



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:
Master i Teknologi/siv.ing - Risikostyring

Vårsemesteret, 2015

Åpen / Konfidensiell

Forfatter:
Anders Netland Jacobsen

.....
(signatur forfatter)

Fagansvarlig: Roger Flage, UiS

Tittel på masteroppgaven:

Hvordan kan et utvidet risikoperspektiv bidra til forbedring av risikoanalyseprosessen i nettselskaper?

Studiepoeng: 30

Emneord: Nettselskap, risikoanalyse,

Sidetall: 77

Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på min mastergrad i risikostyring ved Universitetet i Stavanger (UiS). Oppgaven er skrevet i samarbeid med Lyse Elnett AS hvor jeg har vært fast ansatt siden 2013. Mastergraden har blitt gjennomført over 2 år i kombinasjon med en 50 % stilling i Lyse Elnett. Kombinasjonen av et fulltidsstudium i risikostyring og arbeidsoppgavene i Lyse Elnett har til tider vært svært hektisk, men samtidig utrolig lærerikt. Nå ser jeg frem til å bli ferdig med oppgaven og kunne reise på sommerferie, samt utnytte muligheten til å ha fri i helgene. Etter sommerferie og opplading av batteriene ser jeg frem til å fortsette arbeidsoppgavene mine knyttet til risikostyring i Lyse Elnett.

Jeg vil benytte anledningen til å rette en stor takk til Roger Flage for god hjelp og veiledning under oppgaveskrivingen. Jeg har til tider vært frustrert over egen fremgang i oppgaveskrivingen, men etter å ha vært i veiledningsmøtene dine har jeg kommet ut med nytt pågangsmot og motivasjon.

Til slutt vil jeg rette en stor takk til avdelingslederen min i Lyse Elnett, Egil Johansen. Fleksibiliteten i arbeidsoppgaver og arbeidstid har vært kritiske faktorer for at jeg har kunnet gjennomføre mastergraden på normert tid.

Stavanger 2. Juli 2015

Anders Netland Jacobsen

Sammendrag

Som monopolvirksomhet og eier av kritisk infrastruktur er Lyse Elnetts virksomhet strengt regulert av lover, forskrifter og konsesjoner. Lyse Elnett eier, bygger og drifter store deler av strømmettet i Sør-Rogaland, hvor elektrisk energi distribueres til ca. 138 000 kunder.

Lyse Elnett er på lik linje med andre nettselskaper pålagt av beredskapsforskriften(1) å gjennomføre risiko- og sårbarhetsanalyser for alle anlegg og infrastruktur av betydning. Analysene skal danne grunnlaget for iverksetting av forebyggende og konsekvensreduserende tiltak, samt bidra som underlag til beredskapsplanlegging i organisasjonen. Selv om Lyse Elnett er pålagt å gjennomføre risikostyringsarbeidet gjennom forskriftskrav, har de også en egeninteresse av å ivareta forsyningssikkerheten i Sør-Rogaland.

Formålet med oppgaven har vært å undersøke om det utvidede risikoperspektivet introdusert av Aven & Krohn(2) kan bidra til forbedring av risikoanalyseprosessen i nettselskaper. Bidraget fra det utvidede risikoperspektivet består blant annet av metoder for vurderinger av styrken på bakgrunnskunnskapen, samt overraskelsesvurderinger.

Den gjeldende risikoanalyseprosessen i Lyse Elnett er identifisert ved gjennomgang av utvalgte risikoanalyser av gjennomførte risikoanalyser av den eksisterende infrastrukturen. Metoden som anvendes i risikoanalysene samsvarer til NVEs forenklede risikoanalysemetode som anbefales i beredskapsforskriften(3). Risikoanalysemetoden som anvendes baserer seg på bruken av bow-tie diagrammet som analyseverktøy. Denne bow-tie baserte risikoanalysen er en ressurseffektiv fremgangsmåte for å etablere et grovt risikobilde som grunnlag for beslutningstaking. De identifiserte utfordringene knyttet til bruken av metoden er at man i stor grad tvinges til å forenkle komplekse årsakssammenhenger for at de skal passe inn i det lineære bow-tie diagrammet. Avhengigheter mellom årsaker, forebyggende- og konsekvensreduserende barrierer er dermed utfordrende å beskrive uten å forenkle disse i forkant.

I beredskapsforskriften(1) kreves det at risiko- og sårbarhetsanalysene som gjennomføres i nettselskaper skal knyttes til *ekstraordinære forhold*. Begrepet brukes gjennomgående i beredskapsforskriften, men uten å tilstrekkelig definere hva det innebærer. Som en del av oppgaven har vi diskutert det *ekstraordinære* opp imot begrepet sorte svaner, først introdusert av Taleb (4) og senere videreutviklet av Aven et al.(5). Vi argumenterer for at de ekstraordinære forholdene hovedsakelig omfatter hendelser som er kjent i forkant av risikoanalysen. Aven & Krohns(6) kategorisering av sorte svaner omfatter også de hendelsene eller hendelsesrekkene som er ukjent for analysegruppen, noe som ikke er dekket av begrepet *ekstraordinære forhold*.

Sorte svane hendelser har en sentral rolle i det utvidede risikoperspektivet, hvor det er foreslått flere fremgangsmåter for å identifisere og konfrontere sorte svane hendelser. I motsetning til Lyse Elnetts forenklede risikoanalysemetode er bidragene fra det utvidede risikoperspektivet i større grad knyttet til formaliserte og kvantitative risikoanalyser (QRA). Gapet mellom de formaliserte og kvantitative risikoanalysemetodene og Lyse Elnetts forenklede risikoanalysemetoden er relativt stort. Forslagene til forbedring av risikoanalyseprosessen i Lyse Elnett består dermed av et lite steg i retning kvantitative risikoanalyser, samtidig som utvalgte bidrag fra det utvidede risikoperspektivet forenkles.

Det første foreslåtte forbedringstiltaket er knyttet til bruken av bayesianske nettverksmodeller. Fordelen med bayesianske nettverksmodeller (BN) er at de kan anvendes både i kvalitative og kvantitative risikoanalyser. I hendelsesidentifikasjonen kan BN bidra til at antatte eller kjente årsakssammenhenger systematiseres og struktureres på en bedre måte enn ved bruken av bow-tie diagrammet. De visuelle egenskapene egner seg samtidig for bruk i idemyldringene i Lyse Elnett da de kan bidra til konstruktive og kreative diskusjoner om risiko, noe som i større grad kan bidra til identifikasjon av sort svane hendelser. BN kan brukes som et alternativ til sjekklister, samtidig som bow-tie diagrammer kan utarbeides som en forenkling av et omfattende og oversiktlig BN.

Det andre foreslåtte forbedringstiltaket er forenklete kriterier for vurdering av styrken på bakgrunnskunnskapen. Forenklingene er basert på Flage & Avens(7) kvalitative metode for vurdering av styrken på bakgrunnskunnskapen. Flage & Avens kriterier er i utgangspunktet utviklet for bruk i mer omfattende kvantitative risikoanalyser, hvor vi har valgt å tilpasse disse til den forenklete risikoanalyseprosessen i Lyse Elnett. De foreslåtte kriteriene baseres på analysegruppens forståelse av fenomenet som analyseres, samt hvorvidt fagekspertene som deltar i analysegruppen innehar spesifikk kunnskap knyttet til eksisterende barrierer og risikoreduserende tiltak som gjennomføres. Samtidig fremheves trening av ekspertene for å omgjøre kunnskap og mangel på kunnskap til subjektive sannsynligheter. Da de angitte sannsynlighetene uttrykker angiverens epistemiske usikkerhet i forkant av mulige observasjoner(8), foreslås kontroll av koherens som et virkemiddel for å motvirke bias. Graden av uenigheter internt i analysegruppen foreslås også som et kriterium for vurderinger av styrken til bakgrunnskunnskapen.

De foreslåtte forbedringsforslagene er utarbeidet med hensikt om å kunne anvendes med en relativt begrenset ressursøkning. Den bow-tie baserte metoden vil trolig fortsatt anvendes i en hoveddelen av risikoanalysene som gjennomføres i Lyse Elnett, da den er relativt enkel å bruke og forstå av analysedeltakere og beslutningstaker. Elektrisk infrastruktur er imidlertid svært kompleks, hvor kompleksiteten kan være en bidragsyter til at overraskende hendelser inntreffer relativt til bakgrunnskunnskapen til organisasjonen. Det vil være svært omfattende å introdusere og gjennomføre alle aktivitetene som introduseres i det utvidede risikoperspektivet, men det antas at et skritt i denne retningen kan bidra til økt bevissthet og forståelse av risikoen som er forbundet med drift og vedlikehold av elektrisk infrastruktur. Et økt fokus på kreativitet og kunnskapsoverføring kombinert med å utfordre eksisterende mentale modeller, kan bidra til en bredere risikobeskrivelse som grunnlag for introduksjon av risikoreduserende tiltak og beredskapsplanlegging.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag	ii
1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Målsetting og omfang	2
1.3 Avgrensninger.....	2
2 Teori.....	3
2.1 Sannsynligheter	3
2.1.1 Frekvensfortolket sannsynlighet	3
2.1.2 Subjektive sannsynligheter.....	5
2.1.3 Bakgrunnskunnskap	6
2.1.4 Heuristikk og koherente angivelser av sannsynligheter.....	6
2.2 Bayesianske nettverk.....	9
2.3 Valg av risikoperspektiv.....	10
2.3.1 Sannsynlighetsbaserte risikoperspektiv	10
2.3.2 Et utvidet risikoperspektiv.....	11
2.4 En utvidet risikoanalyseprosess.	12
2.4.1 Planlegging av risikoanalyse	15
2.4.2 Risikovurdering.....	15
2.5 Sorte svaner og overraskelsesvurderinger	16
2.5.1 Forbedret hendelsesidentifikasjon og kunnskapsoverføring	16
2.5.2 Utdordre forutsetninger og antakelser	17
2.6 Metoder for vurdering av styrken på bakgrunnskunnskapen.....	18
2.6.1 Kvalitativ vurdering av styrken til bakgrunnskunnskapen.....	18
2.6.2 Assumption deviation risk	18
2.7 Risikostyring	19
3 Dokumentstudier	21
3.1 Infrastruktur	21
3.2 Sentrale aktører innen energiforsyningen	22
3.2.1 Olje- og energidepartementet	22
3.2.2 Norges vassdrags- og energidirektorat	22
3.2.3 Regulering av nettselskapene	23

3.3	Beredskapsforskriften	24
3.3.1	Helhetlig beredskapskonsept	24
3.3.2	Risiko- og sårbarhetsanalyser	26
3.3.3	Beredskapsplanlegging	28
3.4	NVEs veiledende metode i risikoanalyser for kraftbransjen	29
3.4.1	Planlegging av risikoanalysearbeidet	29
3.4.2	Strukturert grovanalyse	31
3.5	Lyse Elnett	33
3.5.1	Status og formål med risikoanalyser av eksisterende infrastruktur	35
3.5.2	Eksempel på risikoanalyse	38
3.5.3	Identifiserte utfordringer i risikoanalyseprosessen i Lyse Elnett	41
4	Bidrag ifra et utvidet risikoperspektiv	45
4.1	Sorte svaner og ekstraordinære hendelser	45
4.1.1	Eksempel på overraskende hendelse i Lyse Elnett	47
4.2	Vurdering av styrken på bakgrunnskunnskapen	49
4.2.1	Flage & Avens kvalitative metode for vurdering av styrken på bakgrunnskunnskapen	50
4.2.2	Bruk av bayesianske nettverk til å dokumenter og beskrive fenomenforståelse	53
4.3	Forslag til forbedringer av utvalgte aktiviteter i risikoanalyseprosessen i Lyse Elnett	57
4.4	Tilpassede kriterier for vurdering av styrken til bakgrunnskunnskapen i forenklete risikoanalyser	60
4.4.1	Diskusjon av tilpassede kriterier for vurdering av bakgrunnskunnskapen	61
5	Diskusjon	62
5.1	Forbedringsforslag til risikoanalyseprosessen i Lyse Elnett	62
5.1.1	Bidragene fra det utvidede risikoperspektivet	63
5.1.2	Bayesianske nettverksmodeller	63
5.1.3	Tilpassede kriterier for vurdering av bakgrunnskunnskapen	65
6	Konklusjon	66

Figurliste

Figur 1 Eksempel på bayesiansk nettverk	9
Figure 2 Mulig risikopresentasjon som inkluderer kunnskapsdimensjonen.(1)	11
Figure 3 Risiko-eksponeringsmodell(22)	11
Figure 4 En utvidet risikoanalyseprosess(1)	12
Figure 5 Beslutningstaking under usikkerhet (2, s.10)	13
Figure 6 Prinsippskisse for oppbygningen av infrastrukturen for produksjon og overføring av elektrisk kraft(27).....	21
Figure 7 Helhetlig beredskapskonsept(1).....	25
Figure 8 NVEs anbefalte risikoanalyseprosess	29
Figure 9 Nivåinndeling ROS-analyser(3, s.15)	30
Figure 10 Bow-tie diagram(3 s.14)	31
Figure 11 Forslag til risikomatrixe forsyningssikkerhet(3).....	32
Figure 12 Kart over kommuner i Sør-Rogaland hvor Lyse Elnett eier eller drifter infrastruktur(37)	33
Figur 13 Organisasjonsstruktur Lyse Elnett	34
Figure 14 Risikoakseptmatrise Forsyningssikkerhet (40)	36
Figur 15 Eksempel på bow-tie diagram av hendelse linjebrydd (40).....	39
Figur 16 Risikobilde fra risikoanalyse av et overføringsanlegg(40)	40
Figure 17 Bayesiansk nettverk av bow-tie eksempel i kapittel 3.5.2	53
Figure 18 Utvidet bayesiansk nettversmodell for hendelsen linjebrydd	56
Figure 19 Betinget sannsynlighetstabell for noden: Vibrasjoner i linjetråd.....	59

1. Innledning

Denne masteroppgaven er gjennomført i samarbeid med Lyse Elnett AS for å bidra til forbedringer av risikoanalyseprosessen i selskapet. Lyse Elnett er et datterselskap i Lyse konsernet som drifter og eier strømmettet på Nord Jæren. Driften av strømmettet er en monopolvirksomhet som drives med konsesjon fra NVE. Lyse Elnett har et viktig samfunnsansvar for å ivareta forsyningsikkerheten, samtidig som eierne krav om avkastning.

1.1 Bakgrunn

Elektrisk energi er en av våre mest anvendelige energiformer og i Norge står elektrisk energi for over 70 % av den totale energibruken, hvor i overkant av 97 % produseres i vannkraftverk (9). Denne avhengigheten til elektrisk energi har bidratt til at samfunnet er sårbart for utfall av strømforsyningen. En stabil strømforsyning er en forutsetning for at viktig samfunnskritisk infrastruktur og tjenester fungerer som tiltenkt. Ved utfall av strømforsyningen vil både forbrukere og samfunnet generelt påvirkes negativt. Grunnleggende behov for lys og varme vil bli utilgjengelig for store deler av befolkningen, samtidig som avbrudd i samfunnskritisk infrastruktur som IKT/telekommunikasjon, vann- og drivstofforsyning. Ved lengre avbrudd i strøm, IKT, vann- og drivstofforsyning vil andre tjenester som helse og omsorg, nødetater og matvareforsyning også påvirkes, noe som øker faren for tap av liv og helse.

Den Norske kraftbransjen er todelt, hvor kraftprodusentene står for produksjonen av elektrisk energi, mens nettselskapene står for drift og vedlikehold av infrastrukturen mellom produsent og forbruker. I Norge er det i overkant av 130 nettselskaper som drifter og vedlikeholder i overkant av 300 000 km ledningsnett mellom kraftprodusentene og de om lag 2 millioner kundepunktene(10). På grunn av infrastrukturens utstrekning er det ofte naturhendelser som sterk vind og nedbør som fører til utfall av strømforsyningen. Senest i 2011 medførte stormen Dagmar at 570 329 kunder mistet strømforsyningen, hovedsakelig forårsaket av trær som falt over kraftlinjer som følge av sterk vind. Lyse Elnett har høy oppetid på sine anlegg, noe som forventes ut ifra geografi og klimaet i Sør-Rogaland. Selskapet har imidlertid opplevd større strømbrydd, hvor det mest omfattende var 7. juni 2002. Da var over 70 000 kunder strømløse i ca. 4 timer(11), hvor Lyse Elnett fikk et økonomisk tap på 53,6 MNOK. Årsaken til strømbryddet var at linjetrådene i en av hovedforbindelsene fra Tonstad til Sandnes kom i kontakt med et tre, noe som medførte jordslutning og medfølgende utfall av forbindelsen.

Den økte integrasjonen mellom teknologi og styring av infrastruktur åpner for flere sårbare punkter som kan gi adgang til nettselskapenes styringssystemer. I løpet av 2019 skal alle forbrukere ha tilgang på Avanserte Målesystemer (AMS) for automatisk innsamling av forbruksdata på timesbasis (12). Denne teknologien er i hovedsak introdusert for å øke forbrukernes mulighet til å overvåke og tilpasse strømforbruket etter svingninger i strømpriser. Nettselskapene ser også fordeler i at AMS gir økte muligheter for styring og overvåking av strømmettet som kan bidra til bedre utnyttelse av eksisterende overføringskapasitet. Denne teknologisammenslåingen har gitt opphav til begrepet smarte nett (Smart Grid), og forventes å gi fordeler for både nettselskaper og forbruker. Integrasjonen åpner imidlertid for flere angrepspunkter for personer eller organisasjoner med hensikt om å overta styringen av kraftsystemet (13, 14).

Nettselskapenes ansvar og forpliktelser er i stor grad gjennomregulerte fra myndighetssiden. Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE) samt Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap (DSB) har som oppgave å sørge for at nettselskapene ivaretar de krav som stilles i konsesjonene samt føre tilsyn med nettselskapene. I 2013 gjennomførte NVE ni stedlige tilsyn hos nettselskapene, hvor ett av hovedtemaene var analyse av risiko og sårbarhet(15). Tilsynsrapporten påpekte at den systematiske tilnærmingen til trygghets- og beredskapsarbeidet var mangelfull, hvor tilsynet medførte 52 avvik og 10 merknader. Det utdypes ikke hva som er årsaken til avvikene utover at de vil holde fokus på ROS-analyser ved fremtidige tilsyn.

Beredskapsforskriften krever at alle energiselskaper gjennomfører risiko- og sårbarhetsanalyser (ROS-analyser) for alle funksjoner, anlegg og tiltak av betydning, med særlig fokus på ekstraordinære hendelser(16). NVE har som tilsynsmyndighet utgitt en veileder til forskriftsteksten som utdyper nærmere om hva som kreves av ROS-analysene. I denne veilederen til beredskapsforskriften henvises det videre til en metodeveiledning(3) for gjennomføring av ROS-analyser som har blitt adoptert av bransjen som beste-praksis.

1.2 Målsetting og omfang

Hovedproblemstillingen defineres som følger: Hvordan kan et utvidet risikoperspektiv bidra til forbedring av risikoanalyseprosessen i nettselskaper? Oppgavens mål er å identifisere de praktiske utfordringene Lyse Elnett har i gjennomføringen av risiko- og sårbarhetsanalyser for eksisterende infrastruktur og komme med forbedringsforslag til utvalgte aktiviteter i risikoanalyseprosessen. Det er innenfor oppgavens omfang å:

- ❖ Beskrive det utvidede risikoperspektivet.
- ❖ Beskrive beredskapsforskriftens krav til risiko- og sårbarhetsanalyser
- ❖ Identifisere Lyse Elnetts praktiske utfordringer med gjennomføring av risiko- og sårbarhetsanalyser
- ❖ Vurdere praktiske utfordringer opp imot det utvidede risikoperspektivet og komme med forslag til forbedring av risikoanalyseprosessen i Lyse Elnett.

1.3 Avgrensninger

På grunn av beredskapsforskriftens omfang vil oppgaven begrense seg til å beskrive de spesifikke kravene til risiko- og sårbarhetsanalyse. Risiko- og sårbarhetsanalysens grenser opp imot beredskapsplanlegging vil beskrives, samtidig som utvalgte krav til beredskap beskrives på et overordnet nivå. De praktiske utfordringene som Lyse Elnett har ved gjennomføringen av risiko- og sårbarhetsanalyser vil beskrives på et overordnet nivå, hvor oppgaven vil fokusere på å vurdere utfordringer som vurderes å være av bransjespesifikk karakter. Potensielt sensitiv informasjon vil bli anonymisert.

2 Teori

Teoridelen av oppgaven skal legge grunnlaget for analysen av de praktiske utfordringene Lyse Elnett, samt beskrive utvalgte deler av det utvidede risikoperspektivet.

2.1 Sannsynligheter

Sannsynligheter er et viktig verktøy som brukes til å uttrykke usikkerhet eller variasjon for en fremtidig situasjon. Kapitlet baseres på Aven (17) og vil introdusere frekvens- og subjektive sannsynlighetsfortolkninger.

2.1.1 Frekvensfortolket sannsynlighet

Denne fortolkningen av sannsynligheter har utgangspunkt i sannsynlighetsbegrepet som ofte brukes i introduksjonskurs i statistikk, først introdusert av Jacob Bernoulli i 1689.

Frekvensfortolkede sannsynligheter $P_f(A)$ defineres av Aven (17, s.214) som:

«Andelen ganger hendelsen A inntreffer, hvis den vurderte situasjonen gjentas (hypotetisk) et uendelig antall ganger under lignende forhold»

For å kunne definere en frekvensfortolket sannsynlighet må vi introdusere en hypotetisk populasjon av uendelig repetisjoner av lignende situasjoner. Variasjon i populasjonen medfører at hendelsen A inntreffer noen ganger, men ikke alltid. Denne fortolkningen baserer seg på loven om store tall som sier at hvis et eksperiment repeteres n ganger og hendelsen A inntreffer n_A ganger, er sannsynligheten for at hendelsen inntreffer $P_f(A)$, lik grensen n_A/n , gitt at en slik grense eksisterer. En frekvensfortolket sannsynlighet er dermed et modellkonsept som er begrenset til situasjoner hvor det er mulig å se for seg repeterbare eksperimenter, for eksempel i gambling. I praksis er det mulig å trille en terning et stort antall ganger (si 100 000), uten å endre det eksperimentelle oppsettet, noe som kreves for at konseptet gir mening. I andre situasjoner som havnivåstigning de neste tjue år, eller hvorvidt en spesifikk bygning vil bli utsatt for sabotasje er det problematisk å se for seg repeterbare eksperimenter. En kan derimot vurdere «lignende situasjoner», men ifølge Aven vil det være problematisk å definere hva som er lignende, men samtidig preget av variasjon. Det må være variasjon mellom de lignende situasjonene, da identiske situasjoner vil gi samme utfall hvor brøken n_A/n vil enten bli 1 eller 0. Parametere på makro nivå må dermed fastsettes, hvor variasjon i parametere på et mikro nivå genererer variasjon på makronivå.

Hvis vi forsøker å definere en frekvensfortolket sannsynlighet for at en storulykke inntreffer i et spesifikt transformatorstasjon, er det uklart hva som menes med en uendelig populasjon av lignende transformatorstasjoner. I følge Aven vil begrepet *lignende* bety samme type konstruksjon, utstyr, operasjonsprosedyrer og organisasjonsstruktur (makro nivå). Det må imidlertid være variasjon i menneskelig oppførsel og utstyrs kvalitet (mikro nivå) som medfører at en storulykke inntreffer noen ganger, men ikke alltid. I hvilken grad og hvordan en skal tillate en slik variasjon er imidlertid problematisk å definere, og vil i større grad basere seg på tilfeldigheter. I risikoanalyser fokuserer en ofte på unike situasjoner hvor frekvensfortolkede sannsynligheter kan gi lite eller ingen mening. Hvis man mangler en entydig og klar definisjon vil en videre støtte på problemer når man forsøker å estimere den sanne underliggende sannsynligheten $P_f(A)$.

Estimering av ukjente parametere

Den tradisjonelle statistiske fremgangsmåten for estimering av ukjente parametere baserer seg på eksistensen av en sann underliggende sannsynlighet $P_f(A)$. Sannsynligheten uttrykker andelen ganger en hendelse A inntreffer hvis situasjonen repeteres et uendelig (hypotetisk) antall ganger under lignende forhold. $P_f(A)$ uttrykker ukjent variasjon i en uendelig populasjon og må derfor estimeres. Konfidensintervaller introduseres deretter for å uttrykke usikkerheten til estimatoren, relativt til den sanne verdien $P_f(A)$.

Ved estimering av den ukjente sannsynligheten $P_f(A)$ må et representativt utvalg av observerte hendelser være tilgjengelig. De historiske dataene er et utvalg av den uendelige hypotetiske populasjonen som genererer $P_f(A)$ direkte, eller indirekte via ukjente parametere $\mathbf{q} = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ gjennom en modell g . Modeller kan være et sett av hendelsestre og feiltre g , som representerer en forenkling av den virkelige verden. Modellen g korresponderer til de sanne verdiene av q og $P_f(A)$, hvor $P_f(A) = g(q)$. En ukjent vektor av parametere \mathbf{q} estimeres med \mathbf{q}^* gjennom modellen g , hvor $P_f(A)$ estimeres ved bruk av ligningen $P_f^*(A) = g(\mathbf{q}^*)$. Konfidensintervall brukes for å beskrive feilmarginen i estimeringen av de ukjente parameterne (eks. q eller $p = P_f(A)$). Et 90 % konfidensintervall $[Y, Z]$, for en parameter q uttrykker at: hvis situasjonen repeteres et uendelig (hypotetisk) antall ganger under lignende forhold, vil parameteren q ligge i intervallet $[Y, Z]$ i 90 % av tilfellene. Notasjon: $P_f(Y \leq q \leq Z) = 0,90$, hvor P_f er en frekvensfortolket sannsynlighet.

Hvis en baserer estimeringen på et tilstrekkelig stort, samt relevant datagrunnlaget vil statistisk teori vise at estimeringsfeilen er neglisjerbar, representert av et smalt konfidensintervall. Hva som menes med nøyaktig estimering og neglisjerbar estimeringsfeil er ikke mulig å definere entydig og gjeldende for alle situasjoner. Eksempelvis vil et estimat av $q = 0.1$ og et konfidensintervall $[0.09, 0.11]$ kunne vurderes som neglisjerbar estimeringsfeil i de fleste tilfeller (18). Ved sjeldne/unike situasjoner er ofte tilgjengeligheten (kvantiteten) på relevant data lav. En vil da ende opp med en høy feilmargin i estimatet, representert av et bredt konfidensintervall. Risikoanalytiker kan velge å inkludere mindre relevante situasjoner for å øke datakvantiteten, men denne reduksjonen i datarelevans reflekteres ikke av konfidensintervallet. Risikoanalytikers valg og vurderinger kan dermed introdusere *subjektive* usikkerhetsfaktorer som ikke reflekteres i konfidensintervallet. I den tradisjonelle statistiske metoden for estimering av ukjente parametere er estimatet \mathbf{q}^* og valget av modell g de største bidragsyterne til usikkerhet. Modellusikkerhet kan være et resultat av:

- Utilstrekkelig eller feilaktig definisjon av systemet eller aktiviteten som analyseres
- Modellbegrensninger, hvor risikoanalytiker har utelukket viktige bidragsytere til risiko eller at modellen er unøyaktig

Usikkerheten knyttet til estimering av parameterne $\mathbf{q} = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ kan forårsakes av:

- Bruk av data som ikke er representativ for hendelsen/utstyret som vurderes, dvs bruk av data som er hentet fra ulike driftsforhold enn det som analyseres.
- Dataanalysemetoden som produserer estimatene er utilstrekkelig
- Systemet er ikke tilstrekkelig definert som følge av feilaktig informasjon
- Den innsamlede informasjonen for hvordan utstyret anvendes er utilstrekkelig
- Det observerte datagrunnlaget er lite.

2.1.2 Subjektive sannsynligheter

Subjektive sannsynligheter uttrykker en persons usikkerhet/grad av tro for om en spesifikk hendelse A vil inntreffe eller ikke, betinget på angiverens bakgrunnskunnskap K (19). Vanlig notasjon er $P(A|K)$, forkortet $P(A)$. Teorien om subjektive sannsynligheter ble introdusert av både Bruno de Finetti i 1930, samt Frank Ramsay i 1931. I Finetti og Ramsays definisjoner knyttes subjektive sannsynligheter til villighet til å inngå veddemål, samt pengeverdier. Vi velger å ikke introdusere disse veddemålsbaserte definisjonene da de kommer i konflikt med prinsippet om separasjon mellom analyse og verdivurderinger. Se Aven (20) for utdypende kommentarer. En alternativ måte å tolke en subjektiv sannsynlighet er ved å referere til en usikkerhetsstandard i form av en urne.

