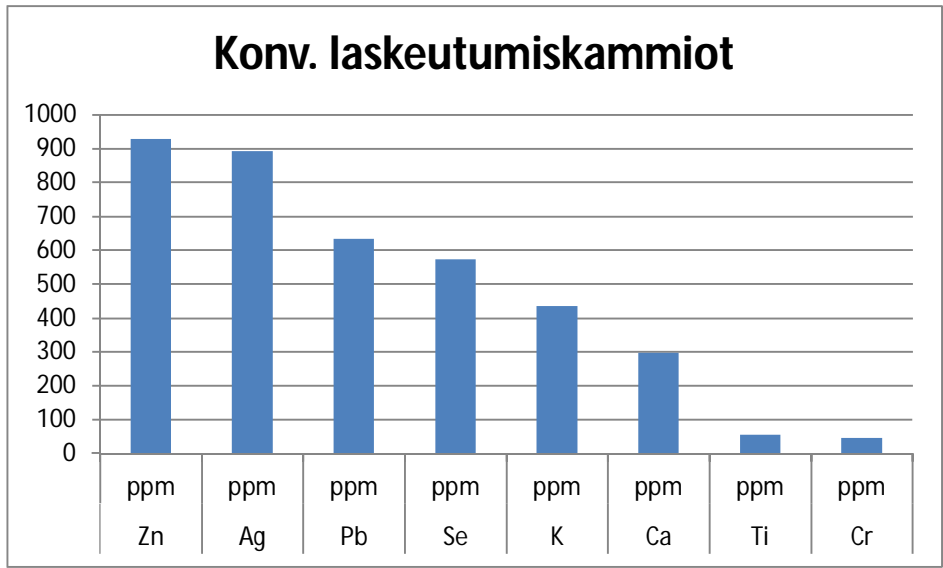
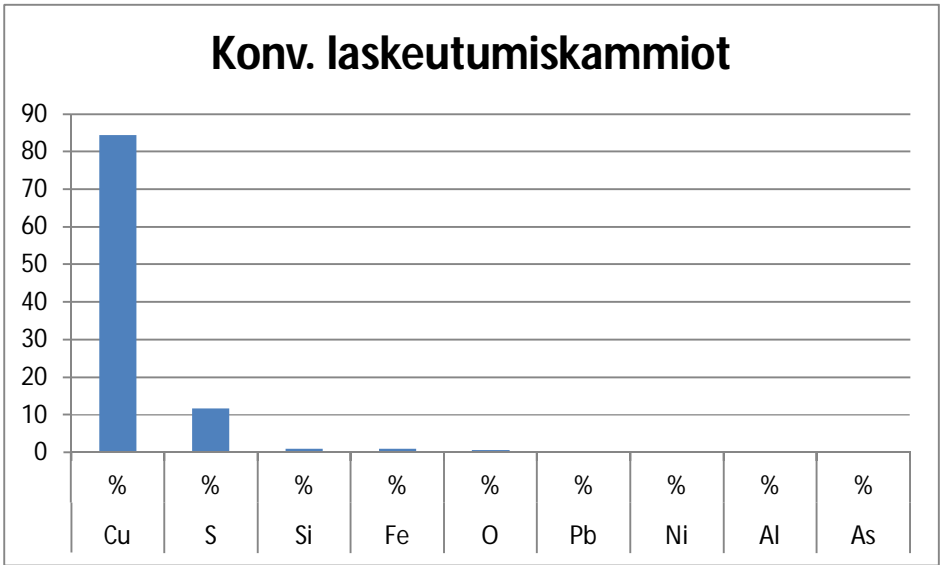
Konvertterien edusta näyte 2		
Cu	40,8	%
O	18,8	%
Fe	17,7	%
Si	10	%
S	3,92	%
Pb	2,38	%
Zn	1,91	%
Al	1,3	%
Mg	0,921	%
Ni	0,638	%
K	0,479	%
Ca	0,442	%
Sn	0,13	%
As	0,106	%
Co	981	ppm
Ba	946	ppm
Cr	881	ppm
Bi	515	ppm
Ti	496	ppm
Se	399	ppm
Mn	310	ppm
P	291	ppm
Mo	167	ppm
Zr	75	ppm

