



Elektrifisering av Norsk sokkel
-Regularitet på fremtidens kraftforsyning
-ESRA 2010

Innhold

- [Kort om Troll Power AS](#)
- [Hva påvirker regularitet i et kraftnett?](#)
- [Kort om Promaps og metode](#)
- [Regularitetsanalyser og erfaringer fra kraftnett](#)
 - Optimal nettforvaltning ved hjelp av regularitetsanalyser
 - Resultater fra regularitetsanalyser viser seg å bli det avgjørende argumentet mhp påvirkning av tiltak i kraftnett og nettiltak som vurderes.



Troll Power som selskap

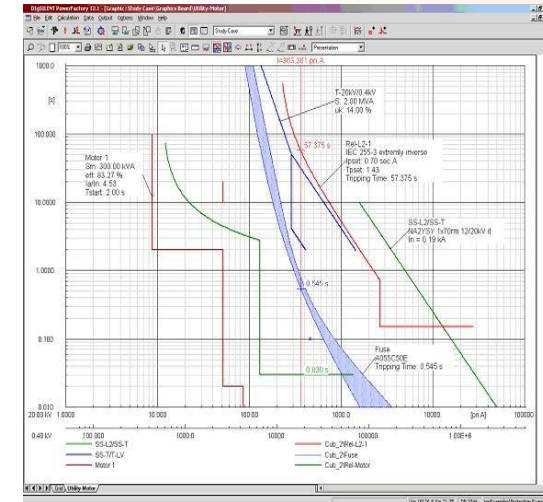
- Troll Power AS ble startet i 2004
 - Kompetansevirksomhet elkraft og olje & gass
 - Omsetning for 2008 forventet til 23 000 000 NOK
- P.t. er det 20 ansatte og det satses på yterligere rekruttering
 - I all hovedsak personell med MSc.- og Bachelor- grad innenfor fagområde elkraftteknikk.
- Troll Power AS har hovedkontor i Bergen:



Troll Power sine fagområder

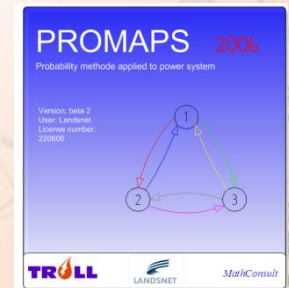


- Beregninger på elektriske systemer
 - Statiske (NETBAS)
 - Planlegging
 - Dynamiske (EDSA og DIgSILENT_PowerFactory)
 - Oppstartsproblematikk
 - Analyse av feil i nett
- Releplanlegging, test og idriftsettelse
 - Idriftsetter og tester alle typer vern (leverandøruavhengig)
 - Kontroll av innstillinger
- Tilstandskontroll
 - Kontroll av komponenter i et eksisterende kraftsystem.



Troll Power sine fagområder

- Tekniske løsninger
 - Prosjektering av anlegg
- Risiko og pålitelighet
 - Analyse av kraftsystemer
 - PROMAPS beregning av pålitelighet i maskede og radielle kraftsystemer
- Risiko og sårbarhetsanalyser for kraftsystemer
 - HAZOP
- Prosjektledelse
 - Ombygging av kraftsystemer
 - Nybygg
- Analyse av hendelser i kraftsystem (feilanalyse)



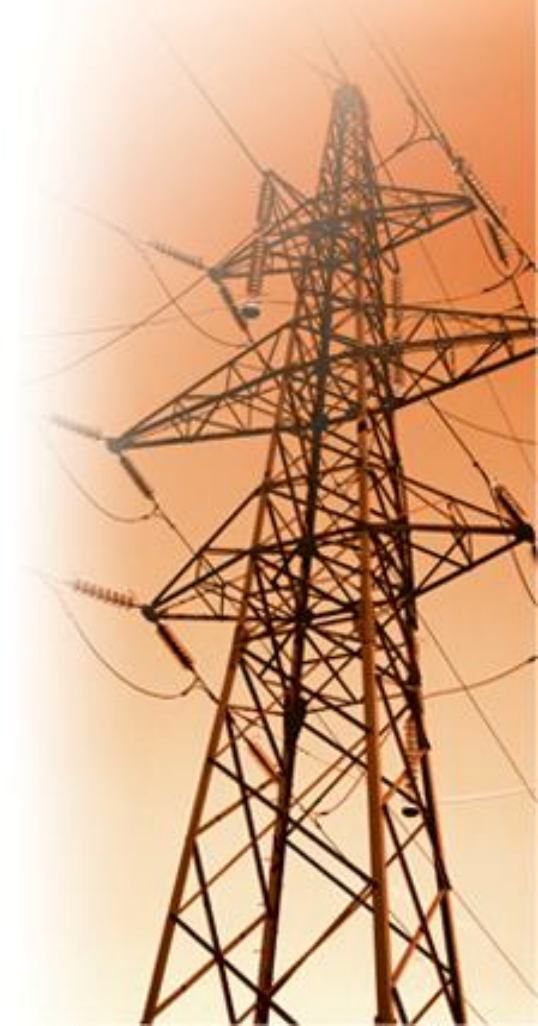
Referanser

- Statnett
- Hydro Aluminium
- Hydro Oil and Gas
- Sintef Energy research
- Tekna
- Statoil
- Landsnet Island
- Orkuveita Reykjavíkur Island
- Hitaveita Sudurnesja Island
- Statkraft SF
- Hafslund Nett AS
- Agder Energi Produksjon
- ABB Oil and Gas
- Aker Kværner AS
- Zesco Zambia
- ABB Energi
- Eras Metall
- Kvam kraftverk
- Røros Elverk
- SFE
- Wärtsilä Automation Norway AS
- Vetco Aibel
- Bergesen
- StatoilHydro

- BKK Nett AS
- BKK Produksjon AS
- Bennex
- Nuuk kraft
- Lyse Nett AS
- Sognekraft
- NEAS
- Trondheim energiverk
- Trønder Energi
- Areva T&D
- Vang Energinett
- South American power cooperation
- Elkem Saudefaldene
- Tussa Nett AS
- Norvestnett
- Elkem Bremanger
- Haugaland Kraft
- Kraftkarane
- Energi-teknikk
- PetroJarl
- Voith Siemens
- Alconza
- Vector Power Solutions
- Eni Norge AS
- National Grid

Hva påvirker et kraftnetts regularitet?

