

TP4: Kriittisyysanalyysi ympäristönäkökulmasta ja tietämyksen hallinta rikkipäästöjen ehkäisyssä

Arja Kotkansalo, Leena Parkkila, Ville Rauhala, Aslak Siimes, Jani Sipola ja Jaana Tarvainen

Lapin ammattikorkeakoulu, teollisuuden ja luonnonvarojen osaamisala
Käynnissäpidon tutkimus
Compus, Tietokatu 1, FI-94600, Kemi



Jaana Tarvainen, Arja Kotkansalo, Ville Rauhala, Aslak Siimes, Leena Parkkila ja Jani Sipola

Ryhmäkuva käynnissäpidon tutkimusryhmästä



Tiivistelmä

Sulka-projekti on Oulun yliopiston koordinoima hanke, jonka pääpaino on rikkiyhdisteiden ympäristövaikutusten arvioinnissa sekä rikkiyhdisteiden mittausten menetelmien ja minimointikeinojen tutkimisessa ja kehittämisessä. Lapin AMK osallistui hankkeeseen tavoitteenaan kehittää uudenlainen analyysimenetelmä, jonka avulla voidaan tunnistaa sekä turvallisuuden että ympäristön kannalta vaarallisten rikkiyhdisteiden esiintyminen kaivosten tuotantoprosesseissa. Aiempien tutkimushankkeiden yhteydessä on havaittu, että yleisimmin käytetyt analyysimenetelmät eivät yksinään riitä kokonaisvaltaiseen turvallisuus-, ympäristö- ja taloudellisten riskien hallintaan. Tuloksena luotiin ehdotus uudesta analyysimenetelmästä, johon pyrittiin kokoamaan yleisimpien menetelmien parhaat puolet, poistamaan epäkohdat sekä karsimaan päällekkäisiä vaiheita. Lopputuloksena saatiin analyysimenetelmä, jonka avulla turvallisuus-, ympäristö- ja taloudellisten riskien arviointi ja hallinta on mahdollista toteuttaa samalla kertaa entistä helpommin ja luotettavammin.

I. Johdanto

Sulka-projekti on Oulun yliopiston koordinoima hanke, jossa tutkitaan rikin yhdisteitä kaivostoiminnassa. Pääpaino hankkeessa on rikkiyhdisteiden ympäristövaikutusten arvioinnissa sekä rikkiyhdisteiden mittausten menetelmien ja minimointikeinojen tutkimisessa ja kehittämisessä. Lapin ammattikorkeakoulu osallistui hankkeeseen tavoitteenaan kehittää uudenlainen analyysimenetelmä, jonka avulla voidaan tunnistaa sekä turvallisuuden että ympäristön kannalta vaarallisten rikkiyhdisteiden esiintyminen kaivosten tuotantoprosesseissa. Toisin sanoen, analyysimenetelmän avulla voidaan tunnistaa mistä kohtaa tuotantoprosessia haitallisia rikkiyhdisteitä tulisi mitata, jotta henkilö- ja ympäristöturvallisuus saataisiin säilytettyä myös tuotantoprosessin vikatilanteissa.

Tuotantoprosesseja tarkastellaan jo nyt erilaisten analyysien avulla. Vika-vaikutuskriittisyysanalyysi (VVKA) tarkastelee tuotantoprosessin laiterikkojen taloudellista sekä turvallisuus ja ympäristö vaikutusta. Poikkeamatarkastelu (HAZOP) tutkii prosessisuureiden muuttumisen vaikutusta turvallisuuteen. Myös erilaisilla riskianalyysimenetelmillä kartoitetaan prosessin käyttöön liittyviä turvallisuusriskejä. Lapin AMK:n toteuttamissa tutkimushankkeissa on havaittu, että näistä analyysimenetelmistä mikään ei yksinään riitä tuotantoprosessin kokonaisvaltaiseen turvallisuus-, ympäristö- ja taloudellisten riskien hallintaan. Toisaalta nämä eri analyysimenetelmät sisältävät myös samoja elementtejä, jolloin tietyt asiat joudutaan käsittelemään useaan kertaan eri menetelmiä käytettäessä.

Tästä heräsi ajatus ja tarve koota eri analyysimenetelmistä parhaat puolet yhteen ja rakentaa yksi menetelmä turvallisuus-, ympäristö- ja taloudellisten riskien hallintaan. Uusi menetelmä kokoaa eri analyysien parhaat puolet yhteen ja täten täydentää yksittäisissä menetelmissä havaittuja puutteita. Uusi menetelmä myös karsii eri analyysien samoja vaiheita ja täten vähentää päällekkäistä työtä. Toisin sanoen uuden

menetelmän avulla turvallisuus-, ympäristö- ja taloudellisten riskien arviointi ja hallinta on mahdollista toteuttaa samalla kertaa entistä helpommin ja luotettavammin.

2. Tutkimuksen tavoitteet ja määritetyt ongelmat

Kun tarkastellaan eri analyysimenetelmiä (VVKA, HAZOP, Riskianalyysi) ja niiden käyttöä yksistään, voidaan niistä tunnistaa tiettyjä kehittämisen kohteita. Jokainen analyysimenetelmä sisältää myös osin samoja vaiheita verrattuna muihin. Samoin jokaisesta analyysimenetelmästä löytyy hyviä puolia, mitä muissa menetelmissä ei ole. Tämän tutkimuksen tavoitteena on vertailla eri analyysimenetelmiä ja tunnistaa niiden samankaltaisuudet, heikkoudet sekä hyvät puolet.

Loppu tulemana tutkimuksen tavoitteena on muodostaa uusi menetelmä turvallisuus-, ympäristö- ja taloudellisten riskien hallintaan. Menetelmä kokoo eri analyysien parhaat puolet ja täydentää yksittäisissä menetelmissä havaittuja puutteita. Menetelmä karsii myös eri analyysien päällekkäisiä vaiheita. Toisin sanoen menetelmän avulla turvallisuus-, ympäristö- ja taloudellisten riskien arviointi ja hallinta on mahdollista toteuttaa entistä helpommin ja luotettavammin.

Alustavien tutkimusten pohjalta on havaittu, ettei PSK 6800 standardin mukainen VVK-analyysi kohdistu aina kaikkiin prosessikohteisiin, jotka voivat aiheuttaa eritasoisia ympäristöpäästöjä tai henkilöturvallisuuteen liittyviä riskejä. Näitä edellä mainittuja, jopa tarkastelun ulkopuolelle jääviä, kohteita ovat mm. analyysilaitteet, toimilaitteet, anturit ja logiikat. Lisäksi on havaittu, ettei kyseisessä analyysissä riittävästi painotu ympäristö- ja henkilöturvallisuuteen liittyvien riskien merkitys kokonaiskriittisyyttä arvioitaessa.

VVKA:n laskentamallissa on alustavien tutkimusten perusteella havaittu mm. seuraavia puutteita:

1. VVKA (PSK 6800) huomioi ainoastaan yksittäisen laitteen tai komponentin vikaantumisen aiheuttamia seurauksia. VVKA ei huomioi täysin laitteiden keskinäisiä riippuvuuksia.
2. VVKA:n kokonaiskriittisyyteen vaikuttaa voimakkaasti analyysissä lähtöarvoiksi annetut painoarvokertoimet. Painoarvokertoimia voi jokainen yritys itse halutessaan muokata. Painoarvokertoimet valitaan analysointityön alkuvaiheessa ja samoja kertoimia käytetään yleensä koko tehtaan alueella, riippumatta prosessien erilaisuudesta.
3. Laskentamallissa, painoarvokertoimien asettelun vuoksi, jotkut ympäristö- ja henkilöturvallisuuskriittiset laitteet voivat joutua ”ei kriittisiksi”.
4. Kriittisiksi luokiteltujen laitteiden vaatimat ennakkohuoltotoimenpiteet ja -huoltovälit on määritelty samoiksi, vaikka kohde on luokittelussa noussut kriittiseksi eri syistä (eri osatekijät korostuneet).
5. Vikaantumisväli (laskentakaavassa kerroin $p = 1 \dots 8$) perustuu osin subjektiiviseen arviointiin. Peltolan (2011) mukaan Metsä Tissue Oyj Mäntän paperitehtaan käyttämässä mallissa ei vikaantumisväliä otettu huomioon, sillä vikaantumisvälillä on melko suuri merkitys laitteiden kriittisyyden loppupisteytykseen. Laitteiden vikaantumisvälin huomioiminen vaatii

kokemusperäistä tietoa yrityksen laitteiden toiminnasta ja historiasta sekä laitteiden vika- ja korjaushistorian. (Peltola 2011)

