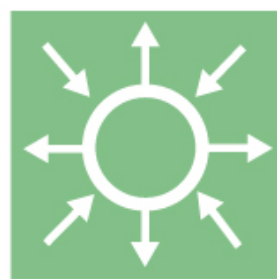




Översikt riskanalysmetoder

För kartläggning och åtgärdsprioriteringar

Elforsk rapport 06:76



Martin Kylefors
Fredrik Nystedt
Lotta Fredholm

November 2006

ELFORSK

Översikt riskanalysmetoder

För kartläggning och åtgärdsprioriteringar

Elforsk rapport 06:76

Martin Kylefors
Fredrik Nystedt
Lotta Fredholm

November 2006

Förord

Rapporten 06:76 är ett projektresultat av det samlade ramprogrammet för Riskanalys som verktyg för utveckling, drift och underhåll av elnät som startades under 2006. Programmet pågår under fem år.

Rapporten är en redovisning av etapp 1 (av 2) i projektet med syfte att utveckla metoder för kartläggning av risker och prioritering av riskreducerande åtgärder inom elnät (145 till 0,4 kV). Arbetet har bedrivits under perioden maj t o m augusti 2006.

Arbetet har bedrivits av en organisation bestående av Martin Kylefors (projektledare), Lotta Fredholm och Fredrik Nystedt, samtliga ØSA.

Programmets vision är att, inom ett femårigt perspektiv, genom nya riskanalysmodeller och beslutsprocesser nå fram till att ny teknik och ny kunskap kan användas för att göra det möjligt att minska riskerna för person- miljö- och anläggningsskador i elnätsverksamheten. Detta skall ses i samband med de ökande kraven på leveranssäkerhet som ställs av elkunder och myndigheter.

Befintliga metoder kan förbättras i kortsiktiga utvecklingsprojekt vilka presenteras i skrift men även i seminarieform för att få bättre genomslag i branschen.

De finansierande företagen i ramprogrammet är följande:

Elsäkerhetsverket

Vattenfall Eldistribution AB

E.ON Elnät Sverige AB

Fortum Distribution

Föreningen Industriell Elteknik, FIE

Svenska Kraftnät

AB Borlänge Energi

Energiverken i Halmstad, Elnät AB

Eskilstuna Energi & Miljö AB

Gävle Energi AB

Göteborg Energi AB

Jämtkraft AB

Jönköping Energi Nät AB

Lunds Energi Elnät AB

Nacka Energi AB

Mälarenergi Elnät AB

Skellefteå Kraft Elnät AB

Sundsvall Energi Elnät AB

Tekniska Verken i Linköping AB

Umeå Energi Elnät AB

Växjö Energi Elnät AB

Öresundskraft AB

Ramprogrammets styrgrupp består av följande personer:

Horst Blüchert, Elsäkerhetsverket

Arne Bergström Vattenfall Eldistribution AB

Mikael Bohjort E.ON Elnät Sverige AB

Kjell Oberger Fortum Distribution

Sven-Åke Polfjärd, FIE

Håkan Stomsjö Svenska Kraftnät

Programansvarig är:

Sven Jansson Elforsk AB

Stockholm 2006-11-22

Sammanfattning

Denna rapport redovisar etapp 1 (av 2) i projektet.

Øresund Safety Advisers AB (ØSA) har beviljats anslag från Elforsk (Elforsk projekt 31003) för att bedriva ett metodutvecklingsarbete "riskanalysmetoder för kartläggning och reduktion av risker i elnät". Arbetet sker inom ramen för Elforsks riskanalysprogram (3974). Arbetet har bedrivits av en organisation bestående av Martin Kylefors (projektledare), Lotta Fredholm och Fredrik Nystedt, samtliga ØSA. Projektansvarig på Elforsk har Sven Jansson varit.

Projektets syfte är att bidra till utveckling av riskanalystillämpningar som svarar mot de investerings- och reinvesteringsbehov inom nätbolag som följer av en ändrad reglering på området, med bl a införande av funktionskrav. Projektets mål är att utveckla två riskanalysmetoder för elnät (0,4 till 145 kV); en metod som grovt kartlägger och värderar ett elnäts risker, och en metod som ger underlag för val mellan olika åtgärdsalternativ. Etapp 1 har omfattat en översikt av metoder, selektering av lämplig metod och principiell anpassning till elnätsföretagande. Avgränsningar som gjorts i arbetet innebär att fokus ligger på avbrottsrisker på mellanspänning i lokalnäten.

Rapporten redovisar bakgrunden till utvecklingsarbetet och definierar de krav som kan ställas på de metoder som efterfrågas. Därefter presenteras olika metodalternativ och valet av metod(er). Grovanalys och kostnad/nyttoanalys väljs som grundmetoder, anpassas efter de aktuella behoven och länkas samman till en metod. Den första delen av analysen avser kartläggningsmomentet och fokuserar på riskbedömning av olika definierade nätdelar. Varje nätdel föreslås bli bedömt efter parametrarna belastning, exponering och maskning. Bedömningarna föreslås i sin tur bli baserade på olika faktorer såsom antal kunder, typ av ledning, driftdata och görs i en fyrgradig skala. För att bedömningarna ska bli så objektiva som möjligt så görs exempel på definitioner för de fyra klasserna. Ett värde som återspeglar nätdelens risk erhålls därefter som produkten av de tre parametrarnas värde. Ett exempel redovisas i tabellen nedan.

Nätdel	Belastning (1-4)	Exponering (1-4)	Maskning (1-4)	Risk
Sträcka A	2	3	4	24
Sträcka B	4	4	2	32
Sträcka C	4	1	1	4

Efter kartläggning väljs nätdelar ut där riskreduktion eftersträvas. Nyttan med åtgärden beräknas som skillnaden mellan resulterande riskvärde från analys före investering respektive efter investering. Detta nyttovärde, förvisso fiktivt, relateras till schablonmässigt summerade kostnader för investering och underhåll, uttryckta i nuvärde. Den åtgärd rekommenderas som ger mest riskreduktion per krona.

I det fortsatta arbetet (etapp 2) skall tydliga definitioner på parametrar, faktorer och värderingar göras. Arbetet föreslås bedrivas som samarbetsprojekt med 2-3 nätföretag.

Under utvecklingsarbetet har det konstaterats att funktionskravet lämnar utrymme för tolkningar av vilken risknivå som är acceptabel med avseende på vilken dimensionering som krävs för stormar och snöfall, de mest kritiska händelserna. Här finns det behov av gemensamma tolkningar inom branschen. För slutsatser i övrigt hänvisas till Kapitel 7.

Summary

This is a report of phase 1 (of 2) in a project called "Methods for risk analysis".

Elforsk assigned Øresund Safety Advisers AB (ØSA) the task to develop two methods for risk assessment within power distribution companies (Elforsk project 31003). The work has been carried out by Martin Kylefors (project manager), Lotta Fredholm and Fredrik Nystedt, all ØSA. Sven Jansson has been project coordinator at Elforsk.

The objective of the project is to contribute to development of risk analysis applications that correspond to the need of investments as an effect of new regulation. The aim is to develop methods for screening and assessing risks, and for ranking risk reducing measures in order of priority. Phase 1 has consisted of an overview of methods, selection of appropriate methods, and development of principles regarding application suitable for power distribution companies.

This report presents a preferred combination of methods – based on principles of Preliminary Hazard Analysis and Cost-Benefit Analysis. Risks are suggested to be assessed based on three main factors (load, exposure and alternative supply) in a scale of four grades. Principles of assessments have been outlined.

Phase 2 is suggested as a joint project which will develop the method(s) in terms of clearer definitions, guidelines for underlying factors, appropriate weights and estimations.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Mål och syfte	1
1.2	Omfattning och avgränsningar	2
1.3	Metod / Genomförande	2
2	Bakgrund	3
2.1	Elnät	3
2.2	Risker och riskanalys	4
2.3	Riskbilden	6
2.4	Prioriteringsfrågeställningar	7
3	Kravbild	9
3.1	Riskanalys för kartläggning	9
3.2	Risk/beslutsanalys för prioriteringsproblem	10
4	Riskanalysmetoder, översikt	11
4.1	Grovanalys	11
4.2	What-if analys	12
4.3	Felträdsanalys	13
4.4	Händelseträdsanalys	14
4.5	Feleffektsanalys (FMEA)	15
4.6	Statistiska analyser	15
4.7	Indexmetoder	16
4.8	Beslutsanalys	17
4.9	Multiattributiv nyttoanalys	17
4.10	Kostnad/nytta analys	18
4.11	Analytical Hierarchy Process	18
5	Riskanalysmetod, val	20
5.1	Metodjämförelse	20
5.1.1	Kartläggning av risker	20
5.1.2	Prioritering av åtgärder	21
5.2	Metodval	21
5.2.1	Kartläggning av risker	21
5.2.2	Prioritering av åtgärder	22
5.3	Anpassning av metoderna	22
6	Resultat	23
6.1	Beskrivning process	23
6.1.1	Förutsättningar, antaganden	23
6.1.2	Kompetens och resurs	24
6.1.3	Indata	24
6.1.4	Dokumentation	24
6.2	Beskrivning genomförande	25
6.2.1	Fastställande av prioriteringsmål	25
6.2.2	Riskbedömning av sträcka A_i - B_i	25
6.2.3	Urval av sträckor för åtgärd	28
6.2.4	Val av åtgärder för prioritering	28
6.2.5	Riskbedömning av respektive åtgärdsalternativ	28
6.2.6	Kostnadsberäkning åtgärdsalternativ	29
6.2.7	Beräkning av nytta för respektive åtgärdsalternativ	29
6.2.8	Beräkning av nytta/kostnad för respektive åtgärdsalternativ	29
6.2.9	Prioritering av åtgärd	29

6.3	Fiktivt exempel	30
7	Slutsatser och fortsatt arbete	32
8	Referenser	34
Bilaga 1		38

1 Inledning

Øresund Safety Advisers AB (ØSA) har beviljats anslag från Elforsk (Elforsk projekt 31003) för att bedriva ett metodutvecklingsarbete "riskanalysmetoder för kartläggning och reduktion av risker i elnät". Arbetet sker inom ramen för Elforsks riskanalysprogram (3974).

Arbetet har bedrivits av en organisation bestående av Martin Kylefors (projektledare), Lotta Fredholm och Fredrik Nystedt, samtliga ØSA.

Projektansvarig på Elforsk har Sven Jansson varit.

I styrgruppen har följande personer ingått:

Arne Bergström, Vattenfall Eldistribution AB

Horst Blüchert, Elsäkerhetsverket

Kjell Oberger, Fortum Distribution

Håkan Stomsjö, Svenska Kraftnät

Sven-Åke Polfjärd, FIE

Sven Jansson, Elforsk

Charlotta Klintberg på E.ON Elnät Sverige AB har bidragit med sin kunskap om drift, planering och optimering av elnät genom att svara på frågor.

1.1 Mål och syfte

Projektets syfte är att överföra projektorganisationens kunskap och erfarenhet om risk- och beslutsanalys till elnätsföretagen och därmed bidra till utveckling av riskanalystillämpningar som svarar mot de behov som följer av en ändrad reglering på området, med bl a införande av funktionskrav. Den ändrade regleringen medför stort investerings- och reinvesteringsbehov inom sektorn.

