

Forskningsöversikt för området

Olyckors miljöeffekter

Lars Nyberg

Avdelningen för olycksförebyggande
verksamhet, Räddningsverket

14 nov 2005

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning.....	2
Uppdraget.....	2
Bakgrund.....	3
Metod.....	3
Bränder.....	4
Brand i bostäder.....	5
Brand i plast och gummi.....	6
Skogsbrand och brand i organiskt material.....	7
Brand i avfall.....	9
Släckning och flamskydd.....	10
Andra olyckstyper med miljökonsekvenser.....	10
Stora miljöolyckor.....	11
Metoder för förebyggande av olyckor och dess miljöeffekter.....	12
Forskningsbehov.....	13
Referenser.....	14

Uppdraget

Under hösten 2005 har en revision av Räddningsverkets forskningsprogram ”Forskning för ett säkrare samhälle” påbörjats, och under 2006 skall ett nytt program antas för perioden 2007-2010. Som ett första steg i revisionsarbetet tar verket fram ett antal kunskapsöversikter för olika teman, varav denna översikt representerar ett tema. Syftet med översikterna är att översiktligt beskriva kunskapsläget inom respektive område och identifiera delområden där betydande kunskapsluckor finns.

Denna översikt bygger vidare på och kompletterar en litteraturinventering som gjordes 2003 av Barbara Blumenthal och Inge Svedung från Karlstads universitet på uppdrag av Räddningsverket. Deras arbete resulterade i rapporten *Miljöeffekter vid olyckor – En litteraturundersökning*.

Initiativet till denna kunskapsöversikt har tagits av Räddningsverkets olycksförebyggande avdelning, i samråd med avdelningen för stöd till räddningsinsatser och verkets forskningsberedningsgrupp. I en förberedande diskussion har följande områden tagits upp som relevanta och angelägna för översikten:

- A. Emissioner. Ex: ämnen, mängder, spridning, konsekvenser, jämförelse med kontinuerliga utsläpp, operativa verktyg för miljöbedömningar, problem med flamskydd
- B. Miljöeffekter inom riskhantering. Ex: integrering i riskanalyser, ekonomisk värdering
- C. Lagstiftning, samhällsmål och policy. Ex: motstående lagstiftningar, miljömål

Det finns en stor volym av litteratur över spridningsmodeller för kemiska ämnen i luft, mark och vatten, och även för t ex toxiska effekter av olika ämnen. Denna typ av studier har endast inkluderats om det funnits en direkt koppling till en olycka eller olyckstyp. Det har alltså ha funnits en olycksdimension i de artiklar som valts ut.

Översikten gör inte anspråk på att redovisa all relevant litteratur inom området.

Bakgrund

Olyckors miljöeffekter har uppmärksammats alltmer de senaste tio åren och Räddningsverket har ett sektorsansvar i arbetet för att nå de nationella miljömålen. Verkets mål är att minimera miljöbelastningen från olyckor genom både förebyggande och skadebegränsande arbete.

De typer av olyckor som har miljökonsekvenser är framför allt bränder (byggnader, varor, skog mm), olyckor vid transporter av farligt gods, olyckor i industri- och energianläggningar. Dessutom kan miljöskador uppstå som en sekundär effekt av naturolyckor, t ex vid översvämningar och ras/skred. Primärt uppstår miljöeffekterna genom att kemiska ämnen som kan ha toxisk verkan på människor och ekosystem sprids. Utformning av räddningsinsatsen i anslutning till olyckor har betydelse för miljöeffekterna genom t ex val av släckmetod vid bränder. Det finns också exempel på säkerhetshöjande faktorer, såsom användningen av flamskyddsmedel, där en diffus spridning av medlet har blivit en miljö- och hälsobelastning.

I takt med att miljöeffekterna från olyckor har uppmärksammats har det förebyggande arbetet ökat. Lagstiftning har anpassats att ta hänsyn till miljön, policys och miljömål formulerats och integrerat miljöskydd och riskhantering utvecklats.

Metod

Översikten baseras till stor del på en litteratursammanställning (Blumenthal och Svedung) från 2003. Deras arbete bestod i att sammanställa den vetenskapliga litteratur som fanns inom fältet 'Miljöeffekter vid olyckor'. De hade dock inte i uppgift att inkludera litteratur om kärnolyckor eller skogsbränder. Rapporten åtföljdes av en databas innehållande bibliografiska uppgifter om ca 170 artiklar och rapporter. Dock ingick inte i Blumenthal och Svedungs uppdrag att sammanställa innehållet i alla referenser, och därför är det en del av syftet med denna översikt att redovisa ett sammandrag av de mest relevanta artiklarna som återfanns i sökningen 2003.

De typer av artiklar i databasen som inte tagits med i denna översikt är de som t ex behandlat studier av spridningsmodeller eller toxikologiska effekter av något kemiskt ämne och som inte haft tydlig koppling till någon

olyckstyp. Artiklar om företeelser som inte förekommer i Sverige och inte kunskapsmässigt enkelt kan överföras till svenska förhållanden har inte tagits med i denna översikt. Exempel på det senare är t ex effekter av bränder i kolgruvor och spill vid oljefyndigheter. En annan avgränsning som gjordes, delvis av tidsskäl, var att studier av oljeolyckor till havs inte inkluderats i översikten. Delvis var orsaken också att Räddningsverkets ansvarsområde endast omfattar oljeskador vid kuster men inte ute på öppna havet.

I rapporten från 2003 angavs att sökningar gjorts i följande databaser: ScienceDirect, ISI, Compendex Web, Springer, ENVIROnetBASE, TRAX och Kunskapsbanken (Byggdok). De viktigaste sökorden var: accident, hazard, disaster, fire, spill, contamination, environment, ecosystem, ecology och toxic.

För denna översikt har kompletterande sökningar gjorts, framför allt i de övergripande databaserna ISI och Compendex. Dels har sökningar gjorts för åren 2003-2005, dels har litteratur om skogsbränders emissioner inkluderats. Vidare har sökningar gjorts för att finna litteratur om förebyggande arbete, bland annat hur miljöeffekter kan integreras i riskhantering.

