

Rune Berglind
Gudrun Cassel
Sven-Åke Persson

Katastroftoxikologi - Omvärldsanalys i ett historiskt perspektiv



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1350 anställda varav ungefär 950 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömningen av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
NBC-skydd
901 82 Umeå

Tel: +46 (0) 90 106600
Fax: +46 (0) 90 106800

www.foi.se

Katastroftoxikologi

- Omvärldsanalys i ett historiskt perspektiv

Bilden på framsidan är hämtad från <http://europa.eu.int/comm/environment/seveso/>

Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut NBC-skydd 901 82 Umeå	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1599--SE	Klassificering Vetenskaplig rapport
	Forskningsområde 3. Skydd mot NBC och andra farliga ämnen	
	Månad, år November 2005	Projektnummer E 4994
	Delområde 39 Breda projekt inom skydd mot NBC och andra farliga ämnen	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Rune Berglind Gudrun Cassel Sven-Åke Persson	Projektledare Gudrun Cassel	
	Godkänd av Åke Sellström	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Socialstyrelsen	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Rune Berglind, Gudrun Cassel och Sven-Åke Persson	
Rapportens titel Katastroftoxikologi - Omvärldsanalys i ett historiskt perspektiv		
Sammanfattning (högst 200 ord) Denna rapport är en översikt över ett antal inträffade kemiska katastrofer sedda i ett katastroftoxikologiskt perspektiv. I ett inledande avsnitt beskrivs definitioner, karakteristika och avgränsingar av begreppet kemisk katastrof och några andra för rapporten väsentliga begrepp. Därefter behandlas kemiska katastrofer, vilka närmast kan betecknas kemiska naturkatastrofer. Dessa inträffar utan människans påverkan. Sedan beskrivs kemiska katastrofer, där människan genom sina handlingar delvis eller helt orsakat dem. Denna typ av katastrofer utgörs av krigs- eller terrorhandlingar men också av olika kemiska katastrofer i samband med industriell verksamhet, gruvhantering och transporter av farliga kemikalier. Slutligen berörs kemiska katastrofer, vilka inträffat eller skulle kunna inträffa i Sverige. Varje avsnitt följs av korta analytiska kommentarer. Det är vår förhoppning att erfarenheter som förmedlas i denna rapport skall kunna vara ett underlag för kommande riskanalyser i ett katastroftoxikologiskt perspektiv till nytta för svensk planering och beredskap inför tänkbara kemiska katastrofer.		
Nyckelord Kemiska katastrofer, toxikologi, medicinska effekter, miljöeffekter		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 45 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency NBC Defence SE-901 82 Umeå	Report number, ISRN FOI-R--1599--SE	Report type Scientific report
	Programme Areas 3. NBC Defence and other hazardous substances	
	Month year November 2005	Project no. E 4994
	Subcategories 39 Interdisciplinary Projects regarding NBC Defence and other hazardous substances	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Rune Berglind Gudrun Cassel Sven-Åke Persson	Project manager Gudrun Cassel	
	Approved by Åke Sellström	
	Sponsoring agency Socialstyrelsen	
	Scientifically and technically responsible Rune Berglind, Gudrun Cassel and Sven-Åke Persson	
Report title (In translation) Chemical disasters and toxicology - a historical perspective		
Abstract (not more than 200 words) This report is a review of historical chemical disasters from a toxicological perspective. In the initial part of the report definitions, characteristics and limitations of the concept chemical disaster and a number of other important and relevant concepts are outlined. Thereafter chemical disasters, which could be characterized as natural disasters, are treated. These disasters will occur without influence of man, but man could certainly affect their outcome. Then chemical disasters are described, that are in part or totally man-made. The man-made chemical disasters are represented by acts of war and terrorism but also by chemical disasters connected with industrial activity, mining and transportation of hazardous chemicals. Finally chemical disasters which, have occurred or could occur in Sweden are dealt with. Every section of the report is finished by a few analytical comments. It is our hope that the lessons learned from this review will build the basis for future risk analyses in a perspective of disaster and toxicology of use to Swedish chemical disaster planning and preparedness.		
Keywords Chemical disasters, toxicology, medical effects, enviromental effects		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 45 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehållsförteckning

1 Inledning	7
2 Definitioner	9
2.1 Allmänna	9
2.2 Medicinska definitioner	10
3 Kemiska katastrofer – avgränsningar, typ av kemisk katastrof	11
3.1 Orsak	11
3.2 Tidsförlopp	11
3.3 Andra viktiga parametrar för att klassificera kemiska katastrofer	11
4 Kemiska naturkatastrofer, åstadkomna utan mänsklig påverkan	13
4.1 Utsläpp av giftiga gaser i samband med vulkanutbrott	13
4.2 Utsläpp av stora mängder koldioxid och metan, lagrad och kondenserad i botten på vissa sjöar	14
4.3 Skador på det skyddande ozonskiktet av stora kvantiteter algproducerade, halogenerade kolväten i världshaven	15
5 Kemiska katastrofer, åstadkomna genom mänsklig påverkan	17
5.1 Kemiska katastrofer utlösta genom att människan medvetet åstadkommer skada på tekniska system genom bland annat sabotage, terrorattacker, krigshandlingar och polisiära insatser	17
5.2 Kemiska katastrofer orsakade av mänsklig okunskap, oförstånd, bristande underhåll och slarv	24
5.3 Kemiska katastrofer kan också orsakas av en kombination av systemtekniska brister i kombination med naturkatastrofer som exempelvis jordbävning, skogsbränder, översvämningar, orkaner, monsuner, förändringar i luftlagren	32
5.4 Gruvdrift och malmbrytning	33
6 Kan Sverige drabbas av kemiska katastrofer?	35
6.1 Naturkatastrofer	35
6.2 Potentiella hot	35
6.3 Kemiska katastrofer, åstadkomna genom mänsklig påverkan	37
7 Slutkommentarer	39
8 Referenser	41

1 Inledning

Syftet med denna rapport är att i ett toxikologiskt perspektiv beskriva och i viss mån analysera effekter av kemiska katastrofer, vilka har inträffat eller skulle kunna inträffa i vår omvärld. Som omvärld betraktar vi i första hand länder nära Sverige, men vi begränsar inte vår framställning till närmaste omgivningen, eftersom svenskar på civila eller militära uppdrag för FN, EU eller olika non-govermental organisations (NGO) kan tillhöra de drabbade vid kemiska katastrofer även i mycket avlägsna länder. Transporter av kemikalier till sjöss eller via transportflyg kan vid olyckshändelse orsaka kemiska katastrofer även på platser långt bort från den ursprungliga färdvägen.

Vi påminnes om att även vi i Sverige oväntat och plötsligt kan ställas inför svåra påfrestningar när på annandagen den 26 december 2004 i kölvattnet på ett stort jordskalv en jättelik flodvåg, Tsunami, dramatiskt avbröt många svenskers paradisiska semester tillvaro. Flera hundra svenskar har omkommit, och mångfald fler skadats fysiskt eller psykiskt. Hundratal saknas fortfarande. Enligt senaste uppgifter har sannolikt mer än 270 000 människoliv ändats i flodvågen, många skadats och förlorat nästan allt materiellt. Indonesien är hårdast drabbat, men Sri Lanka, Indien och Thailand har också drabbats svårt (<http://en.wikipedia.org/wiki/Tsunami#Causes>).

Katastrofer involverande effekter av joniserande strålning som exempelvis kärnvapen användning, kärnkraftsolyckor och naturlig, omedveten eller medveten spridning av radioaktivt material (radon, terrorattacker, smutsiga bomber) behandlas ganska ofta i sammanställningar av kemiska katastrofer. Vi har medvetet utelämnat katastrofer orsakade av effekter av joniserande strålning i vår omvärldsanalys, eftersom denna strålning initialt är ett fysikaliskt fenomen.

Avsikten med de exempel vi tar upp i denna rapport är att de ska ge erfarenhetsåterkoppling till vad som skulle kunna hända oss.

- a) Kan liknande kemiska katastrofer inträffa i Sverige?
- b) Kan vi drabbas kemiska katastrofer, när vi är utomlands i tjänst eller privat?
- c) Vad ska vi beakta avseende potentiella risker inför vistelser utomlands?
- d) Kan vi förbereda oss på något sätt?

2 Definitioner

2.1 Allmänna

Katastrof	Ordet katastrof kommer från det grekiska ordet Katastrophe, omstörtande, förstörelse (1).
Kemisk katastrof	En katastrof som uppstår genom utsläpp av kemiska ämnen.
Toxikologi	Toxikologi är läran om gifters egenskaper och verkningar på levande organismer – från subcellulär och cellulär nivå till människa. Ordet toxikologi kan härledas från de grekiska orden toxicon [egentligen toxicon pharmacon, som betyder pilgift samt toxon, som betyder pilbåge] (2). I engelskspråkig litteratur kan ordet ”toxicant” användas för att beteckna ett giftigt ämne. Idag innebär toxikologi kanske snarare det vetenskapliga studerandet, genom en mångfald tekniker, av olika kemiska ämnens (xenobiotikas) skadliga egenskaper och effekter (3).
Toxicitet	Toxicitet betyder giftighet.
Toxin	Ordet toxin användes för att benämna giftiga ämnen som produceras i växter och djur – från bakterier till däggdjur. Även om flera toxiner nu kan framställas syntetiskt, bör ordet toxin inte användas generellt som benämning på giftiga kemiska ämnen.
Ekosystem	Ekologiska system eller ekosystem kan definieras som system, där växter och djur lever i samverkan, och där många för sin överlevnad och fortlevnad är beroende av varandra.
Ekotoxikologi	Ekotoxikologi kan definieras som studerandet av giftiga kemiska ämnens öde, effekt eller effekter på ekosystem och de växter och djur som lever där. Vetenskaplig forskning som utförs både i fält och i laboratorier är grunden för ekotoxikologin (4). De långsiktiga gifteffekterna i miljön av kemiska ämnen är i allmänhet de allvarligaste. Därför är kemikalier som finns kvar i miljön under lång tid (persistenta kemikalier) av särskilt intresse inom ekotoxikologin.
Katastroftoxikologi	Katastroftoxikologi kan beskrivas som läran om gifters egenskaper och verkningar på levande organismer i samband med katastrofer. I allmänhet är begreppet katastroftoxikologi endast aktuellt i samband med katastrofer, där ett eller flera kemiska ämnen utövar sin giftverkan på levande organismer och miljö.

2.2 Medicinska definitioner

Alveoler	De luftblåsor i lungorna, vilka har kontakt med tunnväggiga blodkärl. Syre avges från alveolerna till blodkärlen, vilka avger koldioxid och vatten till alveolerna.
Cirkulationsinsufficiens	Otillräcklig cirkulation på grund av sviktande hjärta, blödning, förgiftning m.m.
Cyanos	Blåaktig missfärgning av hud och/eller slemhinnor på grund av syrebrist. Lättast att se på slemhinnorna.
Klorakne	Finnar (akne) som uppkommer efter exponering för klor eller organiska föreningar som innehåller klor t.ex. dioxin.
Kronisk obstruktiv lungsjukdom (KOL)	Kronisk lungsjukdom, där sjukliga förändringar i lungorna utgör ett hinder och försvårar andningen. Exempel på sådana sjukdomar är astma och kronisk bronkit (kronisk inflammation i luftrören).
Lungödem	Vätskeansamling i lunga, betingad av sviktande hjärta eller av skada. Till exempel toxiskt lungödem som kan orsakas av kemikalier som klor, ammoniak, svaveldioxid, fosgen med flera.
Mios	Mycket liten pupill.
Persistent kemikalie	Kemikalie som på grund av obetydlig eller mycket långsam nedbrytning finns kvar i miljön under lång tid, där den kan orsaka skadliga effekter.
Polypné	Samma som tachypné och är en beteckning för snabb, ofta ytlig andning.
Promotor	Kemikalie som åstadkommer en förökning av cellinjer i vilka ett antal gener som styr viktiga processer i cellen förändrats genom mutation.

3 Kemiska katastrofer – avgränsningar, typ av kemisk katastrof

En kemisk katastrof betecknar i allmänhet en stor, omfattande och omvälvande händelse orsakad av ett eller flera giftiga ämnen, vilket/vilka på ett skadligt sätt drabbar ett områdes miljö och de växter och djur som lever där. Beteckningen kemisk katastrof innebär att ett stort antal personer (> 40-50) drabbats. En olycka däremot kan drabba enbart ett fåtal eller en enda person. Man kan också ha ett planeringsmässigt perspektiv på skillnaden mellan kemisk olycka och kemisk katastrof. För att kunna klara av lednings-, räddnings- och sjukvårdsbehoven vid en kemisk olycka bör befintliga beredskapsresurser i den drabbade kommunen vara tillräckliga för att klara behoven vid en kemisk olycka. Vid en kemisk katastrof räcker inte den drabbade kommunens beredskapsresurser, utan resurser måste tillföras från andra kommuner eller staten.

