



## Om ulykkers anatomi og bekæmpelse. En skitse

Rasmussen, Jens

*Publication date:*  
1974

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Rasmussen, J. (1974). *Om ulykkers anatomi og bekæmpelse. En skitse*. Risø-M Nr. 1696

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Danish Atomic Energy Commission  
Research Establishment Risö

# ELECTRONICS DEPARTMENT

OM ULYKKERS ANATOMI OG BEKÆMPELSE

EN SKITSE

af  
Jens Rasmussen

Februar 1974

R-3-74



A. E. K. Risø

Risø - M - 1696

Risø - M - 1696	Title and author(s)		Date	Februar 1974
	OM ULYKKERS ANATOMI OG BEKÆMPELSE EN SKITSE		Department or group	Elektronikafdelingen
	af Jens Rasmussen		Group's own registration number(s)	R - 3 - 74
		pages + tables + illustrations		
Abstract		Copies to		
<p>Risikoen for ulykker er uløseligt knyttet til de goder, der er betinget af moderne teknologi, idet de nødvendige anlæg uundgåeligt medfører ophobning af energi i forskellige former, som - i tilfælde af svigtende kontrol - kan udløses utilsigtet og derved kan forårsage ulykker.</p> <p>Den hurtige udvikling medfører stigende behov for at en "kalkuleret risiko" medtages som konstruktionskriterium. Rapporten tilstræber at give en summarisk oversigt over generelle træk ved ulykker og modforholdsregler, der kan være grundlaget for risikovurdering.</p> <p>Vanskelighederne ved at få fastlagt kriterier for acceptabel risiko berøres og konklusioner fra publicerede uheldsstatistikker refereres kort.</p>				
<p>Available on request from the Library of the Danish Atomic Energy Commission (Atomenergikommissionens Bibliotek), Risø, DK-4000 Roskilde, Denmark Telephone: (03) 35 51 01, ext. 334, telex: 43116</p>				



## **INDHOLDSFORTEGNELSE:**

Indholdsfortegnelse: .....	5
1. Indledning.....	7
2. Forudsætningen for ulykker: Energi. ....	7
3. Årsagen til ulykker: Ændringer. ....	8
4. Modforholdsregler generelt. ....	8
5. Forholdsregler mod kontrolsvigt. ....	9
6. Forholdsregler mod konsekvensen af energiudløsningen.....	9
7. Begrænsning af ulykkers virkning. ....	10
8. Forholdsregler mod konstruktionsfeil. ....	10
9. Risikovurdering. ....	11
10. Risiko kriterier. ....	11
11. Hvad er det centrale problem? .....	15
12. Konklusion. ....	18
REFERENCER.....	19

**ISBN 87 550 0252 8**



## 1. INDLEDNING

I tidligere faser i den teknologiske udvikling har det tidsrum, der forløb fra demonstration af den praktiske nytte af en teknisk nyskabelse til en bred integration i samfundet, været så langt, at det var muligt ved løbende korrektioner i anvendelsen at få en empirisk tilpasning mellem det tilsigtede gode og medfølgende omkostninger, såvel økonomiske som sociale.

Dette er ikke længere tilfældet. De industrialiserede samfund har udviklet en evne til at mobilisere økonomiske og organisatoriske ressourcer og planlægge teknologiske udviklingsprogrammer, der meget hurtigt kan føre til bred anvendelse af en ny teknik. Hermed er fulgt et stigende behov for - og krav om - udvikling af metoder til at forudsige virkningerne af en ny tekniks integration i samfundet.

En enkelt side i denne problematik er den risiko for ulykker, der følger med anvendelsen af tekniske anlæg, og i nedenstående notat er det forsøgt at strukturere sammenhængen mellem problem - og arbejdsområder der er impliceret i en systematisk risikovurdering af et teknisk anlæg. Det er kun forsøgt at give et overblik, og behandlingen er derfor på mange punkter unuanceret.

Der er i denne skitse hyppigt refereret til forhold ved nukleare anlæg. Dette skyldes ikke at problematikken er specielt knyttet til disse, men at problemerne først er angrebet systematisk på det nukleare område, fordi det her af fysiske grunde var nødvendigt at gå direkte fra påvisningen af den fysiske mulighed for teknisk udnyttelse til potentielt risikable forsøgsanlæg. Dette har ført til en stor aktivitet for at systematisere og kvantisere risikovurderingen og til grundig indsamling og rapportering af hændelser med relation til anlægssikkerheden.

## 2. FORUDSÆTNINGEN FOR ULYKKER: ENERGI.

Et grundlæggende fællestræk ved de hændelser vi almindeligvis klassificerer som ulykker er, at de er forbundet med pludselig udlosning af en eller anden form for ophobet energi. Ved brand, eksplosioner, kollisioner o.s.v. er der tale om tab af kontrol med en stor energiophobning, der resulterer i skader på personer; enten ved fysisk overlast direkte som følge af energiudladningen eller på grund af stoffer, der spredes på delagte anlæg.