Urne som usikkerhetsstandard

I Lindleys(19) fortolkning av subjektive sannsynligheter likestilles angiverens grad av tro/usikkerhet med en usikkerhetsstandard (ofte en urne) for å opprettholde et skille mellom angiverens usikkerhets- og verdivurderinger. Hvis en person angir en sannsynlighet for at en hendelse A inntreffer, eksempelvis $P(A)=0.1$, likestilles usikkerheten med aktiviteten å trekke en spesifikk ball ut av en urne som inneholder ti baller. Usikkerheten er den samme i begge tilfeller. I følge Lindley uttrykker en subjektiv sannsynlighet et forhold mellom angiveren og virkelige verden. Konseptet om en sann sannsynlighet som anvendes for frekvensfortolkede sannsynlighets gir dermed ingen mening, da en subjektiv sannsynlighet alltid er sann for angiveren, men betinget på angiverens bakgrunnskunnskap.

(Upresise) Sannsynlighetsintervall

Angiverens grad av tro/usikkerhet kan også uttrykkes ved bruk av (upresise) sannsynlighetsintervaller, med referanse til en urne som usikkerhetsstandard. I denne sammenheng refererer upresist til at angiveren ikke er villig til å angi sin usikkerhet med samme presisjon som en enkeltverdi. Intervallet er dermed ikke upresist.

Intervallet $[P_L, P_H]$ uttrykker at angiverens usikkerhet/grad av tro for at en hendelse inntreffer er større enn P_L og mindre enn P_H , hvor $0 \leq P_L \leq P_H \leq 1$ og unøyaktigheten i representasjonen av hendelsen A er $\Delta P(A) = P_H - P_L$.

De (upresise) sannsynlighetsintervallene kan også uttrykkes ved å referere til en urne som usikkerhetsstandard. For et intervall $[P_L, P_H] = [0.26, 0.34]$ uttrykker angiveren at graden av tro/usikkerheten er større enn 0.26 (usikkerheten om å trekke en rød ball ut av en urne som inneholder 100 baller hvor 26 er røde), men mindre enn 0.34 (usikkerheten/graden av tro forbundet med å trekke en rød ball ut av en urne som inneholder 100 baller hvor 34 er røde)

2.1.3 Bakgrunnskunnskap

Subjektive sannsynligheter er betinget på angiverens bakgrunnskunnskap K , som inkluderer både implisitt og eksplisitt kunnskap i form av forutsetninger og antakelser. Ifølge Mosleh og Bier (21) er sannsynligheten $P(A|X)$ en funksjon av X , hvor X er en tilfeldig variabel. Argumentasjonen impliserer at det finnes en sann sannsynlighet, og at den subjektive sannsynligheten dermed er usikker. Aven (6) argumenterer imidlertid for at sannsynligheten ikke er en tilfeldig variabel for angiveren, da angiveren kan knytte deler av bakgrunnskunnskapen K til et sett med forutsetninger, eksempelvis $X=x_1$. Sannsynligheten $P(A|X=x_1)$ er dermed betinget på angiverens forutsetninger om den tilfeldige variabelen X . Forutsetningene som angiveren baserer sannsynligheten på kan derimot vise seg å være feil, og dette usikkerhetsmomentet reflekteres ikke av sannsynlighetsverdien. Bakgrunnskunnskapen K inkluderer(2):

- Historiske data av system- eller komponentytelser
- Organisatoriske mål, -verdier og strategier
- Kunnskap og forståelse av analyseobjektet (Brann og eksplosjoner, menneskelig oppførsel, osv.)
- Modeller som anvendes i risikoanalysen
- Tidligere beslutninger

2.1.4 Heuristikk og koherente angivelser av sannsynligheter

I psykologien beskrives heuristikk som mentale snarveier mennesker bruker ved informasjonsprosessering og vurderinger/beslutninger. Heuristikk bidrar til at komplekse problemstillinger forenkles for å effektivisere beslutninger knyttet til den komplekse problemstillingen. Heuristikk kan bidra til systematiske skjevheter i vurderingene, også kalt bias. Kahneman og Tversky(22) er pionerer i forskningen på heuristikker og bias, hvor noen av de mest kjente heuristikkene er(8):

Tilgjengelighetsheuristikken

Tilgjengelighetsheuristikken brukes i situasjoner hvor sannsynligheten for at en hendelse inntreffer basert på hvor enkelt det er å huske lignende hendelser. Hendelser som angiveren enkelt kan huske at har inntruffet kan medføre at sannsynligheten angis som høyere enn for hendelser som er vanskeligere å huske, eller som er ukjente for angiveren.

Anker- og justeringsheuristikken

Denne heuristikken påvirker angiveren ved at sannsynlighetsangivelsen forankres til den først tilgjengelige informasjonen. Etter at *ankeret* er satt, vurderes ekstremverdier ved å *justere seg bort* ifra ankeret. Dette kan medføre at sannsynligheten for ekstreme utfall angis som veldig lav.

Representativitetsheuristikken

Angiveren påvirkes ved at sannsynligheten ved å sammenligne kunnskapen om fenomenet med et stereotypisk medlem av en bestemt kategori. Ved større likheter mellom fenomenet/hendelsen er det trolig av sannsynligheten for at hendelsen er et medlem i kategorien vurderes høyere.

Angivelse av subjektive sannsynligheter

Subjektive sannsynligheter uttrykker angiverens grad av tro/usikkerhet, betinget på angiverens bakgrunnskunnskap K . Det eksisterer dermed ingen *sann* underliggende sannsynlighet som for de frekvensfortolkede sannsynlighetene. Den angitte sannsynligheten er imidlertid sann for angiveren, da den uttrykker et sant forhold mellom angiveren og den virkelige verden, betinget på angiverens bakgrunnskunnskap. De subjektive sannsynlighetene kan dermed ikke verifiseres, da de uttrykker angiverens usikkerhet i forkant av en observasjon. Som introdusert i forrige avsnitt kan heuristikk påvirke angiverens kognitive prosesser som ligger til grunn for den angitte sannsynligheten. En metode for å motvirke dette er å kontrollere de angitte sannsynlighetene for koherens ved bruk av de tre følgende regler:

Konveksitetsregelen

For enhver hendelse A vil sannsynligheten for A , betinget på K , $P(A|K)$ være et tall mellom 0 og 1. Hvis angiveren vet at hendelsen A er sann, vil angiverens sannsynlighet være 1. Hvis angiveren vet at hendelsen er usann, vil angiverens sannsynlighet være 0.

Addisjonsregelen

For to hendelser A og B , er sannsynligheten for at en av hendelsene inntreffer:

$$P(A \text{ eller } B|K) = P(A|K) + P(B|K) - P(A \text{ og } B|K)$$

Hvis hendelsene A og B ikke kan inntreffe samtidig, beskrives de som *eksklusive* hendelser. Hendelsen A og B er dermed umulig, hvor $P(A \text{ og } B|K) = 0$, som forenkler 2.3.1 til:

$$P(A \text{ eller } B|K) = P(A|K) + P(B|K)$$

Multiplikasjonsregelen

For to hendelser A og B , er sannsynligheten for at både A og B inntreffer:

$$P(A \text{ og } B|K) = P(A|K) \times P(B|A, K)$$

Koherente sannsynlighetsangivelser

En mulig fremgangsmåte for å kontrollere for koherens er å be angiveren om å uttrykke flere sannsynligheter. Hvis de angitte sannsynlighetene tilfredsstillere de tre reglene ovenfor, er de koherente. For en hendelse A , innebærer koherens at de angitte sannsynlighetene må summeres til 1 ($P(A) + P(\underline{A}) = 1$), hvor \underline{A} er komplementærhendelsen til A .

For to hendelser A og B kan koherens sjekkes ved at sannsynligheter angis for hendelsene (A), ($B|A$), samt ($B|\underline{A}$). Bruk av Bayes teorem i kombinasjon med addisjons og multiplikasjonsregelen medfører at sannsynligheten for de tre gjenværende hendelsene (B), ($A|B$), samt ($A|\underline{B}$) kan beregnes:

$$\begin{aligned} P(B) &= P(B|A) * P(A) + P(B|\underline{A}) * P(\underline{A}) \\ P(A|B) &= P(B|A) * \frac{P(A)}{P(B)} \\ P(A|\underline{B}) &= P(\underline{B}|A) * \frac{P(A)}{P(\underline{B})} \end{aligned}$$

Når de tre førstnevnte sannsynlighetene er angitt, medfører koherens at de tre sistnevnte sannsynlighetene er bestemt. Hvis det er et misforhold mellom de tre førstnevnte og de tre sistnevnte sannsynlighetene er de angitte sannsynlighetene ikke koherente.

Triangulering

I Lindley (19) introduseres en fremgangsmåte for å utnytte koherensreglene til å øke presisjonen i sannsynlighetsangivelsene. Fremgangsmåten tar utgangspunkt i at angiveren ikke ønsker å angi sannsynlighet med høyere presisjon enn et intervall $[P_L, P_H]$. Vi kan vise et eksempel med de to hendelsene A og B, hvor vi i utgangspunktet ikke ønsker å uttrykke vår grad av tro/usikkerhet med større presisjon enn et intervall $[P_L, P_H]$. Ved å angi sannsynlighetene $P(A)$, $P(B|A)$ og $P(B|\underline{A})$ har vi et komplett uttrykk for vår usikkerhet om paret av hendelser, hvor hver av disse kan innta en verdi mellom 0 og 1, uavhengig av verdiene antatt for de andre. Med utgangspunkt i sannsynlighetsintervallene starter vi med å finne midtpunktet:

- i. $P(A) = 0.60$, som er midtpunktet for $[P_L, P_H] = [0.5, 0.7]$
- ii. $P(B|A) = 0.25$, som er midtpunktet for $[P_L, P_H] = [0.2, 0.3]$
- iii. $P(B|\underline{A}) = 0.70$, som er midtpunktet for $[P_L, P_H] = [0.6, 0.8]$

Vi ønsker dermed å finne ut hva disse verdiene medfører for sannsynligheten for hendelsene i reversert rekkefølge, dvs: $P(B)$, $P(A|B)$ og $P(A|\underline{B})$. For de angitte sannsynlighetene (i, ii, iii) benytter vi Bayes teorem i kombinasjon med addisjons- og multiplikasjonsregelen til å finne:

$$P(B) = P(B|A) * P(A) + P(B|\underline{A}) * P(\underline{A}) = 0.43$$

$$P(A|B) = P(B|A) * \frac{P(A)}{P(B)} = 0.35$$

$$P(A|\underline{B}) = P(B|\underline{A}) * \frac{P(A)}{P(\underline{B})} = 0.79$$

Angiveren kan påpeke at han/hun ikke har angitt disse sannsynlighetene, og at de ikke reflekterer hans/hennes usikkerhet/grad av tro. Koherens medfører imidlertid at de tre resulterende sannsynlighetene kan beregnes med utgangspunkt i de tre angitte sannsynlighetene (i-iii), og reflekterer angiverens implikasjoner av de førstnevnte intervallene. Hvis angiveren ikke er fornøyd med resultatet kan vi eksempelvis endre $P(A|\underline{B})$ til 0.60 og reversere prosessen, noe som medfører at :

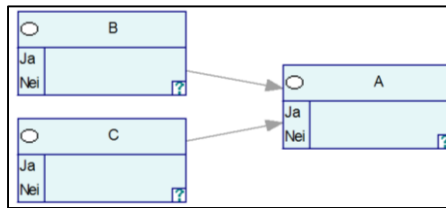
- I. $P(A) = 0.49$
- II. $P(B|A) = 0.31$
- III. $P(B|\underline{A}) = 0.55$

Den resulterende sannsynligheten $P(A)$ ligger nå utenfor det først angitte intervallet for A $[0.5, 0.7]$. Angiveren ser dermed implikasjonene av endringer i sannsynlighetsangivelsene og kan deretter velge å akseptere resultatet, eller reversere prosessen helt til vi er fornøyd med resultatet.

2.2 Bayesianske nettverk

Et bayesiansk nettverk består av noder (hendelser) og piler mellom nodene som representerer kjente eller antatte kausale årsaksforhold. Fraværet av piler representerer dermed uavhengighet mellom nodene. En node kan ha flere tilstander, noe som muliggjør analyser av komplekse årsakssammenhenger. Modeller av komplekse årsakssammenhenger kan også forenkles til enklere modeller eller utformes som et feiltre eller hendelsestre. Modellene i denne oppgaven er utformet ved bruk av det fritt tilgjengelige programmet GeNIe-SMILE(23)

For et eksempel med en hendelse A som har to uavhengige årsaker B og C, angis de ubetingede sannsynlighetene $P(B|K)$ og $P(C|K)$, hvor $P(\underline{B}) = 1 - P(B)$ og $P(\underline{C}) = 1 - P(C)$. Se figur 1.



Figur 1 Eksempel på bayesiansk nettverk

Deretter angis betingede sannsynligheter for ulike kombinasjoner av B og C som vist i tabell 1.

Tabell 1 Betinget sannsynlighetstabell

	B		\bar{B}	
	C	\bar{C}	C	\bar{C}
A	$P(A B, C)$	$P(A B, \bar{C})$	$P(A \bar{B}, C)$	$P(A \bar{B}, \bar{C})$
\bar{A}	$P(\bar{A} B, C)$	$P(\bar{A} B, \bar{C})$	$P(\bar{A} \bar{B}, C)$	$P(\bar{A} \bar{B}, \bar{C})$

Bayes teorem benyttes deretter for å beregne den marginale sannsynligheten for hendelsen A:

$$P(A) = P(A|B, C) + P(A|B, \bar{C}) + P(A|\bar{B}, C) + P(A|\bar{B}, \bar{C})$$

Sannsynligheten for om hendelsen A inntreffer er dermed betinget på de antatte kausale årsaksforholdene i modellen, samt bakgrunnskunnskapen som sannsynlighetsangivelsene for B og C er betinget på. Ekspertene kan angi sannsynligheter for hendelsene B og C, samt alle kombinasjoner av B og C som kan medføre at A inntreffer. $P(A)$ beregnes automatisk i programvaren, hvor den resulterende sannsynligheten $P(A)$ er koherent.

2.3 Valg av risikoperspektiv

Før vi kan analysere og beskrive risiko må vi ha en felles forståelse for hvordan risiko kan defineres, samt beskrives. Et risikoperspektiv forstås dermed som et rammeverk bestående av en definisjon av risiko, samt hvordan risiko skal beskrives. En felles forståelse av risiko er nødvendig når ulike fagmiljøer skal samarbeide om problemstillinger som gjelder risiko.

2.3.1 Sannsynlighetsbaserte risikoperspektiv

Det eksisterer flere ulike definisjoner av risiko, hvor en i ingeniørfaglige sammenhenger ofte definerer risiko som forventet konsekvens (24): $Risiko = E[C] = c_1 * p_1 + c_2 * p_2 + \dots$ » Risiko beskrives dermed ved å multiplisere mulige konsekvenser (c_1, c_2, \dots) med en tilhørende sannsynlighet for at konsekvensene inntreffer (p_1, p_2, \dots) og summerer over alle aktuelle verdier. Fordelen er at risiko presenteres som en enkeltverdi, noe som forenkler vurderinger og sammenligninger av risiko. Risikobeskrivelsen vil imidlertid ikke kunne skille mellom situasjoner med potensielt katastrofale konsekvenser som sjelden opptrer, og situasjoner med mindre konsekvenser som inntreffer ofte (24). I de fleste tilfeller vil de ulike situasjonene kreve ulik behandling, noe som gjør risikobeskrivelsen uegnet for beslutningsstøtte.

I et alternativt risikoperspektiv definerer risiko som: $Risiko = (C, P)$, hvor C er en mulig konsekvens og P er sannsynligheten for at konsekvensen inntreffer. Risiko beskrives på formen: (A,P,C), hvor A er en (uønsket) hendelse, P er sannsynligheten (frekvensfortolket eller subjektiv) for at hendelsen A inntreffer og C er konsekvensene hvis A inntreffer. Separasjonen av sannsynlighet og konsekvens gir muligheten til å skille mellom kombinasjoner av høy/lav sannsynlighet og konsekvens. Et økende antall forskere og eksperter innen risikofeltet argumenterer imidlertid for at de sannsynlighetsbaserte risikoperspektivene har begrensede muligheter til å beskrive alle aspekter av risiko og usikkerhet (17). Sannsynlighetsangivelser er alltid betinget på en viss bakgrunnskunnskap K som inkluderer forutsetninger og antakelser om det analyseobjektet. Eksempelvis kan sannsynligheten for brann i en bygning være betinget på forutsetningen om at det ikke gjennomføres varme arbeider, samt at utførelsen til det elektriske anlegget ikke vil medføre varmeutvikling under høy belastning. I virkeligheten kan slike forutsetninger vise seg å ikke stemme, noe som ikke reflekteres av de angitte sannsynlighetene. Det er imidlertid ikke praktisk mulig å gjennomføre en risikovurdering uten slike forutsetninger og antakelser. En annen utfordring med de sannsynlighetsbaserte risikoperspektivene er at beslutningstaker i praksis ikke kan skille mellom to identiske risikobeskrivelser hvor den ene er betinget på sterk bakgrunnskunnskap og den andre er betinget på svak bakgrunnskunnskap. Det er identifisert flere andre utfordringer i Aven (17), som danner grunnlaget for et utvidet risikoperspektiv som introduseres i neste avsnitt.

2.3.2 Et utvidet risikoperspektiv

I det utvidete risikoperspektivet introdusert av Aven(2) defineres risiko:

«Risiko defineres som den todimensjonale kombinasjonen av hendelser/konsekvenser og tilhørende usikkerhet(24, s.19)

Notasjon Risiko = (C,U), hvor C er konsekvensen av en aktivitet, og U er den tilhørende usikkerheten om C (siden C er ukjent). Når vi ser frem i tid er konsekvensene av aktiviteten vi vurderer ukjent. For å kunne beskrive risiko må vi identifisere en spesifikk konsekvens C', samt et mål på usikkerhet Q (ofte subjektive sannsynligheter). C' og Q er betinget på en bakgrunnskunnskap K, hvor en utvidet risikobeskrivelse for en aktivitet eller et system er på formen: (C',Q,K). Vurderinger av styrken på bakgrunnskunnskapen som C' og Q er betinget på introduseres i kapittel 2.6. I figur 2 visualiserer en tredimensjonal risikobeskrivelse som inkluderer vurderinger av styrken på bakgrunnskunnskapen som C' og Q er betinget på.

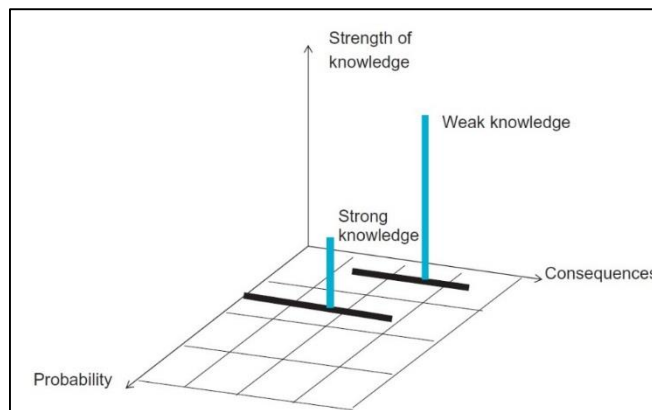


Figure 2 Mulig risikopresentasjon som inkluderer kunnskapsdimensjonen.(1)

Risikobeskrivelsen kan utvides til å inkludere risikokilder RK, samt hendelser A som illustrert i figur 3. En risikokilde RK forstås som en ekstern eller internt faremoment som har potensialet til å medføre at en (uønsket) hendelse A, med en konsekvens C inntreffer.

Hvis risikokilden befinner seg utenfor det analyserte systemet kan vi si at systemet er eksponert for risikokilden(17). Hvis risikokilden er en del av systemet gir det imidlertid ikke mening å snakke om eksponering for risikokilden. En komplett risikobeskrivelse for fremtiden kan dermed spesifiseres som (RS',Q,K), (A',Q,K) og (C'Q,K) hvor Q og K er generiske symboler som ikke trenger å være de samme i de ulike trinnene.

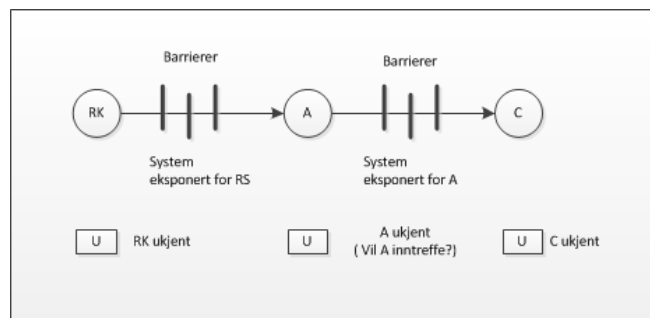


Figure 3 Risiko-eksponeringsmodell(22)

Sårbarhet

Sårbarhet defineres som «Kombinasjonen av konsekvensene C av en aktivitet og den tilhørende usikkerheten U , betinget på forekomsten av en spesifikk risikokilde RK eller hendelse A (17, s.41, Fritt oversatt til Norsk)». Notasjon $(C|A,K)$. Sårbarhet forstås dermed som risiko betinget på forekomsten av en spesifikk risikokilde RK eller hendelse A . En sårbarhetsbeskrivelse angis på formen $(C'|A', Q,K)$

2.4 En utvidet risikoanalyseprosess.

I det utvidede risikoperspektivet introduseres to nye aktiviteter i risikoanalyseprosessen: Vurderinger av styrken til bakgrunnskunnskapen samt en overraskelsesvurdering som illustrert i figur 4.

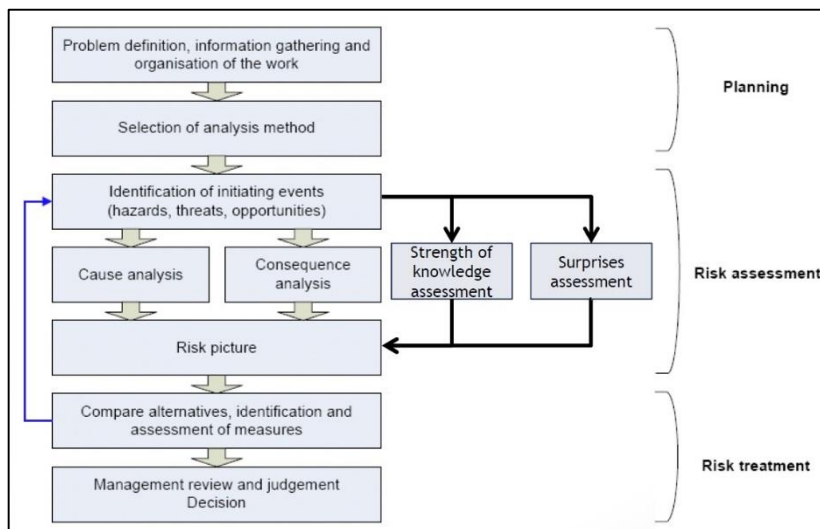


Figure 4 En utvidet risikoanalyseprosess(1)

Risikoanalyser er et viktig verktøy for å kunne praktisere risikostyring i en organisasjon. Hovedformålet med risikoanalyser er å analysere risiko og bidra med en bred og informativt beskrivelse av risiko som et bidrag til beslutningsstøtte. En risikoanalyse vil dermed bidra til å beskrive risikoen forbundet med en aktivitet, et system eller komponenter som er viktige i forbindelse med risiko (25). Noen viktige faktorer som risikoanalysen kan bidra med er(24):

- Etablere et risikobilde
- Sammenligne alternative løsninger i forbindelse med risiko
- Identifisere viktige risikopåvirkende faktorer for det analyserte systemet eller aktiviteten.
- Demonstrerer effekten av risikoreduserende tiltak på det overordnede risikobildet.

Disse faktorene kan bidra som en basis for beslutninger, hvor de videre handlingene er:

- Velge mellom alternative løsninger og aktiviteter i den innledende planleggingsfasen for et system.
- Velge mellom alternative løsninger eller utforming av et risikoreduserende tiltak
- Sammenligne løsninger opp imot risiko- og beslutningsakseptkriterier.

- Utforme ytelseskrav for løsninger og tiltak som kan innebære ytelseskrav til beredskapssystemer.

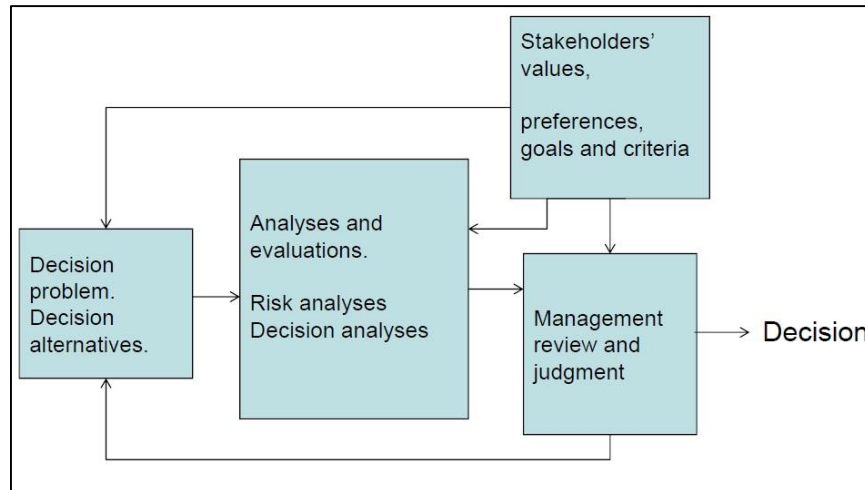


Figure 5 Beslutningstaking under usikkerhet (2, s.10)

Resultatet fra risikoanalysen bør ikke brukes som eneste underlag til beslutningsstøtte, men også vurderes opp imot andre analyser og interessenters verdier og kriterier. **Error! Reference source not found.** viser en beslutningsprosess for risiko-informert beslutningstaking under usikkerhet. Hovedformålet med beslutningsprosessen er å skille resultatet fra risikoanalysen ifra beslutningene som tas, for å sikre at organisasjonens mål og visjoner vurderes og ivaretas av beslutningstaker. Skillet mellom risikoanalyse og beslutning kan også medføre større eierskap til beslutningen og ansvarliggjøring av beslutningstakeren. Noen viktige beslutningsprinsipper er:

Forsiktighetsprinsippet

Prinsippet kjennetegner at resultatene fra en risikoanalyse ikke er objektive, hvor overraskelser kan inntreffe relativt til de beregnede sannsynlighetene og konsekvensene.

«Forsiktighet bør være det overstyrende prinsippet når det er usikkerhet knyttet til konsekvensene, dvs når risiko er tilstede. Forsiktighet kan utøves ved å ikke starte en aktivitet eller ved å implementere risikoreduserende tiltak for å redusere risiko og usikkerhet»

Føre-var prinsippet

Føre-var prinsippet er et spesialtilfelle av forsiktighetsprinsippet som gjelder i tilfeller når det er vitenskapelig usikkerhet knyttet til konsekvensene av en aktivitet. Vitenskapelig usikkerhet forstås som manglende forståelse for hvordan konsekvensene (utfallene) påvirkes av underliggende faktorer, hvor det er problematisk å etablere prediksjonsmodeller med tilstrekkelig nøyaktighet, samt bidra med en presis beskrivelse av årsakssammenhenger (Aven, s.162).

