

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Teknillinen tiedekunta
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Assi Mäkelä

LAITE- JA TYÖTURVALLISUUS H₂S-TILOISSA

Työn tarkastajat: Professori Esa Vakkilainen
Professori Risto Soukka

Työn ohjaajat: Professori Esa Vakkilainen
DI Juhani Suihkonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Assi Mäkelä

Laite- ja työturvallisuus H₂S-tiloissa

Diplomityö

2009

61 sivua, 10 kuvaa, 9 taulukkoa, 4 liitettä

Tarkastajat: Professori Esa Vakkilainen
Professori Risto Soukka

Hakusanat: ATEX, ilmanvaihto, rikkivety, työturvallisuus, H₂S

Keywords: ATEX, ventilation, hydrogen sulphide, occupational safety, H₂S

Tässä työssä selvitettiin, millä tavoin räjähdysvaarallisten työtilojen työturvallisuuteen voidaan vaikuttaa ja miten turvallisuutta pidetään yllä. Työssä selvitettiin, mitä vaatimuksia räjähdysvaaralliset tilat asettavat laite- ja työturvallisuudelle. Työn lähtökohdaksi otettiin ilmanvaihdon vaikutus sisäilman olosuhteisiin ja samalla selvitettiin, mitä muutoksia räjähdysvaarallisten aineiden käyttö teollisuuden tuotantoprosesseissa aiheuttaa ilmanvaihdossa. Räjähdysvaarallisten tilojen suunnittelua ohjailevat säädökset, lait ja direktiivit. Johdonmukaisen suunnittelulla ja säädöksiä noudattamalla pystytään toteuttamaan turvallinen työympäristö.

Räjähdysvaarallista tilaa päästiin tarkastelemaan Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj:n metallien talteenottolaitoksella. Työssä haluttiin tutkia rakennuksen työturvallisuutta ja työskentelyolosuhteita. Tutkimuskohteena olleessa reaktorihallissa tehtiin ilmanvaihdon suorituskyvyn mittauksia. Tarkoituksena oli myös tehdä rikkivedyn pitoisuus mittauksia, mutta Talvivaaran tuotannon viivästyessä, pitoisuus mittaukset jätettiin tämän diplomityön ulkopuolelle.

Talvivaaraan reaktorirakennuksen olosuhteita ja turvallisuutta tarkasteltiin lähemmin teoreettisten laskelmien avulla. Laskelmien ja mittaustulosten perusteella reaktorirakennuksen ilmanvaihdon suorituskyky todettiin riittäväksi ja toiminta työturvalliseksi. Riskin arvioinnin perusteella reaktorirakennuksen riskitason katsotaan olevan siedettävä.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology
Environmental Technology

Assi Mäkelä

Device and occupational safety in H₂S -areas

Master's thesis

2009

61 pages, 10 figures, 9 tables, 4 appendices

Examiners: Professor Esa Vakkilainen
Professor Risto Soukka

Keywords: ATEX, ventilation, industrial safety, hydrogen sulfide, H₂S

The goal of this Master's thesis was to research the demands for devices and occupational safety in explosive atmospheres. This thesis investigated how ventilation affects indoor air in working conditions. The starting point was to identify what changes have to be made in ventilation when there can be hazardous substances in indoor air. Explosive atmospheres are controlled by regulations, laws and directives.

Explosive atmosphere was investigated in practice on metals processing plant in Talvivaara Mining Company Plc. We were able to research the reactor hall and make performance measurements for ventilation. The aim was also to make hydrogen sulphide concentration measurements. The concentration measurements were decided to be left out of this Master's thesis because the start of production in Talvivaara was delayed.

The working conditions in the reactor building and occupational safety were examined through theoretical calculations. Through calculations and measurements the ventilation performance was found good and the building was found to be safe. The result in risk assessment was that the risk level in the reactor building is tolerable.

ALKUSANAT

Tämä työ tehtiin yhteistyössä YIT Oyj:n Teollisuus- ja Verkkopalvelut Oy:n Teollisuus ilmanvaihdon Lahden yksikön kanssa. Toisena yhteistyökumppanina toimi Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj. Haluan esittää kiitokset YIT:n Juhani Suihkoselle ja Markku Salorannalle työni aiheesta ja ohjauksesta. Kiitoksia myös Talvivaaran yhteyshenkilöille ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston professoreille Esa Vakkilaiselle ja Risto Soukalle.

Lämpimät kiitokset osoitan perheelleni, ystäväilleni ja opiskelutovereilleni tuesta ja tsemppauksesta opiskelujeni aikana.

Tämä oli tässä - nyt kohti uusia haasteita.

Lahdessa 26.3.2009

Assi Mäkelä

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	2
2 NIKKELIN TUOTANTO.....	4
3 RÄJÄHDYSVAARALLISTEN TILOJEN TYÖTURVALLISUUS.....	6
3.1 ATEX – luokittelu	6
3.1.1 Laiteluokittelu.....	7
3.1.2 Tilaluokittelu.....	8
3.1.3 Laite- ja tilaluokkien välinen suhde.....	11
3.2 Räjähdyksen seoksen muodostuminen	13
3.3 Räjähdykseltä suojautuminen	14
3.4 Prosessinohjaus ja turvajärjestelmät	17
4 H ₂ S-TILOISSA TYÖSKENTELY JA TYÖTURVALLISUUS	19
4.1 Rikkivedyn ominaisuudet	19
4.2 Rikkivedyn altistusraajat	21
4.3 Työturvallisuus ja työskentely H ₂ S-tiloissa.....	22
4.3.1 Hengityssuojaimet	22
4.3.2 Kaasunilmaisimet.....	23
4.3.3 Ilman epäpuhtauksien mittaaminen	24
4.4 Työtilojen ilmanvaihto.....	25
4.5 Työtilojen riskienhallinta.....	28
5 TALVIVAARAN NIKKELIN TUOTANTO	32
5.1 Tuotantoprosessi	32
5.2 Biokasaliuotus.....	34
5.3 Metallien talteenotto	35
6 REAKTORIRAKENNUKSEN TURVALLISUUS	37
6.1 Rakennuksen ATEX – luokittelu.....	37
6.2 Rikkivedyn käyttö reaktoreissa.....	39
6.3 Varotoimenpiteet ja riskien hallinta.....	39
7 ILMANVAIHTO REAKTORIRAKENNUKSESSA	42
7.1 Vaatimukset reaktorirakennuksen ilmanvaihdolle.....	42
7.2 Ilmanvaihdon toiminta ja suorituskyky	43
7.2.1 Poistoilma	45
7.2.2 Tulo- ja kiertoilma	47
7.2.3 Reaktorirakennuksen olosuhteiden mittaukset	47
8 TULOSTEN ANALYSOINTI.....	49
8.1 Teoreettiset laskelmat	49
8.2 Johtopäätökset.....	52
9 YHTEENVETO.....	56
LÄHTEET	58

LIITTEET

1 JOHDANTO

Tässä työssä tarkastellaan, mitä vaatimuksia räjähdysvaarallisten aineiden käyttö asettaa laite- ja työturvallisuudelle ja miten ilmanvaihdon avulla pystytään luomaan turvallinen työympäristö. Työ tehtiin yhteistyössä YIT Oyj:n Teollisuus- ja Verkkopalvelut Oy:n Teollisuus ilmanvaihdon Lahden yksikön kanssa. Toisena diplomityön yhteistyökumppanina toimi Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj. Työn lähemmässä tarkastelussa keskitytään Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj:n metallien talteenottolaitoksen reaktorirakennuksen laite- ja työturvallisuuteen. Kyseinen reaktorirakennus on määritelty räjähdysvaaralliseksi tilaksi tuotantoprosessissa käytettävän rikkivedyn vuoksi.

Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj (myöh. Talvivaara) on uusi kaivosalan hanke, joka käynnisti toimintansa lokakuussa 2008. Talvivaara sijaitsee Sotkamon ja Kajaanin kuntien alueella. Talvivaara pyrkii kansainvälisesti merkittäväksi perusmetallien tuottajaksi ja keskittyy ensisijaisesti tuottamaan nikkeliä ja sinkkiä. Laskemien mukaan kaivoksesta saadaan vuosittain 33 000 tonnia nikkeliä, 60 000 tonnia sinkkiä, 10 000 tonnia kuparia ja 1200 tonnia kobolttia.

Tämän diplomityön tavoitteena on selvittää miten työturvallisuutta pidetään yllä ja mitkä ovat räjähdysvaarallisen tilan asettamat vaatimukset tilan olosuhteille ja tilassa käytettäville laitteille. Työssä tarkastellaan myös yleisesti nikkeliä tuottavaa sekä tuotantomenetelmiä. Työn teoriaosan lisäksi empiirisessä osassa keskitytään Talvivaaran reaktorirakennuksen olosuhteisiin sekä työturvallisuuteen. Lähemmässä tarkastelussa tutkitaan reaktorirakennuksen työntekijöiden työturvallisuutta, tilan ilmanvaihdon toimintaa ja sen riittävyyttä, sekä riskinhallintamenetelmiä. Lisäksi tarkastellaan räjähdysvaaran aiheuttavan rikkivedyn ominaisuuksia ja terveysvaikutuksia.

Työhön kuuluu ilmanvaihdon suorituskyvyn mittauksia reaktorirakennuksessa sekä rikkivedyn pitoisuusmittauksia. Mittausten avulla pyritään selvittämään ilmanvaihdon tehokkuus sekä sen riittävyys reaktorirakennuksen olosuhteisiin nähden. Tulosten

perusteella voidaan arvioida reaktorirakennuksen todellista työturvallisuutta ja työntekijöiden työoloja.

Kokonaisuudessaan työ selventää direktiivien, lakien ja standardien mukaista ATEX - luokittelua. Lisäksi työssä selvitetään kuinka työntekijöiden työturvallisuutta pidetään yllä lakia ja asetuksia noudattamalla ja miten riskejä voidaan hallita tiloissa, joissa käytetään räjähdysvaarallisia aineita.

2 NIKKELIN TUOTANTO

Maailman nikkeli-kaivoksissa tuotetaan vuosittain yli miljoona tonnia nikkeliä. Maailman tärkeimmät nikkeli-kaivokset ovat Venäjällä, Australiassa ja Kanadassa. Fennoskandia on yksi merkittävimmistä nikkelin tuotanto- ja käsittelyalueista maailmassa. Alueen nikkelin raaka-ainekäsittelykapasiteetti on 20 % maailman tuotannosta. Suomessa nikkelimalmia on louhittu jo yli 70 vuoden ajan. Kotimainen nikkeli-rikastetuotanto käynnistyi 1930–40-lukujen vaihteessa ja merkittävä tuotannon lisääjä oli 1960-luvulla perustettu Harjavallan liekkisulatto. Uusimmat tulokkaat Suomen nikkeli-rikasteiden käsittelyssä ovat OMG:n tuotantolaitos Kokkolassa ja Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Sotkamossa. (Meriläinen, 2007)

Nikkelin pääasiallinen lähde on sulfidimalmit, joista tärkein on pentlandiitti. Suomessa tuotetaan vuosittain 60 000 tonnia nikkeliä. Suomeen tuodaan nikkelijalosteita ja nikkeli on myös Suomen vahva vientituote. Suomeen tuotiin vuonna 2003 nikkelikiveä 22 134 tonnia, nikkelijauhetta 660 tonnia, muita nikkeli- valmistuksen välituotteita 29 091 tonnia ja nikkeli-suoloja, kuten kloridi, oksidit ja sulfaatit, 4379 tonnia. Harjavallan nikkelitehtaalla tuotettiin vuonna 2003 nikkeliä noin 51 000 tonnia, josta 90 prosenttia meni vientiin. (Työterveyslaitos 2005, s.90) Vuonna 2008 nikkeliä tuotiin Suomeen 18 389 tonnia ja Suomesta vietiin ulkomaille 40 252 tonnia (Tullihallitus, 2008).

Nikkeli saadaan maaperästä louhimalla. Louhinnassa louhe irrotetaan kalliosta poraamalla ja räjäytyksillä. Louhe murskataan monessa eri vaiheessa pienemmäksi murskeeksi. Louhinnan jälkeen louhe rikastetaan. Rikastuksessa malmikivestä erotetaan erityyppisillä kemiallisilla ja fyysisillä erotusmenetelmillä mahdollisimman suuri osa metallista rikasteeseen. Rikaste on kaivoksen lopputuote ja myyntiartikkeli. (Meriläinen, 2007)

Nikkelin jatkokäsittelyyn voidaan käyttää joko pyrometallurgista tai hydrometallurgista prosessia. Pyrometallurgisessa prosessissa rikaste sulatetaan uunissa ja metalli erotetaan kuonasta ja jatkojalostetaan. Pyrometallurgista prosessia käytetään sulfiittimalmien ja korkeapitoisen louheen jalostukseen. Hydrometallurgisessa prosessissa arvokkaat metallit

erotetaan louheesta liuottamalla ja liuotetut metallit jalostetaan. Hydrometallurgista prosessia käytetään lähinnä pienten metallipitoisuuksien erottamiseen. (Riekkola-Vanhanen, 1999)

Nikkeliä on ruostumattomassa teräksessä noin 8 prosenttia ja erikoisteräksissä nikkeliä voi olla jopa 60 prosenttia. Lisäksi nikkeliä on useissa metalliseoksissa, uushopeassa ja koruissa. Nikkeli on sitkeää taottavaa ja helposti muokattavaa metallia ja se muodostaa metallin pinnalle suojaavan kerroksen, kun sitä kuumennetaan yli 750 °C:een. Tällöin se kestää hyvin lämpöä, sekä suola- ja rikkihappoa. (Työterveyslaitos 2005, s.90) Suurin nikkelimetallin käyttäjä on terästeollisuus, mikä käyttää noin 80 % kaikesta tuotetusta nikkelistä (Meriläinen, 2007).

3 RÄJÄHDYSVAARALLISTEN TILOJEN TYÖTURVALLISUUS

Euroopan Unionissa on käytössä kahdenlaisia säädöksiä, ns. direktiivejä, jotka koskevat tuotantovälineitä ja työpaikka olosuhteita. Kyseiset direktiivit säätelevät sekä suunnitteluetä käyttövaiheessa toteutettavia työturvallisuutta varmistavia toimia. Räjähdyksvaarallisissa tiloissa käytettävien laitteiden ja suojausjärjestelmien sekä räjähdysvaarallisia ilmaseoksia sisältävien työpaikkojen osalta nämä säädökset ovat ATEX -laitedirektiivi 96/9/EY ja ATEX -olosuhdedirektiivi 99/92/EY. (SFS 161-1 2004, s.9)

Direktiivien mukaiset, turvallisuutta varmistavat toimet suojelevat räjähdysvaaralliseksi luokitelluissa tiloissa työskenteleviä ihmisiä sekä parantaa työturvallisuutta. Räjähdykset vaarantavat työntekijöiden hengen ja terveyden. Räjähdyks aiheuttaa hallitsemattomia olosuhteita, kuten haitallisten reaktiotuotteiden syntymistä ja työntekijöiden tarvitseman hengitysilman hapen kulumista. Tämän vuoksi johdonmukainen räjähdysten estäminen työpaikoilla edellyttää järjestelmällisiin toimenpiteisiin ryhtymistä. Räjähdyksvaara voi syntyä missä tahansa yrityksessä, jossa käsitellään palavia aineita. (KOM 515 2003, s.1)

3.1 ATEX – luokittelu

ATEX -nimitys tulee sanoista Atmospheres Explosibles. ATEX -direktiivit koskevat räjähdysvaarallisia tiloja, niissä työskentelyä ja niissä käytettäviä laitteita. ATEX -tiloja voidaan kutsua lyhennetysti myös Ex-tiloiksi.



Kuva 1. Ex-tiloissa käytettävä varoitusmerkki (TUKES 2003, s.11)

Kuvassa yksi on esitetty ATEX -tiloissa käytettävä varoitusmerkki. ATEX -työolosuhdesäädökset koskevat kaikkia niitä työnantajia, joiden työntekijät voivat joutua

alittiin palavista nesteistä, kaasuista tai pölyistä aiheutuvalle räjähdysvaaralle. Säädökset koskevat myös ihmisiä, jotka työskentelevät Ex-tiloissa ja rakentavat tai suunnittelevat Ex-tiloja. ATEX -laitesäädökset koskevat laitteiden, suojausjärjestelmien ja tietyissä tapauksissa komponenttien markkinoille saattajia, kuten valmistajia, maahantuojia ja jälleenmyyjiä ja myös niitä, jotka valmistavat laitteen omaan käyttöönsä. (TUKES 2003, s.4)

Työnantajan tulisi aina mahdollisimman tehokkaasti estää räjähdysvaarallisten ilmaseosten esiintyminen. Räjähdysvaaran arvioinnissa tarkistetaan voiko vallitsevissa olosuhteissa esiintyä vaarallisia räjähdyskelpoisia ilmaseoksia ja tutkitaan voivatko ne syttyä. Arviointiprosessi on suoritettava jokaisen työ- ja tuotantoprosessin sekä laitteiston jokaisen toimintakuntovaihtoehdon osalta erikseen. Räjähdysvaaran arvioinnissa on otettava huomioon myös tilat, jotka ovat aukkojen välityksellä yhteydessä räjähdysvaarallisiin tiloihin ja voivat joutua yhteyteen niiden kanssa.(KOM 515 2003, s.7) Seuraavissa kappaleissa on esitelty räjähdysvaarallisille tiloille tehtävä ATEX- laite- ja tilaluokittelu sekä niiden välinen suhde.

3.1.1 Laiteluokittelu

ATEX -laitteet jaetaan kahteen ryhmään. Ryhmän I laitteet on tarkoitettu sellaisiin kaivoksiin ja niiden maanpäällisiin osiin, joissa räjähdysvaara perustuu kaivoskaasuun, esimerkiksi metaaniin ja/tai pölyyn. Ryhmään II kuuluvat muissa paikoissa käytettäväksi tarkoitettut laitteet. Ryhmän I laitteet jaetaan kahteen laiteluokkaan (M1 ja M2) ja ryhmän II laitteet jaetaan kolmeen eri laiteluokkaan (1, 2 ja 3) sen mukaan, miten suurta turvallisuustasoa niiltä vaaditaan. (TUKES 2003, s.6) Tässä työssä keskitytään ryhmän II laitteisiin.

Vaadittu turvallisuustaso vaikuttaa siihen, millaiseen tilaan kyseinen laite voidaan sijoittaa. Laiteluokasta riippuu myös, millaisia menettelyjä valmistajan tai muun markkinoille saattajan on noudatettava vaatimustenmukaisuuden osoittamiseksi ja CE-merkinnän kiinnittämiseksi. Räjähdysvaarallisten tilojen laiteluokat on esitelty taulukossa 1. (TUKES 2003, s.6)

Taulukko 1. ATEX-laiteluokat (SFS 161-1 2004, s.36 ja TUKES 2003, s.6)

Laiteluokka 1 ja M1	Erittäin korkeaturvallisuustaso, räjähdyskelpoinen seos esiintyy ympäristössä jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.
Laiteluokka 2 ja M2	Korkea turvallisuustaso, räjähdyskelpoinen seos esiintyy ympäristössä todennäköisesti.
Laiteluokka 3	Normaali turvallisuustaso, räjähdyskelpoinen seos esiintyy ympäristössä epätodennäköisesti, harvoin ja lyhytaikaisesti.

