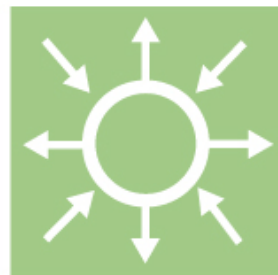


# Stor andel vindkraft ur ett marknads- och teknikperspektiv

Underlag till Vindforsks syntesrapport

Vindforsk teknikrapport 7:08



Nils Andersson

oktober 2008

**ELFORSK**

# **Stor andel vindkraft ur ett marknads- och teknikperspektiv**

Underlag till Vindforsks syntesrapport

Vindforsk teknikrapport 7:08



## Förord

Vindforsk är ett samfinansierat program för grundläggande och tillämpad vindkraftsforskning. Programmet pågår tre år (2006-01-01 till 2008-12-31) med en total omslutning på cirka 45 MSEK.

Under programmets tredje år, och inför en planering av ett nytt program, har resultat och forskningsläget för ett antal teknikområden sammanställts i en syntesrapport som utges som Elforsk rapport 08:46

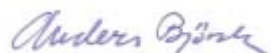
Den sammanställda syntesrapporten är baserad på ett underlag för teknik- och forskningsområdena

- Stor andel vindkraft ur ett marknads- och teknikperspektiv
- Planering och tillstånd
- Metrologi
- Ljud från vindkraftverk
- Miljöeffekter av vindkraft
- Vindkraftverk i kallt klimat
- Anslutning av vindkraftverk
- Kosntruktion av vindkraftanläggning
- Elsystem inom vindkraftstation
- Drift och underhåll av vindkraftanläggning

Vissa av underlagsrapporterna ges ut i Vindforks serie teknikrapporter.

Denna underlagsrapport som är framtagen av Nils Andersson vid Nilsan energikonsult beskriver området "Stor andel vindkraft ur ett marknads- och teknikperspektiv"

Stockholm oktober 2008



Anders Björck

Vindforsk programsekretariat

## Sammanfattning

EUs mål att till 2020 öka andelen förnybar energi till 20 % innebär för Sveriges del att vi ska uppnå 49 % år 2020. Detta framgår av det direktivförslag<sup>1</sup> som EU kommissionen lade fram i början på året. Ökningen från 39,8 % till 49 % för Sveriges del kommer att ställa stora krav på utbyggnad av förnybar el inklusive vindkraft.

Energimyndigheten har tagit fram ett nytt planeringsmål<sup>2</sup> för vindkraftutbygganden i Sverige på 30 TWh till år 2020. Av detta mål anser myndigheten att 10 TWh bör vara havsbaserad vindkraft.

Potentialen för vindkraftutbyggnad i Sverige är inte begränsande. Det finns mycket goda vindlägen både till lands och till havs. För att nå utbyggnadsmålet 2020 är det istället tillståndprocesserna för anläggningar och nätanslutningar som är den stora utmaningen.

När det gäller tillståndprocesserna är det inte bara den lagliga utformningen som är viktig utan kapaciteten hos myndigheter och miljödomstolar måste också förstärkas.

Dessutom är kostnaderna för att bygga vindkraft fortfarande så höga att elmarknadens förväntade elprisutveckling inte kommer att räcka till för att ge tillräckliga incitament för en omfattande utbyggnad av vindkraft i Sverige.

Politiskt beslutade styrmedlen kommer därför att bli av största betydelse för den framtida utbyggnaden. Styrmedlen måste utformas för att stimulera kostnadseffektivitet.

För havsbaserad vindkraft krävs enligt Energimyndigheten ett särskilt stödsystem.

Nätanslutning av den tillkommande vindkraften måste också studeras noggrant. I dag produceras hälften av all el i Sverige i tre stamnätspunkter, Forsmark, Ringhals och Simpevarp. Den andra hälften produceras i vattenkraftstationer i framförallt norra Sverige och överförs via stamnätet söder ut. En storskalig satsning på vindkraft över hela landet samt till havs kräver en helt ny nätstruktur med lokala produktionsnät som ansluter vindkraftparker till regionnät och eller stamnätet.

Svenska Kraftnät som är systemansvarig myndighet och stamnätsägare måste få en central roll i en storskalig utbyggnad av vindkraft i Sverige och i övriga Norden. Den nordiska elmarknaden övergår till att bli en exportmarknad vilket ställer krav på ökade samkörningsförbindelser till kontinenten.

En storskalig utbyggnad av vindkraft ställer också krav på ökade reglerresurser vilket Svenska Kraftnät belyser i en rapport<sup>3</sup> som lämnades till Regeringen i början av juni.

---

<sup>1</sup> Förslag till Europaparlamentets och rådets direktiv om främjande av användningen av förnybar energi av den 23 januari 2008.

<sup>2</sup> Nytt planeringsmål för vindkraften 2020, ER 2007:45

<sup>3</sup> Storskalig utbyggnad av vindkraft, Konsekvenser för stamnätet och behov av reglerkraft, Dnr 617/2008/AN40, 1 juni 2008

Enligt Svenska Kraftnät finns det en stor utvecklingspotential på förbrukningssidan i synnerhet om formerna för laddning av el- och hybridbilar utvecklas så att de kan utnyttjas för att reglera ut vindkraftens variationer.

En storskalig utbyggnad av vindkraft kommer att medföra behov av både lokala förstärkningar och systemförstärkningar i överföringsnätet.

Svenska Kraftnät ansåg i sitt remissvar på Energimyndighetens förslag till nytt planeringsmål för vindkraften att den främsta gränssättande faktorn inte kommer att vara utbyggnaden av produktionsanläggningar utan förstärkningar i överföringsnäten. I dag är löptiden för ett kraftledningsprojekt på stamnätetsnivå minst fem år men oftast längre. Det är avsevärt längre än den tid som normalt behövs för att få tillstånd att bygga nya vindkraftsanläggningar. Förkortade tillståndprocesser för också för att bygga ledningar är därför avgörande viktiga.