Gibson (1961)
Haddon (1966)
Johnson (1973)

I den følgende diskussion er forgiftningsulykker, der skyldes langsom frigørelse af giftige stoffer, ikke taget i betragtning, selv om helt analoge betragtninger kan gennemføres for sådanne ulykker.



Kilder til ulykker må således findes ved at opsøge ophobninger af store energimængder. Dette medfører, at muligheden for ulykker er uløseligt forbundet med de goder, det moderne teknologiske samfund byder på. En nødvendig forudsætning for disse goder er tekniske installationer og anlæg, hvis funktioner medfører ophobning af store energimængder. Rationel produktion og transport medfører centralisering, store produktionsenheder og store hastigheder og dermed uundgåeligt grundlaget for ulykker, hvad enten energien findes i form af høje tryk og temperaturer i et stort kemisk anlæg, i form af brændværdi i lagre af olie eller kunstgødning, eller den findes i form af bevægelsesenergi i hurtigt kørende tog og biler.

I en periode med hurtig udvikling kan sikkerheden af sådanne anlæg ikke baseres på gårdsdagens erfaring og det er derfor i stigende omfang nødvendigt at teknikerne, der planlægger disse installationer, kan formulere deres metoder til at veje fordel mod risiko.

Offentligheden vil i stigende grad ønske at sikre sig, at der anvendes tilfredsstillende kriterier for den acceptable risiko og at dette niveau virkeligt er opnået i de byggede anlæg.

### **3. ÅRSAGEN TIL ULYKKER: ÆNDRINGER.**

En ulykke er altså den konsekvens, der kan indtræde, hvis kontrollen med den ophobede energi svigter - dette hvis indebærer at der skal ske en Ændring i anlæggets funktion eller brug. Når en sådan ændring indtræder, og den normale kontrol med den ophobede energi svigter, vil systemets opførsel ændre sig. Selv om energien derved udløses vil naturlovene fortsat gælde og systemets opførsel og energiens udlosningsforløb kan langt hen forudses og beregnes. Dette medfører at man kan tage en lang række forholdsregler, der dels kan sigte mod at opretholde tilstrækkelig kontrol med energien i et fejlet anlæg, dels sigte mod at afbøde virkningerne af energiudløsningen.

Sikkerhedsvurdering foretages ved, at man opsøger mulige energiophobninger i systemet og undersøger Årsags-virkningsforløbet gennem systemet ved tab af kontrollen. Derved bestemmes den mulige konsekvens for omgivelserne. I de tilfælde, hvor konsekvensen er uacceptabel, søger man ved analyse at identificere de ændringer, der kan føre til tab af kontrol med energien. Derved får man basis for en risikoanalyse. Intet er fuldkomment; er en ændring mulig vil den indtræde, spørgsmålet er kun: hvornår? Man må, for at have kontrol med sikkerheden basere sig på en kalkuleret risiko.

### **4. MODFORHOLDSREGLER GENERELT.**

Man kan på flere måder træffe forholdsregler mod ulykkers indtræden.

For det første kan konstruktøren nedsætte sandsynligheden for, at man taber kontrollen med energien. Sandsynligheden for at de primære ændringer i forholdene indtræder, som kan initiere et uheldsforløb, kan naturligvis nedsættes ved at benytte gode, driftsikre anlægsdele og højtuddannet, veltrænet personale. Den fundamentale mulighed for at bringe sandsynligheden for drastiske ulykker ned på et acceptabelt niveau ligger imidlertid i, at tilrettelægge systemet således, at der kræves sammenfald af flere ændringer, for kontrollen svigter.

For det andet kan man i et anlæg nedsætte konsekvensen af en utilsigtet energitudløsning ved en række forskellige konstruktive forholdsregler, og derved formindske risikoen.

Endeligt kan man træffe foranstaltninger til at sikre sig, at konstruktørens analyser og vurderinger er dækkende, d.v.s. at hans planer ikke indeholder konstruktionsfejl eller oversete forhold, samt at realiseringen af planerne, d.v.s. bygningen af anlægget og tilrettelægningsen af dets brug, resulterer i et anlæg som svarer til hans intentioner.

## **5. FORHOLDSREGLER MOD KONTROLSVIGT.**

Sikker kontrol med energien er som nævnt baseret på kravet om, at der skal indtræde flere uafhængige ændringer i form af tekniske fejl, betjeningsfejl eller Ændringer i anlæggets brug, for kontrollen svigter.

