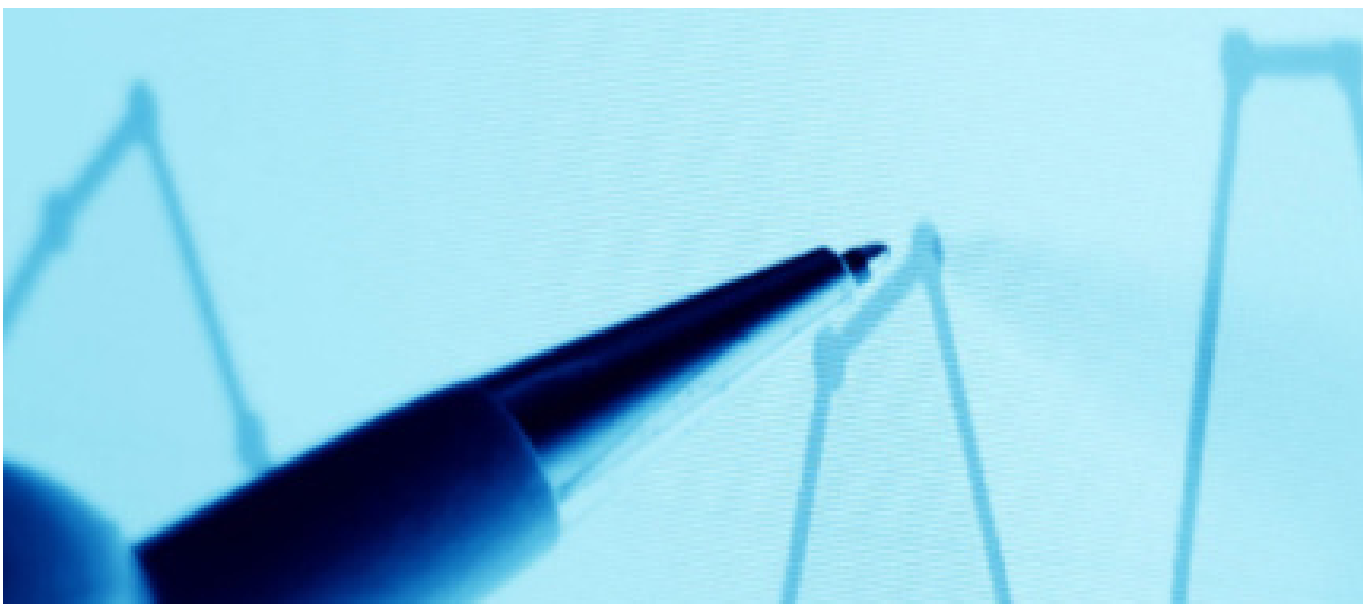


# NYHETER OCH RESULTAT I RISK- OCH TILLFÖRLITLIGHETSANALYS

SLUTSYNTES







## Ordföranden har ordet

Riskanalyser och strukturerad hantering av risker har fått mer och mer fokus i elnätsbranschen. Elnätsregleringen driver på i denna riktning och även framtagandet av standarden ISO55000 och dess svenska översättning har gjort sitt till. Där poängteras att en av förutsättningarna för framgångsrik tillgångsförvaltning är en strukturerad och systematisk riskhantering. Omfattande förändringar i elnätens verklighet, som distribuerad generering, elektrifierade fordon samt en elnätsreglering som minskar marginalerna för elnätsföretagen bidrar till att de flesta bolag har behov av att optimera sin verksamhet utifrån risk och tillförlitlighet. Det gäller att lägga pengarna på rätt saker i rätt tid.

Risk- och tillförlitlighetsprogrammet har som mål att bidra till ett robustare elnät, genom ökad kunskap om de risker som redan finns eller som kan komma att uppstå i framtiden, och hur vi på bästa sätt kan hantera dessa. Detta gör vi dels genom att finansiera forskning, både längre doktorandprojekt och kortare studier och utredningar, och dels genom att sprida kunskap till alla elnätsföretag från norr till söder, till exempel genom kurser och seminarier. Just detta, att sprida kunskap och öka medvetenheten om risk och tillförlitlighet ute i företagen brinner jag personligen lite extra för. Inom ramen för programmet har en kurs i tillämpad tillförlitlighetsanalys tagits fram och har du inte redan gått den tycker jag absolut att du ska göra det, den ger mycket bra grundkunskaper i ämnet. Vi har också haft ett mycket populärt seminarium om modellering av övertoner, samt ett seminarium där våra projekt presenterades i kortformat. Dessa seminarier kan man fortfarande ta del av i inspelad form, och det kommer säkert bli fler seminarier framöver, håll utkik på vår hemsida!

Den här sammanställningen av alla projekt och resultat i programmet Risk- och tillförlitlighetsanalys ger en överblick över det breda spektrum av frågeställningar som ryms inom begreppen risk och tillförlighet. Jag rekommenderar att du läser de här populärvetenskapliga sammanfattningarna, och sedan går vidare till den kompletta rapporten när du hittar något som väcker ditt intresse. Rapporterna hittar du via vår hemsida där de är tillgängliga för alla.

Nu avslutas den här programperioden, men det finns fortfarande mycket kvar att göra, och programmet kommer förhoppningsvis fortsätta med en ny femårsperiod, med början 2021. Fokus under den kommande programperioden ligger på att genom tvärvetenskapliga kunskapsutbyten bidra till kompetensökning samt att fortsätta utvecklingen av metoder och verktyg som kan förankras i näringslivet genom faktiska tillämpningar. Jag hoppas att du och ditt företag vill vara med på den resan!

Slutligen vill jag tacka alla som har engagerat sig i programmet under de senaste fem åren, främst programstyrelsen och projektdeltagare, men även alla som deltagit i kurser och seminarier, skickat in projektförslag och laddat ner rapporter.



*Jenny Paulinder, Göteborg Energi  
Ordförande  
Risk- och Tillförlitlighetsanalys*

## INNEHÅLL

Ordföranden har ordet	3
Innehåll	4
Vårt viktiga elnät	5
Programstyrelse och intressenter	6
Driftsäkra nät med ny metod	7
Nätmodellering för övertonsstudier	8
Ökad överföringskapacitet för luftledningar	9
En utbildning i tillförlitlighetsanalys av elkraftssystem	10
DARwin – digital plattform för innovation	11
Beräkningsmetoder för elnät under stor osäkerhet	12
Tillförlitlig optimering av kraftssystem	13
Roadmap för optimal implementering av RCAM i kraftsystemet	14
En gemensam satsning på tillgångsförvaltning	15
Riskbedömning av jordfelsbrytare	16
Obalans från enfasanslutna solpaneler	17
Slutkunds störningstålighet	18
Enhetlig tillgänglighetsanalys för elkraftssystem	19
Ökad förståelse för reaktiv effekt	20
Stabilitet i samhällskritisk infrastruktur	21



## Vårt viktiga elnät

Elförsörjning är ett av de viktigaste infrastruktur-systemen i vårt samhälle. Elöverföringen blir snabbt allt mer komplex. Det handlar till exempel om ökade andelar intermittent elproduktion, ökat effektbehov till följd av omställningar av elintensiva verksamheter och växande elektrifiering av fordonsflottan, nya EU-direktiv samt förändrad elanvändning. Ett åldrande elnät som ställs om till ett smart elnät och lokala problem med kapacitetsbrist, kommer också att innebära stor påverkan på elöverföringen.