Detta innebär sammantaget att forskning och utveckling bör omfatta ny teknik inom alla områden som kan leda till bättre kostnadseffektivitet.

Forskningen bör syfta till att öka förståelse och kunskapen om vidareutvecklade eller nya system för generering av elenergi från vindkraft med fokus på hela systemkedjan från aerodynamik till elanslutning där forskning av internationell kvalitet kan bedrivas (dvs av den kvalitet att resultaten publiceras i vetenskapliga tidskrifter och presenteras på internationella konferenser).

Forskningen ska vara tillämpbar dvs ha anknytning till industriell utveckling (t.ex. i demonstrationsprojekt tillsammans med större energibolag) och inte enbart vara av akademiska karaktär.

En önskvärd utveckling är att vi i Sverige kan bygga upp en egen tillverkningsindustri för vindkraft. Det behövs fler aktörer på tillverkningsidan.

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Resultat från vindkraftsprogrammet</b>	<b>1</b>
1.1	Potentialer för vindkraftutbyggnad .....	1
1.2	Påverkan på elnäten .....	4
1.3	Påverkan på elmarknaden .....	6
<b>2</b>	<b>Omvärldsanalys</b>	<b>10</b>
2.1	Utveckling inom EU.....	10
2.2	Energimyndigheten.....	11
2.3	European Wind Energy Technology Platform .....	11
<b>3</b>	<b>Framtida utveckling</b>	<b>12</b>
3.1	Styrmedel .....	12
3.2	Styrmedel för havsbaserad vindkraft .....	12
3.3	Kostnadseffektiv ny vindkraftteknik.....	13
3.4	Reglerförmåga i både produktions- och förbrukningsledet.....	13
3.5	Tillståndsprocesser .....	14
3.6	Balansansvar .....	14
3.7	Nätanslutningar av vindkraftparker .....	14
3.8	Ökad stamnätskapacitet .....	15

# 1 Resultat från vindkraftsprogrammet

Inom Vindforskningsprogrammet anslogs under perioden 2006/08 5,5 Mkr eller 14 procent av medlen till projekt inom området.

## 1.1 Potentialer för vindkraftutbyggnad

*V-139 Vindkraft i framtiden<sup>4</sup>*

*Peter Blomqvist, Vattenfall Power Consultant*

Den tekniska potentialen för att bygga vindkraft i Sverige är mycket stor. Enligt rapporten finns det möjlighet att bygga 510 TWh/år på land och 46 TWh/år till havs även med hänsyn tagen till konfliktområden.

Dessa tekniska potentialer är dock teoretiska beräkningar. Produktionen i antal MW per kvadratkilometer kan betraktas som tämligen hög. En osäkerhet är om den genomförda aggregeringen, för att få ett rimligt antal kraftverk per km<sup>2</sup> på grund av beaktande av vakförluster (att aggregaten i en vindkraftpark skuggar varandra), är tillräcklig för att ge en korrekt teknisk potential. Det är också viktigt att ha i åtanke att det kan finnas andra konflikter än de allmänna intressen som inkluderats i denna rapport, vilket påverkar möjligheterna utbyggnad.

Detta har beaktats i rapporten genom att också beräkna vad som kan betraktas som en mer praktisk potential. I den fortsatta analysen har endast 10 % av den ursprungliga tekniska potentialen i referensfallet tagits med. Även detta fall visar att det finns en stor tillgänglig potential, betydligt större än den potential som kan byggas innan 2020. Inte heller i ett längre perspektiv är det brist på teknisk eller praktisk potential som kommer att begränsa möjlig utbyggnad. Resultaten med den reducerade potential ger dock en brantare kostnadsökning för ökande mängd vindkraft än för referensfallet. Att kostnadsökningen blir brantare när potential försvinner visar på vikten av att utnyttja de bästa vindlägena för att kunna bygga ut vindkraften till låg kostnad.

Med de givna förutsättningarna finns den övervägande delen av vindkraftspotentialen på land. Till havs är det mycket stor andel som exkluderas pga. att avståndet från kusten i analysen är satt till minst 4 km för havsbaserad vindkraft. Dessutom har man antaget att man kan bygga på max 40 meters djup, samt att en stor andel är definierat som konfliktområden (farleder samt skydd vid grundområden).

---

<sup>4</sup> Vindkraft i framtiden, Möjlig utveckling i Sverige till 2020, Elforsk rapport 08:17, Peter Blomqvist, Mats Nyborg, Daniel Simonsson, Håkan Sköldberg, mars 2008

Av landpotentialen ligger den övervägande delen i södra delen av Sverige, vilket främst beror på att det är större yta som uppfyller kriteriet med en vindhastighet på minst 6 m/s. En stor del av den totala tekniska potentialen på land ligger också i skogsområden, vilket har inkluderats som möjlighet för utbyggnad förutsatt en extra kostnad på 2 MSEK pga. högre navhöjd om 20 meter. Skog kan möjligen ha mindre risk för konflikt med privata intressen, dels då skog maskerar ljud från vindkraft och dels då kraftverken syns kortare sträcka. Markägare kan dock påverka möjligheten för utbyggnad exempelvis genom att de är ovilliga att upplåta sin mark för utbyggnad eller genom att ta ut höga arrendekostnader.

Även om det finns en betydande teknisk potential för vindkraft till ett relativt lågt pris, givet de förutsättningar som använts, kan det dock konstateras att det generellt krävs stödsystem för att vindkraften ska byggas ut. Det beräknade framtida elpriset räcker alltså inte för att göra vindkraften lönsam att bygga ut (i något enstaka beräkningsfall kan dock särskilt gynnsamma omständigheter, t ex sjunkande investeringskostnader och högt elpris, leda till att små mängder vindkraft byggs ut utan extra stöd).

