

# Indpasning af vindkraft i elsystemet

Efterhånden som vindkraft dækker en større og større andel af det samlede, danske elforbrug, bliver indpasningen i det omgivne energisystem mere og mere afgørende.

Indpasning handler både om tilslutning af mølleparker til elnettet og om afsætning af produktionen i systemet.

Vindmøllernes produktion følger vejret og sker ikke altid i takt med forbruget af el. Det skaber en række udfordringer, da elektricitet er noget, der forbruges her og nu. Spørgsmålet bliver, hvordan vi skaber et fleksibelt energisystem, hvor vindmøllestrømmen anvendes på en rationel måde – både teknisk, økonomisk og miljømæssigt.

Udbygning med vind på havet stiller desuden krav til, hvordan fremtidens elinfrastruktur skal udformes.

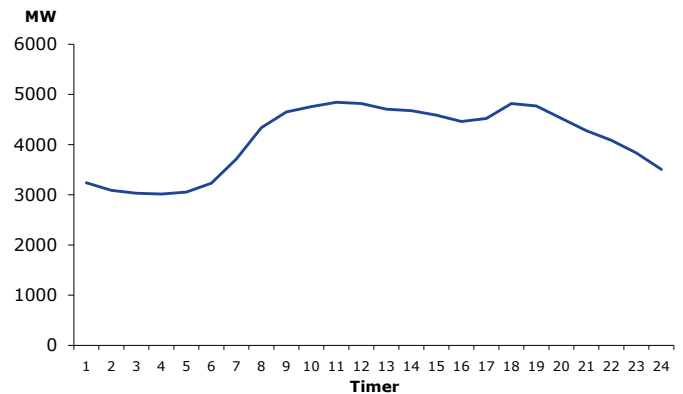
Allerede i dag findes der forskellige virkemidler til indpasning af vindkraft.

## Vindkraft nu – og i fremtiden

Danmark havde medio 2009 en installeret kapacitet på 3.169 MW vindkraft fordelt på 2.746 MW på land og 423 MW på havet. Produktionen af strøm fra vindmøller bidrager med ca. 20 % af elforbruget og vindkraftkapaciteten udgør omkring 24 % af den samlede elkapacitet.

Selvom den samlede vindkraftkapacitet i Danmark er stagneret siden 2003, er det på sigt sandsynligt, at vindkraftens andel vil vokse. To nye havmølleparker på

*Elforbrugets døgnvariation. Gennemsnitsværdier baseret på det faktiske forbrug i Danmark i 2006*



hver 200 MW vil blive idriftsat i 2009 og 2010 og en yderligere havmøllepark på 400 MW er under planlægning. På land er der nye projekter på vej trods de seneste års usikkerhed om rammevilkår.

Den langsigtede tendens i retning af større vindkraftproduktion understøttes af EUs VE-direktiv. Direktivet indeholder en fordeling af EU's samlede 20 % VE-målsætning på de enkelte lande og Danmark har fået et VE-mål på 30 % i 2020 (endelig energiforbrug).

## Elforbrug og vindkraft

Elforbruget følger en velkendt døgnrytme. Der er spidser om morgenen, når vi står op og arbejdet begynder, og nedgang om natten hvor fabrikker og kontorer er lukket, og hvor folk sover. Desuden er forbruget lavere om sommeren end om vinteren, hvor folk opholder sig mere inden døre, og forbruget af el til lys og varme er større.

I 2006 var eksempelvis den laveste belastning for hele landet ca. 2.300 MW en sommernat i juli og den højeste belastning 6.400 MW en tirsdag eftermiddag i januar. Figuren øverst viser den gennemsnitlige døgnbelastningskurve.

Vindkraftens produktion er mere uforudsigelig end elforbruget, men følger dog også nogle overordnede rytmer. F.eks. blæser vinden i Danmark mere om vinteren end om sommeren. Det skyldes klimatiske forskelle i placeringen af højtryk og lavtryk om vinteren hhv. om sommeren. Dertil kommer, at der er mere energi i vinden om vinteren, fordi luften er koldere, og derfor vejer mere.

