

# Klassificering av processutrustning

*En grund för riskbaserat underhåll*

*Karl Hedvall*

---

**Department of Fire Safety Engineering  
Lund University, Sweden**

**Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet**

**Report 5173, Lund 2005**



# **Klassificering av processutrustning**

-

En grund för riskbaserat underhåll

**Karl Hedvall**

**Göteborg 2005**

**Titel:** Klassificering av processutrustning – En grund för riskbaserat underhåll

**Title:** Classification of process equipment – A basis for risk based maintenance

Karl Hedvall

Civilingenjörsprogrammet i Riskhantering, Lunds Tekniska Högskola.

Författaren svarar för innehållet i rapporten.

**Report 5173**

**ISSN: 1402-3504**

**ISRN: LUTVDG/TVBB--5173--SE**

**Number of pages: 59**

**Sökord**

FMEA, klassificering, processindustri, processutrustning, raffinaderi, risk, riskanalys, riskbaserat underhåll, riskhantering, riskklassificering, riskmatris, risktolerans, underhåll, underhållsfilosofi

**Keywords**

classification, FMEA, maintenance, maintenance philosophy, processing equipment, processing industry, refinery, risk, risk analysis, risk based maintenance, risk management, risk tolerance

**Language**

Swedish

© Copyright: Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2005.

---

Brandteknik  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund

brand@brand.lth.se  
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60  
Telefax: 046 - 222 46 12

Department of Fire Safety Engineering  
Lund University  
P.O. Box 118  
SE-221 00 Lund  
Sweden

brand@brand.lth.se  
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60  
Fax: +46 46 222 46 12

---

# Sammanfattning

I denna rapport beskrivs ett systematiskt arbetssätt för riskklassificering av processutrustning ur underhållsperspektiv. Hur detta arbetssätt har utarbetats är också en viktig del i rapporten. Klassificeringssystemet är anpassat för tillämpning på komplexa processanläggningar. Preemraff Göteborg har varit föremål för den bakomliggande studien och tillämpning av systemet.

Preemraff Göteborg är ett bränsleraffinaderi beläget på Hisingen i Göteborg som årligen processar ca sex miljoner ton råolja.

Grundtanken i klassificeringssystemet är att den underhållsrelaterade riskbilden för anläggningens olika processutrustningar används som styrmedel för att fördela och dimensionera underhållsinsatserna på raffinaderiet.

Systemet består av:

- Riskanalys enligt FMEA-metoden, vilken anpassats till rådande förutsättningar.
- Värdering av de identifierade och i omfattning uppskattade riskerna efter standardiserade risktoleranskriterier som utarbetats. För detta används riskmatriser. Riskerna definieras här enligt en tregradig skala som tolerabla, signifikanta men tolerabla eller ej tolerabla.
- Vägledning för hur underhållet bör bedrivas på processutrustningen beroende på den riskkategori den tillhör.

I rapporten beskrivs också vilka kompetenser och nyckelpersoner som bör ingå i analysgruppen för att riskanalysen skall bli heltäckande och för att resultatet skall accepteras av den övriga organisationen.

Systemet avser ge en god överblick över anläggningens underhållsrelaterade risker. Vidare utgör analysresultatet en god motiveringsgrund för de underhållsinsatser som prioriteras och för att motivera ökade eller minskade resurser totalt sett. Genom analysgruppens sammansättning främjas en gemensam syn på underhållets roll och betydelse för processanläggningar i allmänhet och på Preemraff Göteborg i synnerhet. Detta leder till ökad förståelse och underlättar hanteringen av målkonflikter.

## Abstract

In this report a systematic working procedure for risk classification of processing equipment from a maintenance point of view is described. How this system has been worked out is also an important part of the report. The classification system is adapted for use in complex processing plants. Preemraff Göteborg has been subject for the underlying study and application of the system.

Preemraff Göteborg is a fuel refinery located on Hisingen, Gothenburg, Sweden. The refinery processes approximately six million tons of crude oil annually.

The basic idea of this classification system is that the maintenance related risk situation is used as a guidance instrument for allocating and dimensioning the maintenance efforts at the refinery.

The system consists of:

- Risk analysis according to the FMEA-model, which has been adapted to the specific conditions at the refinery.
- Evaluation of the identified and estimated risks in concordance with the standardized risk tolerance criteria that has been worked out as a part of the system. For this, risk matrices are used. The risks are defined according to a three graded scale as tolerable, significant but tolerable or as not tolerable.
- Guidance for how the maintenance work should be carried out in regard to the risk category that the processing equipment belongs to.

In the report, the desirable competences and key persons which the analysis group should contain for a full risk analysis result and for acceptance in the organisation as a whole are described.

The system aims to give a good overview of the maintenance related risks at the plant. Furthermore, the analysis result is a good motivation for the suggested maintenance activities and as motivation for extended or decreased maintenance resources in total. Through the composition of the analysis group, a common view of the maintenance role and importance to plants in general and for Preemraff Göteborg especially are promoted. This leads to increased understanding and facilitates the management of goal conflicts.

## Förord

Denna rapport är resultatet av ett examensarbete motsvarande 20 högskolepoäng på Civilingenjörsprogrammet i Riskhantering vid Lunds Tekniska Högskola. Rapporten är till lika tillkommen på uppdrag av Preemraff Göteborg, som också varit föremål för den bakomliggande studien.

Civilingenjörsprogrammet i Riskhantering omfattar 80 högskolepoäng och utgör en påbyggnad på tidigare högskolestudier. Studerande på programmet har en bakgrund som studenter vid något nordiskt civilingenjörsprogram alternativt som brandingenjörsstudenter.

Jag vill tacka mina handledare Anders Jacobsson vid institutionen för brandteknik, LTH, Henrik Teiffel och Peter Hallengren på Preemraff Göteborg för allt stöd och engagemang under arbetets gång.

För feedback och givande diskussioner vill jag tacka Mats Lindgren på Preemraff Göteborg.

För tips och idéer vill jag tacka Katrin Holmgren på Perstorp Specialty Chemicals AB, Johan Lundin och Henrik Johansson vid institutionen för brandteknik, LTH samt Adam Hahne på Autotech HB.

Jag vill även rikta ett särskilt tack till Per Utbult på Preemraff Göteborg som deltagit i den riskanalysgrupp som tillämpat systemet.

Slutligen vill jag tacka alla på Preemraff Göteborg för att ni gjort min tid på raffinaderiet kul och lärorik.

Jag hoppas att denna rapport kommer erbjuda intressant läsning.

Karl Hedvall  
19 november, 2005

# Innehållsförteckning

<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>II</b>
<b>FÖRORD</b> .....	<b>III</b>
<b>1 INLEDNING</b> .....	<b>3</b>
1.1 BAKGRUND.....	3
1.2 PROBLEMATISERING .....	3
1.3 SYFTE OCH MÅL .....	4
1.4 METOD .....	4
1.5 AVGRÄNSNINGAR OCH DEFINITIONER.....	5
<b>2 FYSISKA OCH ORGANISATORISKA FÖRUTSÄTTNINGAR</b> .....	<b>6</b>
2.1 RAFFINADERIETS PROCESS I STORT .....	6
2.2 CIRKULERANDE AMINSYSTEM .....	8
2.3 ORGANISATORISKA FÖRUTSÄTTNINGAR .....	9
2.3.1 <i>Konstruktion och projekt</i> .....	9
2.3.2 <i>Underhåll</i> .....	9
2.3.3 <i>Process-Produktion</i> .....	9
2.3.4 <i>Teknik och miljö</i> .....	10
2.3.5 <i>Säkerhet och kvalitet</i> .....	10
2.3.6 <i>Administration</i> .....	10
2.3.7 <i>Styrgrupper</i> .....	10
2.3.8 <i>PE Ledningsgrupp</i> .....	10
<b>3 UNDERHÅLLSSTRATEGIER</b> .....	<b>12</b>
3.1 AVHJÄLPANDE UNDERHÅLL.....	12
3.2 FÖREBYGGANDE UNDERHÅLL.....	12
3.3 UNDERHÅLLSFILOSOFIER.....	13
3.3.1 <i>RCM</i> .....	13
3.3.2 <i>TPU</i> .....	14
3.4 UNDERHÅLLET PÅ RAFFINADERIET .....	14
<b>4 RISKHANTERING</b> .....	<b>15</b>
4.1 DEFINITION AV RISK .....	15
4.2 DEFINITION AV RISKHANTERING OCH INGÅENDE BEGREPP .....	16
4.2.1 <i>Riskanalys</i> .....	17
4.2.2 <i>Riskvärdering</i> .....	17
4.2.3 <i>Riskreduktion/kontroll</i> .....	17
4.2.4 <i>Riskhantering - ett ständigt arbete</i> .....	17
4.3 SÄRBARHETSANALYS .....	18
<b>5 BERÄKNINGSMETODER</b> .....	<b>19</b>
5.1 KVANTITATIVA BERÄKNINGSMETODER .....	19
5.1.1 <i>Felträd</i> .....	19
5.1.2 <i>Händelseträd</i> .....	20
5.1.3 <i>Konsekvensberäkningar</i> .....	20
<b>6 RISKANALYSMETODER</b> .....	<b>21</b>
6.1 BESKRIVNING AV DE RISKANALYSMETODER SOM ÖVERVÄGTS .....	21
6.1.1 <i>Grovanalys</i> .....	21
6.1.2 <i>Indexmetoder, Dow och Mond index</i> .....	22
6.1.3 <i>Checklistor</i> .....	22
6.1.4 <i>What-If-analys</i> .....	23
6.1.5 <i>Hazard and Operability analysis (HAZOP)</i> .....	24
6.1.6 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i> .....	25



6.1.7	Quantitative Risk Analysis (QRA)	25
<b>7</b>	<b>VALD RISKANALYSEMETOD</b>	<b>26</b>
7.1	QRA	26
7.2	INDEXMETODER	26
7.3	FMEA	26
7.3.1	FMEA ställd mot What-If, HAZOP, och grovanalys	27
7.3.2	Nyansering av FMEA-modellen	27
7.4	CHECKLISTOR	27
<b>8</b>	<b>RISKTOLERANSKRITERIER</b>	<b>28</b>
8.1	BESLUTSKRITERIER - VÄRDERINGSPRINCIPER	29
8.2	TOLERABEL RISK FÖR OLIKA TYPER AV KONSEKVENSER	30
8.2.1	Direkta ekonomiska skador	30
8.2.2	Miljöpåverkan	32
8.2.3	Fysiska hälsorisker	33
<b>9</b>	<b>PRESENTATION AV RISK</b>	<b>36</b>
9.1	FÖRVÄNTAT SKADEVÄRDE	36
9.2	INDIVIDRISKKONTURER	36
9.3	INDIVIDRISKPROFILER	37
9.4	F/N-KURVOR	38
9.5	RISKMATRISER	39
<b>10</b>	<b>VALD RISKPRESENTATIONSFORM OCH TILLHÖRANDE TOLERANSNIVÅER</b>	<b>40</b>
10.1	VALD PRESENTATIONSFORM	40
10.1.1	Varför riskmatriser?	40
10.1.2	Utformning och problem att beakta	41
10.2	VALDA TOLERANSNIVÅER OCH KOPPLADE UNDERHÅLLSÅTGÄRDER	43
10.2.1	Grön riskklass	43
10.2.2	Gul riskklass	44
10.2.3	Röd riskklass	45
10.2.4	Riskmatriser med införda toleransklasser	46
<b>11</b>	<b>KLASSIFICERINGSSYSTEMET I SIN HELHET</b>	<b>48</b>
11.1	ARBETSMETODIK VID RISKANALYSEN OCH BEHANDLING AV RESULTATET	48
11.2	ANALYSGRUPPENS SAMMANSÄTTNING	49
<b>12</b>	<b>ERFARENHETER FRÅN TILLÄMPNING AV KLASSIFICERINGSSYSTEMET</b>	<b>51</b>
12.1	FÖRUTSÄTTNINGAR	51
12.2	ERFARENHETER AV ARBETSMETODIKEN OCH GRUPPSAMMANSÄTTNINGEN	51
<b>13</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>53</b>
13.1	VAD KRÄVS FÖR ATT SYSTEMET SKA FUNGERA?	53
13.2	MÄTBARHET	53
13.3	KONSEKVENSBESKRIVNINGAR	54
13.4	SYSTEMETS STYRKOR RELATIVT NUVARANDE SYSTEM	55
<b>14</b>	<b>REFERENSLISTA</b>	<b>57</b>
<b>15</b>	<b>FÖRTECKNING ÖVER BILAGOR</b>	<b>59</b>

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Vid sidan av handhavandefel och yttre påverkan är fallerande tekniska system en stor orsakskategori till olyckor och processtörningar i tillverkande industri. En viktig riskpåverkande faktor inom industrin i allmänhet och i processindustrin i synnerhet är därför hur underhållet av utrustningen bedrivs. Att prioritera underhållsinsatserna efter den riskbild som finns i processanläggningar är därför en intressant tanke. Utgångspunkten i detta examensarbete är därför att undersöka hur ett sådant system kan konstrueras och hur det praktiskt kan tillämpas.

På Preemraff Göteborg pågår ett projekt med syfte att effektivisera raffinaderiets underhåll. En del av detta projekt består i att utveckla en riskbaserad underhållsstrategi. Grunden i denna strategi är att riskernas karaktär och storlek blir styrande för utformning och omfattning av de planerade underhållsinsatserna.

Den underhållsstrategi som i dag tillämpas på raffinaderiet bygger på lagstadgade och erfarenhetsmässiga kontroller av utrustning i kombination med förebyggande- och avhjälpande underhåll. Tillgängligheten för raffinaderiet är hög och fel på utrustning som ej kan överbryggas utan produktionsbortfall är ovanliga.

## 1.2 Problematisering

På raffinaderiets underhållsavdelning önskar man få en bättre överblick över anläggningens underhållsrelaterade risker. Syftet med detta är att kunna fördela de tillgängliga resurserna så att den riskreducerande effekten av underhållsinsatser totalt sett optimeras. Den modell som föreslås för detta är att utgå från analys av de underhållsrelaterade risker som finns i raffinaderiets processanläggning. Resultatet av analysen ska kunna användas för att motivera ökade eller minskade underhållsresurser totalt sett. Analysresultaten skall fristående kunna användas som beslutsunderlag utan att hela anläggningen behöver analyseras. Detta är viktigt eftersom raffinaderiets omfattning inte medger en total riskanalys på en så begränsad tid att förutsättningarna i de olika delprocesserna kan anses vara konstanta. Dessutom innebär en modell där prioriteringar görs först efter att all utrustning klassificerats att resultatet saknar värde ända tills hela anläggningen är genomgången. Detta är alltså inte önskvärt. Metoden måste vara forcerbar så att ett användbart resultat kan erhållas inom en begränsad tidsram.

Det analysunderlag som finns på raffinaderiet består dels av statistik i form av incident- och olycksrapporter, dels av historik över utförda och planerade underhållsinsatser, så kallade arbetsorder. Vidare finns de anställdas samlade erfarenhet av anläggningen samt process- och instrumenteringsscheman, vidare kallat P&I-scheman, att tillgå.

Mot denna bakgrund är frågeställningen i föreliggande rapport:

*Vilken metodik bör användas för att identifiera och värdera underhållsrelaterade risker på raffinaderiet? Hur ska identifierade risker klassificeras efter omfattning och karaktär? Hur ska riskerna utifrån klassificeringen vidare hanteras?*

## 1.3 Syfte och mål

Syftet med detta examensarbete är att utveckla en systematisk arbetsmetodik för riskklassificering av processutrustning ur underhållsperspektiv. De riskkategorier som behandlas är fysiska hälsorisker för personal, miljöskaderisker samt risk för direkt ekonomisk skada.

Målet är att klassificeringssystemet ska utgöra ett kraftfullt och effektivt verktyg för att:

- Identifiera och värdera de risker som kan påverkas genom valet av underhållsåtgärder.
- Fördjupa kunskaperna om de underhållsrelaterade risker som finns i processen samt ge en överblick över vart dessa risker återfinns.
- Sammanfatta de olika kompetensområdenas kunskap om anläggningens inneboende risker i en tvärvetenskaplig analysgrupp.
- Placera varje processkomponent i en av tre riskkategorier där riskbilden definieras som tolerabel, ej tolerabel eller signifikant men tolerabel.
- Ge direktiv för hur varje enskild processkomponent bör underhållas med utgångspunkt i den risk som komponenten utgör.

Utöver dessa formella resultat förväntas arbetsmetodiken främja en gemensam syn på underhållets betydelse och förståelsen mellan olika yrkesgrupper på raffinaderiet.

## 1.4 Metod

Inledningsvis studeras raffinaderiets process för att förstå kemin och processtekniken i de olika raffineringsmomenten och deras inbördes samband. En ingående studie av den anläggning som senare i arbetet skulle vara föremål för försöket att tillämpa den föreslagna analysmetoden genomförs utifrån P&I-scheman och besök på anläggningen.

En litteraturstudie genomförs för att kartlägga de olika komponenterna som krävs för ett komplett klassificeringssystem. De områden som omfattas av litteraturstudien är:

- Tänkbara riskanalysmetoder
- Möjliga statistiska beräkningsmodeller
- Sätt att presentera riskers omfattning
- Upprättande av risktoleranskriterier
- Studium av olika underhållsfilosofier och underhållets historia

För att utbyta idéer och få tillgång till de erfarenheter som finns av klassificeringssystem med liknande syften genomförs studiebesök på Perstorp Specialty Chemicals AB i Perstorp samt på Ringhals AB i Väröbacka.

Utgående från de tidigare momenten samt kunskap om de organisatoriska förutsättningar som råder på Preemraff Göteborg utvärderas lämpliga delmetoder och sätts samman till ett komplett klassificeringssystem.

Systemet utvärderas sedan genom att tillämpas på en av raffinaderiets processenheter samt ett fåtal speciellt intressanta objekt på raffinaderiet. Analysgruppen består förutom analysledaren, till lika författaren av denna rapport, av tre personer från underhållsavdelningen samt produktionsorganisationen. Vid behov tillfrågas expertis utanför analysgruppen. Modellen korrigeras under arbetet i den händelse brister upptäcks.

Avslutningsvis intervjuas analysgruppens medlemmar i syfte att ta reda på inställningen till klassificeringssystemet.

De metoder som anses kunna tillföra något till rapporten används. Metodvalet inskränks därmed endast genom att metoder som inte anses tillämpliga väljs bort. Både teoretisk och praktisk problematik beaktas. Förutsättningarna för användandet av systemet undersöks eftersom inställningen och engagemanget är av avgörande betydelse för analysresultatet.

## 1.5 Avgränsningar och definitioner

Klassificeringssystemet är anpassat för att identifiera, värdera och klassificera risker i komplexa processindustrier.

Aktuella risker inskränks till att omfatta de som kan påverkas genom valet av underhållsinsatser. Därmed utesluts riskkällor som handhavandefel, avsiktliga angrepp och oavsiktlig yttre påverkan, exempelvis påkörning. Extremt väder som anläggningen ej är designad för att tåla utesluts som riskkälla. Fel som uppstår i samband med montering/demontering utesluts ur analysen eftersom dessa riskkällor påverkas genom de rutiner och arbetsmetoder som tillämpas, samt enskilda teknikers noggrannhet. Den analysform som denna rapport föreslår lämpar sig inte för sådan problematik. Behandling i annat forum föreslås därför.

Studien utgår från att den analyserade processens konstitution är given. Analysen syftar därför inte till att föreslå funktionsmässiga ändringar av processtrukturen, exempelvis att installera redundanta system där detta inte redan finns. Detta sker i den händelse det är aktuellt i en senare analysfas.

De konsekvenser som behandlas är:

- Fysisk skada på personal – kroppsskada på behöriga personer
- Miljöskador – negativ miljöpåverkan
- Direkta ekonomiska skador – ekonomiska förluster på grund av förlorad produktion och kostnader för att återställa funktionen hos den utrustning som fallerat

Konsekvenser som därmed utesluts ur analysen är psykosocial problematik rörande upplevelsen av risker och inträffade olyckor. Den ökade arbetsbelastningen och den stress som akuta insatser innebär för personalen beaktas ej. Skador på tredjeman tas inte upp i analysen. Hur händelser på anläggningen påverkar varumärkets värde, genom så kallade badwill-effekter, behandlas ej.

## 2 Fysiska och organisatoriska förutsättningar

Preemraff Göteborg är en bifirma till PREEM PETROLEUM AB (publ), vilket är Sveriges största oljeföretag. Preemkoncernen svarar för två tredjedelar av den svenska raffinaderikapaciteten och en fjärdedel av den nordiska. Totalt raffinerar 15 miljoner ton råolja årligen vid de båda helägda raffinaderierna Preemraff Göteborg och Preemraff Lysekil, varav Preemraff Göteborg står för ca 6 miljoner ton. Båda raffinaderierna räknas till de modernaste i Europa. Huvudsakligen är produkterna MK1-diesel, bensin, eldningsolja, flygbränsle och gasol (LPG, Liquid Petroleum Gas).

Preemraff Göteborg ligger på Hisingen i Göteborg. Anläggningen omfattar en oljehamn, två bergrum för lagring av råolja, en omfattande processanläggning och tankparker för lagring av råvaror, mellan- och slutprodukter. Raffinaderiets ca 320 anställda svarar för drift, underhåll, teknisk service, bränsledepåer och administration. Dessutom sysselsätts ett antal entreprenörer och underleverantörer.

### 2.1 Raffinaderiets process i stort

Behandlingen av råoljan börjar med destillation där ämnen med olika kokpunkt separeras. Ämnen med låg kokpunkt avskiljs i tornets topp och tyngre komponenter tas ut lägre ner. De olika fraktionerna förädlas vidare på olika sätt beroende på fraktion och vilken slutprodukt som önskas.

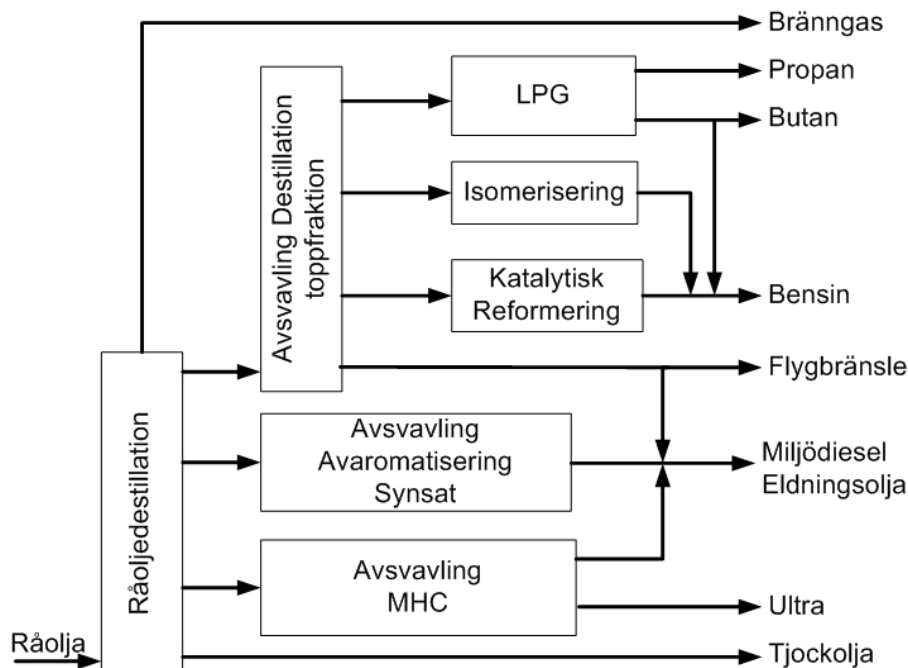


Fig. 1, Översiktligt produktflödesschema

De lättaste komponenterna som avskiljs i råoljedestillationen används som brännigas i raffinaderiets eldade ugnar. Övriga procesströmmar innehåller svavelföreningar, vilka bildar miljö- och hälsoskadliga föreningar vid förbränning hos slutanvändaren. Därför avskiljs svavlet ur oljan i ett flertal avsvavlingsreaktorer. Svavlet lämnar avsvavlingsreaktorerna i form av  $H_2S$  som reduceras till elementärt svavel i någon av raffinaderiets svavelåtervinningsanläggningar.

Toppfraktionen från råoljedestillationen delas upp i ytterligare destillation. De lättaste komponenterna från denna operation, propan och butan, separeras ännu en gång på motsvarande vis i LPG-anläggningen. Något längre kolföreningar isomeriseras i reaktorer. Isomerisering innebär att kolkedjorna grenas och mättade ringstrukturer bildas för att höja oktantalet.

Ytterligare tyngre kolföreningar reformeras katalytiskt för att även här bilda aromater. Därmed höjs oktantalet hos det producerade bränslet. Butan, isomerat och reformat ingår sedan som komponenter i olika bensinkvalitéer. Den tyngsta delen av toppfraktionen utgörs av fotogen, som används som flygbränsle och som dessutom ingår som komponent i diesel och eldningsolja.