Laitevalinta on tehtävä siten, ettei laitteen korkein pintalämpötila saavuta minkään sen vaikutuspiirissä mahdollisesti olevan kaasun, höyryn tai pölyn syttymislämpötilaa. Laite ei myöskään saa aiheuttaa kipinöitä, jotka voisivat sytyttää palavan kaasun, höyryn, sumun tai pölyn räjähdyskelpoisen ilmaseoksen. Lisäksi on huomioitava muutkin syttymislähteet, kuten laitteeseen mahdollisesti varautunut staattinen sähkö tai laitteen tuottama tai aiheuttama ionisoiva säteily, ultraääni, adiabaattinen puristus ja paineiskut sekä sähkömagneettiset aallot. (TUKES 2003, s.6)

3.1.2 Tilaluokittelu

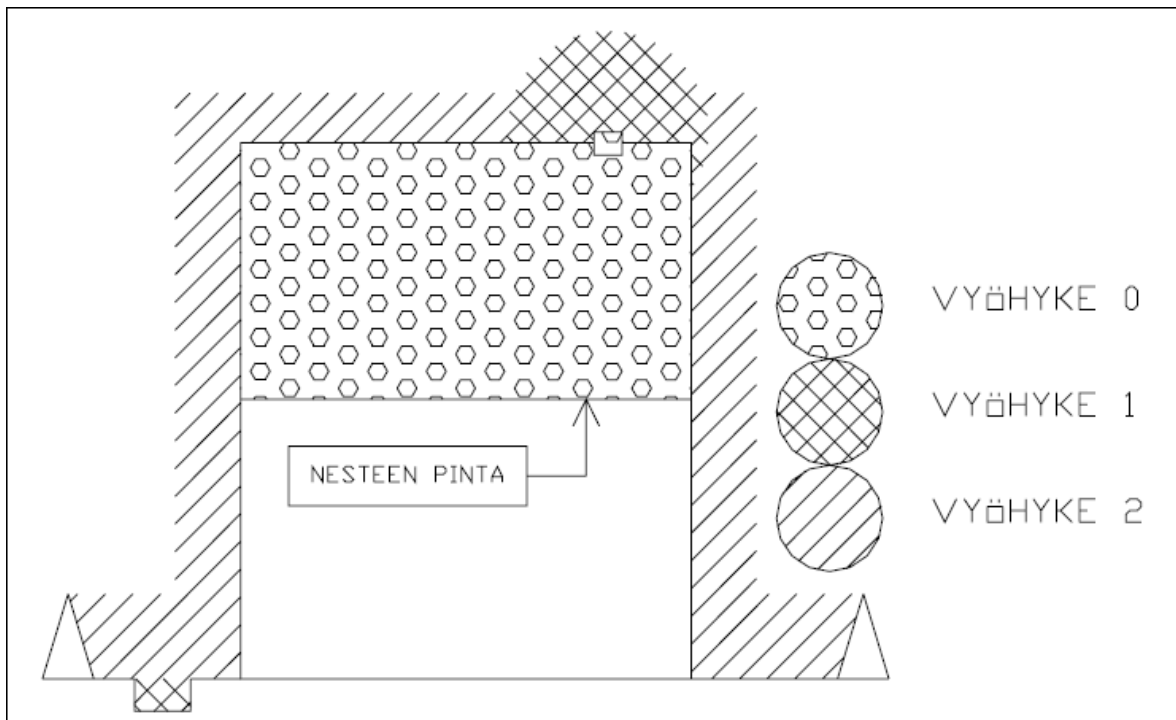
Ex-tila on tila, jossa voi esiintyä sellaisia määriä vaarallista räjähdyskelpoista ilmaseosta, että toimenpiteet työntekijöiden suojaamiseksi räjähdysvaaralta ovat tarpeen. Suojatoimenpiteiden laajuuden määräytymisperusteena käytetään olemassa olevien Ex-tilojen luokittelua vaarallisten räjähdyskelpoisten ilmaseosten esiintymistodennäköisyyden mukaisesti alueisiin. Räjähdysvaarallisten tilojen luokittelu on esitelty taulukossa 2. Tilaluokat 20, 21 ja 22 koskevat pölyjen aiheuttamaa räjähdysvaaraa. (TUKES 2003, s.10)

Taulukko 2. ATEX -tilojen luokittelu (TUKES 2003, s. 10).

Tilaluokka 0	Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.
Tilaluokka 1	Tila jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.
Tilaluokka 2	Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen normaalitoiminnassa on epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan.
Tilaluokka 20	Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.
Tilaluokka 21	Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.
Tilaluokka 22	Tila, jossa ilman ja palavan pölyn muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen normaalitoiminnassa on epätodennäköistä ja kestää esiintyessään vain lyhyen ajan.

Tilaluokittelussa on huomioitava palavien aineiden pölykerrokset, kertymät ja kasaantumet. Lisäksi luokittelussa on otettava huomioon muut syyt, jotka saattavat aiheuttaa räjähdyskelpoisen ilmaseoksen syntymisen. Normaalitoiminnalla tarkoitetaan tilannetta, jossa laitteistoja käytetään suunnitteluarvojen sallimissa rajoissa. (TUKES 2003, s.10)

Tilaluokkia voidaan kutsua myös vyöhykkeiksi. Tilaluokkaan 0 luetaan yleensä vain säiliöiden tai laitteiden esimerkiksi haihduttimien ja reaktioastioiden sisäpuoli, mutta vyöhykkeen 0 ehdot saattavat täytyä myös tuuletus- ja muiden aukkojen lähellä. Yleensä laitteiden aukot lukeutuvat tilaluokkaan 1. Tilaluokkaan 1 lukeutuu myös vyöhykkeen 0 lähiympäristö, täyttöaukkojen lähiympäristö, helposti rikkoutuvasta aineesta valmistettujen laitteiden ja johtojen lähiympäristö, tiivistysholkkien lähiympäristö ja joidenkin haihduttimien tai reaktioastioiden sisätila. Tilaluokkaan 2 lukeutuvat tilaluokkien 1 ja 0 ympäristöt. (KOM 0515, 2003)



Kuva 2. Esimerkki palavaa nestettä sisältävän säiliön vyöhykejaosta. (Liimatainen 2004, s. 13)

Kuvan 2 esimerkissä palavaa nestettä sisältävä säiliö on ulkotilassa ja sitä täytetään ja tyhjenetään säännöllisin väliajoin. Säiliön ja ulkoilman välillä on paineentasausaukko. (KOM 515, 2003 s. 22) Kuvassa kaksi vyöhykkeillä tarkoitetaan Ex-tilaluokkia. Esimerkissä on oletettu, että säiliössä esiintyy pitkiä aikoja vaarallista räjähdyskelpoista ilmaseosta. Näin ollen säiliön sisätila ja paineentasausaukko on luokiteltu tilaluokaksi 0. Paineentasausaukon ympäristö on luokiteltu tilaluokaksi 1, koska aukosta voi päästä satunnaisesti ilmaan räjähdyskelpoisia seoksia muodostavia kaasuja. Epäsuotuisissa sääolosuhteissa kaasut voivat virrata säiliön ulkopintaa alas ja muodostaa vaarallisia räjähdyskelpoisia ilmaseoksia. Näin ollen säiliötä ympäröivä tila on luokiteltu tilaluokkaan 2. Lisäksi säiliön ulkopuolella oleva kaivo on luokiteltu tilaluokkaan 1, koska on oletettu että kaasu kulkeutuu maata kohti ja voi pakkautua kaivoon. Toisin sanoen palavaa kaasua voi esiintyä kaivossa normaalioloissa satunnaisesti. (Liimatainen 2004, s.13)

Säiliön ulkopuolella olevien vyöhykkeiden koot määräytyvät vapautuvien kaasujen ennakoitun määrän mukaisesti. Kaasujen vapautuminen riippuu nesteen ominaisuuksista, aukon suuruudesta ja täyttö- ja tyhjennyskertojen tiheydestä sekä nesteen pinnan

korkeuden keskimääräisistä muutoksista. Räjähdyksvaarallisten vyöhykkeiden koko riippuu merkittävästi myös luonnollisista tuuletusmahdollisuuksista. (KOM 515, 2003 s. 22)

Tilaluokittelu ja suojaustoimenpiteiden laajuus riippuu vaarallisten räjähdyskelpoisten ilmaseosten esiintymistodennäköisyydestä. Suojaustoimenpiteiden laajuutta määriteltäessä on siksi yleensä otettava huomioon taulukossa 3 esitetyt seikat. Syttymislähteiden lisäksi tilaluokissa 20, 21, 22 on otettava huomioon pölykertymän syttymismahdollisuus. Taulukkoa kolme sovelletaan kaikentyyppisiin syttymislähteisiin. (KOM 515, 2003, s.24)

Taulukko 3. Suojaustoimenpiteiden laajuus tilaluokituksen mukaisesti.

Tilaluokka	Syttymislähteet on estettävä varmasti:
0 tai 20	<ul style="list-style-type: none"> • Häiriöttömässä normaalitilassa • Ennakoitavissa olevien häiriöiden aikana • Harvoin esiintyvien toiminnallisten häiriöiden aikana
1 tai 21	<ul style="list-style-type: none"> • Häiriöttömässä normaalitilassa • Ennakoitavissa olevien häiriöiden aikana
2 tai 22	<ul style="list-style-type: none"> • Häiriöttömässä normaalitilassa

Yleisesti Ex -tilojen luokitus harkitaan tapauskohtaisesti. Luokituksessa otetaan huomioon räjähteet ja muut vaaralliset aineet sekä olosuhteet kuten ilmanvaihto, siivous ja rakenteelliset tekijät. Räjähdyksvaarallisille alueille annetaan yleensä suuntaa-antavat ulottuvuudet. Mikäli rakennuksen sisätiloissa tiivis seinä tai katto on annettua etäisyyttä lähempänä, räjähdysvaarallinen tila rajoittuu näihin pintoihin. Jos seinää tai kattoa ei pystytä pitämään tiiviinä tai niissä on aukkoja, voi tilaluokitus ulottua myös niiden ulkopuolelle. (TUKES, 2004 s.1)

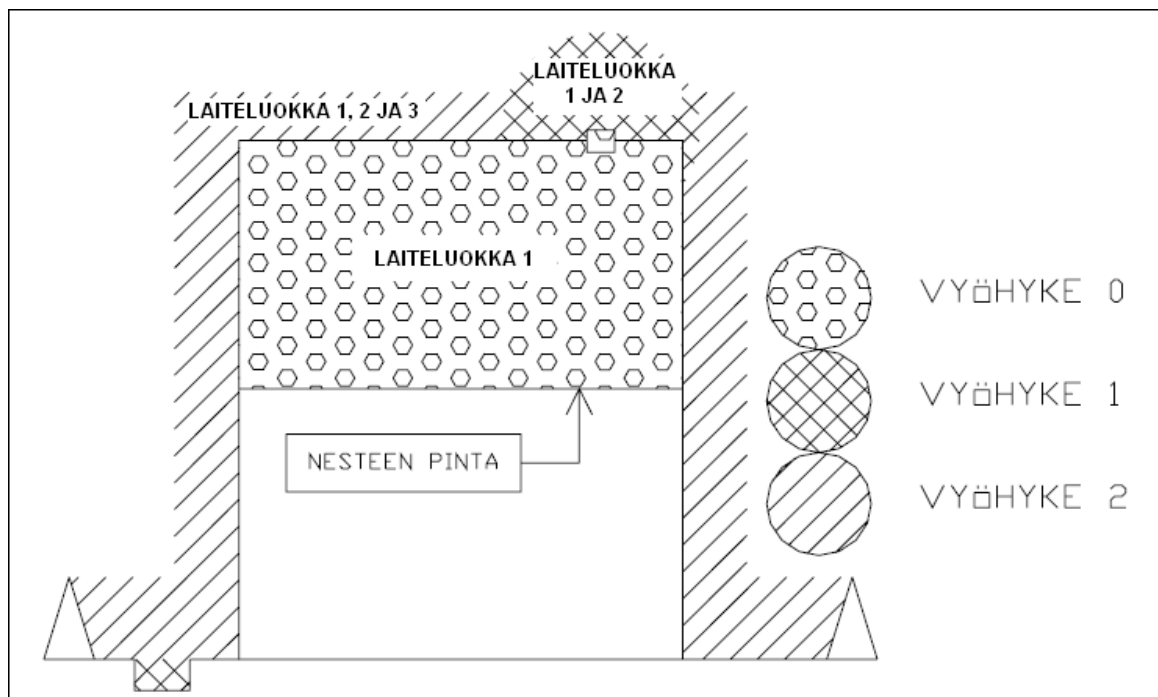
3.1.3 Laite- ja tilaluokkien välinen suhde

Taulukossa neljä on esitetty ATEX -laitedirektiivin 94/9/EY laiteluokkien ja ATEX -olosuhdedirektiivin 99/92/EY tilaluokkien välinen yhteys. Käytännössä ATEX -tilassa käytettävät laitteet valitaan tilaluokan mukaan. Taulukko neljä ei koske kaivoksia ja niiden maanpäällisiin osia, joissa räjähdysvaara perustuu kaivoskaasuun. (SFS 161-1 2004, s.13)

Taulukko 4. ATEX -laiteluokkien ja -tilaluokkien välinen yhteys (SFS 161-1 2004, s.13)

Laiteluokka	Räjähdyksivaarallinen ilmaseos	Tilaluokka	Laite käytettävissä myös tilaluokassa
1	kaasu-ilmaseos höyry-ilmaseos sumu-ilmaseos	0	1 ja 2
1	pöly-ilmaseos	20	21 ja 22
2	kaasu-ilmaseos höyry-ilmaseos sumu-ilmaseos	1	2
2	pöly-ilmaseos	21	22
3	kaasu-ilmaseos höyry-ilmaseos sumu-ilmaseos	2	-
3	pöly-ilmaseos	22	-

Kuten taulukosta neljä nähdään, voidaan tilaluokassa 0 tai 20 käyttää laiteluokan 1 laitteita. Tilaluokassa 1 tai 21 voidaan käyttää laiteluokan 1 tai 2 laitteita ja laiteluokan 1, 2 ja 3 laitteita voidaan käyttää tilaluokassa 2 tai 22. (SFS 161-1 2004, s.12)

**Kuva 3.** Palavaa nestettä sisältävän säiliön tila- ja laiteluokittelu (Muunnos lähteestä Liimatainen 2004, s. 13).

Kuvassa kolme on esimerkki laite- ja tilaluokittelusta palavaa nestettä sisältävän säiliön ympäristössä. Esimerkissä palavaa nestettä sisältävä säiliö on ulkotilassa ja sitä täytetään ja tyhjennetään säännöllisin väliajoin ja sen sekä ulkoilman välillä on paineentasausaukko

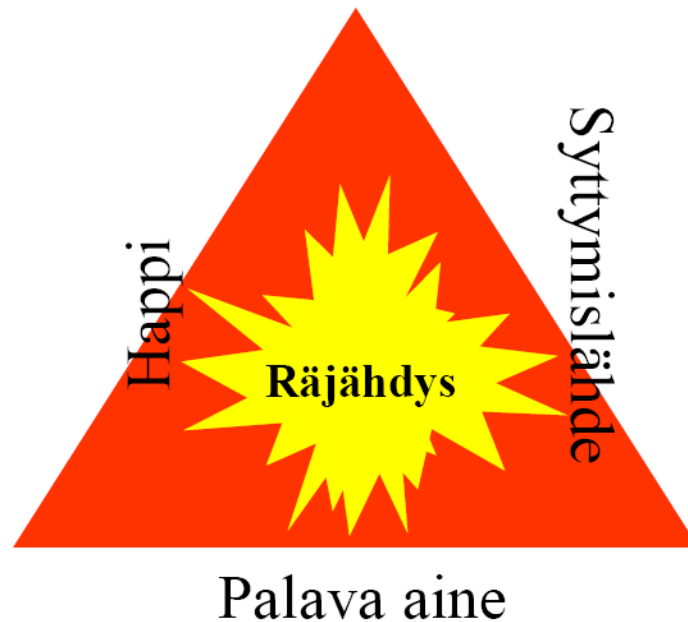
Tilaluokittelu määrää laiteluokittelun taulukon neljä mukaisesti. Tilaluokassa 0 olevat laitteet on oltava laiteluokkaa 1. Tilaluokkaan 1 sopivat laitteet ovat laiteluokkaa 1 tai 2. Tilaluokkaan 2 soveltuvat kaikki laiteluokat eli luokat 1, 2 ja 3. (SFS 161-1 2004, s.13)

3.2 Räjähävän seoksen muodostuminen

Vaaran aiheuttavan räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen riippuu monesta tekijästä. Esiintymiseen vaikuttaa palavan aineen läsnäolo ja sen ilmaan sekoittumisen määrä sekä ilmaan sekoittuneen palavan aineen pitoisuus räjähdysalueella. Räjähdyskelpoisen ilmaseoksen aikaan saamiseksi kaasujen ja höyryjen sekoittumisaste ilmaan tulee olla riittävän suuri. Sumuilla ja pölyillä räjähdyskelpoinen ilmaseos voi syntyä pisaran tai hiukkasan koon ollessa pienempi kuin 1 mm.

Räjähdys on mahdollinen, kun ilmaan sekoittuneen aineen pitoisuus ilmassa saavuttaa alemman räjähdysrajan. Räjähdystä ei tapahdu, kun pitoisuus ylittää tietyn ylemmän räjähdysrajan. Räjähdysrajat muuttuvat paineen ja lämpötilan muuttuessa. Yleensä paineen ja lämpötilan kohotessa räjähdysrajojen välinen pitoisuusalue suurenee. (SFS 160-1 2004, s.40) Esimerkiksi rikkivedyn räjähdysrajat ovat tilavuusprosentteina ilmassa 4,3 - 46 %. Rikkivety pitoisuuden ollessa yli 46 tilavuus prosenttia ilmassa, on hengitysilmassa vallitseva pitoisuus erittäin vaarallinen terveydelle. (Työterveyslaitos, 2006)

Vaaratilanteita aiheuttavien räjähdysten syntyminen edellyttää tiettyjen ehtojen täyttymistä samanaikaisesti. Vaaratilanne syntyy, kun palavan aineen pitoisuus ilmassa on räjähdysrajojen välillä, ilmaseosta on vaaraa aiheuttava määrä ja aktivoitumiskelpoinen syttymislähde on olemassa. Räjähdys tapahtuu kun palava aine sekoittuu ilmaan ja saa riittävästi happea räjähdysrajojen puitteissa ja tämän lisäksi on kosketuksissa syttymislähteen kanssa. (KOM 515 2003, s.8)



Kuva 4. Räjähdykskolmio (KOM 515 2003, s.4)

Kuvassa neljä on esitetty räjähdykskolmio, joka kuvaa räjähdyksen syntymiseen tarvittavat tekijät. Räjähdykskelpoinen ilmaseos voi muodostua, jos palavan nesteen pintalämpötila ylittää alemman räjähdykspisteen. Aerosolit ja palavien nesteiden sumut voivat muodostaa räjähdykskelpoisen ilmaseoksen alemman räjähdykspisteen alapuolella olevissa lämpötiloissa. Räjähdyksrajoilla ei ole pölylle samaa merkittävyyttä kuin kaasuille ja höyryille. Pölyn pitoisuus voi vaihdella suuresti johtuen sen laskeutumisesta pinnoille ja sekoittumisesta ilmaan. Räjähdykskelpoisen ilmaseoksen muodostumisen mahdollisuus on aina otettava huomioon, kun pöly voi kertyä pinnoille. (SFS 160-1 2004, s.40)

3.3 Räjähdykseltä suojautuminen

Vaarallisten räjähdykskelpoisten ilmaseosten syntyminen voidaan estää välttämällä tai vähentämällä palavien aineiden käyttöä. Kaasut ja pölyt ovat ilmaan sekoittuneina räjähdykskelpoisia vain, jos niiden pitoisuudet ovat tiettyjen raja-arvojen välillä. Tietyissä toiminnallisissa ja ympäristöllisissä olosuhteissa on mahdollista pysytellä näiden räjähdyksrajojen ulkopuolella. Jos näiden olosuhteiden pysyvyys voidaan varmistaa, ei räjähdyksvaaraa ole. (TUKES 2003, s.9)

Jos räjähdyskelpoinen ilmaseos voi syntyä, sen aiheuttaman vaaran rajoittamiseksi on selvitettävä ilmaseoksen sijainti. Lisäksi on selvitettävä kaasujen ja höyryjen laite- ja prosessitekniset ja ympäristön erityispiirteisiin liittyvät asiat. Mitä raskaampi kaasu tai höyry on, sitä nopeammin se laskeutuu alas ja sekoittuu jatkuvasti ympärillä olevaan ilmaan ja jää kaivoihin, kanaviin ja kuiluihin. Raskaat kaasut voivat myös ”ryömiä” pitkiä matkoja ennen syttymistä. Lisäksi pienetkin ilman liikkeet, kuten veto ja terminen virtaus, voivat nopeuttaa huomattavasti kaasun sekoittamista ilmaan. (KOM 515 2003, s.12–13)

Vaarallinen räjähdyskelpoinen ilmaseos voidaan välttää myös vähentämällä laitteiden sisäilman happipitoisuutta kemiallisesti reagoimattomilla aineilla. Tätä suojoimenpidettä kutsutaan inertoinniksi. (TUKES 2003, s.9) Inertoinnin suunnittelua varten on tiedettävä suurin happipitoisuus, joka ei vielä aiheuta räjähdystä. Happipitoisuusraja määritetään kokeellisesti. Inertointiin voidaan tavallisesti käyttää kaasuja vain suljetuissa laitteistoissa. Inerttikaasua ei saa päästä laitteiston ulkopuolelle, ettei se aiheuta happipitoisuuden vähenemistä työntekijöiden hengitysilmassa. Inerttikaasuna käytetään tavallisesti typpeä, hiilidioksidia, jalokaasuja, palamistuotteina syntyneitä kaasuja tai vesihöyryä. Inerttiainetta valittaessa on tärkeää ottaa huomioon, ettei se saa reagoida prosessissa käytettävien aineiden kanssa. (KOM 515 2003, s.16–17)

Vaarallisten räjähdyskelpoisten ilmaseosten syntyminen laitteiden ulkopuolella tulee mahdollisuuksien mukaan estää. Laitteet on suunniteltava niin, että ennakoitavissa toimintaolosuhteissa ei voi syntyä mainittavia vuotoja, laitteet on pidettävä suljettuina ja laitteiden säännöllisestä huollosta on huolehdittava. (TUKES 2003, s.9) Jos vuotoja ei voida estää, vaarallisten räjähdyskelpoisten ilmaseosten muodostuminen voidaan estää huolehtimalla tuuleuksesta. Tuuletuksen tehokkuuden arvioinnissa tulee ottaa huomioon vaarallisten ilmaseosten lähteiden sijainti ja leviämisolosuhteet. Suotuisissa olosuhteissa riittävän tehokas tuuletus voi riittää estämään räjähdysvaarallisten tilojen syntymisen. Joissakin tapauksissa vaarallisten ilmaseosten esiintymistodennäköisyys pienenee ja räjähdysvaarallisten vyöhykkeiden koko saadaan supistumaan. (KOM 515 2003, s.17)

Vaarallisia pölykertymiä voidaan välttää puhdistamalla työskentely- ja toimintatilat säännöllisesti. Suunnitelmissa toimenpiteet voidaan määrittellä tapauskohtaisesti

vallitsevien olosuhteiden mukaan. Laitteiden ympäristössä ilmenevien kaasupitoisuuksien valvonta voidaan järjestää esimerkiksi kaasuilmalmaisimien avulla. (TUKES 2003, s.9)

Työpaikoilla, joissa on mahdollinen räjähdysvaara, tulee työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden suojelemiseksi ryhtyä erilaisiin työn järjestelyä ja räjähdysuojausta koskeviin toimenpiteisiin. Työnantajan tulee laatia työntekijöille kirjalliset toimintaohjeet sekä opastaa heitä räjähdysuojaukseen liittyvissä asioissa. Lisäksi vaarallisissa töissä, kuten tulitöissä, tulee käyttää työlupajärjestelmää.

