

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TEKNILLINEN TIEDEKUNTA
KEMIANTEKNIikka

Kandityö

Turvallisuusanalyysi: Kullan uuttaminen syanidilla

Työn tarkastaja

Tutkijaopettaja Arto Laari

Työn ohjaaja

Tutkijaopettaja Arto Laari

Lappeenrannassa 22.05.2009

Sam Stade
Teknologiapuistonkatu 2D51
53850 Lappeenranta
puh. 040 506 3609

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	2
2	KULLAN UUTTO SYANIDILLA	3
	2.1 Historia.....	4
	2.2 Reaktio	4
	2.3 Prosessin tehostaminen	4
	2.4 Kullan talteenotto liuoksesta.....	5
	2.4.1 Merrill-Crowe prosessi	6
	2.4.2 Hiiliadsorptio	7
3	TURVALLISUUS- JA RISKIANALYYSIMENETELMÄT	7
	3.1 Poikkeamatarkastelu (HAZOP).....	7
	3.2 Potentiaalisten ongelmien analyysi (POA).....	8
	3.3 Reaktiomatriisi.....	9
	3.4 Riskien arviointi työpaikalla –työkirja	9
	3.5 Satunnaispäästöriskianalyysi (SARA).....	10
	3.6 Toimintovirheanalyysi (TVA)	11
	3.7 Työn turvallisuusanalyysi (TTA).....	11
	3.8 Työtapojen analyysi.....	12
	3.9 Vaarallisten skenaarioiden analyysi (HAZSCAN).....	12
	3.10 Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA)	13
4	PROSESSIN KUVAUS	14
5	PROSESSIN TURVALLISUUSANALYYSI	17
	5.1 Aktiviteetti ja prosessi-malli.....	18
	5.2 Tunnistetut vaaratilanteet.....	20
6	YHTEENVETO.....	22

KIRJALLISUUS

LIITE I PI-kaavio

LIITE II Aktiviteetti- ja prosessimalli

LIITE III HAZSCAN-analyysi

LIITE IV Käyttöturvallisuustiedote – Natriumsyanidi

1 Johdanto

Kullan uuttaminen syanidilla on yksi käytetyimmistä kullan talteenottomenetelmistä kaivosteollisuudessa. MacArthur-Forrest-prosessi kehitettiin jo vuonna 1887 ja sitä käytetään vielä tänä päivänäkin. Prosessille on yritetty kehittää vaihtoehtoisia vähemmän vaarallisia menetelmiä syanidin haitallisuuden takia.

Perinteisesti tapaturma- ja onnettomuusvaaroja on torjuttu oppimalla jo sattuneista virheistä. Parannustoimenpiteet on sen jälkeen kohdistettu parantamaan kyseisen kohteen turvallisuutta jatkossa. Silti saatua kokemusperäistä oppia ei ole välttämättä osattu soveltaa muihin vastaaviin kohteisiin. Teknologian nopean kehityksen myötä yhä useammat vahinkomahdollisuudet ovat myös kehittyneet ja niiden seurauksien ennaltaehkäisemiseksi on kehitetty erilaisia turvallisuusanalyysijä, joiden tarkoitus on pyrkiä havaitsemaan ja torjumaan mahdolliset vaaratilanteet ennakolta. Turvallisuusanalyysit voi vaihdella tavoitteiden tai laajuuden suhteen. Voidaan pyrkiä havaitsemaan vain vakavimmat onnettomuustekijät tai etsiä yksittäisiä häiriöitä järjestelmällisesti. /1/

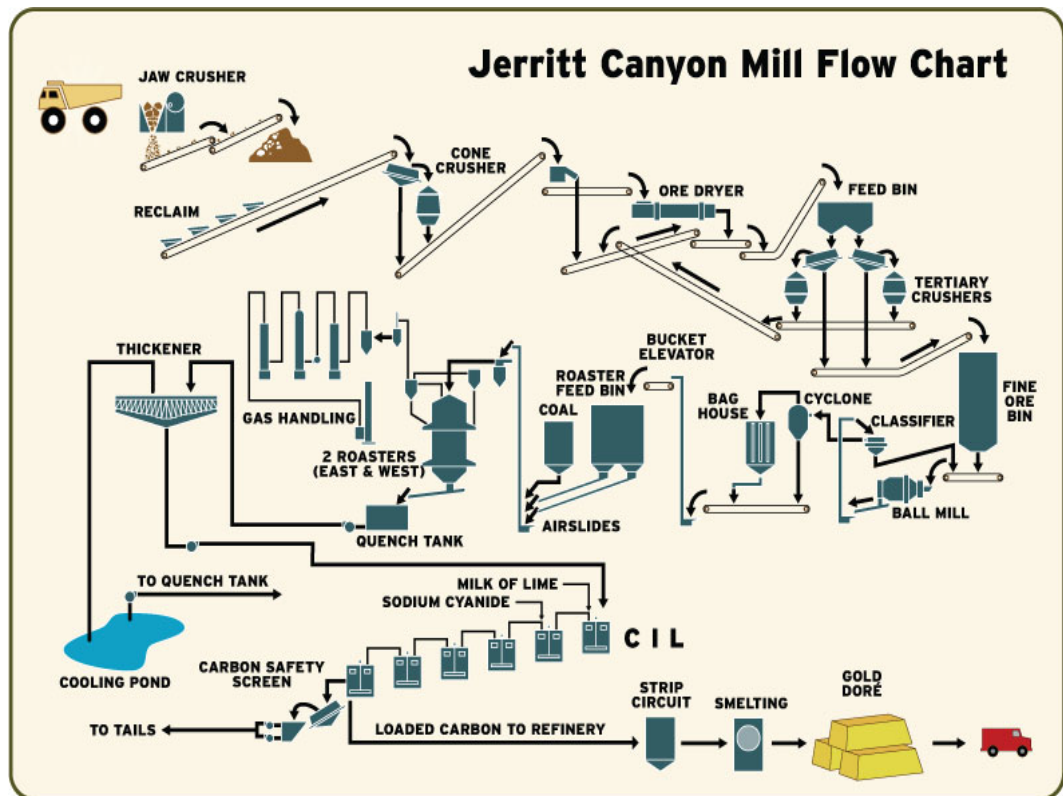
Tässä kandidityössä käydään läpi kullan uuttaminen syanidilla ja sitä varten luodulle koelaitteistolle ja menetelmälle tehdään turvallisuusanalyysi. Kullan uuttaminen tapahtuu MacArthur-Forrest-prosessilla laboratoriomittakaavassa. Syanidoinnin historiaa ja siinä käytettyjä menetelmiä on käyty lyhyesti läpi aluksi ja eri turvallisuusanalyysimenetelmiä on esitelty ja kerrottu mihin ne soveltuvat, mitkä ovat niiden vaihtoehtoiset menetelmät ja täydentävät menetelmät.