Groft sagt opnås dette ved, at indføre alternative kontrolsystemer, enten ved at indføre dublinger i kontrolsystemerne, indføre overvågningssystemer, der initierer en alternativ kontrolform – f. eks. manuel, eller ved at indføre sikrings-systemer, der som alternativ mulighed kan bringe systemet i en sikker tilstand.

Ændringer i form af tekniske fejl har konstruktøren rimelig mulighed for at tage hensyn til. En mere ukontrollabel kilde til ændringer er de mennesker, brugerne, som omgås systemet og som planlagt eller utilsigtet kan ændre systemet ved at udføre modifikationer og reparationer eller ændre betjeningsprocedurer. Forholdsregler mod dette har form af forskrifter og arbejdsinstrukser, der må kontrolleres ved øvelser, gentræning og eventuelt ved kontrol af uafhængigt organ i form af sikkerhedskomiteer og inspektioner.

## **6. FORHOLDSREGLER MOD KONSEKVENSEN AF ENERGIUDLØSNINGEN.**

Ved at analysere energitudløsningens forløb gennem systemet kan man identificere muligheder for at indføre barrierer mod dens virkninger. Disse kan have forskellig karakter og kan grupperes efter en inddeling, der er fælles for de fleste typer af systemer og ulykker.

Virkingen kan nedsættes ved at begrænse den mulige energi ophobning mest muligt. Dette er i mange produktionsanlæg kun muligt i meget begrænset omfang af fysiske, produktionstekniske og økonomiske Årsager, men i andre sammenhænge kan det være en effektiv og ofte benyttet forholdsregel ("brandhygiejne", hastighedsgrænser for trafik, decentralisering af lagre o.s.v.).

Man kan afbøde virkningerne, ved at indføre forholdsregler, der kan sikre en langsom energiudløsning. Mulighederne omfatter for eksempel sikkerhedsventiler og sprængplader; autoværn og energiabsorberende deformation af chassis; brandhæmmende maling.

Den frigjorte energi kan opsamles ved nødkølesystemer, sekundære beholdere o.s.v. og den kan bortledes kontrolleret - ledes uden om med skorstene, barrierer mod sprængstykker og chockbolger, autoværn O.S.V.

Endelig kan man holde personer borte fra udlosningsvejen ved adgangskrifter, sikkerhedszoner, eller beskytte personer med barrierer i form af specielt udformede rum (kontrolrum) eller dragter.

## 7. BEGRÆNSNING AF ULYKKERS VIRKNING.

For fuldstændighedens skyld må det nævnes, at det i stor udstrækning er muligt at begrænse skadernes omfang under og efter en ulykke ved en hurtig indsats af bekæmpende og begrænsende hjælpetjenester såsom lægetjeneste, brandvæsen og tekniske rydningstjenester.

Sådanne aktiviteter må være baseret på effektivt melde- og informationssystem, gennemarbejdede beredskabsplaner med vagt- og tilkaldeordniner.

Disse tjenesters funktion under en større ulykke må være velkoordinerede, og da de kun yderst sjældent vil være i funktion sammen, må deres aktiviteter baseres på et gennemarbejdet instruks-system og de må indøves og kontrolleres ved alarmeringsøvelser og situations - planspil.

Ligeledes må erfaringerne fra deres funktion under øvelser og fra deres individuelle indsats ved mindre uheld analyseres og vurderes ved en velformuleret metode til "post-accident" analyser for at give grundlag for at ajourføre instrukser og træning, og for at samarbejde og træne medlemmerne af systemets "tilsynsråd" (sikkerhedsudvalg, -kommitte el. lign.).

Johnson (1973)

## 8. FORHOLDSREGLER MOD KONSTRUKTIONSFEIL.

Ovenstående betragtninger tjener til at illustrere, at det er muligt at opstille en generel referenceramme, der tillader en systematisk analyse af konsekvenserne af fejl og af de nødvendige forholdsregler. En forudsætning for tilfredsstillende sikkerhed er naturligvis herefter, at konstruktørens analyser er

dækkende og ikke indeholder oversete forhold eller direkte fejl, samt at det færdige anlæg svarer til hans intentioner.

En kontrol med konstruktørens analyser kan i stort omfang ske ved velspecificerede funktionstests på det færdige anlæg, men en lang række forhold i forbindelse med drastiske energiudløsninger kan selvsagt ikke undersøges ved funktionstest og en verifikation kan kun ske ved beregning af havariforløb, simuleringstudier og modeleksperimenter. Disse og de dragne konklusioner kan i mange tilfælde kun kontrolleres ved behandling af uafhængige ekspertgrupper.

Det er ligeledes trivielt, at sikkerheden kun er under kontrol, såfremt det færdige og i drift værende anlæg svarer til konstruktørens planer.