Vika-vaikutus-kriittisyys -analyysiä käytetään tyypillisesti siten, että kokonaiskriittisyyden mukaan laitteet jaetaan kolmeen ryhmään A (12 %), B (21 %) ja C (67 %). Laitteosuudet voivat vaihdella yrityskohtaisesti. Luokituksen mukaan määritellään ennakkohuoltotoimenpiteiden taso sekä esimerkiksi varaosien tarve ja varastointi. Luokituksen perimmäinen tavoite on kohdentaa suurin toimenpide määrä kriittisille laitteille (luokka A) ja sitä kautta vikaantumisvälin kasvattaminen kyseisillä laitteilla.

Samoin HAZOP analyysin käytössä on havaittu tiettyjä puutteita sekä Lapin AMK:n aiemmissa hankkeissa että muiden toimijoiden taholta. Havaittuja kehittämiskohteita ovat mm. seuraavat:

1. HAZOP ei ole tarpeeksi tehokas vikavaikutusten priorisoinnissa. (Trammell & Davis, 2001)
2. HAZOP ei tavallisesti ota selvää korjaavien toimintojen suhteellisista vaikutuksista. (Trammell & Davis, 2001)
3. HAZOP ei ole vahva analysoimaan vaikutuksia ja suhteellista tunnistettuja korjaavien toimenpiteiden tehokkuutta. (Rong, Zhao, Yu, 2008)
4. Vaatii merkittävää resurssien sitoutumista. (www.comcare.gov.au)
5. Aikaa vievää. (www.comcare.gov.au)
6. Prosessi on yksitoikkoinen ja osallistujien mielenkiinnon ylläpitäminen voi olla haasteellista. (www.comcare.gov.au)

Riskienarvioinnin ja -hallinnan peruseriaatteet tulevat työturvallisuuslaista (738/2002). Niiden toteutusperiaate ja -prosessi ovat selkeitä ja johdonmukaisia. Kuitenkin riskienarvioinnin ja -hallinnan eri vaiheissa käytettävien lomakkeiden määrä ja eri toteutustapojen mahdollisuus on suuri. Riskienarvioinnissa ja -hallinnassa on havaittu seuraavia kehittämiskohteita:

1. Prosessi on selkeä, mutta sen eri vaiheissa käytettävien lomakkeiden määrä on suuri, mikä vaikeuttaa prosessin läpivientä.
2. Yhtenäinen lomake prosessin läpiviemiseen puuttuu, mikä vaikeuttaa analyysin lopputulosten tulkintaa ja sovittujen toimenpiteiden seuranta.
3. Analyysi kohdistuu yleensä tuotantoprosessin käyttötapahtumiin ja ihmisten tekemisiin, ei niinkään laiterikkoihin tai prosessisuureiden muutoksiin.

Eri analyysimenetelmiä käyttämällä saadaan kohtuullisen hyvin tunnistettua vaaratilanteet, arvioitua riskien suuruus ja sovittua toimenpiteet niiden ehkäisemiseksi. Kuitenkin tiedonhallinnan näkökulma jää usein puuttumaan analyysien lopputuloksesta, jolloin niiden vaikuttavuus voi jäädä puutteelliseksi. On hyvä, että vaaratilanteiden poistamiseksi tai vahinkojen minimoimiseksi on tehty toimenpiteitä, mutta niiden lisäksi tulisi määritellä mitkä tiedot (mittaustieto tai ihmisen tuottama) kertovat vaaratilanteen ilmenemisestä. Nimenomaan minkä tietojen avulla vaarallinen tapahtuma voidaan ehkäistä ajoissa tai vähintäänkin minimoida vahingot tapahtuman sattuessa.

3. Materiaalit ja menetelmät

Standardi SFS-IEC 60300-3-9 antaa ohjeita riskianalyysin tekniikoiden valitsemiseksi ja toteuttamiseksi, ensisijaisesti teknisten järjestelmien riskiä arvioitaessa. Yksi yleisimmistä teollisuudessa käytetyistä riskianalyysimenetelmistä ovat vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi (VVKA). Toinen yleinen riskianalyysimenetelmä on poikkeamatarkastelu (HAZOP). (SFS-IEC 60300-3-9)

Lisäksi riskienarvioinnin ja –hallinnan peruseriaatteet säädetään työturvallisuuslaissa. Työturvallisuuslaki (738/2002) vaatii, että ”työnantajan on riittävän järjestelmällisesti selvitettävä ja tunnistettava työstä, työtilasta, muusta työympäristöstä ja työolosuhteista aiheutuvat haitta- ja vaaratekijät.” Pitää myös arvioida, milloin niitä ei voida poistaa ja on arvioitava niiden merkitys työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle.

3.1 VVKA

Teollisuudessa tuotantoprosessin laitteille käytetään tyypillisesti VVKA menetelmää, jota käytetään kunnossapitojärjestelmän lähtötietojen tuottamiseen. Lisäksi menetelmää voidaan käyttää esimerkiksi hankintavaiheen tukena määriteltäessä hankittavan kriittisen laitteen ominaisuuksia, laatutasoa ja vastaanottokriteerejä. Menetelmän avulla määritetään laitteiden kriittisyysluokat ennakkohuoltojen kohdentamiseksi oikeille laitteille. VVKA on toimintavarmuuden analysointimenetelmä, joka on tarkoitettu sellaisten vikojen tunnistamiseen, joiden seurauksilla on merkittävä vaikutus tarkasteltavan järjestelmän suorituskykyyn. (PSK6800-2008; SFS 5438-1988)

Seuraavassa tarkastellaan PSK 6800 standardin mukaista VVKA:ta:

1. Määritetään ensin tarkastelun laajuus.
2. Määritetään tuotannon menetyksen painoarvo W_p taulukon I mukaan ja lasketaan kaavalla I.
3. Tarkastellaan sopivatko standardin taulukossa I olevat muut painoarvot sovellettavalle teollisuuden toimialalle ja tarvittaessa näitä painoarvoja muutetaan.
4. Tarkasteltavat laitteet listataan PSK 6800 standardissa liitteenä I olevaan taulukkolaskentaohjelmaan.
5. Valitaan tarkasteltaville laitteille taulukosta I käytettävät kertoimet
6. Ohjelma laskee laitteiden kriittisyysindeksin (K) ja sen osaindeksit (Ks, Ke, Kp, Kq ja Kr) käyttäen hyväksi annettuja parametreja.
7. Lopuksi laitteet lajitellaan kriittisyysindeksin K mukaiseen järjestykseen. (PSK 6800)

Laitetason kriittisyyteen vaikuttavat ympäristö- ja turvallisuustekijät sekä tuotantovaikutukset sekä korjaus- ja seurauksenkustannukset. Taulukossa I annetut laitetason kriittisyyden tekijöiden painoarvot ja kertoimet ovat standardissa PSK 6800 annettu ohjeellisina.