Normalt blæser det desuden mere om dagen end om natten. Det skyldes et lokalt vejrfænomen, nemlig at solen varmer jorden op i løbet af dagen. Jorden afgiver sin varme til luften, og da varm luft er lettere end kold luft, stiger luften over land til vejrs. Herved skabes et

### Kort sigt

#### Primært fokus: Balancering af elsystemet

- Udbygning af udvekslingsforbindelser
- Forstærkning og udbygning af eksisterende net
- Nedregulering af produktion vha negative spotpriser

### Mellemlangt sigt

#### Primært fokus: Integration af el i andre sektorer

- Varmepumper på kraftvarmeværker
- Elpatroner på kraftvarmeværker

- Geografisk spredning af havmølleparker
- Fleksibelt elforbrug
- Fleksibel elproduktion

- Varmepumper i husstande
- Plug-in hybridbiler
- Elbiler

### Langt sigt

- Ellagring i brint
- Compressed Air Energy Storage
- Ellagring i batterier

- Elektrolysebaseret brint i transportsektoren
- Elektrolysebaseret brint i gasnettet

undertryk, som får luften, der ligger over det relativt koldere hav, til at bevæge sig ind mod land. Vinden, der kommer ind fra havet, kaldes en søbrise.

Generelt producerer vindmøllerne altså mest om vinteren og midt på dagen, når vi også bruger mest el. I den enkelte time kan vindkraftens produktion naturligvis variere meget i forhold til elforbruget. Som gennemsnit er vindkraftproduktionen dog højere i de timer, hvor også forbruget er højest, og lavest når elforbruget også er lavest (se figuren øverst på næste side). Dette øger vindkraftens værdi for systemet.

I blæsende perioder om natten, hvor der er et lavt elforbrug, kan vindkraftproduktionen i nogle tilfælde dække hele det jysk-fynske elforbrug. Det sker dog relativt sjældent. I 2006 var vindkraftproduktionen i Vestdanmark højere end elforbruget i 26 timer.

Med større andel vindkraft vil antallet af timer, hvor vindkraftproduktionen alt andet lige overstiger elforbruget, øges. Figuren nederst viser sammenhæng mellem elforbrug og vindkraft i et tænkt eksempel, hvor vindproduktionen svarer til 50 % af elforbruget. Der er antaget en samlet udbygning på 3.500 MW landvind og 2.800 MW til havs og samme elforbrug som i dag.

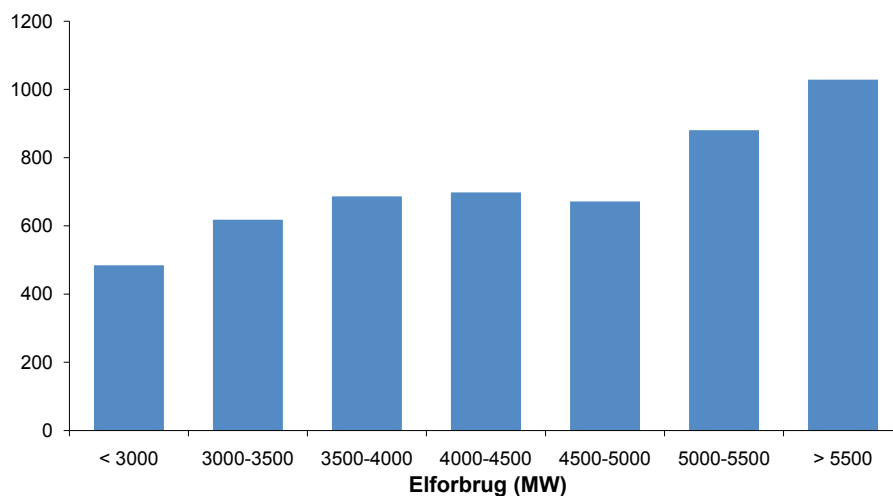
Det blå område viser elforbruget time for time (sorteret så timerne med det højeste forbrug ligger længst til venstre). Den orange linje viser det resterende elforbrug, når produktionen fra vindkraft i de enkelte timer er fratrukket.

Figuren peger på to centrale spørgsmål i forbindelse med indpasning af vindkraft:

- 1) Hvordan sikrer vi forsyningen i de timer, hvor elforbruget er højt, og vindmøllerne ikke producerer?
- 2) Hvordan udnyttes situationer med kraftig vind, hvor vindkraftproduktionen overstiger det hjemlige forbrug?

