

## ELFORSYNINGSSIKKERHED PÅ VEJ MOD FOSSIL UAFHÆNGIGHED

11. marts 2013  
J.nr. 2206/1198-0020  
Ref. SLP

### Resumé.

Notatet drøfter begrebet elforsyningssikkerhed og argumenterer for, at en probabilistisk tilgang [Elforsyningssikkerheden = sandsynligheden for at der er el til rådighed] er mere anvendelig end de traditionelle effektbalancer. Blandt andet fordi forsynings-  
svigt ikke nødvendigvis forekommer under maksimal elbelastning. Og fordi det bliver vanskeligere at vurdere vindkraftens bidrag til forsyningssikkerheden med effektbalancer, jo større vindkraftens bidrag bliver.

Det historiske niveau af elforsyningssikkerheden har ligget på 99,995 % (med store udsving år for år). Afbrydelser kan skyldes fejl i net eller værker. Elforsyningssikkerheden bestemmes derfor af net og værker i forening. Udlandsforbindelserne bidrager i væsentligt omfang til forsyningssikkerheden. Det er et politisk ønske, at forsyningssikkerheden holdes mindst på dagens niveau.

Elforsyningsloven har en del bestemmelser om forsyningssikkerheden og uddelegerer ansvaret til Energinet.dk. Der er dog ingen egentlig definition af forsyningssikkerheden i loven.

Notatet vurderer, at forsyningssikkerheden fra mange små enheder er højere end fra få store enheder (alt andet lige). Notatet vurderer desuden, at vindkraft giver et tydeligt bidrag til elforsyningssikkerheden.

### Baggrund.

Der er bred tilslutning i Folketinget til, at Danmark skal være fossilfrit/fossiluafhængigt i 2050. Den nuværende regering har desuden opsat to milepæle undervejs: At el- og varmforsyningen skal være fossilfri i 2035 og at kul skal ud af kraftværkerne 2030. Den brede energiaftale fra marts 2012 sætter kursen frem mod 2020, som bl.a. indebærer 50 % vind i elsystemet i 2020 samt yderligere satsning på besparelser og biomasse.

Som følge af økonomisk krise, elbesparelser, bortfald af gratis CO<sub>2</sub>-kvoter fra 2013, udbygning med vind og solceller i både Danmark og nabolandene, overskud af vandkraft i Norden (midlertidigt) samt udbygning med kernekraft i Finland har både de centrale og decentrale kraft(varme)værker svært ved at tjene penge på at producere el.

Øget konkurrence på fjernvarmemarkederne fra geotermi, biomassekedler, elvarmepumper (på sigt) og mellemstore biomassekraftvarmeverker (i de større byer) samt bortfald af finansiel støtte i 2018 (på de decentrale værker) reducerer indtjeningen på kraftvarmeverkerne.

Det er derfor muligt, at dele af den centrale og decentrale kraftvarmekapacitet bortfalder frem mod 2020 og kort derefter.

Spørgsmålet er: Er denne udvikling et problem i forhold til forsyningssikkerheden, og bør der iværksættes initiativer med henblik på at fastholde en del af kapaciteten? Inden dette kan besvares er det nødvendigt at se mere generelt på forsyningssikkerheden i almindelighed og elforsyningssikkerheden i særdeleshed. Det er formålet med dette papir. Papiret er udarbejdet i forbindelse med elanalysen<sup>1</sup>.

## **Forsyningssikkerheden (for energi).**

Høj forsyningssikkerhed har været en eksplicit energipolitisk målsætning med varierende styrke lige siden den første oliekrise i 1973. Men der findes ingen præcis og alment accepteret definition af forsyningssikkerheden. Høj forsyningssikkerhed betyder, at man ikke er afhængig af få leverandører af en energivare, navnlig leverandører i lande med en politisk dagsorden langt fra den danske. I denne forstand scorer indenlandske energiresourcer så som dansk biomasse og vindkraft (samt energibesparelser) højt på forsyningssikkerheden. Notatet fokuserer imidlertid på *elforsyningssikkerheden*, som er en underafdeling af energiforsyningssikkerheden.

---

<sup>1</sup> Analysen af elnettets funktionalitet, igangsat med energiaftalen fra marts 2012.

## Elforsyningssikkerheden generelt.

I 2005 blev elforsyningssikkerheden i et fælles projekt<sup>2</sup> mellem Energistyrelsen og de daværende Eltra og Elkraft System defineret som:

*Sandsynligheden for at der er el til rådighed for forbrugerne<sup>3</sup>.*

Elforsyningssikkerheden bliver dermed et tal mellem 0 og 100 %. I Danmark har elforsyningssikkerheden ligget omkring 99,995 % i gennemsnit over en længere år-række. Udtrykt på en anden måde mangler en gennemsnitlig elforbruger strøm omkring 45 minutter i et gennemsnitsår. Omkring 30 af de 45 minutter skyldes fejl eller planlagte afbrydelser i det lokale net, mens de sidste 15 minutter skyldes fejl i det overordnede elsystem (transmissionsnettet og produktionssystemet). De 45 minutter inkluderer ikke fejl i lavspændingsnettet. Bilag 1 beskriver elforsyningssikkerheden i perioden 1994-2010. Det er en forudsætning i elanalysen, at forsyningssikkerheden bevares på dagens niveau.

Det omvendte af forsyningssikkerheden kaldes nogle gange LOLP (Los-Of-Load-Probability). LOLP er 1 minus forsyningssikkerheden.

Det er ikke muligt at opnå 100 % elforsyningssikkerhed – dette ville koste uendeligt mange penge. Denne erkendelse er helt afgørende for at træffe økonomisk fornuftige beslutninger vedrørende forsyningssikkerheden. I bilag 2 begrundes dette nærmere med et simpelt regneeksempel.

Elforsyningssikkerheden er et kollektivt gode, og sikringen af den er en kollektiv opgave. Det skyldes det sammenhængende elnet, som gør at hændelser så som lednings- eller kraftværkshavarier typisk forplanter sig til en masse forbrugere på én gang og på meget kort tid. Handlinger foretaget af en enkelt aktør kan påvirke forsyningssikkerheden for alle andre.

For forbrugerne er det ligegyldigt, om elforsyningen svigter på grund af manglende produktion eller manglende net. Elforsyningssikkerheden bestemmes derfor af nettet og værkerne i forening.

Elforsyningssikkerheden er ikke defineret i elforsyningsloven. Dette har formentlig sit udspring i, at det tidligere har været indlysende eller underforstået, hvad elforsyningssikkerheden var. I takt med at vindkraft dækker mere og mere af elproduktionen, er der dog behov for at se mere eksplicit på forsyningssikkerhedsbegrebet, især for at undgå fejlinvesteringer.

---

<sup>2</sup> Forsyningssikkerhed i elsystemet. Afrapportering fra Eltras, Elkrafts og Energistyrelsens arbejdsgruppe om forsyningssikkerhed. Juni 2005.

<sup>3</sup> Forsyningssikkerhed i elsystemet. Afrapportering fra Eltras, Elkrafts og Energistyrelsens arbejdsgruppe om forsyningssikkerhed. Juni 2005.

Forsyningssikkerheden kan værdisættes ved at estimere værdien af den el, som ikke leveres. Værdien af en MWh ikke-leveret el opgøres blev i en analyse fra COWI<sup>4</sup> opgjort til omkring 50.000 kr. Den svenske energistyrelse, STEM har opgjort omkostningerne i forbindelse med black-outet i september 2003 til samme størrelsesorden eller lidt højere.

En forbedring af forsyningssikkerheden kan derfor vurderes ved at sammenholde værdien af reduktionen i ikke-leveret energi med omkostningen i forbedring af forsyningssikkerheden. Den type af betragtninger blev fx anlagt ved vurdering af den elektriske storebæltsforbindelse.

## **Effektbalancer.**

Elforsyningssikkerheden illustreres ofte med effektbalancer. Dvs. summerede - og typisk vægtede - elkapaciteter på produktionssiden sammenlignet med maksimalforbruget i en eller flere timer på året, man tillægger relevans.

Energinet.dk betjener sig for tiden af effektbalancer i en vinter- og en sommervariant, kaldet V72 og S72. Man vurderer kapaciteten i forhold til den værste vinter- hhv. sommertime. Centrale anlæg får vægten 1, decentral kraftvarme vægtes med 85 % om vinteren og 15 % om sommeren. Vind med 0 %. Kyndbyværket holdes uden for beregningen.