Tuotannon painoarvokerrointa W_p määritettäessä prosessihierarkian eri osat saavat painoarvokertoimen P_1 - P_4 . Painoarvokertoimet ositetaan prosessihierarkian mukaan

siten, että koko laitoksen kannalta kriittinen laite saa painoarvon 100 %. Tuotannon menetyksen painoarvokerroin lasketaan kaavalla 1:

$$W_p = P_4 \times P_3 \times P_2 \times P_1 \quad (1)$$

Taulukko 1. Laitetason kriittisyyden tekijät

Kohde	Painoarvo [W]	Vikaantumisväli [p]	Kerroin [M]	Valintakriteeri
Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset	Turvallisuusriskit $W_s = 30$	1 = Pitkä vikaantumisväli esimerkiksi yli 5 vuotta 2 = Pitkähkö vikaantumisväli esimerkiksi 2 – 5 vuotta 4 = Lyhyehkö vikaantumisväli esimerkiksi 0,5 – 2 vuotta 8 = Lyhyt vikaantumisväli esimerkiksi 0 – 0,5 vuotta	$M_s = 0$	Ei turvallisuusriskiä
			$M_s = 2$	Vähäinen turvallisuusriski
			$M_s = 4$	Kohtalainen turvallisuusriski
			$M_s = 8$	Merkittävä turvallisuusriski
			$M_s = 16$	Vakava turvallisuusriski
	Ympäristöriskit $W_e = 20$		$M_e = 0$	Ei ympäristöriskiä
			$M_e = 2$	Vähäinen ympäristöriski
			$M_e = 4$	Kohtalainen ympäristöriski
			$M_e = 8$	Merkittävä ympäristöriski
			$M_e = 16$	Vakava ympäristöriski
Tuotantoaikutukset	Tuotannon menetykset $W_p = 0 \dots 100$	$M_p = 0$	Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle	
		$M_p = 1$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi (esimerkiksi ≤ 3 h)	
		$M_p = 2$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi (esimerkiksi ≤ 10 h)	
		$M_p = 3$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi (esimerkiksi 10 - 24 h)	
	Laatukustannus $W_q = 30$	$M_p = 4$	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi (esimerkiksi > 24 h)	
		$M_q = 0$	Laitteen toimimattomuus ei aiheuta lopputuotteen laatukustannuksia.	
		$M_q = 1$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 1 h)	
		$M_q = 2$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 3 h)	
		$M_q = 3$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat merkittävä tuotannonmenetystä (esimerkiksi 3-8 h)	
		$M_q = 4$	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi > 8 h)	
Korjaus- tai seurauksenkustannukset	Korjaus- tai seurauksenkustannus $W_r = 20$	$M_r = 0$	Korjauskustannuksilla tai seurauksenkustannuksilla ei ole merkitystä suhteessa muihin menetyksiin.	
		$M_r = 1$	Vähäiset korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 2 h)	
		$M_r = 2$	Keskinkertaiset korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi ≤ 10 h)	
		$M_r = 3$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat merkittävä tuotannonmenetystä (esimerkiksi 10-24 h)	
		$M_r = 4$	Korkeat korjauskustannukset tai seurauksenkustannukset, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä (esimerkiksi > 24 h)	

¹⁾ Lukuarvot ovat ohjeellisia

Kriittisyyksien ja osaindeksien laskentaan on standardissa PSK 6800 omat kaavat. Laitteen kriittisyyksien indeksi K lasketaan kaavalla 2.

$$K = p \times (W_s \times M_s + W_e \times M_e + W_p \times M_p + W_q \times M_q + W_r \times M_r) \quad (2)$$

Laitteen kriittisyyksien indeksi K_s turvallisuuden kannalta lasketaan kaavalla 3.

$$K_s = p \times (W_s \times M_s) \quad (3)$$

Laitteen kriittisyyksien indeksi K_e ympäristön kannalta lasketaan kaavalla 4.

$$K_e = p \times (W_e \times M_e) \quad (4)$$

Laitteen kriittisyysindeksi K_p tuotannon menetyksen kannalta lasketaan kaavalla 5.

$$K_p = p \times (W_p \times M_p) \quad (5)$$

Laitteen kriittisyysindeksi K_q tuotteen laadun kannalta lasketaan kaavalla 6.

$$K_q = p \times (W_q \times M_q) \quad (6)$$

Laitteen kriittisyysindeksi K_r korjauskustannusten kannalta lasketaan kaavalla 7.

$$K_r = p \times (W_r \times M_r) \quad (7)$$

3.2 HAZOP

HAZOP on vaarojen ja toimintaongelmien tunnistamisen menetelmä. Se arvioi systemaattisesti järjestelmän kunkin osan ja tutkii miten poikkeamat suunnittelutavoitteista voivat sattua ja voivatko ne tuottaa ongelmia. HAZOP on eräs vika- ja vaikutusanalyysin (VVA) muoto. Se on kehitetty alun perin kemian teollisuuteen. HAZOP on järjestelmällinen tekniikka vaarojen ja toimintaongelmien tunnistamiseen koko laitteistossa. HAZOP on käyttökelpoinen tunnistamaan ennalta tuntemattomia vaaroja, joita on jäänyt suunniteltuun laitteistoon puutteellisen tiedon vuoksi, tai joita on syntynyt olemassa olevaan laitteistoon prosessiolosuhteiden tai käyttötapojen muutosten vuoksi. HAZOP tekniikan perustavoitteet ovat: (SFS-IEC 60300-3-9)

- a. tuottaa laitteiston tai prosessin täydellinen kuvaus, sisältäen suunnitteluperusteet;
- b. tarkastella järjestelmällisesti laitteiston tai prosessin jokainen osa, jotta paljastetaan, miten poikkeamat suunnitteluperusteista voivat sattua; ja
- c. päättää, voivatko nämä poikkeamat johtaa vaaroihin tai toimintaongelmiin. (SFS-IEC 60300-3-9)

HAZOPia on käytetty myös analysoimaan toimivaa prosessia tunnistaa ihmisten virheet, joita voi ilmaantua työ prosessissa, ja vaikutuksena järjestelmään. HAZOPin perusajatuksena on, että mikä tahansa poikkeama toimintaolosuhteiden alkuasetusarvoihin saattaa aiheuttaa vaarailmiön ja aiheuttaa lopuksi onnettomuuden. (Rong, Zhao, Yu, 2008)

HAZOP ”poikkeamatarkastelu” soveltuu myös ympäristöriskien tunnistamiseen. Se on hyvin yksityiskohtainen menetelmä, joka soveltuu erityisen hyvin vaaralliseksi tunnetun yksittäisen prosessilaitteen tai prosessin osan analysointiin. (Wessberg ym., 2006)

HAZOP sisältää seuraavat vaiheet:

- 1) Tutkimuksen tavoitteet ja analyysin rajaus.
- 2) HAZOP ryhmän kokoaminen.
- 3) Tarvittavan dokumentaation, kuvien, ja prosessikuvauksen koonti (mm. prosessikaaviot; putki- ja instrumentointikaaviot; laitteiston, putkiston ja instrumentoinnin spesifikaatiot; prosessin valvontalogiikan kaaviot; layout kuvat; käyttö- ja kunnossapitomenettelyt, menettelyt hätätilanteissa, jne).
- 4) Laitteiston pääyksikön sekä kaikkien oheislaitteistojen, putkistojen ja instrumentoinnin analyysi, käyttäen kohdassa 3 koottuja dokumentteja.

- 5) jokaisen normaaliarvosta tapahtuvan poikkeaman seurausten sekä näiden vaarallisiksi arvioitujen poikkeamien dokumentointi. Lisäksi, poikkeamien havaitsemiseksi ja/tai ehkäisemiseksi tunnistetaan parannuksia, jotka tehdään HAZOP-lomakkeille. (SFS-IEC 60300-3-9)

Taulukossa 2 esitetään avainsanat, joilla tunnistetaan HAZOP:n avulla vaaralliset poikkeamat tuotantoprosessista. Taulukossa 3 esitetään esimerkki avainsanoista "ei, ei mitään" HAZOP lomakkeen avulla, jossa on esitetty myös tarkastelun tulos.