Turvallisuusanalyysi on tarkoitettu ohjastamaan kokeen tekijöitä mahdollisten vaarojen ja vaaratilanteiden varalta, sekä mahdollisesti parantamaan koelaitteiston ja menetelmän turvallisuutta ottaen vaaratekijät huomioon jo laitteistoa suunniteltaessa. Turvallisuusanalyysi tutkittavasta prosessista tehdään HAZSCAN-menetelmällä.

2 Kullan uutto syanidilla

Kullan uuttaminen syanidilla on menetelmä, jolla erotetaan kulta jauhetusta tai murskatusta malmista liuottamalla se yleensä laimeaan natriumsyanidiliuokseen, mutta myös kalium- tai kalsiumsyaniidiliuoksia voidaan käyttää liuottamiseen. Syanidoinnin jälkeen kulta erotetaan aktiivihiiliadsorptiolla tai muilla erotusmenetelmillä syanidista. /2/

Prosessi (kuva 1) soveltuu erittäin hyvin kullan talteenottoon malmista, jossa on kultaa vain pieniä pitoisuuksia. Aikaisemmin osa kultamalmin sisältämästä kullasta on jäänyt ottamatta talteen, koska sitä ei ole pystytty näkemään paljain silmin. /2/



Kuva 1. Koko prosessi, missä kultamalmin saadaan puhtaasta kullasta. /3/

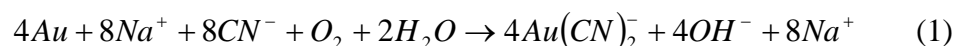
2.1 Historia

Carl Wilhelm Scheele, joka löysi mm. vetysyanidin, huomasi syanidin liuottavan kultaa jo vuonna 1783. Myöhemmin Bagration (1844), Elsner (1846) ja Faraday (1847) kehittivät stoikiometrian reaktiolle. Kullan uuttaminen syanidilla (MacArthur-Forrest-prosessi) keksittiin vasta vuonna 1887, jolloin se muutti koko kultakaivostoiminnan. /2/

John Stewart MacArthur kehitti prosessin Glasgowssa Skotlannissa Forrestin veljesten kanssa, jotka rahoittivat hänen työtään. Syntyi MacArthur-Forrest-prosessi. Kyseinen prosessi on vielä tänä päivänäkin yksi tärkeimmistä ja eniten käytetyistä kultan erotusprosesseista, mutta sille on yritetty keksiä vaihtoehtoisia menetelmiä johtuen ympäristöllisistä sekä taloudellisista syistä. /2/

2.2 Reaktio

MacArthur-Forrest-prosessin reaktio (1) perustuu kultan hapettumiseen vahvasti emäksisessä natriumsyanidiliuoksessa (NaCN) ja kompleksianionin muodostumiseen, kun liuoksessa on riittävä määrä happea mukana. Seos pidetään emäksisenä (pH noin 10) lisäämällä siihen poltettua kalkkia (CaO) tai natriumhydroksidia (NaOH), joka estää myrkyllisen HCN-kaasun vapautumisen seoksesta. /2,4/



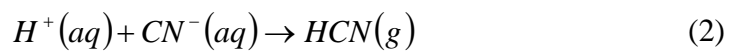
Kyseessä on elektrokemiallinen prosessi, jossa happi ottaa kullalta elektroneja katodisella alueella ja samaan aikaan välittömästi kulta muodostaa syanidin kanssa kompleksin anodisella alueella. /2,4/

2.3 Prosessin tehostaminen

Uuttoprosessin tehokkuuteen voidaan vaikuttaa mm. liuoksen pH:lla, lyijynitraatilla, liuokseen liuenneella hapella ja esihapetuksella malmin pesussa. Teknologian ja uusien laitteiden kehittyessä myös uuttoprosessin tehokkuus

kehittyy parempien reaktorien ja sekoituksen avulla, millä saadaan happi mahdollisimman hyvin liukenemaan seokseen. /2,4/

pH:n emäksisenä pitäminen prosessissa on erittäin tärkeää välttääkseen erittäin myrkyllisten vetysyanidikaasujen (HCN) muodostumisen (2). Liuoksen emäksisenä pitäminen estää syanideja saamasta vapaita protoneja ja näin ollen ei muodostu vetysyanidia. Aika ajoin joudutaan lisäämään emästä liuokseen pitääkseen sen pH:n yli 10:n. Emäksenä käytetään yleensä poltettua kalkkia (CaO) tai lipeetä (NaOH). /2,4/



Happi on yksi syanidointiprosessin lähtöaineista, jota kuluu prosessin aikana. Seokseen syötetään lisää happea jatkuvasti, koska liuenneen hapen puute hidastaa reaktiota. Ilmaa sekä puhdasta happea voidaan pumpata sekoittimen avulla seokseen pieninä pisaroina, jolloin hapen aineensiirto tehostuu liuoksen kanssa ja näin happea liukenee seokseen enemmän. Happi voidaan tuoda seokseen myös annostelemalla siihen vetyperoksidia. Lyijynitraatin lisääminen voi parantaa syanidointireaktion nopeutta ja saantoa varsinkin osittain hapettuneesta malmista. /2,4/

Malmin esihapettaminen voi joissakin tapauksissa olla eduksi reaktion kannalta. Tällaisia tapauksia ovat rikki- ja rautapitoiset malmit. Esihapettamisella korkeassa pH:ssa saadaan rikki ja rauta vähemmän reaktiivisiksi syanidin kanssa ja näin parannettua reaktion tehokkuutta. Rauta hapetetaan Fe³⁺-oksidiksi, joka jälkisaostetaan rautahydroksidiksi ja näin välttyään rautasyanidikompleksien muodostumiselta. Rikkiyhdisteiden hapettaminen rikki-ioneiksi estää tiosyanaatin (SCN⁻) muodostumisen. /2,4/