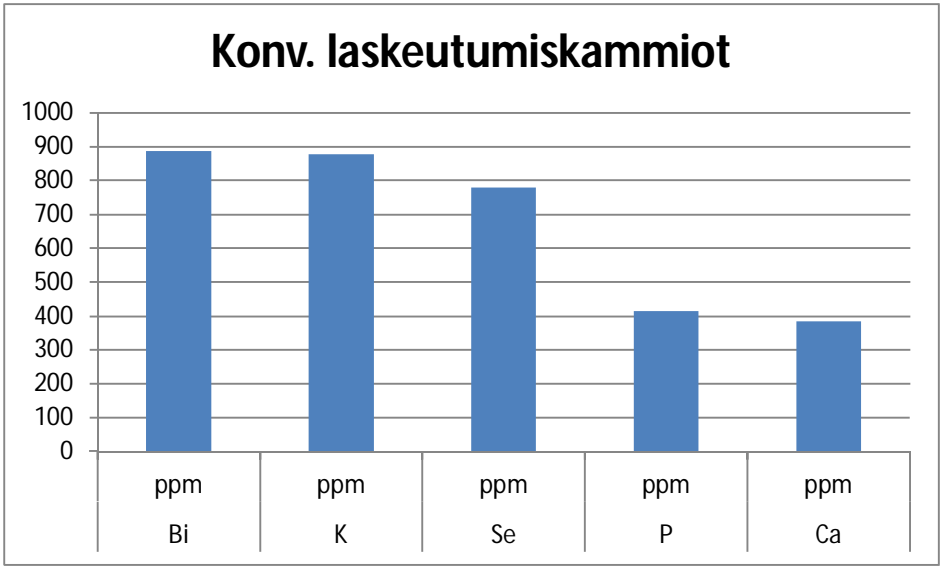
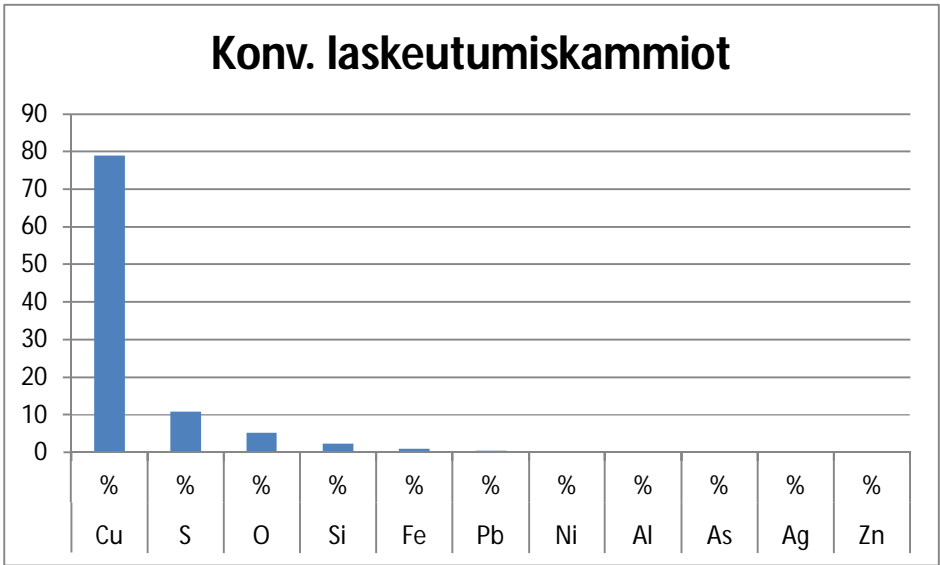