Elcertifikatsystemet har därmed stor påverkan på introduktionen av vindkraft och i Referensfallet är elproduktionen från vindkraft år 2020 ca 10 TWh. Den övriga produktionen av förnybar el som elcertifikatsystemet tvingar fram täcks i beräkningarna av vattenkraft samt framförallt biobränslekraftvärme och biobränslemottryck.

Elcertifikatsystemet är dock inte den enda faktorn av betydelse. I den omfattande känslighetsanalys som har genomförts i rapporten för att fastställa den ekonomiskt lönsamma utbyggnaden av vindkraft har en mängd parametervariationer analyserats. Det finns både exempel på parametervariationer som ger mer vindkraft och sådana som ger mindre vindkraft.

Exempel på sådant som dämpar utbyggnaden av vindkraft är *låga biobränslepriser* (vilket ger biobränslekraftvärme bättre konkurrenskraft inom elcertifikatsystemet och därmed mindre utrymme för vindkraft), *hög kalkylränta* (som slår hårt mot vindkraft då investeringskostnaderna är den dominerande kostnaden), *mindre utbyggbar vindkraftpotential* (eftersom det då blir dyrare lokaliseringar som måste tas i anspråk för en viss nivå på vindkraftsutbyggnad) och *högre investeringskostnader* för vindkraft (som indirekt ger ökad konkurrenskraft för annan förnybar elproduktion inom elcertifikatsystemet).

Faktorer som ger större utbyggnad av vindkraft är antaganden om *högt biobränslepris* (vilket ger biobränslekraftvärme sämre konkurrenskraft inom elcertifikatsystemet och därmed större utrymme för vindkraft), *möjlighet att bygga på vad som definierats som konfliktområden* (vilket möjliggör större potentialer för vindkraft med låga kostnader) samt *större elcertifikatkvot* (som tvingar in mer förnybar elproduktion, exempelvis vindkraft).

Med nuvarande utformning av elcertifikatkvoten ökar förnybar elproduktion med 17 TWh från 2003 till 2016 och nivån bibehålls därefter till 2030. Givet detta system så ger de flesta parametervariationer en elproduktion från vindkraft som år 2020 ligger i intervallet 7 – 12 TWh.

Även om den tekniska potentialen är mycket stor så är det alltså ungefär så mycket vindkraft som blir lönsam att bygga ut. För att få fram en större elproduktion från vindkraft behövs en större omfattning på elcertifikatsystemet. Om man i beräkningarna ökar omfattningen på elcertifikatsystemet med ytterligare 15 TWh så ökar elproduktionen från vindkraft år 2020 med 11 TWh (från 10 till 21 TWh). Med andra ord står vindkraften för huvuddelen av den i det fallet antagna utvidgningen av elcertifikatsystemet.

Beräkningarna visar också att havsbaserad vindkraft har dålig konkurrenskraft, och att det behövs särskilt stöd för att det ska bli lönsamt att bygga vindkraft till havs. Inom ramen för ett generellt certifikatsystem kommer inte certifikatpriserna att bli så höga att det lönar sig att investera i havsbaserad vindkraft. Vill man påskynda teknikutvecklingen för havsbaserad vindkraft måste alltså ett tillfälligt stödsystem införas för detta ändamål.

I samband med vindkraftsinvesteringar tillkommer ett antal kvalitativa, icke-ekonomiska beslutsfaktorer, utöver de rena lönsamhetsberäkningarna. Det finns både faktorer som medför att lönsam vindkraft inte byggs och faktorer som gör att vindkraft med tveksam lönsamhet ändå byggs. Enkätstudien som har genomförts inom ramen för detta projekt har kartlagt betydelsen av sådana faktorer för vindkraftinvesteringar. Av de negativa faktorerna har osäkerheter kring ekonomiska styrmedel och tillståndprocessen bedömts vara viktigast.

Bland de positiva faktorerna bedöms "goodwill" för företaget samt att vindkraften på sikt bedöms få bättre styrmedelsvillkor som de viktigaste.

Det har visat sig att de båda huvudgrupperna av kvalitativa beslutsfaktorer tillmäts ungefär samma betydelse. I rapporten finns alltså inget objektiva underlag för att säga om de icke-ekonomiska faktorerna leder till att den mängd vindkraft som i verkligheten byggs blir mindre eller större än den ekonomiskt lönsamma mängd som redovisats ovan.

Enkäten har dock gett viktig kunskap om vilka faktorer som bedöms vara mest betydelsefulla. Om man exempelvis från politiskt håll vill få fram större vindkraftutbyggnad ger analysen av de icke-ekonomiska beslutsfaktorerna information om hur man kan skapa bättre förutsättningar för utbyggnad.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att det är de politiskt beslutade stödsystemen som kommer att bestämma hur mycket vindkraft som kommer att byggas i Sverige. Den tekniska potentialen är tillräckligt stor och begränsar inte omfattningen av vindkraftutbyggnaden.

## 1.2 Påverkan på elnäten

*V-150 Konsekvenser av ökad andel distribuerad elproduktion på elkvalitet.<sup>5</sup>  
Youngato Yang STRI*

Hur kommer en omfattande utbyggnad av vindkraft att påverka de elektriska näten?

I rapporten beskrivs relationen mellan distribuerad generering och elkvalitet. Informationen har hämtats från tillgänglig litteratur och rapporter, med fokus på den direkta inverkan en ökad mängd vindkraft har på elkvalitet och tillförlitlighet i distributionsnät.

Litteraturstudien grundas på följande informationskällor:

1. Rapporter framtagna inom EU-DEEP-projektet (European Distributed Energy Partnership)
2. Rapporter framtagna inom CODGUNet-projektet (Connection of Distributed Energy Generation Units in the Distribution Network and Grid)
3. Nyligen publicerade litteraturen på området som inte togs med i dessa två projekten.