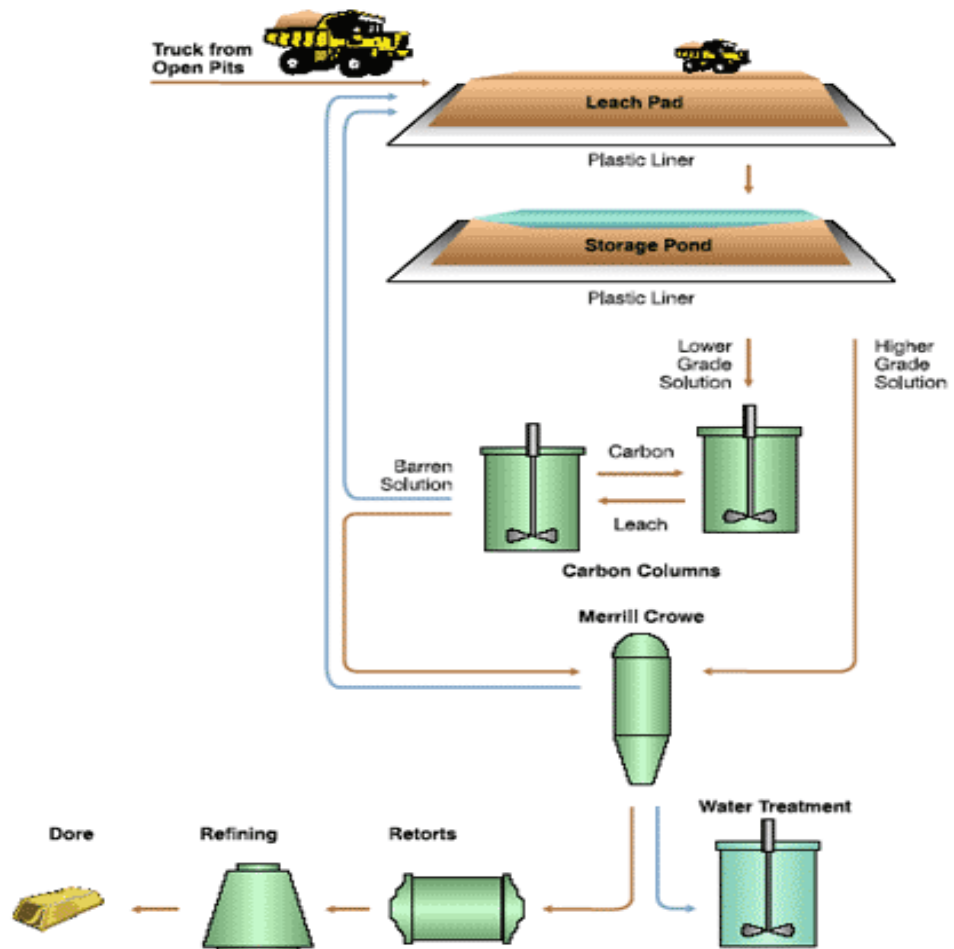
2.4 Kullan talteenotto liuoksesta

Syanidointiprosessin jälkeen kultasyanidikompleksi on erotettava seoksesta ja kulta saatava erilleen syanidikompleksista. Kullan erottamiseen syanidista voidaan toteuttaa erilaisilla menetelmillä, esim. Merrill-Crowe prosessilla,

elektrolyyttisellä rikastuksella, hiiliadsorptiolla tai ioninvaihtohartsilla. Yleisimmin kaivosteollisuudessa käytetty menetelmä nykyään on hiiliadsorptio (CIP = Carbon In Pulp). /2,4/

2.4.1 Merrill-Crowe prosessi

Merrill-Crowe prosessi (kuva 2) on perinteinen kullan talteenotto menetelmä. Siinä aluksi kultasyanidiliuos suodatetaan erilleen lehtisuodattimilla paineen tai vakuumin avulla. Suodattimissa voidaan käyttää piimaata, jotta saadaan aivan kirkas suodos erilleen. Suodos siirretään hapenpoistoyksikköön, jossa happi imetään vakuumilla pois suodoksesta. Suodokseen lisätään erittäin hienoksi jauhettua sinkkiä, joka reagoi melkein välittömästi suodoksen kanssa. Lopuksi saostunut kulta otetaan talteen liuoksesta. /2,4/



Kuva 2. Merrill-Crowe prosessi pääpiirteittäin. /5/

2.4.2 Hiiliadsorptio

Hiiliadsorptiossa käytetään yleensä rakeista aktivoitua kookospähkinän kuoresta saatavaa hiiltä, jota käytetään mm. juomaveden puhdistuksessa, kloorin erotuksessa ja hapen poistossa. Sen etuna on sen suuri reaktiopinta-ala, koska se sisältää sekä rakeista hiiltä että hiilipölyä. /2,4/

Prosessia voidaan käyttää uutosta puhdistetulle suodokselle erikseen tai lisäämällä hiiltä suoraan malmin uuttoprosessiin mukaan altaisiin, joka lopulta erotetaan lietteestä. Kulta adsorboituu aktivoituneen hiilen huokosiin ja näin saadaan erilleen prosessiliuoksesta. Kulta erotetaan hiilestä kuumentamalla sitä väkevässä emäksisessä syanidiliuoksessa, jolloin kulta poistuu hiilen huokosista ja hiili saadaan erotettua liuoksesta. Hiili voidaan uudelleen käyttää adsorptiossa. Jäljelle jäänyt väkevä emäksinen syanidikultaliuos erotetaan toisistaan elektrolyytisesti. /2,4/

Hiiliadsorptio on kannattavampi vaihtoehto kuin Merrill-Crowe prosessi, koska siinä saadaan erilleen liuotettu malmi prosessista, eikä tarvita nesteen erotusprosesseja. Nesteen suodattaminen on kallista, koska siinä tarvitaan paljon kalliita suodattimia ja vastavirtahuuhtelua. Varsinkin erittäin hitaasti selkeytyvät liuokset, esim. joissa on savea, voivat tulla hyvin kalliiksi. Merrill-Crowe prosessia suositellaan käytettäväksi silloin, kun malmi sisältää myös paljon hopeaa (4:1 hopea-kulta). /2,4/

3 Turvallisuus- ja riskianalyyssimenetelmät

3.1 Poikkeamatarkastelu (HAZOP)

Poikkeamatarkastelu on yksi eniten käytetyistä yleisistä vaarojen tunnistusmenetelmistä prosessiteollisuudessa. Analyysin tavoitteena on löytää prosessin häiriöistä muodostuvat vaarat. Prosessissa eri suureille annetaan erilaisia parametreja ja tutkitaan miten ne vaikuttavat prosessiin, jos jokin menee pieleen. Tyypillisiä suureita ovat virtaus, lämpötila, paine, pH ja kemiallinen koostumus.

Tällä tavalla pyritään tunnistamaan prosessin onnettomuustekijät ja niistä aiheutuvat vaaralliset seuraukset. /1,6,7/

HAZOP soveltuu parhaiten kemiallisiin prosesseihin ja materiaalivirtojen tarkasteluun. Menetelmä vaatii hyvän työpanoksen, ammattitaidon sekä paljon resursseja. Usein toteutetaan ryhmätyönä, jossa on eri alojen asiantuntijoita, jotta voidaan saada luotettavia tuloksia sekä parantaa prosessin turvallisuutta ja käyttövarmuutta. Ei sovellu hyvin standardoituihin järjestelmiin. Poikkeamatarkastelua voidaan täydentää esim. toimintavirheanalyysillä, työn turvallisuusanalyysillä, vikapuuanalyysillä, tapahtumapuuanalyysillä sekä häiriötilastojen hyväksikäyttö menetelmällä. Samankaltaisia menetelmiä kuin HAZOP ovat potentiaalisten ongelmien analyysi, reaktiomatriisi, tarkistuslistat, suunnittelukatselmus sekä tilamalli. /1,6,7/