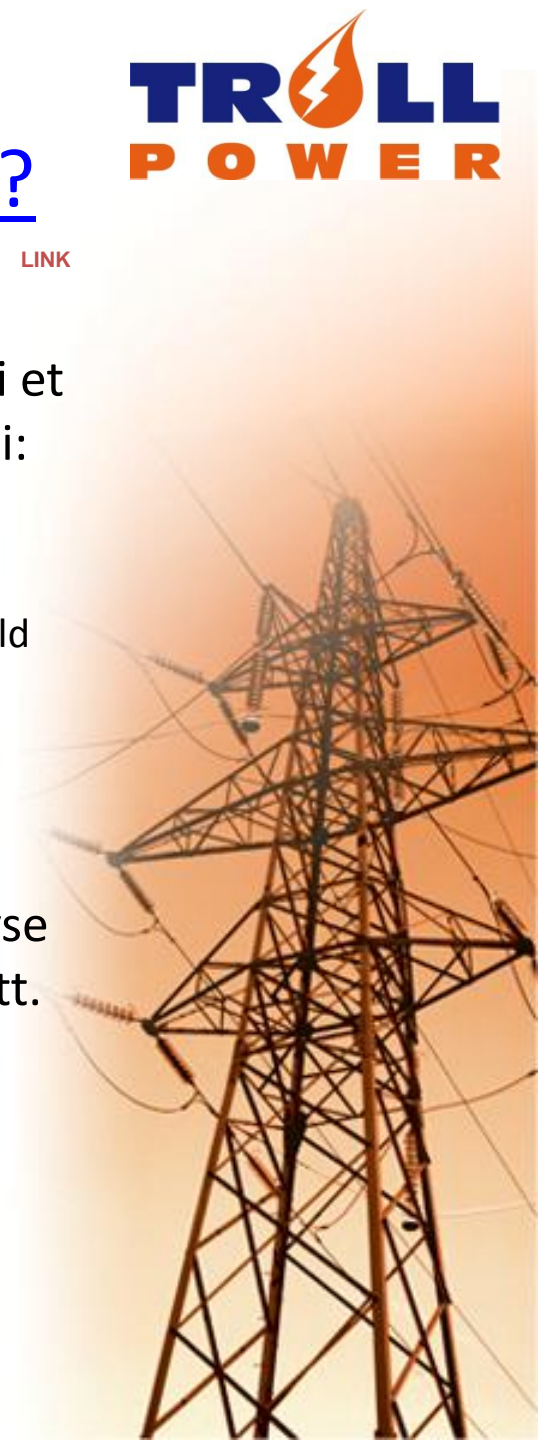
- Effektleveransesannsynligheten påvirkes av flere elektriske og ikke elektriske parametere:
 - Komponent pålitelighet
 - Greinpålitelighet (linjegrain, transformatorgrain osv)
 - Til en hver tid gjeldene nettstruktur
 - Lastprioritet
 - Effekt etterspørsel
 - Produksjonskapasitet og lokalisering
 - Roterende reserve og lokalisering
 - Lastflyt
 - Nettkapasitet
 - Systemvern og operatørdyktighet



Hva påvirker et kraftnetts regularitet?

LINK

- Dette betyr at leveransepåliteligheten til alle lastpunkt i et masket nett vil forandre seg dersom det blir forandring i:
 - Produksjonsprofilene
 - Lastprofilen
 - Nettkonfigurasjonen: som følge av driftskoblinger, feil, vedlikehold eller utbygging/utvidelse
 - Mengden og plassering av roterende reserve
 - Med mer
- Alle disse faktorene må inkluderes i en og samme analyse for å beregne leveransepålitelighet av maskede kraftnett.



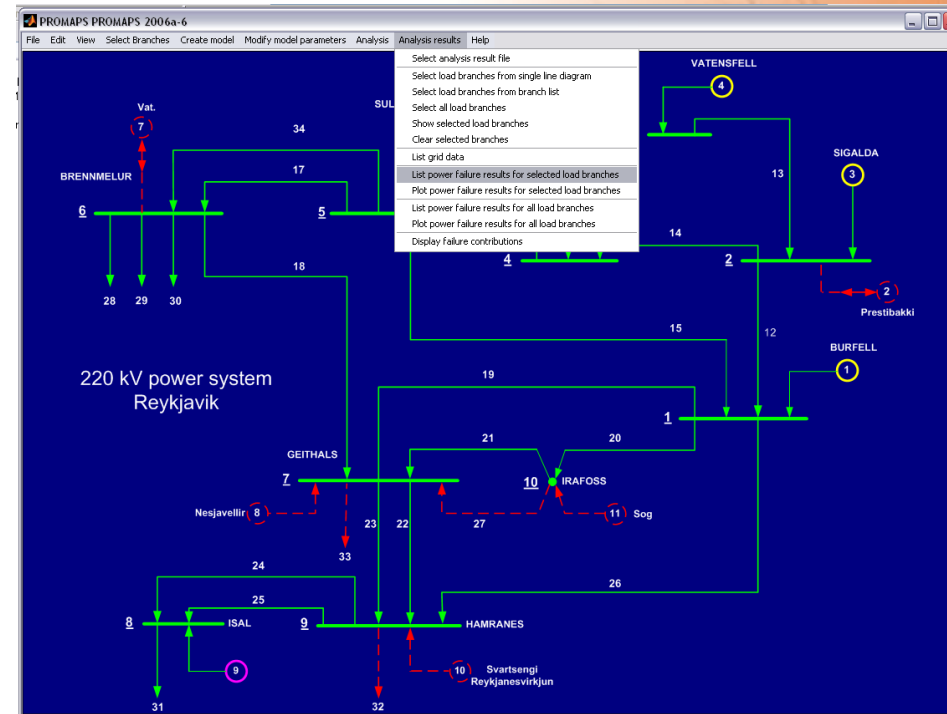
Hva er PROMAPS?

Probability method applied to power system

Simuleringsverktøyet er tiltenkt å spille en aktiv rolle for elkraft ingeniører i den daglige driften av et kraftsystem, når det gjelder planlegging av:

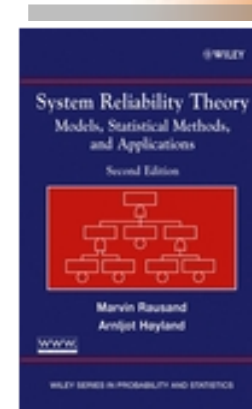
- Vedlikehold
- Investerings strategier
- Driftsplanlegging
- Drift

Tilknytning til driftsentral for beregning av lastleveranse påliteligheten i nettet online, slik at operatørene kan ta hensyn til systemets pålitelighet til en hver tid.



Hva er PROMAPS?

- **Bakgrunn:**
 - Utviklet av Troll Power de siste 6 år i samarbeid med Tørris Digernes fra MathConsult
 - Utviklingen startet ved NTNU i Trondheim
 - Metoden er presentert i PMAPS USA og ESREL
 - Metoden er referert til i internasjonal lærebok i systempålitelighet
 - PROMAPS er videreutviklet gjennom Statnett og Landsnet prosjekt
 - Utviklingen er støttet av Norsk Forskningsråd og Innovasjon Norge



Hva er PROMAPS?

- Basert på ny metodikk som fjerner tidligere begrensinger

The Markov model

State 1: Function

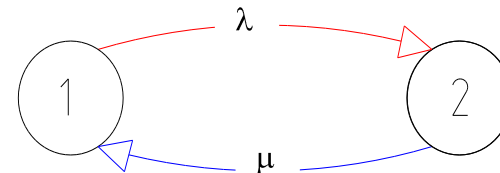
State 2: Failure

Input:

Fault frequency and repair time/down time

Output:

- Probability for being in different function state
- Staying time for each function state
- Departure frequency between different function states



$$\dot{\mathbf{p}} = \mathbf{A}\mathbf{p}, \quad \mathbf{p}(0) = \mathbf{p}_0$$

\mathbf{p} : Probability vector describing the probability for staying in the function states ξ

$\dot{\mathbf{p}}$: Rate of change of \mathbf{p} [1/year]

\mathbf{A} : Transition rate matrix [1/year]

θ : Residence time vector [year]

\mathbf{v} : Departure frequency vector [1/year].

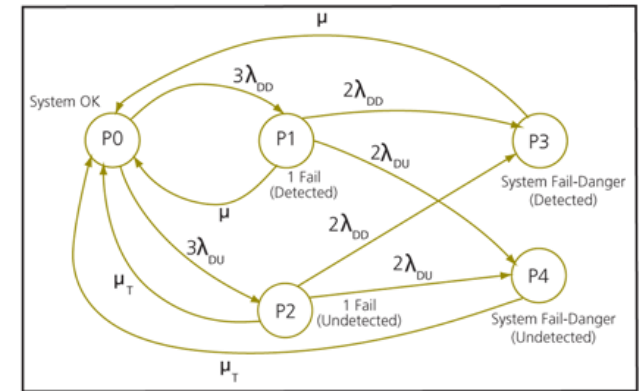
$$\sum \mathbf{p} = 1 \Rightarrow \sum \dot{\mathbf{p}} = 0$$

Hva er PROMAPS?

