

ONLINE RISIKOHÅNDTERING AV STORE KRAFTSYSTEM

Av Arne Brufladt Svendsen, Yngve Aabø, Goodtech Power

Sammendrag

TSO-er har et ansvar for å forsyne industri og samfunn med pålitelig elektrisk kraft. For operatørene er det vanskelig å oppdage små forandringer i lastprofilen, og disse reduserer den forventede regulariteten til kraftforsyningen. Operatørene mangler også verktøy for å vurdere ulike aksjoner med hensyn til den forventede regulariteten til kraftforsyning. En løsning på dette problemet er blitt utviklet av Goodtech Project & Services sammen med Statnett SF. Det er blitt utviklet en online regularitetskalkulator med minimal forsinkelse mellom innhenting av prosessverdier og presentasjon av utregnete regularitetsindekser for kraftnettet. Dette gjør det mulig å se vekk fra det konservative N-1-kriteriet. I stedet kan en operere etter maksimum tillatt risikonivå eller fokusere på å minimere den totale kostnaden.

1. INTRODUKSJON

Det fascinerende, men svært komplekse feltet risikoanalyse av kraftsystem, er blitt beskrevet av mange, blant annet J. Endrenyi [1], R. Billinton og R.N. Allan [2]. De to sistnevnte diskuterte effektiviteten av å bruke Markov-modeller, men på grunn av manglende verktøy, for å bygge store Markov-modeller, var det lenge trodd at Markov-modeller ikke kunne bli brukt i praktiske programmer.

Som ansvarlig avdeling for Netteknikk i BKK Norge så Yngve Aabø et behov for et nytt pålitelighetsverktøy. Dette resulterte i en masteroppgave utarbeidet av Arne Brufladt Svendsen [3]. Inspirert av de tidligere pionerene oppdaget en av veilederene, Tørris Digernes, en metode som kunne brukes til å bygge store Markov-modeller.

Et viktig punkt i utregningene var Kronecker-matriseoperatorene [4]. I masteroppgaven til Svendsen ble denne metoden testet, og funnet å være svært effektiv for pålitelighetsanalyse av kraftsystemer. Etter dette er endel FoU-prosjekter om offline utregninger av leveringspålitelighet i komplekse kraftsystemer blitt utført. Ansvarlig for den matematiske teorien og dataprogramkjernen PROMAPS har vært T. Digernes som eier av Tørris Digernes MathConsult. Ansvarlig for eks-

pertise i kraftnett og prosjekttimplementering har vært Y. Aabø og A. B. Svendsen som medeiere i Troll Power AS. Noen av prosjektene har delvis blitt finansiert av Innovasjon Norge. I 2010 ble Troll Power en del av Goodtech AS.

Selv om PROMAPS ble utviklet for offline analyse, ble det tidlig oppdaget at konseptet også kunne bli brukt for online analyse, og i 2008 ble det inngått en avtale mellom Goodtech Projects & Services og Statnett SF i Norge om å utvikle dataverktøy for online utregning av leveranse pålitelighet i det norske elektriske nettet. Dette ble fullført høsten 2013.

2. TSO UTGANGSPUNKT

2.1 Bakgrunn

Til nå har det viktigste prinsippet i pålitelighet i overføringsnettet i Europa vært å garantere (N-1) sikkerhet, strengt og transparent. Dette kriteriet sikter mot å påse at det elektriske systemet fremdeles er oppe selv om noen av de kritiske elementene (for eksempel kabler, transformatorer, HVDC linjer, og så videre) faller ut. Det at en enkelt primærkomponent faller ut må ikke føre til tap av last, ustabilitet eller følgefeil. Dette kriteriet går ut i fra at sannsynligheten til en slik hendelse er flere størrelsesordener større enn sannsynligheten for at to eller flere (uavhengige) simultane feil i kraftnettet inntreffer. Dette betyr også at hver TSO må operere sitt eget nett på en slik måte at kaskade-feil ikke påvirker «naboene» sitt nett.

Dette prosjektet har fokusert på å definere overgangsstier som vil la TSO-ene gå fra den strengere N-1-metoden til en ny «Comprehensive Reliability Methodology» (CRM). Denne metoden gjør at en kan administrere systemusikkerheter på en mer kost-effektiv måte, over alle tidsperspektiv.