Poikkeamatarkastelussa käydään läpi kaikki prosessin häiriöistä aiheutuvat vaarat ja näin antaa hyvin paljon tietoa prosessin turvallisuudesta ja kuinka sitä voi parantaa. Tarkastelussa yleensä jaetaan laitteet tai laitekokonaisuudet, joissa tapahtuu jokin kemiallinen tai fysikaalinen muutos, omiksi toiminnallisiksi yksiköiksi ja yksiköt käsitellään erikseen. Pohjatiedot menetelmään saadaan virtauskaavioista, PI-kaavioista, sijoituspiirustuksista, teknisistä erittelyistä sekä käyttö- ja toimintaohjeista. Menetelmä ei ota kuitenkaan huomioon ihmisen toimintaa, ympäristön tai laitteiden vioittumisesta aiheutuvia vaaroja, eikä työtehtävän vaarallisuutta. Menetelmä ei myöskään tunnista informaatio- ja johtamisjärjestelmästä johtuvia vaaratekijöitä, eikä monimutkaisia tapahtumaketjuja. /1,6,7/

3.2 Potentiaalisten ongelmien analyysi (POA)

Potentiaalisten ongelmien analyysi keskittyy tutkittavan kohteen keskeisiin vaaroihin ja ongelma-alueisiin. Laitoksen vaaratekijöitä etsitään yleensä ryhmissä (mm. aivoriihi) ja keskeisimmät onnettomuuteen johtavat vaaratekijät luokitellaan, sekä tutkitaan niiden syyt ja seuraukset. Menetelmän etuja on sen nopea sovellettavuus vaarojen tunnistamiseen, eikä siinä etukäteen rajata mitään ongelmatyyppejä tutkimuksen ulkopuolelle. /1,6,7/

POA soveltuu hyvin lähtökohtana jatkoanalyysille ja sillä voidaan tunnistaa keskeisimpiin vaaroihin liittyvät onnettomuustekijät. Koska menetelmä ei ole systemaattinen, se ei ole kovin tehokas kaikkien vaarojen tunnistamiseen. Menetelmän kanssa muita käytettäviä täydentäviä menetelmiä ovat poikkeamatarkastelu, toimintavirheanalyysi ja työn turvallisuusanalyysi. POA:n kanssa samankaltaisia menetelmiä ovat MOND- sekä DOW-indeksi, tarkistuslistat, suunnittelukatselmus, reaktiomatriisi ja vaarallisten skenaarioiden analyysi. /1,6,7/

3.3 Reaktiomatriisi

Reaktiomatriisilla tutkitaan mitkä prosessin kemikaalit ja materiaalit voivat aiheuttaa ei-toivottuja reaktioita. Kemikaaleista ja materiaaleista muodostetaan reaktiomatriisi ja sillä tunnistetaan yhdistelmät, joista voi seurata vaarallisia reaktioita. /6,7/

Menetelmä ei kerro missä ja miten vaaratilanne voi tapahtua ja se ei myöskään kerro onnettomuuden seurauksista. Menetelmä tunnistaa vain kahden kemikaalin tai materiaalin yhdessä aiheuttamat vaaralliset reaktiot. Reaktiomatriisi antaa myös tietoa laitteistossa käytettävien materiaalien kestävydestä ja soveltuvuudesta prosessiin. Parhaiten menetelmä soveltuu paljon erilaisia kemikaaleja sisältäviin kohteisiin. Poikkeamatarkastelua, toimintavirheanalyysiä ja seurausanalyysiä voidaan käyttää reaktiomatriisin kanssa täydentämään turvallisuusanalyysiä. /6,7/

3.4 Riskien arviointi työpaikalla –työkirja

Riskien arviointi työpaikalla –työkirja on menetelmä, jolla pyritään tunnistamaan työntekijöiden terveydelle sekä työturvallisuuteen liittyvät vaarat ja haittatekijät. Menetelmässä tarkastellaan työtä, työtiloja, työolosuhteita ja työympäristöä. Niistä pyritään tunnistamaan työntekijöihin kohdistuvat tapaturman vaarat, kemialliset vaaratekijät, fysikaaliset kuormitustekijät, ruumiillinen sekä henkinen kuormittuminen ja ergonomia. /6/

Menetelmä sisältää työkirjan, jossa on teoriaa yleisistä periaatteista työturvallisuudessa ja riskien arvioinnista. Kirjassa on tarkistuslistat vaarojen tunnistamista varten sekä lomakkeet, joihin voidaan määrittää riskien suuruutta, kirjata toimenpiteet. Tarkistuslistoista ja lomakkeista muodostuu riskien arvioinnin dokumentaatio, jota työturvallisuuslaki edellyttää työnantajalta. /6/

3.5 Satunnaispäästöriskianalyysi (SARA)

Satunnaispäästöriskianalyysillä voidaan tutkia laitosten ja niiden toimintojen olennaisimmat ympäristövaikutuksia aiheuttavat ongelmakohteet häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Ympäristöhaittojen seurauksia tutkitaan vain pääpiirteittäin: jätepäästöjen määrät, kulkeutuminen, vaikutukset luontoon (maaperään, vesistöön, ilmaan) ja puhdistamojen toimintoihin yleisesti. Ilma-, vesi- ja maaperäpäästöt voidaan jakaa satunnaisiin ja jatkuviin päästöihin. Jatkuvat päästöt voivat olla hyväksyttäviä tietyissä määrissä, mutta satunnaispäästöt aiheutuvat arvaamattomasti häiriö ja onnettomuustilanteissa sekä niistä aiheutuvat ympäristöhaitat voivat olla merkittäviä. /6/

Menetelmässä laitos jaetaan tarkasteltaviin osa-alueisiin ja kartoitetaan niissä käytettävät kemikaalit. Alueittain tunnistetaan mahdolliset haitalliset päästöt ja ongelmakohteet, joissa vaaroja voi esiintyä. Tässä vaiheessa voidaan käyttää esim. HAZOP:ia tunnistamaan yksityiskohtaisemmat vaaratekijät. Seuraavassa vaiheessa arvioidaan seuraukset ja voidaan tehdä erilaisia seurausanalyysejä, mm. leviämismallit ja aktiivilietetestit. Lopuksi suoritetaan riskien arviointi ja toimenpide-ehdotukset. /6/

Raportoinnista ilmenee koko ympäristöanalyysin kulku ja merkittävimmät riskit on listattu siihen sekä toimenpide-ehdotukset luetteloitu. Poikkeamatarkastelua, toimintavirhe-analyysiä, reaktiomatriisia ja seurausanalyysejä voidaan käyttää SARA:n kanssa täydentämään turvallisuusanalyysiä. /6/