I ovenstående eksempel med 50% af elforbruget fra vindkraft vil vindkraftproduktionen i knap 1.000 timer være så stor, at den overstiger elforbruget, hvis der ikke foretages kompenserende tiltag. Omvendt vil behovet for spidslastkapacitet være stort set uændret, fordi der stadigvæk vil være situationer, hvor elforbruget er højt og vindkraftproduktionen lille. Det giver en skarp forbrugs-spids, hvor energibehovet er meget lille, men effektbehovet stort. Hvis det omgivne system ikke indrettes på en intelligent måde, kan der derfor blive behov for en betydelig mængde kraftværkskapacitet med få driftstimer.

### Vindkraftproduktion (MW)



Gennemsnitlig vindkraftproduktion som funktion af elforbruget. Baseret på faktiske produktions- og forbrugstal for Danmark i 2006.

### Effektiv anvendelse af vind

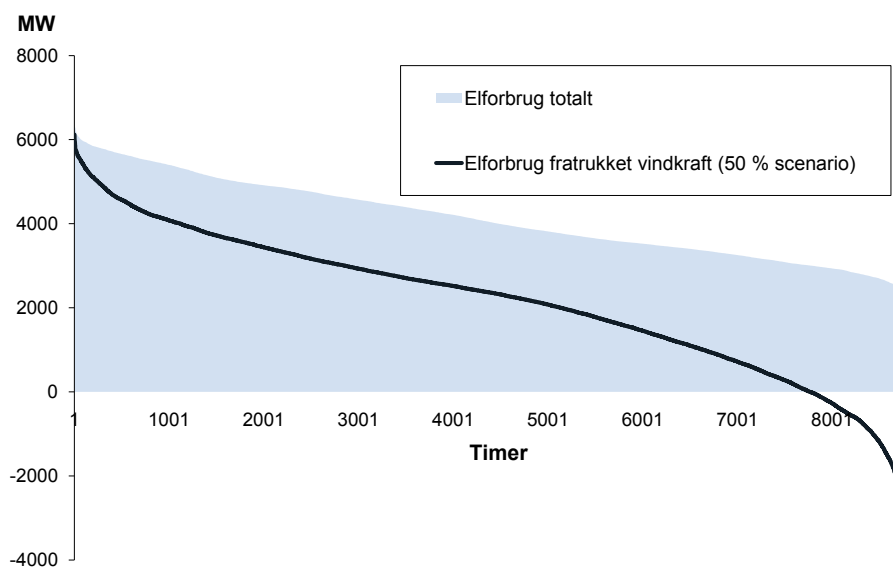
For at håndtere eloverløb og sikre forsyningssikkerheden, når det ikke blæser, er der således behov for at udvikle et mere fleksibelt elsystem, end det vi kender i dag. Med forskellige indpasningsværktøjer kan man øge anvendelsen af vindkraft og samtidig udnytte vindkraften endnu mere effektivt med både miljø- og økonomiske fordele.

Energinet.dk fremlagde i marts 2009 en omfattende analyse af dette med rapporten "Effektiv anvendelse af vindkraft-baseret el i Danmark". Analysen belyser samspillet mellem vindkraft, el-forbin-

delse til udlandet og en intelligent indpasning af varmepumper og elbiler.

Den viser, at intelligent styrede varmepumper og elbiler baseret på vindkraft effektivt kan udnytte store mængder vindkraft i Danmark og tilmed med et samfundsøkonomisk overskud og en markant reduktion i CO<sub>2</sub>-udledningen.

Udgangspunktet er en udbygning med yderligere 3.500 MW vindkraft frem mod en samlet kapacitet i 2025 på ca. 6.700 MW. Det forudsættes, at ca. 15 % af varmen i fjernvarmeområder i 2025 dækkes med store varmepumper foruden en væsentlig udbygning med individuelle



Varighedskurve for det danske elforbrug med markant vindkraftudbygning svarende til 50 % af elforbruget

varmepumper udenfor fjernvarmeområdet samt at 15 % af vejtransportens energiforbrug i 2025 dækkes med elbiler. Det er afgørende, at forbrug og produktion bindes sammen med intelligente elmålere og en styring, således at elsystemet, varmepumperne og elbilerne har et intelligent samspil, hvor de nye store elforbrug placeres i de timer, hvor vindkraftproduktion er høj og elprisen lav.

Hvis det gennemføres, kan der opnås en CO<sub>2</sub>-reduktion pr. år på ca. 5 mio. tons, svarende til omkring 10 % af Danmarks nuværende udledning. Den generelle energieffektivitet vil blive forbedret og dermed medvirke til at nedsætte det samlede energiforbrug, og samfundets omkostninger til energiforsyning kan ifølge Energinet.dks beregninger nedsættes med ca. 2,5 mia. kr. i 2025.