Det må derfor sikres, at de anvendte komponenter og anlægsdele svarer til de forudsatte specifikationer ved en udstrakt brug af kvalitetskontrol og specifikations tests hos leverandører og på byggeplads, og under systemets drift må overensstemmelse med planerne sikres med inspektion og tilsyn.

## 9. RISIKOVURDERING.

Har man ved analyse vurderet den mulige konsekvens af et uheld, forudsætter en risikovurdering at man kan sætte konsekvensen i relation til sandsynligheden for at den vil indtræde. I en periode med langsom udvikling og små anlæg kan risikovurdering baseres på en almindelig erfaring med uheld i anlægene. Er udviklingen hurtig og de planlagte anlæg store, er det nødvendigt at basere sig på en kalkuleret risiko. Det er indlysende at man ved muligheden for meget drastiske ulykker vil søge at presse sandsynligheden ned på et meget lavt niveau, der ikke giver mulighed for egentlige ulykkesstatistikker. Det er derfor nødvendigt, at man udnytter det forhold, at en ulykke er betinget af sammenfald af en række ændringer i systemet. Disse vil ofte hver for sig have en sandsynlighed, der er høj nok til at man kan få et statistisk materiale. Det er i så tilfælde muligt at foretage en beregning af den resulterende sandsynlighed.

Tilfredsstillende risikoberegninger forudsætter udvikling af dækkende metoder til årsags-konsekvens analyser, der tillader identifikation af de initierende primære ændringer, sandsynlighedsmodeller for forløbet - analytiske eller simulering (Monte Carlo) - samt et godt statistisk grundmateriale - en databank; områder der for tiden er i kraftig udvikling.

Nielsen (1971)

Powers (1973)

## 10. RISIKO KRITERIER.

At basere en sikkerhedsvurdering på en kalkuleret risiko indebærer to grundlæggende vanskeligheder. Intet er fuldkomment, og risikoen for ulykker

kan ikke helt elimineres og selv om dette er almindeligt accepteret i dagliglivet, (tobaksrygning, bilkørsel, hvor risikoen jævnlige kvantificeres og diskuteres) kan det, være vanskeligt at få en kalkuleret risiko accepteret som konstruktions kriterium, (se f.eks. Hans Erling Langkildes omtale af "den acceptable brandrisiko" i en kronik "Om brande" i Politiken 27. december 1973)-

Den anden vanskelighed er fastlæggelsen af risikokriterier. Sikkerhedsforanstaltninger koster noget hvor langt man ønsker konstruktøren skal gå, afhænger af den pris man vil betale for det opnåede gode og af den subjektive formulering af krav til den aktuelle type af risiko.

Der er tendens mod at foretage cost-benefit analyser i forbindelse med vurdering af risici. Så længe der alene er tale om økonomiske konsekvenser af ulykker, kan konstruktøren foretage en rimelig økonomisk optimalisering; vanskelighederne kommer når der er tale om risici for de implicerede mennesker og der er tale om anlægstyper, hvor erfaringsbaserede konstruktionsforskrifter ikke slår til.

Analyse af konsekvenserne ved ulykker og deres sandsynlighed - d.v.s. risikoen - kræver teknikernes metoder og indsigt og kontrol med hans arbejde kræver tilsvarende indsigt. Samfundets eneste mulighed for kontrol er her, at hans grundlag er tilgængeligt for en uafhængig faglig vurdering.

Fastlæggelse af kriterier 1: Ligger uden for hans felt og mulighed. De må fastlægges af de udsatte individer og af samfundet; ofte gennem en debat, der danner grundlaget for en politisk beslutning, som - implicit - fastlægger kriteriet.

En sådan debat om niveauet af den acceptable risiko får ofte karakter af en følelsesmæssig argumentation om, hvorvidt et tordenskrald er større end Rundetårn. Dette skyldes hyppigst at problematikken og dermed debatten er ustruktureret. Størrelsen af en risiko og det dermed forbundne gode er vanskelig at definere, og sammenligning med andre former for goder og risici må foretages med varsomhed, fordi den subjektive opfattelse af den acceptable risiko er stærkt afhængig af en række faktorer.

En analyse af disse forhold vil være et værdifuldt grundlag for at få en argumentation, der kan føre til en udbytterigere debat.

Der er gjort forsøg gennem de senere år på at strukturere begrebet "acceptabel risiko".

Ernest Siddall (1959) sammenligner risikoen fra elektrisk kraftproduktion med kulfyrede værker og kernekraftværker. På grundlag af statistikker beregner han risikoen fra "mining, fabrication and transport" ved at fremskaffe brændsel til  $75 \times 10^{-12}$  liv/kwt for uran og  $659 \times 10^{-12}$  liv/kwt for kul. Han argumenterer herefter, at betragtes risikoen ved kulfyrede værker for acceptabel, har man her identificeret en margin, som kan absorbere en eventuel øget risiko ved ulykker på kernekraftværker.

