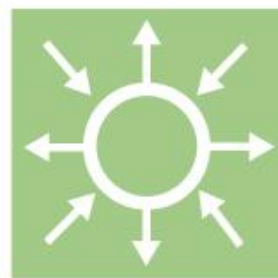
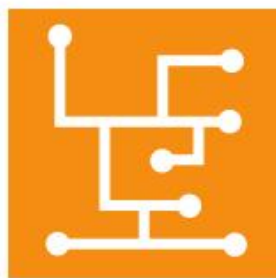




Nätanslutning av vindkraft

Underlag till VindForsks syntesrapport

Vindforsk teknikrapport 5:08



Michael Lindgren, Åke Larsson

oktober 2008

Nätanslutning av vindkraft

Underlag till VindForsks syntesrapport

Vindforsk teknikrapport 5:08

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 Michael Lindgren, Åke Larsson från Vattenfall Power consultant och beskriver området nätanslutning av vindkraftverk

Stockholm oktober 2008



Anders Björck

Vindforsk programsekretariat

Sammanfattning

Rapporten summerar status vad gäller nätanslutning av vindkraft. En sammanfattning och utvärdering av genomförda och pågående projekt beskriver vad som studerats och förväntade nyttor med dessa projekt. Rapporten inkluderar en omvärldsbevakning som beskriver vilka områden som är speciellt i fokus för forskning inom området nätanslutning av vindkraft. Rapporten beskriver slutligen vilka områden som är av intresse för projektörer av vindkraftparker och nätägare och ger förslag på projekt som skulle vara till nytta för dessa intressegrupper.

De fem vindforsksprojekt som utvärderas i denna rapport kan delas in i projekt som studerar elsystem för vindparker och projekt som är inriktade på krav som vindparkerna skall uppfylla.

De två projekt som studerar elsystem är till stor del inriktade på HVDC anslutning av vindparker, vilket av kostnadsskäl främst är aktuellt för havsbaserade vindparker. Båda projekten utreder möjligheten att reducera kostnaden för vindkraftverkens elsystem och de kan således sägas vara inriktade på att föreslå nya typer av elsystem för vindkraftverken. Projekten är till stor nytta för att driva på utvecklingen mot billigare vindkraftverk.

Av de tre projekt som är inriktade på krav som vindparker skall uppfylla behandlar två av dessa metoder för att prova vindkraftverkens förmåga att uppfylla svenska nätanslutningskrav medan ett projekt fokuserar på anvisningar för anslutning av större produktionsanläggningar till elnätet. Generellt kan sägas att de tre projekten på ett förtjänstfullt sätt beskriver vindkrafttekniken och fyller många av de kunskapsluckor som finns kring vindkraftproduktion. Projekten är till stor nytta för att förbättra insikten hur vindkraft samverkar med elnätet och förenkla nätbolagens hantering vid anslutning av ny elproduktion.

Den storskaliga utbyggnaden av vindkraft som pågår runt om i världen ger nya problemställningar. Från att tidigare endast haft en lokal påverkan på spänningen i distributionsnätet ger den storskaliga utbyggnaden återverkningar i både region- och stamnät. De två dominerande frågorna i omvärlden är därför infrastruktur, dvs. om- och tillbyggnad av överföringsnätet, och krav på vindkraftanläggningar, s.k. "grid codes". De nya "grid codes" som vindkraften måste uppfylla har medfört att tillverkarnas fokus ändras från att utveckla allt större vindkraftverk till att utveckla vindkraftverk som klarar dessa "grid codes".

Prioriterade forskningsområden är systemlösningar för att klara SvKs "grid codes", design av elsystem för stora landbaserade vindparker där fokus ligger på dimensionering för elektrisk hållfasthet, dvs. isolationshållfasthet och isolationskoordinering, samt ökad kunskapsspridning om hur vindkraften samverkar med elnätet.