«Forsiktighetsprinsippet uttrykker at hvis konsekvensene av en aktivitet kan være alvorlig og forbundet med vitenskapelig usikkerhet, bør risikoreduserende tiltak iverksettes eller aktiviteten ikke gjennomføres»

ALARP prinsippet

ALARP (As Low As Reasonably Practicable) prinsippet baserer seg på omvendt bevisbyrde: Risikoen skal reduseres så mye som praktisk mulig med mindre det kan dokumenteres at det er et urimelig misforhold mellom kostnadene eller andre ulemper forbundet med implementeringen av tiltakene (Aven, 2008 s.32)

Valg av robuste løsninger

Robusthet refererer til ufølsomhet for ytelsesendringer ved avvik fra normale driftsforhold, hvor de mulige avvikene er kjente på forhånd. Ytelsen til et robust system vil dermed ikke påvirkes hvis driftsforholdene endres på bakgrunn av kjente trusler eller farer. Noen tiltak for å øke robustheten til et system kan være:

- Sette høyere ytelseskrav til barriereresystemer
- Inkludere ytterligere sikkerhetsfaktorer som en forsikring mot individuelle variasjoner
- Bygge redundante barriereresystemer
- Øke organisasjonens lære- og mestringsevne

Valg av resilliente løsninger

Resilliens er en beskyttelsesstrategi mot ukjente overraskende hendelser. Et resillient system har dermed evnen til å fungere uavhengig av hvilke hendelser som inntreffer. Noen tiltak for å øke resilliens er:

- Redusere sårbarheten til et system selv når truslene er ukjente
- Forbedre beredskapstiltak

2.4.1 Planlegging av risikoanalyse

Planleggingsfasen av en risikoanalyse består av de to aktivitetene problemdefinisjon og valg av analysemetode. Problemdefinisjon henger tett sammen med analysens formål som introdusert i forrige avsnitt. Det må avklares hvilken beslutning risikoanalysen skal støtte, samt hvilke risikoindeks som skal anvendes til å beskrive risiko(24). Problemstillingen og detaljnivået til analysen vurderes opp imot begrensninger i form av tilgjengelige ressurser, data og informasjon. På generelt grunnlag bør ikke risikoanalyser utføres av enkeltpersoner, hvor det i de fleste tilfeller være hensiktsmessig å etablere en analysegruppe bestående av eksperter innen systemet eller aktiviteten som skal analyseres(24).

Valg av analysemetode gjennomføres på bakgrunn av problemdefinisjonen, begrensninger i ressurser, data og informasjon, samt andre faktorer som kompleksitet og viktighet til analyseobjektet. Hovedkategoriene av risikoanalysemetoder er:

Tabell 1 Hovedkategorier av risikoanalysemetoder (7, s.4)

Hovedkategori	Type analyse	Beskrivelse
Forenklet risikoanalyse	Kvalitativ	Uformell prosedyre for å etablere et risikobilde ved bruk av idemyldringer og gruppediskusjoner. Risiko presenteres ved bruk av en grov skala, eksempelvis lav, middels, høy. Formaliserte risikoanalysemetoder anvendes ikke
Standard risikoanalyse	Kvantitativ eller kvalitativ	Standard risikoanalyse som i større grad bruker formaliserte metoder som HAZOP eller grovanalyse. Resultatene presenteres ofte i en risikomatrise
Modellbasert risikoanalyse	Primært kvalitativ	Modellbaserte risikoanalyser ved bruk av hendelsestre, feiltre eller bayesianske nettverk for å beregne risiko.

2.4.2 Risikovurdering

En risikovurdering starter med en identifikasjon av faremomenter som kan skade eller true det analyserte systemet evne til å fungere som tiltenkt. Fareidentifikasjonen bør være en strukturert og kreativ prosess, hvor metoder som SWIFT, HAZID, HAZOP, og sjekklister er mye brukt(24). Avhengig av hvilken metode og detaljeringsgrad som anvendes i analysen kan avhengigheter og årsakssammenhenger mellom de identifiserte faremomentene struktureres, hvor feiltre, hendelsestre eller bayesianske nettverk ofte anvendes i modellbaserte risikoanalyser(26). Ved struktureringen av faremomentene spesifiseres initierende hendelser A' , årsaker/risikokilder RK' , forebyggende og konsekvensreducerende barrierer ($B'_1, B'_2...B'_n$) samt konsekvenser C' . Deretter uttrykkes usikkerhet for de spesifikke årsakene/risikokildene RK' , -hendelsen A' samt konsekvensen C' (7). Det mest brukte verktøyet for å uttrykke usikkerhet er frekvensfortolkede eller subjektive sannsynligheter som introdusert i kapittel 2.1.

2.5 Sorte svaner og overraskelsesvurderinger

Begrepet sorte svaner har i senere tid blitt brukt til å illustrere ideen om overraskende hendelser med store konsekvenser. Taleb (4) introduserte begrepet sorte svaner som en hendelse med de tre følgende karakteristikker:

“First, it is an outlier, as it lies outside the realm for regular expectations, because nothing in the past can convincingly point to its possibility. Second, it carries an extreme impact (unlike the bird). Third, in spite of its outlier status, human nature makes us concoct explanations for its occurrence, making it explainable and predictable.”

Aven refererer til sorte svaner som: «*A surprisingly extreme event relative to one’s belief/knowledge*». Sorte svaner knyttes dermed til kunnskapsdimensjonen, hvor Aven og Krohn(2) har identifisert tre kategorier av sort svane-hendelser:

- a) **Ukjente ukjente:** Hendelser som er totalt ukjent for det vitenskapelige miljøet.
- b) **Ukjente kjente:** Hendelser som ikke er kjent for dem som gjennomfører risikoanalysen (eller for andre interessenter), men som er kjente hendelser for andre.
- c) **Kjente kjente:** Hendelser som er kjente for dem som gjennomfører risikoanalysen, men vurderes til å ha neglisjerbar sannsynlighet for å inntreffe, og dermed ikke trodd å inntreffe.

Sorte svaner i kategori a) refererer til utenkelige og uforutsigbare hendelser som medfører ekstreme konsekvenser. Et eksempel er den ukjente virkningen av det sove- og kvalmedempende legemiddelet thalidomid. Legemiddelet ble solgt til gravide i perioden 1957-61, og medførte sterke foster misdannelser. Virkningen av legemiddelet var ukjent for det vitenskapelige miljøet. Sorte svaner i kategori a) er ansett å inntreffe sjeldnere i aktiviteter hvor en har betydelig (bakgrunns)kunnskap, i motsetning til tilfeller med alvorlig eller dyp usikkerhet (17).

Sorte svaner i kategori b) er hendelser som ikke identifiseres i risikoanalyser enten fordi de er ukjente, eller fordi hendelsesidentifikasjonen har vært utilstrekkelig. Et eksempel er selvmordsangrepet i New York 11. september 2001. Hendelsen var ukjent for de som gjennomførte risikoanalyser av bygningene, men kjent for dem som gjennomførte angrepet. Ved en mer grundig hendelsesidentifikasjon i risikoanalysen kunne hendelsen vært identifisert.

2.5.1 Forbedret hendelsesidentifikasjon og kunnskapsoverføring

Vi kan si at vi har en sorte svaner av den ukjente kjente eller den ukjente ukjente typen hvis en hendelse A inntreffer som ikke er dekket av A'. I de mye brukte metodene HAZOP, Hazid, FMEA, feiltre og hendelsestre stilles ofte spørsmålene: «Hvordan skjedde denne feilen?» eller «Hvordan kan denne feilen oppstå». Et nytt verktøy for årsaks- og hendelsesidentifikasjon har nylig kommet i søkelyset: Anticipatory failure determination (AFD)(5). Verktøyet er basert på «*Theory of Inventing problem solving*» og har to hovedbruksområder AFD-1 og AFD-2. Formålet med AFD-1 er å finne årsaker til feilhendelser som allerede har inntruffet, hvor det i AFD-2 fokuseres på å identifisere alle mulige feilhendelser som ikke ennå har inntruffet. Den sistnevnte metoden går dermed ett steg lenger enn de mer tradisjonelle ved å fokusere på å finne hendelser som ikke har inntruffet. Kort fortalt går metoden ut på å reversere spørsmålene som ofte stilles i de

tradisjonelle metodene. For AFD-1 stilles spørsmålene på formen: «Hvordan kan jeg gå frem for å skape denne feilen», mens det i AFD-2 stilles spørsmålene «Hvis jeg ønsker å skape en feilsituasjon, hva er den mest effektive fremgangsmåten?» Bruken av dette verktøyet kan dermed bidra til å identifisere ukjente kjente hendelser, hvor det faktisk at hendelsene eller scenarioene identifiseres bidrar til at de ikke lengre kan betegnes som sorte svaner i kategori b)

2.5.2 Utfordre forutsetninger og antakelser

Et annet virkemiddel er bruk av flere analyseteam for å utfordre forutsetninger og antakelser som hendelsesidentifikasjonen og risikovurderingene er betinget på, såkalt «red teaming». Bakgrunnskunnskapen til de to teamene K_1 og K_2 utnyttes for både å overføre kunnskap, samt utfordre det andre teamets bakgrunnskunnskap. I trinn 1 gjennomfører det første analyseteamet en hendelsesidentifikasjon hvor faremomentene/scenarioene ($A'_1 | K_1$) identifiseres. Deretter gjennomføres en selvevaluering hvor forutsetninger, modeller og andre restriksjoner som kan påvirke det indentifiserte hendelsesrommet utfordres. I trinn 2 utfordrer og argumenterer det andre analyseteamet imot forutsetninger og modeller som det første teamet benyttet. Ved å stille kritiske spørsmål betinget på en ulik bakgrunnskunnskap K_2 forbedres mulighetene til å identifisere ukjente kjente som skjules av de eventuelle restriksjonene i bakgrunnskunnskapen K_1 . I trinn 3 samarbeider begge analyseteamene om å utarbeide en felles hendelsesliste A'_2 .

Sorte svaner i kategori c) er hendelser som identifiseres i en risikoanalyse, men som ignoreres på bakgrunn av at sannsynligheten for at hendelsen inntreffer vurderes som neglisjerbar. Et eksempel er tsunamien som ødela atomkraftverket Fukushima Daiichi. Det var kjent at en tsunami kunne forekomme, men hendelsen ble fjernet fra hendelseslisten på grunn av neglisjerbar sannsynlighet. Risikoreduserende tiltak ble dermed ikke iverksatt, hvor forsiktighetsprinsippet kunne vært lagt til grunn.

Hendelsene i denne kategorien er kjent for analysegruppen, men angis en neglisjerbar sannsynlighet for å inntreffe og dermed ikke trodd å kunne inntreffe. Sorte svaner i kategori c) inntreffer dermed overraskende relativt til de angitte sannsynlighetene. Dette betyr ikke at de angitte sannsynlighetene er usikre, da de uttrykker epistemisk usikkerhet, betinget på angiverens bakgrunnskunnskap K . Hvis bakgrunnskunnskapen endres kan dette medføre en endring i den angitte sannsynligheten. Bakgrunnskunnskapen inkluderer implisitt og eksplisitt kunnskap i form av forutsetninger og antakelser, forståelse av det analyserte fenomenet, modeller, historiske data, forenklinger og tidligere beslutninger. I tilfeller hvor sannsynlighetene betinges på sterke forenklinger i form av forutsetninger og antakelser eller manglende forståelse for det analyserte fenomenet vil ikke dette reflekteres i de angitte sannsynlighetene. Vi kan dermed ha to ulike situasjoner hvor de angitte sannsynlighetene er identiske: en hvor de angitte sannsynlighetene baserer seg på god forståelse og kunnskap om det analyserte fenomenet, hvor den andre baserer seg på veldig dårlig bakgrunnskunnskap. En beslutningstaker vil imidlertid ikke kunne skille mellom de angitte sannsynlighetene eller prioritere hvor risikoreduserende tiltak bør iverksettes. Sorte svaner i kategori c) vil dermed i større grad kunne inntreffe i for hendelsen som er betinget på svak bakgrunnskunnskap.

2.6 Metoder for vurdering av styrken på bakgrunnskunnskapen

I det utvidede risikoperspektivet introduseres vurderinger av styrken på bakgrunnskunnskapen som et virkemiddel for å identifisere overraskelsespotensialet. Overraskelser i form av sorte svaner er mer trolig å inntreffe i tilfeller hvor styrken på bakgrunnskunnskapen viser seg å være svak. I dette avsnittet introduseres to metoder for vurderinger av styrken til bakgrunnskunnskapen. Bruken av metodene forutsetter at forutsetninger og antakelser som risikovurderingen er betinget på er dokumenterte.

2.6.1 Kvalitativ vurdering av styrken til bakgrunnskunnskapen

I Flage og Aven(7) foreslås en kvalitativ vurdering av styrken på bakgrunnskunnskapen basert på fire vilkår. Kunnskapen vurderes som lav hvis ett eller flere av vilkårene er sanne:

- a) Det analyserte fenomenet er ikke godt forstått; modeller er ikke-eksisterende eller kjent/trodd å gi dårlige prediksjoner
- b) Forutsetningene representerer sterke forenklinger
- c) Data er utilgjengelig eller upålitelige
- d) Det er mangel på enighet/konsensus blant eksperter

Hvis de følgende vilkårene er sanne vurderes kunnskapen som høy:

- i. Fenomenet er godt forstått; de anvendte modellene er kjent for å gi gode prediksjoner med tilstrekkelig nøyaktighet
- ii. Forutsetningene vurderes som veldig fornuftige
- iii. Mye pålitelig data er tilgjengelig
- iv. Det er bred enighet/konsensus blant ekspertene

Ved tilfeller imellom vurderes bakgrunnskunnskapen som middels.

Metoden er utviklet for bruk i kvalitative analyser. Kombinasjonen av en kvalitativ vurdering av styrken på bakgrunnskunnskapen og en kvantitativ risikoanalyse resulterer i en semi-kvantitativ beskrivelse av bakgrunnskunnskapen ved bruk av de tre kategoriene, svak, middels sterk.

2.6.2 Assumption deviation risk

En alternativ metode for vurderinger av styrken til bakgrunnskunnskapen introduseres i Aven (6). Denne metoden brukes for å vise hvordan avvik i kritiske forutsetninger kan medføre endringer i risikobeskrivelsen. Hensikten med metoden er å konvertere kritiske forutsetninger i risikovurderingen til et sett med usikkerhetsfaktorer. Deretter gjennomføres en grovanalyse for avvik i forutsetningene hvor de følgende faktorene vurderes:

- Størrelsen på avviket (D_1, D_2, \dots, D_n)
- Sannsynligheten for at avviket inntreffer [Lav, middels, høy]
- Avvikets endring av konsekvensen C [Lav, middels, høy]

Et eksempel på en forutsetning er sannsynlighetsangivelser for en hendelse A' basert på historiske data. Denne forutsetningen kan konverteres til en usikkerhetsfaktor: I hvilken grad de historiske dataen er representative for fremtiden. Størrelsen på avvikene D knyttes til sannsynligheten for at hendelsen A' inntreffer, hvor vi ønsker å vurdere hvordan endringer i den angitte sannsynligheten med en faktor 2, 10 og 100 påvirker konsekvensene C' . Avvikene i

forutsetningen om at de historiske dataene er representative for fremtiden beskrives K_{D1} , K_{D2} , K_{D3} . Sannsynligheten for at avviket inntreffer betegnes Q_1 , Q_2 , Q_3 og effekten av endringen for C betegnes $\Delta C_1'$, $\Delta C_2'$, $\Delta C_3'$

$(\Delta C_1', Q_1, K_{D1}) = (\text{Lav, Middels, Størrelse på avvik} = 2)$

$(\Delta C_2', Q_2, K_{D2}) = (\text{Middels, Lav, Størrelse på avvik} = 10)$

$(\Delta C_3', Q_3, K_{D3}) = (\text{Høy, Lav, Størrelse på avvik} = 100)$

Angitt risikoscore basert på sannsynlighet og konsekvens for avviket.	Høy	X		
	Middels		x	
	Lav			x
		2	10	100
	Størrelse på avviket			

Tabell 2 Risikoscore for avvik i forutsetninger som risikoanalysen er betinget på.

Hvis risikoanalysen er betinget på få forutsetninger med en høy risikoscore kan vi klassifisere styrken på bakgrunnskunnskapen som høy. Hvis risikoanalysen er betinget på mange forutsetninger med en høy risikoscore kan vi vurdere styrken på bakgrunnskunnskapen som lav. En middels kategori kan introduseres for å beskrive tilfeller i mellom disse to.

2.7 Risikostyring

Aven definerer risikostyring som: «alle tiltak og aktiviteter som gjennomføres for å styre risiko(25, s.6)». Risikostyring knyttes videre til organisasjoners evne til å nå sine fastsatte mål og visjoner. I en organisasjon er måloppnåelsen avhengig av aktivitetene som gjennomføres, hvor ulike forhold og hendelser kan påvirke aktivitetene og organisasjonen. Forholdene og hendelsene kan både skape muligheter, men også påføre organisasjonen tap. «Risikostyring handler om å balansere konflikten mellom å utforske muligheter på den ene siden, og å unngå tap, ulykker, og katastrofer på den andre siden» (25, s.6). Risikostyring handler derfor om å være proaktiv ved å bruke tilgjengelig kunnskap og erfaring til å beskrive usikkerhet knyttet til forhold og hendelser som kan påvirke en organisasjon evne til måloppnåelse. For å kunne lykkes med risikostyring er det essensielt at risikostyringen støtter aktiviteter og prosjekter i hele organisasjonen for å nå de overordnede organisasjonsmålene(17). En organisasjon kan være eksponert for flere typer risiko, hvor risikostyringsaktiviteten kan deles inn i tre hovedkategorier: Strategisk-, finansiell- og operasjonell risiko. Strategisk risiko inkluderer faktorer og elementer som er viktige for en organisasjons langsiktige strategi og planer.

- Oppkjøp
- Teknologitviking
- Konkurrenter
- Arbeidsmarked
- Politiske forhold

Hvordan kan et utvidet risikoperspektiv bidra til forbedring av risikoanalyseprosessen i nettselskaper?

Finansiell risiko inkluderer organisasjonens finansielle situasjon knyttet til faktorer utenfor organisasjonens kontroll.

- Markedsrisiko
- Kredittrisiko
- Likviditetsrisiko

Operasjonell risiko omfatter forhold utenfor en normal driftssituasjon.

- Ulykkeshendelser som følge av defekte komponenter og havari, kvalitetsavvik og naturhendelser
- Tilsiktede handlinger som svindel, sabotasje og terroristhandlinger.
- Tap av kompetanse og nøkkelpersonell

Noen viktige punkter som kan bidra til suksess i risikostyringen i en organisasjon er(24 s. 7):

- Etablering av en risikostyringsstrategi gjennom prinsipper for hvordan organisasjonen definerer og opererer risikostyringen. Skal risikostyringen basere seg på å kun tilfredsstille minimumskravene, eller skal det søkes å bli best i klassen?
- Etablering av en formell risikostyringsprosess som organisasjonen må følge.
- Rolle- og ansvarsavklaringer for å sørge for at risikoanalyseprosessen blir en integrert del av organisasjonen
- Implementering av risikoanalyseverktøy og systemer for hendelsesrapportering.
- Utvikling av en risikostyringskultur gjennom økt risikoforståelse, -kompetanse og – motivasjon.

3 Dokumentstudier

I dette kapitlet introduseres resultatet av dokumentstudier som er gjennomført som en del av oppgaven.

3.1 Infrastruktur

I figur 6 illustreres infrastrukturen som frakter elektrisk energi fra kraftprodusent til forbruker.

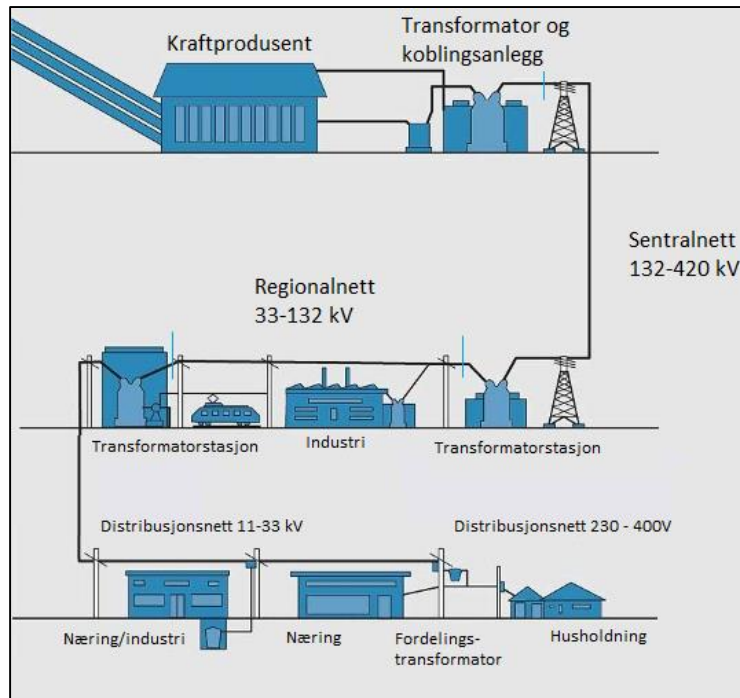


Figure 6 Prinsippkisse for oppbygningen av infrastrukturen for produksjon og overføring av elektrisk kraft(27)

I Norge blir omtrent 97 % av den elektriske energien produsert i vannkraftverk(9). I et vannkraftverk utnyttes vannets potensielle energi til å drive vannturbiner og produsere elektrisk kraft. I magasinkraftverk lagres vann i reservoarer, hvor fallhøyden fra magasinet til turbinen bestemmer hvor mye elektrisk energi som kan produseres. Spottprisen på elektrisk kraft bestemmes etter tilbud og etterspørsel på den nordiske kraftbørsen NordPool (27). I magasinkraftverk er man ikke avhengig av kontinuerlig produksjon, men kan optimalisere produksjonen etter svingninger i spottpris på grunn av lagringsmulighetene for vann. I enkelte tilfeller kan kraftprodusentene utnytte lave spottpriser til å pumpe vann tilbake i magasinene, hvor produksjonen økes tilsvarende ved høyere spottpriser.

Statnett innehar rollen som kraftsystemansvarlig i Norge. Da strøm ikke kan lagres er det Statnetts oppgave til enhver tid ivareta balansen mellom kraftproduksjon og forbruk. Statnett har dermed muligheten til å pålegge kraftprodusenter til å endre produksjonen etter forventet forbruk. Ved ubalanse mellom forbruk og produksjon kan det oppstå spennings- og frekvensvariasjoner som i verste fall kan medføre kollaps av nettsystemet (blackout). Frekvensen i det nordiske kraftsystemet må til enhver tid holde seg innenfor intervallet [49.90, 50.10] Hz. Flere ulike vernsystemer ivaretar frekvens- og spenningskvaliteten gjennom tvungen utkobling av delsystemer.

Sentralnettet er det landsdekkende overføringsnettet i Norge som eies, driftes og vedlikeholdes av Statnett. Høy spenning (420-132 kV) muliggjør overføring av elektrisk energi over lengre avstander med minimale elektriske tap. Her kan den elektriske energien overføres mellom landsdeler, samt fra kraftprodusent i utkantstrøk til mer sentrale strøk hvor energien forbrukes.

Hoveddelen av regionalnettet (33-132 kV) samt distribusjonsnettet eies og driftes av de omtrent 130 nettselskapene i Norge. Fra regionalnettet og frem til forbruker transformeres spenningen ned i flere omganger. Transformeringen gjennomføres først i større transformatorstasjoner hvor spenningen reduseres fra 132-33 kV og ned til 33-11 kV. Deretter fordeles den elektriske kraften ut til flere mindre nettstasjoner hvor spenningen transformeres ned til 230/400 V. I den siste leddet fordeles den elektriske kraften til de individuelle forbrukerne.

3.2 Sentrale aktører innen energiforsyningen

Det er ikke samfunnsmessig rasjonelt å bygge flere parallelle strømmnett, og nettselskapene opererer dermed i et naturlig monopol. Nettselskapene er dermed underlagt strenge reguleringer for å sørge for at de ivaretar samfunnets behov for en stabil strømforsyning, samt å sørge for at de ikke utnytter monopolsituasjonen til økonomisk vinning.

3.2.1 Olje- og energidepartementet

Nettselskapenes virksomhet er i stor grad gjennomregulert av olje- og energidepartementet (OED). Hovedoppgaven til OED er å tilrettelegge for en helhetlig og samordnet energipolitikk gjennom effektiv og miljøvennlig forvaltning av Norske energiressurser (28). Det operative ansvaret for kraftforsyningsberedskapen og tilsyn er delegert til NVE gjennom energiloven (29).

3.2.2 Norges vassdrags- og energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har ansvaret for samordningen av beredskapsplanlegging og ledelse av den norske kraftforsyningen under beredskap og i krig(1). Disse ansvarsoppgavene ivaretas gjennom kraftforsynings beredskapsorganisasjon (KBO), som består av alle enheter som driver eller eier overføring/distribusjon av elektrisk kraft, fjernvarme, og kraftproduksjon med tilhørende vassdragsregulering. NVE leder denne organisasjonen ved å sette rammer, gi veiledning og ved tilsyn av alle selskaper innen KBO. KBOs oppgaver består av å løse problemer som oppstår i ekstraordinære situasjoner som feil eller skade på kraftanlegg som følge av teknisk svikt, naturgitte forhold, terror- eller sabotasjeaksjoner. Dette innebærer også i forbindelse med rasjonerings situasjoner, hvor det ikke er nok elektrisk kraft tilgjengelig til forsyning av alle forbrukere.

KBO er organisert i et hierarki bestående av sentralt nivå, distrikts-/fylkesnivå og lokalt nivå. Det sentrale nivået (KSL), består av beredskapsmyndigheten (NVE) og systemansvarlig (Statnett). På distrikts-/fylkesnivå er kraftforsyningsberedskapen delt inn i 14 distrikter, hvor ett distrikt består av ett til tre fylker. I hvert distrikt utpeker NVE en distriktssjef (KDS) som er ansvarlig for å ivareta overordnede oppgaver for distriktet. KDS er ansvarlig for statusrapporter til NVE angående beredskap- og rasjoneringsplaner, risiko- og sårbarhetsanalyser og i forbindelse med pågående krisesituasjoner. Samtidig er KDS ansvarlig for kommunikasjon av risiko og beredskapsrelaterte spørsmål utad til Fylkesmannen ved utarbeidelse av ROS-analyser på fylkesnivå, eller ved pågående kriser. Det lokale nivået består av kraft- og fjernvarmeprodusenter, nettselskaper og vassdragsregulanter.

Enhetene i KBO har en selvstendig plikt til å sørge for iverksetting av risikoreducerende tiltak og beredskap for håndtering av ekstraordinære situasjoner. Disse pliktene er videre regulerte gjennom forskrift om forebyggende sikkerhet og beredskap i energiforsyningen, også kalt beredskapsforskriften (2013)

3.2.3 Regulering av nettselskapene

I Norge er det i overkant av 130 nettselskaper som eier og drifter strømmettet mellom kraftprodusent og forbruker. Nettselskapenes virksomhet er sterkt regulert ifra myndighetssiden, hvor reguleringene skal ivareta samfunnets behov for stabil avbruddsfri energiforsyning. Innenfor rammene av myndighetsreguleringene er nettselskapenes formål å tjene penger på frakt av elektrisk energi ifra kraftprodusent og forbruker. Da det ikke er samfunnsmessig rasjonelt å bygge flere parallelle strømmett, opererer nettselskapene i et naturlig monopol. Et naturlig monopol kan beskrives som en form for markedssvikt som følger de store kapitalkostnadene forbundet med å bygge infrastruktur. For å forhindre at nettselskapene utnytter monopolsituasjonen til egen vinning, er de underlagt både direkte og økonomiske reguleringer. Noen eksempler på direkte reguleringer er:

- Tilknytningsplikten
 - Nettselskapene plikter å tilby alle som ønsker det tilgang til nettet(30)
- Leveringsplikt
 - Nettselskapene plikter å sikre at kunder ikke mister strømmen ved flytting, dvs når strømleverandør ikke lenger kan levere strøm(31).
- Krav til leveringskvalitet
 - Nettselskapene skal sikre at kvaliteten på den leverte spenningen holder seg innenfor fastsatte grenseverdier(32)
- Kompetanseforskriften
 - Nettselskapene skal inneha kompetanse og bemanning for feilretting og vedlikehold av nett(33).

Den direkte reguleringen skal sørge for at nødvendige investeringer gjennomføres og at nettet vedlikeholdes på en tilfredsstillende måte. Pliktene skal tilfredsstilles uavhengig av vurderinger av bedriftsøkonomisk lønnsomhet.