Kemiska katastrofer kan vara så omfattande att det drabbade landet inte kan klara av att genomföra de insatser som erfordras. Andra länders resurser exempelvis av räddningspersonal, sjukvård, föda, läkemedel kan då behöva tillföras.

3.1 Orsak

Kemiska katastrofer kan indelas i två huvudkategorier beroende på vad som orsakat dem.

- a) Kemiska naturkatastrofer, vilka Naturen åstadkommer utan mänsklig påverkan.
- b) Kemiska katastrofer, vilka åstadkommits på grund av människans verksamhet.

3.2 Tidsförlopp

Man kan även betrakta kemiska katastrofer i ett tidsmässigt perspektiv.

- a) Kemiska katastrofer med **akut förlopp**. Det är sannolikt vanligt att en katastrof anses vara en händelse som inträffar akut som till exempel en orkan, en jordbävning, ett vulkanutbrott, ett akut stort gasutsläpp eller en terrorhandling.
- b) Kemiska katastrofer med ett **utdraget tidsförlopp**. Som exempel kan nämnas miljöförstöring eller skada på människa eller djur som inträffar efter en mycket lång tidsperiod (tiotals år eller längre tid), då en kronisk exponering för ett giftigt ämne, som kanske bryts ned långsamt, är tillräckligt stor för att ge skadlig effekt.

Vi behandlar framför allt kemiska katastrofer som utgörs av akuta händelser, men diskuterar även med några relevanta långsiktiga händelser.

3.3 Andra viktiga parametrar för att klassificera kemiska katastrofer

- a) Vilken eller vilka kemikalier som utgör exponeringsrisk
- b) Giftighet av denna kemikalie eller dessa kemikalier
- c) Mängd av denna kemikalie eller dessa kemikalier
- d) Utbredningen av katastrofen
- e) Befolkningstätheten i det område som påverkas av drivande giftmoln

- f) Antalet offer som katastrofen ger upphov till
- g) Omfattningen av de åtgärder som måste vidtagas för att hantera katastrofen och begränsa dess följdverkningar
- h) Belastningen på hälso- och sjukvård
- i) Miljökonsekvenser

4 Kemiska naturkatastrofer, åstadkomna utan mänsklig påverkan

Naturkatastrofer kan orsakas av rörelser i jordskorpan eller av abnorma väderlekssituationer som exempelvis orkaner. Vid naturkatastrofer är det ofta fysiska skador som dominerar. Hos människan domineras skadebilden av trauma och av inre och yttre brännskador. Giftiga ämnen spelar sällan en primär roll vid dessa katastrofer, men kan givetvis spela en stor roll om jordbävningen eller vulkanutbrottet skadar lager eller transporter av kemikalier. Men det finns ett antal olika kemiska naturkatastrofer, där giftiga ämnen frigörs till omgivningen och skada människa och djur.

4.1 Utsläpp av giftiga gaser i samband med vulkanutbrott

Vulkanutbrott kan antingen vara dramatiska och explosiva eller ha ett lugnt och långsamt förlopp (5). Vid den första typen pressas smältande berg tillsammans med gaser (magma) upp till jordytan och rinner fram i flytande form som lava eller fragment (pyroclastic debris) och som frigjorda gaser. Det explosiva vulkanutbrottet är det farligaste med utsläpp av het aska med inandningsbara partiklar och heta, giftiga gaser. Det lugna och långsamma vulkanutbrottet är mindre farligt, eftersom mindre kvantiteter gas avges till omgivningen under en utdragen tidsperiod, och den vulkaniska askans partiklar oftast är för stora för att kunna andas in. Huvuddelen av den gas som avges från en vulkan består av vattenånga, men kan också innehålla koldioxid, kolmonoxid, vätesulfid, svaveldioxid, vätefluorid, väteklorid och vätgas. Gaspolymeren späds ut i atmosfären och utgör i allmänhet inte någon fara för människor och djur. Men svaveldioxid, vätefluorid och väteklorid kan finnas i tillräcklig mängd för att vara farlig att inandas eller förgifta dricksvatten och betesmark. Koldioxid och vätesulfid, som är tyngre än luft, kan lägga sig i dalar eller sänkor, och tränga undan syrgas och utgöra en kvävningsrisk. Ett askmoln innehållande giftiga gaser (*nuée ardente*) kan utgöra en fara för personer som exponeras för det. Het vulkanaska kan föras tiotals mil från utbrottet och orsaka olika typer av miljöproblem. Men askan innehåller även inandningsbara partiklar med ansevärd mängd kristallint kisel (kvarts och cristobolit). Dessa kan ge upphov till ögonskador och skador på luftvägarna. Skadorna kan variera från irritation, till svåra skador på luftstrupe, luftrör och alveoler som till och med kan vara livshotande. Upprepad exponering skulle kunna leda till kronisk obstruktiv lungsjukdom.

Vulkanutbrottet i Mount St. Helens, västra Washington, USA, 1980

Vulkanen som ligger i västra delen av staten Washington, USA började sin aktivitet i mars 1980 och fick sitt stora utbrott i maj samma år. Detta utbrott var det första på 123 år. Utbrottet var explosivt och stora mängder aska, och mycket het ånga och heta gaser spreds över stora områden i staterna Washington, Oregon och Idaho (6). Under de efterföljande fem månaderna inträffade ytterligare fem utbrott. Vid fyra av dem skedde utspridning av aska.

Vulkanutbrotten gav upphov till 35 döda och 23 saknade personer. 23 personer obducerades och hos 18 av dem konstaterades kvävning som dödsorsak. Det ansågs att askan orsakat svår irritation av ögon och luftvägar. Svåra skador på luftstrupe, lungödem och tilltäppta bronker hade lett till döden. Efter vulkanutbrotten skedde också en exponering för låga halter aska. Giftiga gaser bedömdes inte ha haft någon giftpåverkan, eftersom gaserna spreds ut i atmosfären och utspäddes genom spridningen till en oskadlig nivå. Exponerade personer med tidigare känd kronisk lungsjukdom fick sitt tillstånd förvärrat.

Däremot kunde man inte konstatera några långtidseffekter i luftvägarna på tidigare friska exponerade för askan.

Man konstaterade en exponeringsrelaterad och stressrelaterad ökning av ett psykiatriskt syndrom som ses i samband med påfrestningar vid katastrofer – allmän ångest, svår depression och posttraumatisk stress.

4.2 Utsläpp av stora mängder koldioxid och metan, lagrad och kondenserad i botten på vissa sjöar

Lake Nyos, Kamerun, 1986

En ovanlig och dramatisk kemisk katastrof utgör explosiva utbrott av gas i vulkaniska sjöar. Koldioxid, sannolikt bildad vid vulkanisk aktivitet, finns i enorma kvantiteter löst i det mineralhaltiga bottenvattnet. Det hydrostatiska trycket hindrar gasen att frisättas. Normalt är utbytet mellan bottenvatten och ovanliggande vattenskikt ringa i dessa sjöar. Men vid temperatursänkning, storm, eller vulkanutbrott - kan balansen rubbas. Detta skedde i *Lake Nyos* augusti 1986 (7, 8, 9, 10, 11, 12). Gasblandat vatten sprutade upp och spred med en hastighet av 72 km/timmen en oerhörd volym koldioxid inom en radie av 2 mil. Man har beräknat att sjön vid utbrottet förlorade 200 000 ton vatten. 1700 människor dog samt ett stort antal tamboskap och vilda djur. Ett liknande utbrott inträffade 1984 i *Lake Manoun*, också i Kamerun, och kvävde 37 människor. Detta utbrott skedde också i augusti, varför det kan tänkas att klimatförändringar under denna månad bidragit till förändringar mellan vattenskikten och gynnat utbrottet. Det finns även en koldioxidrik sjö i Ruanda, *Lake Kivu*. Denna sjö innehåller också metan som beräknas motsvara energiproduktionen i USA under en månad. Volymen koldioxid beräknas vara 5 gånger högre, cirka 200 000 km³.



Bild 1. Döda kor efter gasutbrottet i Lake Nyos.
Foto: J.P. Lockwood



Bild 2. Lake Nyos.
Foto: J.P. Lockwood

4.3 Skador på det skyddande ozonskiktet av stora kvantiteter algproducerade, halogenerade kolväten i världshaven

Flyktiga halogenerade kolväten (VHC) förekommer som spårämnen i atmosfären. De kan vara producerade genom människans verksamhet (antropogena) eller alstrade av naturen (biogena). De som innehåller fluor anses vara producerade av människan och någon naturlig bildning av dem har inte påvisats. Bland annat genom experimentella studier har man visat att olika alger kan producera VHC som innehåller brom, jod och klor. Denna produktion är oftast störst när fotosyntesen är maximal, men de kan även bildas under sämre ljusförhållanden, då fotosyntesen är minskad. Produktionen ökar då algerna utsätts för stress (exempelvis mekaniska skador) och är sannolikt ett sätt för algerna att skydda sig mot olika giftiga syrespecies som bildas under fotosyntesen (13, 14). Vissa VHC, exempelvis bromofenol, är goda antioxidanter och kan motverka lipidperoxidering (15). Lipidperoxidering är ett sätt på vilket fria radikaler i olika steg kan bryta ned fetter (lipider) i cellväggen. Beräkningar tyder på att bidraget till atmosfären av den årliga produktionen av biogena VHC i världshaven kan vara jämförbar med bidraget från de antropogena och i storleksordningen 1 Gigamol (tusen miljoner mol) per år (13, 14). I synnerhet biogena brom- och klorsubstituerade kolväten kan medverka i utarmningen av stratosfärens ozonlager. Detta kan i sin tur leda till en ond cirkel med ökad UV strålning och ökad algproduktion samt risk för ökad produktion av halogenerade kolväten med tilltagande utarmning av stratosfärens ozonlager. Hög frekvens av hudcancer särskilt (malignt) melanom ses i länder nära ett minskat ozonlager över haven i Antarktis. Australien, i synnerhet Queensland, har den högst kända melanomincidensen hos män och Nya Zeeland har den högsta melanomincidensen hos kvinnor. Hög melanomincidens ses även i sydvästra Nordamerika (16). Betydligt mindre ökning av melanomincidensen ses i Europa och där tycks mortaliteten hos melanomdrabbade inte visa någon ökning trots ökad melanomincidens (16, 17).

Analytisk kommentar: Naturkatastrofer orsakade av rörelser i jordskorpan eller av abnorma väderlekssituationer som exempelvis orkaner är sällsynta i Sverige och dess närmaste omgivning. Men svenskar kan naturligtvis drabbas vid tjänstgöring eller semester utomlands.

När det gäller ozonskiktet är det klokt att vara mycket försiktig med att utifrån dagens kunskap dra några vittgående slutsatser avseende samband mellan ett minskat ozonlager och marin produktion av VHC. Ett sådant kan dock existera, och det finns ett klart samband mellan ökad exponering för UV-strålning hos kaukasier, särskilt i unga år och ökad förekomst av hudcancer bl.a. melanom (18).

5 Kemiska katastrofer, åstadkomna genom mänsklig påverkan

Dessa katastrofer beror helt eller delvis på brister i olika system som människan konstruerat. Dessa katastrofer har utlösts genom mänskligt oförstånd vare sig det är planerat eller inte. Det har genom åren förekommit olaglig tillverkning och hantering av stora mängder kemiska ämnen. Dessa har sedan använts i syfte att vinna makt och ibland sympati i olika konflikter. Sedan har ett stort antal händelser inträffat pga av bristande kunskap och förståelse av ekologiska samband kan människan genom att tillföra kemikalier som till exempel fosfater och kvävehaltiga ämnen åstadkomma övergödning av sjöar med utslagning av vissa väsentliga ekosystem som följd. Genom storskalig användning av fossila bränslen för kommunikationer, energiproduktion och uppvärmning kan människan åstadkomma en kemisk katastrof, där koldioxid och metan kan ge betydande klimatologiska förändringar. Allt detta kommer att kunna skada människans hälsa på sikt. Det har också inträffat stora olyckor i anläggningar som har urartat till kemiska katastrofer.

5.1 Kemiska katastrofer utlösta genom att människan medvetet åstadkommer skada på tekniska system genom bland annat sabotage, terrorattacker, krigshandlingar och polisiära insatser.

Första världskriget 1914 - 1918

Första världskriget var ett storskaligt experiment med olika farliga kemikalier, där såväl människor som djur (särskilt hästar och hundar) var objekt i dessa medvetet framkallade kemiska katastrofer. Det uppskattas att totalt 113 000 ton kemikalier användes och därav 12 000 ton senapsgas. Redan 1914 använde England och Frankrike tårgaser sporadiskt.