2.2 Hvorfor gå vekk fra N-1-regelen?

Vanlig praksis er å identifisere de verste driftsforhold for hver enkelt tidsramme ved å utføre en N-1-analyse av slike situasjoner, og ved å identifisere handlinger for å unngå de uforutsette konsekvensene:

- På lang sikt ved å investere i nye infrastrukturer eller i markedsmekanismer
- På mellomlang sikt ved å begrense markedsaktørene i å planlegge nedetid og i å utveksle strøm til andre områder
- På kort sikt ved å avlyse vedlikeholdsaktiviteter og ved å flytte produksjon

Utfordringen ligger i at jo større usikkerhet, jo mindre kan en forutsi om de verste driftsforholdene (eller situasjonene). Fremtidig CMR må fokusere på situasjonen for å fullstendig adressere hovedutfordringen: økende usikkerheter.

2.3 TSO-en sitt behov

Det er lett for en TSO å identifisere behovet for simuleringsverktøy som kan simulere risikonivå for ulike tidsperspektiv. Et slikt simuleringsverktøy kan være nyttig i online drift og for planlegging:

Online drift:

- I online drift blir risikonivået regnet ut hvert minutt og evaluert hvis risikoindekser er utenfor det definerte risikonivået de påfølgende timer.

Ukesplanlegging:

- Korttids planlegging av drift ved detaljerte simuleringer for de påfølgende dager basert på planlagt kraftssystemparametre og nettkonfigurasjon.

3. ONLINE RISKSIMULERING

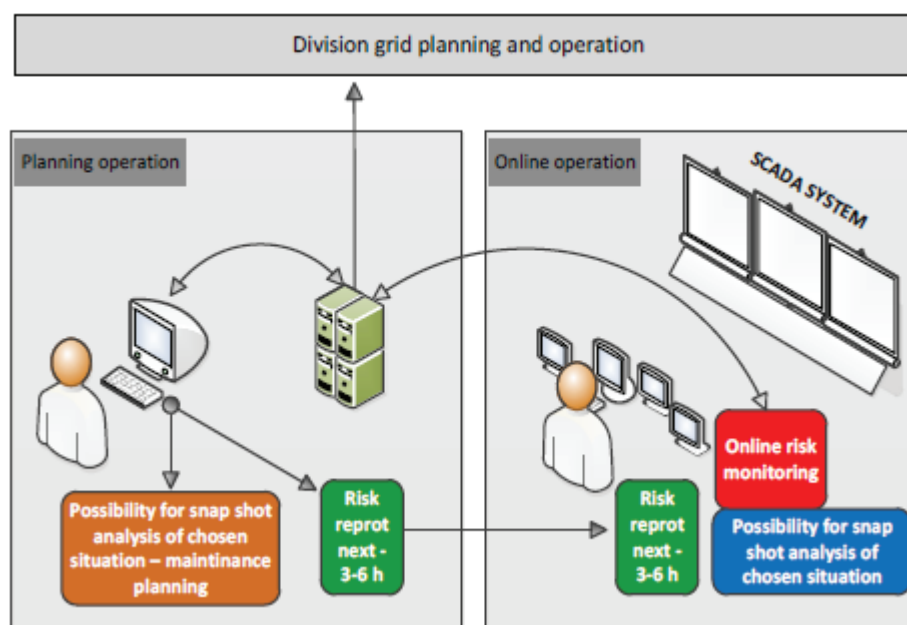
3.1 Bakgrunn

Arbeidsomfanget (AO) i Statnett FoU-prosjektet var å utvikle en pålitelighetssimulator for korttidsplanlegging av drift og online drift av kraftsystemet. Idéen bak AO-en var å lage et verktøy som legger et beslutningsgrunnlag for TSO-enes driftsorganisasjoner, og å skape en felles forståelse for hvilke faktorer som påvirker risiko i kraftnettet.

3.2 Prosjektmål

Målet for simuleringsverktøyet er at man ved korttidsplanlegging av drift skal utføre detaljerte simuleringer for de neste timene basert på planlagt kraftsystemparametre og nettkonfigurasjon. Simuleringsresultatene blir så inkludert i en 1-sides risikoreport som blir levert til kontrollsentralsoperatøren før neste skift begynner.

Risikoreporten fungerer som et risikovarsel for de neste timene. Risikovarslet presenterer nøkkeldata om kraftsystemet og risiko. I tillegg til risikoindikatorene presenterer risikoreporten en risikoberedskapsliste over de 100 største bidragsyterne til feil, i tillegg til en liste med mulige aksjoner for å løse problemene om de oppstår.



Figur 1: Planlagt arbeidsprosess for risikobasert drift av kraftsystem

3.3 Metodikk

Metodikken brukt i prosjektet ble basert på tidligere presentert teori og prinsipp fra PMAPS 2004. Hver komponent i kraftsystemet blir representert med en Markov-modell og en beskrivelse av funksjonalitet i hver tilstand. Ved hjelp av den matematiske operatoren Kroneckerprodukt, kan mange komponentmodeller settes sammen til en grenmodell. Videre blir alle grenmodellene kombinert til en systemmodell, som beskriver sannsynligheten for at forskjellige tilstander i kraftsystemet skal oppstå. Denne pålitelighetsmodellen blir så kombinert med en flytmodell basert på optimeringsteknikk.