Räjähdysvaarallisten tilojen tärkeimpiä räjähdysuojaustoimenpiteitä on palavien aineiden tekeminen vaarattomiksi tai niiden johtaminen pois esimerkiksi tuulettamalla. Lisäksi tilan mahdolliset staattisen sähkön purkaukset on eliminointava mahdollisimman hyvin. Vaarallisista tiloista on oltava hätäpoistumisteitä ja ne on pidettävä kunnossa ja ennen räjähdysvaarallisten olosuhteiden syntymistä työntekijöitä on varoitettava optisin merkein tai äänimerkein. Kaikille sähkölaitteistoille on tehtävä sähköturvallisuustarkastukset ja räjähdysvaarallisten tilojen käyttöönoton yhteydessä on pätevän henkilön tarkastettava tilan räjähdysturvallisuus. Tarvittaessa räjähdysvaarallisessa tilassa tulee varautua sähkökatkojen aiheuttamiin vaaroihin. Automaatiojärjestelmien virhetoimintojen varalta järjestelmät on voitava ohittaa käsikäyttöisesti turvallisuutta vaarantamatta. Automaation hätäpysäytysjärjestelmää käytettäessä on kerääntynyt energia purettava mahdollisimman nopeasti ja turvallisesti. (TUKES 2003, s.11)

Räjähdysuojaustoimenpiteiden lisäksi laitteet, suojausjärjestelmät ja komponentit on rakennettava niin, että mahdollisen räjähdysvaaran vaikutukset rajoitetaan turvalliselle tasolle. Toimenpiteitä ovat räjähdyskestävä rakenne, räjähdysvaaran keventäminen ja tukahduttaminen ja liekin ja räjähdysvaaran etenemisen estäminen. (SFS 161-1, 2004 s.48) Kyseisiä rakenteellisia räjähdysuojaustoimenpiteitä ei tässä työssä käsitellä enempää. Lisätietoa löytyy SFS-standardista 161-1 ”*Räjähdysvaarallisten tilojen laitteet ja suojausjärjestelmät*” ja Euroopan komission tiedonannosta KOM (2003) 515.

3.4 Prosessinohjaus ja turvajärjestelmät

Räjähdyssuojatoimenpiteet voidaan pitää yllä, hallita ja käynnistää erilaisten valvonta- ja säätölaitteiden avulla. Näitä turvalaitteita kuvataan nimityksellä prosessinohjaus. Prosessinohjauslaitteilla voidaan estää vaarallisten räjähdyskelpoisten ilmaseosten syntyminen ja lieventää räjähdysvahingollisia seurauksia.

Potentiaalisia syttymislähteitä voidaan valvoa prosessinohjauslaitteilla ja syttymislähteiden ominaisuudet voidaan pitää asianmukaisin ohjaustoimenpitein vaarattomalla tasolla tai ne voidaan poissulkea. Esimerkiksi räjähdysuojaamattomat sähköiset laitteet voidaan kytkeä kaasunilmaisimelta tulevan hälytyksen avulla jännitteettömäksi. Vaarallisten räjähdyskelpoisten ilmaseosten syntyminen voidaan estää tehostamalla ilmanvaihtoa ennen kuin suurin sallittu kaasupitoisuus on saavutettu.

Taulukossa 5 on esitetty prosessinohjauslaitteistojen käyttö aktivoituvien syttymislähteiden esiintymistodennäköisyyden vähentämisessä. Taulukosta 5 nähdään, että esimerkiksi vyöhykkeellä 0 prosessinohjauslaitteiden on oltava sellaisia, ettei yksittäinen häiriö prosessinohjauslaitteistossa pysty tekemään koko turvajärjestelmästä toimintakyvyttöä. Tämä voidaan varmistaa ottamalla käyttöön kaksi syttymislähteiden torjuntaan soveltuvaa prosessinohjauslaitetta. (KOM 515, 2003, s. 33)

Taulukko 5. Prosessinohjauslaitteistojen käyttö syttymislähteiden vähentämisessä (KOM 515, 2003 s. 35).

Räjähdyks- vaarallinen tila	Syttymislähteiden esiintyminen	Prosessinohjauslaitteistoja koskevat vaatimukset
ei ole	liittyy toimintaan	ei ole
Vyöhyke 2 tai vyöhyke 22	liittyy toimintaan	Syttymislähteiden torjuntaan soveltuva yksittäinen laite
	ei odoteta esiintyvän normaalitoiminnassa	ei ole
Vyöhyke 1 tai vyöhyke 21	liittyy toimintaan	kaksi syttymislähteiden torjuntaan soveltuvaa laitetta*
	ei odoteta esiintyvän normaalitoiminnassa	Syttymislähteiden torjuntaan soveltuva yksittäinen laite
	ei odoteta esiintyvän normaalitoiminnassa eikä toimintahäiriöiden aikana	ei ole
Vyöhyke 0 tai vyöhyke 20	ei odoteta esiintyvän normaalitoiminnassa	kaksi syttymislähteiden torjuntaan soveltuvaa laitetta
	ei odoteta esiintyvän normaalitoiminnassa eikä toimintahäiriöiden aikana	Syttymislähteiden torjuntaan soveltuva yksittäinen laite*
	ei odoteta esiintyvän normaalitoiminnassa, toimintahäiriöiden aikana eikä harvinaisten toimintahäiriöiden aikana	ei ole

* tai vastaava direktiivin 94/9/EY mukaisesti hyväksytty laite

Prosessinohjauslaitteiden sekä niiden käynnistämien toimenpiteiden laajuus riippuu vaarallisten räjähdyskelpoisten ilmaseosten sekä aktivoituvien syttymislähteiden esiintymistodennäköisyydestä. Prosessinohjauslaitteiden luotettavuuden ja toteutettujen räjähdysuojatoimenpiteiden on oltava sellaiset, että niillä kyetään varmistamaan kaikissa toimintaolosuhteissa räjähdysvaaran supistaminen kohtuulliseksi. (KOM 515, 2003 s. 33)

4 H₂S-TILOISSA TYÖSKENTELY JA TYÖTURVALLISUUS

Työskentely rikkivetyä sisältävissä tiloissa tulee olla valvottua esimerkiksi kaasunilmaisimien ja prosessinohjauslaitteiden avulla. Lisäksi tiloissa työskentelevät ihmiset tulee kouluttaa hyvin työhönsä ja työtiloissa esiintyvät riskit tulee kartoittaa. Rikkivety on terveydelle haitallinen aine ja sen esiintymistä hengitysilmassa tulee välttää kaikin mahdollisin keinoin. Hyvällä riskien hallinnalla ja työturvallisuuden panostuksilla voidaan työntekijöille luoda turvallinen työympäristö. Seuraavissa kappaleissa on kerrottu rikkivedyn ominaisuuksista ja keinoista joilla H₂S-tilojen työturvallisuutta voidaan parantaa.

4.1 Rikkivedyn ominaisuudet

Rikkivetyä vapautuu sekä luonnossa että ihmisen aiheuttamissa toiminnoissa. Luonnossa sitä vapautuu mm. tulivuoren purkauksissa ja soilla. Lisäksi sitä esiintyy jätevedenpuhdistamoilla sekä paperi- ja selluteollisuudessa. Vapautuessaan rikkivety pysyttelee ilmassa noin 18 tuntia ja voi muuttua rikkidioksidiksi tai rikkihapoksi. Rikkivety liukenee veteen ja se esiintyy vedessä heikkona happona. (U.S. Department s.2)

Rikkivety on helposti syttyvä, väritön kaasu joka maistuu makealle ja haisee mädäntyneelle kananmunalle. Rikkivety on terveydelle myrkyllinen kaasu korkeissa pitoisuuksissa ja se pystytään haistamaan jo 0,0005–0,3 ppm pitoisuuksissa. Suurissa pitoisuuksissa rikkivetyä ei välttämättä pystytä haistamaan ja siksi rikkivety on erittäin vaarallista terveydelle. (U.S. Department s.1) Taulukossa 6 on esitetty lisää rikkivedyn fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia.

Taulukko 6. Rikkivedyn fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia (Työterveyslaitos, 2006).

Ominaisuus	Arvo
Molekyylimassa	34,1 g/mol
Sulamislämpötila	-85 °C
Kiehumislämpötila	-60 °C
Itsesyttymislämpötila	+ 260 °C
Syttymisrajat	4,3 - 46 % (tilavuusprosenttia ilmassa)
Kaasun tiheys	1,2 kg/m ³
Liukoisuus	Liukenee osittain veteen (4-6 g/l), hiilivetyliuottimiin, alkoholiin, eetteriin, glyseroliin, rikkihiileen, asetoniin ja alkanoliamiiniliuoksiin
pH	4,1
Muuntokertoimet (20 °C)	1 ppm = 1,4 mg/m ³
Hajukynnys	0,008 ppm, hajuaisti turtuu altistumisen jatkuessa ja lamaantuu yli 100 ppm:n pitoisuuksissa

Rikkivety on vahingollista ihmisen hengityselimille ja hermostolle. Suuri pitoisuus aiheuttaa hetkellisen tajunnan menetyksen. Suurimmassa osassa altistustapauksia pitoisuutta ja altistusaikaa ei tiedetä. On kuitenkin arvioitu että alle tunnin altistuminen 500 ppm pitoisuudelle aiheuttaa tajunnan menetyksen. Altistuminen ei kuitenkaan johda kuolemaan, jos tajunnan menettänyt henkilö saadaan nopeasti siirrettyä raittiiseen ilmaan. Rikkivedyn suurelle pitoisuudelle altistumista voidaan kuvailla tukehtumisreaktiona. Suurelle pitoisuudelle altistuminen saattaa aiheuttaa pysyviä vammoja kuten päänsärkyä, keskittymisvaikeuksia, sekä lyhytaikaisen muistin heikentymistä. Altistuminen saattaa aiheuttaa myös sydänoireita ja hengitysvajetta. (U.S. Department s.10)

Pienillä pitoisuuksilla on vähemmän vaikutusta hermostoon ja hengityselimiin. Matalat pitoisuudet vaikuttava hermostoon ja voivat aiheuttaa koordinaatio-ongelmia, muistivaikeuksia, hallusinaatioita sekä hajuaistin menetystä. Rikkivedyn pienet pitoisuudet vaikuttavat myös hengityselimiin ja saattavat aiheuttaa kurkun kuivumista ja yskää. Astmaa sairastavalle jo 2 ppm pitoisuus saattaa aiheuttaa hengenahdistusta. (U.S. Department s. 10-11)

4.2 Rikkivedyn altistumisrajat

Rikkivedylle asetetut raja-arvot ja altistumisrajat on esitetty taulukossa 7. Raja-arvoja asetetaan, jotta työntekijöiden työturvallisuus voidaan varmistaa. HTP -arvo on sosiaali- ja terveysministeriön antama arvio työntekijöiden hengitysilman epäpuhtauksien pienimmistä pitoisuuksista, jotka voivat aiheuttaa haittaa tai vaaraa henkilön terveydelle tai turvallisuudelle (Sosiaali- ja Terveysministeriö, 2007). Taulukossa 7 rikkivedyn HTP -arvo on määritelty sekä 8 tunnin että 15 minuutin altistusajalle.

Taulukko 7. Rikkivedyn raja-arvoja (Työterveyslaitos, 2006 ja Sosiaali- ja Terveysministeriö, 2007)

Raja-arvo	Pitoisuus (1 ppm = 1,4 mg/m³)
HTP 2007	10 ppm / 8 h, 15 ppm / 15 min
IDLH-arvo	100 ppm / 30 min
ERPG-1	0,1 ppm / 60 min
ERPG-2	30 ppm / 60 min
ERPG-3	100 ppm / 60 min

Taulukossa 7 esiintyvä IDLH -arvo on suurin pitoisuus, jolle terve työntekijä voi altistua 30 minuutiksi saamatta palautumattomia terveydellisiä vaurioita tai poistumista vaikeuttavia vammoja. ERPG- arvo tarkoittaa suurinta pitoisuutta, jossa lähes kaikkien ihmisten arvioidaan voivan olla noin tunnin kolmitasoisen luokituksen perusteella.

ERPG-1 tasolla ihmisen arvioidaan voivan olla tunnin ajan saaden enintään vähäistä, tilapäistä terveyshaittaa tai tuntien pahaa hajua. ERPG-2 tasolla ihmisen arvioidaan voivan olla tunnin ajan ilman vaaraa saada palautumattomia tai muita vakavia terveyshaittoja tai oireita, jotka heikentävät kykyä suojautua altistumiselta. ERPG-3 tasolla ihmisen arvioidaan voivan olla tunnin ajan ilman hengenvaaraa. Lisäksi WHO:n suositusten mukaan ulkoilman rikkivetypitoisuuden tulisi olla alle 0,005 ppm (7µg/m³) 30 minuutin keskipitoisuutena, jotta välttyttäisiin hajuhaitoilta.(Työterveyslaitos, 2006)

4.3 Työturvallisuus ja työskentely H₂S-tiloissa

Työpaikkojen turvallisuus tulee järjestää siten, että tulipalon tai muun onnettomuuden vaara on mahdollisimman vähäinen. Tarpeettomat syttymislähteet on poistettava. Työntekijöiden varoittaminen tulipalosta tulee järjestää tehokkaalla hälytysjärjestelmällä niin että se havaitaan kaikkialla työpaikalla. Lisäksi alkusammutusvälineiden on oltava helposti käyttöön otettavissa. Tulipalossa tai muussa vastaavassa vaaratilanteessa työntekijöiden on voitava poistua työpisteeltä nopeasti ja mahdollisimman turvallisesti. Rakennusten uloskäytävien ja kulkureittien on johdettava mahdollisimman suoraan ulos turvalliselle alueelle eikä reiteillä saa olla liuku- tai pyöröovia. Ovien tulee olla tarvittaessa molemmilta suunnilta avattavissa. Uloskäytävillä ja niille johtaville kulkureiteille on tarvittaessa järjestettävä asianmukainen varavalaistus. (Valtioneuvoston asetus 2003)

Lisäksi H₂S-tiloissa voidaan kieltää yksintyöskentely. Näin ollen mahdollisesti rikkivedylle altistunut työntekijä saadaan nopeasti siirrettyä raittiiseen ilmaan. Rikkivetyä sisältävissä tiloissa työntekijöiden turvallisuutta tarkkaillaan jatkuvatoimisilla mittauksilla ja työntekijät käyttävä henkilökohtaisia suojaimia (Honeywell 2007, s.21). Terveydelle haitallista ainetta voidaan myös mitata ja sen pitoisuuksia voidaan verrata sallittuihin ohjearvoihin. Seuraavissa kappaleissa esitellään hengityssuojaimia ja kaasunilmaisimia sekä ilman epäpuhtauksien mittaamista erityisesti rikkivetyä sisältävissä tiloissa.

4.3.1 Hengityssuojaimet

Rikkivedyltä ja muilta ilman epäpuhtauksilta voidaan suojautua käyttämällä hengityssuojaimia. Hengityssuojaimet jaetaan suodatinsuojaimiin ja eristäviin suojaimiin eli hengityslaitteisiin. Käyttäessä suodatinsuojainta ihminen saa hengitysilman suodattimen kautta. Tällöin ilman epäpuhtaudet suodattuvat pois hengitysilma-putkesta. Suodatinsuojaimen käyttö edellyttää työilman riittävää happipitoisuutta. Jos työilman happipitoisuus ei ole riittävä, täytyy työntekijöiden käyttää hengityslaitetta. Hengityslaitetta käytettäessä työntekijä saa ilmaa tai happea saastumattomasta lähteestä joko letkulla tai kannettavasta säiliöstä.

Suodatinsuojaimissa käytetään hiukkassuodattimia, kaasunsuodattimia tai yhdistelmäsuodattimia. Suodattimet liitetään yleensä koko- tai puolinaamariin. Hiukkassuodattimet suodattavat hengitysilmaasta pois pölyjä, savuja ja jauhemaisia aineita, mutta eivät kaasuja. Kaasunsuodattimet suojaavat kaasuilta ja höyryiltä, mutta ei pölyiltä. Kaasunsuodattimet jaetaan kaasunsitomiskykynsä perusteella kolmeen luokkaan 1, 2 ja 3. Lisäksi kaasunsuodattimet jaetaan neljään tyyppiin A, B, E ja K sen perusteella, minkälaisia kaasuja ne suodattavat. Rikkivedyltä suojautumiseen voidaan käyttää suodatintyyppiä B2.

Yhdistelmäsuodatin suojaa sekä kaasuilta että hiukkasilta. Käytössä on huomattava että hiukkassuodattimen on oltava uloimpana ja kaasunsuodattimen sen jälkeen lähimpänä hengityselimiä. Näin ollen ilma kulkee ensin hiukkassuodattimen läpi ja vasta sen jälkeen kaasusuodattimen lävitse.

Hapen puutteelta suojaudutaan käyttämällä hengityslaitetta, joka voi olla joko raitisilmalaite tai paineilmaletkulaite. Hengityslaitetta käytetään äärimmäisissä olosuhteissa joissa hengitysilma ei sisällä tarpeeksi happea. Raitisilmalaite toimii joko käyttäjän oman hengityksen tai puhaltimen avulla. Käyttäjälle syötetään puhdasta ilmaa joko paineilmasäiliöstä tai kiinteästä paineilmaverkosta. (Työturvallisuuskeskus, s.92)

4.3.2 Kaasunilmaisimet

Työtilojen pitoisuuksien valvonta voidaan järjestää esimerkiksi kaasuilmaisimien avulla. Jotta kaasuilmaisimia voitaisiin käyttää oikein, on saatava riittävästi tietoa siitä, mitä ilmassa mahdollisesti esiintyvät aineet ovat, missä niiden lähteet sijaitsevat. Lisäksi on selvitettävä aineiden suurimmat mahdolliset lähdevahvuudet ja millaiset ovat niiden leviämisolosuhteet.