Projektets mål är att utveckla två riskanalysmetoder för elnät (0,4 till 145 kV):

1. Riskanalysmetod som kartlägger ett elnäts risker. Metoden skall kunna användas för att systematiskt analysera ett elnät, del för del, så att risker kartläggs och värderas (grovt). Denna analys är fundamental för att kunna överblicka riskerna i ett system.
2. Risk/beslutsanalysmetod som hanterar prioriteringsproblem (leveranssäkerhet). Metoden skall kunna användas för att välja mellan olika åtgärdsbehov och även mellan olika åtgärder som åtgärdar samma behov. Åtgärdsbehoven är kopplade till leveranssäkerheten. Analysen är fundamental för att kunna begränsa eller reducera riskerna på ett rationellt sätt.

Förhoppningen är att metoderna ska kunna utgöra ett underlag för riktlinjer/föreskrifter/praxis inom området.

1.2 Omfattning och avgränsningar

Metoderna omfattar elnät mellan 145 och 0,4 kV.

I överenskommelse med beställaren har riskerna begränsats till avbrottsrisker. Detta motiveras med att risker för liv, miljö och egendom anses väl utrett och reglerat i detalj. Risker för avbrott har naturligtvis alltid varit intressant, men genom ny lagstiftning har ett funktionskrav på elöverföring införts som ökat investeringsbehovet.

Under utvecklingsarbetet har fokus lagts på att metoderna ska fungera fram till "sista nätstation", ej ut till slutkund. Detta motiveras med att avbrott i den "yttersta" delen av nätet är snabbare och enklare att reparera eller ordna reservkraft till, så att avbrotten sällan blir långvariga.

Fördelningsstationer omfattas ej av metoden. Dessa är så varierande i utförande och användning att de bör hanteras separat, troligen individuellt.

Metoderna avgränsas till primärskadan "icke levererad energi", och tar därmed inte hänsyn till eventuella sekundärskador hos abonnenter till följd av utebliven kraft. Kunder med samhällsintresse och kunder med särskilda kontrakt beaktas dock.

Korta avbrott skiljer sig från längre avbrott både i frekvens och konsekvens, men även i orsaker och möjligheter att åtgärda fel. Eftersom metoderna avser att hjälpa till med bedömningar där funktionskravet kan vara svårt att nå, eller ersättningar för avbrott betalas ut avgränsas metoden till avbrott som varar i mer än 12 timmar.

1.3 Metod / Genomförande

Projektet har delats in i två etapper.

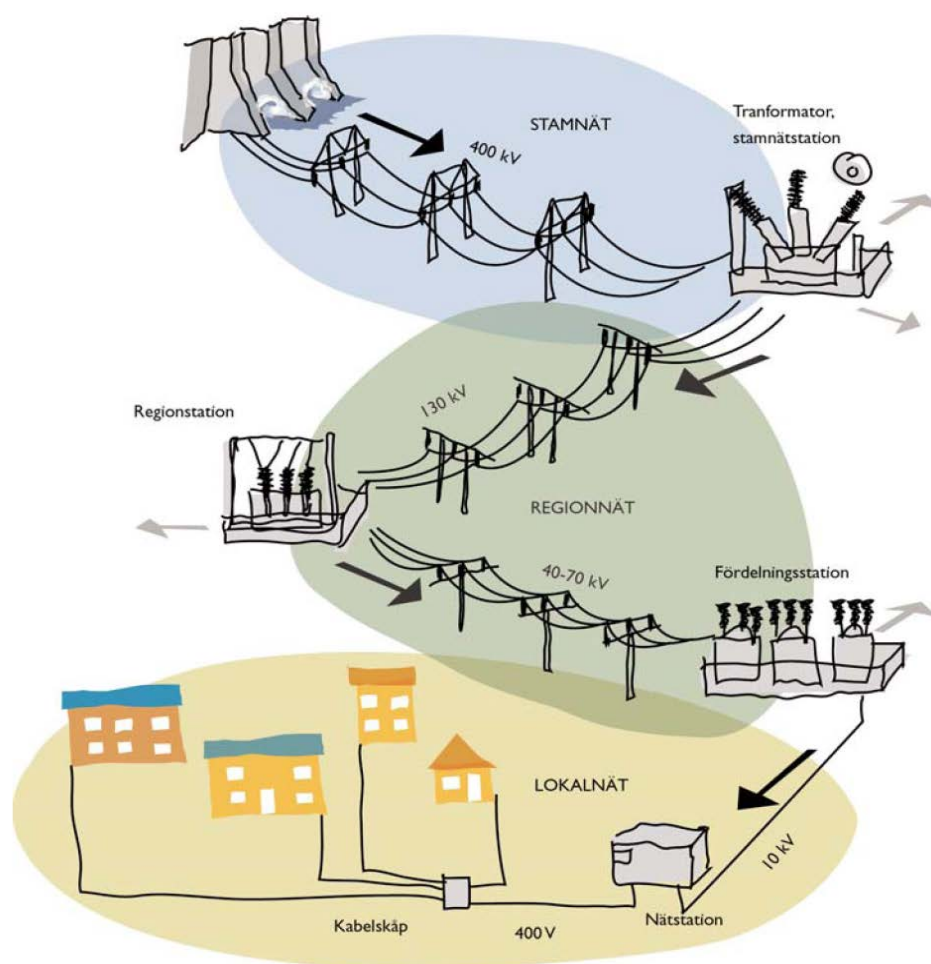
Etapp 1 har omfattat en översikt av metoder, val av metoder, samt principiell utveckling och anpassning för elnätsföretagande. Arbetet har inletts med inhämtande av grundläggande information om elnätsföretagande.

Etapp 2 föreslås omfatta ett pilotprojekt/samarbetsprojekt där metoderna testas i samarbete med elnätsföretag följt av utvärdering och eventuella justeringar av metoderna.

2 Bakgrund

2.1 Elnät

Studien omfattar leveranssäkerheten av el i regionnätet (40 till 145 kV), i lokalnätet (10 till 40 kV) och i lågspänningsnätet (0,4 kV). Principiellt tar regionnätet över från det nationella stamnätet i fördelningsstationer för vidare distribution till nätstationer och kabelskåp för att sedan nå slutanvändarna. Från de stora kraftstationerna transformeras strömmen ned från 400 kV till 0,4 kV. Mellan de olika stationerna kan elen distribueras antingen i mark eller i luft. Jordkabel har en fördel att vara trädsäker, men skarvningar och kapacitiva strömmar kan ge stora effektförluster. Luftlina (fri eller belagd ledning alternativ hängkabel) har varierande känslighet för störningar, men kräver i allmänhet bredare ledningsgator. I Figur 2.1 visas elnätets principiella uppbyggnad.



Figur 2.1 Översikt av eldistributionen från kraftstationerna till slutanvändarna (IVA, 2004).

Riksdagen har genom en ändring av Ellagen (1997:857) i slutet av 2005 beslutat om krav på elnätshållarna att erbjuda kunderna leveranssäker el. I lagen och tillhörande proposition framgår tre krav på dem som driver nätverksamhet.

1. Oplanerade avbrott får inte överstiga 24 h.
2. Regionnätet ska vara trådsäkert.
3. Risk- och sårbarhetsanalyser ska användas för att identifiera risker och prioritera åtgärder som förbättrar leveranssäkerheten.

Det finns vissa undantag från kravet på att avbrott inte får överstiga 24 h. Exempelvis gäller inte ansvar vid händelser av exceptionell karaktär som krig, terrorhandling eller sabotage. Vissa naturfenomen av större omfattning såsom jordbävning och jordskred är också undantagna. Dock gäller ansvar för väderhändelser som återkommer någorlunda ofta som åska, snöoväder och stormar. Lagstiftarna har inte i kvantitativa termer definierat vad som anses med "någorlunda" ofta. Ersättning till kunder ska betalas efter 12 h. Beloppet ökar sedan upp till 12 dygn då maximal ersättning på 3 ggr den årliga nätavgiften betalas ut.

2.2 Risker och riskanalys

Riskbegreppet är oerhört komplext och täcker in ett mycket stort antal olika samhällssektorer. Risker finns av alla möjliga slag, det kan vara politiska risker, inbrottsrisker, ekonomiska risker, miljörisker, olycksrisker etc. Med risk avses faran för att en slumpmässig händelse negativt skall påverka möjligheten att nå ett uppställt mål. Matematiskt kan risken uttryckas som en produkt av sannolikheten för och konsekvensen av den skada som risken kan ge upphov till. Risk definieras därvid som en storhet. Definitionen på risken för en olycka kan göras med följande ekvation:

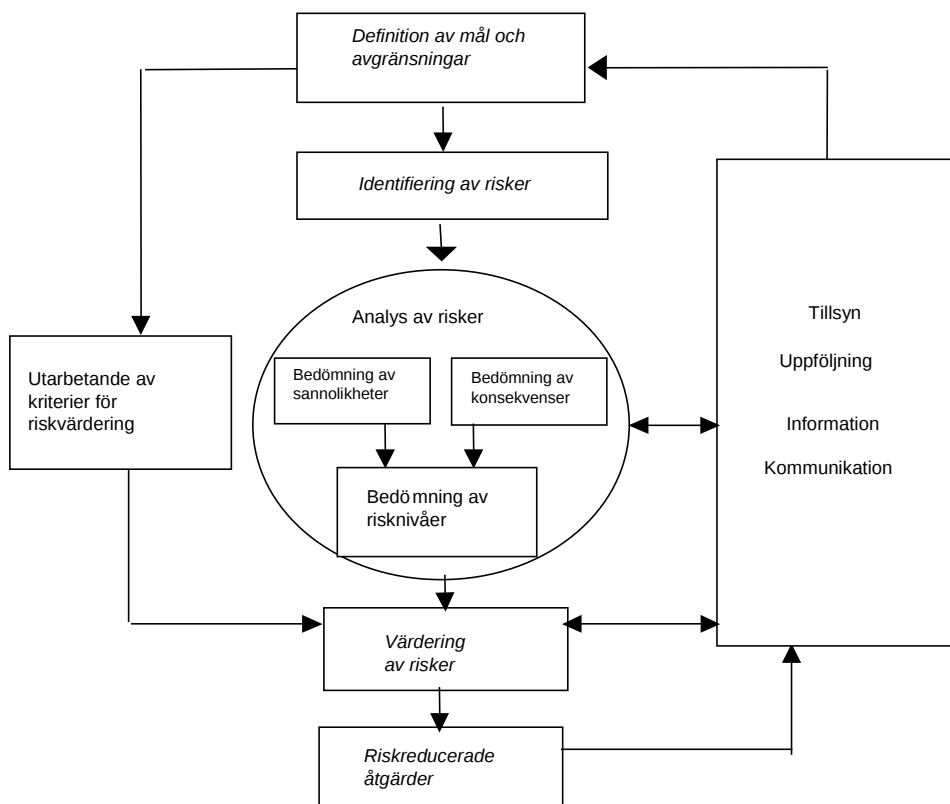
$$R_0 = P_0 \times K_0, \text{ där}$$

P_0 är sannolikheten (eller frekvensen) för olyckan och K_0 dess konsekvens. Man kan antingen räkna på risken för en olycka under en hel livslängd eller risken för att olyckan inträffar en gång. För konsekvenser med materiella skador, får risken för olyckan (R_0) enheten kr/år respektive kr. För dödsfall som konsekvens, blir enheten antal döda/år, respektive antal döda. Kopplat till kraven på leveranssäker el kan konsekvensen uttryckas som exempelvis "icke-levererad energi".

