

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Tekninen tiedekunta
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Kandidaatintutkielma

Prosessiturvallisuusindeksien vertailu

Sisällys

1	Johdanto	2
2	Prosessiturvallisuus	4
3	Prosessiturvallisuusindeksit	5
3.1	Dow Fire and Explosion index.....	5
3.2	Mond-indeksi	6
3.3	Prototype Index of Inherent Safety (PIIS)	6
3.4	Anna-Mari Heikkilän indeksi.....	7
4	Indeksin soveltaminen esimerkkiprosessiin.....	9
4.1	Prosessin esittely	9
4.2	Dow-indeksin soveltaminen.....	10
4.3	Anna-Mari Heikkilän indeksi.....	12
5	Indeksi menetelmien vertailu	15
5.1	Dow- ja Mond-indeksi	17
5.2	Prototype Index of Inherent Safety (PIIS)	17
5.3	Anna-Mari Heikkilän indeksi.....	17
6	Johtopäätökset	19
	LAHTEET.....	21

1 Johdanto

Prosessikehitykseen kuuluu oleellisena osana prosessin aiheuttamien vaarojen arviointi. Yleensä vain luotettava ja varmatoiminen prosessi on kannattava. Epäluotettava prosessi voidaan joutua ajamaan alas usein, mikä aiheuttaa tappioita esimerkiksi tuotannonmenetyksinä. Lisäksi prosessien ylös- ja alasajoihin liittyy usein normaalikäytöstä poikkeavia riskejä.

Prosessin vaarojen arviointiin on kehitetty useita menetelmiä. Prosessin turvallisuusarvioinnissa pyritään saamaan esille prosessin heikkoudet ja kehittämään prosessia turvallisemmaksi. Prosessiturvallisuutta on pyrittävä arvioimaan säännöllisin väliajoin koko prosessin elinkaaren ajan. Erityisen tärkeää prosessiturvallisuuden arviointi on kuitenkin prosessin elinkaaren alkuvaiheessa.

Varhaisessa suunnitteluvaiheessa olevasta prosessista on rajallisesti tietoa, eikä turvallisuusarvion tekemisessä voida käyttää esimerkiksi PI-kaaviota. Toisaalta suunnittelupöydällä prosessiin on vielä helppo tehdä muutoksia. Kun tarkastellaan jo olemassa olevan prosessin turvallisuutta tai prosessiin tehtävän muutoksen turvallisuutta käytettävissä on usein reilusti tietoa itse prosessista, mutta mahdollisuudet perustavan laatuisiin muutoksiin ovat hyvin rajalliset.

Prosessia suunniteltaessa turvallisuusongelmia voidaan ratkaista huomattavasti laajemmalla keinovalikoimalla kuin jo rakennetun prosessin turvallisuutta kehitettäessä. Prosessiturvallisuusnäkökulma voi vaikuttaa merkittävästi valittavaan prosessiin. Muuten hyvä prosessi voi osoittautua niin vaaralliseksi, ettei sen toteuttaminen ole järkevää.

Prosessien suunnittelunaikaiseen turvallisuusarviointiin on kehitetty useita indeksointiin perustuvia menetelmiä, joiden avulla pyritään arvioimaan prosessin turvallisuusriskit numeerisesti. Näin eri prosessityyppien turvallisuuden vertailu on huomattavasti helpompaa. Jokainen turvallisuusindeksi painottuu kuitenkin

hieman erilaisiin turvallisuusriskeihin, joten niiden antamat tulokset eroavat hieman toisistaan.

Työn tarkoituksena on esitellä ja vertailla yleisimmin käytettyjä prosessiturvallisuutta mittaavia indeksejä ja menetelmiä. Lisäksi kahta erityyppistä menetelmää on sovellettu yksinkertaiseen esimerkkiprosessiin, jotta niiden eroista saataisiin selkeämpi kuva.