Innehåll

1	Inledning	1
2	2 Summering av Elforsks forskningsprojekt inom nätanslutning av vindkraft	2
2.1	Projekt V 218 "Vindkraftdesign för HVDC-ansluten vindkraftpark"	2
2.2	Projekt V 138 "Dynamisk prestanda för HVDC-ansluten vindkraftpark.....	4
2.2.1	Utvärdering av projektet.....	4
2.3	Projekt V-129 och V-143 "Framtagning av metod för att testa vindkraftverks förmåga att uppfylla svenska nätanslutningskrav"	5
2.3.1	Utvärdering av projektet.....	6
2.4	Projekt V-101 "ASP Anslutning av stora produktionsanläggningar"	6
2.4.1	Utvärdering av projektet.....	7
3	Omvärldsanalys	8
3.1	Infrastruktur	8
3.1.1	Teknik.....	8
3.1.2	Driftplanering.....	9
3.2	Produktionsanläggningskrav	9
4	Framtida utveckling och prioriterade områden för forskning	11
4.1	Intresseområden för projektörer av vindkraft	11
4.2	Intresseområden för nätägare	12
5	Referenser	14

1 Inledning

Syftet med detta kapitel är

1. att summera vad som framkommit i projekt som behandlat elanslutning inom vindforskprogrammet
2. att göra en omvärldsanalys
3. att identifiera prioriterade områden för forskning

I del 1 summeras vad som kommit fram ur följande uppdrag

- V 218 " Vindkraftdesign för HVDC-ansluten vindkraftpark"
- V-138 "Dynamisk prestanda för en HVDC-ansluten vindkraftpark"
- V-129 och V-143 "Framtagning av metod för att testa vindkraftverks förmåga att uppfylla svenska nätanslutningskrav"
- V-101 "ASP Anslutning av stora produktionsanläggningar"

som finansierats av Elforsk inom Vindforskprogrammet. I denna del beskrivs projektens inriktning och förväntade resultat.

Del 2 är en omvärldsbevakning som beskrivs vilka områden och frågeställningar som är speciellt i fokus för forskning inom området nätanslutning och storskalig integration av vindkraft till kraftsystemet.

Del 3 ger förslag på prioriterade områden för forskning. Denna rubrik identifierar projektörer av vindkraft och nätägare som de specifika intressegrupperna och ger förslag på forskningsprojekt som skulle tillföra nytta till dessa grupper.

2 2 Summering av Elforsks forskningsprojekt inom nätanslutning av vindkraft

Elforsk har finansierat ett antal uppdrag som berör nätanslutning av vindkraft. Huvudsyftet med detta kapitel är att summera de fyra specifika projekten

- 1 V 218 "Vindkraftdesign för HVDC-ansluten vindkraftpark"
- 2 V-138 "Dynamisk prestanda för en HVDC-ansluten vindkraftpark"
- 3 V-129 och V-143 "Framtagning av metod för att testa vindkraftverks förmåga att uppfylla svenska nätanslutningskrav"
- 4 V-101 "ASP Anslutning av stora produktionsanläggningar"

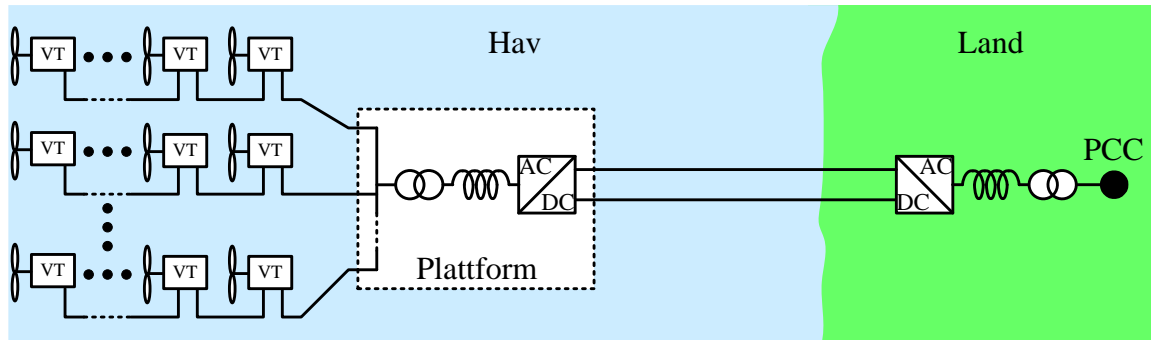
De inledande två projekten är inriktade på alternativa elsystem för vindkraftparker, medan de senare två projekten är inriktade på regelverken för anslutning och hur det skall verifieras att reglerna uppfylls.

