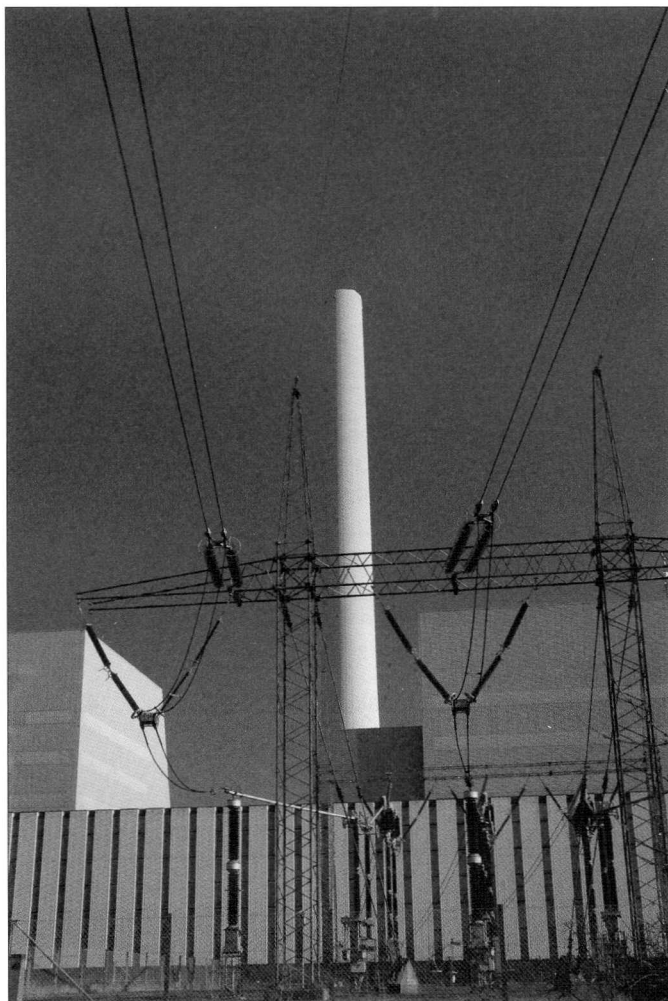


Fremtidens intelligente elsystem

Vores elsystem er under forvandling fra at være baseret på ganske få store kraftværker til at udgøres af et mylder af små elproducenter. Det kan være med til at forhindre omfattende nedbrud i elsystemet, men det stiller store krav til styringen.

Af Preben Nyeng

■ I et moderne samfund er vi alle dybt afhængige af en sikker forsyning af elektricitet. Hvis strømmen går, kan vi ikke fylde benzin på vores biler, metroen og en del tog kan ikke køre, centralvarmen standser, og et glas postevand er ikke længere en selvfølge. Butikkerne kan ikke sælge varer, når deres kasseapparater slukker og i virksomhederne står medarbejderne med korslagte arme og kigger på sorte computerskærme og stillestående maskiner. Samfundet er kort sagt gået i stå, og det koster dyrt – meget dyrt. Men tiden er ved at løbe fra vores elsystem og derfor arbejder danske og udenlandske forskningsmiljøer intenst på at finde ud af, hvordan elsystemer verden over kan moderniseres. Men hvorfor ændre på noget, der tilsyneladende virker fint som det er? Der er flere gode grunde, men en af de vigtigste er den stadig



Overgangen fra store kraftværker til flere decentrale elproducenter stiller større krav til intelligent styring af elnettet...

stigende indpasning af vedvarende energi i elforsyningen. Man kan ikke planlægge hvornår vinden blæser, og det stiller krav til fleksibiliteten i det øvrige system.

Når elsystemet får blackout

Den vedvarende energi er blot en af mange udfordringer, vores elsystem står over for. Vores samfund bliver stadig mere afhængigt af elektricitet og konsekvenserne af en omfattende og længerevarende strømafbrydelse – et såkaldt blackout – er blevet nærmest uoverskuelige. En stor del af forskningen er derfor rettet mod at undgå disse blackouts.