Den 22 april 1915 genomförde Tyskland ett massivt och överraskande anfall med klorgas mot de allierade. En av förespråkarna för detta var Fritz Haber, senare nobelpristagare i kemi, som personligen engagerade sig i anfallets praktiska detaljer (19). Denna klorgasinsats mot oskyddade soldater orsakade skador hos 15 000 och dödade 5 000 av dem (20). Ett stort antal andra farliga kemikalier (enstaka eller som blandning av flera) kom också att prövas av de krigförande länderna med växlande framgång, men med ett ansevärt skadeutfall och med stora förluster i människoliv. Bland dessa kan nämnas arsinföreningar, fosgen, vätecyanid, cyanogenbromid, cyanogenklorid, vätesulfid, klorpikrin, kloroform samt bromaceton, kloraceton och ett stort antal andra retande ämnen. Den 31 maj 1915 på östfronten längs Bolimowsektorn, nära staden Skierniewice anföll tyska trupper ryska med 264 ton klorgas ur 12 000 cylindrar. Det ryska skyddet mot stridsgaser var bristfälligt och klorgasen uppges ha skadat 8934 ryssar och dödat 1101. Men det finns även uppgifter som tyder på att det skulle ha rört sig om 9000 skadade och om så många som 6 000 döda. (21).

Fritz Haber medverkade också vid utvecklingen av svavelsenapsgas till ett kemiskt stridsmedel. Tyskarna överraskade som tidigare de allierade, när de under natten den 12 juli 1917 anföll de allierade vid Ypern med senapsgas. Storbritannien drabbades under 3 månader av 14 000 skadade och under hela första världskriget av 120 000 skadade av senapsgas. Totalt beräknas samtliga senapsgasskadade under första världskriget uppgå till cirka 400 000 med en dödlighet på 2-3 % motsvarande 8 000 -12 000 döda (22).

Under mellankrigstiden skedde en utveckling av framställningsmetoder, vapensystem, spridning och skydd inom det kemiska vapenområdet. Även om det fanns en konvention mot kemiska och biologiska vapen, Genèveprotokollet (Genèvekonventionen) från 1925, räknade många stater med att kemiska vapen skulle komma att användas i kommande krig.



Bild 3. Japanska tester under 1930 talet.

Användning av kemiska vapen i Kina, 1930 talet

Japan hade påbörjat ett program för bygga upp en kemisk vapenarsenal 1933 och använde kemiska stridsmedel som kloracetofenon, difenylklorarsin (DA), difenylcyanarsin (DC), fosgen, difosgen, klorpikrin, vätecyanid, senapsgas och lewisit. I vapenarsenalen ingick flygbomber, artillerigranater och giftljus. De flesta offren för den japanska kemiska krigsföringen var soldater och civilbefolkning i Kina. Krigsfångar framför allt från Kina och Sovjetunionen blev föremål för inhumana experiment med kemiska stridsmedel. Under åren 1931-45 tillverkades ca 6 100 ton kemiska stridsmedel. Tillverkningen skedde nästan enbart på den japanska ön Okunoshima (23, 24). Med fartyg och järnväg fördes de giftiga kemikalierna till det kinesiska fastlandet. Färdigställande och testning av de kemiska vapnen utfördes i Kina och Manchuriet. Enhet 516 hade ansvaret för utveckling och prövning av de kemiska vapnen. De ansvarade också för laboratorie- och fältförsök på människor. Det är oklart hur många människor som skadades eller dog. Den dåvarande kinesiska regeringen hävdade att den utsatts för 889 incidenter med kemiska vapen före 1939 (25). Det finns källor (24) som påstår att så många som 100 000 skadades eller dog av dessa kemikalier under det 8 år långa kriget mellan Kina och Japan. Antalet döda kan ha varit 2 000 eller flera. Än idag skadas årligen ett stort antal (hundratals) personer i Kina av dessa giftiga kemikalier som finns lagrade i depåer på olika platser i Kina. Kineserna hävdar att 2 000 000 kemiska vapen finns kvar på kinesiskt territorium, medan Japan har medgivit 700 000 (24). Kina och Japan har kommit överens om en saneringsplan på tio års sikt.

Användning av kemiska stridsmedel i Abessinien 1935-1936

Det fascistiska Italien bedrev ett - i Nationernas Förbund (NF, föregångare till Förenta Nationerna [FN]) mycket kritiserat - erövringskrig mot Abessinien (Etiopien) 1935 - 1936. Tårgaser, kvävande gaser, fosgen och senapsgas användes mot de i det närmaste oskyddade abbesinierna. Senapsgas spreds genom flygbomber och från sprutanordningar monterade på flygplan. Besprutning kunde ske utan risk för att bli nedskjuten, eftersom italienarna hade totalt luftherravälde. Stridsgasanvändningen skedde sannolikt för att få ett snabbare slut på kriget och erövra landet. Män, kvinnor, barn och djur skadades. Det har uppgivits att 15 000 personer skadades av stridsgaser, uppgifterna är osäkra (26).

Nervgasutveckling i Hitlertyskland under 1930 och -40 talet

Med utgångspunkt från Gerhard Schraders forskning avseende nya insekticider utvecklades i Hitlertyskland under mitten av 1930-talet högtoxiska organiska fosforföreningar. Några av dessa befanns vara lämpliga att använda som kemiska stridsmedel. De kom att benämnas nervgaser på grund av att de långvarigt hämmar enzymet acetylkolinesteras och därmed dramatiskt bland annat stimulerar det kolinerga nervsystemet. Detta i sin tur leder bland annat till överstimulering av muskler, körtlar och celler som visar sig i mios, stora mängder sekret (tårar, slem), andningssvårigheter, kramper med mera. Efter utvecklingsarbete byggdes ett par fabriker för storskalig produktion av nervgaser. En fabrik uppfördes i Dühernfurt i Ostpreussen (nu Dyhernfurt, Polen) nära Breslau (nu Wrocław, Polen), där cirka 1 000 ton tabun (GA) tillverkades i månaden under 1942-1945. Tyskarna tillverkade även sarin (GB) men inte mer än cirka 500 kg. Fabriksmässig framställning av soman (GD) hann inte påbörjas före krigsslutet. Det finns motstridiga uppgifter om Hitlertysklands kemvapen kapacitet. Västmakterna uppskattade att man förfogade över 50 000 – 65 000 ton kemiska stridsmedel däribland 12 000 -15 000 ton tabun.

Den sovjetryska uppskattningen var 250 000 ton kemiska stridsmedel däribland 20 000 – 30 000 ton tabun (27, 28).

Storskalig användning av giftgas i koncentrationsläger 1939-1945

De tyska nervgaslagren var en potentiell kemisk katastrof som aldrig blev verklighet.

I enstaka fall gjordes försök med nervgaser på fångar i koncentrationsläger

En kemisk katastrof kan däremot det välplanerade, monstruösa avlivandet av framför allt europeiska judar, men även andra för Nazityskland *icke önskvärda folkgrupper* eller psykiskt och fysiskt handikappade, sägas vara. Detta skedde på några anstalter men i huvudsak i utrotningslägren under andra världskriget. De kemiska ämnen som användes var kolmonoxid och vätecyanid. Vid rumstemperatur är kolmoxid en gas och vätecyanid en flyktig vätska. Båda är i tillräckligt hög koncentration dödande genom kvävning. Kolmonoxid producerades i en förbränningsmotor. Avgaserna leddes antingen in i ett fordon (buss) som kördes runt med offren i den ”mobila gaskammaren” eller in i en gaskammare. I utrotningslägren fanns en eller flera gaskammare. Avlivningsgiftet var vätecyanid, som producerades genom att tillsätta vatten eller en syra till en produkt, Zyklon B. Denna var ursprungligen framtagen för att användas som insekticid, vätecyanid hade adsorberats till en pulverbas av kiselgur. Leverantören, firman Degesch levererade följande kvantiteter till några koncentrationsläger (Tabell 1), och då är inte leveranser före 1942 och efter 1944 inräknade (29).

Tabell 1.

Auschwitz	19 653 kg	1942, 1943
Sachsenhausen	4 352 kg	1942, 1943
Lublin	1 628 kg	1943
Neungamme	607 kg	1942, 1943
Gross-Rosen	430 kg	1943
Ravensbruck	352 kg	1943

Enbart i Auschwitz dödades 4,5 miljoner fångar - inte alla genom gasning men sannolikt en majoritet.

Analytisk kommentar: Det tyska lagret av nervgas beslagtogs av de allierade. England, Frankrike, USA och Sovjetunionen för att undersökas närmare. Sovjetunionen tog hand om stora kvantiteter samtidigt som de bäge fabrikerna för tillverkning hamnade i sovjetockuperat område.

De största mängderna förstördes eller dumpades i havet.

Allt detta ledde till stora satsningar inom området speciellt hos de dåvarande stormakterna. Forskningen inriktades på att undersöka verkningsmekanismer och andra egenskaper hos dessa nervgaser, och den ledde också till bättre nervgasmotmedel, men dessvärre till att ett antal nya och farligare nervgaser togs fram.

Jämfört med kärnvapnen har nervgaser och andra kemiska vapen spelat en liten roll för terrorbalansen i Världen.

Kemisk krigföring under Vietnamkriget, 1965-1972

Under Vietnamkriget började USA att använda kemikalier för att förstöra gröda och därmed försvåra försörjningen för den nordvietnamesiska gerillan och de Nordvietnamesiska styrkorna. Man använde även kemikalier för att hindra fiendens möjligheter att dölja sig, sina trupprörelser och försörjningslinjer. Under 1965-1966 började användningen bli systematisk och omfattande. Det var huvudsakligen områden i Sydvietnam och Ho Chi Minh – leden i Laos som blev föremål för den kemiska växtbekämpningen. Användningen av växtgifter (herbicider) för att förstöra gröda i Indokina 1967 omfattade 1/6 del av den totala konsumtionen av herbicider och mer än 100 000 ton gröda förstördes varav 2/3 beräknades utgöra matris. Förstörelse av gröda med kemikalier hade denna omfattning fram till en bit in på år 1970 (30). De ämnen som huvudsakligen användes i Indokina var olika klorerade organiska 2,4-diklorfenoxiättiksyra (2,4-D), 2,4,5-triklorättiksyra (2,4,5-T), dimetylsarsinsyra (kakodylsyra) och 4-amino-3,5,6-triklorpicolinsyra (pikloram). Det ökända ”agent Orange” är en blandning av lika delar 2,4-D och 2,4,5-T. Förutom att skada natur och för människor och djur livsviktig gröda på kort sikt, förgiftades också besprutade områden långsiktigt med persistentakemikalier, vilka fanns som föroreningar i 2,4,5-T. Bland dessa föroreningar kan särskilt nämnas en dioxin som 2,3,6,7-tetraklordibenso-p-dioxin (TCDD), ett ämne med hög akut giftighet för vissa djur (hamster, kanin) men inte för människa. Däremot är TCDD den mest potenta promotorn för levercancer hos gnagare, men det är ännu inte klarlagt om TCDD kan framkalla cancer hos människa. De undersökningar som gjorts har delvis givit motsägelsefulla resultat och är svårtolkade (31). Det finns också klara belägg för att exponering av foster eller spädbarn under amning för klorerade bifenylter (PCB) som

exempelvis 2,4-D och 2,4,5-T kan ge neurologiska störningar under uppväxten. Mekanismen eller mekanismerna bakom dess rubbningar är inte klarlagd(a) (32).

Under Vietnamkriget använde USA och dess allierade även stora mängder tårgaser för polisiära ändamål, men också för rent militära ändamål som att tvinga fram motståndaren att lämna en skyddande miljö eller förhindra tillträde till vissa områden. De använda tårgaserna var framförallt 10-klor-5, 10-dihydrofenarsasin (DM, adamsit), α -kloracetofenon (CN) och 2-klorbensylidenmalononitril (CS). Vid första halvåret 1969 hade ungefär 7 000 ton CS förbrukats sedan den började introduceras 3-4 år tidigare (33). CS har en låg toxicitet jämfört med sin retande effekt. Det finns inte något dokumenterat fall i litteraturen, där en människa avlidit efter exponering för CS. Däremot kan exponering för mycket höga doseringar sannolikt ge skador på luftvägarna och lungorna och förvärra tillståndet för dem som redan har allergi eller lungsjukdom.

Analytisk kommentar: Det hävdas i Vietnam och av amerikanska veteraner från Vietnamkriget att exponering för PCB och därmed för dioxiner har orsakat ökat antal defekta spermier, missbildningar och olika typer av cancer, särskilt levercancer och mjukdelscancer. Det är svårt att objektivt hävda att detta samband mellan herbicidexponering och dessa skadliga effekter finns. Tveklöst har vissa områden fått en katastrofal belastning av bland annat PCB. De kontaminerade områdena kommer att vara svåra att sanera. Exponeringen för giftiga ämnen kan fortsätta. Det är också svårt att uppskatta tidigare och nuvarande exponering för de drabbade. Dessutom är, som tidigare nämnts, sambanden mellan exponering för PCB och uppträdande av cancer och missbildningar inte klart visade.