Effektbalancer lider imidlertid af 4 alvorlige skavanker:

1. De kan ikke sammenlignes med den historiske forsyningssikkerhed (målt ved antal minutter med elmangel).
2. De inddrager ikke eller kun delvist elnettet.
3. De benytter sig af i et vist omfang arbitrære vægte på de enkelte kapaciteter.
4. De timer man kigger på, er ikke nødvendigvis repræsentative.

Effektbalancer er derfor kun en proxy for forsyningssikkerheden. I takt med at der kommer mere og mere vindkraft ind i systemet, og der bliver etableret flere og flere udlandsforbindelser bliver denne proxy gradvist mere og mere meningsløs.

---

<sup>4</sup> Omkostningerne ved elforsyningssvigt. Udarbejdet af COWI for Energistyrelsen, december 2004.

## Simulering af elforsynings sikkerheden.

Metoder til at beregne elforsynings sikkerheden eksplicit (altså sandsynligheden for at der er el til rådighed eller værdien af ikke-leveret el) findes.

Energinet.dk råder over en model, der hedder Assess. Modellen bruges internt i Energinet.dk til bl.a. vurdering af forsynings sikkerhedssituationen, påvirkning af forsynings sikkerheden ved etablering af udlandsforbindelser og mølposelægninger. P.t. er netdata ved at blive opdateret i modellen.

Energistyrelsen har en excel-model, der hedder Sisyfos, udviklet 2012.

Begge modeller baseres på såkaldt Monte Carlo simulation, dvs. "terningkast", der simulerer hændelser i elsystemet, der kan lede til elmangel. Eksempler på resultaterne af sådanne Monte Carlo simuleringer findes i Energinet.dk's notat "Forsynings sikkerheden i fremtidens danske elsystem" (6. november 2012).

Der er to hovedproblemer forbundet med anvendelse af denne type modeller:

1. Der skal regnes rigtig meget, før modellerne "finder" de sjældne hændelser, hvor der mangler effekt og endnu mere for at få statistisk stabile resultater.
2. Datagrundlaget er noget usikkert m.h.t. havarisandsynligheder for de forskellige værker og ledninger samt sandsynligheder for at havarier leder til følgehavarier.

En formildende omstændighed er imidlertid, at man ikke behøver at regne så præcist. Det er til de fleste formål tilstrækkeligt at bestemme størrelsesordenen af forsynings sikkerheden. Det er ikke afgørende, om LOLP er  $1,25 \cdot 10^{-4}$  eller  $1,26 \cdot 10^{-4}$ . Det er derimod vigtigt, om LOLP er  $10^{-4}$  eller  $10^{-5}$ . Problemet med, at der skal regnes meget ("kastes mange terninger"), bliver også mindre med tiden, fordi adgangen til regnekraft og matematiske hjælpeværktøjer forbedres.

Foreløbige analyser på Energistyrelsens model uden net indikerer:

- Forsynings sikkerheden, udtrykt ved LOLP, er god i både DK1 og DK2, når udlandsforbindelserne regnes med. LOLP bliver væsentligt mindre end  $10^{-4}$ , som er det niveau, den samlede forsynings sikkerhed ligger på inkl. nettet. Dette bekræfter blot 2005-konklusionen om at nettet giver anledning til de fleste afbrydelser af forsyningen.
- Effektmangel kan forekomme hele året og ikke kun i den koldeste vintertime. Denne meget vigtige model-observation bekræftes i øvrigt af virkeligheden. Her kan nævnes to eksempler: Systemsvigtet i Vestdanmark 2002 indtraf den 28. december tidligt om morgenen, da elforbruget var omkring 45 % af årets maksimalforbrug. Systemsvigtet i Østdanmark 2003 indtraf den 23. september ved middagstid, da elforbruget var omkring 70 % af årets maksimale forbrug.
- Vindkraften giver et tydeligt bidrag til forbedring af forsynings sikkerheden.
- Udlandsforbindelserne har meget stor betydning.

## Elforsyningsloven og ansvaret for (el-)forsynings sikkerheden.

Efter den gamle elforsyningslov skulle kraftværker godkendes af Energistyrelsen. Dette skete også ud fra en vurdering af "behovet". Godkendelse af højspændingsledninger blev også foretaget af Energistyrelsen. Der har været en tendens til, at netplanlægningen og forsyningsplanlægningen blev set som to adskilte discipliner. Dette er uhensigtsmæssigt, da behovet for produktionskapacitet afhænger af kvaliteten af nettet, og behovet for at udbygge nettet afhænger af produktionskapaciteten. Der er dermed også til en vis grad mulighed for at vælge, hvor investeringen skal lægges. "Færre værker" kan således til en vis grad erstattes af "mere net". Energinet.dk er i de senere år begyndt at se net og produktion som et mere integreret hele.

Energinet.dk er i den nye elforsyningslovs<sup>5</sup> § 27a tillagt ansvaret for (el-)forsynings sikkerheden, og skal for at opfylde dette

1. *"opretholde den tekniske kvalitet og balance indenfor det sammenhængende elforsyningssystem og*
2. *sikre tilstedeværelsen af tilstrækkelig produktionskapacitet i det sammenhængende elforsyningssystem"*

Den nye elforsyningslov blev i hovedtræk til som resultat af Elreformen af marts 1999. Elreformen var en bred politisk aftale, der bl.a. dannede grundlaget for implementering af EU's elmarkedsdirektiv. Elreformen refererer flere gange til elforsynings sikkerheden, dog uden at definere den.

Elforsyningsloven har en række paragraffer, der vedrører elforsynings sikkerheden. I bilag 3 findes et genoptryk af disse paragraffer. Det drejer sig om § 1 (formålparagraffen), § 12 og § 50 (vilkår i anlægsgodkendelser og bevillinger), § 21 (godkendelse af højspændingsledninger), §§ 27a-c (placering af ansvar for og beføjelser til opretholdelse af forsynings sikkerhed hos Energinet.dk), § 27d (bemyndigelsesbestemmelse for ministeren), § 27e og § 70 (indregning af omkostning ved forsynings sikkerhed i priserne), § 30 (brændselslagre) samt § 84 (oplysningspligt).

Elforsyningsloven definerer heller ikke, hvad forsynings sikkerheden er, om end der enkelte steder er ansatser til dele af en definition:

- Af § 27a fremgår, at Energinet.dk både skal opretholde den "tekniske kvalitet og balance" og "sikre tilstedeværelsen af en tilstrækkelig produktionskapacitet" i det sammenhængende elforsyningssystem.
- Af bemærkningerne til § 1 fremgår, at forsynings sikkerheden skal opretholdes på en samfundsøkonomisk effektiv måde.
- Af bemærkningerne til § 28 fremgår at Energinet.dk skal samarbejde med systemansvarlige virksomheder i andre lande om brugen af de eksisterende samkøringsforbindelser m.m., idet der henvises til "...store fordele, både hvad angår forsynings sikkerhed...". Heri ligger, at forsynings sikkerheden for Danmark skal ses i internationalt perspektiv. Senere i bemærkningerne til § 28 an-

---

<sup>5</sup> LBK nr. 279 af 21/03/2012.

føres dog: "National forsyningssikkerhed har i den forbindelse højeste prioritet."

- Af bemærkningerne til § 70 fremgår, at der i specielle tilfælde kan dispenseres fra indtægtsrammerne af hensyn til forsyningssikkerheden, idet "Hensynet til forsyningssikkerhed vejer ... tungere end hensynet til effektivitet."

Efter elforsyningslovens § 11 er udstedt en bekendtgørelse (493 af 12. juni 2003 med senere ændringer), hvorefter kraftværksgodkendelser nu sker efter såkaldte objektive kriterier. Det er således ikke længere myndigheder eller politikere, der bedømmer, om der er "behov" for ny elkapacitet. Behovet vurderes af en investor på kommercielle vilkår, og godkendelse *skal* gives, såfremt en række objektive kriterier kan overholdes.

Dette betyder, at produktionskapaciteten i udgangspunktet bestemmes af nogle private aktører, som staten ikke har kontrol over.

## **Overkapacitet opbygget i 90'erne.**

I marts 1990 igangsattes et udbygningsprogram for decentrale kraftvarmeværker, der i løbet af knap 10 år resulterede i ca. 2000 MW elkapacitet i små til mellemstore kraftvarmeværker, overvejende på naturgas.