3.4 Risikoindikering og presentering av resultat

For å kunne fastslå risikonivået til et system må en presentere noen nøkkelparametre når det gjelder risiko. I Norge er det en kostnad for nettoperatoren knyttet til å ikke levere etterspurt energi til kunden (KILE). Denne kostnaden er avhengig av varighet på utfall, størrelse på utfall og typen berørt kunde. Når en netteier påløper seg KILE, vil netteieren få en reduksjon i neste års inntektsrammer.

Simuleringsverktøyet PROMAPS regner ut påliteligheten til kraftleveranse som en funksjon av etterspørsel og sannsynligheten for ikke-levert energi, for hver lastgren i systemet og for hele systemet. Derfor kan KILE-faktoren lett bli inkludert i resultatene og er nå en av systemrisikoindikatorerne som blir brukt. I tillegg til ikke-levert energi og den tilsvarende KILE bruker en system minutter (SMS) som en online risikoindikator.

$$SMS = c \cdot \frac{E_s}{E} \quad (1)$$

Hvor:

- E_s : Ikke-levert energi i en periode T
- E : Påkrevd energi i en periode T
- C : 8760·60 minutter

I dag blir SMS-indeksen brukt for å sette grensene i den dynamiske fargemarkeringen for risikonivå i systemet. De følgende nivåene er satt for totalsystemminuttene (SMS):

- 0-10 minutter : ingen farge
- 10-15 minutter : gul farge
- 15< minutter : rød farge

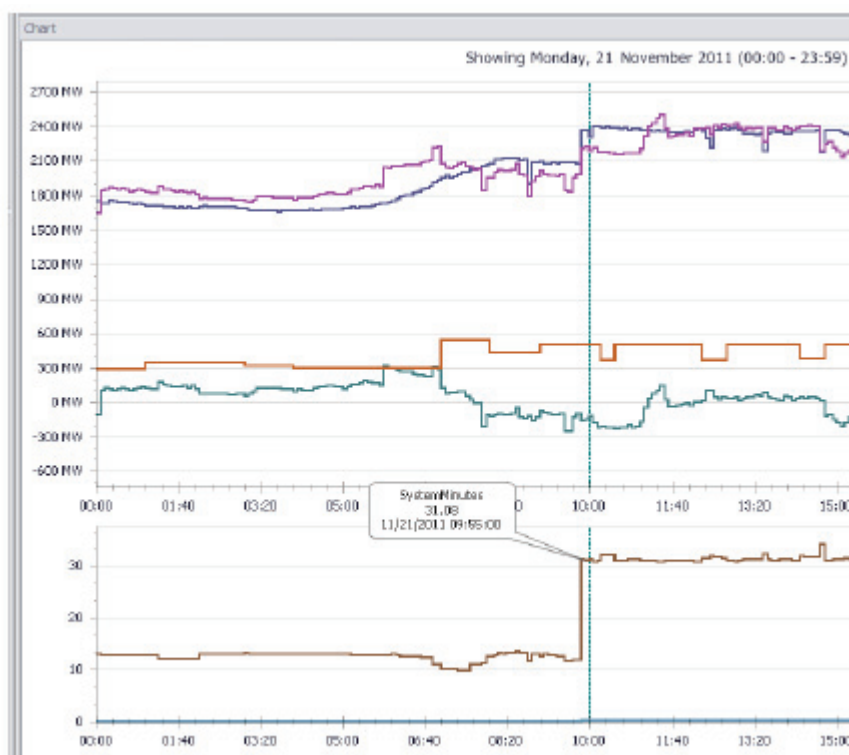
Fargemarkeringen vises på et enlinjediagram for hver lastgren og for det totale systemet. Hvis det er gul risikomarkering for systemet må operatøren evaluere videre handling som må gjøres om risikonivået fortsetter å øke. Om det vises rød risikomarkering skal operatøren utføre en handling for å minke nivået.

Simuleringene kjøres hvert femte minutt. Produksjon, last, roterende reserver og nettkonfigurasjon blir mottatt fra SCADA-systemet hvert femte minutt, og nye simuleringer blir kjørt. Resultatene gir krafts-

temperatøren en ny og bedre innsikt i kraftsystemet. Figuren under viser (1 er øverst, 5 er nederst):

- 1) : kurvesystemproduksjon
- 2) : kurvesystemlast
- 3) : reserveenergi
- 4) : import/eksport av kraft fra eller til systemet
- 5) : SMS i systemet

Ved å evaluere forandringene i systemet basert på kjente parametre og evaluere dette sammen med den nye risikokurven kan en validere risikonivået.