Nedan har redovisningen strukturerats utifrån de två huvudtyper av olyckor som har allvarliga miljöeffekter: bränder respektive kemikalieolyckor. Under dessa rubriker har sedan de redovisade publikationerna indelats i underrubriker utifrån t ex typ av brand. Bränder i kemikalieförråd o dyl har sorterats som en underrubrik under Bränder. Efter detta redovisas ett kapitel om förebyggande arbete, inklusive olika metoder för miljöriskhantering. Avslutningsvis föreslås vissa delområden för fortsatt forskning.

Den punkt som fanns med i uppdraget om 'Lagstiftning, samhällsmål och policy' har endast i mindre omfattning kunnat inkluderas under Förebyggandekapitlet. Orsaken är att litteratursökningarna inte återfunnit den typen av studier.

Bränder

Miljöeffekter av bränder är i hög grad beroende på vilket eller vilka ämnen som brinner och vid vilken temperatur, syrgashalt och fukthalt förbränningen sker. Generellt kan man säga att emissionerna från en brand är svåra att förutsäga. Det finns också metodproblem vid studier av olyckor då de inträffar plötsligt och oväntat, och detta gör att det sällan fungerar att mäta, ta prover och analysera spridningen i anslutning till olyckan. Även behovet av jämförande studier, t ex före och efter en olycka är svåra eftersom det sällan finns material provtaget före en olycka. Jämförelsen får istället göras på material från en annan plats, eller med uppgifterna tagna från litteraturen. Men det finns också exempel på utdragna olyckor med en storskalig emissionsspridning, t ex från stora skogsbränder, där mätning och provtagning hinner planeras och genomföras.

Problematiken kring miljöundersökningar i samband med bränder utvecklas av Larsson och Lönnermark (2002). De argumenterar för att kontrollerade

brandförsök är ett bra alternativ till att försöka undersöka verkliga bränder med alla problem som det innebär.

Blomqvist *m fl* (2004) summerar ett projekt som drivits av Räddningsverket i samverkan med SGI och ett antal svenska kommuner. Syftet i projektet hade varit att provta emissioner från bränder, men även att utveckla metoder för sådan provtagning. Projektet var framgångsrikt när det gällde släckvattenprov, medan provtagning av luftburna emissioner inte fungerat lika väl. Slutsatsen var att PAH var ett stort problem i släckvatten, med större akut risk än dioxiner. Även VOC och metaller förekom i släckvattnet, i vissa fall i mycket höga halter. Bromerade flamskyddsmedel förekom framför allt vid bränder i elektronikskrot.

Brand i bostäder

Hur lägenhetsbränders emissioner fäster på ytor undersöktes efter två bränder av Wobst *m fl* (1999). PAH, PCDD/F och PASH (polycyclic aromatic sulfur heterocycles) analyserades på prover som togs från dörrar, dörrkarmar, köksutrustning, tapeter, fönster och kläder. Höga halter av de tre föroreningstyperna förekom på flera ytor, men särskilt höga halter fanns på tapeter. Halterna på vissa ytor översteg de gränsvärden som fanns för att sanering skulle ske. Även om det fanns väsentliga halter av PCDD/F förekom PAH i relativt sett betydligt högre koncentrationer och identifierades därför som det största miljöproblemet.

Hertzberg och Blomqvist (2003) förbrände 24 olika typer av material eller produkter som vanligen förekommer i bostäder, för att studera bildningen av partiklar. Partikelbildningen var olika för de olika materialen. De produkter som innehöll flamskyddsmedel brann sämst och skapade mest partiklar. Från material som brann bra, t ex trämaterial, bildades färre partiklar. Partiklar identifierades i intervallet 0,04-10 μm . Ett särskilt test gjorde av ett kompositmaterial gjort av kolfiberförstärkt vinylester. Detta material är mycket hållbart och används bl a för att tillverka flygplan, båtar etc. Vid underventilerad förbränning skapades en stor mängd fibrer som var att likna vid asbestfibrer, och som kan transporteras ner i lungorna vid inandning.

Hertzberg och Blomqvist (2003) gjorde också en allmän genomgång av partiklars förekomst och hälsofarlighet. Det är framför allt de finaste partiklarna (<1 μm) som är skadligast för hälsan genom att de når ända ner i lungorna utan att fastna i näsa eller svalg. Vissa forskare hävdar att det är partiklar <0,1 μm som utgör den största risken. Partiklar av denna storlek utgörs ofta av sot som uppstår vid underventilerad förbränning. Genom att andra skadliga ämnen, t ex metaller och dioxiner, binds till ytan på partiklar följer även dessa ämnen med ner i andningsvägarna. Det är inte ovanligt att det finns 1×10^{15} partiklar (<0,1 μm) per m^3 i rök från en brand, och den sammanlagda ytan på dessa partiklar är större än 20-30 m^2 per m^3 gas.

Brand i plast och gummi

Vid brand i en plastmattelager 1987 i Holmsund, nära Umeå, brann 200 ton PVC-plast och 500 ton plastmattor upp fullständigt (Marklund m fl, 1989). En kraftigt stickande rök spreds över en del av samhället och ut över Botten-viken. Olyckan inträffade i januari varför snöprover kunde tas på olika avstånd upp till 1500 m från branden. En dioxinmängd på 3 mg (TCDD-ekv) beräknades ha spritts genom branden, vilket bedömdes vara en måttlig mängd i jämförelse med dåtidens dioxinutsläpp från avfallsförbränning.

Meharg *m fl* (1997) beskriver spridning till mark av dioxiner, furaner och tungmetaller från en engelsk PVC-brand. Det var 600 ton återvunnen PVC-haltig plast och 400 ton icke-klorhaltig plast som brann. Smält plast rann ut och täckte skogsmark, och i studien jämförs kontaminerad och ickekontaminerad mark. En effekt av spridningen av toxiska ämnen blev förhöjda halter och skador i levern hos skogsmus. Författarna diskuterar mekanismer för överföring av toxiska ämnen mellan plasten och marken/djurlivet.