2 Prosessiturvallisuus

Turvallisuus voidaan määritellä negatiiviseksi käsitteeksi, joka tarkoittaa vaaran tai riskin poissaoloa. Kuitenkin usein puhuttaessa prosessien turvallisuudesta käsite turvallisuus käsitetään olemassa olevina vaaroina tai riskeinä. Tällöin kyse on enemmän riskien hallinnasta ja riskin siedettävyyden arvioinnista. (Prosessien vaarojen tunnistaminen ja riskien hallinta)

Prosessin turvallisuuteen voidaan vaikuttaa useilla eri tavoilla. Yleensä turvallisin prosessi saadaan aikaan, jos pystytään suunnittelemaan koko prosessi luontaisesti turvallisiksi. Esimerkiksi käytetään lähtöaineina turvallisina pidettyjä kemikaaleja, tehdään reaktio olosuhteissa, joissa ei vallitse esimerkiksi korkeita lämpötiloja tai paineita ja käytetään valmistuksessa endotermisiä reaktioita. (Prosessien vaarojen tunnistaminen ja riskien hallinta)

Toinen vaihtoehto prosessiturvallisuuden parantamiseen on pyrkiä estämään erilaisten tapahtumien syntyminen esimerkiksi varmistamalla eksotermisen reaktion jäähdytettävyyden toisistaan riippumattomilla järjestelmillä. Lisäksi usein on tarpeen varautua jäähdytyksen pettämiseen luomalla reaktioastiaan turvalliset purkureitit paineelle esimerkiksi varoventtiilien tai murtolevyjen avulla. (Prosessien vaarojen tunnistaminen ja riskien hallinta)

Turvallisuussuunnittelu on eräs merkittävä osa prosessisuunnittelua, koska turvallisuusseikat vaikuttavat usein suoraan projektin kannattavuuteen ja yleiseen hyväksyttävyyteen. (Prosessien vaarojen tunnistaminen ja riskien hallinta)

3 Prosessiturvallisuusindeksit

Erityyppisten prosessien turvallisuuden vertailu voi olla hyvinkin hankalaa esimerkiksi, jos samaa tuotetta valmistetaan täysin erilaisilla menetelmillä. Toisessa prosessissa lähtöaineina saatetaan käyttää huomattavasti vaarallisempia tai vaikeammin hallittavia aineita. Toisessa prosessissa sama lopputuote saadaan vähemmän vaarallisista lähtöaineista, mutta reaktio-olosuhteet voivat olla huomattavasti vaikeammin hallittavat. Esimerkiksi reaktio tapahtuu vasta huomattavan korkeassa lämpötilassa ja paineessa. Tällöin vaihtoehtojen turvallisuuden vertaaminen ei aina välttämättä ole kovin yksinkertaista.

Erilaisten prosessien turvallisuuden vertailua helpottamaan on kehitetty useita erilaisia prosessiturvallisuusindeksejä. Indekseillä on usein melko rajoitetut käyttökohteet ja eri indekseissä otetaan huomioon erilaisia vaaroja. Jotkut indeksointimenetelmät ottavat huomioon myös taloudelliset seikat.

3.1 Dow Fire and Explosion index

Dow-indeksi ja Mond-indeksi ovat olleet käytössä jo vuosia ja ovat edelleen eniten käytetyt indeksointimenetelmät prosessiturvallisuuden arvioimiseen. Useimmat muut indeksit ovat näiden indeksien pohjalle tehtyjä kehitysversioita, jotka ottavat huomioon tiettytyyppisten prosessien ominaispiirteet. (Heikkilä 1999)

Dow-indeksin laskennan pohjana käytetään materiaalitekijää, joka riippuu prosessin materiaaleista ja aineista, sekä yksikköturvallisuustekijää, joka riippuu yksikköprosesseista. Materiaalitekijä kertoo vapautuvan energian määrän yleisimmille vaarallisille aineille ja aineiden seoksille. Dow on listannut useiden eri kemikaalien ja materiaalien materiaalitekijät. (Heikkilä 1999)

Yksikköturvallisuustekijä riippuu tuotteesta ja prosessille tyypillisistä vaaroista. Tekijä on erilainen esimerkiksi endo- ja eksotermisille reaktioille, materiaalin

käsittelylle ja kuljetukselle. Tekijän suuruuteen vaikuttavat myös esimerkiksi käytettyjen materiaalien myrkyllisyys, mahdolliset paine- ja lämpötilaerot. (Heikkilä 1999)

Dow-indeksin laskemiseen tarvittavat tiedot yleisimmille kemikaaleille löytyvät Dow:n julkaisemasta oppaasta Dow's Fire & Explosion Hazard index Classification Guide (Coulson & Richardson 2008)

3.2 Mond-indeksi

Mond-indeksi perustuu Dow-indeksin vanhempiin versioihin. Sen avulla pystytään tarkastelemaan laajemmin esimerkiksi varastointia. Se myös huomioi kemikaalit, joilla on räjähdysominaisuuksia prosessin olosuhteissa. Mond-indeksi huomioi tarkemmin myös muita vaaraominaisuuksia, jotka ovat Dow-indeksissä jääneet vähemmälle huomiolle. (Coulson & Richardson 2008)