Riskanalys är en del av den mer omfattande riskhanteringsprocessen, vilken schematiskt kan beskrivas som i Figur 2.2. Det grundläggande med riskhanteringsprocessen är att det är en kontinuerlig process som omfattar analys, värdering, kommunikation och åtgärder. Målsättningen med en riskanalys är att belysa:

1. Vad kan inträffa?
2. Hur ofta förväntas det ske?
3. Vilka konsekvenser för det med sig?

Dessa kunskaper utgör underlag för värdering av riskerna och beslut om riskreducerande åtgärder.



Figur 2.2 Schematisk bild av riskhanteringsprocessen.

Risikanalys används i flera branscher för att systematiskt kartlägga riskerna i verksamheten och konsekvenserna av fel i verksamheten. För nätföretag är risikanalysen ett viktigt hjälpmedel för nätföretag att säkerställa en hög leveranssäkerhet. Med hjälp av risikanalys är det möjligt att optimera nätet utifrån tekniska, personella och ekonomiska faktorer. Enligt Statens energimyndighet (2005) skulle risikanalys bland annat kunna användas för:

- Att identifiera frekvenser för olika elstörningar i olika delar av ett elnät.
- Att bedöma vilka konsekvenser som inträffade fel kan orsaka.
- Att beräkna och förklara hur elstörningar kan sprida sig i ett elnät.
- Kartlägga hur stora riskerna är i olika delar av ett nät.
- Att simulera vilken effekt olika riskreducerande åtgärder har.

Ett nätföretag kan med stöd av en risikanalys identifiera och åtgärda de brister som finns på ett effektivt sätt. Regeringen anser i sin proposition 2005/06:27 om leveranssäkra elnät att risikanalyserna de närmaste åren lämpligen inriktas på att belysa brister och åtgärdsalternativ i eldistributionen i

förhållande till det krav på högst tjugofyra timmars elavbrott som skall vara uppfyllt senast den 1 januari 2011.

Det finns ingen riskanalysmetod som ensamt kan ge svar på samtliga frågeställningar. Valet av metod ska spegla det behov av information om risker som företaget har. Riskanalysmetoder kan delas in olika grupper beroende på deras grad av kvantifierbarhet.

Till de enklare metoderna sett ur ett kvantitativt begrepp hör t.ex. grovanalysmetoder, HazOp och liknande. Dessa är vanligen speciellt anpassade för olika verksamheter t.ex. kemisk processindustri. Resultatet är ofta i form av beskrivningar av skeenden vid olika förutsättningar. Metoderna används främst för att identifiera riskerna.

Nästa steg i raden av metoder för riskanalyser är de s.k. graderingsmetoderna eller indexmetoderna. De är något mer detaljerade i sin uppbyggnad och innehåller inslag av mått på konsekvenser av den oönskade händelsen samt sannolikheten för densamma. Dessa mått behöver inte utgöras av direkta siffermått utan kan beskriva storleksordningar. Den stora nyttan med denna typ av metoder är att de ger ett underlag för att kunna jämföra olika alternativ förenade med olika risk.

Den sista gruppen av metoder är där som risken beskrivs i kvantitativa termer t ex i sannolikheten för den oönskade konsekvensen eller i förväntat antal döda per år till följd av en viss verksamhet. Sannolikheten och konsekvensen för en viss händelse kombineras till ett riskmått. Det finns i dag vedertagna former för att genomföra s.k. kvantitativa riskanalyser för scenarier som beskrivs med hjälp av händelseträd. Dessa kan ta hänsyn till att t.ex. olika tekniska system inte fungerar, med given sannolikhet. Det är möjligt att på ett strukturerat sätt hantera osäkerheter.

2.3 Riskbilden

En översiktlig litteraturstudie kring orsaker till avbrott i elförsörjningen visar att det uteslutande handlar om fel på kraftöverföringen mellan stationer när omfattande elavbrott inträffar i nät 0,4 till 130 kV. Inget av de större avbrott som finns dokumenterade visar på fel i fördelningsstation, nätstation eller kabelskåp. En trolig anledning till detta är dels att dessa stationer är redundant uppbyggda samt att eventuella fel kan åtgärdas med tillfälliga lösningar på relativt kort tid.

Generellt sätt är väder och vind den främsta orsaken till elavbrott. Dock finns flera andra orsaker till avbrott. Exempel på händelser som orsakat avbrott på ledningar och kablar redovisas nedan:

- Oförsiktighet vid drift- och underhållsarbete
- Instabila grundförhållanden och vibrationer
- Svaga skarvningar
- Isolationsfel
- Överhettning vid överbelastning
- Åska, nederbörd och vind (fallande träd, saltbeläggning, isstorm)

- Yttre åverkan (avgrävning)
- Brand i kablar och transformatorstationer

Ett sätt att mäta konsekvensen av ett avbrott är icke-levererad energi (ILE). ILE är ett mått på hur många kunder som drabbats och hur lång tid avbrottet har varat. I slutet av 1990-talet inträffade knappt ett avbrott per år med en avbrottstid på 1-2 h. Mellan 1990-1998 inträffade drygt 100 avbrott som varade längre än ett dygn. Cirka 70 % av dessa avbrott orsakades av vind, snö och islast. Övriga i huvudsak av materialfel i jordkablar.

Avbrottsstatistik på regionnätets nivå visar att 132 kV luftledning har två avbrott per 100 km och år medan jordkabel har ett avbrott per 100 km och år. Huvudsakliga fel på luftledning är åska och för jordkabel är det utrustningsfel. Riktigt svåra stormar (Gudrun) inträffar cirka en gång per 25 år, medan mindre svåra stormar inträffar en gång per 10 år.

I utredningen om leveranssäkerheten i svenska elnät (Andersson, 2001) framgick att den främsta orsaken till elavbrott är trädfall vid storm och snöoväder på oisolerade ledningar i ej trädsäkra ledningsgator. I kartläggningen drogs följande slutsatser:

- Regionnäten är vanligen okänsliga för väder och vind (utom i extrema fall) då de i huvudsak är trädsäkra och maskade.
- Lågspänningsnäten är till stor del kabelfierade och därmed okänsligt utformade.
- Problemen med avbrott finns i huvudsak hos lokalnäten på mellanspänningsnivå.

Dock visade erfarenheter från stormen Gudrun inget samband mellan kabelfieringsgraden och antalet drabbade kunder. Inte heller fanns det något samband mellan röjningsfrekvensen av ledningsgatorna och antalet drabbade.

2.4 Prioriteringsfrågeställningar

IVA (2004) ger en rad exempel på hur leveranssäkerheten i elnäten kan förbättras. Det handlar i huvudsak om att bygga robustare elnät och möjliggöra för effektivare reparation. Robustare elnät fås genom att ersätta oisolerade 10-20 kV ledningar i skogsmark med ett trädsäkert alternativ. Lämpliga åtgärder är:

- Isolera blanktråd (byta ut fri ledning mot belagd ledning eller hängkabel).
- Bredda ledningsgator och göra dem trädsäkra.
- Röja befintliga ledningsgator.
- Maskning av nätet med nya oberoende ledningsgator.

Att lägga ut jordkabel ger det säkraste nätet, med en minskning av störningskänsligheten med en faktor 10 (se Tabell 2.1). Jordkabel plöjs ner när det är möjligt, gärna intill vägar och banvallar. Om det krävs mycket schaktning och sprängning är jordkabel troligen inte det mest kostnadseffektiva alternativet. Kostnaden för jordkabel är högre än för isolerad lina. Dock kräver luftledningar ett annat underhåll och sett över den

ekonomiska livslängden anger IVA (2004) att jordkabel är billigare än isolerad luftledning. Det är framförallt de låga underhållskostnaderna som talar till jordkabelns fördel, även om ombyggnadstiden är längre än den för isolerad ledning.

Oisolerad lina klarar inte av att falla till marken vid storm eller snöoväder utan att orsaka avbrott. Givet att luftledning är det mest fördelaktiga alternativet kan denna bytas mot belagd (isolerad) lina eller mot hängkabel. Om en isolerad lina faller till marken avbryts ej kraftöverföringen. Ofta har klen gammal lina för svaga stolpar för att hänga belagd lina i. Vid utbyte krävs därför också en nyinvestering i stolpar. Jordkabel läggs vanligen längs vägar och plöjs ner. I runda tal innebär minskar störningarna med 90 % om oisolerad ledning ersätts med jordkabel och med 60 % om den ersätts med belagd (isolerad) lina.

Tabell 2.1 Reduktion av störningskänslighet och kostnad för ombyggnad vid byte från friledning till antingen isolerad lina, hängkabel eller jordkabel. Från Andersson (2001).

	Relativ störningskänslighet	Kostnader för ombyggnad
Friledning	-	-
Isolerad lina	50 %	121 000 kr/km
Hängkabel	30 %	350 000 kr/km
Jordkabel	10 %	220 000 kr/km

3 Kravbild

Generella krav på en riskanalys är att den ska vara kontrollerbar och repeterbar. Kontrollerbarheten syftar till att det ska vara möjligt för en utomstående att granska metodik, indata, modell och resultat. Repeterbar innebär bland annat att det ska vara möjligt att följa riskanalysen, upprepa den och få likvärdiga resultat. Därför är det nödvändigt att på ett tydligt sätt redovisa antaganden, förenklingar och avgränsningar. En öppen och tydlig analys är att föredra.

Riskanalyser anpassade för att studera leveranssäkerhet i elnätet är en del av det beslutsunderlag som krävs för att avgöra hur förbättringar ska utformas och prioriteras. Med nuvarande investeringstakt efter stormen Gudrun kommer det att ta ca 25 år innan oisolerad lina i mellanspänningsnätet har blivit ersatt. Behovet att på ett strukturerat sätt finna vilka åtgärder som ger störst reduktion av icke-levererad energi är stort, samtidigt som det är nödvändigt att genomföra en stor mängd analyser på kort tid. Den modell som utvecklas inom projektets ramar bör:

Vara så enkel som möjligt, men inte för enkel

En enkel analys är lätt att förstå och beskriva. Transparensen ökar och därmed också förtroendet för slutsatserna. Modellen ska vara repeterbar och inte kräva någon särskild kompetens annat än kunskaper om det egna elnätet.

Grov i sin struktur, med möjlighet att förfina

Analysinsatsen ska stå i proportion till nyttan – ”hellre ungefär rätt än exakt fel...” Den grova strukturen gör det möjligt att snabbt och schematisk kartlägga elnätet och identifiera svaga punkter. Det ska vara möjligt att komplettera med ytterligare analys av dessa svaga punkter i en modell med högre upplösning.

Användbar och trovärdig

Resultatet av analysen måste uttryckas i termer som kan förstås och tolkas av ledningen. Det är nödvändigt att osäkerheten i analysens resultat måste vara inom acceptabla gränsvärden.

3.1 Riskanalys för kartläggning

Metoden för kartläggning skall kunna skilja olika delar av ett nät åt med avseende på avbrottsriskerna. Resultatet skall användas för att prioritera mellan åtgärdsbehov för olika delar av nätet. Resultatet måste således ge ett (1) samlat mått på risken för varje del av nätet, och detta värde ska vara jämförbart mellan alla olika delar av nätet, och oberoende av vem som utfört analysen. Det är viktigt att metoden är tillräckligt snabb att använda för att analyser skall hinna genomföras för större delen av nätet innan prioriteringar av olika sträckor behöver göras.

Det finns inga krav på att resultatet av metoden skall vara ett enhetligt mått som kan jämföras med helt andra riskbedömningar.