De något tyngre komponenterna från råoljedestillationen innehåller redan höga halter av aromatiska- och polyaromatiska kolväten. Dessa hydreras med hjälp av katalysator för att förbättra förbränningsegenskaperna hos det dieselbränsle som produceras av fraktionen. Processen kallas avaromatisering.

Ultra är tjockolja med mycket lågt svavelinnehåll som tillverkas genom avsvavling i kombination med mild vätekrackning i en så kallad Mild Hydro Cracker (MHC). Bottenfraktionen från råoljedestillationen består av långa och komplexa kolkedjor med hög kokpunkt. Dessa behandlas inte vidare utan används direkt som blandningskomponent i bunkerolja för fartyg.

Processanläggningen består av följande huvudanläggningar:

- två anläggningar för destillation av råolja
- två anläggningar för avsvavling av toppfraktion
- en anläggning för avsvavling och avaromatisering av lätt gasolja (diesel)
- en anläggning för avsvavling och krackning av tung gasolja (eldningsolja)
- en reformeringsanläggning för bensin
- en isomeriseringsanläggning för bensin
- en LPG-anläggning (Liquid Petroleum Gas)
- tre svavelåtervinningsanläggningar

## 2.2 Cirkulerande aaminsystem

Det cirkulerande aaminsystemet, är den anläggning som huvudsakligen varit föremål för praktisk tillämpning av den riskbedömningsmetodik som framtagits i detta examensarbete. Systemet beskrivs därför översiktligt för att ge läsaren en uppfattning om den problematik som analysarbetet innebär.

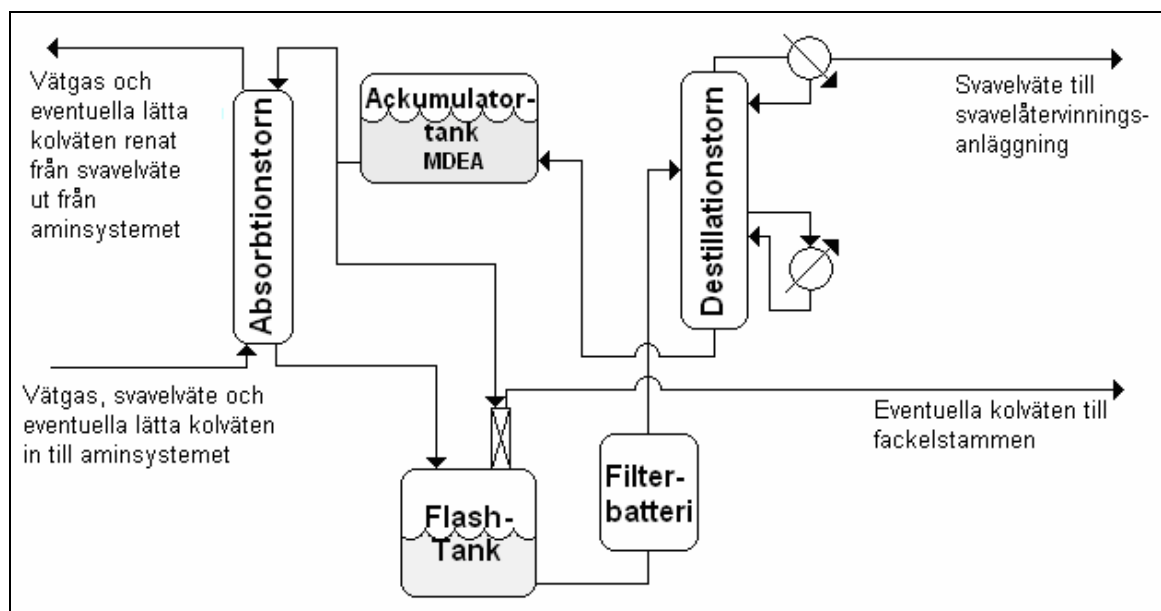


Fig. 2, Schematisk översiktsbild över aaminsystemet

Aaminsystemet är en anläggning vars funktion är att avlägsna  $H_2S$  från ett flertal procesströmmar. I tidigare processteg har svavelföreningar omvandlats till  $H_2S$  i reaktorer på flera av raffinaderiets övriga anläggningar. Avsvavling är en viktig process för att de färdiga bränslen som levereras från raffinaderiet ska möta rådande produktspecifikationer, främst styrt av miljökrav.

I avsvavlingsreaktorer frigörs svavlet från kolvätena genom reaktion med den vätgas som kontinuerligt tillförs i reaktorkretsen. Den förening som då bildas är  $H_2S$ . Genom kylning och trycksänkning nedströms processflödet skiljs  $H_2S$  och vätgas från kolväten för vidare separation i något av aaminsystemets absorbtionstorn. I figur 2 återfinns ett sådant längst till vänster.

I absorbtionstornen möter gasen från reaktorerna en ström av metyldietanolamin (MDEA), vilket är en aminförening som löser  $H_2S$ , men inte gaser som vätgas och lätta kolväten. Detta innebär att  $H_2S$  kommer att övergå från gasfasen till aminfasen. Inom aaminsystemets avgränsning återfinns ett absorbtionstorn för var och en av de båda huvudanläggningarna Synsat och MHC, samt i två stycken motsvarande torn för hjälpanläggningar som inte producerar produkt.

Ut från absorbtionstornen går den svavelfria vätgasen tillbaka in i respektive processanläggning. Den  $H_2S$ -innehållande MDEA:n går vidare till en flashtank. På grund av det lägre trycket i flashtanken avgas eventuella kolväten som följer med i aminströmmen från

absorbrarna. Dessa kolväten eldas sedan upp. För att inte gasen skall innehålla  $H_2S$ , och därmed bidra till negativ miljöpåverkan när den förbränns, så tvättas den med ren amin. Gasen leds efter tvätten till huvudfacklan.

Den kvarvarande aminlösningen går via filter till ett destillationstorn där  $H_2S$  avskiljs som gas i tornets topp. Gasströmmen går vidare till en av svavelåtervinningsanläggningarna. I dessa anläggningar, som inte ingår i amins-systemet, reduceras svavlet i  $H_2S$  till elementärt svavel i en så kallad Clausreaktor. Från botten av tornet tas MDEA, som nu åter är fritt från  $H_2S$ , ut för att via en ackumulatortank åter cirkuleras in i absorbtionstornen för att binda nytt svavelväte.

## 2.3 Organisatoriska förutsättningar

I detta avsnitt beskrivs endast den del av Preemraff Göteborgs organisation som ansvarar för processutrustningens tillstånd och förmåga att producera önskade produkter. Den del av organisationen som ansvarar för driftsbetingelser och för den produktmix som produceras berörs inte av detta examensarbete och beskrivs därför inte. För organisationsschema, se figur 3.

### 2.3.1 Konstruktion och projekt

Inom konstruktion och projekt arbetar konstruktörer och projektledare med modifieringar och nybyggnationer.

### 2.3.2 Underhåll

Underhållsorganisationens uppgift är att leverera tillförlitlighet, tillgänglighet och driftsäkerhet hos processutrustning till anläggningsägaren. Under underhållschefen sorterar personer med vitt spridda kompetensområden för att, inom respektive område, sköta underhållsorganisationens uppgift.

### 2.3.3 Process-Produktion

Denna del av organisationen ansvarar för driften av anläggningen. Process-Produktion är anläggningsägare, vilket innebär att de har ansvar för driften och tillståndet på raffinaderiets processanläggningar. För produktionsingenjörerna är raffinaderiet organisatoriskt uppdelad i två processenheter, PE1 respektive PE2. Driften bedrivs på kontinuerligt 5-skift med ca 21 processoperatörer och en skiftchef per skiftlag. För förtydligande, se figur 3.



### **2.3.4 Teknik och miljö**

Inom teknik och miljö arbetar processingenjörer, miljöingenjörer och reglertekniker. Processingenjörerna ansvarar för uppföljning av anläggningens produktionsprestanda genom testkörningar, katalysatoruppföljningar, felsökning, upphandling av katalysatorer etc. Miljöingenjörerna ansvarar för miljöaspekten i anläggningsdriften, avfallshantering, kontakt med tillståndsmyndigheten i miljöfrågor etc. Reglerteknikerna har systemansvar för raffinaderiets reglerutrustning. De tre arbetsområdena angränsar till varandra och har därför gemensam ledning.

### **2.3.5 Säkerhet och kvalitet**

Säkerhet och kvalitet ansvarar för skydds- och säkerhetsarbetet på raffinaderiet. Detta omfattar i grova drag raffinaderiets industribrandkår, arbetsmiljöfrågor, säkerhetsfrågor, inspektion samt utbildning i skydd och säkerhet för egen personal och entreprenörer. Inspektion är den del av organisationen som kontrollerar utrustningens status. Detta arbete är dels lagstiftat men analys utförs även periodiskt eller på anmodan frivilligt på uppdrag av Preemraff Göteborg.

### **2.3.6 Administration**

Den centrala administrationen ansvarar för redovisning, IT, personalfrågor, central information och reception/växel.

### **2.3.7 Styrgrupper**

Verksamheten har ett antal styrgrupper, däribland en för processenhet 1 (PE1) och en för processenhet 2 (PE2) respektive. Styrgrupperna ansvarar för förarbeten till underhållsarbeten och modifieringar. Styrgrupperna prioriterar även vilka sådana insatser som skall genomföras.

### **2.3.8 PE Ledningsgrupp**

I detta forum prioriteras produktion- och processorganisationens arbetsuppgifter i stort. Exempelvis beslutas om vilka projekt som skall genomföras och av vem, vilka investeringar som skall prioriteras för kommande år, drivandet av idéstudier etc. Gruppen består av cheferna för Konstruktion & Projekt, Underhåll, Process-Produktion samt Teknik & Miljö.

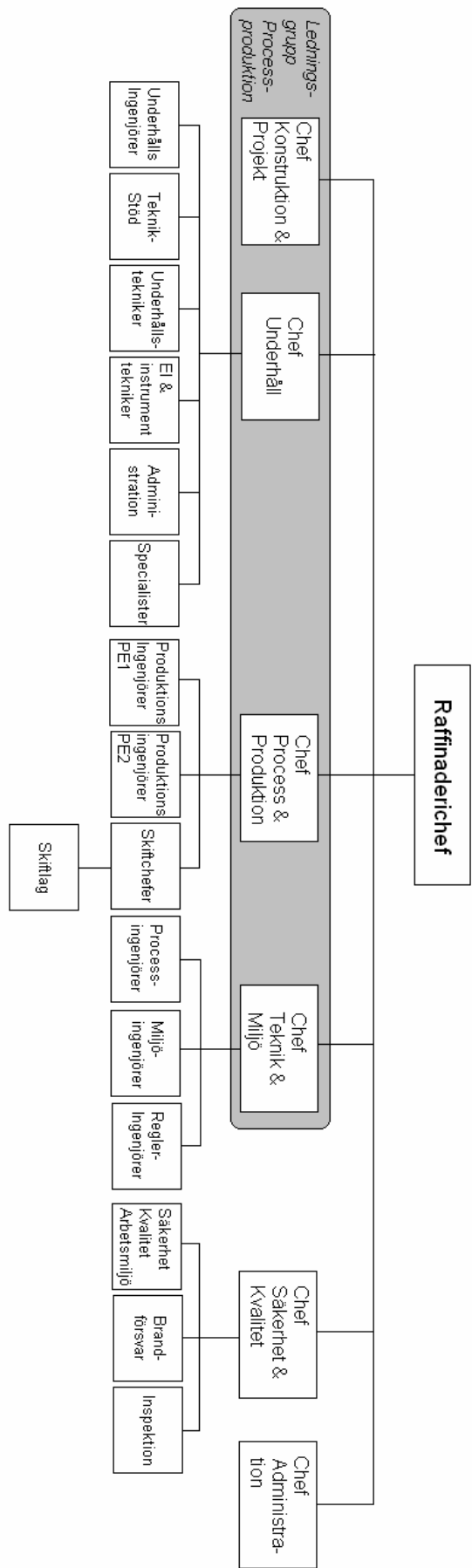


Fig. 3, Organisationsschema process-produktion

## 3 Underhållsstrategier

Underhåll syftar till att säkerställa hög tillförlitlighet och tillgänglighet hos anläggningar med bibehållen säkerhet. Detta uppfylls genom att åtgärda och förebygga fel på utrustningar (Johansson 1997, s. 41). Det finns ett stort antal olika strategier för att lösa denna uppgift. I detta kapitel beskrivs centrala begrepp och två avancerade underhållsfilosofier som tillämpas i svensk industri.

### 3.1 Avhjälpande underhåll

Avhjälpande eller åtgärdande underhåll (AU) är den ursprungliga formen av underhåll. Med begreppet avses att trasig utrustning ersätts eller repareras. För denna underhållsstrategi utförs inga analyser eller kontroller i avsikt att undersöka om utrustningen visar tecken på att den åldrats. Man använder i stället utrustningen tills haveri uppstår och byter sedan ut den. Avhjälpande underhåll lämpar sig för utrustning vars funktion är av ringa ekonomisk betydelse och som inte innebär någon signifikant risk för hälsa och miljö vid haveri.

### 3.2 Förebyggande underhåll

Begreppet innefattar alla aktiviteter där åtgärder vidtas för att undvika haverier i utrustning. Den enklaste formen är periodvis-, eller förutbestämt underhåll. Detta kan exempelvis bestå i påfyllning av smörjmedel, byte av lager, rengöring etc. som återkommer med vissa intervaller baserat på drifttid, körsträcka, kalendertid eller annan lämplig måtenhet.

En mer avancerad form av förebyggande underhåll (FU) är tillståndsbaserat underhåll (TBU). I denna underhållsform kontrolleras utrustningens status schemalagt, kontinuerligt eller på begäran för att undersöka om utrustningen är i behov av underhållsinsatser. Underhållsarbete utförs då utrustningen börjar uppvisa avvikande beteenden, exempelvis att den blir varm, avvikande ljud eller lukter etc. TBU bygger på att personal som har god kännedom om utrustningens normala beteende kontrollerar den i avsikt att uppfatta avvikelser från det normala. Frekvensanalys är ett exempel på en mer avancerad form av tillståndsbaserat underhåll som tillämpas på Preemraff Göteborg. Metoden innebär att man spelar in frekvensbilden hos roterande utrustning för att i frekvensspektrat söka efter tecken på lagerskador.

En kombination av periodvis underhåll och tillståndsbaserat underhåll är naturligtvis möjlig och tillämpas vanligtvis tillsammans med avhjälpande underhåll på industrialanläggningar.

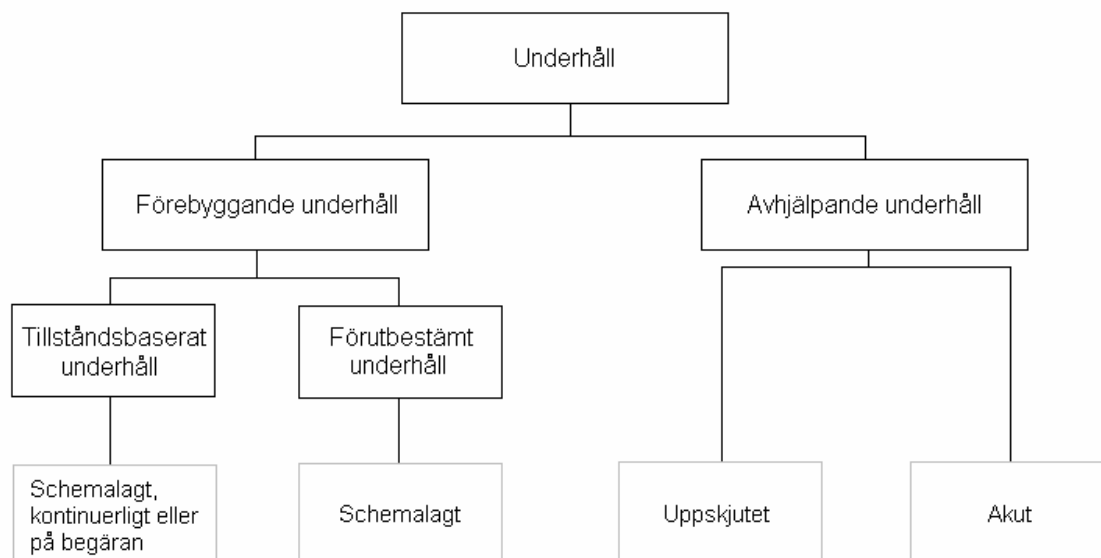


Fig. 4, Underhåll – Överblick (SIS 2001, Bilaga A)

### 3.3 Underhållsfilosofier

Från det ursprungliga avhjälpande underhållet har ett stort antal verktyg för att förutse fel och haverier utvecklats. Historiska data används för att förutse livslängd- och felfördelning hos olika komponenter. Analys av statistik medför att lämpliga intervall för periodiskt underhåll kan beräknas efter en tolerabel risknivå. Det stora antal analysmetoder för att upptäcka fel och den ökade kunskapen om material har inneburit att avvikelser kan upptäckas på ett tidigt stadium. I takt med att det allmänna kunskapsläget om underhållets betydelse förbättrats har ett antal underhållsfilosofier utvecklats. Nedan beskrivs två underhållsfilosofier som vunnit stort gehör i svensk industri de senaste åren.

#### 3.3.1 RCM

Reliability Centered maintenance (RCM) syftar till att uppnå en kostnadseffektiv blandning mellan avhjälpande och förebyggande underhåll. Vidare syftar RCM till att utföra underhåll och kontroller av utrustning med sådana intervall att en balans mellan haveririsk och kostnad/konsekvens av felfunktion i viss processdel uppnås. RCM syftar alltså till att optimera underhållsinsatsen så att det producerade värdet maximeras. Processen i RCM bygger på att sju frågeställningar besvaras (Moubroy 1997, s.7). Översatt till svenska är dessa frågor:

- Vilka är tillgångens funktioner med tillhörande prestandaspecifikationer i sin nuvarande driftmiljö?
- Vilka funktionsfel kan uppstå som medför att prestandakraven inte kan uppfyllas?
- Vad kan orsaka vart och ett av felen?
- Vad händer när vart och ett av felen uppstår?
- Vilken roll spelar vart och ett av felen?
- Vad kan göras för att förutsäga felen?
- Vad ska göras om inget lämpligt sätt att proaktivt undvika felet kan identifieras?

Med tillgång menas här en teknisk komponent, exempelvis en pump, ventil, reglerkrets eller liknande. Metoden bygger på en ingående riskanalys av tillgångens beståndsdelar. Den riskanalysmetod som används är FMEA, som beskrivs i kapitel 6.1.6. RCM-analys är tidskrävande och ingående. Analysgruppen behöver information om tillgångens historik och god kännedom om specifika problemområden för att genomföra studien. Resultatet av analysen utgör underlag för mycket specifika underhållsinstruktioner.

### 3.3.2 TPU

Totalt Produktivt Underhåll (TPU) är en underhållsfilosofi vars mål är att skapa störningsfria processer genom varje medarbetares engagemang. Metoden är ursprungligen japansk, men den tillämpas även i Sverige, bland annat av Volvo Personvagnar i Skövde (Johansson 1997, s. 42-45). Den japanska ursprungsmetoden, KAIZEN, har omarbetats för att passa svenska förhållanden till TPU.

*Totalt* innebär att allt, maskiner, utrustningar och människor, innefattas i underhållsarbetet. *Produktivt* innebär att målsättningen inte är att bibehålla viss kapacitet utan även att höja effektiviteten/produktiviteten.

Detta åstadkoms genom att involvera alla medarbetare i underhållsarbetet. Filosofin grundas i att varje medarbetare ska känna ansvar för att det egna arbete ska göras så effektivt och bra som möjligt. Personligt ansvar för underhållet av den materiel och de maskiner som var och en använder är en del i detta. De brister som var och en uppdagar behandlas i arbetsgrupper där kärnan består av de som i sitt arbete nyttjar systemen och utrustningen. Problem och eventuellt även åtgärdsförslag sprids således uppåt i organisationen från dessa grupper. TPU handlar alltså om att värna alla de faktorer som påverkar bolagets framgång, såsom produktivitet, kvalitet, kostnadsbild, leveranssäkerhet, säkerhet och miljö.

En förutsättning som måste finnas för att TPU ska fungera på en arbetsplats är att all personal har den utbildning som behövs för att kontinuerligt kunna utvärdera det egna arbetet och den utrustning som används. Den andra nyckelkomponenten för att lyckas med TPU är engagemang och genom det, villighet att utveckla arbetet.

## 3.4 Underhållet på raffinaderiet

Preemraff Göteborg arbetar i dagsläget med att förändra det systematiska underhållsarbetet. Arbetsnamnet för detta projekt är Nya Underhåll. De båda underhållsfilosofierna som beskrivits ovan undersöks och detta examensarbete är ytterligare en ansträngning för att finna en lämplig och genomförbar strategi för att utveckla underhållsarbetet. De metoder som i dagsläget används är en erfarenhetsbaserad mix av förebyggande och avhjälpande underhåll. Standardiserade riktlinjer för prioriteringar och utförande saknas i ledningssystemet.

## 4 Riskhantering

### 4.1 Definition av risk

För att förstå vad riskhantering är måste man först och främst definiera vad en risk är för något. Den definition som föreslås av Kemikontoret (2001, s.5) lyder:

*Risk avser dels sannolikheten inom viss tidsrymd för eller frekvensen av möjliga skadehändelser i ett system och dels konsekvenserna av dessa skadehändelser.*

Enligt Kaplan (1997) (se Abrahamsson & Magnusson 2004, s. 23) är den tekniska definitionen av risk svaret på följande tre frågor:

- vad kan hända? (vilka scenarion kan uppstå)
- hur troligt är det att det händer? (sannolikhet)
- Vilka är konsekvenserna?

Dessa båda definitioner, med flera, säger i princip samma sak. En risk består av två komponenter, nämligen sannolikheten för- och konsekvensen av en icke önskvärd händelse som kan inträffa, men som inte med säkerhet kommer att inträffa.

Här utelämnas alltså det socialkonstruktivistiska perspektivet av händelsen som definierar den som mer eller mindre oönskad.

Det vanligaste sättet att kombinera sannolikhet (P) för- och konsekvens (S) av en händelse, så att de tillsammans utgör en risk är att multiplicera dem med varandra. Produkten utgör ett förväntat skadevärde per tidsenhet, sträcka, risktillfälle eller motsvarande.

$$R = P \cdot S$$

Det förekommer dock andra sätt att värdera risker, dels kvalitativt eller genom någon annan algoritm än enkel multiplikation.

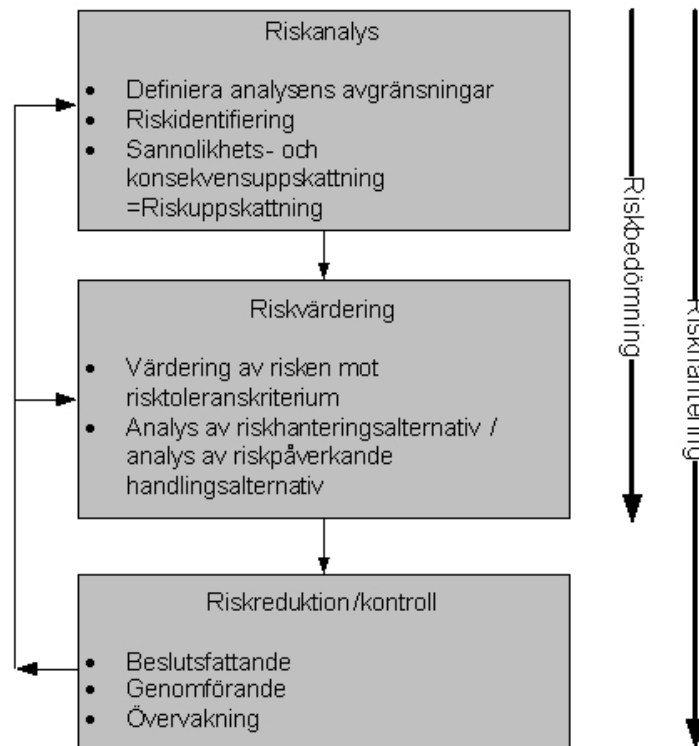
$$R = f(P, S)$$

I detta arbete används dock det klassiska multiplikationsförfarandet vid kvantitativ riskvärdering. Det förväntade skadevärde som därmed kan beräknas utgör risken i de enheter man valt att mäta konsekvensen samt den enhet man valt att relatera sannolikheten till, dvs. per tidsenhet, sträcka, risktillfälle etc. Exempel på sådana enheter kan vara:

- antal dödsfall / år
- kronor / år
- kronor / kilometer
- haverier / användningstillfälle
- antal förlorade produktionstimmar / år

## 4.2 Definition av riskhantering och ingående begrepp

Inte heller för begreppet riskhantering finns någon alltid gällande definition. En modell som dock brett accepterats är att riskhantering innefattar riskanalys, riskvärdering och riskreduktion/kontroll. Den definition som allmänt betraktas som internationell standard är framtagen av IEC och ISO i samarbete (2002). En fri översättning av denna återfinns nedan.