– I takt med att vårt samhälle blir allt mer elberoende ökar vikten av en väl fungerande elförsörjning. Elbolagen måste kunna leverera el med hög leveranssäkerhet och med spänninggodhet. För att kunna leva upp till de nya kraven efterfrågar elnätföretagen ökad kunskap inom risk- och tillförlitlighetsanalys, säger Susanne Stjernfeldt som är programansvarig.

Dagens utveckling med allt fler sammankopplade energisystem och integrerad digital utrustning i elsystemet gör samhället sårbart på nya sätt, vilket gör att fortsatt kunskap- och kompetensutveckling inom området risk- och tillförlitlighetsanalys är nödvändig. Att använda sig av risk- och tillförlitlighetsanalyser är en bra start för att rikta investeringarna till de mest kritiska åtgärderna i elnäten och på så sätt driva och utveckla det framtida elnätet på ett hållbart och effektivt sätt.

Inom programmet Risk- och tillförlitlighetsanalys drivs olika projekt med inriktning på nya modeller och beslutsprocesser för elnätet. Just analyser av tillförlitlighet och driftsäkerhet i elnätet spelar en allt större roll.

– Det är viktigt att arbeta vidare med riskanalyser för elnätet. Utvecklingen internationellt pekar också på att tillförlitlighetsanalyser kan användas för att planera investeringar i större utsträckning. Det är en trend som också gäller i Sverige.

Programmet för Risk- och tillförlitlighetsanalys startade redan 2006 och hittills har flera nya metoder för riskbedömning utvecklats. Programmet har under årens lopp stöttat både forskning och utveckling inom området i syfte att effektivisera och hitta nya metoder och verktyg för att minska risker och öka tillförlitligheten för de svenska elnäten.

För att stötta utvecklingen mot ett hållbart och robust elnät som kan möta de framtida utmaningarna finns fortsatt behov av att vidareutveckla analysverktyg, och se till att projekt- och universitetsresultat resulterar i konkreta tillämpningar för risk- och tillförlitlighetsanalys.

– Under programperioden 2021 – 2025 kommer programmet för Risk- och tillförlitlighetsanalys att fokusera på tvärvetenskapliga kunskapsutbyten och fortsätta med utvecklingen av metoder och verktyg som kan förankras och användas inom näringslivet i sin dagliga driftens faktiska tillämpningar, avslutar Susanne Stjernfeldt.



Programstyrelsen i programmet Risk- och tillförlitlighetsanalys: Jonas Alterbäck, Svenska kraftnät; Pär-Erik Petrusson, Jämtkraft Elnät; Magnus Brodin, Skellefteå Kraft; Hans Andersson, Vattenfall Eldistribution; Lars Einar Enarsson, Ellevio. Undre raden: fr v: Jenny Paulinder, Göteborg Energi; Mari Jacobsson, Svenska kraftnät; Susanne Stjernfeldt, Energiforsk; Kenny Granath, Mälarenergi.

## Programstyrelse och intressenter

Det är en lyckad kombo att ha elnätsföretagen, Svenska Kraftnät, industrin, Ei och Elsäkerhetsverket vid samma bord.

Vi har en gemensam agenda att arbeta med risk och tillförlitlighetsanalys för att identifiera svaga punkter i elnätet och förebygga att fel och avbrott inträffar. Det blir många intressanta frågeställningar där olika aspekter lyfts upp och diskuteras. Vår ambition är att balansera tillämpbara projekt med högskoleforskning och att

växla upp Energiforsks projekt med andra intressenter som Energimyndigheten. Nu när programmets period närmar sig sin fullbordning, kan vi konstatera att vi växlat upp insatta 7 miljoner med 10 miljoner från samarbetspartners, vilket naturligtvis är jätteroligt. Vi ser fram emot en ny programperiod med start år 2021.

*Susanne Stjernfeldt*

*Programansvarig för Risk- och tillförlitlighetsanalys*

### Intressenter Risk- och tillförlitlighet

Svenska Kraftnät  
Ellevio AB  
Vattenfall Eldistribution AB  
Göteborg Energi Nät AB  
Elinorr  
Jämtkraft Elnät AB  
Mälarenergi Elnät AB  
AB PiteEnergi  
Skellefteå Kraft Elnät AB  
Jönköping Energi Nät AB  
Energigas Sverige  
Borås Elnät AB  
Föreningen för industriell elteknik (FIE)

### Programstyrelse

Jenny Paulinder, Göteborg Energi (ordförande)  
Lars Einar Enarsson/Kristoffer Niklasson/Josefine Grundius, Ellevio  
Mari Jacobsson/Maziar Moradi Svenska kraftnät  
Hans Andersson, Vattenfall Eldistribution  
Kenny Granath, Mälarenergi  
Magnus Brodin, Skellefteå Kraft  
Pär-Erik Petrusson/Hampus Halvarsson, Jämtkraft  
Carl Johan Wallnerström, Energimarknadsinspektionen  
Ola Löfgren, Föreningen för industriell elteknik (adjungerad)  
Anders Richert, Elsäkerhetsverket (adjungerad)

## Driftsäkra nät med ny metod

För att värdera om ett kraftsystem är driftsäkert i ett aktuellt driftläge används ofta N-1 kriteriet. En nackdel med N-1 metoden är att den är deterministisk och inte tar hänsyn till sannolikheten eller konsekvensen av olika fel, vilket kan leda till onödiga kostnader. Nu har Patrik Hilber och hans team tagit fram en hybridmetod som varken kräver stora datamängder, beräkningar eller specialistkompetens och som ger ett mer nyanserat resultat.

Projektet Riskbaserad värdering av driftsäkerhet i regionnät ser över alternativ till den väletablerade metoden N-1 kriteriet för värdering om ett kraftsystem är driftsäkert i det aktuella driftläget. I princip innebär metoden att systemet ska klara det värsta felet med bibehållen funktion. Fördelar med metoden är främst att det är både relativt enkelt att både förstå och utvärdera om systemet befinner sig i N-1. Nackdelar med N-1 är att metoden är deterministisk och inte tar hänsyn till vare sig sannolikheten eller konsekvensen av olika fel. Det kan i många fall leda till onödigt höga kostnader för att hålla olika typer av reserver och svårigheter att utföra nödvändiga investeringar eller underhållsåtgärder som kräver avbrott. Det gör också att N-1 kriteriet kan utgöra hinder vid expansion. Det finns stora utmaningar med N-1 metoden i nät som inte är maskade och i regionnät, saknas påfallande ofta en entydig definition av N-1.

Att använda sannolikhetsbaserade metoder för att värdera driftsäkerhet i kraftsystem är en tanke som funnits sedan länge, men det har inte realiserats i någon större utsträckning.

– En tydlig slutsats är att det saknas ingående data för att genomföra detaljerade analyser. Ett annat problem många upplever är att det är svårt att kommunicera kring sannolikhetsbaserade metoder. För att råda bot på glappet mellan tillgänglig data och nödvändiga data för att kunna utnyttja sannolikhetsbaserade metoder fullt ut, har vi tagit fram en hybridmetod, berättar Patrik Hilber på H2L Grid Solutions.

Målet med metoden är praktisk tillämpbarhet, i det att den inte kräver stora datamängder eller beräkningar och därmed inte heller kräver lika omfattande specialistkompetens. Metoden är en hybrid mellan N-1E och standard riskanalysmetoder.



– Hybridmetoden har även den fördelen att den kan användas för att utvärdera olika omgivningsfaktorer som nyttan av ny teknik, t.ex. olika Smart Grid lösningar, eller värdet av olika former av avtal mellan inblandade parter, berättar Patrik Hilber.