Användning av kemisk krigföring i Iran-Irakkonflikten 1980-1988 och mot kurderna i norra Irak

I den väpnade konflikten mellan Iran och Irak 1980-1988 sattes troligen kemiska vapen in redan 1981. Hud- och vävnadsskadande senapsgas samt nervgasen tabun har med säkerhet använts, vilket också kunde konstateras av en officiell FN-delegation efter kemisk analys av prover från kemiska vapen funna på iranskt territorium. Iran sände 1984 och 1988 ett antal skadade till olika sjukhus i Europa för vård av sina kemiska skador. Offren uppvisade skador som visade på exponering för senapsgas (34). Iran uppger nu att man har mer än 100 000 militära och civila skadade. Av dem har 34 000 kvarstående men. Dessa kan vara av många olika slag från psykiska och sociala besvär sekundära till skadan till ett antal olika kroppsliga krämpor. Hos dem med kvarstående besvär har cirka 42 % lungbesvär, cirka 40 % ögonbesvär och ungefär 25 % hudbesvär. Huvuddelen av komplikationerna bedöms som lätta eller milda, men de iranska läkarna anser att lungbesvären och ögonbesvären kan komma att försämrats med tiden och man har ett omfattande program för uppföljning och vård för de skadade på specialistsjukhus (35).



Bild 4. Döda personer efter anfallet med kemiska stridsmedel mot staden Halabja, 1988.
Foto: Alex Atroushi

Irak bedrev även kemisk krigföring mot sin egen civilbefolkning. Kurderna i norra Irak i staden Halabja med omnejd utsattes för ett anfall med kemiska vapen. Iranska soldater i närheten utsattes också för liknande anfall. Nervgas (tabun och/eller sarin) och senapsgas har med säkerhet använts. Enligt obekräftade uppgifter skulle också vätecyanid ha använts. Anfallet mot Halabja är inte det enda angreppet mot kurderna i norra Irak. Även senare har en omfattande serie av insatser med kemiska vapen mot dem i den så kallade Anfalkampanjen. Senapsgas och tabun har använts. Även andra kemiska ämnen misstänks ha använts, men det finns för närvarande inte belägg att så skulle vara fallet.

Sarinattackerna i Matsumoto 1994 och Tokyo 1995

Den 21 juni 1994 spreds nervgasen sarin ut från ett specialutrustat fordon i ett bostadsområde i den japanska staden Matsumoto och skadade 200 och dödade 7 personer. Bakom attacken stod den japanska domedagssekten Aum Shin Rikyo. Nästa attack från gruppen kom den 20 mars när sektmedlemmar placerade ut flera plastbehållare innehållande sarin på ett antal tunnelbanetåg, destinerade till en tunnelbanestation nära Tokyos administrativa centrum med bland annat flera regeringsdepartement. Efter utplacering punkterade sektmedlemmarna behållarna och lämnade tåget vid första uppehåll. Många av resenärerna förgiftades, de flesta lätt, men 11 dog och senare ytterligare 1 på sjukhus. Minst 5000 skadades, mestadels lätt (36, 37). Majoriteten av passagerarna exponerades sannolikt för mycket låga halter sarin, men tycks likväl ha spritt sarinet till sjukvårdspersonal, vilka klagade på lätta symtom som huvudvärk, illamående, mios m.m. (37). Nästan 10 år efter exponeringen förekommer uppgifter om kvarstående symtom hos de drabbade trots att de flesta utsatts för mycket låga sarinhalter. Man kan inte bortse från att attacken med sarin har och är varit även en svår psykologisk belastning på offren.



Bild 5. Skadade som tas om hand efter sarinattacken i Tokyos tunnelbana.
Foto: Bilden används med tillstånd från Health Protection agency, UK

Analytisk kommentar: Det har visserligen tidigare förekommit enstaka incidenter, där man hotat använda nervgasliknande ämnen. Men händelserna i Matsumoto och Tokyo visade att terrorgrupper är kapabla genomföra attacker med nervgas och åsamka stor skada även om de skulle kunna ha genomförts med större effektivitet och vållat större skada. Händelserna visade att samhället måste kunna skydda sig mot terrorattacker, där skadliga kemikalier kommer till användning. Men några nya incidenter, där nervgas används till terrorsyfte har hittills inte rapporterats.

Användning av sövande gas vid fritagningen av gisslan vid Dubrovkateatern i Moskva oktober 2002

Den 23 oktober 2002, intogs Dubrovkateatern i Moskva av ett 40-tal beväpnade tjetjenska män och kvinnor. De tog samtidigt cirka 850 personer (38). Tjetjenerna medförde även sprängladdningar som placerades strategiskt i lokalerna. Några av dem hade även sprängladdningar anslutna till sina kroppar. Det blev snart uppenbart att gisslantagarna var fullt beredda att spränga sig och sin gisslan i luften, om inte deras krav på att ryska trupper skulle lämna Tjetjenien realiserades. Dödshotet, brist på sömn och mat samt dåliga sanitära förhållanden gjorde redan efter ett par dagar situationen allt svårare för människorna i teatern. Förhandlingar med gisslantagarna pågick men med magert resultat. Det kan också tänkas att förhandlingarna med gisslantagarna bedömdes utsiktslösa av de ansvariga ryska myndigheterna som beordrade specialstyrkor tillhörande inrikesministeriet att genomföra en gisslanfritagning. Denna genomfördes i gryningen lördagen den 26 oktober 2002. Gas sprutades in i lokalen från takhöjd så att den enligt ögonvittnen spred sig som en dimma eller mörkgrå rök i lokalen (38, 39).

Målet var att slå ut gisslantagarna innan de hann agera, men detta kunde inte nås utan exponering av gisslan. Gasen framkallade hos de exponerade inom sekunder eller minuter medvetenlöshet och orörlighet. Men anslagstid och förgiftningsgrad har säkert varierat kraftigt. Mycket snabbt efter gasinsatsen tog sig specialstyrkorna in i lokalen, där man för att vara säker på att ha likviderat gisslantagarna även sköt dem till döds. Fyra i gisslan dog också i skottlossning. Det är osäkert hur många som dödades av gasen initialt, men samtliga gisslantagare dog av gas och/eller skottskador. Av de 850 i gisslan överlevde 718, vilket innebär att 132 dog, av dem dog 128 av enbart gasexponering och dess komplikationer. Det finns även andra uppgifter som anger att 126-129 personer skulle ha avlidit av gasexponering och dess följder.

Användningen av den sövande gasen, gav upphov till spekulationer om vilken gas som utnyttjats vid fritagandet. Informationen från ryska myndigheter om gasen var strax efter fritagningsoperationen mycket sparsam. I press- och TV-intervjuer nämndes att nervgas, cyanid, atropinlika ämnen, anestesigaser, sederande och sömngivande medel (exempelvis bensodiazepiner) och morfinlika ämnen skulle kunna ha använts. Det föreföll allt mindre troligt att gasen skulle vara nervgas, vätecyanid eller något atropinlikt ämne. Bland andra kunde dock läkare från västerländska ambassader konstatera att de gasförgiftade visade symtom som tydde på förgiftning orsakad av morfinlika ämnen. Ryska läkares observationer var likartade, och de förgiftade blev bättre efter tillförsel av opiatmotmedlet. Dessutom framkom att en grupp militärläkare före fritagandet av gisslan besökt sjukhus i Moskva och rekommenderat att öka förråden av antidoter mot morfin- och annan opiatförgiftning.

Det finns även uppgifter att man efter specialtruppernas insats i Dubrovkateatern funnit kanyler och ampuller som innehållit opiatmotmedel. Trots detta förgiftades även ett antal medlemmar i specialstyrkorna.

Fyra dagar efter gisslanfritagandet meddelade den ryske hälsovårdsministern att ett fentanylbaserat ämne eller fentanylderivat använts, och att detta ämne i sig inte hade någon dödlig effekt.

Däremot finns för närvarande ingen tillgänglig information avseende miljöanalyser eller analyser av vävnadsprov från personer som förgiftats av gasen. Den officiella informationen har varit mycket mager kring fritagningen och om vad som hänt dem, som insjuknat eller dött.

De enda fynd, vilka meddelats offentligt härrör från två tyska medborgare som kom till Tyskland 1-2 dagar efter att de förgiftats av gasen. Spår av anestesimedlet halotan påvisades i blod- och urinprov från de två förgiftade. En av dem hade fått andningshjälp och kan ha exponerats för halotan i samband med denna. Nervgas kunde inte heller påvisas. Det gjordes även försök att påvisa den potentia opiaten fentanyl, men detta läkemedel kunde ej påträffas vare sig i blod eller urin. Inte heller nervgas kunde påvisas.

Analytisk kommentar: Det är sannolikt praktiskt omöjligt att använda halotan för att immobilisera och söva ett stort antal människor i en mycket stor lokal. Sannolikt har en, eller flera mycket potentia fentanylderivat använts (38, 39) troligen utspritt(dda) som en rök (39). En tänkbar kandidat är carfentanil som används för att immobilisera och söva stora vilda djur. Carfentanil är cirka 10 000 gånger mera potent än morfin. Vid användning av carfentanil, krävs god övervakning och möjligheter att vid andningsdepression omedelbart ge assisterad andning och motmedel i form av exempelvis naloxon. Motmedelsbehovet kan bli mycket stort, särskilt om en hög dos av carfentanil använts. Risk finns också att carfentanil på nytt ger andningsdepression, om för lite naloxon injicerats, eftersom det har mycket längre duration än antidoten. Det finns också en reförgiftningsrisk genom mobilisering av carfentanil från depåer (muskler, fett). Det är tveksamt, om man i Moskva hade den beredskap och de resurser, som krävs för att med mycket kort varsel hantera en massförgiftning orsakad av en mycket potent opiat och undvika ett stort antal skadade eller döda bland de förgiftade. Denna unika, storskaliga och riskfyllda användning av sövande och immobiliserande gas vid en polisiär insats samt den bristfälliga och delvis felaktiga informationen kring gisslanfritagningen, ger näring åt ett antal ännu obesvarade frågor avseende de(t) använda medlet (en), medlets utspridning, antal drabbade, antal döda, behandlingsformer och följd tillstånd.

5.2 Kemiska katastrofer orsakade av mänsklig okunskap, oförstånd, bristande underhåll och slarv

Minamatasjukan, i Japan från 1900 talets början till omkring 1960

Minamata är ett samhälle beläget på ön Kyushu, som är den sydligaste av de japanska huvudöarna. Befolkningen hade sin huvudsakliga utkomst från, risodling, saltframställning och fiske. I början av 1900-talet bedömdes Minamata vara en lämplig plats för industriell

produktion bland annat på grund av tillgängliga resurser av människor, mark och en utskleppningshamn. Dessutom var det möjligt att producera elektricitet med hjälp av vattenkraft i närområdet. Chisso Cooperation startade en fabrik som ursprungligen tillverkade konstgödsel och senare karbid. Industrin utvecklade så småningom till en organisk kemisk industri baserad på acetylen framställd av karbid. Redan i slutet av andra världskriget tillverkades en del plastmaterial (40). Efter krigsslutet återupptogs en produktionslinje, där acetaldehyd var huvudprodukten. Vid produktionen av acetaldehyd användes metalliskt kvicksilver som en katalysator. Avloppen från de olika industriprocesserna samlades i en så kallad utjämningsbassäng där pH neutraliserades. Därefter släpptes avloppsvattnet ut i Minamatabukten.

1956 uppträdde det första sjukdomsfallet av den sjukdom som senare kom att benämnas Minamatasjukan. Det följdes av flera insjuknanden hos fiskare och deras familjer. De sjuka hade allmänna sjukdomssymtom som trötthet, aptitlöshet illamående, men de hade även symtom som tydde på att det centrala nervsystemet var drabbat som exempelvis balansrubbningar, talsvårigheter, partiella och växlande förlamningar i extremiteterna. I svårare fall sågs generella kramper, mental påverkan, kraftig temperaturförhöjning och död. Även katterna i området visade sjukdomssymtom som förlamningar i ett eller båda bakbenen. De rörde sig därför i cirkelrörelser eller släpade sig fram på marken (41). Fiskarbefolkningen liksom katterna hade en hög andel av fisk i sin diet. Sjukdomen var således lokalt begränsad och föreföll ha samband med fiskintag men ansågs vara framkallad av bakterier eller virus.

En företagsläkare på Chisso Cooperation hade lagt märke till att symtomen hos den sjuka befolkningen i mycket, men inte helt, påminde om dem han sett hos några arbetare i acetaldehydproduktionen, vilka hade exponerats för oorganiskt kvicksilver. Läkaren var också bekant med metylkvicksilvers toxicitet och misstänkte att denna förening kunde vara orsak till Minamatasjukan. Eftersom han inte hade tillgång till bra analysmetoder för metylkvicksilver, utförde han ett försök på friska katter. En grupp av dem matades med fisk från Minamatabukten, en andra fick annan kost med tillsats av metylkvicksilver och den tredje fick kost utan tillsatser. De två första grupperna utvecklade symtom likartade dem som katterna i Minamata uppvisade. Den tredje gruppen förblev frisk.