Mond-indeksiä voidaan käyttää useamman tyyppisiin prosesseihin kuin Dow-indeksiä. Toisaalta Mond-indeksin laskemiseen tarvitaan enemmän tietoa mm. prosessilaitoksen layoutista. Tällöin Mond-indeksi on hyödyllinen hieman myöhäisemmässä suunnittelun vaiheessa kuin Dow-indeksi. (Heikkilä 1999)

3.3 Prototype Index of Inherent Safety (PIIS)

Prototype Index of Inherent Safety eli PIIS eroaa edellä esitetyistä indeksimenetelmistä lähestymistavaltaan. PIIS huomioi ylläesitettyjä huomattavasti tarkemmin kemialliset tapahtumat prosessissa. Siinä käydään kemiallinen prosessi läpi askel askeleelta lähtöaineista aina valmiiseen tuotteeseen saakka. (Heikkilä 1999)

PIIS-indeksi painottaa luontaisesti turvallisia prosesseja. Sen painopiste on selkeästi kemiallisissa tapahtumissa, eikä se juuri huomioi esimerkiksi fysikaalisia vaaratekijöitä yhtä tarkasti kuin Dow- ja Mond-indeksit.

3.4 Anna-Mari Heikkilän indeksi

Anna-Mari Heikkilä kehitti väitöskirjatyössään yhteydessä menetelmän, jossa pyritään huomioimaan prosessin turvallisuuteen vaikuttavat tekijät mahdollisimman tarkasti jo prosessikehityksen varhaisessa vaiheessa. Heikkilän indeksi pohjautuu osin aiemmin tässä työssä esitettyihin indeksointimenetelmiin. (Heikkilä 1999)

Anna-Mari Heikkilän indeksissä lasketaan kaksi erillistä indeksiä: kemiallinen ja prosessitekniinen sisäisen turvallisuuden indeksi. Kemiallisen indeksin laskennassa huomioidaan reaktion termiset ominaisuudet, syttymisominaisuudet, räjähdysominaisuudet, myrkyllisyys, korroosio-ominaisuudet ja kemikaalien vuorovaikutukset. Prosessiturvallisuusindeksi puolestaan muodostuu prosessiolosuhteista sekä laitteiden ja prosessirakenteen turvallisuudesta. (Heikkilä 1999)

Anna-Mari Heikkilän indeksi on suunniteltu soveltumaan erityisesti tietokoneavusteiseen riskien arviointiin. Tietokoneen avulla pystytään ottamaan huomioon huomattavasti laajempia kokonaisuuksia samalla työmäärällä kuin perinteisin menetelmin tehdyssä riskiarvioinnissa. (Heikkilä 1999)

Anna-Mari Heikkilän indeksin laskemiseksi määritetään yhteensä 12 erillistä turvallisuuteen vaikuttavaa osaindeksiä. Kemiallista turvallisuutta arvioidaan reaktiovaarojen ja materiaalivaarojen perusteella. Reaktiovaara pitää sisällään reaktioiden reaktiolämmöt ja muut kemialliset vuorovaikutukset. Materiaalivaaroissa puolestaan arvioidaan käytettävien aineiden vaaraominaisuuksia kuten syttyvyyttä ja myrkyllisyyttä. (Heikkilä 1999)

Kemiallinen turvallisuusindeksi on summa osaindeksien maksimiarvoista. Syttymisominaisuuksista, räjähdysominaisuuksista ja myrkyllisyydestä valitaan suurimman riskin aiheuttava tekijä. Prosessitekniinen turvallisuus arvioidaan varastointitarpeiden, prosessiolosuhteiden, prosessilaitteiden ja prosessin rakenteen avulla. (Heikkilä 1999)

Jokaisen osaindeksin arvo saadaan Heikkilän (1999) väitöskirjassaan esittämien taulukoiden avulla. Osaindeksi saa sitä suuremman arvon, mitä suurempi on kyseisen ominaisuuden aiheuttama riski koko prosessille.