3.2 Risk/beslutsanalys för prioriteringsproblem

Metoden för prioriteringsstöd skall, med avseende på avbrottsriskerna, kunna skilja olika investerings- och reinvesteringsalternativ åt. Resultatet skall användas för att indikera nätägarens preferenser i val av åtgärd. Därvid ska ett (1) mått erhållas för varje identifierat alternativ. Ett urval av åtgärder skall vara sammantaget jämförbara, t ex åtgärder för nätsträckor med motsvarande initial risk, med god precision.

Det finns inga krav på att resultatet av metoden skall kunna jämföra alternativ med mycket varierande initial risk. Det finns inga krav på att resultatet av metoden skall vara ett enhetligt mått som kan jämföras med helt andra investeringsalternativ än riskreducerande åtgärder. Det krävs inte heller av metoden att helt andra aspekter än riskreduktion beaktas.

4 Riskanalyismetoder, översikt

Det finns en stor mängd mer eller mindre distinkta metoder för riskanalys (och även beslutsanalys). De bär alla en historia av att ha utvecklats för någon specifik bransch eller tillämpning (t ex rymd-, kärnkrafts, kemisk industri) och är präglade av olika vetenskapsgrenar (statistik, kemi, fysik etc).

I de följande kapitlen redovisas några metoder som är allmänt förekommande i industriella tillämpningar. Redovisningen av respektive metod är uppdelat i en allmän beskrivning, positiva och negativa sidor av metoden samt en grov bedömning hur metoden skulle kunna användas inom elnätsbranschen.

Redovisningen är menad att vara kortfattad. För utförligare beskrivningar av eller information om respektive metod hänvisas till existerande beskrivningar över olika riskanalyismetoder, både generella och specifika för tillämpningar inom vissa branscher. Beskrivningar finns både på engelska och svenska, några referenser listas nedan:

- Tekniska riskanalyismetoder (Riskhantering 3), Kemikontoret 2001
- Handbok för riskanalys, Davidsson m fl, Räddningsverket 2003
- Riskhantering vid skydd mot olyckor – problemlösning och beslutsfattande, Mattsson, Räddningsverket 2000
- Att skydda och rädda liv, egendom och miljö, Räddningsverket 1989.
- Planera för det okända?, FOA 1994
- Chemical process quantitative risk analysis, CCPS 1989
- Tools for making acute risk decisions, CCPS 1995
- Tools to aid environmental decision making, Dale m fl 1999
- Risk – analysis, perception & management, Royal Society 1992

4.1 Grovanalys

Grovanalys benämns ibland preliminär riskanalys (Preliminary Hazard Analysis, PHA) för att den ofta används i tidiga skeden av olika projekt. Metoden används då för att erhålla en översiktlig bild av de viktigaste riskkällorna i nya projekt och för att ge vägledning i alternativa utföranden och för att avgöra behovet av mer detaljerade analyser (Davidsson, 2003). Metoden bygger på identifiering och bedömning av ett systems riskkällor utan hänsyn till detaljer inom systemet. Metoden resulterar i en förteckning över skadehändelser för de identifierade riskkällorna, kompletterat med värdering av sannolikheter och konsekvenser (S och K), se Tabell 4.1.

Tabell 4.1 Karaktäristisk mall vid nyttjande av grovanalys.

Riskkälla	Skadehändelse	Skadeobjekt	Konsekvens	K	S
-----------	---------------	-------------	------------	---	---

Positivt: Lättanvänd och snabb metod med god översikt (tar lite resurser). Flexibel metod som kan anpassas till de flesta verksamheter. Ger ett bra underlag för prioriteringar och fortsatt arbete.

Negativt: Analysen är inte utformad för att jämföra olika händelser eller olika system med varandra. Analysresultatet beror helt på analysgruppens förmåga, vilket innebär att händelser kan missas.

Inom elnätsföretag skulle metoden kunna användas på något av följande sätt:

- *Analys av anläggningsdelar enligt en förbestämd checklista/förteckning över händelser. Med sådana generella händelser och ett väldefinierat bedömningsunderlag skulle risknivåer mellan olika anläggningsdelar kunna skattas och värderas. Beroendet av analysgruppens förmåga kan samtidigt minimeras.*
- *Analys över yttre eller extrema händelser som kan påverka flera nättdelar samtidigt, vilket kan ge grund för fler detaljerade studier.*

4.2 What-if analys

What-if analysens syfte är att identifiera oplanerade händelser, dess orsaker och att analysera om de kan leda till skadehändelser (Kemikontoret, 2001). Metoden har inslag av "brainstorming" och nyttan av analysen beror på analysgruppens erfarenhet och fantasi. En karaktäristisk mall vid nyttjande av denna analys presenteras i Tabell 4.2. Analysen kan kompletteras med skattningar av sannolikheter och konsekvenser. Metoden resulterar i en förteckning över oönskade händelser och förslag på riskreducerande åtgärder.

Tabell 4.2 Karaktäristisk mall vid nyttjande av What-if analys.

Vad kan hända? Vad händer om?	Orsak	Konsekvens	Vidtagna åtgärder	Rekommenderade åtgärder

Positivt: Flexibel metod vars detaljeringsgrad kan varieras efter behov och tillgängligt underlag.

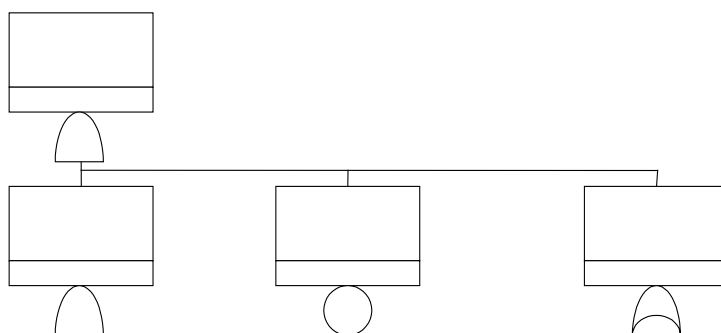
Negativt: Analysen är inte utformad för att jämföra olika händelser eller olika system med varandra. Analysresultatet beror på analysgruppens förmåga, vilket innebär svårigheter att jämföra olika analyser.

Inom elnätsföretag skulle metoden kunna användas på något av följande sätt:

- *Analys av anläggningsdelar enligt en förbestämd checklista/förteckning över händelser. Med sådana generella händelser och ett väldefinierat bedömningsunderlag skulle risknivåer mellan olika anläggningsdelar kunna skattas och värderas. Beroendet av analysgruppens förmåga kan samtidigt minimeras.*
- *Analys över extrema händelser som påverkar flera nätdelar samtidigt. En "riktig" what if analys som identifierar yttre påverkan på elnätssystemet, dvs oönskade händelser på systemet kraftöverföring.*

4.3 Felträdsanalys

Felträdsanalys är en logiskt uppbyggd analysmetod som används för att härleda orsaker till en olycka/skadehändelse (Kemikontoret, 2001). Metoden bygger på att en så kallad topphändelse definieras, vars orsaker bryts ner till primära fel och kombinationer av fel som leder till händelsen. Både felhandlande av människor och utrustningsfel kan behandlas. Resultatet kan både presenteras som en struktur av logiska kedjor och samband samt som beräknade värden för olika felhändelser som resulterar i den definierade topphändelsen. Metoden utvecklades inledningsvis för militären och rymdindustrin, och används regelmässigt inom kärnkraftsindustrin. Metoden har medfört utveckling av egen matematik och speciell mjukvara. En principbild på en del av ett felträd framgår av Figur 4.1.



Figur 4.1 Principbild över toppen av ett felträd. En topphändelse beror i detta fallet på tre samverkande felhändelser, varav två har bakomliggande orsaker.

Positivt: Metoden är logisk och fungerar både kvalitativt och kvantitativt. Väl anpassat för att nyttja felfrekvenser och att ta hänsyn till samverkande faktorer.

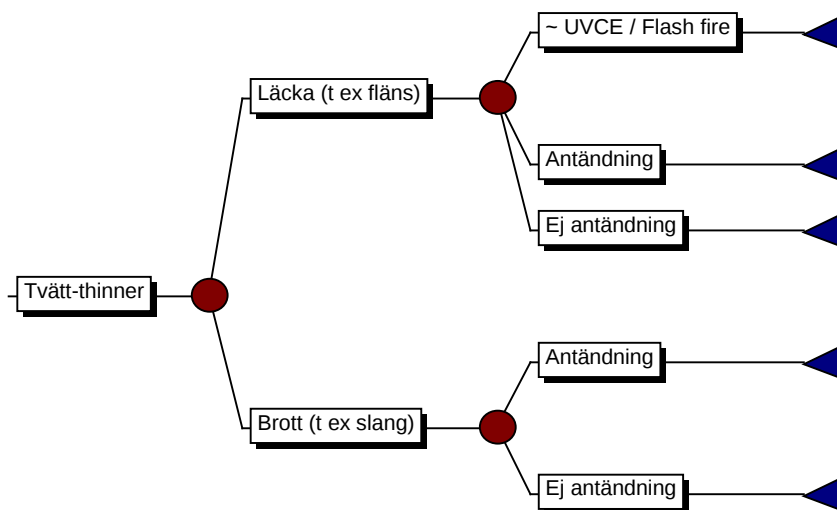
Negativt: Tar tid och kräver mycket metodkunskap (resurskrävande). Kan snabbt bli svåröverskådligt/komplext. Kräver att en topphändelse kan definieras.

Inom elnätsföretag skulle metoden kunna användas på något av följande sätt:

- För väldefinierade, kritiska händelser kan felhändelser struktureras och systematiseras. Felfrekvensen för topphändelsen kan kvantifieras om tillräckligt med data finns, eller kan skattas, för grundläggande felhändelser.

4.4 Händelseträdsanalys

Händelseträdsanalys används för att bestämma vilka olika skadehändelser som en specifik utlösande händelse kan leda till (Kemikontoret, 2001). Händelseträdsanalysen kan ta hänsyn till människors agerande och skydd/säkerhetssystem eventuella respons. Ett händelsetråd är möjligt att kvantifiera för att bedöma frekvensen av olika utfall (skadehändelser) och för att värdera olika skyddsåtgärders effekt. Ett exempel på en enkel struktur redovisas i Figur 4.2.



Figur 4.2 Ett enkelt händelsetråd för utsläpp av thinner från ett tvättsystem.

Positivt: Enkel struktur som ger god överblick. Kan hantera säkerhetsfunktioner (skyddsbarriärer). Möjlig att kvantifiera för att värdera olika skyddsåtgärder.

Negativt: Viss metodkunskap och erfarenhet krävs för att nå en bra struktur.

Inom elnätsföretag skulle metoden kunna användas på något av följande sätt:

- Metoden skulle kunna användas för att strukturera/generalisera förlopp vid påverkan på näten och stationerna från yttre händelser. Strukturen skulle kunna användas för att hitta nya eller förändrade strategier för skydd mot sådana händelser.

4.5 Feleffektsanalys (FMEA)

En feleffektsanalys innebär en genomgång och förteckning av möjliga felfunktioner och feltillstånd hos komponenter/delar i ett system jämte deras effekt på systemet i sin helhet. Metoden bygger på att ett systems respons på avvikelser hos enskilda komponenter kan bedömas, och används huvudsakligen i detaljprojektering av system för att dessa inte ska kunna ge oacceptabla systemfel vid enskilda komponenters fel.