Det seneste store blackout i Danmark var 23. september 2003. For elforsyningsfolk står denne dag lige så klart i hukommelsen som 11. september 2001 hos mange andre. Indtil kl. 12.30 var det en helt normal dag. Systemet var i balance og

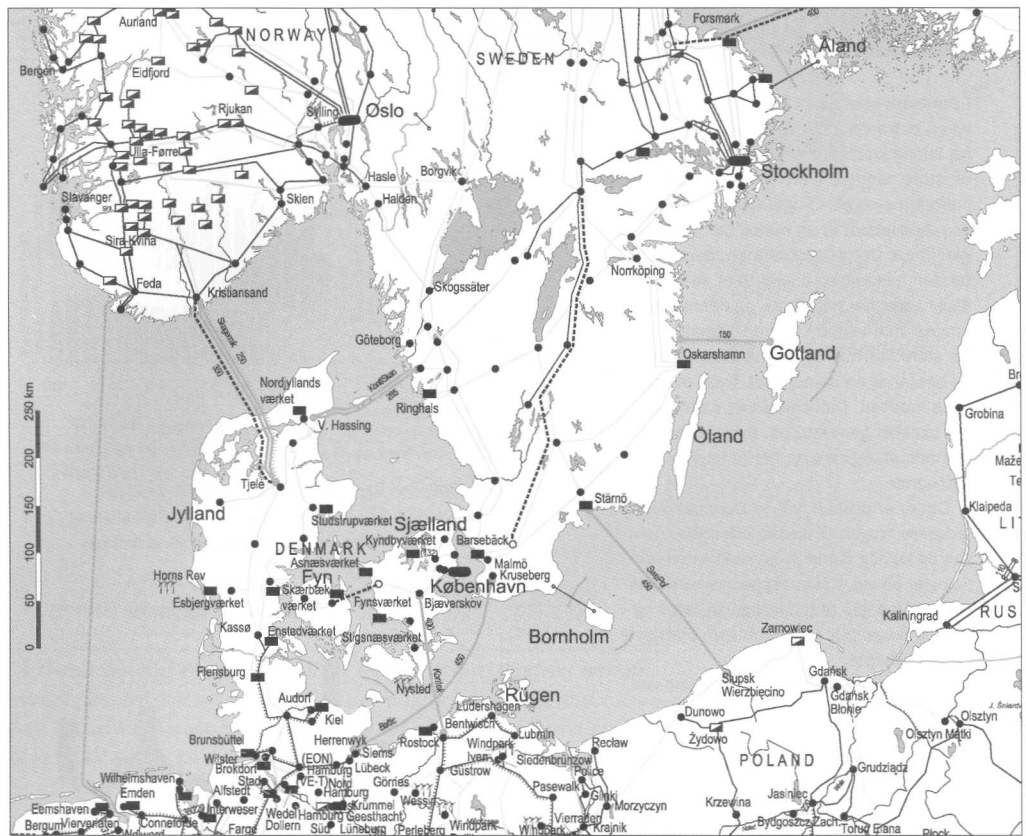
som altid forberedt på det værste. Kl. 12.30 opstår en fejl på en ventil i fødevandskredsløbet på det svenske atomkraftværk Oskarshamn, så det er nødt til at lukke ned. Ingen panik – der er altid reserver klar til den slags og systemet kører videre. Lidt senere, kl. 12.35, sker imidlertid det, der ikke må ske: En kortslutning i et vigtigt knudepunkt i det svenske system betyder, at endnu et atomkraftværk kobles fra. Nu ruller lavinen og efter yderligere et par minutter er katastrofen en realitet: Hele det sydlige Sverige og Danmark øst for Storebælt er uden strøm.

To fejl er én for mange

At det kunne gå så galt selvom systemet i princippet var "forberedt på det værste", skyldes at systemet kun er designet til at håndtere den værst tænkelige *enkeltslående* fejl. Det kaldes N-1 princippet (udtales "N minus 1"). Det betyder, at når der sker to alvorlige fejl inden for kort tid kan systemet ikke nå at "heles" og er derfor sårbart over for fejl nr. 2.

Efter en strømafbrydelse af det omfang er der spørgsmål, som naturligt trænger sig på: Kunne der være gjort noget for at forhindre det? Var systemet robust nok? For at svare er vi nødt til at forstå, hvordan elsystemet er bygget op. Begrebet "det danske elsystem" er først og fremmest et politisk og økonomisk begreb. Fysisk eksisterer et samlet dansk system nemlig ikke. I virkeligheden er der tale om 2 delsystemer af større internationale systemer. Danmark vest for Storebælt er elektrisk en del af det kontinentale europæiske system, mens Danmark øst for Storebælt er en del af det nordiske system sammen med Sverige, Norge og Finland. I denne opdeling finder vi forklaringen på, at ingen vest for Storebælt mærkede noget til strømafbrydelsen i 2003, problemet opstod jo i det nordiske system.

