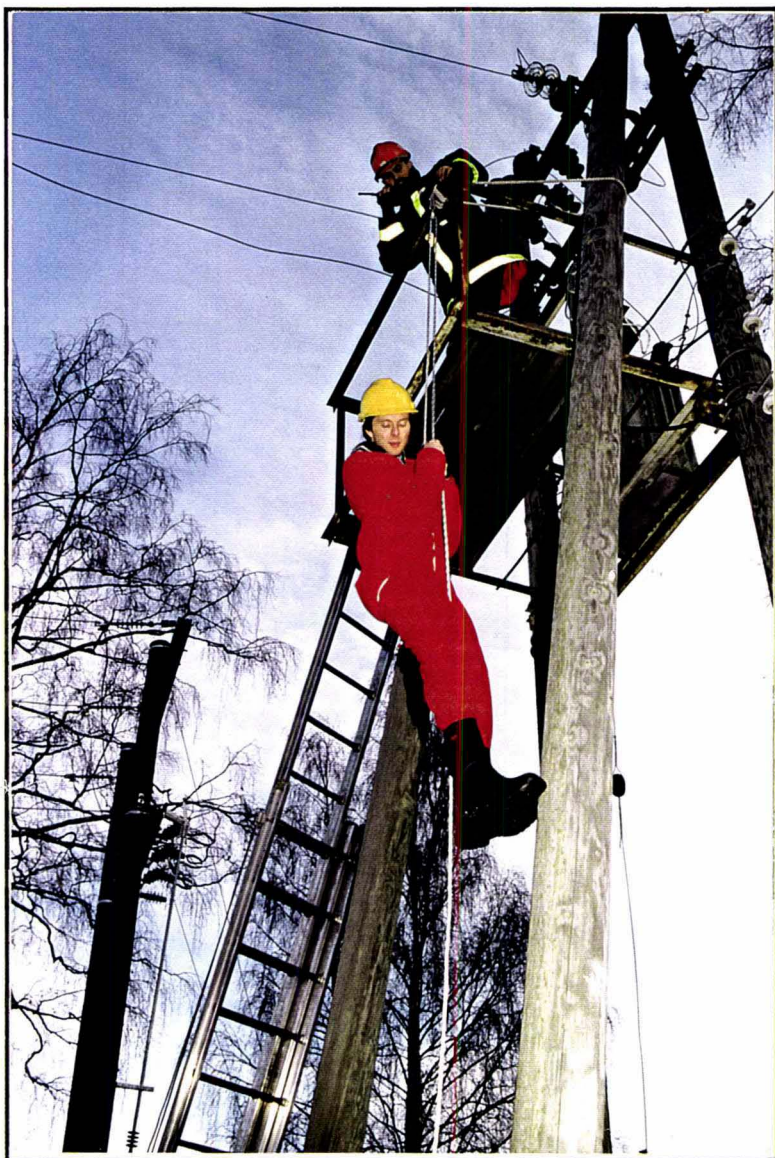




NVE
NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIVERK

Kjell Sand

VEILEDER I BRUK AV RISIKO- OG SÅRBARHETSANALYSER I KRAFTFORSYNINGEN



SIKKERHETSAVDELINGEN

PUBLIKASJON

Nr 13
1997

Omslagsbilde: Nedfiring fra mast



NVE
NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIVERK

TITTEL Veileder i bruk av risiko- og sårbarhetsanalyser i kraftforsyningen	PUBLIKASJON 13
	DATO Mai 1997
FORFATTER Kjell Sand, Energiforsyningens Forskningsinstitutt AS	ISBN 82-410-0301-3
	ISSN 0802-2569

SAMMENDRAG

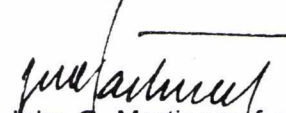
NVE ser på risiko- og sårbarhetsanalyser som et nødvendig hjelpemiddel ved utarbeidelse av beredskaps- og innsatsplaner. NVE ønsker derfor at metoden for å gjennomføre og bruke slike analyser blir godt kjent, og at kraftselskap/energiverk tar slike analyser i bruk som et middel til å oppnå bedre beredskapsplaner og dokumentasjon av grunnlaget for beredskapsplanene.

Veilederen er ment som en introduksjon til dette arbeid. Den gir grunnleggende definisjoner av begreper, og metodikken er primært søkt belyst ved eksempler. Målet er å gi en overordnet forståelse av hva risiko- og sårbarhetsanalyser er, og et utgangspunkt for å kunne gjøre enkle analyser ved eget verk.

EMNEORD /SUBJECT TERMS

Risiko-/sårbarhetsanalyse Beredskap Ulykker
Personsikkerhet

ANSVARLIG UNDERSKRIFT


John G. Martinsen fung.
avdelingsdirektør

Kontoradresse: Middelthunsgate 29
Postadresse: Postboks 5091, Maj
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
Telefax: 22 95 90 00

Bankgiro: 6003 06 04221
Postgiro: 0803 5052055

Org. nr.: NO 970 205 039 MVA

FORORD

I medhold av energiloven er alle enheter i Kraftforsyningens beredskapsorganisasjon (KBO) - energiverk og vassdragsregulanter - pålagt å utarbeide beredskapsplaner. En beredskapsplan skal beskrive de forberedelser som er gjort, og de tiltak og hjelpeaksjoner som det kan være nødvendig å iverksette ved unormale situasjoner og hendelser.

Beredskapshåndbok for kraftforsyningen (NVE feb 97) inneholder i kapittel 4 retningslinjer for utarbeidelse av beredskapsplaner. Det fremheves at det for å oppnå et godt grunnlag for oppsett av innsatsplaner er nødvendig å gjennomføre en analyse av risikofaktorer - risikoanalyse.

Siden utarbeidelse og bruk av risiko- og sårbarhetsanalyser er en ny arbeidsmetodikk for de fleste innen kraftforsyningen, har Energiforsyningens Forskningsinstitutt AS (EFI) etter oppdrag fra Norges vassdrags- og energiverk (NVE) utarbeidet denne veileder.

Norges vassdrags- og energiverk
Mai 1997

INNHALDSFORTEGNELSE

1	RISIKOANALYSER - HISTORIKK	7
2	INNLEDNING	8
3	RISIKOANALYSE	10
3.1	GRUNNLEGGENDE BEGREPER I RISIKOANALYSEN	10
3.2	BEREGNING AV SANNSYNLIGHET/FREKVENNS	11
3.3	BEREGNING AV KONSEKVENSER	14
3.4	RISIKOANALYSE - RISIKOSTYRING - SÅRBARHETSANALYSER ...	15
4	RISIKOANALYSE OG BEREDSKAPSPLANLEGGING	19
5	EKSEMPLER PÅ RISIKOANALYSER	23
5.1	EKSEMPEL PÅ RISIKOSTYRING - PERSONSIKKERHET I TRANSFORMATORSTASJON	23
5.2	EKSEMPLER PÅ RISIKOSTYRING - LUFTLEDNINGFORSYNING AV EN INDUSTRIBEDRIFT	25

VEDLEGG: Feiltreanalyse - Hendelsestreanalyse

1 RISIKOANALYSER - HISTORIKK

Når beslutninger/analyser skal gjøres i forbindelse med tekniske systemer hvor usikkerhet og skade på liv og/eller eiendom er inne i bildet, står risikobegrepet sentralt. Gjennombruddet for risikoanalyser kom på syttitallet blant annet i kjølvannet på Rasmussen-rapporten "WASH 1400, The Reactor Safety Study" som behandlet sikkerheten i kjernekraftverk. Metodikken er en videreutvikling av pålitelighetsanalysen som ble utviklet fra mellomkrigstiden og framover.

Risikoanalysemetodikken kan benyttes på et utall av problemstillinger, fra å beregne mulighetene for å vinne i Lotto til risikoen knyttet til kjernekraftulykker.

I Norge er det særlig innenfor petroleumsvirksomheten at risikoanalysen har fått omfattende anvendelse, men også innenfor andre virksomheter er bruken av risikoanalyse økende. I ulike forskrifter fra myndighetene påpekes behovet for risikoanalyser (f eks. Internkontrollforskriften og Storulykkeforskriften). Oljedirektoratet har utformet en egen forskrift og gjennomføring og bruk av risikoanalyse i petroleumsvirksomheten.