Positivt: Systematisk.

Negativt: Svårt för att hantera annat än enkelfel. Potentiellt resurskrävande.

Inom elnätsföretag skulle metoden kunna användas på något av följande sätt:

- *Metoden används sannolikt vid projektering/produktion av nät- och fördelningsstationer.*
- *Metoden skulle kunna användas för att analysera fel i styr- och övervakningssystem av nät.*

4.6 Statistiska analyser

Med 'statistiska analyser' avses ett par statistiska analysmetoder som kan användas för riskbedömningar eller som underlag till sådana bedömningar.

Extremvärdesanalys: En statistisk analys som baserat på serier av mätdata gör det möjligt att uttala sig om *maximala* värden – både till frekvens och intensitet. Detta beror på att "svansen", dvs en fördelnings yttre fraktil (som skall vara liten), på i stort sett alla fördelningar liknar en exponentialfördelning. Fördelningen av de maximala värdena närmar sig en extremvärdesfördelning, ofta en Gumbelfördelning. Extremvärdesfördelningar kan emellertid skrivas i en generaliserad form som är beroende av skal- och lägesparametrar. (Gumbelfördelningen är alltså ett specialfall av denna.) Som en variant kan man använda POT (Peaks Over Threshold) som ett sätt att utnyttja måttligt extrema värden för att uttala sig om mer extrema värden. Man mäter då *överskottet* över en viss, rimligt hög, nivå. Detta överskott antar då en generaliserad Paretofördelning och gör det möjligt att bedöma storleken på överskotten (i framtiden).

Poissonregression: En statistisk analys som kan användas för att bedöma frekvenser av återkommande händelser och kan användas tillsammans med extremvärdesfördelningar för att bedöma hur ofta de extrema värdena kan tänkas uppträda. Det är även möjligt att använda poissonregression för att analysera incidentstatistik.

Expertbedömningar: Genom att fråga ett antal experter om deras bedömningar av både inträffade händelser och kring framtida händelser och dessutom be experten att skatta sin bedömningsförmåga är det möjligt att på ett sinnrikt sätt kombinera flera experters utlåtande där större vikt tillmäts de experter som varit bättre på att skatta inträffade händelser och mest vikt för de som varit säkra på sina bedömningar. Metodiken bygger på en sammanvägning av flera experters bedömningar av framtida/okända händelser kalibrerade mot empiriskt kända fakta.

Positivt: Baserat på vedertagen statistisk teori.

Negativt: Resurskrävande och stort behov av kvalitet på indata.

Inom elnätsföretag skulle metoden kunna användas på något av följande sätt:

- *Metoderna används sannolikt vid analyser av olika extrema väderpåkänningar (vindhastigheter och snömängder).*
- *Metoderna skulle eventuellt kunna användas för att skatta frekvensen av olika kritiska händelser eller tillstånd (expertbedömningar).*
- *Metoderna används sannolikt för att bestämma felfrekvenser för olika typer av material/utförande etc.*

4.7 Indexmetoder

En variant av metod för grovriskanalys är de s.k. graderingsmetoderna eller indexmetoderna. Indexmetoderna bygger på att ett index beräknas som en följd av ett antal parametrar. Indexvärdet påverkas negativt av förhållanden som påverkar risken negativt (ökande index) och positivt av riskreducerande åtgärder. Indexmetoderna är något mer detaljerade i sin uppbyggnad och innehåller inslag av mått på konsekvenser av den oönskade händelsen samt sannolikheten för densamma. Den stora nyttan med denna typ av metoder är att de ger ett underlag för att kunna jämföra olika alternativ förenade med olika risk. De ger alltså en rangordning på alternativen uttryckt i risk.

Positivt: Enkel att använda när metoden anpassats till den specifika användningen, jämförbara resultat.

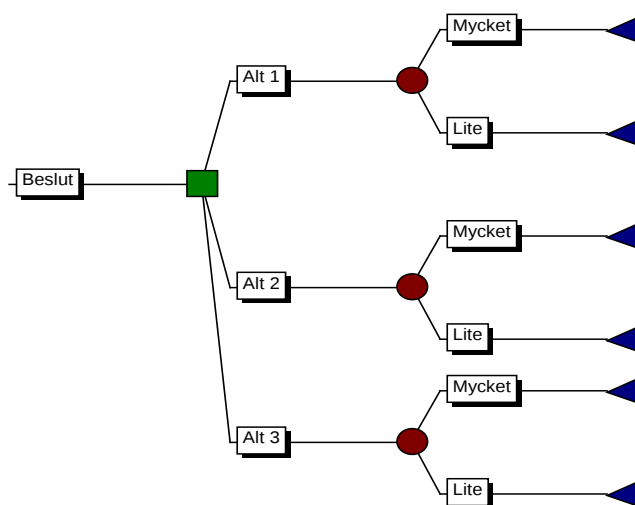
Negativt: Initialt resurskrävande vid definition av parametrar och deras viktning. Avgränsningar (av analysens mål och av analyserat system) är nödvändigt och kan påverka resultatet.

Inom elnätsföretag skulle metoden kunna användas på något av följande sätt:

- *Metoden skulle kunna användas såväl för att kartlägga risker som för att prioritera mellan åtgärdsalternativ. En fungerande metod kräver ett gediget tillgängligt dataunderlag och ganska omfattande validering.*

4.8 Beslutsanalys

Beslutsanalys är en formell metod för att strukturera, analysera och kommunicera beslutsproblem (CCPS, 1995). Beslutsanalysen bygger på att ett beslutsproblem kan brytas ner i en beslutsmodell som tar hänsyn till tillgängliga alternativ, preferenser och information som påverkar beslutet/valet. Beslutsanalysens struktur kan liknas vid händelseträdets där den första grenen utgör de olika alternativen på lösning och där efterföljande grenar är skillnader i utfall som beror på yttre omständigheter/faktorer. Ett enkelt exempel med tre beslutsalternativ och en yttre faktor (med två lägen) framgår av Figur 4.3.



Figur 4.3 Ett enkelt exempel på strukturen för en beslutsanalys. Tre alternativ jämförs, där utfallet påverkas av en yttre faktor som antas ha två lägen (mycket respektive lite).

Positivt: Strukturerad metod som redovisar alternativ och bedömningsgrunder på ett överskådligt sätt. Möjligt att genomföra känslighetsanalys för att bedöma nyttan av ytterligare information.

Negativt: Kräver att alla aspekter på ett beslutsproblem kan behandlas i ett attribut (dvs en enhet, t ex pengar). Kräver viss metodvana och tid.

Inom elnätsföretag skulle metoden kunna användas på något av följande sätt:

- *Metoden skulle kunna användas vid alternativjämförelser generellt, och vid val av investeringsalternativ (riskreducerande åtgärder) specifikt, om yttre faktorer definieras.*

4.9 Multiattributiv nyttoanalys

Multiattributiv nyttoanalys är liksom beslutsanalys en formell metod för att strukturera, analysera och kommunicera beslutsproblem (CCPS, 1995). Till

skillnad från beslutsanalysen så kan den multiattributiva analysen hantera flera olika målsättningar. Grunden i analysen är att skapa värdefunktioner som gör det möjligt att väga samman olika alternativs nyttor och hur de påverkar olika målsättningar.

Positivt: Metoden kan hantera mycket komplexa problemställningar på ett stringent sätt. Överskådlig i problematiseringen.

Negativt: Resurskrävande, och kräver mycket erfarenhet. Svårt att hantera flera beslutsfattare.

Inom elnätsföretag skulle metoden kunna användas på något av följande sätt:

- *Metoden skulle eventuellt kunna användas vid generella alternativjämförelser, t ex investeringsalternativ, om värdefunktioner och yttre faktorer definieras.*

4.10 Kostnad/nytta analys

Kostnads/nytta analysen är en metod som svarar mot behovet av att avgöra hur gemensamma (typiskt samhällets) resurser används på bästa sätt (Mattsson, 2000). Det finns dock olika ansatser för vad som kan anses vara det bästa beslutet (CCPS,1995). Kostnads/nytta analysen bygger på att ett par alternativa åtgärder eller strategier kan definieras, och att man för varje alternativ kan identifiera och värdera samtliga kostnader och nyttor som alternativen medför. Samtliga kostnader och nyttor måste mätas i samma enhet, vilket normalt innebär monetära termer. För att möjliggöra en jämförelse måste alla nyttor därför värderas ekonomiskt (liksom eventuella onyttor). Betalningsvilja kan därför bli en viktig parameter för att värdesätta olika nyttor. Till slut jämförs kostnader och nyttor enligt ett beslutskriterium (det finns flera) för att avgöra vilket alternativ som är bäst.

Positivt: Objektiv metod med enkel princip. I teorin maximeras nyttan av investerade pengar.

Negativt: Svårt att definiera och värdera alla nyttor. Svårt att hantera osäkerheter med avseende på beslutskriterier.

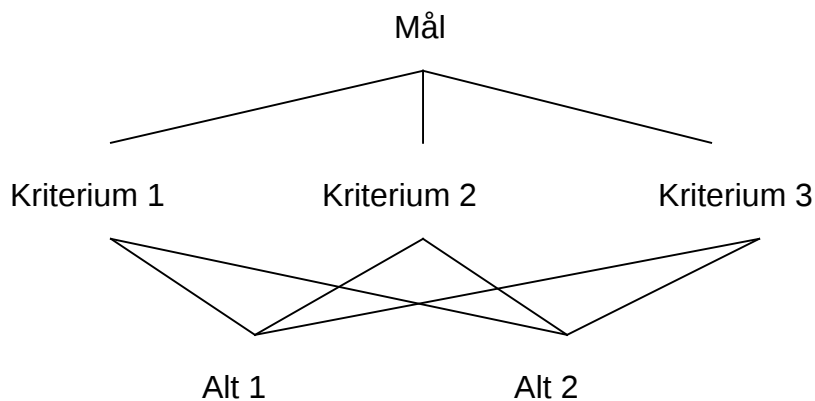
Inom elnätsföretag skulle metoden kunna användas på något av följande sätt:

- *Generell analys för att avgöra brytpunkter för vid vilka förutsättningar olika åtgärdsalternativ är de bästa.*
- *Underlag för beslut om bästa åtgärd eller bästa sträcka för åtgärd (investering/reinvestering) om kostnader och nyttor definieras.*
- *Underlag för beslut om bästa åtgärd eller bästa sträcka för åtgärd (investering/reinvestering) om enbart kostnader och nyttor förknippade med avbrottsrisker definieras.*

4.11 Analytical Hierarchy Process

Analytical Hierarchy Process (AHP) har ingen känd vedertagen svensk översättning. AHP bygger på en hierarkisk strukturering av beslutsproblemet (CCPS, 1995). Struktureringen omfattar ett övergripande mål som bryts ner i kriterier som leder till målet, se Figur 4.4. Analysen omfattar prioriteringar

mellan kriterierna, nedbrytning i delkriterier/parametrar och parvisa jämförelser mellan de olika alternativen för vart och ett av kriterierna. Jämförelserna resulterar i en mängd matriser som i slutändan ger rekommendation om vilket alternativ som ska väljas.



Figur 4.4 Schematisk bild över beslutshierarkin av ett beslutsproblem i AHP.

Positivt: God struktur på beslutsproblem, parvisa jämförelser gör bedömningar relativt enkla och konsistenta.

Negativt: Kritik har riktats mot matematiken i metoden, vilket kan resultera i att den slutliga rekommendationen inte speglar beslutsfattarens preferenser.