Men hvorfor gik det ud over det østdanske delsystem, at der manglede strøm i Sverige? Her kommer N-1 princippet ind i billedet. Dette princip anvendes samlet for hele det store



Oversigtskort med elsystemets motorveje (de store højspændingsledninger) samt de største kraftværker og transformatorstationer. Eلسystemet er under stadig udbygning. F. eks. er der en jævnstrømsforbindelse på vej under Storebælt og nordmændene planlægger lange søkabler til både Holland og Tyskland.

Kilde: Nordel

Eلسystemets opbygning og styring

Eلسystemet består af tusindvis af kilometer ledning i et fintmasket net over hele landet. Ledningsnettet kan sammenlignes med vejnettet. Transmissionsnettet er systemets motorveje. Her kan meget store mængder energi flyttes over store afstande. De enkelte landes net er desuden forbundet. Transmissionsnettet ejes og overvåges af den statslige virksomhed Energinet.dk som også har det overordnede ansvar for elsystemet. Fra transmissionsnettet forgrener nettet sig i mindre, men mere finmaskede distributionsnet, systemets lande- og småveje. Distributionsnettene ejes og overvåges af lokale selskaber, som har monopol inden for deres område. Monopolet gælder dog kun selve ledningerne. Den energi, der sendes gennem ledningerne, kan alle købe hos et elskelskab efter eget valg.

En vigtig del af elsystemets styring er at holde "systembalancen" – balancen mellem produktion og forbrug af el. Da elsystemet ikke kan lagre energi, skal der hele tiden produceres præcis den mængde el, der forbruges. Da kraftværker kræver tid til at

starte og stoppe, lægges en detaljeret plan for produktionen en dag i forvejen. I praksis gøres det ved, at elskelskaber og elproducenter handler på en fælles nordisk elbørs (Nordpool). Elskelskaberne køber her den mængde el, de tror deres kunder vil bruge, time for time den næste dag. Tilsvarende sælger kraftværker og andre, f.eks. vindmøller, den el de tror de kan levere. Da handlen i et vist omfang er baseret på gæt vil det i praksis aldrig passe helt, når man når frem til det øjeblik hvor energien rent fysisk skal flyttes fra producent til forbruger. Derfor holder man fra et centralt kontrolrum øje med, om der er balance, og ved afvigelser sættes ind med en regulering ved at give besked til udvalgte kraftværker om at skruer en lille smule op eller ned for produktionen. Nogle gange kan der være behov for store justeringer, f.eks. hvis vinden ikke blæser som forventet. I takt med at mængden af vindkraft vokser i systemet, stiger behovet for regulering også, og der arbejdes derfor på at bringe styring af forbruget og udnyttelse af ellagre i spil som aktive reguleringsmuligheder.

system, forstået på den måde, at alle hjælper solidarisk, hvis der sker en fejl i et af delsystemerne. Derfor forsøger det østdanske system automatisk at hjælpe, når der sker fejl i f.eks. Sverige,

og ryger derfor med i faldet. At den øvrige del af det nordiske system efterfølgende kørte videre uden det sydlige Sverige og det østlige Danmark, skyldes, at netop forbindelsen mod

nord blev svækket af fejl nr. 2, og derfor udkoblet automatisk for at beskytte mod overophedning – man kan kalde det held i uheld for den nordlige del af systemet.

Her kommer vores el fra – nu og i fremtiden

I Danmark stammer ca. en femtedel af vores el fra vindmøller, en anden femtedel fra lokale kraftvarmeverker og resten fra de store centrale kraftværker. De lokale kraftvarmeverker bruger typisk naturgas som brændstof til en motor, der trækker en generator. Det er generatoren, der omsætter den mekaniske energi til el. Motoren bliver varm når den kører, og denne varme bruges som varme i de nærliggende byer. De store kraftværker er mere komplicerede og består af en dampkedel, hvori der typisk fyres med kul. Dampen driver en turbine, der trækker generatoren. Bagefter køles dampen af, og varmen herfra bruges til fjernvarme.