Figur 2: Risikokurve nederst og kraftsystemkurver øverst

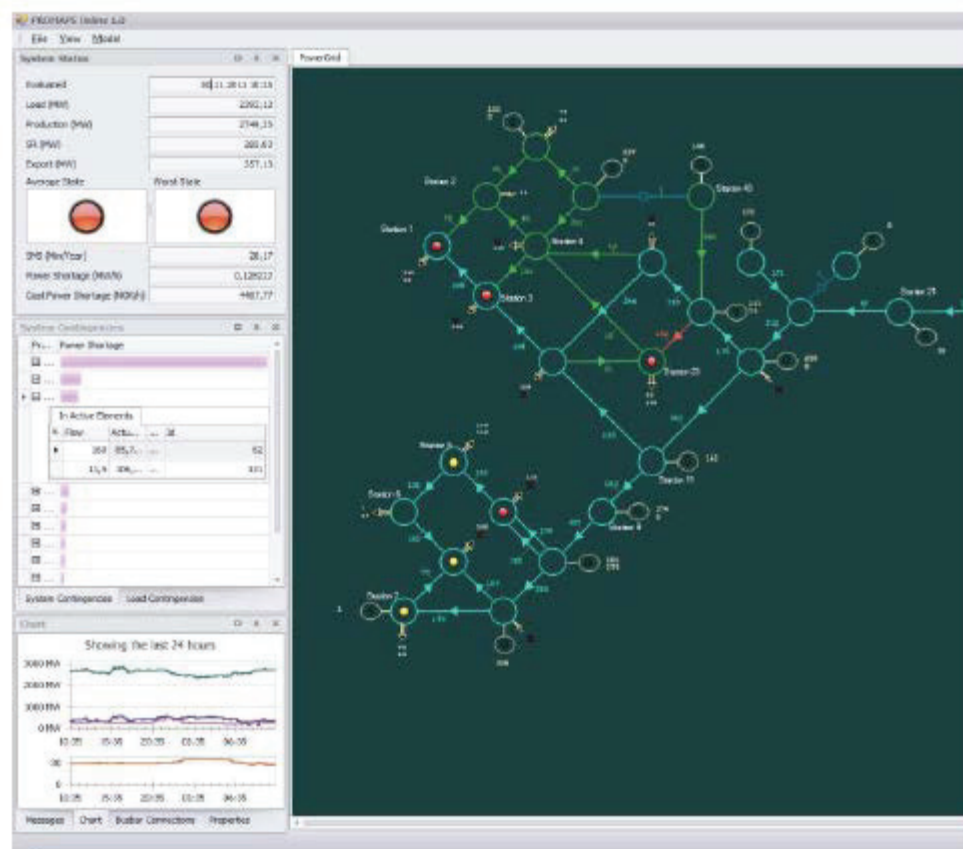
3.5 Grafisk brukergrensesnitt

En viktig del av prosjektet har vært å lage et grafisk brukergrensesnitt som skal være lett å bruke. Grensesnittet har likheter med allerede eksisterende SCADA-grensesnitt.

Online modus:

I online modus er bare nøkkelrisikoparametre tilgjengelige. Det definerede risikonivået sammen med den dynamiske fargeindikeringen gir

operatøren oversikt med å ta et raskt blikk på skjermen. Om risikonivået er høyere enn de definerte grensene må operatøren evaluere hvilke handlinger som må gjøres.



Figur 3: Skjermdump av PROMAPS

Studiemodus:

I studiemodus kan kraftsystemoperatøren teste hvilke kraftsystemhandlinger er best for å redusere risikoen, og til hvilken kostnad. Studiemodusen kan bli brukt til korttidsplanlegging av kraftsystemet, eller i semi-online modus slik at ein kan velge den rette proaktive risikohandlinga i ein driftssituasjon eller for langsiktig planlegging av nye kraftsysteminvesteringer.

4. DISKUSJON/KONKLUSJON

I prosjektet sammen med Statnett SF er det blitt utviklet en metodikk for å regne ut pålitelighet for online kraftleveranse. Metodikken har vist seg å være svært nyttig for utregning av pålitelighet i store kraftnett.

En stor fordel med metoden er effektiviteten i utregningene. Dagens versjon kan på minutter regne ut pålitelighetsindekser for det norske kraftnettet.