Samma olycka som i ovanstående artikel användes också för att beskriva behov av biologiska mätmetoder för miljöskadliga utsläpp från bränder (Svendsen m fl, 1996). "Neutral red" är ett färgämne som kan användas som cellulär biomarkör, och vars retentionstid påverkas av "lysosomal membrane stability". Man kan detektera tungmetaller och aromatiska kolväten. I denna studie nyttjades dagmask, och man fann förhöjda halter i mask nära utsläppet, medan halterna var låga 50 m bort från området.

Vissa sorterade avfallsfraktioner som lagras i väntan på återvinning utgör brandfaror. Lager av kasserade bildäck har i ett flertal fall brunnit med stora emissioner som resultat. Vid en experimentell förbränning av bildäck beskriver Lemieux och Ryan (1993) hur syretillförseln reglerades för att motsvara brand i en större hög med däck. Huruvida emissionerna i experimentet motsvarade de från en verklig däckbrand beskrevs som osäkert. Emissioner av PAH, VOC och tungmetaller beräknades, uttryckt i enheten mg/kg däck. Låg syretillgång under brandförloppet gav lägre emissioner och ett tänkbart sätt att bekämpa branden vore att täcka härden med skum för att kväva branden.

Brand i kemikalier

Vid bränder i kemikalier (industrier, lager, etc) kan toxiska biprodukter skapas under branden. Med varierande lufttillgång och temperatur kan olika ämnen bildas ur samma ursprungsämnen. Lunghi *m fl* (2004) presenterar en småskalig metod för att testa vilka biprodukter som kan bildas när olika organiska föreningar brinner, och ger sist i artikeln ett antal tumregler för vilka biprodukter som kan bildas vid brand.

En brand 1995 i ett 15 000 tons svavellager utanför Kapstaden i Sydafrika ledde till att hälften av det lagrade svavlet förbrändes och bildade svaveldioxid, som spreds över ett stort område med jordbruksmark och flera tät-

orter. Flera dödsfall inträffade och många blev skadade. Även grödor och djurlivet skadades.

Christiansen *m fl* (1993) genomförde laboratorieförsök för att skatta utsläppen från brand i gödningsmedlet ammoniumnitrat. Dessa resultat skalades sedan upp för att ge en skattning på vad som bildas vid brand i ett 50 000 kg lager med ammoniumnitrat.

Meharg *m fl* (1998) studerade en brand i ett lager med 10 000 ton polypropylen 1995 i England och påträffade 16 olika PAH:er i gräs (upp till 70 ggr bakgrund) och jord (upp till 370 ggr bakgrund). Branden pågick i 9 tim. Depositionavståndet påverkades av PAH:ernas molekylvikt och hydrofobicitet. De PAH:er som var mest hydrofoba deponerades nära branden (<3km) i partikelform medan mindre hydrofoba PAH:er deponerades i gasform längre från branden (>3.2 km). I vegetationen kunde påtagligt förhöjda halter påvisas upp till 4,5 km från branden. Författarna jämför den långväga spridningen med andra studier som visar på en begränsad geografisk spridning, och pekar på att det spelar stor roll vilken vädersituation som råder vid olycksområdet.

En övergripande genomgång av hur tungmetaller kan används som markörer av förorenings-spridning från kemi- och plastbränder görs av Meharg och French (1995). De nyttjar fyra stora bränder med tungmetaller inblandade som exempel, och konstaterar att spridningen till mark inte sträckte sig längre bort än 100 m, men att spridningen via vatten kunde ske över längre sträckor.

Vid en brand 2000 i Guelph i Kanada, i en fabrik som tillverkar kemikalier till swimmingpooler, användes ett mobilt analysinstrument (trace atmospheric gas analyzer – TAGA) som kontinuerligt mätte halterna i luften av saltsyra och klorgas (Karellas *m fl*, 2003). Utrustningen satt monterad i en buss som under 3 dagar placerades både ”uppvinds” och ”nervinds” branden. Uppgifter om gaskoncentrationer rapporterades löpande till räddningstjänsten.

Skogsbrand och brand i organiskt material

Skogsbrand är en naturlig process som skogsekosystemen är beroende av. Samtidigt ger skogsbränderna ekonomiska skador för skogsbruket och dessutom ger de emissioner till atmosfären av partiklar och kemiska ämnen som t ex PAH (polyaromatiska kolväten) och VOC (flyktiga organiska ämnen). Förutom skogsbränder sker även bränder på gräs- och buskmarker, och avsiktlig bränning av skördesrester sker inom jordbruket. Rök från skogsbränder kan transporteras hundratals och tusentals kilometer. Med hjälp av fjärranalys kan uppskattningar av rökplymernas egenskaper göras.

I samband med omfattande skogsbränder i Quebec i Canada transporterades röken söderut i ett stråk mot USA, och i staden Baltimore i Maryland ca 1500 km från brandområdena försämrades luftkvaliteten påtagligt (Sapkota *m fl*, 2005). Mätningar både utom- och inomhus visade drastiskt förhöjda

halter av finpartiklar, framför allt partiklar med en diameter $<2.5 \mu\text{m}$ (PM_{2.5}). Antalet partiklar i diamterintervallet 0.8-0.9 μm ökade 30 gånger. Kvoten mellan antalet partiklar inomhus respektive utomhus var i medeltal 0,91 vilket innebar att partiklarna trängde in i bostäder i stor omfattning. Ett markbaserat LIDAR-instrument mätte aerosolhalten över tiden, och satellit-sensorn MODIS användes för att följa plymens passage. Ursprunget för röken i Baltimore spårades tillbaka till Quebec med hjälp av en "back-trajectory model".