Taulukko 2. HAZOP avainsanat (SFS-IEC 60300-3-9)

Termit	Määritelmät
Ei tai ei mitään	Ei edes osaa toivotusta tuloksesta saavuteta (esim. ei virtausta)
Enemmän	Määrällinen lisäys (esim. korkea paine)
Vähemmän	Määrällinen väheneminen (esim. matala paine)
Lisäksi, sekä että	Laadullinen lisäys (esim. ylimääräistä materiaalia)
Osittain	Laadullinen väheneminen (esim. vain yksi tai kaksi komponenttia seoksessa)
Päinvastoin	Vastakkainen toiminta (esim. virtaus takaperin)
Muu kuin	Edes osaa tarkoituksesta ei saavuteta, tapahtuu jotain täysin muuta (esim. väärän materiaalin virtaus)

Taulukko 3. Esimerkki HAZOP lomakkeesta avainsanalle "ei, ei mitään" (SFS-IEC 60300-3-9)

Avainsana	Poikkeama	Mahdolliset syyt	Seuraukset	Tarvittava toimenpide
Ei, ei mitään	Ei virtausta	1) Syötettävää materiaalia ei käytettävissä	Tuotetun aineen määrä vähenee. Muodostuu polymeeriä.	a) Varmista hyvä kommunikaatio operaattorin kanssa b) Alarajahälytys annostelusäiliöön
		1) Pumppu vioittuu (erilaisista syitä)	Kuten kohdassa 1)	Kuten kohdassa b)
		2) Tukos tai venttiili suljettu erehdyksessä tai ohjausventtiili vioittuu kiinni	Kuten kohdassa A.1 Pumppu ylikuumenee	Asennetaan kullekin pumpulle takaisinkiertopiiri

3.3 Riskien arviointi ja hallinta

Työturvallisuuslaki (738/2002) vaatii, että "työnantajan on riittävän järjestelmällisesti selvitettävä ja tunnistettava työstä, työtilasta, muusta työympäristöstä ja työolosuhteista aiheutuvat haitta- ja vaaratekijät." Pitää myös arvioida, milloin niitä ei voida poistaa ja on arvioitava niiden merkitys työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle. On otettava huomioon muun ohella seuraavat asiat:

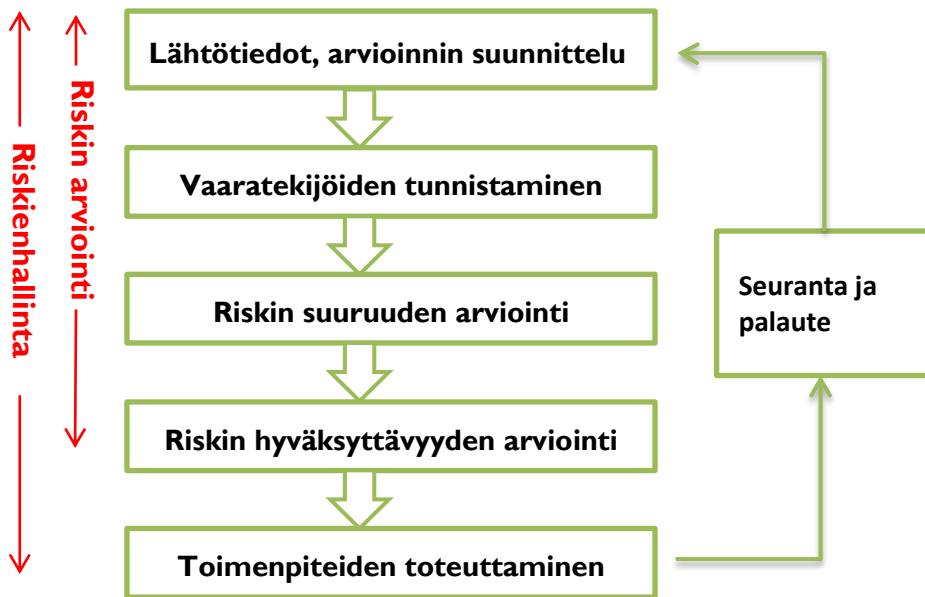
1. ”tapaturman ja muu terveyden menettämisen vaara kiinnittäen huomiota erityisesti kyseisessä työssä tai työpaikassa esiintyviin 5 luvussa tarkoitettuihin vaaroihin ja haittoihin;
2. esiintyneet tapaturmat, ammattitaudit ja työperäiset sairaudet sekä vaaratilanteet;
3. työntekijän ikä, sukupuoli, ammattitaito ja muut hänen henkilökohtaiset edellytyksensä;
4. työn kuormitustekijät; ja
5. mahdollinen lisääntymisterveydelle aiheutuva vaara.” (738/2002; 10§)

Velvoite edellyttää että kaikki työpaikat noudattavat työturvallisuuslakia. Termiä riskien arviointi ei lainsäädännössä varsinaisesti mainita, mutta käytössä nimitys on vakiintunut.

Työturvallisuuslain (738/2002;8§) mukaan työnantajan on ”suunniteltava, valittava, mitoitettava ja toteutettava työolosuhteiden parantamiseksi tarvittavat toimenpiteet. Tällöin on mahdollisuuksien mukaan noudatettava seuraavia periaatteita:

1. vaara- ja haittatekijöiden syntyminen estetään;
2. vaara- ja haittatekijät poistetaan tai, jos tämä ei ole mahdollista, ne korvataan vähemmän vaarallisilla tai vähemmän haitallisilla;
3. yleisesti vaikuttavat työsuojelutoimenpiteet toteutetaan ennen yksilöllisiä; ja
4. tekniikan ja muiden käytettävissä olevien keinojen kehittyminen otetaan huomioon.” (738/2002;8§)

Riskienhallinnan prosessi on esitetty kuvassa 1. Prosessi etenee vaiheittain ja se aloitetaan kohteen lähtötietojen keräämisellä ja arvioinnin suunnittelulla. Tämän jälkeen tunnistetaan vaaratekijät ja arvioidaan jokaisen vaaratekijän aiheuttaman riskin suuruus. Tämän jälkeen arvioidaan jokaisen riskin hyväksyttävyyys. Suuria riskejä ei hyväksytä ja niiden poistamiseksi tai pienentämiseksi sovitaan toimenpiteet, nimetään vastuuhenkilö ja aikataulu. Sovittujen toimenpiteiden toteutumista seurataan ja toimenpiteiden jälkeen kyseisen kohteen riskiarviointi tehdään uudelleen. Työturvallisuuslaissa määritellään riskienhallinnan prosessi ja sen eri vaiheet. Jokaisen vaiheen läpikäymiseen on olemassa useita erilaisia apulomakkeita, mutta kokonaisuutena analyysimenetelmää ei ole standardisoitu tietyllä lomakkeella tehtäväksi.



Kuva 1. Riskien arviointi ja hallinta (mukaillen Työturvallisuuskeskus)

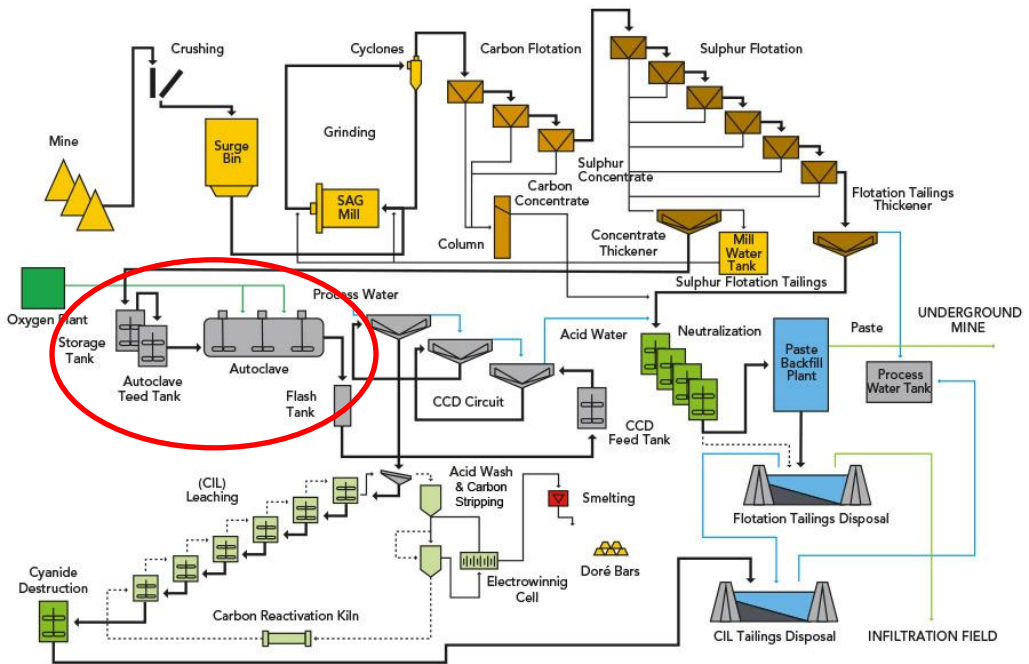
3.4 Tiedonhallinta ympäristön ja turvallisuuden näkökulmasta