Desuden godkendtes i løbet af halvfemserne omkring 1000 MW central kraftværkskapacitet. Endelig etableredes en betydelig vindmøllekapacitet.

Disse udbygninger var resultatet af politiske beslutninger baseret på vekslende folketingsflertal og resulterede sammen med en yderst moderat vækst i elforbruget i en reservekapacitet på produktionssiden af størrelsesordenen 80-100 % (afhængigt af hvordan man "tæller MW").

Der var betydelig interesse fra elsektoren for at investere i ny kapacitet mens "hvile-i-sig-selv" princippet herskede (elforbrugerne betalte). Efter indførelsen af elmarkedet omkring år 2000 er udbygning med ny kapacitet gået i stå, og en del af de gamle værker er konserveret eller skrottet. Denne udvikling er en naturlig konsekvens af det nye reguleringsregime.

Da konkurrencen blev indført, var der hos mange analytikere en forestilling om, at der ville indstille sig en balance i elmarkedet, idet "for lav" kapacitet ville medføre høje elpriser og dermed incitament til at etablere ny kapacitet. Denne forenkede forestilling er dog ikke fremherskende mere, hvilket kan ses af de mange forskellige former for effektmarked, der er etableret eller under overvejelse.

## Små og store enheder samt vindkraft.

Fra midten af firserne begyndte der at komme en målbar kapacitet fra decentrale kraftvarmeverker og vindkraft. Dette gjorde det relevant at se på bidraget til forsyningssikkerhed fra sådanne anlægstyper.

Det er let at indse, at effektiviteten for mange små enheder er større end for én stor, alt andet lige. I bilag 2 vises dette med et simpelt regneeksempel. Dette fænomen har dog aldrig smittet af på effektbalancerne, når decentrale kraftvarmeverker skulle tælles med. Derfor har der formentlig været en tendens til at undervurdere de decentrale værkers bidrag til forsyningssikkerheden. En del af forklaringen herpå er de decentrale værkers varmebinding. Varmebindingen er dog ikke nogen naturlov, og der vil formentlig kunne frigøres et betydeligt bidrag til forsyningssikkerheden ved delvist at afkoble værkerne fra varmebinding, navnlig i sommerperioden.

For vindkraft har der altid været debat om, hvor stort bidraget til forsyningssikkerheden er, hvor det ene yderpunkt er et synspunkt om at vindkraften ikke bidrager til forsyningssikkerheden.

Det er imidlertid let at indse, at vindkraften giver et bidrag til forsyningssikkerheden. I bilag 2 illustreres dette med et simpelt regneeksempel.

Det er også forholdsvis let at vise, at vindkraft giver et bidrag til forsyningssikkerheden af nogenlunde samme størrelse som et konventionelt kraftværk med en kapacitet lig den gennemsnitlige vindkrafteffekt (dvs. fra omkring en fjerdedel til omkring halvdelen af den installerede vindkrafteffekt – afhængigt af deres placering). Dette gælder dog kun så længe vindkraften bidrager med mindre end 10-20 % af elproduktionen<sup>6</sup>.

Af og til påstås, at vindkraften ikke er til rådighed, når elforbruget er højt og/eller når det er meget koldt. Dette er undersøgt nærmere i bilag 5 for perioden 2000-2012. Konklusionen er, at påstanden ikke holder. Endda er der i gennemsnit mere vindkraft til rådighed under højt elforbrug end ved lavt elforbrug.

## Betaling for elforsyningssikkerheden.

Da kraftværkssektoren blev sat til at konkurrere fra 1. januar 2000 blev der i en 4-årig periode givet et tilskud til de centrale kraftværksproducenter. Tilskuddet var på godt 1 mia. kr. pr. år. Tilskuddet blev implementeret ved lov nr. 1110 af 29. december 1999 efter "opskrift" i et tillæg til Elreformen og den i tilknytning hertil foretagne vurdering af kraftværksselskabernes økonomi. En del af betalingen begrundedes med "...ydelse som systemansvaret skal have sikkerhed for bliver leveret i forbindelse med, at de systemansvarlige virksomheder overtager ansvaret for forsyningssikkerheden fra kraftværksselskaberne".

---

<sup>6</sup> Se fx Mark Diesendorf: The Capacity Credit of Wind Power. 3<sup>rd</sup> Int. Symp. on Wind Energy Systems 1980.



Det er dog ikke klart, hvor meget forsyningssikkerhed man fik for pengene. Blandt andet fordi der manglede en operativ definition af forsyningssikkerheden.

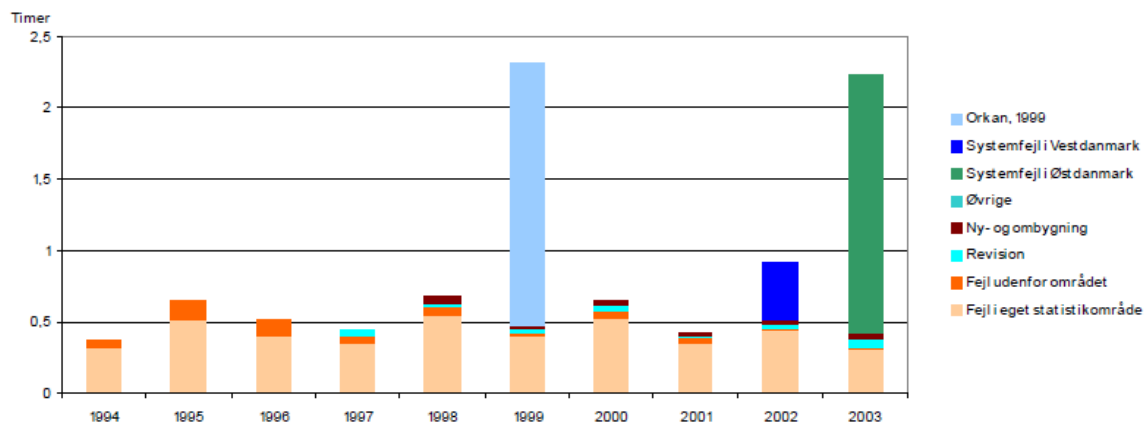
Energinet.dk betaler i dag for en række forskellige ydelser relateret til forsyningssikkerheden. Det er ikke helt det samme, der betales for i Vest- og i Østdanmark:

- ❖ Systemydelser, der købes af Energinet.dk i Vestdanmark:
  - Primær reserve
  - Sekundær reserve, LFC (Load Frequency Control)
  - Nødstarts anlæg
  - Manuelle reserver
  - Kortslutningseffekt, reaktive reserver og spændingsregulering
- ❖ Systemydelser, der købes af Energinet.dk i Østdanmark:
  - Frekvensstyret driftsforstyrrelsesreserve (i fællesskab med Svenska Kraftnät)
  - Frekvensstyret normaldriftsreserve (i fællesskab med Svenska Kraftnät)
  - Manuelle reserver
  - Kortslutningseffekt, reaktive reserver og spændingsregulering