I det følgende redegøres der nærmere for forskellige teknologier og indpassningssystemer, der kan bidrage til at skabe bedre balance i elsystemet ved storskala vindkraftindpassning.

## Elhandel over landgrænser

Elmarkedet sikrer, at det er kraftværker med de højeste produktionsomkostninger, der nedjusterer produktionen for at indpasse vindkraft. Da elmarkedet gør det muligt at udveksle el på tværs af landegrænser, vil dansk vindkraft ikke nødvendigvis fortrænge dansk elproduktionen. Normalt vil kraftværker baseret på olie og gas have de højeste omkostninger. Herefter følger værker fyret med kul, da kul er et billigere brændsel. Kraftvarmeanlæg vil normalt være relativt billige i drift, fordi samproduktionen af varme giver en ekstra indtægt.

International handel med strøm giver fordele for alle parter. Det bidrager til at udjævne svingninger i elforbrug og produktion på tværs af landegrænser, og sikrer at det altid, er de billigste anlæg, der er i drift. Nordmænd og svenskere kan bruge vores vindkraft, når den er til stede, og gemme deres egen vindkraft til vinden løjer af. Via elmarkedet fungerer de nordiske vandmagasiner som et billigt og effektivt energilager for dansk vindkraft. Udvekslingen er også god forretning for de danske vindmølleejere, som får en bedre pris ved at sælge til svenskerne og nordmændene.

Det er en udbredt misforståelse, at Danmark eksporterer strøm til nul kroner, når det blæser. Når elprisen i Danmark er 0 øre, bliver den danske eksportstrøm solgt til den elpris, der gælder i nabolandet. Prisforskellen mellem Danmark og nabolandet deles mellem de to systemansvar, og den danske del indkasseres derfor af Energinet.dk til gavn for de danske forbrugere. En analyse af elpriserne i Jylland/Fyn fra 1.1.1999 til 25.1.2007 viser

	Danmark	Sverige	Norge
Elforbrug	36	147	126
Vandkraftproduktion	0	70	120
Vindkraft produktion	7	0,9	0,6
Mål for vindkraftproduktion	<sup>1)</sup> 18*	<sup>2)</sup> 10	<sup>3)</sup> 3

<sup>1)</sup> 50 % af det danske elforbrug, jfr. regeringens udspil til energiplan fra januar 2007

<sup>2)</sup> Planlægningsmål for 2015

<sup>3)</sup> Mål for 2010

### Oversigt over elforbrug og vand- og vindkraftproduktion, TWh

tilmed, at vindmøllestrømmen i nulpristimerne er eksporteret til en pris, der har ligget over den gennemsnitlige pris i elmarkedet i samme periode (gennemsnitligt 33-38 øre/kWh).

På den nordiske elbørs indføres der fra 1. oktober 2009 mulighed for negative priser i de situationer, hvor elspotprisen nærmer sig nul, altså hvor efterspørgslen er meget lille, men hvor der alligevel synes at være et vist udbud. Der er dog sat en nedre grænse på - 1,50 kr./kWh. Det skal gælde for alle elproducenter, også de centrale kraftværker, som dermed forventes at få et incitament til i højere grad at tilrettelægge produktionen ud fra den forventede efterspørgsel. På den tyske elbørs er systemet allerede indført. Negative priser forventes kun i ganske få af årets i alt 8.760 timer. Således var elprisen i 2008 i Vestdanmark kun nede på nul i 28 timer.

For at belyse potentialerne i at udveksle vind med vand er det interessant at se på størrelsesforholdet mellem det danske elsystem baseret på kraftvarme og vindkraft og de norske og svenske energisystemer, som har en høj vindkraftdækning. Elforbruget i Norge og Sverige er betydeligt højere end i Danmark og vandkraftdækningen er meget stor - i Norge næsten 100 % i et normalt år og i Sverige tæt ved 50% (se tabellen).

I nordisk sammenhæng udgør vindkraft stadig et begrænset bidrag til den samlede forsyning, og mulighederne for indpassning via vandkraftlagring er store. I første omgang vil det formentligt være udvekslingskapaciteten i og mellem de nordiske lande, der vil blive begrænsede for at udnytte potentialerne for at handle vind- og vandbaseret el på tværs af grænserne. Vestdanmark er i dag forbundet med Norge og Sverige over hhv. Skagerrak og Kattegat og Østdanmark til Sverige via Øresund.

