



SINTEF Teknologiledelse
Sikkerhet og pålitelighet

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: S P Andersens veg 5
7031 Trondheim
Telefon: 73 59 27 56
Telefaks: 73 59 28 96

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

Katastrofepotensialet ved uønskede hendelser innen transport; hvilke faktorer avgjør om en hendelse utvikler seg til en storulykke

FORFATTER(E)

Erik Jersin

OPPDRAGSGIVER(E)

Norges Forskningsråd, Risiko og Sikkerhet i Transport - RISIT

RAPPORTNR. STF38 A04411	GRADERING ÅPEN	OPPDRAGSGIVERS REF. Halvdan Buflod	
GRADER. DENNE SIDE ÅPEN	ISBN 82-14-02-729-2	PROSJEKTNR. 384596.01	ANTALL SIDER OG BILAG 33
ELEKTRONISK ARKIVKODE S:\3840\AVS\384596\SINTEF RAPPORT endlig.doc		PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Erik Jersin	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Snorre Sklet
ARKIVKODE	DATO 2004-04-30	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Lars Bodsberg, forskningssjef	

SAMMENDRAG

Rapporten drøfter hvilke faktorer som er mest avgjørende for om uønskete hendelser innen de ulike transportområdene vil utvikle seg til storulykker (katastrofer) eller ikke. De transportområdene som dekkes er luftfart, sjøfart, vegtrafikk og jernbane, inklusive sporvei og T-bane.

Rapporten er utarbeidet som et delprosjekt under hovedprosjektet *Store ulykker innen transport; forekomst, læring, forebygging*. Dette inngår i Norges forskningsråds FoU-program Risiko og sikkerhet i transport (RISIT). Hovedprosjektet utføres i et samarbeid mellom Transportøkonomisk institutt (TØI) og SINTEF Teknologiledelse.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Transport	Transport
GRUPPE 2	Sikkerhet	Safety
EGENVALGTE	Transportsikkerhet	Transport Safety
	Ulykker	Accidents
	Storulykker	Major accidents

INNHALDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG OG HOVEDKONKLUSJONER.....	3
1 Innledning	4
2 Prosjekt målsetning	4
3 Definisjoner	4
4 Bakgrunn	5
4.1 80 % av storulykkene i Norge skjer innen transportsektoren.....	5
4.2 Samfunnet er sårbart overfor storulykker innen transport.....	8
4.3 Minkende toleranse for storulykker	8
5 Noen perspektiver på ulykker	9
5.1 Ulike typer ulykker innen transportområdene.....	9
5.2 Energimodellen	11
5.3 Energi-/barrieremodellen.....	12
5.3.1 Hva er en (sikkerhets)barriere	13
5.4 Eksempel på bruk av Prosess-/barrieremodellen	17
5.5 ”Normalulykker”, ”systemulykker”, ”organisatoriske ulykker”	19
5.6 Barrierenes kvalitet – ”Forsvar i dybden”	21
6 Casebeskrivelser.....	23
6.1 Hvorfor utviklet grunnstøtingen av MS Sleipner seg til en storulykke.....	23
6.2 Hvorfor utviklet ikke nærpasingen over Meråker i 1997 seg til en storulykke	25
6.3 Hvorfor forårsaket Lillestrøm-ulykken i 2000 bare materielle skader.....	26
6.4 Hvorfor omkom 2 personer ved sammenstøt mellom en lastebil, en personbil og en buss ved Svorkmo i Orkdal 1995	28
7 Oppsummering og hovedkonklusjoner.....	30
Referanser.....	31

SAMMENDRAG OG HOVEDKONKLUSJONER

Rapporten drøfter hvilke faktorer som er mest avgjørende for om uønskete hendelser innen de ulike transportområdene vil utvikle seg til katastrofer (storulykker, store ulykker) eller ikke. Storulykke er her definert som hendelser som krever minst 5 omkomne eller store materielle skader eller miljøskader. De transportområdene som dekkes er luftfart, sjøfart, vegtrafikk og jernbane/sporvei/T-bane.

Statistisk skiller områdene seg fra hverandre, idet luftfarten og sjøfarten har både flest storulykker og flest omkomne i storulykker i Norge de siste 30 årene. Der nest kommer vegtrafikken, mens jernbanen har færrest storulykker og omkomne. Forskjellen mellom transportområdene er beskrevet og illustrert i form av enkle tabeller og diagrammer.

Rapporten drøfter problemstillingen i lys av ulike perspektiver på ulykker og ulike modeller for hvordan de oppstår og utvikler seg, foruten hvordan hendelsesforløpet kan avbrytes.

Oppsummert kan det sies at det ikke først og fremst er typen uønsket hendelse som er avgjørende for utfallet. Både årsaken til ulykker og konsekvensene påvirkes i større grad av bestemte egenskaper eller kjennetegn ved det systemet som hendelsen inntreffer i. Med "system" menes her kombinasjonen av teknologi, menneske, organisasjon og ytre forhold. Størst potensiale for å utvikle seg til en storulykke har således hendelser som inntreffer i systemer som er karakterisert ved ett eller flere av følgende faktorer eller særtrekk:

- Store energikonsentrasjoner
- Høy utløsningshastighet av energien
- Mange sårbare objekter
- Manglende "forsvar i dybden"
- Liten feiltoleranse
- "Tette koblinger"
- Uheldige omstendigheter av tilfeldig art.

De nevnte faktorene vil være felles for de fire transportområdene, men vekten vil være ulik.

I lys av de ulike ulykkesperspektivene og -modellene drøfter rapporten til slutt et konkret eksempel på en inntruffet ulykke eller alvorlig hendelse innen hvert transportområde. Det dreier seg om havariet av hurtigbåten MS Sleipner i 1999, nærpaseringen av to fly over Meråker i 1997, Lillestrøm-ulykken i 2000 og en alvorlig veitrafikkulykke i Orkdal 1995. Helt til slutt gjøres en grov kvalitativ sammenligning av potensialet for at storulykker realiseres innen de respektive områdene.

1 Innledning

Prosjektet ”Store ulykker innen transport; forekomst, læring, forebygging” inngår i FoU-programmet Risiko og sikkerhet i transport (RISIT), som er organisert under Norges forskningsråd. Prosjektet utføres i et samarbeid mellom Transportøkonomisk institutt (TØI) og SINTEF Teknologiledelse. Denne rapporten omhandler den ene av de to hovedproblemstillingene som skal drøftes.

2 Prosjekt målsetning

Målsetningen med hovedprosjektet er å drøfte to problemstillinger (jf. Revidert prosjektsøknad av 2003-04-14 fra TØI til RISIT):

1. Hva er beste anslag på den langsiktige hyppigheten av store ulykker knyttet til transportvirksomhet?
2. Hvilke hendelser har størst potensial for å utvikle seg til store ulykker, selv om de ikke nødvendigvis ender som det? Underliggende spørsmål til dette er:
 - a. Kan muligheten for at en gitt hendelse (en hendelse med gitte egenskaper) utvikler seg til en katastrofe tallfestes?
 - b. Kan de viktigste faktorene som påvirker muligheten for at en ulykke utvikler seg til en katastrofe identifiseres?

Denne rapporten omhandler hovedproblem 2 og det underliggende spørsmål b. Hensikten med rapporten er dermed å drøfte hvilke typer hendelser innen transport som har størst potensial for å utvikle seg til store ulykker (katastrofer) og hvilke faktorer er mest avgjørende for at dette skjer.

3 Definisjoner

Så vidt vites, finnes det ikke entydige standard definisjoner på begreper som ”større ulykke”, ”stor ulykke” (eng.: *major accident*) eller ”katastrofe”. Vi har her valgt samme definisjon som (Jersin, 2003);

Storulykke (stor ulykke):

En plutselig, ikke villet hendelse¹ som tilfredsstillende minst ett av følgende kriterier:

- fem omkomne eller flere
- materielle skader for ca. 30 mill. kroner eller mer
- store natur- eller miljøskader (vurderes fra sak til sak).

Av andre viktige termer som er benyttet i denne rapporten, kan nevnes følgende:

Ulykke: Akutt, ikke planlagt hendelse som har forårsaket tap av menneskeliv, alvorlig personskade, alvorlig miljøskade eller betydelig materiell skade.

¹ Dvs. unntatt sabotasje- og terrorhandlinger, ildspåsettelse, selvmordsaksjoner o.l

Alvorlig hendelse (ulykkestilløp / nestenulykke / "near miss"): Akutt, ikke planlagt hendelse som kunne ha ført til ulykke (s.d.), men der hendelseskjeden ble avbrutt før tap eller skade inntraff.

Avvik:

Mangel på oppfyllelse av krav. (NS-EN ISO 9000:2000)

Sårbarhet:

Et uttrykk for de problemer et (transport-)system vil få med å fungere når det utsettes for en uønsket hendelse, samt de problemer systemet får med å gjenoppta sin virksomhet etter at hendelsen har inntruffet. (NOU 2000: 24)

Barriere / sikkerhetsbarriere:

Tekniske, operasjonelle, organisatoriske eller andre planlagte og iverksatte tiltak som har til hensikt å bryte en identifisert uønsket hendelseskjede.

4 Bakgrunn

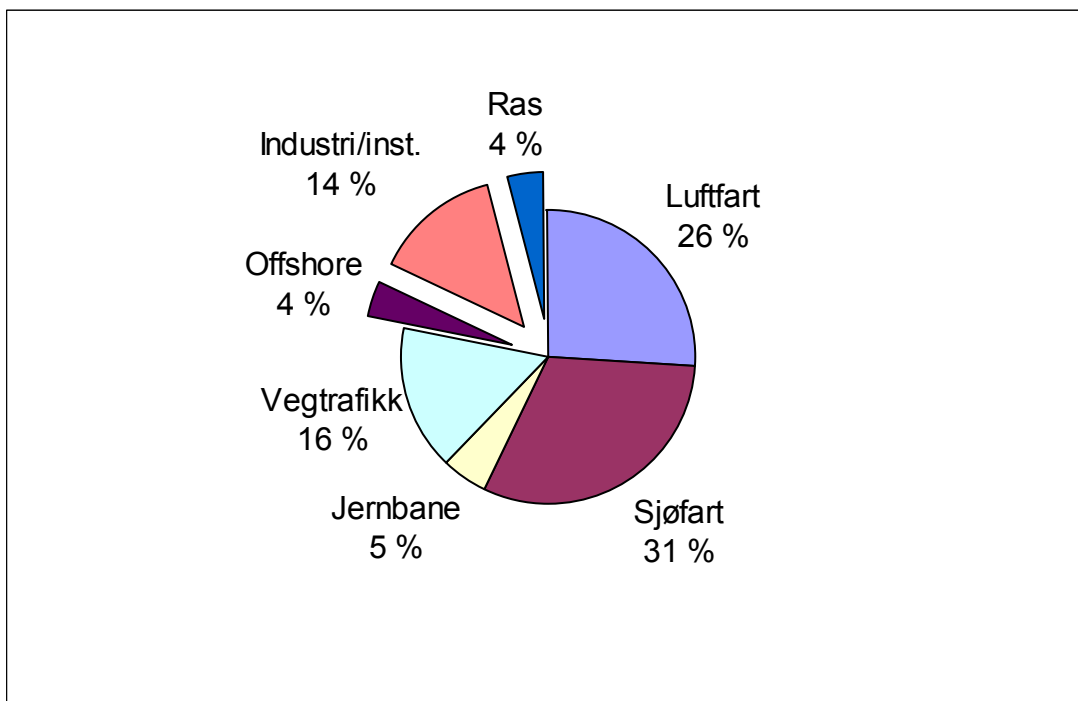
I dette kapitlet beskrives noe av bakgrunnen for at de nevnte problemstillingene er reist i prosjektsøknaden. Det påpekes at hoveddelen av storulykkene i Norge skjer innen transportsektoren, at samfunnet har en økende sårbarhet overfor enkelte typer hendelser, og at befolkningen generelt i stadig mindre grad aksepterer at store ulykker skjer - særlig hvis ingen blir stilt til ansvar.

4.1 80 % av storulykkene i Norge skjer innen transportsektoren

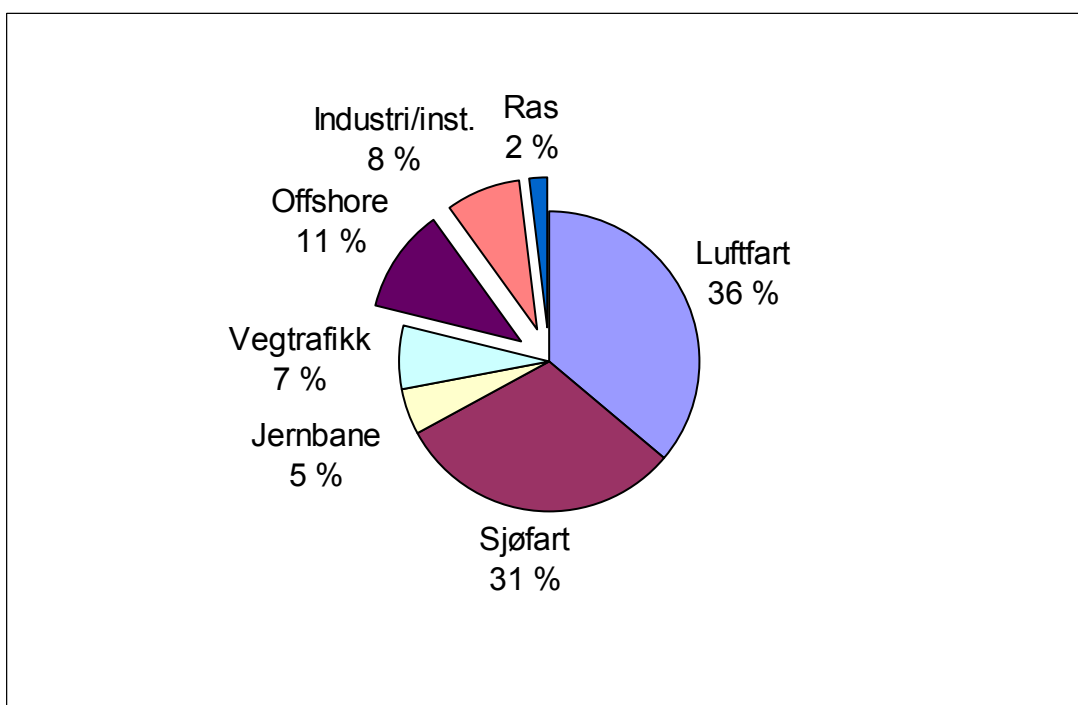
En analyse av de storulykkene som inntraff i Norge i perioden 1970 til og med 2001, viser at det i alt skjedde 80 slike med til sammen 1.174 omkomne (Jersin, 2003). Nær 80% av disse ulykkene skjedde innen transportsektoren, fordelt på områdene luftfart (26%), sjøfart (31%), vegtrafikk (16%) og jernbane (5%), [figur 1](#). (De resterende ca. 20% inntraff innen offshorevirksomheten, industri, institusjoner og i form av rasulykker.) Videre er det interessant å merke seg at transportsektoren også svarte for den samme prosentandelen (ca. 80%) av det antall mennesker som omkom i storulykker, [figur 2](#). De materielle skadene er det vanskelig å skaffe oversikt over.