3.6 Toimintovirheanalyysi (TVA)

Toimintavirheanalyysi perustuu tarkasteluun, jonka kohteena ovat ihmisen aiheuttamat toimintavirheet ja niistä johtuvat vaarat. Työntekijän rajattu työtehtävä jaetaan toimintoihin, joista tunnistetaan vaaratekijät ja seuraukset. TVA voidaan kohdistaa laiteturvallisuuteen, prosessiturvallisuuteen, henkilöstö-
turvallisuuteen tai ympäristöturvallisuuteen. /1,6,7/

Tarkastelu on järjestelmällistä ja soveltuu hyvin mukaan työohjeita laajennettaessa. Analyysi olisi hyvä suorittaa ryhmässä suunnitteluvaiheen yhteydessä, koska silloin muutokset olisivat vielä helpointa toteuttaa ja niistä aiheutuvat kustannukset olisivat pienempiä. Tyypillisiä tarkastelun kohteita ovat työt, jotka toistuvat usein tietyssä paikassa. Tarkoituksena ei ole etsiä syyllisiä, vaan löytää ihmisen aiheuttamat inhimilliset virheet ja niiden seuraukset. Ei sisällä kuitenkaan virheen todennäköisyyden arviointia. Täydentävinä menetelminä voidaan käyttää poikkeamatarkastelua, vikapuu- ja tapahtumapuuanalyysiä. Menetelmä ei sovellu hyvin muuttuviin työympäristöihin ja ei-jäsenneltyihin tehtäviin. /1,6,7/

3.7 Työn turvallisuusanalyysi (TTA)

Työn turvallisuusanalyysissä (TTA) perehdytään systemaattisesti työtehtäviin sekä teknisiin järjestelmiin perustuviin vaaroihin ja työympäristöön. Työtehtävät rajataan jakamalla työ tarkasti osiin ja järjestelmällisesti tutkitaan niissä aiheutuvia välittömiä tapaturmavaaroja sekä niiden syitä ja seurauksia. Lopuksi suunnitellaan parannustoimenpiteet vaarojen poistamiseksi tai vähentämiseksi. Analyysistä saatua tietoa voidaan myös soveltaa laatiessa työnopastusohjeita, konekohtaisia turvallisuusohjeita, parempia työmenetelmiä, työssä käytettävien apulaitteiden kehittämisessä ja uusien vastaavien koneiden suunnittelussa. /1,6,7,8/

Soveltuu parhaiten rajattuihin työtehtäviin, jotka toistuvat usein, sekä yksittäisten koneiden käyttötehtäviin. TTA ei sovellu muuttuviin työympäristöihin, ohjaus- ja valvontatehtäviin, eikä jäsentymättömiin työtehtäviin. Puutteena menetelmälle

voidaan katsoa olevan sen vaarojen karkea luokittelu sekä prosesseista, että vikaantumisista ja monimutkaisista tapahtumaketjuista johtuvat vaaratilanteet ovat vain rajoitetusti mukana. /1,6,7,8/

TTA:ta täydentävinä menetelminä voidaan käyttää poikkeamatarkastelua ja tapaturmatilastoja. Vaihtoehtoisia menetelmiä ovat potentiaalisten ongelmien analyysi, tarkistuslistat ja riskien arviointi työpaikalla –työkirja. /1,6,7,8/

3.8 Työtapojen analyysi

Työtapojen analyysi on menetelmä, jolla voidaan havaita työpaikoilla käytetyt ei-toivotut työtavat ja niitä ylläpitävät mekanismit. Siinä tutkitaan miten työntekijä poikkeaa turvallisesta työtavasta ja kuinka ei-toivottuja työtapoja voitaisiin vähentää tai poistaa kokonaan työrutiinista. Menetelmä soveltuu parhaiten, kun halutaan motivoida ja innostaa työntekijöitä suorittamaan tehtävänsä turvallisuudesta tinkimättä. Työntekijän turvallista käyttäytymistä huomioitaessa on myös tiedostettava, että työn tehokkuus, laadukkaat tulokset, taloudellisuus ja työntekijä otetaan huomioon. /6/

Oikeanlaisilla työtavoilla voidaan välttää vahinkojen sattuminen, mutta silti voi sattua jotain arvaamatonta ja on myös tärkeää tietää kuinka toimia tällaisissa tilanteissa. Hyvillä laitteilla, välineillä ja työympäristöllä saadaan perusasiat kuntoon turvallisuudessa, sekä oikeanlaisessa johtamisella voidaan taata työturvallisuuden säilyminen ja kehittyminen työpaikalla. Johtajat, asiantuntijat ja työntekijät käyvät turvallisuuskeskusteluja, joissa käsitellään työtehtävien vaaroja ja niiden hallintaa, sekä annetaan palautetta. /6/

3.9 Vaarallisten skenaarioiden analyysi (HAZSCAN)

Vaarallisten skenaarioiden analyysin voidaan löytää kohteen keskeisimmät ongelmakohteet sekä niiden vaaroihin liittyvät onnettomuustekijät. Analyysissä tarkasteltava kohteesta laaditaan ns. aktiviteetti- ja prosessimalli, jossa on laitteet ja niihin liittyvät toiminnot, kemialliset ja fysikaaliset ilmiöt, käytetyt raaka-aineet sekä kemikaalit, hyödykkeet, turvatoimet, tuote- ja jätevirrat, käyttö- ja

kunnossapitoasiat sekä prosessin käyttöön liittyvät asiat. Jokainen kohta käydään yksitellen mallissa läpi ja mahdolliset vaaratekijät arvioidaan. Menetelmää käytetään mm. lähtökohtana muille jatkoanalyysille. Tuloksista ilmenee keskeisimpiin vaaroihin liittyvät onnettomuustekijät, niiden syyt ja seuraukset sekä kuinka niihin tulisi varautua. /6/

Puutteina menetelmässä voidaan mainita vaarojen karkea luokittelu ja vaarojen ei-systemaattisesta etsintämenettelystä johtuvat puutteet. Menetelmä ei myöskään ota huomioon organisaation tiedonkulkuun liittyviä vaaroja. Poikkeamatarkastelua, toimintovirheanalyysiä, työn turvallisuusanalyysiä ja seurausanalyysiä voidaan käyttää täydentämään vaarallisten skenaarioiden analyysiä. Vaihtoehtoisina menetelminä voi mainita potentiaalisten ongelmien analyysin, reaktiomatriisin, MOND- ja DOW-indeksit, tarkistuslistat sekä suunnittelukatselmuksen. /6,7/

3.10 Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA)

Vika- ja vaikutusanalyysin tavoitteena on löytää laitevioista aiheutuvat vaarat. Tarkasteltava järjestelmä jaetaan komponentteihin, joista tunnistetaan kunkin komponentin vikamuodot, järjestelmäviat ja niistä aiheutuvat vaarat. Analyysin tuloksista saadaan tietoa kuinka eri komponentit vioittuvat, kuinka viat vaikuttavat itse järjestelmän toimintaan, vikojen havaitseminen niiden esiintyessä ja arvio vikojen kriittisyydestä. /1,6,7/