Økonomisk regulering

Nettselskapenes tillatte inntekter fastsettes av NVE på årlig basis. Nettselskapenes økonomiske resultat avgjøres dermed av i hvilken grad de holder kostnadene lavere enn den tillatte inntekten. Ved beregningen av tillatt inntekt (TI) inngår inntektsrammer (IR), kostnader ved uttak fra og innmating i overliggende nett (KON) samt eiendomsskatt (E). Avbruddskostnader (KILE) trekkes deretter fra den tillatte inntekten:

$$TI = IR + KON + E - KILE \quad (\text{Beregning av tillatt inntekt})$$

Inntektsrammene IR beregnes av NVE basert på historiske kostnader for nettselskapet (40 %) samt en kostnadsnorm (60 %) som er uavhengig av selskapets egne kostnader. Kostnader i overliggende nett (KON) samt innbetalt eiendomsskatt (E) baseres på selskapets innrapporterte utgifter. Beregninger av KILE baseres på avbruddsvarighet, -tidspunkt og -omfang. I tilfeller hvor

den faktiske inntekten er større enn den tillatte skal differansen tilbakeføres forbruker gjennom redusert fremtidig nettleie. Når den faktiske inntekten er mindre enn den tillatte inntekten kan denne innhentes fra kundene ved økt nettleie.

Selskapene har tidligere vært sikret en minimumsavkastning på 2% for å forhindre at nettselskapene går konkurs. Denne minimumsavkastningen er per januar 2015 redusert til 0% for å forhindre at enkelte nettselskaper spekulerer i ordningen. Fjerningen av minimumsavkastningen er ett av incentiver for å styrke insentivene for kostnadseffektivisering. Det er ikke innenfor rammene av oppgaven å beskrive hvordan NVE fastsetter kostnadsnormen som ligger til grunn for beregning av inntektsrammene IR, se (34) for utdypende forklaringer. Kort forklart innebærer ordningen at hvis det aktuelle nettselskapet senker kostnadene sine under den fastsatte kostnadsnormen, kan de selv beholde 60 % av kostnadene. Inntektsrammeordningen er dermed enda et incentiv for kostnadseffektiv drift.

Kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi (KILE) er introdusert som et insentiv for at nettselskapene skal bygge, drifte, og vedlikeholde nettet på en samfunnsøkonomisk optimal måte. KILE trekkes ifra nettselskapets tillatte inntekt og beregnes på bakgrunn av nettselskapenes rapporterte feil og avbrudd i kraftsystemet. Faktorer som avbruddsvarighet, -tidspunkt og omfang inngår i beregningen av KILE(35). De totale KILE-beløpene i Norge beløper seg i størrelsesorden 1200 MNOK pr år. Satsene for beregning av KILE er oppjustert med 15 % pr 1.1.2015 for i større grad å reflektere samfunnets reelle kostnader, samt øke nettselskapenes insentiver for å ivareta forsyningssikkerheten.

3.3 Beredskapsforskriften

Forskrift om forebyggende sikkerhet og beredskap i energiforsyningen (Beredskapsforskriften) skal sikre at energiforsyningen ivaretas og gjenopprettes i og etter ekstraordinære situasjoner på en sikker og effektiv måte for å redusere de samfunnsmessige konsekvensene(16). Forskriften stiller både funksjonelle overordnede krav, samtidig som detaljerte minimumskrav som skal tilfredsstilles av enhetene i KBO. Olje- og energidepartementet er utgiver av forskriftsteksten som utgjør 25 sider, hvor NVE har utarbeidet en veileder på 242 sider som utdyper og forklarer forskriftsteksten. Dette avsnittet er basert på utvalgte kapittel fra forskriftens veileder.

3.3.1 Helhetlig beredskapskonsept

Beredskapsforskriften har som formål å regulere KBO enhetenes risiko- og beredskapsarbeid for å forebygge og håndtere ekstraordinære situasjoner som kan medføre utfall av energiforsyningen. Hovedårsaken til forskriftsreguleringen er at samfunnets interesser og forsyningssikkerheten skal ivaretas av KBO enhetene. Som en del av veilederen fremheves et helhetlig beredskapskonsept som en forutsetning for at selskapene skal være i stand til å håndtere ekstraordinære situasjoner.

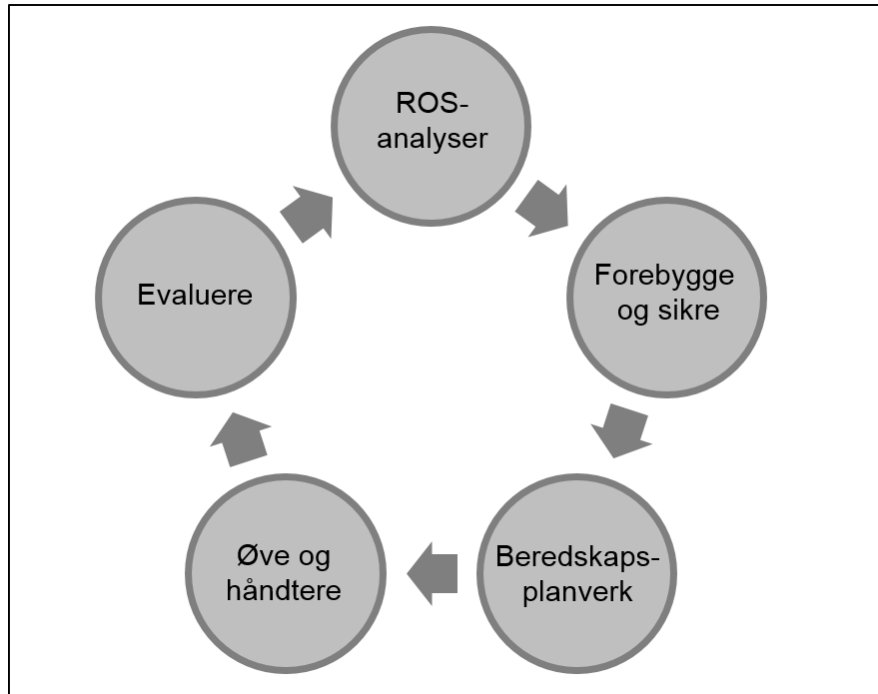


Figure 7 Helhetlig beredskapskonsept(1)

Det helhetlige beredskapskonseptet bygger på risiko- og sårbarhetsanalyser (ROS-analyser) som et verktøy for vurdering av risiko. Resultatene fra analysene skal deretter legges til grunn for prioritering og iverksetting av forebyggende- og sikringstiltak for å forhindre eller begrense skadevirkningene av ekstraordinære hendelser. Beredskapsforskriften stiller imidlertid minimumskrav til hvilke tiltak som må gjennomføres. ROS-analysene kan dermed ikke brukes til å redusere beredskapen/tiltakene under de minimumskravene som stilles i forskriften. De hendelsene som ikke kan forebygges av de gjennomførte tiltakene, eller hvor det gjenstår restrisiko skal omtales i beredskapsplanverket. Som en del av beredskapskonseptet skal det øves på håndtering av ekstraordinære hendelser. Forskriften krever minimum en årlig øvelse, hvor det skal øves på hendelsene som er beskrevet i beredskapsplanverket. I ettertid av øvelser og ved ekstraordinære situasjoner skal det gjennomføres en evaluering som kan bidra til oppdatering av ROS-analysene.

3.3.2 Risiko- og sårbarhetsanalyser

Risiko- og sårbarhetsanalyser (ROS-analyser) fremheves som et viktig verktøy for å identifisere risiko- og sårbarhet som kan true eller redusere virksomhetens evne til å fungere. Hovedformålet med risiko- og sårbarhetsanalysene er å sortere mellom det som kan forebygges gjennom sikringstiltak, og det som må håndteres i beredskapsplanverket. Gode ROS-analyser uttrykkes videre som et virkemiddel for å redusere antallet og omfanget av ekstraordinære hendelser, og redusere konsekvensene av hendelsene. Kravet til gjennomføring av ROS-analyser gjelder både for eksisterende infrastruktur, og ved bygging av nye anlegg eller ved endringer/utvidelser av eksisterende infrastruktur.

«Alle KBO-enheter skal gjennomføre risiko- og sårbarhetsanalyser knyttet til ekstraordinære forhold. Analysene skal ha et slikt omfang at enheten kan identifisere risiko og sårbarhet ved alle funksjoner, anlegg og tiltak av betydning for å oppfylle kravene i forskriften. Analysene skal minimum gjennomgås årlig og oppdateres ved behov» (1, s.17)

«Virksomhet som planlegger å bygge eller vesentlig endre eller utvide anlegg som er eller vil være klassifisert etter § 5-2, skal på bakgrunn av anleggets klasse etter § 5-2 eller enkeltvedtak, foreta en risiko- og sårbarhetsanalyse og prosjektere, utføre og sikre anlegg og system som angitt i denne forskrift.»(1, s. 126)

Oppdatering av analyser

ROS-analysene skal som et minimum oppdateres årlig og ved vesentlige endringer. Minimumskravet innebærer at virksomhetene må gjøre en årlig kvalitativ vurdering av analysenes relevans og tilstrekkelighet. Hvis endringene er vesentlige, skal det gjennomføres nye risiko- og sårbarhetsanalyser. Endringer som kan medføre ny ROS-analyse:

- Ytre omgivelser
- Internt i virksomheten
- Samfunnsmessige endringer i tilknytningen av kunder (Sykehus o.l.)

Analysene skal oppdateres på bakgrunn av:

- Erfaringer fra reelle hendelser og øvelser
- Endringer i nett, produksjon eller forbrukspunkter
- Ved nye trusselvurderinger
- Ved pålegg fra tilsyn

I tillegg skal analysene alltid oppdateres før og etter teknologiske, strukturelle og organisatoriske endringer.

Risikoanalysenes omfang og formål

Forskriften krever at risiko og sårbarhet skal identifiseres for alle funksjoner, anlegg og tiltak av betydning for forsyningssikkerheten. Analysen skal dermed omfavne risiko på et overordnet nivå, for alle *relevante* objekter, systemer og funksjoner av betydning for forsyningssikkerheten. Samtidig skal analysen dekke alle beredskapspliktene i beredskapsforskriften. Omfanget av analysearbeidet vil variere fra virksomhet til virksomhet og vil påvirkes av både kompleksiteten i

den tekniske infrastrukturen og organisatoriske forhold. Det vil for de fleste virksomheter være hensiktsmessig med en oppdeling av analysearbeidet.

Ekstraordinære forhold

Hovedfokus i analysene skal være på hendelser som kan gi store konsekvenser for virksomheten og/eller samfunnet, selv om sannsynligheten for at hendelsen inntreffer ikke nødvendigvis oppfattes som høy. I beredskapsforskriften beskrives dette som ekstraordinære situasjoner. Hva som menes med ekstraordinære forhold beskrives som situasjonsbetinget, men i grove trekk forklares begrepet som «en uønsket hendelse som går utover de feilsituasjoner som selskapet håndterer til daglig». Veilederen gir videre eksempler på ekstraordinære hendelser, kategorisert i tre kategorier; naturgitt skade, omfattende teknisk svikt og omfattende påført skade.

Naturgitt skade

Med naturgitt skade menes «alle former for konsekvenser av hendelser som skriver seg fra uvær, flom, skred og lignende». Forskriften poengterer at det er en gråsoner mellom hva som er ordinært og ekstraordinært, hvor en vanlig norsk vinter vil være innenfor hva som er ordinært. Det nevnes videre at det er mulig å «komme frem til relativt pålitelige anslag for risiko basert på erfaringer og statistikk». Risikoanalysene må imidlertid også vurdere effekten av klimaendringer, noe som kan skape større grad av usikkerhet. Noen eksempler på naturgitte forhold:

- Uvær – for eksempel sterk vind utover det som er normalt i området
- Ising av linjer
- Skred
- Flom
- Skogbrann
- Lyn
- Trefall og vegetasjonstilvekst

Omfattende teknisk svikt

Denne kategorien omfatter hendelser som kan forårsakes både av at komponentene i systemet ikke holder tilfredsstillende stand, eller at de ikke tåler de påkjenningene de blir utsatt for. Teknisk svikt kan også være forårsaket av naturgitt skade. I de tilfellene hvor komponenter svikter som følge av årsaker de er dimensjonert til å tåle, vil hendelsen falle inn under kategorien teknisk svikt. Noen eksempler på teknisk svikt:

- Bortfall av strøm og kjøling
- Feil i maskiner og utstyr – fysiske feil
- Feil i data eller programvare – logiske feil
- Feil pga systemtekniske svakheter
- Brann og eksplosjon
- Lekkasje/oversvømmelse
- Feil knyttet til svekkelse av komponenter på grunn av alder eller temperaturer, eller menneskelig svikt i forhold til rutiner/operasjoner.

Omfattende påført skade

Denne kategorien omfatter både tilsiktede og utilsiktede hendelser som kan medføre skade på anleggene. Noen eksempler på utilsiktede hendelser er graveskader og feilkoblinger i anleggene,

som kan være forårsaket av kompetansesvikt og uaktsomhet. Tilsiktede handlingene omfatter kriminelle handlinger hvor hensikten er å skade anlegget. I risikoanalysen av de tilsiktede handlingene fremstilles sannsynlighet og konsekvenser som et viktig vurderingsmoment, da «stor grad av sannsynlighet og store konsekvenser vil fortelle mye om sårbarhetsbildet for det enkelte objektet(1, s.11)». De tilsiktede handlingene inkluderer både tilfeldig skadeverk, mer eller mindre rasjonelle handlinger og nøye planlagt sabotasje. Noen eksempler på tilsiktede handlinger:

- Kriminelle handlinger og skadeverk
- Ulike former for industrispionasje
- Sabotasje/terror
- Skade fra krigslignende handlinger

3.3.3 Beredskapsplanlegging

Risikoanalysene skal danne grunnlaget for beredskapsplanleggingen i selskapet, hvor all risiko- og sårbarhet som virksomheten ikke kan fjerne eller reduseres må omtales og håndteres i beredskapsplanverket. Nettselskapene (og andre KBO enheter) skal ha en reparasjonsberedskap som står i forhold til alle former for ytre påkjenninger og risiko for ekstraordinære hendelser:

«Alle KBO-enheter skal planlegge for og etablere en organisasjon med nødvendig personell, kompetanse, utholdenhet og ressurser til å holde driften gående, gjenopprette funksjon og gjennomføre oppgaver som kreves under alle ekstraordinære situasjoner på en sikker og effektiv måte(1, §4-1)»

Dimensjoneringen av reparasjonsberedskapen skal gjøres på bakgrunn av hvilke typer anlegg virksomheten har, eksempelvis sjøkabler og fjordspenn. Samtidig må personell med den nødvendige kompetansen være tilgjengelig for å gjenopprette strømforsyningen i ekstraordinære situasjoner. Nettselskapene må dermed til enhver tid sørge for å ha tilgjengelig materiell og utstyr, samt personell med den nødvendige kompetansen til å utføre feilretting for de ulike anleggene.

3.4 NVEs veiledende metode i risikoanalyser for kraftbransjen

NVE har utviklet en veiledning i risiko- og sårbarhetsanalyser spesielt for kraftbransjen, med formål å gi bransjen et verktøy for å samsvare med § 2-4 og § 5-8 i beredskapsforskriften(3). I veilederen benyttes risikoanalyseprosessen som vist i figur 4. I det følgende avsnitt presenteres et kort sammendrag av den veiledende metoden.

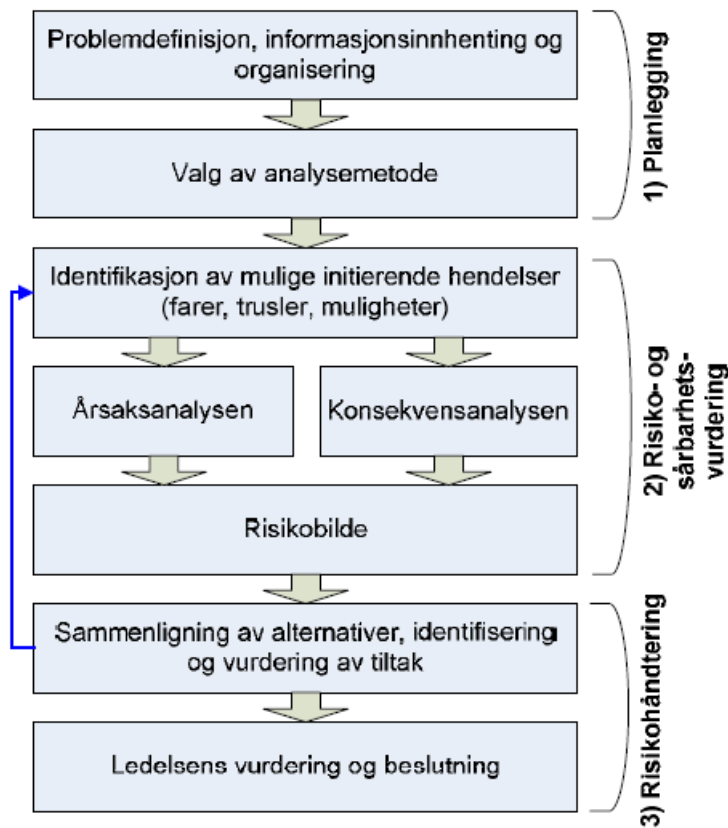


Figure 8 NVEs anbefalte risikoanalyseprosess

Hovedfokuset i veilederen er å identifisere og beskrive risiko og sårbarhet knyttet til ekstraordinære forhold for eksisterende infrastruktur, samt ved nybygging eller ved endringer i eksisterende infrastruktur. ROS-analysene danner grunnlaget for identifisering og prioritering av beredskapstiltak og forebyggende tiltak.

3.4.1 Planlegging av risikoanalysearbeidet

Veilederen foreslår at analysearbeidet planlegges gjennomført i tre faser, hvor en etter hver fase vurderer hvilke anlegg, systemer og/eller aktiviteter som skal prioriteres for mer detaljerte ROS analyser. Fremgangsmåten bidrar til at en blir bedre kjent med anleggene og får en økt forståelse av hvilke anlegg som er kritiske/sårbare og hvorfor.

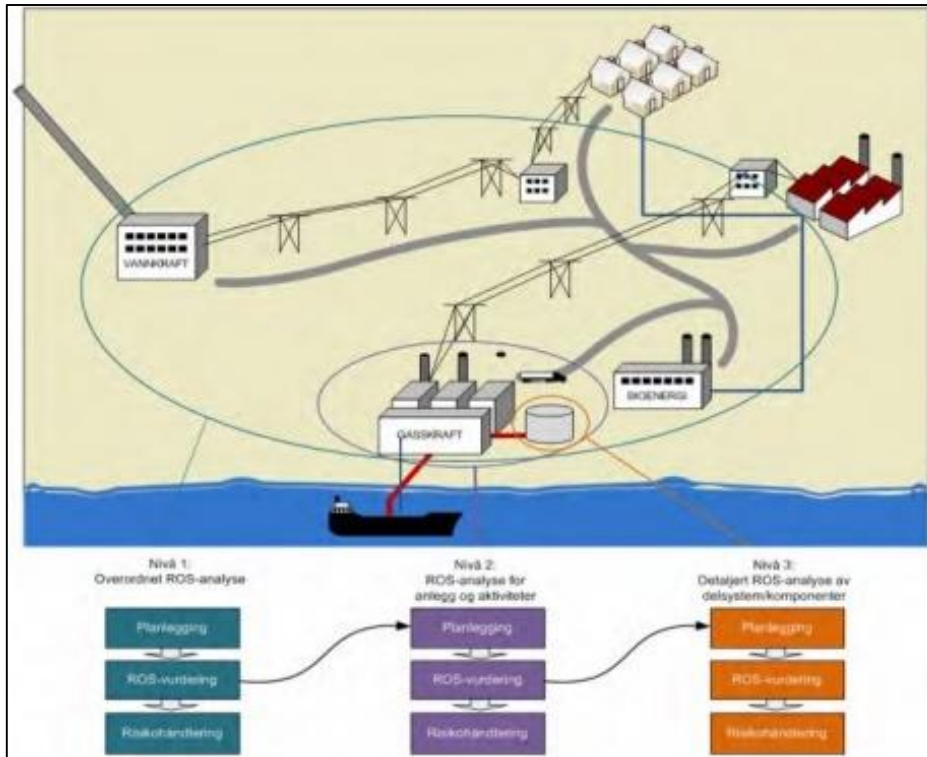


Figure 9 Nivåinndeling ROS-analyser(3, s.15)

Nivå 1 – Overordnet ROS-analyse

I analysen på nivå 1 er fokuset på å få oversikt over anleggene som er kritiske for virksomheten og hvilken betydning de har for kraftsystemet. Identifikasjon av farer og trusler som kan sette anlegg eller helt, eller delvis ut av drift og sårbarhet ved utfall vil gi beslutningstakere et nyansert risikobilde. Risikobildet kan videre brukes som underlag for rangering av hvilke anlegg som er kritiske for virksomheten, og prioriteringsgrunnlag for videre analyser.

Nivå 2 – ROS-analyse av enkeltanlegg

Fremgangsmåten for nivå 2 analyser er den samme som i nivå 1, hvor man fokuserer på enkeltanlegg innenfor kraftsystemet. I tilfeller hvor det er høy usikkerhet knyttet til konsekvensene av uønskede hendelser, høy risiko eller sårbarhet kan det være behov for mer detaljerte ROS-analyser av spesifikke delsystem eller komponenter.

Nivå 3 – Detaljert ROS-analyse av delsystem eller komponenter

For mer detaljerte analyser av delsystemer eller komponenter henviser veilederen til andre metoder som feiltre- og hendelsestremetoder beskrevet i lærebøker om risiko- og sårbarhetsanalyser. NS 5814:2008 nevnes spesifikt. Funn ifra mer detaljerte analyser kan bidra til forbedring/oppdatering av nivå 1 og 2 analyser.

3.4.2 Strukturert grovanalyse

I veilederen defineres risiko og sårbarhet som:

- Risiko: «hendelser og tilhørende konsekvenser, samt usikkerhet om disse; vil hendelsen inntreffe og hva vil konsekvensene bli»
- Sårbarhet: «...et uttrykk for et systems evne til 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)

Hendelsesidentifikasjon

Identifikasjonen av farer, trusler og uønskede hendelser foreslås gjennomført ved bruk av idedugnader og sjekklister. Hendelsene som identifiseres i idedugnaden antas å utgjøre omtrent 80 % av hendelsene, hvor de resterende 20 % identifiseres i en systematisk gjennomgang av det analyserte systemet ved bruk av sjekklister.

Risikovurdering

I den forenklete metoden som foreslås for nivå 1 og 2 analyser benyttes bow-tie diagrammet som analyseverktøy. Bow-Tie diagrammet brukes for å illustrere sammenhengen mellom årsaker, sannsynlighets- og konsekvensreducerende barrierer, den uønskede hendelsen samt konsekvenser. I figur 6 fremstilles ekstremvær, mangelfullt vedlikehold, råttent mast, operatørfeil, ekstremvær, is på linje og sabotasje som årsaker til hendelsen «Linjebrudd». Vedlikeholdsplan, opplæring, inspeksjon, samt mekanisk forsterkning er tiltak som kan redusere sannsynligheten for at hendelsen linjebrudd inntreffer. Hvis hendelsen inntreffer, bidrar beredskapsmateriell, overvåking samt redundant forsyning til å redusere konsekvensene.

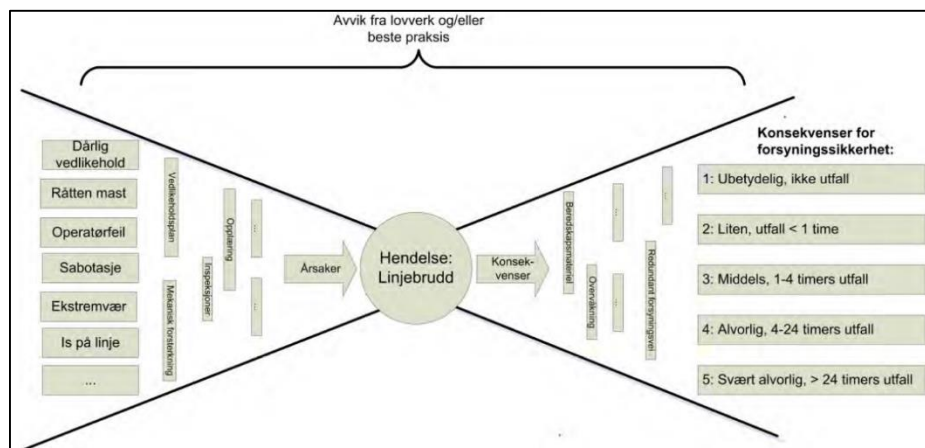


Figure 10 Bow-tie diagram(3 s.14)

Vurderinger av sannsynligheten for at årsakene inntreffer, samt effekten av de forebyggende barriererene inngår i sannsynlighetsangivelsen for den uønskede hendelsen. Sannsynlighetsangivelsene kan baseres på historiske data, feilstatistikk for kjente komponenter eller ekspertvurderinger. Historiske data og feilstatistikk bør anvendes pragmatisk, og kun der hvor datakvaliteten og relevansen er tilstrekkelig. I konsekvensangivelsen beskrives mulige konsekvenser den uønskede hendelsen kan medføre. I tilfeller hvor utfallsrommet er stort, kan en mulig løsning være å beskrive worst case konsekvens i en separat hendelse. Dette kan gi en

mer presis og relevant vurdering av risiko, men worst case vurderinga må ses i sammenheng med sannsynlighetsvurderingen. En alternativ fremgangsmåte er å markere hendelser med stort utfallsrom med et kryss, hvor krysset representerer høy usikkerhet.

Sannsynligheten for at den uønskede hendelsen inntreffer, angis ved valg av en av de forhåndsdefinerte sannsynlighetskategoriene 1-5, som vist i figur 7. Fremgangsmåten er tilsvarende for konsekvensangivelser, hvor en av de fem forhåndsdefinerte konsekvenskategoriene velges av analysegruppen.

		Konsekvens for forsyningssikkerhet				
		1: Ubetydelig. Ikke avbrudd i strømforsyning.	2: liten. Ingen samfunnskonskvenser. Avbrudd < 10 timer hos < 10 sluttbrukere.	3: middels. Noen lokale konsekvenser for privatabonnenter. Avbrudd < 10 timer hos < 1000 sluttbrukere eller ≥ 10 t hos < 10 sluttbrukere.	4: alvorlig. Alvorlige konsekvenser i infrastruktur og lokalsamfunnet. Avbrudd ≥ 10 timer hos < 1000 sluttbrukere.	5: svært alvorlig Samfunnsviktige funksjoner som liv og helse, samt viktig infrastruktur rammet / satt ut av funksjon. Avbrudd ≥ 10 timer hos ≥ 1000 sluttbrukere.
Frekvens/ sannsynlighet	5: Ofte enn 1 gang pr. år					
	4: Fra 1 gang pr. år til hvert 10.år					
	3: Fra hvert 10.år til hvert 100.år					
	2: Fra hvert 100.år til hvert 1000.år					
	1: Sjeldnere enn hvert 1000.år					

Figure 11 Forslag til risikomatrise forsyningssikkerhet(3)

Risikobeskrivelsen for en uønsket hendelse A er dermed på formen: (A, [P_L,P_H], [C_L,C_H]), hvor [P_L,P_H] er en forhåndsdefinerte sannsynlighetsintervall som vist i vertikal kolonne i risikomatrisen og [C_L,C_H] er en forhåndsdefinerte konsekvenskategori som vist i horisontal rad i risikomatrisen i figur 9.

Risikohåndtering

I risikobehandlingen vurderes de identifiserte tiltakene i en kost-effektivitetsvurdering, hvor det er opp til analysegruppen å besvare de følgende spørsmål:

- Hvis vi innfører dette tiltaket
 - Hvor mye vil sannsynligheten for den uønskede hendelsen reduseres?
 - Hvor mye kan konsekvensene eller skadeomfanget reduseres?
 - Hvor mye reduseres sårbarheten til systemet?

Kostnaden i ressurser/penger angis deretter for hvert tiltak, hvor man kan rangere tiltakene ut ifra kost-effektivitet.