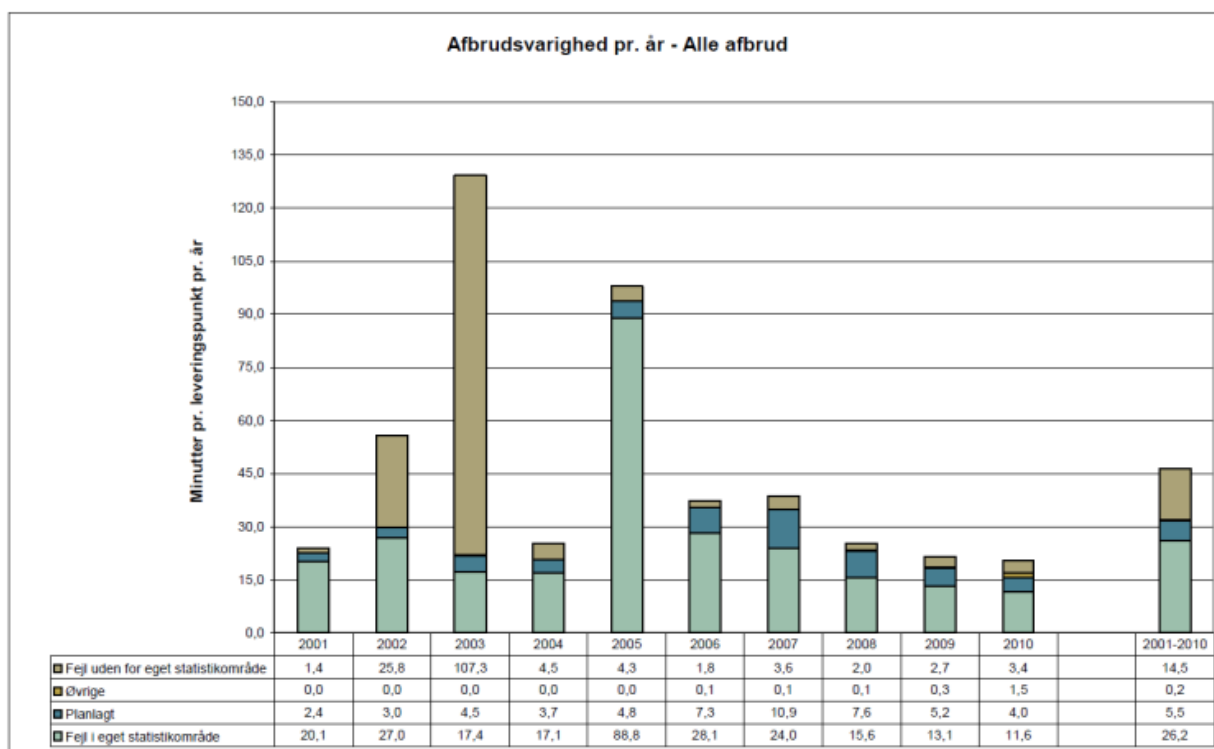
Der er herudover en række overvejelser om indførelse af kapacitetsmarkeder. Disse er beskrevet i et særskilt notat af Energinet.dk.

Det kunne være relevant at se nærmere på hvilke ydelser, der bør betales for i fremtiden i takt med at mere vind kommer ind i systemet, og det danske system bindes stærkere til udlandet.

## Bilag 1. Elforsyningsikkerheden 1994-2010.



Figur 1. Hyppighed af afbrydelser i forsyningen fra lavspændingstransformere, fordelt på årsag. Figuren medregner ikke fejl i lavspændingsnettet (0,4 kV). Dette kan groft skønnes til at give et ekstra bidrag til fejlfrekvensen på 5-10 %. Der foreligger ikke systematiske målinger af fejl på lavspændingsnettet.



Figur 3.2 Afbrudsvarighed i perioden 2001-2010.

## Bilag 2. Hvorfor 100 % forsyningssikkerhed ikke er mulig, hvorfor vindkraft bidrager til forsyningssikkerheden og hvorfor mange små værker er bedre end få store.

### A: 100 % forsyningssikkerhed er ikke mulig:

For at illustrere, at 100 % forsyningssikkerhed ikke er mulig og ville koste uendeligt mange penge, antages givet et forsimplet elsystem, hvor elforbruget i 90 % af tiden er 100 MW (lavlast) og i de resterende 10 % af tiden 200 MW (spidslast). Der ses bort fra nettet. Der bygges nu kraftværker i størrelser á 100 MW med 5 % havari-sandsynlighed for at forsyne forbruget.

Ét kraftværk vil kunne forsyne grundlasten, som forekommer i 90 % af tiden, men kun hvis det ikke er havareret. Forsyningssikkerheden bliver dermed

Grundlast:  $90 \% * 95 \% = 85,5 \%$ .

Spidslast: 0 % (der er altid for lidt kapacitet under spidslast)

Samlet forsyningssikkerhed 85,5 %.

Hvis der er to kraftværker, vil de kunne forsyne grundlasten, når blot ikke begge er havareret og spidslasten, hvis de begge er til rådighed.

Forsyningssikkerheden bliver dermed

Grundlast  $90 \% * (1 - 5 \% * 5 \%) = 89,8 \%$  (mindst ét kraftværk til rådighed)

Spidslast  $10 \% * 95 \% * 95 \% = 9,0 \%$  (begge kraftværker til rådighed)

Samlet forsyningssikkerhed 98,8 %.

I tabel 2.1 nedenfor er forsyningssikkerheden beregnet ved stigende antal kraftværker. Desuden er angivet hvor ofte der mangler forsyning samt investeringsomkostninger i kraftværkskapacitet (hvert kraftværk antages at koste 1 milliard kr.).

Det koster således en mia. kr. at reducere afbrudstiden fra 28 til 2 minutter. Det koster yderligere en mia. at reducere den fra 2 minutter til 6 sekunder, yderligere en mia. at reducere den til 0,4 sekunder osv. For helt at eliminere afbrud, skal der altså investeres uendeligt mange penge.

Antal kraftværker á 100 MW	Forsyningssikkerhed	Hyppighed af manglende forsyning	Investering, mia. kr.
1	0,855	1270 timer/år	1
2	0,988	105 timer/år	2
3	0,99916	7 timer/år	3
4	0,999946	28 minutter/år	4
5	0,9999967	2 minutter/år	5
6	0,99999981	6 sekunder/år	6
7	0,999999989	0,4 sekunder/år	7
∞	1	Aldrig	∞

Tabel 2.1. Forsyningssikkerhed som funktion af antal kraftværker (uden vindkraft).

### B: Vindkraften bidrager til forsyningssikkerheden:

Vi tilføjer nu 200 MW vindkraft til systemet under A. Forenklet antages, at vindkraften producerer 200 MW i 10 % af tiden, 100 MW i 30 % af tiden og ingenting i 60 % af tiden. Beregningen af forsyningssikkerheden bliver lidt mere kompliceret. Vi nøjes med at lave beregningen på situationen med ét kraftværk:

a: Vindstille (60 %).

Grundlast:  $60 \% * 90 \% * 95 \% = 51,3 \%$  (kraftværket kører)

Spidslast: 0 %

Samlet bidrag til forsyningssikkerhed under vindstille: 51,3 %.

b: Halv vind (30 %).

Grundlast:  $30 \% * 90 \% * 100 \% = 27 \%$  (lige meget, om kraftværket er til rådighed i grundlast)

Spidslast:  $30 \% * 10 \% * 95 \% = 2,9 \%$  (kraftværket kører i spidslast)

Samlet bidrag til forsyningssikkerhed under halv vind: 29,9 %.

c: Fuld vind (10 %).

Grundlast:  $10 \% * 90 \% * 100 \% = 9 \%$  (lige meget om kraftværket er til rådighed)

Spidslast:  $10 \% * 10 \% * 100 \% = 1 \%$  (lige meget om kraftværket er til rådighed)

Samlet bidrag til forsyningssikkerhed under fuld vind: 10 %.

Samlet forsyningssikkerhed med vind bliver dermed 91,2 %.

Pointen med denne beregning er, at forsyningssikkerheden med vind er højere end uden vind med ét kraftværk, hvor den var 85,5 %. Vindkraften giver altså et tydeligt bidrag til forsyningssikkerheden.

Men de 200 MW vind plus ét kraftværk giver ikke så meget forsyningssikkerhed som to kraftværker (hvilket også ville være mærkeligt, da den gennemsnitlige vindkraftproduktion kun er 50 MW ( $60 \% * 0 \text{ MW} + 30 \% * 100 \text{ MW} + 10 \% * 200 \text{ MW}$ ), mens den gennemsnitlige rådighedseffekt fra et kraftværk er 95 MW ( $95 \% * 100 \text{ MW}$ ).

### C: Mange små er bedre end få store:

Der antages et elforbrug som før, dvs. 100 MW i 90 % af tiden (lavlast) og 200 MW i de resterende 10 % af tiden (spidslast). Der opføres 300 MW elkapacitet til dækning af forbruget. Værkerne har en havarihyppighed på 5 %. Der regnes på to tilfælde:

I det ene tilfælde bygges to enheder á 150 MW.

- I grundlast (90 % af tiden) er ét værk nok til at dække forbruget. Det er derfor kun når begge værker er havareret, at der mangler strøm. Bidraget til forsyningssikkerheden er  $90 \% * (1 - 0,05 * 0,05) = 0,89775$ .
- I spidslast skal begge værker være til rådighed for at der er nok strøm i kontakterne. Bidraget til forsyningssikkerheden bliver dermed  $10 \% * 95 \% * 95 \% = 0,09025$ .
- Den samlede forsyningssikkerhed bliver således 0,988.