Hvis en ser nærmere på hvordan de enkelte ulykkene fordeler seg med hensyn til antall omkomne, finner en - ikke så overraskende - at noen få enkeltulykker har et betydelig større omfang enn det store gross, [figur 3](#). Således svarte én storulykke innen sjøfart, én innen jernbane og fire innen luftfart for til sammen 50% av antall omkomne². I hver av de resterende transportulykkene omkom det maksimum 20 mennesker.

² De seks ulykkene er brannen i "Scandinavian Star" 1990, togulykken ved Tretten 1975, flyulykken på Svalbard 1996 (flyet var russisk, men ulykken inkluderes i offisiell norsk statistikk fordi den skjedde på norsk territorium), Partnair-ulykken 1989, Brønnøysund-ulykken 1988, og flyulykken i Asker 1972.

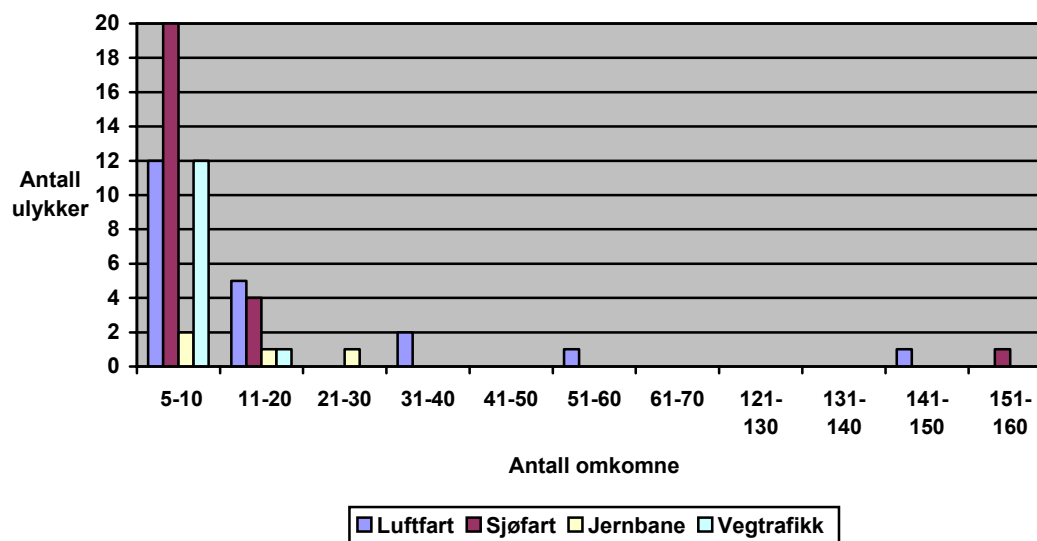


Figur 1 Fordeling av storulykker i perioden 1970-2001 ut fra antall storulykker. (Jersin, 2003)



Figur 2 Fordeling av storulykker i perioden 1970-2001 ut fra antall omkomne i storulykker. (Jersin, 2003)

Transportsektoren



Figur 3 Antall omkomne i storulykker i transportsektoren 1970-2001, fordelt på de enkelte transportområdene. (Jersin, 2003)

Gjennomsnittlig antall omkomne per storulykke fordeler seg med mellom 6 og 20 på den enkelte transportområdene, [tabell 1](#).

Tabell 1 Storulykkene i Norge 1970-2001, fordelt på de enkelte transportområdene (Jersin, 2003)

Transportområde	Antall omkomne i storulykker	Antall storulykker	Omkomne per storulykke (avrundet)
LUFTFART	423	21	20
SJØFART	360	25	14
VEGTRAFIKK	83	13	6
JERNBANE	56	4	14
Sum/ gj.snitt:	922	63	15

En tilsvarende undersøkelse av storulykker på verdensbasis i perioden 1991-2003 er utført av (Guro Rausand, 2003). Denne undersøkelsen omfatter imidlertid bare luft-, sjø- og jernbanetransport. Dersom datagrunnlaget fra Norge korrigeres slik at prosenttallene for disse transportområdene (figur 1 og 2) blir sammenlignbare med tallene på verdensbasis, finner en at luft- og sjøfartsulykker dominerer bildet både i Norge og resten av verden. På verdensbasis svarer imidlertid jernbaneulykker for en betydelig større andel både av antall ulykker (26 % på verdensbasis, mot 8% i Norge) og antall omkomne (19 % på verdensbasis, mot 7% i Norge). Hoveddelen av store jernbaneulykker - cirka halvparten - skjer i Asia.

4.2 Samfunnet er sårbart overfor storulykker innen transport

Innen luftfarten er trenden både i Norge og på verdensbasis at antall alvorlige ulykker har gått relativt jevnt nedover de siste 10 – 20 år. På den annen side bygges det stadig større fly. Konsekvensene av en enkelt flyulykke, dersom den inntreffer, kan derfor forventes å øke, både med hensyn til antall omkomne og omfanget av materielle skader. Skrekkscenariet har i mange år vært at to jumbojets kolliderer i lufta over en storby. Tilsvarende bygges det stadig større passasjerskip og ferger, innen vegtransporten øker lastebilenes størrelse og lastevne, og innen jernbane innføres det krengetog som opereres i stadig høyere hastigheter. Økt bruk av avansert teknologi som antikollisjonssystemer for fly og bil, automatisk togstopp, avanserte navigasjonssystemer for fly og skip, forbedret teknologi i kontrollsentraler for fly og tog osv., kan redusere sannsynligheten for ulykker. Men hvis ulykken først inntreffer, vil i mange tilfelle konsekvensene være betydelig større i dag og i fremtiden enn tidligere. Det er altså ikke gitt at ulykkesrisikoen reduseres selv om sannsynligheten for enkelte typer ulykker går ned. Risikoen (R) er som kjent en kombinasjon av sannsynligheten (P) og konsekvensen (K).

Sett i perspektiv kan det være grunn til bekymring over at samfunnet i dag er blitt svært sårbart overfor enkelte typer ulykker. Dette er bl.a. påpekt i innstillingen fra det norske Sårbarhetsutvalget ("Willoch-utvalget"; NOU 2000: 24 *Et sårbart samfunn*). Utvalget påpeker at transportsektoren har et stort potensiale for storulykker, innen både sjø-, fly-, jernbane- og vegtrafikk. I tillegg til konsekvensene for de direkte involverte i en storulykke, foreligger det en betydelig risiko for uheldige ringvirkninger for tredjeperson og samfunnet. Et eksempel på dette er togkollisjonen ved Lillestrøm stasjon 5. april 2000. Et tog med to tankvogner lastet med til sammen 90 tonn flytende propan kjørte inn i et stillestående togsett på grunn av mangler ved bremsene. Det oppsto lekkasje, og propanen ble antent. Etter hvert som temperaturen i tankene steg på grunn av brannen, oppsto det en akutt fare for en kraftig eksplosjon og utvikling av en såkalt brannball (*Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion - BLEVE*³). Effekten av en brannball er en kombinasjon av en kraftig trykkbølge og meget sterk varmestråling. Ca. 2000 mennesker ble derfor evakuert fra den beregnede skadesonen. Utviklingen av brannball ble imidlertid avverget nærmest i siste minutt ved at brannvesenet lyktes å kjøle ned tankene tilstrekkelig til at avbrenningen av propangass kunne skje i kontrollerte former. Den etterfølgende granskningen konkluderte med at dersom en ikke hadde lyktes med dette, ville resultatet vært at store deler av Lillestrøm sentrum hadde blitt lagt i ruiner (NOU 2001: 9 *Lillestrøm-ulykken 5. april 2000*).

4.3 Minkende toleranse for storulykker

Kanskje med unntak av enkelte typer naturkatastrofer synes borgerne i dagens samfunn generelt mindre villige til å akseptere at alvorlige/store ulykker inntreffer fra tid til annen. Dette gjelder ikke minst innen kollektivtransport. I kjølvannet av store ulykker oppstår det gjerne raskt sterke krav om handling for å hindre gjentakelser. Slike krav rettes oftest til myndighetene og kan spenne over et vidt spekter, fra endringer i regelverket eller tilsynsordningene til bedre sikring av bilveier, skipsleder, tunneler og innflygingstraséer, styrking av brann- og redningstjenesten osv.

Det synes også å være en tendens til at allmennheten stiller seg mer skeptiske til resultatene fra granskinger og er mindre villige enn tidligere til å akseptere at ingen påtar seg skylden og eventuelt straffes når store ulykker inntreffer. I de senere årene kommer dette tydelig fram når en ser reaksjonene fra de pårørende, f.eks. etter grunnstøtingen med hurtigbåten M/S Sleipner 26.

³ Ref. Lees, F. P.: *Loss Prevention in the Process Industries*, p. 589

november 1999, havariet av tråleren ”Utvik Senior” 17. februar 1978 og flyulykken utenfor Mehamn i 1982. I tilfellet med ”Sleipner” ble både kapteinen og rederiet frifunnet i første instans (Sunnhordaland Tingrett 2002-11-11), til tross for at retten reiste til dels sterk kritikk mot begge parter. Frikjennelsen førte til at representanter for pårørendegruppen gikk hardt ut i media og krevde ny rettssak. Riksadvokaten grep inn og i ankesaken (Gulating lagmannsrett 2003-12-05) ble kapteinen dømt til betinget fengsel i 6 måneder. I de to andre tilfellene (”Utvik Senior” og Mehamn) har de pårørendes støttegrupper erklært så høylytt mistro til resultatet av de granskningene som er iverksatt, at myndighetene lot seg presse til å gjennomføre nye granskinger. Årsakene til at slik mistro oppstår kan bunne i flere forhold. Enkelte ganger kan det være mistanke om at noen har hatt noe å skjule og at hele sannheten derfor ikke har kommet fram (jf. MS Utvik seniors forlis og brannen i MS Scandinavian Star 1990). I noen tilfelle kombineres slike mistanker med påstander om inhabilitet i granskingskommisjonen (jf. bla. granskningen av ”Estonia”-ulykken, 1994). Andre ganger kan det være at enkeltpersoner ut fra ulike motiver lanserer mer eller mindre fantasifulle teorier om årsaksforholdene. Etter havariet med oljeplattformen ”Alexander L. Kielland” i 1980 oppsto det for eksempel hårdnakkede påstander om sabotasje, til tross for at dette gjentatte ganger ble tilbakevist fra flere uavhengige eksperter.

Et annet eksempel på at opinionen ikke slår seg til ro med de offisielle årsaksforklaringene er Mehamn-ulykken i 1982. Fra denne ulykken foreligger det ikke mindre enn tre granskingsrapporter, i tillegg til et eget, omfattende skriv fra den faste havarikommisjonen, med kommentarer til fremsatte påstander. Likevel lot myndighetene og politikerne seg presse til å nedsette en ny, uavhengig granskingskommisjon, ikke mindre enn 20 år etter ulykken. Denne kommisjonen skal granske alle sider ved saken på nytt. Fordi det er gått så lang tid etter ulykken, kan en selvsagt reise spørsmål om det ligger noen læringseffekt av betydning i en slik granskning, nær sagt uansett hvilket resultat en kommer fram til. Det er nærliggende å tro at det mest er behovet for å skape ro om saken som ligger bak, når myndighetene er villige til å ofre ikke ubetydelige nye ressurser i en slik sak.

Fra utlandet er den såkalte Ustica-ulykken en parallell til Mehamn-saken. I 1980 styrtet et italiensk DC-9 fly i havet utenfor Italia og alle 81 ombord omkom (”*The Ustica accident*”). Aviser i USA, England og Italia gikk relativt raskt ut med teorier og påstander om at flyet var skutt ned av jagerfly fra henholdsvis Italia, US Navy, Libya, Israel og Russland. Påstander om omfattende dekkoperasjoner og lignende holdt seg i 18 år, til tross for at hele fem granskingskommisjoner, hvorav én med internasjonal sammenheng, konkluderte med at det ikke fantes bevis for noe slikt (Taylor, 2003).