3.5 Lyse Elnett

Lyse er et konsern som eies av 16 kommuner i Sør-Rogaland og består av 14 datterselskap som opererer innen forretningsområdene energi, infrastruktur og telekommunikasjon. Lyse Elnett er nettselskapet i Lyse konsernet som gjennomfører utbygging, drift og vedlikehold av strømmettet i 10 kommuner i Sør-Rogaland. Infrastrukturen i regionalnettet består av ca. 900 km linjer og kabler som frakter den elektriske energien fra kraftprodusenter i utkantstrøk, frem til tettere befolkede områder. Distribusjonsnettet består av ca. 12 000 km kabel og linjer som forsyner ca. 138 000 husstander i Sør-Rogaland, noe som tilsvarer omtrent 5 % på landsbasis. I 2013 utgjorde den totale mengden levert energi 5976 GWh, med en oppetid på 99,996%. (36)

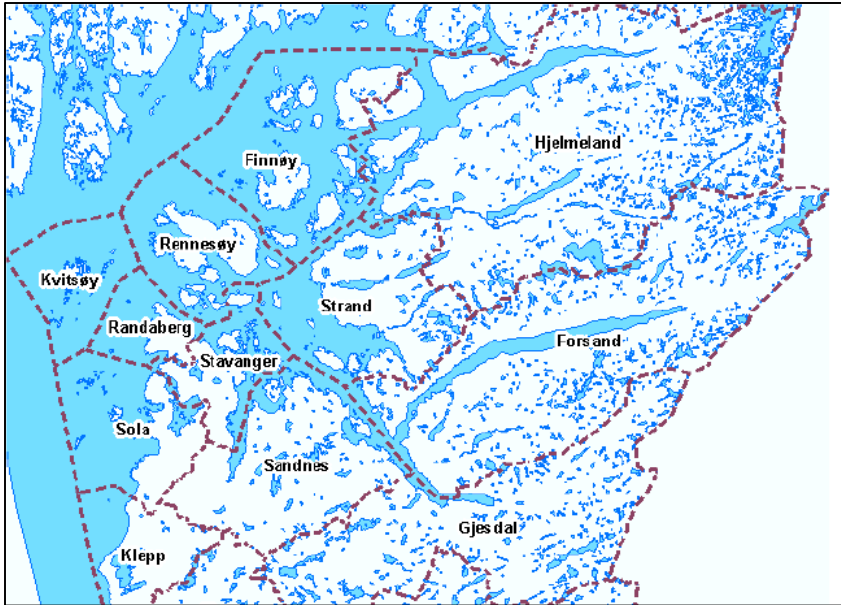


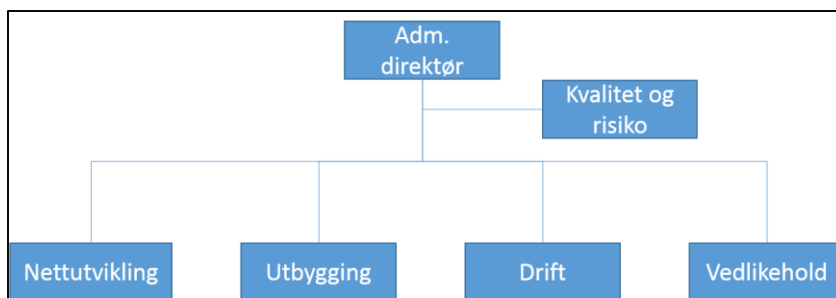
Figure 12 Kart over kommuner i Sør-Rogaland hvor Lyse Elnett eier eller drifter infrastruktur(37)

Risikostyring i Lyse Elnett

Lyse Elnetts virksomhet omhandler bygging, vedlikehold og drift av elektrisk infrastruktur, hvor hoveddelen av risikostyringsaktivitetene er knyttet til operasjonell risiko. Fokuset i risikostyringsaktivitetene er å forhindre at den normale driftssituasjonen påvirkes av forhold som (24):

- Ulykkeshendelser forårsaket av:
 - Komponenthavari- og defekter
 - Naturkatastrofer og fenomener
 - Sabotasje eller utro tjenere
- Kvalitetsavvik i det leverte produktet (Leveringskvalitet)
- Tap av kompetanse og nøkkelpersonell
- Juridiske disputer som følge av kontraktsbrudd og tredjepartspåstander

Risikoanalyser gjennomføres i flere ulike aktiviteter i utbyggings- og driftsprosessen i Lyse Elnett med ulike formål, hvor en fellesnevner er bruken av NVEs bow-tie baserte metode.



Figur 13 Organisasjonsstruktur Lyse Elnett

Aktivitetene som inngår i utbyggings- og driftsprosessen ivaretas av flere avdelinger i Lyse Elnett. Utbyggingsprosessen initieres i avdeling nettutvikling hvor hovedaktivitetene er langsiktige planleggingen av regionalnettet i regionen og det overordnede ansvaret for hovedstrukturen i distribusjonsnettet i Lyse Elnetts konsesjonsområde. Prognoser for fremtidig effektbehov utarbeides i årlige kraftsystemutredninger, hvor bl.a. faktorer som forventet befolkningsvekst, byggestandard for nye boliger og elbilletthet danner grunnlaget for forventet effektbehov 20-50 år frem i tid(37). På bakgrunn av kraftsystemutredningene og prognosene for fremtidig effektbehov utredes det alternative nettutviklingskonsepter for å tilfredsstille de fremtidige behovene. Risikoanalyser gjennomføres ifb. konseptvalg og konsesjonssøknader, som et ledd for å tilfredsstille § 5-8 i beredskapsforskriften

Avdeling utbygging har ansvaret for detaljprosjektering av de besluttede nettutbyggingskonseptene, samt nettilknytninger og modifikasjoner i distribusjonsnettet. Risikoanalyser i utbyggingsprosessen gjennomføres hovedsakelig for å tilfredsstille HMS kravene i byggherreforskriften. Byggherrerollen innebærer at Lyse Elnett har et selvstendig og overordnet ansvar for at sikkerhet, helse og arbeidsmiljø på bygg- eller arbeidsplassen blir ivaretatt(38). Detaljprosjekteringen av komponenter og systemer baserer seg hovedsakelig på bruk av standarder. En standard beskriver risikoreduserende tiltak eller valg som skal gjennomføres for å tilfredsstille interne- og eksterne krav for et spesifikt system. I tilfeller hvor det ikke er mulig eller ønskelig å følge standarden, gjennomføres det en forenklet risikoanalyse av systemet eller aktiviteten.

Når et utbyggingsprosjekt er avsluttet, overtas driften av anlegget av driftsavdelingen. Avdeling er ansvarlig for overvåkning og styringen av regional- og distribusjonsnettet i regionen. I en normal driftssituasjon består arbeidsoppgavene av planlegging av inn- og utkoblinger av forbindelser og komponenter ifb med vedlikehold eller arbeid nær ved spenningsatt anleggsdeler. Koblingsbildet og lastflyten i nettet endres kontinuerlig i den daglige driften, hvor ut-/og innkoblinger alltid forstås relativt til normaldrift. Enkelt forklart beskriver normaldrift et bestemt koblingsbilde hvor nettet er robust til å takle hurtige lastendringer som følge av økt forbruk eller feil, også kalt *stivt nett*. Ved utkobling av forbindelser, relativt til normaldrift kan nettets sårbarhet for hurtige lastendringer øke, da «støtdempingsevnen» til nettet reduseres, også kalt *svakt nett*. Driftspersonellet gjennomfører dermed en forenklet risikoanalyse av planlagte koblinger for å beskrive risiko forbundet med avviket fra normaldrift. Hovedfokus er på identifikasjon av tiltak for å gjenopprette normaldrift. Hvis en feilsituasjon inntreffer, iverksettes beredskapsplaner for å gjenopprette strømforsyningen.

Avdeling vedlikehold er ansvarlige for å gjennomføre tilstandskontroller og gjennomføring av planlagt og korrektivt vedlikehold i alle Lyse Elnetts anlegg. Alle komponenter i i Lyse Elnett er tilknyttet et vedlikeholdskonsept. Vedlikeholdssystematikken er og konseptene er utarbeidet på grunnlag av forenklede FMECA-analyser.

Avdeling kvalitet og risiko innehar en støttefunksjon til administrerende direktør med det overordnede ansvaret for utvikling av Lyse Elnetts styringssystem. Avdelingen bidrar med risiko-kompetanse internt i organisasjonen, samt kommunikasjon av risiko utad til eksterne aktører som kommuner, fylke og andre infrastruktureiere.

3.5.1 Status og formål med risikoanalyser av eksisterende infrastruktur

Formålet med å gjennomføre risikoanalyser av den eksisterende infrastrukturen er både å tilfredsstille beredskapsforskriftens krav, men også for å bidra til effektiv risikostyring. Lyse Elnett ble dannet fra en fusjonering av flere mindre lokale nettselskaper i 1998. Hoveddelen av infrastrukturen ble bygget av de ulike nettselskapene i perioden frem til 1989, hvor det fra 1990 i større grad ble fokusert på effektivisering av den eksisterende infrastrukturen. Dette reflekteres i Lyse Elnetts infrastruktur ved forskjeller i den funksjonsmessige oppbygningen av anleggene, samt alder og teknisk tilstand til komponentene. Etter at Lyse Elnett ble dannet har det blitt gjennomført omfattende vedlikehold og modifikasjoner i anleggene, men behovet for nybygging og omfattende reinvesteringer i nettet er økende. Gjennomføringen av risikoanalyser i Lyse Elnett ble initiert på bakgrunn av at det ble innført som et krav i beredskapsforskriften som trådte i kraft 1.1.2002. Samtidig medførte et omfattende strømutfall samme år at motivasjonen for risikoanalyser og -styring økte betraktelig.

7. juni 2002 inntraff et stort utfall av strømforsyningen i Sør-Rogaland hvor 70 000 forbrukere i Lyse Elnetts forsyningsområde var strømløse i 4 timer(11). Lyse Elnett fikk et tap på 53,6 MNOK på grunn av KILE-kostnader forbundet med utfallet. Kombinasjonen av steikende sol og lite vind medførte at linjetrådene på en av hovedforbindelsene fra Tonstad til Sandnes ble så varm at metallet i linjetråden utvidet seg. Linja kom deretter i kontakt med et tre, noe som medførte en jordslutning/kortslutning og påfølgende utfall av forbindelsen. Skogrydding ble gjennomført i området under linja, men istedenfor å snauhugge trærne var de bare blitt trimmet. Linja som falt ut hadde en redundant forbindelse, men denne var utkoblet som følge av vedlikehold. I forbindelse med reetablering av strømforsyningen ble en tredje forbindelse til Nord-Jæren benyttet til å overta deler av lasten. Forbindelsen ble imidlertid lastet opp for mye, noe som medførte at vernfunksjoner koblet ut forbindelsen(39).

På den ene siden gjennomføres risikoanalyser for å tilfredsstille beredskapsforskriftens minimumskrav, men Lyse Elnett har også en egeninteresse i å forbedre risikostyringen i selskapet for å unngå at hendelser som inntraff sommeren 2002 gjentas. Risikoreduserende tiltak og aktiviteter gjennomføres i både utbyggingsprosessen, samt drifts- og vedlikeholdsprosessene i Lyse Elnett. Det arbeides med å forbedre den helhetlige risikostyringen i selskapet, hvor økt integrasjon mellom risikoanalysene av infrastrukturen og beslutningene i de ulike prosessene er et pågående forbedringstiltak. Risikoanalyseprosessen er en av hovedaktivitetene i risikostyringen i selskapet, hvor en tilstrekkelig risikoanalyseprosess er en forutsetning for å kunne gjennomføre effektiv risikostyring.

Etter kravene i beredskapsforskriften § 2-4 må Lyse Elnett (og andre KBO enheter) «gjennomføre risiko- og sårbarhetsanalyser knyttet til ekstraordinære forhold. Analysene skal ha et slikt omfang at enheten kan identifisere risiko og sårbarhet ved alle funksjoner, anlegg og tiltak av betydning for å oppfylle kravene i forskriften. (1, s.17).

Lyse Elnett har anvendt den tredelte fremgangsmåten foreslått i NVEs veileder i planleggingen av risiko- og sårbarhetsanalysearbeidet. Status pr. januar 2015 er at nivå 1 og nivå 2 analyser for alle transformatorstasjoner, samt utvalgte overføringsanlegg er gjennomført. En overordnet ROS-analyse av kraftsystemet ble gjennomført for første gang i 2011 av et eksternt konsulentfirma. Fokuset i denne analysen var å vurdere hvilke overføringsanlegg og transformatorstasjoner som var forbundet med høyest risiko. Rapporten bidro som underlag for prioritering av rekkefølgen for mer detaljerte risikoanalyser. Med bakgrunn fra prioriteringene av den overordnede analysen ble nivå 2 analyser gjennomført i regi av avdeling kvalitet og risiko for første gang i 2013, og oppdatert i 2014.

Hensikten med risikoanalyser av den eksisterende infrastrukturen er å beskrive risiko for å danne et grunnlag for risikobehandling og beslutninger om risiko. På grunn av nettselskapers leveringsplikt består beslutningsalternativene i praksis av: akseptere risiko, eller redusere risiko til et akseptabelt nivå gjennom iverksetting av risikoreduserende tiltak. Nettselskaper kan dermed ikke velge å avslutte anlegg eller deler av virksomheten for å redusere risiko.

Lyse Elnett anvender risikomatriser for forsyningssikkerhet, økonomi, ytre miljø, personsikkerhet (1. og 3. person) og omdømme. Risikomatrisen for forsyningssikkerhet er presentert i figur 4.

		Konsekvens				
		A. Ubetydelig	B. Liten	C. Middels	D. Alvorlig	E. Kritisk
Utfall i MWh *)		< 5	5 – 25	25 - 75	75 - 250	> 250
Sannsynlighet	5. Svært sannsynlig Oftere enn 1 gang hvert år					
	4. Meget sannsynlig 1 gang pr. 1- 10 år					
	3. Sannsynlig 1 gang pr. 10 - 100 år					
	2. Mindre sannsynlig 1 gang pr. 100 - 1000 år					
	1. Lite sannsynlig Sjeldnere enn hvert 1000 år					

Figure 14 Risikoakseptmatrise Forsyningssikkerhet (40)

*) I tillegg til energi skal følgende vurderes:

- Innslag av samfunnskritiske funksjoner og bedrifter
- Tiden kundene er uten strøm

I forkant av 2014 har Lyse Elnett anvendt risikomatrisen for forsyningssikkerhet som introdusert i NVEs veiledende metode, se 3.5.3. Risikomatrisen i figur 4 representerer endringene som er gjennomført for konsekvenskategoriene A-D, samt fargene knyttet til risikoaksept. Konsekvenskategoriene ble endret på bakgrunn av at analysegruppene hadde problemer med å forholde seg til de ulike kombinasjonene av antall berørte kunder og avbruddsvarighet. I de gjeldende konsekvenskategoriene A-E beskrives konsekvensene for forsyningssikkerheten C ved bruk av et intervall for tapt energi [MWh]. Dette medfører at konsekvensen vurderes som

produktet av ikke levert effekt (ILE) og utfallsvarighet (Minutter). Sannsynlighetskategoriene 1-5 tolkes som (upresise) sannsynlighetsintervaller, selv om dette ikke er uttrykt spesifikt i dokumentasjonen.

Risikoakseptkriteriene er endret i februar 2015 for i større grad å reflektere selskapets risikoeksponering og risikoaksept. Resultatet fra risikoanalysen som presenteres i risikobildet danner grunnlaget for risikoaksept. Akseptkriteriene er knyttet til fargene som de risikovurderte hendelsene befinner seg i. Grønt område betyr at risikoen vurderes som akseptabel og risikoreduserende tiltak trengs ikke å gjennomføres. Gult område betyr at risikoreduserende tiltak bør vurderes, hvor beslutningen om gjennomføring av risikoreduserende tiltak befinner seg hos risikoeier. Risikoeier for infrastruktur er administrerende direktør i Lyse Elnett, men beslutningen er delegert til leder for avdeling drift- og vedlikehold for tiltak som befinner seg innenfor de økonomiske rammene angitt av adm. dir. Rødt område betyr at risikoen i utgangspunktet er uakseptabel, hvor beslutningen om risikoaksept eller iverksetting av tiltak flyttes til styret i Lyse Elnett.

3.5.2 Eksempel på risikoanalyse

I dette avsnittet presenteres et eksempel på hvordan en risikoanalyse av et linjeanlegg gjennomføres i Lyse Elnett. Metoden som anvendes er NVEs grovanalysemetode introdusert i kapittel 3.4.2. Eksempelet danner grunnlaget for en vurdering av bakgrunnskunnskapen som risikoanalyser i Lyse Elnett er betinget på.

Planleggingsaktiviteten

I planleggingsfasen innhenter fasilitator oversiktskart av området som linjeanlegget befinner seg i, samt historiske data for overført effekt i anlegget. I de fleste tilfeller hentes analysedeltakere inn ifra drifts og vedlikeholdsmiljøet hvor det ofte er de samme deltakerne som deltar i alle analysene. Forutsetninger og antakelser som ofte brukes i analysen er som følger (40):

- I risikovurderingen er det dagens nett som vurderes, og ikke slik det er tiltenkt i fremtiden.
- Fokuset er på ekstraordinære hendelser (Naturgitte forhold, teknisk- og menneskelig svikt, samt tilsiktede hendelser) ihht. beredskapsforskriftens krav. Risiko for mindre driftsforstyrrelser i en normalsituasjon holdes utenfor denne analysen
- Det forutsettes at det ikke eksisterer andre feil i nettet, og at alt tilgjengelig nett er inne.
- Det forutsettes at nettet driftes i normalkobling og lastsituasjonen er makslast.

Hendelsesidentifikasjon

Fremgangsmåten for fare/hendelsesidentifikasjon baserer seg på bruk av forhåndsdefinerte hendelseslister, samt idemyldringer i analysemøtene. Hendelseslistene oppdateres i tilfeller hvor nye hendelser eller faremomenter identifiseres i idemyldringen. Ved gjennomføringen av analysen settes det av tid til en kreativ idemyldring samt en strukturert gjennomgang av de forhåndsdefinerte hendelsene. Idemyldringen gir analysedeltakerne muligheten til å identifisere andre faremomenter/hendelser enn de forhåndsdefinerte hendelsene og årsakene. I tilfeller hvor nye faremomenter identifiseres, vurderer fasilitator hvorvidt faremomentet er en årsak eller barrierere i en av de eksisterende hendelsene, eller om det skal vurderes som en egen hendelse. Hendelsene som vurderes som relevante legges inn i analyseverktøyet Webrisk(41). Eksempelvis vurderes hendelsene i tabell 1 alltid i en risikoanalyse av et overføringsanlegg (40):

Tabell 2 Identifiserte hendelser for overføringsanlegg

ID	Hendelse
1.	Linjebrudd
2.	Mastebrydd
3	Kortslutning/jordslutning

Hendelsene linjebrudd, mastebrydd og kortslutning/jordslutning er valgt på bakgrunn av at de kan medføre en konsekvens for forsyningssikkerheten. I årsaksanalysen vurderes det hvorvidt årsakene i tabell 2 kan forekomme.

Tabell 3 Identifiserte årsaker

ID	Årsak
a.	Vind
b.	Snø/islast
c.	Varmgang i tilkoblingspunkt
d.	Vibrasjoner
e.	Trefall
f.	Steinsprang
g.	Flom
h.	Skogbrann
i.	Skred/ras

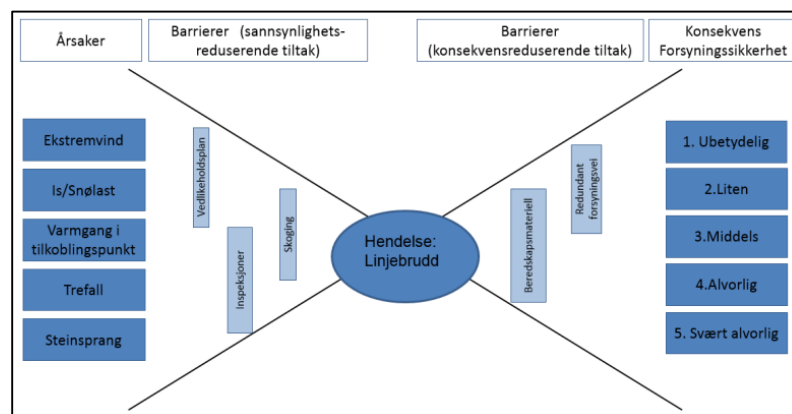
I tilfeller hvor årsakene vurderes som ikke å kunne forekomme, fjernes de fra listen over mulige årsaker til hendelsene 1-3. Eksempelvis fjernes årsaken skred/ras for et linjeanlegg som befinner seg på flatmark. Tilsvarende fremgangsmåte gjøres for de eksisterende barriererene. Barriererene markeres som eksisterende, eller ikke eksisterende.

Tabell 4 Identifiserte risikoreducerende barrierer

ID	Barrierere
B1	Vedlikeholdsplan
B2	Inspeksjoner
B3	Skoging
B4	Beredskapsmateriell
B5	Redundant forsyning
B6	Kortslutning/jordslutningsvern

Risikovurdering

Analyseprogrammet Webrisk er basert på NVEs veiledende ROS-analysemetode, hvor bow-tie diagrammet benyttes som analysemetode(41). Et bow-tie diagram av hendelsen *Linjebrudd* illustreres i figur 9.



Figur 15 Eksempel på bow-tie diagram av hendelse linjebrudd (40)

I risikovurderingen betinges usikkerheten for om hendelsen i midten av bow-tie diagrammet inntreffer ved valg av ett av fem forhåndsdefinerte sannsynlighetsintervall i figur 4. Sannsynligheten for om årsakene inntreffer, samt effekten av de sannsynlighetsreducerende barriererene inngår i sannsynlighetsangivelsen for hendelsen. Begrunnelsen for valget av sannsynlighetskategori dokumenteres i analysen, hvor et eksempel for hendelsen i figur 8 er:

«Overføringsanlegget er plassert slik at det ikke er utenkelig at et linjebrudd kan inntreffe som følge av ekstremvind eller is på linje. Det er imidlertid ikke kjent at linjebrudd har inntruffet i området tidligere. Sannsynligheten for linjebrudd vurderes derfor som liten. (40)

Konsekvensen for forsyningsikkerheten angis deretter ved valg av en av konsekvenskategoriene A-E. Effektiviteten til de konsekvensreducerende barriererene inngår i konsekvensangivelsen. Begrunnelsen for valg av konsekvenskategori kan angis som:

«Hvis et linjebrudd inntreffer antas det at feilretting kan gjennomføres i løpet av xx(red.) timer. Det er ikke redundante forbindelser for overføringsanlegget. Det betyr at omlag nn.(red.) kunder er strømløse i dette tidsrommet og man får tilhørende KILE - kostnad.»(40)

Tilsvarende risikovurderinger gjennomføres for hendelsene 1-3, hvor figur 10 er et eksempel på et risikobilde fra en risikoanalyse av et overføringsanlegg.

		Konsekvens				
		A. Ubetydelig	B. Liten	C. Middels	D. Alvorlig	E. Kritisk
Utfall i MWh *)		< 5	5 – 25	25 - 75	75 - 250	> 250
Sannsynlighet	5. Svært sannsynlig Oftere enn 1 gang hvert år					
	4. Meget sannsynlig 1 gang pr. 1- 10 år					
	3. Sannsynlig 1 gang pr. 10 - 100 år					
	2. Mindre sannsynlig 1 gang pr. 100 - 1000 år		3			
	1. Lite sannsynlig Sjeldnere enn hvert 1000 år			1	2	

Figur 16 Risikobilde fra risikoanalyse av et overføringsanlegg(40)

3.5.3 Identifiserte utfordringer i risikoanalyseprosessen i Lyse Elnett

I dette avsnittet introduseres et utvalg av utfordringene som ble identifisert i dokumentstudiet i kapittel 3.

Formål med analysen

Beredskapsforskriftens formuleringer av kravet til risikoanalyser i § 2-4 krever at risikoanalysene gjennomføres spesifikt for *ekstraordinære forhold*. Begrepet *ekstraordinært* benyttes imidlertid flere steder i beredskapsforskriften, hvor det knyttes til flere ulike andre begreper som: - hendelser, forhold, situasjoner uten å gi noen entydig forklaring av hva de ulike begrepene innebærer. De ulike begrepene kan oppleves forvirrende, noe som kan bidra til ulike tolkninger av de ulike aktørene som forholder seg til beredskapsforskriften.

Funn:

- NVEs introduksjon og tvetydige forklaring av begrepet *ekstraordinært* kan gi opphav til ulike tolkninger og misforståelser av beredskapsforskriftens krav.

Hendelsesidentifikasjon

Hendelsesidentifikasjonen i risikoanalysene gjennomføres ved bruk av forhåndsdefinerte sjekklister, samt idemyldringer og gruppediskusjoner. Formaliserte/tradisjonelle metoder for hendelsesidentifikasjon benyttes ikke. Det er ofte de samme deltakerne som går igjen i analysene fra år til år, hvor hoveddelen av deltakerne kommer ifra drifts- og vedlikeholdsmiljøet. Montører og andre med inngående operasjonell kunnskap om systemene deltar sjelden. Identifikasjon av hendelser som ikke er en del av de forhåndsdefinerte sjekklister er avhengige av analysegruppens erfaring og kompetanse, men det kan stilles spørsmål til at de har såpass lik bakgrunn og deltar i de fleste analysene. Det er også en utfordring at analysegruppen kan oppleve at analysene blir rutinepreget, noe som kan bidra til å redusere kreativiteten i analysegruppene. Kreativitet er en viktig egenskap for å identifisere hendelser som ikke befinner seg i sjekklisten, samt utenfor analysegruppens forventninger. Hoveddelen av hendelsene som identifiseres er knyttet til teknisk svikt/komponenthavari. Menneskelige feilhandlinger har imidlertid en tendens til å ikke identifiseres i risikovurderingene. Noe av årsaken til dette kan være på grunn av at montører og andre med kjennskap til anleggene i mindre grad deltar i analysen. Samtidig er det en underliggende forutsetning om at menneskelige feil ikke vil forekomme så lenge standardiserte prosedyrer følges, samt at sikker jobb analyser utarbeides i forkant av alle arbeidsoperasjoner.

Funn:

- Lite utskiftninger i analysegruppene kan være en begrensende faktor for kreativitet og kunnskapsoverføring ved hendelsesidentifikasjon.
- Manglende fokus på menneskelige feil i risikoanalyser av anleggene kan medføre at viktige faremomenter i mindre grad identifiseres.

Risikovurdering

Det bow-tie baserte analyseprogrammet Webrisk(41) anvendes til strukturering av årsaker, barrierer og den initierende hendelsen A. I risikovurderingen er årsaks- og barrierereanalysene begrenset til hvorvidt årsakene (A') kan forekomme, samt hvorvidt barriererene (B') eksisterer. Sannsynligheten for at en spesifikk årsak inntreffer $P(A'_1)$, samt sannsynligheten for at en forebyggende barrierere svikter $P(B'_1)$ uttrykkes dermed ikke spesifikt, men inngår som en del av

valget av sannsynlighetskategori. Konsekvensangivelsene består av valg av ett av de forhåndsdefinerte konsekvenskategoriene A-E for å beskrive konsekvensene hvis den initierende hendelsen A' inntreffer. Sannsynligheten for barriereresvikt uttrykkes ikke spesifikt, men inngår i valget av konsekvenskategori A-E.

Det anvendes ikke formaliserte metoder for å omdanne analysegruppens kunnskap og mangel på kunnskap til sannsynligheter. Fremgangsmåten består av at analysegruppen velger ett av de forhåndsdefinerte sannsynlighets- og konsekvenskategoriene for å beskrive risikoen forbundet med den initierende hendelsen A'. Disse valgene er betinget på analysegruppens forutsetninger og antakelser om de identifiserte årsakene, samt forebyggende- og konsekvensreducerende barriererene. Begrunnelsen for valgene, samt forutsetningene og antakelsene som valgene er betinget på er imidlertid ikke beskrevet i risikoanalysen. Hvis forutsetningene og antakelsene viser seg å være feil, kan overraskelser forekomme relativt til risikobeskrivelsen. Heuristikk vil alltid kunne påvirke slike beslutningsprosesser og medføre et bias i resultatet hvis det ikke er kjent at det kan forekomme. Det antas at analysegruppen velger konsekvens- og sannsynlighetskategorier i samarbeid med analytiker, men det er ukjent hvorvidt analysegruppen og analytiker har kjennskap til heuristikk og bias. Det antas at heuristikk kan være spesielt utfordrende når beslutningsprosessen ikke er formalisert, samtidig som risikoanalysen i praksis kan oppfattes som et valg av en av de 25 rutene i risikomatriksen.