När pålitliga mätmetoder för metylkvicksilver tagits fram, konstaterades metylkvicksilver i de samlade avloppen i utjämningsbassängen. Man kunde också konstatera att totalhalten av kvicksilver var förhöjd i skaldjur, fisk, Minamatasjuka katter och människor. Chisso Cooperation bestred under mycket lång tid att det fanns ett samband mellan företagets utsläpp och Minamatasjukan.

När sedan detta erkändes, begränsade man starkt antalet ersättningsberättigade genom stränga kriterier för att klassas som sjuk. Så småningom tvangs man liberalisera dessa kriterier. Från början var antalet offer för Minamatasjukan 129, men efter ändring av sjukdomskriterierna ökade antalet till flera tusen. Skadeståndskrav och kostnaderna för en 13 år lång restaurering av Minamatabukten gjorde att den japanska regeringen fick ingripa och utse ledning för Chisso Cooperation. All vinst från företaget gick till de drabbade, och ett särskilt institut, The National Institute for Minamata Disease, grundades.

Kvicksilverkatastrofen i Irak 1971-1972

Irak hade haft några dåliga skördeår i slutet av 1960-talet. Regimen beslöt då att till landets bönder anskaffa stora mängder utsäde av det nya högavkastande vete, som Norman Borlaug och medarbetare tagit fram i Mexiko med målsättning att ge bättre skördar i utvecklingsländer (42). För att utsädet inte skulle förstöras under transporten till Irak betades det med metylkvicksilver och färgades rosa. Det skeppades till Basra, men båtarna blev liggande i Basras hamn och utsädet distribuerades inte ut i landet förrän det var för sent att så. Detta innebar att både människor och djur fick för lite föda. I denna svåra situation började man ge husdjuren av det betade vetet. Eftersom inga omedelbara symtom märktes, fortsatte denna användning. Så småningom började man använda det betade vetet till bröd och annan mänsklig föda. Efterhand uppträdde epidemiskt ett sjukdomstillstånd med klassiska symtom på metylkvicksilverförgiftning (42, 43). De behandlingsmetoder som stod till buds på sjukhusen reserverades för inflytelserika familjer och var i allmänhet verkningslösa. Behandling med komplexbildaren BAL föreföll till och med kunna hjärnans nivåer av metylkvicksilver. Eftersom giftet även spreds genom mjölk-, kött- och äggprodukter, uppstod en panikartad jakt på födoämnen fria från metylkvicksilver. Med utländsk experthjälp började man sätta upp laboratorier för analyser av kvicksilver och så småningom även metylkvicksilver. På så sätt kunde man kontrollera födans giftinnehåll och hindra fortsatt metylkvicksilverintag. Även om landets ledning anat eller känt till orsaken till förgiftningarna, dröjde det innan orsaken blev officiell sanning. Regimen i Irak beslöt att allt kvicksilverbetat vete skulle inlämnas inom fjorton dagar. Armén beordrades att se till att det utfördes och att avrätta dem som inte i tid lämnat in det betade utsädet. Många som ej i tid nåtts av detta påbud dumpade utsädet, där de kunde och bidrog till förgiftning av mark, vatten, djur och människor.

Officiellt har antalet döda i den irakiska metylkvicksilverkatastrofen angivits till 600 med mångdubbelt flera skadade med bestående men. Men sannolikt är dessa siffror för låga. Tusentals kan ha dött och tiotusentals eller flera kan ha fått bestående skador.

Arsenikförgiftning genom dricksvatten, 1900 talet

Stora delar av Nord- och Sydamerika har arsenikhaltigt grundvatten. Bland dem finns den argentinska Pampasslätten, en stor sammanhängande landmassa på 1 miljon kvadratkilometer (44). Innevånarna i dessa mycket torra, vulkanrika områden har druckit arsenikhaltigt vatten i ungefär 10 000 år. Men den första beskrivningen från Chile av de för långvarig arsenik-exponering karakteristiska svarta, dropplika hudförändringarna med ökad hudförhörning beskrevs först på 1900-talet. I vissa områden i bland annat Chile ses en ökad förekomst av cancerformer som lungcancer och urinblåsecancer, två cancerformer vanliga vid kronisk arsenikexponering.

Men stora delar av befolkningen har inte några hudförändringar och inte heller några andra sjukdomssymtom. Det finns också belägg för att den exponerade befolkningen i vissa områden med åren utvecklat en metabolism av arsenik, som gör att giftet lättare elimineras ur kroppen (45).

Den högsta tillåtna halten av arsenik i dricksvatten är oftast satt till 50 ppb (50 µg/liter). I Chile har man ha genom vattenrening lyckats nå denna halt i städer. Men i mindre orter är det inte ovanligt att dricksvattnet har arsenikhalter i storleksordningen 600 ppb eller högre. Det är osäkert om det finns en säker nivå av arsenik, där kronisk exponering inte skulle framkalla

någon skadlig effekt. En acceptabel rimligt säker nivå anses vara 10 ppb. Denna nivå är den officiella även i USA, landets naturvårdsverk, Environmental Protection Agency (EPA), uppskattar att 12,7 miljoner amerikaner varje dag dricker vatten med en arsenikhalt överstigande 10 ppb. Kostnaderna för att minska arseniknivåerna till 10 ppb i allt amerikanskt dricksvatten bedöms som mycket höga och presidentadministrationen har skjutit åtgärderna på framtiden.

Även om problemen med arsenikhaltigt vatten kan vara svåra på den amerikanska kontinenten, är de små jämfört med motsvarande arsenikkontaminering i Asien (44, 46, 47). Arsenikkontaminering av grundvatten förekommer i Kina, Laos, Kambodja, Myanmar (Burma), Pakistan och Iran. I Hanoiområdet i Röda flodens delta bedöms 10 miljoner människor löpa risk att bli kroniskt förgiftade. Men i det mycket folkrika Bengaldeltat är situationen katastrofal. Västbengalen i Indien och Folkrepubliken Bangladesh är värst drabbade. Dessa bördiga områden, dominerade av floderna Padma (Ganges), Jamuna (Brahmaputra) och Meghna, översvämmas regelbundet under monsunregnen. Detta leder till stora skador på infrastrukturen, och förhållandena slumområdena av Dacca, huvudstad i det mycket fattiga Bangladesh, kan jämföras med att äta, diska och förätta sina behov i samma kloak. Olika former av infektioner och diarrésjukdomar grasserar. Framtagande av rent dricksvatten är väsentligt bland annat för att motverka spridningen av tarminfektioner. I deltats sediment har under årtusenden rent vatten från Himalaya magasineras på olika nivåer. Detta vatten kan tas upp genom enkla rörbrunnar kopplade till handpumpar. I begränsad omfattning användes denna teknik redan på 1930-talet men i stor skala först 1972, då United Nations Children's Fund (UNICEF) lät installera 900 rörbrunnar. Detta ledde till mycket goda hälsoeffekter. Barnadödligheten nästan halverades vid jämförelse mellan åren 1960 och 1996 och dödligheten för barn under 5 år mer än halverades.

1983 kunde en indisk hudläkare i Västbengalen konstatera hudförändringar, typiska för arsenik. Han fann ett samband mellan dem och intag av arsenikhaltigt vatten från en kontaminerad rörbrunn. Fram till 1987 hade samme läkare och medarbetare funnit 1214 fall med kroniska hudförändringar orsakade av arsenik i dricksvatten från rörbrunnar. De fann ett tydligt samband mellan arsenikhalten i vattnet och arsenikhalten i naglar och hår hos dem som druckit vattnet.

I Bangladesh är problemen med arsenikförgiftat vatten ännu värre än i Västbengalen, men det dröjde fram till senare hälften av 1990-talet innan omfattningen blev känd (45, 47). Flera stora undersökningar av befolkningen har visat att 30 till nästan 60 procent av de undersökta har hudskador typiska för arsenikexponering. 17 000 innevånare har hittills visat sig ha medicinska skador som kan vara orsakade av arsenik, men denna siffra kan vara allt för låg. Det har uppskattats att 35 miljoner innevånare i Bangladesh får sitt dricksvatten från arsenikkontaminerade brunnar med en arsenikhalt av mer än 50 ppb. Risken att få lung- och eller urinblåsecancer uppskattas vara 1% vid denna halt. Sålunda löper 350 000 personer risk att i framtiden drabbas av dessa cancerformer. Den viktigaste basfödan i Bangladesh är Paddyris. Detta och andra matväxter kan lätt ackumulera arsenik, och halter i storleksordningen 2 000 ppb har uppmätts. Det kan beräknas att en innevånare per dag får i sig 2-4 gånger mera arsenik än det som WHO 1993 rekommenderade som maximalt tillåtet dagligt intag. I dag finns cirka 10 miljoner rörbrunnar lokalt i Bangladesh. Många har tillkommit på privata initiativ. Arsenikhalterna är kända i ungefär 1 miljon av dessa. Eftersom man vet att arsenik i huvudsak avges till grundvatten från Holoceniska sediment bildade

7 000 år efter istiden, innehåller grundvattenådror på högst 10 meter eller djupare än 150 meter mindre arsenik. Men det finns också en stor variation i arsenikhalter även i närbelägna orter. Borrade av djupa brunnar skulle sålunda ge bättre dricksvatten, men till en kostnad som Bangladesh knappast bära ensamt.

Analytisk kommentar: De stora problemen med arsenikhaltigt vatten – i synnerhet i Bangladesh och Västbengalen – åskådliggör hur välmotiverade projekt för att förbättra hygien och folkhälsa kan skapa nya och katastrofala folkhälsoproblem. Trots att god internationell expertis utnyttjats, har man inte haft tillräcklig kunskap för att undvika att skapa nya problem vid åtgärder för att minska eller eliminera utbredda infektioner och parasitangrepp. Erfarenheterna från dessa misstag belyser också betydelsen av bland annat geokemisk kunskap vid internationella insatser i länder med bristfällig infrastruktur.

Katastrofen i Flixborough, Storbritannien 1974



Bild 6. Den skadade fabriksanläggningen efter den kemiska katastrofen i Flixborough.
Foto: Bilden används efter tillstånd från acusafe.com

På eftermiddagen lördagen den 1 juni inträffade en svår explosion i Nypro anläggningen, där bland annat cyprolaktam (komponent vid nylontillverkning) framställdes genom oxidation av cyklohexan med hjälp av luft. (48). Processen ägde rum i ett antal seriekopplade reaktorer för att ge en önskad blandning av cyklohexan och cyklohexanol.

Vid olyckstillfället var en av reaktorerna urkopplad på grund av läckage. En provisorisk rörledning hade installerats mellan förrådskäret för cyklohexan och de hela reaktorerna så att processen kunde pågå, när den skadade reaktorn reparerades. Förmodligen orsakades katastrofen av ett läckage i den provisoriska rörledningen. Fyrtio ton 150 gradig cyklohexan, en tiondel av det totala förrådet, strömmade ut under ett tryck av 1 MPa och bildade ett gasmoln med 100-200 meters diameter.

Förmodligen genom kontakt med en ugn i den närbelägna vätgastillverkningen antändes gasmolnet och exploderade. Explosionen motsvarade cirka 15 ton TNT hördes på 5 mils avstånd, orsakade flera bränder och skadade 1 800 byggnader på 1-2 kilometers avstånd. Bränder rasade i området under 10 dagar. Stora delar av anläggningen förstördes och 28 personer dog medan 36 skadades.

Hade olyckan inträffat en vanlig arbetsdag kunde antalet dödade och skadade sannolikt blivit betydligt större – upp till 500 personer.

Analytisk kommentar: Den provisoriska rörinstallationen var utfördes av tekniker, vilka saknade kunskap om hantering av explosiva kemikalier under högt tryck, hade flera tekniska brister. Dessutom fanns det stora brister i säkerhetsmedvetande och i arbetsinstruktioner.

Sevesokatastrofen, Italien 1976

Mitt på dagen lördagen den 10 juli 1976 inträffade en explosion i en reaktor med triklorfenol vid en industrianläggning i Seveso (49). I fabriken framställdes triklorfenol genom en reaktion mellan tetraklorbensen och natriumhydroxid. När reaktionen avslutats avlägsnade man en del av lösningsmedlet (etylenglykol och xylen) genom vakuumdestillering. Sedan stängde man av värmetillförsel och omrörning och lämnade kemikalierna kvar i reaktorn för att fortsätta processen senare. Ungefär 7,5 timme senare sprängdes en av reaktorns säkerhetsblock, och delar av reaktorinnehållet strömmade ut som ett moln av heta gaser. Temperaturen i reaktorn var från början förhöjd, men en värmeavgivande reaktion sattes också igång, som höjde temperaturen tillräckligt mycket för att 2-3 kg av dioxinföroreningen TCDD skulle bildas och spridas med gasmolnet. Utsläppet kunde avbrytas efter 20 minuter. Föroreningarna spreds långt i vindens riktning och kontaminerade omgivningen i tre befolkade områden, där de bodde 733 (hög kontaminering), 4800 (medelhög kontaminering) och 22 000 personer (låg kontaminering) respektive. Man påbörjade ett medicinskt uppföljningsprogram för de drabbade. Initialt uppvisade några brännskador, men 6 veckor efter exponering sågs hudförändringar i form av finnar så kallad klorakne vars frekvens föreföll proportionell mot doseringen vid utsläppet. Kloraknen försvann två år senare. De exponerade och deras avkomma har följts upp avseende leverskador, neurologiska rubbningar, fosterskador, genetiska skador, cancerförekomst m.m. man har hittills enbart sett lätt förhöjda levertransaminaser hos pojkar. Det har inte kunnat påvisas någon ökad abort- eller missbildningsfrekvens. Men en ökad frekvens av bröstcancer hos exponerade kvinnor har kunnat konstateras i en studie av Warner 2002 (50).