Menetelmän puutteina voidaan mainita analyysin kvalitatiivisuus, huoltoa ja ihmistä ei oteta huomioon vikojen aiheuttajana ja vikojen tarkastelu toisistaan riippumattomina. Parhaiten menetelmä sopii rajattuihin kohteisiin. Suurempien kokonaisuuksien tutkiminen ilman rajaamista voi olla hankalaa. Ei sovellu koko laitoksen tutkimiseen, eikä vikakombinaatioiden tutkimiseen. /1,6,7/

Vika- ja vaikutusanalyysiä täydentäviä menetelmiä ovat mm. vikapuuanalyysi, tapahtumapuuanalyysi sekä syy-seuraus –kaavio. Vaihtoehtoisina menetelminä voidaan käyttää tarkistuslistoja. /1,6,7/

4 Prosessin kuvaus

Kullan uuttamisen syanidilla suorittaa tutkija Lappeenrannan teknillisen yliopiston kemiantekniikan tiloissa. Tila, jossa tutkimus tehdään, on kipinäsuojattu, joten sinne joutuu yhdistämään sähkön johtoa pitkin muualta. Reaktorissa (kuva 3) on lämmitysnestekierto, sekoitin, näytteenottoventtiili, kaasunsyöttölinja ja lämpötila-anturi. PI-kaavio on esitetty liitteessä I.



Kuva 3. Reaktori ilman kantta. Ylhäällä sekoitin ja lämpötila-anturi. Sivussa ja pohjassa on lämmitysnestekierto. Pohjassa on myös näytteenottoventtiili ja kaasulinja.

Reaktorin edessä on suoja mahdollisia roiskeita ja muita yllättäviä tapahtumia varten. Reaktori on hätä-altaan päällä, jotta vuodon sattuessa saadaan liete ohjattua jätesäiliöön. Kuvassa 4 on termostaatti, joka säätelee reaktorin lämpötilaa ja hätä-allas.



Kuva 4. Vasemmalla on termostaatti säätölaitteineen ja hätä-allas reaktorin alla. Kuvasta puuttuu reaktorin eteen asennettava roiskesuoja.

Aluksi ennen mittauksen aloittamista tutkija tarkastaa mittauslaitteiston ja puhdistaa sen emäksisellä pesuliuksella, koska samalla laitteistolla tehdään toista tutkimusta eri aineilla (mm. hapoilla), niin on oltava ehdottoman varma reaktorin puhtaudesta. Esivalmisteluissa tutkija ottaa valmiiksi esille tarvittavat näytteenotto- ja mittausvälineet sekä kemikaalit mittauksia varten.

Esivalmisteluiden jälkeen reaktoriin lisätään vesi ja kultarikaste. Sekoitin käynnistetään ja sekoitus säädetään sopivaksi (kuva 5). Lietteen pH säädetään natriumhydroksidin avulla emäksiseksi ennen natriumsyanidin lisäystä, jotta se ei

kaasuunnu. Termostaatilla (kuva 6) säädetään mittaukseen haluttu lämpötila, jonka jälkeen lisätään syanidi kun mittaus tehdään normaalissa ilmanpaineessa. Jos mittaus tehdään korkeammassa paineessa, on syanidi lisättävä reaktoriin ennen kuin se suljetaan lämmön- ja paineensäätöä varten. Paine säädetään reaktoriin typen avulla. Mittaus alkaa kun reaktoriin aletaan syöttää happea. Mittauksen aikana tutkija ottaa näytteitä reaktorin pohjassa olevasta näytteenottoventtiilistä, merkitsee näytteet ylös ja siirtää ne erilleen analysointia varten. Viimeisen näytteen jälkeen reaktorista päästetään paineet ulos varovasti ja se puhdistetaan.



Kuva 5. Sekoittimessa on kierrosnopeuden portaaton säätö ja digitaalinen näyttö.



Kuva 6. Termostaatti, jossa on digitaalinen näyttö lämpötilalle ja automaatio, jolla pystytään pitämään reaktorin lämpötila haluttuna.

Puhdistuksessa kultarikasteliete, jossa on syanidia ja natriumhydroksidia, valutetaan näytteenottoputkesta jäteastiaan varovasti. Reaktori ja hätä-allas puhdistetaan emäksisellä pesuliuksella ja se ohjataan myös jäteastiaan. Myös kaikki käytetyt näytteenottoastia ja muut välineet tulee puhdistaa emäksisellä pesuliuksella mahdollisien syanidijäämien varalta.

5 Prosessin turvallisuusanalyysi

Analyysi aloitetaan tekemällä tutkittavasta kohteesta niin kutsuttu aktiviteetti- ja prosessi-malli (Liite II). Aktiviteetti- ja prosessi-mallin avulla tunnistetaan mahdolliset vaaratekijät, jotka listataan analyysilomakkeisiin (Liite III). Analyysilomakkeisiin kirjataan vaaraa aiheuttava tilanne, seuraukset, nykyinen varautuminen ja toimenpide-ehdotukset. Analyysilomakkeet on käyty läpi kappaleessa Tunnistetut vaaratilanteet.

5.1 Aktiviteetti ja prosessi-malli

Koska kyseessä on tutkimustyö, joka tehdään laboratoriomittakaavassa, ei hyödykkeitä tarvitse ottaa malliin huomioon. Aktiviteetti- ja prosessi-malli on luotu suunnittelutietojen pohjalta.

Raaka-aineita ovat natriumsyanidi ja kultarikaste. Niiden ohessa käytetään muita kemikaaleja, kuten vettä, happea, typpeä ja natriumhydroksidia. Natriumsyanidi on jauhemaista, joka syötetään reaktoriin natriumhydroksidin jälkeen (oltava emäksiset olosuhteet). Happi ja typpi ovat nestekaasuna. Myös kunnossapidossa käytetään emäksistä pesuliuosta ennen ja jälkeen mittauksen.

Päälaitteet muodostuvat reaktorista, sekoittimesta, lämmönsäätölaitteesta, paine- ja lämpötila-antureista, näytteenottoventtiilistä, lauhduttimesta, paineen ja virtauksen säätölaitteesta, kaasulaitteistosta, kaasunpoistolinjasta ja varoventtiilistä. Lisäksi on hätä-allas reaktorin alla ja jätesäiliö, mihin hätä-altaan voi tyhjentää esim. pesun yhteydessä. Tutkijalla on myös näytteenottovälineet näytteenottoa ja säilytystä varten.

Käytöstä ja toiminnasta vastaa tutkija yksin tai ryhmässä. Toimintaan kuuluu reaktorin olosuhteiden säätö, raaka-aineiden lisäys, mittauksen aloitus, näytteenotto, mittauksen lopetus, ja näytteiden käsittely. Kunnossapitoon kuuluu reaktorin puhdistus ennen ja jälkeen mittauksen sekä jätelienten poisto.