Videre har direktoratet for sivilt beredskap utarbeidet en "Veileder for kommunale risiko- og sårbarhetsanalyser". Hensikten med veilederen er å bidra til å bedre beredskaps- og kriseplanleggingen i kommunene, og omfatter også elektrisitetsforsyning; orkanen nyttårshelgen 1991/1992 er nevnt som eksempel.

Det foreligger en Norsk Standard, NS 5814 "Krav til risikoanalyser" [7], og IEC har utarbeidet en egen veiledning for bruk av risikoanalyse i teknologiske system [5].

Motiveringen for denne omfattende interessen for risikoanalyser har primært vært hensynet til helse, miljø og sikkerhet, men det er også mange anvendelser innenfor rene økonomiske problemstillinger. Et godt eksempel her er bruk av risikoanalyser i forbindelse med kjøp og salg av elektrisk kraft hvor aktørene ønsker å beskrive sin risikoeksponering ved ulike kontraktporteføljer.

2 INNLEDNING

Denne veileder er utarbeidet av Energiforsyningens Forskningsinstitutt (EFI) på oppdrag for Norges vassdrags- og energiverk (NVE), Sikkerhetsavdelingen.

NVE ser på risikoanalyse som et godt hjelpemiddel i forbindelse med utarbeidelse av beredskaps- og innsatsplaner. NVE ønsker derfor å gjøre metodikken bedre kjent, og at kraftselskapene tar i bruk risikoanalyse i beredskapssammenheng som et virkemiddel til å få bedre beredskapsplaner og bedre dokumentasjon av grunnlaget for beredskapsplanene.

Risikoanalyser/risikoadministrasjon brukes i økende grad i ulike bransjer når beslutninger skal tas i forbindelse med forhold som vedrører muligheter for tap av helse, miljø eller økonomiske verdier. I kraftforsyningen er risikoanalyser hittil anvendt i beskjeden grad, selv om pålitelighetsanalyser har hatt en viss anvendelse.

Det økende kravet om kostnadseffektivitet i energiforsyningen har medført at det stilles spørsmål om hvor mye ressurser det er riktig å anvende til ulike formål som:

- driftssikkerhet
- personsikkerhet
- beredskap
- miljø

Felles for disse problemstillingene er at bedriftsøkonomiske målsettinger ikke nødvendigvis sammenfaller med de samfunnsøkonomiske.

Ressursbruken vil påvirke risikonivået, og siden risikobegrepet vil bli hyppig brukt i denne rapporten defineres det her:

Risiko: Forventet tap eller skade på mennesker eller materiell.

Det er tre grupper involvert i beslutninger som har med risiko å gjøre (se figuren nedenfor):



Figur 1.1 Risikoaktører.

Disse tre gruppene er mer eller mindre sammenfallende, og typisk for mange situasjoner tidligere var en større grad av overlapp enn det som er vanlig i dag. Jegere og fiskere tok selv beslutningene, de fikk nytten og bar kostnadene, og kunne selv bli utsatt for ulykker under fangsten.

I det moderne samfunn med mange kompliserte teknologiske prosesser, er ikke samsvaret mellom aktørene det samme. Elektrisk kraftproduksjon ved hjelp av

kjernekraft er et klassisk eksempel, og det var her kvantitative risikoanalyser fikk sitt gjennombrudd.

Anvendelsen og avhengigheten av kompliserte teknologiske systemer er den viktigste grunnen for den store interessen for risiko / risikostyring og for behovet for systematiske analyser.

Denne veileder er ment som en introduksjon til temaet. I gir grunnleggende definisjoner av begreper, og metodikken er primært søkt belyst ved hjelp av eksempler. Statistisk teori og beskrivelse av verktøy for risikoanalyse vektlegges ikke. Målet er å gi en overordnet forståelse av hva risikoanalyse er, og et utgangspunkt for å kunne gjøre enkle kvalitative risikoanalyser ved eget energiverk.

3 RISIKOANALYSE

3.1 GRUNNLEGGENDE BEGREPER I RISIKOANALYSEN

Fra Oljedirektoratets forskrift om gjennomføring og bruk av risikoanalyse i petroleumsvirksomheten gjengis følgende nyttige definisjoner:

<i>Ulykkeshendelser:</i>	Ukontrollerte hendelser som kan medføre tap av menneskeliv, personskader, skade på miljø og tap av økonomiske verdier.
<i>Risiko:</i>	Uttrykk for sannsynligheten for og konsekvensene av en ulykkeshendelse.
<i>Risikoanalyse:</i>	Analyse som omfatter systematisk identifisering og kategorisering av risiko for mennesker, miljø og økonomiske verdier.
<i>Akseptkriterier:</i>	Kriterier som benyttes for å uttrykke et akseptabelt risikonivå i virksomheten.
<i>Dimensjonerende ulykkeshendelse:</i>	Ulykkeshendelse, som i henhold til de definerte akseptkriteriene, representerer en uakseptabel risiko og som derfor legges til grunn for utforming og bruk av innretninger og gjennomføring av virksomheten forøvrig.

Kjernebegrepet risiko kan matematisk formuleres som:

$$R = \sum_{i=1}^n p_i \cdot K_i = p_1 \cdot K_1 + p_2 \cdot K_2 + \dots + p_n \cdot K_n \quad (3.1)$$

hvor

R	=	risiko
p_i	=	sannsynlighet eller frekvens til ulykkeshendelse 'i'
K_i	=	konsekvens av ulykkeshendelse 'i'
n	=	antall ulykkeshendelser

En måte å uttrykke risiko på, slik den er definert i (3.1), er:

Risiko = Forventet tap eller skade på mennesker eller materiell

Eksempel

I forbindelse med en transformatorstasjon er det kartlagt to mulige ulykkeshendelser hvor det er fare for at menneskeliv går tapt:

- a) Brytereksplosjon med personell til stede
Ulykken har en årlig sannsynlighet på $p_1 = 0,00001$, dvs $p_1 = 0,001 \%$, og en konsekvens på $K_1 = 2$ dødsfall.
- b) Brann med personell til stede

Ulykken har en årlig sannsynlighet på $p_2 = 0,000002$, dvs $p_2 = 0,00002 \%$, og en konsekvens på $K_2 = 10$ dødsfall.

Hva er risikoen målt i forventet antall dødsfall pr år?

Innsatt i ligning (3.1) beregnes risikoen til:

$$\begin{aligned} R &= p_1 \cdot K_1 + p_2 \cdot K_2 \\ &= 0,00001 \cdot 2 + 0,000002 \cdot 10 = 0,00004 \text{ dødsfall/år} \\ &\quad (\text{eller ett dødsfall pr 25 000 år}) \end{aligned}$$

Eksempel slutt.

En risikoanalyse kan inneholde seks følgende elementer:

1. Identifikasjon av mulige ulykkeshendelser
2. Kartlegging av årsaker til ulykkeshendelser
3. Estimere sannsynlighet for ulykkeshendelser (kvalitativt/kvantitativt)
4. Kartlegging av konsekvenser av ulykkeshendelser
5. Estimere konsekvenser av ulykkeshendelser (kvalitativt/kvantitativt)
6. Beskrivelse av risiko (kvalitativt/kvantitativt)

Med "**kvalitativ**" menes en grov beskrivelse som f eks "god", "middels", "dårlig", mens med "**kvantitativ**" menes en nærmere tallfesting av størrelser, f eks "sannsynligheten er 10 % for at ...".

De ulike elementene vektlegges forskjellig avhengig av hensikten med analysen. Konsekvensanalyser (4, 5) er sentrale i forbindelse med å spesifisere krav til beredskap og miljøvern, og krav til sikkerhetsfunksjoner (innebygde barrierer), mens både årsaks- og konsekvensanalyser er aktuelle i forbindelse med utarbeidelse av prosedyrer og sikkerhetsmessige driftskrav.

Det er utviklet en rekke analysemetoder for å identifisere og evaluere risikoforhold. Analysene omfatter både rent tekniske risikoanalyser, og kartleggings- og analysemetoder som vurderer den menneskelige faktorens rolle i sikkerhetssammenheng - både som risikofaktor og sikkerhetsressurs. For å kunne prosjektere et anlegg som fungerer godt i drift, er det viktig at menneskets funksjon og organisatoriske forhold blir vurdert på et tidlig stadium i prosjekteringen.