5 Noen perspektiver på ulykker

I dette kapittel gis først en oversikt over hvilke typer ulykker en har innen de ulike transportområdene. Deretter gis en oversikt over de mest kjente teoriene for hvordan ulykker utvikler seg, og hvordan hendelsesforløpet kan stanses gjennom etablering av det som i dag ofte benevnes som sikkerhetsbarrierer.

5.1 Ulike typer ulykker innen transportområdene

Generelt kan ulykker klassifiseres og grupperes etter mange dimensjoner. Mest vanlig er følgende (Hovden, Sklet og Tinmannsvik, 2004):

- *Arena:* hjem- og fritidsarenaer, arbeid, trafikk.
- *Aktivitet:* gå, løpe, klatre, sveise, dykke, sage, skjære, etc.
- *Fenomen:* fall, brann, eksplosjon, kollisjon, etc.

- *Skade/konsekvens*: personskade, død, materiell skade, miljøskade, tapte omdømme, mv.

Innen førstnevnte gruppe opererer de ulike transportområdene med hver sine mer eller mindre standardiserte hovedtyper ulykker. Grovt sett er disse følgende:

Luftfart:

- Ulykke under take-off eller landing
- Systemsvikt i underveisfasen
- Kontrollert flyging inn i terreng, kraftledning eller annen hindring (*Controlled Flight into Terrain – CFIT*)
- Kollisjon i luften (*Mid Air Collision – MAC*)
- Skade på personell i eller utenfor flyet
- Andre (lynneslag, ising, ekstrem turbulens o.l.).

Vegtrafikk:

- Kollisjon mellom motorkjøretøy
- Påkjørsel av fotgjenger eller sykkel
- Ulykker med enslig kjøretøy (utforkjøring, velt)
- Annet (brann / eksplosjon ved transport med farlig gods mv.)

Jernbane/sporvogn (Jernbaneverket, 2001):

- Avsporing
- Sammenstøt (tog mot tog, tog mot objekt)
- Brann
- Passasjerer skadet på plattform
- Personer skadet ved plattform
- Personer skadet i og ved spor

Sjøfart:

- Kollisjon
- Grunnstøting
- Kantring
- Lekkasje inkl. synking
- Brann / eksplosjon.

Statistisk vet en at enkelte ulykkestyper har større sannsynlighet for å gi store konsekvenser enn andre. Innen luftfarten vil for eksempel ulykker under take-off eller landing, CFIT og kollisjon i luften, oftere resultere i totalhavari med mange omkomne enn de andre ulykkestypene. Alle ulykkestypene vil imidlertid i prinsippet kunne medføre store eller små konsekvenser. For eksempel vil kollisjoner i vegtrafikken eller jernbanen enkelte ganger føre til minimale skader (bulker) og andre ganger til katastrofer (kjedekollisjon på veg, togkollisjoner av type Åsta osv.). Generelt vil altså ikke typen ulykke fortelle oss så mye om potensialet for at ulykken blir en storulykke. For å kunne forklare hva som avgjør dette, er det mer hensiktsmessig å benytte seg av modeller eller teorier for hvordan ulykker oppstår og utvikler seg.

5.2 Energimodellen

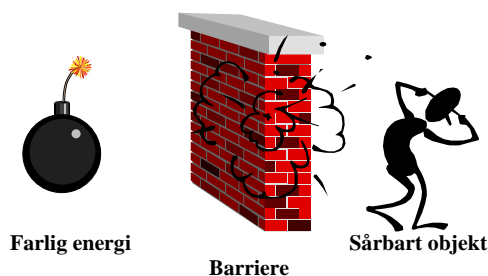
I 1961 lanserte Gibson den såkalte Energimodellen i et forsøk på å forklare hvordan og hvorfor ulykker skjer. Enkelt sagt mente Gibson at ulykker skyldes at energi i en eller annen form kommer ut av kontroll. Hvorvidt energien vil føre til skader eller ikke, avhenger av hvilken beskyttelse som finnes mellom energikilden og de menneskene eller det materiellet som er utsatt, samt av menneskekroppens eller materiellets motstandskraft mot påvirkningen. Tabell 2 gir eksempler på ulike former for energi som kan skade mennesker og materiell hvis den kommer ut av kontroll. Merk at Tabell 2 ikke gir full oversikt over mulige dødsårsaker. For eksempel fremkommer ikke drukning og kveling som dødsårsaker ved denne fremstillingsformen.

Tabell 2 Eksempler på ulike former for energi som kan komme ut av kontroll og forårsake ulykker

Type energi	Mulige årsaker til utløsning av energien (eksempler)	Mulig skade (dødsårsak)
Varmeenergi / termisk energi	Brann, overheting	Akutte brannskader
Strålingsenergi	Brann, overheting, lyskilder (UV-stråling), radioaktivt materiale, elektromagnetisk apparatur (radio/TV, radar, mobiltelefon, kraftlinjer etc.)	Akutte strålingsskader. Langsiktige skader på vev, arveanlegg, m.v.
Trykkenergi, slagenergi (mekanisk energi)	Eksplasjon (sprengstoff, trykktanker/-rør), sammenstøt / kollisjon, akselerasjon, retardasjon	Akutte vev- og bruddskader, knusningsskader. Skader på indre organer.
Fallenergi (mekanisk energi)	Fall, fallende gjenstander	Akutte vev- og bruddskader. Skader på indre organer.
Kjemisk energi	Etsende væske, blanding av væsker/stoffer (f.eks. magnesium og vann), giftige faste stoffer, gass, bakterier, virus	Akutte vevskader. Skader på indre organer.
Elektrisk energi	Overledning / overslag	Brannskader. Skader på indre organer.

5.3 Energi-/barrieremodellen

Haddon (1970, 1980) populariserte Gibsons modell og lanserte det som i dag gjerne benevnes energi-/barrieremodellen, [figur 4](#).



Figur 4. Energi-/barrieremodellen (etter Haddon, 1980).

Etter energi-/barrieremodellen oppstår ulykker når skadelig energi overføres ukontrollert til et sårbart mål. Haddon formulerte 10 mulige strategier for å unngå ulykker eller redusere omfanget av skaden. Disse kan komprimeres til tre hovedstrategier (Gibson, 1961; Haddon 1970; 1980):

- i. unngå eller redusere oppbygning av farlige energier
- ii. innføre fysiske, tekniske eller administrative midler (barrierer) som kan hindre slike energier i å gjøre skade på sårbare objekter
- iii. øke objektets motstandskraft.

Dersom vi snur på problemstillingen, kan en si at etter energi-/barrieremodellen vil følgende faktorer være avgjørende for om en hendelse får små konsekvenser eller utvikler seg til en stor ulykke:

- a. Hvor store energimengder er bygget opp
- b. Hvor farlige egenskaper har energien
- c. Hvor lett kan energien utløses (utilsiktet)
- d. I hvilken grad kan energi ute av kontroll utløse annen farlig energi (skape kjedereaksjon)
- e. I hvilken grad vil energien kunne avledes fra objektet
- f. Hvor nær står energikilden og objektet hverandre (i tid eller rom)
- g. I hvilken grad kan objektet unnvike den utløste energien
- h. Hvilke barrierer finnes mellom energikilden og objektet (antall og kvalitet)
- i. Hvor effektivt fungerer skadebegrensningen (redningsapparatet, førstehjelpen, etterbehandlingen).

Disse faktorene er utdypet senere i rapporten. La oss imidlertid først se litt nærmere på barrierebegrepet.

5.3.1 Hva er en (sikkerhets)barriere

(Rosness et al, 2002) påpeker at termen *barriere* eller *sikkerhetsbarriere* lett kan gi assosiasjoner til konkrete, fysiske stengsler (brannvegger, branndører, kollisjonsputer o.l.). Som nevnt, finnes det imidlertid også andre typer barrierer, bla. det som i energimodellen kalles ”administrative midler”. Disse kan for eksempel omfatte spesielle prosedyrer for arbeid på strømførende anlegg eller systemer under høyt trykk, spesielle opplæringstiltak m.v.

Andre, bla. (DOE, 1997) skiller mellom kontrollbarrierer (”*control barriers*”) og sikkerhetsbarrierer (”*safety barriers*”), jf. MORT⁴-konseptet (United States Department of Energy, 1994). Kontrollbarrierene har her til hensikt å styre ønskede energistrømmer, mens sikkerhetsbarrierene skal styre uønskede energistrømmer. Innen jernbane faller for eksempel hjul og skinnegang inn under begrepet kontrollbarriere, mens automatisk togkontroll/togstopp (ATC) er en sikkerhetsbarriere.

Bla. etter at Oljedirektoratet (OD 2001) stilte eksplisitte krav om at operatørene på kontinentalsokkelen skal ha etablert og vedlikeholdt de nødvendige sikkerhetsbarrierer og ha oversikt over hvilke funksjoner de skal ivareta, har begrepet blitt gjenstand for fornyet diskusjon og tolkning. (Sklet, 2003) påpeker at det ikke finnes noen allment akseptert definisjon av begrepet i litteraturen. Ulike industrier, land og internasjonale/europeiske standarder benytter ulike termer med analog mening. Som eksempler kan nevnes forsvar (eng. *defence*), forsvar i dybden (*defence in-depth*) beskyttelseslag (*protection layer*), sikkerhetsfunksjon (*safety function*), sikkerhetskritisk funksjon (*safety critical function*) og sikkerhetskritisk element (*safety critical element*).

Med spesiell vinkling mot petroleumsvirksomheten har (Rosness et al, 2004) utdypet barrierebegrepet nærmere og foreslått følgende definisjon:

Barrierer er tiltak og funksjoner som er planlagt for å bryte et spesifisert uønsket hendelsesforløp.

For denne rapportens formål er vi valgt følgende definisjon av sikkerhetsbarriere:

Sikkerhetsbarrierer er tekniske, organisatoriske eller andre planlagte og iverksatte tiltak som har til hensikt å bryte en identifisert uønsket hendeskjede.

Det er viktig å merke seg at tiltakene skal være planlagt på forhånd og rettet mot påvirkning av helt bestemte, uønskede hendeskjeder eller hendelsesforløp (scenarier). De generelle elementene i et sikkerhetsstyringssystem, som for eksempel risikoanalyser, rapportering av uønskede hendelser og lignende, faller følgelig utenfor definisjonen. Det samme gjelder funksjoner eller tiltak som er nødvendige for at produktet, systemet eller prosessen i det hele tatt skal kunne produsere det ønskede resultatet. For eksempel er styringssystemet på en bil en nødvendig forutsetning for å kunne benytte bilen i vanlig trafikk. Hovedkomponentene (ratt, rattstamme, styresnekke, styrestag m.v.) er *sikkerhetskritiske*, i og med at en svikt i disse lett kan føre til ulykke. Definisjonen innebærer imidlertid at verken styrefunksjonen som sådan eller de nevnte komponentene er å betrakte som sikkerhetsbarrierer, med mindre det er bygd inn spesielle tilleggsfunksjoner – for eksempel ettergivende / delt / støtabsorberende rattstamme, airbag i rattet o.l. De sist nevnte funksjonene er utelukkende lagt inn for å avbryte uønskede hendeskjeder, i dette tilfellet ved en frontkollisjon.

⁴ MORT = Management Oversight and Risk Tree

Det samme resonnementet kan benyttes mht. *menneskets funksjon*. En tilfeldig busspassasjer som forhindrer en ulykke ved å gripe rattet når sjåføren får et plutselig illebefinnende, kan ikke benevnes som sikkerhetsbarriere. Men det kan flygere, sjømenn, lokførere og sjåførere, dersom de er opplært, instruert og øvet i å avbryte helt bestemte uønskede hendelsesforløp, for eksempel branntilløp.

(Rosness et al, 2004) fremhever at en ved utformingen av barrierer tradisjonelt har sett på mennesket som en mulig kilde til feilhandlinger og uforutsigbarhet;

”Enkeltindivider er feilbarlige, og menneskets kapasitet kan begrenses som følge av tidspress, utmatting og uvante situasjoner. Mennesket fremstår nærmest som en mislykket maskin. Gjennom automatisering og detaljerte operasjonsprosedyrer har man forsøkt å minimere og kontrollere menneskets bidrag som barriereelement.”

Det en da overser, er at mennesker også har en unik evne til improvisasjon og fleksibilitet til å takle ukjente situasjoner.

Foran er også nevnt begrepet sikkerhetsfunksjon (*safety function*, Sklet, 2003). Dette er funksjoner som, dersom de svikter, vil føre til en umiddelbar fare for ulykke. Eksempel på sikkerhetskritiske funksjoner i en bil er bremses og styring. I EU-prosjektet ARAMIS (Duijm et al, 2003) foreslås det å klassifisere sikkerhetsfunksjonene ved hjelp av fem handlingsverb (*Avoid – Prevent – Detect – Control – Protect*). I noe bearbeidet form og tilpasset vår problemstilling dreier det seg om at sikkerhetsfunksjoner kan klassifiseres etter hvilket formål de har:

* **ELIMINERE** alle potensielle årsaker til den uønskede hendelsen. For eksempel kan faren for drivstoffeksplosjoner helt unngås dersom bensindrift erstattes av elektrisk drift. Det kan selvsagt diskuteres om denne type tiltak hører naturlig inn under barrierebegrepet. Når det er tatt med her, er det for helhetens skyld. Sett i sikkerhetsmessig perspektiv er tiltak som helt eliminerer muligheten for uønskede hendelser, åpenbart å foretrekke.