- Basert på ny metodikk som fjerner tidligere begrensninger

Traditional Markov principle:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} A_{1,1} & \cdots & A_{1,>100} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{>100,1} & \cdots & A_{>100,>100} \end{bmatrix}$$

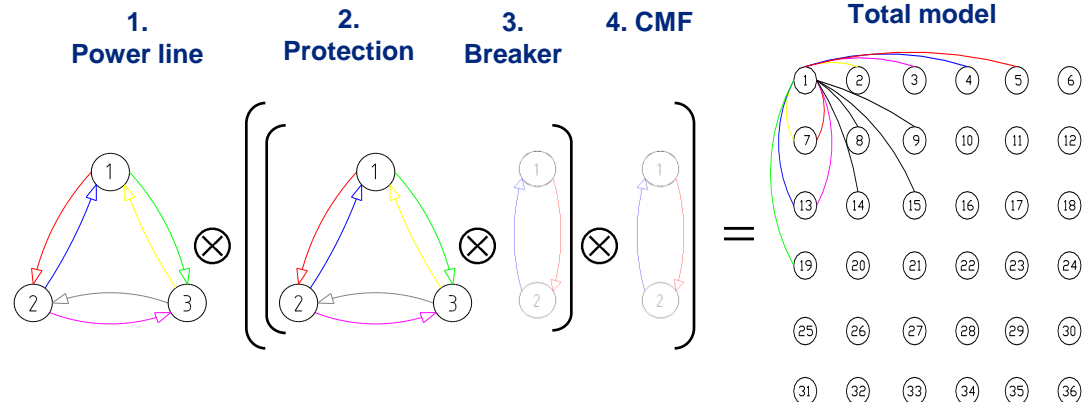


Maximal number of function states, $N < 100$?

New developed principle:

$$\mathbf{A}_1 = \begin{bmatrix} A_{1,1} & A_{1,2} \\ A_{2,1} & A_{2,2} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A}_2 = \begin{bmatrix} A_{1,1} & A_{1,2} & A_{1,3} \\ A_{2,1} & A_{2,2} & A_{2,3} \\ A_{3,1} & A_{3,2} & A_{3,3} \end{bmatrix} \cdots \mathbf{A}_{1 \dots n}$$

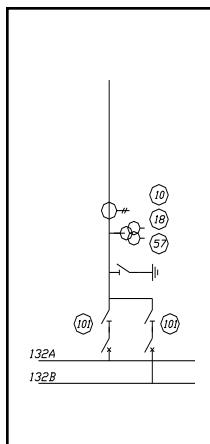


Maximum number of states, $N < \infty$?

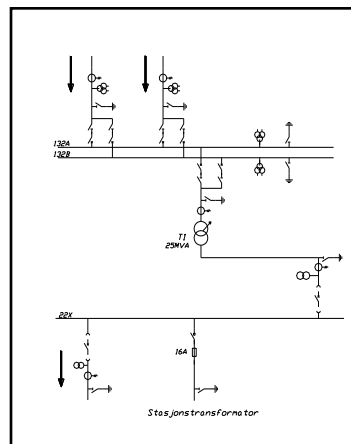
Hva er PROMAPS?

- Basert på ny metodikk som fjerner tidligere begrensinger
1. Unit level
 2. Segment level
 3. System level
 4. Power and gas/oil demand level

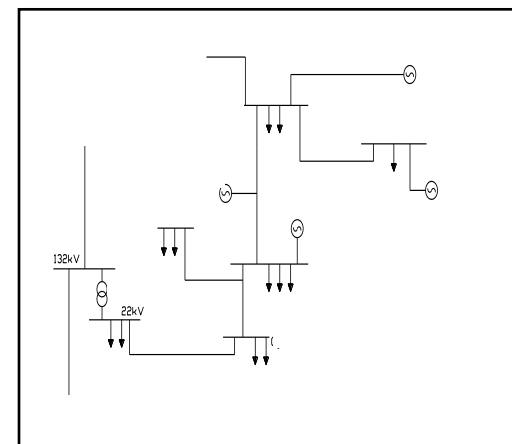
2. Segment level



3. System level



4. Demand level

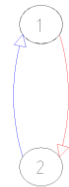


Hva er PROMAPS?

- Basert på ny metodikk som fjerner tidligere begrensinger

1. Unit level:

Line/cable
 Power transformer
 Bus bar
 Protection unit
 Breaker
 Station power supply
 Common mode failure
 Production units
 Power demand
 Pressure
 Temperature
 Pumps
 Pipe lines
 Separators
 Compressors
 etc



$$\dot{\mathbf{p}}^3 = \mathbf{A}_3 \mathbf{p}^3$$

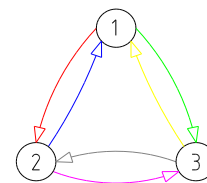
$$\mathbf{A}_3 = \mathbf{A}_{d3} + \mathbf{A}_{\bar{d}3}$$

$$\mathbf{A}_{\bar{d}3} = \begin{bmatrix} 0 & \mu_5 \\ \lambda_5 & 0 \end{bmatrix}$$

⋮

⋮

⋮



$$\dot{\mathbf{p}}^1 = \mathbf{A}_1 \mathbf{p}^1$$

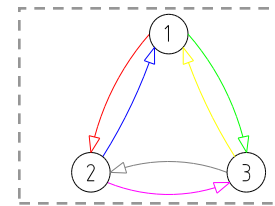
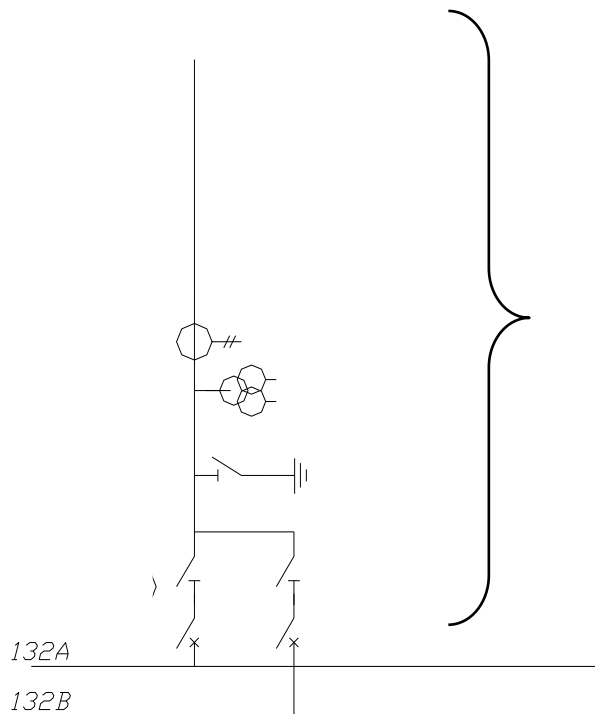
$$\mathbf{A}_1 = \mathbf{A}_{d1} + \mathbf{A}_{\bar{d}1}$$

$$\mathbf{A}_{\bar{d}1} = \begin{bmatrix} 0 & \mu_1 & \mu_2 \\ \lambda_1 & 0 & 0 \\ \lambda_2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

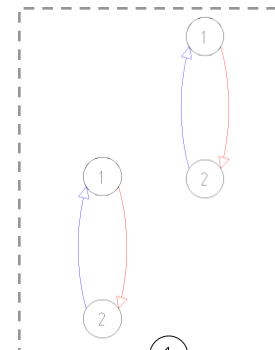
Hva er PROMAPS?