Kaasuilmaisimen valinnassa on otettava huomioon laitteiden käyttöolosuhteita vastaava toimintakyky erityisesti vasteajan, erottelukynnyksen ja ristikkäisherkkyyden osalta. Lisäksi kaasunilmaisimien tulisi olla luotettavia niiden avulla tulisi huomata seosten vuodot riittävän nopeasti ja varmasti mittauspisteiden lukumäärän ja sijainnin

tarkoituksenmukaisella valinnalla. Kaasunilmaisimet antavat tietoa siitä, mikä alue joutuu alttiiksi räjähdysvaaralle, jonka jälkeen laite antaa hälytyksen ja käynnistää suojaustoimenpiteet. (KOM 515 s.19)

Yksittäiset kaasuilmaisimet tai laitetyypit on tarkastettava, kalibroitava ja hyväksyttävä käyttötarkoitukseensa riittäväksi, ennen kuin ne voidaan ottaa käyttöön syttymislähteiden välttämiseksi tarvittavina turva-, valvonta- ja säätölaitteina. Kaasuilmaisimen avulla voidaan esimerkiksi räjähdysuojaamaton laite kytkeä pois toiminnasta vaarallisen räjähdyskelpoisen ilmaseoksen syntyessä. Käyttöön otettavissa kaasuilmaisimissa on oltava direktiivin 94/7/EY mukaiset merkinnät siitä, että ne on hyväksytyt räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitetuiksi turvallisiksi sähkölaitteiksi. (KOM 515 s.20)

Rikkivetyä sisältävien tilojen jatkuvatoimisten mittausanturien sijoittaminen mahdollisimman lähelle työntekijöiden hengitysilmaa, jotta mittaus tulokset olisivat mahdollisimman luotettavat. Lisäksi mittausantureiden sijoittelussa on otettava huomioon rikkivedyn käyttäytyminen sekä sen ominaisuudet. Käyttäytymisestä riippuen pitoisuuksista mitataan joko pitkän ajan keskiarvoa tai lyhyitä satunnaisia pitoisuuksien nousuja. (Honeywell 2007, s.21)

4.3.3 Ilman epäpuhtauksien mittaaminen

Ilman epäpuhtauksille altistuminen tapahtuu pääasiassa hengityselinten kautta. Mittauksia ja muita analyysejä tehdään, kun epäpuhtauden esiintyminen ja aineelle altistuminen on mahdollista. Ainetta mitataan työpaikan ilmasta ja tulosten tulkinnessa käytetään apuna työhygieenistä vertailuarvoa. (Pääkkönen et. al. 1999, s.38) Ilman epäpuhtaudet voivat vaihdella samassa työtilassa huomattavasti. Vaihtelut johtuvat esimerkiksi tuotannon prosessin vaihteluista. Yleisilman pitoisuudet kuvaavat alimman altistustason, jonka vuoksi yksittäisen työntekijän altistuminen voi olla paljon sitä suurempi. (Pääkkönen et. al. 1999, s.39)

Mittauksilla määritetään todennukainen altistuminen tietyinä ajanjaksona ja kriittiset altistelähteet huomioidaan ja todetaan. Tulosten perusteella päätetään altistumisen

hyväksyttävyydestä ja arvioidaan terveysriskiä erilaisille altistuvien ryhmille. Lisäksi tuloksia hyödynnetään työolojen seurannan suunnittelussa. (Pääkkönen et. al. 1999, s.39)

Mittaukset voidaan tehdä alueellisina tai henkilökohtaisina näytteenottoina. Kun näytteenotto kestää tunteja tai koko työpäivän, saatu tulos kuvaa mittausajan keskimääräistä pitoisuutta. (Pääkkönen et. al. 1999, s.39–40) Ilman epäpuhtauksille altistumista arvioidaan suhteessa HTP -arvoihin. Altistuminen on vähäistä pitoisuuden ollessa noin 10 prosenttia HTP -arvosta. Altistuminen on kohtalaista pitoisuuden ollessa 10–50 prosenttia HTP -arvosta ja merkittävää kun pitoisuus työilmassa on 50–100 prosenttia HTP -arvosta. Altistuminen on liiallista, jos työtilan epäpuhtauksien pitoisuus ylittää HTP -arvon. (Pääkkönen et. al. 1999, s.37)

4.4 Työtilojen ilmanvaihto

Valtioneuvoston asetuksen mukaan työpaikan ilmatilan tulee olla vähintään kymmenen kuutiometriä kutakin työntekijää kohden. Tätä laskettaessa otetaan työhuoneen korkeudesta huomioon enintään kolme ja puoli metriä. Jos työpaikalla käytetään koneellista ilmanvaihtoa, se on pidettävä toimintakunnossa, jotta se poistaa ilmassa olevat epäpuhtaudet. Jos työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden kannalta on tarpeellista, ilmanvaihtolaitteisto on varustettava valvontajärjestelmällä, joka ilmoittaa toimintahäiriöistä. (Valtioneuvoston asetus 2003)

Rakennuksen ilmanvaihto vaikuttaa suoraan tai välillisesti tekijöihin, jotka aiheuttavat terveyshaittaa sisätilassa. Sisäilman epäpuhtaudet ovat pääasiassa kemiallisia yhdisteitä ja ihmisen altistuminen riippuu kolmesta tekijästä; epäpuhtauslähteestä, altistusajasta ja tilan ilmanvaihdosta. Yleensä altistusaikaa ei voida lyhentää, joten altistumiseen voidaan vaikuttaa epäpuhtauslähdettä vähentämällä ja ilmanvaihdon tehostamisella. (Asumisterveysohje, 2003 s. 25–30)

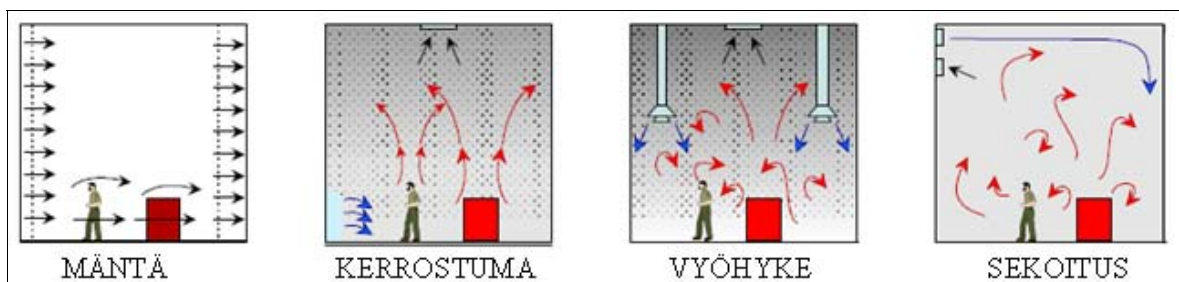
Ilman laadulle voidaan asettaa useita erilaisia vaatimuksia, jotka riippuvat tilan käyttötarkoituksesta ja siellä tapahtuvasta toiminnasta. Vaatimus saattaa lähteä tilassa olevista ihmisistä, rakenteiden asettamista vaatimuksista tai tilassa tapahtuvasta

työprosessista ja laitteista. Yksi tärkeimmistä ilmanvaihdon mitoitusperiaatteista on sisätilassa vallitseva lämpötila. (Seppänen O. 1996, s.31)

Ilmastointijärjestelmän tärkeimpänä tavoitteena on luoda rakennukseen hyväksyttävä sisäilmasto kaikissa kuormitusolosuhteissa. Järjestelmän valinta lähtee sisäilmaston vaatimustasosta eli ns. tavoitetasosta. Varhaisessa vaiheessa on selvittävä tarvitaanko rakennukseen koneellista jäähdytystä, kostutusta tai huonekohtaista lämpötilan säätöä. Lämpötilan säätelyyn vaikuttaa oleellisesti lämpökuorman vaihtelu eri tilojen välillä. (Seppänen O. 1996, s. 247–248)

Myös rakennuksen muoto vaikuttaa ilmastointijärjestelmän valintaan. Kanavavedot ovat rajoitetut niiden vaatiman tilan vuoksi, joka on haasteellista varsinkin teollisuustiloja suunniteltaessa. Lisäksi konehuoneen ja siitä kauimmaisen kanavan välimatka ei saa olla liian suuri. Kanavien sijoittamiseen vaikuttaa myös rakenteelliset ratkaisut kuten rakennuksen palkkien ja pilarien suunta ja sijoitus. (Seppänen O. 1996, s. 248)

Teollisuusilmastoinnin piiriin kuuluu perinteisten tuotantotilojen, kuten valimoiden ja paperitehtaiden, lisäksi myös sairaaloiden toimenpidetilat, tunnelit, kaivokset, ammattikeittiöt, voimalaitokset ja muut vastaavat tilat. Teollisuusilmastoinnin perusero muiden tilojen ilmastointiin on se, että teollisuus-ilmastoinnissa mitoittavat tekijät ovat prosessin ominaisuudet. Tämän vuoksi ilmastoinnin tekninen vaativuus on usein huomattavasti suurempi kuin tavanomaisten tilojen tekniikassa. Teollisuusilmastoinnissa virtausteknisin keinoin saavutetaan ja hallitaan turvallinen, terveellinen ja viihtyisä sisäilma teollisuustiloissa sekä tiloissa, joissa ilmanvaihdon ja ilman käsittelyn tarpeen määrää ensisijaisesti tuotantoprosessit. (TAKE 2000, s. 6)



Kuva 5. Tyypilliset teollisuuden yleisilmanvaihtoon käytettävät sovellukset. (TAKE 2000, s.40)

Kuvassa viisi on esitetty ilmastonin periaatteet. Mäntäperiaatteen tavoitteena on luoda tuloilmavirran avulla yhdensuuntainen virtauskenttä koko ilmastoitavaan tilaan. Huoneilmavirtaukset hallitaan yhdensuuntaisella tuloilmanjaolla, jonka tarkoituksena on syrjäyttää häiriövirtaukset. Täällä periaatteella ilmanvaihto voidaan toteuttaa vaakasuorana kuten kuvassa viisi, tai pystysuorana mäntävirtauksena tai osittaisena mäntävirtauksena. Mäntävirtaus johtaa yleensä kalliiseen ratkaisuun, koska yhdensuuntaisen virtauskentän aikaansaamiseksi tarvitaan suuri tuloilmamäärä. (TAKE 2000, s. 40-41) Mäntävirtaus on hyvä ratkaisu etenkin rikkivetyä sisältävissä tiloissa, koska mahdollisista pitoisuudet pystytään poistamaan tilasta nopeasti.

Kerrostumaperiaatteella tavoitellaan mäntäperiaatteelle tyypillistä lämpötila- ja epäpuhtausjakaamaa. Kerrostumaperiaatteessa ilmavirtaukset syntyvät tilassa esiintyvien tiheuserojen seurauksena. Huonevirtauksia ei kontrolloida tuloilman vaan painovoiman avulla, jolloin tilaan syntyy kerrostuma. Tällä periaatteella saavutettu lämpötilan ja epäpuhtauksien, kuten rikkivedyn, poistotehokkuus on vaatimattomampi kuin mäntävirtauksella. (TAKE 2000, s.41–42)

Kerrostumaperiaatteessa tilasta poistuva ilmavirta korvataan tuloilmalla ja samalla vähennetään takaisinvirtauksen muodostumista huoneen eri vyöhykkeiden välille. Tuloilma on jaettava siten, ettei se häiritse tiheuserosta johtuvia virtauksia ja poistoilmaukot on sijoitettava virtauksen alapuolelle, jotta takaisin virtauksilta vältyttäisiin. Jotta tiheydeltään ilman kanssa samansuuruiset epäpuhtaudet voisivat kerrostua, huonetilassa tulee epäpuhtauslähteiden sijaita lämmönlähteiden yhteydessä. Syntyvää kerrostumaan kutsutaan termiseksi kerrostumaksi. Kerrostumaperiaate on energiataloudellisesti tehokas ilmanvaihtojärjestelmä. (TAKE 2000, s.42)

Vyöhykeperiaatteessa tavoitteena on hallita tilan olosuhteet ilmastointijärjestelmällä vain halutulla vyöhykkeellä ja jättää muu osa huonetilaa vähemmälle huomiolle. Lämmön, epäpuhtauksien ja kosteuden kerääntyminen kontrolloidun vyöhykkeen ulkopuolella voi olla prosessin kannalta haluttua ja sitä pyritään hyödyntämään esimerkiksi tuotantoprosessissa. Vyöhykeperiaatteessa tuloilma-aukot sijoitetaan lähelle kontrolloitua vyöhykettä tai sen sisälle, jossa sisäilman tulee olla puhdasta ja olosuhteiden tulee säilyä

hyvänä. Vyöhykeperiaatteessa poistoilma-aukot sijoitetaan kontrolloimattomalle vyöhykkeelle, jossa kosteus ja epäpuhtaudet eivät vaaranna työntekijöiden turvallisuutta. (TAKE 2000, s. 43-44)

Sekoitusperiaatteen tarkoituksen on luoda ilmastoitavaan tilaan tasaiset olosuhteet. Tällä periaatteella koko huoneilma saadaan kiertämään ja sekoittumaan ilmasuihkujen avulla. Periaatetta kutsutaan usein myös laimennusilmanvaihdoksi, koska huoneessa syntyvät kuormat sekoitetaan koko huoneilmaan ja samalla rajoitetaan tilassa esiintyviä huippupitoisuuksia ja lämpötiloja. (TAKE 2000, s.45) Sekoitus- ja vyöhykeperiaatteen käyttö räjähdysvaarallisessa tilassa olisi kyseenalaista, koska palavien kaasujen kerääntyminen ja kulkeutuminen samalle alueelle olisi erittäin todennäköistä.

4.5 Työtilojen riskienhallinta

Työturvallisuuslain (738/2002) mukaan työnantajan velvollisuus on selvittää työpaikalla esiintyvät vaarat ja arvioida niiden aiheuttamat riskit. Keskeinen tavoite on kiinnittää huomiota järjestelmälliseen ja jatkuvaan työympäristöön ja työolosuhteiden arviointiin sekä parantamiseen. Tunnistetut vaaratekijät on mahdollisuuksien mukaan poistettava tai ne on korvattava turvallisemmalla tekijällä. (TUKES 2004, s.6)

Riskinarviointi on huolellinen selvitys siitä, mikä työpaikalla voi aiheuttaa vaaraa työntekijöille. Se on prosessi, jossa arvioidaan työntekijöiden terveydelle ja turvallisuudelle työpaikalla ilmenevästä vaarasta aiheutuva riski. Selvityksessä arvioidaan ovatko käytössä olevat varotoimenpiteet riittävät vai pitäisikö vaarojen välttämiseksi tehdä enemmän. Päättävänä tavoite on, ettei kukaan sairastu tai loukkaannu työnsä vuoksi. Riskienhallinta on toteutettava silloin, kun hankitaan uusia koneita tai laitteita tai suunnitellaan työympäristöä. (Pääkkönen et. al. 1999, s.7 ja 26)

Riskienhallinta koostuu riskianalyysistä ja riskien käsittelystä (Kuusela ja Ollikainen 2005, s.281). Riskianalyysi on osa riskinarviointia (Pääkkönen et. al. 1999, s.7). Riskianalyysissä tunnistetaan olemassa olevat riskit, selvitetään vahinkotaajuudet ja tehdään riskien arviointi (Kuusela ja Ollikainen 2005, s.281). Riskin suuruutta puolestaan tarkastellaan vakavuuden

ja todennäköisyyden suhteen. Riskianalyysi sisältää erillisriskien ja kokonaisriskien arvioinnin. (Pääkkönen et. al. 1999, s.7)

Riskin arviointi jaetaan yleensä viiteen osa-alueeseen. Riskin arviointi koostuu vaarojen ja vaaroille alttiina olevien työntekijöiden tunnistamisesta sekä riskin määrällisestä ja laadullisesta arvioinnista. Lisäksi on tehtävä arvio, voidaanko riski saada hallintaan ja voidaanko se poistaa tai voidaanko riskejä vähentää. Arvioinnin tulisi kattaa toiminnasta johtuvat ennustettavissa olevat riskit. (TUKES 2004, s.6)

Vaarojen tunnistamisen osa-alue sisältää kaikkien ennakoitavissa olevien vaaratekijöiden tunnistamisen. Nämä riskit syntyvät työväliseen normaalissa käytössä, kuten prosessin ylös- ja alasajossa, sekä poikkeustilanteissa, esimerkiksi harvinaisissa häiriötilanteissa. Räjähdystvaarallisissa tiloissa vaaroja ovat mahdolliset syttymislähteet ja tilanteet, joissa laite voi muodostaa räjähdysvaarallisen ilmaseoksen. Vaarojen tunnistamisessa tulisi käyttää apuna päivittäin työväliseen kanssa tekemisissä olevia ihmisiä, jotka tietävät laitteen mahdolliset riskit ja todelliset toimenpiteet ongelma tilanteissa. (TUKES 2004, s.6)

Riskin määrällisessä ja laadullisessa arvioinnissa huomioidaan jo olemassa olevat syttymistä ehkäisevät toimenpiteet ja lisäksi arvioidaan niiden riittävyys ja luotettavuus. Jos riskejä on olemassa, siirrytään seuraavaan vaiheeseen. Muutoin voidaan riskien arviointi päättää tähän. Vaarojen tunnistamisen ja riskien vaikutusarvion jälkeen tehdään arvio, voidaanko olemassa olevat riskit poistaa, tai kuinka niitä voidaan pienentää ja hallita (TUKES 2004, s.6)

Kun toiminnasta aiheutuvat riskit ja vaaratekijät on tunnistettu, on yrityksen arvioitava riskien toteutumismahdollisuudet ja niiden toteutumisen aiheuttavat seuraukset. Riskien merkitystä arvioitaessa päätetään, voidaanko riski hyväksyä ja analysoidaan toimenpiteiden tärkeysjärjestystä. Yrityksen on suunniteltava toimintansa niin että henkilöriskien toteutumismahdollisuudet vähenevät tai niiden seuraukset pienenevät. (TUKES 2004, s.6)

Taulukossa 8 on esitetty riskitasojen luokittelu. Tilanteissa joissa altistuminen tai riski on merkittävä tai sietämätön, riskin torjuntatoimet tulee toteuttaa välittömästi. Riskin ollessa sietämätön työtä ei tule jatkaa ennen kuin riskiä on pienennetty. Kohtalainen riski edellyttää myös toimenpiteitä, mutta vaihtoehtoja voidaan arvioida myös kustannusten osalta tarkemmin. Vähäinen riski ei edellytä toimenpiteitä mutta työoloja on seurattava kattavasti ja riittävän usein. (Pääkkönen et. al. 1999, s.11)

Taulukko 8. Yksinkertainen riskitasojen luokittelu (Pääkkönen et. al. 1999, s.10)

Seuraukset/ todennäköisyys	vähäiset	haitalliset	vakavat
epätodennäköinen	merkityksetön riski	vähäinen riski	kohtalainen riski
mahdollinen	vähäinen riski	kohtalainen riski	merkittävä riski
todennäköinen	kohtalainen riski	merkittävä riski	sietämätön riski

Riskianalyysin jälkeen siirrytään riskien käsittelyyn ja valitaan riskienhallintakeinot. Taulukossa 9 on esitetty vaihtoehdot, kuinka riskejä voidaan käsitellä ja hallita. (Kuusela ja Ollikainen 2005, s.281)

Taulukko 9. Riskien käsittelykeinot (Kuusela ja Ollikainen 2005, s.281).

RISKIEN KÄSITTELY				
Välttäminen	Pienentäminen	Siirtäminen	Vakuuttaminen	Omalla vastuulla
Riskin todennäköisyyden pienentäminen ja poistaminen Esim. helposti räjähtävistä materiaaleista luopuminen	Mahdollisten vahinkojen rajoittaminen riskin jakamisella ja vahingon torjunnalla Esim. turvamääräykset ja koulutus	Riskin siirtäminen sopimuksella toiselle osapuolelle	Riskin toteutumisesta aiheutuvat taloudelliset menetykset siirretään sopimuksella vakuutusyhtiön kannettavaksi	tietoisesti tai tiedostamatta

Kuten taulukosta 9 nähdään, riskejä voidaan pyrkiä välttämään tai pienentämään. Vastuuta riskeistä voidaan siirtää joissain tapauksissa sopimuksilla esimerkiksi alihankkijoille. Lisäksi riskejä voidaan joissain tapauksissa vakuuttaa ja siirtää mahdollisesti syntyvät menetykset vakuutusyhtiön kannettavaksi. Osassa tapauksissa riskiä ei käsitellä vaan se pidetään omalla vastuulla. Joissain tapauksissa riskiä ei ole huomattu riskinarvioinnissa ja se on tiedostamatta omalla vastuulla. (Kuusela ja Ollikainen 2005, s.281).