Inom elnätsföretag skulle metoden kunna användas på något av följande sätt:

- *Metoden skulle kunna användas för att jämföra investeringsalternativ på olika delar av nät där utbytet av investeringen har flera olika parametrar att ta hänsyn till.*

5 Riskanalysmetod, val

Enligt Davidsson (2003) skiljer sig riskanalysmetoder åt som gör att man måste välja en metod som är antingen grov eller detaljerad, kvalitativ eller kvantitativ, deterministisk eller probabilistisk samt induktiv eller deduktiv. Det finns analysmetoder som är lite av varje.

I valet mellan grov eller detaljerad analys menar Davidsson (2003) att det framförallt är följande parametrar som ska tas hänsyn till:

- Var i riskhanteringsprocessen man befinner sig, och vilken fas verksamheten befinner sig i.
- Syftet med analysen.
- Tillgängliga resurser.

Beträffande elnätet är verksamheten i full drift sedan lång tid. Riskhantering förekommer, men är inte ett vedertaget eller standardiserat arbetssätt. Syftet med metoderna är att de ska utgöra ett verktyg som kan stödja beslut om var åtgärder krävs och vilken åtgärd som är mest effektiv. Resursförbrukningen för analys bör vara så liten som möjligt med tanke på det stora antalet nätdelar och åtgärdsalternativ som ska analyseras. Därtill bör metoden vara enkel så att personer i organisationerna med kunskap och erfarenhet av nät kan genomföra analyserna.

Vid val av metod gjordes en del antaganden, dessa antaganden togs fram efterhand som de olika metoderna "testades" på det fiktiva exemplet. Exempel på sådana antaganden är:

- Risker för miljö, hälsa och egendom. Regleringen för dessa risker och konsekvenserna skiljer sig åt från avbrottsriskerna och löses därför genom andra typer av analys.
- Risker för avbrott mindre än 12 timmar skiljer sig mycket åt från de avbrott som varar mer än 12 timmar. Skillnader finns både i orsaker, frekvenser, konsekvenser och återställningsmöjligheter och löses därför genom andra typer av analys.
- Sekundärskador regleras inte av funktionskravet. Därför begränsas analysen till att omfatta icke-levererad energi (ILE). Konsekvenserna av utebliven energi är intressant, men en stor och öppen frågeställning i sig.

5.1 Metodjämförelse

5.1.1 Kartläggning av risker

För att göra en jämförelse mellan de olika analysmetoderna lämpliga för kartläggning av risker har ett antal kriterier bedömts med +/- . Kriterierna är framtagna för att bedöma hur väl de olika metoderna stämmer överens med

kravbilden och kan beskrivas med följande frågeställningar (+ erhålls om frågan kan besvaras med "ja"):

Kompetens: Kräver metoden relativt lite utbildning/erfarenhet för att kunna användas?

Resurs: Är metoden relativt resurssnål?

Indata: Är tillgång på indata relativt stor i jämförelse med behovet?

Detaljnivå: Beaktar metoden detaljer i relativt hög grad?

Resultat: Är metodens resultat lätt att förstå/tolka?

Objektivitet: Är metoden oberoende av vem som gör analysen?

Flexibilitet: Är metoden relativt lätt att anpassa till olika typer av system/anläggningar?

Som grund för bedömningarna ligger förutom tidigare erfarenheter av metoderna även test av respektive metod på ett fiktivt exempel. I Tabell 5.1 redovisas resultatet av bedömningarna.

Tabell 5.1 Redovisning av metodjämförelse.

	Kompetens	Resurs	Indata	Detaljnivå	Resultat	Objektivitet	Flexibilitet
Grovanalys	+	+	+	-	+	-	+
What if	+	+	+	-	-	-	+
Felträd	-	-	-	+	+	+	-
Händelse-träd	-	-	-	+	+	+	-
FMEA	-	-	-	+	+	-	-

5.1.2 Prioritering av åtgärder

Valet av metod för prioritering av åtgärder har sedan bestämts utifrån hur de olika metoderna kan ta tillvara resultaten från kartläggningsmetoden och använda dessa i prioriteringssyfte.

5.2 Metodval

5.2.1 Kartläggning av risker

För kartläggning av risker väljs en grovriskanalys. Motivet till detta är att denna metod har flest positiva bedömningskriterier enligt metodjämförelsen. Metoden bedöms även vara möjlig att utifrån användningsområdet anpassas för att minimera de svagheter som ändå finns i metoden. Objektiviteten är t ex möjlig att stärka genom att tydliggöra värderingskriterierna och de negativa effekterna av en bristande detaljnivå kan accepteras eftersom

metoden vid behov kan användas som urvalskriterium för i vilken omfattning mer avancerade och detaljerade analyser krävs.

5.2.2 Prioritering av åtgärder

För prioritering väljs kostnad/nytta analys som bas. Motivet till detta är att denna modell enkelt kan kombineras med grovanalysen som kartläggningsmetod samt att den är relativt enkel och resurssnål att utföra. Metoden kan sammanfattas som en skattning av riskreduktion enligt metod "kartläggning", före och efter genomförd åtgärd samt en grov skattning av kostnader.

5.3 Anpassning av metoderna

Arbetet med att anpassa metoderna till elnätsföretagande har varit en iterativ process. Inledningsvis testades varianter på olika metoder i idéstadiet, baserat på den kravbild som redovisats i Kapitel 3. Det slutliga valet av grovriskanalys innebar en flexibel plattform att bygga på, men även en flora av alternativa utformningar. I anpassningen till elnät konstateras att nätet har en principiellt enkel och lättförståelig uppbyggnad, men samtidigt att det finns många varianter och att nätets totala struktur är komplex och svår att överblicka. Avgränsningar av olika analysenheter är därför kritisk.

Grunden i grovriskanalysen bygger på att skadehändelser identifieras och att bedömningar görs med avseende på sannolikhet och konsekvens. I anpassningen har sannolikhet och konsekvens ersatts av de elnätsspecifika parametrarna belastning, exponering och maskning.

I tidiga utkast gjordes åtskillnad mellan olika långa avbrottstider och ett stort antal händelser (storm, snöfall etc) definierades för vilka bedömningar skulle genomföras. De många bedömningarna innebar dock att analysen blev mer resurskrävande och att detaljeringsgraden inte motsvarade utbytet i resultat. Det fanns även en möjlighet att den "verkliga" risknivån skulle kunna döljas i ett stort antal bedömningar.

De vanligaste skalorna är tre-, fyr-, fem- och tiogradiga skalor. För att hitta rätt på skalorna krävs bedömningskriterier som beskriver vad de olika skalstegen innebär. I riskanalysen föreslås att endast fyra klasser används. Fördelen med att använda endast fyra klasser är att det kan vara lättare att intuitivt hitta rätt klass och att det inte finns ett alternativ i mitten som får oproportionellt stor betydelse. I det fortsatta arbetet kan viktningen av de fyra klasserna komma att justeras.

För åtgärdsprioriteringar används endast grundprincipen i kostnad/nytta analys – att relatera kostnader för en investering till dess nytta. I en strikt kostnad/nytta analys ska samtliga nyttor definieras och värderas i monetära termer och det låter sig inte göras så som funktionskravet är utformat och utan att värdera andra nyttor (eller onyttor) än riskreduktion med investeringarna. Därför görs en länkning till kartläggningsmetoden som innebär att reduktionen i det förvisso fiktiva riskmåttet används som nytta.

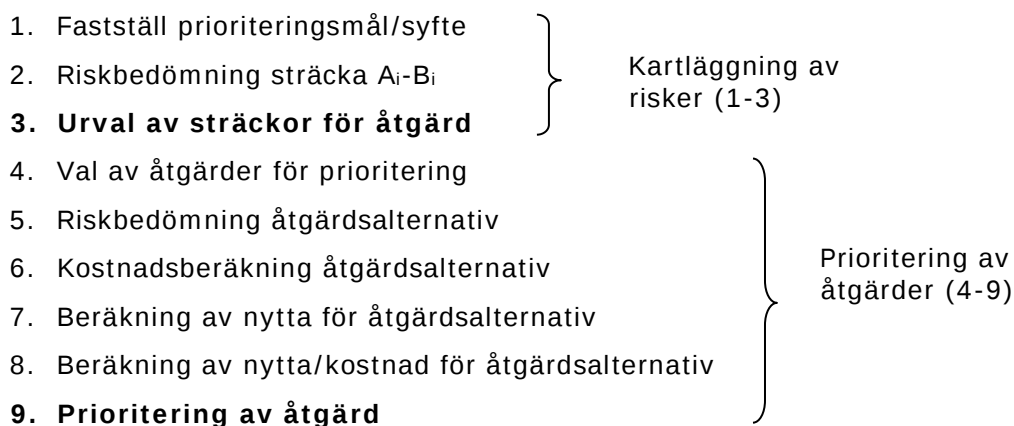
6 Resultat

I efterföljande underkapitel beskrivs den framtagna metod som föreslås användas för kartläggning av risker för avbrott >12 h och prioritering av riskreducerande åtgärder inom elnät mellan 145 och 0,4 kV.

Observera att beskrivningen är principiell och inte ett färdigt förslag avseende bedömning och värdering!!

6.1 Beskrivning process

Metodens process kan beskrivas enligt nedan (delmål redovisas i fet stil).



Beskrivning av genomförande av de redovisade delstegen ovan redovisas i avsnitt 6.2.

6.1.1 Förutsättningar, antaganden

Vid anpassning av metoden för användning på det komplexa elnätet har förenklingar och antaganden varit nödvändiga. De viktigaste av dessa är följande:

Trädsäker förläggning	mindre än 5% av ledningens längd är förlagd med oisolerad ledning med ledningsgata mindre än 24 m i skogsmark.
Belastningsgrad	Relativ bedömning av antalet och kunder och levererad energi, se vidare avsnitt 6.2.2. Bestämning av gränsvärden skall göras i etapp 2 av projektet.
God drifttillgänglighet	Årsmedelvärde avbrottstid understiger "normalvärde" för jordkabel, belagd ledning respektive oisolerad ledning. Bestämning av dessa respektive normalvärden skall göras i etapp 2 av projektet.

Dålig drifttillgänglighet Årsmedelvärde avbrottstid överstiger "normalvärde"
alternativt har avbrott > 12 h registrerats.

6.1.2 Kompetens och resurs

Den kompetens som krävs för att genomföra metoden är allmän kunskap om elnät mellan 145 och 0,4 kV samt kunskap om var relevanta indata kan inhämtas. Specifik erfarenhet av den aktuella nätdelen är ett plus.

Resurserna för att genomföra metoden är starkt beroende av hur indata kan inhämtas och hanteras. Metoden har potential att automatiseras, åtminstone delvis.

6.1.3 Indata

För riskbedömning av respektive sträcka krävs indata i form av:

- Levererad energi
- Antal kunder
- Sträckningens omgivning; skog, tunnel etc
- Ledningstyp; jordkabel, oisolerad luftledning eller belagd luftledning
- Särskilda kontrakt, t ex jordbruk/industri med speciella avtal
- Driftdata i form av årsmedelvärde avbrottstid samt eventuellt antal avbrott > 12 h.
- Leveransalternativ vid eventuellt avbrott

För bedömning av respektive åtgärd krävs:

- Längd på ledning som skall åtgärdas
- Investeringskostnad/m
- Underhållskostnad per år och m
- Livslängd

6.1.4 Dokumentation

Samtliga bedömningar skall dokumenteras i formulär, manuellt eller digitalt. Förslag på formulär redovisas i Bilaga 1 samt i exempel i avsnitt 6.3. I föreslaget formulär redovisas endast slutbedömningen för respektive parameter, dvs belastning, exponering och maskning, om justering av grundklassificeringen gjorts av någon speciell anledning skall detta dock anges som kommentar.