Det er et politisk mål, at Danmark skal reducere brugen af fossile brændsler som gas og kul, og derfor er en række nye teknologier på vej. F.eks. eksperimenteres der med at lave gas af forskellige afgrøder og med at bruge træ eller halm som brændsel i kraftværkerne.

Samtidig er udbygningen med vindmøller i fuld gang. Det store problem med vindmøller er, at de kun producerer el, når vinden blæser, og de kan derfor ikke stå alene. De skal suppleres af almindelige kraftværker og andre teknologier som f.eks. solceller. Endvidere kan lagring af el i batterier hjælpe ved at gemme el, når det blæser og frigive det igen, når der er behov. Et særligt område inden for lagring af el er hybrid- og elbilerne, som når de ikke kører kan stille deres batterier til rådighed for elsystemet.

Kunsten at udkoble på rette tid og sted

Episoden i 2003 viser, at elsystemets grundlæggende opbygning som et meget stort sammenbygget system både er en medfødt styrke, men også dets akilleshæl: På den ene side er det sammenknytningen over et stort geografisk område, der gør, at den første fejl ikke fører til sammenbrud. Fordi systemet er så stort, kan det uden problemer håndtere, at der pludselig mangler et helt atomkraftværk – havde systemet været væsentligt mindre, havde alene denne fejl medført et blackout. På den anden side betyder størrelsen af systemet også, at et langt større område end nødvendigt rammes af blackout, når det alligevel går galt, som efter den anden fejl.

Derfor forsøges der i, hvordan elsystemet automatisk kan deles op i større eller mindre delom-

råder i tilfælde af fejl, eller bare som de driftsmæssige vilkår ændrer sig. En rettidig frakobling af det østdanske system fra det svenske i 2003 havde sandsynligvis reddet et stort område fra blackout. Kunsten er at frakoble i det helt rigtige øjeblik – sker det for tidligt undermineres styrken ved systemets størrelse, men sker det for sent er kollapseet uundgåeligt. Samtidig er det ikke sikkert, at der er et oplagt sted at dele systemet op. I tilfældet i 2003 virkede den elektriske forbindelse over Øresund som et fornuftigt bud, men i andre tilfælde kan der være behov for helt andre og mange flere steder at opsplitte systemet.

For at finde den bedste løsning kræves et fuldstændigt overblik over systemet. At indsamle den nødvendige information om så stort et område er i sig selv en udfordring, men

dertil kommer behandlingen af de meget store datamængder, som i sidste ende skal resultere i en beslutning om hvad der skal gøres. Ofte skal det hele ske på ganske få sekunder, så der er ikke tid til menneskelig indblanding – systemet skal være intelligent nok til at forudse problemer og gøre det rigtige på det rigtige tidspunkt.

Vedvarende energi som en del af løsningen

Filosofien om, at man ved at opdele elsystemet i mindre klynger kan forbedre dets evne til at overleve fejl og tilpasse sig ydre omstændigheder, udforskes i mange varianter. I sin mest ekstreme form sker opsplitningen i meget små områder med måske nogle få eller endda kun en enkelt husstand. For at et elsystem kan fungere, stort eller lille, må der imidlertid tilføres den nødven-