I det andet tilfælde bygges 6 enheder á 50 MW. Beregningen af forsyningssikkerheden bliver lidt mere besværlig end før men forløber efter samme principper. Resultatet bliver en forsyningssikkerhed på 0,998.

Ved at bygge 6 gange 50 MW i stedet for 2 gange 150 MW steg forsyningssikkerheden altså fra 0,988 til 0,998.

### **Bilag 3. Paragraffer i gældende elforsyningslov om forsyningsikkerhed.**

§ 1. Lovens formål er at sikre, at landets elforsyning tilrettelægges og gennemføres i overensstemmelse med hensynet til **forsyningsikkerhed**, samfundsøkonomi, miljø og forbrugerbeskyttelse. Loven skal inden for denne målsætning sikre forbrugerne adgang til billig elektricitet og fortsat give forbrugerne indflydelse på forvaltningen af elsektorens værdier.

§ 12. Der kan i en tilladelse efter § 11 eller i en bevilling efter § 10 fastsættes vilkår om, at ejeren

- 1) forpligter sig til at ændre produktionsomfanget efter Energinet.dk's bestemmelse, når denne finder det nødvendigt for at opretholde en effektiv udnyttelse af nettet, **forsyningsikkerheden** eller kvaliteten i det sammenhængende forsyningsnet,
- 2) stiller sikkerhed for nedtagning af anlæg,
- 3) påtager sig, for så vidt angår kraft-varme-anlæg, en forsyningspligt for fjernvarme i et nærmere fastlagt forsyningsområde og
- 4) forpligter sig til at underrette Energinet.dk mindst et år i forvejen, såfremt det besluttet, at et anlæg skal lukkes eller tages ud af drift, så det ikke er til rådighed i en længere periode.

§ 21. Etablering af nye transmissionsnet beregnet for spændinger på over 100 kV og væsentlige ændringer i tilsvarende bestående net kan kun foretages efter forudgående tilladelse fra klima-, energi- og bygningsministeren. Dette gælder ikke for virksomhed varetaget af Energinet.dk eller denne virksomheds helejede datterselskaber i medfør af § 2, stk. 2 og 3, i lov om Energinet.dk. Meddelelse af tilladelse er betinget af, at ansøgeren kan dokumentere, at der er tilstrækkeligt behov for udbygningen, herunder at udbygningen sker med sigte på øget **forsyningsikkerhed**, beredskabsmæssige hensyn, skabelse af velfungerende konkurrencemarkeder og indpassning af vedvarende energi, eller hvis det ansøgte projekt er nødvendigt til opfyldelse af et pålæg i medfør af § 21, stk. 2. Tilladelsen kan betinges af overholdelse af vilkår vedrørende den nærmere etablering og drift af nettet, herunder sikkerhedsstillelse for nedtagning af anlæg.

§ 27 a. Energinet.dk er ansvarlig for **forsyningsikkerheden** og skal for at opfylde denne forpligtelse

- 1) opretholde den tekniske kvalitet og balance inden for det sammenhængende elforsyningssystem og
- 2) sikre tilstedeværelsen af en tilstrækkelig produktionskapacitet i det sammenhængende elforsyningssystem.

§ 27 b. Transmissionsanlæg stillet til Energinet.dk's rådighed og elproduktionsanlæg med en kapacitet på mere end 25 MW kan ikke tages ud af drift i længere tid uden godkendelse fra Energinet.dk. Med henblik på opretholdelsen af **forsyningsikkerheden** kan Energinet.dk mod rimelig betaling kræve godkendte driftsstop udskudt eller fremrykket.

Stk. 2. Af hensyn til varetagelsen af **forsyningsikkerheden**, jf. § 27 a, stk. 1, skal produktionsvirksomheder efter anvisning fra Energinet.dk meddele, hvilke anlæg

med en kapacitet på mere end 25 MW produktionsvirksomheden i en periode på op til 4 uger forventer at holde i driftsklar stand i periodens driftsdøgn. Produktionsvirksomheder skal senest dagen før driftsdøgnet underrette Energinet.dk om, hvilke produktionsanlæg med en kapacitet på mere end 25 MW der forventes sat i drift i driftsdøgnet.

Stk. 3. Såfremt Energinet.dk vurderer, at der ikke er tilstrækkelig sikkerhed for, at **forsynings sikkerheden** kan opretholdes med de anlæg, som forventes holdt driftsklare ifølge stk. 2, kan Energinet.dk kræve, at yderligere elproduktionsanlæg holdes driftsklare, således at anlæggene kan producere elektricitet med et varsel fastsat af Energinet.dk. Meromkostninger, der knytter sig til at holde et anlæg driftsklart, betales af Energinet.dk.

§ 27 c. Energinet.dk offentliggør for det følgende driftsdøgn oplysninger om overføringskapaciteten i det transmissionsnet, der er stillet til rådighed for Energinet.dk.

Stk. 2. Brugere af det kollektive elforsyningsnet skal efter regler fastsat af Energinet.dk og på baggrund af den i stk. 1 nævnte offentliggørelse anmelde planer for elproduktion, elforbrug og elhandel for det følgende driftsdøgn til Energinet.dk. Elproduktion, som er omfattet af § 59 a, stk. 1, eller § 52, stk. 1, i lov om fremme af vedvarende energi, er undtaget fra anmeldelsespligten.

Stk. 3. Energinet.dk skal inden starten af det følgende driftsdøgn godkende planer for forventet elproduktion, elforbrug og elhandel, som er anmeldt til virksomheden efter stk. 2. Godkendelsen kan betinges af, at der sker omlægninger i planerne, såfremt det er nødvendigt af hensyn til forsynings sikkerheden.

Stk. 4. Energinet.dk kan efter godkendelsen af planerne påbyde elproduktionsvirksomheder at ændre produktionsomfang eller igangsætte produktion, såfremt det er nødvendigt af hensyn til forsynings sikkerheden.

Stk. 5. Elproduktion fra decentrale kraft-varme-produktionsanlæg og elproduktionsanlæg, der producerer VE-elektricitet eller anvender affald som brændsel, har prioriteret adgang til elforsyningsnettet. Ved omlægninger som nævnt i stk. 3 og 4 kan Energinet.dk alene reducere eller afbryde prioriteret elproduktion, hvis en reduktion af elproduktion fra andre anlæg ikke er tilstrækkelig til at opretholde den tekniske kvalitet og balance inden for det sammenhængende elforsynings system.

Stk. 6. Såfremt Energinet.dk forlanger omlægninger som nævnt i stk. 3-5, yder Energinet.dk betaling herfor. Energinet.dk yder dog ikke betaling, hvis Energinet.dk forlanger omlægninger i forhold til anmeldte planer for elproduktion, elforbrug og elhandel som nævnt i stk. 3, inden planerne er godkendt, og omlægningerne er nødvendige

1) for ikke at overskride den offentliggjorte overføringskapacitet som nævnt i stk. 1 eller

2) for at bringe balance i de enkelte brugeres planlagte elproduktion, elforbrug eller elhandel.

Stk. 7. Ved overhængende risiko for netsammenbrud samt under netsammenbrud og genopbygning af nettet kan Energinet.dk uden betaling kræve de nødvendige omlægninger af produktion, handel og forbrug.

Stk. 8. Såfremt en brugers faktiske elproduktion, elforbrug eller elhandel i et driftsdøgn ikke svarer til det, som er godkendt efter stk. 3, kan Energinet.dk kræve, at der ydes rimelig betaling for de ubalancer, det påfører systemet. Energinet.dk afholder

dog omkostninger for ubalancer som nævnt i 1. pkt. for elproduktion fra en vindmølle omfattet af §§ 39 og 41 i lov om fremme af vedvarende energi, et VE-elproduktionsanlæg omfattet af § 44, stk. 2, § 45, stk. 3, og § 47 i lov om fremme af vedvarende energi og et decentralt kraft-varme-anlæg eller et elproducerende affaldsforbrændingsanlæg omfattet af § 58 a i denne lov.

Stk. 9. Omlægninger som nævnt i stk. 3-5 skal ske efter objektive kriterier, som fastsættes af Energinet.dk på grundlag af samfundsøkonomiske og miljømæssige hensyn. Energinet.dk fastsætter endvidere objektive kriterier for beregning af betalingen for reduktion eller afbrydelse efter stk. 5.