2.1 Projekt V 218 "Vindkraftdesign för HVDC-ansluten vindkraftpark"

Målet med projektet är att presentera huruvida enklare vindkraftverk, t.ex. DFIG-verk (vindkraftverk med deleffektomriktare), ihop med en HVDC-anslutning kan erhålla samma prestanda som en vindpark utrustad med fulleffektomriktarna (Lillgrundslösningen) samt därefter värdera totalkostnaden givet samma leverans av energi.

Grundkonceptet som studeras är en havsbaserad vindpark ansluten via en HVDC-överföring till elnätet på land, se figur 1. HVDC-överföringen medför troligtvis att vindparken är lokaliserad på ett längre avstånd från en lämplig nätanslutningspunkt, längre än ca 50 km, och/eller att vindparken är ansluten till ett svagt nät. HVDC-överföringen är tänkt att vara gjord med spänningsstyva omriktare, ej den klassiska tyristortekniken, och att den goda styrbarhet som denna typ av överföring ger, utnyttjas. Den goda styrbarheten ger ett mervärde i nätanslutningspunkten. Tekniken möjliggör att billigare (enklare) vindkraftverk kan användas i parken men likväl kan hela anläggningen ändå uppfylla SvKs (SvK=Svenska Kraftnät) krav på immunitet mot nätstörningar. Med enklare vindkraftverk avses framförallt DFIG-verk med extra liten omriktare samt utan "fault ride-through" system. Styrbarheten från överföringen medför även att förlusterna kan bli mindre för den studerade konfigurationen. Detta tillsammans med att billigare

vindkraftverk kan användas ökar configurationens potential att vara en kostnadseffektiv lösning för en havsbaserad vindpark.



Figur 1. Havsbaserad vindpark ansluten via en HVDC-överföring. VT = vindkraftverk.

2.1.1 Utvärdering av projektet

Projektet utvärderar ett elsystem för havsbaserad vindkraft. I framtiden är det rimligt att anta att teknikutvecklingen och även en ökad konkurrens kommer att resultera i minskade förluster och kostnader för HVDC anläggningar. Redan idag är HVDC anslutning av stort intresse även för anläggningar som ligger bara några mil från kusten. Det är därför rimligt att anta att HVDC anslutning kan vara aktuellt för allt fler havsbaserade vindparker i framtiden. Det är därför av stort intresse att bedöma möjligheten att använda vindkraftverk med förenklade elsystem för att reducera kostnaden för vindparkerna.

Projektet syftar till att utreda såväl systemverkningsgrad som dynamisk prestanda för vindparken. Det föreslagna elsystemet är baserat på DFIG vindkraftverk där storleken på den kraftelektroniska strömriktare som används för att reglera vindkraftverkets moment och varvtal är reducerad för att på så sätt minska kostnaden och öka verkningsgraden för vindkraftverket.

Projektet utvärderar ett elsystem som är mycket lämpligt för havsbaserad vindkraft. Vid användning av elsystem med fulleffektomriktare fås betydande effektförluster på cirka 5 % i vindkraftverkens omriktare (hälften i likriktaren och hälften i växelriktaren), och sedan liknande förluster i HVDC anläggningens likriktare och växelriktare. I ett sådant system körs all producerad effekt genom fyra seriekopplade omriktare innan den matas in i det anslutande elnätet på land.