Sluttelig konkluderer Siddall, at det set fra et samfundsmæssigt synspunkt kan diskuteres om man bør ofre store investeringer for at overskride denne margin radikalt: "If targets are met, money spent on a containing shell and consequent additions would be wasted. Economically, the reduction in cost of accidents would be less than the annual charges on the shell. From the humanitarian viewpoint, the money would have been better spent on safety measures in dangerous industry, or better still, on medical research".

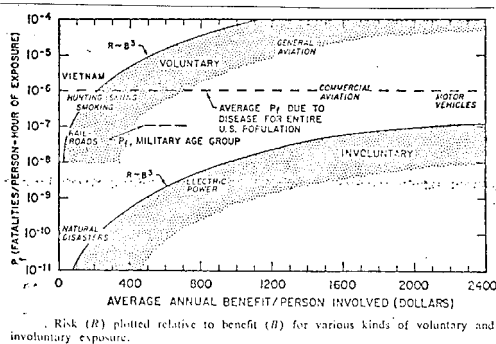
Dette tidlige forsøg på at formulere et objektivt kriterium er prisværdigt, og Siddall er tilfulde klar over at det er primitivt. Kriteriet for acceptabel risiko er meget subjektivt bestemt, et forhold Chauncey Starr (1969) forsøger at få hold på. Han forsøger at analysere relationen mellem "cost" og "benefit", som den er accepteret på en række om-råder i et teknologisk samfund. Også hans forudsætninger og konklusioner kan diskuteres, men hans analyser fremdrager en række forhold, der i høj grad kan støtte valg af argumenter og sammenligninger og derved tjene til at strukturere en debat.

Starr (1969)

Hans metodik og resultater bør studeres nærmere, men hans konklusioner er illustrerende for typen af den information sådanne studier kan give:

Han konkluderer om studiet:

"The application of this approach to other areas of public responsibility is self-evident. It provides a useful methodology for answering the question "How safe is safe enough?" Further although this study is only exploratory, it reveals several interesting points.



Risk (R) plotted relative to benefit (B) for various kinds of voluntary and involuntary exposure.

- (i) The indications are that the public is willing to accept "voluntary" risks roughly 1000 times greater than "involuntary" risks.
- (ii) The statistical risk of death from disease appears to be a psychological yardstick for establishing the level of acceptability of other risks.
- (iii) The acceptability of risk appears to be crudely proportional to the third power of the benefits (real or imagined).
- (iv) The social

acceptance of risk is directly influenced by public awareness of the benefits of an activity, as determined by advertising, usefulness, and the number of people participating. (v) In a sample application of these criteria to atomic power plant safety, it appears that an engineering design objective determined by economic criteria would result in a design-target risk level very much lower than the present socially accepted low risk for electric power plants.

Der er fra engelsk side gjort forsøg på at etablere et objektivt kriterium, den velkendte "Farmer kurve". Opstillingen af sådanne kriterier diskuteres af

Beattie og Bell (1973), der konkluderer, at det Beattie and Bell kriterium,

Starr (1969)

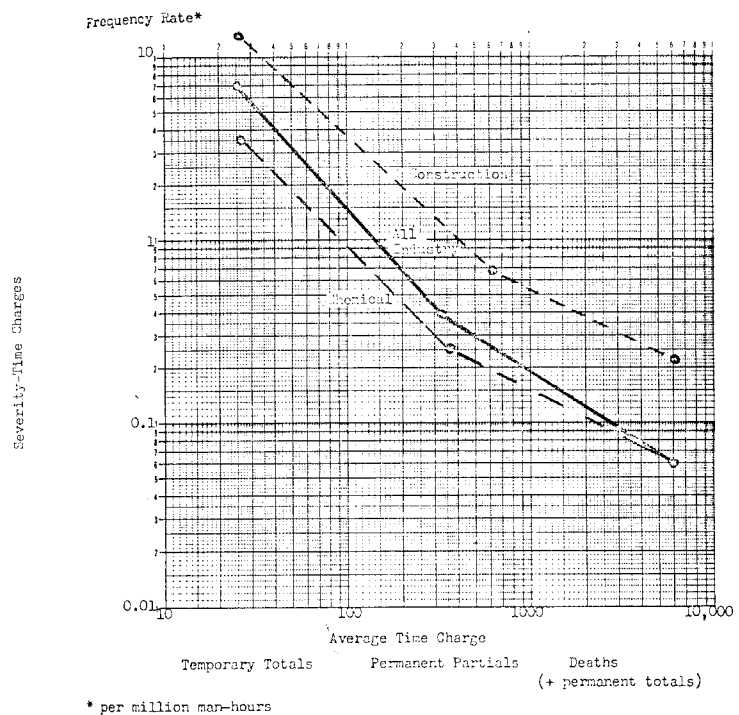
der må benyttes ved kernekraft-værker må afledes af samfundets krav til risikoen for grupper af mennesker, der selv-sagt er mindre end den individuelle risiko, personer normalt accepterer. Konsekvensen af det valgte kriterium sammen-lignes derfor med den kollektive risiko for at blive ramt af nedstyrtende fly eller meteorer. Der tages ikke hensyn til psykologiske faktorer ved formulering af den acceptable risiko, og argumentationsværdien er derfor lille. Også Farmer (1973) diskuterer kollektiv og individuel risiko og konkluderer, at den kollektive risiko er afgørende. Han betragter endvidere det store antal værker i det samlede reaktorprogram og ud fra virkningen på dette program af en enkelt stor ulykke, konkluderer han, at kravene til risikoniveauet for den enkelte reaktor bliver så store, at de nærmer sig grænsen af, hvad der kan verificeres i dag.