Stk. 10. De regler og kriterier, som Energinet.dk fastsætter i medfør af stk. 2 og 9, skal være tilgængelige for brugere og potentielle brugere af det kollektive elforsyningsnet.

Stk. 11. Energinet.dk skal efter høring af relevante parter anmelde regler og kriterier, som Energinet.dk fastsætter i medfør af stk. 2 og 9, til Energitilsynet. Energitilsynet kan give pålæg om ændring af reglerne og kriterierne, jf. § 77.

Stk. 12. Elproduktion fra havvindmølleparker som nævnt i § 34 i lov om fremme af vedvarende energi er undtaget fra ovenstående bestemmelser.

§ 27 d. Klima-, energi- og bygningsministeren kan fastsætte nærmere regler om de i §§ 27 a, 27 b og 27 c nævnte forhold.

Stk. 2. Klima-, energi- og bygningsministeren kan fastsætte regler om, at Energinet.dk skal iværksætte nærmere angivne foranstaltninger, hvis disse foranstaltninger anses for nødvendige for at opretholde en tilstrækkelig **forsynings sikkerhed**. Ministeren kan herunder fastsætte regler om, at foranstaltningerne skal iværksættes efter udbud eller anden gennemsigtig og ikke diskriminerende procedure.

Stk. 3. Energinet.dk's iværksættelse af foranstaltninger efter stk. 2 skal godkendes af klima-, energi- og bygningsministeren.

§ 27 e. Energinet.dk's omkostninger til opretholdelse af den i § 27 a, stk. 1, nr. 2, nævnte produktionskapacitet i perioden 1. januar 2000 til og med den 31. december 2003 indregnes i virksomhedernes priser med lige store årlige beløb i 10 år i perioden mellem 1. januar 2000 og 31. december 2010.

§ 30. Klima-, energi- og bygningsministeren kan fastsætte regler om, at Energinet.dk skal drage omsorg for, at der opretholdes lagre af brændsel til el- og kraft-varme-produktion af hensyn til **forsynings sikkerheden**, herunder regler om, at elproduktionsvirksomheder skal bistå ved indkøb og anbringelse m.v. af lagrene.

§ 50. Bevillinger til kollektive elforsyningsvirksomheder samt forsyningspligtige virksomheder kan kun meddeles til ansøgere, der skønnes at have den fornødne tekniske og finansielle kapacitet.

Stk. 3. Klima-, energi- og bygningsministeren kan i bevillingen stille vilkår om, at ministeren med 1 års varsel kan bestemme, at elproduktionsvirksomheder af hensyn til **forsynings sikkerheden** skal opretholde en nærmere fastsat mindste produktionskapacitet.

Stk. 4. Ministeren kan i bevillingen stille vilkår om, at ministeren med 1 års varsel kan bestemme, at eltransmissionsvirksomheder af hensyn til **forsynings sikkerheden** skal opretholde en nærmere fastsat transmissionskapacitet.



§ 70. Priser for netvirksomhedernes og de regionale transmissionsvirksomheders ydelser fastsættes i overensstemmelse med de i stk. 2 nævnte indtægtsrammer. Rammerne fastsættes med henblik på dækning af de i § 69 nævnte omkostninger ved en effektiv drift af virksomheden.

Stk. 3. Nødvendige nyinvesteringer omfatter investeringer i nye anlæg, der indgår som en integreret del af virksomhedens net med tilhørende tekniske anlæg, der tilføjer det samlede anlæg nødvendig og væsentligt øget kapacitet og ydeevne. Endvidere omfatter nødvendige nyinvesteringer væsentlige ændringer i den overordnede netstruktur, der er nødvendige for at sikre **forsyningssikkerheden**, kabellægning af luftledninger, der gennemføres af hensyn til forsyningssikkerheden, og kabellægning af luftledninger, der er godkendt i henhold til § 21, stk. 1. Det er en forudsætning for ændring af indtægtsrammen, jf. stk. 2, at anlægget er idriftsat efter den 1. januar 2005, eller at netvirksomheden eller den regionale transmissionsvirksomhed har erhvervet anlægget efter denne dato.

§ 84. Klima-, energi- og bygningsministeren, Energitilsynet og Energiklagenævnet kan i forbindelse med behandling af en klage, udøvelse af tilsyn eller overvågning af markedet indhente oplysninger, som er nødvendige for varetagelsen af disse opgaver, hos bevillingspligtige virksomheder, Energinet.dk, andre elproduktionsvirksomheder og elhandelsvirksomheder samt disses koncernforbundne virksomheder, berørte forbrugere og andre købere af elektricitet.

Stk. 2. Klima-, energi- og bygningsministeren kan til sikring af prisgennemsigtighed og **forsyningssikkerhed** og til opfølgning af energi- og miljøpolitiske målsætninger, herunder til udarbejdelse af det nødvendige datagrundlag i forbindelse hermed, pålægge kollektive elforsyningsvirksomheder, elproduktionsvirksomheder og elhandelsvirksomheder at udarbejde og udlevere nærmere angivne oplysninger vedrørende virksomhedernes produktions- og driftsmæssige forhold samt om de i virksomheden købte og solgte ydelser. Det samme gælder oplysninger til brug for udarbejdelse af national og international energistatistik. Klima-, energi- og bygningsministeren kan fastsætte nærmere regler om oplysningspligtens omfang og opfyldelse.

## Bilag 4. Forsyningssikkerhed i elforsyningsloven fra 1976.

Den gamle elforsyningslov (lov nr. 54 af 25. februar 1976) indeholdt kun 18 paragrafer. Forsyningssikkerheden nævnes i en enkelt af dem, nemlig:

*§ 13. Handelsministeren kan, når energipolitiske hensyn, herunder mulighederne for forøgelse af forsyningssikkerheden, taler derfor, med rimeligt varsel pålægge elforsyningsvirksomheder:*

- 1) at indrette deres produktionsanlæg således, at angivne former for energi kan anvendes i produktionen,*
- 2) i et nærmere fastsat omfang at anvende bestemte former for energi i produktionen,*
- 3) at indrette deres produktionsanlæg med sigte på opnåelse af størst mulig nyttevirkning af den anvendte energi i produktionen, herunder ved kombineret el- og varmeproduktion,*
- 4) at opretholde lagre af brændsel i et nærmere fastsat omfang.*

*Stk. 2. Handelsministeren kan træffe bestemmelse eller fastsætte regler til gennemførelse af foranstaltninger efter stk. 1. De i stk. 1, nr. 1 og 2, nævnte foranstaltninger kan pålægges den enkelte virksomhed. Den i stk. 1, nr. 3, nævnte foranstaltning kan pålægges såvel den enkelte virksomhed som gennem almindelige forskrifter. Den i stk. 1, nr. 4, nævnte foranstaltning kan kun pålægges gennem almindelige forskrifter.*

Heller ikke den gamle elforsyningslov definerer forsyningssikkerheden. Dette må forstås på baggrund af dels forsyningskrisen i vinteren 1973/74, dels den omstændighed at elvirksomhederne var hvile-i-sig-selv regulerede og forbrugerejede eller kommunalt ejede, således at incitamentet til både at over- og underinvestere i forsyningssikkerhed måtte antages at være begrænset. Måske er det også sådan, at man dengang som nu blandt ikke-teknikere opfattede forsyningssikkerhed som noget intuitivt forståeligt, der ikke behøvede at defineres.

## Bilag 5. Vindkraft og forsyningssikkerhed.

### Indledning.

Bilaget undersøger sammenhængen mellem vindkraftproduktionen og elforbruget. Bl.a. testes hypotesen: Når elforbruget er højt, er der normalt ingen vind, hvorfor vindkraften ikke bidrager til elforsyningssikkerheden<sup>7</sup>. Desuden undersøges sammenhængen mellem vindkraftproduktionen og temperaturen, bl.a. for at teste hypotesen: Når det er meget koldt, blæser det ikke. Derfor kan vindkraften ikke bidrage til forsyningssikkerheden i meget kolde perioder.

### Datagrundlag.

Energinet.dk offentliggør timeværdier for en lang række størrelser, herunder vindkraftproduktionen og elforbruget fordelt på Vest- og Østdanmark. Der er anvendt timeværdier for perioden 1. januar 2000 kl. 00 til 31. december 2012 kl. 24. Dette giver i alt 133.976 observationer<sup>8</sup>. Der er desuden downloadet en række vejrdata fra DMI, herunder døgn- og timeværdier for temperatur.