Tiedonhallinnalla tarkoitetaan tässä yhteydessä lähestymistapaa, jolla varmistetaan, että ympäristö- ja turvallisuuspoikkeamien hallinnan kannalta oleelliset tiedot on tunnistettu ja varmistettu niiden oikeaoppinen käyttö. Tavoitteena on varmistaa, että juuri oikeat tiedot, oikeassa muodossa, oikeaan aikaan tavoittavat oikean henkilön. Ensisijaisesti tällä pyritään ennakoimaan ja estämään haitalliset ympäristö- ja turvallisuuspoikkeamat. Toissijaisena tavoitteena on minimoida vahingot ympäristö- ja turvallisuuspoikkeamien sattuessa.

Tiedonhallinta on sateenvarjo, joka pitää sisällään mm. analyysimenetelmät vaaratilanteiden tunnistamiseksi, riskin suuruuden arvioimiseksi, ehkäisevien toimenpiteiden toteuttamiseksi sekä mittaustietojen käyttämiseksi ympäristö- ja turvallisuuspoikkeamien estämiseen ja vahinkojen minimointiin.

3.5 Case-kohde

Tässä kappaleessa perehdytään case kohteeseen, joka on Agnico Eagle Oy Kittilän kaivoksen rikastamon autoklaavin savukaasupesuri. Kuvassa 2 on rikastamon prosessikaaviosta rajattu case-tutkimuksen kohde.



Kuva 2. Agnico-Eagle rikastamon prosessikaavio (Agnico Eagle Finland 2014)

Autoklaavin poistokaasut

Poistokaasuja muodostuu rikasteen autoklaavihapetuksesta. Kaasu johdetaan lopulta piipun kautta ulkoilmaan. Järjestelmä sisältää pesurin, joka poistaa suurimman osan kaasun sisältämistä epäpuhtauksista. Poistokaasu sisältää pääasiassa vesihöyryä, hiukkasia, rikkidioksidia, hiilidioksidia, hiilimonoksidia ja typen oksideja. Alla olevassa taulukossa 4 on esitetty osa autoklaavin poistokaasujen päästöistä vuosina 2010–2012. Esimerkiksi 2011-tietojen perusteella prosessista voi pahimmassa tapauksessa syntyä ympäristöön päästöjä, jotka ovat reilusti yli viitearvojen.

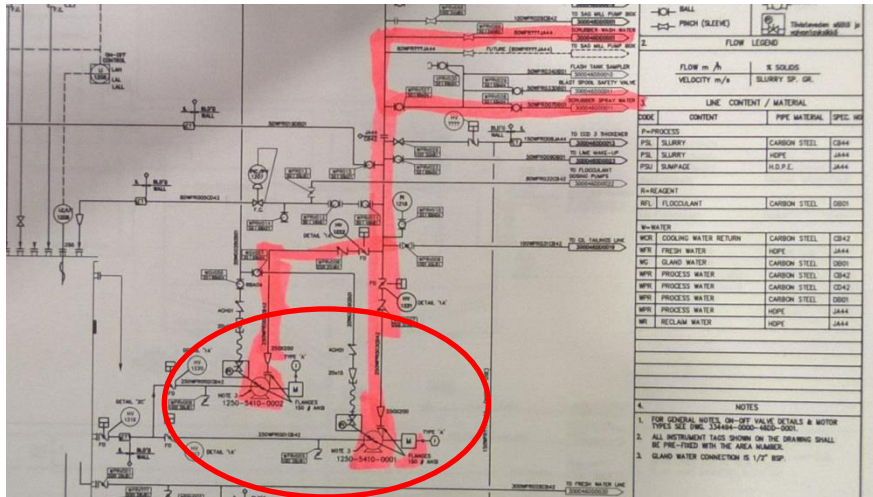
Taulukko 4. Autoklaavin poistokaasujen päästöt (Aluehallintovirasto ympäristöluvat 2013, s 62)

	2010	2011	2012
	Pitoisuus	Pitoisuus	Pitoisuus
O ₂ % (vesihöyry)	21,8 – 36,2	21,3	39 – 41,5
CO (ppm)	34 – 306	154	357 – 380
päästö g/s	0,1	0,19	
TRS (ppm)	1 – 2		2
päästö g/s	0,01 – 0,02		0,02
SO ₂ (ppm)	9 – 12	997	
päästö g/s	0,2 – 0,3	2,7	
NO _x [ppm]	2 – 3		
päästö [g/s]	0,03 – 0,04		

TRS = (Total Reduced Sulphur)

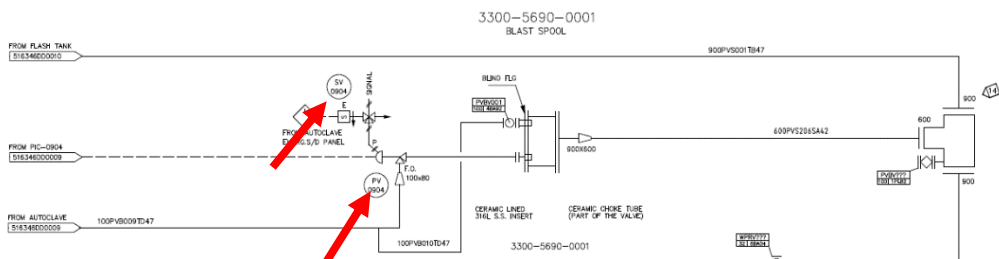
Tarkastelun kohteena olevat prosessilaitteet

Valitut prosessilaitteet esitetään alla olevissa PI-kaaviokuvissa. Tarkastelun kohteeksi valittiin prosessivesipumput kuva 3.



Kuva 3. Case prosessin kohta –pesuripumput, otos PI kaaviosta.

Toiseksi kohteeksi valittiin paineensäätöventtiilit ja niihin liittyvien prosessimittausten merkitys (kuva 4). Kyseisessä prosessikohteessa ei ole kaasun tunnistukseen liittyvää analysointia.



Kuva 4. Case prosessissa paineensäätöventtiilit PI -kaaviossa kuvattuna

4. Tulokset

Analyysimenetelmiä (VVKA, HAZOP, Riskianalyysi), jotka olivat tarkastelun kohteena ja joista tunnistettiin niissä olevia puutteita ja kehittämisen kohteita, yhdistettiin ja tulokseksi saatiin uusi lähestymistapa eli menetelmä turvallisuus-, ympäristö- ja taloudellisten riskien hallintaan. Menetelmä, Tuotannon Poikkeama-Analyysi (TPA), kokoa yllämainittujen analyysien parhaat puolet ja täydentää yksittäisissä menetelmissä havaittuja puutteita. Samalla karsittiin myös eri analyysien päällekkäisiä vaiheita.

TPA tuottaa siis tulokseksi kriittisten prosessilaitteiden ja – komponenttien luettelon sekä kriittiset datalähteet (CDS, Critical Data Source). TPA tarkastelua jatketaan CDS:ien osalta, jotka siis tuottavat dataa prosessiautomaatioon, tuotannonohjaukseen tai toiminnanohjaukseen, OIE (Overall Information Efficiency) tarkastelun avulla. OIE laskennassa CDS:ää tarkastellaan sen käytettävyyden, nopeuden ja laadun perusteella, analogisesti OEE laskennan tavoin.