Rapporten går översiktligt igenom N-1 kriteriet och de utmaningar som finns knutet till kriteriet. Fokus har varit att göra det praktiskt och pragmatiskt. Fördelarna med hybridmetoden demonstreras i ett antal fiktiva exempel, som också visar på behovet av en komplettering.

Patrik Hilber föreslår följande utvecklingssteg:

- Vidareutveckling av hybridmetod
- Standardisering av sannolikhetsbaserad riskanalysmetod
- Standardisering av åtgärdsförslag inklusive riskreduktion och kostnad
- För att få acceptans och förståelse för sannolikhetsbaserade metoder behövs utbildning på flera nivåer i elnätsbranschen, både vertikalt och horisontellt.

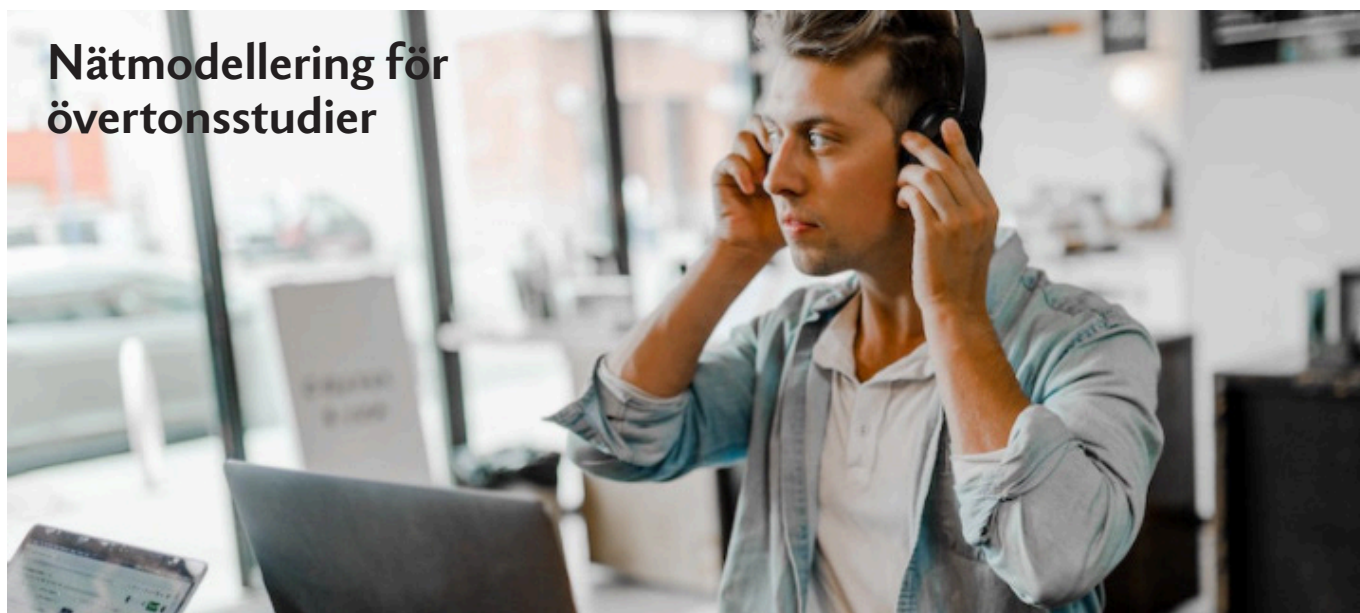
– Den hybridlösning vi har tagit fram är lite mer jordnära och praktisk än N-1 kriteriet. Den kan med fördel användas i region - och lokalnät. Det finns ett stort behov av att sluta upp gemensamt och diskutera frågor kring elnäten i Sverige, särskilt med tanke på effektbristen, avslutar Patrik Hilber.

**Hybridmetod för riskbaserad värdering av driftsäkerhet**

**Rapport 2020:675**

Utförare: Patrik Hillber, Carmen Dahlin och Linus Dahlgren.

## Nätmodellering för övertonsstudier



Som en konsekvens av en övergång till ett hållbart energisystem ökar mängden förnybar energi i elnätet. För att bidra till en ökad medvetenhet kring vikten av övertonsstudier och att höja den lägsta nivån i Sverige vad gäller nätmodellering genomfördes en workshop baserat på ett arbete som utförts i CIGRE JWG B4/C4.38.

Förnybara energikällor ansluts vanligtvis med kraftelektronik, för den beter sig annorlunda jämfört med konventionella källor. Även lasten förändras, till exempel genom att lågspänningskunder ansluter solpaneler eller att man går över till LED-lampor. På högre spänningsnivåer installeras allt fler kablar och man ser också en ökad användning av FACTS och HVDC. Sammantaget kommer det att påverka såväl emission som spridning av övertoner i elnätet. För att kunna studera hur övertoner propagerar i kraftsystemet behövs detaljerade modeller av olika komponenter. CIGRE JWG B4/C4.38 har tagit fram riktlinjer och rekommendationer för hur kraftsystemet och tillhörande komponenter bör modelleras i övertonsstudier.

– Övertonsstudier är komplexa, menar Oscar Lennerhag, som var projektledare för workshopen. Det handlar till exempel om inverkan av en storskalig integration av kraftelektronik, som förnybara energikällor, och det faktum att vi får allt fler kablar i kraftsystemet.

### Utmaningar

Oscar Lennerhag ser ett behov av detaljerade studier i planeringsstadiet och en mer detaljerad modellering för tilldelning av störutrymme och dimensionering av

övertonfilter. Det finns en rad utmaningar:

– Den information som är tillgänglig idag är föråldrad eller utspridd. Det saknas också praktiska riktlinjer för hur nätet ska modelleras i övertonsstudier. Den rapport som tagits fram inom CIGRE är kan användas som utgångspunkt för övertonsstudier, menar Oscar Lennerhag.

### Den tekniska rapporten innehåller:

- En genomgång av olika studiedomäner och metoder för modellering
- Riktlinjer för modellering av komponenter och kraftelektronik i frekvensdomän (upp till 50:e övertonen)
- Praktiska aspekter av modellering
- Nätmodellering för övertonsstudier
- Generella riktlinjer för övertonsstudier
- Typer av övertonsstudier
- Nättekivalenter och modellomfattning
- Aggregering av övertonskällor
- Bakgrundsdistorsion

Rapporten som publicerades i april 2019 är tillgänglig via e-cigre för CIGRE:s medlemmar.

### Nätmodellering för övertonsstudier Workshop

Utförare: Oscar Lennerhag





## Ökad överföringskapacitet för elledningar

Det går att öka överföringsförmågan av el utan att bygga nya ledningar eller stationer och utan att äventyra driftsäkerhet och tillförlitlighet. Det visar nya modeller som bygger på tekniken dynamisk belastningsförmåga.

I Sverige sker den högsta elförbrukningen under kalla vinterdagar. Överföringsförmågan av ledningar i regionnätet begränsar hur mycket förbrukning och produktion som kan anslutas till elnätet. Begränsningen försvårar anslutning av till exempel vindkraftsparker eftersom nya luftledningar behöver byggas. Genom en användning av tekniken ”dynamisk belastbarhet” kan överföringsförmågan av en elledning kontinuerligt anpassas till väderförhållandet. Sannolikheten för att en ledning är överbelastad eller kan komma att bli det används som ett kriterium för en bedömning om någon form av åtgärder krävs för att förebygga överbelastning.