I slutningen af 2010 forventes Øst- og VestDanmark at være forbundet med en elektrisk storebæltforbindelse.

## Varmebunden elproduktion

En meget stor del af den danske elproduktion er koblet sammen med var-

meproduktion. Med undtagelse af et par anlæg har alle kraftværker i Danmark således mulighed for at producere kombineret el og varme. Dette kan give bindinger i forhold til indpassning af vindkraft, fordi elproduktionen i et vist omfang er bundet op på varmebehovet. De fleste centrale anlæg er såkaldte udtagsanlæg, der kan veksle imellem kun at producere el (såkaldt kondensdrift) og at producere el og fjernvarme. De mindre, decentrale kraftværker er hovedsagligt såkaldte modtryksanlæg, der producerer el og varme i et bestemt forhold, og de kan normalt kun producere el, når de samtidigt har mulighed for at afsætte varme.

I forbindelse med praktisk taget alle større danske kraftvarmeverker er der etableret varmelagre (store termokander). Normalt er lagrene dimensioneret til at gemme varme til ca. 8 timers produktion. De øger fleksibiliteten i elsystemet, så kraftvarmeanlæggene kan reducere eller stoppe produktionen af el og varme, når det blæser meget, og forsyne varmekunderne fra varmelagrene. Større varmelagre kan være en måde at øge fleksibiliteten yderligere på i et system med stor vindkraftandel.

I andre situationer kan det være nødvendigt helt at stoppe samproduktionen af el og varme. Produktion af kraftvarme er både miljømæssigt og økonomisk fornuftigt, så længe alternativet er spild af varme, men for at udnytte strømmen fra vindmøllerne fuldt ud kan bindingen med fordel løsnes. I kolde perioder, hvor vindmøllerne dækker elforbruget, kan kraftvarmeverkerne f.eks. lade dampen gå uden om turbinen direkte til varmeproduktion, hvis de har installeret et såkaldt 'damp by-pass'.

Noget af elproduktionen kan også bruges til at lave varme f.eks. med højeffektive varmepumper tilkoblet fjernvarmesystemet. En varmepumpe virker ligesom et køleskab. Via en kompressor flyttes energi fra et udendørs reservoir (udeluft/jord/vand) indenfor til opvarmningsbrug. Varmepumpesystemer kan levere op til 4 gange mere varme målt i energienheder, i forhold til den elektricitet, de bruger. Alternativt kan

man anvende elpatroner, der virker på samme måde som de elkedler, vi kender fra køkkenet. Elpatroner er mindre effektive, da én enhed el bliver til én enhed varme, men til gengæld væsentligt billigere i indkøb. Varmepumper er derfor velegnede til drift i mange timer, mens elpatroner kan være den rigtige løsning til få driftstimer (spidslast).

## Afgiftsændring

Energiafgiftsregler for kraftvarmeværker har hidtil givet en uhensigtsmæssig tilskyndelse til elproduktion, også når omkostningerne herved er højere end elprisen. Høje afgifter på el har desuden hindret samtidig brug af el til varmeproduktion, på tidspunkter hvor elmarkedsprisen har været lav.

Folketinget vedtog december 2005 at afgiften på brændsler til fjernvarmeproduktion reduceres ned mod samme niveau som ved kraftvarmeproduktion. Herved bliver de nuværende afgiftsmæssige incitamenter til en for stor elproduktion på kraftvarmeværkerne reduceret. Afgiften på brug af el til fjernvarmeproduktion bliver ligeledes nedsat. Herved bliver incitamentet forøget til en fornuftig indenlandsk anvendelse af elproduktionen frem for uøkonomisk eksport.

Loven om afgiftslempelser på fjernvarme trådte efter EUs godkendelse endeligt i kraft 1.1.2008. Loven giver mulighed for nedsættelse af afgifterne ved kraftvarmeværkernes produktion af varme uden samtidig elproduktion. Bestemmelserne er gældende i en 4-årig prøveperiode og giver kraftvarmeværkerne mulighed for at producere varme ved hjælp af elektricitet via f.eks. elpatroner eller varmepumper i perioder, hvor elektriciteten er meget billig. Den fremtidige udnyttelse af denne afgiftsnedsættelse vil afhænge af værkernes fjernvarmepris, elprisen og de nødvendige investeringer.