Lee *m fl* (2005) beskriver en episod från maj 2003 då rök från fler än 11 000 sibiriska skogsbränder drog in över Korea och gav väsentlig påverkan på luftkvaliteten. Mätningar av finpartiklar (PM₁₀) gjorda i Syd-Korea visade på en fördubbling jämfört med bakgrundshalter, vilket gjorde att de uppsatta gränsvärdena för partiklar överskreds kraftigt. Information från MODIS användes för att beräkna ett mått på halten aerosoler - *aerosol optical depth*.

Det råder en osäkerhet om dioxiner bildas vid skogsbränder. I en studie i Korea provtogs jord och aska på tre platser där skogsbrand förekommit och på två platser där det inte brunnit (Kim, 2003). Materialet analyserades med avseende på PAH, dioxiner (PCDD) och furaner (PCDF) en, fem respektive nio månader efter branden. Resultaten visade att dioxin- och furanhalterna i jorden en månad efter branden var 3-5 ggr högre där det brunnit jämfört med kontrollplatserna (3-5 respektive ca 1 pg I-TEQ/g). Kontrollplatserna hade bakgrundshalter som var jämförbara med andra undersökta oförorenade platser belägna på landsbygden. För PAH var skillnaden mer än 10 ggr. Efter fem och nio månader hade dioxin- och furanhalterna sjunkit ner till i nivå med kontrollen, medan för PAH hade halterna i jorden gått ner men var alltjämt 3-5 ggr högre än kontrollen. Orsaken till nedgången i PAH tolkades som att PAH varit bundet till aska, som delvis hade försvunnit pga vind- och regnerosion. Eftersom halveringstiden för dioxiner i mark från andra undersökningar skattats till ca 10 år dras slutsatsen i denna studie att nedgången även för dessa ämnen var kopplad till askan och dess förlust ur systemet.

Blomqvist *m fl* (2002) gjorde en grov beräkning av utsläppen från skogsbränder i Sverige under 1999. Mängden brunnen skog skattades från brunnen areal i kombination med ett känt värde på det förlorade virket. Emissionsfaktorer saknades för skogsbrand och istället användes faktorer för trä. Man kom fram till att skogsbränder stod för ca 1% av dioxin-utsläppen, 15-20% av PAH-utsläppen och 20-25% av VOC-utsläppen. Motsvarande beräkningar gjordes även för bränder i bostäder, allmänna byggnader, industrier, andra byggnader, papperskorg/soptunna/container och motorfordon/tåg.

I två finska studier (Niemi *m fl*, 2004; Sillanpää *m fl*, 2005) beskrivs hur förhöjda halter i Finland av bland annat partiklar under episoder kunde härledas till förbränning av odlingsrester inom jordbruket i Baltikum och Ryssland på mer än 1000 km avstånd.

Emissioner från brand i fyra typer av flisat träavfall studerades i en australiensisk undersökning (Bhargava *m fl*, 2002). Analyser gjordes av

emitterat PAH, PCB och PCDD/F, och man fann mindre emissioner från okontaminerat material jämfört med trä som innehöll naturliga oljor eller var kontaminerat med klor från en industriprocess.

Brand i avfall

Blom och Geo (2004) gjorde en särskild litteratursammanställning om brand i avfall för Räddningsverket där ett tjugotal publikationer inkluderades. De typer av avfallsbränder som förekom var bland annat fullskaliga deponibränder, bränder i containrar, avfallsbalar och tunnor. Flera studier var gjorda i USA men även ett antal svenska och finska studier fanns redovisade. Emissionerna från avfallsbränder är, liksom emissioner från andra typer av bränder, i stor grad beroende av vad för ämnen som ingår i avfallet och vid vilken temperatur, syrgashalt och fukthalt förbränningen sker.

Inplastade avfallsbalar eldades i en svensk studie (Nammari *m fl*, 2004). Höga halter av sot, PAH, dioxiner och furaner och vissa tungmetaller som bly och kadmium uppmättes i brandröken.

I den skattning som Blomqvist *m fl* (2002) gjorde av utsläpp från bränder i Sverige under 1999 stod brand i containrar för ca 40% av dioxinutsläppen. Bidraget till totala PAH- och VOC-utsläppen var litet. Man bör dock notera att dessa beräkningar var behäftade med osäkerheter och gällde för ett enstaka år.

För mer kunskap om avfallsbränder hänvisas till Blom och Geo (2004).

Andra brandtyper

I en experimentell studie sattes eld på två bilar, en tunnelbanevagn och en järnvägsvagn som var placerade i en tunnel (Wichmann *m fl*, 1995). Spridningen av dioxer, furaner och PAH visade en exponentiell minskning med avståndet från branden. Provtagning av deposition gjordes upp till 400 m från branden, och vid 100-150 m hade depositions mängderna sjunkit väsentligt. Emissionerna från vagnarna var mångdubbelt större än från bilarna. Tunneln blev kontaminerad, och en slutsats från studien var att de platser där fordonsbränder sker måste genomgå en sanering som skall vara anpassad till föroreningsituationen.

En brand 1995 i en transformator i ett kraftverk i Israel gav spridning av PCB (Dayan och Koch, 2002). Spridning modellerades med en gaussisk plymmodell, och kalibrering av plymen gjordes med hjälp av foton från olyckan. Därefter provtogs löv (akacia; på avstånden 120, 250, 400 och 750 m) för att PCB-spridningen skulle kunna skattas, och en kontinuerlig minskning med avståndet från branden påvisades. En metod utvecklades för att utifrån uppmätta halter i vegetationen skatta halterna i atmosfären under spridningsförloppet samt skatta totala mängden PCB som spreds. Av 800 kg PCB som fanns i transformatorn spreds 4-9 kg. Större partiklar (>500 µm)

som deponerades pga gravitationen inom kraftverksområdet omfattades inte av modelleringen.

Släckning och flamskydd

Larsson och Lönnermark (2002) avhandlar frågor om släckvatten och dess bidrag till föroreningsspridning. De konstaterar att belastning av förorenat släckvatten kan ge en större miljöeffekt pga större lokal koncentration, jämfört med en mer utspridd transport via atmosfären. Användning av skumvätskor för brandsläckning kan ge en extra miljöbelastning.