For å kunne bedømme risiko må følgende forhold kunne beskrives:

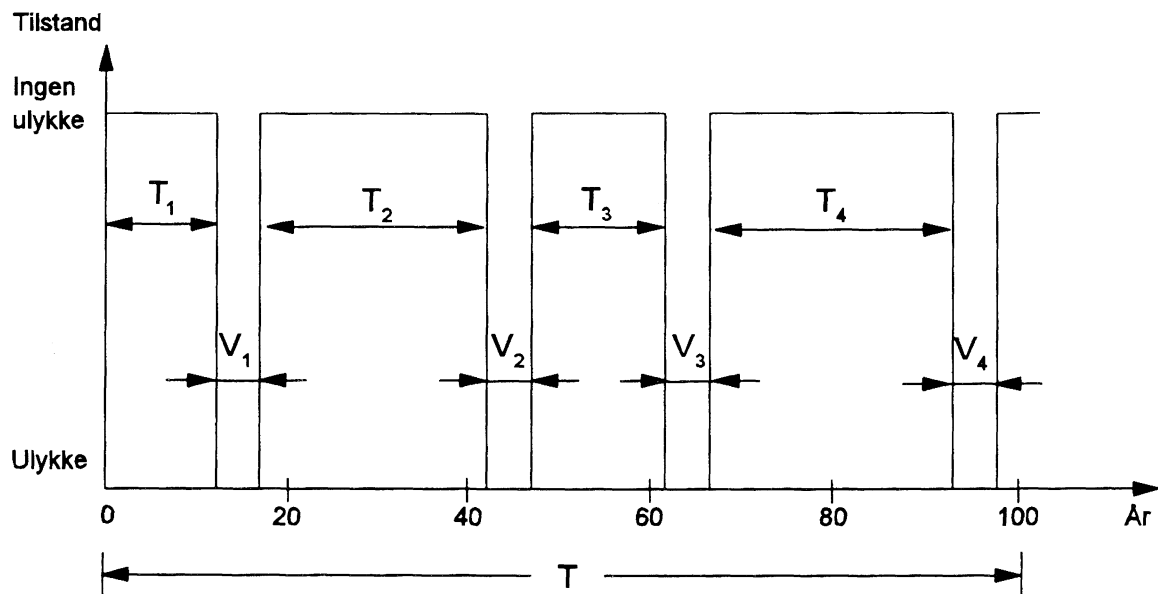
- sannsynligheter eller frekvenser for ulykkeshendelser (se avsnitt 3.2)
- konsekvenser av ulykkeshendelser (se avsnitt 3.3)

3.2 BEREKNING AV SANNSYNLIGHET/FREKVENNS

I avsnitt 3.1 ble begrepene sannsynlighet og frekvens brukt som synonyme begreper. Begge uttrykker sjansen for at en ulykkeshendelse skal inntreffe, og hvordan denne sjansen best skal beskrives avhenger blant annet av hvordan konsekvensene beskrives (se neste avsnitt). Dersom ulykkeskonsekvensene beskrives som en konsekvens **pr gang** en ulykke inntreffer, er en frekvensbeskrivelse velegnet. Dersom konsekvens-

beskrivelsen er en løpende kostnad pr time ulykkessituasjonen varer, er en sannsynlighetsbeskrivelse passende.

Med utgangspunkt i figuren nedenfor illustreres disse begrepene nærmere.



Figur 3.1 Tilstandsbeskrivelse.

Av figur 3.1 sees det at i løpet av observasjonsperioden på $T = 100$ år, er det fire ulykker. Antall år mellom hver ulykke er benevnt T_1 , T_2 osv, mens varigheten av ulykkene benevnes V_1 , V_2 osv. (I figuren er framstillingen av varigheten på ulykkeshendelsene sterkt overdrevet.)

Ut fra statistikken i figuren kan ulike sannsynlighetsmål beregnes:

- Antall år mellom hver ulykke (midlere tid til ulykke):

$$m = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{4} \quad [\text{år}]$$

- Antall ulykker pr år (ulykkesfrekvens)

$$\lambda = \frac{1}{m} = \frac{4}{T_1 + T_2 + T_3 + T_4} \quad [\text{ganger pr år}]$$

- Sannsynlighet for ulykkessituasjon:

$$p = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}{T} \quad [\text{år/år}]$$

- Årlig ulykkesvarighet:

$$V_{\text{årlig}} = p \cdot 8760 \quad [\text{timer}]$$

(8760 er årets varighet i timer)

For å beregne sannsynligheten eller ulykkesfrekvensen er tre hovedmetoder aktuelle:

- Anvende relevante historiske data, f eks feilstatistikk, i pålitelighetsanalyseprogrammer.
- Syntetisere ulykkeshyppigheter ved hjelp av teknikker som feiltreanalyse eller hendelsestreanalyse. (Metodene er kort forklart i vedlegg.)
- Bruke ekspertvurderinger. (Se eksempler i kapittel 4 og 5.)

Om dataunderlaget tillater det kan sannsynlighetsestimatene være kvantitative, f eks at forventede antall feil på en kraftledning som følge av sterk vind er 1,5 feil pr 100 km & år (data fra feilstatistikk). I andre tilfeller hvor datagrunnlaget er spinklere og sannsynligheter bedømmes av fagfolk, kan sannsynlighetsbeskrivelsen være av kvalitativ karakter:

- lite sannsynlig
- mindre sannsynlig
- sannsynlig
- meget sannsynlig

eller ved hjelp at en passende karakterskala.

Et annet eksempel på slik klassifisering er gitt i tabell 3.1: Tabell 3.1 Beskrivelse av ulykkeshyppighet (eksempel).

Ulykkeshyppighet	Antall år mellom hver gang	Antall ganger pr år
Ofte	< 1 år	> 1
Sannsynlige	1 - 10 år	$1 - 10^{-1}$
Tilfeldige	10 - 100 år	$10^{-1} - 10^{-2}$
Sjeldne	100 - 10 000 år	$10^{-2} - 10^{-4}$
Usannsynlige	10 000 - 1 000 000 år	$10^{-4} - 10^{-6}$
Utrolige	> 1 000 000 år	$< 10^{-6}$

En slik kvalitativ beskrivelse vil for de fleste everk være det viktigste utgangspunkt for å gjøre risikovurderinger i forbindelse med innsatsplaner i beredskapssammenheng.

3.3 BEREGNING AV KONSEKVENSER

En ulykkeshendelse kan gi følgende konsekvenser:

- a) individuelle konsekvenser
- b) yrkesmessige konsekvenser (arbeidstaker)
- c) samfunnsmessige konsekvenser (samfunnet generelt)
- d) eiendomsmessige konsekvenser (skader på materiell, eiendom)
- e) forretningsmessige konsekvenser (produksjonsavbrudd, tap av marked osv)
- f) miljømessige konsekvenser (skader på luft, land, vann, flora, fauna, kulturminner)

Noen konsekvenser kan gis økonomiske mål, mens skader på liv, helse og miljø kan være vanskeligere å verdsette rent økonomisk.

I elforsyningen brukes f eks avbruddskostnader som et mål på konsekvenser av strømbrudd.

Forretningsmessige og eiendomsmessige konsekvenser kan ofte verdsettes i kroner på fornuftig vis, mens andre konsekvenser kan indikeres ut fra betalingsvilje for å unngå konsekvensen, det vil si noe i retning av en markedsløsning for risiko.

Det er generelt sett umulig å måle alle konsekvenser av en ulykkeshendelse "riktig", og spesielt vanskelig er det å måle alle konsekvenser i en felles dimensjon som f eks kroner. Men både personskader og dødsfall har i ulike studier vært kostnadsberegnet. I forbindelse med samfunnsøkonomisk kostnadsberegning av personskader har f eks følgende kostnadsfaktorer vært lagt til grunn:

- ressursbinding i sykehussektoren
- syketrygd
- primærhelsetjeneste
- sykefravær
- uførhetstrygd
- driftstap

Det har vært brukt en rekke metoder for å forsøke å måle verdien av liv og helse:

Implisitt verdi: Som mål brukes samfunnets tidligere investeringer for å hindre ulykker/forebygge tap av menneskeliv.

Menneskelig kapital: Menneskets verdi måles i forhold til de forventede framtidige inntekter det kan produsere (for samfunnet).

Forsikring: Livsforsikringspoliser gir underlag for verdifastsettelse.

Rettsavgjørelse: Verdifastsettelse på grunnlag av erstatningssøksmål.

Betalingsvilje: Samfunnets betalingsvilje for å redusere risiko.