Sekä TPA:n että OIE tarkastelun suorittamisella vähennetään kokonaistyömäärää ja pystytään parantamaan ongelmalähteiden havainnointia. Yhtenä merkittävänä tuloksena voidaan laatia tiedonhallintasuunnitelma, joka on TPA:han pohjautuva, ja siis siten, että ympäristö- ja turvallisuuspoikkeamien hallinnan kannalta oleelliset tiedot on tunnistettu ja varmistetaan niiden oikeaoppisesta käytöstä. Menetelmää on alustavasti tutkittu käytännön casessa (Agnico Eagle Finland Oy, Autoklaavin savukaasupesuri) ja josta saatuja tuloksia esitellään kappaleessa 4.4.

4.1 Tuotannon poikkeama-analyysi, TPA

Tuotannon poikkeama-analyysi (TPA) yhdistää HAZOP:n, VVKA:n ja riskianalyysin taulukon 5 mallin mukaisesti. Poikkeama-analyysissä koko prosessi käydään läpi osaprosessi kerrallaan.

TPA-malli etenee vaiheittain seuraavasti:

1. Ensin tunnistetaan poikkeama
2. Haetaan mahdolliset syyt poikkeamalle, joita voi olla useampia
3. Tunnistetaan jokaisen syyn aiheuttama seuraus
4. Suoritetaan kriittisyystarkastelu osakomponenttain
5. Ehdotetaan korjaavia toimenpiteitä vakaville syyille
6. Vastuuhenkilö ja päivämäärä kohdalla mahdollistetaan riskiarvioinnin ja -hallinnan huomioiminen tarkastelussa. Vastuuhenkilö huolehtii, että poikkeama poistetaan, jos se on arvioitu turvallisuusriskin (S) kohdalla kuuluvan luokkaan A eli vakavaan turvallisuusriskiin.

Vaiheet 1-3 ja 5 ovat HAZOP:n mukaisia ja vaihe 4 kriittisyystarkastelun pohjana on käytetty VVKA:ta. Vaihe 6 liittyy riskienhallintaan. Kriittisyystarkastelu on jaoteltu viiteen osakomponenttiin, jotka ovat VVK-analyysin mukaisesti turvallisuusriskit (S), ympäristöriskit (E), tuotannonmenetykset (P), laatukustannukset (Q) ja korjaus- tai seurauskustannukset (R). Taulukossa oleva M tarkoittaa, että taloudellista merkitystä mitataan yleensä osakomponenteilla P, Q ja R. Jokainen osakomponentti jaetaan neljään luokkaan, joita ovat A, B, C ja 0. A-luokka on vakavin/haittaavin ja 0 tarkoittaa ettei ole merkitystä. Luokkiin jako tapahtuu taulukon 6 määritelmien mukaan. Tämä tarkastelu poikkeaa perinteisestä VVK-analyysistä siten, ettei nyt ole käytössä laskentakaavoja. Kun luokkien tuntirajoja määritellään, ovat ne kohteesta riippuvaisia eli esim. tuotannon pysähtyminen pitkäksi ajaksi tarkoittaa eri aikaa paperikoneella kuin sahalla. Aikarajojen täytyy olla samoja kaikissa osakomponenteissa P, Q ja R, jotta luokittelut ovat vertailukelpoisia.

Taulukko 5. TPA-malli yhdistää HAZOP, VVKA ja riskianalyysin

HAZOP			VVKA					HAZOP	RISKIANALYYSI
Poikkeama	Mahdolliset syyt	Seuraukset	Kriittisyys					Ehdotetut toimenpiteet	Vastuuhenkilö ja päivämäärä
			Mo						
			S	E	P	Q	R		
1. Poikkeama	1.1 syy 1	1.1.1 seuraus 1							
		1.1.2 seuraus 2							
		1.1.3 seuraus 3							
	1.2 syy 2	1.2.1 seuraus 1							
		1.2.2 seuraus 2							
		1.2.3 seuraus 3							
2. Poikkeama	2.1 syy 1	2.1.1 seuraus 1							
		2.1.3 seuraus 2							
	2.2 syy 2	2.2.1 seuraus 1							
		2.2.3 seuraus 2							
3. Poikkeama	3.1 syy 1	3.1.1 seuraus 1							
4. Poikkeama									

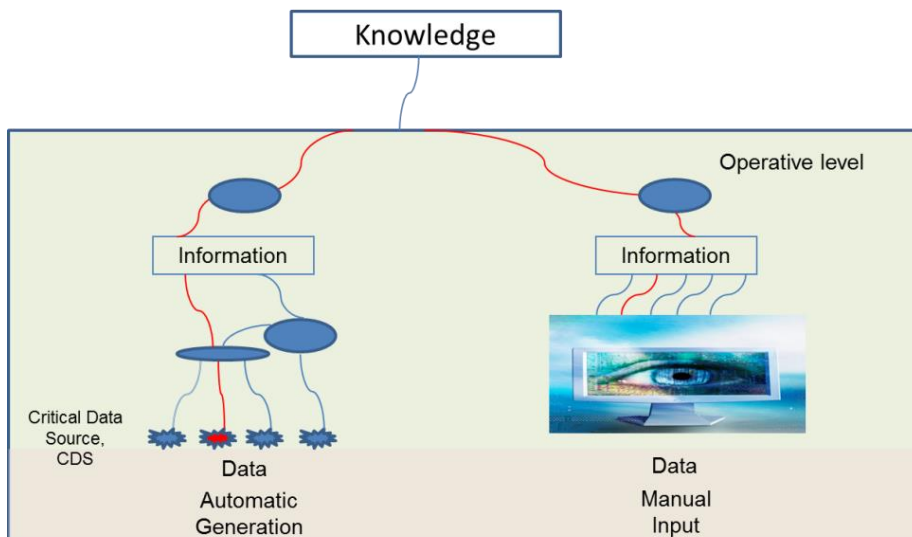
Taulukko 6. Turvallisuusriskin (S), ympäristöriskin (E), tuotannon menetykset (P), laatumenetykset (Q) ja korjauskustannusten (R) luokittelu

Luokka	Turvallisuusriskit (S)	Ympäristöriskit (E)	Tuotannon menetykset (P)	Laatumenetykset (Q)	Korjaus- tai seurauskustannukset (R)
A	Vakava turvallisuusriski	Vakava ympäristöriski	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatumenetyksiä, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä
B	Kohtalainen turvallisuusriski	Kohtalainen ympäristöriski	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatumenetyksiä, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä
C	Vähäinen turvallisuusriski	Vähäinen ympäristöriski	Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi	Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatumenetyksiä, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä	Keskinkertaiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä
0	Ei turvallisuusriskiä	Ei ympäristöriskiä	Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle	Laitteen toimimattomuus ei aiheuta lopputuotteen laatumenetyksiä.	Korjauskustannuksilla tai seurauskustannuksilla ei ole merkitystä suhteessa muihin menetyksiin.

4.2 OIE (Overall Information Efficiency)

OIE tarkastelun pohjana on löytyneiden kriittisten komponenttien tuottaman datan arviointi ja sen merkittävyyden toteaminen. Tarkastelussa pyritään löytämään OEE/KNL –laskennan analogiaa käyttäen, etsimällä datalähteelle laaduton lukuarvo, joka kuvaa kokonaisvaltaisesti datalähteen merkitystä suhteessa prosessiin. OIE määrittely edellyttää prosessin tarkastelua siten, että kriittiset datalähteet löydetään (CDS, Critical Data Source). Kuvassa 5 näkyy CDS, jonka tuottamaa dataa käsitellään eri tavoin integroiden sitä muiden datalähteiden tuottamien tietojen kanssa ja lopulta aina operatiiviselle tasolle informaatioksi ja käyttäjille jalostuvaksi tietämykseksi.