Farmer rejser i denne forbindelse spørgsmålene:

Se Johnson (1973):

"If we are to aim at a low risk rate such as  $10^{-6}$  per reactor per year, then:

- (1) Do we believe that our knowledge of relevant phenomena is good enough?
- (2) Knowing the failures which occur in normal plant and equipment, do we believe that they can be suitably assembled with diversity and redundancy to maintain an adequately low risk of failure?
- (3) Even if existing plant and equipment can so be assembled, are current organisations good enough to achieve the end results?"



Frequency-Severity Matrix-Type Chart for All Industries, Chemical and Construction Industries Standard Classes of Disabling Injuries 1968

Dette kan kun historien give svar på, men en indikation af svage punkter kan fås ved en omhyggelig analyse af rapporter fra mindre uheld, som ved uheldige sammentræf kunne være del af en større ulykke.

Eksistensen af en intuitivt virkende, "acceptabel risiko" illustreres af, at forholdene på en række arbejdsområder har justeret sig således, at hyppighed / konsekvens af uheld er konstant.

## 11. HVAD ER DET CENTRALE PROBLEM?

Det er ovenfor forsøgt at eksistere en struktur i forholdene omkring ulykker og modforholdsregler, og det er derefter nærliggende at undersøge, om rapporter og statistikker fra indtrufne tilfælde kan give et fingerpeg om, hvilke forhold, der rejser de væsentligste problemer.

Rapporter om industrielle ulykker er normalt ikke tilgængelige og offentligt-gjorte oversigter og statistikker er meget summariske. Kun indenfor det nukleare område og fra luftfart er der tradition for at offentliggøre undersøgelser, der kan give mere detaljeret information.

En gennemgang af 30 rapporterede større ulykker ved amerikanske nukleare anlæg i perioden 1959-65 (reaktorer, kemiske anlæg og hot-cells), foretaget med denne hensigt (Rasmussen 69), gav til resultat

Rasmussen (1969)

- ca. 75% af tilfældene blev initieret af menneskelige fejloperationer
- der så godt som udelukkende sker under opgaver, der ikke er rutine - d.v.s. unormale opgaver eller opgaver ved unormalt anlæg. (Sammenfald af menneskelig fejl med, ofte tilsigtet, ændring i arbejdsforholdene.)
- fejlene har ikke karakter af simple fejltagelser, men skyldes vanskelighed ved at identificere den aktuelle arbejdssituation (forkert diagnose).
- i 30% af tilfældene nævnes overtrædelse af en foreskrevet procedure som medvirkende faktor.
- for reaktor anlæggene er det typisk, at de er efterladt i usikker tilstand efter reparationer, modifikationer, kalibreringer og test og lignende ikke rutineprægede operationer.

Dette fokuserer opmærksomheden på operatørernes rolle i sikkerheden og konklusionen har været, at en indsats for at afklare de faktorer, der påvirker operatørens mulighed for at foretage en sikker diagnose under unormale forhold, er start påkrævet.

Morris og Enkelken (1973) fra USWC når en tilsvarende konklusion efter en analyse af 8 tilfælde (1973) fælde med "inadvertent release of primary coolant" fra BWR-anlæg:

Morris og Enkelken (1973)

"The actions of operating personnel during the incidents tended to aggravate and prolong several of the incidents. The cause for the operating errors and deviations from operating procedures experienced during the incidents could not be determined. Although the consequences of these errors and deviations were not significant for the incidents studied, collectively they may reflect shortcomings in one or more areas such as the control room design, operating procedures and personnel training. It appears that additional attention also should be given to the adequacy of control panel and control room design to



better address the human engineering aspects of reactor operation during abnormal operating occurrences.' It is clear that emphasis should be devoted in the course of the plant safety analysis to evaluating the adequacy of the plant operating procedures for coping with anticipated transients."