I rapporten studeras den inverkan en ökad mängd distribuerad generering har i form av:

- Överbelastning och förluster
- Spänningsvariationer och flimmer
- Övertoner
- Skyddskoordinering
- Tillförlitlighet
- Driftsäkerhet
- Spänningsdippar

Vid måttliga mängder vindkraft kommer risken för överlast att reduceras samtidigt som förlusterna också reduceras. Bara om den maximala vindkraftproduktionen lokalt överstiger summan av maximal och minimal belastning i distributionsledet kan risken för överbelastning öka.

När den maximala utbyggnaden av distribuerad elproduktion överstiger den dubbla minimala belastningen kan förlusterna i vissa nätområden komma att öka. Det behövs dock mycket större utbyggnader för att de totala förlusterna skall öka.

En stor utbyggnad av vindkraft kan föra med sig att andra, konventionella, produktionsanläggningar inte byggs. Detta skulle kunna leda till en ökning av spänningsdippar i stamnät och eller regionnät och i distributionsnät som saknar synkrona distribuerade elproduktionsanläggningar.

---

<sup>5</sup> Power quality and reliability in distribution networks with increased levels of distributed generation, Elforsk rapport V-150, Youngatao Yang and Math Bollen, March 2008

I Sverige kan det eventuellt bli större andel spänningsdippar i samband med sommarrevisioner av de stora kärnkraftblocken.

Vindkraftens påverkan på flimmer kommer att bli liten men ska inte negligeras.

Introduktion av omfattande andel vindkraft kommer troligen inte heller att förvärra problemen med övertoner i elnäten.

Rent generellt utvecklas drift- och överföringssystem inom distributionsområdet till att efterlikna motsvarande skyddssystem som på transmissionsnäten. En utökad vindkraftutbyggnad kommer i många fall ur skyddsystemsypunkt att lösas på transmissionsnivå.

Tillförlitligheten på användarnivå kommer inte att utvecklas negativt. Tvärt om kan distribuerad produktion komma att öka tillförlitligheten om inte annan produktion längre upp i systemet tas ur drift.

Vindkraftutbyggnadens påverkan på driftsäkerheten på transmissionsnivå är komplexa frågor. De två viktigaste frågorna är hur vindkraftens svårprognostiserade uppförande blir under en större störning på transmissionsnätet och hur transmissionsnäten blir svagare om vindkraftutbyggnaden ersätter andra större konventionella produktionsenheter.

Det konstateras i rapporten att det dock behövs mycket stora vindkraftutbyggnader för att de allvarligt ska påverka driftsäkerheten negativt på transmissionsnivå.

*V-216 Analys av dynamisk inverkan av stora vindkraftparker på kraftsystemets stabilitet<sup>6</sup>*

*Katherine Elkington, Elektriska Energisystem KTH*

Den snabba utvecklingen av vindkraft kommer att påverka elnätens utformning i många länder.

När den installerade vindkrafteffekten ökar kommer dess påverkan på elnäten att tydliggöras. För att bevara driftsäkerheten i ett kraftsystem med mycket vindkraft är det viktigt att förstå nätets dynamik.

I detta projekt kommer användbara analytiska hjälpmedel att utvecklas för att analysera nätstabiliteten och undersöka hur stabiliseringen av näten om möjligt kan avhjälpas med smarta kontrollstrategier i vindturbinernas styrutrustningar.

Spänningsstabilitet är också ett viktigt område som måste studeras.

*V-104 IEA Task 25 System med stor andel vindkraft<sup>7</sup>*

---

<sup>6</sup> Analysis of the dynamic effect of large wind parks on power system stability, Katherine Elkington, Elektriska Energisystem KTH, Lägesrapport 5 maj 2008

*Lennart Söder, Elektriska Energisystem KTH*

Inom IEA Annex 25 "Design and operation of power systems with large integration of wind power" utbyter tretton deltagare från tio länder kunskaper på området genom egna studier och gemensamt arbete. Målet är att utveckla en metod för att uppskatta hur kraftsystem påverkas av en stor andel vindkraft i systemet, främst med avseende på tillförlitlighet och förluster.

### 1.3 Påverkan på elmarknaden

*V-132 Stora mängder vindkraft – förändrade marknadsförhållanden<sup>8</sup>*

*Viktoria Neimane, Vattenfall R&D*

I rapporten konstateras att variationer i vindkraftproduktionen inte behöver orsaka några stora problem om de kan förutses. Befintlig organisation på Nordpool förutsätter dock att man har produktionsprognoser 12-36 timmar framåt. Prognoser för vindkraft är i det tidsperspektivet ganska osäkra och fel upp till 50 procent av den planerade produktionen är vanliga. Det kan betyda att storskalig vindkraftproduktion medför stora obalanser jämfört med de bud som placeras på Nordpool.

Den balansansvarige kan innan produktionstimmen köpa eller sälja el på Elbas för att minska sitt prognosfel baserat på en senare prognos. Det resterade prognosfelet kommer därefter att gå till balanskraftmarknaden. En systematisk handel på Elbas kan ge betydande besparing för den balansansvarige genom att han därmed kan minska prognosfelet. På Elbas görs avslut mellan två parter. Buden antas i sin helhet. Därför kan handeln bli mycket omfattande om varje balansansvarig skall se till att själv vara i balans. Kommer en på grund av vindkraften mer omfattande handel på elbas att leda till betydande transaktionskostnader?

Ett alternativ för balansansvariga med stor och diversifierad produktion är att hantera sina obalanser internt. Om det till exempel blåser för lite och vindkraftproduktionen blir lägre än väntat kan den balansansvarige till exempel öka vattenkraftproduktionen. En annan aspekt är att en balansansvarig med mycket vindkraft i sin balans har fördelen av att korrelationen mellan prognosfel för vindkraftparker med ett stort geografiskt avstånd emellan är låg. Det betyder att prognosfelen tenderar att ta ut varandra. En balansansvarig med stor vindkraftproduktion har därför ett lägre prognosfel relativt produktionen. Dessa två saker betyder att om kostnaderna för att hantera obalanser genom markanden blir betydande kommer balansansvariga med stor marknadsandel att ha skalfördelar.