Analytisk kommentar: Med undantag för en ökad frekvens i bröstcancer hos exponerade kvinnor (50) har ännu ingen annan långtidseffekt påvisats. Sevesokatastrofen ökade medvetandet om de skadliga effekterna på människa och miljö av farliga ämnen. Som ett led i att förebygga och begränsa följderna av framtida svåra olyckshändelser med farliga ämnen utarbetade den europeiska unionen (EU) det så kallade första Sevesodirektivet 1982. Detta ersattes 1996 av det andra Sevesodirektivet. Viktiga ändringar har gjorts och nya begrepp har införts. I direktivet läggs särskild tonvikt på miljöskydd genom att miljöfarliga ämnen för första gången införs i tillämpningsområdet (bland annat vattengifter). Vidare införs nya krav vad avseende säkerhetssystem, planer för räddningsinsatser, fysisk planering och bestämmelserna om inspektioner och information till allmänheten (51).

Bhopalkatastrofen 1984

Natten till den 3 december 1984 inträffade en av de hittills svåraste kemiska katastroferna i den indiska staden Bhopal, genom en olyckshändelse i Union Carbides fabrik för pesticiden carbaryl, Sevin (52). Den svåra olyckan orsakades sannolikt av att det på kvällen den 2 december genomfördes en rengöring av det rörsystem som tillhörde den del av anläggningen, där metylisocyanat (MIC) tillverkades och som också hade förbindelse med de tre lagertankarna för MIC. Rengöringen skedde genom att stora mängder vatten solades in i systemet. Denna typ av rengöring var en normal rutinåtgärd för att ta bort slagg som bildas inuti rörsystemet av det korrosiva MIC. På ett ännu inte helt klarlagt sätt, leddes vatten med föroreningar in i en förrådstank med MIC (52, 53). Detta ledde bland annat till bildning av koldioxid och till en temperaturhöjning och en skenade exoterm reaktion med kraftig tryckökning som åstadkom ett utsläpp av 30-42 ton på tre timmar. Personal från Union Carbide lyckades förhindra att sköljvatten kom in i ännu en närliggande tank innehållande 20 ton MIC. Huvuddelen av den utsläppta gasen var sannolikt MIC, men andra ämnen som vätecyanid kan också ha funnits i gasen och bidragit till symtomen. De exponerade upplevde gasen het och stickande. Irritation, hosta, kvävningsskänsla uppträdde kort tid efter exponeringen. Senare visade drabbade symtom som kräkning, urin- och faecesavgång, panik, aggression, nedstämdhet, apati och kramptillstånd. Uttalad irritation av luftvägarna och lungorna, jämte blödningar och lungödem ledde till döden. De som har kvarstående nedsatt lungfunktion löper risk att få den försämrade. Men det finns även de som tillfrisknat. Ungefär 2/3 delar (521 262 enligt Indian Medical Research Council) av staden 800 000 invånare exponerades (52). Av dem var 200 000 barn. Inom en kort tid dog 1700 - 8000. Det hävdas att ytterligare 15 000 har dött fram till december 2004 av komplikationer till exponeringen. Men det finns även uppgifter som anger antalet döda till 16 000 – 30 000. Flera tusentals personer har kvarstående besvär efter olyckan (52, 53, 54).

Union Carbides anläggning i Bhopal byggdes med företagets amerikanska anläggning i Kanawha Valley som förebild och i samma storleksordning. Framstående och erfarna personer från Union Carbide sattes att leda det indiska dotterföretaget. Säkerheten för anläggningen låg på en hög nivå (52). Indiska tekniker skickades till U.S.A. för utbildning och träning på moderföretagets anläggning innan produktionen påbörjades i Bhopal. Det visade sig emellertid att den indiska marknaden för pesticider kraftigt överskattats. Flera år med torka förvärrade den ekonomiska situationen för företaget, och man tvingades att kraftigt reducera produktion och personalstyrka. Ledningen byttes ut, och många kompetenta medarbetare slutade eller avskedades. Vid personalomsättning anställdes personal som saknade erfarenheter från komplicerad kemisk processindustri. Utbildning och träning eftersattes. Tidvis var delar eller hela anläggningen stängd. Underhållet eftersattes och säkerhetssystem stängdes av. På kvällen den 2 december förvarades 42 ton MIC i tank 610 utan trycksättning med kvävgas. Dessutom var kylsystemet, som skulle hålla temperaturen på MIC kring 0 °C avstängt. Den stora låga som skulle förbränna gaser och den stora gastvättaren, som med sitt innehåll av lut skulle ta hand om stora utsläpp var också avstängda. Dessutom bodde många nära fabriken i bostäder av låg kvalitet som hyddor och skjul. Union Carbide hade redan tidigt, men utan resultat, försökt få ansvariga myndigheter att förhindra bosättning nära anläggningen. Dessutom var ovanligt mycket folk utomhus natten till den 3 december för att fira en av årets största högtider. Då olyckan väl var ett faktum förvärrades situationen av den bristfälliga informationen från Union Carbide om MIC och dess farlighet. Vilket omöjliggjorde för sjukvården att planera för och klara av den oerhörda belastning som gasolyckan innebar.



Bild 7. Primitiva bostäder nära Union Carbides kemiska fabrik i Bhopal.
Foto: <http://www.studentsforbhopal.org/>

Analytisk kommentar: Några faktorer kan ha förvärrat olyckan. Bland annat var flera säkerhetssystem i fabriken ur funktion, då olyckan inträffade. Dessutom bodde många nära fabriken i bostäder av låg kvalitet. Bristfällig information till allmänhet och sjukhus och därmed otillräckliga förberedelser förvärrade katastrofen. (Se bild 7)

Katastrofen i Schweizerhalle nära Basel 1986

Den 1 november 1986 utbröt en brand i ett lager vid en kemisk fabrik i Schweizerhalle med ca 1 300 ton jordbrukskemikalier. Lagret innehöll bl a 859 ton sura fosfatestrar, 364 ton tillsatser, färgämnen, lösningsmedel m.m. samt 100 ton andra jordbrukskemikalier (55). Stora mängder vatten användes för att släcka branden. Kemikaliekontaminerat vatten spolades ned i Rhen och resulterade i en omfattande fiskdöd, som även drabbade grannländerna Frankrike och Tyskland, vilken dock lyckligtvis var temporär. Bestående ekologiska effekter har inte kunnat påvisas efter utsläppet. Efter branden utbreddes sig ett illaluktande gasmoln över Basel och närliggande omgivning.

Omfattande hälsoundersökningar gjordes på den exponerade populationen inkluderande även brandmän och räddningspersonal. En mindre ökning av luftvägsbesvär har kunnat konstateras. Symtombilden har även präglats av oro för att ha blivit förgiftad. Huvudvärk, ögonsymtom, illamående, kräkningar och diarré har beskrivits. Inget har hittills framkommit som tyder på en ökning av cancersjukdomar eller av missbildningar.

Analytisk kommentar: Branden i kemikalielagret i Basel utvecklades inte till den katastrof man befarat. Men en framtida olycka med utsläpp av ännu giftigare kemikalier skulle kunna bli förödande med förutom skadliga effekter på exponerade människor och djur även omfattande skador på ekologin i Rhenområdet. Därför är de åtgärder, vilka vidtas, för att förhindra eller begränsa liknande utsläpp angelägna. Katastrofplaner och beredskap är av stor betydelse.

5.3 Kemiska katastrofer kan också orsakas av en kombination av systemtekniska brister i kombination med naturkatastrofer som exempelvis jordbävning, skogsbränder, översvämningar, orkaner, monsuner, förändringar i luftlagren

Fogkatastrofen i Meuse, Belgien 1930

Den 3 december 1930 exponerades innevånarna i den tätbefolkade, trånga och djupa Meusedalen för giftig rök. Dagstemperaturen var ett par plusgrader, men på natten var det cirka 10 grader kallt. Lufttrycket var högt, och det rädde nästan stiltje med svaga östliga brisar. Hela dalen var sedan den 1 december täckt av dimma, och röken blandades med den. Först den 6 december försvann dimman. Från den 3 till och med den 5 december insjuknade flera tusen personer och 60 dog, 56 av dem vistades i östra delen av dalen och de som vistades i orten Engis drabbades värst.

De vanligaste symtomen hos de drabbade var andningssvårigheter – i form av astmaliknande anfall med försvårad utandning eller kontinuerlig polypné (tachypné). Hosta med först skummiga sedan trögflytande och slemmiga upphostningar. Hos de dödligt skadade observerades cirkulationsinsufficiens, blekhet, i sällsynta fall cyanos. Det noterades också röstförändringar eller heshet, illamående, ibland kräkningar och ökat tårflöde. Äldre personer med tidigare sjukdom drabbades svårast, men även yngre personer kunde drabbas svårt. Även boskapen visade sjukdomssymtom som ökad men ytlig andning, oro, akut emfysem, cyanotiska slemhinnor och ibland död. Fåglar och råttor hittades döda. Tio döda människor obducerades och hos dem fann man tecken på kraftig retning i luftvägarna såsom epitelskador, blödningar, måttligt lungödem. Man hittade även sotpartiklar i luftvägarna. Övriga organ visade inga skador och undersökningar av blodet gav inte något anmärkningsvärt resultat. En undersökningskommission drog slutsatsen att de skadade hade utsatts för ett retande ämnen, som skulle kunna ha varit svaveldioxid. Men 15 av de 27 industrier som fanns i Meusedalen utnyttjade fluorhaltig mineral i industriprocessen eller tillförde detta vid exempelvis vid stålframställning. I rökgaserna kan kiselfluorid, SiF_4 bildas som sedan vid kontakt med vatten (i dimman) skulle kunna ge upphov till vätefluorid. Därför kan skadorna på människor och djur vid Meusekatastrofen ha orsakats av akut vätefluoridförgiftning (50).

Analytisk kommentar: Denna kemiska katastrof är sannolikt orsakad av komplexa luftföroreningar i det industritäta området i samband med särskilda för skadlig exponering gynsamma väderförhållanden. Vätefluorid kan säkert varit ett skadligt agens, men knappast ensamt stått för de skador som de exponerade uppvisade.

5.4 Gruvdrift och malmbrytning

Omani Gold Mine, Guyana 1995

Cyanid användes för extraktion av guld. Dammen som höll gruvavfallet och cyaniden innesluten brast 1995 och 3,5 miljoner kubikmeter slam med 28 ppm cyanid ödelade flodsystemet lika med befolkningens dricksvattenreserv, dödade husdjur och djur i spridningsområdet inom 2,5 dygn. Mer än 50 % av människorna i det drabbade området rapporterade lindriga förgiftningssymtom (58, 59, 60).

Marinduque Island, Manilla, Filippinerna 1996

Gruvavfall (fyra miljoner ton) från en koppargruva flödade ut från en avfallsdamm genom en dräneringstunnel till närmaste flod, Boac River. Slammet förorenade floden och havsområdet i anslutning till flodmynningen. Olyckan medförde mycket stor miljöpåverkan. Användningen av floden och havsområdet utanför floden blev oanvändbart för försörjning av befolkningen (58, 60).

Azanalcollar, Sevilla, Spanien 1998

Sammanlagt 5,5 miljoner kubikmeter surt gruvslam innehållande tungmetaller svämmade ut när magasinets damm brast. Slammet ödelade omkring 2 600 hektar, 40 km utefter flodbädden nedströms dammen. Ingen människa skadades vid olyckan. Förutom fiskdöd medförde olycka att ett stort antal bevattningsbrunnar förgiftades. På grund av markens höga innehåll av kalk begränsas tungmetallernas biotillgänglighet, vilket medfört snabb återhämtning i området. Arsenikhalten i jorden utgör dock ett problem (61, 62, 63).

Baia Mare, Rumänien 2000

Dammen för giftigt cyanidhaltigt slam brast 2000 och medförde massiv fiskdöd i Donau. I övrigt medförde utsläppet lokal utrotning av vattenlevande vilda djur samt dödlighet bland husdjur som använde floden som betesområde och vattenhål. Slammet innehöll totalt ca 100 ton cyanid och tungmetaller. Eftersom Donau utgör Rumäniens gräns till Ungern drabbades även befolkningen där (58, 64).