I en oversigt over "safety related occurrences" i kernekraftværker i USA i perioden 1967-70, giver Scott (1971) følgende oversigt over de hyppigste Scott (1971) arsager til de rapporterede tilfælde:

Scott (1971)
--------------

Causes most frequently identified in facility incidents.

<u>Cause</u>	<u>Frequency</u>	
• Design Error	38	38
• Operator Error	31	31
Debris in core or system	71	
• Maintenance Error	18	28
Corrosion	26	
• Administrative Error	13	13
Crud (film deposits)	12	
Vibration	10	
Act of God	4	
Grand total	193	110
Percentage Human Error = 57%		

Tilsvarende oversigter fra ikke nukleare industrianlæg findes kun i ringe omfang. Tendensen ser imidlertid ud til at svare til de nukleare erfaringer.

Ovenu (1969) fra National Loss Control Service Corp., USA har analyseret 2100 ulykker ved dampkedler fra kraftværker og andre industrielle installationer. Han finder:

Ovenu (1969)
--------------

- 39% skyldes fejlagtig vedligeholdelse
- 18,7% tilskrives operatorfejl under drift og konkluderer:

"We have found that many of our very serious accidents were the result of improper action on the part of experienced operators. In almost every instance it was found that the equipment involved had been in constant service over a long period of time and the operator had actually forgotten the proper procedure to follow in an emergency. ----- " " ----- plant management should recognize

from this and similar studies that provision must be made for a reasonable degree of operator attendance. Also, the need for motivating and training personnel must be dealt with more positively. More careful planning and supervision of maintenance, including control testing, is definitely necessary. ---  
--"

Ensartetheden af dette problem over et bredt teknologisk område illustreres af analyser foretaget indenfor aerospace-systemer i USA.

Cornell (1969)
----------------

Cornell (1969) skriver:

"Seemingly inexplicable, inconsistent and unpredictable human "goofs" account for 50-70 percent of all failures of major weapons and space vehicles. That puts human errors ahead of design errors and lapses of quality control in manufacturing - that is, ahead of mechanical, electrical and structural failures - as a source of system troubles."

Han finder, at hovedparten af menneskelige fejl falder i følgende fire kategorier:

- "- Failure to follow procedures.
- Incorrect diagnosis of particular situations.
- Misinterpretation of (often inadequate or inaccurate) communications.
- Insufficient attention or caution."

og fortsætter:

"One study, covering 4 1/2 operational years of a defense system scattered around the world, traced 40 percent of all system failures directly to human errors falling within those four basic categories; of these, 42 percent, the largest group, were due to failures of operating personnel to follow prescribed procedures. These procedures were not some haphazard conglomeration of notes, verbal orders or evolved traditions, but a detailed set of step-by-step instructions covering installation, maintenance, inspection, checkout, and launch.

Incorrect diagnosis of the situation accounts for the majority of errors popularly deemed "pilot error", or more generally, "error of judgement".

Det er værd at mærke sig, at der her er tale om et teknologisk område - NASA - der ligger i spidsen af udviklingen af metoder til systematisk angreb på såvel teknologiske som menneskelige fejlmekanismer. Der er tilsyneladende grund til at søge efter temmelig fundamentale årsager til den nævnte ensartethed.

To forhold kan have væsentlig indflydelse.

For det første er der en lang og indgroet tradition for at skille teknikerens konstruktionsproblemer og brugerens driftsproblemer i to adskilte verdener. Når et anlæg er bygget, og det er konstateret, at brugeren ved rimelig træning er i stand til at betjene det, er konstruktørens ansvar ophørt, og det er brugerens

problem, om personalet fremover "gør sig tilstrækkelig umage" for at betjene anlægget korrekt. Fejlbetjening klassificeres herefter som "menneskelige fejl", "operatorfejl", der må afhjælpes ved at indskærpe instrukser og procedurer, forbedre træningen eller øge motivationen.

Et spørgsmål er imidlertid, om personalet er i stand til at betjene anlægget korrekt, et andet om det vil fortsætte med det i lange perioder. Der er for tiden en hastigt stigende erkendelse af, at denne traditionelle holdning ikke løser problemet, og at mennesket er en systemkomponent med en stor, naturlig - indbygget - variabilitet i sine reaktioner, og at sikkerheden kun kan opnås, når konstruktionerne udformes således, at der gives tilstrækkelig margin for denne uundgåelige kilde til uforudsete ændringer.

Rigby (1969)

Swain (1973)

Dette har forbindelse med det andet forhold, der betinger den fundne ensartethed, og som vel i og for sig er forklaringen på ovennævnte holdning.