En midlertidig ordning på 4 år er nok for kort til, at fjernvarmeværkerne for alvor vil gå i gang med en større investeringer.

## Integrere transportsektoren

På længere sigt vil et gennembrud for el eller brintbiler kunne gøre det endnu lettere at indpasse vindkraft. Bilerne kunne oplades om natten, eller når det blæser mest, og forbruge strømmen i dagtimerne. Bilparken vil derved udgøre et stort rullende ellager, som også kan bruges til korttidsbalancering af vindkraften. Hos brintbiler anvendes el til fremstilling af brint ved elektrolyse (vand + el = brint). Denne brint vil blive til et CO<sub>2</sub>-neutralt brændstof til biler, som drives af en brændselscelle, der fødes med brint.

Såkaldt plug-in hybrid-elbiler kan blive skridtet på vej mod egentlige elbiler. Plug-in hybrider er biler, der både kan køre på el og benzin/diesel, og som kan oplades fra nettet. Bilen oplades på bopælen, ved stationen eller arbejdspladsen og bruger el til hovedparten af den daglige kørsel. Da bilen har indbygget forbrændingsmotor, vil der ikke være risiko for at løbe tør for strøm. Flere bilfabrikker, bl.a. Toyota og General Motors, har plug-in hybrider på tegnebrættet.

Både energi- og miljømæssigt har batteridrevne elbiler et stort potentiale. Energistyrelsen fremlagde i februar 2008 en rapport fra en tværministeriel arbejdsgruppe om alternative drivmidler i transportsektoren. Blandt alternativerne har batteridrevne elbiler det største langsigtede potentiale på grund af den bedste energieffektivitet sammen med lokale miljøfordele ved mindre støj og ingen skadelige udledninger i nærmiljøet. Der er dog behov for en forbedring af selve batterierne, før elbiler er kommercielt konkurrencedygtige.

I den danske registreringsafgiftslov har elbiler fået en midlertidig afgiftsfritagelse frem til og med 2012, mens der ikke gives afgiftsfritagelser for plug-in hybridbiler. Dog er det i forbindelse med den energipolitiske aftale fra 21. februar 2008 aftalt, at det inden udgangen af 2009 skal drøftes, hvordan udbredelsen af plug-in hybridbiler kan fremmes.

En række el-bil projekter er på vej bl.a. med deltagelse af DONG Energy og Energinet.dk

## Lokale ellagre

Teknologier, der har været diskuteret til lokal ellagrung, er bl.a. trykluftslagere, batterier, svinghjul, vandkraftslagere og brintproduktion i kombination med brændselsceller. Alle teknologierne er imidlertid temmelig investeringstunge, og desuden er det forbundet med ikke ubetydelige energitab at lagre større mængder energi. Ved storskala vindkraftindpasning kan det muligvis blive relevant med ellagre i lokale net, især hvis lagringsteknologiernes økonomi udvikler sig gunstigt.

## Regulering af vindkraftens produktion

Der er udarbejdet særlige tilslutningsbetingelser for vindmøller tilsluttet transmissionsnettet (i praksis store havmølleparker), som skal sikre, at vindmølleparker kan nedreguleres, hvis andre reguleringsmetoder i en periode er utilstrækkelige. Teknisk er det muligt at stoppe vindmøller helt i kritiske driftssituationer. Det bør dog være det sidste tiltag, der anvendes.

## Forsyningsikkerhed

Der er flere problemstillinger forbundet med at sikre tilstrækkelig effekt i spidslastsituationer. Typisk opstår effektmangel i de kolde timer på året, hvor elforbruget traditionelt er højest, og ofte falder "den koldeste time" sammen med, at der er vindstille, så vindmølleproduktionen er på sit laveste. Derfor kan indpasningen af en større mængde vindkraft i elsystemet stille større krav til nye løsninger til håndtering af systemtilstrækkelighed og forebyggelse af effektmangel.

I det liberaliserede elmarked skal markedet sikre den tilstrækkelige produktionskapacitet til at dække forbruget – også i spidslastsituationer, som eksemplet den koldeste time. Juridisk er ansvaret for opretholdelse af elforsyningsikkerheden dog placeret hos den systemansvarlige virksomhed, Energinet.dk.