Som listen viser er metodene meget forskjellige, og dette resulterer i stor spredning i kostnadsoverslag avhengig av metode. Det er derfor bedre å bruke flere konsekvensmål enn de rent økonomiske. For ulykkeshendelser som kan gi tap av menneskeliv, brukes antall omkomne i forbindelse med en ulykkeshendelse direkte som mål.

For ulykkeshendelser som kan gi personskade, kan konsekvensen f.eks. måles i antall dager sykefravær, uførhetsgrad hos berørte personer osv. Som det framgår, kan ulike **kvantitative** mål etableres for konsekvenser av ulykkeshendelser.

I mange sammenhenger vil det være for ressurskrevende å framskaffe kvantitative mål på konsekvenser. Kvalitative beskrivelser vil da kunne være nyttige. Tabell 3.2 gir et eksempel på en **kvalitativ** konsekvensbeskrivelse.

Tabell 3.2 Kvalitativ konsekvensbeskrivelse.

Konsekvens-gradering	Beskrivelse
Katastrofe	Fullstendig/omfattende ødeleggelser. Mange omkomne.
Kritisk	Omfattende ødeleggelser. Få omkomne.
Alvorlig	Betydelige skader på materiell og personell.
Mindre	Mindre skader på materiell og personell.

En slik rangering som gitt i tabell 3.2 er et hjelpemiddel for hvilke begivenheter som skal prioriteres i risikoanalysen. En klassifisering av samlet risiko som kombinerer tabell 3.1 (sannsynlighet) og tabell 3.2 (konsekvens) er vist i tabell 3.3.

Tabell 3.3 Risikomatrise.

Konsekvensbeskr./Ulykkeshyppighet	Katastrofe	Kritiske	Alvorlige	Mindre
Ofte	Meget høy	Meget høy	Høy	Middels
Sannsynlige	Meget høy	Meget høy	Middels	Lav
Tilfeldige	Meget høy	Høy	Lav	Lav
Sjeldne	Høy	Høy	Lav	Triviell
Usannsynlige	Høy	Middels	Lav	Triviell
Utrolige	Middels	Lav	Triviell	Triviell

I forbindelse med beredskapsplanlegging er det en lang rekke ulykkesituasjoner som skal tas i betraktning. Ved hjelp av risikoanalyseopplegget som her er beskrevet, kan de ulike ulykkesituasjonenes alvorlighetsgrad klassifiseres. Det vil være til god støtte med hensyn til hvilke ulykkesituasjoner som bør vies størst oppmerksomhet i beredskapsplanleggingen.

3.4 RISIKOANALYSE - RISIKOSTYRING - SÅRBARHETSANALYSER

Risikoanalysen slik den er definert foran, består i å beskrive risikoen for et gitt system. Resultater fra risikoanalyser vil være en viktig del av beslutningsgrunnlaget i forbindelse med risikostyring - sårbarhetsanalyse, og disse begrepene defineres derfor i det etterfølgende.

I "Veileder for kommunal risiko- og sårbarhetsanalyser" defineres sårbarhet som følger:

Sårbarhet er et uttrykk for et systems evne til å fungere og oppnå sine mål når det utsettes for påkjenninger.

I IEC-guide "Risk analysis of technological systems [5] defineres risikostyring:

Risikostyring: Systematisk anvendelse av strategier, prosedyrer og metoder for å analysere, evaluere og kontrollere risiko.

Av definisjonene framgår at sårbarhetsanalyser og risikostyring er virkemidler for å oppfylle overordnede målsettinger eller krav til virksomheten. Disse kan i elforsynings-sammenheng være uttrykt gjennom kost-nytte kriterier (se eksemplet i kapittel 5.2).

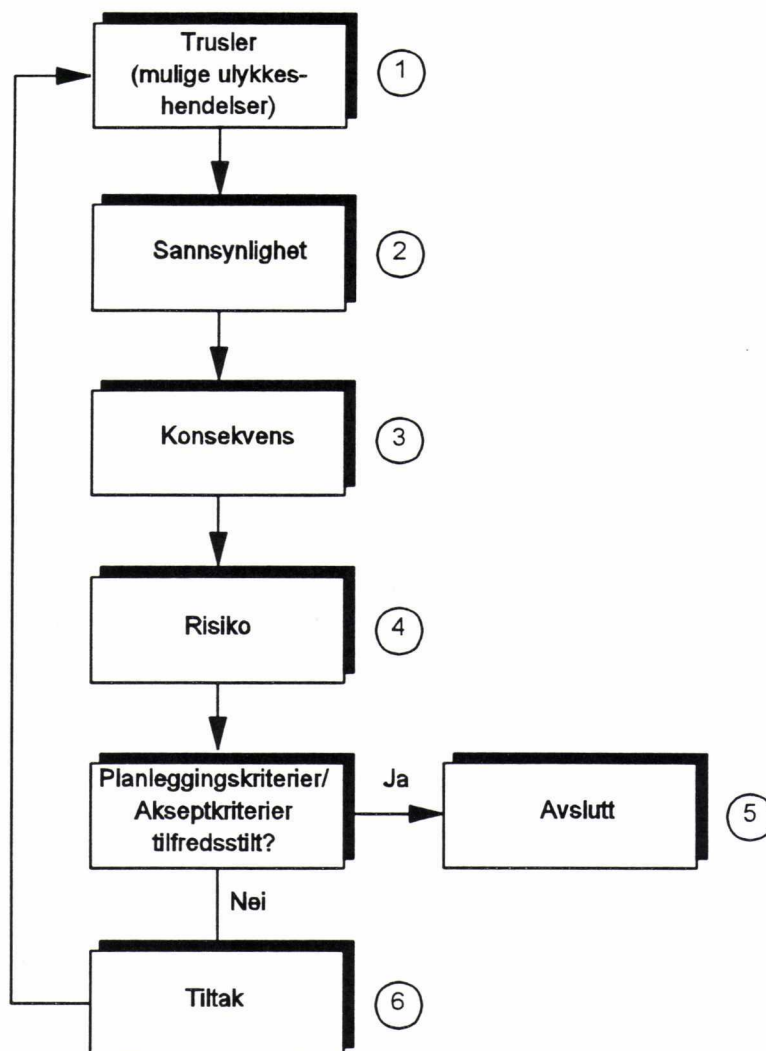
Akseptkriterier uttrykker hvilket risikonivå som er akseptabelt for virksomheten i ulike faser. Akseptkriteriene uttrykker et standpunkt til risikoen for tap av menneskeliv, personskader, skade på miljø og økonomiske verdier.

Virkemidlene for å styre risikoen til et akseptabel eller optimalt nivå for en virksomhet er gjennom å

- påvirke sannsynligheten for ulykkeshendelser,
- påvirke konsekvensen av ulykkeshendelser.

En reduksjon av sannsynligheten for en ulykkeshendelse kan gjøres gjennom forebyggende tiltak, mens en reduksjon av konsekvensene kan gjøres gjennom skadebegrensende tiltak, f eks en god beredskap.

Figur 3.2 gir et enkelt flytskjema for risikostyringsprosessen.



Figur 3.2 Flytskjema risikostyring.

De enkelte trinn kommenteres kort i det etterfølgende:

- ① **Trusler (mulige ulykkeshendelser)**
Denne innledende fasen omfatter en systematisk gjennomgang av mulige trusler og hvordan de kan oppstå. Feil-/ulykkesstatistikk og erfaringer fra andre lignende systemer vil kunne være til god hjelp i denne fasen.
- ② **Sannsynlighet**
Hensikten med denne fasen er å bestemme ulykessannsynligheten og/eller ulykkesfrekvensen. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 3.2.
- ③ **Konsekvens**
Konsekvensanalysen omfatter analyse av sannsynlig virkning av en ulykkeshendelse på materiell, mennesker eller miljø. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 3.3.
- ④ **Risiko**
Med utgangspunkt i resultatene fra forangående faser kan nå risiko for ulike ulykkeshendelser beregnes for det aktuelle system.

⑤ **Planleggingskriterier/akseptkriterier tilfredsstilt?**

Dersom det foreliggende system tilfredsstiller aktuelle kriterier, kan risikostyringen avsluttes. Dersom kriteriene ikke er tilfredsstilt går man til trinn ⑥.