### Vindkraftproduktion ved højt elforbrug.

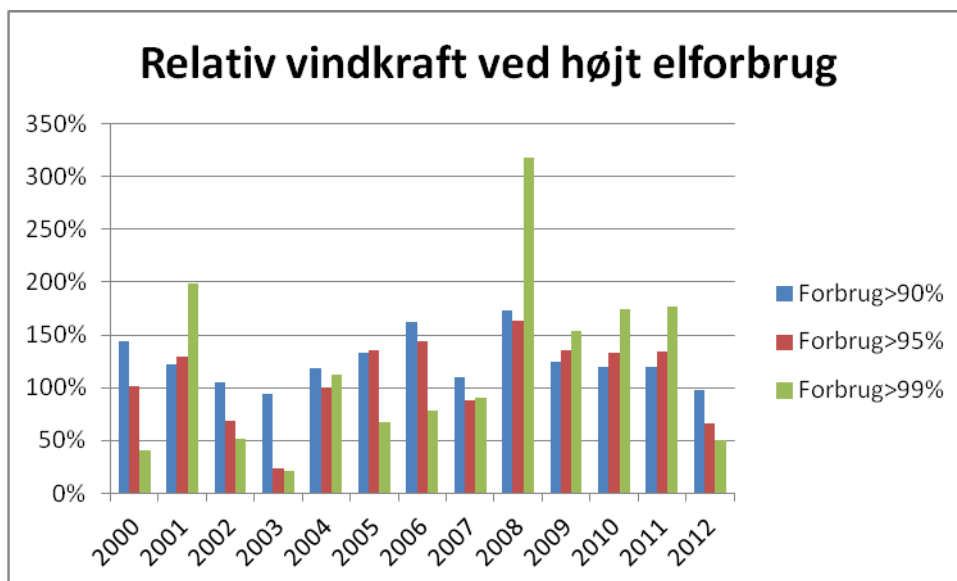
I figur 5.1 vises den relative vindkraftproduktion i de timer, hvor elforbruget overstiger 90 %, 95 % hhv. 99 % af årsmax. Den relative vindkraftproduktion skal forstås som den gennemsnitlige vindkraftproduktion i timerne med højt elforbrug divideret med den gennemsnitlige vindkraftproduktion i alle årets timer. En relativ vindkraftproduktion på 100 % betyder, at vindkraften producerer det samme under højt forbrug som i gennemsnit over året.

For både vindkraftproduktionen og elforbruget summeres værdierne for Vest- og Østdanmark.

---

<sup>7</sup> Forstået som: *sandsynligheden for, at der er el til rådighed for forbrugerne.*

<sup>8</sup> Der er et mindre antal timer i år 2000, hvor Energinet.dk angiver en negativ vindkraftproduktion. Der formodes at være tale om fejl, men de rigtige produktionstal kendes ikke, og der er ikke foretaget korrektioner i tallene.



Figur 5.1. Relativ vindkraft ved højt elforbrug.

Figuren viser fx, at i **2003** ved elforbrug over 99 % af max. (forekom i 4 timer) var den relative vindkraftproduktion kun 21 % af årets gennemsnitlige vindkraftproduktion. Ved forbrug over 95 % af max. (19 timer) var den relative vindkraftproduktion 23 % af årsgennemsnittet. Og ved forbrug over 90 % af max. (154 timer) var den relative vindkraftproduktion 94 % af årsgennemsnittet. Dette bekræfter tilsyneladende hypotesen om, at vindkraften producerer mindre under høj elbelastning.

Men hvis man i stedet bruger data fra **2008**, får man det stik modsatte billede: Ved elforbrug over 99 % af max. (én time) var den relative vindkraftproduktion 318 % af årets gennemsnitlige vindkraftproduktion. Ved forbrug over 95 % af max. (23 timer) var den relative vindkraftproduktion 163 % af årsgennemsnittet. Og ved forbrug over 90 % af max. (180 timer) var den relative vindkraftproduktion 173 % af årsgennemsnittet.

Betragter man det aritmetiske gennemsnit over alle årene 2000-2012, bliver resultatet, at den relative vindkraftproduktion er 118 %, 109 % og 125 % ved elforbrug over hhv. 99 %, 95 % og 90 % af årsmax (forekom i gennemsnit hhv. 3, 37 og 262 timer). Dvs. over en lang periode er der gennemsnitligt *mere* vind, når elforbruget er højt end der er i gennemsnit over året.

Dette modbeviser altså den indledende hypotese. Effektbalancer, der udarbejdes med en forudsætning om, at vindkraften ikke skal tælles med, er derfor mere vildledende end brugbare.

Analysen siger dog ikke noget om hvilken effektværdi man så bør tillægge vindkraften. Men som begrundet i notatet *Elforsyningssikkerhed og effektbalancer* er det måske heller ikke så vigtigt, idet effektbalancer måske ikke siger ret meget om forsyningssikkerheden i det hele taget.

## Elforbrug ved lav vindproduktion.

Hvis man vender spørgsmålet om og spørger, om der er højt elforbrug, når vindkraftproduktionen er lav, er svaret også nej. Det gennemsnitlige elforbrug er 64 % af det maksimale<sup>9</sup>. Hvis man nøjes med at se på timer, hvor vindkraftproduktionen er mindre end 5 % af årsmax, er det gennemsnitlige elforbrug kun 61 % af årsmax.

Man kan altså ikke påstå, at elforbruget er højere, når der ikke er vind – tværtimod.

## Vindkraftproduktion ved forskellige temperaturer.

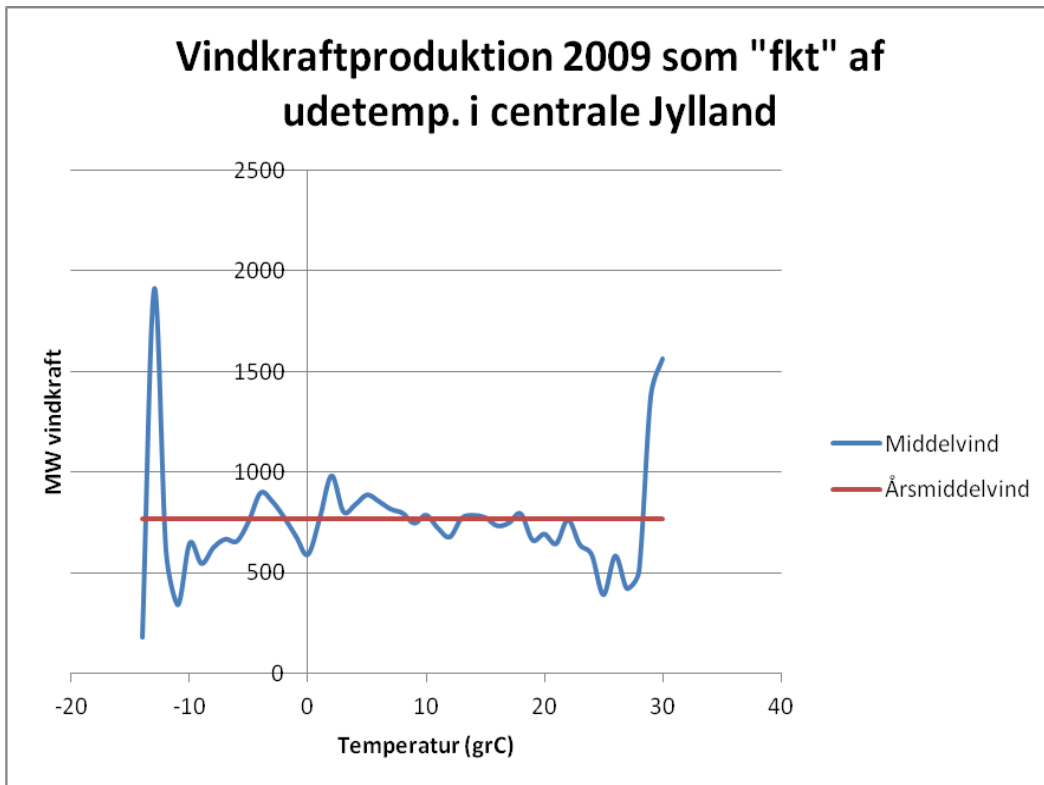
Ved at kombinere Energinet.dk's markedsdata med samtidige timemålinger af temperatur fra DMI er det søgt at teste, om vindkraftproduktionen falder, når det er koldt. P.t. haves kun timeværdier af temperaturen for 2009. I figur 5.2a og 5.2b nedenfor ses sammenhængen mellem temperaturen og Danmarks samlede vindkraftproduktion time for time i 2009. I figur 5.2.a er benyttet en temperaturmåling i det indre af Jylland omkring Herning. I figur 5.2.b er anvendt temperaturen på Bornholm.