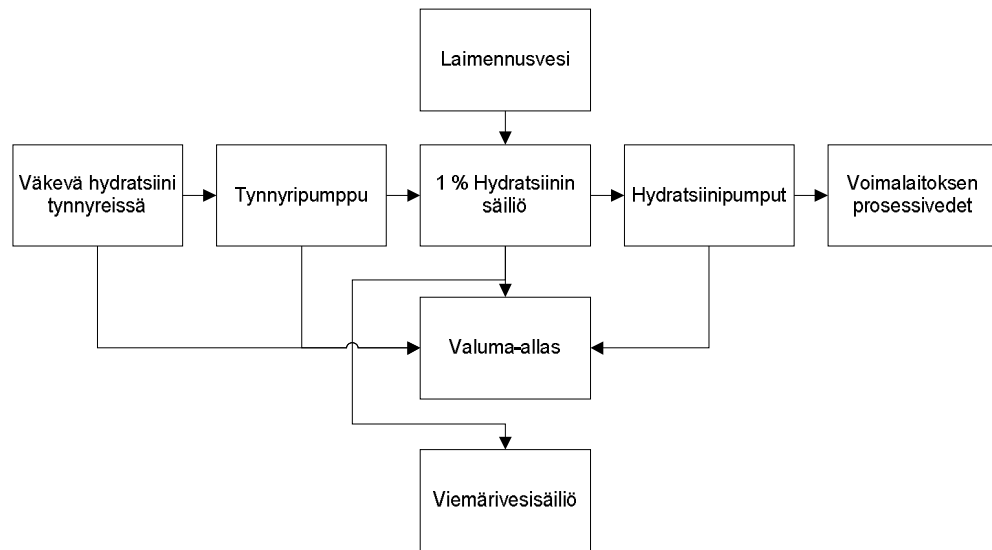
4 Indeksien soveltaminen esimerkkiprosessiin

Jotta saataisiin käsitystä prosessiturvallisuusindeksien eroavaisuuksista, sovellettiin Dow-indeksiä ja Heikkilän indeksiä esimerkkiprosessiin. Näin saatiin käsitys indeksimenetelmien käytöstä. Esimerkkiprosessiksi valittiin hydratsiinin varastointi-, laimennus- ja pumppausasema.

4.1 Prosessin esittely

Prosessiturvallisuusindeksimenetelmiä sovellettiin hydratsiinin pumppausprosessiin. Sinällään prosessi on yksinkertainen laimennusprosessi. Haasteita prosessin turvallisuudelle kuitenkin tuo hydratsiinin myrkyllisyys ihmisille ja ympäristölle.

Varastointi-, laimennus- ja pumppausasemalla käsitellään hydratsiinia hydratsiinihydraattina. Hydratsiini varastoidaan 200 litran tynnyreissä 55 paino-% hydratsiinihydraattina. Väkevää hydratsiinia laimennetaan noin 1 % käyttöliuokseksi, joka varastoidaan erillisessä säiliössä. Säiliöstä hydratsiinia pumpataan neljällä pumpulla voimalaitoksen prosessivesiin. Hydratsiinipumppaamon toimintaperiaate on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Hydratsiinipumppamon toimintaperiaate.

Hydratsiinia käytetään hapen poistoon esim. voimalaitosvesistä. Hydratsiini reagoi hapen kanssa muodostaen vettä ja typpeä. Tämä reaktio sitoo prosessiin mahdollisesti päässeen hapen ja vähentää näin korroosiota prosessissa.

Hydratsiini on myrkyllinen ja syöpävaarallinen aine. Väkevän hydratsiinin hajoamisreaktio on räjähdysmäinen korkeissa lämpötiloissa kuten tulipalotilanteessa. 55- % hydratsiinihydraattia voidaan normaaleissa varastointilämpötiloissa kuitenkin pitää stabiilina aineena. (OVA-ohje)

4.2 Dow-indeksin soveltaminen

Dow-indeksin soveltamista varten tarvitaan tietoa aineiden ominaisuuksista sekä perustiedot prosessilaitteista. Toisaalta Dow-indeksiä voidaan soveltaa, vaikkei kaikkia tarvittavia tietoja ole tarjolla, kunhan vertailtavista prosesseista on tiedossa samat turvallisuuteen vaikuttavat ominaisuudet. Taulukossa I on esitetty DOW-indeksin soveltamisen käytössä olleeseen esimerkkiprosessiin.