⑥ **Tiltak**

For å kunne redusere risikoen må det iverksettes tiltak. Det kan være tiltak rettet mot teknologi/systemutforming eller tiltak rettet mot personell/organisasjon. Siden risiko er definert som produktet av sannsynlighet og konsekvens, kan risikoen reduseres gjennom å redusere sannsynligheten for ulykkeshendelser (forebyggende) og/eller konsekvensene av ulykkeshendelser (skadebegrensende). Innsatsen kan deles inn i 4 aktiviteter:

- i) å hindre at en ulykke oppstår
- ii) å forberede et bedre vern og beredskap
- iii) å effektivt kunne iverksette beredskap når ulykken oppstår
- iv) å framskaffe planer og ressurser til reparasjon og rehabilitering etter at ulykke er et faktum

US Federal Emergency Management Agency gir følgende stikkord for denne firetrinnsmodellen:

- forebygg (mitigation)
- forbered (preparation)
- respons (response)
- gjenoppbygging (recovery)

Det går så til trinn ① for å starte en risikoanalyse av det modifiserte system. Risikostyringen kan avsluttes når kriteriene er tilfredsstilt (se trinn ⑤).

4 RISIKOANALYSE OG BEREDSKAPSPLANLEGGING

I "Beredskapshåndbok for kraftforsyningen", NVE feb1997, påpekes at alle enheter som står for kraftforsyningen etter loven er pliktige til å utarbeide beredskapsplaner. Beredskapsplanene skal utarbeides for ulykker/skader som kan oppstå som følge av krigshandlinger, naturgitte forhold, teknisk svikt og kriminelle handlinger. I beredskaps-håndboka nevnes blant annet videre:

"Formålet med beredskapsplanen er å:

- sikre etablering av et enhetlig og utholdende ledelses- og innsatsapparat i krisesituasjoner
- sikre en effektiv utnyttelse av disponible ressurser i en kritisk situasjon
- minske behovet for improvisasjon
- forebygge ulykker og skader

Som grunnlag for de enkelte innsatsplaner bør det gjennomføres en analyse av forhold som kan utløse/føre til at ulykkes- og krisesituasjoner kan inntreffe.

Analysen deles i to hoveddeler:

- analyse av risikofaktorer
- analyse av ressurser

Analyse av risikofaktorer:

Når man foretar denne analysen er det viktig å ta hensyn til:

- faregrad (omfanget av en ulykke hvis den inntreffer)
- situasjonsanalyse (hvor stor sannsynlighet det er for at et uhell kan inntreffe)
- mulighet til å påvirke utviklingen (skadereduserende og -forhindrende tiltak)
- tidsvurdering
- skadeutvikling
- andre faktorer

Med utgangspunkt i analysen utarbeides en fortegnelse over ulykkesobjekter, hvor de med høyest risikofaktor angis først."

Som det framgår av utdraget fra beredskapshåndboka og det som er omtalt tidligere i rapporten, ligger problemstillingen vel tilrette for en risikoanalytisk tilnærming. For å systematisere hvilke trusler beredskapsplanen skal rettes mot, må mulige ulykkeshendelser identifiseres og en enkel kvalitativ risikoanalyse (grovanalyse) kan være et nyttig hjelpemiddel her.

Eksemplet nedenfor viser resultatet fra en enkel risikoanalyse. Eksemplet er hentet fra internkontrollarbeidet ved Tafjord Kraftselskap, og viser vurdering av risiko for personellskade i tilknytning til fem kraftstasjoner (K1-K5).

Tabell 4.1 Sammenstilling av risiko for personellskade for kraftstasjonene K1-K5.

Risikogradering: Blank - Ingen risiko
 1-5 - Meget lav risiko
 6-10 - Lav risiko
 11-15 - Middels risiko
 16-20 - Høy risiko
 21-25 - Meget høy risiko

Skademulighet	Kraftstasjon				
	K1	K2	K3	K4	K5
Vind					
Snø					
Vind og snø					
Regn					
Salt					
Snøskred				3	
Jord- og steinras		4	4	4	8
Vannskade	6	8	10	10	10
Fugl					
Uvedkommende	6	2	2	2	4
Brann	9	9	16	12	12
Eksplisjon	4	6	8	10	4
Betjeningsfeil	10	20	10	15	10
Teknisk feil	10	10	10	10	15
Reise til og fra	4	12	20	4	20
Driftsstans					
SUM	49	71	80	70	83

Utgangspunktet for sammenstillingen i tabell 4.1 er vist i tabell 4.2, som viser hvordan sannsynligheten og konsekvens er vurdert for kraftstasjon K5. "Risiko"-kolonnen i tabell 4.2 er identisk med kolonne "K5" i tabell 4.1.

Tabell 4.2 Risikoanalyse personellskade, kraftstasjon K5.

Gradering	Ingen	Meget lav	Lav	Middels	Høy	Meget høy
Sannsynlighet	0	1	2	3	4	5
Konsekvens	0	1	2	3	4	5
Risiko	0	1-5	5-10	10-15	15-20	20-25

Skademulighet	Sannsynlighet	Konsekvens	Risiko
Vind			
Snø			
Vind og snø			
Regn			
Salt			
Snøskred			
Jord- og steinras	2	4	8
Vannskade	2	5	10
Fugl			
Uvedkommende	2	2	4
Brann	3	4	12
Eksplisjon	1	4	4
Betjeningsfeil	5	2	10
Teknisk feil	5	3	15
Reise til og fra	4	5	20
Driftsstans			

Sannsynlighet og konsekvens er vurdert i en karakterskala fra 0 til 5 som gir en risikoskala fra 0 til 25 siden risiko er produktet av sannsynlighet og konsekvens.

Tabell 4.3 viser eksempel på en tilsvarende grovanalyse av feil på transformatorstasjoner og kraftledninger.

Tabell 4.3 Sammenstilling av risiko for feil på transformatorstasjoner og kraftledninger.

Risikogradering:0	- Ingen risiko
1-5	- Meget lav risiko
6-10	- Lav risiko
11-15	- Middels risiko
16-20	- Høy risiko
21-25	- Meget høy risiko

Skademulighet	Transformatorstasjoner					Kraftledning	
	T1	T2	T3	T4	T5	20 kV	132 kV
Vind	10	10	8	10	8	16	9
Snø	1	1	1	1	1	12	9
Vind og snø	10	10	8	10	8	12	9
Regn	1	1	1	1	1	1	3
Salt	1	12	4	12	8	12	3
Snøskred	0	0	0	0	0	8	6
Jord- og steinras	0	0	0	0	0	8	6
Vannskade	4	4	4	4	4	2	1
Fugl	2	2	2	2	2	12	
Uvedkommende	8	8	4	8	4	3	3
Brann	10	5	5	5	5	3	3
Eksplisjon	5	5	5	5	5	3	3
Betjeningsfeil	6	8	4	8	4	6	6
Teknisk feil	5	4	4	4	4	6	6
Reise til og fra	0	0	0	0	0	0	0
Driftsstans	2	2	1	2	1	6	6
SUM	65	72	51	72	55	110	77

Slike analyser som er vist i eksemplene er enkle å gjennomføre og danner et godt utgangspunkt for å utarbeide og prioritere beredskapsplaner/tiltak.

5 EKSEMPLER PÅ RISIKOANALYSER

I dette avsnittet gis noen enkle eksempler på gjennomføring og bruk av risikoanalyser.

5.1 EKSEMPEL PÅ RISIKOSTYRING - PERSONSIKKERHET I TRANSFORMATORSTASJON

Et everk har en gammel transformatorstasjon liggende i et boligområde og ønsker å vurdere personsikkerheten for eget personell og for allmennheten ved hjelp av en **kvalitativ risikoanalyse**.

Risikoanalysen startes med å identifisere potensielle ulykkeshendelser. (I dette eksemplet tas kun med et fåtall hendelser for at eksemplet ikke skal bli for omfattende):

- a) eget personell berører spenningsførende deler
- b) eget personell skades av eksplosjon i stasjonen
- c) eget personell skades av brann i stasjonen
- d) uvedkommende skades etter å ha tatt seg inn i stasjonen
- e) skader på omgivelsene som følge av brann i stasjonen

Tabell 5.1 sammenfatter årsakene til ulykkeshendelsene.

Tabell 5.1 Hendelse - årsaksmatrise.

Hendelse	Årsaker						
	Menneske- lig feil	Feil på effekt- bryter	Feil på trans- formator	Feil på kabelmuffe	Sabotasje	Innbrudd	Jord- skjelv
a)	x						x
b)	x	x	x	x			x
c)	x	x	x	x	x		x
d)						x	x
e)	x	x	x	x	x		x

Et kryss i tabellen indikerer at det er en sammenheng mellom en ulykkeshendelse og en årsak. Krysset øverst til venstre i tabellen viser at eget personell kan komme til å berøre spenningsførende deler som følge av menneskelige feil.