- Basert på ny metodikk som fjerner tidligere begrensinger

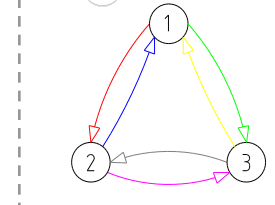
2. Segment level:



Unit model 1: Power line
 State 1: Power line functioning
 State 2: temporary fault
 State 3: lasting fault



Unit model 3: auto reclosing
 State 1: Correct function
 State 2: No function (internal fault)

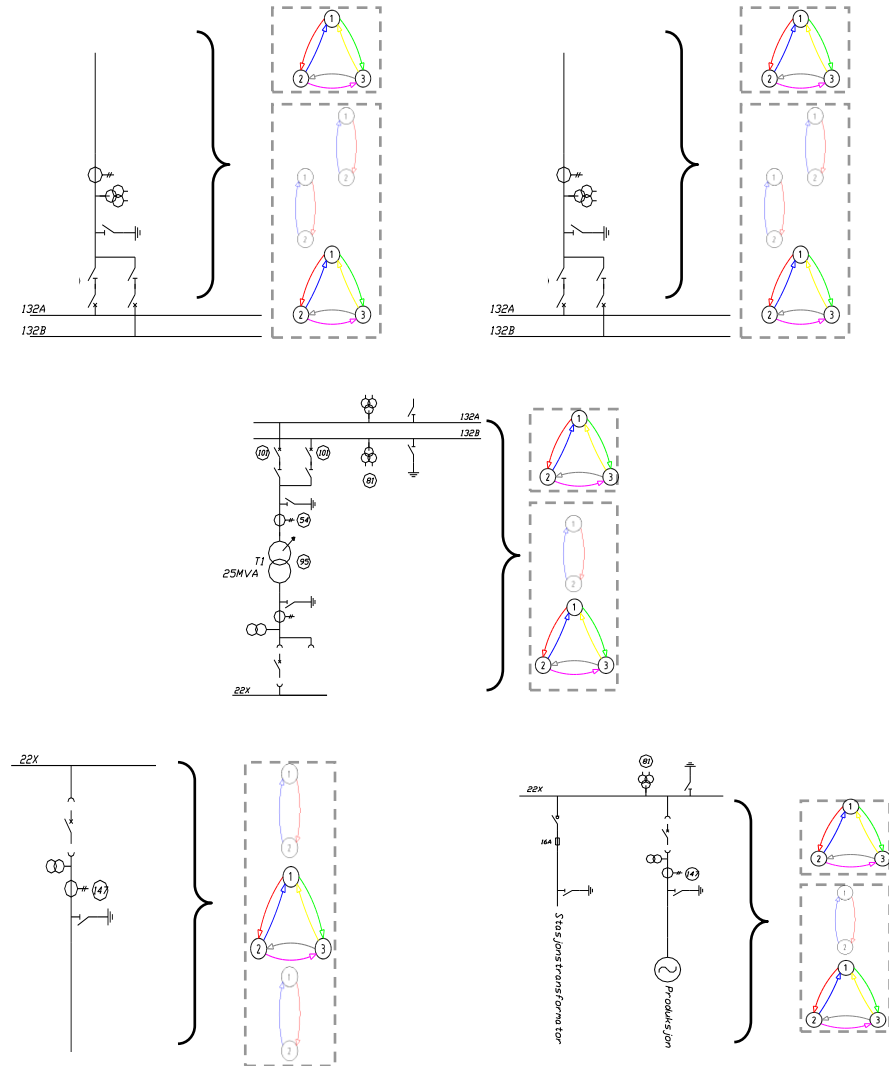
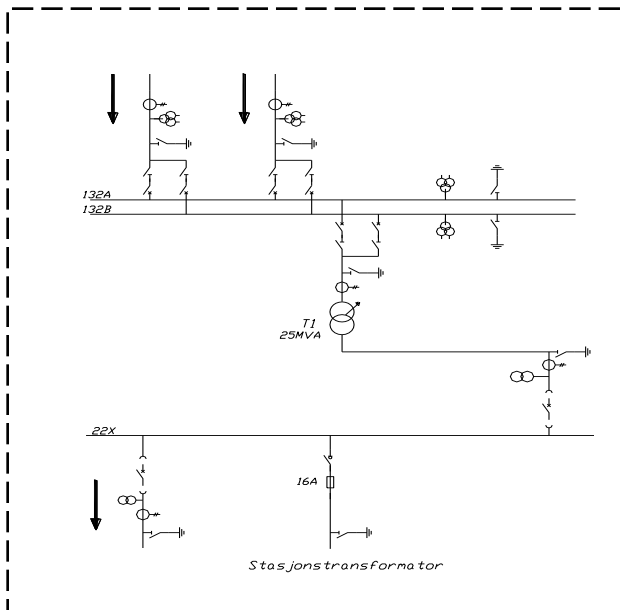


Unit model 2: Protection unit
 State 1: Correct function
 State 2: Unwanted function
 State 3: No function

Hva er PROMAPS?