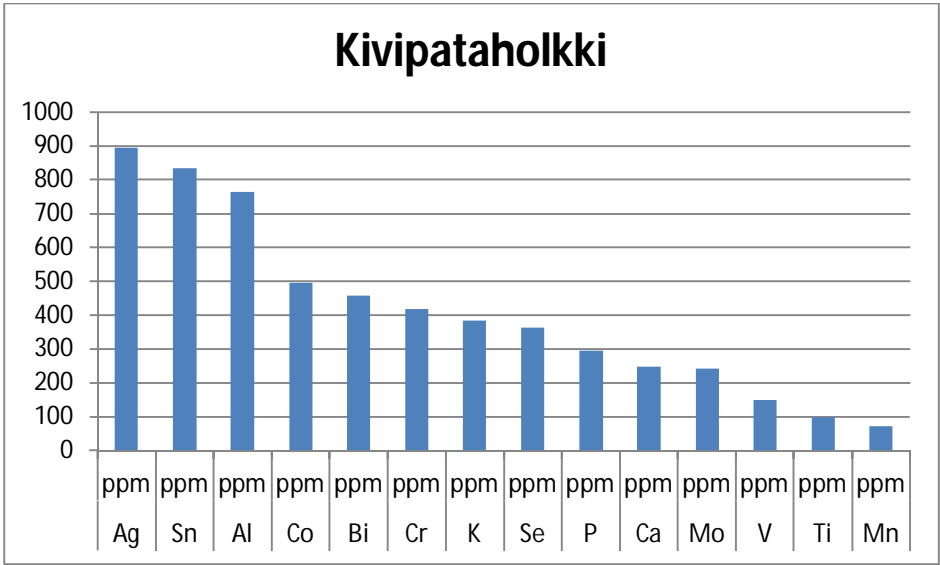
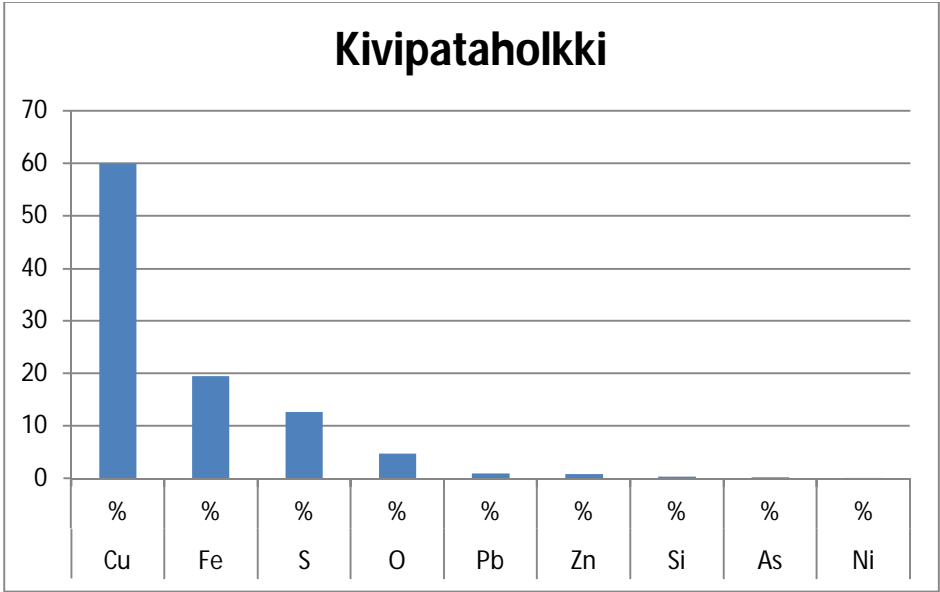
Konv. laskeutumiskammiot näyte 1		
Cu	84,5	%
S	11,7	%
Si	1,01	%
Fe	0,99	%
O	0,6	%
Pb	0,296	%
Ni	0,237	%
Al	0,194	%
As	0,152	%
Zn	929	ppm
Ag	893	ppm
Pb	635	ppm
Se	573	ppm
K	436	ppm
Ca	298	ppm
Ti	55	ppm
Cr	45	ppm