I tabell 5.2 er sannsynligheten for de ulike hendelses-/årsakssammenhenger bedømt. Til dette brukes frekvensbeskrivelsen som er gitt i tabell 3.1.

Tabell 5.2 Sannsynlighetsbeskrivelse.

Hendelse	Årsaker						
	Menneskelig feil	Feil på effektbryter	Feil på transformator	Feil på kabelmuffe	Sabotasje	Innbrudd	Jordskjelv
a)	Sannsynlig						Usannsynlig
b)	Usannsynl.	Sjelden	Sjelden	Tilfeldig			Usannsynlig
c)	Sjelden	Sjelden	Sjelden	Tilfeldig	Usannsynlig		Usannsynlig
d)						Tilfeldig	Utrolig
e)	Sjelden	Sjelden	Sjelden	Tilfeldig	Sjelden		Usannsynlig

I tabell 5.3 beskrives konsekvensene av ulykkeshendelsene med samme konsekvensgradering som definert i tabell 3.2.

Tabell 5.3 Konsekvensevaluering.

Hendelse	Konsekvensgradering	Konsekvensbeskrivelse
a)	Kritisk	Dødsfall, ingen materielle skader
b)	Kritisk	Dødsfall og omfattende materielle skader
c)	Alvorlig	Betydelige skader på materiell og personell
d)	Kritisk	Dødsfall, ingen materielle skader
e)	Alvorlig	Betydelige skader på materiell og miljø og mindre personskader

I henhold til risikoklassifiseringen gitt av tabell 3.3 kan nå ulykkeshendelsene gitt av ulike årsaker klassifiseres:

Tabell 5.4 Risikomatrise.

Hendelse	Årsaker						
	Menneskelig feil	Feil på effektbryter	Feil på transformator	Feil på kabelmuffe	Sabotasje	Innbrudd	Jordskjelv
a)	Meget høy						Middels
b)	Middels	Høy	Høy	Høy			Middels
c)	Lav	Lav	Lav	Lav	Lav		Lav
d)						Høy	Lav
e)	Lav	Lav	Lav	Lav	Lav		Lav

Ut fra denne analysen er det viktigst å vurdere forebyggende tiltak eller skadebegrensende tiltak i forbindelse med faren for at eget personell kommer i berøring med spenningsførende deler. En finere rangering av risiko enn den som framgår av tabell 5.3 kan etableres ved å innføre tallskalaer i stedet for de klassifiseringsbegrepene som er brukt i tabellene. Tabell 5.5 og 5.6 gir eksempler på slike tallskalaer og er utvidelser av tabell 3.1 og 3.2.

Tabell 5.5 Sannsynlighetstabell.

Frekvensbeskrivelse	Antall ganger [pr år]	Valgt frekvens [pr år]
Ofte	> 1	1
Sannsynlige	$1 - 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-1}$
Tilfeldige	$10^{-1} - 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$
Sjeldne	$10^{-2} - 10^{-4}$	10^{-3}
Usannsynlige	$10^{-4} - 10^{-6}$	10^{-5}
Utrolige	$< 10^{-6}$	10^{-6}

Tabell 5.6 "Kvalitativ" konsekvensbeskrivelse.

Konsekvens- gradering	Beskrivelse	Relativ verdiskala
Katastrofe	Fullstendig/omfattende ødeleggelser. Mange omkomne.	1 000
Kritisk	Omfattende ødeleggelser. Få omkomne.	100
Alvorlig	Betydelige skader på materiell og personell.	10
Mindre	Mindre skader på materiell og personell.	1

Beregnes nå risiko som produktet av frekvens og konsekvens fås risikomatrisen i tabell 5.7.

Tabell 5.7 Risikomatrise.

Hendelse	Årsaker						
	Menneske- lig feil	Feil på effekt- bryter	Feil på trans- formator	Feil på kabelmuffe	Sabotasje	Innbrudd	Jord- skjelv
a)	50						0,001
b)	0,001	0,1	0,1	5			0,001
c)	0,01	0,01	0,01	0,5	0,0001		0,0001
d)						5	0,0001
e)	0,01	0,01	0,01	0,5	0,01		0,0001

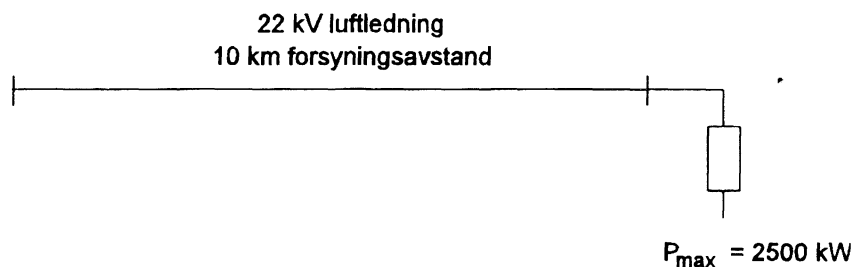
Sammenlignes tabell 5.7 med tabell 5.4 sees at i tabell 5.7 skilles tilstander bedre fra hverandre risikomessig.

Valg av skala for klassifisering av sannsynlighet og konsekvenser i slike kvalitative analyser avhenger av problemstillingen som skal analyseres, og det erfarings-/kunnskapsmaterialet som er tilgjengelig. Det har liten hensikt å ha en fin delt klassifisering om ikke datamaterialet/kunnskapene gjør dette meningsfylt.

5.2 EKSEMPLER PÅ RISIKOSTYRING - LUFTLEDNINGFORSYNING AV EN INDUSTRIBEDRIFT

Konsekvenser av avbrudd i strømforsyningen kan ha stor betydning for everkets kunder. Everkenes og kundenes beredskap og tiltak med hensyn til å forebygge avbrudd og til å redusere konsekvenser av avbrudd er viktige i denne sammenheng. I dette eksemplet brukes risikostyring til å evaluere ulike forebyggende og skadebegrensende tiltak ut fra en ren økonomisk synsvinkel.

Gitt situasjonen i figur 5.1:



Figur 5.1 Forsyningssituasjon.

Industribedriften er bekymret for at feil på luftledningen skal føre til tap for bedriften og ønsker å utrede nytten av eventuelle forebyggende eller skadebegrensende tiltak ved hjelp av **kvantitative risikoanalyser**.

Bedriften har døgntkontinuerlig drift, og avbruddskostnaden er beregnet til 50 kr/kWh ikke levert energi uansett avbruddstidspunktet og avbruddsvarighet. Industribedriften eier luftledningen.

To ulykkeshendelser er av interesse i eksemplet:

- “Normale” feil som i gjennomsnitt oppstår én gang pr år. Disse skyldes tilfeldig svikt i komponenter som isolatorer, klemmer o.l. Gjennomsnittlig reparasjonstid for slike feil er 2 timer pr feil.
- Omfattende mekaniske skader på luftledninger som følge av ekstreme vindpåkjenninger, dvs vindstyrker med returtid 50 år eller sjeldnere. Reparasjonstider for slike feil er ca 1 uke, dvs 168 timer.

RISIKOANALYSE AV EKSISTERENDE SYSTEM

Sannsynlighet

Tabell 5.8 Frekvens/sannsynlighet for avbrudd.

Ulykkes- hendelse	Frekvens [antall pr år]	Varighet [timer pr gang]	Årlig avbr.tid [timer/år]	Sannsynlighet
Vanlige feil	1	2	$1 \cdot 2 = 2$	$\frac{2}{8760} = 0,00023$
Ekstrem vindlast	$1/50 = 0,02$	168	$0,02 \cdot 168 = 3,36$	$\frac{3,36}{8760} = 0,00038$
Sum	-	-	$5,36^*)$	$0,00061^*)$

^{*)} Antar uavhengige, ikke overlappende avbrudd.

Forventet årlig avbruddstid som følge av disse to ulykkeshendelsene er 5,36 timer, mens sannsynligheten for at det er avbrudd på et vilkårlig tidspunkt er 0,00061, dvs 0,061 % sjanse for avbrudd. Tallet 8760 i tabellen skriver seg fra årets varighet i timer.

Konsekvens

Tabell 5.9 Konsekvens av avbrudd.