Når en teknisk komponent eller anlægsdel ændrer sin funktion på grund af fejl, er antallet af alternative funktionsmuligheder begrænset og kan forudses af konstruktøren, der derfor kan tage sine forholdsregler. Det samme er ikke tilfældet for menneskelige fejloperationer i mere komplicerede funktioner - f.eks. diagnoseopgaver eller komplicerede arbejdssekvenser, på grund af menneskets opfindsomhed og fleksibilitet.

Man kan derfor vente, at menneskelige fejl i normale arbejdssituationer har større mulighed end de mere trivielle fejl for at indlede et egentligt uheld. Dette synspunkt støttes af, at de menneskelige fejl kun bidrager med ca. 10% i en statistik der omfatter 8000 store og små fejltilfælde i forbindelse med drift af engelske reaktorer (Ablitt, 1969, personlig oplysning.), medens de i ovennævnte statistikker over større uheld bidrager med 50-70%.

## 12. KONKLUSION.

Ovenstående betragtninger fører til følgende konklusioner:

- Det er muligt - og nødvendigt - at formulere en generel struktur i ulykkers anatomi og bekæmpelse og dermed en oversigt over de nødvendige forholdsregler og analysemetoder.
- Der er i tiden en hurtig udvikling af metoder og kriterier, der realistisk kan føre til anvendelse af "kalkuleret risiko" som design-parameter.
- Skal forhåndsvurdering af risici blive dækkende og dermed realistisk, og skal strenge krav kunne verificeres, er en udvikling især nødvendig på følgende områder:
  1. Metoder til kontrol af konsistensen i konstruktørens analyser og forholdsregler.

2. Metoder til vurdering og udformning af arbejdsprocedurer og -instruktioner for driftspersonalet, specielt opgaver som tests, vedligeholdelse og reparation; metoder der kan sikre, at foreskrevne, sikre, arbejdsprocedurer vil blive fulgt.
3. Metoder til vurdering og forbedring af driftspersonalets mulighed for en sikker identifikation af arbejdsopgaverne i unormale arbejdssituationer.

## REFERENCER

- Beattie, J.R. og Bell, G.D.1 A possible Standard of Risk for Large Accidental Releases. I.A.E.A. Symposium on Principles and Standards of Reactor Safety. STI/PUB/342 Februar 1973
- Cornell, C.E., Minimizing Human Errors Space Aeronautics 1968, Vol. 49, Marts, PP. 72-81
- Farmer, R.F., Development of Adequate Risk Standards I.A.E.A. Symposium on Principles and Standards of Reactor Safety. STI/PUB/342 Februar 1973
- Gibson, James J., "Contribution of Experimental Psychology to, Formulation of Problem of Safety". Behavioral Approaches to Accident Research. Assn for the Aid of Crippled Children. 1961
- Haddon, William Jr. "The Prevention of Accidents." Preventive Medicine. Little, Broæn. 1966
- Johnson, G., The Management Oversight and Risk Tree MORT USÆC.-SAN 821-2, UC-41. Februar 1973
- Morris, P.A. og Engelken, R.H., Safety Experience in The Operation of Nuclear Power Plants. I.A.E.A. Symposium on Principles and Standards of Reactor Safety. STI/PUB/342 Februar 1973
- Nielsen, D.S., The Cause/Consequence Diagram Method as a Basis for Quantitative Accident Analysis. Riso-M-1374 (1971)
- Oven H., Inspection Service - Vital Factor in Securing Maximum Plant Reliability. Proc. Am. Power Con-f. 1969:31.
- Powers G.J. and Tompkins F.C., Computer-Aided Synthesis of Fault Trees for Complex Processing Systems. NATO Conference on Generic Techniques in Systems Reliability Assessment. Liverpool (1973)-
- Rasmussen, J., Man-Machine Communication in the Light of Accident Records. IWE-GMMS, ERS International Symposium on Man-Machine Systems. Cambridge, 1969,
- Rasmussen, J., The Role of the Man-Machine Interface in Systems Reliability. NATO Conference on Generic Techniques in Systems Reliability Assessment. Liverpool (1973)
- Rigby, L.V., The Nature of Human Error. SC-DC-69-2062 (1969)
- Scott, R.L., A Review of Safety Related Occurrences in Nuclear Power Reactors From 1967-1970. ORNL-TM-3435 May 1971
- Siddall, Ernest, Statistical Analysis of Reactor Safety Standards. Nucleonics, Vol. 17, No. 2, Februar 1959, pp. 64-69
- Starr, Chauncey, Social Benefit versus Technological Risk Science, Vol. 165, 19 September 1969 pp. 1232-1238
- Swain, A.D., Design Techniques for Improving Human Performance in Production. Industrial and Commercial Techniques Ltd, London 1973