De fyra exemplen på händelser ovan där dammar som inneslutet gruvavfall brustit, visar att var helst där gruvbrytning sker kan sådana olyckor inträffa. Följderna i form av förolyckade i direkt anslutning till händelserna har lyckligtvis varit mycket begränsat. Slammets innehåll av giftiga ämnen som tungmetaller och cyanid har emellertid medfört att vattendrag, brunnar och jordbruksområden gjorts obrukbara för lång tid framåt. Katastroferna kan i dessa sammanhang rubriceras som försörjningskatastrofer och miljökatastrofer som på längre sikt drabbar människan hårt.

6 Kan Sverige drabbas av kemiska katastrofer?

6.1 Naturkatastrofer

Sverige har inga aktiva vulkaner, men landet har en aktiv berggrund som gör sig påmind ibland som år 2004. Skalven var ganska kraftiga men har inträffat på en nivå, där vare sig människor eller egendom skadats. Däremot har under de senaste åren delar av landet utsatts för betydande översvämningar. Det är åtminstone möjligt, om än inte särskilt sannolikt, att en översvämning skulle kunna åstadkomma en olycka med spridning av gift till omgivningen i en sådan storleksordning att den skulle förtjäna epitetet katastrof. Men vi har ingen naturlig storproducent av farliga kemikalier inom landet eller i dess närhet.

6.2 Potentiella hot

Naturtillgångar och industrialisering

För Sveriges vidkommande finns det inte någon dokumenterad händelse som skulle kunna karakteriseras som kemisk katastrof. Allvarliga fall av föroreningar av miljön som spridningen av metylkvicksilver och PCB samt föroreningen av mark och vatten är dock exempel på händelser som inträffat och förorsakat stor skada över tiden under 1900-talet. Denna situation är dock inte unik för Sverige utan liknande scenarios har inträffat i stora delar av den industrialiserade världen och i många av de länder som beskrivs som utvecklingsländer. Industriell verksamhet generellt kan i sig utgöra ett kemiskt hot mot människa och miljö eller generera stora mängder avfall, som med tiden kan utgöra ett hot mot miljön och därmed även människan.

Sverige har stora naturtillgångar i form av skog och malm. Båda dessa tillgångar genererade eller genererar fortfarande stora mängder av avfall vid förädling.

Länsstyrelsen Dalarnas län har genomfört en översiktlig utredning av pappersindustrins miljöproblem i länet. De föroreningar som massaindustrin förknippas med är förutom utsläpp av fibrer, användning av organiskt kvicksilver fram till mitten av 1960-talet, för bekämpning av slembakterier i ledningsnät och apparatur och impregnering av massa. Kviksilver användes främst i fabriker med produktion av kemisk massa. Utsläppet av kvicksilver till vattendragen i Dalarna, bl.a. Dalälven, från dessa fabriker uppskattas till 145 ton. Endast en liten del av detta kvicksilver finns bundet till fiberbankar nedströms avloppen från industrin. Den övriga delen har fördelats i vattensystemet nedströms utsläppspunkterna. Halten kvicksilver i fiberbankarna uppskattas till ca 90 µg/kg. Volymen på dessa fiberbankar nedströms fabriker med produktion av kemisk massa har uppskattas till ca 550 000 m³ (57). Kviksilverret påverkar idag främst känsligheten som föda hos den fisk som finns i recipienten. Det kvicksilver som dels finns i sediment, dels finns i fiberbankarna utgör således ett långsiktigt hot mot hälsan och mot miljön. Akut hot mot hälsa och miljö skulle kunna vara om delar av detta kvicksilver skulle mobiliseras. Massafabriker har främst varit eller är lokaliserade utefter Sveriges ostkust, vid Väneren och utefter några av våra större älvar såsom Klarälven, Dalälven och Ångermanälven.

Gruvdrift och malmbrytning

Malmbrytning genererar avfall, s.k. gruvsand från anrikningen av malmen. Avfallet samlas upp i magasin som vanligen begränsas av vallar/dammkonstruktion, s.k. sandmagasin, för att förhindra spridning av massorna nedströms. Efter avslutad gruvbrytning täcks massorna med

bl.a. morän och tätningsskikt (bentonitlera) för stabilisering av massorna och för eventuell beskogning av området (65). I Sverige, främst i Västerbotten, Norrbotten och Lappland, finns ett stort antal gruvor där brytning pågår eller är nedlagd vilket medför att ett stort antal magasin för gruvavfall finns.

Själva förekomsten av ett magasin för gruvavfall utgör ett hot mot hälsa och miljö. Den damm som begränsar ett sandmagasins utsträckning skall inte enbart skydda mot utspridning under gruvans livstid utan även framgent. Yttre påverkan, eventuella ej förutsedda/kända brister i en damms konstruktion, inre processer skulle kunna medföra okontrollerad spridning av gruvavfall till angränsande recipienter med negativa återverkningar nedströms dammen. Under perioden 1995 till 2001 har fyra större katastrofer inträffat, Omani Gold Mine, Guyana (1995); Marinduque Island, Manilla, Filipinerna (1996); Azanacollar, Sevilla, Spanien (1998); Baia Mare, Rumänien (2000) där fördämningar till gruvavfall brustit och förorenat stora arealer nedströms gruvanläggningen (58).

Sverige har varit förskonad från katastrofliknande händelser beträffande haveri av dammar som innesluter gruvavfall som sand och slam. Två dammbrott har dock inträffat de senaste 10 åren med utflöde av surt tungmetallhaltigt slam och vatten. Våren 1998 brast invallningen till dagbrottsjön vid den statligt ägda Adakgruvan i Västerbottens län, och 20.000 till 30.000 m³ surt tungmetallhaltigt vatten spreds i terrängen (65, 66). Dammhaveriet vid Boliden Mineral AB:s anläggning i Aitik den 8 september 2000 var betydligt allvarligare än olyckan i Adak. I detta fall havererade dammen mellan sandmagasinet och klarningsmagasinet och cirka 1,6 x 10⁶ m³ vatten med något förhöjd kopparhalt rann ut i vattendragen Leipojoki och Vassara älv via klarningsmagasinet (67). I dag produceras ingen malm vare sig i Adak eller i Aitik, varför dessa magasin är i en fas då massorna skall efterbehandlas för att stabilisera avfallet (67)



Bild 9. Foto tagit av platsen där vattnet bröt genom dammen som skiljer sandmagasinet från klarningsdammen i gruvdammen vid Aitik.
Foto: Jan Olov Westerberg. (Ref. 68)

Mot bakgrund av olyckan i Aitik gavs en motion till riksdagen 2000 (69) som fokuserade på säkerheten vid Sveriges gruvdammar. Dessutom tog motionen upp frågan hur säkerheten påverkas av att bolagen som äger gruvorna har en global ägarstruktur. Naturvårdsverkets utredning ”Uppföljning av efterbehandlingsprojekt inom gruvsektorn” (65) redovisar utfallet, sett utifrån miljö- och säkerhetsaspekter, av efterbehandling av gruvavfall i Sverige. Den utredning av dammhaveriet i Aitik som gjordes av Länsstyrelsen i Norrbotten bedömde orsakerna till olyckan och gav förslag till åtgärder för att förhindra kommande olyckor (67). Gruvorna i Aitik och Adak är idag inte i drift (65).

De mineraler som finns i gruvavfall i form av gruvsand och slam genomgår en kemisk process där tungmetaller och försurande vätejoner frisätts (67). Vattnet som finns inneslutet i dessa magasin är således både surt och rikt på giftiga metaller. De områden som berörs av gruvbrytning i Sverige har en berggrund med svag buffrande kapacitet. Mark och vatten är därför känsliga för nedfall eller förorening av pH - sur karaktär. Konsekvenserna av okontrollerad spridning av gruvavfall med mineral och tungmetaller blir generellt sett betydligt allvarigare över tiden i malmprospekterade områden i Sverige än vad som var fallet i samband med olyckan i Aznalcóllar, Spanien, beroende av berggrundens och jordens låga innehåll av kalk.

6.3 Kemiska katastrofer, åstadkomna genom mänsklig påverkan

Det som nämnts ovan om kemikaliespridning vid översvämningar hör närmast till denna kategori.

I Sverige och i flera andra länder användes metylkvicksilver 1940-1966 för att motverka svampangrepp på utsäde, betning av utsäde (1 ton per år i samband med vårsådden). Kvicksilverföreningar (150 ton totalt) användes också för samma ändamål inom pappersmassaindustrin 1946-1967. Kvicksilver (30 ton år) användes även för att framställa klor enligt kloralkalimetoden. Betningen ökade kvicksilver i frätande fåglar och kvicksilver ackumulerades i rovfåglar och däggdjur som livnärde sig på dem. Det kan ha bidragit till minskningen av antalet rovfåglar. Men idag håller Naturen på att hämta sig från denna ekologiska katastrof.

Sannolikt har vi våra fasta lager av farliga kemikalier under ganska god uppsikt. Angrepp av våra lager av kemikalier skulle ändå kunna utgöra ett hot genom att spränga dem eller släppa ut de farliga kemikalierna i en befolkningsrik omgivning eller enbart att hota med att genomföra en sådan aktion. Det finns vissa industrier, till exempel glasbruk, där vätefluorid används och förvaras i kondenserad form. Några av dem ligger ganska nära bebyggelse, och det är tänkbart att under vissa förutsättningar skulle man riskera att exponera omgivningen för denna giftiga gas.

Det har redan utförts en del attentat men av mera kriminell karaktär, men de har inte lett till någon större katastrof, eftersom endast ett fåtal människor har varit inblandade. Det har handlat om hot om förgiftning av kött, tårgasanvändning mot väktare och allmänheten. Det har vid rån och stölder efter våra vägar troligtvis använts någon form av gas. Det kan tänkas att angrepp med någon kemikalie i vårt vattenledningsnät skulle kunna ställa till stora bekymmer.

Emellertid transporteras en anseelig mängd farliga kemikalier på landsväg och järnväg. Som exempel kan nämnas att under 2002 transporterades enligt Statens Räddningsverk (SRV) 200 000 ton ammoniak, 90 000 ton klor, 40 000 ton svaveldioxid och 300 ton vätefluorid. Tåg med kemikalier kan spåra ur, kan krocka med andra tåg eller motorfordon. Det är inte alls ovanligt att lastbilar kör av vägen eller är inblandade i kollisioner. Avåkning är nog vanligast på de hala vintervägarna. Under 2004 har vid flera tillfällen lastbilar med uttröttade eller drogpåverkade förare varit inblandade i trafikolyckor med i något fall flera döda och skadade. Vi har en internationell lastbilstrafik på våra vägar, och säkerhetsmedvetenheten kan vara olika i olika länder. Kontrakt med kunder och ekonomisk vinst kan också äventyra säkerheten. Fortfarande kan lastfordon och tåg med farliga kemikalier passera genom centrala, folkrika delar av våra större städer, vilket ökar risken för att en kemisk olycka skulle kunna få katastrofala följder.

Även om sannolikheten inte skall överdrivas finns risk för att terrorattacker kan komma att utföras i Sverige – kanske inte främst mot svenska intressen men mot andra länders. Det kan också tänkas att man finner det lättare eller lämpligare att genomföra attacken här. Det behövs inga kemiska vapen för en sådan operation. Utan det är lättare att kapa en lastbilstransport med kondenserad svaveldioxid och släppa ut innehållet på den plats man valt eller att spränga en tankvagn med klor.

Man bör inte glömma att en planerad, utökad användning av gas som energikälla kan innebära ökad risk för katastrofer exempelvis på det omfattande gasledningssystemet.

7 Slutkommentarer

Denna rapport är en omvärldsanalys med fokus på inträffade kemiska katastrofer. En del av de beskrivna katastroferna, särskilt naturkatastroferna, kommer sannolikt att upprepas och tyvärr även de i vilka människan haft del i deras uppkomst. Men några lärdomar kan man ändå dra av det som inträffat för att minska riskerna genom att förebygga och, där detta inte går att genomföra, söka förbättra beredskap och vidta åtgärder för att minska de skadliga konsekvenserna en tänkbar, kommande katastrof. Denna rapport är den första av ett antal vi avser skriva. Kommande rapporter avses bli aktuella omvärldsanalyser i vilka även ett större inslag av riskvärdering kommer att ingå.