* **REDUSERE RISIKOEN** for uønskede hendelser, dersom de ikke helt kan unngås. For eksempel kan sannsynligheten for brann i transportmidler reduseres ved bruk av dieselmotor i stedet for bensinmotor. Heller ikke et slikt tiltak vil imidlertid falle naturlig inn under barrierebegrepet, kanskje bortsett fra på planleggings-/konstruksjonsstadiet. Brannhemmende materialer i tog, fly, skip og kjøretøy vil derimot falle inn under begrepet. Dette fordi disse tiltakene ikke er nødvendige for å kunne operere transportmidlet, men fordi de vil redusere sannsynligheten for brann og konsekvensen av brann.

* **AVDEKKE KRITISKE AVVIK** så raskt og effektivt som mulig gjennom varslingsystemer, f.eks. for brann, røykutvikling, overheting, unormale vibrasjoner, feil ved bremsesystemet, manglende lukking av dører, akustiske eller optiske varselsignaler ved kjøring mot rødt lys, underskridelse av minimumsavstander, osv. Slike tiltak kan helt klart kalles sikkerhetsbarrierer, så fremt de resulterer i handlinger med sikte på å gjenopprette normaltilstanden.

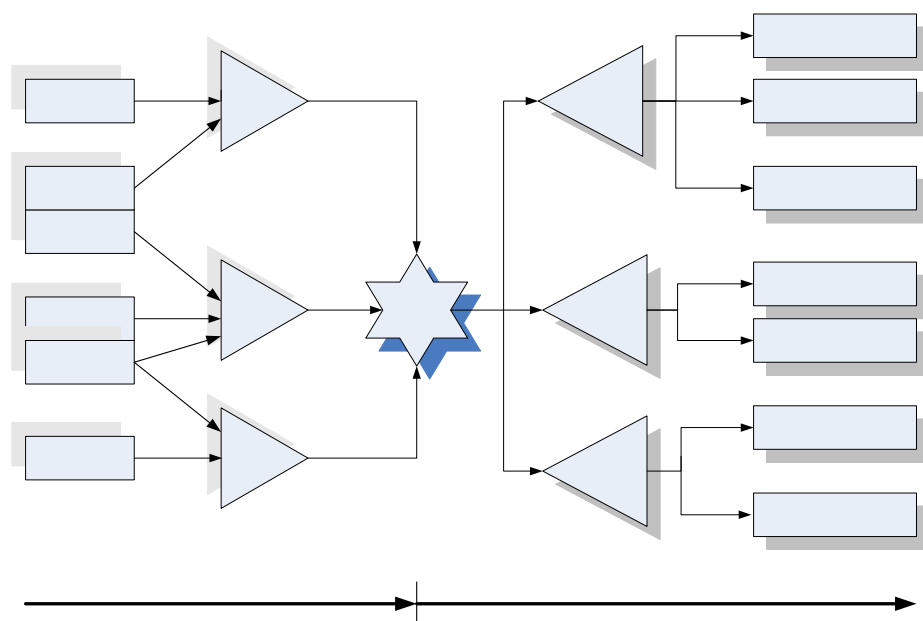
* **KORRIGERE** kritiske avvik før de fører til ulykke, dvs. gjenopprette normalsituasjonen gjennom å bringe avviket under kontroll. For eksempel vil automatisk togstopp (ATS / ATC) stanse toget dersom det kjører mot rødt lys uten tillatelse. For luftfartøy er det utviklet effektive

antikollisjonssystemer (*Airborne Collision Avoidance Systems - ACAS*)⁵, etter hvert også for skip og kjøretøy på vei. Automatiske bremsesystemer (ABS) for biler øker førerens mulighet for å svinge unna hindringer under panikkbremning, osv. Også her faller barrierebegrepet naturlig.

* **BESKYTTE** det sårbare objektet fra konsekvensene av ukontrollerte påvirkninger eller energistrømmer. For eksempel vil airbags, sikkerhetssele, støtabsorberende karosseri o.l. i biler redusere skadene på fører og passasjerer ved kollisjon og utforkjøring. Dette er tilleggsfunksjoner som ikke trengs for å kunne kjøre bilen, og de faller naturlig inn under barrierebegrepet.

Når sikkerhetsbarrierer skal planlegges, bør de enkelte tiltakene prioriteres i samme rekkefølge som de er nevnt ovenfor. Omvendt kan prioriteringen av barrierene i noen tilfelle være avgjørende for utfallet av den uønskede hendelsen, altså om hendelsen (avviket) utvikler seg til en alvorlig ulykke eller ikke. For eksempel ville det ut fra et rent sikkerhetsmessig synspunkt være feil prioritering å kreve at vegtrafikkantene skulle beskytte kroppen mot støtskader ved bruk av hjelm etc., fremfor å redusere risikoen for kollisjoner og utforkjøringer.

Et felles trekk ved de publiserte definisjonene av de foran nevnte termene er at sikkerhetsbarrierer forbindes med en fare eller hendelse og en energikilde. Ved analyse av sikkerhetsbarrierenes funksjon kan det derfor være hensiktsmessig å kombinere energi-/barrieremodellen med en modell over den aktuelle prosessen. Det hjelper oss til å se hvilke forutsetninger som har vært eller må være til stede for at et avvik skal kunne utvikle seg til en ulykke. Prosessmodellen kan illustreres som vist i figur 5.

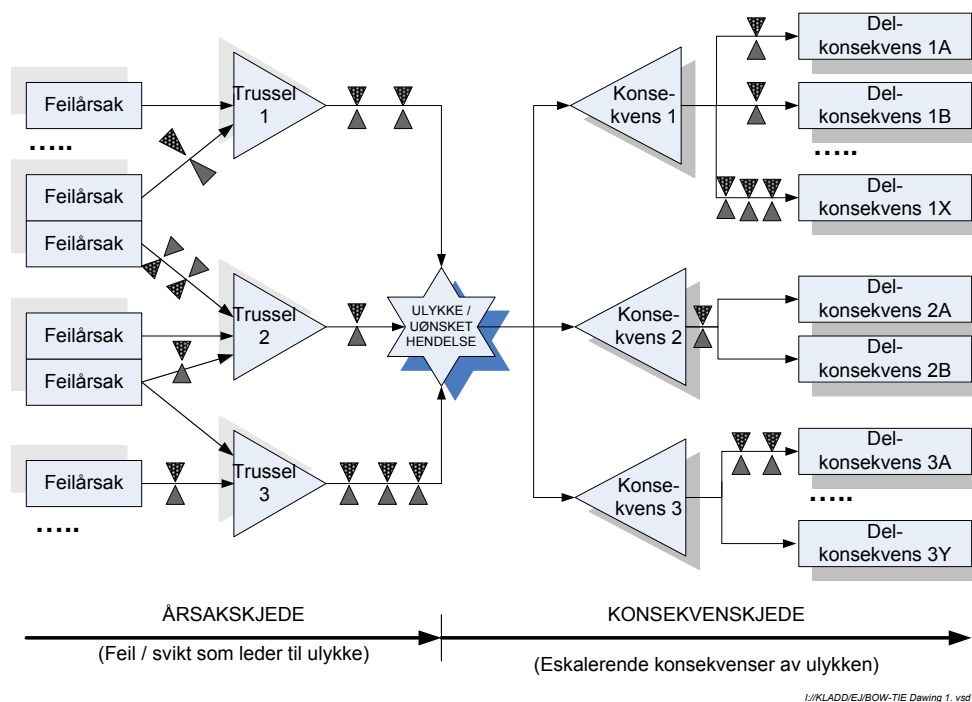


Figur 5 Prinsippmodell over en ulykkesprosess, fremstilt i form av et feilutviklingsdiagram (årsaks-/konsekvensdiagram, "Bow-Tie")

Venstre side av figur 5 viser hvilke årsaker som representerer mulige trusler i et system, og hvordan truslene vil resultere i en ulykke, dersom de realiseres. Høyre side viser hvordan hendelseskjeden kan utvikle seg etter at ulykken har inntruffet. Barrierene blir da de faktorene

⁵ ACAS er samlebetegnelsen på ulike fabrikater antikollisjonssystemer for luftfartøy, hvorav et av de mest kjente er *Traffic Collision Avoidance System – TCAS*. Systemene finnes i tre ulike varianter. De enkleste gir bare et varsel om kollisjonsfaren, andre gir dessuten flygeren et råd (*Resolution Advisory – RA*) om hvordan han kan unngå kollisjonen. De mest avanserte systemene tar selv kontroll over flyet, dersom flygeren ikke har reagert i tide.

(funksjonene, tiltakene) som har til hensikt å avbryte den uønskede hendelseskjeden på et eller annet stadium, enten på årsakssiden eller på konsekvenssiden, **figur 6**. Barrierene kan dermed enten bidra til å forhindre at ulykken (skaden/tapet) i det hele tatt inntreffer, eller de kan bidra til å redusere konsekvensene (omfanget av skade/tap). Denne fremstillingsformen er særlig godt egnet ved risikoanalyser av kompliserte systemer.



Figur 6 **Prosessmodellen (årsaks-/konsekvensdiagram /"Bow-Tie") med innlagte barrierer (illustrert med trekantene).**

Starten på den uønskede hendelseskjeden betegnes ofte som *den initierende hendelsen*. Det vil alltid være årsakssammenheng mellom den initierende hendelsen og ulykken / nestenulykken. I noen sammenhenger kan det være hensiktsmessig å skille mellom den initierende hendelsen og det som forårsaker denne - det initierende *avviket*. I denne sammenheng kan initierende avvik være av fire hovedtyper, uavhengig av om de inntreffer på årsakssiden eller konsekvenssiden av feilutviklingsdiagrammet:

- i. teknisk feil eller svikt,
- ii. systemavvik (dvs. feil eller mangler ved sikkerhetsstyringssystemet, instruks, prosedyrer, kommunikasjon, opplæring, ansvarsforhold o.l.),
- iii. menneskelig feilhandling (operasjonell feil, feilreaksjon, forveksling, uoppmerksomhet, ubevisst eller bevisst brudd på foreskrevet prosedyre, m.v.),
- iv. ytre påvirkning (vind, nedbør, lynnedslag, ising og lignende).

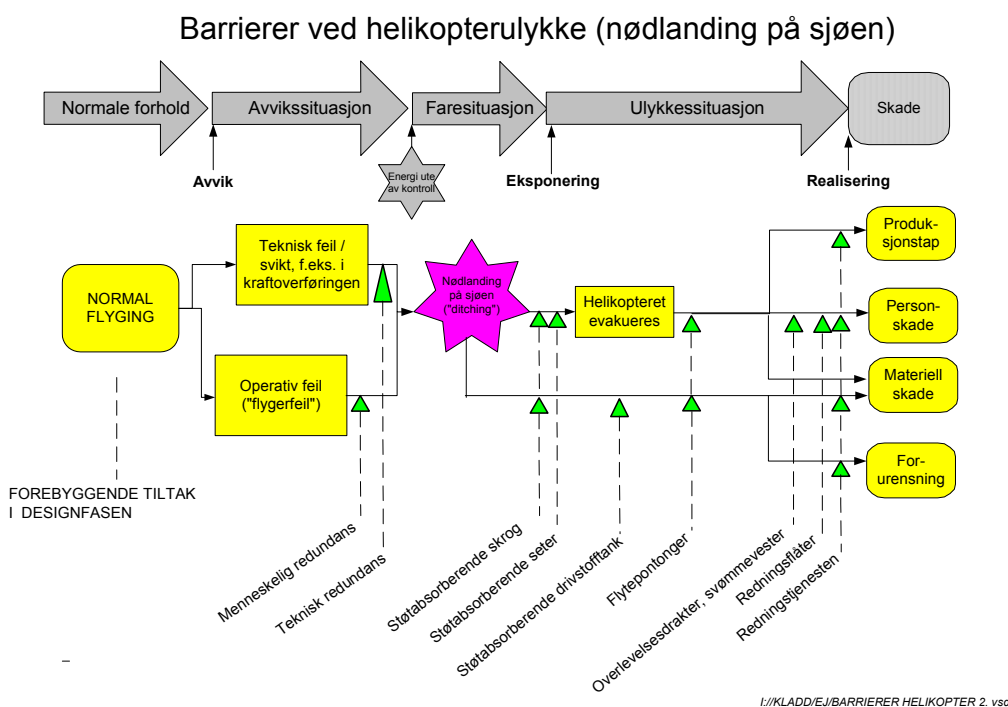
I enhver prosess skjer det til daglig en rekke slike større eller mindre avvik. De færreste av avvikene vil imidlertid lede til en ulykke, og enda færre til en stor ulykke. Dette illustreres godt ved den såkalte Heinrich's pyramide eller "isfjellteorien" (Heinrich 1931), som sier at antall uønskede hendelser øker tilnærmet eksponentielt med minkende alvorlighetsgrad. Eller sagt på en enklere måte; for hver virkelige ulykke som inntreffer, skjer det omtrent 10 alvorlige hendelser og 100 mindre alvorlige hendelser. (Merk at tallene kan variere fra bransje til bransje og avhengig av om det er tale om "vanlige" arbeidsulykker eller storulykker - det er prinsippet som er viktig.)

Et praktisk eksempel på analyse av en hendelseskjede ved hjelp av prosessmodellen og energi-/barrieremodellen er vist i kapittel 5.4.

5.4 Eksempel på bruk av Proses-/barrieremodellen

Figur 7 viser et praktisk eksempel på bruk av Proses-/barrieremodellen. Det eksemplet som er valgt, er at et helikopter på vei til en offshoreinstallasjon i Nordsjøen får plutselig motorkutt i begge motorene. Merk at terminologien i figur 7 er hentet fra offshorevirksomheten, og at fremstillingsformen avviker noe fra den som er anvendt i figur 5 og 6.