Funn:

- Forutsetninger og antakelser om årsaker og barrierer som valget av sannsynlighets- og konsekvenskategori er betinget på dokumenteres ikke i risikoanalysen
- Heuristikk og bias kan være en utfordring i tilfeller hvor det ikke er kjent å kunne forekomme, samt i fraværet av formaliserte beslutningsprosesser i risikovurderingen.

Bruk av data

Historiske data i form av feil- og avbruddstatistikk benyttes i mindre grad i risikoanalysene som gjennomføres i Lyse Elnett. Statnett utgir feilstatistikk for driftsforstyrrelser og avbrudd basert på nettselskapenes årlige innrapporteringer. Feilstatistikken er imidlertid preget av at driftsforhold, komponentfabrikat og – alder, ikke inngår i datagrunnlaget. Vurderinger av datarelevans og -kvalitet er dermed problematisk. Lyse Elnett er også pliktig å rapportere inn alle avbrudd og driftsforstyrrelser i nettet, hvor datarelevans og – kvalitet i større grad kan vurderes. Det er imidlertid ikke funnet indikasjoner på at intern generert feilstatistikk anvendes i risikoanalyser i Lyse Elnett. Lastflytberegninger kan anvendes for å simulere hvordan en enkeltfeil kan påvirke andre deler av strømmettet. Lyse Elnett mangler imidlertid et simuleringsverktøy som dekker hele strømmettet og som er tilgjengelig til bruk i risikoanalyser. Det gjennomføres lastflytberegninger i netbas¹ i nettutviklingsprosessen i Lyse Elnett, men beregningene er ressurskrevende, samtidig som verktøyet har begrenset evne til å simulere konsekvensene av en enkeltfeil i nettet. Driften av strømmettet endres kontinuerlig, og det er ikke mulig å forholde seg til de dynamiske driftsforholdene i en risikoanalyse. Konsekvensangivelsene i risikoanalysene betinges dermed på at nettet driftes optimalt, hvor det ikke eksisterer andre feil i nettet. Slike

¹ Beregningsverktøy fra Powel - <http://www.powel.com/solutions/infrastructure1/>

forutsetninger kan imidlertid vise seg å være feil og en overraskelse kan inntreffe relativt til de angitte konsekvensene.

Funn:

- Intern eller ekstern feilstatistikk anvendes sjelden i risikoanalysene.
- Konsekvensangivelsene er betinget på at det ikke eksisterer andre feil i nettet

Risikobehandling/-aksept

Risikoen forbundet med det spesifikke linjeanlegget i eksempelet (3.5.2) er innenfor hva Lyse Elnett vurderer som akseptabelt, da hendelsene befinner seg i grønt område i risikomatriksen. Ytterligere risikoreduserende tiltak vurderes dermed som ikke nødvendig på bakgrunn av den sannsynlighetsbaserte risikobeskrivelsen. Risikobeskrivelsen er imidlertid betinget på et sett med forutsetninger og antakelser om hvorvidt de identifiserte årsakene kan inntreffe, samt effektiviteten til de eksisterende barriererene. Hvis disse forutsetningene og antakelsene viser seg å være feil, kan overraskelser inntreffe relativt til de angitte sannsynlighetene og konsekvensene. Risikoakseptkriteriene er knyttet til de ulike fargene i risikomatriksen, hvor akseptkriteriene er knyttet til de spesifikke hendelsene som risikovurderes. Hendelser som vurderes å havne i grønt område vurderes som akseptable, hvor risikobehandlingen i praksis er knyttet til hendelser som vurderes å havne i gult eller rødt område.

Risikoanalysene i Lyse Elnett gjennomføres for enkeltanlegg, hvor rapportene utarbeides som enkeltvis dokumenter. Aggregeringsmulighetene i Lyse Elnett består av å utarbeide oppsummeringer av de enkelte risikoanalysene på spesifikke nettnivåer. I disse oppsummeringene utarbeides det risikomatriser som inkluderer hendelsene fra de individuelle risikoanalysene. I tilfeller hvor det identifiseres flere hendelser med små konsekvenser og høy sannsynlighet, eller flere hendelser med store konsekvenser men lav sannsynlighet fanges ikke disse opp av risikoakseptkriteriene da de havner i grønt område.

Funn:

- Manglende aggregeringsmuligheter medfører utfordringer med å presentere et overordnet risikobilde, samt risikobehandling når et relativt stort antall hendelser vurderes å havne i grønt område.

Oppsummering:

I søket etter dokumentasjon av risikoanalyseprosessen i Lyse Elnett kommer det frem at de ulike aktivitetene i liten grad er dokumentert i Lyse Elnetts internveiviser(42), hvor det hovedsakelig refereres til NVEs veiledende metode som introdusert i kapittel 3.4. Historiske data i form av ekstern/intern feilstatistikk og lastflytanalyser for å simulere konsekvensene av et utfall benyttes svært sjelden. De ulike aktivitetene i risikoanalysen er dermed avhengige av analysegruppens kunnskap om det analyserte fenomenet. Analysegruppen består hovedsakelig av deltakere fra drifts- og vedlikeholdsmiljøet, hvor det er lite utskiftning og rulling av deltakerne. Montører og andre med inngående operasjonell kunnskap om systemene og anleggene deltar sjelden i risikoanalysene. Hendelsesidentifikasjon baserer seg på bruk av forhåndsdefinerte sjekklister, samt idemyldringer og gruppediskusjoner. Formaliserte/tradisjonelle metoder for hendelsesidentifikasjon benyttes ikke. Det bow-tie baserte analyseprogrammet Webrisk anvendes til identifikasjon og strukturering av årsaker, barrierer og initierende hendelse A. De forhåndsdefinerte konsekvenskategoriene består av: forsyningssikkerhet, personskade (1. og 3. person), økonomisk tap, ytre miljø samt omdømme. Risiko beskrives ved at analysegruppen velger en av de fem forhåndsdefinerte kategoriene for sannsynlighet og konsekvens som tilsvarer en plassering av hendelsen i en 5x5 risikomatrise. Valget av sannsynlighets- og konsekvenskategorier for å beskrive risiko gjennomføres av analysegruppen, men det benyttes ingen formalisert fremgangsmåte for valgene som gjennomføres i risikovurderingen. Forutsetninger og antakelser som risikobeskrivelsen er betinget på dokumenteres ikke utover de standardiserte forutsetningene innledningsvis i 3.5.2

4 Bidrag ifra et utvidet risikoperspektiv

I dette kapitlet vil vi introdusere utvalgte bidrag fra det utvidete risikoperspektivet som danner grunnlaget for forbedring av risikoanalyseprosessen i Lyse Elnett.

4.1 Sorte svaner og ekstraordinære hendelser

I beredskapsforskriften § 2-4 er det et spesifikt krav at «*alle KBO-enheter skal gjennomføre risiko- og sårbarhetsanalyser knyttet til ekstraordinære forhold*». Kravet om utdypes av NVE som:

«Bestemmelsen klargjør at alle KBO-enheter skal gjennomføre risiko- og sårbarhetsanalyser knyttet til ekstraordinære forhold. Dette betyr at fokus legges mye på forhold som kan gi stor konsekvens for virksomheten og/eller samfunnet, men ikke nødvendigvis å være i den kategorien som oppfattes å ha en høy sannsynlighet for å inntreffe (1, 2.4.2)»

Forklaringen er ikke entydig i hva som menes med *forhold*. Vi kan tolke det som et sett med betingelser eller omstendigheter⁽⁴³⁾ som kan medføre store *konsekvenser C* for virksomheten eller samfunnet. Det ekstraordinære knyttes videre til forhold som i større grad er forbundet med lave sannsynligheter. Begrepet *ekstraordinært* utdypes videre som:

«Hva som er ekstraordinært, er ofte situasjonsbetinget, men i grove trekk kan man forklare begrepet med en uønsket hendelse som går utover de feilsituasjoner som selskapet håndterer til daglig. En ekstraordinær hendelse kan forårsake en ekstraordinær situasjon, som et større avbrudd i energiforsyningen(1, 1.1.2)».

I den sistnevnte forklaringen knyttes det ekstraordinære til uønskede hendelser som går utover de feilsituasjoner som selskapet håndterer daglig. Vi tolker det ekstraordinære å være forbundet med de tre følgende attributter:

- i.* En uønsket hendelse som går utover de feilsituasjoner som selskapet håndterer til daglig
- ii.* Kan medføre store konsekvenser for virksomheten eller samfunnet
- iii.* Sannsynligheten oppfattes nødvendigvis ikke som høy

Den første attributten er knyttet uønskede hendelser som går utover de daglige feilsituasjonene som håndteres i selskapet. Hvis vi setter dette på spissen vil uønskede hendelser som går utover de feilsituasjoner selskapet håndterer ukentlig være tilstrekkelig for å tilfredsstille den første attributten. Den uønskede hendelsen må imidlertid ha et potensial for å kunne medføre store konsekvenser for virksomheten eller samfunnet, men ikke nødvendigvis oppfattes å ha høy sannsynlighet for å inntreffe. Hvis de uønskede hendelsene inntreffer ukentlig er det rimelig å anta at sannsynligheten oppfattes som relativt høy.

Det ekstraordinære har noen likheter til begrepet sorte svaner, først introdusert av Taleb i boken med samme navn. Den største likheten er mellom Talebs andre attributt: «*.. medfører en ekstrem påvirkning*» og *ii) «kan medføre store konsekvenser for virksomheten eller samfunnet*». Talebs sorte svaner knyttes imidlertid ikke spesifikt til uønskede (negative) hendelser. I Talebs bok sorte svaner kan *ekstrem påvirkning* også innebære hendelser som i større grad betegnes

som positive, eksempelvis oppfinnelsen av internett eller penicillin. Poenget er at hvorvidt en hendelse er uønsket/negativ er relativt til perspektivet til observatøren.

Avens definisjon av en sort svane er: «*en overraskende ekstrem hendelse relativt til ens tro/kunnskap(5)*». I motsetning til NVEs sannsynlighetsbaserte tolkning av risiko knytter Aven de sorte svanene til kunnskapsdimensjonen. Overraskelsesmomentet er dermed relativt til bakgrunnskunnskapen. Dette er videreført i Aven & Krohns tredelte kategorisering av sorte svaner som introdusert i kapittel 2.5:

- a) **Ukjente ukjente:** Hendelser som er totalt ukjent for det vitenskapelige miljøet.
- b) **Ukjente kjente:** Hendelser som ikke er kjent for dem som gjennomfører risikoanalysen (eller for andre interessenter), men som er kjente hendelser for andre.
- c) **Kjente kjente:** Hendelser som er kjente for dem som gjennomfører risikoanalysen, men vurderes til å ha neglisjerbar sannsynlighet for å inntreffe, og dermed ikke trodd å inntreffe.

Sorte svaner i kategori a) er dermed en overraskende ekstrem hendelse relativt til all tilgjengelig kunnskap. Hendelsene er dermed ukjent for alle, hvor vi tolker at det vitenskapelige miljøet innehar den mest oppdaterte kunnskapen. Sorte svaner i denne kategorien er dermed ikke mulig å identifisere på bakgrunn av det vitenskapelige miljøets kollektive bakgrunnskunnskap. Virkemidler for identifikasjon av sorte svaner i kategori a) er knyttet til kunnskapsgenerering i det vitenskapelige miljøet. Sorte svaner i kategori b) er hendelser som er ukjent for dem som gjennomfører risikoanalysen, men kjent for andre. Økt fokus på grundigere og mer systematisk hendelsesidentifikasjon er et virkemiddel som kan gjøre sorte svaner i kategori b) kjente. Etter at hendelsene er identifisert kan de ikke lenger betegnes å være i denne kategorien. Sorte svaner i kategori c) omhandler hendelser som er kjente men vurderes å ha neglisjerbar sannsynlighet og dermed ikke trodd å inntreffe. De angitte sannsynlighetene og overraskelsesmomentet er imidlertid relativt til tidshorizonten og perspektivet som vurderes, som diskutert i Aven(5). Hvis vi inntar et makroperspektiv av alle nettselskaper i Norge, hvor vi vurderer sannsynligheten for at en ekstrem hendelse inntreffer over en tilstrekkelig lang tidshorizont (si 10 år), vil sannsynligheten for at hendelsen inntreffer trolig ikke lenger være neglisjerbar. Et slikt makroperspektiv tilsvarer til NVEs ansvarsområde over de 130 nettselskapene i Norge. Det er ingen lov som tilsier at hendelsen vil inntreffe, men overraskelsesmomentet reduseres når en vurderer en såpass stor bransje over et lengre tidsperspektiv. I risikoanalysene i de individuelle nettselskapene er det imidlertid trolig at sannsynlighetene vurderes som neglisjerbare. Ekstreme hendelser kan dermed i større grad komme som overraskelser relativt til nettselskapenes angitte sannsynligheter.

I Aven & Krohns definisjon og kategorisering av sorte svaner forstås overraskelsesmomentet som relativt til bakgrunnskunnskapen, hvor de sorte svanene i kategori a) og b) er ukjente for henholdsvis det vitenskapelige miljøet og deltakerne i risikovurderingen. Bidraget fra det utvidede risikoperspektivet er et økt fokus på kunnskapsgenerering og hendelsesidentifikasjon for å gjøre de sorte svanene i kategori a) og b) kjente. Perspektivet som inntas, samt tidshorizonten som vurderes påvirker hvorvidt hendelser kan kategoriseres som sorte svaner i kategori c). De ekstraordinære forholdene baserer seg på et sannsynlighetsbasert

risikoperspektiv hvor man er avhengig av at hendelsene er kjente, da man ikke kan angi en sannsynlighet for ukjente hendelser. NVEs definisjon av det ekstraordinære inkluderer dermed ikke sorte svaner i kategori a) og b).

NVEs definisjon av ekstraordinære forhold baserer seg på et risikoperspektiv hvor risiko beskrives ved bruk av sannsynligheter og konsekvenser. Vi har sett at de ekstraordinære forholdene betegnes av kjente uønskede hendelser med store konsekvenser for samfunnet eller virksomheten, hvor sannsynlighetene i større grad oppfattes som lave. Fokuset på sannsynligheter medfører at de ekstraordinære forholdene i praksis kun inkluderer hendelsene som er kjente av de som gjennomfører risikoanalysen. De ekstraordinære forholdene inkluderer dermed ikke Aven & Krohns sorte svaner i kategori a) og b).

Hovedutfordringen er at de sannsynlighetsbaserte risikoperspektivene ikke kan skille mellom to identiske risikobeskrivelser hvor styrken på bakgrunnskunnskapen er ulik. På den ene siden kan vi ha en risikobeskrivelse som er betinget på sterk bakgrunnskunnskap hvor vi med høy presisjon kan predikere hvorvidt hendelsen vil inntreffe og konsekvensene av hendelsen. På den andre siden kan vi ha en identisk risikobeskrivelse som er betinget på svak bakgrunnskunnskap. Beslutningstaker kan i praksis ikke skille disse to når et sannsynlighetsbasert risikoperspektiv adopteres. Før vi introduserer bidraget fra vurderinger av styrken på bakgrunnskunnskapen vil vi diskutere risikoanalysemetoden introdusert i kapittel 3.5.2 opp imot strømutfallet som inntraff i Lyse Elnett sommeren 2002, beskrevet i kapittel 3.5.1.

4.1.1 Eksempel på overraskende hendelse i Lyse Elnett

Strømutfallet som inntraff i Sør-Rogaland sommeren 2002 medførte store økonomiske konsekvenser for Lyse Elnett, samtidig som i overkant av 70 000 forbrukere var strømløse i fire timer. Det er ukjent om risikoanalyser av det aktuelle linjeanlegget var gjennomført i forkant av hendelsen. Hvis Lyse Elnett hadde benyttet bow-tie metoden introdusert i kapittel 3.5.2 er det mindre trolig at risikobeskrivelsen ville medført at risikoreduserende tiltak ville blitt gjennomført.

Avhengig av hvordan vi definerer hva som er årsak og initierende hendelse kan vi betegne hendelsen «*kortslutning/jordslutning*» som å være beskrivende for situasjonen. Hendelsen inntraff på grunn av en kombinasjon av varmt vær, lite vind, samt høy last, som medførte at metallet i linjetråden utvidet seg og kom i kontakt med et tre under linja. Trær som faller over linja eller vokser opp i linja befinner seg innenfor det vi forventer at kan inntreffe, og ville trolig vært en stilltiende forutsetning i en risikovurdering. Forståelsen av de individuelle faktorene som medførte at hendelsen inntraff kan i stor grad betegnes som kjent, dvs at trær vokser oppover, metaller utvider seg ved temperaturøkning, samt at høy belastning og lite kjølig medfører en slik temperaturøkning. Kombinasjonen av disse faktorene befinner seg imidlertid i grenseland for hva vi forventer at kan inntreffe.

I en hypotetisk risikoanalyse av det aktuelle linjeanlegget ved bruk av metoden i 3.5.2 kan vi anta at årsaken trefall ville blitt identifisert, samt den forebyggende barriereren skoging. Usikkerheten for hendelsen kortslutning/jordslutning ville blitt angitt ved valg av ett av de fem forhåndsdefinerte sannsynlighetsintervallene 1-5, betinget på kunnskapen om at trefall kunne forekomme, samt at barriereren skoging eksisterte. Eventuelle forutsetninger og antakelser om disse ville dermed blitt integrert i sannsynlighetsangivelsen for hendelsen.

Det aktuelle linjeanlegget hadde en redundant forbindelse, hvor et utfall medfører at strømforsyningen automatisk kobles over på den alternative forbindelsen. Forbruker mister dermed ikke strømmen, gitt at den redundante forbindelsen fungerer som tiltenkt. I risikoanalysemetoden som anvendes i Lyse Elnett medfører eksistensen av redundante forbindelser at konsekvensene vurderes som neglisjerbare. Dette inngår som en del av de dokumenterte forutsetningene som risikoanalysen er betinget på. I eksempelet i 3.5.2 ser vi at forutsetningene er: «*Det forutsettes at det ikke eksisterer andre feil i nettet, og at alt tilgjengelig nett er inne, samt «Det forutsettes at nettet driftes i normalkobling og lastsituasjonen er makslast»*». Konsekvensene viste seg derimot å bli betraktelig høyere enn forventet, da den redundante forbindelsen var utkoblet på grunn av vedlikehold. Utkoblingen av forbindelsen medførte at forutsetningen om at det eksisterte redundans ble endret. I forbindelse med gjenopprettingen av strømforsyningen ble en tredje forbindelse som ikke var påvirket av den første feilen benyttet til å overta lasten. Tilstanden til nettet viste seg imidlertid å være *svak*, dvs sårbart for hurtig lastøkning. Gjenoppbyggingsforsøket i det svake nettet medførte at spenningen falt utenfor grenseverdier for automatisk utkobling. Vernsystemer koblet dermed ut forbindelsen, noe som medførte at enda flere forbrukere mistet strømforsyningen.

Hendelsesforløpet som inntraff sommeren 2002 har store likheter til sorte svaner som introdusert i 4.1. Hendelsen ble forårsaket av en kombinasjon av ulike faktorer, hvor de individuelle faktorene kan betegnes som kjente, men kombinasjonen av disse befinner seg i utenfor våre normale forventninger. Hendelsen medførte en relativt ekstrem påvirkning, samtidig som vi i ettertid av hendelsen relativt enkelt kan forklare hvorfor det inntraff. Dette samsvarer til Talebs attributter for sorte svaner. Hendelsesforløpet kan også betegnes som en sort svane i følge Avens definisjon. Det inntraff som en overraskelse relativt til Lyse Elnetts grad av tro/kunnskap. I etterpåklokskapens lys er det trolig ikke grunnlag for å karakterisere hendelsesforløpet som en sort svane i kategori a). Det er ikke grunnlag for å spekulere i hvorvidt hendelsesforløpet var kjent i Lyse Elnett, men vi kan betrakte de individuelle faktorene som inntraff som kjent kunnskap. Vi kan imidlertid anta at kombinasjonen av faktorer som inntraff ikke ville blitt identifisert uten et spesielt fokus på å utfordre eksisterende kunnskap og stilltiende antakelser.

I følge NVEs ekstraordinære forhold må hendelsesforløpet ha vært kjent i forkant av analysen, da det ekstraordinære avhenger av at sannsynligheter kan angis.

4.2 Vurdering av styrken på bakgrunnskunnskapen

Vurderinger av styrken på bakgrunnskunnskapen er ett av bidragene fra det utvidede risikoperspektivet. Som introdusert i kapittel 2.1.3 uttrykker en subjektiv sannsynlighet vår epistemiske usikkerhet om fremtidige observerbare størrelser, hvor den epistemiske usikkerheten er et resultat av vår manglende kunnskap om disse (17). Bakgrunnskunnskapen inkluderer blant annet(6):

- Historiske data av system-/komponentytelser og andre karakteristikker
- Organisatoriske mål, -verdier og strategier
- Kunnskap og forståelse av analyseobjektet (Brann og eksplosjoner, menneskelig oppførsel, osv.)
- Modeller som anvendes i risikoanalysen
- Tidligere beslutninger

I følge Aven gjør vi i praksis alltid eksplisitte og implisitte forutsetninger og antakelser om ukjente deler av bakgrunnskunnskapen (17). Noen eksempler på slike forutsetninger og antakelser er: forenklinger av modeller, antakelser om at prosedyrer alltid følges, beredskapsmateriell er alltid tilgjengelig ved behov etc. Disse forutsetningene og antakelsene fungerer dermed som rammebetingelser som sannsynlighetsangivelsene er betinget på. I tilfeller hvor deler av bakgrunnskunnskapen som de angitte sannsynlighetene er betinget på viser seg å være feil eller endres, kan overraskelser inntreffe relativt til de angitte sannsynlighetene (23).

Formålet med å vurdere styrken på bakgrunnskunnskapen er dermed å belyse bakgrunnskunnskapen som sannsynlighetsangivelsene er betinget på. I det utvidede risikoperspektivet introduseres det to metoder for å vurdere styrken til bakgrunnskunnskapen som introdusert i kapittel 4.2. I det følgende avsnittet vil vi vurdere Flage & Avens kvantitative metode(23) med formål om å tilpasse de eksisterende kriteriene for bruk i Lyse Elnetts risikoanalysemetode.

4.2.1 Flage & Aven kvalitativ metode for vurdering av styrken på bakgrunnskunnskapen

Flage & Aven (7) kvalitativ metode for vurdering av styrken til bakgrunnskunnskapen er i utgangspunktet utviklet for bruk i kvantitative analyser (QRA). For å danne grunnlaget for diskusjon og tilpassing av kriteriene til bruk i Lyse Elnetts risikoanalyseprosess vil vi gjenta kriteriene:

- a) *Det analyserte fenomenet er ikke godt forstått; modeller er ikke-eksisterende eller kjent/trodd å gi dårlige prediksjoner*
- b) *Forutsetningene representerer sterke forenklinger*
- c) *Data er utilgjengelig eller upålitelige*
- d) *Det er mangel på enighet/konsensus blant eksperter*

Hvis de følgende vilkårene er sanne vurderes kunnskapen som høy:

- i. *Fenomenet er godt forstått; de anvendte modellene er kjent for å gi gode prediksjoner med tilstrekkelig nøyaktighet*
- ii. *Forutsetningene vurderes som veldig fornuftige*
- iii. *Mye pålitelig data er tilgjengelig*
- iv. *Det er bred enighet/konsensus blant ekspertene*

Det første kriteriet er knyttet til forståelse av det analyserte fenomenet, modeller, samt modellenes prediksjonsevne. Vi tolker kriteriet som at god forståelse av det analyserte fenomenet er en forutsetning for å kunne utarbeide modeller med god prediksjonsevne og tilstrekkelig nøyaktighet. På samme måte er det problematisk å utarbeide modeller som gir gode prediksjoner hvis fenomenforståelsen er dårlig. En modell med god prediksjonsevne og tilstrekkelig nøyaktighet betinger dermed at det analyserte fenomenet er godt forstått. I tilfeller hvor det ikke eksisterer modeller, kan dette være forårsaket av dårlig forståelse av det analyserte fenomenet, eller at det ikke er lagt ned tilstrekkelig arbeid for å utarbeide modeller.

I kapittel 4.1 introduserte vi Aven & Krohns(6) kategorier av sorte svaner. Sorte svaner i kategori a) av den ukjente ukjente typen kjennetegnes av at de er ukjente for alle, inklusiv det vitenskapelige miljøet. I denne sammenheng tolker vi at det vitenskapelige miljøet besitter «all tilgjengelig» kunnskap. Vitenskapelig usikkerhet er dermed forbundet med sorte svaner i kategori a), hvor Aven bidrar med en mulig tolkning av vitenskapelig usikkerhet er: «*manglende forståelse for hvordan konsekvensene (utfallet) påvirkes av underliggende faktorer: det er vanskelig å etablere en nøyaktig prediksjonsmodell som kan medføre en presis beskrivelse av et årsak-virkningsforhold(17, s.162)*». Vi tolker dermed at vitenskapelig sikkerhet er forbundet med at vi med sikkerhet vet hvordan konsekvensene påvirkes av underliggende faktorer, hvor det er mulig å etablere nøyaktige prediksjonsmodeller som kan medføre en presis beskrivelse av årsaks-virkningsforhold. Vitenskapelig usikkerhet/sikkerhet tolkes dermed som de to ytterpunktene for dårlig/god fenomenforståelse. I praksis vil vi fenomenforståelsen som ligger til grunn for utarbeidelse av modeller befinne seg mellom disse to ytterpunktene.

Modeller vil alltid være forenklete representasjoner av et virkelig system, hvor kompleksiteten og detaljeringsgraden til modellen må vurderes opp imot bruksområdet. I følge Aven er detaljerte modeller ofte nødvendige for å identifisere kritiske risikofaktorer, samt effekten av risikoreducerende tiltak(44). Bruksområdet til modellen, samt forutsetningene som ligger til

grunn for valg/utvikling av modellen er ifølge Aven & Guikeima(45) knyttet til risikoanalytikeres bakgrunnskunnskap. Valg eller utvikling av en modell er dermed betinget på analytikeres kunnskap om risikoanalyseprosessen, sannsynligheter, samt fenomenforståelse. I denne sammenheng forstås en modell som en deterministisk representasjon av faktorer som risikoanalytiker vurderer å ha en påvirkning på risiko. En modell $Y = g(\mathbf{X})$ bidrar med et rammeverk for å knytte usikkerheten for den observerbare størrelsen Y til epistemiske usikkerhetsangivelser for de observerbare størrelsene \mathbf{X} (24). Modellen er dermed et verktøy som brukes for å uttrykke kunnskap om systemet, og inngår i bakgrunnskunnskapen som sannsynlighetsfordelingen for Y er betinget på. En endring av modellen medfører endringer i bakgrunnskunnskapen som \mathbf{X} er betinget på. Modellen som risikoanalytiker velger eller utvikler reflekterer dermed risikoanalytikeres fenomenforståelse, men er samtidig preget av analytikeres bevisste eller ubevisste forenklinger.

Det andre kriteriet er knyttet til forutsetninger som gjøres i analysen, og i hvilken grad forutsetningene representerer forenklinger. Risikoanalytiker gjør forutsetninger og antakelser for å knytte ukjente deler av bakgrunnskunnskapen til et sett med betingelser, eksempelvis $Z = z_1$. En subjektiv sannsynlighet $P(A | Z = z_1)$ er dermed betinget på forutsetningen eller antakelsen om at $Z = z_1$. Hvis forutsetningene eller antakelsene representerer store forenklinger som angitt i b), kan dette i større grad medføre at forutsetningene viser seg å være feil, dvs ved at $Z \neq z_1$. En endring i forutsetningene som sannsynlighetsangivelsen for A er betinget på kan medføre at hendelsen A kan inntreffe overraskende, relativt til den angitte sannsynligheten. I en deterministisk modell $Y = g(\mathbf{X})$ vil forutsetninger knyttet til de observerbare størrelsene \mathbf{X} inngå i bakgrunnskunnskapen som sannsynligheten for den overordnede størrelsen Y er betinget på. Hvis forutsetningene som usikkerhetsangivelsen for de observerbare størrelsene \mathbf{X} er betinget representerer store forenklinger og/eller viser seg å være feil, vil bakgrunnskunnskapen som usikkerheten for størrelsen Y er betinget på endres.