Riskien hallinnan tavoitteena on taata työntekijöille vähintään lainsäädännön edellyttämä suojele. Suojaustoimenpiteiden toteutus ja niiden ylläpito täytyy varmistaa tarkastuksilla. Riskin arviointi ei ole koskaan valmis, vaan sitä tulee ajoittain tarkastella uudestaan ja miettiä, voitaisiinko uudella tietämyksellä tai tekniikalla poistaa tai pienentää olemassa olevia riskejä. (TUKES 2004, s.6)

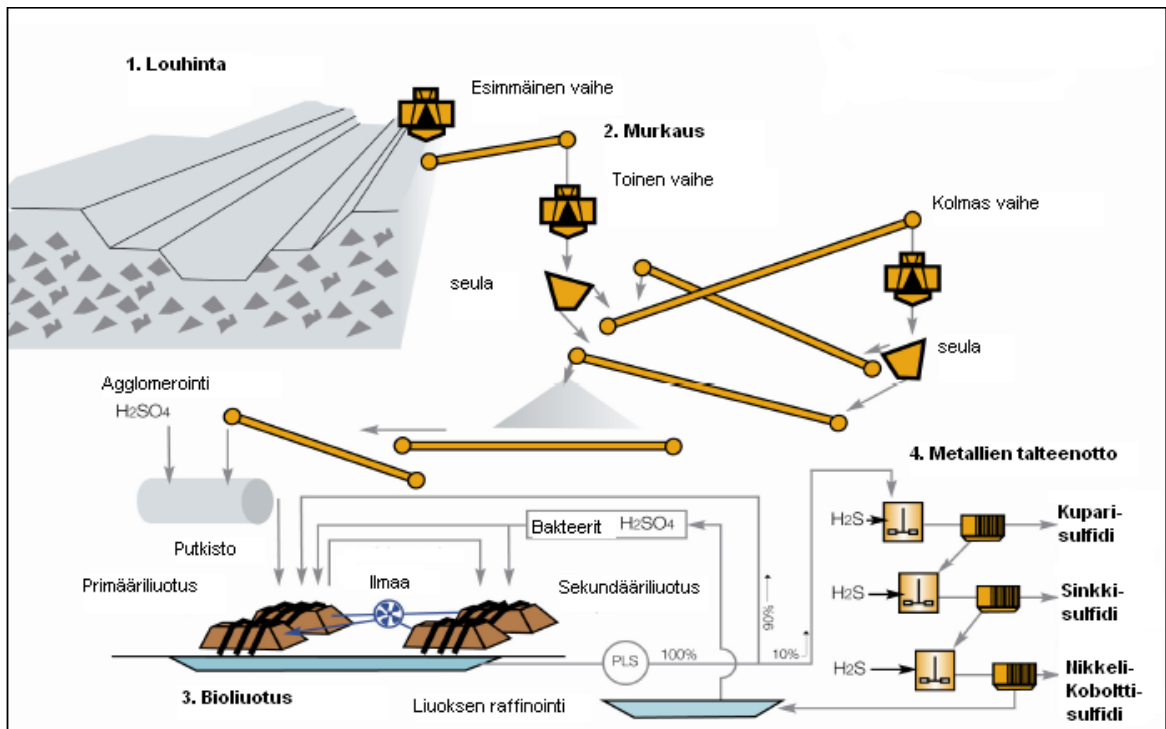
5 TALVIVAARAN NIKKELIN TUOTANTO

Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj tähtää kansainvälisesti merkittäväksi perusmetallien tuottajaksi, joka keskittyy ensisijaisesti nikkelin ja sinkin tuotantoon. Talvivaaran monimetalliesiintymät Kuusilampi ja Kolmisoppi sijaitsevat Sotkamon ja Kajaanin kuntien alueella. Kyseiset esiintymät muodostavat yhden Euroopan suurimmista tunnetuista sulfidisen nikkelin varannoista, jossa on todetuksi ja todennäköiseksi luokiteltuja varantoja yhteensä 336 miljoonaa tonnia. Talvivaaran toiminta on käynnistynyt vuonna 2008 ja malmivarojen on laskettu riittävän 24 vuoden tuotantoon. Kaivoksen suunniteltu nikkelin vuotuinen tuotanto on 33 000 tonnia. Lisäksi kaivoksesta tullaan saamaan laskelmien mukaan vuosittain 60 000 tonnia sinkkiä, 10 000 tonnia kuparia ja 1200 tonnia kobolttia. (Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj, 2008)

Talvivaara toimittaa metallipuolituotteita yhtiöille, jotka jalostavat metalleja. Konsernilla on kymmenvuotinen sopimus Norilsk Nickelin kanssa ja sopimuksen mukaan Talvivaara myy koko nikkeli- ja kobolttituotannon sille markkinahintaan. (Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj, 2008)

5.1 Tuotantoprosessi

Talvivaaran tuotantoprosessissa on neljä päävaihetta, johon kuuluu louhinta, murskaus, biokasaliuotus ja metallien talteenotto. Talvivaarassa louhintamenetelmänä käytetään avolouhosta. Louhoksella kiveä irrotetaan kallioperästä räjäytyksillä ja koneilla.



Kuva 6. Talvivaaran tuotantoprosessi. (Suomennettu lähteestä <http://www.talvivaara.com>)

Talvivaaran tuotannon päävaiheet on esitetty kuvassa kuusi. Louhinnan jälkeen malmi murskataan (kuva 6, kohta 2) kolmessa vaiheessa primääri-, sekundääri-, ja tertiäärimurskauksessa. Tämän jälkeen murske kasataan ja agglomeroidaan rikkihapolla. Agglomeroinnissa pienet malmihiukkaset kiinnittyvät karkeampien pinnalle muodostaen tasakokoisia rakeita. Tasakokoisista rakeista kasatut kasat läpäisevät hyvin vettä ja ilmaa. (Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj 2008)

Agglomeroinnin jälkeen murske kasataan kahdeksan metriä korkeiksi kasoiksi bioliuotusta varten (kuva 6, kohta 3). Kasaamiseen käytetään erityistä kuljetinta. Mursketta liuotetaan bakteerien ja rikkihapon avulla puolentoista vuoden ajan. Tätä liuotus jaksoa kutsutaan primääriliuotukseksi. Bioliuotuskasan alustassa olevien putkien kautta malmikasoihin puhalletaan ilmaa alhaisella paineella. Kasaa kastellaan liuoksella, jota kierrätetään kasan läpi putkiston avulla. Liuos kiertää kasassa kunnes sen metallipitoisuus on riittävän suuri metallien talteenottoa varten. (Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj 2008)

Primääriliuotuksen jälkeen kasa siirretään sekundäärialustalle, missä liuotusta jatketaan. Sekundääriliuotuksen tarkoituksena on saada metallit talteen myös huonosti liuenneista kasan osista. Tällaisia kohtia ovat esimerkiksi kasan kaltevat reunat ja mahdollisesti

saostumat kasan sisällä. Sekundäärrikasa on myös liuotetun malmin loppusijoituspaikka. (Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj 2008)

Liuotuskasalta saatu metalleja sisältävä liuos johdetaan metallien talteenottoon. Kuvassa 6 kohdassa 4 metallien talteenotossa nikkeli, kupari, sinkki ja koboltti saostetaan liuoksesta rikkivedyn avulla ja suodatuksen jälkeen lopputuotteeksi saadaan myytäviä metallisulfideja. Kun arvometallit on erotettu liuoksesta, liuos puhdistetaan ja palautetaan takaisin kasan kasteluun. (Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj, 2008)

5.2 Biokasaliuotus

Biokasaliuotuksessa metallit liuotetaan malmista bakteerien avulla. Kyseisiä bakteereja kasvaa kaikissa sulfidimalmeissa luonnostaan. Bioliuotusteknologiassa useita fysikaalis-kemiallisia ja mikrobiologisia tekijöitä muunnellaan, jotta metallien liuotus prosessi tehostuisi ja bakteerien luonnollista toimintaa saataisiin kiihdytettyä. Talvivaarassa käytettävät rautaa ja rikkiä hapettavat bakteerit kasvavat luonnostaan malmissa ja ne ovat alueen kotoperäisiä mikrobeja. Tämän vuoksi ne ovat soveltuneet hyvin vallitseviin ympäristöolosuhteisiin. (Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj 2008)

Tyypillisesti primääriset ja sekundääriset sulfidit esiintyvät yhdessä rikkikiisun kanssa, joka hapetettuna pystyy vapauttamaan riittävän määrän lämpöä. Sulfidimineraalien biologinen hapetus on energiaa vapauttava eksotermisen reaktio. Prosessia tulee ohjata huolellisesti, jotta metallien tehokas liukeneminen voidaan maksimoida. Lämpötilojen ylläpitäminen vaatii prosessin ajaksi eri mikrobipopulaatioita ja lisäksi mikrobien kasvunopeuden tulee olla optimaalinen. Yksi liuotusnopeuden tärkeimmistä tekijöistä on malmipartikkelien koko. Lisäksi avaintekijöitä ovat pH, lämpötila sekä kastelun ja ilmaston määrä. (Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj 2008)

Biokasaliuotus on kustannuksiltaan edullinen prosessi, joka tarvitsee toimiakseen vain ilmaa, vettä ja mikrobeja. Prosessin investoinnit ja käyttökustannukset ovat pienemmät kuin perinteisellä nikkelin sulatus- ja jalostusprosesseilla. Biokasaliuotus onkin puhtaampi ja ympäristöystävällisempi teknologia. (Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj 2008)

5.3 Metallien talteenotto

Hydrometallurgisessa teollisuudessa metallien poistamiseen ja erotukseen vesiliuoksista voidaan käyttää saostusta ja neste-nesteuuttoa. Saostus soveltuu parhaiten metallien poistamiseen vesiliuoksista ja neste-nesteuutolla saavutetaan hyvä selektiivisyys metallien erotuksessa. (Kokko 1997, s.1)

Talvivaarassa metallien erotukseen käytetään sulfidisaostusta. Sulfidisaostukseen on mahdollista käyttää joko rikkivetyä tai natriumvetysulfidia. Rikkivety on erittäin myrkyllinen, helposti nesteytyvän rikin ja vedyn kaasumainen yhdiste. Natriumvetysulfidi on myös myrkyllinen, mutta käsiteltävyydeltään turvallisempi vaihtoehto kuin rikkivety. (Kokko 1997, s.2)

Talvivaarassa metallien talteenottoreaktoreiden sulfidisaostuksessa käytetään rikkivetyä. Talteenottoprosessi on periaatteeltaan yksinkertainen kemiallinen vesienkäsittelyprosessi, joka sisältää kolme eri saostusvaihetta sekä vesien käsittelyn. Saostettavan liuoksen pH:ta säädetään eri vaiheissa kalkilla, joka on emäs, jolloin kupari, sinkki ja nikkeli-koboltti voidaan saostaa selektiivisesti omiksi tuotteiksi. (Talvivaara projekti Oy ja Expec Oy, 2007)



Metalliliuokselle tapahtuva saostusreaktio on esitetty reaktioyhtälössä 1. Yhtälössä Me^{2+} merkitsee metalli-iona. Saostaminen tapahtuu reaktoreissa, joihin johdetaan metallipitoinen liuos ja rikkivetykaasua. Rikkivetyä johdetaan reaktoriin liuoksen metallipitoisuuden ja liuosmäärän vaatima määrä. Mahdollinen ylijäämä rikkivetykaasu johdetaan hönkäyhteen kautta takaisin reaktoriin. (Talvivaara projekti Oy ja Expec Oy, 2007)

Reaktoreissa saostuneet sulfidit erotetaan sakeuttimissa, suodatetaan ja pestään vedellä. Sakkojen kosteuspitoisuus on noin 40 %. Suodatuksen jälkeen prosessista erotetut metallisulfidit myydään jatkokäsittelijälle. (Talvivaara projekti Oy ja Expec Oy, 2007)

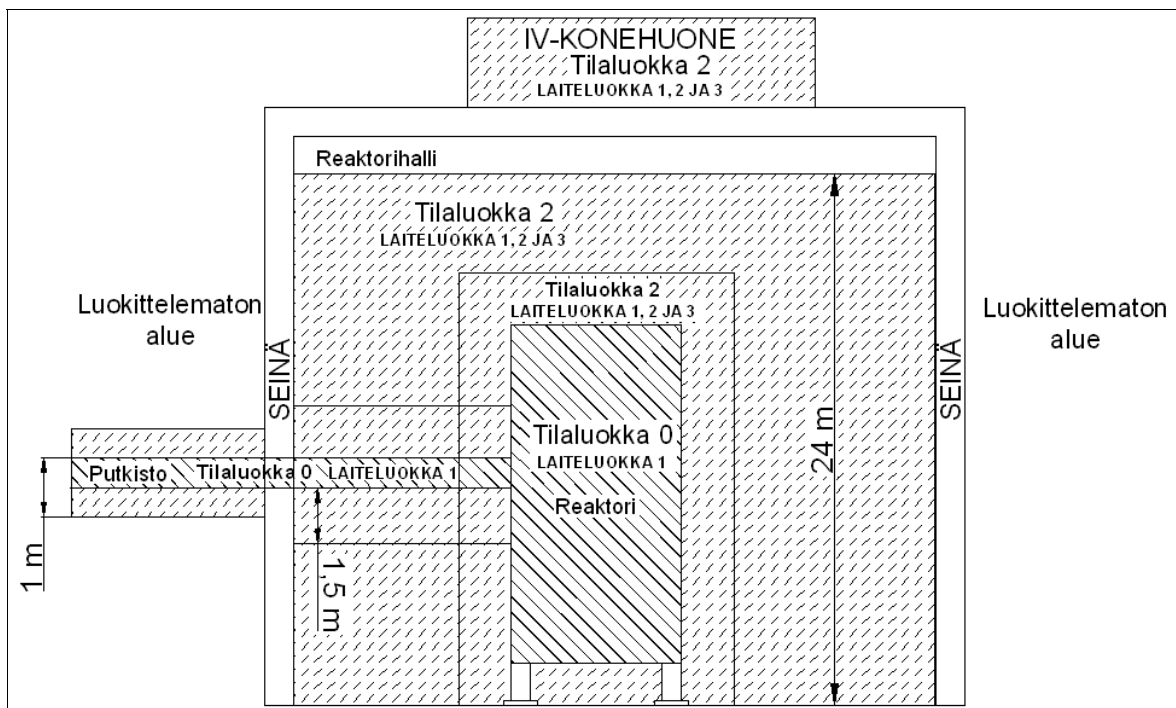
Sulfidisaostuksen tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat lämpötila, liuoskestävyys, pH, H₂S-virtaus, H₂S-kuplan koko, liuoksen sekoitus, kiintoainepitoisuus sekä paine. Eräät metallisulfidit muodostavat rikkivedyn kanssa kompleksisia yhdisteitä, jonka vuoksi metallisulfidien liukoisuus rikkivedyllä kyllästettyyn veteen on suurempi kuin puhtaaseen veteen. Saostumisnopeuteen voidaan vaikuttaa lisäämällä liuokseen katalyyttiä, esim. rauta- tai nikkelpulveria. (Kokko 1997, s.2)

6 REAKTORIRAKENNUKSEN TURVALLISUUS

Talvivaaran metallien talteenottolaitokseen kuuluu reaktorirakennus ja nauhasuodinrakennus. Tämä työ keskittyy reaktorirakennuksen räjähdysturvallisuuteen. Talvivaaran metallien talteenoton reaktorirakennus jakaantuu kolmeen eri osaan, joissa on metallien talteenottoreaktoreita. Reaktoreiden tilavuus vaihtelee välillä 350–625 m³. Reaktoreihin johdetaan rikkivetyä, joka saostaa metallisulfidit. Reaktorit ja putkistot ovat lujitemuovisia ja rikkivety johdetaan reaktoreihin putkistoja pitkin. (Talvivaara projekti Oy ja Expec Oy, 2007)

6.1 Rakennuksen ATEX – luokittelu

Reaktorirakennus on luokiteltu räjähdysvaaralliseksi tilaksi voimassa olevien standardien ja säädösten mukaisesti. Reaktorihallissa sijaitsee monta reaktoria ja paljon erilaisia putkistoja. (Talvivaara projekti Oy ja Expec Oy, 2007)



Kuva 7. Talvivaaran reaktorirakennuksen ATEX -tilaluokittelu. (Talvivaara projekti Oy ja Expec Oy, 2007)

Kuvassa seitsemän on havainnollistettu Ex-luokittelua reaktorirakennuksessa ja sen ulkopuolella. Kuvassa on kuvattu yksi reaktorirakennuksessa oleva reaktori ja siihen johdettu rikkivetyä reaktoriin kuljettava putki. Putki tulee reaktoriin rakennuksen ulkopuolelta ulkoilmassa. Lisäksi kuvaan on merkitty ilmanvaihdon konehuone rakennuksen katolle. Rakennus on tasakattoinen. Kuvaan seitsemän ei ole piirretty reaktorirakennuksessa olevia ilmanvaihtokanavia.

Rakennuksessa sijaitsevien reaktoreiden sisäpuoli kuuluu tilaluokkaan 0, koska reaktoreissa tapahtuvassa prosessissa käytetään rikkivetyä. Tilaluokkaan 0 luokitellaan myös rikkivetyä kuljettavien putkistojen sisäpuolet. Tilaluokassa 0 saa käyttää laiteluokkaan 1 kuuluvia laitteita. Tilaluokkaan 0 ja laiteluokkaan 1 luokiteltu alue on merkitty kuvaan 7 jatkuvalla vinoviivalla.

Reaktoreita ympäröivä alue 1,5 metrin säteellä reaktorista on luokiteltu tilaluokkaan 2. Myös putkistojen liitoskohtia ympäröivä alue 1,5 metrin säteellä on tilaluokkaa 2, koska putket voivat vuotaa liitoskohdista. Rakennuksen ulkopuolella ulkoilmassa kulkevat rikkivetyä sisältävät putkistot on luokiteltu luokkaan 2 liitoskohdista 1 metrin säteellä. Lisäksi katolla sijaitseva IV-konehuone on luokiteltu luokkaan 2, koska rikkivetyä voi johtua konehuoneeseen poistoilmakanavia pitkin. Myös ilmanvaihtoon kuuluvien poistoilmakanavien sisäpuolet on luokiteltu luokkaan 2. Lisäksi konehuoneessa sijaitsevat puhaltimet on luokiteltu laiteluokkaan 2. (Talvivaara projekti Oy ja Expec Oy, 2007)

Lisäksi luokkaan 2 on luokiteltu koko reaktorihallin alaosa lattiasta 24 metrin korkeuteen. Tämä johtuu siitä, että rakennuksessa on monta reaktoria. Kyseinen korkeus on saatu kun on haluttu luokitella 8,5 metriä ylimmästä putkiliitoksesta ylöspäin ja 7 metriä reaktoreista ylöspäin luokkaan 2. (Talvivaara projekti Oy ja Expec Oy, 2007) Tilaluokassa 2 saa käyttää laiteluokkaan 1, 2 ja 3 kuuluvia laitteita. Luokkaan 2 ja laiteluokkaan 1, 2 ja 3 luokiteltu alue on merkitty kuvaan 7 poikittaisella katkoviivalla.

Rakennuksen ulkopuolista alue on luokittelematonta aluetta. Ainut luokiteltu alue ulkoilmassa on aikaisemmin mainitut putkistojen liitoskohdat. Ulkopuolinen alue on voitu jättää luokittelematta, koska siellä ei käsitellä palavia kaasuja tai pölyjä. Silti on

huomattavaa, että ulkoilmassa on paljon happea, joka on paloa edistävä kaasu. (Talvivaara projekti Oy ja Expec Oy, 2007)

6.2 Rikkivedyn käyttö reaktoreissa

Metallien talteenotto toteutetaan rikkivedyllä sulfidisaostuksena reaktorirakennuksessa. Talteenottoprosessi on periaatteiltaan yksinkertainen kemiallinen vesienkäsittelyprosessi, joka sisältää kolme eri saostusvaihetta sekä vesien käsittelyn. Saostettavan liuoksen pH:ta säädetään eri vaiheissa emäksellä, jolloin kupari, sinkki ja nikkeli-koboltti voidaan saostaa selektiivisesti omiksi tuotteiksi. Saostaminen tapahtuu reaktoreissa, joita rakennuksessa tulee olemaan yhteensä 31 kappaletta. Reaktoreissa vallitsee prosessin aikana lievä alipaine. Reaktoreihin johdetaan putkistoja pitkin metallipitoinen liuos sekä rikkivetykaasua. Rikkivedyllä saostaminen tapahtuu 40 asteen lämpötilassa ja reaktioaika on 30...60 minuuttia. Reaktorit ja putkistot ovat lujitemuovisia.

H₂S – kaasu pysyy prosessissa erillään muista kaasuista koska se johdetaan erillistä putkistoa pitkin reaktoreihin. Lisäksi prosessista poistuva ylijäämä H₂S-kaasu johdetaan hönkäyhteen kautta takaisin reaktoriin. H₂S-valmistuksen maksimikapasiteetti on 6000 Nm³/h. (Talvivaara projekti Oy ja Expec Oy, 2007)

6.3 Varotoimenpiteet ja riskien hallinta

Räjähdyksvaaran arviointi on tehty Talvivaarassa valtioneuvoston asetuksen 576/2003 asettamien vaatimusten mukaisesti. Räjähdyksvaaran arvioinnissa on huomioitu, että H₂S - kaasun vuotaminen reaktoreista tai putkistosta on räjähdyksvaaran kannalta vaarallisin tilanne. Putkilinjastossa tapahtuva vuoto johtaa suurimpaan riskiin putkistossa vallitsevan ylipaineen sekä kaasun suuren määrän vuoksi. Putkistoissa vallitsee 6,5 barin ylipaine ja rikkivetykaasun määrä on jopa 6000 Nm³/h. Jos putki rikkoutuu, rikkivetyä pääsee nopeasti leviämään sisäilmaan putkessa vallitsevan ylipaineen vuoksi.

Reaktorisäiliön hajoaminen voi aiheuttaa räjähdysvaaran. Esimerkiksi reaktorirakennuksen hallin sisäinen liikenne ja katon rajassa olevan nosturin käyttö voivat aiheuttaa reaktoreiden rikkoutumisen ja synnyttää räjähdysvaaran. Räjähdysvaaran arvioinnissa on selvitetty pahin mahdollinen tilanne. Räjähdysvaaran kannalta pahimmassa tilanteessa 100 prosentista H₂S -kaasua purkautuu yhteensä 37 m³ ja vuoto kestää 60 sekunnin ajan. Näiden arvojen pohjalta on saatu määritettyä maksimaalinen räjähdyspaine ja reaktorirakennuksen paineenkevennysaukkojen suuruus.