*Fig. 5, Fri översättning av Riskhanteringsprocessen enligt ISO/IEC guide 73 (2002)*

För olika typer av verksamheter fungerar dock tillämpningen av denna riskhanteringsmodell på varierande vis, beroende på organisatoriska förutsättningar, verksamhetens art och omfattning.

### **4.2.1 Riskanalys**

Någon entydig och allmänt accepterad definition av vad en riskanalys ska innehålla finns i dagsläget inte. En definition föreslagen av Kemikontoret (2001, s. 5) är att:

*Riskanalys innebär en systematisk identifiering av riskkällorna i ett system och värdering av risken.*

Enligt den internationella standard som utvecklats av IEC (1995, s. 11), definieras riskanalys, översatt till svenska, som:

*Systematiskt användande av tillgänglig information för att identifiera riskkällor och uppskatta risken för individer, populationer, egendom eller miljö*

I detta arbete tillskrivs begreppet riskanalys en något mer specifik definition, som dock inte går utanför ramarna för kemikontorets eller IEC:s, nämligen:

- Avgränsning av systemets fysiska omfattning och de risktyper som är aktuella.
- Systematisk identifiering av risker inom avgränsningarna.
- Kvalitativ eller kvantitativ analys av konsekvens och sannolikhet för var och en av de identifierade riskerna.

### **4.2.2 Riskvärdering**

I riskvärderingen avgörs hur allvarliga identifierade risker är. För att kunna göra detta måste man ta ställning till vilka risknivåer kan tolereras för olika typer av händelser. Detta måste göras mot bakgrund av de åtgärder som är tekniskt möjliga för att reducera risken och den nytta man drar av att utsätta sig för den aktuella risken. Mer om detta finns i kapitel 8 vilket behandlar risktoleranskriterium.

### **4.2.3 Riskreduktion/kontroll**

Då man utrett riskreduktionsalternativen i riskvärderingen återstår att besluta vilka åtgärder som ska vidtas samt att genomföra dessa. I denna del av riskhanteringen ingår också att kontrollera att insatserna får avsedd effekt och att utvärdera risker kontinuerligt.

### **4.2.4 Riskhantering - ett ständigt arbete**

De olika blocken i figur 5 har länkats samman med ett antal pilar vilka representerar det ständiga riskhanteringsarbetet. Riskhanteringsarbete bör bedrivas kontinuerligt och inte bestå av punktinsatser. Detta är mycket viktigt för den generella riskmedvetenheten hos medarbetare och för de attityder och den säkerhetskultur som odlas inom verksamheten.



### 4.3 Sårbarhetsanalys

Begreppet sårbarhet beskrivs i en rapport utgiven av KBM (Hallin, Nilsson & Olofsson 2004, s. 12) som:

*En oförmåga hos ett objekt, system, individ, befolkningsgrupp m.m. att stå emot och hantera en specifik påfrestning som kan härledas till inre eller yttre faktorer.*

Resonemanget nedan utgår från att ett tekniskt system analyseras.

Sårbarhetsanalyser är närbesläktade med riskanalyser men angriper problematiken från en annan utgångspunkt. I stället för att, som i riskanalys, utgå från att identifiera möjliga oönskade händelser som kan inträffa i ett system utgår sårbarhetsanalys från att identifiera den typ och omfattning av påverkan som krävs för att begränsa eller helt hindra systemets tänkta funktion. I sårbarhetsanalys söker man med andra ord efter de situationer som skadar systemets skyddsvärda funktion, utan att därmed med nödvändighet värdera sannolikheten för dessa situationer.

En del av sårbarhetsanalysen består i att beskriva förmågan att begränsa följdverkningarna av en skada samt förmågan att återställa funktionen hos systemet. Denna dimension är svår att angripa genom riskanalys. Sårbarhetsanalys ska därför ses som ett jämställt verktyg vid sidan av riskanalys i säkerhetsarbetet.

Sårbarhetsanalys resulterar följaktligen i att bristerna i hanteringsförmågan för de undersökta påverkansformerna kartläggs.

En arbetsgång för sårbarhetsanalys som föreslås av KBM (Hallin, Nilsson & Olofsson 2004, s. 19-25) följer nedan. I denna används begreppet krishanteringsförmåga vilket i mindre dramatiska fall kan översättas med olyckshanteringsförmåga.

1. Definiera vad som är skyddsvärt och avgränsa systemet
2. Identifiera riskkällor, oönskade situationer/händelser och på vilket sätt dessa kan skada det skyddsvärda
3. Inventera och kartlägg krishanteringsförmågan
4. Analysera krishanteringsförmågan i relation till de oönskade händelserna, är den tillräcklig?
5. Diskutera sårbarhetsreducerande åtgärder

## 5 Beräkningsmetoder

### 5.1 Kvantitativa beräkningsmetoder

Förutom att presentera risker i löpande och beskrivande text finns ett antal sätt att matematiskt beräkna risker. Nedan beskrivs grundläggande metoder för att kvantitativt beräkna sannolikheter och konsekvenser i komplexa system. Tankesättet från dessa bör användas även vid subjektiva riskbedömningar. Det är alltså en stor fördel att behärska dessa metoder även vid kvalitativ riskanalys.

#### 5.1.1 Felträd

Felträdsanalys är en kvantitativ riskanalysmetod. Trädet byggs upp av ett antal bashändelser, eller inledande felfunktioner. Via ett logiskt diagram bestående av *och*- samt *eller*-grindar beskrivs de förlopp som kan leda till trädets topphändelse, som består av en specifik önskad sluteffekt. I felträdet kan också mellanliggande händelser, fördröjningsfunktioner etc., finnas.



$$\text{Och-grind: } P_3 = P_1 \cdot P_2$$



$$\text{Eller-grind: } P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2$$

Fig. 6, Logiska grindar

Metoden är lämplig för sannolikhetsberäkningar i komplexa system samt för att kartlägga olyckssamband och beroendeförhållanden mellan olika delar i en händelsekedja. I en *och*-grind krävs att samtliga ingående förutsättningar (i figuren ovan 1 och 2) måste uppfyllas för att händelseförloppet ska fortsätta mot topphändelsen (3 i figuren). För *eller*-grindar räcker att någon av förutsättningarna uppfylls för att händelseförloppet ska fortsätta mot topphändelsen. Det är dock även här möjligt att flera av förutsättningarna uppfylls. Eftersom det är tillräckligt att någon av händelserna inträffar dras snittet, dvs. möjligheten att fler än en av bashändelserna samtidigt inträffar, av vid sannolikhetsberäkning i *eller*-grindar.

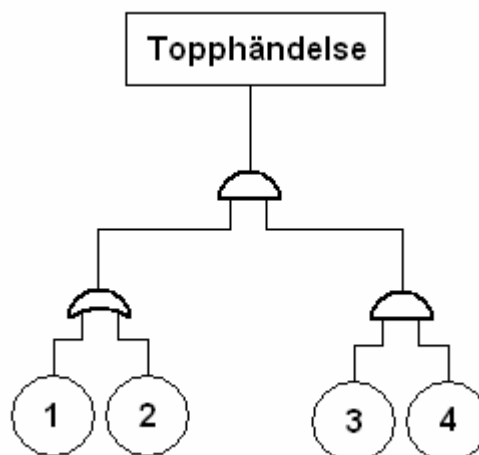


Fig. 7, Exempel - felträd

I figur 7 åskådliggörs ett enkelt felträd där bashändelserna 1 - 4 var och en har en sannolikhet mellan 0 och 1. I detta fall blir sannolikheten för topphändelsen:

$$P_{\text{Toppshändelse}} = (P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2) \cdot (P_3 \cdot P_4)$$

### 5.1.2 Händelseträd

Denna trädmetod beskriver de sätt som ett initialt fel (starthändelse) kan utveckla sig genom en kedja av följdhandelser till ett antal möjliga sluthändelser. I händelseträdet beaktas alla tänkbara händelseutvecklingar och man intresserar sig inte enbart för negativa sluthändelser. I varje förgrening fördelas sannolikheten mellan de tänkbara följdhandelserna så att den sammanlagda sannolikheten blir 1, enligt lagen om total sannolikhet.

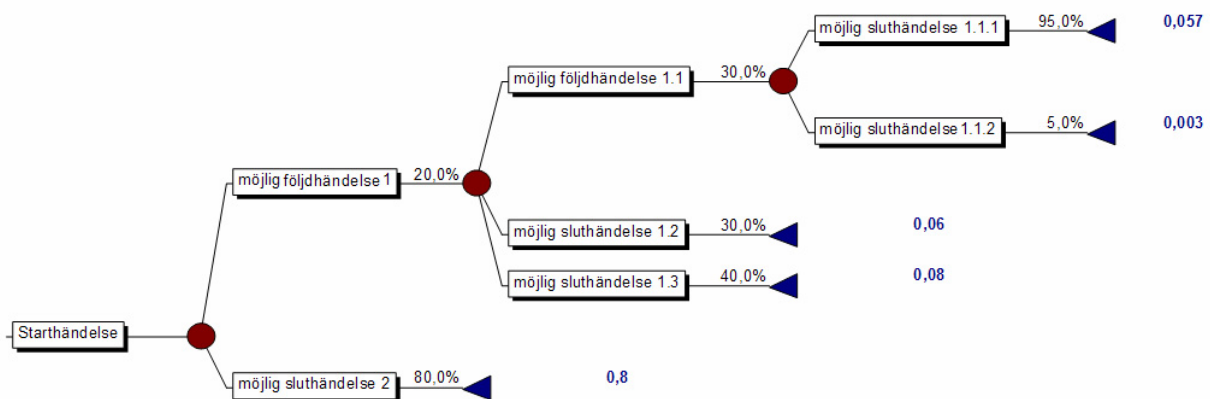


Fig. 8, Exempel - händelseträd

Givet att starthändelsen inträffar beräknas sannolikheten för, exempelvis, *möjlig sluthändelse 1.1.2* i figur 8 på följande vis:

$$P_{\text{Sluthändelse1.1.2}} = P_1 \cdot P_{1.1} \cdot P_{1.1.2} = 0,2 \cdot 0,3 \cdot 0,05 = 0,003$$

### 5.1.3 Konsekvensberäkningar

Kvantitativa konsekvensberäkningar ger svar på vilket område som påverkas på ett preciserat vis av en specifik utlöst risk. Den typ av konsekvenser som beskrivs genom kvantitativa beräkningsmodeller är spridningsförlopp och effektzoner för skadlig energi. Denna energi kan bestå i värmestrålning, tryckvågor och explosionsrelaterad splitterspridning samt koncentrationer av toxiska eller brandfarliga ämnen. Underlag för sådana beräkningar är utsläppshastigheter, total utsläppt mängd samt det utsläppta ämnets fysikaliska, kemiska och toxiska egenskaper. Dessa data kombineras med topografiska, hydrologiska och meteorologiska uppgifter för utsläppsplatsen för att beskriva exponeringszoner. Genom dos-responssamband definieras vilka exponeringsnivåer som är intressanta. För ingående beskrivning av hur konsekvensberäkningar utförs rekommenderas handboken *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor* som ges ut av Försvarets Forskningsanstalt (FOA) (1998).

## 6 Riskanalysmetoder

Riskanalysmetoder är systematiska arbetssätt att identifiera och värdera risker i avgränsade system. Förslag på riskreducerande åtgärder kan också ingå som en komponent i vissa riskanalysmetoder. Syftet är att den metod som används ska underlätta det kreativa arbete som riskanalys innebär. Analysmetoden bidrar till riskanalysen genom att utgöra arbetsgång och mall för dokumentation vid identifiering och värdering av risker.

Gemensamt för metoderna är att de utgörs av en serie intressanta frågeställningar.

Analysgruppens arbete är att besvara dessa frågor uttömmande med hjälp av kunskap och kännedom om systemet, samt fantasi.

Det finns en uppsjö av riskanalysmetoder utvecklade för att passa mer eller mindre specifika ändamål. Ofta är likheterna mellan metoderna stora. Valet av analysmetod beror på den bakgrundsinformation som finns om analysobjektet, kunskapsläget hos analysgruppen, tillgänglig tid för analys samt analysens syfte.

Det kan vara av intresse att använda fler än en riskanalysmetod om man intresserar sig för så olika typer av risker att de inte lämpar sig att analyseras samtidigt eller för att få flera infallsvinklar på riskproblematiken. Nedan följer en beskrivning av de riskanalysmetoder som övervägts i denna rapport.

### 6.1 Beskrivning av de riskanalysmetoder som övervägts

#### 6.1.1 Grovanalys

Grovanalys är en preliminär eller orienterande riskanalysmetod. Den utförs vanligtvis på ett tidigt stadium i konstruktionsprojekt eller som en inledande metod för att analysera risker i befintliga system. Metoden syftar till att översiktligt identifiera systemets inneboende uppenbara risker baserat på fysikaliska och kemiska egenskaper samt aktuella volymer. Utgångspunkten är alltså vilken energi som finns lagrad i systemet och hur den skulle kunna frigöras. Tekniska utrustningsdetaljer behandlas ej och det är viktigt att undvika diskussioner angående tekniska problem under analysarbetet. (Kemikontoret 2001) (Davidsson et al. 2003)

Resultatet matchas mot uppsatta toleranskriterier för att avgöra om åtgärder eller ytterligare analys bör genomföras.

Resursbehovet är litet jämfört med andra analysmetoder. Analysen bör utföras i en grupp av personer med god kännedom om ingående kemikalier, processer och processutrustning. Eftersom metodikformaliam är minimal får analysgruppen litet stöd av metoden som sådan i arbetet med att identifiera riskerna. Detta ställer höga krav på erfarenhet av riskanalys och aktuella processer hos analysgruppens deltagare. Användande av checklistor anpassade till analysytftet kan därför vara ett värdefullt stöd.

Skadehändelse	Möjliga orsaker	Konsekvenser	Kommentarer Vidtagna åtgärder	Riskvärdering		Rekommenderade åtgärder	Ansv. tid
				S	K S,H,M		

Fig. 9, Arbetschema för dokumentation vid grovanalys

### 6.1.2 Indexmetoder, Dow och Mond index

Indexet kan främst användas för relativ ranking, vilket innebär en jämförelse med andra liknande anläggningar. Men det kan också användas för åtgärdsprioriteringar genom att undersöka olika åtgärds påverkan på indexvärdet. De metoder som nämns i överskriften används för att värdera brand- och explosionsrisker. I indexmetoderna värderas de riskpåverkande förhållandena i den analyserade anläggningen i numeriska värden.

De frågeställningar som är av intresse är en, på förhand definierad del av metoderna. Förhållandena kan delas in i materialfaktorer (MF), processriskfaktorer (RF) och bonusfaktorer (BF). Materialriskfaktorn består av en numerisk värdering av de hanterade ämnena och deras mängd. Den är alltså ett värde på den inneboende energi som riskerar att komma lös. Mindre kvantiteter och mindre brand/explosionsfarliga ämnen leder följaktligen till ett lägre värde på materialfaktorn. Processriskfaktorn består av en värdering av det tekniska system som processutrustningen och processbetingelserna utgör. I detta ingår värderingar av arbetstryck, temperaturer, kemiska reaktioner i processen, läckagerisker, tillgänglighet vid nödlägen, korrosion, erosion etc. Bonusfaktorer är sannolikhets- eller konsekvensbegränsande skyddsåtgärder som processkontrollsystem, brandskydd och avgränsningsmöjlighet för farligt material. (Kemikontoret 2001) (Davidsson et al. 2003)

$$INDEX = MF \cdot RF - BF$$

### 6.1.3 Checklistor

Checklistor kan med fördel användas på ett flertal sätt i riskhanteringsprocessen. Gemensamt för checklistorna är att de är erfarenhetsbaserade. Övergripande kan listorna delas upp i två kategorier. Den ena är de kontrollerande eller instruerande, vilka beskriver ett antal moment som ska uppfyllas för att en angiven kravbild ska vara tillfredställd. Detta kan bestå i specifika arbetsmoment vid uppstart av processer, kontrollförfaranden vid inspektion, kontroll av att gällande lagstiftning uppfylls etc.

Den andra kategorin är frågande checklistor, vilka består av erfarenhetsmässigt intressanta frågeställningar. Dessa är mer generella och anger ett antal punkter som bör beaktas när en viss riskanalys ska utföras. Checklistor bör dock användas med viss försiktighet i dessa sammanhang. Det finns en risk att användningen resulterar i att endast checklistans

frågeställningar besvaras och att andra intressanta frågeställningar därmed inte beaktas. Listan bör därför används just för kontroll/stöd och inte som en instruktion vid riskanalys.

### 6.1.4 What-If-analys

Denna analysmetod består av en struktur för att kreativt identifiera de felfunktioner i processtekniska anläggningar, som kan leda till driftstörningar eller olyckor. Analysen utförs vanligtvis i grupper om 2-6 personer, sammansatt för att kompetensmässigt täcka aktuella riskaspekter. En gruppleddare, eller ordförande ska utses. Ledaren ska på förhand konstruera en preliminär förteckning över frågor som bör besvaras. (FOA 1998) (Kemikontoret 2001) (Davidsson et al. 2003)

Analysen utförs genom att analysgruppen ställer sig själva frågor med inledningen ”Vad Händer Om-” kring varje funktionsdel eller operation i processen, t ex

Startfras	Moment / händelse
Vad händer om:	-ventil X inte stängs?
	-kylfläkten Y inte startar?
	-inre läckage i värmeväxlare Z uppstår?

Fig. 10, frågeexempel vid What-If-analys

Utöver analysgruppens teoretiska kunskap och anläggningskännedom bör gruppen ha tillgång till process- och instrumenteringsritningar samt andra handlingar som beskriver processens avsikt och utformning.

Gruppens arbete protokollförs enligt en standardiserad mall för att framgent utgöra underlag för beslut om åtgärder eller vidare analys.

Vad händer om	Möjliga orsaker	konsekvenser	Kommentarer Vidtagna åtgärder	Riskvärdering		Rekommenderade åtgärder	Ansv Tid
				S	K S,H,M		

Fig. 11, Arbetschema för dokumentation vid What-If-analys

## 6.1.5 Hazard and Operability analysis (HAZOP)

HAZOP skiljer sig från What-If –analys genom att frågan ”vad händer om” nyanseras genom att kombineras med ett antal ledord som kopplas till enskilda processparametrar och operationer. Ledord som i den aktuella applikationen inte är tillämpbar hoppas över. Avsikten är att vägleda analysgruppen till att allsidigt betrakta möjliga avvikelser från det normala driftmönstret. Analysen utförs i övrigt på samma sätt som What If-analys med avseende på gruppens sammansättning och arbetsmetodik. (Kemikontoret 2001) (Davidsson et al. 2003)

Ledorden är av typen:

- högre (mer, större)
- lägre (mindre, färre)
- nej (inget)
- motsatt (omvänt)
- annat än

Frågeställningarna utgörs av att kombinera passande ledord, exempelvis från kategorierna ovan, med olika funktioner eller moment i processen, se nedan. De ledord som inte är applicerbara i det enskilda fallet hoppas över.

Startfras	Ledord	Moment / händelse
Vad händer om:	-inget	-MTBE satsas i kärn D41
	-mer	
	-annat än	

Fig 12, Kombinationsexempel vid HAZOP-analys

Avvikelse		Möjliga orsaker	Konsekvenser	Kommentarer/ Vidtagna åtgärder	Rekommenderade åtgärder	Ansv. Tid
Variabel	Nyckelord					

Fig 13, Arbetschema för dokumentation vid HAZOP-analys

### 6.1.6 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Felfunktions- och effektanalys utförs genom att en förteckning över möjliga felfunktioner och feltillstånd hos analysobjektets ingående utrustningskomponenter sammanställs. När möjliga fel identifierats analyseras följd effekterna på det övriga systemet för vart och ett av dessa. Denna senare del av analysen bygger alltså på fel- och händelseträdsanalys som beskrivs i kapitel 5.1. Följdeckterna uttrycks sedan som konsekvenser eller sluteffekter.

I första skedet beskrivs de analyserade riskerna i kvalitativa termer. De felfunktioner och feltillstånd som i text beskrivs utgör dock en god grund för att senare utföra kvantitativa beräkningar av sannolikheter och konsekvenser genom användande av trädmetoder.

Analysarbetet kan utföras av enskilda personer men genomförs med fördel i arbetsgrupper sammansatta för att täcka in intressanta kompetenser. Resursbehovet avgörs av den detaljeringsgrad som väljs i kombination med systemets komplexitet. Metoden har dock potential att resultera i en detaljerad riskanalys. Normalt kan 2-4 felfunktioner utvärderas per timma. Tidsåtgången begränsas om flera komponenter med liknande funktioner finns i systemet genom att deras felfunktioner och feltillstånd är gemensamma och därför bara behöver analyseras en gång. (Kemikontoret 2001) (Davidsson et al. 2003)

Komponent / Operation Funktion Normal funktion	Felfunktion / Risk	Möjliga orsaker	Feleffekter/ konsekvenser	Riskvärdering		Rekommenderade åtgärder	Ansv. Tid
				S	K S,H,M		

Fig. 14, Arbetschema för dokumentation vid FMEA

### 6.1.7 Quantitative Risk Analysis (QRA)

QRA är ett samlingsnamn för absoluta riskberäkningar. I QRA ingår tre huvudkomponenter nämligen riskidentifiering, sannolikhets och/eller frekvensberäkningar samt konsekvensberäkningar. Sannolikhetsberäkningarna utförs med hjälp av trädmetoder. Konsekvensberäkningarna består av exponeringsberäkningar och tillhörande dos-responssamband som beskriver effekten av den aktuella exponeringen. De metoder som används för dessa beräkningar kan variera. Resultatet består av en absolut beskrivning av individ eller samhällsrisk, vanligtvis presenterad i form av F/N-kurvor, individriskprofiler eller individriskkonturer, vilka beskrivs i kapitel 9. För risker som inte är hälsorelaterade kan effekterna beskrivas på motsvarande sätt genom att ändra betydelsen av N:et i F/N-kurvorna samt genom att byta den analyserade effekten i individriskprofilerna och individriskkurvorna till något annat än dödsfall. Normalfallet är dock att QRA används för att beskriva risken för dödsfall. (Kemikontoret 2001) (Davidsson et al. 2003) (FOA 1998) (CCPS 2000)



## 7 Vald riskanalysmetod

De kriterier analysmetoden skulle fylla var att den skulle underlätta arbetet med att:

1. Identifiera möjliga fel på processutrustning relaterade till underhållsproblematik
2. Identifiera konsekvenser av dessa fel för den övriga processen, hälsa och miljö
3. Värdera sannolikhet och konsekvens för respektive händelse
4. Utgöra en grund för vidare analys och åtgärdsförslag

### 7.1 QRA

En ansats gjordes för att utröna om QRA var möjlig som analysmetod. Syftet med detta var att kunna beräkna värdet av riskreducerande åtgärder i absoluta tal. Det finns ett antal statistiska samlingsverk där frekvenser för haverier på processutrustning av olika typer beskrivs (SINTEF 2002) (AICE 1989). Vid försök att applicera denna statistik på enskilda processutrustningar på raffinaderiet drogs slutsatsen att statistiken, trots god precisering, inte var tillämpbar på grund av att driftmiljön för enskilda utrustningskomponenter är så unik att generaliseringar inte är möjliga. Som en följd av detta måste sannolikheten för preciserade haverier avgöras genom erfarenhetsmässig värdering av haverifrekvenser i analysgruppen. Detta innebär vidare att kravet på analysgruppen ökar eftersom ytterligare en dimension läggs till gruppens arbete. De konsekvenstyper som analysarbetet avser behandla är till stor del ekonomiska förluster på grund av förlorad produktion och kostnader för att återställa funktionen hos utrustning som fallerar. De konsekvensberäkningsmetoder som används i QRA är inte tänkta för denna konsekvenskategori och kan därför inte användas i detta sammanhang. Preemraff Göteborgs organisation anses inte heller mogen för en generell användning av en så avancerad och tidskrävande analysmetod.

Sammanfattat är slutsatsen av detta att QRA inte är en lämplig analysmetod.

En generell användning av kvantitativa felträdd, händelseträdd och geografiska konsekvensberäkningar ses som delmängder av QRA och diskvalificeras därför implicit i klassningsarbetet som huvudmetoder. Ett begränsat användande av sådana metoder är dock aktuellt i komplicerade fall.

### 7.2 Indexmetoder

Indexmetoder anses inte tillämpbara eftersom de inte ger något stöd i att hitta lämpliga riskreducerande åtgärder, utan endast uttrycker riskernas omfattning i generella termer.