OIE laskennan tarkoituksena on optimoida käsitettä ”big data” siten, että käytettävissä on paremmin informaation tuottamiseen kohdentuvaa dataa, sen laatu on parempaa ja se on oikein ajoitettuna operaattoreille. OIE laskenta edellyttää prosessin tarkastelua uudella tavalla, huomioiden sen kokonaistehokkuus (OEE) sekä turvallisuus- ja ympäristövaikutukset häiriö tilanteissa.



Kuva 5. OIE tarkastelun periaate

OIE:n määrittely tapahtuu seuraavan taulukon 7 ja niihin liitettävien kriteerien avulla.

Taulukko 7. Malli OIE

Poikkeama	Syy	Käytettävyys	Nopeus	Laatu	Ehdotetut toimenpiteet

Kriteeristö taulukoinnin suorittamiseen on seuraava:

Käytettävyys

- A = informaatio vain yksittäisessä kohteessa
- B = informaatio prosessiohjausnäytöillä
- C = informaatio helposti saatavilla useisiin lähteisiin (esim. langattomasti)

Nopeus

- A = data integroidaan usean laskennan kautta ja lasketaan manuaalisesti
- B = data integroidaan usean laskennan kautta
- C = suoraan älykkästä laitteesta kohteisiin

Laatu

- A = oikeellisuus vaikeasti todennettavissa
- B = hankala todentaa oikeellisuus
- C = informaation laatu helppo todeta oikeaksi

Jokainen TPA tarkastelussa esille tullut kriittinen data lähde (CDS) tarkistetaan ja määritellään kohteelle toimenpide-ehdotus tarvittaessa.

4.3 Tiedonhallinnan soveltaminen

Aiemmin todettiin, että analyysimenetelmien avulla tunnistettujen vaaratilanteiden, riskien suuruuden ja ehkäisevien toimenpiteiden sopimisen lisäksi tulisi myös määritellä minkä tietojen (mittaustieto tai ihmisen tuottama) avulla vaarallinen tapahtuma voidaan ehkäistä ajoissa tai vähintäänkin minimoida vahingot tapahtuman sattuessa. Tällä tarkoitetaan, että ympäristö- ja turvallisuuspoikkeamien hallinnan kannalta oleelliset tiedot on tunnistettu ja varmistettu niiden oikeaoppinen käyttö. Tiedonhallinnan tavoitteena on varmistaa, että juuri oikeat tiedot, oikeassa muodossa, oikeaan aikaan tavoittavat oikean henkilön. Tavoitteena on ennakoida ja estää haitalliset ympäristö- ja turvallisuuspoikkeamat tai vähintäänkin minimoida vahingot poikkeamien sattuessa.

Tiedonhallinta on sateenvarjo, joka pitää sisällään analyysimenetelmät vaaratilanteiden tunnistamiseksi, riskin suuruuden arvioimiseksi, ehkäisevien toimenpiteiden toteuttamiseksi sekä mittaustietojen käyttämiseksi ympäristö- ja turvallisuuspoikkeamien estämiseen ja vahinkojen minimointiin. Seuraavassa osiossa on esitetty eräs malli ja lähestymistapa ympäristö- ja turvallisuuspoikkeamien hallintaan.

4.4 TPA ja OIE mallien testaaminen case kohteessa

Uusia kehitettyjä menetelmiä testattiin case-kohteessa Agnico Eagle Kittilän kaivoksessa. Kohteena oli rikastamossa sijaitseva autoklaavin savukaasupesuri. Taulukossa 8 esitetään esimerkki tulokset TPA-menetelmän tuloksista.

Taulukko 8. Esimerkki TPA menetelmästä case-kohteessa.

HAZOP			VVKA					HAZOP	RISKIANALYYSI
Poikkeama	Mahdolliset syyt	Seuraukset	Kriittisyys					Ehdotetut toimenpiteet	Vastuhenkilö ja päivämäärä
			Money						
			S	E	P	Q	R		
1. Putkilinjassa ei virtaa vettä	1.1 venttiili kiinni HVI221, unohtunut kiinni	1.1.1 kaasu ei puhdistu savukaasupesurissa, jolloin rikkiyhdisteitä pääsee raakana ilmaan	C	B	0	0	0	prosessin ylösajo ohjeistus (ohjeistus/muistutus venttiillin avaamiseen)	
		1.1.2 vettä ei pääse prosessiin jolloin tuotanto joudutaan ajamaan alas	C	C	B	C	0	prosessin ylösajo ohjeistus (ohjeistus/muistutus venttiillin avaamiseen)	
	1.2 venttiili kiinni HVI221, jumittunut	1.2.1 kaasu ei puhdistu savukaasupesurissa jolloin rikkiyhdisteitä pääsee raakana ilmaan	C	B	0	0	0	Venttiilille tehdään kunnonvalvonta ja huoltosuunnitelma kunnossapidon järjestelmään (varmista, että venttiili on huollettu)	
		1.2.2 vettä ei pääse prosessiin jolloin tuotanto joudutaan ajamaan alas	C	C	A	C	C	Venttiilille tehdään kunnonvalvonta ja huoltosuunnitelma kunnossapidon järjestelmään (varmista, että venttiili on huollettu)	N.M, dd.mm.yyyy
	1.3 prosessivesipumppu I, I250-5410-0001 rikkoutuu	1.3.1 kaasu ei puhdistu savukaasupesurissa, jolloin rikkiyhdisteitä pääsee raakana ilmaan	C	B	0	0	0	Pumpulle tehdään kunnonvalvonta ja huoltosuunnitelma kunnossapidon järjestelmään (varmista, että pumppu on huollettu)	
		1.3.2 vettä ei pääse prosessiin, jolloin tuotanto joudutaan ajamaan alas	C	C	A	C	A	Pumpulle tehdään kunnonvalvonta ja huoltosuunnitelma kunnossapidon järjestelmään (varmista, että pumppu on huollettu)	N.M, dd.mm.yyyy
1.4 Virtausmittari rikki (näyttää normivirtausta vaikka virtausta ei ole)	Sama kuin 1.2.2	C	A	B	C	C	Suoritetaan OIE-tarkastelu	N.M., dd.mm.yyyy	
2. Kaasuputkilinjassa ei virtaa kaasua	2.1 autoklaavilta tuleva putkilinja I00PVB010TD47 rikkoutuu	2.1.1 kaasua pääsee prosessiympäristöön, jolloin tuotanto joudutaan ajamaan alas	A	B	A	C	B	Tarkasta putken kunto	N.M, dd.mm.yyyy
	2.2 autoklaavilta tulevassa linjassa, paineensäätöventtiili PV0904 jumittunut	2.2.1 kaasua ei pääse pesurille, jolloin tuotanto joudutaan ajamaan alas	0	0	B	C	0	Huoltosuunnitelma PV0904 venttiilille	

OIE analyysi Agnico casessa

TPA tarkastelun jälkeen OIE taulukointiin valikoitui kohta I putkiliinjassa ei virtaa vettä. Alla taulukossa 9 määritellään anturin OIE ja määritellään toimenpiteet TPA:ssa havaitun poikkeaman estämiseksi tai vähintäänkin minimoimiseksi.

Taulukko 9. Case kohteen OIE toteaminen

Poikkema	Mahdolliset syyt	Käytettävyys	Nopeus	Laatu	Ehdotettu toimenpide
Putkiliinjassa ei virtaa vettä	1.4 virtausmittari rikki	B	A	C	Mittaritiedon käsittelyn optimoiminen

OIE tarkastelulla varmistetaan tiedon siirtyminen järjestelmiin optimaalisella, varmalla ja laadullisesti turvatulla tavalla.