Hovedfasene i denne prosessen er at de normale forholdene under flygningen avløses av en *avvikssituasjon* (teknisk eller operativ feil som medfører motorkutt). Motorkuttet fører til utløsning av fallenergien, som i hovedsak bestemmes av helikopterets vekt og flyhøyden. Motorkuttene fører til at det oppstår en *faresituasjon* (behov for nødlanding). Når nødlandingen gjennomføres, går faresituasjonen over i en *ulykkessituasjon*, der de ombordværende og helikopteret eksponeres for farene ved sammenstøtet med havflaten og mulighetene for mislykket evakuering og redning. Som det fremgår av figuren, finnes det imidlertid en rekke barrierer som skal forhindre et slikt utfall. Barrierene er her tegnet som trekantar.



Figur 7 Eksempel på Prosesmodellen med innlagte barrierer anvendt på hendelsen ”nødlanding på sjø med helikopter”. (Barrierene er her markert med trekantar.)

De fleste barrierene er lagt inn av konstruktøren allerede på konstruksjonsstadiet, i form av redundante tekniske systemer og komponenter (back-up), varslingsystemer for unormale tilstander (f.eks. oljetrykkfall, varmeutvikling), osv. På denne type flygning kreves det dessuten at maskinen skal ha to motorer og fortsatt være flygedyktig med én motor ute av funksjon. Den andre fungerer altså som en barriere mot ulykker som skyldes svikt i en motor. Krav om to flygere har samme begrunnelse. I tillegg til de tekniske barrierene må produsenten også utforme en rekke

administrative barrierer i form av nødprosedyrer, ekstraordinære kontroll- og vedlikeholdsprosedyrer⁶ m.v., der det er behov for slike. I figuren er alle disse tiltakene slått sammen under betegnelsen ”Forebyggende tiltak i designfasen”. Under normal flygning er disse barrierene ”sovende”; de trer med andre ord ikke i funksjon før avvikssituasjonen oppstår.

La oss så gå tilbake til start i dette eksemplet. Den initierende hendelsen eller det første signifikante avviket som manifesterer seg og har direkte årsakssammenheng med et mulig havari, er altså at begge motorene stanser mens helikopteret befinner seg over havet i vanlig flyhøyde. Den direkte årsaken til et slikt motorkutt vil mest sannsynlig være sammenstøt med fugler (”bird strike”), forurensninger i drivstoffet eller teknisk feil (f.eks. svikt i drivstoffpumpene). Turbinmotorene er til en viss grad motstandsdyktige mot ”bird strike”, men noen egentlig barriere som kan hindre at motorene skades og slokner på grunn av sammenstøt med fugler, finnes ikke. Forurensninger i drivstoffet kan derimot hindres i å gjøre skade ved hjelp av ett eller flere filtre i drivstofftilførselen, pumpe svikt kan kompenseres ved innkopling av reservepumpe(r) osv. Slike tiltak utgjør altså tekniske barrierer (teknisk redundans) som skal hindre fallenergien i å utløses (komme ut av kontroll). Med unntak av ”bird strike” vil hendelsesforløpet avbrytes og faresituasjonen ikke oppstå, dersom disse barrierene fungerer som forutsatt.

I teorien kan motorkutt også skje ved at flygeren (*flying pilot*) gjør en feil⁷. I så fall skal den andre flygeren om nødvendig gripe inn med ord eller gjerning, med andre ord fungere som en menneskelig sikkerhetsbarriere (menneskelig redundans).

Trusselen består i den potensielle fallenergien som helikopteret representerer i kraft av sin vekt og høyde over havflaten. Denne energien utløses (kommer ut av kontroll) når motorene stanser, og nødlanding er eneste mulighet for å begrense skaden. Dersom nødlandingen foregår kontrollert (fallhastigheten kan normalt reduseres ved hjelp av såkalt autorotasjon), skal skroget være tilstrekkelig kraftig (støtabsorberende) til å være intakt etter sammenstøtet med havflaten. Likeledes er setene konstruert slik at de er støtabsorberende og hindrer at de ombordværende skades ved sammenstøtet, helikopteret er utstyrt med flytepong tonger som skal gjøre evakuering mulig, osv. Av figuren fremgår hvilke ytterligere barrierer som finnes for å hindre henholdsvis personskaade, materiell skade og evt. forurensningsskade.

Som eksemplet viser, kan de faktorer som avgjør om en slik flytur vil resultere i en alvorlig ulykke eller ikke, deles inn i to hovedgrupper:

- i. faktorer som påvirker *sannsynligheten* for at en kritisk avvikssituasjon skal føre til at fallenergien utløses (kommer ut av kontroll)
- ii. faktorer som påvirker *konsekvensen* av hendelsesforløpet etter at faresituasjonen er oppstått.

Hvorvidt avvikssituasjonen i dette eksemplet skal utvikle seg til en stor (alvorlig) ulykke eller ikke, vil dermed avhenge av følgende faktorer eller forhold:

⁶ I fagmiljøene diskuteres hvorvidt alle vedlikeholdsprosedyrer o.l. eller bare de ekstraordinære skal høre inn under barrierebegrepet. I vår sammenheng vil vi, som nevnt, reservere begrepet for de ekstraordinære tiltakene (tilleggsfunksjonene) som legges inn for å ivareta sikkerheten.

⁷ Innen luftfarten kalles slike feil gjerne for ”operativ feil”, ”flygerfeil”, ”menneskelig svikt”, ”menneskelig feilhandling” eller lignende.

Sannsynlighetspåvirkende faktorer:

- Kvalitet⁸ og omfang av teknisk og menneskelig redundans (barrierefunksjoner) før energien kommer ut av kontroll.

Konsekvenspåvirkende faktorer:

- Konsekvensreducerende tiltak av konstruktiv art (støtabsorberende skrog og seter, flytepongtonger, mv.)
- Antall ombordværende (passasjerer og besetning)
- De ombordværendes personlige egenskaper (kroppbygning, fysiske og mentale evner til å håndtere en krisesituasjon)
- Eventuell farlig last
- Redningsutstyr ombord (overlevelsesdrakter, svømmevester, redningsflåter, førstehjelpsutstyr, nødpeilesender mv.)
- Flygernes og passasjerenes opplæring og trening i å evakuere et helikopter i sjøen
- Værforholdene (vind, strøm, bølgehøyde, nedbør, luft- og sjøtemperatur, siktforhold)
- Redningstjenestens tilgjengelighet og kvalitet.

Sannsynlighetspåvirkende og konsekvenspåvirkende faktorer:

- Menneskelig redundans (to flygere)
- Nødprosedyrer.

Som det fremgår av listen, er alle faktorene påvirkbare av mennesker på ett eller flere stadier av prosessen. Værforholdene kan selvsagt ikke påvirkes direkte, men det kan legges inn operative begrensninger, slik at helikopteret ikke får tillatelse til å fly den aktuelle turen hvis været er for dårlig.

5.5 "Normalulykker", "systemulykker", "organisatoriske ulykker"

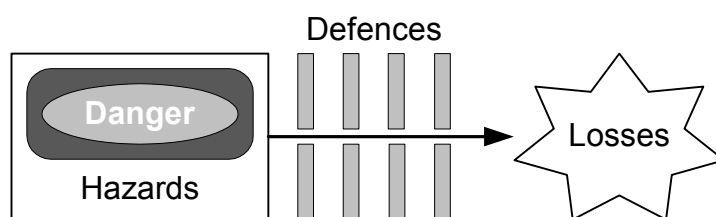
Ca. tyve år etter at Haddon publiserte Energi-/barrieremodellen, lanserte Perrow (1984, 1986) begrepet "Normal Accidents" (normalulykker). Han mente at noen systemer (les: virksomheter i dagens samfunn, f.eks. kjernekraftverk) har egenskaper som gjør at storulykker faktisk er uunngåelig og dermed blir "normalt". Dette skyldes at mekanismene bak det han kaller "systemulykker" (*system accidents*) er en annen enn de som forårsaker mindre ulykker, og at systemulykkene er mindre predikterbare fordi de involverer et uforutsigbart samvirke mellom flere latente og aktive feil i et komplekst system. Perrow hevder at slike "normale" storulykker oftest skjer i systemer (virksomheter) som er karakterisert ved høy kompleksitet, dvs. mange komponenter og delsystemer som gjerne samvirker på en ikke-lineær måte, for eksempel på grunn av tilbakekoblingssløyfer (*feedback loops*). Ulykken på Three Mile Island og i Tsjernobyl er typiske eksempler. Den interaktive kompleksiteten ved disse anleggene gjorde blant annet at det var vanskelig å diagnostisere unormale tilstander. Innen transport vil enkelte av de store ulykkene, kanskje særlig innen luftfarten, kunne høre inn under kategorien systemulykker.

Bakgrunnen for teoriene om normalulykker og systemulykker er at det i dagens samfunn skjer hyppige endringer i teknologien, foruten i organiseringen av virksomhetene, operasjonsmønsteret mv. Systemene blir også stadig mer integrert og sammenkoblet, samtidig som omgivelsene er

⁸ Med kvaliteten av sikkerhetsbarrierer menes barrierenes egnethet for bruk. Egnetheten for bruk bestemmes av barrierenes evne til å tre i funksjon ved behov og hvor effektive de er med hensyn til å stanse det aktuelle hendelsesforløpet.

mer aggressivt konkurrerende (Rasmussen og Svedung, 2001:10). Dette, sammen med samfunnets økte avhengighet av at viktige systemer som kraftforsyning, vannforsyning, yrkes- og kollektivtransport mv. fungerer som forutsatt, medfører at enkelte typer ulykker lett kan få større konsekvenser enn tidligere. (Perrow, 1984, 1986, 1999) lanserte dessuten begrepet ”tette koblinger” (*tight couplings*). Han hevder at tett koblede systemer er karakterisert ved mangelen på naturlige ”bufferer”. Dette gjør at forstyrrelser (avvik) forplanter seg raskere gjennom slike systemer, og det blir vanskeligere å oppdage og korrigere avvikene før de utvikler seg til ulykker, sammenlignet med systemer som har ”løse” koblinger.

(Reason, 1997) introduserte begrepet ”*Organizational Accidents*” (organisatoriske ulykker). Han knytter dette begrepet til ulykker som har sammensatte årsaksforhold og involverer mange mennesker på ulike nivå i organisasjonen – og i noen tilfelle fra ulike organisasjoner. Organisatoriske ulykker kan i tillegg ha en ødeleggende effekt på ikke-involverte parter, eiendom og miljø. Store flyulykker og skipskatastrofer er eksempler på dette. Reason påpeker videre at alle organisatoriske ulykker innebærer svikt i barrierer og sikkerhetsanordninger som skiller farene (truslene) fra det sårbare objektet (personell eller materiell), figur 8. Denne tankegangen åpner også for begrepet ”forsvar i dybden” (se Kapittel 5.6).



Figur 8. Sammenhengen mellom farer, forsvar (barrierer) og tap (Reason, 1997).

(Rosness et al, 2002) diskuterer om togulykken ved Åsta 4. januar 2000 tilfredsstiller de kriteriene Perrow har stilt opp for systemulykker. Dette gjøres ved å besvare fem spørsmål avledet av teorien om normale ulykker:

1. Var systemet karakterisert av en høy grad av interaktiv kompleksitet?
2. Var systemet karakterisert av tette koblinger?
3. Var organisasjonen for sentralisert til å kunne håndtere den interaktive kompleksiteten?
4. Var organisasjonen for desentralisert til å kunne håndtere de tette koblingene?
5. Ga et misforhold mellom organisasjonsstrukturen og systemkompleksiteten og/eller koblinger bidrag til ulykken?

I korte trekk konkluderer analysen med at trafikkstyringen innen et jernbanesystem kan være kompleks i den forstand at det består av mange komponenter. Dessuten er systemet svært dynamisk (situasjonen endrer seg fra minutt til minutt), men interaksjonen mellom komponentene er stort sett lineær. Systemet har meget tette fysiske koblinger, blant annet fordi togene følger skinnene og ikke kan unngå hverandre hvis de er på kollisjonskurs. Dessuten kan det hevdes at mangelen på alarmsystemer og effektive kommunikasjonssystemer i togledersentralen gjorde systemet tettere koblet enn nødvendig. Til spørsmålet om organisasjonen var for sentralisert, konkluderes det med at fordi interaksjonene i hovedsak var lineære, kunne de i følge Perrow’s teori vært holdt under kontroll både i en sentralisert og i en desentralisert organisasjon. På de to siste spørsmålene gis det ikke noe entydig svar. Rosness et al’s hovedkonklusjon er derfor at det

er vanskelig å se at Åsta-ulykken var en rendyrket systemulykke i Perrow's betydning av ordet. Tvert i mot kan det argumenteres for at ulykken var det Perrow kaller "a *component failure accident*". Dette fordi en enkelt aktiv feil (signallyset som feilaktig kan ha vist grønt et kort øyeblikk) var nok til å utløse katastrofen. Systemet manglet således tilstrekkelige sikkerhetsbarrierer, blant annet automatisk togkontroll/togstopp (*Automatic Train Control – ATC*). I følge (Rosness et al, 2002) står imidlertid ikke tilstedeværelsen eller fraværet av sikkerhetsbarrierer sentralt i Perrow's teorier.

5.6 Barrierenes kvalitet – "Forsvar i dybden"

Rosness et al (2002) påpeker at kravet om *redundans* er hovedhjørnesteinen innen moderne sikkerhetstenkning. Redundans (*redundancy*) betyr direkte oversatt overflødig, overflod, overskudd. Det skilles gjerne mellom teknisk redundans og menneskelig eller organisatorisk redundans. Innen moderne teknologi er *teknisk redundans* ensbetydende med at systemet (anlegget, produktet) er konstruert med tilleggssystemer eller -komponenter (*back-up*) som egentlig er overflødig, dersom alt fungerer som det skal. Men dersom viktige komponenter eller delsystemer svikter, skal redundansen sikre at den tiltenkte funksjonen opprettholdes. Eksempler på teknisk redundans er to-krets bremsesystem på bil, to uavhengige bremsesystemer på tog og sporvogn (elektrobremse og mekanisk brems), dobbelt eller tredobbelt sett instrumenter på fly, to uavhengige fremdriftsmaskiner på skip og fly osv.