Metoden bedöms ha potential att automatiseras i det fall erforderliga indata finns dokumenterade digitalt.

6.2 Beskrivning genomförande

6.2.1 Fastställande av prioriteringsmål

Syftet med att fastställa prioriteringsmål är att göra klart från början vad analysresultatet skall kunna användas till och därmed eventuellt kunna förenkla analysen.

Prioriteringsmålet kan variera beroende på vilka av nedanstående frågeställningar som skall besvaras av analysen:

1. Vilken sträcka bör åtgärdas först?
2. Vilken åtgärd ger mest nytta för pengarna på bestämd sträcka A-B?
3. Vilken sträcka har mest nytta för pengarna av en bestämd åtgärd?
4. Vilken kombination av åtgärd och sträcka ger mest nytta för pengarna?

Om prioritering skall ske utifrån frågeställning 1 krävs endast att delsteg 1-3 genomförs. För att besvara övriga frågeställningar krävs att hela arbetsprocessen genomförs.

6.2.2 Riskbedömning av sträcka A_i - B_i

Riskbedömningen bygger på att följande tre parametrar klassificeras i en fyrgradig skala:

1. **Belastning** – klassificeras utifrån hur allvarliga konsekvenserna skulle kunna bli av ett avbrott
2. **Exponering** – klassificeras utifrån hur sannolikt är det att sträckan drabbas
3. **Maskning** – klassificeras utifrån hur känslig den aktuella sträckan är för avbrott

Ovanstående tre parametrar valdes mot bakgrund av att de bedöms vara de enskilt mest betydelsefulla parametrarna för att bedöma risken för avbrott längre än 12 timmar.

Klassificeringen av respektive parameter görs genom att bedöma ett antal faktorer, där den dominerande faktorn bestämmer grundklassificeringen och övriga, kompletterande, faktorer kan justera grundklassificeringen upp eller ned. Det är således bedömningen av de dominerande faktorerna som är de mest avgörande, och därför skall noggrannheten och objektiviteten vid bedömning av dessa prioriteras. Justering av grundklassificering skall även kunna ske om andra särskilda skäl finns (dessa måste i så fall dokumenteras i anslutning till klassificeringen). I Tabell 6.1, Tabell 6.3 och Tabell 6.4 redovisas de respektive dominerande parametrarna i kolumnen längst till vänster.

Belastning

Dominerande faktor vid värdering av belastning är antalet kunder i kombination med mängden levererad energi, kompletterande faktor är huruvida det finns kunder med särskilda kontrakt.

I nedanstående tabell redovisas grunderna för belastningsklassificeringen.

Tabell 6.1 Klassificering av parametern belastning.

Belastning	Inga särskilda kontrakt	Särskilda kontrakt
Få kunder och lite lev energi	1	2
Få kunder och mycket lev energi	2	3
Många kunder och lite lev energi	3	4
Många kunder och mycket lev energi	4	4

Vid bedömning av antal kunder och levererad energi utgås från normalläge eller årsmedelvärde. Hur många kunder och hur mycket energi levereras alltså normalt via denna sträckning? I tabell Tabell 6.2 redovisas ett ej underbyggt exempel på hur gränsvärden för indelning i olika belastningsgrader skulle kunna se ut. Fastställande av gränsvärden för bedömning av belastningsgraden skall ske i etapp 2 av projektet.

Tabell 6.2 Hypotetiska gränsvärden för belastningsgrad. Fastställning av gränsvärden för bedömning av belastningsgraden skall ske i etapp 2 av projektet.

Beskrivning	Kundantal	Mängd levererad energi
Många kunder/mycket lev energi	$\geq 20\ 000$	$\geq$ årsmedelvärde
Många kunder lite lev energi	$\geq 20\ 000$	$< 50\%$ av årsmedelvärde
Få kunder och mycket lev energi	$< 20\ 000$	$> 200\%$ av årsmedelvärde
Få kunder/lite lev energi	$< 20\ 000$	$<$ årsmedelvärde

Exponering

Den dominerande parametern vid bedömningen av exponeringen är trädsäkerheten på sträckan (kan ersättas med brandsäkerhet för tunnelförläggning). Kompletterande parameter är drifttillgängligheten. Motivet för att just beakta drifttillgängligheten är att denna kan ge en indikation på flera olika parametrar, såsom ålder, andel omgivande skog, avgrävningsrisker etc.

I tabell Tabell 6.3 redovisas grunderna för klassificering av exponering.

Tabell 6.3 Klassificering av parametern exponering.

Trädsäkerhets-alternativ	God drift-tillgänglighet	Dålig drift-tillgänglighet
Jordkabel	1	2
Hängkabel	1	2
Belagd ledning	2	3
Oisolerad ledning med trädsäker ledningsgata	2	3
Kabel i tunnel	3	4
Oisolerad ledning	3	4

Maskning

Den dominerande faktorn vid bedömning av maskning är antalet alternativa matningsvägar som finns och redundansen. Kompletterande faktor är enkelfelståligheten (dvs om samma fel kan slå ut en eller flera alternativa matningar). Bedömningen av enkelfelståligheten delas in i huruvida det finns leveransalternativ via både kabel och ledning eller om samtliga leveransalternativ är av samma typ (t ex kabel+kabel) samt huruvida leveransalternativen är trädsäkra eller inte.

Tabell 6.4 Klassificering av parametern maskning.

Leveransalternativ	Trädsäker	Ej trädsäker	Diversifiering*
Fler än en alternativ matningsväg	1	2	1
En alternativ matningsväg	2	3	1
Ingen	4	4	4

*Med diversifiering avses i detta fall att leverans av energi kan ske via jordkabel respektive luftledning.

Riskvärde

Sträckans riskvärde bestäms genom att multiplicera de tre klassificerade parametrarna med varandra. De erhållna riskvärdena efter multiplicering kan variera mellan 1 och 64. Genom att multiplicera de tre klassificerade parametrarna ges de samma vikt, dvs en fyra (4) på belastning har lika stort genomslag på riskvärdet som en fyra (4) på maskning.

6.2.3 Urval av sträckor för åtgärd

För att begränsa antalet sträckor för vidare analys kan ett urval göras utifrån resultatet av den genomförda riskbedömningen. Resonemang för urval kan tex vara att helt enkelt välja ut de 100 sträckor som bedömts ha den största risken, alternativt kan alla sträckor med ett visst riskvärde väljas ut för vidare åtgärdsprioritering. Vid urval skall motiv redovisas och planerad hantering av de sträckor som ej väljs skall beskrivas. Vid urval skall hänsyn tas till det uppsatta prioriteringsmålet.

6.2.4 Val av åtgärder för prioritering

I tabell Tabell 6.5 redovisas möjliga åtgärdsalternativ och i vilken omfattning dessa har potential att påverka de tre ingående parametrarna i riskbedömningen.

Tabell 6.5 Översikt över vilka parametrar som kan komma att påverkas vid genomförande av olika åtgärder.

Åtgärdsalternativ	Belastning	Exponering	Maskning
Ny ledning utöver befintlig	X		X
Ersätta befintlig ledning med kabel		X	X
Ersätta oisolerad ledning med belagd		X	
Bredda ledningsgata		X	

Val av åtgärdsalternativ för vidare risk- och kostnadsbedömning görs genom att bedöma vilken effekt de kan ha på respektive sträcka som skall åtgärdas.

6.2.5 Riskbedömning av respektive åtgärdsalternativ

Den eller de åtgärder som skall prioriteras värderas genom att en ny riskbedömning för sträckan görs enligt avsnitt 6.2.2.

Riskbedömningen kan även användas för att kontrollera den aktuella åtgärdens effektivitet för att avgöra huruvida en kostnadsberäkning skall göras för åtgärden eller en annan åtgärd skall väljas.

6.2.6 Kostnadsberäkning åtgärdsalternativ

Kostnaden beräknas som summan av investeringskostnad och nuvärdesberäkning av framtida underhålls- och driftkostnader under den antagna livstiden. Vid analys krävs beslut om ekonomisk livstid och diskonteringsränta för att enhetliga bedömningar skall erhållas, exempelvis 25 år respektive 5 %. Investerings- och underhållskostnaderna kan bestämmas schablonmässigt eftersom slutresultatets noggrannhet ändå begränsas av riskvärderingen.

6.2.7 Beräkning av nytta för respektive åtgärdsalternativ

Nytan beräknas som skillnaden mellan resulterande riskvärde från grovanalys före investering respektive efter investering. Nyttovärdet är således ett fiktivt värde.

6.2.8 Beräkning av nytta/kostnad för respektive åtgärdsalternativ

Nytan per investerad krona erhålls genom att dividera nytan med kostnaden. Ju högre värde detta ger desto mer skall åtgärden prioriteras. Vid beräkningen av nytan per krona beaktas till viss del att sänkning av höga risker är viktigare än sänkning av redan låga risker genom att nytan blir högre genom att sänka en av de tre parametrarna när den initiala risknivån är hög jämfört med när den är låg.

6.2.9 Prioritering av åtgärd

Respektive åtgärd rangordnas utifrån den beräknade nytan per investerad krona. Utifrån den erhållna rangordningen kan sedan genomförande av åtgärderna prioriteras och planeras. Eftersom metoden för prioriteringen bygger på många förenklingar är det viktigt att rangordningen granskas utifrån rimlighet innan beslut tas.

6.3 Fiktivt exempel

För att ytterligare tydliggöra tillvägagångssättet redovisas nedan ett fiktivt exempel. Åtgärdsalternativen i det fiktiva exemplet skall prioriteras utifrån vilken åtgärd i kombination med sträcka som ger mest nytta per kostnad.

De nätdelar som ingår i exemplet är sträckorna A, B och C. En kort beskrivning av dessa följer.

- A. Sträcka A levererar mycket el till få kunder utan särskilda kontrakt, leverans sker via oisolerad luftledning i trädsäker ledningsgata och med dålig drifttillgänglighet. Ingen alternativ leveransmöjlighet finns för att leverera el till de kunder som berörs.
- B. Sträcka B levererar mycket el till många kunder, vissa med särskilda kontrakt. Leverans sker via ej trädsäker ledningsgata med flera långa avbrott registrerade, men kan även ske från annat håll via en belagd ledning.
- C. Sträcka C levererar mycket el till många kunder, vissa med särskilda kontrakt. Leverans sker via jordkabel med god drifttillgänglighet och kan även ske via annan sträckning vilken utgörs av luftledning.

I Tabell 6.6 nedan redovisas riskbedömningen av de olika sträckorna.

Tabell 6.6 Dokumentation av riskbedömning för fiktivt exempel.

Nätdeel	Belastning (1-4)	Exponering (1-4)	Maskning (1-4)	Risk
Sträcka A	2	3	4	24
Sträcka B	4	4	2	32
Sträcka C	4	1	1	4

Utifrån riskbedömningen väljs sträcka A och B ut för vidare analys. Sträcka C bedöms ej kräva åtgärd.