En allvarlig olycka då släckvatten spelade en avgörande roll var branden 1986 i Sandos anläggning för produktion av pesticider i Basel. 15 000 m³ släckvatten rann ut i Rhen och transporterade ut 40 ton kemikalier. En viss del av kemikalierna var kvicksilverhaltiga svampmedel. Utläppet ledde bland annat till en omfattande fiskdöd.

Bromerade flamskyddsmedel har använts i stor omfattning för att ge olika typer av produkter ett bra brandskydd. De bromerade medlen har dock visat sig ha oönskade effekter på hälsa och miljö. I ett särskilt nummer av tidskriften *Environment international* (nr 29:6, 2003) görs en grundlig redovisning av forskningen om flamskyddsmedlens hälso- och ekosystemeffekter.

Nya flamskyddsprodukter utvecklas som ersättning till bromerade dito. Porter *m fl* (2000) redovisar en översikt över nanokompositer, som är uppbyggda av kiselföreningar från t ex lermineral och organiska polymerer som t ex polystyren. Miljöfördelarna är stora jämfört med bromerade ämnen. Hermansson *m fl* (2003) testar materialet Casico som är ett polyolefinmaterial med en flamskyddande tillsats av kisel, kalk och en organisk polymer. Denna typ av material kan ersätta PVC i elektriska kablar men brandkänsligheten hos polyolefin kräver ett bra brandskydd. När Casico förbränns bildas ett förkolnat lager på ytan som skyddar underliggande material från höga yttemperaturer.

Andra olyckstyper med miljökonsekvenser

I USA kräver lagstiftningen att spill av kemikalier och andra liknande utsläpp rapporteras till myndigheterna. Shorten *m fl* (2002) beskriver ett rapporteringssystem och en sammanställning av olyckor och incidenter i Chester county i Pennsylvania under perioden 1987-1999. Den mest vanliga olyckan var spill av bensin eller diesel, men även utsläpp av svavelsyra, klor och ammoniak hade rapporterats in.

Whitfield (2002) rapporterar om två större olyckor i England vars hantering föll under ett nationellt regelverk (COMAH) som införts till följd av SevesoII-direktivet. COMAH står för 'Control of Major Accident Hazards Regulation' och är skapat för att ta hänsyn till hälsa och säkerhet såväl som miljön. I artikeln redovisas orsakerna till de två olyckorna – utsläpp av

natriumcyanid respektive brand i avfallsanläggning – liksom myndigheternas åtgärder.

Kärnolyckor

Spridningen av radioaktivt material efter olyckan i Chernobyl 1986 beskrivs i en artikel av Pöllänen *m fl* (1997). Hälsoskadliga radioaktiva partiklar med en diameter >20 µm spreds över stora områden, från nedre Norrland i norr till Grekland i söder och till Schweiz i väster. Författarna menar att det är den partikulära formen på en väsentlig del av det utsläppta radioaktiva materialet som var en orsak till den långväga spridningen.

Bell och Shaw (2005) framhåller de ekologiska skadorna efter Chernobyl-olyckan som alltjämt är ett stort problem, framför allt i Ukraina och Vitryssland. Författarna beskriver situationen i England, hur cesiumet från Chernobyl deponerades och fastlades i jordbruksmarker pga adsorption till lerpartiklar i marken. I högre belägna betesmarker var radioaktiviteten mer mobil och togs upp i gräs och gick den vägen vidare till de betande fåren. En viktig slutsats är att det är viktigt att förstå de biogeokemiska flödesvägarna för att kunna förutsäga effekter av storskalig förorenings-spridning.

I samband med radioaktiva utsläpp vid en kärnanläggning i Savannah River i USA användes en räddningsinsatsmodell för att uppskatta strålexponering på allmänheten via inandning och från markdeponerat radioaktivt material (Simpkins, 2005). Modellen använde data i realtid för att följa spridningen från både momentana och kontinuerliga utläpp. Till denna modell knöts en modell för intag via födan. De födoämnen som omfattades var mjölk, kött, vatten och fisk.

Stora miljöolyckor

Det som anses vara världens mest allvarliga föroreningskatastrof är den i Bhopal i Indien 1984 (The lancet, 2000; The lancet, 2002). Efter en explosion läckte tonvis med pesticider i gasform ut i de tätbefolkade omgivningarna till fabriken. Exakt vilken gas som läckte ut råder osäkerhet om men det anses huvudsakligen ha varit metylisocyanat. Ca 4000 människor omkom direkt och ca 200 000 skadades. Siffrorna är osäkra. Därefter har tusentals människor avlidit av sina skador. Sjukdomar som drabbat de berörda är t ex cancer, astma och missbildningar på nyfödda. Mycket har varit oklart efter olyckan och brister har funnits i den uppföljning som gjorts. I ett specialnummer av tidskriften *Journal of loss prevention in the process industries* (nr 18:4-6, 2005) publicerades 50 artiklar med anknytning till Bhopalolyckan. Gupta (2005) lyfter i en redaktörskommentar särskilt fram behovet av utbildning om säkerhet hos ingenjörer och kemister inom kemiindustrin.

Dioxinolyckan i Seveso i Italien 1976 har lett till ett flertal hälsoeffekter för den drabbade befolkningen. Bertazzi *m fl* (2001) redovisar en 20-årig uppföljning av hälsoläget i Seveso. Dödligheten i olika cancerformer ökade,

men även problem med hjärt/kärl- och hormonfunktioner var vanliga. Garagna *m fl* (2001) beskriver hur området där fabriken i Seveso låg gjordes om till ett parkområde där många djurarter etablerade sig. Djuren (t ex möss) undersöks och används som indikatorer på hur mycket dioxin som omsätts i ekosystemet.