De modeller som har tagits fram i projektet visar att det går att öka överföringsförmågan utan att bygga nya ledningar eller stationer och det utan att äventyra driftsäkerhet och tillförlitlighet. Genom att anpassa komponenternas belastning i elnätet så att de orkar med en större belastning kan nätet utnyttjas i en betydligt högre grad. Dynamisk belastningsförmåga är ett sätt att möjliggöra en högre överföringskapacitet i luftledningar utan att det finns en ökad risk att ledningen blir överbelastad. Från prognosen eller mätning av väderparametrar görs det en uppskattning av hur mycket ström en luftledning klarar. Det finns en stor potential för dynamisk belastningsförmåga under vintermånaderna i Sverige, eftersom det då ställs stora krav på överföringsförmågan.

– Den här metoden har studerats tidigare, men det som är speciellt med det här projektet är att vi har studerat den roll som den dynamiska belastningsförmågan

spelar för överbelastningsskyddet, berättar Fatemeh Hajeforosh.

Metoden som tagits fram i projektet bygger på dynamisk belastningsförmåga i kombination med överbelastningsskydd. Det är en stokastisk metod som kan användas under driftplanering (till exempel dagen innan), under driften (till exempel för att bedöma driftsäkerheten) och som en skyddsåtgärd (i fall ingen av de förebyggande åtgärderna hjälper).

– Metoden har testats för en hypotetisk ledning till en hypotetisk stad i Norra Sverige, Belasteå. Belastningsförmågan och sannolikheten för överbelastning har beräknas för varje timme under en vald period på åtta år. Alla ingångsparametrar var dock baserade på verklig data, berättar Math Bollen. I rapporten diskuterar vi och lyfter fram olika förslag på tillämpningar i det svenska elnätet. Likande metoder skulle också kunna utvecklas för kablar och transformatorer.

Den här metoden kan spela en stor roll för energisystemet. Till exempel kan en större integrering av elbilsladdning i elnätet bli aktuell eftersom ledningarna kan ges en högre överföringskapacitet.

**Dynamisk belastningsförmåga av luftledningar**  
Rapport 2020:710

Utförare: Fatemeh Hajeforosh, Math Bollen



## En utbildning i tillförlitlighetsanalys av elkraftssystem

Dagens utveckling med allt fler sammankopplade system och ökad elektrifiering gör samhället sårbart, till exempel blir elnäten för eldistribution mer utsatta. Genom att använda sig av risk- och tillförlitlighetsanalyser kan riskerna minskas. H2L har utvecklat en utbildning i tillförlitlighetsanalys på uppdrag av Energiforsk.

Genom praktiska analyser visar kursen hur tillförlitlighetsanalyser kan genomföras på ett enkelt sätt. Kursledaren Patrik Hilber har årligen sedan 2017 genomfört utbildningen på flera ställen i Sverige. Kurserna kommer att genomföras en gång per år fram till 2023.

– Jag har fått mycket positiv återkoppling och jag tror verkligen att det finns behov av en sån här praktisk kurs där deltagarna också kan ta upp sina case och få tips på lösningar. Deltagarna i kursen har varit en blandning av tekniker, ekonomer och planerare. Alla som har nytta av den här typen av analyser är välkomna.

### Kursinnehåll

Efter fullgjord kurs skall deltagarna kunna:

- Ha kunskap om grundläggande definitioner och begrepp för tillförlitlighetsanalys
- Ha kunskap om hur man genomför en tillförlitlighetsanalys både i parallella-och seriella system
- Ha koll på prestandamått (SAIDI, SAIFI, m.fl.)
- Beskriva ett eldistributionsnät (inklusive skyddssystem) ur ett tillförlitlighetsperspektiv inklusive reparationstidens påverkan på tillförlitligheten för systemet.
- Analysera ett system med nätverksmetod för system av oberoende komponenter
- Tillämpa livslängdsmodeller (statistik, specifikt Weibull)
- Ha kännedom om metoder för identifiering av komponentbetydelse livscykelkostnadsanalys, LCC (Life CycleCost), och investerings-och riskanalyser baserat på resultat från tillförlitlighets-och LCC-beräkningar.

### Egna case

Kursen består av fyra steg:

1. Instudering
2. Undervisning och laboration (1,5 dag)
3. Eget arbete, egen data
4. Presentation, feedback och fördjupning

– En fördel med kursen är att deltagarna kan ta med och jobba med egna case som vi i gruppen gemensamt kan gå igenom och föreslår lösningar till. På det sättet blir det också att företagen kan lära av varandra och det bildas också ett nätverk, där man även efter avslutad kurs kan fråga varandra och bolla idéer, säger Patrik Hilber och avslutar

– Jag tror att de företag som kan sätta av en vecka för sina anställda att gå den här kursen, helt klart får en stor nytta av personal som kan utföra tillförlitlighetsanalyser. På så sätt får de verktyg som kan se till att investeringar riktas mot de största problemen i elnätet och att vidareutvecklingen sker på ett hållbart sätt.

### Praktisk information:

Kursen kommer att ges till 2022. För anmälan kontakta patrik.hilber@h2l.se. Representant för finansierande parter (finansiärer av Energiforsks program för Risk- och Tillförlitlighetsanalys) får erhålla 20% rabatt på kursen.

Tillförlitlighetsanalys av elkraftssystem

En utbildningsinsats som pågått från 2017-2022

Utförare: Patrik Hilber, H2L Grid Solutions

## DARwin – Digital plattform för innovation

DARwin är en öppen digital plattform som samlar statistik från de svenska elnäten. Målet är att på ett smidigt sätt samla avbrottsstatistik i en gemensam databas som sen kan användas för att utveckla och förnya elnäten.

I takt med att samhällets elberoende ökar blir det allt viktigare med en väl fungerande elförsörjning med god elkvalitet och hög leveranssäkerhet. För att kunna mäta och analysera systemets leveranssäkerhet behövs en bra insyn i avbrottsstatistik på de olika nivåerna i elnätet.

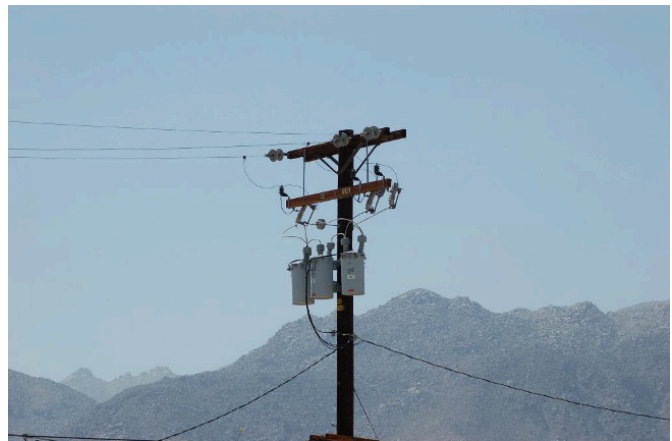
Databasen DARwin omfattar avbrottsstatistik från ungefär 80 elnätsföretag, vilket innebär drygt 80 procent av Sveriges 5,4 miljoner elkunder i en jämn fördelning mellan landsbygd och tätort. DARwin fungerar som en öppen miljö för samverkan mellan elnätsföretag, akademi, innovatörer, entreprenörer, leverantörer, kunder och användare. Genom att lämna statistik till DARwin kan de olika aktörerna få underlag kring avbrott i elnätet som kan användas för exempelvis utbildning, som underlag vid beslut om nya produkter och tjänster och inte minst för teknisk innovation.