5. Yhteenveto ja pohdinta

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kehittää uudenlainen analyysimenetelmä, jonka avulla voidaan tunnistaa sekä turvallisuuden että ympäristön kannalta vaarallisten rikkiihdisteiden esiintyminen kaivosten tuotantoprosesseissa. Aiempien tutkimushankkeiden yhteydessä on havaittu, että yleisimmin käytetyt analyysimenetelmät eivät yksinään riitä kokonaisvaltaiseen turvallisuus-, ympäristö- ja taloudellisten riskien hallintaan. Tässä tutkimuksessa kartoitettiin Vika-vaikutuskriittisyysanalyysin (VVKA), poikkeamatarkastelun (HAZOP) ja riskianalyysimenetelmän yhtäläisyyksiä sekä hyviä ja huonoja puolia. Tuloksena luotiin ehdotus uudesta analyysimenetelmästä, johon pyrittiin kokoamaan edellä mainittujen menetelmien parhaat puolet, poistamaan epäkohdat sekä karsimaan päällekkäisiä vaiheita. Lopputuloksena saatiin analyysimenetelmä, jonka avulla turvallisuus-, ympäristö- ja taloudellisten riskien arviointi ja hallinta on mahdollista toteuttaa samalla kertaa entistä helpommin ja luotettavammin.

Kehitettyä menetelmää demonstroitii case-kohteessa, joksi valittiin Agnico Eaglen Kittilän kultakaivoksen rikastamo ja sieltä tarkemmin savukaasupesuri. Uuden mallin avulla tuotannossa tapahtuville poikkeamille etsittiin ensin syy- ja seuraussuhteet. Havaittiin, että mallin avulla on mahdollista huomioida laitevikojen lisäksi myös prosessisuureiden muutosten aiheuttamat syyt sekä prosessin käytöstä johtuvat inhimilliset syyt. Sen jälkeen seurausten vakavuus arvioitiin mallin mukaisesti turvallisuuden, ympäristön ja talouden kannalta. Havaittiin, että mallin avulla seurausten vakavuuden arviointi on helpompaa ja luotettavampaa verrattuna perinteiseen menetelmään.

Samoin havaittiin, että syy-seuraussuhteiden ollessa selvillä voidaan ympäristövaikutuksen lisäksi pienellä vaivalla arvioida samalla myös turvallisuus- ja talousvaikutukset. Todettiin myös, että turvallisuus-, ympäristö- ja talousvaikutusten suuruutta ei tule laskea yhteen kriittisyysluokittelussa. Tämä vääristää tulosten tulkintaa. Samoin talousvaikutukset eriteltiin tuotannonkeskeytyksestä, laadunheikkenemisestä ja korjauskustannuksista aiheutuviin vaikutuksiin. Tämä siksi, että arvio on tarkempi ja ehdotetut toimenpiteet riippuvat siitä mikä näistä aiheuttaa suurimmat taloudelliset menetykset. Turvallisuus-, ympäristö- ja talousvaikutusten erillään pitäminen tarkentaa analyysia ja mahdollistaa paremmin oikeiden toimenpiteiden määrittelyn. Tämä ei myöskään lisää arvioinnin työmäärää ratkaisevasti.

Poikkeaman syy-seuraussuhteiden ja vaikutusten arvioinnin jälkeen määritellään vakaville poikkeamille korjaavat toimenpiteet, jolla vahingot voidaan ehkäistä tai vähintäänkin minimoida. Yksi toimenpide-ehdotus vakaville seurauksille on OIE-tarkastelu. OIE-tarkastelulla määritellään minkä tietojen (mittaustieto tai ihmisen tuottama) avulla haitallinen tapahtuma voidaan ehkäistä tai vahingot minimoida. OIE-malli ottaa kantaa tiedon käytettävyyteen, nopeuteen ja laatuun, jotta haitallinen tapahtuma kyetään ehkäisemään tai vahingot minimoimaan. OIE-tarkastelu suositellaan tehtäväksi TPA-menetelmällä havaituille haitallisille poikkeamille.

Viimeisessä vaiheessa sovituille toimenpiteille määritellään vastuuhenkilö ja aikataulu. Toimenpiteiden toteutumista tulee myös seurata ja niiden jälkeen arvioida poikkeaman kriittisyys uudelleen. Ehdotettu TPA-menetelmä yhdessä OIE-tarkastelun kanssa mahdollistaa ympäristön, turvallisuuden ja talouden kannalta kriittisimpien poikkeamien tiedonhallinnan. Tiedonhallinnalla puolestaan pyritään systemaattisesti ehkäisemään vakavat seuraukset tai vähintäänkin minimoimaan niiden vaikutukset.

Lähteet

Agnico Eagle Finland (2014) www company home pages. Viitattu 14.11.2014.
<http://www.agnicoeagle.fi/en/aboutus/mineralprocessing/Pages/home.aspx>

Aluehallintovirasto ympäristöluvut (2013), **Kittilän kaivoksen toiminnan laajentaminen ja ympäristö- ja vesitalousluvan tarkistaminen**, Kittilä. Lupapäätös Nro 72/2013/IDno PSAVI/100/04.08/2011 Annettu julkipanon jälkeen 26.6.2013. Hakupäivä 25.6.2014.
<http://www.avi.fi/documents/10191/56958/psavi_paatos_72_2013_1-2013-06-26.pdf/68dd28c2-8036-4107-9b17-01c0c5c87b76 >

Peltola, J. (2011) **PK 10 ennakkohuollon nykytilan selvitys ja laitteiden kriittisyysanalyysi**. Kone- ja tuotantotekniikka. Tekniikan ja liikenteen ala. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 11.11.2014.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/34191/Peltola_Jani.pdf?sequence=1

PSK 6800. (2008) **Criticality Classification of Equipment in Industry**. PSK Standards Association.

Mei Rong; Tingdi Zhao; Yang Yu. (2008) **Advanced Human Factors Process Failure Modes and Effects Analysis**. Beijing University on Aeronautics and Astronautics, Reliability and Maintainability Symposium, 2008. RAMS 2008. Viitattu 11.11.2013. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=4925823&queryText%3DRong%2C+Mei%2C+Zhao%2C+Tingdi%2C+Yand%2C+Yu%2C>

SFS 5438. (1988) **Analysis techniques for system reliability. Procedure for failure and effects analysis (FMEA)**. SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS RY. Suomen sähköteknillinen standardisoimisyhdistys SESKO.

SFS-IEC 60300-3-9. (2000) **Luotettavuusjohtaminen osa 3käyttöopas. luku 9: Teknisten järjestelmien riskianalyysi**. Suomen standardoimisliitto SFS ry. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry.

SFS-IEC 60300-3-9. (2000) **Dependability management. Part 3: Application guide. Section 9: Risk analysis of technological systems**. Suomen standardoimisliitto SFS ry. Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys ry.

Työturvallisuuslaki. **Työsuojelulaki 738/2002**; 8§, 10§

Työturvallisuuslaki. Työsuojelulaki 738/2002; 10§

Työturvallisuuskeskus, **työturvallisuuskorttikoulutuksen oppimateriaali**, Viitattu 13.11.2014. <http://www.tyoturva.fi/>

Wessberg, N., Seppälä, J., Molarius, R., Koskela, S., Pennanen, J., Silvo, K. & Kekoni, P. (2006) **Häiriöpäästöjen ympäristöriski-analyysi, YMPÄRI -hankkeen suositukset, Suomen ympäristö 2/2006**, Ympäristönsuojelu, 63 s., Suomen ympäristökeskus. URN:ISBN:952-11-2167-X (PDF). Viitattu 11.11.2014. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=174038&lan=fi>

Mei Rong; Tingdi Zhao; Yang Yu. (2008) **Advanced Human Factors Process Failure Modes and Effects Analysis**. Beijing University on Aeronautics and Astronautics, Reliability and Maintainability Symposium, 2008. RAMS 2008. Viitattu 10.1.2013. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=4925823&queryText%3DRong%2C+Mei%2C+Zhao%2C+Tingdi%2C+Yand%2C+Yu%2C>

Trammel Steven R and Davis Brett J. 2001. Using a modified HAZOP/FMEA methodology for assessing system risk. Viitattu 9.1.2013. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=991310>

www.comcare.gov.au, (2013) Major Hazard Facilities, Hazard identification, Australia's safest workplaces, s.53, Viitattu 11.1.2013. <http://www.comcare.gov.au>