I et fremtidigt elsystem med knaphed på kapacitet kan sikkerheden i systemet blive højere, når det blæser, og der er kapacitet nok i drift. Dermed bliver der rum for lidt lavere sikkerhed i de relativt få timer om året, hvor de nye store møller ikke producerer. Formålet er, at få den samme forsyningsikkerhed for laveste pris. Når det ikke blæser, vil kraftvarmeværker opregulere deres elproduktion til fuld drift. Endvidere vil visse elforbrugere vælge at skruer ned for forbruget og visse virksomheder vil vælge at starte deres nødstrømsanlæg. Samtidig vil alle importmuligheder blive taget i brug, og visse af systemansvarets driftsreserver vil muligvis også blive startet.

I fremtidens dynamiske system bliver det i højere grad end i dag vinden, der bestemmer, hvor meget produktionskapacitet, der er i overskud en given time. Jo større det sammenhængende elmarked er geografisk set, desto mindre er sandsynligheden for, at der er vindstille på én gang alle steder.

## Fleksibelt elforbrug

Elforbrugere spiller i denne sammenhæng en vigtig rolle, og det vil blive nødvendigt, at forbrugere får installeret tilmålere og automatik til at styre udvalgt forbrug.

En stor fordel ligger der i at få forbrugere til at flytte deres elforbrug til mere hensigtsmæssige tidspunkter. For eksempel kan man flytte 15 % af spidslasten, hvis man laver apparater, der sørger for køling og ventilation, vask og tørring, opladning af batterier og en hel del processer, så de automatisk tager strømmen fra nettet på det tidspunkt, hvor den er rigelig og billig, og slår fra, når strømmen er knap og dyr.

Det kan gøres ved hjælp af 'intelligente elmålere' og 'intelligente elapparater'.

Teknisk set kan man koble husholdningen eller virksomheden op på informationer fra den nordiske elbørs og programmere sit forbrug som man ønsker. Apparaterne kan også konstrueres så de reagerer direkte på netfrekvensen.

Timemålere kan i øvrigt vise sig at være en god forretning under alle omstændigheder, blandt andet fordi det letter elsekskabernes arbejde med at foretage måleraflysning.

## Balancering af vindkraft

Da vindkraft består af mange mindre enheder, sker der ikke kraftige ændringer i vindkraftproduktion i løbet af få sekunder, som der eksempelvis kan ske hvis en stor termisk produktionsenhed kobler sig af nettet. Vindkraft vil derfor ikke påvirke mængden af frekvensstyrede reserver, f.eks. produktionsanlæg der automatisk regulerer op eller ned for at kompensere for pludselige ændringer i systemet, så som udfald af andre produktionsanlæg eller transmissionsforbindelser.

På længere sigt, hvis vindkraftandelen stiger til f.eks. 50 %, kan der være bekymring for, hvorfra de automatiske reserver og regulereserverne skal komme. Når vindkraftandelen øges, vil grundlastanlæggene få mindre driftstid, og man kan spørge til, om de overhovedet vil være til stede til den tid. Det er dog næppe sandsynligt, at vindkraften ikke vil være suppleret af kraftvarmeanlæg med gode reguleringssevner fremover. For aktørerne i elmarkedet vil der nemlig være en god forretning i at investere i kraftværker, der supplerer vindkraften, bl.a. ved at have de efterspurgte reguleringssegenskaber.

Ved løbende at opdatere prognoserne for vindkraftproduktion frem mod - og evt. indenfor - driftstimen, vil variationerne i vindkraftproduktionen kunne forudses bedre. I det nordiske marked indmeldes vindkraften i dag 12-36 timer før driftstimen, hvilket bevirker at den faktiske produktion kan være betydeligt forskellig fra den forventede. I fremtiden bør en stor del af ubalancerne kunne håndteres i markedet nogle timer før selve driftstimen uden at involvere regulerkraftmarkedet.

På længere sigt kan forbrugssiden også komme til at spille en vigtig rolle for balancering af vindkraft, jfr. Energinet.dks analyse af en effektiv anvendelse af vindkraft.

## Infrastruktur

Udbygning med vind på havet stiller desuden spørgsmål til, hvordan fremtidens elinfrastruktur skal se ud. Mange af landene omkring Nordsøen og Østersøen har planer om vindmøller på havet,

og udarbejdelsen af en plan for en nord-europæisk vindmølleinfrastruktur indgår som et prioriteret indsatsområde i EU.