Hur skulle en avreglerad marknad behöva utformas för att den större mängden vindkraft ska kunna inkorporeras i systemet? Kan vindkraften själv bära sina balanskostnader eller krävs att marknadsens regelverk förändras?

---

<sup>7</sup> System med stor andel vindkraft, IEA Annex 25, Lennart Söder, Elektriska Energisystem KTH, Lägesrapport 12 maj 2008

<sup>8</sup> Stora mängder vindkraft – förändrade marknadsförhållanden?, Viktoria Neimane, Vattenfall R&D, Lägesrapport maj 2008

Målet för detta projekt är att beskriva konsekvenserna för olika balansansvariga vid en introduktion av stora volymer vindkraft ur två aspekter:

- Skapar systemet onödigt stora transaktionskostnader för balansansvariga för hantering av vindkraftobalansen?
- Finns det skalfördelar med avseende på det institutionella ramverk och infrastruktur som omger elmarknaden för balansansvariga som hanterar stora mängder vindkraft?

Därefter skall projektet överväga möjliga ändringar i det institutionella ramverket och infrastruktur som omger elmarknaden om systemet behöver anpassas till nya förhållanden.

Det skall genomföras genom att:

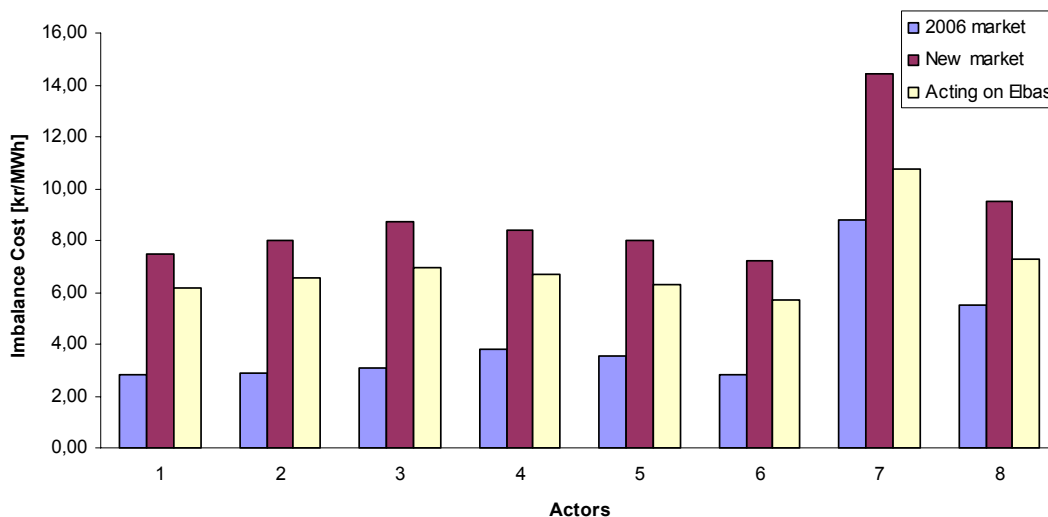
- Beräkna omsättningen i MWh och kronor på Elbas och balanskraftmarknaden vid nuvarande planeringshorisont för ett scenario med stora mängder vindkraft i systemet.
- Identifiera kvalitativt och skatta påverkan av de determinanter som kan ha stor framtida påverkan på vindkraftens balanskostnader. Exempel på detta är den balansansvariges produktionsmix, mängden vindkraft och vindkraftens geografiska spridning.

Baserat på resultatet från ovanstående analys avser projektet att i förekommande fall identifiera möjliga alternativ för åtgärder, samt i möjligaste mån diskutera konsekvenserna av dessa.

Hittills uppnådda resultat kan sammanfattas enligt följande:

- Scenario för 4000 MW vindkraft är formulerat. Scenario omfattar åtta aktörer som är balansansvariga för olika mängder vindkraft.
- Baserat på statistiska data, analyser från Tyskland och korrelationssamband baserade på avstånd mellan vindkraftparker aktörers obalanser (antaget 12-36 timmars prognosfel) är modellerade)
- Modeller för uppskattning av framtida priser på reglermarknaden och på Elbas är formulerade
- Beräkning av obalanskostnader för åtta aktörer är genomfört för följande fall:
  - Produktionsplaner lämnas till Nordpool 12-36 timmar innan aktuell produktionstimme. Inga justeringar görs, obalanser avräknas enligt aktuella reglerpriser.
  - Produktionsplaner lämnas till Nordpool 12-36 timmar innan aktuell produktionstimme. Aktörer uppdaterar sina prognoser en gång genom att agera på Elbas ca 3 timmar innan aktuell produktionstimme.
- Alla beräkningar för basfallet är klara. Huvudresultat av beräkningar sammanfattas på bilden nedan där beräknade obalanskostnader för olika aktörer presenteras. "New market" står för obalanskostnader avräknade efter reglerpriser beräknade enligt linjära prismodellen och "Acting on Elbas" står för scenario där aktörer uppdaterar sina produktionsplaner på

Elbas. "2006 market" är ett scenario där obalanskostnader beräknades baserat på historiska reglerprisdata från 2006. Det sista scenariot är troligen kraftigt underskattning av obalanskostnader och anges som nedre referens.



#### V-107 Samkörning av vindkraft och vattenkraft<sup>9</sup>

Stefan Skarp, Skellefteå Kraft

Möjligheterna till samkörning av vind- och vattenkraft har en stor relevans för kraftbranschen. För ett vindkraftsprojekt kan begränsad nätkapacitet medföra att anläggningen inte byggs på grund av de stora kostnader en nätförstärkning kan medföra. Att samköra vind- och vattenkraft är ett bra alternativ som kan göra att nätet därmed inte behöver förstärkas. En samkörning kan dock ge andra problem. Utredningen belyser en samkörning i övre delarna av Skellefteälven med vattenkraftstationerna Rebnis och Sädva samt den planerade vindkraftsanläggningen Uljabuouda.