8 Referenser

1. In: Nationalencyklopedin, editors. Marklund *et al.*, Bra Böcker, 1993, 10: 502.
2. In: Nationalencyklopedin, editors. Marklund *et al.*, Bra Böcker, 1993, 18: 365.
3. Gallo, MA. History and scope of toxicology. In: Klaassen CD, editor. Casaretti and Doull's Toxicology The basic science of poisons. 6th ed. New York: McCraw-Hill; 2001, p. 3.
4. Kendall, R.J., Anderson, T.A., Baker, R.J., Bens, C.M., Carr, J.A., *et al.* Ecotoxicology. In: Klaassen CD, editor. Casaretti and Doull's Toxicology The basic science of poisons. 6th ed. New York: McCraw-Hill; 2001, p. 1013.
5. Illing, H.P.A. Toxicology and disasters. In: Ballantyne B, Marrs T, Turner, editors. General and applied toxicology. 1st ed. New York: Stockton; 1993, pp. 1421-1422.
6. Illing, H.P.A. Toxicology and disasters. In: Ballantyne B, Marrs T, Turner, editors. General and applied toxicology. 1st ed. New York: Stockton; 1993, pp. 1423-1424.
7. Illing, H.P.A. Toxicology and disasters. In: Ballantyne B, Marrs T, Turner, editors. General and applied toxicology. 1st ed. New York: Stockton; 1993, pp. 1424-1425.
8. Kling, G.W., Clark, M., Compton, H.R., Devine, J.D., Evans, W.C. *et al.* The 1986 Lake Nyos gas disaster, Cameroon, West Africa. Science 1987; 236, pp. 169-175.
9. Kling, G.W. Seasonal mixing and catastrophic degassing in tropical lakes, Cameroon, West Africa. Science 1987; 237, pp. 1022-1024.
10. Sigurdsson, H.S. Gas bursts from Cameroon crater lakes: A new natural hazard. Disasters 1988; 12, pp. 131-146.
11. Baxter, P.J., Kapila, M., Mfonfu, D. Lake Nyos disaster, Cameroon, 1986: the medical effects of large scale emission of carbon dioxide? Br Med J 1989; 298, pp. 1437-1441.
12. Holloway, M. July 2000, The Killing Lakes. Scientific American, pp. 92-99.
13. Ekdahl, A., Abrahamsson, K. A simple and sensitive method for the determination of volatile halogenated organic compounds in sea water in the amol^{-1} to fmol l^{-1} range. Analytica Chimica Acta 1997; 357, pp. 197-209.
14. Ekdahl, A., Pedersén, M., Abrahamsson, K. A study of the diurnal variation of biogenic volatile halocarbons. Marine Chemistry 1998; 63, pp. 1-8.
15. Pedersén, M., Collén, J., Abrahamsson, K., Mtolera, M., Semesi, A., *et al.* The ice-ice disease and oxidative stress of marine algae. In: Current Trends in Marine Botanical Research in the East African Region 1996, pp. 11-24.

16. Aase, A., Bentham, G. The geography of malignant melanoma in the nordic countries: the implications of stratospheric ozone depletion. In: The Changing geography of disease distributions. Geografiska annaler. Series B, Physical geography. Oslo: Scandinavian University Press; 1994; 76.2, pp. 129-139.
17. Statistics about melanoma [cited 2005 Mar 21]
<http://cureresearch.com/m/melanoma/stats.htm>
18. deVries, E., Tyczinski, J.E., Parkin, D.M. Cutaneous malignant melanoma in Europe. ENCR Cancer Facts Sheets [serial on line] 2003 Nov No. 4 [cited 2005 Mar 21]
<http://www.encr.com.fr/melanoma-factsheets.pdf>
19. Harris, R., Paxman, J. A higher form of killing. The secret story of gas and germ warfare. London: Chatto&Windows; 1982, pp. 1-36.
20. Robinson, J.P. The developing technology of CBW. In: The problem of chemical and biological warfare: Chapter 1: Stockholm, New York: Stockholm International Peace Research Institute; 1971, pp. 29-31.
21. Robinson, J.P. The developing technology of CBW. In: The problem of chemical and biological warfare: Chapter 1: Stockholm, New York: Stockholm International Peace Research Institute; 1971, pp. 31-32.
22. Robinson, J.P. The developing technology of CBW. In: The problem of chemical and biological warfare: Chapter 1: Stockholm, New York: Stockholm International Peace Research Institute; 1971, pp. 46-51.
23. Tanaka, Y. Poison gas. The story Japan would like to forget. Bulletin of the atomic scientists 1988, pp. 10-19.
24. Harris, S.H. Chemical warfare. In: Factories of death. Japanese biological warfare, 1932-1945, and the American cover up. Revised edition. New York, London: Routledge; 2002, pp. 329-335.
25. Robinson, J.P. Instances of allegations of CBW. In: The problem of chemical and biological warfare: Chapter 1: Stockholm, New York: Stockholm International Peace Research Institute; 1971, pp. 147-152.
26. Robinson, J.P. Instances of allegations of CBW 1914-1970. In: The problem of chemical and biological warfare: Chapter 2: Stockholm, New York: Stockholm International Peace Research Institute; 1971, pp. 142-146.
27. Robinson, J.P. The developing technology of CBW. In: The problem of chemical and biological warfare: Chapter 1: Stockholm, New York: Stockholm International Peace Research Institute; 1971, pp. 71-74.
28. Harris, R., Paxman, J. A higher form of killing. The secret story of gas and germ warfare. London: Chatto&Windows; 1982, pp. 53-67.

29. Robinson, J.P. The developing technology of CBW. In: The problem of chemical and biological warfare: Chapter 1: Stockholm, New York: Stockholm International Peace Research Institute; 1971, pp. 155-156.
30. Robinson, J.P. Instances of allegations of CBW. In: The problem of chemical and biological warfare: Chapter 1: Stockholm, New York: Stockholm International Peace Research Institute; 1971, pp. 162-185.
31. Pitot III, H.C., Dragan, Y.P. Chemical carcinogenesis. In: Klaassen CD, editor. Casarets and Doull's Toxicology The basic science of poisons. 6th ed. New York: McCraw-Hill; 2001, p. 284.
32. Rogers, J.M., Kavlock, R.J. Chemical carcinogenesis. In: Klaassen CD, editor. Casarets and Doull's Toxicology The basic science of poisons. 6th ed. New York: McCraw-Hill; 2001, pp. 358-59.
33. Robinson, J.P. Instances of allegations of CBW. In: The problem of chemical and biological warfare: Chapter 1: Stockholm, New York: Stockholm International Peace Research Institute; 1971, pp. 185-203.
34. Willems, J.L. Clinical management of mustard gas casualties. *Ann Med Militaries Belgicae* 1989;3 (Suppl.), pp. 1-61.
35. Khateri, S. Statistical views on late complications of chemical weapons on Iranian CW victims. *The ASA Newsletter* [serial online] 2001 [cited 2004 Dec 13]: <http://www.asanltr.com/newsletter/01-4/articles/Khateri.htm>
36. Kulling, P. The terrorist Attack with sarin in Tokyo In: Kamedo 71, 2000.
37. Tu, A. In: Chemical terrorism: Horrors in Tokyo Subway and Matsumoto City. Alakin, INC, 2002.
38. Wax, P.M., Becker, C.E., Curry, S.C. Unexpected "gas" casualties in Moscow: A medical toxicology perspective. *Ann Emerg Med* 2002; 41, pp. 700-705.
39. Persson, S-Å. Medicinska aspekter på användning av potenta analgetika och anestetika vid polisiära insatser. Manuskript för Läkartidningen 2005.
40. Minamata disease. In: Ui J editor. Industrial pollution in Japan. The United Nations university press, 1992 [cited 2005 Mar 21] <http://www.unu.edu/unupress/unupbooks/uu35ie/uu35ie00.htm#Contents>
41. Jernelöv, A. Minamatsjukan. In: Jernelöv A: Kvicksilver. Stockholm: Santérus; 2004, pp. 137-143.
42. Jernelöv, A. Minamatsjukan. In: Jernelöv A: Kvicksilver. Stockholm: Santérus; 2004, pp. 157-172.

43. Bakir, F., Damluji, S.F., Amin-Zaki, L., Mutardha, M., Khalidi, A., al-Rawi, N.Y. *et al.* Methylmercury poisoning in Iraq. *Science*; 1973;181, pp. 230-241.
44. Merhag, A.A. The extraordinarily protracted process. In: Merhag AA. *Venomous earth. How arsenic caused the world's worst mass poisoning.* Houndmills, Basingstoke: Macmillan; 2005. pp. 157-169.
45. Merhag, A.A. The devil's water. In: Merhag AA. *Venomous earth. How arsenic caused the world's worst mass poisoning.* Houndmills, Basingstoke: Macmillan; 2005. pp. 1-24.
46. Merhag, A.A. A natural disaster. In: Merhag AA. *Venomous earth. How arsenic caused the world's worst mass poisoning.* Houndmills, Basingstoke: Macmillan; 2005. pp. 25-35.
47. Merhag, A.A. Joi Bangla! In: Merhag AA. *Venomous earth. How arsenic caused the world's worst mass poisoning.* Houndmills, Basingstoke: Macmillan; 2005. pp. 170-183.
48. Usher, A. The Flixborough disaster. *Med Leg J*; 1979; 47(3) pp. 84-102.
49. Illing, H.P.A. Toxicology and disasters. In: Ballantyne, B., Marrs, T., Turner, editors. *General and applied toxicology.* 1st ed. New York: Stockton; 1993, pp. 1425-1426.
50. Warner, M., Eskenazi, B., Mocarelli, P., Gerthoux, P.M., Samuels, S., *et al.* Serum dioxin concentrations and breast cancer in the Seveso women's health study. *Environ Health Perspect*; 2002; 110; pp. 625-628.
51. Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response [cited 2005 Sep 26]
<http://europa.eu.int/comm/environment/seveso/>
52. Lapierre D., Moro J. *Five past midnight in Bhopal.* London: Scribner; 2002.
53. Illing, H P A. Toxicology and disasters. In: Ballantyne, B., Marrs, T., Turner, editors. *General and applied toxicology.* 1st ed. New York: Stockton; 1993, pp. 1426-1427.
54. *Clouds of injustice: Bhopal disaster 20 years on.* London: Amnesty international publications; 2004.
55. Ackermann-Liebrich, U A.,; Braun, C.; Rapp, R C. Epidemiologic analysis of an environmental disaster: The Schweizerhalle Experience. *Environ Res* 1992;58:1; pp. 1-14.
56. Roholm, K. The fog disaster in the Meuse valley, 1930: A fluorine intoxication. *Journal of industrial hygiene and toxikology* 1937;19; pp. 126-137.
57. Länsstyrelsen Dalarnas Län 2000. Pappersbruken i Dalarna - en översikt ur miljösynpunkt. Miljövärdsheten, Rapport 2000:14.

58. Greenpeace International, June 2002, Mining cases In: Corporate Crimes: The need for an international instrument on corporate accountability and liability, archive.greenpeace.org/earthsummit/docs/corpcrimes_3of3.pdf. 2004.
59. Saxakali Magazine V2N2 Environmental Issues: The cyanide spill continues... <http://www.saxakali.com/saxakali-magazine/saxmag3e1.htm> (2005-09-27).
60. SAXAKALI Magazine V3N1 Environmental issues: Cyanide disaster: The Omai spill continues. Saxakali magazine 3:1, 1997. <http://www.saxakali.com/saxakali-magazine/saxmag31e3.htm> (2005-09-27).
61. Eriksson, N., Adamek, P. 2000. The tailings pond failure at the Aznalcóllar mine, Spain. 6th International Symposium in Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production, Calgary, Alberta, Canada, 30 May - 2 June 2000.
62. Santamaría, L. and Amézaga, J. 1999. On the origin and remediation of the Aznalcóllar toxic spill – an independent assessment. Summary of the discussions of the Doñana forum until May 1999. www.antenna.nl/wise/uranium/mdaflfs.html Updated July 14, 1999. (2005-09-27).
63. The Los Frailes tailings dam failure (Aznalcóllar, Spain). www.antenna.nl/wise/uranium/mdaflfs.html Updated 26 Nov 2004
64. Nadisan, I., *et al.* 2001. Summary, Comments on Baia Mare Pollution (Flageul poluare la Baia mare, Eventimentul AURUL – Vasile Gordis University Press, pp. 1-167. <http://www.zpok.hu/cyanide/baiamare/nadisan.htm> (2005-09-27).
65. Naturvårdsverket, 2002. Uppföljning av efterbehandlingsprojekt inom gruvsektorn. Åtgärder, kostnader och resultat. Rapport 5190; maj 2002.
66. Aftonbladet 1998, Inrikes fredag 22/5 1998, 23:22, Anders Sundström lugnar om dammsäkerhet.
67. Andersson, C. 2001. Dammhaveriet vid Boliden Mineral AB:s anläggning i Aitik den 8 september 2000. Bedömning av orsakerna till dammhaveriet. Länsstyrelsens tryckeri, Upplaga: 1, ISSN 0283-9636, Länsstyrelsen i Norrbottens län.
68. Johnsson, S. Dammar och dammsäkerhet – Del 1, OH- bilder, Bild nr 15, Foto: Jan-Olov Westerberg, http://www.hydroresearch.se/LTU_ABE006_part1min.pdf, (2005-09-27).
69. Zakrisson, K., Öhman, M., Ahlqvist, B., Klockare, L., Granberg, L.U. 2000. Motion till Riksdagen 2000/01:N351 Säkerhet vid gruvdammar.