Vid den Bolidenägda gruvanläggningen Aznalcóllar i sydvästra Spanien brast en gruvdamm den 25 april 1998, varpå 5 milj m³ tungmetallhaltigt slam (fr a zink, bly, koppar, arsenik) rann ut i floden Guadiamar. Olyckan fick omfattande miljökonsekvenser och ett flertal studier har publicerats därpå, t ex om metalltillgänglighet i jordar (Díaz-Barrientos *m fl*, 1999), bioackumulation av tungmetaller i vilda gräs (Madejón *m fl*, 2002), genetiska effekter på möss (Tanzarella *m fl*, 2001; Festa *m fl*, 2003), blybelastning på stork (Meharg *m fl*, 2002) och effekter på flodmynningsområdet vid Atlanten (Gómez-Parra *m fl*, 2000)

Två liknande dammbrott inträffade i Maramures i Rumänien 2000. Vatten och slam innehållande bl a cyanid, bly, zink, koppar och kadmium rann ut i floden Tizas övre delar. Tisza är ett biflöde till Donau (Macklin *m fl*, 2003). Utflödet resulterade i omfattande fiskdöd och förorenings spridning nedströms.

Naturolyckor kan pga följd effekter leda till allvarliga miljöolyckor. Okay *m fl* (2001) beskriver hur en jordbävning (Richter 7.4) drabbade Izmit Bay i Turkiet 1999. Jordbävningen skadade flera kuststäder och gjorde att förorenade botten sediment i bukten resuspenderades. Ett oljeraffinaderi började brinna och spred stora mängder PAH över bukten, som redan var förorenad av industri. Ett miljöövervakningsprogram hade startats strax före olyckan vilket gjorde att man bättre kunde analysera olyckans konsekvenser. PAH-halterna steg i havsvatten, i sediment och i musslor, med högst koncentrationer närmast raffinaderiet. Biomarkörer användes för att studera effekterna på musslor.

Metoder för förebyggande av olyckor med miljöeffekter

Många artiklar behandlar integrationen mellan riskanalys och olika former av miljöeffektbedömningar. Det finns även en tidskrift som heter *Human and ecological risk assessment* som är inne på tionde årgången.

Metodiken för 'ecological risk assessments' (ERA) har till stor del utvecklats i USA sedan 1981 (Suter *m fl*, 2003), då EPA gav ut en sk "red book". Inledningsvis var ERA inriktat på kvantitativ sannolikhetsanalys men senare utvecklades bl a sambandet mellan människors hälsa och ekologiska riskbedömningar.

Suter *m fl* (2005) beskriver WHO:s 'International program for chemical safety', som integrerar risker för människors hälsa med risker för icke-mänskliga organismer och ekosystem. Därigenom tydliggörs beroendet

mellan människan, ekosystemen och miljön, och man kan få en samlad toxikologisk bedömning för alla arter.

Åsa Scott på FOI har publicerat flera artiklar om hur användningen av ett miljöolycksindex kan förbättra möjligheterna att bedöma olycksrisker vid hantering av kemikalier. Indexet bygger på information om hur stora kemikalimängder som transporteras eller lagras, hur akuttoxiska kemikalierna är för akvatiska organismer, viken konsistens/viskositet och vattenlöslighet ämnet har samt hur mark- och vattenförhållandena är på platsen där riskerna skattas (Scott, 1998). I Scott *m fl* (2002) användes data från 42 svenska olyckor för att validera indexet. I ytterligare en artikel redovisas resultaten från ett försök där en expertpanel använts för att bedöma miljökonsekvenser vid kemikaliespill, i syfte att utveckla miljöolycksindexet (Scott Andersson *m fl*, 2005).

Med hjälp av en modell för livscykelanalys (LCA) jämför Simonsson *m fl* (2003) hur miljöprestanda skiljer vid förbränning av två olika typer av kablar. De två kablarna hade höljen av PVC respektive Casico (se ovan). I LCA:n tas hänsyn till produkternas livslängd, förbränningsscenarier etc. Olsen *m fl* (2001) gör en metodologisk jämförelse mellan LCA och riskanalys, och konstaterar att debåda metoderna har olika utgångspunkter men att de kan komplettera varandra på ett bra sätt.

Det finns också exempel på studier av mjuka frågor i anslutning till olyckor med miljöeffekter. Denis (2001) problematiserar relationen mellan tekniska och sociopolitiska frågor. Exempel på de senare är evakuering, hälsoaspekter och ledarskap. Willis *m fl* (2004) beskriver en metod för att inkorporera miljöaspekter i en riskrankning som sedan tidigare inkluderade säkerhets- och hälsoaspekter. Rankningen utfördes av lekmän.

Forskningsbehov

Det är många faktorer som styr olyckors miljöeffekter, t ex vilka ämnen eller material som ingår i olyckan eller i vilken fysisk, kemisk och biologisk miljö olyckan inträffar, vilket gör att det är svårt att få en samlad bild över hur stor miljöbelastningen är från olyckssektorn. Det är ett långsamt och tålmodigt arbete att bygga upp kunskap om olika olyckstyper. Men i denna översikt framgår det tydligt att mycket viktigt arbete har gjorts, och värt att uppmärksamma är att det i flera fall är svenska forskare som bidragit. Ibland har det varit på uppdrag av Räddningsverket, ibland har det genomförts i andra sammanhang. Ett mått på kvaliteten på den svenska forskningen är att den publiceras regelbundet i internationella tidskrifter.

Det finns behov av fortsatt forskning för att kartlägga hur stora utsläppen är från olika olyckstyper. Det finns fortfarande många frågor som är obesvarade. Jämförelser mellan olyckssektorns miljöbelastning och den kontinuerliga belastning som finns från andra sektorer är viktiga. Olyckssektorns bidrag till de nationella PAH utsläppen förefaller var betydande.

Metodik för att kunna mäta emissioner till luft, mark och vatten behöver fortsätta att utvecklas. Problematiken med olyckornas plötsliga och oväntade förekomst ställer särskilda krav på provtagningsmetodik. Och i anslutning till räddningsinsatsen behövs enkla och robusta metoder för att bedöma miljörisker.

Ersättningsmöjligheter för bromerade flamskyddsmedel är intressanta. Det kan handla om materialval, produktdesign eller mindre skadliga flamskyddsmedel.