Resultatet visar att en samkörning är möjlig i det studerade området. Eftersom storleken av vindkraftsanläggningen Uljabuouda inte är fastslagen har två olika fall undersökts. Det ena avser 24 MW och det andra 36 MW installerad vindkraft. Inom det studerade området finns en kapacitetsbegränsning i nätet på 95 MW och resultaten visar att denna kan komma att överstigas i upp till 18 % av tiden sett på ett år. Scenariot har varit att vattenkraftstationerna strikt skall regleras utifrån hur mycket vindkraftsanläggningen producerar. Varje gång effekttaket på maximalt 95 MW belastning i nätet nås, måste någon av vattenkraftstationerna reglera ner effekten genom en effektkompensering så att nätbelastningen återigen går under effekttaket.

Resultaten visar att Sädva, som effektmässigt är den mindre vattenkraftstationen, bör reglera små effektkompenseringar och Rebnis bör reglera större effektkompenseringar. Vid allt för stora effektkompenseringar bör Sädva helt tas ur drift och istället omfördela effekten till produktion vid ett

<sup>9</sup> Samkörning av vindkraft och vattenkraft, Stefan Skarp, Skellefteå Kraft,

senare tillfälle. De effektkompenseringar som måste göras i samkörningen kommer i värsta fall resultera i dubbla antalet regleringar av turbinerna jämfört med normal drift.

För att skona vattenkraftturbinerna från påfrestningar orsakade av vibrationer vid reglering måste begränsningar i körningen införas. Begränsningsnivåerna bestäms genom vibrationsmätningar. Då effekttaket överskrids så mycket att effektkompensering inte längre räcker till kan vatten istället omfördelas och användas vid senare tillfällen. Vattnet "sparas" alltså då det blåser. Med hjälp av en marginal till dämpningsgränsen på magasinsnivån kan spill av vatten förbi stationerna helt undvikas.

Samkörning kommer att medföra ett utökat arbete i driftcentralen som planerar och styr anläggningarnas produktion. Prognostisering av vindar måste göras föra att underlätta produktionsplaneringen. Effektnivån inom området måste hela tiden bevakas så att den inte överstiger effekttaket. Detta bör till viss del styras med driftdatasystemet där olika begränsningar går att lägga in, och till viss del styras manuellt. En samkörning kommer att medföra begränsningar och minskad frihet i regleringar, och därmed minskar även möjligheten för produktionsoptimering.

#### *V-215 Lokal samkörning mellan vindkraft och vattenkraft<sup>10</sup>*

*Lennart Söder, Elektriska energisystem KTH*

I många områden med utmärkta vindförhållanden förhindras utbyggnaden av vindkraft på grund av elnätsfrågor. Tidigare studier har visat att mer vindkraft kan integreras i olika områden där begränsad exportkapacitet råder, genom samkörning med lokala vattenkraftverk. I ett doktorandprojekt på KTH utvecklades metoden för korttidsvattenkraftplanering med hänsyn till vindprognosers osäkerhet samt elprisets osäkerhet på spot- och reglermarknaden. Syftet med det här projektet är att fördjupa kunskapen hur samkörning sker mellan vindkraft och vattenkraft, förbättra planeringsmetoden men också analysera påverkan av olika faktorer på samkörningens resultat. Projektgruppen har samverkat med V-107 för att dra nytta av ett verkligt fall.

---

<sup>10</sup> Lokal samkörning mellan vindkraft och vattenkraft, Lennart Söder, Elektriska Energisystem KTH

## 2 Omvärldsanalys

### 2.1 Utveckling inom EU

Inom EU-27 produceras idag 3,8 % vindkraft per förbrukad TWh el. Den installerade effekten vindkraft var år 2007 56.700 MW och den årliga ökningstakten 8.600 MW.

Fördelningen av vindkraftproduktion i Europa varierar kraftigt. Danmark ligger i topp på 21,3 % per förbrukad TWh medan Sverige ligger på 1,2 %.

Med EU:s mål att komma upp till 20 % förnybar energi till 2020 kommer investeringarna i vindkraft att bli omfattande.

Den europeiska vindkraftorganisationen EWEA bedömer<sup>11</sup> att vindkrafteffekten inom EU-27 kommer att vara 180.000 MW år 2020.

Elprisernas utveckling i Europa fram till 2020 kommer med all sannolikhet inte att vara så stor att vindkraften kommer att byggas ut enbart av detta skäl. Det är det mycket viktigt att styrmedel utvecklas så att vindkraftutbyggnaden blir kostnadseffektiv.

Tillståndsprocesser kommer också att behöva effektiviseras för att möjliggöra denna kraftiga utbyggnad. Tillståndsprocesserna gäller både utbyggnad av vindkraft och elnätsanslutningar.

Eftersom storskalig utbyggnad av vindkraft är en form av distribuerad elproduktion blir nätanslutningsfrågorna mycket viktiga. Flera länder upplever redan i dag problem med att ansluta stora mängder vindkraft till befintliga elnät. Den tekniska och ekonomiska utvecklingen inom detta område har därför stor prioritet.

En ökad fysisk handel av el mellan Norden och kontinenten kommer att ställa krav på ökad överföringskapacitet. Utbyggnaderna på den nordiska elmarknaden kommer att bli betydligt större än den samtidigt förväntade ökningen av elförbrukningen. Detta leder till ett ökat behov av export av el.

För att uppnå högt ställda förväntningar på ny vindkraft är viktigt att vindkraften till havs utvecklas. I dag är kostnaden för havsbaserad vindkraft alltför hög och tillgängligheten för låg.