Magnus Lindén på Sweco har varit projektledare för ett projekt med inriktning på att vidareutveckla DARwin och menar att DARwin används praktiskt i många företag:

– Man kan till exempel jämföra företagets materialförteckning med uppgifter om fel kring komponenter som listas i DARwin. Om man då ser att det är mängder med fel som rapporterats om en viss komponent, kan man ju undvika den typen. DARwin kan också användas för att göra uppskattningar av när underhåll bör ske eftersom andra företag har rapporterat in information som kan ligga till grund för såna uppskattningar.

En ny version av DARwin, DARwin+ är under utveckling. Inom DARwin+ ryms en ny importfunktion, nya filformat och ett webbaserat gränssnitt som genom en ny sökfunktion visar avbrottsstatistik. Här kan företag skapa egna frågeställningar och söka och analysera stora datamängder för att få svar.

Det finns några funktioner som behöver förbättras i DARwin, menar Magnus Lindén. En vidareutveckling av DARwin+ bör fokusera på en fungerande inrapportering via webbtjänsten API samt automatiserad inläsning och tolkning av inkommande data. En viktig förbättring är att detaljeringsgraden för felrapportering fördjupas:



– Det är väldigt viktigt hur felrapporterna skrivs. Det är viktigt att felrapporten blir så tydlig som möjligt, det ska inte gå att bara fylla i djurskada till exempel. Man vill ju ha information om typ av transformator och vilken typ av fel som har uppstått. Först då kan adekvata slutsatser dras. DARwin bygger idag på manuell registrering, kanske är det att ha väl höga förväntningar att någon som varit i fält i 30 timmar under en storm ska orka med att manuellt skriva en väldigt detaljerad rapport innan de åker hem.

Önskvärt för framtiden är möjligheten att samköra DARwin+ med andra databaser för att lättare kunna identifiera samband mellan inträffade fel och felorsak. Det skulle vara värdefullt att kunna koppla DARwin mot en databas som för statistik över väder och/ geografiska förhållanden, säger Magnus Lindén:

– Det skulle också underlätta om DARwin+ kunde samköras med de rapporter som företagen enligt föreskrifter är tvungna att skicka till Energimarknadsinspektionen.

Om förslagen till en vidareutveckling av DARwin går igenom, tror Magnus Lindén att företagen kan ha ännu större nytta av databasen:

– Vi behöver ha med flera företag som rapporterar in data, men DARwin är redan nu verkligen ett bra verktyg som ger underlag för analyser av den egna verksamheten och som kan leda till en utveckling av elnäten på ett säkert och kostnadseffektivt sätt.

### Vidareutveckling av DARwin Rapport 2018:529

Utförare: Magnus Lindén, Klara Sahlén, Matz Tapper och Anders Olsson

## Beräkningsmetoder för elnät under stor osäkerhet

När ny utrustning som kablar och omriktare ansluts till elnätet uppstår ibland problem, men det råder en osäkerhet om exakt vilken typ av problem som kan uppkomma. I det här projektet har effektiva beräkningsverktyg tagits fram för att beräkna osäkerheter i elnätet.

– Kraftsystemet står inför en rad förändringar. Det handlar om en övergång till förnybara energikällor, en storskalig kablfiering och andra stora förändringar som påverkar resonanserna i nätet. Resonanserna kan få stora konsekvenser för både kunder och nätbolag eftersom resonanserna kan medföra avbrott och skador på komponenter, berättar Oscar Lennerhag.

Nuvarande beräkningsmetoder som används inom isolationskoordinering och elkvalitet utgår från en komplett kännedom av hela systemet. Då det finns osäkerheter (exempelvis vad gäller nätets driftläge) görs uppskattningar, ofta baserat på ett värsta fall, vilket leder till att stora marginaler används, med stora kostnader som följd.

I det här projektet har forskare undersökt vilka osäkerheter som uppstår till följd av att ny utrustning som kablar, omriktare och liknande utrustning, anslutits till elnätet. Det finns ett antal osäkerheter som påverkar spridningen av övertoner i låg- och mellanspänningsnät samt resonanta överspänningar i transmissionsnät.

I projektet har flera realistiska nätmodeller tagits fram som visar inverkan av olika typer av osäkerheter. I projektet har två beräkningsmetoder utvecklats som nätföretagen kan använda för att studera isolationskoordinering och elkvalitet i nät med stora osäkerheter i driftläge, ansluten produktion samt komponentmodeller/parametrar.

– Vi har utvecklat två metoder som kan tillämpas på isolationskoordinering och spridning av övertoner i ett eller flera exempelnett som är relevanta för svenska förhållanden. Metoden är applicerbar på stamnät, regionnät och distributionsnät.

Den första metoden kan användas för att aggregera ett givet nät till ekvivalenta impedanser, samtidigt som det bevarar nätets stokastiska egenskaper. Den aggregerade modellen kan sedan användas för att representera inverkan av nätet i studier samtidigt som beräkningsbördan minskas avsevärt jämfört med



att modellera nätet i detalj. Den första metoden har illustrerats genom att den har applicerats på tre svenska lågspänningsnät.

Den andra metoden kan användas för att bestämma representativa överspänningsnivåer i HVDC-förbindelser med både kabel och luftledning. Målet med metoden är att minimera antalet beräkningar som krävs för att bestämma de överspänningar som kabeln utsätts för relaterat till MTBF (mean time between failures). Metoden har demonstrerats genom att den har applicerats på en fallstudie för en  $\pm 525$  kV HVDC-förbindelse.

– De beräkningsmetoder som vi har tagit fram kan appliceras på isolationskoordinering och elkvalitetsstudier överallt i världen. Liknande metoder kan utvecklas för andra tillämpningsområden inom elkraftsystem där det råder stor osäkerhet. Metoderna kan komma till nytta i övergången till ett hållbart energisystem och i snabbt växande elnät i utvecklingsländer, avslutar Oscar Lennerhag.

**Beräkningsmetoder för elnät  
under stor osäkerhet  
Rapport 2020:711**

Utförare: Oscar Lennerhag, Jan Lundqvist, Math Bollen



## Tillförlitlig optimering av kraftsystem

Ett effektivt sätt att ta hänsyn till såväl de ekonomiska som de tekniska aspekterna av kraftsystemet vid beslut kring tillgångsförvaltning är Reliability Centered Asset Management, RCAM.

För att RCAM ska kunna implementeras i så effektivt som möjligt i ett kraftssystem har en metod, kallad tillförlitlighetskedjan tagits fram. Tillförlitlighetskedjan används för att ta reda på i vilket tillstånd kraftsystemets komponenter är och hur kraftsystemets tillförlitlighet ser ut. Med hjälp av den här metoden kan man få fram nivån för optimal övervakning och ett underhållschema för en komponent. På så sätt kan hela systemets tillförlitlighet ökas.

Tillförlitlighetskedjan baseras på en algoritm där alla komponenter övervakas. Metoden innebär att man får en uppsättning möjliga underhållsåtgärder för varje komponent, tillsammans med kostnader och påverkan på komponentens tillförlitlighet.

– RCAM har studerats tidigare, men det har funnits förbättringspotential, menar Ebrahim Shayesteh. Nu kan vi presentera tillförlitlighetskedjan i form av en algoritm som gör det enklare att implementera RCAM i kraftsystemet på ett optimalt sätt.