Vid HVDC anslutning av vindparker är det således lämpligt att försöka minska den effekt som går genom omriktare i vindkraftverken för att upprätthålla en god systemverkningsgrad. Vindkraftverken med fullomriktare har flera stora fördelar vid direktanslutning till AC elnät, vid HVDC anslutning är de dock till mindre nytta eftersom;

- 1 De medger styrning av vindkraftverkens reaktiva effekt och kan därmed användas för att uppnå kravet på reaktiv effektbalans i anslutningspunkten till det anslutande elnätet. Vid HVDC anslutning har HVDC-anläggningen inbyggd kapacitet att klara kravet på balans av reaktiv effekt i anslutningspunkten varför vindkraftverken ej

behöver kunna styra den reaktiva effekten.

- 2 De ger en isolering av vindkraftverkens drivlina från störningar i elnätets spänning. Vid anslutning med HVDC kommer HVDC anläggningen att till stor del reducera störningarna i spänning som vindkraftverken utsätts för, därmed är behovet av fullomriktare mindre än vid direktanslutning till AC elnät. Det är fortsatt möjligt med fel inom uppsamlingselnätet som ansluter vindkraftverken till HVDC anläggningen, men antalet fel kommer att vara klart lägre än i ett vanligt transmissionsnät med friledning eftersom åsknedslag ej kan ske i uppsamlingselnätets kabelsystem.
- 3 De ger en inbyggd god el-kvalitet eftersom effektpulsationer från generatoren kan jämnas ut genom att upplagra energi i fullströmriktarens DC mellanled. Vid anslutning med HVDC jämnar dock HVDC anläggningen ut eventuella effektpulsationer. Dessutom är vindparker som ansluts med HVDC anslutna till regionnät eller stamnät där effektpulsationer ej ger betydande flicker.

2.2 Projekt V 138 "Dynamisk prestanda för HVDC-ansluten vindkraftpark

Syftet med projektet är att undersöka möjligheten att utnyttja en HVDC anläggning med transistorteknik (VSC-HVDC) för att reglera de anslutna vindkraftverken i en vindpark. Istället för att varje vindkraftverk regleras individuellt utnyttjas HVDC anläggningens omformare för att också reglera vindkraftverken. Detta innebär att en reduktion kan ske av den kraftelektroniska utrustningen i vindkraftverken. Genom denna utformning kan den totala verkningsgraden för systemet öka samt kostnaderna minska för de enskilda vindkraftverken.

Målsättningen med studien är att:

- 1 Undersöka den dynamiska prestanda hos en vindpark med en HVDC anslutning där HVDC anläggningens omformare används för att reglera vindkraftverken.
- 2 Ge svar på om tillräckligt bra dynamisk prestanda kan uppnås.
- 3 Undersöka vilka eventuella begränsningar som finns.
- 4 Studera de ekonomiska förutsättningarna av att utforma vindparken med variabel frekvens.

Det övergripande målet är att reducera antalet kraftelektroniska omvandlare i en HVDC ansluten vindpark vilket dels innebär en kostnadsbesparing på grund av ett minskat antal omvandlare och dels en förbättring av totalverkningsgraden på anläggningen.

2.2.1 Utvärdering av projektet

Även detta projekt är inriktat på havsbaserade vindparker men konceptet kan eventuellt även vara av intresse för stora vindparker placerade på land. I detta projekt är inriktningen att använda HVDC-anläggningens havsbaserade omriktarstation till att styra varvtalet på vindkraftverken genom att styra

frekvensen. Ett sådant system medger ej en momentreglering av de enskilda vindkraftverken och vindkraftverken utrustas därför med en minsta möjliga storlek på omriktare för att ändå klara att reducera momentpåkningarna som vindens pulsationer orsakar i vindkraftverkets drivlina.

Projektet bedöms mycket intressant då det syftar till att fullt ut använda styrbarheten i HVDC anläggningen och därigenom uppnå lägsta möjliga kostnad för vindkraftparken. För genomförandet är det viktigt att lägga stort fokus på att formulera relevanta modeller för en dynamisk analys av vindkraftverkens elsystem och drivlina. Det är även viktigt att göra en realistisk bedömning av vilka momentpåkänningar som vindkraftverkets drivlina får utsättas för.