Det tredje kriteriet er knyttet til tilgjengelighet og pålitelighet til historiske data. I følge Aven kan klassiske statistiske metoder for inferens kan benyttes som et verktøy for usikkerhetsangivelser for observerbare størrelser (12). Merk at i denne sammenheng henvises det ikke til estimering av sanne underliggende parametere eller fordelinger, men bruken av verktøyet som et hjelpemiddel for sannsynlighetsangivelser. Risikoanalytiker må imidlertid vurdere hvorvidt datagrunnlaget er relevant for den spesifikke usikkerhetsangivelsen, samt at antallet observasjoner er tilstrekkelig som introdusert i kapittel 2.1.1. I vurderingen av de tilgjengelige datagrunnlagets relevans må risikoanalytiker vurdere lokale driftsforhold, tekniske og organisatoriske forhold som datagrunnlaget er hentet ifra opp imot systemet eller aktiviteten som vurderes. Kvaliteten på datagrunnlaget kan også påvirkes av feil i innsamlingen av data. Hvis historiske data anvendes til usikkerhetsangivelser er angivelsene betinget på forutsetningen om at de historiske dataene er representative for fremtiden, noe som kan vise seg å være feil.

Enighet eller konsensus blant ekspertene som deltar i risikoanalysen inngår i det siste kriteriet for vurdering av styrken til bakgrunnskunnskapen. Det skilles mellom generell enighet blant ekspertene og bygging av rasjonell konsensus. Bygging av rasjonell konsensus er en svært ressurskrevende aktivitet, hvor hensikten kan være standardisering av sannsynligheter som brukes i risikoanalyser. Bygging av rasjonell konsensus gjennomføres ofte ved bruk av formaliserte utspøringsmetoder(8): Risikoanalytiker trener en ekspertgruppe innen

problemstillingen som skal vurderes. Videre formaliserer og dokumenterer fagekspertene bakgrunnskunnskapen de legger til grunn problemstillingen, hvor de må forsvare begrunnelsene før de forplikter seg til valg av en sannsynlighetsfordeling. I enkelte tilfeller vektlegges eksperter vurderinger forskjellig for å skille mellom forskjell i ekspertise. Fem ulike prinsipper vektlegges ofte når rasjonell konsensus skal dannes(8 s.83):

- *Reproduserbarhet*: det må være mulig å reprodusere alle utregninger
- *Ansvarlighet*: basisen for de angitte sannsynlighetene må identifiseres
- *Empirisk kontroll*: sannsynlighetsangivelsene må i prinsippet være mottakelige for empirisk kontroll
- *Nøytralitet*: Metoden for å kombinere eller evaluere ekspertenes meninger bør oppmuntre ekspertene til å oppgi sine sanne meninger
- *Rettferdighet*: alle ekspertene behandles likt før prosesseringen av resultatene av observasjonene

Vurderinger av styrken på bakgrunnskunnskapen i Lyse Elnett

Vurderinger av styrken på bakgrunnskunnskapen ved bruk av Flage & Avens metode avhenger av at bakgrunnskunnskapen som de angitte sannsynlighetene er betinget på er dokumentert og beskrevet i risikoanalysen. Vurderinger av styrken på bakgrunnskunnskapen må dermed planlegges i forkant av risikovurderingen. Modeller av fenomenet som skal analyseres bør være tilgjengelig eller utarbeides som en del av risikoanalysen, samtidig som historiske data bør være tilgjengelig og pålitelig. Bygging av rasjonell konsensus er avhengig av at formelle utspørringsmetoder anvendes i risikoanalysen.

Som en kontrast til dette anvender Lyse Elnett idemyldringer og gruppediskusjoner for hendelsesidentifikasjon og usikkerhetsangivelser, og svært avhengighet til ekspertkunnskap som introdusert i kapittel 3.5.3. Detaljerte modeller anvendes ikke, da det ikke har vært fokusert på utvikling av modeller. Samtidig er tilgjengeligheten og relevansen til feilstatistikk og historiske data en utfordring. Forutsetningene for å anvende Flage & Avens metode for vurdering av styrken på bakgrunnskunnskapen er dermed ikke tilfredsstillt i risikoanalysemetoden i Lyse Elnett. Som en del av forslaget til forbedringer av risikoanalyseprosessen i Lyse Elnett vil vi forsøke å vurdere fenomenforståelsen som den bow-tie baserte analysemetoden er betinget på i det følgende avsnitt.

4.2.2 Bruk av bayesianske nettverk til å dokumenter og beskrive fenomenforståelse

I analysemetoden anvendt i Lyse Elnett og anbefalt i NVEs veileder benyttes bow-tie diagrammet som analyseverktøy. Den bow-tie baserte metoden er relativt enkel å bruke samtidig som den bidrar til en effektiv etablering av et grovt risikobilde. Effektiv ressursutnyttelse er dermed en egenskap som prioriteres høyt, hvor en fremgangsmåte for økt effektivitet kan være gjennom forenklinger av komplekse problemstillinger og fenomener. Forenklinger kan dermed betraktes som en fremgangsmåte for å muliggjøre effektiv ressursutnyttelse. Kvaliteten på forenklingene avhenger imidlertid på at de analyserte fenomenet og problemstillingen er forstått i forkant av forenklingene. De lineære egenskapene til bow-tie diagrammet gjør det egnet til å beskrive risiko i situasjoner med lav kompleksitet og god forståelse av det analyserte fenomenet. Ved økende kompleksitet i fenomenene og systemene som analyseres kan bow-tie metoden vise seg å være problematisk å anvende i praksis. Når komplekse fenomener og situasjoner forsøkes beskrevet i et lineært bow-tie diagram tvinges man til å forenkle før man har fått oversikt over kompleksiteten. I tilfeller hvor man ønsker å risikovurdere årsaker som kan forekomme tidligere i et hendelsesforløp eller analyser av eksisterende barrierer, må dette gjøres ved å flytte bow-tie diagrammet et steg tilbake i hendeskjeden. Denne flyttingen av fokuset i bow-tie diagrammet kan i verste fall medføre at potensielle avhengigheter og felles årsaker forsvinner i grensesnittet mellom de ulike bow-tie diagrammene. Samtidig er det utfordrende å holde oversikt over hvor en befinner seg i den analyserte årsaksrekken, både for analytiker, men særlig for analysedeltakerne. Som et ledd for å belyse fenomenforståelsen i bow-tie eksempelet i kapittel 3.5.2 har vi laget en bayesiansk nettverksmodell av eksempelet i figur 14.

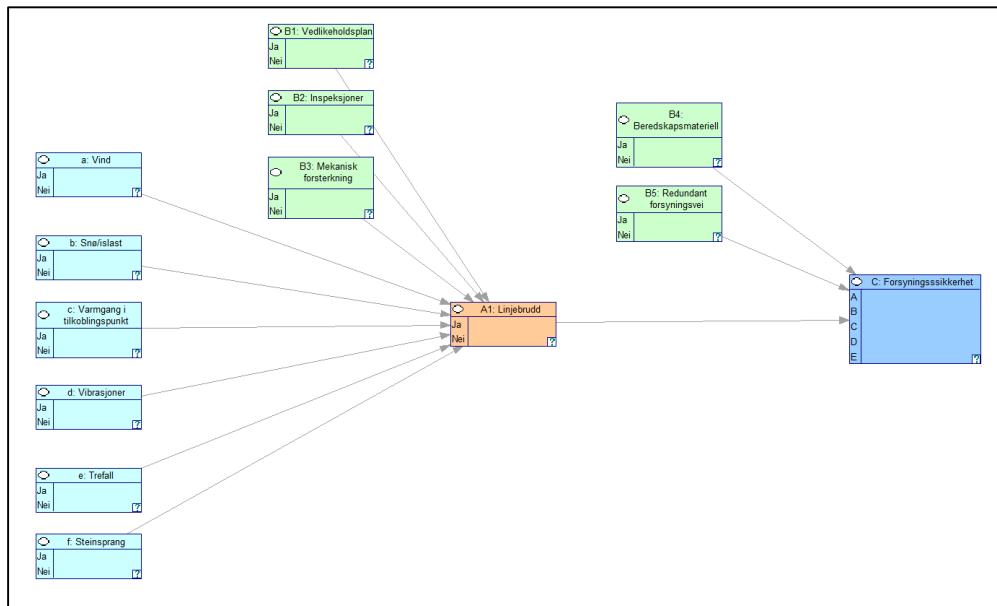


Figure 17 Bayesiansk nettverk av bow-tie eksempel i kapittel 3.5.2

Det bayesianske nettverket i figur 14 er en deterministisk modell som inneholder den samme informasjonen som bow-tie eksempelet i kapittel 3.5.2. Modellen illustrerer hvordan avhengigheter ivaretas i den bow-tie baserte metoden. De ulike nodene og pilene mellom

nodene beskriver de kjente eller antatte årsakssammenhengene. Vi ser at alle årsakene og barriererene betegnes som uavhengige i den bayesianske nettverksmodellen, noe som kan vise seg å representere store forenklinger. I den bow-tie baserte metoden vurderer analysegruppen hvilke årsaker som kan forekomme, samt hvilke barrierer som eksisterer. I tilfeller hvor årsakene vurderes å ikke kunne forekomme, eller at barriererene ikke eksisterer, fjernes de fra bow-tie modellen. I modellen vår i figur 14 tilsvarer dette til nodene a-f, og B1-B3. Deretter angis sannsynligheten for om hendelsen A: Linjebrudd kan inntreffe ved bruk av et av de forhåndsdefinerte sannsynlighetsintervallene. Valget av sannsynlighetsintervall skal dermed reflektere analysegruppens epistemiske usikkerhet for de identifiserte årsakene og barrierer, samt alle mulige kombinasjoner av disse.

Vi har ikke grunnlag for å vurdere i hvilken grad bow-tie diagrammet representerer store forenklinger, da forenklinger alltid er relativt til fenomenforståelsen det er betinget på. Vi kan imidlertid påpeke noen forbedringspunkter vi kan anvende til å utvide og detaljere den bow-tie baserte modellen. Når risiko skal beskrives ved bruk av deterministiske modeller bør fokuset være på entydig definerte og potensielt *observerbare* størrelser. Størrelsene vil være ukjente på analysetidspunktet, men kan innta en verdi i fremtiden som kan gjøres kjent hvis nok ressurser gjøres tilgjengelige(26). For det bayesianske nettverket innebærer dette at nodebeskrivelsen bør beskrive den analyserte fenomenet på en entydig måte, hvor nodetilstandene beskriver ulike observerbare størrelser som fenomenet kan innta. I tilfeller hvor tvetydige definisjoner forekommer kan dette bidra til at ulike aktører tolker tilstandene ulikt. En entydig definisjon bidrar til at sannsynlighetsangivelsene er betinget på samme forståelse av tilstanden som vurderes, eksempelvis $P(A_1' | K)$, hvor alle aktørene har en felles forståelse av hva den spesifikke hendelsen A_1' er. Dette innebærer ikke at angiveren angir identiske sannsynligheter, men at angivelsen baserer seg på den samme forståelsen av fenomenet.

Årsaker

Tilstandene til årsakene(a-f) er beskrevet med de binære tilstandene [Ja, Nei]. I de fleste tilfeller er dette ikke tilstrekkelig for å beskrive tilstandene til fenomenet vi ønsker å risikovurdere. Eksempelvis kan tilstanden vind=ja tolkes på ulike måter, noe som kan bidra til misforståelser og påvirke sannsynlighetsangivelsene for årsaken $P(\text{vind}=\text{Ja})$. Et forslag til forbedring er at tilstandene for fenomenet vind korresponderer til vindhastigheter uttrykt ved bruk av Beauforts skala. Denne skalaen beskriver vindhastighet inndelt i 13 forhåndsdefinerte nivåer. Eksempelvis korresponderer nivå 0 til vindstille, hvor nivå 11 (Sterk storm) korresponderer til vindhastigheter i intervallet 103-117 m/s (46). I praksis vil det være hensiktsmessig å begrense antall tilstander til de høyeste intervallene for vindhastighet. Den samme fremgangsmåten kan anvendes for årsaken b: Snø/islast, hvor tilstandene kan korrespondere til is/snølast i kg/m ledning.

De identifiserte årsakene til linjebrudd kan kategoriseres å kunne inntreffe som et resultat av interne eller eksterne risikokilder. I følge Aven (KILDE) kan vi betrakte det analyserte systemet å være eksponert for eksterne risikokilder, i den forstand at systemet kan påvirkes av de eksterne risikokildene gjennom fysisk transformering av energi. I modellen vår kan vi betrakte vind, snø/nedbør, samt trær og steiner som eksterne risikokilder med et potensial å kunne medføre skade på det analyserte systemet. Risikokildene kan gi opphav til de følgende årsakene:

- Vind(hastighet) overstiger vindbelastningen linjeanlegget er dimensjonert for å tåle

- Snø/islast overstiger snø/islasten linjeanlegget er dimensjonert for å tåle
- Stein/ras treffer linjeanlegget
- Trær faller/vokser inn i linjeanlegget

Ved å identifisere slike spesifikke årsaker reduserer vi muligheten for ulike tolkninger av fenomenet som analyseres. For de to førstnevnte årsakene ser vi at vi må anta hvilken vind-/ og snøbelastning linjeanlegget er dimensjonert å tåle, da det i praksis er en ukjent observerbar størrelse. Sannsynlighetsangivelsene knyttes dermed til spesifikke forutsetninger og antakelser om hvilke vind/snølaster som kan forekomme, samt hvor mye systemet/linjeanlegget tåler. Forutsetningene og antakelsene våre vil dermed dokumenteres i modellen, hvor det i den bow-tie baserte fremgangsmåten ofte kan inngå som stilltiende antakelser som analysegruppen betinger valget av sannsynlighetsintervallet på.

Forebyggende barrierer

B1-B3 beskriver de eksisterende forebyggende barriererene som skal redusere sannsynligheten for at hendelsen linjebrudd inntreffer. Vedlikeholdsplan og inspeksjoner henviser til de spesifikke vedlikeholdsprogrammene som gjennomføres for linjeanlegg. Vedlikeholdsaktivitetene gjennomføres både for å ivareta tilstanden til systemet, samtidig som de skal forebygge at noen av årsakene inntreffer. Det gir imidlertid lite mening å angi en sannsynlighet for noden: (Vedlikeholdsplan)=Ja, da den ikke henviser til den spesifikke aktiviteten som gjennomføres. Nodebeskrivelsen og nodetilstandene bør dermed beskrive den spesifikke barriereren som eksisterer, hvor det er entydig hvilke årsaker eller hendelser den skal forebygge eller forhindre. Dette forenkler angivelsen av sannsynligheter for å uttrykke usikkerheten knyttet til barriererens effektivitet.

Konsekvensreducerende barrierer

De konsekvensreducerende barriererene B4-B5 er introdusert for å begrense alvorligheten eller forhindre at konsekvensen forsyningssikkerhet C inntreffer. Hvis et linjebrudd inntreffer, kan barriereren B5) redundant forsyningsvei forhindre eller redusere konsekvensene for forsyningssikkerheten. Beredskapsmateriell er en forutsetning for å kunne redusere reparasjonstiden til et minimum, spesielt i tilfeller hvor det ikke er redundant forsyningsvei. I de fleste tilfeller er man imidlertid avhengig av at spesialutstyr for reparasjon av linjebrudd er tilgjengelig. Videre er det nødvendig å inneha spesialkompetansen som trengs for å kunne reparere et linjebrudd. Tilgjengeligheten til feilstedet kan også påvirke tiden det tar for feilretting. Et mulig forbedringsforslag er dermed knyttet til å inkludere disse nodene i den bayesianske nettverksmodellen.

Utvidet bayesiansk nettverksmodell

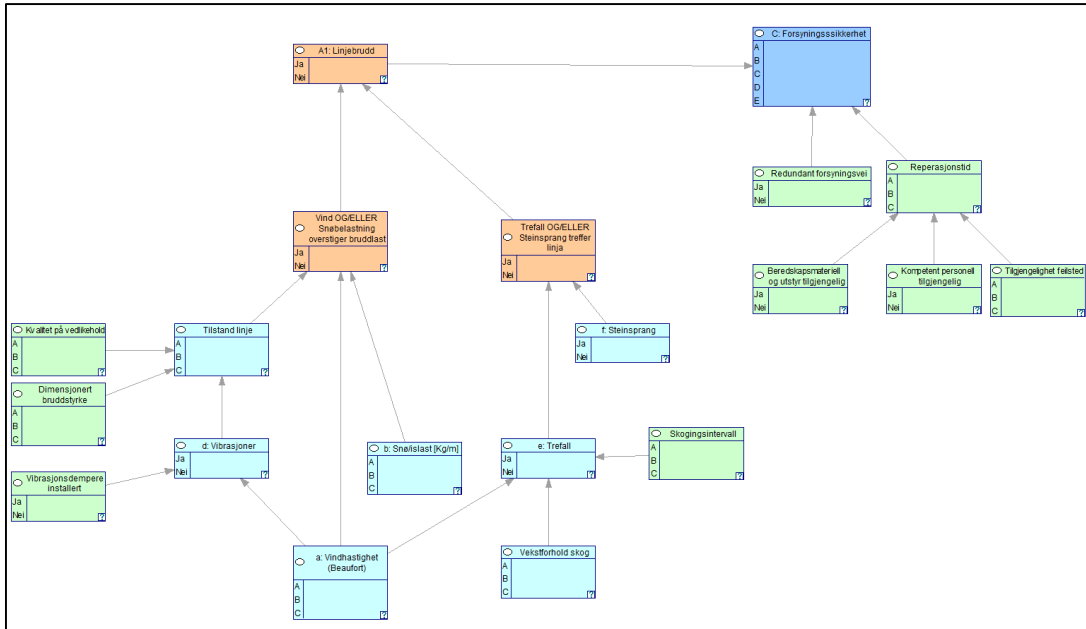


Figure 18 Utvidet bayesiansk nettverksmodell for hendelsen linjebrudd

Figur 18 er et forslag til hvordan en bayesiansk nettverksmodell for hendelsen linjebrudd kan se ut, basert på forbedringstiltakene i forrige avsnitt. Nodene og deres tilstander beskriver potensielt observerbare størrelser, hvor nodene med lyseblå bakgrunnsfarge beskriver risikokilder som kan medføre et linjebrudd. Grønne noder beskriver risikoreduserende tiltak som gjennomføres i ulike deler av virksomheten. Oransje noder beskriver hendelsen linjebrudd hvor to hjelpenoder er innført for å forenkle sannsynlighetsangivelsene. Den bayesianske nettverksmodellen i figur 18 uttrykker kandidatens forståelse for hvordan underliggende årsaker og hendelser kan medføre en konsekvens for forsyningssikkerheten. Denne fenomenforståelsen er betinget på en spesifikk bakgrunnskunnskap K_1 . Avhengighetene mellom nodene beskriver dermed forutsetninger eller antakelser om årsakssammenhenger, betinget på den samme bakgrunnskunnskapen K_1 .

I bow-tie modellen vurderes årsakene og barriererene som uavhengige, hvor sannsynlighetsangivelsen for hendelsen linjebrudd angis uten og direkte å vurdere sannsynlighetene for kombinasjoner av ulike årsaker eller barrierer. En av fordelene med det bayesianske nettverket er at vi kan angi sannsynligheter for alle nodene med de tilhørende nodetilstander. Deretter angis betingede sannsynligheter for ulike kombinasjoner av årsaker og barrierer i en betinget sannsynlighetstabell, hvor den marginale sannsynligheten for at hendelsen linjebrudd inntreffer beregnes ved bruk av Bayes teorem. Se kapittel 2.2. Det bayesianske nettverket bidrar dermed til at sannsynligheter kan uttrykkes på et lavere nivå, noe som forenkler utfordringer knyttet til angivelse av svært lave sannsynligheter. De angitte sannsynlighetene kan videre kontrolleres for koherens som introdusert i kapittel 2.1.6

Hvis vi sammenligner den bow-tie baserte modellen i figur 17 med figur 18, ser vi at modellverktøyet kan være en begrensende faktor for hvordan vi uttrykker forståelsen av det

analyserte fenomenet. I denne sammenheng vurderer vi at modeller uttrykker angiverens forståelse av det analyserte fenomenet, hvor forståelsen er knyttet til kjente eller antatte årsakssammenhenger. Forenklinger av modeller tolkes dermed som relativt til forståelsen av det analyserte fenomenet. Årsakssammenhenger er imidlertid problematisk å beskrive i det lineære bow-tie diagrammet, noe som medfører at man i større grad tvinges til å forenkle eller dele opp i flere bow-tie diagrammer. I et bayesiansk nettverk har man i større grad mulighet til å beskrive forståelsen av komplekse fenomener. Kjente eller antatte årsakssammenhenger kan fremstilles i samme modell, hvor man ikke trenger å forholde seg til strukturelle begrensninger ved utformingen av modellen.

4.3 Forslag til forbedringer av utvalgte aktiviteter i risikoanalyseprosessen i Lyse Elnett

I dette avsnittet introduseres forslag til forbedringer av utvalgte aktiviteter i risikoanalyseprosessen i Lyse Elnett. Forbedringsforslagene baserer seg på bruken av bayesianske nettverksmodeller som introdusert i forrige kapittel, for i større grad kunne uttrykke og systematisere den eksisterende kunnskapen og forståelsen av fenomenene som analyseres.

Planlegging av risikoanalysen

I planleggingsaktiviteten av risikoanalysen må analytiker sørge for at personer med relevant kunnskap om fenomenene som analyseres deltar i analysegruppen. Hvis vi skal analysere et linjeanlegg som i eksempelet i forrige kapittel, bør risikoanalytiker innhente informasjon eller sørge for at eksperter med den nødvendige kunnskapen deltar i analysen:

- Anleggets tekniske tilstand og vedlikeholdsintervaller (Dimensjonert bruddlast, vibrasjonsdempende tiltak etc.)
- Beliggenhet og faremomenter (Trær, steinsprang, vind, snø/islast)
- Kunnskap om driftsforhold (Redundante forbindelser, vernsystemer)
- Beredskapsordninger (Reparasjonstid, beredskapsmateriell, tilgjengelighet feilsted etc.)

Samtidig kan det være hensiktsmessig å inkludere montører eller andre personer med praktisk erfaring i betjening eller ferdsel i anleggene. Dette kan bidra til i større grad å identifisere hendelser knyttet til menneskelige feilhandlinger og konsekvenser for personsikkerheten.

Informasjonen som risikoanalytiker innhenter på forhånd bør deles ut til analysedeltakerne på forhånd av analysen. Samtidig bør det vurderes hvorvidt deltakerne skal gis opplæring og trening å uttrykke usikkerhet ved bruk av sannsynligheter, samt informeres om mulige fallgruver i form av heuristikk som introdusert i kapittel 2.1.4

Hendelsesidentifikasjon

Bayesianske nettverksmodeller kan anvendes som et hjelpemiddel ved hendelsesidentifikasjon. Den grafiske strukturen (DAG²) bidrar til å visualisere, samt strukturere forståelsen av det analyserte fenomenet gjennom modellering av antatte eller kjente årsakssammenhenger. Hendelsesidentifikasjonen i Lyse Elnett gjennomføres ved bruk av forhåndsdefinerte sjekklister, samt idemyldringer med analysegruppen. Disse sjekklisterne kan systematiseres og modelleres i et bayesiansk nettverk av risikoanalytiker i forkant av idemyldringene sammen med analysegruppen. Denne forhåndsdefinerte modellen uttrykker dermed delene av

² Directed Acyclic Graph

risikoanalytikers bakgrunnskunnskap K_1 knyttet til forståelse av fenomenet som analyseres. Figur 15 er et eksempel på en slik modell.

I idemyldringen er formålet å identifisere faremomenter som ikke allerede befinner seg i det bayesianske nettverket. Analysegruppen vil dermed kunne bidra til å identifisere faremomenter som er ukjent for risikoanalytiker men kjent for noen av deltakerne i analysegruppen. Denne kunnskapsoverføringen er et viktig virkemiddel for identifikasjon av sort svane hendelser i kategori a) og b), som introdusert i kapittel 2.5. Det bør oppmuntres til kreative diskusjoner i analysegruppen, hvor det kan stilles spørsmål av typen «*Hvordan kan jeg gå frem hvis jeg vil skape denne feilen?*» som introdusert i Anticipatory Failure Determination(26) i kapittel 2.5.1.

I tilfeller hvor det oppstår diskusjoner eller uenigheter knyttet til de identifiserte årsakssammenhengene bør divergerende meninger dokumenteres. Uenigheter internt i analysegruppen kan medføre at risikoanalytiker bør/kan endre strukturen i nettverket, hvor eventuelle uenigheter bidrar som underlag for disse valgene. Samtidig er det viktig at beslutningstaker informeres om slike uenigheter, da de kan ha en påvirkning på troverdigheten til risikobeskrivelsen.

I tilfeller hvor det bayesianske nettverket blir for stort eller uoversiktlig kan analytiker måtte forenkle modellen før analysegruppen kan angi sannsynligheter for de identifiserte nodene i det bayesianske nettverket. Den resulterende modellen uttrykker delene av bakgrunnskunnskapen til både risikoanalytiker K_1 og analysegruppen K_2 knyttet til forståelse av det analyserte fenomenet, samt preget av risikoanalytikers forenklinger. I tilfeller hvor risikoanalytiker gjennomfører betraktelige forenklinger, bør forenklingene diskuteres og kvalitetssikres av fagekspertene i analysegruppen.

Risikovurdering

I risikovurderingen er hensikten å bruke analysegruppens kunnskap og mangel på kunnskap til uttrykke sin epistemiske usikkerhet (ved bruk av subjektive sannsynligheter) for nodene i den bayesianske nettverksmodellen. Avhengig av hvor mange deltakere det er i analysegruppen, samt hvilke fagområder de ulike deltakerne innehar kunnskap i, er en mulig fremgangsmåte at ekspertene bes om å angi sannsynligheter for noder som faller inn under sine respektive fagområder. Eksempelvis vil vedlikeholdspersonell ha inngående kunnskap knyttet til om vedlikeholdsintervaller, tilstanden til komponenter etc. Andre analysedeltakere kan bidra med innspill, men de fagansvarlige bør være ansvarlige for å angi sannsynligheter innen sine respektive fagfelt. I figur 16 er et eksempel på hvordan en betinget sannsynlighetstabell for noden: Vibrasjoner i linjetråd. I forkant av sannsynlighetsangivelsene i den betingede sannsynlighetstabellen, må sannsynligheter angis for de ulike nodetilstandene: $P(\text{Vindhastighet}=A|K)$, $P(\text{Vindhastighet}=B|K)$, samt $P(\text{Vindhastighet}=C|K)$, hvor A-C korresponderer til vindhastighetsintervall på Beaufort skalaen. Tilsvarende angis sannsynligheter for de to tilstandene til barriereren *vibrasjonsdempere*. I tilfeller hvor barriereren ikke eksisterer innebærer dette at $P(\text{Vibrasjonsdempere}=\text{Nei})=1$. Hvis den eksisterer er det imidlertid viktig at man ikke utelukker muligheten for barriereresvikt, ved at $P(\text{Vibrasjonsdempere}=\text{Ja}) < 1$.

Vibrasjonsdempere installert	Ja			Nei		
a: Vindhastighet (Beaufort)	A	B	C	A	B	C
Ja	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Nei	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Figure 19 Betinget sannsynlighetstabell for noden: Vibrasjoner i linjetråd

Ekspertene må ta stilling til hvorvidt det kan forekomme vibrasjoner i linjetråden for ulike kombinasjoner av vindhastighet (A-C) og vibrasjonsdempere i den betingede sannsynlighetstabellen i figur 16. Programvaren beregner den marginale sannsynlighetsfordelingen automatisk for hendelsen: vibrasjoner i linjetråd. Ekspertene kan deretter bes om selv å angi den marginale sannsynligheten for hendelsen vibrasjon i linjetråd uten hjelp av programvaren. Analytiker kan deretter kontrollere om de angitte sannsynlighetene angivelsene er koherente som introdusert i kapittel 2.1.4. I tilfeller hvor ekspertene ikke ønsker å angi sannsynligheter ved høyere presisjon enn et (upresist) sannsynlighetsintervall, kan trianguleringsmetoden som introdusert i kapittel 2.1.4 benyttes til å øke presisjonen til enkeltverdier.