Hur miljöeffekter kan integreras i riskanalyser har beforskats i fr a USA sedan 80-talet. I Sverige är dock den utvecklingen i sin linda. Vi har därför behov av liknande studier i ett svenskt sammanhang. Särskilt viktigt är att få fram bättre metoder för att bedöma miljöns känslighet.

De lagstiftningar som reglerar Räddningsverkets sektor 'Skydd mot olyckor', framför allt Lagen om skydd mot olyckor (LSO) verkar i vissa delar stå i motsats till t ex miljöbalken eller plan- och bygglagen. Vilka möjligheter och begränsningar har de olika lagarna när det gäller olyckor och miljö? Även när det gäller verkets ansvar för miljömålsarbete finns det flera viktiga frågor, bl a kring hur man bör mäta måluppfyllelse och vilka indikatorer som kan användas för att mäta framgångsrikt förebyggande arbete.

Referenser

Bell JNB och Shaw G. 2005. Ecological lessons from the Chernobyl accident. *Environment international*, 31:771-777.

Bertazzi PA, Consonni D, Bachetti S, Rubagotti M, Baccarelli A, Zocchetti C och Pesatori AC. 2001. Health effects of dioxin exposure: A 20-year mortality study. *American journal of epidemiology*, 153(11):1031-1044.

Bhargava A, Dlugogorski BZ och Kennedy EM. 2002. Emission of polyaromatic hydrocarbons, polychlorinated biphenyls and polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and furan from fires of wood chips. *Fire safety journal*, 37:659-672.

Blom S och Geo A. 2004. *Emissioner av toxiska ämnen i samband med brand i avfall – En litteratursammanställning*. Rapport P21-455/04, Räddningsverket.

Blomqvist P, Lönnermark A och Simonson M. 2004. *Miljöbelastning vid bränder och andra olyckor. Utvärdering av provtagning och analyser*. Rapport P21-452/04, Räddningsverket.

Blomqvist P, Persson B och Simonsson M. 2002. *Utsläpp från bränder till miljön – Utsläpp av dioxin, PAH och VOC till luften*. Rapport P21-407/02, Räddningsverket.

- Blumenthal B och Svedung I. 2003. *Miljöeffekter vid olyckor – En litteraturundersökning*. Rapport P21-438/03, Räddningsverket.
- Christiansen V, Kakko R och Koivisto R. 1993. Environmental impact of a warehouse fire containing ammonium nitrate. *Journal of loss prevention in the process industries*, 6(4):233-239.
- Dayan U och Koch J. 2002. Dispersion of PCB in the environment following an atmospheric release caused by a fire. *The science of the total environment*, 285:147-153.
- Denis H. 2001. Managing disasters involving hazardous substances in Canada: technical and sociopolitical issues. *Journal of hazardous materials*, 88:195-211.
- Díaz-Barrientos E, Madrid L och Cardo I. 1999. Effects of flood with mine wastes on metal extractability of some soils of the Guadiamar river basin (SW Spain). *The science of the total environment*, 242:149-165.
- Festa F, Cristaldi M, Ieradi LA, Moreno S och Cozzi R. 2003. The Comet assay for the detection of DNA damage in *Mus spretus* from Dónana national park. *Environmental research*, 91:54-61.
- Gómez-Parra A, Forja JM, Delvalls TA, Sáenz I och Riba I. 2000. Early contamination by heavy metals of the Guadalquivir estuary after the Aznalcóllar mining spill (SW Spain). *Marine pollution bulletin*, 40(12):1115-1123.
- Gupta JP. 2005. Bhopal gas tragedy and its effects on process safety. *Journal of loss prevention in the process industry*, 18(4-6):195-196.
- Hermansson A, Hjertberg T och Sultan B-Å. 2003. The flame retardant mechanism of polyolefins modified with chalk and silicone elastomer. *Fire and materials*, 27:51-70.
- Hertzberg T och Blomqvist P. 2003. Particles from fires – a screening of common materials found in buildings. *Fire and materials*, 27:295-314.
- Karellas NS, Chen QF, De Brou GB och Milburn RK. 2003. Real time monitoring of hydrogen chloride and chlorine gas during a chemical fire. *Journal of hazardous research*, 102:105-120.
- Kim E-J, Oh J-E och Chang Y-S. 2003. Effects of forest fire on the level and distribution of PCDD/Fs and PAHs in soil. *The science of the total environment*, 311:177-189.
- Larsson I och Lönnermark A. 2002. *Utsläpp från bränder – Analyser av brandgaser och släckvatten*. SP rapport 2002:24, Sveriges provnings- och forskningsinstitut.
- Lee KH, Kim JE, Kim YJ, Kim J och von Hoyningen-Huene W. 2005. Impact of the smoke aerosol from Russian forest fires on the atmospheric environment over Korea during May 2003. *Atmospheric pollution*, 39:85-99.