Det är av stort intresse att bedöma hur stor kostnadsbesparingen kan bli på vindkraftverken jämfört med vindparker med standard DFIG vindkraftverk och standard fullströmriktar vindkraftverk.

2.3 Projekt V-129 och V-143 "Framtagning av metod för att testa vindkraftverks förmåga att uppfylla svenska nätanslutningskrav"

De svenska nätkraven för vindkraftverk är relativt väl dokumenterade i AMP, ASP samt Svenska Kraftnäts föreskrifter för produktionsanläggningar (SvKFS 2005:2). För närvarande saknas däremot tydliga riktlinjer för verifiering av att kraven uppfylls. Avsaknaden av riktlinjer för verifiering är allvarlig eftersom det finns en risk att nätägare och vindkraftsägare inte besitter nödvändig kunskap för att bedöma de prov som tillverkare av vindkraftverk tillhandahåller. I detta projekt vidareutvecklas en verifieringsmetod, som bygger på ett tidigare Vindforsk projekt (V-129), med hjälp av experiment på skalmodeller.

Projektet ska vidareutveckla metoderna från del 1 av projektet V-129 gällande verifiering av vindkraftverks förmåga att uppfylla svenska nätanslutningskrav.

Projektet ska utveckla skalmodeller av vindkraftverk kopplade till en frekvensomformare vars mjukvara kan programmeras för att modellera stationära avvikelser i spänning och frekvens, nätstörningar samt variera nätets kortslutningseffekt och impedans. Resultat från nätsimuleringsanalyser ska kunna användas av frekvensomformaren för applicering på skalmodellerna. Skalmodeller av vindkraftverk kommer att utsättas för de verifieringsmetoder som utvecklas. Denna process ger svar på hur metoderna fungerar i praktiken och kan även ge återkoppling till AMP, ASP och SvK's föreskrifter beträffande förtydliganden och kompletteringar som kan vara lämpliga att införa i nya versioner av dokumenten.

Projektet ska ge tillräckliga kunskaper för att kunna ställa de övergripande kraven på en frekvensomformare i MW-klassen för fullskalig verifiering av vindkraftverk mot de svenska nätanslutningskraven.

2.3.1 Utvärdering av projektet

Projektet är inriktat på metodik för verifiering av att vindparker uppfyller kraven på anläggningar för el-generering.

Projekt V-129 har ingående på ett mycket bra sätt beskrivit elsystemen och faktorer som påverkar deras möjlighet att klara nätanslutningskraven. Den summerar även de krav som skall uppfyllas av vindkraftverk i Danmark, Tyskland, Spanien och Irland, och metodik för verifiering av att dessa uppfylls. Slutligen ger den förslag på metodik för verifiering av att kraven uppfylls i Sverige.

I projektet föreslås metodik för verifiering av att anslutningskraven uppfylls. Det rekommenderas att man skall prova kraftverken med en frekvensomformare för att kunna prova felfall och drift vid över och underfrekvens.

Fördelen med provning på skalmodeller är att vindkraftparkens samverkan med elnätet kan provas för extrema störningar i elnätet, vilka sällan uppstår, man kan därmed identifiera eventuella stabilitetsproblem eller oönskad urkoppling av vindparken. Generellt måste leverantören ansvara för att vindkraftverken uppfyller kraven som ställs för nätanslutning ligga på leverantören.

Endast vindkraftverk som certifierats enligt gällande prov bör få anslutas till elnätet.

Stora kommersiella vindkraftparker bör utrustas med utrustning som medger loggning av vindparkens beteende vid verkiga störningar i elnätet. En sådan utrustning är installerad i Lillgrunds vindkraftpark.

En alternativ lösning som är mer kostnadseffektiv är att installera utrustning som medger loggning av vindparkens beteende vid verkiga störningar i elnätet. En sådan lösning är implementerad i Lillgrund där fault ride-through verifierades i samband med en nätstörning den 5 januari 2008. I anläggningen bör tydligt specificera trigvillkor och datainsamling i samband med fel, för att kunna verifiera att beteendet vid felsituationer uppfyller kraven samt att man får en stabil kontrollerad återhämtning i aktiv effekt efter fel i nätet. Nätägaren bör ha tillgång till dessa data för att verifiera att vindparken uppfyller kraven. En sådan metodik ger en verklig tydlig bild av samverkan vindpark och elnät.