Tillförlitlighetskedjan inleds med en genomgång av tillstånden för alla komponenter. Resultatet av genomgången används sen för att utvärdera komponenternas tillförlitlighet.

I nästa steg listas alla potentiella åtgärder tillsammans med deras tillhörande kostnader och effekter på komponentens tillförlitlighet. Det görs för varje studerad komponent i systemet. Slutligen ställs ett "mixed-integer linear" optimeringsproblem upp för att bestämma den mest lämpliga åtgärden för varje komponent i systemet.

Metoden ger också förslag på den bästa tiden för att genomföra den optimala aktivitetshanteringsåtgärden som bestäms för varje komponent.

Slutligen används det föreslagna optimeringsproblemet i en algoritm som tar hänsyn till komponentens driftsäkerhetsvariationer och tillförlitligheten i elsystemet.

Optimal Implementation of Reliability Centered Asset Management for Power Systems

Rapport 2017:444

Utförare: Ebrahim Shayesteh



## Roadmap för optimal implementering av RCAM i kraftsystemet

**Fortsättningsprojektet Reability optimization in power system – stage I är nyskapande och intressant för att det tillämpar en tidigare framtagen metod för optimal implementering av sannolikhetsbaserad tillgångsförvaltning för kraftsystem med komplexa topologier.**

Reliability Centered Asset Management (RCAM) är en effektiv strategi för beslutsfattande som beaktar både de ekonomiska och tekniska aspekterna av kraftsystem. Det här projektet är en fortsättning på Energiforskstudien "Optimal Implementation of Reliability Centered Asset Management for Power Systems" och beskriver den praktiska implementeringen av algoritmen i ett verktyg.

Det föregående projektet utvecklade en strukturerad metod för optimal implementering av RCAM-metoden för kraftsystem. Det huvudsakliga målet med det här projektet har varit att ta fram en Roadmap för implementering och som beskriver utmaningar och möjligheter för en implementering för större elkraftsystem.

Projektet har utvecklat en mer praktiskt tillämplig version av metoden i form av ett verktyg som kan användas av Göteborg Energi:

– Den förra delen av projektet har inte testats i större distributionssystem och beaktar därför inte utmaningarna med stora och komplexa kraftsystemtopologier, nu har vi fått möjlighet att testa tillsammans med Göteborg Energi, berättar Jan Henning Jürgensen. Vår förhoppning är att verktyget också ska kunna användas av andra svenska systemoperatörer och svenska elkraftmyndigheter.

Göteborg Energi arbetar nu vidare med projektet:

– Nu tar vi resultaten från projektet vidare. En viktig lärdom är att man kan åstadkomma mer än man tror med den data man har, även om den i första skedet inte tycks vara tillräckligt omfattande, avslutar Jenny Paulinder.

**Maintenance Optimization of Reliability  
Centered Asset Management for Power Systems**  
Rapport 2020:662

Utförare: Jan Henning Jürgensen

## En gemensam satsning på tillgångsförvaltning



**Energiföretag behöver i allt större utsträckning kunna dokumentera, styra och kommunicera processerna kring sina tillgångars status, kostnader och framtida behov av underhåll och investeringar. Det behövs kunskap och väl genomtänkta processer för att säkerställa en effektiv resurs- och kapitalbindning i företaget. En av de viktigaste frågorna är hur företagen hanterar sina fasta kostnader och hur företaget anpassar sig till förändrade omvärldsfaktorer, såsom energipriser, skatter och styrmedel.**

Varje dag fattar olika individer i en organisation beslut som får effekt både på kort och lång sikt. Det ställer stora krav på informationssystem, rutiner, beslutskapacitet, styrning, uppföljning och kommunikation. Strategisk tillgångsförvaltning syftar till att få besluten att grundas på samma spelregler och med en gemensam syn på de långsiktiga målen.

### Systematik

Företag i energibranschen hanterar stora tillgångar. För att möta affärsrisker när en stor del av balansräkningen utgörs av anläggningar och utrustning, behövs en systematik i arbetet med företagets tillgångar. Det är då strategisk tillgångsförvaltning kommer in. Tillgångsförvaltning beskriver hur verksamheten kan optimera sin totala fysiska kapitalbas, befintlig såväl som möjlig. En grundläggande fråga för alla företag som förvaltar betydande tillgångar är avvägningen mellan underhåll av befintliga anläggningar och nyinvesteringar, och efter vilka principer och med vilka system man kan göra sådana avvägningar. Standarden tar även hänsyn till tillgångar som personal och kompetens etc. Verktyg och metoder för att arbeta med strategisk tillgångsförvaltning har utarbetats utifrån standarden ISO 55000.

– För att på ett lättare sätt åskådliggöra vad standarden handlar om, har vi valt att ta fram en folder och två powerpoints, berättar projektledare Lennart Kjellman. Det här är ett ganska komplext material att sätta sig in i, men om företagen tar sig tid att sätta sig in i standarden för tillgångsförvaltning kommer de att ha en otroligt stor nytta av den i verksamheten. En framgångsrik förvaltning av företagets tillgångar kan leda till omfattande ekonomiska besparingar och bättre kontroll på verksamheten!

### Skrift och Powerpoint för nedladdning

På [energiforsk.se](http://energiforsk.se) (under program/risk-och-tillförlitlighetsanalys) kan du ladda ner foldern som ger en introduktion och överblick av området strategisk tillgångsförvaltning. I foldern presenteras ämnet, verktyg och metoder för hur företag kan arbeta med strategisk tillgångsförvaltning. Råd och erfarenheter från några av de deltagande företagen presenteras också.

### Vem kan ha intresse av skrift och Powerpoints?

Ledningsgrupper, asset managers, teknikutvecklare, analytiker, de som arbetar med strategiska frågor och ledningssystem och naturligtvis alla som har ett intresse för tillgångsförvaltning med koppling till energisektorn.

#### Tillgångsförvaltning

Skrift och powerpoints finns för nedladdning.

Utförare: Lennart Kjellman



## Riskbedömning av jordfelsbrytare

**Jordfelsbrytare används i lågspänningsinstallationer för att upptäcka jordfel som kan leda till elektrisk chock. Det händer att jordfelsbrytare inte löser ut som de ska. I det här projektet har forskarna undersökt hur det kommer sig att jordfelsbrytare ibland inte fungerar.**

En likström kan leda till att vissa typer av jordfelsbrytare inte löser ut. Om jordfelsbrytare inte löser ut kan det leda till allvarliga skador som elektrisk chock när personer kommer i kontakt med ledande delar i en installation.

### Inga särskilda krav

För de flesta installationer finns inget krav på vilken typ av jordfelsbrytare som ska installeras, även om installationen innehåller apparater som producerar övertoner, supratoner och lågfrekventa toner, som man vet kan påverka jordfelsbrytarens funktionalitet.

Det finns två typer av anläggningar som man vet kräver speciella typer av jordfelsbrytare och det är solcellsanläggningar och anläggningar för elbilsaddning. I de här anläggningarna finns likströmskomponenter, vilket kan leda till problem om fel typ av jordfelsbrytare installeras.

### Begränsad kunskap

Det har funnits en begränsad kunskap om hur känsliga olika typer av jordfelsbrytare är för likströmskomponenter. I det här projektet har forskarna genom modelleringar, mätningar och experiment i verklighetsnära anläggningar vidare undersökt funktionen hos jordfelsbrytare.