Med tanke på målet 2020 och framför allt på kommande mål att minska koldioxidutsläpp och öka leveranssäkerheten är det viktigt att redan idag utveckla havsbaserad vindkraftsteknik.

I dag finns drygt 1.000 MW havsbaserad vindkraft i ett handfull länder inom EU-27, Danmark, England, Sverige, Holland och Irland.

---

<sup>11</sup> Pure Power, Wind Energy Scenarios up to 2030, EWEA March 2008

I EWEAs prognos för 2020 kommer den havsbaserade vindkraften att växa till 35.000 MW.

På ännu längre sikt kommer den havsbaserade vindkraften att dominera åtminstone när det gäller energiproduktion eftersom vindförhållandena är betydligt gynnsammare till havs än på land.

## 2.2 Energimyndigheten

Energimyndigheten uttalar i sin rapport om nytt planeringsmål:

”Förutsättningar för en kraftig utbyggnad av vindkraften under den förhållandevis korta tidsperiod fram till 2020 är att regelverket och beslutsordningen förenklas, men att kvaliteten på prövningarna även i fortsättningen är hög. Tillståndprocessen tar idag alltför lång tid varför en gemensam beslutsordning bör inrättas. Vissa förslag från kommittén som ser över plan- och bygglagen (PBL-kommittén) bör införas så snart som möjligt. Remisstiderna i prövningsärenden bör regleras i syfte att minska de totala handläggningstiderna. Vindkraft bör tas bort ut förordningen om miljöfarlig verksamhet, eftersom vindkraften är utsläppsfri. Eventuella störningar bör regleras genom riktvärden.

Ett stort problem för de som vill investera i vindkraften är mängden av myndighetskontakter som måste tas innan investeringen kan genomföras. Ett sätt att förenkla det är om huvuddelen av kontakterna kan initieras och handläggas på ett ställe, genom en så kallad ”one-stop-shop”. Energimyndigheten förslår att regeringen låter utreda förutsättningarna för en samlad beslutsordning för vindkraft.”

## 2.3 European Wind Energy Technology Platform

Ett av European Wind Energy Technology Platforms huvudområden är ”wind energy integration”, med målet att uppnå stora andelar vindkraft med låga integrationskostnader och med bibehållen leveranssäkerhet hos elsystemet. Exempel på föreslagna forskningsområden:

- Nätkrav på vindkraftverk vid stora andelar vindkraft samt metoder för att verifiera att dessa uppfylls
- Utveckling av metoder som förbättrar driften, exempelvis genom överföring av driftsdata
- Simuleringsverktyg för att undersöka den transienta stabiliteten hos det europeiska elnätet
- Nya metoder för överföring av el från havsbaserade anläggningar
- Inverkan av en stor andel vindkraft på drift och genereringskapacitet hos elsystemet
- Studier av scenarior med 100 procent förnybar elproduktion

## 3 Framtida utveckling

För att möjliggöra en storskalig utveckling av vindkraft som en integrerad del i en väl fungerande konkurrensutsatt elmarknad är det många områden som behöver utvecklas och som bör bli föremål för vidare forskning och utveckling.

De viktigaste områdena är:

- Styrmedel
- Tillståndsprocesser
- Kostnadseffektiv ny vindkraftteknik
- Reglerförmåga i både produktions- och förbrukningsledet
- Balansansvar
- Nätanslutningar av vindkraftparker
- Ökad stamnätskapacitet

### 3.1 Styrmedel

I Sverige används i dag ett certifikatsystem för att stimulera ny elproduktion från förnybara energikällor. För att öka ambitionen i detta styrmedel måste kvoterna anpassas till en ny nivå. Detta är ett enkelt politiskt beslut men den svenska certifikatmarknaden är trots allt för liten. En större marknad vore önskvärd. En gemensam nordisk certifikatmarknad skulle effektivisera prisbildning på certifikaten och därmed bidra till ytterligare kostnadseffektivitet.

Denna fråga har tagits upp i "V-139 Vindkraft i framtiden". Att på motsvarande grunder och med likartad metodik bedöma den ekonomiska potentialen för nordisk vindkraft under olika omvärldsförutsättningar borde vara av stort intresse för det nordiska elmarknadssamarbetet och för nordiska vindkraftintressenter.

En fortsatt studie skulle också mer i detalj kunna inkludera EUs tre energipolitiska mål (klimatmålet, förnybarhetsmålet och effektiviseringsmålet) där två av dem nyligen preciserades mer ingående.

Vilken roll vindkraften i Sverige och Norden spelar och kan komma att spela för att uppnå dessa mål samt hur målen i sig kan komma att påverka vindkraftutbyggnaden är några av de frågeställningar man då skulle kunna belysa.

### 3.2 Styrmedel för havsbaserad vindkraft

Även om vi får en utvidgad nordisk certifikatmarknad kommer inte havsbaserad vindkraft att byggas inom ramen för detta styrmedel. Det beror

på att kostnaden och nätanslutningarna för havsbaserade vindkraftparker är alltför hög samtidigt som potentialen för landbaserad vindkraft är tillräckligt stor för att möta en omfattande ambitionshöjning av utbyggnaden i Norden.

Därför behövs ett ytterligare styrmedel för att snabbt få igång utbyggnaden av havsbaserad vindkraft.

Anledningen till att det är viktigt att redan nu få igång teknikutvecklingen för havsbaserad vindkraft trots den högre kostnaden är att kunna uppnå de högt ställda kraven på ny kapacitet redan till 2020. Dessutom behöver teknikutvecklingen påskyndas eftersom havsbaserad vindkraft på lång sikt blir allt viktigare.

Hur ett styrmedel för havsbaserad vindkraft bör utformas är av största betydelse och bör utredas omgående. Helst bör utformningen av ett sådant styrmedel stimulera till att nya aktörer kommer in på marknaden för tillverkning av vindkraftaggregat.