Reaktorirakennuksessa ei katsota esiintyvän räjähdysvaaraa normaalitoiminnan yhteydessä. Normaalitoimintaan lasketaan normaalikäytön lisäksi myös prosessin alas- ja ylösajot, muttei seisokkeja. Riskin arvioinnissa on arvioitu, että onnettomuuden sattuessa ihmishenkiä voidaan menettää pienemmänkin vuodon yhteydessä. Tämä johtuu H₂S-kaasun myrkyllisyydestä ja suuren rikkivety vuodon toteutuessa on todennäköistä että omaisuusvahingot sekä ihmishenkien menetykset nousevat suuriksi. Onnettomuuksien ehkäisemiseksi ja torjumiseksi sovelletaan parasta mahdollista tekniikkaa. Kokonaisuudessaan kartoituksen perusteella reaktorirakennuksen riskitason katsotaan olevan siedettävä. (Talvivaara projekti Oy ja Expec Oy, 2007)

Talvivaarassa yleiset tekniset räjähdysuojaustoimenpiteet on otettu hyvin huomioon. Tuotantotilat on varustettu alkusammuttimilla ja sprinklerijärjestelmillä. Räjähdysvaaralliset aineet on sijoitettu mahdollisimman vaarattomaan paikkaan ja lisäksi H₂S-tiloissa ilmanvaihto on järjestetty koneellisesti. Räjähdysvaaralliseksi luokitellut tuotantotilat on varustettu Ex-tilojen varoitusmerkillä. Työnjohdolle on järjestetty koulutusta ja henkilökuntaa koulutetaan jatkuvasti. Lisäksi henkilökuntaa ja alihankkijoita on ohjeistettu tilojen vaarallisuudesta ja palaviin aineisiin liittyvistä riskeistä.

Koko tehdasta ja sen toimintaa varten on laadittu yhdessä paikallisten paloviranomaisten kanssa pelastussuunnitelma kulkuteineen, yleistietoineen, palavine aineineen, omine sammutusjärjestelmineen ja toimenpiteineen tulipalon sattuessa. Lisäksi tuotantotilat on varustettu mittausantureilla, jotka haistelevat tuotantotilan ilmaa jatkuvatoimisesti.

Reaktorirakennukseen on tehty riskikartoituksen yhteydessä paineentasausaukkojen laskelmat. Laskelmien avulla on todettu, että räjähdysen sattuessa räjähdyspaineen arvo on rakennuksen ulkoseinien paineensietokykyä suurempi. Tämän vuoksi rakennuksen paineenkevennys aukkojen avulla on välttämätöntä. Paineenkevennyslaskelmien lähtökohtana on käytetty pahinta mahdollista tilannetta. (Talvivaara projekti Oy ja Expec Oy, 2007)

7 ILMANVAIHTO REAKTORIRAKENNUKSESSA

Ilmanvaihdon tarkoituksena on poistaa sisäilmasta epäpuhtauksia, kosteutta, liiallista lämpöä sekä samalla huolehtia puhtaan korvausilman saannista. Ilmanvaihdon suuruus määräytyy yleensä sen epäpuhtauden mukaan, jonka pitoisuuden alentamiseen tarvitaan eniten puhdasta ilmaa. (Asumisterveysohje, 2003 s. 25–30)

Talvivaaran metallien talteenottolaitoksella ilmanvaihdon suuruus ja toiminta määräytyy rikkivedyn pitoisuuden mukaan. Ilmanvaihdon avulla reaktorirakennukseen luodaan turvallinen työympäristö. Talvivaaran metallien talteenottolaitoksen reaktorirakennus on jaettu kolmeen osaan. Jokainen osa on varustettu koneellisella ilmanvaihdolla. Diplomityötä tehdessä reaktorirakennuksesta oli toiminnassa yksi osa kolmesta. Kyseisessä tilassa tuotantoon siirryttiin kevään 2009 aikana. Tässä työssä tarkastellaan vain tätä kyseistä toiminnassa olevaa tilaa, vaikka ilmanvaihto oli valmiina jo koko rakennuksen osalta.

Reaktorirakennus on kaksikerroksinen, jonka kerrokset jakaa ritilätaso. Ritilätaso, eli rakennuksen toinen kerros, on 12 metrin korkeudessa lattiatasosta. Rakennuksessa kulkee siltanosturi katonrajassa ja sisätilan toisessa laidassa on nostoaukko nosturia varten. Tarkempi kuva reaktorirakennuksesta on esitetty liitteessä 1. Rakennuksessa sijaitsevien reaktoreiden prosessilämpötila on 40 °C.

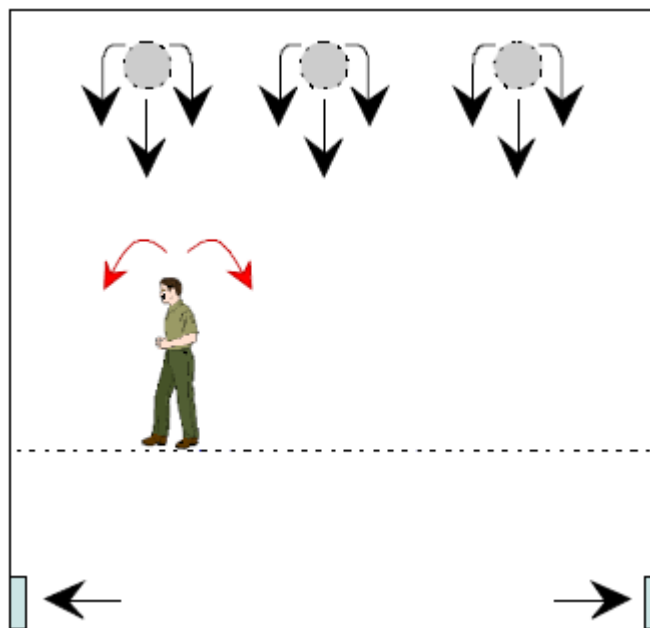
7.1 Vaatimukset reaktorirakennuksen ilmanvaihdolle

Reaktorirakennuksen ilmanvaihdon ensisijaisena vaatimuksena on ylläpitää sopivaa lämpötilaa ja poistaa tilassa mahdollisesti oleva rikkivety. Reaktorirakennuksessa on koneellinen ilmanvaihto, joka on mitoitettu kuusinkertaiseksi rakennuksen tilavuuteen nähden. Toisin sanoen ilma vaihtuu metallien talteenottolaitoksessa kuusi kertaa tunnin aikana puhaltimien toimiessa täydellä teholla. Ilmanvaihto on toteutettu niin että ilmaa poistetaan rakennuksen alaosasta ja tuloilma puhalletaan sisätilaan rakennuksen katonrajasta. Ilmanvaihtoa ohjataan kaasun pitoisuusmittareiden avulla ja ilmanvaihto

nostetaan kuusinkertaiseksi tilavuuteen nähden, jos sallittu rikkivedyn pitoisuusraja ylittyy. Ilmanvaihdon tulee reagoida nopeasti, jos rikkivetyä esiintyy sisäilmassa ja vuoto on mahdollinen. (Talvivaara projekti Oy ja Expec Oy, 2007)

7.2 Ilmanvaihdon toiminta ja suorituskyky

Talvivaaran ilmanvaihto on toteutettu mäntä- ja kerrostumaperiaatteita soveltaen koneellista ilmanvaihtoa käyttäen. Ilmanvaihdon tavoitteena on poistaa nopeasti rikkivety sisätiloista ja toisaalta laimentaa mahdolliset pienet pitoisuudet. Ilmanvaihto tavoittelee mäntäperiaatteelle tyypillistä lämpötila- ja epäpuhtausjakaumaa, mutta tilassa olevat ilmamäärät ovat huomattavasti pienemmät kuin mäntäperiaatteen toteutumiseksi vaadittaisiin. Reaktorirakennuksen prosessitilasta poistuva ilmavirta korvataan tuloilmalla ja poistoilma-aukot on sijoitettu virtauksen alapuolelle, joka vähentää takaisinvirtauksen muodostumista huoneen eri osien välille. Tilan epäpuhtauslähteet eli rikkivety ja muut prosessikaasut sijaitsevat lämmönlähteiden yhteydessä eli reaktoreissa. Tämä aiheuttaa tilaan osittaisen epäpuhtauksien kerrostumisen eli termisen kerrostuman. Toisin sanoen epäpuhtaudet virtaavat ylhäältä alas poistoilmakanaville. (TAKE 2000, s.42)



Kuva 8. Talvivaaran ilmanvaihdon toimintaperiaate (Muunneltu lähteestä TAKE 2000, s.43).

Kuvassa kahdeksan on esitetty Talvivaaran ilmanvaihdon toimintaperiaate. Reaktorirakennuksen alaosan ilmanvaihdon tulisi poistaa koko rakennuksen poistoilmasta noin 65 prosenttia. Loput poistettavasta ilmasta, noin 35 prosenttia, on suunniteltu poistuvan katonrajan poistoilmasäleiköistä. Näin ollen lattiatason poistoilmakanavat poistavat suurimman osan tilan ilmasta. Kaikki tuloilmakanavat sijaitsevat rakennuksen yläosassa. Ilmanvaihto ei toimi jatkuvasti täydellä teholla, vaan se säädetään sopivalle tasolle taajuusmuuntajien avulla. Ilmanvaihto säädetään täydelle teholle vain rikkivetyvuodon tapahtuessa.

Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän toiminta pystytään tarkastamaan esimerkiksi merkkisavuilla. Merkkisavuilla saadaan selville ilmavirtojen suunta. (Asumisterveysohje, 2003 s. 25–30) Mahdollisesti muita tarvittavia mittauksia ovat ilmavirtojen mittaaminen ja painesuhdemittaukset. Tilan ilmanvaihto määritetään mittaamalla poistoilmavirrat standardin SFS 5512 mukaisilla menetelmillä ja jakamalla tuloksena saatu ilmavirta sisätilojen tilavuudella. Tilan ilmanvaihdon mittaukset tulisi tehdä tavanomaista käyttöä vastaavissa sää- ja käyttöolosuhteissa. Lisäksi tilan ilmanvaihdon ja lämmityksen tulee olla tavanomaisessa tilassa mittauksen aikana. (Asumisterveysohje, 2003 s. 25–30)

Talvivaaran reaktorirakennuksen ilmanvaihdon tehokkuutta ja suorituskykyä mitattiin joulukuussa 2008. Mittaukset tehtiin, kun ilmanvaihtojärjestelmät saatiin rakennettua ja käynnistettyä. Mittauksien aikana reaktorirakennuksen reaktorit olivat vielä rakennusvaiheessa, eikä tuotanto ollut vielä käynnissä.

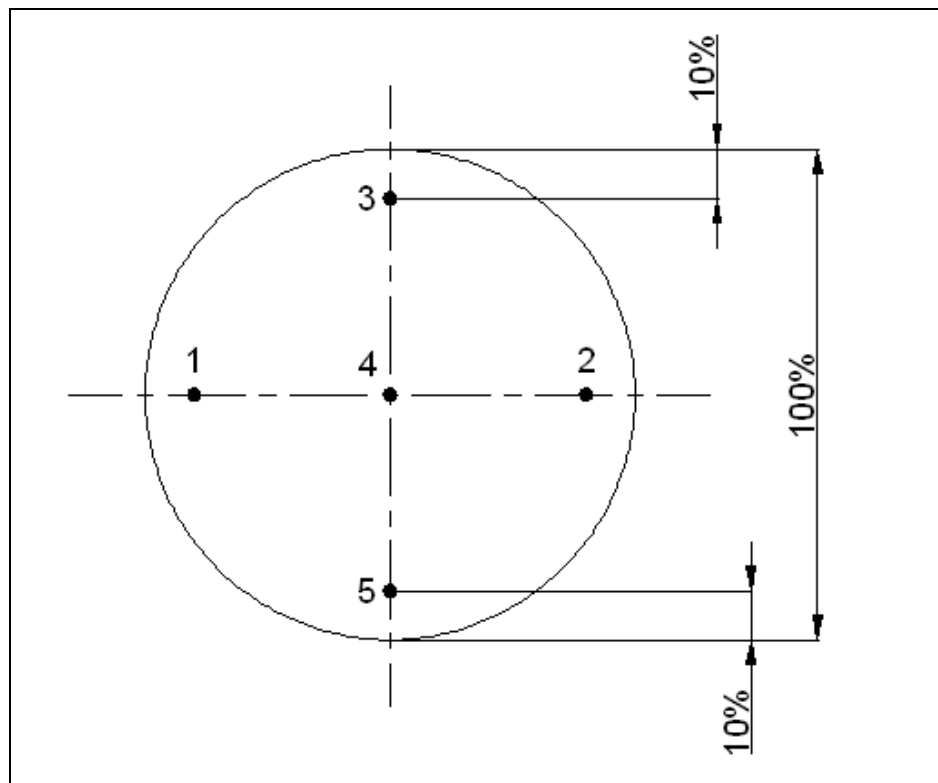
Ilmanvaihdon suorituskykyä mitattiin monella eri tapaa. Ilmavirtoja ja dynaamista painetta mitattiin reaktorirakennuksen kanavista, konehuoneen puhaltimien imuaukoista sekä kierto- ja poistoilmasäleiköistä. Mittaukset on mahdollista suorittaa joko pitot -putkella tai kuumalangalla. Reaktorirakennuksen kyseisessä osassa mittaukset suoritettiin kuumalangalla. Mittausten luotettavuutta tarkastettiin pitot -mittauksella. Johtopäätöksenä todettiin että sekä kuumalangalla että pitot -mittauksella tehdyt mittaukset ovat luotettavia.

Tarkasteltavan tilan ilmanvaihtoa hoitaa kaksi poistoilmapuhallinta ja kaksi tuloilmapuhallinta. Mittaushetkellä poistoilmapuhaltimet kävivät 80 prosentin teholla ja

tuloilmapuhaltimet 90 prosentin teholla. Puhaltimet sijaitsevat konehuoneessa reaktorirakennuksen katolla. Seuraavissa kappaleissa on esitetty poisto-, tulo-, ja kiertoilman toimintaa. Lisäksi kappaleissa on kuvailtu ilmanvaihdolle tehdyt suorituskyvyn mittaukset.

7.2.1 Poistoilma

Tarkasteltavan reaktorirakennuksen sisätiloissa on 16 poistoilmakanavaa, jotka imevät ilmaa rakennuksen lattianrajasta sekä rakennuksen poistoilmakaivoista. Kanavat ovat halkaisijaltaan 630 millimetriä. Lisäksi tilan yläosassa on kaksi poistoilmasäleikköä. Rakennuksen katolla ilmanvaihdon konehuoneessa on kaksi samankokoista poistoilmapuhallinta, joita säädetään taajuusmuuntajien avulla.



Kuva 9. Mittauspisteiden sijainti pyöreässä kanavassa (SFS 103, SFS 5511 s. 10).

Kuvassa yhdeksän on esitetty mittauspisteiden sijainnit kanavassa. Kanavien ilmamääriä mitattiin kuumalangalla. Mittauksia varten ilmanvaihtokanavaan porataan kaksi reikää kotisuorassa toisiinsa nähden. Toisesta reiästä mitataan mittauspisteet 1 ja 2 ja toisesta

reiästä mitataan mittauspisteet 3, 4 ja 5. Mittauspisteet 1, 2, 3 ja 5 sijaitsevat kanavan reunoilla 10 prosenttia kanavanhalkaisijan verran kanavan ulkokehästä keskelle. Mittauspiste 4 mitataan kanavan keskikohdasta. (SFS 103, SFS 5511 s. 10)

Jokaisesta poistoilmakanavasta mitattiin ilman virtausnopeus (m/s) kuumalangalla viidestä pisteestä. Saaduista mittaustuloksista laskettiin keskiarvo. Keskiarvona saatu ilman virtausnopeus muutettiin kanavan pinta-alan avulla tilavuusvirraksi. Jokaiselle poistoilmakanavalle tehtiin kyseinen mittaus ja tulokseksi saatiin kanavassa kulkevan ilman tilavuusvirta. Tilavuusvirtojen summan avulla saatiin selville kuinka paljon lattianrajasta poistetaan ilmaa.

Ilmaa poistetaan rakennuksesta myös hallin katonrajasta kahdella poistoilmasäleiköllä. Poistoilmasäleiköt ovat kantikkaita, joista lähtee pyöreä kanava rakennuksen sisätiloihin. Kanavan halkaisija on 1 metri. Poistoilmasäleiköstä mitattiin ilmannopeutta viidestä pisteestä. Mittauspisteet valittiin kuvan yhdeksän osoittamalla tavalla. Mittaustulosten keskiarvon ja poistoilmasäleikön pinta-alan avulla tulos saatiin ilman tilavuusvirtana. Ilman tilavuusvirta mitattiin ja määritettiin kummallekin poistoilmasäleikölle. Poistoilmasäleikköjen läpi kulkeutuva ilmamäärä riippui säleikön asennosta.

Poistoilmasäleiköstä ja poistoilmakanavista saadut ilman tilavuusvirrat laskettiin yhteen. Summaa verrattiin puhaltimien maksimaaliseen teoreettiseen suorituskykyyn. Mittausten perusteella puhaltimien suorituskyvyn todettiin olevan riittävä.

Kanavamittausten lisäksi poistopuhaltimen suorituskykyä arvioitiin puhaltimen imuaukon ilmannopeus mittauksilla. Mittaukset tehtiin kummallekin konehuoneessa sijaitsevalle poistoilmapuhaltimelle. Poistoilmapuhaltimien imuaukot olivat kooltaan 1600 millimetriä. Puhaltimen imuaukosta mitattiin kuumalangalla ilman virtausnopeutta kuudestatoista eri pisteestä. Mittausten perusteella puhaltimien suorituskyky todettiin riittäväksi.

7.2.2 Tulo- ja kiertoilma

Reaktorirakennuksen tuloilma puhaltaa raitista ilmaa sisätiloihin rakennuksen katonrajasta. Mittausten kannalta tuloilmakanavat ovat hankalassa paikassa, eikä tuloilmaa päästy mittaamaan muualta kuin tuloilmapuhaltimien imuaukoilta. Rakennuksen tuloilmanvaihtoa hoitaa kaksi samankokoista tuloilmapuhallinta, jotka sijaitsevat katolla ilmanvaihdon konehuoneessa. Puhaltimia säädetään taajuusmuuntajien avulla.

Tulopuhaltimen suorituskykyä arvioitiin samalla tavalla kuin poistoilmapuhaltimien suorituskykyä eli mittaamalla puhaltimien imuaukkojen ilmannopeutta. Mittaukset tehtiin kummallekin konehuoneessa sijaitsevalle tuloilmapuhaltimelle. Puhaltimien imuaukot olivat kooltaan 1600 millimetriä. Puhaltimen imuaukosta mitattiin kuumalangalla ilman virtausnopeutta kuudestatoista eri pisteestä. Mittausten perusteella tuloilmapuhaltimien suorituskyky todettiin riittäväksi.

Talvivaaran reaktorirakennuksen ilmanvaihdossa ei ole lämmöntalteenottojärjestelmää. Lämmöntalteenotto on korvattu osittain rakennuksen katossa olevilla kiertoilmasäleiköillä, jotka kierrättävät reaktorirakennuksen sisäilmaa. Ilma kiertää reaktorihallin yläosasta kiertoilmasäleikön kautta suodatinseinälle ja sekoittuu raittiiseen tuloilmaan. Suodattimen läpi kuljettuaan kiertoilma kulkeutuu tuloilmapuhaltimelle, joka puhaltaa kiertoilman takaisin rakennuksen sisätiloihin. Kiertoilmasäleikköjä on kolme ja ne sijaitsevat konehuoneen lattiassa tuloilmakammiossa. Kiertoilman määrää pystytään säätämään säleikköjen asentoa muuttamalla.

7.2.3 Reaktorirakennuksen olosuhteiden mittaukset

Reaktorirakennuksen olosuhteita mitataan, jotta ilmanvaihdon toimintaa päästään tarkastelemaan käytännössä ja reaktorirakennuksen työturvallisuudesta saataisiin luotettavaa tietoa. Reaktorirakennuksesta mitataan rikkivedyn pitoisuuksia, lämpötilaa, sekä tarkastellaan ilman virtauksia savukokeiden avulla. Mittauksia tehdään ensimmäisessä ja toisessa kerroksessa sekä katolla sijaitsevassa konehuoneessa. Mittausten lisäksi

olosuhteiden määrittämiseen käytetään Talvivaaran omien rakennuksessa sijaitsevien anturien mittaamia tietoja mittauspäivän ajalta.

Rikkivedyn pitoisuuksia mitataan 16 pisteestä reaktorirakennuksen sekä ensimmäisestä että toisesta kerroksesta. Pitoisuudet mitataan hengitysilman korkeudelta erillistä mittaustukea käyttäen. Lisäksi rikkivedyn pitoisuuksia mitataan ensimmäisen kerroksen poistoilmakanavien ja poistoilmakaivojen läheisyydestä. Lisäksi rikkivetyä mitataan suurten putkiliitosten kohdalta, mahdollisten vuotojen selvittämiseksi. Rikkivetymittarissa on myös lämpötilan mittausanturi, joten kyseisillä rikkivedyn pitoisuusmittauksilla saadaan myös rakennuksen lämpötilat mitattua kattavasti.