En jordfelsbrytare kan falla på två sätt: den löser inte ut trots att det finns ett fel eller den löser ut trots att inget fel uppstått. Den första typen av fel är förstås allvarligaste eftersom det kan leda till allvarliga personskador.

### Supratoner

Tretton olika jordfelsbrytare, från olika tillverkare och typer, har testats i ett experiment där effekterna av kvasi-dc och supratoner har studerats.

– Supratoner och kvasi-dc påverkade ett antal av jordfelsbrytarna genom att göra dem mindre känsliga för den farliga 50 Hz läckströmmen, berättar Math Bollen. Samtliga jordfelsbrytare löste så småningom ut men det behövdes högre nivåer än i basfallet. Det visade sig också att vid läckströmmar i supratonsområdet löste ingen av jordfelsbrytarna ut, vilket kan leda till att en människa utsätts för att höga nivåer av supratonsströmmar genom kroppen. Påpekas bör att strömmar vid högre frekvenser är mindre farliga för människor jämfört med en ström vid 50 Hz.

Projektet är inte slutfört i sin helhet och resultaten kommer att färdigställas under våren 2021.

**Jordfelsbrytare och kvasilikströmskomponenter – en riskbedömning**

**Rapport: kommer att publiceras under våren 2021**

Utförare: Math Bollen



## Obalans från enfasanslutna solpaneler

I det här projektet undersöktes om enfasiga solpaneler skulle leda till obalans i elnätet.

– Mycket har hänt på området sedan projektet genomfördes, säger projektledaren Math Bollen, professor i elkraftteknik. Den metod som utvecklades i projektet har visat sig vara användbar för att räkna på överspänningar, överström och övertoner.

Projektet kom fram till att i en stor del av elnätet kommer risken att vara liten för att obalansen blir för stor, även om många kunder ansluter solpaneler genom enfasiga växelriktare. För ett typiskt lågspänningsnät på landsbygden visade det sig att anslutning av 6 kW växelriktare för nästan alla kunder, inte leder till att obalansen blir för stor. I svagare landsbygdsnät finns det en stor risk att 2-% gränsen i minsföljdsänning kommer att överskridas. Det gäller framförallt när det redan innan anslutningen finns höga värden på spänningens obalans.

### Livslängd

En risk med för höga värden av obalans är att livslängden för trefasmotorer förkortas. Men varaktighet av höga obalansvärden på grund av enfasanslutna solpaneler är begränsade. Därför förväntas det inga märkbara minskningar av livslängden.

### Växelriktare

Vid anslutning av enfas växelriktare mot svaga delar av elnätet kommer obalansen med stor sannolikhet att överskrida de tillåtna värdena. Att ställa krav att alla växelriktare är trefasiga skulle förebygga det. Men projektförfattarna anser ändå inte att det är rimligt att ställa detta krav på alla kunder. Istället är det mer rimligt att tillåta enfasväxelriktare för största delen av elnätet, men att ställa krav på trefasväxelriktare när förimpedansen överskrider ett visst värde. Gränsvärden på förimpedansen beror på storleken av solpanelerna som ansluts. En rekommendation från författarna till rapporten var att elnätägarna ansvarar för att solpanelerna fördelas mellan de tre faserna.

### Snabb utveckling

Det gjordes allmänna beräkningar på förenklade nätmodeller, samt detaljerade beräkningar på ett typiskt landsbygdsnät hos Skellefteå Kraft Elnät. I dag ser bilden lite annorlunda ut eftersom en snabb utveckling har skett på området, berättar projektledare Math Bollen:



– Idag är det inte så troligt att några 6-kW enfasanslutningar kommer att ske i Sverige. De flesta enheter ansluts trefasigt numera. Det finns ett stort värde i metoden som utvecklades i projektet. Den formaliserades till en stokastisk metod som även har tillämpats för överspänningar, överström och övertoner.

– Vi har gått vidare med en utveckling av metoden i en rad olika forskningsprojekt på området i samarbetet med Energiforsk och Energimyndigheten, avslutar Math Bollen.

### Fortsättningsprojekt Energiforsk

- Solcellsanläggningar och övertoner i lågspänningsnät (2018:473)
- Överspänning från enfasanslutna solpaneler (2018:506)
- Påverkan på nätet av stora mängder solkraft (2018:573)

### Fortsättningsprojekt Energimyndigheten

- Acceptansgräns för solkraft i norra Sverige (med Skellefteå kraft och Umeå energi), 2016-2020
- Acceptansgräns distributionsnät, 2020-2023

### Obalans från enfasanslutna solpaneler Rapport: 2015:130

Utförare: Daphne Schwanz, Math Bollen, Sarah Rönnberg



## Slutkunds störningstålighet

**Energiforsk genomför på uppdrag av Svenska Kraftnät en studie om hur stora kunder i elnätet påverkas av störningar i elleveransen. Målet är att förbättra förståelsen för vilka typer av störningar som påverkar kunderna mest, vad dessa störningar får för följder för kunderna och vilka konsekvenser det i sin tur får för kraftsystemet i sin helhet.**

Projektet genomförs som en intervjustudie, där målgruppen är kunder som är anslutna på regionnätets nivå samt de nätbolag som äger de svenska regionnäten. De kunder som intervjuas väljs ut för att få spridning mellan olika branscher och sektorer för att få en bred bild av hur påverkan ser ut i olika sektorer.

Preliminära resultat i projektet pekar mot att det främst är kortvariga spänningsvariationer som har en påverkan på stora kunder. Fenomenet spänningsdippar har olika stor påverkan på olika sektorer och är därmed skiljer det även hur allvarliga följder de får, men är i samtliga sektorer det elkvalitetsfenomen som orsakar störst störningar. Frekvensvariationer har hittills inte framträtt som någon större utmaning, även om det finns farhågor om att det kan ändras i framtiden med mindre svängmassa i systemet.

En annan preliminär slutsats är att levererad elkvalitet inte är en fråga som alltid ligger högt upp bland prioriterade frågor hos stora slutkunder. Detta verkar främst bero på att man i allmänhet inte har haft anledning att oroa sig för elleveranser med låg kvalitet.

En central fråga som fortfarande återstår att analysera är ifall det går att dra några generella slutsatser kring kraftsystemets stabilitet beroende på slutkundernas störningstålighet. Ett av projektets grundläggande syften är att undersöka om det med någorlunda precision går att uppskatta vilken typ och hur stora störningar som krävs för att kunder ska tappa last helt eller delvis. Det resultat som hittills har uppnåtts i projektet tyder på att det är svårt att ta fram sådana siffror. Många av slutkunderna har en komplex elanvändning, vilket gör att det är svårt att förutspå exakt vilka störningar som ger vilka följdverkningar.

### Slutkunds störningstålighet

Slutrapport beräknas till våren 2021

Utförare: Lennart Kjellman



## Enhetlig risk- och tillgänglighetsanalys för elkraftsystem

**Tillförlitligheten och prestandan behöver förbättras i eldistributionsnätet. Det har visat sig att den största mängden kundavbrott sker i eldistributionsnätet. Nya metoder har tagits fram för att beräkna en optimal konfiguration av fördelningsstationer och göra en mer enhetlig risk- och tillförlitlighetsanalys för elkraftsystem.**

Fellägen i distributionsnätet uppstår relativt ofta. För att analysera de komplexa och korrelerade sannolikheterna för fel i el- distributionsnätet krävs nya metoder. I det här projektet har en ny metod utvecklats i form av en optimeringsalgoritm som beräknar optimal konfiguration av stationer, främst fördelningsstationer. Metoden bygger på en tillgänglighets- och kontroll-systemanalys. En viktig del av analysen är hur stor del av otillgängligheten som kan tillskrivas primära komponenter och kontrollutrustning.