### 7.3 FMEA

FMEA utgår från att identifiera möjliga fel på utrustning. Denna metod blev därför intressant, eftersom det just är felintensiteten/sannolikheten för fel på utrustning som förebyggande underhåll kan påverka. På samma vis kan därmed också effekterna av att inte underhålla utrustning förebyggande utvärderas. Att välja en avhjälpande underhållsstrategi kan ju vara lönsamt och frigöra resurser för utökad förebyggande underhåll i någon annan del av processen.

### 7.3.1 FMEA ställd mot What-If, HAZOP, och grovanalys.

De tre analysmetoder som ligger närmast FMEA av de som varit aktuella är grovanalys, What-If-analys och HAZOP-analys. Som framgår av metodbeskrivningarna är förfarandet i dessa snarlikt FMEA då de risker metoderna avser behandla väl är identifierade. I andra hänseenden än riskidentifieringen innebär därför inte någon av de fyra metoderna någon direkt fördel över någon annan. Då det huvudsakligen är utgångspunkten eller infallsvinkeln på riskproblematiken som skiljer riskanalysmetoderna åt fällde detta avgörandet i FMEA:s favör.

### 7.3.2 Nyansering av FMEA-modellen

En fullskalig FMEA, där varje del av processen analyseras komponent för komponent är inte önskvärd i klassificeringsarbetet eftersom detta skulle vara mycket tidskrävande. Metoden modifieras därför så att processen analyseras funktionsvis i stället för komponentvis. Processutrustningen aggregeras därför i kluster, där varje kluster omfattar en funktion i processen, exempelvis ett kluster för varje enhetsoperation, pumpning, värmeväxling etc. Fokus i analysen ligger fortfarande på komponentfel, men varje komponent granskas alltså inte var för sig, utan riskkomponenterna identifieras i stället ur en begränsad grupp av komponenter, -klustret.

FMEA innebär en god grund för att hitta åtgärder för att höja tillförlitligheten och därmed sänka felfrekvensen för specifika processkomponenter. Analysresultatet blir därför en viktig del i att hitta åtgärdsförslag efter att klassificeringsarbetet avslutats. En möjlig konsekvens av klassningen är att RCM-studier utförs på vissa delar av processen. I denna metodik ingår FMEA. En del av arbetet i RCM är därför redan gjort om man utgår från samma analysmetod redan i klassningsarbetet.

En instruktionsmall och en mall för dokumentationen vid riskanalysen finns i bilaga A. Det kronologiska förfarandet vid tillämpningen av riskanalysmetoden beskrivs i kapitel 11, *Klassificeringssystemet i sin helhet*.

## 7.4 Checklistor

Checklistor av frågande karaktär används vid analysen som stöd för analysledaren så att inga viktiga frågeställningar glöms bort. Ledarens uppgift är att styra inriktningen i analysen och det är därför dennes uppgift att alla intressanta frågeställningar behandlas och i rätt ordning. Hela analysgruppen får därför inte tillgång till checklistorna. Syftet med detta är att inte begränsa kreativiteten hos resten av gruppen. Checklistan ska alltså inte användas som en mall utan just för kontroll av att inga viktiga aspekter glömts bort. En generell checklista finns i bilaga A.

## 8 Risktoleranskriterier

Att ta ställning till om en risk kan anses tolerabel innebär inte enbart ett problem att värdera sannolikhet och konsekvens för den aktuella händelsen. Att definiera toleransnivåer avseende sannolikhet och konsekvens för olika typer av skador innebär dels ett komplicerat etiskt problem men även ett pedagogiskt problem i att presentera de etiska ställningstagandena för verksamhetens intressenter. Detta beror bland annat på att människor har en tendens att överskatta förekomsten av ovanliga och samtidigt dramatiska olyckstyper. I dessa fall är konsekvensen betydligt enklare att visualisera än den mycket låga sannolikheten, varför konsekvensens storlek ofta dominerar grunden för hur allvarlig risken uppfattas. På motsvarande sätt underskattas risken för mer all dagliga och mindre omfattande risker. Graden av frivillighet och kontroll anses även vara mycket betydelsefulla för hur riskers omfattning upplevs men ett stort antal andra faktorer inverkar också på inställningen till- och uppfattningen om riskers omfattning (Enander & Johansson 1999).

Det etiska problemet ligger i att definiera nyttan av, eller värdet av miljön och människors hälsa. Detta kapitel ger en filosofisk beskrivning av olika sätt att värdera dessa värden för att därigenom kunna besluta om vilka risknivåer som anses tolerabla.

Vid kemikaliehantering bör man alltid sträva efter att minimera de risker som anställda, miljön, det omkringliggande samhället och företagets ekonomi utsätts för. Framst bör detta lösas genom att helt eliminera riskkällorna, alltså att göra verksamheten genuint säker eller *inherently safe* (Jacobsson 2001). Det är dock praktiskt omöjligt att helt undvika alla risker vid de flesta typer av verksamhet. Därför vidtas riskreducerande åtgärder för att minska konsekvensen av- eller sannolikheten för olyckor. Någon lagstiftning kring vilka risknivåer som accepteras finns i dagsläget inte i Sverige. Generellt sett beror den tolerabla riskens storlek på nyttan som erhålls genom att utsätta sig för den. Därför bör de som har den största nyttan av risktagandet också bära den största delen av risken. Av denna anledning tillåts betydligt högre riskmått exempelvis inom en industripark än utanför. Tredje man ska inte utsättas för en betydande risk från en verksamhet som denne har liten eller ingen nytta av. Anställda som har sin utkomst indirekt genom att utsätta sig för risken, och som i vissa fall även erhåller extra ersättning just på grund av risken måste av samma anledning också vara beredda att tolerera en större risk.

Att en risk tolereras innebär därmed inte automatiskt att den accepteras. Att acceptera en risk innebär att man anser att det är i sin ordning att människor och miljö kommer till skada med vissa intervall. Att tolerera en risk däremot innebär att man anser att nyttan av verksamheten överstiger de risker den medför. Detta förtar dock inte incitamenten att försöka minska riskerna. (Jacobsson & Lamnevik 2001)

## 8.1 Beslutskriterier - värderingsprinciper

För att kunna motivera beslut om huruvida en viss risk ska anses vara tolerabel eller ej finns ett antal tänkbara utgångspunkter, kallat beslutskriterier att utgå ifrån. Dessa kriterier delas upp i tre kategorier (Mattsson 2000).

Teknologibaserade	Bästa tillgängliga teknik ska användas
Rättighetsbaserade	Noll-riskansats Begränsa risken till maximalt $10^{-x}$
Nyttobaserade	Cost Benefit-analys Cost Effectiveness-analys Multi-attributiv nyttoteori

Det finns ett antal principer som bör beaktas vid definition av de risknivåer som anses tolerabla (Nystedt 2000).

- Rimlighetsprincipen - innebär att en risk som med rimliga medel kan elimineras eller reduceras alltid ska åtgärdas
- Proportionalitetsprincipen - innebär att de totala riskerna för en verksamhet ska vara i proportion med nyttan av densamma
- Fördelningsprincipen - innebär att enskilda grupper inte ska vara utsatta för oproportionerligt stora risker i förhållande till de fördelar som verksamheten innebär för dem
- Principen om undvikande av katastrofer - innebär att risker inte ska tillåtas resultera i konsekvenser som tillgängliga beredskapsresurser inte kan hantera

Avgörande för vilka beslutskriterier och principer som används för att definiera risktoleransnivåer beror på vilken typ av värden som riskeras. I denna rapport avgränsas, som tidigare beskrivits, de behandlade konsekvenserna till följande kategorier:

- Fysisk skada på personal – kroppsskada på behöriga personer
- Miljöskador – negativ miljöpåverkan
- Direkta ekonomiska skador – ekonomiska förluster på grund av förlorad produktion och kostnader för att återställa funktionen hos den utrustning som fallerat

De beslutskriterier och principer som tillämpas för de respektive kategorierna skiljer sig på grund av de fundamentala skillnaderna i att värdera egendom, miljö och människors hälsa. I detta kapitel beskrivs de aspekter som varit styrande då riskacceptanskriterierna definierats.

## 8.2 Tolerabel risk för olika typer av konsekvenser

Som i fallet med kvantitativa metoder för att beräkna riskers omfattning (kapitel 5) innebär det en stor fördel att förstå mekanismerna i kvantitativa beräkningsmetoder för att definiera risktoleransnivåer även om toleransnivåerna i slutänden ändå genereras kvalitativt. Följande underkapitel ska därför inte ses som en instruktion för hur risktoleranskriterier bör definieras utan som en hjälp i att förstå problematiken och komplexiteten i att fatta sådana beslut.

### 8.2.1 Direkta ekonomiska skador

Eftersom endast monetära värden riskeras för denna konsekvenskategori består problematiken i riskvärderingen endast i om riskreducerande åtgärder är ekonomiskt lönsamma eller inte. Av denna anledning är nytto-baserade beslutskriterier direkt applicerbara och därmed också rimlighets- och proportionalitetsprinciperna (se kapitel 8.1).

Beroende av givna förutsättningar lämpar sig ”Cost-Benefit Analysis” (CBA) eller ”Cost-Effectiveness Analysis” (CEA). I korthet innebär CBA att i monetära enheter värdera fördelar och kostnader för olika riskreducerande åtgärder. Om fördelarnas värde överstiger kostnaderna är åtgärden följaktligen lönsam och bör utföras om inget annat handlingsalternativ för att minska samma risk är ännu mer lönsam. CEA är en förenkling av CBA genom att de tillgängliga medlen för åtgärder på förhand är definierade. CEA syftar till att maximera nyttan av en förutbestämd kostnad. I CEA kan alltså lönsamma åtgärder förkastas på grund av att resurserna är begränsade (Mattsson 2000).

#### 8.2.1.1 Föreslagen kvantitativ beräkningsmodell

Från riskanalysen förutsätts att vi har en kvantitativ värdering av konsekvens och sannolikhet för risken före och efter den åtgärd vars nytta/rimlighet skall utredas. För att åtgärden ska vara lönsam gäller att kostnaden för åtgärden ( $k$ ) skall vara mindre än den ekonomiska riskminskning som åtgärden innebär. Riskminskningen värderas i ekonomiska termer som skillnaden mellan det förväntade skadevärdet ( $FS$ ) före och efter den riskminskande åtgärden.

$$(FS_{Före} - FS_{Efter}) - k \geq 0 \quad \rightarrow \quad \text{Åtgärden är lönsam}$$

Det förväntade skadevärdet definieras i detta arbete som väntevärdet,  $E(x)$ , då fördelningar, diskreta såväl som kontinuerliga, används för att beskriva risken. Användningen av fördelningar tas inte vidare upp men modellen är alltså även applicerbar för sådana.

Problemet är nu reducerat till en lönsamhetsbedömning. Eftersom vi intresserar oss för om den riskreducerande åtgärden är lönsam passar kapitalvärdemetoden bra för beräkningarna. (Persson & Nilsson 1999, s. 73-76). Begreppet investeringskalkyl som i denna används kan vid värdering av riskreducerande åtgärder bytas mot lönsamhetskalkyl.

Kapitalvärdet ( $KV$ ) av en investering är summan av alla betalningars nuvärden. Om kapitalvärdet är positivt är investeringen lönsam. Om kapitalvärdet är noll är avkastningen av investeringen lika stor som kalkylräntan.

$$KV = -G + a \left( \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) + \frac{S}{(1+i)^n}$$

$G$  = Grundinvestering

$a$  = Intäkten

$n$  = antal år investeringen har den riskreducerande effekten (livslängden)

$S$  = investeringens slutvärde år  $n$

$i$  = kalkylräntan

Grundinvesteringen avser de initiala kostnader som förknippas direkt med den riskreducerande åtgärdens implementering.

Intäkten definieras här som värdet av den årliga riskreduktionen minus de årliga kostnader som åtgärden löpande medför.

Kalkylräntan  $i$  utgör det avkastningskrav som ställs på investeringen och uttrycks ibland som alternativkostnad för kapital. Denna kan beräknas på olika sätt men två komponenter bör alltid ingå, nämligen det reella avkastningskravet  $i_r$  och inflationen  $q$ . Detta ger den nominella kalkylräntan  $i_n$ , vilken utgör avkastningskravet på investeringen i aktuell valuta.

$$i_n = (1 + i_r)(1 + q) - 1$$

Vanligtvis tas hänsyn till skatteeffekter, prisförändringar på den producerade varan etc. med i beräkningen av kalkylräntan. På de flesta tillverkande bolag finns dock en intern kalkylränta definierad, varför detta inte ytterligare utvecklas.

### 8.2.1.2 Osäkerheterna i beräkningarna

På grund av begränsade statistiska data, förenklingar och antaganden är osäkerheterna i de slutliga beräkningarna betydande. Av denna anledning saknar en mycket avancerad analys något reellt värde. Noggrannheten i värderingen av de ingående parametrarna i lönsamhetsbedömningen bör därför utföras i relation till åtgärdens monetära omfattning.

## 8.2.2 Miljöpåverkan

För miljöskador är fallet mer komplicerat än för det fall då endast monetära värden riskeras. Den extra dimension som här tillkommer är att specifika fysiska områden eller ekosystem skadas. Skadorna kan principiellt vara av två slag, reparerbara respektive irreparerbara.

Att en miljöskada är reparerbar innebär att miljön i det påverkade området kan återställas i sitt ursprungliga skick. En högst rimlig utgångspunkt vid värdering av denna typ av konsekvenser är att konsekvensens omfattning preciseras i monetära enheter som kostnaden för att återställa det kontaminerade området till sitt ursprungstillstånd. Att sådan sanering bekostas av den miljöskadande verksamheten är dessutom legalt reglerat i Miljöbalkens tionde kapitel, varför denna utgångspunkt är högst relevant. Till saneringskostnaden kan även förväntade viten och böter läggas för att tillsammans utgöra den monetär konsekvensbeskrivning. Detta resonemang utgår alltså från rimlighets- och proportionalitetsprinciperna. Nyttobaserade besluts-kriterier bör därför tillämpas på samma sätt som för direkta ekonomiska skador. (se kapitel 8.2.1)

De irreparerbara fallen innebär att det är omöjligt att återskapa den ursprungliga miljön i det påverkade området. De fall som har denna karaktär är de där sanering är omöjlig med tillgänglig teknik eller där ekosystemet i det skadade området inte kan återskapas. För risker där konsekvensen är av sådan karaktär är nyttan eller värdet av området svårare att definiera. Intressanta frågeställningar är då:

- Hur unikt är området?
- Vad används området till och vilket värde har det för dess intressenter?

Med grad av unikhets menas om området är av en ovanlig eller vanligt förekommande naturtyp. En ovanligare naturtyp anses generellt vara mer skyddsvärd. Vad området används till har betydelse för att det påverkar människor som nyttjar området på olika sätt. Antalet människor som har nytta av området är också av betydelse. Det är följaktligen, utan att här rangordna, skillnad på om det skadade området är Slottsskogen i Göteborg, åkermark i Skåne, en sjö i norrlands inland etc. Genom monetär värdering av ovan nämnda faktorer är det tänkbart att även i de irreparerbara fallen kan värderas efter nyttobaserade kriterier. Att med samtliga intressenter enas om värdet av området är dock mycket problematiskt. Därför föreslås att fördelningsprincipen och Principen om undvikande av katastrofer används som utgångspunkter. Detta innebär att rättighetsbaserade toleranskriterier föreslås för de irreparerbara fallen.

Om en rättighetsbaserad utgångspunkt väljs definieras en högsta årliga risk som det aktuella området får utsättas för. Extremfallet av detta är att det aktuella området absolut inte får skadas irreparerbart, en noll-riskansats. Om ett scenario där en sådan skada kan uppstå identifieras är detta därmed oacceptabelt och risken måste elimineras, oavsett sannolikhetens omfattning.

Internt bör ingen mark av sådan karaktär finnas eftersom markens funktion eller nytta är att utgöra en fysisk plats att driva verksamheten på. Beslut om markens lämplighet bör vara taget innan verksamheten startas. För mark som rörelsen ej själva förfogar över bör ett sådant maxvärde tas fram i dialog med den aktuella kommunen, markens ägare och eventuella övriga intressenter.

### 8.2.3 Fysiska hälsorisker

Varje arbete är förknippat med risker av olika karaktär, vissa i större utsträckning än andra. Kemisk industri är ett exempel på en verksamhet som har ett stort antal inneboende risker som ofta är mycket kostsamma eller omöjliga att undvika. En betydande del av de risker som finns upptäcks heller aldrig, eftersom människors kunskaper och fantasi kring vad som kan komma att inträffa har begränsningar. En inte obetydlig del av de skadehändelser som inträffar i kemisk industri har orsaker och/eller förlopp som aldrig förutsetts. Av dessa anledningar måste man tolerera att vissa risker för människors hälsa förekommer för att det ska vara möjligt att bedriva industriell produktion, eller någon annan typ av verksamhet heller för den delen.

I Sverige är det i likhet med många andra delar av världen en djupt rotad uppfattning att mänskligt liv inte kan värderas i pengar. Ändå förekommer det att medvetna prioriteringar görs som får till följd att människor omkommer, även i Sverige. I sjukvården består detta i att vissa patientkategorier inte får tillgång till vissa mediciner eller behandlingar på grund av att detta inte är samhällsekonomiskt lönsamt. Vägverket använder till och med en explicit siffra på vad ett statistiskt liv (VOSL) är värt. Ett statistiskt liv är ett liv som ej är kopplat till någon bestämd person och som används för att värdera trafiksäkerhetshöjande åtgärder. Att en trafiksäkerhetshöjande åtgärd förväntas rädda ett statistiskt liv innebär att man förväntar sig att åtgärden sänker den totala dödligheten i trafiken med en person. VOSL används för att beräkna om det är samhällsekonomiskt lönsamt att minska risken för att omkomma på en viss körsträcka genom en viss åtgärd. Beräkningsmetoden följer cost-benefitanalysens filosofi. I 1997 års priser värderas ett statistiskt liv till 14,2 miljoner kronor av Vägverket (Mattsson 2000). Att i privat verksamhet värdera människors liv och hälsa på motsvarande sätt anses i dagsläget ej praktiskt genomförbart och eventuellt ej heller önskvärt.

Resultatet av resonemanget är att en rättighetsbaserade kriterier bör användas där den tolerabla risken att, på ett specificerat sätt, skadas på grund av arbetet definieras utifrån ett antal statistiska omständigheter. Samtliga av de principer som anges i kapitel 8.1 bör beaktas då sådana kriterier bestäms.

För att digitalisera förutsättningarna i följande resonemang inskränks denna riskkategori till att endast omfatta risken att omkomma. Vi vet med säkerhet att vi, vid något tillfälle i livet kommer att dö. Hittills har detta skett för samtliga människor innan den 123:e födelsedagen. Världens längst levande människa blev nämligen 122 år och 164 dagar (Guinness world records 2005).

Om vi tänker oss en jämnt fördelad dödsrisk med den hittills längst levande människans ålder som referens för hur gammal det är möjligt att bli blir den årliga risken att omkomma  $\frac{1}{122.5} \approx 0,0082 \text{ år}^{-1}$ . Risken att omkomma är dock inte jämnt fördelad över livet, utan högre vid späd respektive hög ålder (Se figur 15).



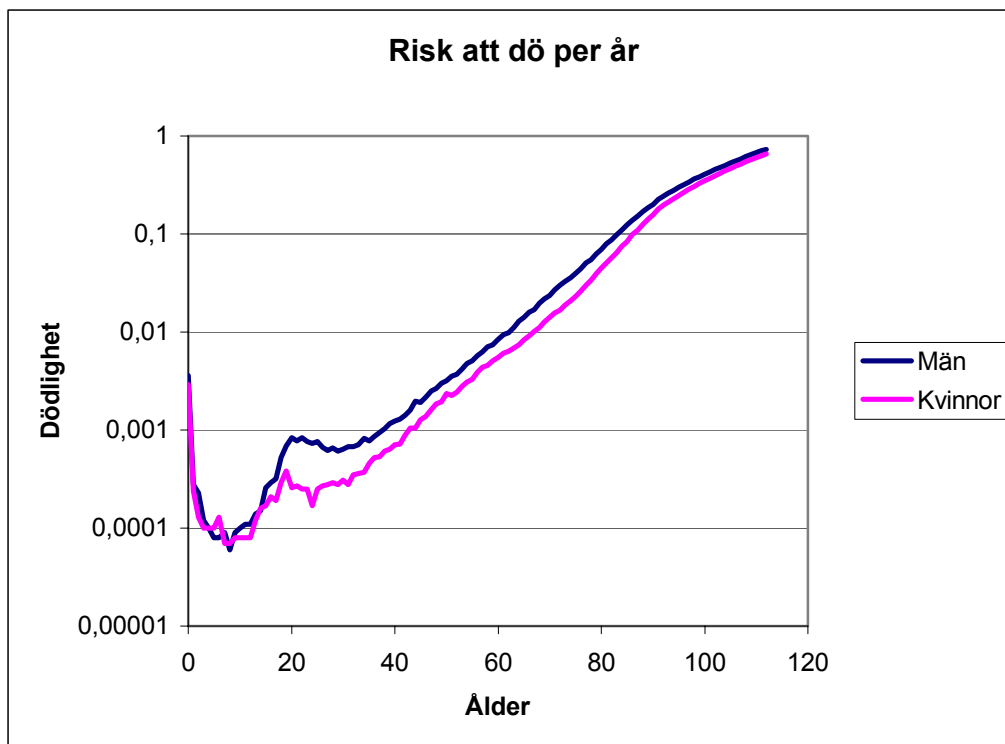


Fig. 15, Årlig dödsrisk för invånare i Sverige. Mätningen gäller tidsperioden 2000-2004 (SCB 2004).

Den lägsta årliga dödsrisken är  $0,00007 \text{ år}^{-1}$  för sju- till åttaåriga kvinnor och motsvarande  $0,00006 \text{ år}^{-1}$  för sjuåriga män under perioden 2000-2004 i Sverige.

Under perioden 1984-1989 omkom i medeltal 1106 kvinnor respektive 1766 män årligen till följd av olyckshändelser i Sverige. Delat på det totala antalet svenskar av respektive kön innebär detta att risken att omkomma på grund av olyckshändelser i Sverige under den aktuella perioden var  $0,00043 \text{ år}^{-1}$  för män och  $0,00026 \text{ år}^{-1}$  för kvinnor. (Jacobsson & Lamnevik 2001)

Genom att extrahera de olyckor som anmälts som arbetsolyckor, 100 män/år och 8 kvinnor/år, mellan 1988-1990 erhålls en årlig risk att omkomma i en arbetsolycka på  $0,000024 \text{ år}^{-1}$  för män och  $0,0000019 \text{ år}^{-1}$  för kvinnor, sett över alla branscher och alla invånare.

För att kunna jämföra verksamheter med olika personell storlek och med olika exponeringstid används FAR (Fatal Accident Rate) som mätetal för att definiera risken att omkomma. FAR definieras som antal dödsfall per 100 miljoner exponeringstimmar. För oljeindustrin i Europa var FAR = 3,3 för perioden 1993-2002 (CONCAWE 2004).

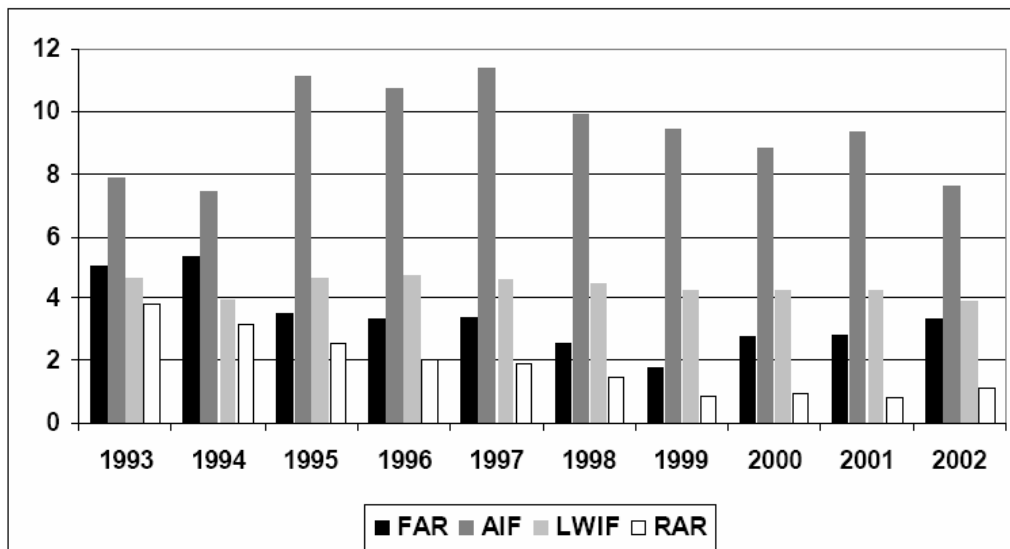


Fig. 16, Statistik för olyckor i den europeiska oljeindustrin (CONCAWE 2004)

I figur 16 redovisas förekomsten av olyckor i fyra olika kategorier som bör beaktas då risktoleranskriterier skall definieras. Nedan följer definitioner av dessa.