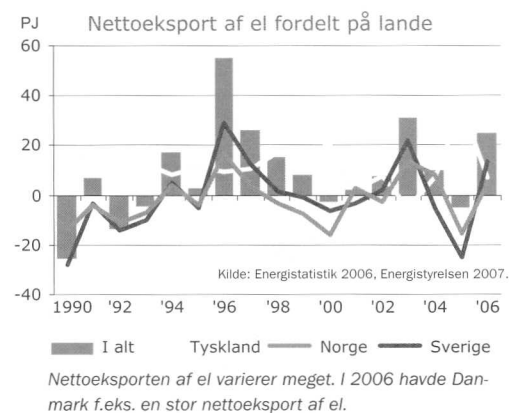
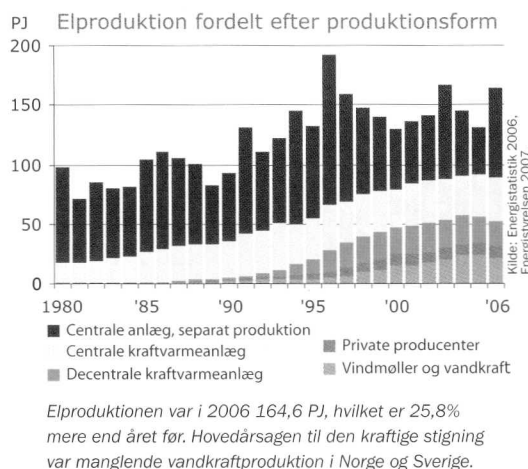
dige energi til at dække elforbruget. Her viser den vedvarende energi sig faktisk at være en del af løsningen og ikke kun som man måske kunne forvente en del af problemet. El fra vedvarende energi er nemlig ofte kendetegnet ved at blive produceret i væsentligt mindre, spredte enheder end på traditionelle kraftværker – man kalder det decentrale ressourcer. De decentrale ressourcer som f.eks. solceller kan findes i så små størrelser, at de kan installeres i almindelige huse og dermed understøtte en inddeling af elsystemet i små systemer, hvis det viser sig nødvendigt.

Elpris som styringsredskab

Problemet med de decentrale ressourcer er at styre så mange flere enheder end der findes i dag. For bare nogle få år siden var der ca. 10 kraftværker i Danmark, i dag er der flere tusinde og i fremtidens system måske 100.000'er af små elproducenter. At holde styr på så mange enheder fra et centralt kontrolrum er næsten en umulig opgave, og derfor er der behov for decentral styring. Samtidig virker det som en udfordring at få de mange små enheder til at deltage i det fri marked for el, som alle større kraftværker i dag gør. De nuværende markedssystemer er nemlig slet ikke gearret til så mange enheder, men faktisk kan netop et velfungerende elmarked vise sig at blive et meget effektivt styringsredskab til de decentrale enheder.

Princippet er, at prisen på el skal afspejle den øjeblikkelige tilstand i systemet og samtidig være tilgængelig for alle. Når der er underskud af el, stiger prisen og flere enheder vil vælge at sælge el ud i systemet for at tjene mest muligt til deres ejere. Dermed dækkes underskuddet og der er igen balance. Omvendt hvis der er overskud vil prisen falde, flere enheder vil stoppe og afvente en højere pris og dermed genskabe balancen.

I det hele taget er tilstedeværelsen af intelligent styring helt ned på husstands niveau et



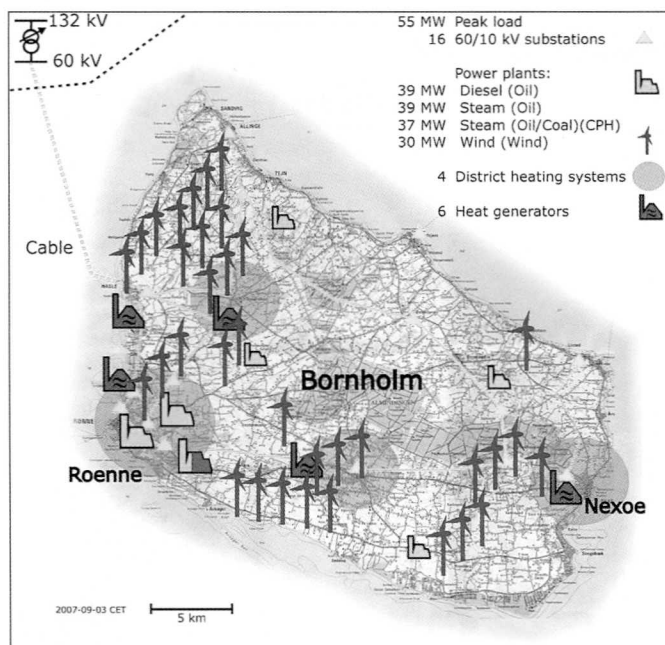
meget vigtigt element i fremtidens samlede elsystem. En aktuel elpris kan ikke kun bruges til at styre produktionen af el, men også forbruget – som eksempel kan vaskemaskinen starte, når strømmen er billig, eller køleskabet holde en kort pause, hvis der akut er mangel på el. På den måde kan alle dele i systemet samarbejde om en sikker, miljøvenlig elforsyning langt ind i fremtiden.