En teoretisk simuleringsmodell baserad på verkliga data för sannolikheter och felaktiga brytarkommandon har utvecklats och testas.

– Vi presenterar flera förenklade tillvägagångssätt som elnätsföretag direkt kan använda, som vi har baserat på lättillgängliga data i felregister, berättar Sajeesh Babu.

Metoden bygger på identifiering av optimala konfigurationer med hänsyn till systemprestanda och investeringskostnader, effekter på systemets tillförlitlighet och kostnader för nätinvesteringar. Optimeringen bidrar till att prioritera bland olika kritiska investeringar genom att knyta systemets prestanda till omkonfigurationer. Optimeringen

tar hänsyn till kundernas krav och att bevara överföringskapaciteten i svaga länkar.

Värdet av befintliga nät och villigheten hos nätägaren att investera kan läggas in som parametrar i modellen och resultatet kan användas som stöd för beslut om planering och underhåll.

– I rapporten finns både systemspecifika och generaliserbara observationer från en detaljerad datainsamling från elnätägare. Observationerna och resultaten kan användas i analyser av elnätet, säger Sajeesh Babu. De kan också ge en förbättrad förståelse för tillförlitlighet i elnätet i kombination med påverkan från kontroll- och skyddsutrustning.

### Reliability Evaluation of Distribution Systems

Rapport 2017:462

Utförare: Sajeesh Babu



## Ökad förståelse för reaktiv effekt

Målet med det här projektet är att elnätsägare får en ökad förståelse för hantering av reaktiv effekt och hur tekniska och regulatoriska utmaningar ska hanteras på bästa sätt.

– Genom att ta initiativ till en workshop ville vi skapa en arena för elnätsbolag på alla nivåer, där möjligheten fanns att diskutera frågor kring reaktiv effekt och gemensamma utmaningar, berättar projektledare Lennart Kjellman.

I workshopen deltog små och stora elnätsbolag. Stefan Arnborg från Svenska kraftnät berättade om arbetet med reaktiv effekt och bolag fick möjlighet att ställa frågor.

### Avtalsfrågor

Under workshopen diskuterades avtal och avtalsformer, t.ex. samabonnemang för flera kopplingspunkter, inkoppling av intermitterent produktion, främst solex och hur olika utmaningar under olika delar på året ska hanteras. Ett annat område som diskuterades var hur elnätsbolagen kan resonera vid inkoppling av nya större kunder.

### Några viktiga resultat från workshopen:

- Elnätsbolag på regional och lokal nivå fick klara besked från Svenska kraftnät i frågor kring reaktiv effekt.
- Elnätsbolag på regional och lokal nivå fick möjlighet att träffa varandra och en förståelse för utmaningar som finns i andra delar av elnätet.

- Svenska kraftnät gav tydliga besked kring dels vilken inställning de har till reaktiv effekt mot överliggande nät: att det går att hitta andra lösningsalternativ än vad som är formellt avtalat, så länge det gagnar systemet och involverade parter är överens.
- Det blev tydligt att det är svårt att hitta något gemensamt förhållningssätt kring reaktiv effekt, eftersom förutsättningarna varierar stort i olika delar av nätet. Av den anledningen behöver varje enskilt fall hanteras bilateralt eller trilateralt mellan berörda parter. Det blev också tydligt att Svenska kraftnät inte har synpunkter på vad regionala nätägare och lokala nätägare kommer överens om inbördes, utan att deras avtalsmotpart enbart är de respektive regionnätsgarna.
- Det här workshopen gav tydliga resultat och den är ett bra exempel på hur vi arbetar för att skapa arenor där olika aktörer för möjlighet att mötas och diskutera, avslutar Lennart Kjellman.

Samsyn rörande reaktiv effekt som trycks upp mot överliggande nät

Workshop i Energiforsks regi 2019

Utförare: Lennart Kjellman



## Stabilitet i samhällskritisk infrastruktur

**Elektronisk kommunikationsteknik, transportsystem, olje- och gasförsörjning, vattenförsörjning och elnät är kritiska infrastrukturer för samhället och el spelar en central roll för dem alla. I det här projektet har forskarna tagit fram modeller för hur det elnätet kan optimeras för att undvika avbrott i driften.**

För att kunna erbjuda ett tillförlitligt och säkert elnät tillämpar nätoperatörerna strategier för att undersöka, planera, underhålla och använda systemet samtidigt som prestandan förbättras. Felfrekvensen, som är sannolikheten för ett driftavbrott under en definierad tid, används för att optimera underhållet.

Hittills har alla komponenter av samma typ tilldelats en genomsnittlig felfrekvens. Att inte ta hänsyn till att komponenterna är olika begränsar precisionen i underhållsoptimeringen.

– Det är vanligt att nätoperatörerna underskattar eller överskattar den faktiska felfrekvensen, berättar Jan Henning Jürgensen, vilket gör att det är svårt att identifiera effekten av det underhåll som utförs.

I det här projektet presenteras hur precisionen i felfrekvensen, trots begränsad feldata, kan förbättras med regressionsmodeller. Resultaten förbättrar felfrekvensmodellering på individnivå och förbättrar förståelsen av hur riskfaktorn inverkar på komponentfel.

Regressionsmodellerna används sällan i dag på grund av begränsade feldata, men de modeller vi har tagit fram

modeller som med fördel kan användas, berättar Jan Henning Jürgensen:

– I rapporten presenterar vi regressionsmodeller som kan användas för att modellera, förutsäga och karakterisera felfrekvensen och felintensiteten för komponenter. Cox regression och andra regression modeller används på två fallstudier kring feldata för frånskiljare och strömbrytare.

Det finns ett antal riskfaktorer som man bör känna till. Projektet har tagit fram en metod för att beräkna och förutsäga felfrekvenser för enskilda komponenter trots att det inte finns någon feldata, vilket är en särskilt fördelaktig metod att använda när det handlar om nya komponenter.

– Driftavbrott kan få allvarliga konsekvenser för leverans av vatten, gas och mat i ett samhälle. Vi måste se till att elnätet är så tillförlitligt som möjligt, en medvetenhet om hur felfrekvensen påverkar är central och jag tror därför att våra modeller kan spela en viktig roll för stabiliteten i energisystemet, avslutar Jan Henning Jürgensen.

**Individual Failure Rate Modelling and Exploratory Failure Data Analysis for Power System Components**

Utförare: Jan Henning Jürgensen

# NYHETER OCH RESULTAT OM RISK- OCH TILLFÖRLITLIGHET I ELNÄTET

Här sammanfattas nyheter och forskningsresultat som ska underlätta för elnätsföretagen att möta framtida utmaningar med en stor andel väderberoende elproduktion och ett mer flexibelt energisystem.

Dagens utveckling med allt fler sammankopplade system och integrerad digital utrustning i elsystemet gör samhället sårbart på nya sätt, vilket gör att risk- och tillförlitlighetsanalyser är nödvändiga. Inom programmet Risk- och tillförlitlighetsanalys drivs olika projekt med inriktning på nya modeller och beslutsprocesser för elnätet. I den här rapporten presenteras flera av de modeller som utvecklats.

Vi hoppas att skriften kan öka intresset för resultaten från de olika projekten och för all den nya kunskap som forskningen bidrar till.

Trevlig läsning!