- Basert på ny metodikk som fjerner tidligere begrensinger

3. System level:



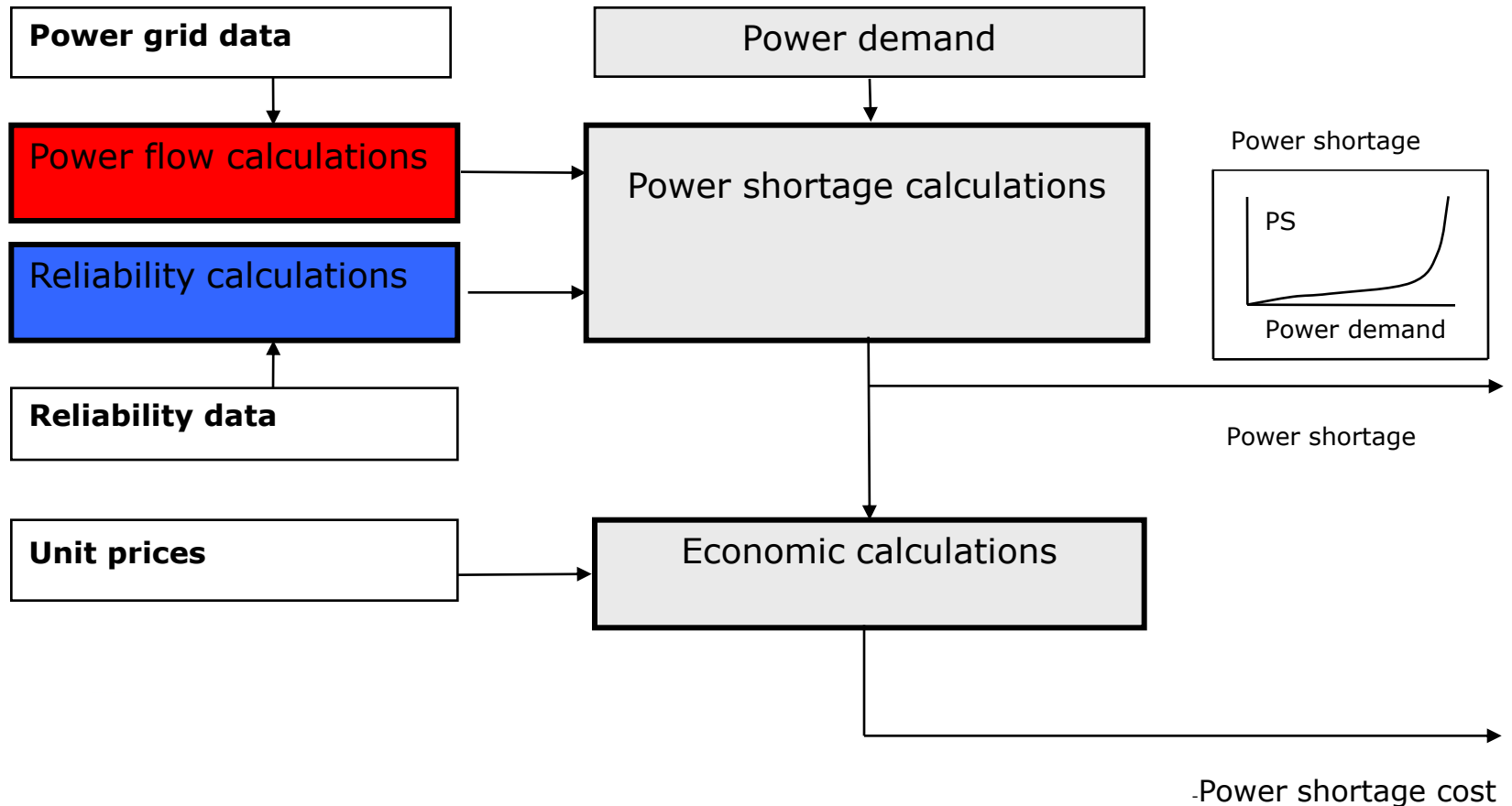
Level 3

Level 2

Level 1

Hva er PROMAPS?

- Basert på ny metodikk som fjerner tidligere begrensinger



PROMAPS

Oppsummering

[LINK](#)



- PROMAPS er et simuleringsverktøy for evaluering av leveransesannsynlighet i kraftsystemer
- Simuleringsverktøyet er basert på ny pålitelighetsmetodikk som kombinerer lastflyt modeller og optimaliseringsteknikker
- Verktøyet har vist at det er velegnet til analyse av komplekse system av både radiell og masket konfigurasjon. Simuleringene er raske.
- Kombinert med lastflytmodell har verktøyet mulighet til å beregne leveransesannsynligheten som funksjon av etterspørsel og økonomisk konsekvens av ulike tiltak
- Tiltakene inkluderer: leveransesannsynlighet for ulike lastpunkt og produksjonsnivå samt roterende effektreserve, og dens plassering.
- Metoden er generell og kan benyttes for alle typer system med påtrykk i greiner og akkumulering i noder. Som for eksempel fluid transport i rørsystem, varetransport og muligens trafikksystem.

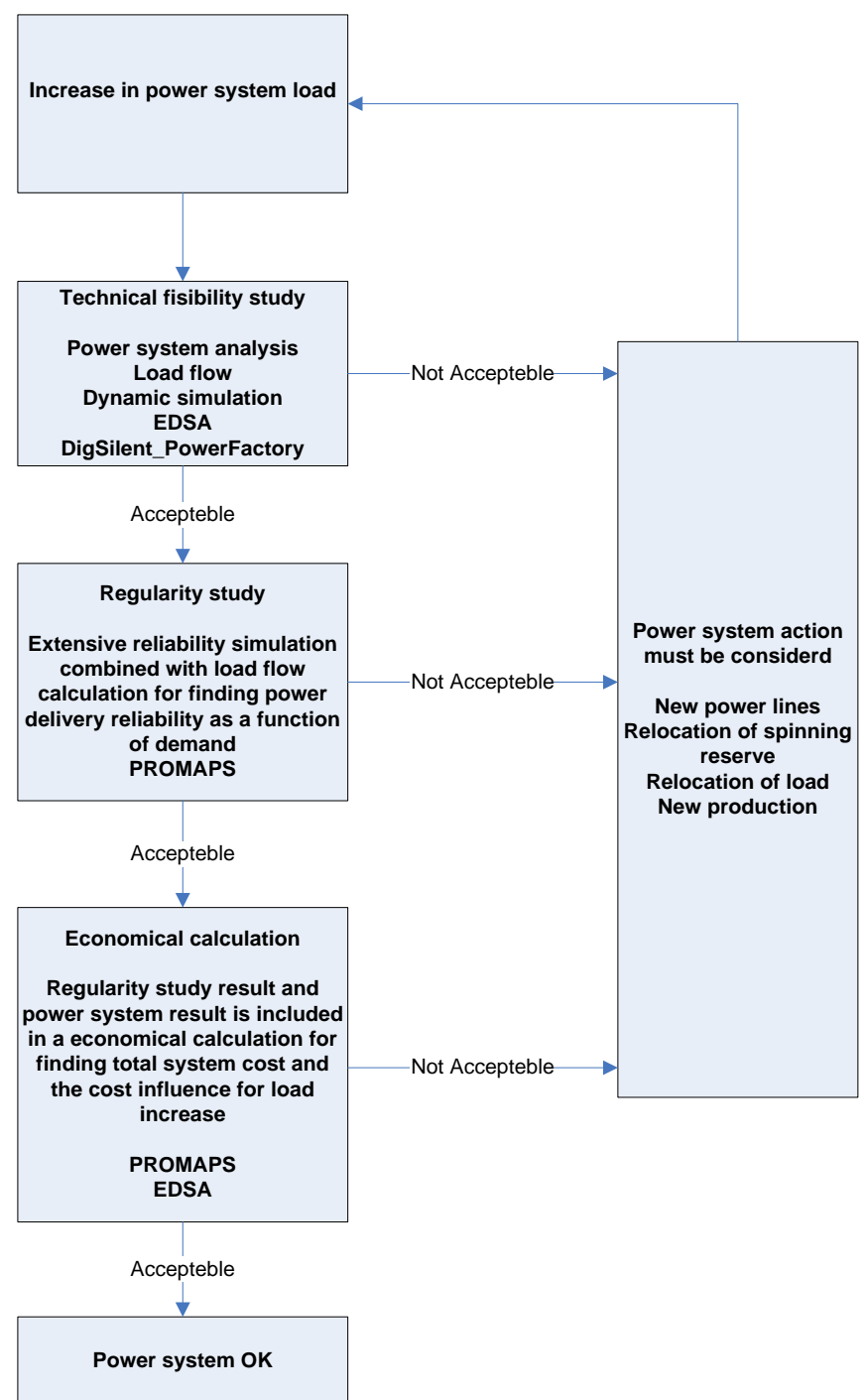
Elektrifisering av Norsk sokkel

- Hvordan synliggjøre innvirkning av elektrifisering av Norsk sokkel?
 - Etablere en metodikk som inkluderer kraftsystem- og regularitetsberegninger
 - Ha tilstrekkelig kraftsystemforståelse
 - Benytte et beregningsverktøy for regularitet som inkluderer en stor nok del av aktuelt kraftnett
 - Detaljeringsgrad
 - Kraftsystemegenskaper
 - Lastflyts - og pålitelighetsberegninger
- Dokumentere virkninger av tiltak i kraftsystemet, og være proaktiv ifb med forslag til riktige netttiltak?
 - Synliggjøre dagens- og fremtidig risikobildet
 - Synliggjøre kraftnettes totale kostnader KILE og effekttap
 - Vurdere ulike netttiltak



Metode

1. Gjenskape fortiden og definere referanse case
2. Undersøke om kraftsystemet som analyseres innehar problemer i dages situasjon
3. Identifiser hvor problemene ligger og vurder tiltak
4. Simulerer forventet situasjon frem i tid og synliggjør forventet kostnad
5. Kostnadsberegningen danner fundament for riktig investering, når og hvor



Customer project and area of use



Statnett: On line operation

Statnett's main focus was to include PROMAPS to the SCADA system for online calculation of:

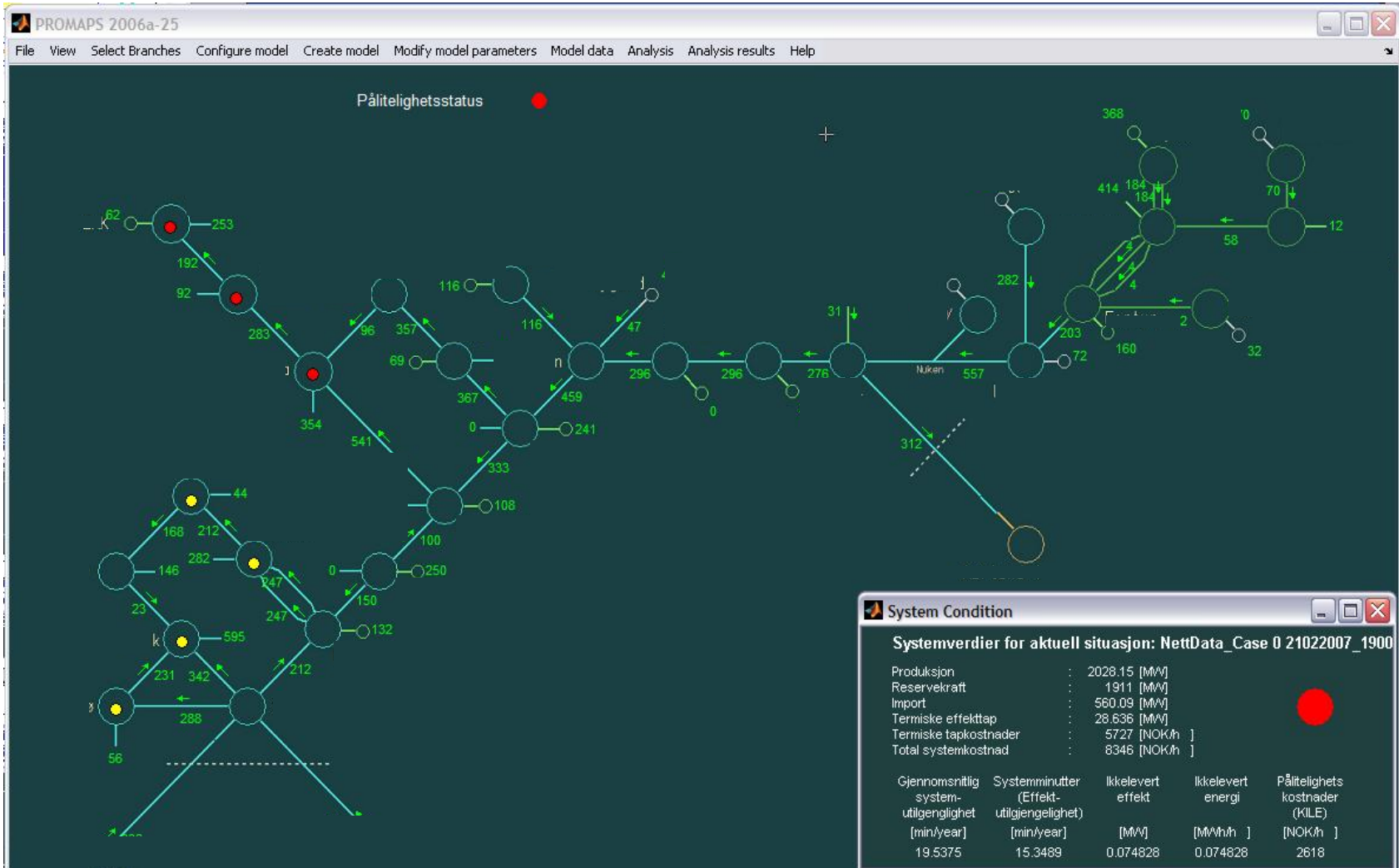
- Average system unavailability
- System SMS values
- System cost pr hour and pr year
- Total power and reliability loss pr hour and pr year

In addition PROMAPS should adapted Statnetts SCADA user interface as the operators PROMAPS user interface with an dynamic coloure indication of the system risk level.

Customer project and area of use

Statnett: On line operation

Dynamic color indication, load flow and risk system values
PROMAPS_SCADA ABB



Customer project and area of use

Statnett: On line operation

System Condition

Systemverdier for aktuell situasjon: NettData_Case 0 21022007_1900

Produksjon	:	2028.15 [MW]	}
Reservekraft	:	1911 [MW]	
Import	:	560.09 [MW]	
Termiske effekttap	:	28.636 [MW]	
Termiske tapkostnader	:	5727 [NOK/h]	}
Total systemkostnad	:	8346 [NOK/h]	

Gjennomsnittlig system- utilgjenglighet [min/year]	Systemminutter (Effekt- utilgjengelighet) [min/year]	Ikkelevert effekt [MW]	Ikkelevert energi [MWh/h]	Pålitelighets kostnader (KILE) [NOK/h]
19.5375	15.3489	0.074828	0.074828	2618

Sum hour values

Calculated thermal loss in PROMAPS (20øre/kWh)

Expected reliability system cost pr year in NOK

Sum unavailability/
Number of load point

Sum (ILP/LP)*60*8760
ILP= not delivered energy

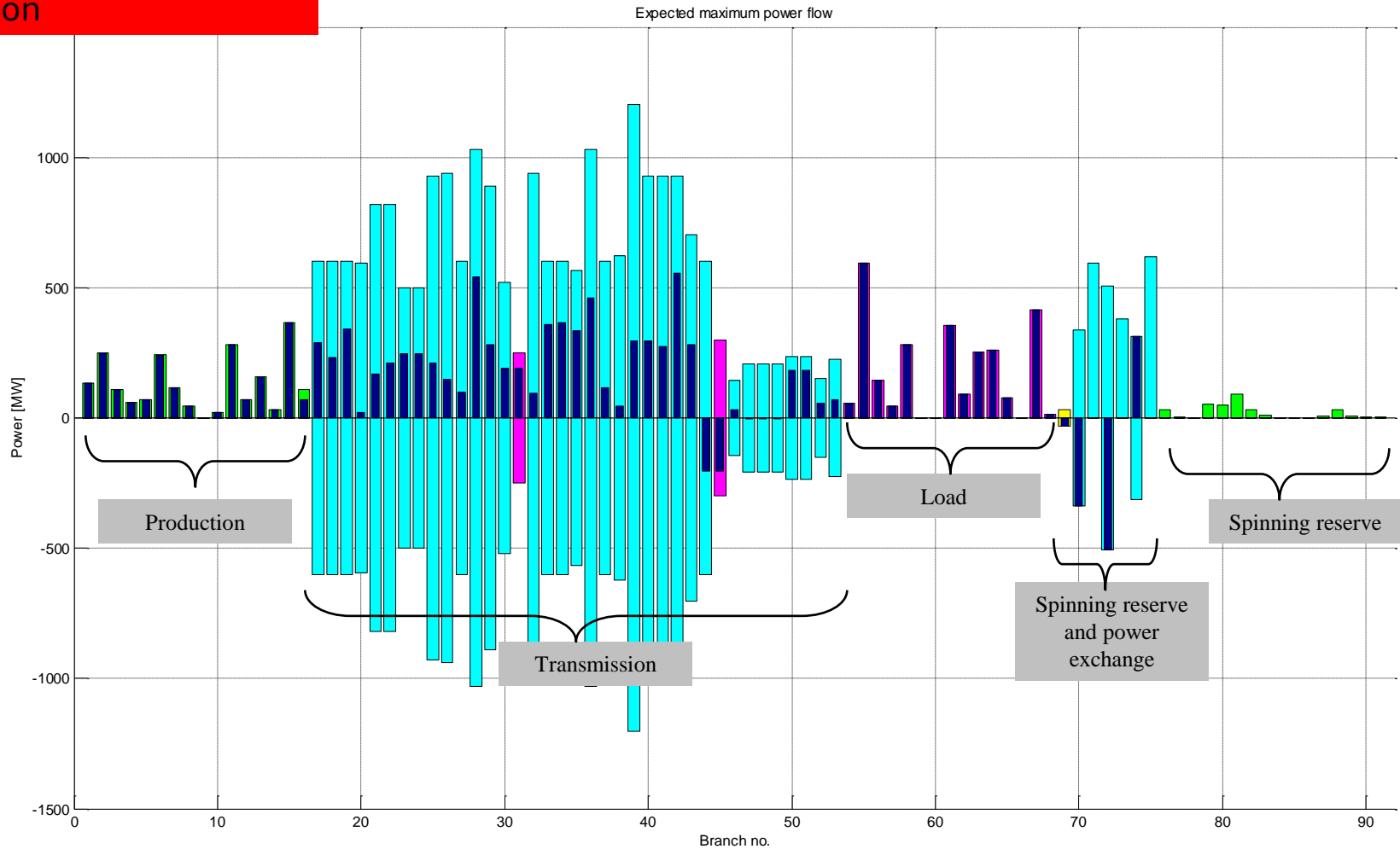
Average not supplied power for a given time value