De åtgärder som skall prioriteras är:

1. Byte till belagd ledning vilket antas förbättra drifttillgängligheten pga att den nuvarande luftledningen är gammal.
2. Byte till jordkabel, även denna åtgärd förväntas förbättra drifttillgängligheten.
3. Alternativ C utgörs av sammanbyggnad mellan två nätstationer via jordkabel.

Alternativ 3 är ej möjligt att utföra för sträcka B. I Tabell 6.7 redovisas riskbedömningen av de olika alternativen.

Tabell 6.7 Riskbedömning av åtgärdsalternativ för sträcka A.

Nätdel / Alternativ	Belastning (1-4)	Exponering (1-4)	Maskning (1-4)	Risk
Sträcka A, alt 1	2	2	4	16
Sträcka A, alt 2	2	1	4	12
Sträcka A, alt 3	2	3	1	6
Sträcka B, alt 1	4	2	2	16
Sträcka B, alt 2	4	1	2	8

Beräkning av kostnad görs schablonmässigt och resultatet redovisas i Tabell 6.8 tillsammans med nytta samt kvoten mellan nyttan och kostnad för de olika åtgärdsalternativen.

Tabell 6.8 Redovisning av kostnad, nytta samt kvoten nytta / kostnad.

Nätdel	Alternativ	Kostnad [enhet]	Risk före	Risk efter	Nytta	Kvot nytta / kostnad
A	1	50	24	16	8	0.16
	2	100	24	12	12	0.12
	3	180	24	8	16	0.09
B	1	80	32	16	16	0.2
	2	120	32	8	24	0.2

Utifrån tabellen kan åtgärdsalternativen rangordnas enligt nedan:

- Sträcka B alternativ 1 eller 2
- Sträcka A alternativ 1
- Sträcka A alternativ 2
- Sträcka A alternativ 3

Om detta fiktiva exempel hade varit verkligt skulle nästa steg vara att göra en mer detaljerad analys av skillnaderna mellan alternativ 1 och 2 för sträcka B.

7 Slutsatser och fortsatt arbete

I projektet har en sammanhängande metod och procedur utvecklats som väver samman två metoder, vilka på ett enkelt men grovt sätt värderar avbrottsrisker och som stödjer investeringsbeslut om riskreducerande åtgärder.

Metoden är i sin uppbyggnad översiktlig, tämligen kontrollerbar och enkel att använda. Det finns förutsättningar för att producera ett bedömningsunderlag som ger personoberoende analysresultat. Metoden kräver små resurser för genomförandet. Resultatet är synnerligen enkelt att tolka. Analysarbetet kan dokumenteras på papper, med hjälp av standardprogramvara (t ex Excel) eller i en databas. Den bedöms därmed vara anpassningsbar till olika verksamheters behov och möjligheter. Metoden kan i den fortsatta utvecklingen på ett enkelt sätt arbetas om till en indexmetod om detta visar sig vara mer effektivt eller tillförlitligt.

Till metodens svagheter hör att den inte indikerar om en investering är nödvändig eller ej i absoluta mått. Den förutsätter att en separat analys avgör vilket totalt investeringsbehov som finns, alternativt att analys eller lagstiftning kan ge underlag för att bedöma vilken risknivå som är acceptabel.

I etapp 2 (pilotprojekt) kommer bl a följande moment krävas:

- En mer tillämpad indelning av bedömningsunderlaget. Indelningen i kategorier (belastning, exponering och maskning), gränserna mellan olika klasser för respektive kategori, samt viktningen mellan de olika klasserna måste ske på ett sätt som ger en relevant värdering av risknivåerna och åtgärdernas effektivitet.
- En jämförelse mellan denna grova metod och en mer detaljerad analys för att undersöka precisionen (dvs om en mer detaljerad, underbyggd analys, ger samma ranking av olika nätdelars risknivå och riskreducerande åtgärder).

Den metod som presenteras i denna rapport skall ses i ett sammanhang av flera metoder för risk- och sårbarhetsanalys som var för sig eller tillsammans svarar mot behov av information och beslutsunderlag inom elnätsdrift (då ingen enskild metod kan hantera alla divergerande krav som annars kan ställas på användandet av riskanalys).

Vid genomgången av alternativa analysmetoder och deras möjliga tillämpning inom elnätsföretagande finns det uppslag för kompletterande utvecklingsarbete.

En reflektion som gjorts inom projektet angående funktionskravet – "inget oplanerat avbrott får vara mer än 24 h av orsaker som skäligen kunnat undvikas" - är att det är en vag formulering för de mest kritiska händelserna, nämligen stormar och snöfall med tillhörande trädfällning. Det finns ett behov av att inom branschen ha en tydlig och enhetlig uppfattning om vilka stormar och snöfall som ska anses som skäliga att dimensionera för. En extremvärdesanalys kan utgöra ett underlag för att göra sådana bedömningar

och associerade frågeställningar om hur ofta gränsen kan tänkas överskridas och hur mycket. Om inte gemensamma ansträngningar görs måste varje elnätsföretag, implicit eller explicit, var för sig definiera vilken risknivå som anses skälig (acceptabel).

8 Referenser

- Amendola, A., Contini, S., & Ziomas, I. (1992) . Uncertainties in chemical risk assessment: Results of a European benchmark exercise. *Journal of Hazardous Materials*, 29 (1992), 347-363.
- Andersson, J. (2001) . *Åtgärder för ökad leveranssäkerhet. Avbrottsutredningen 2001-10-31.*
- CCPS - Center for Chemical Process Safety (1989). *Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. New York: American Institute of Chemical Engineers.
- CCPS - Center for Chemical Process Safety (1995). *Tools for Making Acute Risk Decisions with Chemical Process Safety Applications*. New York: American Institute of Chemical Engineers.
- COWI, DONG & IMM (1996) . *Usikkerhedsbeskrivelse i kvantitative risikoanalyser*. Projekt rapport.
- Cross, F.B. (1998) . Facts and values in risk assessment. *Reliability Engineering and System Safety*, 59, 27-40.
- Dale, V.H., & English, M.R. (1999) *Tools to aid environmental decision-making*. New York: Springer.
- Davidsson, G. m fl , (2003) . *Handbok för riskanalys*. (Räddningsverkets rapport U30-626/02). Karlstad: Räddningsverket.
- Dreborg, K-H. m fl (1994) . *Planera för det okända? Om hantering av osäkerhet*. (FOA rapport R--94-00005-1.2--SE).
- Granger Morgan, M., & Henrion, M. (1990) . *Uncertainty*. Cambridge University Press.
- Hansson, S.O. (1989) . Dimensions of risk. *Risk Analysis*, 9 (1), 107-112.
- Hansson, S.O. (1991) . *An overview of decision theory*. (SKN rapport 41.) Stockholm: Statens Kärnbränsle Nämnd.
- Harrami, O., Kylefors, M., & Magnusson, S-E. (2000b) . Quality and quality assurance of risk analysis in a Swedish perspective. In: *Proceedings of Esrel 2000, SaRS and SRA-Europe Annual Conference, Foresight and Precaution* (p 1252-1258). Rotterdam: A.A. Balkema publishers.
- Harrami, O., Kylefors, M., & Magnusson, S-E. (2000a) . Risk analysis in practice – Results from a Swedish interview study. In: *Proceedings of Esrel 2000, SaRS and SRA-Europe Annual Conference, Foresight and Precaution* (p 1245-1251). Rotterdam: A.A. Balkema publishers.
- Holmgren, Å. & Molin, S. (2003) . *En analys av fel- och driftsstörningsstatistik från eltransmissions- och eldistributionsnätet i Sverige*. FOI rapport FOI-R-1090—SE. Stockholm: FOI.
- Hummelgren, J. (1975) . *Beslutsteori*. (FOA rapport C 10023-M4).

- IEC 300-3-9 (1995) . *Risk analysis of technological systems*. International standard
- IVA, Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien (2004) . *Landsbygdens eldistribution – en livsviktig infrastruktur*. Stockholm: IVA.
- Kahneman, D., Slovic, P., & Tversky, A. (Eds.) (1993) . *Judgment under uncertainty: heuristics and biases*. Cambridge University Press.
- Kaplan, S. (1997) . The words of risk analysis. *Risk Analysis*, 17 (4), 407-417.
- Kaplan, S., & Garrick, J. (1981) . On the quantitative definition of risk. *Risk Analysis*, 1 (1), 11-27.
- Keeney, R.L., & Raiffa, H. (1993) . *Decisions with multiple objectives. Preferences and value tradeoffs*. Cambridge University Press.
- Kemikontoret (2001) . *Riskhantering 3 - Tekniska riskanalysmetoder*. Stockholm: Kemikontoret.
- Mattsson, B. (2000) . *Riskhantering vid skydd mot olyckor: problemlösning och beslutsfattande*. (Räddningsverkets rapport R16/219-00). Karlstad: Räddningsverket.
- Nas, T.F. (1996) . *Cost-Benefit Analysis. Theory and application*. London: SAGE
- Nilsson, H. & Johansson, O. (2005) . *Sårbarhetsanalys – komplexa system. Eldistributionsnät*. Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Paté-Cornell, E. (1996) . Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment. In *Reliability Engineering and System Safety*, 54, 95-111.
- Pitblado, R. (1996) . International risk assessment. In: Kolluru, R., Bartell, S., Pitblado, R., & Stricoff, S. (Eds.). *Risk assessment and management handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Proposition 2005/06:27 . *Leveranssäkra elnät*. Stockholm: Regeringen.
- Royal Society (1992). *Risk: analysis, perception and management*. London: The Royal Society.
- Räddningsverket (1989) . *Att skydda och rädda liv, egendom och miljö. Handbok i kommunal riskanalys inom räddningstjänsten* (Räddningsverkets rapport R16-038/88). Karlstad: Räddningsverket.
- Statens energimyndighet (2005) . *Stormen Gudrun. Vad kan vi lära av naturkatastrofen 2005?* Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Statens energimyndighet (2005) . *Stormen Gudrun – konsekvenser för nätbolag och samhälle*. Eskilstuna: Energimyndighetens rapport ER 2005:16.
- Statens energimyndighet (2005) . *En leveranssäker elöverföring*. Eskilstuna: Energimyndighetens rapport ER 2005:19.
- Statens energimyndighet (2005) . *Erfarenheter efter Gudrun – reservkraft, prioritering och ö-drift med reservkraft*. Eskilstuna: Energimyndighetens rapport ER 2005:32.
- Statens energimyndighet (2005) . *Stormen Gudrun och uppvärmningen*. Eskilstuna: Energimyndighetens rapport ER 2005:33.

Statens energimyndighet (2006) . *Fler konsekvenser av Gudrun och vad kunde hänt om...* Eskilstuna: Energimyndighetens rapport ER 2006:8.

Svenska Kraftnät (2006) . *Risk och sårbarhetsanalyser inom Svenska Kraftnät*. (2006-03-08).

Viscusi, K. (1998) . *Rational risk policy*. (The Arne Ryde memorial lectures series). Oxford: Clarendon Press.

Wulff, P. (1990) . *Komplexitet som riskfaktor*. (FOA rapport A 10017-1.2).

Bilaga 1

Presentation av utkast till formulär som kan användas vid dokumentation på papper eller i standardmjukvara typ Excel.

Mall för kartläggning:

Nätdel	Belastning (1-4)	Exponering (1-4)	Maskning (1-4)	Risk	Kommentar

Mall för prioritering:

Nätdel	Alternativ	Kostnad=C	Risk före	Risk efter	Nytta=B	Kvot (B/C)