FAR	Fatal Accident Rate <i>Antal dödsfall per 100 miljoner exponeringstimmar</i>
AIF	All Injury Frequency <i>Totala antalet registrerade personskador per 100 miljoner arbetstimmar</i>
LWIF	Lost Workday Injury Frequency <i>Antalet förlorade arbetsdagar på grund av personskador per 100 miljoner arbetstimmar</i>
RAR	Road Accident Rate <i>Antalet trafikolyckor per 100 miljoner arbetstimmar</i>

Mot bakgrund av den typ av statistik som redovisats här definieras toleranskriterier för fysiska personskador i enighet med de fyra principer som anges i detta kapitelns inledning.

## 9 Presentation av risk

För att kunna ta ställning till om de risker som värderats i riskanalysen kan tolereras används olika sätt att framställa riskernas omfattning.

### 9.1 Förväntat skadevärde

För ekonomiska risker förespråkar författaren av denna rapport att det förväntade skadevärdet används för att beskriva risken. Det förväntade skadevärdet är den fiktiva kostnad som risken utgör per mätenhet, exempelvis tid, sträcka eller risktillfälle. För att beräkna vinsterna av riskreducerande åtgärder bör man utgå från detta väntevärde. Detta förutsätter att sannolikhet och frekvens kvantitativt värderats.

Illustrerande exempel:

- Den årliga sannolikheten för haveri på en specifik motor värderas till  $0,06 \text{ år}^{-1}$ .
- Den ekonomiska skada som ett sådant haveri medför värderas till 100 000 kr för att reparera motorn och 1000 000 kr för det produktionsbortfall som haveriet förväntas medföra.
- Det förväntade skadevärdet för haveriscenariot är då

$$R = P \cdot S = 0,06 \text{år}^{-1} \cdot (100000 \text{kr} + 1000000 \text{kr}) = 66000 \text{kr} \text{år}^{-1}$$

### 9.2 Individriskkonturer

Riskkonturer används för att geografiskt beskriva det område man med en viss frekvens förväntar sig en viss preciserad påverkan. Normalt används denna metodik endast för individrisk och kallas då för individriskkonturer.

Individrisken kan i detta sammanhang beskrivas som sannolikheten att dö på grund av vådaförlopp vid en studerad anläggning om man står oskyddad på ett och samma ställe i ett år.

För att avgöra vilka exponeringsnivåer som leder till döden används dos-responssamband. Vanliga sådana samband är exempelvis  $LC_{50}$  (Leathal Concentration 50%),  $LD_{50}$  (Leathal Dose 50%) som beskriver den koncentration respektive dos som dödar 50% av den utsatta populationen. Ofta uttrycks detta genom så kallade probitfunktioner ( $Pr$ ) som anger sambandet mellan koncentration ( $C$ ) och exponeringstid ( $t$ ) som ger sannolikheten för given konsekvens (här dödsfall). För  $H_2S$  är  $Pr = 31,42 + 3,008 \ln(C^{1,43} t)$  (Preemraff Göteborg 2000). Från denna typ av värden bestäms de exponeringsnivåer som anses dödliga.

Som underlag för att konstruera riskkurvor används kvantitativa frekvens- och konsekvensberäkningar. Denna information sammanställs sedan i ett händelsetråd där varje sluthändelse koppas till en tillhörande konsekvensberäkning. Alla dessa sluthändelsers konsekvensutbredningar överlagras sedan och frekvenserna i de överlagrade områdena ackumuleras så att de till slut utgör en summafrekvens för risken att omkomma i varje geografisk punkt till följd av vådahändelser på analysobjektet. Se figur 17.

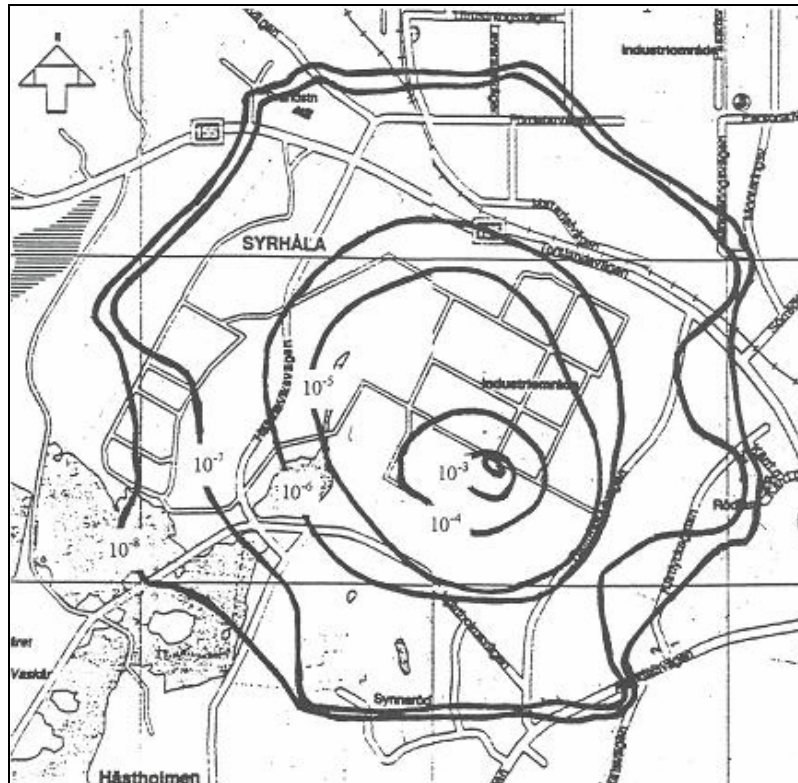


Fig. 17, Individriskkonturer för Preemraff Göteborg (2000)

### 9.3 Individriskprofiler

I individriskprofiler beskrivs risken att omkomma på grund av händelser i/på analysobjektet som funktion av avståndet. Detta kräver att riskkällan kan approximeras som en punkt samt att risken är jämnt fördelad i alla riktningar. I övrigt gäller samma förutsättningar som för individriskkonturer. Individriskprofiler är alltså en förenklad variant av personriskkonturer.

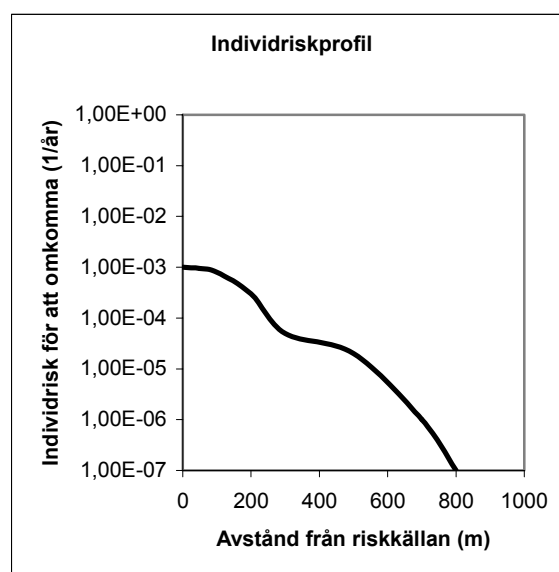


Fig. 18, Exempel - Individriskprofil

## 9.4 F/N-kurvor

F i F/N står för frekvens och N står för antal och syftar vanligtvis på antalet omkomna. Det är dock fullt möjligt att låta N stå för antalet av något annat än dödsfall.

I en F/N kurva ackumulerar man alla skadehändelser så att kurvan get svaret på frågan: Hur stor är den årliga risken att N personer omkommer till följd av vådahändelser på analysobjektet. F/N kurvor används främst för att beräkna risker från industri, trafik etc. på det omgivande samhället. F/N- kurvor tas fram genom att kombinera personriskkonturer med demografiska data för det område som omfattas av personriskkonturerna. Dessutom tar man i F/N- kurvorna hänsyn till människors förmåga att skydda sig, exempelvis genom att befinna sig inomhus, i fordon eller genom flykt.

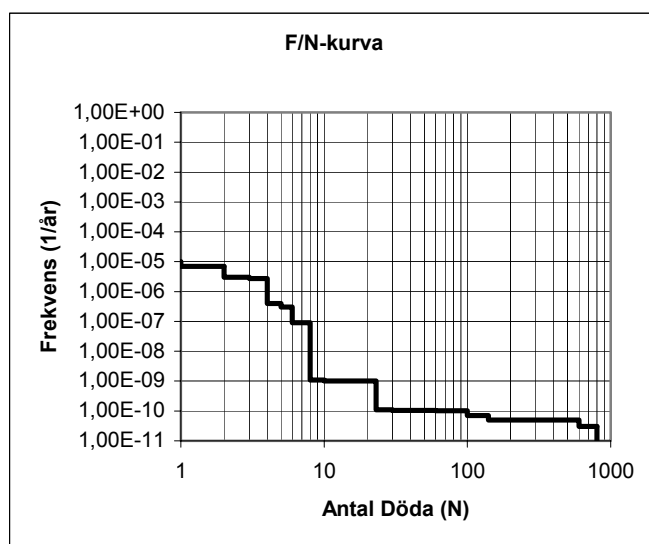


Fig. 19, Exempel - F/N-kurva

Ur kurvan ovan kan man följaktligen exempelvis utläsa att den årliga risken för att 10 personer eller fler skall omkomma till följd av händelser på/i analysobjektet är  $1 \cdot 10^{-9} \text{ år}^{-1}$ .

## 9.5 Riskmatriser

En riskmatris är ett grovt och ofta använt sätt att presentera risk. Matrisens ena axel utgör en frekvensskala och matrisens andra axel utgör en konsekvensskala. Varje ruta i matrisen är ett homogent område i modellen. Alla kombinationer av frekvens och konsekvensvärden inom denna ruta anses alltså vara lika allvarliga. Riskerna placeras i den ruta som överensstämmer med riskens frekvens och konsekvens. Rutnätets detaljeringsgrad beror på hur väl sannolikheter (P) och konsekvenser (S) kan beräknas. Om P- och S-beräkningarna har hög precision har ett mer detaljerat rutnät ett reellt värde men om osäkerheterna i beräkningarna är stora har en mer detaljerad matris inget ytterligare värde.

	1	2	3	4	5	
>1/år						5
1/(1-10 år)						4
1/(10-100 år)						3
1/(100-1000 år)						2
<1/1000 år						1
<b>Hälsa</b>	Övergående Lindriga obehag.	Enstaka skador, varaktiga obehag.	Enstaka svårt skadade, svåra obehag.	Enstaka dödsfall, flera svårt skadade.	Flera dödsfall, tiotals svårt skadade.	
<b>Miljö</b>	Inga egentliga skador. Liten utbredning. Ingen sanering	Övergående kortvariga skador. Liten utbredning. Ingen/enkel sanering	Långvariga skador. Liten - stor utbredning. Enkel sanering	Permanent skador, liten utbredning. Svår/omöjlig sanering.	Permanent skador, stor utbredning. Svår/omöjlig sanering.	
<b>Egendom</b>	<0,1 Mkr	0,1-1 Mkr	1-5 Mkr	5-20 Mkr	>20 Mkr	

Fig. 20, Exempel på riskmatris framtagen av Kemikontoret (1997).

## 10 Vald riskpresentationsform och tillhörande toleransnivåer

### 10.1 vald presentationsform

Eftersom QRA inte är tillämpligt är upplösningen/precisionen i FN-kurvor, personriskkurvor och individriskprofiler för hög. Att presentera riskerna på något av dessa sätt skulle därför innebära mycket stora osäkerheter i resultatet, som därmed skulle bli svårt att använda som beslutsunderlag. Dessutom lämpar sig dessa presentationsformer endast för hälso- och miljöskador. Ekonomiska skador på grund av produktionsbortfall och reparationskostnader kan ej värderas genom att beskriva det geografiska påverkansområdet. Användandet av dessa metoder skulle innebära att olika presentationsformer behöver användas för de olika konsekvenskategorierna. Detta skulle göra modellen mer komplex än om ett sätt att värdera samtliga konsekvenskategorier används. Beräkning av förväntade skadevärden kräver en preciserad kvantitativ värdering av sannolikhet och konsekvens, vilket generellt sett inte anses möjligt att prestera. Även denna metod diskvalificeras därför som huvudmetod.

#### 10.1.1 Varför riskmatriser?

Den presentationsform som hanterar samtliga av de ovan beskrivna problemen är riskmatriser. Att riskmatrisen har en logaritmisk karaktär i båda axlarna innebär att spridningen inom en och samma ruta i matrisen blir stor men det innebär samtidigt att det underlättar för analysgruppen att placera händelser i rätt ruta. Osäkerheterna i riskbedömningen består men presentationsformen tolererar osäkerheter inom storleksordningen en tiopotens både för sannolikheter och konsekvenser. Därför väljs riskmatriser som presentationsform. Matrisen i sig kan användas i analysarbetet för att på ett pedagogiskt sätt att styra in händelsen i rätt ruta genom att utesluta de andra tack vare de logaritmiska skillnaderna rutorna emellan. Detta är ett stort stöd för analysledaren om medlemmarna i analysgruppen är ovana vid riskanalysarbete.

Att välja riskmatriser som presentationsform innebär att arbetet blir enkelt och går snabbt relativt de övriga beskrivna modellerna. En annan underlättande omständighet är att konsekvenserna kan uttryckas i subjektiv klartext, exempelvis som ”Enstaka svårt skadade, svåra obehag”. Detta förenklar arbetet relativt numeriska värderingsskalor för konsekvenser, där man sätter relativa eller monetära värden på alla konsekvenser, även miljö- och personskador. Fördelarna med detta beskrivs i kapitel 8, *risktoleranskriterier*.

### 10.1.2 Utformning och problem att beakta

För ett mer omfattande analysobjekt kan fler olyckor av en specifik typ tolereras än vid en mindre. Att göra frekvensskalan okänslig för verksamhetens storlek har därför diskuterats. Detta skulle i sådana fall ske genom att uttrycka frekvenserna som relativa mått, exempelvis som frekvens/arbetad tid eller frekvens/processad volym. Fördelen med detta är att klassningen av de olika rutorna i matrisen kan behållas även om omfattning av analysobjekten varierar. Detta skulle dock addera en dimension till modellen och göra den svårare att förstå och överblicka. Eftersom människor med begränsad erfarenhet av riskanalys kommer att vara inblandad i analysarbetet är detta onödigt komplicerande. Skulle verksamhetens och analysobjektens karaktär väsentligen ändras omarbetas därför klassificeringen av matrisens rutor för att passa den nya situationen i stället.

När risktoleranskriterierna bestäms måste analysobjektens omfattning beaktas. Eftersom analysen utförs genom att definiera ett funktionskluster av processutrustning som analysobjektet måste risktoleranskriterierna för den typiska klusteromfattningen stämma överens med risktoleransen för vådahändelser på hela raffinaderiet. De risker som tolereras för varje enskilt kluster måste vara skalenligt mindre än raffinaderiets totala risktolerans.

De risker som identifieras har i normalfallet stora skillnader i konsekvensens omfattning för de olika kategorierna hälsa, miljö och egendomsskada. Exempelvis kan en viss risk ha en mycket stor ekonomisk konsekvens men i princip en obefintlig miljöskadande konsekvens. Därför används en riskmatris för var och en av konsekvenskategorierna hälsa, miljö och egendom. Varje identifierad risk värderas därmed med avseende på var och en av kategorierna för sig.

Med modellens enkelhet kommer naturligtvis en risk för suboptimeringar i de beslut som senare fattas med utgångspunkt i de beskrivna riskernas omfattning. De logaritmiska skillnaderna innebär en stor spridning av risker inom samma ruta i matrisen men eftersom detta är en följd av att riskernas omfattning inte kan preciseras bättre är alternativa metoder inte nödvändigtvis mer rättvisande. Detta anses därför vara ett universellt problem och inte ett specifikt problem för riskmatriser. Det är dock ett problem att skalan är så digital. Genom en glidande skala blir riskbedömningen mer nyanserad.

Det är också svårt att konstruera en samlad riskbild då subjektiva konsekvensbeskrivningar likt ”Enstaka svårt skadade, svåra obehag” används. Denna typ av konsekvensbeskrivningar är svåra att korrelera med andra typer av konsekvenser för att skapa en rättvisande bild av den totala risken. Av denna anledning har monetära eller relativa konsekvensvärderingar en stor fördel i att riskerna ur produktionssäkerhet, miljö och hälsosynpunkt kan adderas till varandra för att utgöra ett samlat riskvärde. Med denna typ av värdering kommer dock ett antal etiska problem med att värdera olika skador mot varandra. Mer om detta finns att läsa i kapitel 8. De subjektiva beskrivningarna är därför ändå att föredra inom privata företag i allmänhet och i Preemraff Göteborgs fall i synnerhet.



Riskmatriser är lätta att, frivilligt eller ofrivilligt, manipulera för att flytta en händelse från en ruta till en annan i matrisen. Detta kan dels ske genom att det för händelsen påverkbara området avgränsas så snävt att möjliga följdhändelser ej tas med i beräkningarna. Det är dock sannolikhetsberäkningarna som lättast påverkas. Dels kan detta ske på samma vis som för konsekvenserna, det vill säga att man avgränsar det undersökta området så att sannolikheten för en viss konsekvens på en viss plats underskattas genom att påverkan från angränsande områden ej tas i beaktning. Den andra stora källan till missvisande sannolikhetsberäkningar i riskmatriser är att olika typer av händelser delas upp så att man istället för en större risk får flera små. På detta sätt kan en icke acceptabel händelse brytas ned till två eller flera acceptabla. Detta kan göras genom att flera händelser med samma konsekvens beskrivs var för sig istället för att lägga ihop frekvenserna för de olika händelseförloppen så att detta beskrivs som en risk. Ett extremfall av detta kan exempelvis vara att haveririskerna för en pump beskrivs för varje enskilt haveriscenario istället för att lägga samman samtliga scenarion till att utgöra den samlade risken för haveri på pumpen. Denna problematik måste man därför vara noga med att beakta vid användandet av riskmatriser.

Den matris som kemikontoret föreslagit har varit utgångspunkt vid konstruktion av riskmatriser med tillhörande toleranskriterier som passar Preemraffs verksamhet. De ändringar som gjorts är:

- Matrisen delas upp så att en matris används för var och en av de tre konsekvenskategorierna.
- Skalan för egendomsskada har ändrats så att denna ej beskrivs i monetära enheter utan i likhet med de andra två, i kvalitativa termer.
- Konsekvensformuleringarna hämtas från befintligt klassificeringssystem för stopparbetsorder (Preemraff Göteborg 2005)

## 10.2 Valda toleransnivåer och kopplade underhållsåtgärder

Klustren delas upp i tre kategorier med avseende på riskens omfattning. Var och en av kategorierna beskrivs med en färgkod.

<b>Grön</b>	Tolerabel
<b>Gul</b>	Signifikant men tolerabel
<b>Röd</b>	Ej tolerabel

Till respektive kategori kopplas ett beslutsträd som beskriver hur riskerna skall hanteras. Beslutsträden är konstruerade för att underhållsinsatserna ska stå i relation till riskernas omfattning och ska användas för att styra in underhållsåtgärderna så att de lämpligaste tillämpas. Vad som är mest lämpligt definieras här i förhållande till riskens omfattning och karaktär i enighet med resonemanget i kapitel 8, *risktoleranskriterier*. Här följer beslutsträd för dessa tre kategorier som tydliggör åtgärdsprioriteringen för respektive kategori.

### 10.2.1 Grön riskklass



Fig. 21, *Beslutsträd – Grön riskkategori.*

Risken för denna kategori är av sådan art att den tolereras. Utrustning som ingår här är därför lågprioriterad och ett haveri på sådan utrustning äventyrar inte stora värden, alternativt bedöms som osannolik. Den extra risk som tillkommer på grund av att inte välja en tillståndsbaserad underhållsstrategi bedöms därmed som marginell.

Utgångspunkten är därför att omfattande förebyggande underhåll i onödan binder resurser för utrustning i denna kategori. Periodiskt underhåll i form av normenlig inspektion är obligatoriskt och periodiskt operatörsunderhåll tillämpas i syfte att förlänga utrustningens livslängd snarare än i syfte att undvika olyckor. Det gröna beslutsträdet utgör en kontroll av att denna sammansättning av underhållsåtgärder är lämplig.

## 10.2.2 Gul riskklass

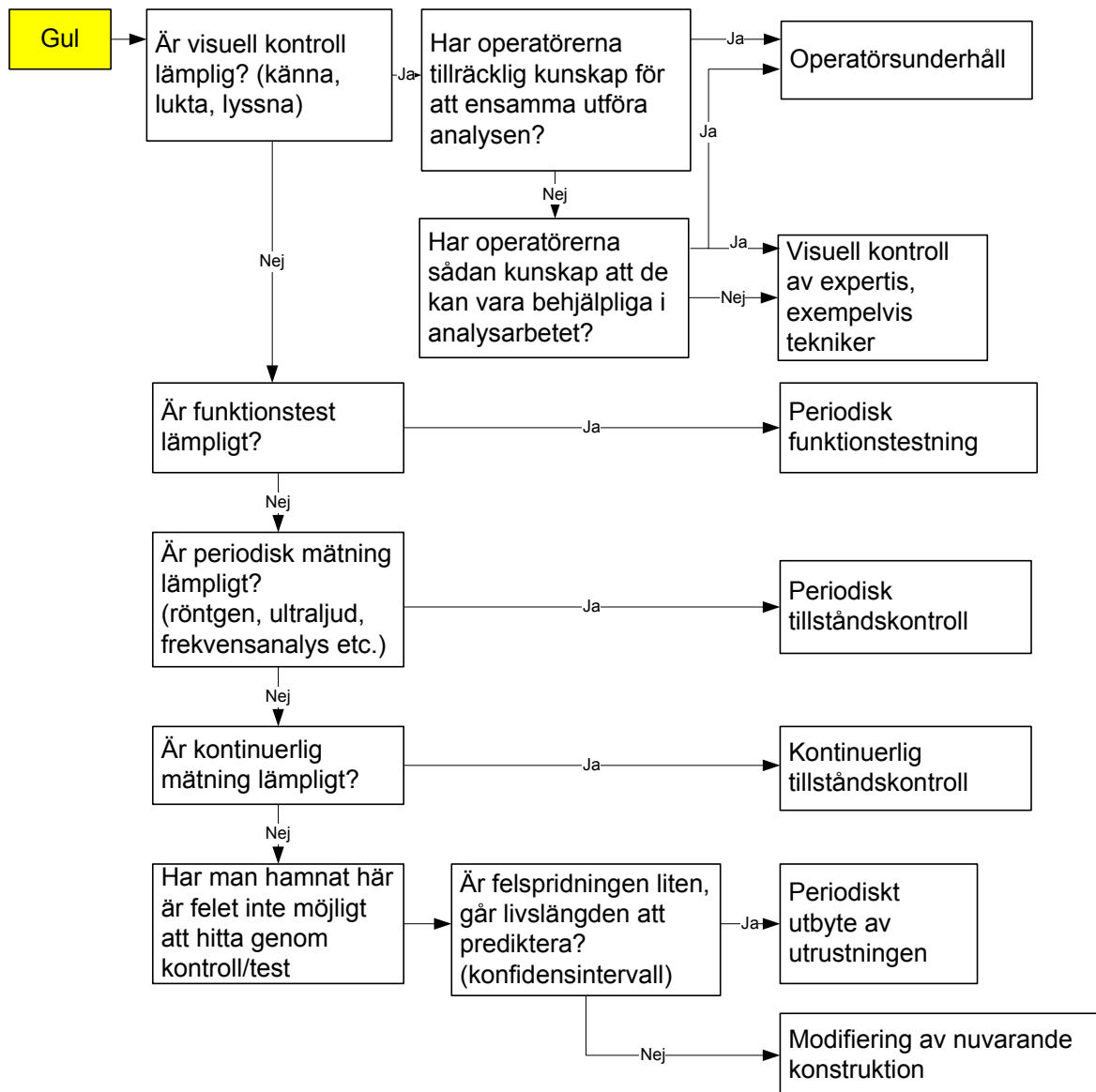


Fig. 22, Beslutsträd - Gul riskkategori

För de signifikanta men tolerabla riskerna är tillståndsbaserat underhåll normen. Denna tillståndsanalys skall vara schemalagd med en lämplig period eller utföras kontinuerligt. Några generella riktlinjer för vilken av de möjliga analysformerna som ska väljas och med vilka intervall kan ej preciseras med utgångspunkt i riskens omfattning. Det gula beslutsträdet utgör därför en rangordning av möjliga tillståndsbaserade underhållsstrategier där kostnaden för metoderna generellt är ökande nedåt i trädet. Den första underhållsstrategi som anses lämplig då man lotsar en utrustningskomponent ur den gula riskklassen genom beslutsträdet ska därför väljas som huvudstrategi. Då man i tillståndsanalysen upptäcker avvikelser från det normala beteendet hos utrustningskomponenten vidtas förebyggande underhållsinsatser för att undvika att avvikelserna eskalerar till ett haveri. I de fall där ingen lämplig metod för att analysera komponentens tillstånd finns är periodiskt utbyte i intervall relaterade till komponentens förväntade livslängd att föredra. Kan inte livslängden predikteras återstår modifiering av processens konstitution för att sänka risken till den tolerabla nivån.