Etter at ekspertene har angitt sine sannsynligheter for alle nodene i det bayesianske nettverket kan vi velge å presentere resultatet på flere ulike måter. Den grafiske strukturen i den bayesianske nettverksmodellen kan inkluderes sammen med de angitte sannsynlighetene, og presenteres som en del av risikobeskrivelsen. Alternativt kan resultatet presentees i de eksisterende risikomatrixene. En risikobeskrivelse for hendelsen A:linjebrudd kan være på formen, $(A, P(A|K), [C_L, C_H])$, hvor $[C_L, C_H]$ er et 90 eller 95 % prediksjonsintervall for noden forsyningssikkerheten C. Vurderinger av styrken på bakgrunnskunnskapen kan gjennomføres ved bruk av de tilpassede kriteriene som foreslås i neste avsnitt.

4.4 Tilpassede kriterier for vurdering av styrken til bakgrunnskunnskapen i forenklete risikoanalyser.

I nettselskaper har den forenklete grovanalysemetoden anbefalt av NVE blitt adoptert av bransjen som beste praksis(3). Kriteriene i Flage & Avens(7) kvalitative metode for vurderinger av styrken på bakgrunnskunnskapen er i utgangspunktet beregnet for bruk i kvalitative risikoanalyser (QRA). Vi vil dermed foreslå noen forenklete kriterier for vurderinger av styrken på bakgrunnskunnskapen som i større grad er tilpasset den forenklete bow-tie metoden.

Sterk kunnskap:

Styrken på bakgrunnskunnskapen vurderes som sterk hvis alle de følgende forholdene er tilfredstilt:

- Det analyserte fenomenet er godt forstått; detaljerte modeller av kjente og antatte årsakssammenhenger benyttes, hvor modellen er kvalitetssikret av fagekspertter som har inngående kunnskap om det analyserte fenomenet.
- Alle ekspertene har fått opplæring i å uttrykke sannsynligheter, samt har kjennskap til heuristikk, hvor de angitte sannsynlighetene er kontrollert for koherens.
- Analysegruppen innehar ekspertkunnskap innen fenomenene som analyseres.
- Det er neglisjerbare uenigheter mellom deltakerne i analysegruppen

Svak kunnskap:

I tilfeller hvor flere enn ett av kriteriene er tilfredstilt vurderes styrken på bakgrunnskunnskapen som svak:

- Bow-tie metoden anvendes direkte, uten på forhånd å ha etablert en felles forståelse av det analyserte fenomenet.
- Sannsynligheter angis kun for den initierende hendelsen i midten av bow-tie diagrammet ved bruk av forhåndsdefinerte (upresise) sannsynlighetsintervall. Intervallene er ikke kontrollert for koherens.
- Analysegruppen innehar ikke ekspertkunnskap om det analyserte fenomenet eller systemet
- Det er sterkt divergerende meninger i analysegruppen

Middels kunnskap:

Forhold som befinner seg mellom sterk og svak:

- Bow-tie metoden anvendes og baseres på fornuftige forenklinger av detaljerte modeller av kjente og antatte årsakssammenhenger. Forenklingene er kvalitetssikret av fagekspertter som har inngående kunnskap om det analyserte fenomenet.
- Alle ekspertene har fått opplæring i å uttrykke sannsynligheter, samt kjennskap til heuristikk
- Sannsynligheter angis for både initierende hendelse, årsaker og barrierer i bow-tie diagrammet. I tilfeller hvor ekspertene ikke er villige til å uttrykke usikkerhet ved bruk av presise sannsynligheter, benyttes triangulering av sannsynlighetsintervaller

for å angi sannsynligheter som enkeltverdier. De angitte sannsynlighetene er kontrollert for koherens.

- Det er mindre uenigheter i analysegruppen

4.4.1 Diskusjon av tilpassede kriterier for vurdering av bakgrunnskunnskapen

Forslaget til tilpassede kriterier for vurdering av styrken til bakgrunnskunnskapen i forenklede risikoanalyser baseres på Flage & Avens kriterier som introdusert i kapittel 4.2.1. Kriteriene er forsøkt tilpasset den forenklede risikoanalysemetoden som anvendes i Lyse Elnett. Resultatet av en vurdering basert på de foreslåtte kriteriene må dermed tolkes som relativt til den forenklede risikoanalysemetoden som ble foreslått i kapittel 4.3.

I det første foreslåtte kriteriet fremheves forståelsen av årsakssammenhengene som kan inntreffe. Etableringen av en bayesiansk nettverksmodell av kjente eller antatte årsakssammenhenger på lik linje som bruken av sjekklister ble fremhevet som et forbedringsforslag i kapittel 4.3. En slik bayesiansk nettverksmodell vil dermed representere organisasjonens forståelse for hvilke årsaker/hendelser som kan forekomme, samt hvilke barrierer som kan forhindre at årsakene/hendelsene inntreffer. I tilfeller hvor den bayesianske nettverksmodellen benyttes i risikovurderingen, vil dette tilfredstille det første kriteriet for sterk kunnskap. I tilfeller hvor bow-tie modellen anvendes direkte i risikovurderingen uten at en felles forståelse av det analyserte fenomenet er etablert, er dette tilstrekkelig til at styrken på bakgrunnskunnskapen vurderes som svak. En middels vurdering følger i tilfeller hvor en bow-tie modell som representerer en forenkling av en bayesiansk nettverksmodell som representerer organisasjonens forståelse.

Det andre kriteriet er knyttet til analysegruppens erfaring og trening i å angi subjektive sannsynligheter, samt kjennskap til ulike heuristikker som kan påvirke sannsynlighetsangivelsene. Trening i sannsynlighetsangivelser kan bidra til at ekspertene blir mer komfortable med å angi sannsynligheter for sjeldne hendelser og med høyere presisjon. De angitte sannsynlighetene kan imidlertid ikke verifiseres i risikoanalysen, da de i følge Aven uttrykker angiverens usikkerhet i forkant av mulige observasjoner (8). De angitte sannsynlighetene bør kontrolleres for koherens for å motvirke mulige bias i sannsynlighetsangivelsen. (Se kapittel 2.1.4) I tilfeller hvor usikkerhet uttrykkes ved bruk av (upresise) sannsynlighetsintervaller, kan trianguleringsmetoden introdusert i kapittel 2.1.4 anvendes til å øke presisjonen i angivelsene. Bruk av de forhåndsdefinerte sannsynlighetsintervallene utelukkende for den initierende hendelsen betegnes å være forbundet med svak bakgrunnskunnskap.

Ekspertenes kunnskap innenfor fenomenet eller systemet som analyseres inngår i det tredje kriteriet. I de fleste tilfeller innehar fagekspertene internt i selskapet kunnskap om de tekniske systemene, i form av vedlikehold, driftsbetingelser o.l. For årsaker som vind, snø-/islast, ras, flom etc. kan det måtte innhentes ekstern ekspertkunnskap i form av meteorologer, geologer etc.

I tilfeller hvor det forekommer uenigheter i analysegruppen knyttet til modelloppbygning eller de angitte sannsynlighetene, bør dette dokumenteres og videreføres til beslutningstaker som en del av risikobeskrivelsen. Risikoanalytiker bør samtidig vurdere hvilke implikasjoner de ulike standpunktene har for de angitte sannsynlighetene eller modelloppbygningen.

5 Diskusjon

I dette kapittelet drøftes styrker og svakheter knyttet til de foreslåtte forbedringsforslagene i kapittel 4.3 og 4.4

5.1 Forbedringsforslag til risikoanalyseprosessen i Lyse Elnett

Risikoanalyseprosessen i Lyse Elnett er i liten grad dokumentert i internveiviseren i Lyse Elnett (42). Den tilgjengelige dokumentasjonen som er vurdert i kapittel 3.5 består av 5 risikoanalyser av linjeanlegg som ble gjennomført høsten 2013, samt et dokument som beskriver planleggingsarbeidet i forkant av gjennomføringen av risikoanalysene. Utfordringene i risikoanalyseprosessen er dermed identifisert ut i fra det samme perspektivet som beslutningstakers har, dvs resultatet av risikoanalysen. De valgene og vurderinger som er gjennomført av risikoanalytiker og analysegruppen i de ulike aktivitetene i risikovurderingen er dermed ukjente. Ut ifra beslutningstakers perspektiv er det dermed relativt ukjent hvordan de ulike aktivitetene som leder frem til risikobeskrivelsen gjennomføres. Lyse Elnett benytter den forenklete bow-tie baserte risikoanalysemetoden som anbefalt i NVEs veileder til ROS-analyser(3). Metoden kan betegnes som en forenklet kvalitativ risikoanalysemetode som er avhengig av ekspertkunnskap og -vurderinger. Hendelsesidentifikasjonen gjennomføres ved bruk av sjekklister og idemyldringer. Risikovurderingen gjennomføres som en gruppediskusjon hvor analysegruppen velger forhåndsdefinerte sannsynlighetsintervaller og konsekvensklasser for å beskrive risiko. Risikobeskrivelsen presenteres til beslutningstaker i en 5x5 risikomatrix knyttet til konsekvenskategoriene som risikovurderes.

Som beslutningstaker/risikoeier er det ønskelig å informeres om hvilke aktiviteter eller anlegg som er forbundet med høyest risiko, for deretter vurdere hvorvidt risikoen er akseptabel eller ikke. Hensikten med risikoanalysene av den eksisterende infrastrukturen er dermed å beskrive risiko for å danne et grunnlag for risikobehandling og aksept av risiko. Sett ifra beslutningstakers ståsted er det dermed først og fremst ønskelig å informeres om hvor risikoen er høyest, relativt til alle de andre anleggene som er i drift. Nye risikoreducerende tiltak kan dermed iverksettes for de høyest rangerte hendelsene i risikomatrixene. I ettertid av det omfattende strømutfallet i 2002 har det ikke forekommet hendelser med tilsvarende store konsekvenser for forsyningssikkerheten i Lyse Elnett. Hvorvidt dette er et resultat av god risikostyring og gode risikoanalyser er problematisk å stadfeste. Risikoreducerende tiltak og aktiviteter gjennomføres i alle deler av virksomheten, men de fleste av disse har eksistert lenge før det har vært fokusert på gjennomføring av risikoanalyser. I kapittel 4.2.2 ble det identifisert at de barriererene som ble identifisert i den bow-tie baserte metoden i liten grad var tilstrekkelig spesifisert, samtidig som det ikke ble gjennomført spesifikke barriererevurderinger. Eksempler på identifiserte barrierer i kapittel 4.2.2 var *vedlikeholdsplan* og *inspeksjoner*. Det er ikke innlysende hva disse barriererene innebærer eller hvor ofte de utføres basert på den risikobeskrivelsen eller bow-tie diagrammet. Det faktum at det ikke har forekommet alvorlige hendelser i Lyse Elnett kan dermed være et resultat av de risikoreducerende tiltakene som gjennomføres uavhengig av risikoanalysene. Dette er ikke ensbetydende med at risikoanalyser og -styring ikke er hensiktsmessig, men det kan være en indikasjon på at risikostyring- og risikoanalyseaktivitetene kan forbedres. Lyse Elnett må fortsette å gjennomføre risikoanalyser for å identifisere risiko for utfall av strømforsyningen. Det kan imidlertid være hensiktsmessig å også forsøke å forklare hvorfor det ikke forekommer alvorlige hendelser? Hvilke

risikoreduserende aktiviteter og barrierer er det som forhindrer at vi ikke har flere utfall av strømforsyningen eller personskader? Dette samsvarer til de underliggende ideene i det utvidede risikoperspektivet

5.1.1 Bidragene fra det utvidede risikoperspektivet

Sorte svaner i form av «*overraskende ekstreme hendelser, relativt til ens grad av tro/kunnskap*(5)» er et sentralt tema i det utvidede risikoperspektivet. I Aven & Krohn(6) introduseres tre kategorier av sorte svaner, hvor det foreslås ulike strategier for å identifisere og konfrontere disse overraskelsene. Kort oppsummert består tiltakene for identifikasjon av sorte svaner av (26):

- Kunnskapsgenerering i det vitenskapelige miljøet
- Forbedrede metoder for hendelsesidentifikasjon og kunnskapsoverføring
 - Anticipatory Failure Determination (kapittel 2.5)
- Metoder for å utfordre risikobeskrivelsene
 - Red teaming (2.5.2)

Samtidig introduseres det metoder for vurdering av styrken til bakgrunnskunnskapen, hvor resultatet av vurderingene kan indikere potensialet for overraskelser relativt til de angitte sannsynlighetene (2.6). I følge Aven bør beslutningstaker i tilfeller hvor bakgrunnskunnskapen vurderes som svak i større grad vektlegge risikostyringsprinsipper som ALARP og forsiktighetsprinsippet(17).

Som vi ser er bidraget fra det utvidede risikoperspektivet svært omfattende, og det er ikke realistisk å forvente at Lyse Elnett vil eller har mulighet til å iverksette alle disse virkemidlene og verktøyene med en gang. Vi har derfor forsøkt å foreslå et lite utvalg av bidragene fra det utvidede risikoperspektivet knyttet til vurderinger av styrken på bakgrunnskunnskapen, samt noen mindre forbedringsforslag i hendelsesidentifikasjon- og risikovurderingsaktiviteten. Hensikten med forslagene har vært at de skal kunne iverksettes med relativt begrensede ressurser, samt enkelt kunne utvides til å inkludere ytterligere bidrag fra det utvidede risikoperspektivet.

5.1.2 Bayesianske nettverksmodeller

Bruken av bayesianske nettverksmodeller står sentralt i forbedringsforslagene. I motsetning til den forenklete bow-tie baserte risikoanalysemetoden som anvendes i Lyse Elnett, er bruken av modeller noe som ofte forbindes med kvantitative risikoanalyser. Man er imidlertid ikke nødt til å kvantifisere sannsynligheter i et bayesiansk nettverk, men muligheten er tilgjengelig hvis ønskelig. To av de viktigste fordelene med et bayesiansk nettverk er at vi å uttrykke og strukturere forståelsen av fenomenet som skal analyseres, hvor vi kan uttrykke usikkerhet for observerbare størrelser på et lavere nivå hvis ønskelig. I de foreslåtte forbedringsforslagene har vi fokusert på fordelene knyttet til strukturering av fenomenforståelsen.

I kapittel 4.2 tolket vi at det er en sammenheng mellom begrepene: vitenskapelig usikkerhet, sorte svaner i kategori a) (ukjente ukjente) og fenomenforståelse. Sorte svaner i kategori a) er hendelser som er ukjente for det vitenskapelige miljøet, hvor vitenskapelig usikkerhet tolkes av Aven som: «*manglende forståelse for hvordan konsekvensene (utfallet) påvirkes av underliggende faktorer: det er vanskelig å etablere en nøyaktig prediksjonsmodell som kan medføre en presis beskrivelse av et årsak-virkningsforhold*(17, s.162)» Vitenskapelig sikkerhet innebærer dermed at vi vet med sikkerhet hvordan konsekvensene påvirkes av underliggende faktorer, mens vitenskapelig usikkerhet medfører dårlig forståelse av disse årsaks-virkningsforholdene.

I en risikoanalysekontekst tolkes modeller som en del av bakgrunnskunnskapen som de angitte sannsynlighetene er betinget på. Hvis modellen endres, medfører dette en endring i bakgrunnskunnskapen som de angitte sannsynlighetene er betinget på(7). Personene som utarbeider modeller vil dermed forutsette og anta hvordan konsekvensene (hendelsene) påvirkes av underliggende faktorer, uavhengig av vitenskapelig usikkerhet. I praksis må vi i følge Aven alltid forutsette og anta ukjente deler av bakgrunnskunnskapen(17). Forutsetningene og antakelsene danner et rammeverk som vi betinger sannsynlighetsangivelsene på, og er nødvendige for å kunne gjøre fornuftige betraktninger om risiko og usikkerhet. Bevisstheten rundt forenklingene i modellene som utvikles er dermed et viktig tema.

I tilfeller hvor den bow-tie baserte fremgangsmåten benyttes argumenterte vi i kapittel 4.2.2 for at de lineære egenskapene til bow-tie modellen tvinger oss til å gjennomføre forenklinger som i mindre grad er bevisste. Denne manglende bevisstheten kan dermed medføre at vi forenkler uten å først å forstå. Bayesianske nettverk er et verktøy som ikke innehar de lineære begrensningene til bow-tie modellen. Dette er ikke ensbetydende med at bayesianske nettverksmodeller løser alle problemer, men vi har muligheten til å visualisere og systematisere våre mentale modeller av fenomenet som skal analyseres.

Kunnskapsoverføring mellom analytikere og fageksperter er en viktig egenskap som fremheves for å kunne identifisere sorte svane hendelser i kapittel 2.5. I kapittel 4.2.3 foreslår vi at bayesianske nettverksmodeller anvendes som en del av hendelsesidentifikasjonen i Lyse Elnett. Det finnes flere ulike formaliserte metoder som kan anvendes til hendelsesidentifikasjon, men idemyldringen som brukes i Lyse Elnett er en relativt ressurseeffektiv løsning som kan fungere tilfredsstillende. Hensikten med hendelsesidentifikasjonen er danne en felles forståelse av hvilke årsaker og hendelser som kan inntreffe, samt hvilke risikoreduserende barrierer som eksisterer. Det antas at et bayesiansk nettverk kan bidra til mer konstruktive og kreative diskusjoner enn ved bruken av en sjekklister og bow-tie diagrammer. Ved utformingen av nettverket dokumenterer man i praksis forutsetninger og antakelser om avhengigheter og årsakssammenhenger, noe som bidrar til at man i større grad kan etterprøve eller kontrollere forutsetningene i ettertid.

Noen av ulempene knyttet til bruken av bayesianske nettverksmodeller er at de kan bli svært omfattende og uoversiktelige. Dette kan imidlertid forårsakes av at fenomenet som skal analyseres er svært omfattende og uoversiktlig. Før man kan bruke nettverket i en risikoanalyse må man som regel redusere kompleksiteten i nettverket gjennom forenklinger og antakelser. Fordelen med dette er en økt bevissthet rundt de forenklingene som gjennomføres i motsetning til den direkte bruken av bow-tie modellen. Forenklingene kan resultere i at man utarbeider en «standardisert modell» på lik linje med sjekklister, eller at man forenkler tilstrekkelig til at man kan bruke bow-tie metoden. Ulempen med slike standardiseringer er at man bygger en modell som man antar at reflekterer fornuftige forenklinger av den virkelige verden. Etter at den standardiserte modellen er «valgt» kan det imidlertid bli et problem å opprettholde fokuset på forbedringer og kunnskapsbygging og –overføring i risikoanalyseprosessen. Fokuset på kontinuerlig forbedring av risikoanalyseprosessen er imidlertid noe som må ivaretas uavhengig av valg av metode, og er ikke spesifikt knyttet til de foreslåtte forbedringstiltakene.

5.1.3 Tilpassede kriterier for vurdering av bakgrunnskunnskapen

I kapittel 4.4 ble det foreslått tilpassede kriterier for vurdering av styrken til bakgrunnskunnskapen som risikobeskrivelsen er betinget på. Kriteriene er forsøkt tilpasset risikoanalyseprosessen i Lyse Elnett. Hvorvidt det er hensiktsmessig å anvende kriteriene i praksis er imidlertid usikkert. I praksis kan vi tolke resultatet av vurderingen av styrken på bakgrunnskunnskapen som å reflektere kvaliteten på de aktivitetene som gjennomføres for å beskrive risiko.

I planleggingsfasen av risikoanalysen gjennomfører analytiker en rekke valg og vurderinger som baseres på det definerte formålet med analysen(45). I tilfeller hvor vi velger å benytte en forenklet risikoanalysemetode tilsvarende den som anvendes i Lyse Elnett, velger vi i praksis at vi skal gjennomføre en risikovurdering som resulterer en enkel risikobeskrivelse. I et slikt tilfelle vil styrken på bakgrunnskunnskapen vurderes som svak hvis vi benytter Flage & Avens(7) kvalitative metode. Tilsvarende kan vi velge å gjennomføre en svært ressurskrevende kvantitativ risikoanalyse som inkluderer omfattende bruk av historiske data og formaliserte ekspertutspøringer, samt utvikler omfattende modeller og gjennomfører kostbare simuleringer av fenomenene som analyseres. Poenget er at vi kan «velge» styrken på bakgrunnskunnskapen i planleggingen av risikoanalysen. Resultatet av en vurdering av styrken på bakgrunnskunnskapen bør dermed ikke komme overraskende for risikoanalytiker. Beslutningstaker kan imidlertid ha nytte av en bredere risikobeskrivelse som i større grad reflekterer kvaliteten på aktivitetene og vurderingene som risikobeskrivelsen er betinget på.

6 Konklusjon

Nettselskaper er gjennom beredskapsforskriften(1) pålagt å gjennomføre ROS-analyser for eksisterende infrastruktur, og ved endringer eller nybygging av infrastruktur. Samtidig er det innført flere minimumskrav til fysisk sikring av anleggene og beredskapsordninger. Dette innebærer at nettselskapene må gjennomføre minimumstiltakene, uavhengig av resultatene fra risikoanalysene. Bakgrunnen for de detaljerte minimumskravene er ifra NVE begrunnet med at nettselskapene har hatt en tendens til å analysere seg bort ifra risikoreduserende tiltak (15). NVE har dermed pålagt nettselskapene å i større grad vektlegge risikostyringsstrategier som omhandler valg av robuste og resilliente løsninger for å forhindre utfall av strømforsyningen. Disse risikostyringsstrategiene virker trolig mer fornuftige sett ifra NVEs overordnede perspektiv, da sannsynligheten for at et omfattende utfall av strømforsyningen vil forekomme i ett av de 130 nettselskapene trolig ikke vurderes som neglisjerbar i dette overordnede makroperspektivet. Anbefalingen om bruk av en forenklet risikoanalysemetode, samt detaljerte minimumskrav for å velge robuste og resilliente løsninger kan dermed være en fornuftig strategi sett ifra NVEs standpunkt.

Så lenge nettselskapene er klar over den forenklete risikoanalysemetodens begrensninger, kan bruken av metoden bidra til tilstrekkelig beslutningsstøtte for å iverksette fornuftige tiltak. Enkle risikoanalyser levert til rett tid og kostnad vil i praksis velges foran omfattende og detaljerte risikoanalyse som overstiger budsjetter og tidsbruk. Samtidig kan det være hensiktsmessig å benytte mer detaljerte metoder i risikoanalyser av mer komplekse systemer eller hvor tiltakene er forbundet med store kostnader. Det viktigste bidragene fra det utvidede risikoperspektivet er å fokusere på kontinuerlig forbedringer av risikoanalyseprosessen gjennom økt bevissthet rundt kunnskapsdimensjonen og potensialet for overraskelser.

1. NVE. Veileder til forskrift om forebyggende sikkerhet og beredskap i energiforsyningen. In: Energidepartement NV-o, editor. www.nve.no2013.
2. Aven T, Krohn BS. A new perspective on how to understand, assess and manage risk and the unforeseen. Reliability Engineering and System Safety. 2014;121:1.
3. NVE. Veiledning i risiko- og sårbarhetsanalyser for kraftforsyningen. www.nve.no: 2010.
4. Taleb NN. The black swan: the impact of the highly improbable. London: Allen Lane; 2007.
5. Aven T. Implications of black swans to the foundations and practice of risk assessment and management. Reliability Engineering and System Safety. 2014;134:83-91.
6. Aven T. Practical implications of the new risk perspectives. Reliability Engineering and System Safety. 2013;115:136.
7. Aven T, Flage R. Expressing and communicating uncertainty in relation to quantitative risk analysis (QRA). 2008.
8. Aven T. Foundations of risk analysis. ed. Chichester: Wiley; 2012.
9. NVE. Energibruk i fastlands-norge. www.nve.no: 2011.
10. NVE. Statistikk for ledninger 2014 [cited 2015 24.01.15]. Available from: <http://www.nve.no/no/Energi1/Kraftsystemet/Kraftsystemdata/Statistikk-for-ledninger/>.
11. Elin A. Isaksen. Varmen slo ut strømmen. Stavanger Aftenblad. 2002.
12. NVE. AMS - Smarte strømmålere www.nve.no2014 [cited 2015 24.01.15]. Available from: <http://www.nve.no/no/kraftmarked/sluttbrukermarkedet/ams/>.

13. Røyksund M. Informasjonssikkerhet i kraftforsyningen. <http://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/184580>: Universitetet i Stavanger, Norge; 2011.
14. Line MB. IKT - sikkerhet og risiko ved innføring av AMS og Smart Grids. NVE Energidagene 2013.
15. NVE. Årsrapport for tilsyn. http://webby.nve.no/publikasjoner/rapport/2014/rapport2014_17.pdf: NVE, 2014.
16. Forskrift om forebyggende sikkerhet og beredskap i energiforsyningen (Beredskapsforskriften), (2012).
17. Aven T. Risk, surprises and black swans: fundamental ideas and concepts in risk assessment and risk management: Taylor & Francis; 2014.
18. Aven T, Heide B. Reliability and validity of risk analysis. Reliability Engineering and System Safety. 2009;94(11):1862-8.
19. Lindley DV. Understanding uncertainty. Hoboken, N.J: Wiley; 2006.
20. Aven T. Misconceptions of risk. Chichester: Wiley; 2010.
21. Mosleh A, Bier VM. Uncertainty about probability: a reconciliation with the subjectivist viewpoint. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans. 1996;26(3):303-10.
22. Kahneman D. Thinking, fast and slow. New York: Farrar, Straus and Giroux; 2011.
23. Genie / Smile. <https://dslpitt.org/genie/index.php/license>: University of Pittsburgh; 2015. p. "The models described in this paper were created using the GeNIe modeling environment developed by the Decision Systems Laboratory of the University of Pittsburgh and available at <http://genie.sis.pitt.edu/>".
24. Aven T. Risk analysis: assessing uncertainties beyond expected values and probabilities. Chichester: John Wiley; 2008.
25. Aven T. On how to define, understand and describe risk. Reliab Eng Syst Saf. 2010;95(6):623-31.
26. Aven T. Foundations of risk analysis. Chichester, UK: Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2012. 47-69 p.

27. Nordpoolspot. Kraftbørs
<http://www.nordpoolspot.com/#/nordic/table2015>.
28. Olje- og energidepartementet. Ansvarsområder OED
<https://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/ryddemappe/Til-sletting/ansvarsomraader/id775/2009> [cited 2015 06.02.15].
29. Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energiloven), (1990).
30. NVE. Tilknytningsplikt
<http://www.nve.no/no/Kraftmarked/Tilknytning/Tilknytningsplikt/2015>.
31. NVE. Leveringsplikt <http://www.nve.no/leveringsplikt2015>.
32. OD. Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet
<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-11-30-15572004>.
33. OD. Kompetanseforskriften
<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2011-03-10-2632011>.
34. NVE. Beregning av inntektsrammer
<http://www.nve.no/PageFiles/32024/Rundskriv%201%20-%20Om%20beregning%20av%20inntektsrammer%20og%20kostnadsnorm%20for%202013.pdf?epslanguage=no2013> [cited 2015].
35. NVE. Økonomisk regulering av nettselskap. 2014.
36. Lyse. Om Lyse konsernet <http://www.lysekonsern.no/om-konsernet/2015> [cited 2015 04.02.15]. Available from:
<http://www.lysekonsern.no/om-konsernet/>.
37. Lyse Elnett. Kraftsystemutredning Rogaland.
<http://www.lysenett.no/getfile.php/www.lysenett.no/Energiutredninger/Hovedrapport%20KSU%202014%20S%C3%B8r-Rogaland.pdf>: 2015.
38. Arbeidstilsynet. Byggherreforskriften
<http://www.arbeidstilsynet.no/fakta.html?tid=781772015> [cited 2015 19.05.2015].
39. Konsekvenser ved strømstans. Nordlandsnett. 2002.
40. Lyse Elnett. Utdrag fra risikoanalyse. 2013.
41. Proactima. Webrisk. webrisk.proactima.com2013.
42. Lyse Elnett. Internveiviser Lyse Elnett intranet.lyse.no2015 [cited 2015].

43. . <http://no.thefreedictionary.com/forhold2013>. Definisjon av "forhold".
44. Aven T. On Different Types of Uncertainties in the Context of the Precautionary Principle. Risk Analysis. 2011;31(10):1515-25.
45. Aven T, Guikema S. Whose uncertainty assessments (probability distributions) does a risk assessment report: the analysts' or the experts'? Reliab Eng Syst Saf. 2011;96(10):1257-62.
46. Meteorologisk institutt. Beaufortskalaen <https://metlex.met.no/wiki/Beaufortskalaen2015>.