2.4 Projekt V-101 "ASP Anslutning av stora produktionsanläggningar"

Vid förfrågan om anslutning av större produktionsanläggningar uppstår frågeställningar hos nätägaren om överföringsförmåga i nätet, spänningsvariationer, förluster, felströmmar, reläskydd, dynamisk stabilitet etc. Eftersom få större vindparker byggts i Sverige finns en begränsad erfarenhet från denna anläggningstyp. Det kan därför vara svårt att överblicka vad som måste studeras vid sådana anslutningar.

Målet med ASP (Anslutning av Större Produktionsanläggningar till elnätet) är

att på ett transparent och tydligt sätt belysa för både nätägare och elproducenter hur nätanslutning av stora produktionsanläggningar skall utföras och vilka krav som anläggningarna skall uppfylla. ASP fokuserar på anläggningar större än 25 MW anslutna till regionnätet. Projektet har letts av en styrgrupp med deltagare från E.ON, Vattenfall, Fortum, Svensk Energi, SvK och Elforsk.

I ASP redogörs för de krav som SvK ställer på produktionsanläggningar samt relevanta krav för nätägaren. Vidare beskrivs i ASP elkvalitet, nätstudier som bör utföras i samband med nätplaneringen, relevanta skydd för felbortkoppling, checklista för nätägaren och vilken information som bör utbytas mellan nätägare och elproducent. I ASP ges exempel och återkopplas till några stora vindparker på land och till havs som befinner sig i olika planeringsstadier och där nätanslutningen helt eller delvis studerats och utretts.

2.4.1 Utvärdering av projektet

Projektet V-101 belyser i rapporten ASP vilka krav som skall ställas vid nätanslutning av en större produktionsanläggning och vilka studier som bör utföras. Rapporten fyller många kunskapsluckor och rätar ut några av de frågetecken som finns kring vindkraft och vindkraftproduktion.

Projektet bedöms vara av stort värde eftersom få stora vindparker byggts i Sverige och erfarenheten därmed är begränsad. Projektet får ses som än mer värdefullt eftersom erfarenheten var än mer begränsad 2006 då rapporten publicerades. En nackdel med rapporten ASP är att den inte är skriven enbart för vindparker utan mer generellt för stora produktionsanläggningar.

I efterhand, två år efter ASP publicerades, kan det konstateras att tekniken utvecklats och att såväl kunskap som erfarenhet av stora vindparker har ökats. Mot den bakgrunden skulle ASP idag kunna revideras och skrivas om för att enbart fokusera på vindkraftanslutningar. Den skulle då även kunna bli lite mer konkret med avseende på hur anslutning mot regionnätet bör utformas. Dessutom har de båda branschorganen Svensk Energi och Svensk Vindkraft utarbetat administrativa rutiner för att underlätta kontakten mellan nätföretag och elproducenter i processen med att ansluta ny elproduktion till nätet. Även de administrativa rutinerna skulle kunna inarbetas i en reviderad version av ASP.

3 Omvärldsanalys

Det pågår en storskalig utbyggnad av vindkraft runt om i världen. Som exempel kan nämnas Tyskland med cirka 22 000 MW vindkraft installerad och Spanien med cirka 15 000 MW [1]. I sammanhanget kan nämnas Spaniens snabba utbyggnadstakt, under 2007 installerade totalt 3 522 MW vindkraft.

Vindkraftutbyggnaden ger nya problemställningar, från enstaka vindkraftverk anslutna till distributionsnätet med endast lokal påverkan på elnätet så ger den storskaliga utbyggnaden återverkningar i både region- och stamnät. De två stora frågorna i omvärlden och i Sverige beträffande nätanslutning av vindkraft är infrastruktur och produktionsanläggningskrav ("grid codes").