Average not supplied energy pr hour

Hour value: production, load, spinning reserve and power exchange for a given hour

Customer project and area of use

Statnett: On line operation



Customer project and area of use



StatoilHydro: Regularity study

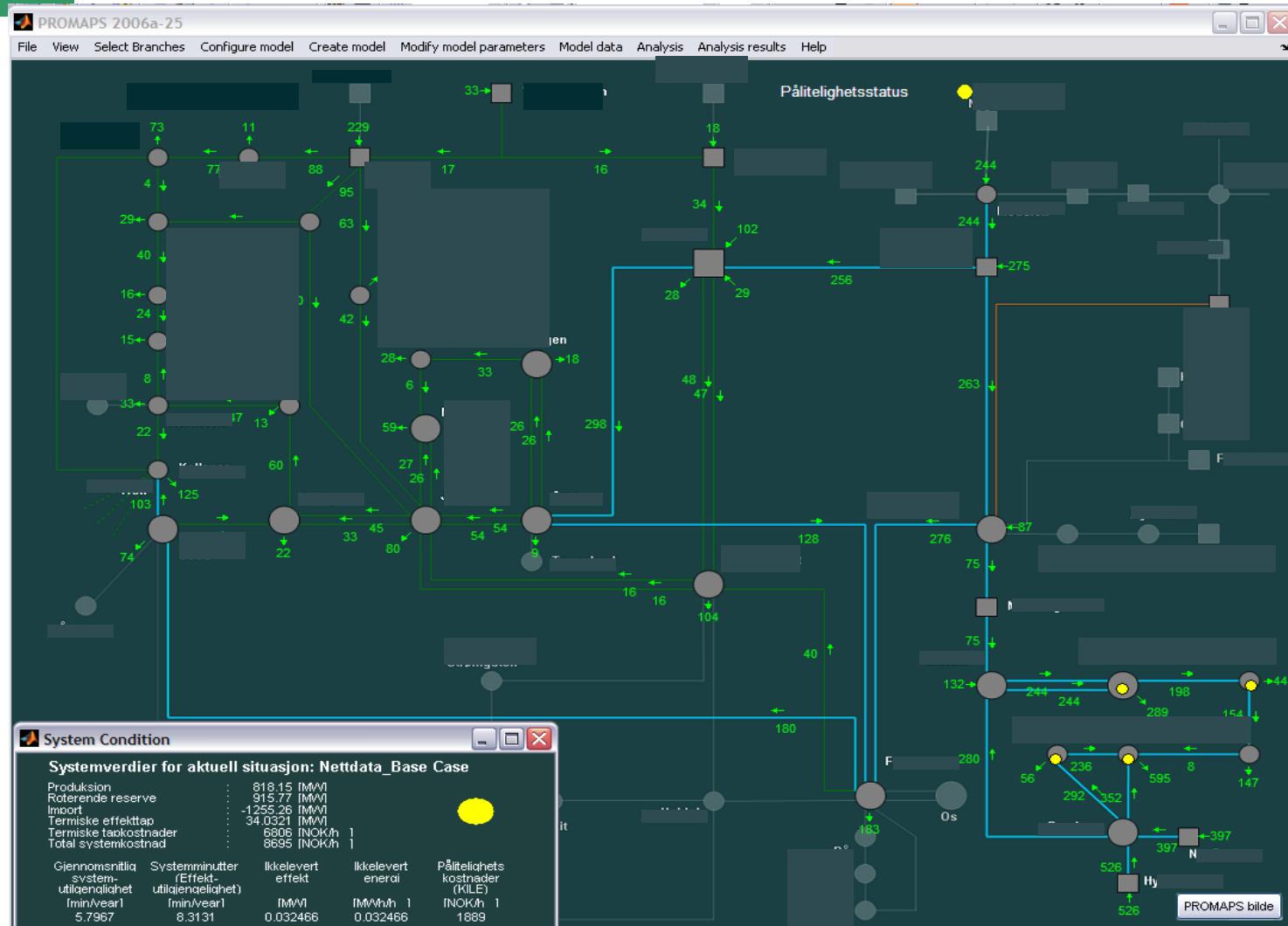
StatoilHydro's project goal was to calculate the expected regularity losses(reliability losses) and thermal losses in a part of Norway's power grid, when considering a large increase in the industrial load connected to the off shore installations.

In addition consider impact of different grid upgrade action.