Taulukko I. DOW-indeksin soveltaminen hydratsiinin laimennusprosessiin

FIRE & EXPLOSION INDEX			
Materials in process unit	Hydratsiinin laimennos		
Basic material(s) of the material factor	Hydratsiini		
MATERIAL FACTOR			4
1. GENERAL PROCESS HAZARDS		Penalty Factor Range	Penalty Factor Used
BASE FACTOR		1	1
A. Exothermic Chemical Reactions		0.3 to 1.25	
B. Endothermic Processes		0.2 to 0.4	
C. Material Handling and Transfer		0.25 to 1.05	0,75
D. Enclosed or Indoor Process Units		0.25 to 0.9	
E. Access		0.20 to 0.35	
F. Drainage and Spill Control		0.25 to 0.50	
GENERAL PROCESS HAZARDS FACTOR (F1)			1,75
2. SPECIAL PROCESSES HAZARDS			
BASE FACTOR		1	1
A. Toxic Material(s)	Hydratsiini	0.2 to 0.8	0,6
B. Sub-Atmospheric Pressure (< 500 mm Hg)		0.5	
C. Operation In or Near Flammable Range			
1. Tank Farms Storage Flammable Liquids		0.5	
2. Process Upset or Pirge Failure		0.3	
3. Always in Flammable Range		0.8	
D. Dust Explosion		0.25 to 2.0	
E. Pressure			
F. Low Temperature		0.2 to 0.3	
G. Quantity of Flammable/Unstable Material			
1. Liquids or Gases in Process			
2. Liquids or Gases in Storage			
3. Combustible Solids in Storage, Dust In Process			
H. Corrosion and Erosion		0.1 to 0.75	
I. Leakage - Joints and Packing		0.1 to 1.50	
J. Use of Fired Equipment			
K. Hot Oil Heat Exchange System		0.15 to 1.15	
L. Rotating Equipment		0.50	
SPECIAL PROCESS FACTOR (F2)			1,6
PROCESS UNIT HAZARD FACTOR (F1 X F2) = F3			2,8
FIRE AND EXPLOSION INDEX (F3 X MF = F & EI)			11,2

Esimerkki sovelluksessa materiaalikertoimenä on käytetty Coulsonin ja Richardsonin kirjassaan esittämää arvoa ammoniakille (Coulson & Richardson 2008, s. 373), koska laimeina vesiliuoksina hydratsiini muistuttaa kemiallisesti melko paljon ammoniakkia.

Yleisiä prosessivaaroja arvioitaessa on todettu, että hydratsiinin laimentaminen on fyysikaalinen ilmiö. Materiaalin käsittely- ja kuljetusriskiksi on arvioitu melko

suuri arvo, koska väkevä hydratsiinihydraatti on myrkyllinen aine ja sitä joudutaan käsittelemään tynnyreissä, jotka ovat säiliöitä alttiimpia kuljetuksen aikaisille vaurioille. Hydratsiinin pumppausta tynnyristä 1 % -hydratsiinin säiliöön ei ole automatisoitu.

Prosessille tyypillisiksi riskeiksi on tunnistettu hydratsiinin myrkyllisyys, joka sijoittuu vaara-asteikon puoliväliin, koska hydratsiini ei tapa välittömästi pienen altistuksen jälkeen, mutta on kuitenkin luokiteltu myrkylliseksi, syöpävaaralliseksi ja ympäristömyrkyksi. Muita prosessille tyypillisiä riskejä ei tunnistettu.

Dow-indeksi ei ole paras mahdollinen indeksi hydratsiinin laimennusprosessin turvallisuuden arviointiin. Se on parhaimmillaan sellaisten prosessien arvioinnissa, joissa vallitsevat prosessiolosuhteet itsessään aiheuttavat vaaraa, esimerkiksi korkeassa lämpötilassa tai paineessa tapahtuvissa prosesseissa.

4.3 Anna-Mari Heikkilän indeksi

Anna-Mari Heikkilän indeksin laskemisessa tarvitaan Dow-indeksiä vähemmän tietoa käytettävien aineiden kemiallisista ominaisuuksista, mutta toisaalta vaaditaan laajemmat tiedot kemiallisista reaktioista ja prosessilaitteista. Indeksien laskenta on esitetty taulukossa II.

Taulukko II. Anna-Mari Heikkilän indeksin soveltaminen hydratsiinin laimennusprosessin turvallisuusindeksin laskemiseksi

<i>Kokonaisturvallisuusindeksi</i>	9
Kemiallisen turvallisuusindeksi	6
<i>Reaktiovaarat</i>	
Pääreaktion reaktiolämpö	0
Sivureaktioiden reaktiolämpö	0
Kemialliset vuorovaikutukset	0
<i>Materiaalivaarat</i>	
Syttymisominaisuudet	1
Räjähdyso ominaisuudet	0
Myrkyllisyys	6
Korrondoivuus	0
Prosessitekkinen turvallisuusindeksi	3
<i>Prosessiolosuhteet</i>	
Varastointi	0
Prosessin lämpötila	0
Prosessin paine	0
<i>Prosessilaitteet</i>	
Laitteet	1
Prosessin rakenne	2

Reaktiovaarat on hydratsiinin laimennusprosessissa todettu lähes olemattomiksi. Laimennusprosessissa ei juuri ole vaaraa sivureaktioista ja käytännön kokemuksen mukaan laimennusprosessissa ei vapaudu merkittäviä määriä lämpöä, joten pääreaktionkin reaktiolämmön vaikutus turvallisuuteen on mitätön. Kemiallisia vuorovaikutuksiakaan ei juuri esiinny normaaleissa prosessiolosuhteissa.