Tilsvarende betyr *menneskelig / organisatorisk redundans* at organisasjonen er strukturert og bemannet slik at alvorlige operative avvik skal kunne observeres og korrigeres av andre, før avviket resulterer i en ulykke. Operative avvik kan skyldes ulike typer menneskelige feilhandlinger, bruk av feil prosedyre og lignende. Det transportområdet som er kommet lengst i utviklingen av organisatorisk redundans, er luftfarten. Etter en flykatastrofe på Tenerife i 1977, der 583 mennesker omkom da to fly kolliderte på rullebanen, startet utviklingen av et konsept som i dag går under navnet *Crew Resource Management (CRM)*⁹. Noen av hovedprinsippene bak CRM er at flygerne i cockpit til enhver tid skal vite hva den/de andre planlegger å gjøre, de skal i størst mulig grad basere sine beslutninger på forskjellige (les: uavhengige) informasjonskilder, og de skal observere hverandre og straks gjøre hverandre oppmerksom på eventuelle avvik. Dette konseptet har vist seg så vellykket at det etter hvert også er innført innen skipsfarten, i Norge blant annet for hurtigbåter, under betegnelsen *Bridge Resource Management (BRM) – Kommunikasjon og samarbeid på broen*.

Selv om luftfarten er det transportområdet som er kommet lengst i utviklingen av organisatorisk redundans, gjelder dette oppsiktsvekkende nok med unntak av flygelederfunksjonen, i hvert fall i Norge. På de norske kontrollsentralene er en således avhengig av at den enkelte flygeleder ikke gjør feil. Det finnes i praksis ingen organisatorisk redundans. Dette har da også ført til flere nesten-ulykker, bla. en nærpassering over Meråker 1997, da til sammen 261 mennesker var et halvt sekund fra å omkomme. I juni 2003 var 156 personer i livsfare over Brandbu, da en flygeleder på Røyken kontrollsentral for sent observerte at det var for lite separasjon mellom to fly på kryssende kurs. En bakenforliggende årsak til feilhandlingen var at den aktuelle flygelederen hadde personlige problemer. Fra utlandet kjenner vi til at to fly kolliderte over Üeberlingen i Tyskland i 2002, og alle om bord omkom. Den direkte årsaken var her at en flygeleder på kontrollsentralen i Zürich var alene på jobb og gjorde en feil.

⁹ Se også bla. Pariès and Altaberti (2000)

Redundans er altså en form for (sikkerhets-)barriere. *Kvaliteten* av barrierene vil være avgjørende for om de lykkes i å avbryte det uønskede hendelsesforløpet. Med kvaliteten av sikkerhetsbarrierer menes generelt barrierenes egnethet for bruk. Egnetheten for bruk bestemmes av barrierenes evne til å tre i funksjon ved behov, og hvor effektive de er med hensyn til å stanse det aktuelle hendelsesforløpet. Viktige egenskaper kan dermed beskrives med stikkord som funksjonalitet, pålitelighet, robusthet mot ekstreme påkjenninger, innbyrdes uavhengighet og antall.

Sikkerhetsbarrierer er et middel til å skape *feiltoleranse*. Med det menes at rimelig forutsigbare teknisk svikt, foruten menneskelige feilhandlinger og feilvurderinger under drift og vedlikehold, ikke vil føre til ulykker. Eventuelt vil skadevirkningene begrenses.

En motsats til feiltoleranse finner vi i begrepet "*unforgiving environment*" (utilgivende omgivelser). Dette benyttes av (Center for Chemical Process Safety, CCPS, 1994) og innebærer at systemet inneholder farlige tilstander, stoffer, situasjoner eller lignende som det ikke finnes barrierer mot. Samtidig tilbyr systemet ingen støtte for å korrigere eventuelle farlige handlinger eller beslutninger.

Blant andre Honnagel (2004), skiller mellom *barrieresystemer* og *barrierefunksjoner*. Barrieresystemer kan være *fysiske* (brannrør, vegger, vegrekkverk, sikkerhetsbelter, air bags etc.), *funksjonelle* (bremser, låseanordninger etc.), *symbolske* (advarsler, instruksjoner, prosedyrer, alarmer, arbeidstillatelser etc.) eller *immaterielle* (overvåking, restriksjoner, lovgivning etc.). Den funksjonen barrierene har, kan være å holde på plass, gi etter, skape avstand, osv.

Når barrierene organiseres slik at ingen enkelt feil vil kunne føre til at en ulykke inntreffer ("enkeltefeilprinsippet"), tales det om en *forsvar-i-dybden*-strategi. Uttrykket kommer opprinnelig fra det militære, og innebærer at det etableres flere forsvarslinjer eller lag av innbyrdes uavhengige barrierer. Desto flere barrierer som etableres, desto større blir sannsynligheten for at det uønskede hendelsesforløpet avbrytes. Barrierene kan etableres både på årsaks-/sannsynlighetssiden og konsekvenssiden (se figur 6).

Uavhengighet betyr i denne sammenheng at en feil eller gitt, uønsket hendelse (f. eks. strømbrudd) ikke skal kunne føre til at flere barrierer svikter samtidig. Eller sagt på en annen måte; flere barrierer skal ikke kunne svikte av samme årsak. Hvis for eksempel en reservepumpe i et sikkerhetskritisk system er koplet til samme strømkilde som hovedpumpen, vil et strømbrudd sette begge pumpene ut av spill. Reservepumpen er dermed ingen uavhengig barriere. Dersom forurensninger i helikopterets drivstoff kan føre til at begge motorene slokner, til tross for at det er bygget inn flere drivstoff-filtre i systemet, har en heller ikke full uavhengighet. Motsatt har en ved dagens mest moderne, større passasjerfly, ikke bare installert opptil tre navigasjonssystemer som alle har samme funksjon, men det er også sørget for at systemene er så nær 100% uavhengige av hverandre som det er mulig å få til i praksis. Det betyr at ingen av datasystemene er utviklet og testet av de samme personene eller den samme bedriften, ingen av komponentene er produsert av samme fabrikk, osv. På den måten har en sikret seg mot at noen av systemene kan inneholde samme feil.

6 Casebeskrivelser

I dette kapitlet er de foran nevnte perspektivene og teoriene forsøkt anvendt på et virkelig tilfelle fra hvert transportområde. Hensikten er å belyse nærmere gjennom flere eksempler, hvorfor uønskede hendelser med et betydelig ulykkespotensiale enkelte ganger utvikler seg til store ulykker (katastrofer), mens de i andre tilfelle ikke gjør det.

Eksemplene nedenfor er relativt tilfeldig valgt, men ett kriterium er at hendelsene er godt dokumentert gjennom granskingsrapporter og evt. rettssaker. Dessuten er alle av en slik karakter at tilsvarende hendelser ikke er utelukket fra å hende på nytt.

De spørsmålene som drøftes nærmere, er følgende:

- SJØFART: Hvorfor utviklet grunnstøtingen av MS Sleipner i 1999 seg til en storulykke med 16 omkomne, når alle i utgangspunktet kunne/burde ha overlevd?
- LUFTFART: Hvorfor utviklet ikke nærpasseringen av to Boeing-fly over Meråker i 1997 seg til en storulykke med 261 omkomne, når alt lå til rette for det?
- JERNBANE: Hvorfor forårsaket Lillestrøm-ulykken i 2000 bare materielle skader, når den kunne ha utslettet store deler av Lillestrøm og dens befolkning?
- VEGTRAFIKK: Hvorfor omkom 2 personer og hvorfor ble 8 skadet ved sammenstøtet mellom et vogntog, en personbil og en buss ved Svorkmo i Orkdal 1995?

6.1 Hvorfor utviklet grunnstøtingen av MS Sleipner seg til en storulykke

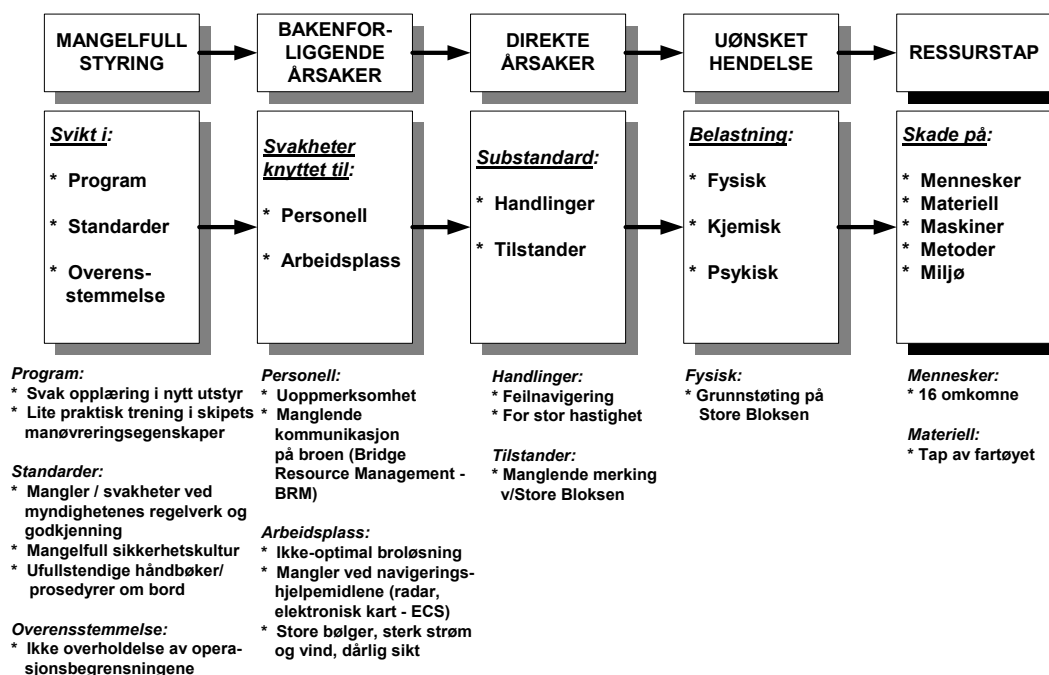
Fredag 26. november 1999, kort etter kl. 19.00 seilte hurtigbåten M/S Sleipner med 76 passasjerer og en besetning på 9 over sjøstrekningen Sletta mellom Haugesund og Bergen. Fartøyet ble styrt manuelt, farten var ca. 35 knop, det var mørkt og 2-3 meter høye bølger. For sent, og først på overstyrmannes anrop, registrerte kapteinen at fartøyet var ute av kurs og stevnet rett mot skjæret Store Bloksen. Umiddelbart etterpå grunnstøtte båten og ble stående på skjæret. Etter ca. 20 minutter brakk imidlertid skroget i to, baugpartiet drev av, og kort tid etter gled også hoveddelen av skroget av skjæret og sank. Ved forliset omkom 16 personer, flere ble skadet og fartøyet måtte kondemneres.

Den direkte (utløsende) årsaken til grunnstøtingen var feilnavigering. Sett i lys av energi-/barrieremodellen og figur 4 og 6, er det åpenbart at flere av de etablerte sikkerhetsbarrierene på årsakssiden ikke fungerte som forutsatt. Hvis de hadde gjort det, ville ikke grunnstøtingen ha skjedd. Det samme gjelder konsekvenssiden. Der var blant annet vanntette skott, evakueringsystemet (oppblåsbare redningsflåter) og redningsvestene etablert som sikkerhetsbarrierer. Dersom disse hadde fungert etter forutsetningene, er det rimelig å anta at de ombordværende kunne eller ville vært reddet. Dette bla. fordi ingen av de ombordværende omkom eller ble alvorlig skadet ved selve grunnstøtingen.

Noen av Sleipner-ulykkens viktigste faktorer på årsaks- og konsekvenssiden kan illustreres ved hjelp av den såkalte ILCI-modellen¹⁰, [figur 9](#). Modellen viser hvordan en årsakskjede kan

¹⁰ ILCI = International Loss Control Institute. Øverste del av figuren er en bearbeidet versjon av Bird & Germain, 1985. ILCI-modellen er inspirert av "Dominomodellen", som ble lansert av Heinrich allerede i 1931.

resultere i en uønsket hendelse og derav følgende ressurstap (jf. pilenes retning). Omvendt kan en ta utgangspunkt i den uønskede hendelsen (grunnstøtingen) og spore seg bakover til de direkte og bakenforliggende årsaksfaktorene. (Ved å betrakte ressurstapet som den uønskede hendelsen, kan ILCI-modellen på tilsvarende måte benyttes for analyse av hendelseskjeden på konsekvenssiden.) Den øverste del av figuren (tekstboksene) viser ILCI-modellen generelt. Teksten nederst er lagt inn på basis av den regjeringsoppnevnte undersøkelseskommisjonens rapport (NOU 2000: 31 *Hurtigbåten MS Sleipners forlis 26. november 1999*)¹¹.



Figur 9 – ILCI-modellen anvendt på ulykken med hurtigbåten MS Sleipner

Konklusjon

Sett i lys av energi-/barrieremodellen blir konklusjonen på disse betraktningene at selve grunnstøtingen med MS Sleipner skyldes svikt i sikkerhetsbarrierer på årsakssiden. Når hendelsen utviklet seg til en storulykke (skipskatastrofe), skyldes det en rekke svikt i flere sikkerhetsbarrierer på konsekvenssiden.