Customer project and area of use

StatoilHydro: Regularity study

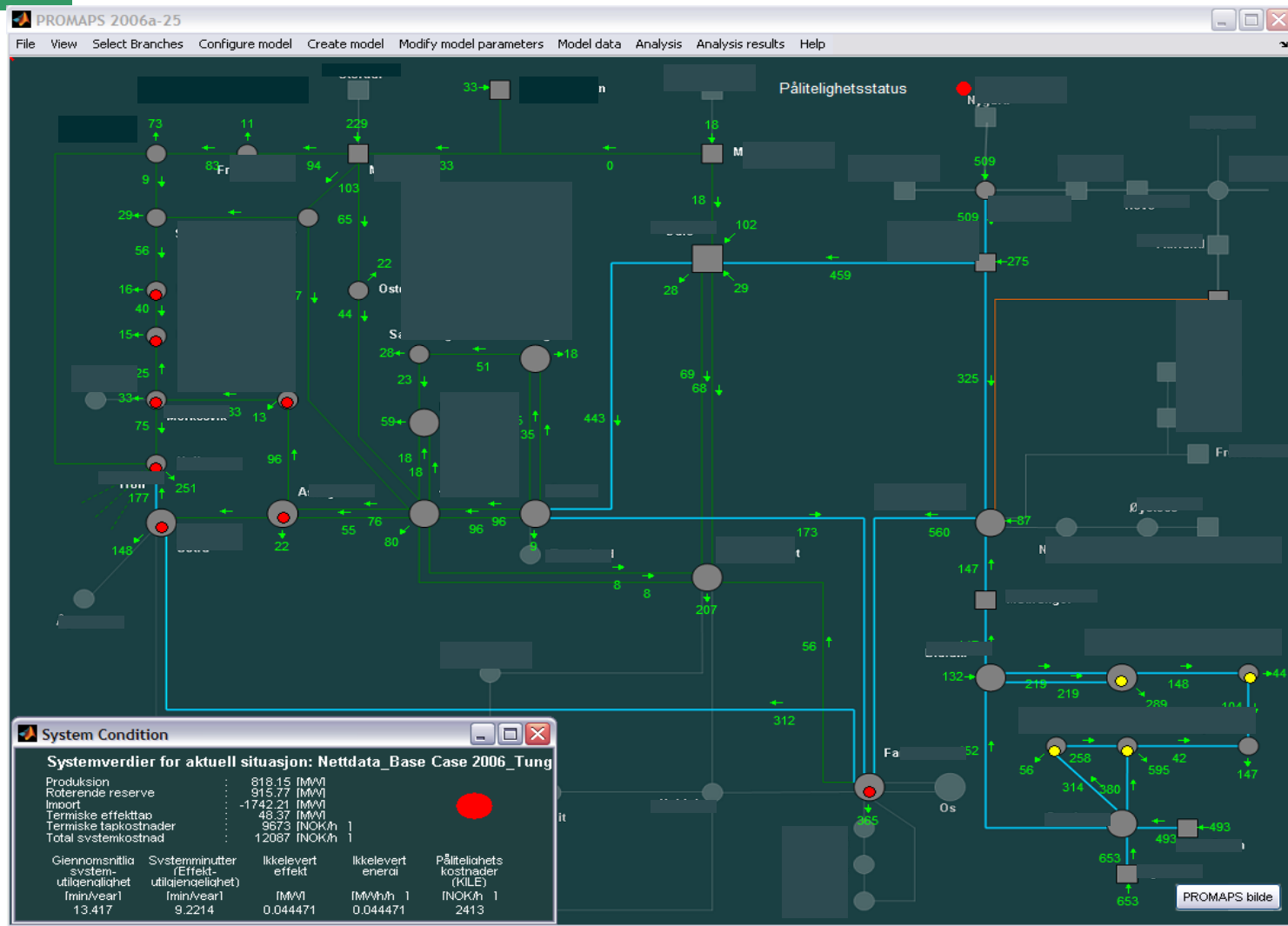
Summer load 06



Customer project and area of use

StatoilHydro: Regularity study

Vinter load 06

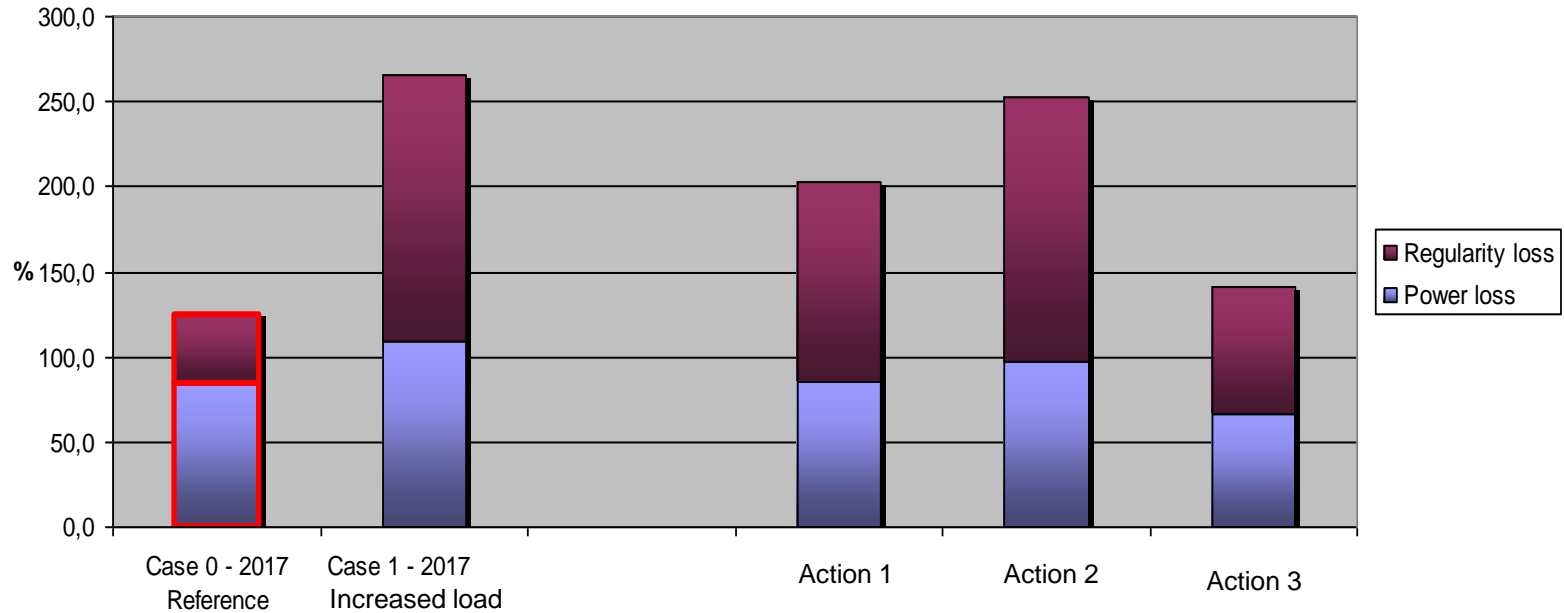


Customer project and area of use

LINK

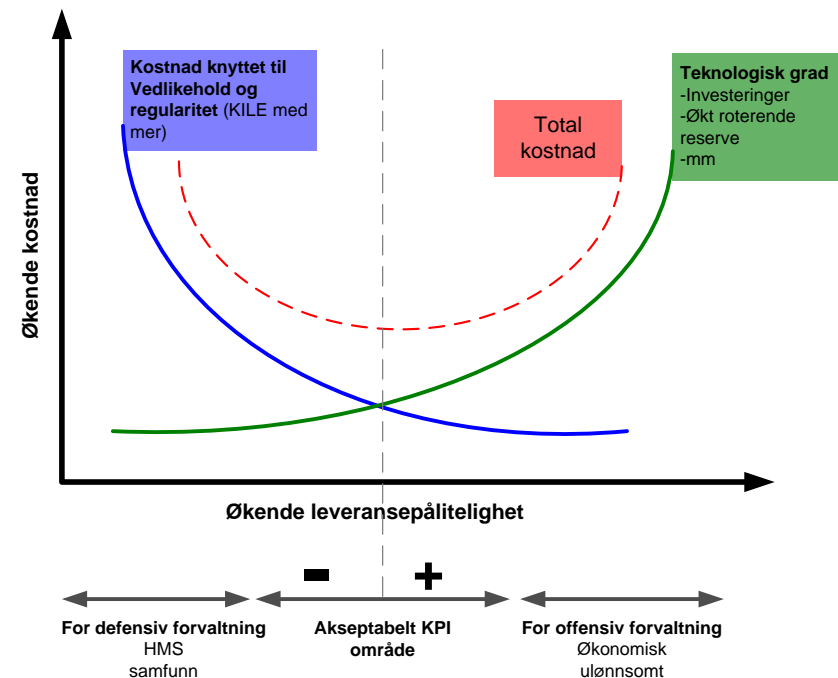
StatoilHydro: Regularity study

Case 1 year 2017 -  s impact on the YYY grid system and possible actions



Oppsummering

- For å kunne gjøre samfunnsøkonomiske riktige nettinvesteringer så må omfattende regularitetsanalyser gjennomføres.
- KILE satser hos ulike sluttbrukere ligger som fundament og er helt avgjørende for at regularitetsanalyser har noe for seg.
- I flere kundeprosjekt har resultatene fra PROMAPS vist seg å bli avgjørende for hvilken nettinvestering som er konkludert samfunnsøkonomisk
- Regularitetsanalyser bør benyttes for å verifisere at konsekvensutredninger faktisk viser riktig investeringsgrunnlag.



Takk for meg

“Ved å etablere simuleringsverktøy som kan gjenskape fortiden basert på statistiske data, er det mulig å forutse hva fremtiden vil bringe”

”På denne måten har vi mulighet til å skifte kurs i tide”