Konv. laskeutumiskammiot näyte 2		
Cu	78,9	%
S	10,9	%
O	5,2	%
Si	2,43	%
Fe	0,993	%
Pb	0,352	%
Ni	0,264	%
Al	0,241	%
As	0,161	%
Ag	0,122	%
Zn	0,12	%
Bi	888	ppm
K	877	ppm
Se	779	ppm
P	415	ppm
Ca	384	ppm

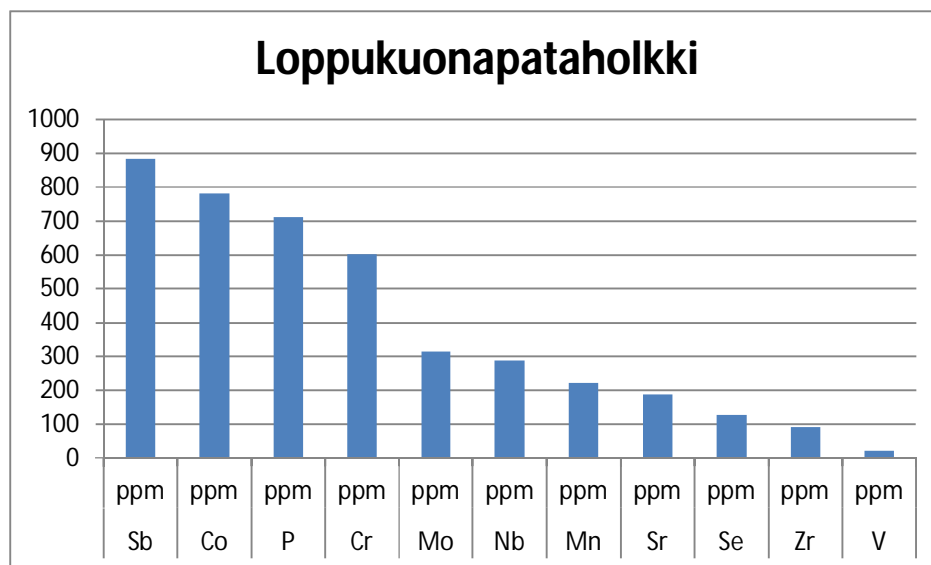
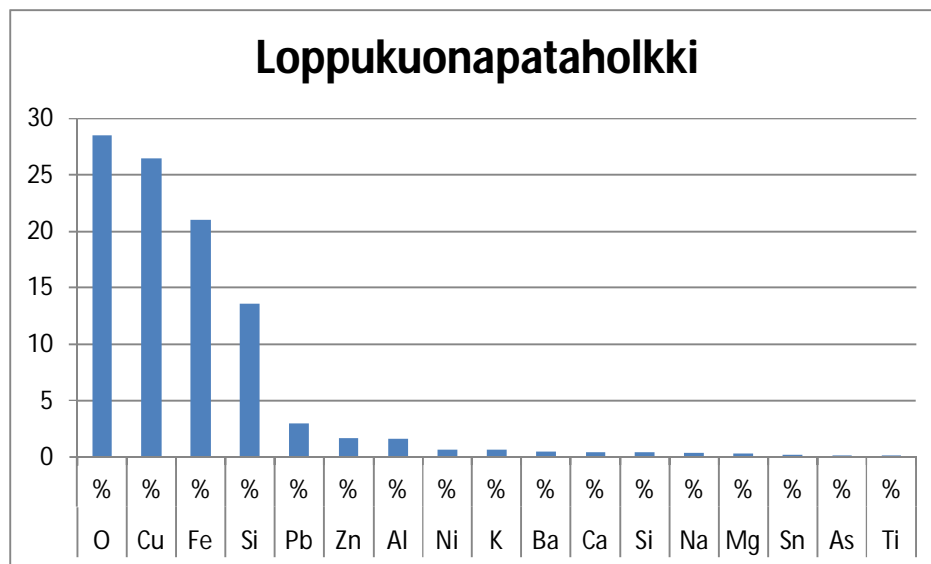