Lämpötilamittauksia tehdään myös reaktoreiden läheisyydessä. Jokaisen reaktorin kyljestä mitataan lämpötila kahdesta pisteestä sekä ensimmäisessä että toisessa kerroksessa. Tällä selvitetään säteilevätkö reaktorit prosessilämpöä reaktoritilaan. Lisäksi lämpötilaa mitataan toisesta kerroksesta mahdollisimman korkealta reaktoreiden yläpuolelta. Näin ollen saadaan määritettyä reaktoreiden mahdollisesti luovuttama lämpö. Lämpötilamittauksia tehdään myös rakennuksen katolla sijaitsevassa konehuoneessa sekä tulo- että poistoilmapuhaltimien puolella. Mahdollisuuksien mukaan reaktorirakennukseen jätetään jatkuvatoimisia mittareita pidemmäksi ajaksi, jotka mittaavat rakennuksen ilman lämpötilaa sekä suhteellista kosteutta. Jatkuvatoimisilla mittauksilla saadaan selville prosessivaiheiden vaikutus sisäilman olosuhteisiin.

Reaktorihallin sisätilojen ilmanvirtauksia selvitetään merkkisavujen avulla. Merkkisavuilla tutkitaan imevätkö poistoilmakanavat riittävästi ilmaa lattiatasolta ja mihin suuntaan ilma liikkuu. Merkkisavuilla selvitetään myös, mihin suuntaa ilma ja mahdolliset epäpuhtaudet liikkuvat hengitysalueella ensimmäisessä ja toisessa kerroksessa. Lisäksi toisen kerroksen mittauksilla selvitetään, puhaltavatko tuloilmakanavat tarpeeksi ilmaa ylhäältä alaspäin. Mittauksilla määritetään myös rakennuksen sivulla sijaitsevan nostoaukon vaikutus ilman virtauksiin.

8 TULOSTEN ANALYSOINTI

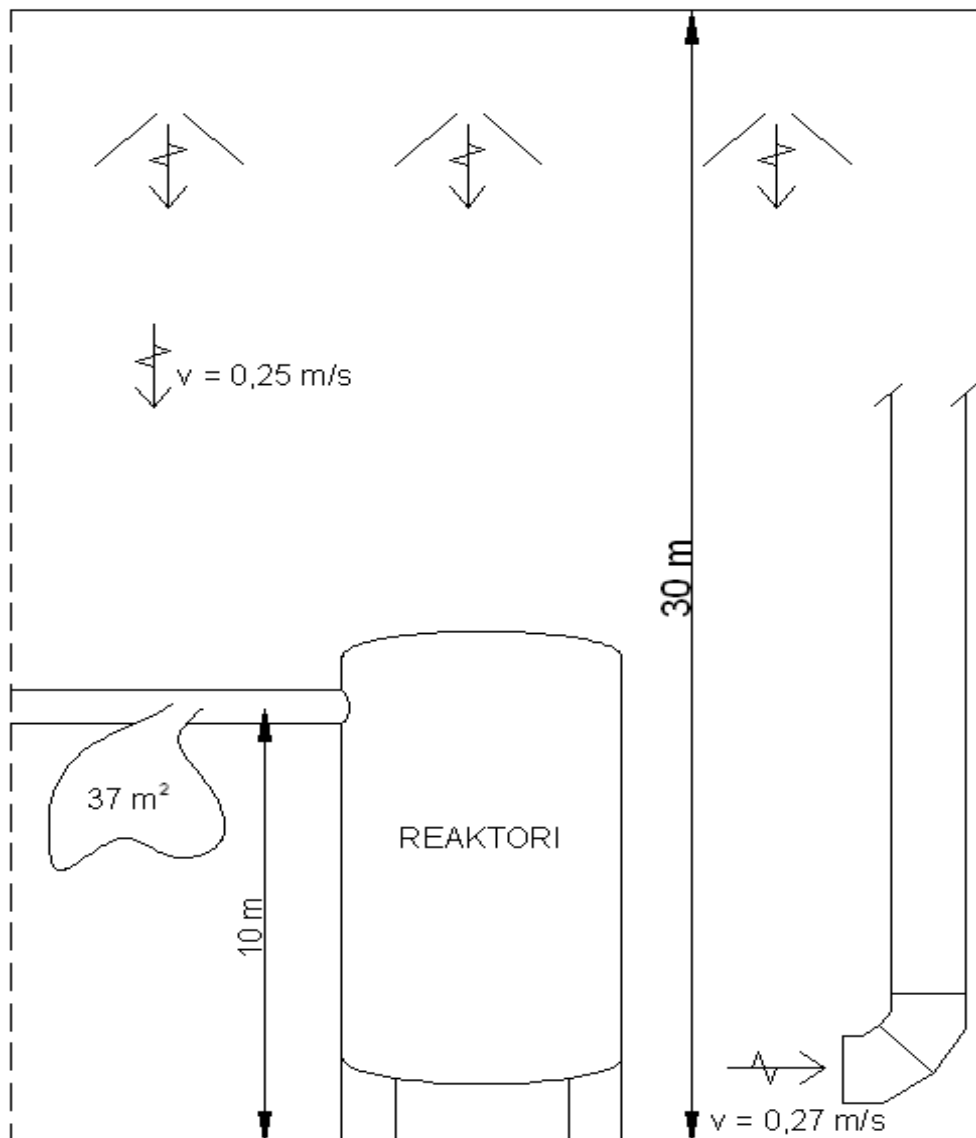
Diplomityötä tehdessä reaktorirakennuksen käynnistäminen myöhästyi, eikä reaktorirakennuksen olosuhteita päästy mittaamaan. Näin ollen reaktorihallin ilmanvaihdon toimintaa ja tilan työturvallisuutta tarkasteltiin teoreettisesti laskelmien avulla. Lähtökohdaksi otettiin kolme erilaista teoreettista tapausta, joissa reaktorirakennuksen sisätilaan vuoti rikkivetyä. Laskelmat on esitetty liitteessä 2, 3 ja 4. Laskelmissa reaktorirakennuksen sisäilman lämpötilaksi on oletettu 20 °C ja tilassa oletetaan vallitsevan normaali ilmanpaine.

8.1 Teoreettiset laskelmat

Ensimmäiseksi lähtökohdaksi laskelmissa otettiin ihmisen terveydelle vaarallinen rikkivedyn pitoisuus 15 ppm. HTP -arvo 15 ppm on rikkivedyn pienin pitoisuus, joka saa esiintyä työntekijöiden hengitysilmassa 15 minuutin ajan. 15 ppm:n pitoisuudelle lasketut laskelmat on esitetty liitteessä 2. Tämä ohjeellinen raja-arvo pätee, kun ihminen oleskelee reaktorirakennuksessa vain hetkellisesti, ei kokopäiväisesti. Laskelmien mukaan 15 ppm:n vuoto tarkoittaa käytännössä, että vuodon välittömässä läheisyydessä olisi 22,82 milligrammaa rikkivetyä kuutiometrissä ilmaa. Vuoto ei aiheuta välitöntä räjähdysvaaraa, koska kyseisen vuodon sattuessa rikkivedyn tilavuusprosentti kuutiosta ilmaa on reilusti alle 0,5 prosentin luokkaa. Rikkivedyn alempi räjähdysraja on 4,3 tilavuusprosenttia.

Toiseksi teoreettiseksi lähtökohdaksi otettiin Talvivaaran riskin arvioinnissa määritetty pahin mahdollinen tilanne. Teoreettista tilannetta on havainnollistettu laskujen avulla liitteessä 3. Laskelmilla haluttiin selvittää millaisen vaaran pahin mahdollinen tilanne aiheuttaisi reaktorirakennuksessa. Riskinarvioinnissa määritetty tilanne tapahtuu esimerkiksi suuren putkirikon yhteydessä. Tilaan pääsee rikkivetyä 37 kuutiota ja vuoto kestää 60 sekuntia, ennen kuin prosessinhallintalaitteet ehtivät sulkemaan putkistojen virtaukset. Laskelmassa on oletettu putkirikon tapahtuvan 10 metrin korkeudessa eikä kaasu leviä vuotokohdasta juuri ylöspäin. Näin ollen kaasu purkautuu lattiaa kohden. Räjähdysten syntyminen ja toteutuminen olisi erittäin todennäköistä.

Teoreettisessa pahimmassa mahdollisessa tilanteesta on reaktorirakennuksesta otettu lähempää tarkasteluun tila joka on 6 metriä leveä ja 8 metriä pitkä ja 30 metriä korkea. Tämän alueen kokonaistilavuus on 815 kuutiometriä. Laskelmassa on oletettu että purkautuva kaasu kerääntyy vain toiselle puolelle reaktorihallia, koska ilmanvaihto liikuttaa sisäilmaa vuodon läheisyydestä kohti seinustalla olevia poistoilmakanavia. Tarkasteltavalla alueella sijaitsee yksi reaktori. Alueella on kuusi tuloilmakanavaa katossa sekä neljä poistoilmakanavaa lattianrajassa. Alueella ei ole poistoilmakaivoja. Laskelmien mukaan tuloilma synnyttää tilaan ilmanvirtauksen alaspäin, joka on nopeudeltaan 0,25 m/s. Poistoilman virtausnopeus lattialla on 0,27 m/s. Näin ollen poistoilman määrä on tarkasteltavalla alueella vain hivenen enemmän kuin tuloilman määrä.



Kuva 10. Esimerkki pahimmasta mahdollisesta tilanteesta reaktorirakennuksessa.

Kuvassa 10 on esitetty reaktorirakennuksessa tapahtuva vuoto ja laskelmassa oletetut lähtöarvot. Vuodon nopeuden ja ilmanvirtausnopeuden perusteella saatiin selville, että rikkivetyä ehtii vuotamaan tilaan 40 sekuntia ennen kuin vuoto on kulkeutunut niin lähelle poistoilmakanavia, että rikkivetyä alkaa poistua sisäilmasta. 40 sekunnin aikana vuotanut rikkivety on kokonaistilavuudeltaan noin 25 kuutiometriä eli kyseisellä alueella 3 tilavuusprosenttia sisäilman tilavuudesta ja vain hieman alle alemman räjähdysrajan. Todellisuudessa alempi räjähdysraja luultavammin ylittyisi, koska raskaana kaasuna rikkivety painuu alaspäin, eikä leviä tarkasteltavan tilan yläosaan laisinkaan.

Jos tuloilma toimisi vain 50 prosentin teholla, olisi räjähdysten syntyminen erittäin todennäköistä. H_2S -vuoto ehtisi olemaan tilassa yli minuutin ennen kuin poistoilmakanavat imisivät rikkivetyä pois tilasta. Rikkivetyä olisi kyseisellä alueella 6 tilavuus prosenttia tarkasteltavan alueen kokonaistilavuudesta eli ylittäisi rikkivedyn alemman räjähdysrajan. Tulo- ja poistopuhaltimien toimiessa täydellä teholla, suurin osa rikkivedystä poistuu alle 10 sekunnissa. Tosin rikkivetyä olisi silloin vielä tilan ilmassa, koska vuoto olisi loppuillaan ja osa rikkivedystä vasta virtaamassa alas lattiaa kohti.

Kolmannessa laskennallisessa esimerkissä reaktorirakennuksessa sattuu vuoto joka on suuruudeltaan 100 ppm sekunnissa ja vuoto kestää puoli minuuttia. Laskut on esitetty liitteessä 4. Vuoto tapahtuu samansuuruisella alueella kuin esimerkki kaksi. Reaktorirakennuksen ilmanvaihto on säädetty niin että puhaltimet käyvät 50 prosentin teholla. Kyseisellä teholla tuloilman virtausnopeus on 0,125 m/s ja poistoilman 0,133 m/s. Vuodon kestäessä 30 sekuntia tilaan ehtii kertyä 3000 ppm pitoisuus rikkivetyä. Vuoto tapahtuu 10 metrin korkeudessa, joten vuoto ehditään pysäyttämään ennen kuin poistoilman vaikutus rikkivetypitoisuuteen alkaa. Ilmanvaihdon matalammasta tehosta johtuen kestää jopa 80 sekuntia ennen kuin H_2S -vuoto on kulkeutunut alas.

3000 ppm pitoisuus tarkoittaa käytännössä, että rikkivetyä on kuutiossa ilmaa 4,56 grammaa ja tilavuudeltaan se on 3,22 kuutiodesimetriä. Pienen tilavuuden ansiosta koko vuodon ajautuminen samalle kuutiometrillä alueelle ilmaa ei aiheuta räjähdysvaaraa. Vuoto on 0,32 tilavuusprosenttia yhdessä kuutiometrissä ilmaa. Ihmiselle 3000 ppm:n pitoisuus on hengenvaarallinen.

8.2 Johtopäätökset

Tarkastelluissa tapauksissa rikkivedyn ominaisuuksia vuodon hetkellä ei tarkkaan tiedetä, joten kaasun todellinen tilavuus voi olla laskenta-arvosta poikkeava. Laskuissa rakennuksen olosuhteiksi on oletettu 20 °C lämpötila ja normaali ilmanpaine. Myöskään rikkivedyn käyttäytymistä todellisessa tilanteessa ei tiedetä. Lisäksi laskelmassa ei ole otettu huomioon viivettä, kuinka kauan kestää, että ilmanvaihtopuhaltimet saavuttavat täyden tehonsa ja muuttavat ilmanvaihdon kuusinkertaiseksi. Lisäksi laskennassa on oletettu, että ilmanvaihto toimii suunnitellusti, eikä rakennuksen sisäilmaan jää alueita, joihin rikkivety voisi jäädä tai kertyä. Laskennallisesti määritetty sisäilman virtausnopeus on erittäin teoreettinen, koska tulo- ja poistoilman yhteistoiminnan synnyttämää sisäilman virtaamaa on hankala määrittää.

Pienten pitoisuuksien tarkastelu tilassa teoreettisilla laskelmilla on hankalaa, koska pienet pitoisuudet laimenevat nopeasti reaktorihallin sisäilmaan. Pienen vuodon ajautuminen kokonaisuudessaan laimentumattomana samalle alueelle on erittäin epätodennäköistä. Rikkivedyn pitoisuuksia voidaan tarkkailla joko räjähdysvaaran kannalta tai ihmisen terveyden kannalta. 15 ppm:n pitoisuus rikkivetyä ei aiheuta räjähdysvaaraa, kun ilmanvaihto toimii tehokkaasti ja aiheuttaa sisäilman sekoittumisen. Joka tapauksessa reaktorirakennuksen työntekijöille saattaa aiheutua hengenahdistusta, jos he oleilevat välittömässä vuodon läheisyydessä. Työntekijät eivät haistaisi rikkivetyä, koska 15 ppm:n pitoisuus on jo yli hajukynnyksen. Tämän vuoksi henkilökohtaisten kaasunilmaisimien käyttö reaktorirakennuksessa on erittäin tärkeää.

Räjähdyttä ei pääse syntymään, jos 15 ppm suuruisen vuodon välittömässä läheisyydessä ei ole syttymislähdettä. Räjähdyksen syntyminen olisi pienen vuodon sattuessa teoreettisesti mahdollista, jos ilmanvaihto olisi pois päältä ja ilman ns. seisoi paikallaan. Tällöin rikkivety painuisi alas lattialle ja lattian pitoisuudet nousisivat huomattavan korkeiksi. Tämä tilanne tarkoittaisi käytännössä sitä, että rakennus olisi vuodon sattuessa täysin valvoton eikä vuotoa havaittaisi.

3000 ppm rikkivetypitoisuus on ihmiselle hengenvaarallinen sekä altistumisen ja räjähdysvaaran kannalta. Tutkimusten mukaan alle tunnin altistuminen 500 ppm pitoisuudelle aiheuttaa tajunnan menetyksen. Näin suurilla pitoisuuksilla reaktorirakennuksessa pitäisi käyttää paineilmalla varustettua hengityslaitetta.

Ilmanvaihdoollisesti heikoin kohta on rakennuksen keskellä, jossa ilmanvaihtoa hoitaa vain kaksi poistoilmakaivoa. Poistoilmakaivojen poistoilmamäärä on pienempi kuin rakennuksen sivuilla olevien poistokanavien. Tämän vuoksi jatkuvatoimisten rikkivetyantureiden sijoittaminen eripuolille lattiatasoa on erittäin tärkeää. Poistokaivojen ilmanvaihto on teoreettisesti riittävä, koska kaasun ajatellaan painuvan alas ja leviävän rakennuksen sivuille suurempien poistoilmakanavien johdosta.

Rikkivetyvuodon kulkeutumista on vaikeaa määrittää teoreettisesti. Koska rikkivety on raskas kaasu, se laskeutuu nopeasti alas ja sekoittuu jatkuvasti ympärillä olevaan ilmaan sekä kaivoihin. Rikkivety saattaa jäädä myös kanaviin ja kuiluihin. Lisäksi rikkivety voi kulkeutua pitkiä matkoja ennen syttymistä. Pienetkin ilman liikkeet kuten veto ja terminen virtaus vaikuttavat kaasun kulkeutumiseen ja sekoittumista ilmaan.

Rikkivedyn kasautuminen reaktorirakennuksen ilmanvaihtokanavien vaakasuorille osille, esimerkiksi seisokin aikana, on mahdotonta. Rakennuksen seinillä olevat poistoilmakanavat ovat pystysuoria aina rakennuksen katonrajaan asti, jossa kanavat kaartuvat tasakaton mukaisesti sivulle vaakasuoraan ennen konehuonetta. Vaakasuorat kanavat ovat lähellä konehuonetta ja puhaltimia ja rikkivedyn ominaisuuksista johtuen kaasu painuu alas. Tosin sanoen rikkivetykaasulla ei ole mahdollisuutta kerääntyä katonrajan vaakakanaviin.

Ainoa teoreettisesti mahdollinen kaasu kerääntyminen voisi tapahtua rakennuksen keskellä olevien poistoilmakaivojen kanavien vaakasuorille osille. Poistokaivojen kanavien vaakasuorat osat sijaitsevat noin 12 metrin korkeudella ritilätason alapuolella. Kaasun kerääntyminen olisi mahdollista vain poikkeustilanteessa, jossa rikkivetyä joutuisi poistoilmakaivon poistoilmakanavaan, ilmanvaihtokone sammuisi ja kaasu jäisi kanavaan. Kanavaan jäänyt kaasu aiheuttaisi räjähdysvaaran ilmanvaihdon konehuoneessa.

Poistoilmapuhaltimien käynnistyessä kanavassa oleva kaasu lähtisi liikkeelle ja kulkeutuisi konehuoneeseen ja poistoilmapuhaltimiin. Tämän vuoksi on erityisen tärkeää, että myös konehuoneessa olevat laitteet ovat ATEX -määräyksien mukaisia.

Ilmanvaihdon puhaltimet ovat määritelty ATEX -laiteluokkaa 2. Konehuone on määritelty tilaluokaksi 2, joten laiteluokka 3 olisi määräyksien mukaan ollut puhaltimille riittävä. Tilaluokan kaksi mukaan tilassa rikkivedyn esiintyminen normaalitoiminnassa on epätodennäköistä ja kestää esiintyessään vain lyhyen ajan. Ilmanvaihdon kannalta on kuitenkin haluttu olla tarkempia ja konehuoneessa on noudatettu puhaltimien osalta korkeaa turvallisuustasoa. Tämä on tosin nostanut puhaltimien kustannuksia. Konehuoneen laitteiden suunnittelussa on voitu ottaa huomioon kaasun kerääntyminen kanaviin ja sen kulkeutuminen puhaltimille.

Ilmanvaihdon tehostaminen 100 prosentin teholle rikkivety pitoisuuden esiintyessä on järkevää. Ilmanvaihdon hetkellinen tehostaminen aiheuttaa sisäilmavirtausten nopeutumisen ja sekoittumisen, sekä mahdollistaa pitoisuuksien ja epäpuhtauksien nopean laimenemisen. Toisaalta ilmanvaihdon säätäminen tarvittavalle tasolle olisi prosessin normaalitilanteessa järkevää ja energiaa kuluisi vähemmän. Erityisen tärkeää on se että ilmanvaihto pystytään nopeasti ajamaan täydelle teholle todellisen vuodon tapahtuessa.

Ilmanvaihto olisi osittain tehokkaampi, jos poistoilmakanavia olisi sijoitettu myös rakennuksen toiseen kerrokseen. Tällä tavoin pienet rikkivety pitoisuudet saataisiin tilasta heti poistettua eikä rikkivety jäisi ilmaan kulkeutumaan alaspäin. Lisäksi lämpöolot rakennuksen toisessa kerroksessa olisivat helpommin säädettävissä ilmanvaihdon avulla.