Laitteiden ohjauksessa paineen ja lämpötilan säädöille on mittarit ja niitä ohjataan automaation avulla. Kaasupullot on yhdistetty virtausta säätävään venttiiliin (kuva 7), jota ohjataan erillisellä automatisoidulla virtauksensäätölaitteella (kuva 8). Reaktorissa oleva lämpötila-anturi on kytketty termostaattiin, joka säätelee reaktorin vaipassa kiertävän lämmitysnesteen lämpötilaa ja näin reaktorin lämpötilaa. Reaktorin kannessa on lauhdutin ja paineensäätöventtiili, johon paineanturi on kytketty. Samaan linjaan on yhdistetty varoventtiili.



Kuva 7. Kuvassa oikealla virtauksensäätölaitteisto, johon molemmat kaasupullot kytketään.



Kuva 8. Virtauksen säätölaitteisto, jolla ohjataan typen ja hapen virtausta reaktoriin.

Turvajärjestelmiin kuuluvat palohälytintila, varoventtiili, ilmastointi, hätä-allas, kipinäsuojattu tila ja reaktorin edessä oleva roiskesuojaja. Tutkijalla on myös suojavarusteet ja henkilökohtainen vetysyanidianturi suoja-asussaan. Kipinäsuojattu tila ei sinänsä paranna turvallisuutta tässä työssä, koska työssä ei käsitellä palavia aineita, eikä happirikastumisen vaaraa ole ilmastoinnin takia. Toisaalta kipinäsuojattuun tilaan joudutaan vetämään sähköt kaikille laitteille muualta, joka lisää kompastumisvaaraa sähköjohtoihin työskenneltäessä huoneessa, jos johtoja ei ole siististi sijoitettu huoneeseen.

Ympäristö, jossa tutkimus suoritetaan, on Lappeenrannan teknillisen yliopiston kemiansiiven viidennessä kerroksessa sijaitseva autoklaavihuone. Huone ei ole kovin tilava ja siellä ei mahdu kerralla työskentelemään kovin montaa henkilöä, jolloin selvä työnjako huoneessa helpottaa tutkimuksen suorittamista.

Kulta uutetaan syanidilla MacArthur-Forrest –prosessilla, johon lisätään NaOH:a. NaOH:n lisääminen estää syanidipäästöt ilmaan. Muita päästöjä ovat happi ja typpi, jotka poistuvat reaktorista ilmastointiin. Poistuviin aineisiin voidaan luokitella kulta, vaikka sitä ei sen enempää eroteta jäteliemestä. Jätevesiin ja jätteisiin kuuluvat syanidi, NaOH ja kultarikasteesta muodostuva liete.

5.2 Tunnistetut vaaratilanteet

Mahdollisesti muodostuviin roiskeisiin raaka-aineiden lisäyksessä reaktoriin (vesi, kultarikaste ja NaOH) on varauduttu reaktorin alla olevalla hätä-allaalla, roiskesuojalla ja tutkijan suojavarusteilla. Roiskeet on puhdistettava heti emäksisellä pesuliuksella ympäristöstä ja vaatteista. Likaiset työvaatteet on syytä vaihtaa puhtaisiin. NaOH:n pitoisuus liuksessa tekee siitä emäksisen ja se voi aiheuttaa punotusta ja kirvelyä iholla, joka tulee huuhdella runsaalla vedellä pois.

Syanidin lisäyksessä havaittuja vaaratekijöitä on sen kaasuuntuminen, jos liuos ei ole tarpeeksi emäksinen. Kaasuuntumisen varalta on huoneessa tehokas ilmastointi ja henkilökohtainen syanidivetyanturi tutkijalla suoja-asussa. NaOH:n kulutuksen määrittäminen liukseen ja pH:n tarkkailulla on mahdollista varmistua liuoksen emäksisyydestä ja ennaltaehkäistä kaasuuntumisen. Myös jauhemaisen

natriumsyanidin pääsy ympäristöön on vaarallista. Käyttöturvallisuustiedote suosittelee jauhemaisen natriumsyanidin poistoon natriumhypokloriittiliuosta, joka on hyvin emäksinen ja estää aineen kaasuuntumisen. Syanidivuotojen sattuessa pitää käyttää kemikaalisuojapukua ja paineilmahengityslaitetta. /9/

Vuotavasta happipullosta voi seurata happirikastuminen ja räjähdysvaara. Typpipullon vuoto voi aiheuttaa huoneen happipitoisuuden laskun ja näin tutkijan tajuttomuuden. Tehokkaalla ilmastoinnilla voidaan kyseisiä vaaroja vähentää, mutta silti työskenneltäessä huoneessa tulisi tutkijan tarkistaa happi- ja typpipullot sinne tullessa.

Painelaitteiston vioittumisesta voi seurata liian korkea paine reaktoriin ja näin roiskeita ympäristöön vuotojen sattuessa. Paineen kasvuun on varauduttu varoventtiilillä ja paineensäätöventtiilillä, jossa on painemittari. Reaktorin painetta on syytä seurata työn aikana ja näin mahdollisesti välttää paineen kasvusta aiheutuvat ongelmat. Reaktorin paineistamisella ja testaamisella voidaan varmistua sen toimivuudesta ennen vaarallisten kemikaalien käyttöä. Myös paine- ja lämpötila-anturien toimivuus olisi syytä tarkistaa ennen tutkimustyötä rinnakkaiskokeilla, jotta vältetään virheelliseltä mittadatalta johtuen viallisista antureista.

Termostaatin vioittuessa reaktorin lämpötila saattaa nousta liian korkeaksi ja syanidin kaasuuntumisen vaara kasvaa. Tähän on varauduttu reaktorin lämpötilan mittaamisella, ilmastoinnilla ja henkilökohtaisella syanidivetyanturilla. Mittauksen aikana reaktorin lämpötilan tarkkailulla voidaan välttää sen ylikuumeneminen. Jos lämpötila alkaa nousta liian korkeaksi, voi termostaatin kytkeä pois päältä ja pysäyttää mittauksen.

Likaisesta reaktorista voi aiheutua syanidin kaasuuntuminen ja ei-toivottuja reaktioita. Samalla reaktorilla suoritetaan toista tutkimustyötä, jossa käytetään happoja. Natriumsyanidi kaasuuntuu erittäin helposti alhaisessa pH:ssa ja siksi on erittäin tärkeää puhdistaa reaktori ennen mittausta emäksisellä pesuliuksella. Reaktorin käytölle olisi hyvä tehdä käyttöloki, jossa ilmenee koska sitä on käytetty ja mihin.