Ulykkeshendelse	Konsekvens [kr/gang]
Varige feil	$2 \text{ timer} \cdot 2\,500 \text{ kW} \cdot 50 \text{ kr/kWh} = 250\,000$
Ekstrem vindlast	$168 \text{ timer} \cdot 2\,500 \text{ kW} \cdot 50 \text{ kr/kWh} = 21\,000\,000$

Risiko

Tabell 5.10 Risikomatrise.

Ulykkeshendelse	Risiko [kr/år]
Varige feil	$1 \cdot 250\,000 = 250\,000$
Ekstrem vindlast	$0,02 \cdot 21\,000\,000 = 420\,000$

Bedriften ønsker å vurdere om eksisterende risikonivå er det riktige for bedriften eller om det skal gjøres tiltak. Dette innebærer at risikoanalysen inngår i en sårbarhetsanalyse/risikostyringsprosess. Følgende alternativer er aktuelle:

- I Ingen tiltak gjennomføres, dvs at eksisterende system er det optimale.
- II Skifte ut gammelt materiell som medfører at vanlige feil reduseres til å opptre én gang hvert 3. år. Investeringskostnad 500 000 kr som gir en årskostnad (annuitet) på 50 000 kr/år.
- III Mekanisk forsterkning av luftledningen som medfører at luftledningen har mekanisk sammenbrudd ved en vindlast som tilsvarer en returtid på 500 år. Investeringskostnad 400 000 kr som gir en årlig kostnad på 40 000 kr/år.
- IV Legge kabel i parallell med luftledningen. "Eliminerer" feil på tilførselen til industribedriften. Investeringskostnad 4 mill kr som gir en årlig kostnad på 400 000 kr/år.

Skadeforebyggende tiltak

- V Installere reservekraft som reduserer avbruddstiden til 1 time for begge typer feil på luftledningen (1 time er den tid det tar å stabilisere produksjonsprosessen selv etter et kortvarig avbrudd). Investeringskostnad 800 000 kr som gir en årlig kostnad på 80 000 kr/år.
- VI Tegne forsikring mot avbruddskonsekvenser. Årlig premie 500 000 kr/år.

- VII Øke reparasjonsberedskapen (f.eks. ved å ansette en montør til) som medfører at vanlige feil kan repareres på 1,5 timer i snitt, mens feil som skyldes ekstrem vind kan repareres i løpet av 120 timer i snitt. Kostnaden til dette tiltaket er 250 000 kr/år.

Tiltak nr VI reduserer ikke de fysiske konsekvenser av avbrudd, men risikoen økonomisk sett for industribedriften elimineres.

Resultater fra risikoanalyse av de forskjellige løsninger er gitt i tabellene 5.11-5.12.

Tabell 5.11 Avbruddsfrekvenser - årlig avbruddstid.

Løsning nr	Frekvens [ganger pr år]		Varighet [timer pr gang]		Årlig avbruddstid [timer/år]		
	Vanlige feil	Ekstrem vind	Vanlige feil	Ekstrem vind	Vanlige feil	Ekstrem vind	Sum
I	1	0,02	2	168	2	3,36	5,36
II	0,33	0,02	2	168	0,67	3,36	4,03
III	1	0,002	2	168	2	0,336	2,34
IV	0	0	0	0	0	0	0
V	1	0,02	1	1	1	0,02	1,02
VI	1	0,02	2	168	2	3,36	5,36
VII	1	0,02	1	100	1	2	3

Tabell 5.12 Økonomisk risiko for industribedriften ved ulike løsninger.

Løsning nr	Forventet årlig avbruddstid [timer/år]	Kostnad for ikke levert energi [kr/kWh]	Forventet årlig avbruddskostnad ¹⁾ [kr/år]
I	5,36	50	670 000
II	4,03	50	503 750
III	2,34	50	292 500
IV	0	50	0
V	1,02	50	127 500
VI	5,36	0	0
VII	3	50	375 000

¹⁾ Gitt av årlig avbruddstid · 2 500 kW · spesifikk avbruddskostnad

For å få et komplett beslutningsgrunnlag må det tas hensyn til kostnadene av tiltakene. Dette gjøres gjennom å velge den løsning som minimaliserer samlede kostnader (bedriftens planleggingskriterium). Tabell 5.13 gir en oversikt over samlede kostnader for de ulike alternativ.

Tabell 5.13 Samlede kostnader.

Løsning nr	Tekst	Årlig avbrudds-kostnad [kr/år]	Løsningens årlige kostnad [kr/år]	Sum kostnad [kr/år]
I	Dagens løsning	670 000	0	670 000
II	Skifte materiell	503 750	50 000	553 750
III	Mekanisk forsterkning	292 500	40 000	332 500
IV	Legge kabel	0	400 000	400 000
V	Installere reservekraft	127 500	80 000	207 500
VI	Tegne forsikring	0	500 000	500 000
VII	Økt beredskap	375 000	250 000	625 000

Tabell 5.14 Rangering av løsninger. Samlet kostnad for beste løsning = 100 %.

Løsning nr	Tekst	Relativ kostnad [%]
V	Installere reservekraft	100
III	Mekanisk forsterkning	160
IV	Legge kabel	193
VI	Tegne forsikring	241
II	Skifte materiell	267
VII	Økt beredskap	301
I	Dagens løsning	323

Med de forutsetninger som her er brukt, er den klart beste løsning å installere reservekraft lokalt i bedriften, mens nest beste løsning er å forsterke luftledningen mekanisk slik at den motstår en vindpåkjenning som tilsvarer 500 års returtid før den bryter sammen. Denne løsningen er imidlertid 60 % dyrere pr år sammenlignet med reservekraftløsningen. Å beholde dagens løsning er det dårligste alternativ med en årlig kostnad på 3,23 ganger høyere enn den beste løsningen.

REFERANSER

- [1] Beredskapshåndbok for kraftforsyningen.
Oslo: NVE, feb 1997
- [2] Henley, E.J.:
Probabilistic risk assessment. Reliability engineering, design and analysis.
IEEE, 1992
- [3] Matson, E.:
Risikoadministrasjon.
Trondheim: NTNU, Institutt for økonomi, 1988
- [4] Forskrift om gjennomføring og bruk av risikoanalyser i petroleumsvirksomheten
med veiledning.
Oslo: Oljedirektoratet, 1990
- [5] Application guide - Section 9: Risk analysis of technological systems.
IEC - 1995
- [6] Sand, K.:
Beslutningsteori i forbindelse med elkraftsystemet og ekstreme værpåkjenninger.
Strukturering av problemstillinger og resultat av litteraturstudier.
Trondheim: EFI, 1995
EFI TR A4247
- [7] Krav til risikoanalyser.
Norsk Standard NS 5814.
- [8] Grimvall, G., Lindgren, O.:
Risker og riskbedömningar.
Studielitteratur, Lund 1995

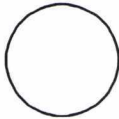
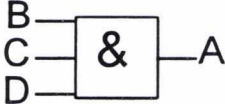
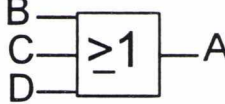
VEDLEGG