Udfordringen

At gøre elsystemet intelligent er ikke en let opgave, da elsystemet er et enormt system, der er meget komplekst. Et problem, der alene får stor opmærksomhed, er, hvordan man kan indsamle og behandle data om et system af den størrelse med den nødvendige hastighed. Det positive ved det problem er, at metoderne til at løse det kan efterprøves i praksis uden at påvirke elsystemet.

Det næste skridt, at lade en computer træffe et intelligent valg og føre det ud i livet, kan man desværre ikke bare afprøve – hvis det går galt vil resultatet meget let blive et blackout. Man kan regne sig frem til mange svar, men der er stadig behov for at kunne eksperimentere: Hvad sker der hvis man opdeler her eller der? Derfor arbejder forskere med modeller af elsystemet, hvor man kan simulere forskellige situationer uden konsekvenser for elforbrugerne. Men ofte er modellerne forsimplede for ikke at kræve for meget computerkraft, og selv med en forsimplet model kan det tage dage på en kraftig computer at simulere nogle få sekunder. Et vigtigt forskningsområde er derfor udvikling af nye modeller og beregningsmetoder, der dels er mere realistiske og samtidig kan give svar inden for en rimelig tidshorizont.

Endvidere er der en række ting, der ikke kan forudsiges med sikkerhed – f.eks. hvordan den enkelte opfører sig på elmarkedet. Det bringer et element af tilfældighed ind i modellerne, som yderligere bidrager til kompleksiteten. ■



På Bornholm skal der i den nærmeste fremtid eksperimenteres med de teknologier, der skal understøtte fremtidens elsystem, blandt andet dynamisk frakobling fra det overordnede elnet og udnyttelse af styret forbrug til at holde balancen. Se mere på www.oersted.dtu.dk/cet

Om forfatteren



Preben Nyeng
Center for Elteknologi
DTU Bygning 325
2800 Lyngby
Tlf. 45 25 35 36
email: pnny@oersted.dtu.dk

Større strømafbrydelser

28. december 2002

Ca. en million mennesker i Jylland var uden strøm som følge af to fejl, der opstod uafhængigt af hinanden i det vestdanske transmissionsnet.

14. august 2003

En stor del af det nordøstlige USA og østlige Canada rammes af et omfattende blackout. Ca. 50 mio. mennesker berøres af dette største blackout i Nordamerikas historie. De vigtigste grunde menes at være et generelt hårdt belastet elnet, en varm dag, trætoppe der ramte ledningerne samt fejl i de systemer der skulle overvåge elnettet.

23. september 2003

Ca. 5 mio. mennesker i Danmark og Sverige rammes af blackout. Årsagerne var en fejl på et atomkraftværk i Sverige, efterfulgt af en kortslutning i et vigtigt knudepunkt, også i Sverige.

28. september 2003

Hele Italien og dele af Schweiz rammes, i alt ca. 56 mio. mennesker. Årsagen var en fejl på en ledning der forsynede Italien med el fra Schweiz. Efter at denne ledning fejlede, blev øvrige parallelle ledninger overbelastet og udkoblet. Italien var herefter afskåret fra det kontinentale europæiske system og blackoutet bredte sig hurtigt.

18. august 2005

Det meste af de to indonesiske øer Java og Bali, i alt ca. 100 mio. mennesker, rammes af dette blackout, der regnes for verdens mest omfattende strømafbrydelse til dato. En præcis årsag er ikke klarlagt, men det indonesiske elsystem er hårdt belastet og langt bagud hvad angår investeringer i nye kraftværker til at matche det stigende elforbrug.

4. november 2006

Det kontinentale europæiske system deles utilsigtet i 3 dele fordi en ledning over floden Ems afbrydes for at tillade sikker passage for et større skib. Konsekvensen af at afbryde denne ene ledning var ikke korrekt beregnet så efter kort tid blev flere andre ledninger overbelastet og automatisk udkoblet. I alt blev 10-15 mio. mennesker berørt af afbrydelsen.

Yderligere læsning

Center for Elteknologi:
www.oersted.dtu.dk/centre/cet

Energistyrelsen: www.ens.dk

Energinet.dk:
www.energinet.dk

Organisation for the Nordic
Transmission System Operators:
Nordel: www.nordel.org

Nord Pool – The Nordic Power
Exchange: www.nordpool.com