Kivipataholkki		
Cu	59,9	%
Fe	19,5	%
S	12,7	%
O	4,8	%
Pb	0,953	%
Zn	0,804	%
Si	0,425	%
As	0,228	%
Ni	0,132	%
Ag	895	ppm
Sn	834	ppm
Al	765	ppm
Co	496	ppm
Bi	458	ppm
Cr	418	ppm
K	383	ppm
Se	363	ppm
P	296	ppm
Ca	247	ppm
Mo	242	ppm
V	149	ppm
Ti	99	ppm
Mn	73	ppm



Loppukuonapataholkki		
O	28,5	%
Cu	26,5	%
Fe	21	%
Si	13,6	%
Pb	3,01	%
Zn	1,67	%
Al	1,63	%
Ni	0,626	%
K	0,609	%
Ba	0,476	%
Ca	0,428	%
Si	0,4	%
Na	0,352	%
Mg	0,304	%
Sn	0,174	%
As	0,152	%
Ti	0,101	%
Sb	885	ppm
Co	782	ppm
P	711	ppm
Cr	603	ppm
Mo	314	ppm
Nb	288	ppm
Mn	221	ppm
Sr	189	ppm
Se	127	ppm
Zr	90	ppm
V	21	ppm

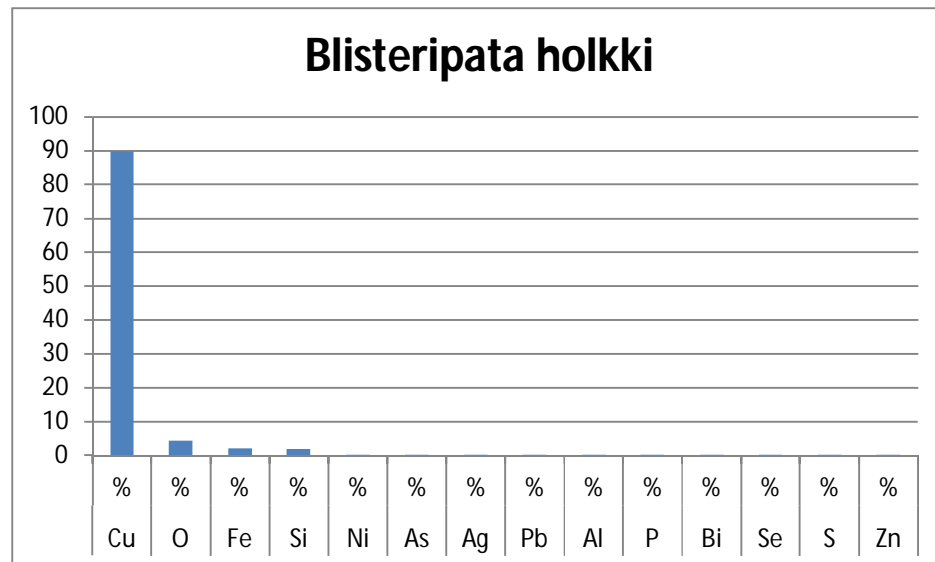


Blisteripataholkin analyysit

Liite 20

Blisteripata holkki		
Cu	89,95	%
O	4,25	%
Fe	2,1	%
Si	1,88	%
Ni	0,33	%
As	0,23	%
Ag	0,13	%
Pb	0,33	%
Al	0,26	%
P	0,07	%
Bi	0,06	%
Se	0,07	%
S	0,03	%
Zn	0,18	%

Blisteripataholkin analyysit



Kivipatahyllyn alta punnitus tulokset

Liite A

Kivipatahyllyn montun	Punnitukset	t
4.2.2012		
5.2.2012		
6.2.2012		
7.2.2012		
8.2.2012		
9.2.2012		
10.2.2012		40,15
11.2.2012		
12.2.2012		4,75
13.2.2012		
14.2.2012		
15.2.2012		
16.2.2012		
17.2.2012		55,6
18.2.2012		
19.2.2012		
20.2.2012		
21.2.2012		
22.2.2012		
23.2.2012		
24.2.2012		
25.2.2012		
26.2.2012		
27.2.2012		
28.2.2012		
29.2.2012		44,9
1.3.2012		
2.3.2012		23,65
3.3.2012		
4.3.2012		
5.3.2012		
6.3.2012		
7.3.2012		25
8.3.2012		28,45