**Feiltreanalyse
Hendelsestreanalyse**

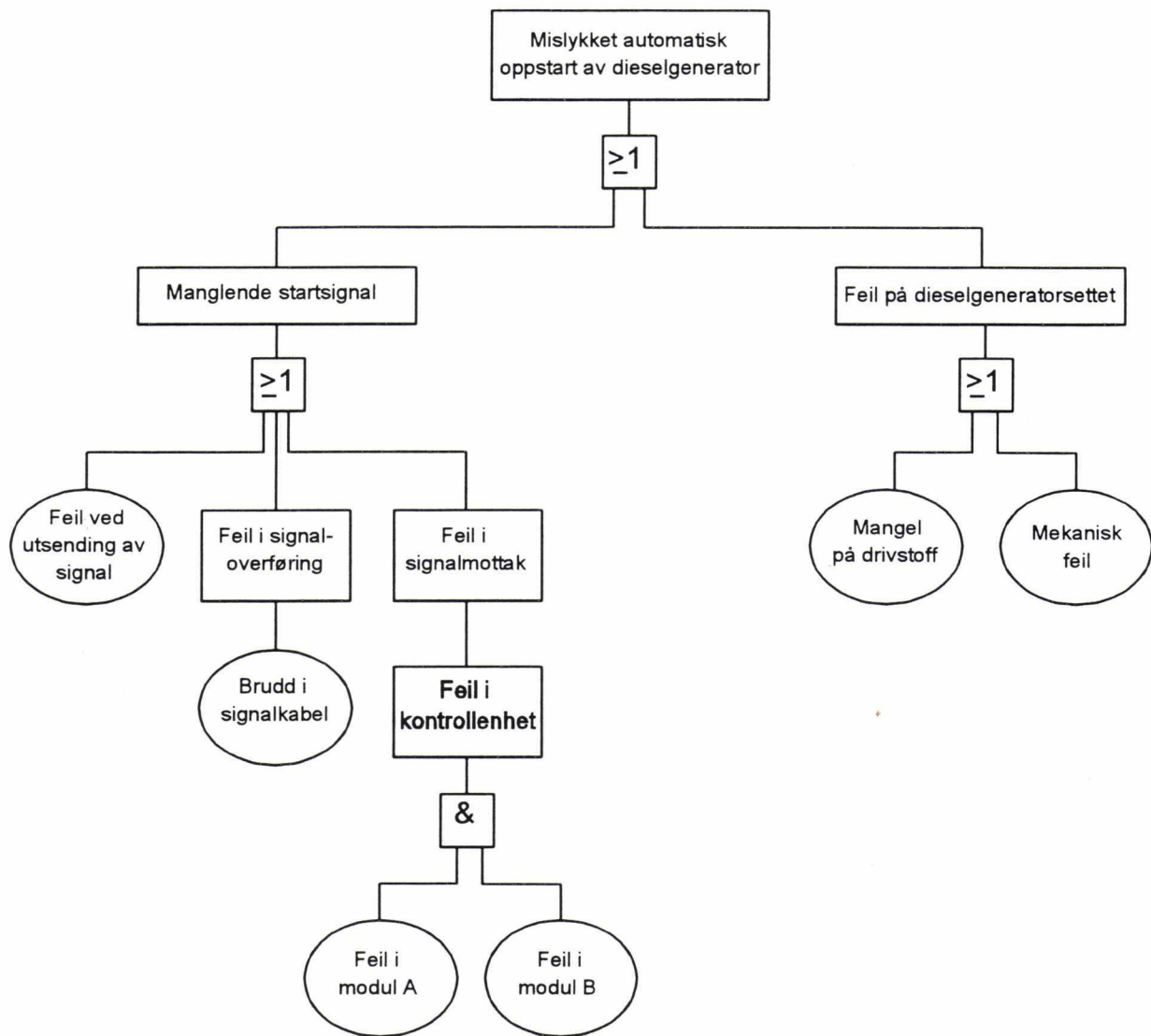
FEILTREANALYSE

Feiltreanalyse er en teknikk for å beskrive hvilke faktorer som kan bidra til at en ulykkeshendelse finner sted (topphendelsen). Med utgangspunkt i topphendelsen analyseres hvilke faktorer som enkeltvis eller i kombinasjon bidrar. De ulike faktorer brytes så ned i underliggende faktorer osv, slik at en hierarkisk trestruktur til slutt er beskrevet. Metoden er grafisk, og noen av symbolene som brukes er vist i tabell V.1.

Tabell V.1 Symboler.

Symbol	Funksjon	Beskrivelse
	Tilstandsblokk	Navn på, eller beskrivelse av tilstand
	Basishendelse	Hendelse som ikke kan deles opp
	“OG”-port	Hendelse A inntreffer kun hvis alle hendelsene B, C og D inntreffer
	“ELLER”-port	Hendelsen A inntreffer hvis én av hendelsene B, C eller D inntreffer

Feiltreanalyse kan være kvalitativ eller kvantitativ. Figur V.1 viser et forenklet eksempel på et feiltre brukt til å analysere mislykket oppstart av nødkraftaggregat.

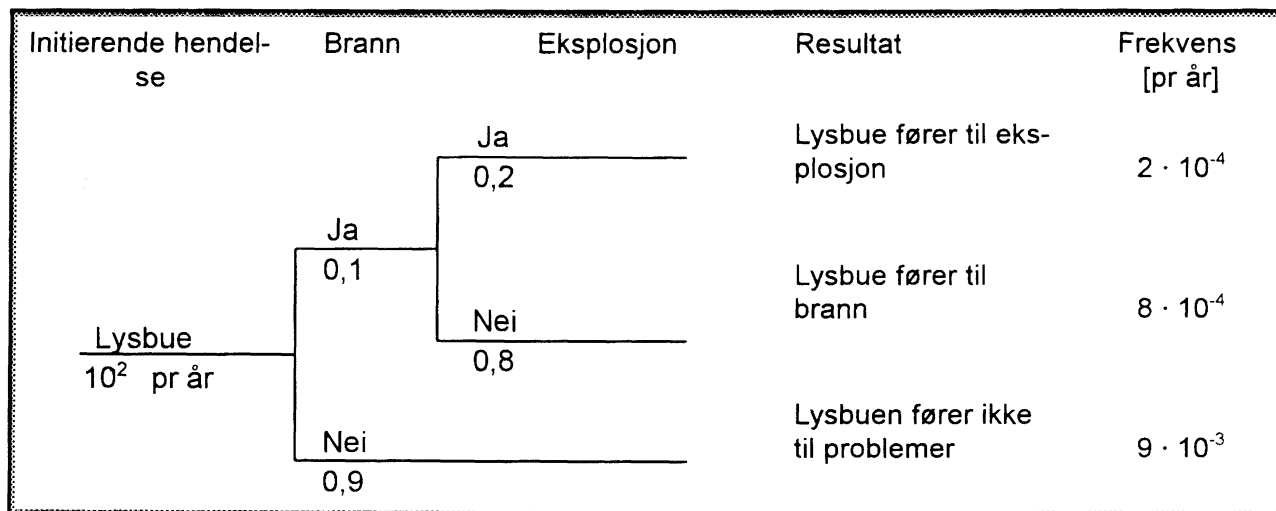


Figur V.1 Eksempel på feiltre for mislykket oppstart av nødkraftaggregat.

HENDELSESTREANALYSE

Hendelsestreanalyse er en teknikk for å beskrive mulige konsekvenser av en initierende hendelse. Hendelsestreanalyse er en induktiv analyse hvor det grunnleggende problemet er "hva hender hvis ...?"

Figur V.2 viser et eksempel på et hendelsestre for en lysbue i en transformator. Sannsynligheter er påført skjemaet.



Figur V.2 Eksempel på hendelsestre, lysbue i transformator.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energiverk (NVE)

Adresse: Postboks 5091 Majorstua, 0301 Oslo

I 1997 ER FØLGENDE PUBLIKASJONER UTGITT:

- Nr 1 Bjarne Kjøllmoen: Breundersøkelser Langfjordjøkelen. Statusrapport 1989-1993. (19 s.)
- Nr 2 Øystein Grundt: Løpsendringer i Koppangsåyene i Glomma under flommen i 1995. (39 s.)
- Nr 3 Jan Slappgård (red.): Gjenanskaffelsesverdier for særskilte driftsmidler i kraftforetak. (61 s.)
- Nr 4 Tor Erik Olsen og Svein Ivar Haugom: Statnett SF. Oppfølgingsrapport 1993/1994. (35 s.)
- Nr 5 Erling Solberg (red.): Kostnader for kraftverksprosjekter pr. 01.01.1996. Pengeverdi og prisnivå januar 1996. (58 s.)
- Nr 6 Lars-Evan Pettersson: Hydrologiske data for Mjøsa (002.DC). (20 s.)
- Nr 7 Ann-Kristin Hjelle: Kraftpriser til husholdninger pr. 1. januar 1997. (9 s.)
- Nr 8 Inger Sætrang (red.): Statistikk over overføringstariffer (nettleie) i regional- og distribusjonsnettet 1997. (56 s.)
- Nr 9 Martin Nordby: Avbruddsstatistikk 1995. Statistikk for avbrudd i leveringen av elektrisk energi til sluttbruker i Norge. (34 s.)
- Nr 10 Einar Markhus (red.): Anvendt urbanhydrologi. (198 s.)
- Nr 11 Kirsti Hind Fagerlund (red.) og Øystein Grundt (red.): FoU-prosjekter 1994-1996 innen vassdrags- og energisektoren. (106 s.)
- Nr 12 Inger Sætrang (red.): Oversikt over vedtak i tvistesaker andre halvår i 1996. Tariffer og vilkår for overføring av kraft. (10 s.)
- Nr 13 Kjell Sand: Veileder i bruk av risiko- og sårbarhetsanalyser i kraftforsyningen. (34 s.)