Materiaalivaaroja määritettäessä päävaaraksi muodostui hydratsiinin myrkyllisyys. Myrkyllisyyden indeksin määrittely tehdään HTP-arvojen perusteella. Hydratsiinille kahdeksan tunnin arvo on 0,1 ppm (OVA-ohje), mikä antaa indeksille suurimman mahdollisen arvon 6 (Heikkilä 1999).

Hydratsiini on palavaa ja voi aiheuttaa tulipalossa myrkyllisiä kaasuja. (Käyttöturvallisuustiedote) ja tämän takia palamisominaisuuksia kuvaavan osaindeksin arvo on yksi. (Heikkilä 1999).

Hydratsiini ei muodosta käyttöolosuhteissa eikä lähellä käyttöolosuhteita räjähdysvaarallista seosta, joten sen voidaan katsoa olevan räjähdysturvallinen. Eräs hydratsiinin pääkäyttötarkoituksista on korroosion esto voimalaitosprosesseissa. Se ei käytettävänä vahvuuksina ja käyttöolosuhteissa aiheuta korroosiota, vaan ehkäisee hapen korrondoivaa vaikutusta reagoimalla hapen kanssa. (Käyttöturvallisuustiedote)

Hydratsiinin laimennusprosessin prosessiolosuhteet eivät juuri aiheuta vaaraa. Kemikaalia varastoidaan pieniä määriä pienissä pakkauksissa, lisäksi prosessin paineet ja lämpötilat ovat lähellä ympäristön olosuhteita. Prosessin laitteet ja rakenne aiheuttavat pienen riskin, koska hydratsiiniastioita käsitellään ihmisvoimin liuoksen valmistuksen yhteydessä. (Heikkilä 1999)

5 Indeksi menetelmien vertailu

Taulukossa III on esitetty eri indeksointimenetelmien tarvitsemia esitietoja. Yksinkertaisimmillaan prosessiturvallisuutta voidaan arvioida, kun tunnetaan prosessin kemialliset ominaisuudet ja prosessiolosuhteet. Kuitenkin eri indeksointimenetelmissä painotetaan eri tavalla erityyppisiä vaaroja.

Taulukko III. Eri prosessiturvallisuusindeksimenetelmien vaatimia pohjatietoja

Lähtötiedot	Dow Fire and Explosion Index	Mond Index	Prototype Index of Inherent Safety	Anna-Mari Heikkilän indeksi
Kemialliset vaatimukset				
Reaktiivisuus ja stabiilius	+	+	+	+
Reaktiot veden kanssa	+			+
Syttymisominaisuudet	+	+	+	+
Leimahdusominaisuudet	+		+	+
Reaktion termiset ominaisuudet	+	+		+
Pölyn ominaisuudet	+			
Korroosio-ominaisuudet	+		+	+
Räjähdyso ominaisuudet		+		+
Myrkyllisyys		+	+	+
Fysikaaliset muutokset		+	+	
Kemikaalien vuorovaikutukset				+
Prosessi- ja laitevaatimukset				
Prosessityyppi	+	+		+
Prosessiolosuhteet	Etäisyys leimahdusalueesta paine lämpötila materiaalien laatu vuodot - liitokset ja pakkaukset laitetyypit	Lämpötila paine korroosio/eroosio- ominaisuudet	Lämpötila paine saanto	+
Prosessisuojaus	Prosessiohjaus, materiaalien erotus, palosuojaus, padotus			
Aineensiirto		+		
Prosessin rakenne	Virtauskaavio ja laitteiden sijoittelu	Lay out ja laitteiden sijoittelu		Prosessi laitteet ja prosessin rakenne

Kuten taulukosta III voidaan havaita uudemmat prosessiturvallisuusindeksit käsittelevät prosessiturvallisuutta useammasta näkökulmasta kuin esimerkiksi

Dow-indeksi. Toisaalta laajan näkökulman käyttäminen vaatii usein enemmän tietoa itse prosessista, jolloin indeksin käytettävyys huononee etenkin, jos verrataan erityyppisiä valmistusprosesseja, joista on vielä mahdollisesti käytettävissä eri tietoja. Tällöin menetelmän antamat indeksit eivät välttämättä ole vertailukelpoisia ja vertailukelpoisen indeksin laskemiseksi on jätettävä merkittäviäkin turvallisuustekijöitä huomioimatta.