5. VIDERE ARBEID

Vi trenger nye måter å visualisere resultater på, og samarbeid med andre aktører er i gang.

Prosjektet har utviklet metodikk til å omfatte geografiske fenomen, som værdata i online risikovurderinger. Dette gjør at operatørene kan vurdere handlinger som kan minimere risikoen for kraftkutt i nødsituasjoner, og samle informasjon i den daglige driften om hvordan risikoen forandrer seg. Et samarbeid med StormGeo i gang om dette.

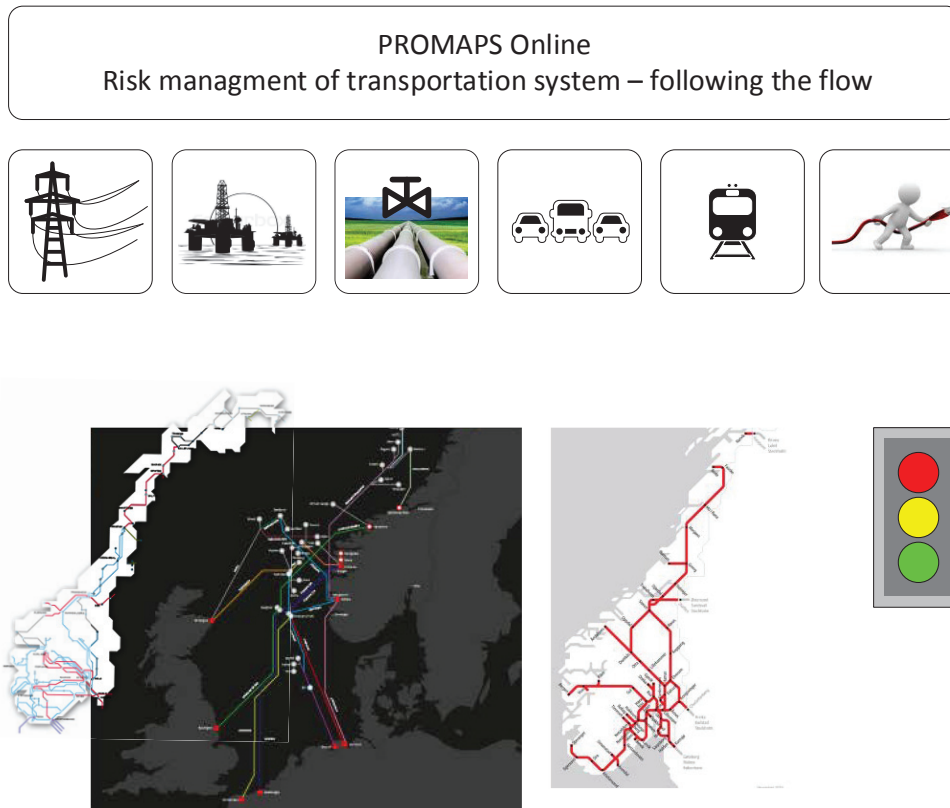
6. HVILKE MULIGHETER GIR DENNE METODEN FOR ANVENDELSE TIL ANDRE MARKED?

Metoden vi benytter i for online beregning av store komplekse kraftsystem, er generell, med påtrykk i greiner og akkumulering i node. Metoden kan anvendes i alle transportsystem av denne typen:

- Gasstransport
- Oljetransport
- Informasjonsteknologi system
- Varetransport system
- Veitransportsystem
- Togtransportsystem

Det er mulig å koble alle disse systemene i sammen i en simulator, og overvåke i prinsippet en nasjons risikonivå som funksjon av belastning, hvert 10. minutt.

Promaps Online har potensial til å kunne gjøre alt dette foruten det den allerede gjør i dag med kraftsystem.



Figur 4: Ideskisse Promaps Online future[6]

7. REFERANSER

- [1] Endrenyi, J. 1978. *Reliability modeling in Electric Power Systems*. Wiley, New York
- [2] Billinto, R. Allan, R.N. 1983. *Reliability Evaluation of Engine systems, concepts and techniques*. Plenum Press, New York.
- [3] Svendsen, A.B. 2002. *Pålitelighetsanalyse for vern- og kontrollutstyr i transformatorstasjoner*. Master thesis, NTNU, Norway.
- [4] Sasty, S. 1999. *Nonlinear Systems. Analysis, Stability, and Control*. Springer, New York.
- [5] Svendsen, A.B., Eman, J., Tollefsen, T., Aabø, Y., Digernes, T., Løvlund, S., Gjerde, J.O., *Online reliability assessment of power system*.
- [6] Svendsen, A.B, Personlig notat