### 10.2.3 Röd riskklass

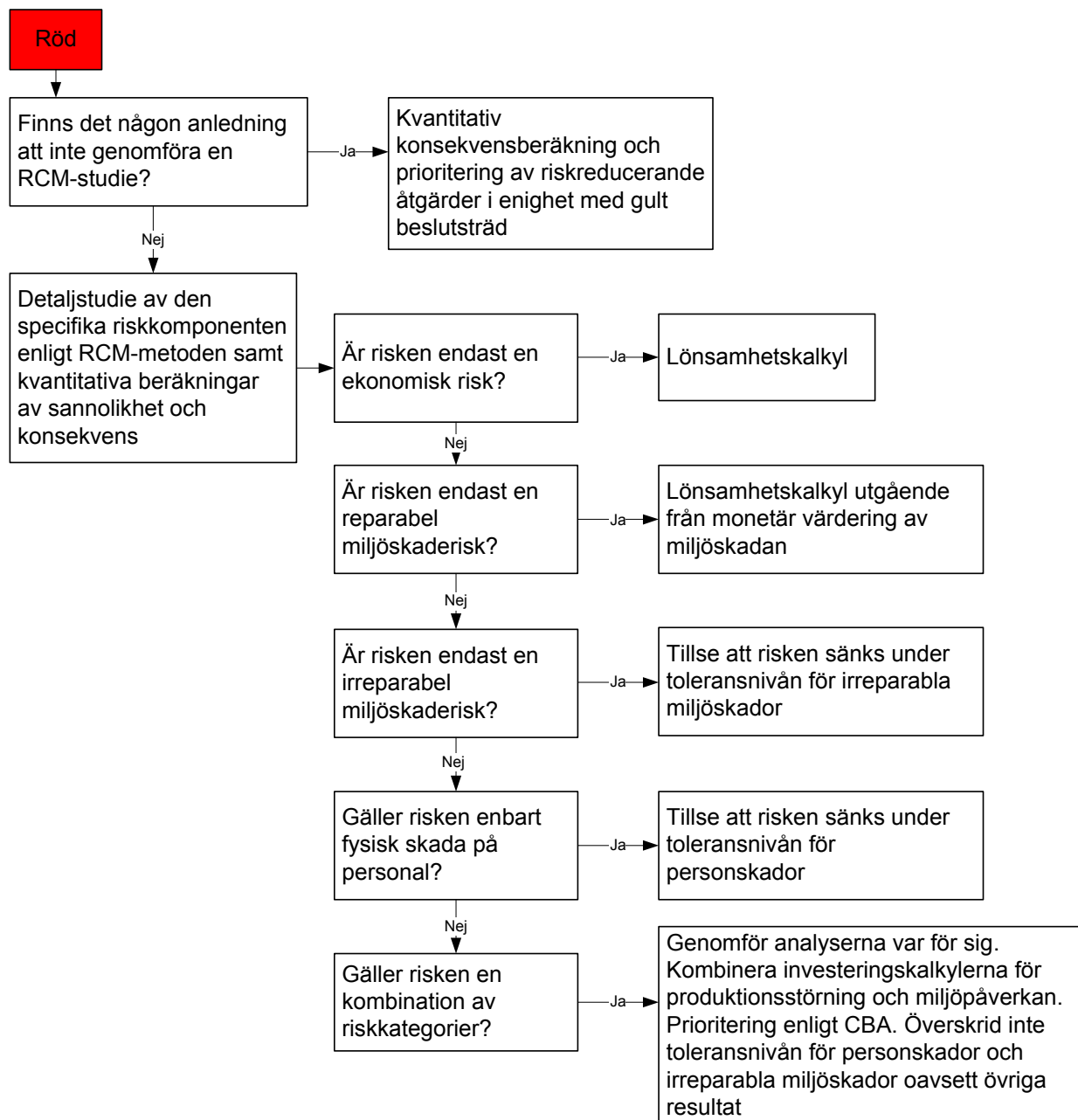


Fig. 23, Beslutsträd - Röd riskkategori

De processkomponenter vars risker är av sådan omfattning att de ej kan tolereras är högprioriterade. Riskreducerande åtgärder måste vidtas. Den initiala åtgärden består för klassen i att utföra ytterligare analys för att fördjupa kunskaperna om risken och för att utreda möjliga handlingsalternativ grundligt. För detta lämpar sig RCM-studier (se kapitel 3.3.1). I de fall RCM-studier inte anses lämpliga eller önskvärda bör åtminstone en kvantitativ konsekvensanalys utföras för att definiera de eventuella skadornas omfattning på ett preciserat vis. Om en RCM-studie utförs kommer den att resultera i ett underhållsprogram men om endast en konsekvensanalys utförs bör åtgärderna följa beslutsträdet för gul riskklass. En kontroll av att de åtgärder som på detta sätt väljs reducerar risken, minst till en signifikant men tolerabel nivå, måste sedan genomföras. Om risken trots åtgärder fortfarande ej kan tolereras duger inte åtgärderna och andra handlingsalternativ är nödvändiga.

## 10.2.4 Riskmatriser med införda toleransklasser

De indelningar som gjorts i matriserna för fysisk skada på personal, miljöskador och direkta ekonomiska skador är satta med hänsyn till de olika analysobjektens (klustrens) omfattning och är framtagna genom diskussion mellan rapportskribenten, Mats Lindgren, chef för Säkerhet och Kvalitet, samt Henrik Teiffel, chef för Underhåll. Resultatet av dessa diskussioner har sin utgångspunkt i kapitel 8 *Risktoleranskriterier*, i denna rapport och representerar Preemraff Göteborgs toleransnivåer. Indelningen är även jämförd med ett liknande system för riskbedömningar för enskilda arbetsorder som används på Preemraff Göteborg (2005). Matrisuppbyggnaden och färgkombinationerna är de samma i dessa båda fall. En korrelation mellan dessa två system är alltså utförd och bedömningssystemen är tänkta att harmonisera. Av denna anledning beskrivs konsekvenserna i de tre matriserna på samma sätt. Avstegen från kemikontorets rekommendationer i konsekvensklassbeskrivningarna beror följaktligen på att de två riskklassificeringssystemen ska ha samma uppbyggnad. Lämpligheten i de beskrivningar som valts diskuteras i kapitel 13, *diskussion*.

	1	2	3	4	5	
>1/år						5
1/(1-10 år)						4
1/(10-100 år)						3
1/(100-1000 år)						2
<1/1000 år						1
	Övergående Lindriga obehag.	Enstaka skadade, betydande obehag.	Enstaka svårt skadade, svåra obehag.	Enstaka Dödsfall eller flera svårt skadade.	Flera Dödsfall eller tiotals svårt skadade.	

Fig. 24, Riskmatris - Hälsa

	1	2	3	4	5	
>1/år						5
1/(1-10 år)						4
1/(10-100 år)						3
1/(100-1000 år)						2
<1/1000 år						1
	Ingen Sanering, liten utbredning	Lättare sanering, liten utbredning	Svår Sanering, begränsad utbredning	Mycket svår Sanering, stor utbredning	Mycket svår sanering. Mycket stor utbredning	

Fig. 25, Riskmatris - Miljö

	1	2	3	4	5	
>1/år						5
1/(1-10 år)						4
1/(10-100 år)						3
1/(100-1000 år)						2
<1/1000 år						1
	Obetydlig driftstörning	Kort anläggningsstopp < 1 dag alt. satsningsbegränsning 1-5 dagar	Anläggningsstopp > 1 dag alt. satsningsbegränsning 5-10 dagar	Totalt produktionsbortfall 1-10 dagar alt. satsningsbegränsning 10-15 dagar	Totalt produktionsbortfall >10dagar alt. satsningsbegränsning > 15 dagar	

Fig. 26, Riskmatris - Direkt ekonomisk skada

## 11 Klassificeringssystemet i sin helhet

För att skapa en överblick över systemet och för instruktion vid utförande beskrivs här modellen moment för moment. Detta är dock ingen handbok för tillämpning.

### 11.1 Arbetsmetodik vid riskanalysen och behandling av resultatet

1. Utrustningen i anläggningen som ska analyseras delas in i kluster utgående från P&I-scheman och en funktionstitel sätts på varje kluster. Exempel på sådana funktioner är: pumpning från A till B, destillation av ström C till fraktioner D, E och F, värmeväxling av media G etc. Indelningen görs av analysledaren som sedan tillfrågar analysgruppen om indelningen är lämplig innan riskanalysen påbörjas.
2. Information om driftsbetingelser, volymer, fysikaliska förhållanden och ingående kemikalier och reaktioner utgör tillsammans med tillgänglig information om ingående utrustning, exempelvis historik över utförda underhållsinsatser och gällande underhållsprogram, den faktamässiga bakgrunden för analysen. Ansvar för att ta fram denna information fördelas på lämpligt sätt mellan analysgruppens medlemmar.
3. För varje kluster identifieras riskerna för externt frigörande av skadlig energi, *sk. Loss of containment* eller prestandaminskande händelser enligt den FMEA modell som utarbetats. Mall och instruktion för tillämpning av denna återfinns i bilaga A. Då detta arbete utförs är hela analysgruppen samlad. Händelseförlopp beskrivs med fördel genom fel- och händelsesträd då sambanden är komplexa. Som stöd, men inte som instruktion, har analysledaren en checklista över de faktorer som generellt skall beaktas. För specifika typer av komponenter kan specifika checklistor användas.
4. Efter identifiering av riskerna uppskattar analysgruppen sannolikhet och konsekvens för dessa. I detta kan tomma riskmatriser användas för att enklare kunna avgöra vilken ruta en händelse bör hamna. Eftersom matrisen är logaritmisk kan det vara ett stöd genom att nivån över och under kan uteslutas, vilket underlättar arbetet speciellt då analysgruppen har liten erfarenhet av sannolikhetsberäkningar. Det är dock viktigt att analysledaren är förtrogen med sannolikhets och konsekvensberäkningar.

Monetära värderingar kan sedan göras med utgångspunkt i riskanalysen om detta är önskvärt. Sådant arbete görs dock inte med hela gruppen samlad utan av enskilda, eventuellt genom ett remissförfarande.

5. Förutom att fylla i FMEA-mallen beskrivs riskbilden för klustret i löpande text. Detta arbete utförs efter analysmötena av någon lämplig person i analysgruppen.
6. Insättning av de värderade riskerna i riskmatriserna med toleranskriterier, som finns i kapitel 10.2.4, ger vilken riskklass klustret och dess ingående komponenter tillhör. De faktorer som avgjort klassen beskrivs i den text som avses i punkt 5 ovan i syfte att dokumentera vilka processdelar som eventuellt ska åtgärdas i ett senare skede.
7. Beslut om lämpliga underhållsåtgärder fattas enligt de beslutsträd som finns i kapitel 10.2.1-3. De risker som är allvarligast prioriteras först för eventuella åtgärder. Även i framtiden används riskklassen för att prioritera mellan olika underhållsarbeten.

## 11.2 Analysgruppens sammansättning

Den gruppens sammansättning som föreslås nedan är erfarenhetsmässigt baserad. Bakgrunden till de slutsatser som dragits redovisas i kapitel 12, *Erfarenheter från tillämpning av klassificeringssystemet*. På följande sida presenteras gruppens sammansättning grafiskt. I figuren markerar rött ständiga gruppmedlemmar och grönt markerar personalkategorier som kan tänkas ingå, beroende på analysobjektets karaktär.

Analysgruppen sätts primärt samman för att täcka de centrala kompetensområdena men även för att involvera de yrkesgrupper som berörs av analysresultatet. Detta görs för att skapa större acceptans och förtroende för resultatet.

För att värna om kreativiteten och den fria mötesstrukturen bör antalet deltagare begränsas till maximalt sex personer. För att få dynamik i arbetet bör minst tre personer delta.

Analysledaren bör vara ansvarig för resultatet. Därmed är det lämpligt att samma person är ansvarig för att styra gruppens arbete och för administrationen. Därför ska denne vara hämtad från underhållsorganisationen, eftersom det primärt är underhållsarbetet som påverkas av analysresultatet. Som tidigare nämnts är det också viktigt att ledaren är väl förtrogen med riskanalysmetoden och har matematiska kunskaper relaterat till riskvärdering. Underhållsingenjörerna är av anledningarna som angetts ovan de som lämpar sig bäst som analysledare.

För teknisk kunskap om problemområdena bör en el- och instrumenttekniker och en inspektör stående ingå i analysgruppen.

Det är av största vikt att anläggningsägaren, det vill säga driftorganisationen, är delaktig i gruppen. Dels för att de är uppdragsgivare till underhållsorganisationen men även för att de har den praktiska kunskapen om möjliga sätt att produktionsmässigt överbrygga fel på processutrustningen och vilka dominoeffekter som kan förväntas i processen vid haveri på utrustning.

Ett antal andra discipliner kan också vara aktuella att ha med i gruppen. Dessa kan vara underhållstekniker, specialister på underhållsområdet, processingenjörer, miljöingenjörer etc. För dessa yrkeskategorier tas beslut om vilka personer som skall ingå i analysgruppen beroende på analysobjektet. Specifika frågeställningar som ej kan besvaras av den befintliga riskanalysgruppen kan också ställas i efterhand till sådana personer utan att de behöver ingå i gruppen.

Valet av vilka enskilda personer som bör delta är dels beroende på teknisk kunskap men även till stor del beroende på inställningen till metodiken och samarbetsförmåga, vilket är avgörande komponenter för resultatet.



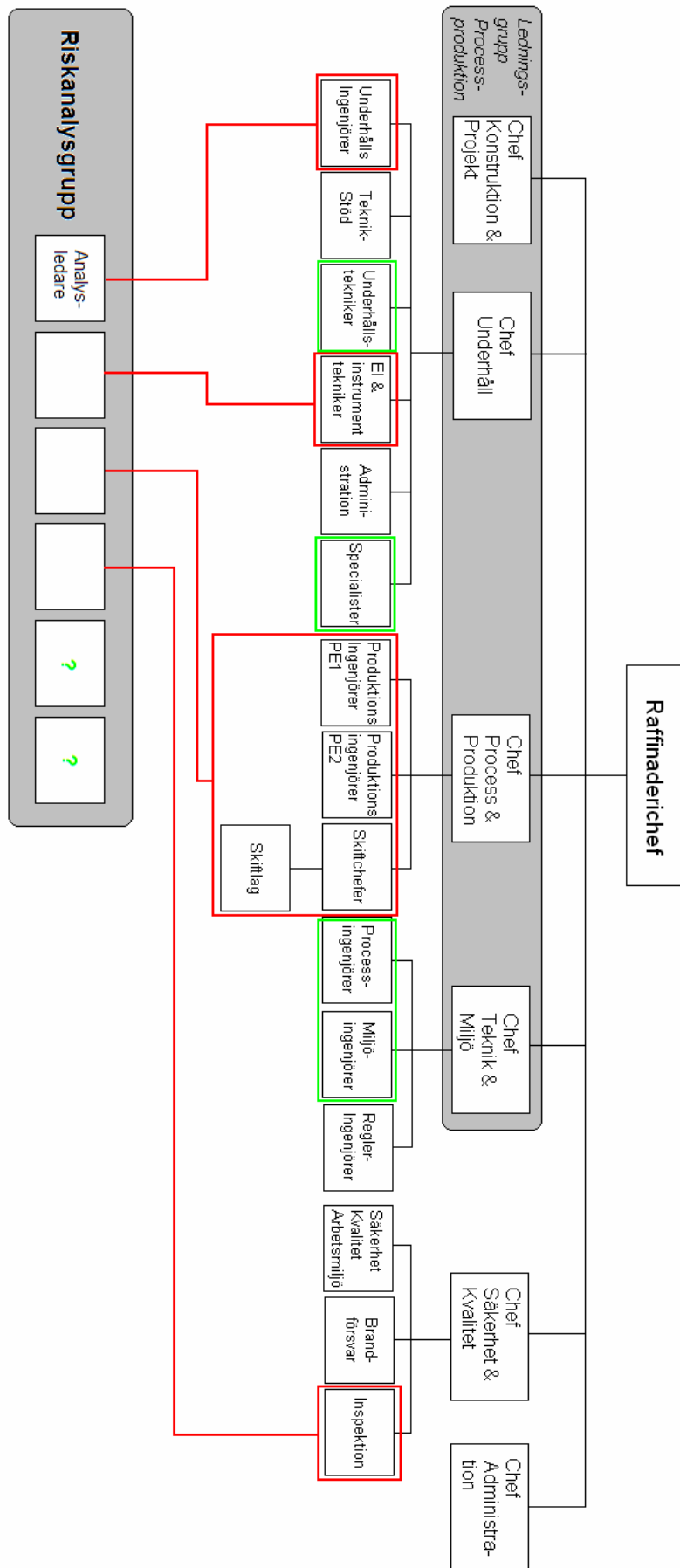


Fig. 27, Organisationsschema process-produktion

## 12 Erfarenheter från tillämpning av klassificeringssystemet

### 12.1 Förutsättningar

Riskanalyserna har utförts i en grupp bestående av rapportskribenten, chefen för underhållsorganisationen, en underhållsingenjör och en biträdande skiftledare. Sammanlagt har 20 timmars analys utförts. Varje möte varade ungefär i två timmar. Arbetet inleddes med en introduktion till modellen och arbetsgången. Rapportskribenten har varit analysledare. Att här redogöra för grunden till de slutsatser som dragits är komplicerat eftersom de är resultat av tillämpningen av modellen i analysgruppen och följaktligen hur dessa brister uppfattades. I bilaga B, C och D finns resultat från tillämpningsförsöket. För kravet på reproducerbarhet föreslås att bristerna i analysresultatet analyseras i syfte att identifiera vilka kompetensområden och aspekter som saknas.

### 12.2 Erfarenheter av arbetsmetodiken och gruppammansättningen

Att dela in processutrustningen i lämpliga kluster innebar inget problem. Naturliga avgränsningar fanns i samtliga fall. I analysgruppen fanns kunskap om driftsbetingelser och möjliga driftsalternativ. Fysikaliska betingelser fanns angivet i process- och instrumenteringsscheman. Något som saknades var dokumentation om befintliga underhållsprogram och utförda underhållsåtgärder. Sådan information hade gett en tydligare bild av problemkomponenter och vart man i dag lägger underhållsresurserna. Informationen finns att tillgå i det datoriserade arbetsordersystem som Preemrtaff använder och därför införs framtagandet av sådan bakgrundsinformation som en del i klassificeringssystemet.

I riskidentifikationsarbetet saknades kunskap om metalliska material och korrosions/erosionsproblematik, vilken primärt finns hos inspektörerna, som dessutom har erfarenhet av inspektion på den utrustning som analyseras. Därför föreslås att i framtiden ha en plats i analysgruppen vigd åt inspektionsorganisationen. Det andra kompetensområde som inte täcktes in av den befintliga analysgruppen var elektrisk utrustning. Felfrekvensen kunde erfarenhetsmässigt uppskattas i gruppen men kunskap om orsakerna till sådana fel saknades. En andra plats i gruppen föreslås därför tillfalla el- och instrumentteknikerna.

Vanan att värdera sannolikhet och konsekvens var mycket begränsad hos gruppen, bortsett rapportskribenten. Initialt lades stor energi på att placera identifierade risker på rätt nivå och på att förklara sannolikhetsbegrepp. En introduktion i sätt att värdera sannolikhet och konsekvens enligt kapitel 5, *beräkningsmetoder*, rekommenderas därför framgent för de som ska ingå i analysgrupper. Någon i gruppen bör dessutom ha mer kunskap än så inom dessa områden, förslagsvis analysledaren. I takt med att analysgruppen fick större erfarenhet gick arbetet med värdering lättare.

Insättningen av de uppskattade riskerna i de definierade riskmatriserna innehållande toleranskriterier gav riskklass för var och en av riskkomponenterna. En beskrivning av riskbilden för de analyserade klustren sammanställs i löpande text för att i efterhand kunna gå tillbaks till analysresultatet i syfte att utarbeta åtgärder utifrån riskanalysprotokollet. Det visade sig nämligen svårt att ta ställning till lämpliga underhållsåtgärder om inte de beslutet togs direkt i anslutning till riskanalysen.

Att i grova drag sätta samman ett underhållsprogram utgående från de beslutsträd som finns i kapitel 10.2 redan i samband med analysen föreslås därför. Underhållsprogrammet kan preciseras exakt senare men den huvudsakliga underhållsmetoden bör bestämmas direkt.

Mer än två timmars analysarbete åt gången är inte att rekommendera. Ungefär efter en timme och 40 minuter börjar gruppen bli trött och kreativitetsnivån sjunker markant med mindre grundligt resultat som följd. Ett kluster tog mellan 30 minuter och en timme att analysera.

## 13 Diskussion

### 13.1 Vad krävs för att systemet ska fungera?

För att identifiera och klassificera underhållsrelaterade risker utgör det system som föreslås i denna rapport en avvägd kompromiss mellan tidsåtgång, kostnad och kunskapskrav å ena sidan och precisionen i resultaten å andra sidan. Det är alltså inget exakt verktyg som tar hänsyn till alla tänkbara faktorer. För att systemet ska fungera i praktisk användning måste detta accepteras. Acceptans är inte bara viktigt ur denna utgångspunkt utan även generellt viktigt för att metoden ska få genomslag i organisationen och införlivas praktiskt i ledningssystemet.

Introduktionen av ett så annorlunda arbetssätt kan därför inte ske som en punktinsats, utan måste föregås av utbildning och gradvis infasning för att ägarna till systemet ska få tid på sig att lära känna metoden och hitta rätt nivå i analysen genom återkoppling till de faktiska effekterna i underhållsarbetet. Det är också absolut nödvändigt att företagets ledning helt står bakom införandet för att komma förbi den tröskel det innebär att införa ett helt nytt arbetssätt. I annat fall blir minsta motståndets lag lätt gällande och modellen frångås, vilket i förlängningen innebär att den blir verkningslös.

### 13.2 Mätbarhet

Att mäta värdet av organisatoriska förändringar är komplicerat. I detta är attityder och företagskulturen viktiga faktorer. För att värdera dessa parametrar, som till stor del handlar om åsikter och inställningen till arbetet, föreslås återkommande enkätundersökningar för att visa hur den organisatoriska förändringen påverkat de anställda.

I fallet med detta klassificeringssystem utgör inte systemet ett komplett arbetssätt. Hur det praktiska underhållsarbetet utförs i relation till systemet har också stor betydelse för utfallet. Den underhållsstrategi som väljs, och där detta klassificeringssystem ingår som en del, måste därför utvärderas som en helhet. Det är inte heller oproblemiskt att identifiera mätetal som är okända för andra typer av förändringar i verksamheten, så att enbart framgången i underhållsarbetet kan utvärderas separat.

Underhållets syfte är att säkerställa hög tillförlitlighet och tillgänglighet hos anläggningar med bibehållen säkerhet. För att mäta dessa tre faktorer behövs tre mätetal. Följande föreslås:

Tillförlitlighetstalet (TT) beräknas som planerad produktionstid (PT) minus driftstörningstid (DT) gånger den relativa prestandaminskningen. Allt detta divideras med den planerade produktionstiden (PT) för att utgöra ett mätetal mellan noll och ett, där ett innebär total tillförlitlighet och noll innebär helt obefintlig tillförlitlighet. Den relativa prestandaminskningen beräknas som prestanda under driftstörningen (PUD) dividerat med planerad prestanda (PP). Tillämpning föreslås på delanläggningsnivå.

$$TT = \frac{PT - (DT \cdot (PUD/PP))}{PT}$$

Det föreslagna tillförlitlighetstalet (TT) är ett mått på omfattningen av driftstörningar i relation till den planerade produktionstiden och beskriver hur väl utrustningen klarar av att uppfylla de förväntningar som ställs på den som ett relativt mått.

För tillgänglighet används för närvarande olika benchmarkingmodeller som mäter tillgängligheten relativt andra raffinaderier. Detta är i sig bra men det är också intressant att undersöka den specifika tillgängligheten. Ett mycket simpelt mätetal föreslås för intern utvärdering av tillgängligheten.