Uudemmat menetelmät, kuten Anna-Mari Heikkilän indeksi, ottavat paremmin huomioon prosessikokonaisuuden. Toisaalta niiden soveltaminen on Dow-indeksiä vaikeampaa, koska niissä tarkastellaan yksityiskohtaisemmin prosessin osia ja prosessiosien ominaisuuksia.

Uudemmat prosessiturvallisuutta arvioivat menetelmät ovat pitkälti tietokonepohjaisia sovelluksia, joiden lisenssimaksut ovat huomattavan suuria esimerkiksi Dow-indeksiin verrattuna. Lisäksi menetelmät ovat sen verran monimutkaisia, että indeksin laskemiseksi tarvitaan paljon asiantuntemusta ja työtä.

Suurimmat erot eri indeksointimenetelmien välillä on nähtävissä prosessi- ja laitevaatimuksissa. PIIS-menetelmässä keskitytään lähinnä kemiallisiin ominaisuuksiin ja varsinainen prosessitekkninen tieto ei juuri vaikuta indeksin laskentaan. Toisaalta Dow-indeksi korostaa muihin verrattuna melko vahvasti prosessin ominaisuuksia.

Dow-indeksin soveltamiseen on muodostunut selkeä käytäntö ja indeksimenetelmän kehityksen yhteydessä toistettavuuteen on kiinnitetty huomiota, jolloin lasketut indeksit ovat vertailukelpoisia. Kuitenkin esimerkiksi Heikkilä indeksissä on niin paljon erilaisia muuttujia, että herää kysymys, ovatko eri henkilöiden laskemat indeksit enää vertailukelpoisia.

5.1 Dow- ja Mond-indeksi

Dow- ja Mond-indeksit soveltuvat hyvin rajatun tyyppisten prosessien riskien kartoitukseen. Dow-indeksi ei juuri huomioi prosessin kemiallisia ominaisuuksia, vaan keskittyy lähinnä prosessilaitteiden ja putkistojen kestävyuden arviointiin. Indeksissä ei juurikaan huomioida esimerkiksi vaarallisia sivureaktioita. Mond-indeksissä on kehitysversio Dow-indeksistä. Se soveltuu monipuolisemmin prosessien tarkasteluun ja huomio esimerkiksi layoutin paremmin.

Dow- ja Mond-indeksit ovat ensimmäisiä ja sen takia varmasti käytetyimpiä indeksimenetelmiä prosessien vaarojen arviointiin. Ne ovat melko tunnettuja ja niiden soveltamisesta on paljon kokemusta. Tämän takia niitä käytetään edelleen runsaasti prosessiturvallisuusindekseinä.

5.2 Prototype Index of Inherent Safety (PIIS)

PIIS-menetelmä keskittyy vahvasti kemiallisen turvallisuuden arviointiin. Siinä pyritään korostamaan prosessin sisäistä ja luontaista turvallisuutta. Muista tässä esitetyistä indekseistä se eroaa merkittävästi siten, ettei siinä merkittävästi huomioida prosessilaitteiden vaikutusta kokonaisturvallisuuden kannalta. Toisaalta erilaisen lähestymistavan vuoksi PIIS-indeksi puolustaa paikkaansa etenkin monimutkaisempien kemiallisten prosessien suunnittelussa.

PIIS-indeksin laskentaan tarvittavat tiedot poikkeavat jonkin verran muiden tässä työssä esiteltyjen indeksointimenetelmien lähtötiedoista. PIIS-indeksi tarvitsee luonteensa vuoksi tarkempaa tietoa valmistusprosessissa tapahtuvista kemiallisista reaktioista sekä reaktioiden ominaisuuksista.

5.3 Anna-Mari Heikkilän indeksi

Heikkilän indeksi on selkeästi teoretikon kehittämä indeksointijärjestelmä, jonka käyttäminen todellisissa ongelmissa on erittäin hankalaa. Se on varsin tehokas yksinkertaisissa teoreettisissa ongelmissa, mutta todelliset teollisuuden ongelmat

ovat niin monimutkaisia, että Heikkilän indeksin vaatima suuri taustatyömäärä vaatii kohtuuttomasti resursseja.