3.1 Infrastruktur

Som en konsekvens av den storskaliga vindkraftutbyggnaden måste infrastrukturen, dvs. elnätet i form av region- och stamnät, anpassas för vindkraften. Till skillnad från konventionella produktionsanläggningar som i princip kan ha en godtycklig placering måste vindkraftverken placeras på ställen med goda vindtillgångar. Dessa platser på land och till havs sammanfaller sällan med den befintliga ledningsdragningen, i de flesta fall krävs därför utbyggnad av nya ledningar. Även om det existerar befintliga ledningarna krävs ofta kompletteringar och omfattande förstärkningar av dessa. Frågan om infrastruktur innefattar förutom ekonomi även driftplanering och teknik.

Den ekonomiska dimensionen av infrastrukturfrågan hanteras olika i olika länder och är en politisk fråga. Tyskland har sedan december 2006 en lagändring som innebär att stamnätägaren (TSO, eng: Transmission System Operator) är skyldig att bygga och driva nät ute till havs för att ansluta havsbaserad vindkraft. I Sverige har den ekonomiska frågeställningen berörts av Lennart Söder i "Nätutredningen" [2].

3.1.1 Teknik

Den tekniska frågeställningen handlar främst om nätstruktur och teknikval. Med nätstruktur avses här byggande av nya transmissionsledningar för att samla ihop och överföra vindkraftproduktionen till stamnäten men även för att öka överföringskapaciteten mellan olika länder. Detta inte minst för att kunna utjämna variationerna i vindkraftproduktionen och därmed minska behovet av reservkraft.

Frågan om teknikval berör konventionell växelströmsteknik (AC) kontra likström (HVDC). HVDC har många fördelar jämfört med AC och en rad olika applikationer med HVDC teknik studeras runt om i världen. Exempel på applikationer med HVDC-teknik är projekten V-218 och V-138 som behandlas i kapitel 2. Forskningen inom AC teknik fokuseras till stor del på kablar. Exempel på sådan forskning är kablar med forcerad vattenkylning vilket medger cirka 50% ökad effektöverföring jämfört med en konventionell kabel

[3]. En annan variant som undersöks är gasisolerade ledningar (GIL, eng: Gas-Insulated Lines) som har bättre överföringskapacitet och lägre kapacitans jämfört med konventionella kablar [4]. Ytterligare en variant som undersöks är kabel med fyra ledare för ett fyr-fas system vilket ger lägre magnetfält och mindre temperaturökning i kabeln jämfört med en ordinär trefaskabel [5].

3.1.2 Driftplanering

Driftplanering handlar om hur vindkraften kan driftövervakas och styras för att ihop med annan elproduktion balansera förbrukning och produktion. Driftcentraler för produktionsplanering och övervakning av vindkraft och övrig elproduktion växer fram i olika länder.

För produktionsplaneringen är prognostisering av vindhastighet viktigt, en felaktig prognos i vindhastighet på ± 1 m/s kan ge en skillnad i effektproduktion från vindkraften på cirka $\pm 20\%$. I Europa och övriga världen är den korta vindprognosen för kommande 3-6 timmar av oerhört stort intresse. Detta beror på att den konventionella elproduktionen i Europa till stor del består av fossileldade kondenskraftverk som har en starttid på mellan 3-5 timmar. För att hinna starta annan produktion i den händelse vinden avtar krävs upp till 6 timmars förvarning. I ett flertal länder pågår därför arbete med att förbättra och förfinna dessa korta vindprognoser [6].

3.2 Produktionsanläggningskrav

Som en följd av den snabba och storskaliga utbyggnaden av vindkraft har allt fler länder utarbetat krav, s.k. "grid codes", som gäller för vindparker som skall anslutas till nätet.

Tidigare fanns anslutningskrav som i första hand behandlade vindkraftverkens påverkan på det lokala distributionsnätet. I Sverige finns en sådan motsvarighet i AMP (Anslutning av Mindre Produktionsanläggningar) som elnätsbolagens branschorgan Svensk Energi tagit fram.