”Sleipner”-ulykken illustrerer for øvrig at mange ulykker innen sjøfarten, kanskje spesielt med passasjerskip og ferger, avviker fra det typiske mønsteret for ulykker innen de andre transportområdene. På sjøen omkommer nemlig folk i mange tilfelle ikke på grunn av den opprinnelige energiutløsningen (kollisjonen/grunnstøtingen/kantringen), men på et senere tidspunkt, dvs. etter evakueringen og på grunn av nedkjøling eller drukning.

¹¹ Under den rettslige behandlingen av skyldspørsmålet gjorde tingretten og lagretten sine egne vurderinger av årsakssammenhengene. I hovedtrekk var disse sammenfallende med kommisjonens forklaringer.

6.2 Hvorfor utviklet ikke nærpaseringen over Meråker i 1997 seg til en storulykke

Den 17. desember 1997 kl. 16.42 passerte to Boeing 737 fly hverandre i samme flyhøyde over Meråker med en horisontal separasjon på bare mellom 100 og 200 meter. Det ene flyet var en SAS-maskin på vei sydover, det andre et nordgående fly fra Air Europa (AEA). Flyene hadde til sammen 261 mennesker om bord.

Den direkte årsaken til hendelsen (klassifisert som ”*ukontrollert nærpasering*”) var at de to flyene ble klarert for samme flyhøyde og møtende kurs av en flygeleder i Trondheim kontrollsentral. Den feilaktige klareringen ble ikke oppdaget av en annen tilstedeværende flygeleder og en flygelederassistent. Årsaken til at situasjonen kunne oppstå, lot seg i ettertid ikke klarlegge i detalj, ut over at det var tale om menneskelig feilhandling / uoppmerksomhet¹² (Havarikommisjonen for Sivil Luftfart, HSL 2000). En medvirkende (bakenforliggende) årsak var sannsynligvis tretthet, noe som ble antatt å ha sammenheng med underbemanning, mye overtid m.v. i kontrollsentralen over lengre tid.

Havarikommisjonens gransking av hendelsen avdekket videre flere andre bakenforliggende årsaker. Disse dreide seg om en rekke forhold - fra tekniske svakheter ved radarutstyret på bakken til manglende spisepause, utilfredsstillende behandling av tidligere avvik og tilrådinger, svakheter ved de styrende dokumentene for tjenesten og opplæringen (retreningen), manglende periodisk kontroll / kvalitetsrevisjon fra overordnet instans m.v.

I rapporten fra daværende Havarikommisjonen for Sivil Luftfart (HSL) hevdes det at ”*Med dagens nøyaktige navigasjonssystemer, kunne en tilsvarende hendelse med to like flyindivider fra et og samme selskap og med identisk navigasjonsutstyr, fått et katastrofalt utfall.*” I klartekst ville flyene med andre ord ha kollidert i luften. Når de i dette tilfellet gikk klar av hverandre med en margin på 100-200 meter i horisontalplanet, skyldes det at navigasjonsinstrumentene var programmert ørlite grann forskjellig i de to flyselskapene.

Sett i lys av barriereperspektivet kan det følgelig karakteriseres som en ren tilfeldighet at hendelsen ikke fikk katastrofale følger. Mangler og svakheter ved sikkerhetsbarrierene på årsakssiden var flere. For det første innebar arbeidsformen ved kontrollsentralen at en sikker trafikkavvikling var helt og holdent avhengig av at vakthavende flygeleder – og han/hun alene - til enhver tid hadde den fulle og hele oversikt over trafikksituasjonen i sin sektor og alltid bedømte og håndterte konfliktsituasjoner rett. Dersom det ble foretatt en feilvurdering, var det ikke bygd inn noen barrierer i systemet som kunne fange dette opp:

- i. Kontrollsentralen hadde ikke installert noe automatisk varslingssystem mot kollisjoner, slik tilfelle er i de mest moderne kontrollsentralene i dag.
- ii. De øvrige i Trondheim kontrollsentral som kunne ha varslet om avviket (sjefflygeleder/ assisterende sjefflygeleder, supervisor og flygelederassistent), hadde egne oppgaver å ivareta og hadde ikke oversikt over trafikksituasjonen.
- iii. Det var ingen kultur for å kontrollere og korrigere hverandre, dersom en flygeleder skulle observere en mulig konflikt i en tilstøtende sektor. Flere av flygeleiderne hadde dessuten innført en arbeidspraksis der de fjernet radaretikettene på luftfartøy i tilstøtende sektor. Verdifull

¹² Samme flygeleder hadde for øvrig forårsaket en annen nærpasering 13 minutter tidligere. Den horisontale separasjonen var her betydelig større, men under det forskrevne minimum.

informasjon om fly på vei inn i egen sektor var dermed ikke tilgjengelig. CRM-konseptet, som med hell var/er gjennomført for flybesetningene, var med andre ord ikke innført blant flygelederne i kontrollsentralen.

iv. På landsbasis var det heller ingen kultur for å varsle hverandre om mulige konflikter i andre kontrollsentralers ansvarsområde. Snarere var det en uskreven lov at en *ikke* skulle blande seg inn. I dette tilfellet ga først flygelederen i Oslo kontrollsentral rutinemessig beskjed til Trondheim kontrollsentral om at AEA-maskinen var på vei inn sydfra i Trondheims ansvarsområde i FL 350 (flyhøyde 35.000 fot). Han fikk bekreftet at meldingen var korrekt mottatt. Tre kvarter senere registrerer han imidlertid den mulige kollisjonsfaren med den sydgående SAS-maskinen. I stedet for å slå tydelig alarm, innskrenker han seg til å ringe opp til den aktuelle flygelederen i Trondheim kontrollsentral og spør: ”Du har fått over AEA?” Flygelederen i Trondheim svarer bekræftende, og samtalen avsluttes uten at sistnevnte oppfatter at spørsmålet var ment som en advarsel.

For det andre hadde ikke de flyene som var involvert i hendelsen installert antikollisjonssystemer (Airborne Collision Avoidance System – ACAS¹³), slik tilfellet er i dag for denne type fly.

For det tredje: Da besetningen på flyet fra Air Europa beveget seg inn i hhv. sektor syd og nord av Trondheim FIR¹⁴ og over radio meddelte hvilken høyde de befant seg i, kvitterte begge flygelederne med tilbakemeldingen ”Roger, proceed...” osv. uten å gjenta flyhøyden. ”Roger” betyr at meldingen er mottatt og forstått. Generelt går dermed avsender av den opprinnelige meldingen glipp av muligheten for å korrigere misforståelser hos mottaker. I dette tilfellet ga imidlertid avsenderen - flygelederen på sektor syd - uttrykk for at han selv sannsynligvis ville ha reagert, dersom han hadde gjentatt flyhøyden i sin kvittering for at meldingen var mottatt.

Konklusjon

På årsakssiden var det i dette tilfelle en utpreget mangel på sikkerhetsbarrierer. Når hendelseskjeden ble avbrutt før ulykken inntraff, skyldes det den tilfeldighet at flyenes navigasjonsinstrumenter var programmert ørlite grann forskjellig, fordi flyene tilhørte to forskjellige flyselskap.

6.3 Hvorfor forårsaket Lillestrøm-ulykken i 2000 bare materielle skader

Den 5. april 2000 kjørte et godstog fra Oslo med ni vogner inn i et annet godstog som sto på Lillestrøm stasjon og ventet på klarsignal for utkjøring i retning Trondheim. Førstnevnte tog hadde to tankvogner nærmest lokomotivet, hver lastet med ca. 46 tonn kondensert propan. Kollisjonshastigheten var ca. 62 km/t. Den ene propantanken sprang lekk, og den utstrømmende gassen ble antent av en elektrisk gnist eller lysbue ca. 10 minutter etter sammenstøtet. Dette førte til oppvarming av tanken. I en slik situasjon vil det innvendige gasstrykket øke på grunn av oppvarmingen, samtidig som materialet som tanken er laget av, svekkes lokalt. Dersom ikke ilden slukkes eller tanken kjøles tilstrekkelig ned med vann, vil resultatet oftest bli at tanken til slutt revner. Det vil da oppstå en trykkbølge og en stor, kuleformet sky av gass og luft som forbrenner

¹³ Jf. fotnote 4 side 15. ACAS er den generelle betegnelsen. Ofte sees betegnelsen TCAS – Traffic Collision Avoidance System. Dette er et bestemt fabrikat.

¹⁴ FIR = Flight Information Region, dvs. det luftrommet som kontrollsentralen har ansvaret for.

med stor hastighet, en såkalt brannball (eng. BLEVE¹⁵). Beregninger i ettertid viste at ildkulen ville hatt en diameter på 200 meter sett ovenfra, og at det bare var minutter fra at dette hendte. Hendelsen ville i så fall ha utslettet store deler av Lillestrøm by pga. trykket, varmestrålingen og antennelse av bygninger. Mennesker som ikke var evakuert, ville antakelig ha omkommet innenfor en radius på mange hundre meter (NOU 2001: 9).

Den *direkte* årsaken til ulykken var at det toget som var lastet med propan hadde redusert bremsekraft før innkjøringen til Lillestrøm. Den regjeringsoppnevnte undersøkelseskommissjonen (NOU 2001: 9) la til grunn at dette i hovedsak skyldtes at førerbremseventilen sto i feil stilling.

Av *bakenforliggende* årsaker som har påvirket hendelsesforløpet fram til kollisjonsøyeblikket, fremhever kommissjonen særlig disse:

- Mangler ved NSB Gods' vedlikeholdsrutiner for bremsesystemet (toget hadde i utgangspunktet dårligere bremsesystem enn foreskrevet).
- Manglende prøvebremsing fra lokførers side. Dersom dette var blitt foretatt i hht. reglementet, ville lokfører ha avdekket at førerbremseventilen sto i feil stilling, og ulykken ville/burde i følge kommissjonen ha vært unngått.
- Manglende varselanordning ved kritisk lavt lufttrykk i bremsesystemet. Dersom dette hadde vært installert, ville lokfører ha oppdaget feilen på et tidligere tidspunkt, og ulykken kunne/ville vært unngått.

Sett i lys av energi-/barriereperspektivet var det altså flere mangler og svakheter ved sikkerhetsbarrierene på årsakssiden. Dette var årsaken til at kollisjonen inntraff.

Hendelsesforløpet etter sammenstøtet kan for vårt formål kort oppsummeres slik:

- Sammenstøtet ble observert av flere personer, som umiddelbart varslet nødetatene og togledersentralen.
- Brannvesenet beordret kjøling av tankene ca. én time etter at brannen oppsto. Det tok imidlertid ytterligere en time å få etablert vannforsyningen. Kjølingen startet derfor først 1,5 – 2 timer etter at brannen oppsto. Kommissjonens konklusjon på dette punktet var blant annet at:
 - i. ”Med andre værforhold ville en BLEVE med stor sannsynlighet ha inntruffet før kjøling ble iverksatt.” (NOU 2001: 9, s. 97-98)
 - ii. ”...at man med stor sannsynlighet var mindre enn en time fra en katastrofe vi ikke har sett maken til i Norge i fredstid da brannvesenet starte nedkjølingen av tankene noen minutter etter klokken tre om natten 5. april 2000.” (NOU 2001: 9, s. 93)
- Ut over natten ble det etter hvert tilkalt flere eksperter. Faresonen ble gradvis utvidet til 1000 meter fra tankene, men ingen var hittil evakuert fra faresonen.
- Kl. 07.31 om morgenen ga Sivilforsvaret ved hjelp av luftverns sirener og radiomelding ordre om full evakuering innenfor faresonen.
- I løpet av formiddagen økte vinden så kraftig at vannet ikke lenger traff tankene, og situasjonen ble i noen timer oppfattet som kritisk. Det ble planlagt å tømme tankene for flytende gass ved å koble til slanger. Herunder ble vannkanonene stengt av for en periode. Vannet frøs da i rør og pumper, idet lufttemperaturen var minus 10 grader. ”Etter Kommissjonens oppfatning var det helt unødvendig å komme i en slik situasjon. Det kunne på meget enkel måte vært truffet tiltak som forhindret at vannet frøs i slanger og ventiler.” (NOU 2001: 9, s. 97). Da kjølingen måtte gjenopptas, var vannkapasiteten derfor sterkt redusert.

¹⁵ BLEVE = Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion.

- Det begynte etter hvert å brenne på toppen av tankene. Situasjonen ble da så kritisk at det ble vurdert å gjennomføre en full evakuering og vente på en eventuell BLEVE i sikker avstand. ”I så fall ville en fullstendig ødeleggelse av deler av Lillestrøm by og omegn være et faktum.” Imidlertid fikk en etter hvert forbedret kjølingen igjen og lyktes med å drenere tankene og brenne av (fakle) gassen. Først mer enn fem døgn etter kollisjonen kunne begge tankene erklæres tomme for gass og redningsaksjonen avsluttes.

Et interessant særtrekk ved denne ulykken er at en av sikkerhetsbarrierene faktisk fungerte stikk i mot sin hensikt. Propantankene var nemlig utstyrt med soltak i form av en påmontert stålplate på toppen. Hensikten var å beskytte mot sterk soloppvarming. Dette kan være nødvendig i sydligere strøk, men ikke i Skandinavia (NOU 2001: 9, s.112). Soltakene viste seg å være til hinder for en effektiv vannkjøling etter at brannen var oppstått.