Reaktorin/näytteenottoventtiilin vuodosta aiheutuviin ongelmiin on varauduttu hätä-altaalla ja roiskesuojalla. Reaktorin liitosten ja venttiilien testaaminen ennen tutkimustyötä voi paljastaa vuodot ja näin ennaltaehkäistä vaarallisten kemikaalien pääsyn ympäristöön. Myös hätä-allas on syytä puhdistaa ennen mittausta emäksisellä pesuliuksella, jottei reaktorista/näytteenottoventtiilistä vuotava syanidi joudu happamiin olosuhteisiin ja kaasuunnu.

Näytteenotossa olevia vaaratilanteita on syanidilietteen roiskuminen tutkijan päälle tai ympäristöön. Näihin on varauduttu suojavarusteilla, hätä-altaalla ja roiskesuojalla, mutta tutkijan olisi hyvä testata näytteenottoventtiilin herkkyys ennen työn aloittamista, jotta hän tietää kuinka suurella virtauksella neste tulee ulos reaktorista. Mahdolliset roiskeet on puhdistettava samalla tavalla kuin muutkin roiskeet emäksisellä pesuliuksella. Näytteiden käsittelyssä on myös oltava huolellinen ja näytteet säilytettävä tutkimuksen aikana paikassa, josta ne eivät tipu tai säry vahingossa.

Sähkökatkoksen seurauksena kaikki koneet sammuvat ja ilmastointi lakkaa mahdollisesti. Tällöin olisi syytä lopettaa tutkimustyö ja estää mahdollisten onnettomuuksien syntyminen sulkemalla kaasupullot ja venttiilit, sekä irrottamalla sähkölaitteet virtalähteistä. Sähkölaitteiden irrottamisella vältetään sähkön palatessa koneiden käynnistyksessä aiheutuvat vaaratilanteet. Yhteydenotto muuhun henkilökuntaan olisi hyvä tehdä ennen reaktorin tyhjentämistä.

Lauhduttimen tai termostaatin nesteen vuoto sähkölaitteiden päälle voi aiheuttaa sähköiskun vaaran tutkijalle ja mahdollisesti tulipalon. Sähkölaitteet olisi hyvä roiskesuojata. Jos nestettä on roiskunut sähkölaitteiden päälle, ne on ensin irrotettava virtalähteistä ennen niiden kuivaamista.

6 Yhteenveto

Työssä tutkittiin kullin uuttamista syanidilla MacArthur-Forrest-prosessilla, josta tehtiin vaarallisten skenaarioiden analyysi (HAZSCAN). Turvallisuusanalyysissä keskityttiin olennaisimpiin vaaratilanteisiin ja vaaratekijöihin. Työn tarkoituksena

on parantaa tutkittavan prosessin turvallisuutta, olla apuna ohjeistuksessa ja mahdollisesti edistää laitteiston kehitystä suunnitteluvaiheessa.

Prosessin olennaisin vaaratekijä on siinä käytetty natriumsyanidi, joka on myrkyllistä ja ympäristölle haitallista. Natriumsyanidin käsittelyssä tulee olla erityisen varovainen, ettei se joudu happamiin olosuhteisiin ja kaasuun. Muodostuva kaasu on erittäin myrkyllistä vetysyanidia joka voi myös syttyä. Kiinteän jauhemaisen natriumsyanidinkin kanssa tulee olla tarkkana, ettei jauhetta pääse ympäristöön. Jauhetta ei saa poistaa vedellä, vaan se tulee neutralisoida emäksisellä pesuliuksella. Käyttöturvallisuustiedotteessa suositellaan aineen neutralisoimiseksi natriumhypokloriittiliuosta. Syanidivuodon sattuessa tulee käyttää kemikaalisuojapukua ja paineilmahengityslaitetta.

Laitteiston testaamisella ennen tutkimustyötä ja vaarallisia kemikaaleja voidaan välttyä useilta vaaratilanteilta. Testaamisella voidaan havaita mahdolliset vuodot ja puutteet laitteistossa sekä järjestelmän toimivuus. Tutkijan kannattaa tutustua näytteenottoventtiilin herkkyyteen ennen tutkimusta, jotta voidaan välttyä mahdollisilta syanidiroiskeilta näytteenoton yhteydessä. Paine- ja lämpötila-anturien testaus rinnakkaiskokeella estää virheellisen mittadatan aiheutumisen viallisesta anturista.

Kunnossapidossa tulee ottaa huomioon reaktorilla tehtävät muut tutkimustyöt. Emäksisellä pesuliuksella laitteiston puhdistaminen ennen ja jälkeen tutkimustyön on erittäin tärkeää, koska toisessa tutkimustyössä laitteistossa käytetään happoja. Myös hätä-allas tulee puhdistaa emäksisellä pesuliuksella happojäämien varalta. Laitteiston kunnossapidon tarkkailemiseksi voisi käyttöloki olla tarpeen, jotta tutkijat näkevät koska ja mihin reaktoria on viimeksi käytetty ja onko se muistettu puhdistaa oikein. Muussa tapauksessa mahdolliset syanidijäämät reaktorissa kaasuuntuu seuraavan ryhmän tehdessä kokeita happamissa olosuhteissa ja heillä ei välttämättä ole oikeanlaista ohjeistusta toimia kyseisessä tilanteessa.

Kirjallisuus

1. Virtanen, J., Toola, A., Tutkimus- ja testaustyön turvallisuusanalyysi, VTT tutkimuksia 609, Espoo, 1989.
2. Marsden, J., House, I., The chemistry of gold extraction, Ellis Horwood Limited, 1992, s. 34 – 43, 259 – 294, 309 – 351, 379 - 402.
3. Yukon-Nevada Gold Corp., Jerritt canyon, päivitetty 4/2008, viitattu 15.5.2009, <http://www.yukon-nevadagold.com/s/JerrittCanyon.asp>.
4. Gold cyanidation, MacArthur-Forrest process, viitattu 15.5.2009, http://www.absoluteastronomy.com/topics/Gold_cyanidation.
5. Minin Intelligence & Technology, InfoMine, viitattu 15.5.2009, <http://www.infomine.com/minesite/minesite.asp?site=yanacocha>.
6. Tiihonen, J., Virolainen, K., Nissilä, M., Murtonen, M., Ruuhilehto, k., VTT ja tuotteet, Käyttövarmuus- ja riskienhallinta, päivitetty 5/2005, viitattu 16.5.2009, <http://virtual.vtt.fi/virtual/riskianalyysit/index53d4.html>.
7. Rouhiainen, V., Suokas, J., Turvallisuusanalyysin laadun ohjaus, VTT tutkimuksia 643, Espoo, 1989.
8. Rouhiainen, V., Suokas, J., Työn turvallisuusanalyysi esimerkkejä, VTT tiedotteita 150, Espoo, 1982.
9. Natriumsyanidi, Käyttöturvallisuustiedote, ICSC:1118, päivitetty 5/2003, viitattu 21.5.2009, <http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/khtml/nfin1118.htm>.