Tillgängligheten (TG) beskrivs som den tid utrustningen är tillgänglig för användning (TA) delat med total tid för mätperioden (TM).

$$TG = \frac{TA}{TM}$$

Tillgängligheten bör relateras till den omfattning utrustningen används och vad utrustningen används till. En komponent vars funktion kontinuerligt krävs har högre tillgänglighetskrav än komponenter som används sporadiskt och vars funktion har liten betydelse. Den glidande skalan mellan dessa ytterligheter innebär därför att dessa parametrar svårligen kan integreras numeriskt i något allmänt gällande relativt tillgänglighetstal. Det tal som ovan föreslås skall därför utvärderas mot bakgrund av de tillgänglighetskrav som ställs på det analyserade objektet. Genom det tal som ovan föreslås kan man således mäta förändringar, men inte förändringar i relation till varierande tillgänglighetskrav.

Säkerheten är komplicerad att mäta eftersom så få olyckor händer på anläggningsnivå och för att olyckorna varierar kraftigt både i karaktär och omfattning. Det statistiska underlaget per konsekvenskategori blir därmed så litet att antalet olyckor i relativa mått sett kommer variera kraftigt mellan mätperioderna för en så begränsad anläggning som Preemraff Göteborg ändå är. Att utvärdera säkerhetsarbetet genom något standardiserat, kliniskt mätetal anses därför ej tillämpligt för begränsade objekt och tidsperioder.

### 13.3 Konsekvensbeskrivningar

De konsekvensbeskrivningar för miljöskador som används i Preemraff Göteborgs klassificeringssystem för enskilda arbetsorder och som därför också föreslås i detta arbete är inriktade på omfattningen av eventuell sanering. Därmed ges korttidseffekter och människors reaktion på miljöskadan liten uppmärksamhet i förhållande till hur dessa faktorer påverkar företaget. I detta arbete har inte goodwillfaktorer behandlats men inget principiellt hinder finns för att även väga in sådana faktorer i riskbedömningen. Revision av konsekvensformuleringar för övriga riskkategorier rekommenderas av samma anledning.

Mer preciserade och mer vidsynta formuleringar än de som används i denna rapport föreslås av Anders Jacobsson (2005) för värdering av miljöskador. Se nästa sida.

Klass	Karaktär	Exempel
1 Små	Inga egentliga skador. Liten utbredning. Ingen sanering.	Mindre utsläpp av kemikalier i tillverkningen eller tankområde. När ej avlopp. Lukt i fabriken. Inga störningar i omgivningen utanför företaget. <i>Passerar obemärkt i massmedia.</i>
2 Lindriga	Övergående kortvariga skador. Liten utbredning. Ingen eller enkel sanering.	Mindre utsläpp av kemikalier i tillverkningen, tankområde eller på fria ytor. Utsläpp når avlopp, men påverkar ej reningsverk eller recipient. Lukt i fabriken och i omgivningen. <i>Uppmärksammas men enbart i notisform i massmedia.</i>
3 Stora	Långvariga skador. Liten till stor utbredning. Enkel sanering.	Större utsläpp av kemikalier (eller mindre utsläpp av starkt ekotoxisk kemikalie) i tillverkningen, tankområde eller på fria ytor. Utsläpp når avlopp och påverkar reningsverk eller recipient. I samband med eventuell brand kan kontaminerat släckvatten spridas okontrollerat. Lukt i fabriken och i omgivningen. <i>Uppmärksammas stort i massmedia.</i>
4 Mycket stora	Permanent skador. Liten utbredning. Oftast svår eller omöjlig sanering.	Större utsläpp av kemikalier (eller mindre utsläpp av mycket starkt ekotoxisk kemikalie) i tillverkningen, tankområde eller på fria ytor. Utsläpp når avlopp och påverkar reningsverk eller recipient kraftigt. I samband med eventuell brand kan kontaminerat släckvatten spridas okontrollerat. Kraftiga luktstörningar i fabriken och i omgivningen. <i>Uppmärksammas mycket stort i massmedia.</i>
5 Katastrofala	Permanent skador. Stor utbredning. Oftast svår eller omöjlig sanering.	Större utsläpp av kemikalier (eller mindre utsläpp av mycket starkt ekotoxisk kemikalie) i tillverkningen, tankområde eller på fria ytor. Utsläpp når avlopp eller flödar okontrollerat och påverkar reningsverk eller recipient kraftigt. I samband med eventuell brand kan kontaminerat släckvatten spridas okontrollerat vida omkring. Kraftiga luktstörningar i fabriken och i omgivningen. <i>Uppmärksammas mycket stort i massmedia. Hot mot anläggningens framtid.</i>

Fig. 28, Alternativa konsekvensbeskrivningar (Jacobsson 2005)

### 13.4 Systemets styrkor relativt nuvarande system

Systemet består av ett i text beskrivet arbetssätt. Detta är en fördel gentemot det kulturella och vedertagna men icke i text formulerade arbetssätt som i dag används. Detta är ingen specifik fördel för denna arbetsmodell, utan för formella ledningssystem i allmänhet. Specificeringen innebär att metoden kan ändras genom att ändra den skrivna metodiken. Att ändra ett informellt system är betydligt svårare eftersom användarna inte kan kolla upp hur arbetet ska utföras. Styrningen blir då mer diffus.

Genom att personer ur olika yrkesgrupper ingår i analysgrupperna främjas en gemensam syn på underhållet och förståelsen för andra hänsynstaganden än de egna, vilket ökar förståelsen vid målkonflikter.

Teknisk kunskap och erfarenheter sprids också genom att medlemmarna förklarar sin syn på riskerna för den övriga gruppen. Detta är alltså en direkt utbildningseffekt som ökar kompetensen hos var och en.

Analysresultatet består inte bara av beslut om vilka underhållsinsatser som ska tillämpas för varje komponent, utan även en tydlig motivering till varför. Detta gör att förutsättningarna för att få gehör för de förslag som läggs fram ökar, speciellt i de fall en lönsamhetskalkyl ligger till grund för beslutet.

Den generella riskmedvetenheten ökar. Även detta är en utbildningseffekt som dock kräver att analysledaren, eller någon annan gruppmedlem, har goda kunskaper om riskhanteringsprocessens olika komponenter att föra vidare till den övriga gruppen.

Att använda en proaktiv underhållsmetodik leder till minskade reaktiva underhållsåtgärder på sikt. Att vidta åtgärder där man vet att man har problem är Preemraffs organisation redan mycket bra på. Tillgängligheten är hög och ytterligare sådana insatser leder därför inte vidare. Därför lämpar sig riskanalysmetoden i det föreslagna systemet bra eftersom hänsyn kan tas både till kända problem och möjliga problem som ännu inte uppstått. Utryckningsmentaliteten och det avhjälpande underhållet kan därmed på sikt minskas till förmån för planerade insatser.

## 14 Referenslista

- Abrahamsson, Marcus & Magnusson, Sven Erik (2004). *Risk- och sårbarhetsanalyser, KBM:s forskningsserie nr 2* Stockholm: Krisberedskapsmyndigheten (KBM). Citerar Kaplan S (1997) *The words of risk analysis, risk analysis, Vol 17, No 4*, Plenum press
- Center for chemical process safety (1989) *Process Equipment Reliability Data* New York, USA: American Institute of Chemical Engineers
- Center for chemical process safety (2000) *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis* Andra uppl. New York, USA: American Institute of Chemical Engineers
- CONCAWE (2004) *European downstream oil industry safety performance – statistical summary of reported incidents -2002* Bryssel, Belgien: CONCAWE
- Davidsson Göran, Haeffler Liane, Ljungman Bo & Frantzich Håkan (2003) *Handbok för riskanalys* Räddningsverket, Risk- och Miljöavdelningen
- Enander, Ann & Johansson Ann (1999) *Säkerhetsmedvetande – en förutsättning för säkerhetsbeteende?* Karlstad: Försvarshögskolan, Ledarskapsinstitutionen
- Försvarets forskningsanstalt (FOA) (1998) *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor* 2. rev. och utökade uppl. Umeå: Försvarets forskningsanstalt (FOA)
- Guinness World Records (2005) *Sökmotor: Sökord: Oldest woman* [Elektronisk] Tillgänglig: <http://www.guinnessworldrecords.com/> [2005-11-10]
- Hallin, Per-Olof, Nilsson, Jerry & Olofsson, Nicklas (2004). *Kommunal sårbarhetsanalys, KBM:s forskningsserie nr 3* Stockholm: Krisberedskapsmyndigheten (KBM)
- IEC (International Electrotechnical Commission) (1995) *Dependability management- Part 3: Application guide- Section 9: Risk analysis of technological systems* Genève, Schweiz: IEC
- ISO/IEC (International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission) (2002) *Guide 73, Risk management – Vocabulary – Guidelines for use in standards* Schweiz: ISO
- Jacobsson, Anders (2005) *Klassificering – Risker* Opublicerat manuskript
- Jacobsson, Anders & Lamnevik, Stefan (2001) *Tolerabel risk inom kemikaliehanterande verksamheter – En vägledning från IPS* Tumba: IPS (Intresseföreningen för processsäkerhet)
- Jacobsson, Anders (2001) *“Inherent safety”* Karlstad: Räddningsverket, Risk- och miljöavdelningen
- Johansson, Karl-Edward (1997). *Driftsäkerhet och underhåll* Lund: Studentlitteratur
- Kemikontoret (1997) *Integrerat Ledningssystem för Säkerhet, Hälsa och miljö – En handbok, med rutiner, om SHM-ledningssystem* Stockholm: Kemikontoret



- Kemikontoret (2001) *Riskhantering 3 – Tekniska riskanalyismetoder* Stockholm
- Mattsson, Bengt (2000) *Riskhantering vid skydd mot olyckor – problemlösning och beslutsfattande* Karlstad: Räddningsverket, räddningstjänstavdelningen
- Moubray, John (1997). *Reliability-centered Maintenance* Norfolk, Storbritannien: Elsevier Butterworth-Heinemann
- Nystedt, Fredrik (2000) *Riskanalyismetoder* Lund: Lunds Tekniska Högskola, Brandteknik
- Persson, Ingvar & Nilsson, Sven-Åke (1999) *Investeringsbedömning* 6. uppl. Malmö: Liber Ekonomi
- Preem Raffinaderi AB (2000) *Säkerhetsrapport 2000* Göteborg: Preemraff Göteborg
- Preemraff Göteborg (2005) *Instyrning av stopparbetsordrar*, Opublicerat manuskript, Interninstruktion, Göteborg: Preemraff Göteborg
- SINTEF industrial management (2002) *Offshore reliability data* Fjärde uppl. Norge: OREDA (offshore reliability data)
- SIS (Swedish Standard Institute) (2001), *Underhåll – Terminologi Maintenance terminology* Stockholm: SIS förlag AB
- Statistiska centralbyrån, SCB (2004) *Tabeller över Sveriges befolkning* Örebro: Statistiska centralbyrån, Enheten för Befolkning

## 15 Förteckning över bilagor

- A** Instruktionsmall och mall för dokumentationen att använda vid riskanalys
- B** Analysresultat – Exempel från tillämpningen
- C** Utfall från försöken på aminsysteemmet och de enskilda klustren, sammanfattning
- D** Intervjustudie av gruppmedlemmar exklusive rapportskribenten

DATUM:  
ANALYSLEDARE:

SIDA \_\_ AV \_\_

ARBETSSCHEMA FÖR RISKANALYS, METOD: FMEA  
PROCESSENHET: KLUSTER:

Klusterfunktion, normala driftsbetingelser	Risker, felfunktioner	Möjliga orsaker	Feleffekter, Konsekvenser	Kommentarer, vidtagna åtgärder	Riskvärdering				Rekommenderade åtgärder	Ansvarig, tid							
					P	H	M	E									
<p>Här beskrivs klustret och dess funktion i processen.</p> <p><b>Exempel:</b> Pumpstation för tryckhöjning i två steg. Varje steg bestående av två redundanta pumpar.</p> <p><b>Fysikaliska och kemiska driftsbetingelser beskrivs.</b></p> <p><b>Exempel:</b> Mediet är MDEA (metyldietanolamin)  <math>V \approx 77 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}</math>  <math>T \approx 30^0 \text{ C}</math>  <math>P_0 = 1 \text{ bar}</math>  <math>P_1 = 8,4 \text{ bar}</math>  <math>P_2 = 55,7 \text{ bar}</math></p>	<p>Med felfunktioner avses fel som leder till avvikelser från den normala funktionen</p> <p><b>Exempel:</b> Båda mellantryckspumparna stoppar samtidigt</p> <p>lagerhaveri på högtryckspump</p> <p>Haveri på elmotor till mellantryckspump</p> <p>Torrkörningsskydd löser ut trots att vätska finns på sugsidan av någon av pumparna.</p>	<p>Beskrivningar av händelseförlopp och orsaker som kan tänkas leda till de beskrivna riskerna, felfunktionerna. Varje felfunktion kan ha flera olika orsaker.</p> <p><b>Exempel:</b> Torrkörning</p> <p>Vibrationer, dålig smörjning, längre stillestånd, torrkörningsskydd löser ej ut</p> <p>Kortslutning, vibrationer</p> <p>Luftbubblor i ledningarna, drivande instrument</p>	<p>Beskrivning av de skadeverkningar som kan uppstå som följd av den behandlade felfunktionen</p> <p><b>Exempel:</b> Hela svavelreningsystemet (Amin) stoppar i ca två timmar. Detta innebär att...</p> <p>Reparationskostnad, utebliven redundans under reparationstiden.</p> <p>Reparationskostnad och eventuellt brand vilket i sin tur kan leda till.....</p> <p>Luftning av systemet nödvändig. Utebliven redundans under detta arbete</p>	<p>De åtgärder som i dagsläget vidtas för att förhindra uppkomsten av respektive felfunktion dokumenteras. Underhållsinsatser bör finnas med här-</p> <p><b>Exempel</b></p> <p>Tätning fria pumpar för att undvika externa läckage. Frekvensanalys en gång årligen</p> <p>Funktionstest en gång årligen</p>	3	1	1	3	2	2	2	2	3	-	-	2	<p>Här nedtecknas de åtgärdsförslag som kommer upp direkt i samband med analysen.</p> <p>Om analysen ger upphov till vidare undersökningar eller direkta åtgärder antecknas av vem och när detta arbete skall utföras.</p>

# BILAGA A

DATUM:  
ANALYSLEDARE:

SIDA \_\_ AV \_\_

ARBETSSCHEMA FÖR RISKANALYS, METOD: FMEA  
PROCESSENHET:                      KLUSTER:

Klusterfunktion, normala driftsbetingelser	Risker, felfunktioner	Möjliga orsaker	Feleffekter, Konsekvenser	Kommentarer, vidtagna åtgärder	Riskvärdering				Rekommenderade åtgärder	Ansvarig, tid
					P	H	M	E		

## **Generell checklista att använda vid riskanalysen**

1. Vad är klustrets syfte?
2. Hur går processen i klustret till?
3. Vilka är driftsbetingelserna?
  - Tryck
  - Temperaturer
  - Medium
  - Volymer
  - Reaktionen (endoterma/exoterma, hälsofarliga reaktanter eller produkter, explosiva förhållanden etc.)
4. Med utgångspunkt i process- och instrumenteringsscheman: Vilka felfunktioner/ "failure modes" är möjliga?
  - Vad kan gå sönder?
  - På vilket sätt?
  - Varför uppstår skadan/haveriet?
5. Vilka blir konsekvenserna?
  - Kontaminerad produkt
  - Externt läckage
  - Satsningsminskning och minskningens omfattning
  - Stoptid för produktion
  - Omfattningen av konsekvenserna (baserat på Förväntade hålstorlekar och driftsbetingelser)
  - Utläckt volym
  - Intressanta dos-responssamband samt probitfunktioner
  - Finns redundans?
  - Dominoeffekter?
6. Hur ofta kan händelsen förväntas inträffa?
  - Årligen
  - Under överblickbar tid
  - Under anläggningens livslängd
  - Mer sällan än en gång under anläggningens livslängd
  - Extremt osannolikt
7. Vilka åtgärder vidtas för att reducera risken i dag?
8. vilka åtgärder rekommenderas intuitivt?

### **Klusterbeskrivningar**

Nedan följer några av de klartextbeskrivningar som kopplas till respektive kluster för att i efterhand få en snabb överblick över klustret och klustrets riskbild. Texten är tänkt att vara ett stöd för att läsa det som nedtecknats i riskanalysprotokollen, vilka också finns i denna bilaga. Syftet med analysen har, som framgår i rapporttexten, varit att pröva modellens tillämpbarhet. Att sammanställa en i alla avseenden fullständig riskanalys har därför inte varit analysens målsättning.

#### **Beskrivning av kluster 4. Flashtank: Rich Amin**

Riskanalysmöte 2005-08-02

Klustret är ett lågriskkluster utan stora inneboende riskkällor. Tryck och temperatur ligger över, men relativt nära atmosfäriska förhållanden. Tanken rymmer  $200\text{ m}^3$  men innehåller normalt betydligt mindre vätska. Den risk som var tydligast i klustret var risken att släppa  $H_2S$  till facklan med den lätta kolväteströmmen, en risk som i sig har ringa konsekvenser och endast på miljöområdet. Risk finns också för mindre läckage av  $H_2S$ -haltigt MDEA vid tätningshaveri i pumpar och vid läckande synglas. Detta ansågs kunna vara hälsovådligt och miljöskadligt. Inga scenarion där flashtankens funktion måste avbrytas för att åtgärda sådana små läckage identifierades, varför risken bedöms som ringa och endast rörande hälsa och miljö. Ur produktionssynpunkt skulle effekten av att tappa pumparna 9G-2 och 9G-2a (redundanta) samtidigt vara allvarligt. Detta bedöms dock ej som sannolikt.

#### **Beskrivning av kluster 5. Pumpkluster för systemtryckhöjning före absorbtionstorn**

Riskanalysmöte 2005-08-04

Klustret består av två pumpstationer, vardera bestående av 2 redundanta pumpar. Den första stationen höjer arbetstrycket till 12-14 bar på kall lean amin. Bortfall av denna funktion leder till satsningsbegränsningar på gasolja, MHC och Synsat. Dessa pumpar är tätningsfria. Den andra stationen höjer trycket till 56-60 bar. Även bortfall av denna station medför satsningsbegränsning och även fackling, dock ej produktionsstopp. Kombinationen att båda pumpstationerna stoppar samtidigt har inte analyserats.

#### **Beskrivning av kluster 6. Filter: rening av rich amin från partiklar och aminlösliga kolväten**

Riskanalysmöte 2005-08-04

Klustret är ett lågriskkluster utan stora inneboende riskkällor. Det består av redundant partikelfilter, typ: strumpa samt kolfilter med tillhörande efterfilter, typ: strumpa. Vid normal drift tas ett delflöde av rich amin ut till kolfiltret för att undvika ackumulering av lösliga kolföreningar i aminet. Regelbundna tester utförs på kolfiltret för att upptäcka mättnad. Kolet har tidigare bytts i samband med inspektion, trots att detta ej var nödvändigt ur mättnadshänseende. Efterfiltrets uppgift är att fånga upp lösryckt kol från kolfiltret. De redundanta strumpfiltren riskerar att sätta igen hastigt i samband med uppstart av

anläggningen. I den händelse filterbyten tar så lång tid att det andra filtret hinner sätta igen under tiden kan flödet bypassas förbi filtren. Hög partikelhalt kan då medföra skumning i destillationstornet. Kosekvenserna av detta anses dock vara ringa.

### **Beskrivning av kluster 7 och 8. Gas->vätska Absorbtionstorn från Synsat (kluster 7) och MHC (kluster 8) respektive.**

Riskanalysmöte 2005-08-08

Kluster 7 och 8 är processtekniskt identiska. Enda skillnaden består i att gasen som tvättas i absorptionstornen kommer från olika procesströmmar. Beskrivningen nedan gäller alltså för vart och ett av kluster 7 respektive 8.

Klustret består av ett gas-vätskeabsorbtionstorn med packad bädd samt ett knockoutkärl för avskiljning av vätska före en centrifugalkompressor. I absorptionstornet överförs  $H_2S$  från gasfasen, bestående av vätgas,  $H_2S$  och en mycket liten mängd lätta kolväten, till vätskefasen som utgörs av lean MDEA ("ren amin"). Trycket i tornet är 56 bar. Den inkommande gasen har en temperatur på ca 30<sup>0</sup>C. Aminet håller en något högre temperatur för att undvika kondensering av kolväten i tornet. Då tornet innehåller en stor mängd vätgas och  $H_2S$  under högt tryck är den potentiellt skadliga energin i systemet stor. Riskkällorna för externa gasläckage finns främst i flänsförband och instrumentrör. Torn och rör går att blocka ut på ett flertal sätt. Möjliga konsekvenser består i  $H_2S$ -förgiftning, gasmolnexplosion och jetflamma. I processområdet finns gaslarm installerat. Regelbundna kontroller av skarvar och flänsar utförs med gassniffer. Sannolikheten för ett externt läckage har inte preciserats. Den interna risken består till största delen av fallerande flödesregleringen av MDEA. För högt flöde i kombination med fallerande högnivåalarm kan leda till överspolning över topp, då tornet fylls med MDEA. Detta kan i sin tur leda till vätska i centrifugalkompressorn med kompressorhaveri som följd. Troligtvis leder ett sådant haveri inte till något externt läckage. För litet flöde i kombination med fallerande lågnivåalarm kan leda till utblåsning i botten av tornet. Vätgas och  $H_2S$  kommer då att gå in i bränngasnätet och dessutom ge en tryckökning i detta nät. Initialt kommer då matningen till brännare i ugnar att öka för att sedan minska när vätgasen, som har lägre energiinnehåll, kommit ut i nätet. Någon risk för att brännarna ska släckas föreligger dock inte. Sammanfattat har inga stora risker identifierats, men potentialen för en omfattande olycka finns inbyggt i systemet genom den stora mängden giftig och brandfarlig gas under högt tryck.

### **Beskrivning av kluster 9. Kombinerad flashtank och absorptionstorn för trycksänkning av MDEA från absorptionstorn 15C-7 och 16C-13 samt tvätt av kolvätegasflöden innehållande $H_2S$ .**

Riskanalysmöte 2005-08-08

I tornet flashas det MDEA som tas ut i botten från Abstorn 15C-7 och 16C-13. Trycket sänks därigenom från 57 till 4,8 bar. Den gas som därigenom avgår tvättas genom absorbtionstornet. Svavelhaltig gas från ett antal andra anläggningar tas också in i detta torn. (från 16C-14, 15K-1 och 17C-13) gasen tvättas motströms med lean amin. Den huvudsakliga skillnaden mellan kluster 9 och kluster 7 & 8 är det lägre trycket i kluster 9.

### Beskrivning av kluster 10. Lagertank: Lean Amin

Risikanalysmöte 2005-08-02

Klustret är ett lågriskkluster utan stora inneboende riskkällor. Tanken används primärt vid anläggningsstopp och är inte en del av den kontinuerliga driften. I tanken lagras upp till 313 m<sup>3</sup> MDEA under kvävgasatmosfär, vilken håller ett litet övertryck inne i tanken. Frånluftsfilter av kol används för att tvätta utgående kväve från eventuella kolväten innan gasen släpps ut i atmosfären. De risker som identifierades var risk för korrosion på kolfiltren, risk för motorhaveri på utmatningspumpen, som körs sällan. Tank och pump står i invallning. Konsekvenserna av nämnda risker utsträcker sig endast till reparationskostnaderna.

### Värmeväxlarkluster, Samtliga E1 tubvärmeväxlare. Värmeväxlarkluster, anläggning 1, för att höja råoljetemperatur före avsaltare samt sänkning av temperatur på utgående strömmar från crudetornet.

Risikanalysmöte 2005-08-09

Klustret består av sammanlagt 20 värmeväxlare. På lågtemperatursidan finns råolja och på högtemperatursidan produkter från råoljedestillationstornet, det sk. crudetornet. Värmeväxlarna är ordnade delvis parallellt, delvis i serie (se P&I-schema). Råoljesidan håller ett högre tryck än destillationsprodukterna. Därför får man råolja i destillationsproduktströmmarna vid inre läckage. Produkterna blir då osäljbara. Internt hål i värmeväxlare innebär att några växlare måste ställas ur drift, samt kontaminering. Detta har varit ett återkommande problem som är mycket kostsamt. Risken för externt läckage anses även den betydande. Den ström som riskerar att komma ut innehåller en blandning av kolföreningar från C<sub>1</sub> och uppåt. Brandrisken är därför betydande eftersom temperaturen är 100-150 °C och produkterna gasar därmed av mycket.