Da temperaturerne på et givet tidspunkt er ret uens på forskellige lokaliteter i Danmark, ser de to figurer ikke ens ud. Men fælles for dem er, at der ikke er nogen tendens til lav vindkraftproduktion, når det er koldt. Ved ekstreme temperaturer er der relativt få observationer, derfor er der større *udsving* yderst til højre og venstre på figurerne. Det *forekommer* således ved en temperatur mellem 14 og 15 graders frost i Herning (2 observationer), at der er lav vindkraft (23 % af årets gennemsnit). Men det *forekommer* også ved en temperatur mellem 13 og 14 graders frost i Herning (3 observationer), at der er høj vindkraft (249 % af årets gennemsnit).

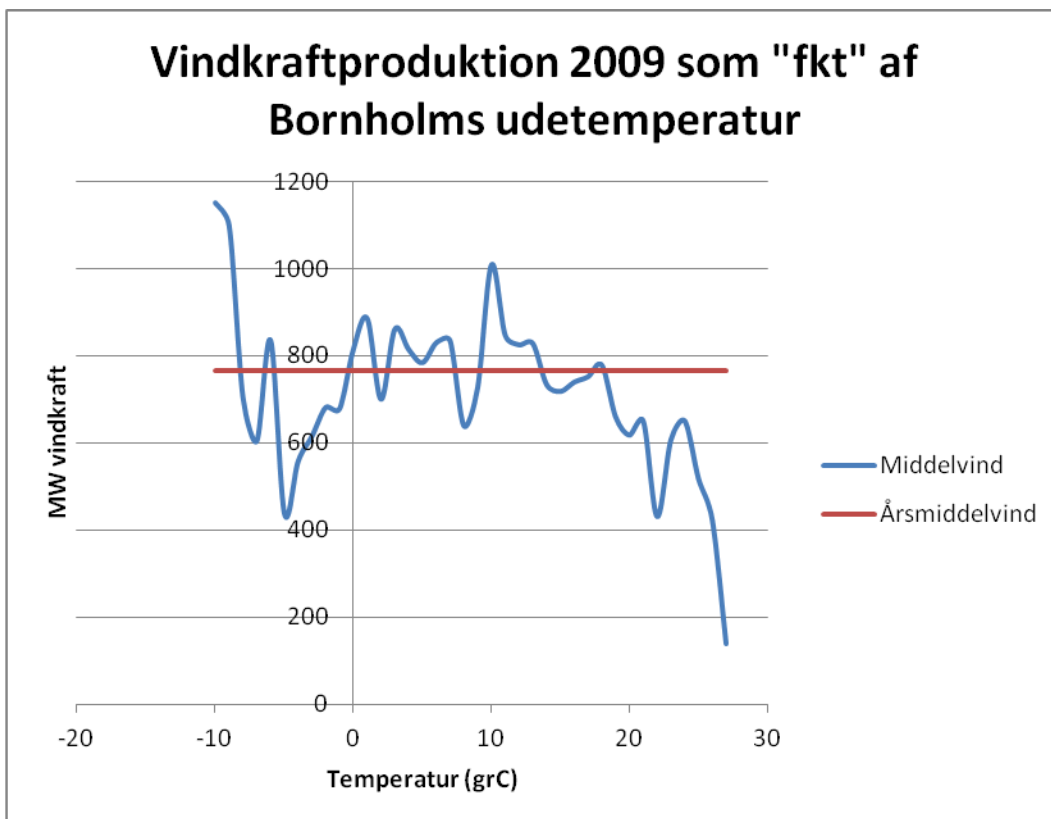
I figur 5.3.a-c ses plot af vindkraften mod temperaturen i 2008 (døgnværdier) for tre tilfældigt valgte lokaliteter. Igen bekræftes billedet af at der ikke er tendens til specielt lav vind ved lave temperaturer. Døgnværdier haves for perioden 2000-2010. Foreløbigt er dog kun 2008 gennemregnet.

---

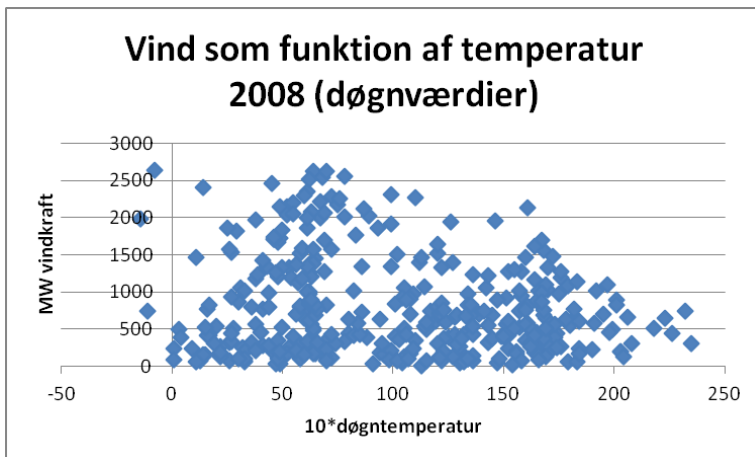
<sup>9</sup> Dette svarer til en årlig benyttelsestid på 5573 timer.



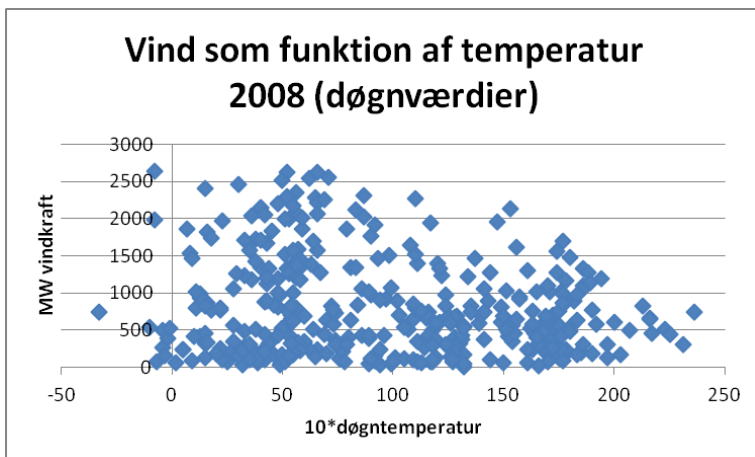
Figur 5.2.a. Gennemsnitlig vindproduktion plottet som funktion af temperaturen ved Herning.



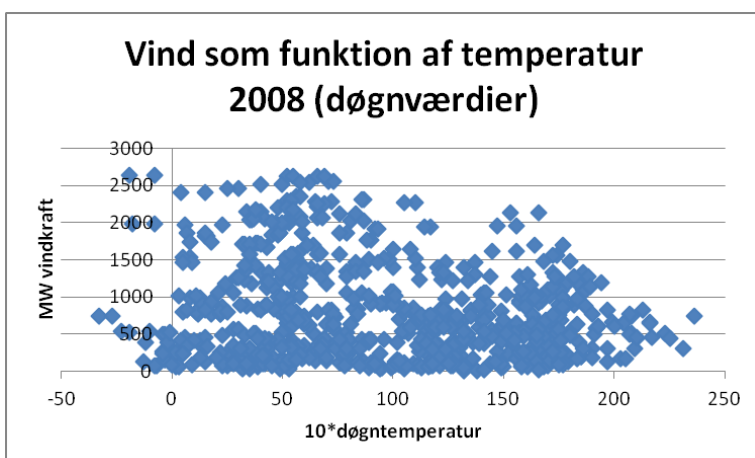
Figur 5.2.b. Gennemsnitlig vindproduktion plottet som funktion af temperaturen på Bornholm.



Figur 5.3.a. Sammenhæng mellem vind og temperatur på døgnniveau 2008. Gridcelle 20006.



Figur 5.3.b. Sammenhæng mellem vind og temperatur på døgnniveau 2008. Gridcelle 20116.



Figur 5.3.c. Sammenhæng mellem vind og temperatur på døgnniveau 2008. Gridcelle 20156.