9.3.2012		t
10.3.2012		
11.3.2012		
12.3.2012		38
13.3.2012		8,6
14.3.2012		
15.3.2012		8,95
16.3.2012		
17.3.2012		9,4
18.3.2012		15,4
19.3.2012		
20.3.2012		26,5
21.3.2012		38,15
22.3.2012		76,4
23.3.2012		
24.3.2012		
25.3.2012		
26.3.2012		
27.3.2012		
28.3.2012		42
29.3.2012		40,4
30.3.2012		22,2
31.3.2012		
1.4.2012		
2.4.2012		45,75
3.4.2012		
4.4.2012		
5.4.2012		
6.4.2012		
7.4.2012		
8.4.2012		18,1
65 VRK		612,35
		9,420769
		9,42t/VRK

Nokitusbunkkerien punnitukset

Liite B

Nokitusbunkkerit		t
12.2.2012		3,1
13.2.2012		
14.2.2012		
15.2.2012		
16.2.2012		
17.2.2012		
18.2.2012		35,65
19.2.2012		
20.2.2012		
21.2.2012		
22.2.2012		
23.2.2012		
24.2.2012		
25.2.2012		
26.2.2012		
27.2.2012		
28.2.2012		
29.2.2012		
1.3.2012		12,05
2.3.2012		
3.3.2012		
4.3.2012		
5.3.2012		
6.3.2012		
7.3.2012		
8.3.2012		
9.3.2012		
10.3.2012		
11.3.2012		

12.3.2012		t
13.3.2012		
14.3.2012		16,75
15.3.2012		
16.3.2012		
17.3.2012		
18.3.2012		15,4
19.3.2012		
20.3.2012		
21.3.2012		
22.3.2012		
23.3.2012		
24.3.2012		
25.3.2012		
26.3.2012		
27.3.2012		
28.3.2012		
29.3.2012		
30.3.2012		
31.3.2012		
1.4.2012		
2.4.2012		
3.4.2012		
4.4.2012		
5.4.2012		21,15
6.4.2012		
7.4.2012		15,3
57 VRK		119,4
		2,09473684
		2,1t/VRK

Konvertterien edustojen punnitukset

Liite C

Konvertterien edustat	t
19.3.2012	2,2
20.3.2012	4,2
21.3.2012	27,25
22.3.2012	40,2
23.3.2012	32,75
24.3.2012	23,9
25.3.2012	51,1
26.3.2012	19,8
27.3.2012	25,5
28.3.2012	39,8
29.3.2012	42,56
30.3.2012	20,65
31.3.2012	7,7
1.4.2012	6,8
2.4.2012	14,15
3.4.2012	
4.4.2012	6,2
5.4.2012	13,7
6.4.2012	
7.4.2012	8,5
20 VRK	386,96
	19,348
	19,35t/VRK

Konvertterien laskeutumiskammioiden punnitukset

Liite D

Laskeutumiskammiot		t
5.3.2012		
6.3.2012		
7.3.2012		
8.3.2012		
9.3.2012		
10.3.2012		
11.3.2012		
12.3.2012		
13.3.2012		
14.3.2012		
15.3.2012		
16.3.2012		
17.3.2012		
18.3.2012		
19.3.2012		
20.3.2012		
21.3.2012		
22.3.2012		
23.3.2012		
24.3.2012		
25.3.2012		
26.3.2012		
27.3.2012		
28.3.2012		98,3
29.3.2012		
30.3.2012		
31.3.2012		
1.4.2012		6,8
28 VRK		105,1
		3,753571
		3,75t/VRK