Toisaalta poistoilmakanavien sijoittaminen moneen paikkaan estäisi ilman osittaisen kerrostumisen eikä termistä kerrostumaan voitaisi käyttää ilmanvaihdollisesti hyväksi. Ilmassa olevat pitoisuudet laimenisivat nopeammin, mutta saattaisivat pakkautua esimerkiksi rakennuksen kulmiin, koska rakennuksessa ei olisi säännöllistä ilman virtaussuuntaa. Jatkuva ilman pystyvirtauksen aikaansaaminen ylhäältä alas lattiatasoon on turvallinen ja järkevä tapa poistaa epäpuhtaudet ilmasta.

Suurinta räjähdysvaarallisuuden kannalta sallittua vuotoa ja rikkivetyttöisyyttä on laskennallisesti vaikea määrittää, koska rikkivedyn ominaisuudet vaikuttavat suuresti kaasun käyttäytymiseen reaktorirakennuksessa. Ihmisen terveyden kannalta jo pienikin rikkivetyttöisyys on vaarallinen.

9 YHTEENVETO

Räjähdysvaarallisten tilojen työturvallisuuden hallinta on haasteellista. Työturvallisuus koostuu monesta eri osasta ja osien yhtäaikainen toimivuus luo turvallisen työympäristön. Työturvallisuus tulee säilyä jokaisen työprosessin aikana, joten räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitettujen laitteiden suunnittelu ja ATEX -luokittelu on haasteellista työtä. Tilojen suunnittelijoiden ja työntekijöiden tulee tietää räjähdysvaaran aiheuttavan aineen ominaisuudet sekä sen käyttäytyminen eri olosuhteissa. Lisäksi laitteita ja järjestelmiä valittaessa tulee räjähdysvaaraa aiheuttava prosessi tai työvaihe selvittää perusteellisesti. Räjähdysvaarallisten tilojen lainsäädäntö ja käytännöt perustuvat voimassa oleviin direktiiveihin ja standardeihin. Säädökset ja direktiivit ovat lähtökohtia räjähdysvaarallisten tilojen suunnittelulle ja tilojen lopullinen luokittelu tehdään aina tapauskohtaisesti.

Työturvallisen ympäristön luominen teollisuusympäristössä on myös haasteellista. Teollisuustilojen ilmanvaihtosuunnittelussa on huomioitava, että teollisuusilmastoinnin tekninen vaativuus on usein huomattavasti suurempi kuin tavanomaisten tilojen tekniikassa. Teollisuusilmastoinnissa virtausteknisin keinoin saavutetaan ja hallitaan turvallinen, terveellinen sisäilma tuotantotiloissa.

Talvivaaran metallien talteenottolaitoksen reaktorirakennus on tilana erittäin suuri ja ilmanvaihdollisesti haastava kohde. Rakennuksen sisäilmassa mahdollisesti olevien pienten rikkivetypitoisuuksien vaikutusta on erittäin hankalaa arvioida ilman käytännön mittauksia. Teoreettisesti tarkasteltuna rakennuksen ilmanvaihto on suorituskyvyltään riittävä ja toimii tarkoituksen mukaisesti. Tehokas ilmanvaihto aiheuttaa mahdollisten rikkivety pitoisuuksien nopean laimenemisen ja estää räjähdysvaaran syntymisen. Ilmanvaihdolla pystytään luomaan rakennuksen työntekijöille turvalliset työolot ja välttämään räjähdysvaaran syntyminen.

Talvivaaran reaktorirakennuksen tuotantoprosessissa käytettävä rikkivety on ominaisuuksiltaan helposti syttyvä ja väritön kaasu ja se on vahingollista ihmisen

hengityselimille ja hermostolle. Suurissa pitoisuuksissa rikkivetyä ei välttämättä pystytä haistamaan ja siksi rikkivety on erittäin vaarallista reaktorirakennuksen työntekijöiden terveydelle. Rikkivedyn suuri pitoisuus voi aiheuttaa hetkellisen tajunnan menetyksen ja hengenvaaran. Räjähdystvaara on reaktoritilassa todellinen ja tilan työturvallisuutta tarkkaillaan jatkuvatoimisesti.

Reaktorirakennuksessa räjähdysuojaustoimenpiteet ja turvallisuusnäkökohdat on toteutettu säädösten ja lakien mukaan. Tuotantotilat on varustettu alkusammuttimilla ja sprinklerijärjestelmillä ja reaktorirakennuksen ilmanvaihto on järjestetty koneellisesti. Lisäksi Talvivaaran työntekijöitä koulutetaan säännöllisin väliajoin. Ilmanvaihdossa käytetty tekniikka on ATEX -määräysten mukainen ja laitteiden laiteluokat ovat tilaluokkien vaatimusten mukaiset. Riskin arvioinnin perusteella reaktorirakennuksessa ei katsota esiintyvän räjähdysvaaraa normaalitoiminnan yhteydessä ja rakennuksen riskitason katsotaan olevan siedettävä. Toisaalta riskin arvioinnissa on arvioitu, että jo pienemminkin rikkivety vuodon yhteydessä voidaan menettää ihmishenkiä.

Talvivaaran reaktorirakennuksen ilmanvaihto luo työntekijöille turvallisen työympäristön. Ilmanvaihdon vaikutus reaktorirakennuksen olosuhteisiin tullaan myöhemmin tarkastamaan käytännössä rakennuksen olosuhdemittauksilla. Räjähdystvaarallisten tilojen työturvallisuudessa ole varaa tinkiä. Työturvallisuutta pitää valvoa ja parantaa jatkuvasti.

LÄHTEET

Honeywell Gas Book, Honeywell Analytics Experts in Gas Detection. 83 sivua. 05/2007. Viitattu 19.11.2008

Kemikaalit ja työ, Selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä. Työterveyslaitos, Helsinki 2005, 318 sivua. Vammalan kirjapaino Oy. ISBN 951-802-636-X.

Kokko Lauri, Nikkelin ja koboltin poisto pelkistyksen loppuliuksesta. LTKK, Diplomityö, 1997.

KOM 2003, 0515. Hyviä käytäntöjä esittelevä ohjeellinen toimintaopas vähimmäisvaatimuksista räjähdyskelpoisten ilmaseosten aiheuttamalle vaaralle mahdollisesti alttiiksi joutuvien työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden suojelun parantamiseksi annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 1999/92/EY täytäntöönpanemiseksi. Euroopan Komission työllisyyden ja sosiaaliasioiden pääosasto; Työterveys, työturvallisuus ja työhygienia. Euroopan yhteisöjen komissio, Bryssel 25.3.2003. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2003:0515:FIN:FI:PDF>

Kuusela H. ja Ollikainen R., Riskit ja riskienhallinta. Tampereen Yliopistopaino Oy, Tampere 2005. 292 sivua. ISBN 951-44-6100-2.

Meriläinen Jyri Finn Nickel Oy, Suomalainen kaivannaisklusteri ja nikkelin tuotanto. Geologian tutkimuskeskuksen uutislehti kiviharrastajille; Etsivä löytää 2/2007. Saatavissa: http://www.gtk.fi/_system/nonhtml_page.html?file=/Media/painotuotteet/etsivaloyt aa/Lehti_2

Pääkkönen R. ja Rantanen S., Työympäristön kemiallisten ja fysikaalisten riskien arviointi ja hallinta. Työterveyslaitos Helsinki 1999, 100 sivua. Kirjapaino OMA Oy, Jyväskylä, ISBN 951-802-294-1.

Riekkola-Vanhanen M., Finnish expert report on best available techniques in nickel production. The Finnish Environment 317, 63 sivua. Oy Edita Ab Helsinki 1999. ISBN 952-11-0507-0.

Seppälä J., Koskela S., Palperi M., ja Melanen M. Metallien jalostus ja ympäristö. Suomen ympäristökeskus. Oy Edita Ab Helsinki 2000. ISBN 952-11-0788-X

Seppänen Olli, Ilmastointitekniikka- ja sisäilmasto. 1996. Kirjapaino Kiitorata Oy Helsinki. ISBN 951-96098-0-6

SFS-Käsikirja 103, Ilmastointitekniikka Osa 2. 2. Painos, 197 sivua. Helsinki 1992. ISBN 952-9591-23-3

SFS-Käsikirja 161-1 Räjähdyksivaarallisten tilojen laitteet ja suojausjärjestelmät Osa 1: Laitesuunnittelun perusteet, terminologia, laatujärjestelmän soveltaminen 2004. Helsinki 2004. ISBN 952-5420-32-9

Sosiaali- ja Terveysministeriö. HTP -arvot 2007, Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Helsinki 2007. ISBN 975-952-00-2308-9. Saatavissa:
<http://www.ketsu.net/http/HTP2007.pdf>

Sosiaali- ja terveysministeriö, Asumisterveysohje, Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. 93 sivua. Edita Prima Oy Helsinki 2003. ISBN 952-00-1301-6.

Suomen Talotekniikan Kehityskeskus Oy TAKE; Teollisuusilmastoinnin opas. Report 44. Lokakuu 2000. 119 sivua

Talvivaaran Kaivososakeyhtiö Oyj internetsivut Saatavissa:

http://www.talvivaara.com/index2.phtml?page_id=1109&navi_id=1109 Viitattu:
11.11.2008

Talvivaara projekti Oy ja Expec Oy, Talvivaara projekti Oy:n
räjähdysuojasiasiakirja. Laadittu 7.12.2007.

Tullihallitus, ulkomaankauppatilastot vuodelta 2008. Saatavana:
http://www.tulli.fi/fi/05_Ulkomaankauppatilastot/06_Tilastoja/taulut/Sitc4_08_12.xls. Viitattu 24.3.2009.

Turvatekniikan keskus, Sosiaali- ja terveysministeriö, työsuojeluosasto. Lokakuu
2003. TUKES OPAS: ATEX Räjähdyksivaarallisten tilojen turvallisuus. Libris Oy
Helsinki. Saatavissa:
http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_oppaat/atex_rajahdeopa_s.pdf. Viitattu 5.11.2008.

Turvatekniikan keskus, TUKES OPAS: ATEX Laitteiden riskin arviointi, Joulukuu
2004. Saatavilla:
http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_oppaat/atex_laitteiden_riskit.pdf. Viitattu 6.11.2008

Turvatekniikan keskus, TUKES OPAS: Räjähdetilojen tilaluokitus ja
sähkölaitteistot, Syyskuu 2004. Saatavilla:
http://www.tukes.fi/tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_oppaat/rajahdetilojen-tilaluokitus.pdf. Viitattu 7.1.2009

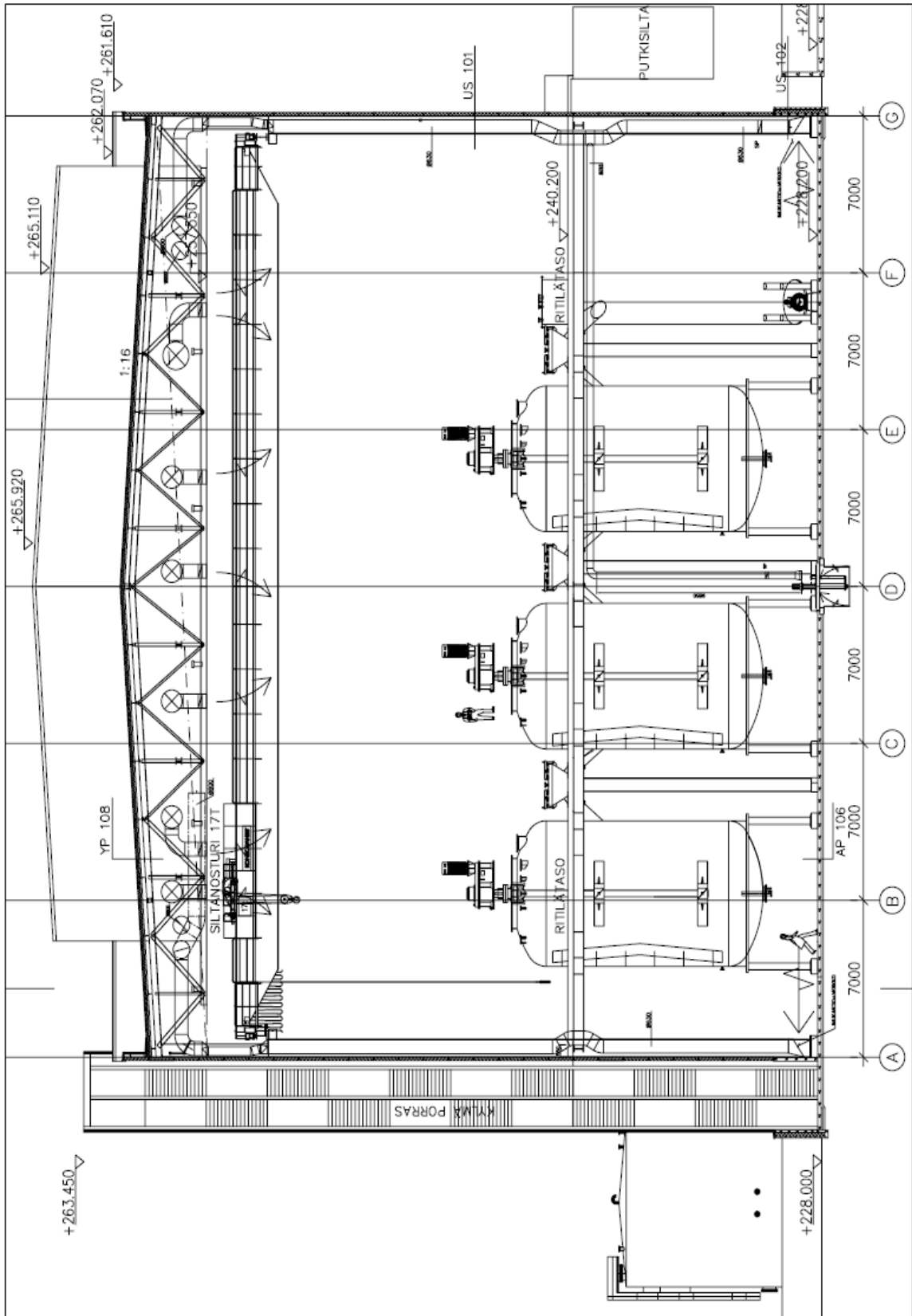
Työterveyslaitos, 2006. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: Rikkivety.
Päivitetty 22.5.2006. Saatavissa: <http://www.ttl.fi/ova/rikkivet.html>

Työturvallisuuskeskus, Työsuojelulla hyvinvointia ja tulosta. 149 sivua. Edita
Prima Oy. ISBN 951-810-222-8.

U.S. Department of health and human services, Public Health Service, Agency for toxic Substances and Disease Registry. July 2006. Toxicological Profile for Hydrogen Sulfide

Valtioneuvoston asetus työpaikkojen turvallisuus ja terveysvaikutuksista 577/2003, Annettu Helsingissä 18.6.2003. Saatavana: <http://www.tyosuojelu.fi/fi/317/271>. Viitattu 20.1.2009

LIITE 1: Talvivaaran reaktorirakennuksen leikkauskuva



LIITE 2: Rikkivedyn pitoisuus 15 ppm

Ideaalikaasun moolitilavuus: $0,02241 \text{ m}^3/\text{mol}$

Rikkivedyn moolimassa [M]: $34,086 \text{ g/mol}$

Moolinen kaasuvakio [R]: $0,08314 \text{ bar} \cdot \text{dm}^3/\text{mol} \cdot \text{K}$

Paine (NTP) [p]: $1,01325 \text{ bar}$

Lämpötila [T]: $293,15 \text{ K}$

Rikkivedyn ainemäärä ideaalikaasuksi muutettuna:

$$\frac{15 \text{ ppm}}{1000000} * \frac{1 \text{ m}^3}{0,02241 \text{ m}^3 / \text{mol}} = 0,00066934 \text{ mol} \approx 0,66934 \text{ mmol}$$

Rikkivedyn massa yhdessä kuutiossa ilmaa:

$$m = n * M = 0,66934 \text{ mmol} * 34,086 \text{ g} / \text{mol} = 22,82 \text{ mg} \approx 0,02 \text{ g}$$

Rikkivedyn tilavuus:

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{0,00066934 \text{ mol} * 0,08314 (\text{bar} * \text{dm}^3) * 293,15 \text{ K}}{1,01325 \text{ bar} * (\text{mol} * \text{K})} = 0,0161 \text{ dm}^3 \approx 1,61 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

LIITE 3: Riskin arvioinnin pahin mahdollinen tilanne

Ilmanvaihdon lähtötiedot on oletettu laskelmia varten.

Tuloilman nopeus kuudesta kanavasta alaspäin: 0,25 m/s

Poistoilman nopeus neljästä kanavasta imettynä: 0,27 m/s

Tilan kokonaistilavuus vuodon kohdalla (yksi reaktori alueella):

$$V = (30 * 8 * 6) - 625 m^3 = 815 m^3$$

Tilan vaakasuora ala virtauksen kohdalla:

$$A = 6m * 8m = 48m^2$$

Rikkivedyn vuodon nopeus:

$$v = \frac{V}{A} = \frac{(37m^3 / 60s)}{(48m^2)} = 0,0128 m/s$$

Vuoto on 10 metrin korkeudessa. Matka vuodon kohdalta tuloilmavirtauksen mukana poistoilmakanavalle kestää:

$$v = 10m / (0,25m/s) = 40s$$

Rikkivetyä kertyy tilaan ennen poistoilmakanavan vaikutusta:

$$V = 40s * (37m^3 / 60s) = 24,7 m^3$$

Vuodon määrä tilavuusprosenttina:

$$\frac{24,7}{815} m^3 * 100 \approx 3 \text{ til} - \%$$

Vuodon kulkeutuminen alas ilman tuloilman vaikutusta: $10m / 0,0128m/s \approx 13 \text{ min}$

Vuodon kulkeutuminen alas tuloilman vaikutuksen ollessa vain 50 %:

$$\frac{10m}{(0,25m/s) / 2} = 80s$$

Rikkivetyä kertyy tilaan ennen poistoilmakanavan vaikutusta:

$$V = 80s * (37m^3 / 60s) = 49,3 m^3$$

Vuodon määrä tilavuusprosenttina: $\frac{49,3}{815} m^3 * 100 \approx 6 \text{ til} - \%$

Poistoilman toimiessa täydellä teholla, suurin osa rikkivedystä poistuu vajaassa 10 sekunnissa:

$$(24,67m^3 + 9,5s * 0,617m^3 / s) - 9,5s * 3,2m^3 / s \approx 0,13m^3$$

LIITE 4: Rikkivedyn pitoisuus 3000 ppm

Ideaalikaasun moolitilavuus: $0,02241 \text{ m}^3/\text{mol}$

Rikkivedyn moolimassa [M]: $34,086 \text{ g/mol}$

Moolinen kaasuvakio [R]: $0,08314 \text{ bar} \cdot \text{dm}^3/\text{mol} \cdot \text{K}$

Paine (NTP) [p]: $1,01325 \text{ bar}$

Lämpötila [T]: $293,15 \text{ K}$

Ilmanvaihdon lähtötiedot on oletettu laskelmia varten.

Tuloilman nopeus kuudesta kanavasta alaspäin 50 % teholla: $0,125 \text{ m/s}$

Poistoilman nopeus neljästä kanavasta imettynä 50 % teholla: $0,133 \text{ m/s}$

Rikkivedyn ainemäärä ideaalikaasuksi muutettuna:

$$\frac{3000 \text{ ppm}}{1000000} * \frac{1 \text{ m}^3}{0,02241 \text{ m}^3 / \text{mol}} = 0,133868809 \text{ mol} \approx 133,8688 \text{ mmol}$$

Rikkivedyn massa yhdessä kuutiossa ilmaa:

$$m = n * M = 0,13386... \text{ mol} * 34,086 \text{ g/mol} \approx 4,56 \text{ g}$$

Rikkivedyn tilavuus:

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{0,13386... \text{ mol} * 0,08314 (\text{bar} * \text{dm}^3) * 293,15 \text{ K}}{1,01325 \text{ bar} * (\text{mol} * \text{K})} = 3,2201 \text{ dm}^3 \approx 0,00322 \text{ m}^3$$

Tilan kokonaistilavuus vuodon kohdalla (yksi reaktori alueella):

$$V = (30 * 8 * 6) - 625 \text{ m}^3 = 815 \text{ m}^3$$

Tilan vaakasuora ala virtauksen kohdalla:

$$A = 6 \text{ m} * 8 \text{ m} = 48 \text{ m}^2$$

Rikkivedyn vuodon nopeus:

$$v = \frac{V}{A} = \frac{(0,00322 \text{ m}^3 / 30 \text{ s})}{(48 \text{ m}^2)} = 2,236 * 10^{-6} \text{ m/s}$$

Vuoto on 10 metrin korkeudessa. Matka vuodon kohdalta tuloilmavirtauksen mukana poistoilmakanavalle kestää:

$$\frac{10 \text{ m}}{(0,25 \text{ m/s}) / 2} = 80 \text{ s}$$

Vuodon määrä tilavuusprosenttina: $\frac{0,00322}{1} \text{ m}^3 * 100 \approx 0,32 \text{ til} - \%$