Lisäksi Heikkilän indeksin laskennassa voidaan joutua arvovalintojen eteen, jolloin prosessiturvallisuusindeksi riippuu prosessin ominaisuuksien lisäksi jonkin verran laskijan omasta näkemyksestä. Tällöin indeksi ei välttämättä anna samaa tulosta eri laskukerroilla.

Heikkilän indeksissä on pyritty huomioimaan mahdollisimman tarkasti kaikki prosessiturvallisuuteen vaikuttavat tekijät. Näin saadaan toki käsitys prosessiin kokonaisturvallisuudesta, mutta onko mahdollista, että jokin yksittäinen turvallisuuteen vaikuttava tekijä jää liian pienelle huomiolle, koska se ei vaikuta suuresti menetelmän antamaan indeksiin.

6 Johtopäätökset

Erilaiset turvallisuusindeksien määrittäminen mittaa hieman eri asioita prosessin turvallisuudesta. Erilaiset painotukset menetelmissä vaikuttavat sopivan menetelmän valintaan. Toisaalta erilaiset lähestymistavat täydentävät toisiaan ja usein onkin perusteltua tarkastella prosessin turvallisuutta useamman eri indeksin perusteella.

Prosessisuunnittelun yhteydessä on syytä tehdä jonkin asteisia turvallisuustarkasteluita koko prosessisuunnittelun ajan, jotta tarpeellisten muutosten tekeminen suunnitelmiin on vielä mahdollista ja prosessista saadaan mahdollisimman turvallinen.

Toinen merkittävä prosessiturvallisuuden arviointimenetelmien käyttökohde on jo olemassa olevien prosessien kehitys. Tällöin voidaan löytää kustannustehokkaimmat keinot turvallisuuden parantamiseen juuri indeksimenetelmien avulla. Toisinaan on syytä myös arvioida olemassa olevan prosessin turvallisuutta, vaikka prosessiin olisi suunnitelmissa tehdä muutoksia.

Prosessiturvallisuuteen vaikuttavien asioiden arviointi sisältää aina mahdollisuuden inhimillisiin virheisiin. Toki menetelmiä on pyritty kehittämään mahdollisimman selkeiksi ja järjestelmällisiksi, mutta silti on aina mahdollista, että jokin turvallisuusnäkökohta jää huomioimatta, etenkin jos turvallisuusanalyysiä tehdään kerrasta toiseen samojen henkilöiden toimesta.

Vertailtavuus eri kerroilla laskettujen indeksien kesken on aina syytä kyseenalaistaa. Etenkin, jos turvallisuustarkasteluissa käytetyissä lähtötiedoissa on eroavaisuuksia. Nämä eroavaisuudet voivat johtua esimerkiksi prosessista saaduista uusista käyttökokemuksista tai aineominaisuuksien eroista eri lähteissä. Lisäksi indeksointi menetelmien käyttöön liittyy lähes aina inhimillinen arvio riskin suuruudesta, jolloin eri käyttäjien laskemat indeksit saattavat erota toisistaan.

On kuitenkin tunnettua, että numeroiden vertaaminen on huomattavasti helpompaa kuin abstraktien asioiden. Jo pelkästään tämä tosiasia riittää puolustamaan prosessiturvallisuusindeksien käyttöä prosessien turvallisuuden arvioinnissa. On vaan muistettava selvittää kyseisen indeksintimenetelmän soveltuvuus kyseiseen käyttötarkoitukseen. Joissakin tilanteissa jonkin muun tyyppinen turvallisuusarviointi voi olla indeksin laskemista hyödyllisempi turvallisuuden kehittämisen kannalta.

LÄHTEET

Coulson & Richardson's Chemical Engineering vol 6, Design. Elsevier 2008.
ISBN 978-0-7506-6538-4

Heikkilä, Anna-Mari. 1999. Inherent safety in process plant design. Libella
Painopalvelu Oy, Espoo 1999. ISBN 951-38-5372-1

Kansainvälinen kemikaalikortti, Hydratsiini, <http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/khtml/nfin0281.htm> viitattu 26.2.2011

Käyttöturvallisuustiedote Oxygen Control, Unitor, päivitetty 16.2.2011

OVA-ohje, hydratsiini, <http://www.ttl.fi/ova/hydratsi.html>, viitattu 26.2.2011.

Prosessin vaarojen tunnistaminen ja riskien hallinta –kurssin luentomateriaali
vuodelta 2009.

VTT: Riskianalyysit <http://www.vtt.fi/proj/riskianalyysit/> viitattu 1.11.2010