Kivipataholkkien punnitukset

Liite E

Kivipataholkit		t
30.3.2012		6,3
31.3.2012		
1.4.2012		
2.4.2012		
3.4.2012		
4.4.2012		
5.4.2012		
6.4.2012		
7.4.2012		
8.4.2012		
9.4.2012		
10.4.2012		
11.4.2012		
12.4.2012		
13.4.2012		
14.4.2012		
15.4.2012		
16.4.2012		
17.4.2012		
18.4.2012		21,8
19.4.2012		
20.4.2012		
21.4.2012		12,6
22.4.2012		
23.4.2012		
24.4.2012		

25.4.2012		t
26.4.2012		
27.4.2012		
28.4.2012		12,2
29.4.2012		7
30.4.2012		10,7
1.5.2012		5,6
2.5.2012		10,5
3.5.2012		
4.5.2012		
5.5.2012		
6.5.2012		
7.5.2012		
8.5.2012		
9.5.2012		
10.5.2012		
11.5.2012		
12.5.2012		5,1
13.5.2012		
14.5.2012		
15.5.2012		
16.5.2012		
17.5.2012		
18.5.2012		
19.5.2012		14
10 VRK		105,8

Loppukuonapataholkkien punnitukset

Liite F

Konvertterien kuonapataholkit		t
30.3.2012		5,5
31.3.2012		
1.4.2012		
2.4.2012		
3.4.2012		
4.4.2012		
5.4.2012		
6.4.2012		
7.4.2012		
8.4.2012		
9.4.2012		
10.4.2012		
11.4.2012		
12.4.2012		
13.4.2012		
14.4.2012		
15.4.2012		
16.4.2012		
17.4.2012		
18.4.2012		4
19.4.2012		8,5
20.4.2012		6,2
21.4.2012		4
22.4.2012		9,6
23.4.2012		
24.4.2012		

		t
25.4.2012		
26.4.2012		
27.4.2012		
28.4.2012		1,3
29.4.2012		9,7
30.4.2012		10,9
1.5.2012		3,6
2.5.2012		4,6
3.5.2012		
4.5.2012		
5.5.2012		
6.5.2012		
7.5.2012		
8.5.2012		4,1
9.5.2012		
10.5.2012		11,6
11.5.2012		
12.5.2012		
13.5.2012		
14.5.2012		
15.5.2012		
16.5.2012		
17.5.2012		
18.5.2012		
19.5.2012		9,5
14 VRK		93,1

Blisteripataholkkien punnitukset

Liite G

Blisteripataholkit		
28.4.2012		6
29.4.2012		6,5
30.4.2012		
1.5.2012		
2.5.2012		
3.5.2012		
4.5.2012		
5.5.2012		
6.5.2012		
7.5.2012		
8.5.2012		
9.5.2012		6,2
10.5.2012		
11.5.2012		
12.5.2012		4,9
4 VRK		23,6

Lähdeluettelo

1. Seppänen, R., Kervinen, M., Parkkila, I., Karkela, L., Meriläinen, P. MAOL-
taulukot, 2. uudistettu painos, Keuruu, 2011, Matemaattisten Aineiden
Opettajien Liitto MAOL ry. ja Kustannusosakeyhtiö Otava, 167 s.
2. Outotec Research Oy / Maija-Leena Metsärinta, Koulutusmoniste. 5.3.2009
3. Outokumpu Tecnology Research Center, Pori / Leinonen Virpi, Heino Jyrki,
Raportti 6.2.2006
4. Outokumpu / Eino Fors, Pekka Setälä, Liekkiuunialue Ideariihi. 9.12.2002
5. Outokumpu / Maija-Leena Metsärinta, Soveltavan Kemian Koulutusmoniste
Outokumpu Harjavalta Metals:n Oppisopimuskoulutukseen, 5.2.2003
6. Moniste 56 Metallurgin hyvä tietää / Heikkinen Eetu-Pekka ja Heino Jyrki,
Värimetallien valmistus, Prosessiteknikan osasto Oulun Yliopisto Oulu 2002
7. Palosaari Janne, Kuparisulaton syöttöseoslaskenta HCS-Sim-Mallin avulla,
Diplomityö, Oulun yliopisto, Prosessi ja ympäristötekniikan osasto 1.12.2003