Konklusjon

Sett i lys av energi-/barriereperspektivet var det her for det første tale om meget store energikonsentrasjoner. Det var flere mangler og svakheter ved sikkerhetsbarrierene på årsakssiden som gjorde at kollisjonen inntraff, og at propangassen deretter begynte å brenne. Videre var tankvognene koblet på rett bak lokomotivet. Det var altså ingen barriere i form av såkalt ”dekningsvogn” (vogn uten farlig gods), verken mellom lokomotivet og første tankvogn eller mellom første og andre tankvogn. Dersom dekningsvogn(er) hadde vært benyttet, ville en større del av kollisjonsenergien blitt tatt opp av disse. Skadene ved kollisjon eller avsporing ville da vært begrenset (NOU 2001: 9, s.101-102).

Når konsekvenskjeden ble avbrutt før energikonsentrasjonen i tankene ble utløst gjennom en BLEVE, skyldes det en kombinasjon av tidlig varsling, brannvesenets beredskap, god vannforsyning på åstedet, råd fra tilkalte eksperter, og et ikke ubetydelig element av tilfeldigheter. Enkelte heldige omstendigheter fikk denne gangen større betydning enn de uheldige.

6.4 Hvorfor omkom 2 personer ved sammenstøt mellom en lastebil, en personbil og en buss ved Svorkmo i Orkdal 1995

Søndag 25. november 1995 kl. 14.25 fikk et vogntog på vei fra Orkdal til Fredrikstad sleng på tilhengeren i en kurve (Engelsen 2003). Hengeren kom over i motsatt kjørebane, der den først kolliderte med en møtende personbil og deretter med en møtende buss. I personbilen ble 2 personer skadet. I bussen omkom 2 passasjerer og 6 ble skadet da bussen kjørte av veien, fortsatte ned en skråning og ned i elven Orkla, ca. 25 meter nedenfor. De materielle skadene var også meget store.

Den direkte årsaken til kollisjonen med personbilen var at denne var kommet over i motgående kjørebane. Den direkte årsaken til den etterfølgende kollisjonen med bussen, var at tilhengeren var kommet ut av kontroll som følge av kollisjonen med personbilen. Av etterfølgende dommer i Orkdal forhørsrett 15. desember 1995, Frostating lagmannsrett 20. februar 1996 og Orkdal herredsrett 16-18 desember 1997 kan en slutte seg til følgende *bakenforliggende* årsaksfaktorer:

- Føreren av vogntoget foretok en brå unnamanøver i forsøk på å unngå å kolliderer med personbilen. Dette, sammen med det faktum at veien i kurven hadde en helning på ca. 10%, førte til at hengeren begynte å vingle og traff personbilen.
- Etter denne første kollisjonen ble vogntoget bremsset opp, noe som øket vinglingen ytterligere. Under oppbremsingen kontrollerte føreren hengerens posisjon, og mente å kunne konstatere at den befant rett bak trekkvognen, altså ikke over i motsatt kjørebane. I følge retten var denne vurderingen feil, noe som førte til den etterfølgende kollisjonen med bussen. Lagmannsretten la til grunn at feilvurderingen kunne tilskrives den stressituasjonen som føreren kom i etter sammenstøtet med personbilen.

Konklusjon

Sett i lys av energi-/barriereperspektivet representerer et vogntog relativt store energikonsentrasjoner. Under domstolens behandling av ulykken fremkom det en viss usikkerhet om det faktiske hendelsesforløpet. Dersom en forholder seg til det herredsretten la til grunn, fungerte imidlertid fartsbegrensningen på stedet som en barriere på årsakssiden, idet det ikke ble funnet bevist at noen av de involverte hadde holdt for høy fart. Midtlinjen kan også betraktes som en barriere på årsakssiden, men denne fungerte ikke for personbilens vedkommende. Føreren av vogntoget fungerte som en sikkerhetsbarriere i første omgang, idet han gjennom sin unnamanøver unngikk å frontkollidere med personbilen. I neste omgang sviktet imidlertid denne barrieren, idet føreren fortsatte oppbremsingen, slik at hengeren fikk større sleng og kolliderte med bussen.

Når bussen kjørte av veien og ned i elva etter kollisjonen, skyldtes det enten at veirekkverket sviktet eller at det ikke fantes noe rekkverk - altså en barrieresvikt på konsekvenssiden. Når konsekvensene av de to kollisjonene ble som de ble - to omkomne og 8 skadet - kan en videre anta at det skyldes at enkelte andre barrierer på konsekvenssiden enten manglet eller ikke ble brukt (for eksempel sikkerhetsseler i bussen), mens andre barrierer kanskje fungerte tilfredsstillende (for eksempel støtabsorberende karosseri og/eller airbags i personbilen).

7 Oppsummering og hovedkonklusjoner

Oppsummert kan det sies at det ikke først og fremst er typen uønsket hendelse som er avgjørende for utfallet. Både årsaken til ulykker og konsekvensene påvirkes i større grad av bestemte egenskaper eller kjennetegn ved det systemet som hendelsen inntreffer i. Med ”system” menes her kombinasjonen av teknologi, menneske, organisasjon og ytre forhold. Størst potensiale for å utvikle seg til en storulykke har således hendelser som inntreffer i systemer som er karakterisert ved ett eller flere av følgende faktorer eller særtrekk:

- Store energikonsentrasjoner.
- Høy utløsningshastighet av energien (gir mindre unnvikelsesmulighet).
- Mange ”sårbare objekter” (eksponerte mennesker eller materielle verdier).
- Manglende ”forsvar i dybden” (manglende eller svake sikkerhetsbarrierer på årsakssiden og/eller konsekvenssiden, eventuelt mulighet for fellesfeil eller ikke optimal prioritering av barrierene).
- Liten feiltoleranse (høy sårbarhet for tekniske feil, prosedyrefeil og/eller menneskelige feilhandlinger).
- ”Tette koblinger” (manglende eller små muligheter for å gjenvinne kontrollen over den energien som er kommet på avveie og bringe systemet tilbake til normaltilstanden).
- Uheldige omstendigheter (”Act of God”, et potensiale for at tilfældigheter, for eksempel værforholdene, virker i ”gal” retning).

De nevnte faktorene vil være felles for de fire transportområdene (luftfart, sjøfart, jernbane/sporvei og vegtrafikk). Statistisk skiller imidlertid områdene seg fra hverandre, idet luftfarten og sjøfarten har både flest storulykker og flest omkomne i storulykker i Norge de siste 30 årene. Dernest kommer vegtrafikken, mens jernbanen har færrest storulykker og omkomne (jf. Kapittel 4.1, tabell 1).

Sett i lys av de viktigste av faktorene over, kan noe av forskjellen mellom transportområdene illustreres som vist i tabell 3 på neste side.

Som nevnt i konklusjonen på analysen av ”Sleipner”-ulykken (kap. 6.1), atskiller sjøulykker seg ofte fra ulykker innen de andre transportområdene, på den måten at de fleste ikke omkommer umiddelbart som følge av den opprinnelige energiutløsningen (kollisjonen/grunnstøtingen), men på grunn av drukning eller nedkjøling. Dette fremkommer ikke ved fremstillingsformen i tabell 3. (Det vises også til kap. 5.2, tabell 2.)

Tabell 3 – Grov sammenligning av potensialet for at uønskede hendelser utvikler seg til storulykker innen de ulike transportområdene

	Energikonsentrasjon og -type	Eksponeringsgrad	Sikkerhetsbarrierer	Feiltoleranse	Gjenvinningsmulighet ved feil
Luftfart	Meget stor kinetisk energi og varme-/eksplosjonsenergi	Meget høy (passasjerer og omgivelser)	Svært mange, både på årsakssiden og konsekvenssiden ("forsvar i dybden")	Moderat overfor de fleste feiltyper, liten overfor enkelte spesielle feiltyper ¹⁶ .	Moderat
Sjøfart	Meget stor kinetisk energi og varme-/eksplosjonsenergi. <i>Drukning og nedkjøling er hyppige dødsårsaker, men fremstår ikke som vanlig energiutløsning.</i>	Kan være meget høy (passasjerer, omgivelser ved miljøulykke)	Færre enn i luftfarten på årsakssiden, relativt mange på konsekvenssiden	Generelt høyere enn i luftfarten	Noe høyere enn i luftfarten
Vegtrafikk	Kan ha stor kinetisk energi (tunge kjøretøy) og/eller meget stor kjemisk energi eller varme-/eksplosjonsenergi (farlig gods)	Oftest begrenset, med unntak av busser. Kan være meget stor ved transport av farlig gods gjennom tettbygd strøk.	Få på årsakssiden, relativt mange på konsekvenssiden.	Lav på årsakssiden, høyere på konsekvenssiden (jf. nullvisjonen).	Moderat
Jernbane	Meget stor kinetisk energi, kan også ha meget stor varme-/eksplosjonsenergi og/eller kjemisk energi (drivstoff og/eller farlig gods)	Meget høy (passasjerer og omgivelser).	Mange på årsakssiden, færre på konsekvenssiden.	Lav på årsakssiden mot enkelte typer tekniske feil (avsporing). Generelt lav på konsekvenssiden.	Lav ved tekniske feil, høyere ved operative feil.

¹⁶ I luftfarten opereres det med en "Minimum Equipment List" (MEL) for hver flytype. Her er alle kritiske systemer listet opp, og det er angitt hvilken aksjon som kreves for de ulike typer funksjonsfeil som kan oppstå. Noen feil krever for eksempel umiddelbar retur til avgangsstedet eller landing på nærmeste flyplass. For andre, mindre kritiske feil kan turen fortsette som planlagt, og feilen repareres ved første anledning.

BLANK SIDE

Referanser

Bird, F.E. & Germain, G.L., 1985: *Practical Loss Control Leadership*, International Loss Control Institute (ILCI), Georgia, USA.

Center for Chemical Process Safety of American Institute of Chemical Engineers, 1994: *Guidelines for Preventing Human Error in Process Safety*. New York.

Engelsen, Per A.: *Sammenstøt mellom lastebil, personbil og buss v/Rv. 65 i Johølen, Orkdal*. Notat, Trondheim 2003-15-08.

Haddon, W. 1970: *On the Escape of Tigers: An ecological note*. Technological Review, 72 (7), MIT, May 1970.

Haddon, W. 1980: *The Basic Strategies for Reducing Damage from Hazards of All Kinds*. Hazard Prevention, Sept./Oct. 1980.

Havarikommisjonen for Sivil Luftfart (HSL), 2000: *Rapport om alvorlig luftfartshendelse (trafikk) ved rapporteringspunkt MERAK i Trondheim FIR 17. desember 1997, med McDonnell Douglas DC-9-82, SE-DIK, fra Scandinavian Airlines System og Boeing B 737-300, EC-FUT, fra Air Europa*.

Heinrich, H. W., 1931: *Industrial Accident Prevention*. McGraw-Hill, N.Y.

Honnagel, Erik, 2004: *Barrier systems and barrier functions*. Cognitive Systems Engineering Laboratory (CSELAB), Universitetet i Linköping, Sverige. (Foredrag i Stavanger)

Hovden, Jan og Sklet, Snorre og Tinmannsvik, Ranveig K.: *Gransking og læring av ulykker*. Arbeidstittel på utkast til artikkel i Jubileumsskrift for Sikkerhetsdagene ved NTNU / SINTEF, Trondheim, 2004.

Jernbaneverket: *Sikkerhetshåndbok, Dok. Nr. 1B-Sikkerhet*. Oslo, 2001.

Jersin, Erik, 2003: *Storulykker i Norge 1970 – 2001. Utgave 3*. SINTEF Rapport STF38 A02405, Trondheim, 2003-03-21.

NOU 2000: 24 *Et sårbart samfunn. Utfordringer for sikkerhets- og beredskapsarbeidet i samfunnet*. Oslo, 2000.

NOU 2000: 31 *Hurtigbåten MS Sleipners forlis 26. november 1999*. Oslo, 2000.

NOU 2001: 9 *Lillestrøm-ulykken 5. april 2000*. Oslo, 2000.

NS-EN ISO 9000:2000 *Systemer for kvalitetsstyring. Grunntrekk og terminologi (ISO 9000:2000)*. 1. utgave desember 2000. NSF.

Oljedirektoratet (OD), 2001: *Forskrift om styring i petroleumsvirksomheten - Styringsforskriften*, § 2.

Pariès, J., and R., Almaguer, 2000: *Aviation Safety Paradigms and Training Implications*. Lawrence Erlbaum Associates, London

Perrow, C, 1984: *Normal Accidents*". New York: BasicBooks.

Rasmussen, J. og Svedung, I.: *Proactive Risk management in a Dynamic Society*. Räddningsverket, Karlstad, 2000.

Rausand, Guro, 2003: "*Storulykker innenfor transportindustrien i verden, i perioden 1991 – 2003*". SINTEF Teknologiledelse, Sikkerhet og pålitelighet, Trondheim, august 2003.

Reason, James, 1997: *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Asgate.

Rosness et al, 2004: "*Ti tommeltotter og null ulykker?*". Norges forskningsråd, prosjekt HMS Petroleum: Endring – Organisasjon – Teknologi. Foreløpig versjon 30. januar 2004.

Rosness, Ragnar et al, 2002: "*Organisational Accidents and Resilient Organisations: Five Perspectives*." SINTEF Rapport STF38 A02413, Trondheim, 2002-09-13.

Rosness, Ragnar et al, 2002: "*Feiltoleranse, barrierer og sårbarhet*". SINTEF Rapport STF38 A03404, Trondheim, 2002-12-10.

Sklet, Snorre, 2003: "*Clarification of the term Safety Barrier*". Draft Paper, SINTEF, Trondheim, 2003-10-08.

Taylor, A. Frank, 2003: *Lessons from the Ustica investigations*, Atavia 870-paper, Cranfield University, 2003.
(<http://aviation-safety.net/specials/ustica/ustica.htm>)

United States Department of Energy, 1994: *Management Oversight and Risk Tree (MORT)*.