- Lemieux PM och Ryan JV. 1993. Characterization of air pollutants emitted from a simulated scrap tire fire. *Journal of air and waste management*, 43:1106-1115.
- Lunghi A, Gigante L, Cardillo P, Stefanoni V, Pulga G och Rota R. 2004. Hazard assessment of substances produced from the accidental heating of chemical compounds. *Journal of hazardous materials*, A116:11-21.
- Macklin MG, Brewer PA, Balteanu D, Coulthard TJ, Driga B, Howard AJ och Zaharia S. 2003. The long term fate and environmental significance of contaminant metals released by the January and March 2000 mining tailings dam failures in Maramures county, upper Tisa basin, Romania. *Applied geochemistry*, 18:241-257.
- Madejón P, Murillo JM, Marañón T, Cabrera F och López R. 2002. Bioaccumulation of As, Cd, Cu, Fe and Pb in wild grasses affected by the Aznalcóllar mine spill (SW Spain). *The science of the total environment*, 290:105-120.
- Marklund S, Andersson R, Tysklind M och Rappe C. 1989. Emissions of PCDDs and PCDFs from a PVC-fire in Holmsund, Sweden. *Chemosphere*, 18(1-6):1031-1038.
- Meharg AA och French MC. 1995. Heavy metals as markers for assessing environmental pollution from chemical warehouse and plastic fires. *Chemosphere*, 30(10):1987-1994.
- Meharg AA, Pain DJ, Ellam RM, Baos R, Olive V, Joyson A, Powell N, Green AJ och Hiraldo F. 2002. Isotopic identification of the sources of lead contamination for white storks (*Ciconia ciconia*) in a marshland ecosystem (Doñana, S.W. Spain). *The science of the total environment*, 300:81-86.
- Meharg AA, Shore RF, French MC och Osborn D. 1997. Dioxin and furan residues in wood mice (*Apodemus Sylvaticus*) following a large scale polyvinyl chloride (PVC) fire. *Environmental pollution*, 97(3):213-220.
- Meharg AA, Wright J Dyke H och Osborn D. 1998. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) dispersion and deposition to vegetation and soil following a large scale chemical fire. *Environmental pollution*, 99:29-36.
- Nammari DR, Hogland W, Nimmermark MM och Moutavtchi V. 2004. Emissions from a controlled fire in municipal solid waste bales. *Waste management*, 24(1):9-18.
- Niemi JV, Tervahattu H, Vehkamäki H, Kulmala M, Koskentalo T, Sillanpää M och Rantamäki M. 2004. Characterization and source identification of a fine particle episode in Finland. *Atmospheric environment*, 38:5003-5012.
- Okay OS, Tolun L, Telli-Karakoc F, Tüfekci V, Tüfekci H och Morkoc E. 2001. Izmit Bay (Turkey) ecosystem after Marmara earthquake and subsequent refinery fire: the long-term data. *Marine pollution bulletin*, 42(5):361-369.

- Olsen SI, Christensen FM, Hauschild M, Pedersen F, Larsen HF och Törslöv J. 2001. Life cycle impact assessment of chemicals – a methodological comparison. *Environmental impact assessment review*, 21:385-404.
- Porter D, Metcalfe E och Thomas MJK. 2000. Nanocomposite fire retardants – A review. *Fire and materials*, 24:45-52.
- Pöllänen R, Valkama I och Toivonen H. 1997. Transport of radioactive particles from the Chernobyl accident. *Atmospheric environment*, 31(21):3575-3590.
- Sapkota A, Symons JM, Kleissl J, Wang L, Parlange MB, Ondov J, Breysse PN, Diette GB, Eggleston PA och Buckley TJ. 2005. Impact of the 2002 Canadian forest fires on particulate matter air quality in Baltimore City. *Environmental science and technology*, 39:24-32.
- Scott Å. 1998. Environment-accident index: validation of a model. *Journal of hazardous materials*, 61:305-312.
- Scott Å, Tysklind M och Fängmark I. 2002. Selection of a representative set of chemical accidents from a complex data matrix for the development of environment-accident index. *Journal of hazardous materials*, A91:63-80.
- Scott Andersson Å, Stjernström O och Fängmark I. 2005. Use of questionnaires and an expert panel to judge the environmental consequences of chemical spills for the development of an environmental-accident index. *Journal of environmental management*, 75(3):247-261.
- Shorten CV, Galloway J, Krebs JG och Fleming RS. 2002. A 12-year history of hazardous materials incidents in Chester County, Pennsylvania. *Journal of hazardous materials*, A89:29-40.
- Sillanpää M, Saarikoski S, Hillamo R, Pennanen A, Makkonen U, Spolnik Z, van Grieken R, Koskentalo T och Salonen RO. 2005. Chemical composition, mass size distribution and source analysis of long-range transported wildfire smokes in Helsinki. *Science of the total environment*, 350:119-135.
- Simonson M, Andersson P, Emanuelsson V och Stripple H. 2003. A life-cycle assessment (LCA) model for cables based on the fire-LCA model. *Fire and materials*, 27:71-89.
- Simpkins AA. 2005. Method for estimating ingestion doses to the public near the Savannah River Site following an accidental atmospheric release. *Health physics*, 88(2):133-138.
- Suter GW, Norton SB och Barnhouse LW. 2003. The evolution of frameworks for ecological risk assessment from the red book ancestor. *Human and ecological risk assessment*, 9(5):1349-1360.

Suter GW, Vermiere T, Munns Jr WR och Sekizawa J. 2005. An integrated framework for health and ecological risk assessment. *Toxicology and applied pharmacology*, 207:S611-S616.

Svendsen C, Meharg AA, Freestone P och Weeks JM. 1996. Use of earthworm lysosomal biomarker for the ecological assessment of pollution from an industrial plastics fire. *Applied soil ecology*, 3:99-107.

Tanzarella C, Degrassi F, Cristaldi M, Moreno S, Lascialfari A, Chiuchiarelli G och Ieradi LA. 2001. Genotoxic damage in free-living Algerian mouse (*Mus spretus*) after the Coto Doñana ecological disaster. *Environmental pollution*, 115:43-48.

The lancet. 2000. Has the world forgotten Bhopal? Editorial. *The lancet*, 356:1863.

The lancet. 2002. Bhopal's health disaster continues to unfold. Editorial. *The lancet*, 360:859.

Whitfield A. 2002. COMAH and the environment – lessons learnt from major accidents 1999-2000. *Process safety and environmental protection*, 80(B1):40-46.

Wichmann H, Lorenz W och Bahadir M. 1995. Release of PCDD/F and PAH during vehicle fires in traffic tunnels. *Chemosphere*, 31(2):2755-2766.

Willis HH, DeKay ML, Morgan MG, Florig HK och Fischbeck PS. 2004. Ecological risk ranking: Development and evaluation of a method for improving public participation in environmental decision making. *Risk analysis*, 24(2):363-377.

Wobst M, Wichmann H och Bahadir M. 1999. Surface contamination with PASH, PAH and PCDD/F after fire accidents in private residences. *Chemosphere*, 38(7):1685-1691.