### 3.3 Kostnadseffektiv ny vindkraftteknik

Forskning och utveckling för att få fram ny kostnadseffektiv vindkraftteknik är av största intresse. Bland utvärderingskriterierna för insatser på forskningssidan bör nyhetsvärdet på system och teknikknivå stå högt på listan. Bärkraftiga projekt ska kunna kombinera nytänkande lösningar (som t.ex. vertikalaxlade turbiner) med effektiv generatorteknik (som tex. direktdrivna permananetmagnetiserade synkronmaskiner). Trovärdig systemlösning är meriterande för att säkerställa att den utvecklade tekniken är användbar.

### 3.4 Reglerförmåga i både produktions- och förbrukningsledet

En storskalig introduktion av vindkraft kommer att ställa stora krav på reglerförmåga. Detta har tagits upp i flera studier. Det finns åtminstone två aspekter på detta problem. Hur ska den tekniska regleringen åstadkommas och hur ska balanskostnaden betalas? Den senare frågan behandlas i nästa avsnitt.

I Norden har vi mycket vattenkraft som är utmärkt för att reglera vindkraftens naturliga variationer. Frågan om hur vattenkraftens reglerförmåga ska kunna bevaras när villkoren i dagens vattendomar ska omprövas är viktigt att studera. Svenska Kraftnät har i sin rapport till Regeringen pekat på risken att vattenkraftens reglerförmåga reduceras i framtiden i samband med dessa omprövningar.

En studie bör genomföras som inte bara omfattar den befintliga vattenkraftens reglerförmåga och hur den ska bevaras utan även omfatta en analys av hur reglerförmågan i den svenska vattenkraften ska kunna utökas på ett kostnadseffektivt sätt.

En annan fråga som Svenska Kraftnät tagit upp är hur laddningssystemen till kommande el- och hybridbilar på ett intelligent sätt ska kunna användas för

att reglera ut vindkraftens varierande produktion. Denna fråga behöver studeras och analyseras noggrant.

Det kan finnas även andra förbrukningsfrågor som skulle kunna tas med i en sådan analys, exempelvis större elpannor.

### 3.5 Tillståndsprocesser

Att förenkla tillståndsprocesser och förstärka myndigheter och miljödomstolar är egentligen ingen fråga för forskning och utveckling. Det finns dock delar inom detta område som ytterligare borde studeras vetenskapligt. Dit hör acceptansfrågor som också tagits upp i "V-139 Vindkraft i framtid". Det torde vara av stort intresse att genomföra djupare studier av konflikter relaterade till vindkraftsutbyggnad, då de är av central betydelse för möjlig fortsatt utbyggnad.

### 3.6 Balansansvar

I "V-132 Stora mängder vindkraft – ändrade marknadsförhållanden" tas frågan upp hur en avreglerad marknad skulle behöva utformas för att den större mängden vindkraft ska kunna inkorporeras i systemet? Kan vindkraften själv bära sina balanskostnader eller krävs att marknadens regelverk förändras?

Svenska Kraftnät har också tagit upp frågan om vilken roll systemoperatören ska ha när det gäller balansmarknaden.

### 3.7 Nätanslutningar av vindkraftparker

För effektiv utbyggnad av elnäten för att transportera elen från de nya vindkraftparkerna är det intressant att studera andra former av regelverk för koncessioner. Frågan om hur koncessionssystemet ska utvecklas för att på ett tekniskt och kostnadseffektivt sätt ansluta vindkraftsparker regionalt och lokalt har studerats av Elnätsutredningen.<sup>12</sup>

En ytterligare möjlighet är att skapa en ny typ av koncession, produktionsnät, med uppgift att överföra el från vindkraftverken till region eller stamnätet. De nuvarande lokalnätens verksamhet att distribuera el till slutanvändare skulle inte behöva förändras eller utsättas för konkurrens från produktionsnäten. Införande av produktionsnät innebär att nätverksamheten "nedanför" regionnäten specialiseras. Områdeskoncessionerna svarar för distributionen från det nationella elnätet till slutanvändarna. Produktionsnätet svarar för överföringen från elproducenterna till det nationella elnätet. En viktig och angelägen uppgift är att utreda vilka kostnadsbesparingar som skulle kunna uppnås, hur näten ska dimensioneras tekniskt och ekonomiskt samt hur regelverket med en ny typ av koncession skulle kunna utformas.

---

<sup>12</sup> Elnätsutredningens betänkande Bättre kontakt via nätet (SOU 2008:13)

Svenska Kraftnät som systemansvarig myndighet och stamnätsägare bör få en roll för att bistå regionnätägare och produktionsnätägare så att utbyggnaderna blir så kostnadseffektiva som möjligt.

I "V-150 Konsekvenser av ökad andel distribuerad elproduktion på elkvalitet har frågan om hur elnäten påverkas studerats. I rapporten föreslås vidare studier som bör prioriteras:

- Spänningsvariationer i distributionsnät
- Högfrekvens övertoners utbredning i lokal- och regionnät
- Överlast i lokalnät
- Transmissionsnätets driftsäkerhet på grund av alltför lite konventionell produktionskapacitet

För att genomföra dessa studier behöver stokastiska modeller av produktionssystemet utvecklas.

### 3.8 Ökad stamnätskapacitet

En omfattande utbyggnad av vindkraft i Sverige kommer att ställa stora krav på stamnätets kapacitet, vilket också Svenska Kraftnät konstaterat. Frågan handlar dock inte enbart om tillkommande vindkraft.

Behovet av mer reglerkraft innebär att även ökad vattenkrafteffekt måste få möjlighet att transporteras från norr till söder. Eftersom hela den nordiska elmarknaden får mycket stora produktionstillskott måste även utlandsförbindelserna ses över och förstärkas.

Den nordiska elmarknadens omvandling från importområde till exportområde med större behov av reglerkraft omfattar ett mycket intressant forskningsområde.