Samkøring med nabolandene og udveksling af strøm har stor betydning for en stabil udbygning af vindkraften. Der kan være store fordele ved at koordinere udbygningen og koble anlæggene sammen med stærke transmissions-kabler. Et eksempel er Kriegers Flak (i Østersøen lige langt fra Skånes sydkyst, Møens Klint og Rügen). Her planlægger Tyskland og Sverige at opføre vindmølleparker med forbindelse til de to lande. Hvis Danmark også opfører vindmøller i dette område, vil alle tre lande kunne bruge forbindelserne både til at hente strøm i land og udveksle strøm indbyrdes.

## Systemikkerhed

Et vekselstrømssystem indeholder en række forskellige komponenter med muligheder for fejl ved overbelastning. Derfor er der indlagt en række rutiner for at beskytte komponenter og mandskab. I særlige, uheldige tilfælde kan fejl medføre følgeføj i beskyttelsesudstyret der leder til større strømsvigt. Derfor er sammenhængende vekselstrømssystemer forholdsvis komplicerede og skal drives i elsystemet under nøje fastlagte procedurer, ofte kaldt "operational codes".

Systemikkerheden i nettet kan belyses med dynamiske simuleringer af driftsforstyrrelser, hvor kraftværkernes systemydelse, den decentrale produktions dynamiske egenskaber, vindmøllernes egenskaber, elnettets kapacitet, driftsreserverne og elforbrugets reaktion indgår. På den måde er det muligt at bestemme eksempelvis hvor meget vindkraft, det er forsvarligt at integrere i systemet, og hvilke tiltag der kan anvendes for yderligere at øge andelen.

Generelt viser dynamiske studier af vindkraftindpasning, at systemikkerhed ikke udgør en væsentlig barriere for at udbygge med vindkraft. Naturligvis forudsat, at der foretages tilstrækkelige tiltag i systemet. Det kan f.eks. dreje sig om spændingsregulerende udstyr (aktiv og reaktiv effektiv) placeret enten direkte i møllerne eller i udvalgte knudepunkter i nettet.

Der har været en vis bekymring for, at (mindre) fejl i transmissionsnettet kan medføre udfald af store mængder vindkraft og derved situationer med effektmangel. Erfaringer fra de senere år viser imidlertid, at moderne vindmøller er tilstrækkeligt robuste til at håndtere sådanne fejl i transmissionsnettet.

Det systemansvarlige selskab udarbejder tekniske forskrifter – også kaldet "grid codes" – for tilslutning af elproduktionsenheder. I den forbindelse er

der udarbejdet særlige tilslutningsregler for vindmøller. Sædvanligvis er det kun møller i umiddelbar nærhed af den ramte transformerstation eller transmissionsforbindelse, der falder ud ved fejl i systemet. Ældre møller kan dog skabe stabilitetsproblemer.

Med hensyn til reaktiv effekt indebærer forskrifterne bl.a., at nye havmølleparker i Danmark skal være neutrale i forhold til det omgivende transmissionsnet. Endvidere skal havmøllerne kunne bidrage til at opretholde balancen for aktiv effekt.

## Yderligere oplysninger

Effektiv anvendelse af vindkraftbaseret el i Danmark, Energinet.dk, 2009

Eloverløbsrapporten, Energistyrelsen, 2001.

Langsigtede udfordringer i elsystemet - Vindkraft og naturgas, Elkraft, 2005.

Systemplan 2006, Energinet.dk, 2006.

European Wind Integration Study (EWIS) Towards a Successful Integration of Wind Power into European Electricity Grids, ETSO, 2007.

Large Scale Integration of wind energy in the European power supply: analysis, issues and recommendations, EWEA, 2005.

Vulnerability of the Nordic Power System, 160, Nordel, 2004.



## Fakta om Vindenergi

Fakta om Vindenergi udgives af Danmarks Vindmølleforening.

Faktablade, der giver faktaoplysninger om en række udvalgte emner, kan rekvireres fra sekretariatet eller hentes på [www.dkvind.dk](http://www.dkvind.dk).

Danmarks Vindmølleforening  
Ellemarksvej 47, Bygning 6  
8000 Århus C

Tlf. 8611 2600  
(kl. 9-15, fredag 9-13)  
Fax 8611 2700  
E-mail: [info@dkvind.dk](mailto:info@dkvind.dk)  
[www.dkvind.dk](http://www.dkvind.dk)

Faktablade T3, juni 2009