DATUM: 2005-08-02

ANALYSLEDARE: Karl Hedvall

SIDA \_1\_ AV \_1\_

**ARBETSSCHEMA FÖR RISKANALYS, METOD: FMEA**

PROCESSENHET: Flashtank, rich amin, anl 9 KLUSTER: 4

Klusterfunktion, normala driftsbetingelser	Risker, felfunktioner	Möjliga orsaker	Feleffekter, Konsekvenser	Kommentarer, vidtagna åtgärder	Riskvärdering				Rekommenderade åtgärder	Ansvarig, tid
					P	H	M	E		
Flashtank för förångning och gravimetrisk avskiljning av kolväten från aminet med kringutrustning  P = 1,5 bar T ≤ 40 °C V = 200 m <sup>3</sup>	Haveri singelpump 9G-1	Torrkörning, åldrade lager.	Reparationskostnader för pump och kolvätespill, C <sub>7</sub> och tyngre, (liten volym)	Lågnivåtripp för torrkörning	2	1	1	1		
	Lågt => inget flöde av tvättvätska (lean amin) till absorbtionsstorn för avgående gas från flashtanken. (ledning 9K-0192)	Fel på / drivande flödesgivare (FG)	H <sub>2</sub> S med kolväten till fackla	Risken värderas ej på grund av att den är ointressant om inte funktionen saknas under längre tid (diffus miljöpåverkan)	?	0	1	0		
	Felfungerande reglerventil PCV3	Okända mekanismer, men fel erfarenhetsmässigt möjligt.	Övertryck i tank => PSV öppnar vid högt tryck => H <sub>2</sub> S-rik gas till fackla	2 st. PSV finns på tanken	1	0	1	0		
	Haveri på pumpar 9G-2 eller 9G-2a	tätningshaveri	Utläckage av rich amin och därmed av H <sub>2</sub> S	Redundanta pumpar minska r inte risken för externt läckage i detta fall, möjligtvis tvärt om.	4	1	2	1	Tätninglösa pumpar? Se över UH-program.	

# BILAGA B

DATUM: 2005-08-04

ANALYSLEDARE: Karl Hedvall

SIDA \_1\_ AV \_1\_

## ARBETSSCHEMA FÖR RISKANALYS, METOD: FMEA

PROCESSENHET: Pumpkluster för systemtryckhöjning före absorbtionstorn. Anl 9

KLUSTER: 5

Klusterfunktion, normala driftsbetingelser	Risker, felfunktioner	Möjliga orsaker	Feleffekter, Konsekvenser	Kommentarer, vidtagna åtgärder	Riskvärdering				Rekommenderade åtgärder	Ansvarig, tid
					P	H	M	E		
Tryckhöjning i två steg. Första steget till arbetstryck common. Andra steget, höjning till systemtryck MHC och Synsat. Pumparna är redundanta. (Två pumpar för varje funktion.)  P2 = 10-12 bar P3 = 56 bar T = 30 °C Media MDEA (l)	Funktionsbortfall mellantryckspumpar: 9G-4 & 9G-4a	Lagerhaveri, kopplingshaveri, torrkörning	Satsningsbegränsning på Gasolja, MHC och Synsat alternativt off spec. på dessa produkter med bibehållen satsning. Trippar 15G-3 & 15G-3a. Reparationskostnader	Redundanta, tätningarfria pumpar	1	0	1	2	Se över möjliga driftsalternativ vid funktionsbortfall	
	Funktionsbortfall högtryckspumpar 15G-3 & 15G-3a	Se ovan + funktionsbortfall på 9G-4 & 9G-4a, vilket trippar 15G-3 & 15G-3a	Se ovan. + produkter till fackla.	Redundanta tätningarfria pumpar	1	1	1	3	Förutsätter båda pumparna ur funktion	
	Funktionsbortfall på den ena av högtryckspumparna	Se ovan	Se ovan			4	1	1	2	Förutsätter en högtryckspump i drift.

DATUM: 2005-08-04  
 ANALYSLEDARE: Karl Hedvall

SIDA \_1\_ AV \_1\_

**ARBETSSCHEMA FÖR RISKANALYS, METOD: FMEA**  
 PROCESSENHET: Filterbatteri för rening av rich amin, anl. 9 KLUSTER: 6

Klusterfunktion, normala driftsbetingelser	Risker, felfunktioner	Möjliga orsaker	Feleffekter, Konsekvenser	Kommentarer, vidtagna åtgärder	Riskvärdering				Rekommenderade åtgärder	Ansvarig, tid
					P	H	M	E		
Filterbatteri för att rena rich amin före avdrivartorn för $H_2S$ .  Inleds med två redundanta strumpfilter 9T-1 & 9T-1a(partickelfilter). Går vidare genom ett kolfilter 9T-2 till ett efterfilter 9T-3 och sedan vidare ut ur klustret.  Media: Rich amin	Igensättning 9T-1 & 9T-1a	För långa rengöringsintervall . Problem i processen som ger upphov till mycket particklar och hastig igensättning. Problemet finns främst efter underhållsstopp	Bypass av aminflödet förbi filtren => Skumning i amintornet vilket medför att amin rycks med över topp vilket kan leda till att knockoutkärlet fylls => kompressorstopp pga. högnivåalarm i knockoutkärl	Redundans medför att byte av strumpa under drift är möjligt.	4	0	1	1	Främst problem i samband med uppstart.	
	Mättnad 9T-2	För långt intervall mellan bäddbyten.	Mättad kolbädd leder till ackumulation av kolväten i aminlösningen. Detta medför skumning i aminamintornet och i $H_2S$ -absorbrarna.	Regelbundna labbtester av kolbäddens status utförs och visst FU finns Behövs FU? Är TBU bättre? Byte i samband med inspektion?	4	0	0	1	Byt kol då labbprover indikerar mättnadstendenser.	

DATUM: 2005-08-08  
 ANALYSLEDARE: Karl Hedvall

SIDA \_1\_ AV \_1\_

**ARBETSSCHEMA FÖR RISKANALYS, METOD: FMEA**

PROCESSENHET: Absorbtionstorn 16C-13 och 15C-7, med respektive tillhörande kringutrustning.

KLUSTER: 7 & 8

Klusterfunktion, normala driftsbetingelser	Risker, felfunktioner	Möjliga orsaker	Feleffekter, Konsekvenser	Kommentarer, vidtagna åtgärder	Riskvärdering				Rekommenderade åtgärder	Ansvarig, tid
					P	H	M	E		
Kluster 7 & 8 identiska system. Analyseras här en gång. Analysen gäller för vart och ett av klustren.  In till tornet: Lean amin från toppen, Cirkulationsgas ( $H_2$ & $H_2S$ ) från botten Gas-vätskeabsorbtion av $H_2S$ över packad bädd.  Ut ur tornet: $H_2S$ -fri cirkulationsgas över topp, $H_2S$ -rik amin ut i botten (rich amin)  P = 56 bar T = 30 °C Amin alltid varmare än gasen för att inte kondensera eventuella kolväten i cirk.gasen.	Flänsläckage	Korrosion, vibrationer, temperaturväxling i utrustningen, marksättning	Externt läckage av vätgas, $H_2S$ eller amin under högt tryck. Vätgas riskerar självantända på grund av statisk elektricitet vid utflöde.	Läckage ej troliga och utrustningen går att blocka in på ett stort antal vis. Riskens omfattning har därför inte kunnat värderas					Överväg att installera gasvarnare	
	$H_2$ genom bottenvent.	Nivåregleringen och lågnivåalarmer i tornet fallerar och man får en urblåsning av tornet.	$H_2$ i brängasnätet under högt tryck. => tryckökning i brängasnätet => lägre energiinnehåll i gasen i brängasnätet. Pulserande brännare förväntas, dock ej släckning.	PSV för högt tryck i brängasnätet finns.	4	0	1	1		
	För liten aminsatsning	Drivande flödesregleringsinstrument alt. trasig reglerventil. Pga åldrande eller frysning	Smutsig cirkulationsgas /dålig absorbtion av $H_2S$	Risken ej uppskattad.					Periodisk kontroll utökad eltracing?	
	För stor aminsatsning	Se ovan.	Överspolning av amintorn kan leda till vätska matas in i centrifugalkompressor 15K-1 ( $\Delta P = 15$ bar) => sönderslagna rotorblad och tätningar	Dubbla tätningar och högnivåtripp på 6C-8					Se ovan.	

DATUM: 2005-08-08  
 ANALYSLEDARE: Karl Hedvall

SIDA \_1\_ AV \_1\_

**ARBETSSCHEMA FÖR RISKANALYS, METOD: FMEA**

PROCESSENHET: Absorbtionstorn 16C-13 och 15C-7, med respektive tillhörande kringutrustning.

KLUSTER: 9

Klusterfunktion, normala driftsbetingelser	Risker, felfunktioner	Möjliga orsaker	Feleffekter, Konsekvenser	Kommentarer, vidtagna åtgärder	Riskvärdering				Rekommenderade åtgärder	Ansvarig, tid	
					P	H	M	E			
Flashar ner MDEA från 15C-7 och 16C-13 från 57 till 4,8 bar.  In till tornet: Lean amin från toppen, rich amin flashar i botten och avger gas. Svavelhaltig gas från ett antal andra anläggningar tas också in i detta torn. (från 16C-14, 15K-1 och 17C-13)  Gas-vätskeabsorbtion av $H_2S$ över packad bädd.  Ut ur tornet: $H_2S$ -fri cirkulationsgas över topp, $H_2S$ rik amin ut i botten (rich amin)	Flänsläckage	Korrosion, vibrationer, temperaturväxling i utrustningen, marksättning	Externt läckage av vätgas, $H_2S$ eller amin under tryck.	Läckage ej troliga och utrustningen går att blocka in på ett stort antal vis. Riskens omfattning har därför inte kunnat värderas					Överväg att installera gasvarnare		
	Urblåsning	Nivåregleringen och lågnivåarmet i tornet fallerar och man får en urblåsning av tornet.	Avskjut i flash drum 9C-3	Shutdown på låg-låg nivåalarm	4	0	1	1			
	Toppfyllning	transmitterfel	Överspolning till "söta knock out pottan" 17C-11	Högnivåalarm i 17C-11.							

DATUM: 2005-08-02  
 ANALYSLEDARE: Karl Hedvall

SIDA \_1\_ AV \_1\_

**ARBETSSCHEMA FÖR RISKANALYS, METOD: FMEA**

PROCESSENHET: Lagertank 9D-2 m. kringutr.

KLUSTER: 10

Klusterfunktion, normala driftsbetingelser	Risker, felfunktioner	Möjliga orsaker	Feleffekter, Konsekvenser	Kommentarer, vidtagna åtgärder	Riskvärdering				Rekommenderade åtgärder	Ansvarig, tid
					P	H	M	E		
Lagring av lean MDEA (konc.) för påfyllning av aminsystemet och lagring vid anläggningsstopp (reservkapacitet)  P = ca 1 atm. T = ca 20 °C V = 313 m <sup>3</sup>  Inerterad med kvävgasatmosfär (övertryck)	Hål i tankvägg	Korrosion	Utsläpp av amin i invallningen	Invallning	2	1	1	1	Avloppet från invallningen bör kontrolleras så att det inte står öppet	
	Motorhaveri på 9G-8	Dolt fel, då pumpen används sällan. Korrosion i lager trolig orsak	Försening av uppstart, då det är vid uppstart pumpen används. Spill/läckage i invallningen, där pumpen är placerad	invallning	3	1	1	2	Motionering, Funktionstest	
	Korrosion i kolfilter för gasavlopp från tanken kan medföra utsläpp vid hål i plåtkanistern. H <sub>2</sub> S-rik gas kan då orenad släppas till atmosfären.	Kondens i samband med de värmeslingor som finns för att höja kolfiltrets effektivitet innebär korrosiv miljö.	viss förgiftningsrisk då kvävgas med vissa föroreningar släpps till atmos.		4	0	0	1	Periodiskt utbyte/tillståndskontroll?	
	Trasig högnivåindikator	åldrad	överfyllning	Hypotetiskt scenario uppskattning av P & S ej möjlig					Kontroll av nivå i samband med fyllning.	

DATUM: 2005-08-09  
 ANALYSLEDARE: Karl Hedvall

SIDA \_1\_ AV \_1\_

**ARBETSSCHEMA FÖR RISKANALYS, METOD: FMEA**  
 PROCESSENHET: 1 KLUSTER: samtliga 1E-1 värmeväxlare

Klusterfunktion, normala driftsbetingelser	Risker, felfunktioner	Möjliga orsaker	Feleffekter, Konsekvenser	Kommentarer, vidtagna åtgärder	Riskvärdering				Rekommenderade åtgärder	Ansvarig, tid
					P	H	M	E		
VVX-kluster delvis parallellkopplade, delvis seriekopplade. Höjer temp på inkommande crudeolja före avsaltare och sänker temp på utgående produkter från crudetornet. Råoljan går i tuberna.  $P_{råolja} = 8 \text{ bar}$ $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_1 = 110\text{-}120 \text{ }^\circ\text{C}$  $P_{prod} = 1,5 \text{ bar.}$ $T_0 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_1 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$	Tubläckage	Korrosion  Erosion	Kontaminering. Råolja i produktströmmarna, produktströmmar off spec. Möjlig deaktivering av katalysator i DHT-reaktorer	Normenlig inspektion Lagerhållning av tubpaket (Avhjälpande underhåll) Daglig labbttest för att identifiera produktkontaminering.	5	0	0	3	Ökat periodiskt utbyte. Billiga kolstålstuber föreslås med täta bytesintervall för att undvika driftstörningar. Förslagsvis varje turnaround. Lönsamhetskalkyl föreslås.	
	Externt läckage i flänsförband	korrosion, erosion eller temperaturslag.	Kolväten $C_1$ och uppåt rinner/sprutar ut. Dessa håller en temperatur av ca $110\text{-}150 \text{ }^\circ\text{C}$ . => brandrisk, risk för gasmolnexplosion och/eller jetbrand	Utökad täthetskontroll i samband med UH-arbeten (bomtätt) Byte av vita till svarta bult där detta förekommit. Operatörstillsyn och normenlig läckagetestning för diffusa kolväteutsläpp	4  2 1	1  3	2  2	1  3	Liten läcka, ingen brand.  Brand med fördröjd antändning	

## Utfall från försöken på aminsystemet och de enskilda klustren, sammanfattning

	Risk 1				Risk 2				Risk 3				Risk 4				Risk 5				Risk 6				Risk 7			
	P	H	M	E	P	H	M	E	P	H	M	E	P	H	M	E	P	H	M	E	P	H	M	E	P	H	M	E
Kluster 1	4	1	1	1																								
Kluster 2	3	0	0	1																								
Kluster 3	4	0	0	1	4	1	1	1																				
Kluster 4	1	0	1	0	4	1	2	1	2	1	1	1																
Kluster 5	1	0	1	2	1	1	1	3	4	1	1	2																
Kluster 6	4	0	0	1	4	0	0	1																				
Kluster 7	4	0	1	1	*																							
Kluster 8	4	0	1	1	*																							
Kluster 9	1	0	2	1	4	0	1	1																				
Kluster 10	2	1	1	1	3	1	1	2	4	0	0	1																
Kluster 11	2	3	1	0	*																							
Kluster 12	3	0	2	?	*																							
Kluster 13	5	0	0	1	*																							
Kluster VVX E1	4	1	2	1	2		2	3	1	3			5	0	0	3	*											

Tabell 1, Sammanfattning av identifierade risker i samband med tillämpning av metoden.

\* = se klartextformulering av risken.

	1	2	3	4	5
>1/år					5
1/(1-10 år)	X X X X X				4
1/(10-100 år)	X X				3
1/(100-1000 år)	X X		X		2
<1/1000 år	X				1
	Övergående lindriga obehag	Enstaka skadade, betydande obehag	Enstaka svårt skadade, svåra obehag	Enstaka dödsfall eller flera svårt skadade	Flera dödsfall eller 10-tals svårt skadade

Fig. 1, Sammanfattning Hälsorisker, personal



	1	2	3	4	5	
>1/år						5
1/(1-10 år)	X X X X X X	X				4
1/(10-100 år)	X	X X				3
1/(100-1000 år)	X X X X					2
<1/1000 år	X X X	X				1
	Ingen sanering, liten utbredning	Lättare sanering liten utbredning	Svår sanering, begränsad utbredning	Mycket svår sanering, stor utbredning	Mycket svår sanering, stor utbredning	

Fig. 2, Sammanfattning Miljöskaderisker

	1	2	3	4	5	
1/år	X		X			5
1/(1-10 år)	X X X X X X X X X X X	X				4
1/(10-100 år)	X	X				3
1/(100-1000 år)	X X		X			2
<1/1000 år	X	X	X			1
	Obetydlig driftstörning	Kort anläggningsstopp <1 dag alt. satsnings-Begränsning 1-5 dagar	Anläggningsstopp >1 dag alt. satsnings-Begränsning 5-10 dagar	Totalt produktions-Bortfall 1-10 dagar alt. satsnings-begränsning 10-15 dagar	Totalt produktions-Bortfall >10 dagar alt. satsnings-begränsning >15 dagar	

Fig.3, Sammanfattning Direkt ekonomiska risker

## Analysgruppsmedlemmarnas åsikter om riskanalysmetoden

Efter ca 20 timmars analys intervjuades övriga gruppmedlemmar av rapportskribenten i syfte att ta reda på vad medlemmarna, med sina olika infallsvinklar tyckte om metoden. Intervjuerna har gjorts enskilt. Här redovisas de övriga gruppmedlemmarnas åsikter. De brister som gruppmedlemmarna upplever är främst att vissa specifika kompetenser saknats i analysgruppen. Detta är i sig naturligt eftersom förutsättningarna inte medgav att personer med den kompetens som avses var tillgängliga. Den andra brist som gruppen pekar på är svårigheten att värdera sannolikheter. Utökade förberedelser föreslås också av en av gruppmedlemmarna.

Vad tycker du generellt om det sätt som riskanalyserna utförts på?

*Arbetsättet var bra, men det behövs fler kompetenser i analysgruppen än vad vi hade på försöksstadiet. Det är ett bra sätt att få med folk på banan, att alla får ett helhetsperspektiv och inte hela tiden bara utgår från sitt eget arbete. Det sätter underhållsarbetet som helhet i fokus och målkonflikter kommer att dyka upp, men det är ett bra forum för att diskutera och skapa förståelse för de andra gruppmedlemmarnas roller. (1)*

*Den var bra, men det behövs fler kompetenser i gruppen, speciellt korrosion och el & instrument. Det var rätt längd på mötena också. Två timmar är max vad man klarar av. Jag tyckte skärpan försvann lite efter ca 1 timme och 40 minuter. Sen tycker jag att man bör vara bättre förberedd innan möten, att man får ut avgränsningarna innan så man hinner tänka lite före mötet. I förberedelserna kan man ju ha olika roller. Exempelvis att någon plockar fram all historik kring utrustningen och att inspektion tar med sitt material på PID. (2)*

*Det är ett bra sätt att gå igenom konkreta problem på delar av anläggningen där man vet att problem finns. Det har inte varit lika bra att försöka hitta på problem, att sitta och fundera över vad som skulle kunna hända men som aldrig har inträffat (3)*

Vilka brister tycker du har funnits?

- **Kompetens** *Det behöver vara mer fokus på själva funktionen hos utrustningen. Därför behövs, förutom de kompetenser som funnits i gruppen på försöksstadiet, roterandekunnig, el&instrumentkunnig och vid behov inspektion och metallurgikompetenser. (1)*

*Korrosion och el & instrument (2)*

*Alla kategorier av folk som skulle behövas har inte varit med Metallurgiproblem framför allt har varit en kompetensbrist. Ur driftsynpunkt har det känts helt OK, inte några fall där jag inte har vetat hur man löser problemen som kan uppstå. (3)*

- **Form** *Bra åskådliggjort, P&I-scheman är lätta att förstå och överblicka. (1)*

*Bättre förberedelser och att alla först tittar på avgränsningen med sina "egna glasögon" före mötet. (2)*

*- (3)*

- Tid *Det är svårt att hitta tid för sådan här analys. Dessutom är det ingen idé att sätta sig med detta om man är stressad. Då är man inte kreativ.(1)*  
*Max två timmar (2)*  
*Vi har tagit oss den tid vi behöver och det har inte känts som att vi behövt lämna något på grund av tidsbrist. (3)*
- Övrigt *Det är arbetsamt att hålla längre pass än ca två timmar i samband med analysarbetet (1)*  
*- (2)*  
*- (3)*

Vilka har förtjänsterna med systemet och analyserna varit för din del, som yrkesman, person och organisatoriskt?

*Det är bra att fundera på underhållsperspektivet och på underhållets roll på det allmänna planet – för alla. (1)*

*Tolkning av rapportskribenten:*

*Det är bra att fundera på underhållets roll på det principiella planet så att man får en bättre bild av underhållets funktion och hur enskilda underhållsinsatser hänger samman och hur underhållet hör ihop med resten av verksamheten.*

*När man sitter i en sån här grupp får man en tvärvetenskaplig erfarenhetsspridning. Det blir nästan som en lektion. Eventuellt kan styrgruppen vara rätt forum för att göra analyserna men man måste nog handplocka folk lite beroende på personkemi och inställning till systemet. Facilitatorns roll måste vara att fördela ordet så att inte bara någon pratar och alla andra är tysta. (2)*

*Saker man inte tänker på i vardagen tas upp och man får tänka efter. (3)*

Tycker du att du lärt dig något om andra gruppmedlemmars verklighet och deras hänsynstaganden?

*Nej, jag har ju jobbat med drift tidigare så deras problematik känner jag redan väl till. Däremot är det alltid bra att föra en dialog i det enskilda fallet då det är lätt att glömma andras problematik. (1)*

*Nej, inte direkt. Jag har ju också erfarenhet från driften. Vi hade för lika bakgrund för det, vi som var med i gruppen. Jag känner redan till deras problematik. (2)*

*Ja, olika infallsvinklar har varit bra och gett ökad förståelse för underhållet. (3)*

Har ditt säkerhets- och riskmedvetande påverkats av analyserna?

*Det har inte blivit sämre. Jag känner mig säkrare i diskussioner om risker och risktänkande i allmänhet, så svaret blir att mitt riskmedvetande har ökat. (1)*

*Förtidigt att säga. Vi har hållit på med det för få timmar tycker jag. Jag tycker att jag har blivit mer upplyst i "vad som kan gå snett" och jag tycker att jag har förstått en del om synergier mellan olika händelser och hur dom påverkar varandra. Sen tycker jag att det känns mycket enklare att värdera risken kvantitativt nu än förut. Innan tyckte jag att det var lite "hokus pokus". Nu tycker jag att det funkar att sätta siffror på sannolikhet och konsekvens och tillsammans med riskmatriserna så blir systemet ett kraftfullt verktyg för att besluta om åtgärder.*

*Man kan luta sig mot analysen som motivering. Men matriserna måste vara trovärdiga och verkligen användas utan undantag. Annars blir det bara en paperstiger. (2)*

*Det har stärkt min uppfattning om riskerna i anläggningarna. Riskgraden upplever jag som samma som innan analysen men min tidigare inställning har fått en bättre motivering (3)*

Övriga synpunkter och tankar kring genomförandet samt nyttan av att göra denna typ av riskanalys?

*Jag har inga ytterligare synpunkter på arbetssättet i sig men den nytta som arbetet innebär är att det ger ett underlag för strategiändringar. Resultatet går att använda som stöd för prioriteringar. Allt är målkonflikter och detta är ett bra underlag för prioriteringar. Det är också bra att gå igenom anläggningen ur ett allmänt perspektiv och inte styra förändringar/insatser utifrån enskilda händelser. (1)*

*Facilitatorn bör vara någon från underhåll. Då kommer fokus att behållas på underhållsfrågor. Annars blir det nog lätt att man svävar ut och pratar om andra risker som inte har med underhållet att göra. Sen tycker jag att det är bra att man inte behöver använda metoden storskaligt utan att man kan göra punktinsatser på intressanta objekt. Riskmatriserna styr ju ändå in risken i den kategori den ska vara. Man behöver inte ta hela raffinaderiet för att kunna prioritera. Det är inte särskilt märkvärdigt eller teoretiskt utan rakt på. (2)*

*Det har varit mycket gissning kring sannolikheter och konsekvenser som har känts väldigt subjektivt. (3)*

Vad tycker du om sättet att värdera sannolikhet och konsekvens?

*Det var lite svårt, kräver lite tankeverksamhet. Man blir benägen att överskatta konsekvenserna, eller snarare, om man har en stor konsekvens så överskattar man gärna sannolikheten. Det skulle vara bra med någon form av stöd för att göra sannolikhetsberäkningar. Konkreta exempel på hur man agregerar händelser i kedjor (Kommentar rapportskribenten: trädstrukturer) skulle vara bra. (1)*

*Kommentar rapportskribenten: se svar på frågan: Har ditt säkerhets- och riskmedvetande påverkats av analyserna? (2)*

*Kommentar rapportskribenten: se frågan ovan (3)*