De nya kraven ("grid codes") berör egenskaper hos vindkraftverken och krav som dessa skall uppfylla. Dessa produktionsanläggningskrav ("grid codes") ställs av stamnätägarna (TSO), dvs. de som äger och driver transmissions- och stamnätet. I Sverige har SvK på motsvarande sätt tagit fram SvKFS 2005:2 "Affärsverkets svenska kraftnäts föreskrifter och allmänna råd om driftsäkerhetsteknisk utformning av produktionsanläggningar" som föreskriver ett antal krav som vindparker skall uppfylla för att få anslutas till nätet.

Exempel på krav som ställs i de nya "grid codes" är störningstålighet, reaktiv effektreglering, kommunikation och styrbarhet. Med störningstålighet avses att en vindpark skall upprätthålla produktion under vissa stationära avvikelser i frekvens och spänning samt att förbli inkopplad på nätet även under kortslutningar då spänningen i det anslutande nätet kortvarit går ner mot noll, sk, fault ride-through. I tex. Spanien har man gått ännu längre och kräver att vindparker skall kunna bidra till spänningsregleringen.

Generellt för dessa "grid codes" är att de skiljer sig mellan olika länder och att vissa krav är svåra för vindkrafttillverkarna att uppfylla, dvs. de påverkar teknikvalet i vindkraftverken [7].

Från att tidigare i huvudsak fokuserat på att utveckla nya och större vindkraftverk ligger tillverkarnas fokus idag på att anpassa det befintliga sortimentet av vindkraftverk för de nya "grid codes". Tillverkarna försöker anpassa designen för en internationell marknad, om kraven skiljer sig åt mellan olika länder finns risken att man antingen anpassar designen för värsta fallet vilket ger dyrare produkter alternativt att man slopar vissa marknader som ställer för svåra krav. Inom EU har man identifierat ett behov av harmoniserade "grid codes" och ett flertal arbetsgrupper och program har inletts.

4 Framtida utveckling och prioriterade områden för forskning

I rubrik 2 summerades Vindforsks pågående projekt inriktade på nätanslutning av vindkraft. Projekten kan delas in i projekt som studerar elsystem för vindparker och projekt som är inriktade på kraven som vindparkerna skall uppfylla.

Som framgick är de pågående projekten som studerar elsystem till stor del inriktade på HVDC anslutning av vindparker, vilket av kostnadsskäl främst är aktuellt för havsbaserade vindparker. Projekten är till stor del inriktade på att utreda möjligheten att reducera kostnaden för vindkraftverkens elsystem och de kan sägas vara inriktade på att föreslå nya typer av elsystem för vindkraftverken. Projekten kan således vara till stor nytta för att driva på utvecklingen mot billigare vindkraftverk. För projektörer av vindkraft ger dessa projekt fingervisningar om att utvecklingen kan leda till lägre kostnader för havsbaserade vindparker.

4.1 Intresseområden för projektörer av vindkraft

I nuläget är det, av ekonomiska skäl, av störst intresse att projektera landbaserad vindkraft i Sverige. De nuvarande projekten för utvärdering av elsystem för vindparker är främst inriktade på systemlösningar med HVDC, vilka främst är av intresse för havsbaserade projekt, men skulle kunna vara av intresse även för landbaserade projekt där avståndet till anslutande elnätet är stort eller för att uppfylla SvKs krav.

I nuläget pågår således inga specifika projekt med syfte att utvärdera alternativa elsystem för landbaserade vindparker. De flesta vindparker som byggs har en enkel struktur med 24 eller 33 kV systemspänning och en radiell konfiguration. För dessa vindkraftparker handlar det till största del om att välja systemspänning mellan 24 eller 33 kV och att sedan designa anläggningen så en lämplig avvägning mellan investeringskostnad och förlustkostnad uppnås. Vid projektering av anläggningar finns även valet mellan luftlinjer och kabelförbindningar för anslutning av vindkraftparken till det befintliga region eller stamnätet. Av kostnadsskäl så är luftlinjer att föredra eftersom kablar förlagda i mark normalt är mellan 2 till 3 ggr dyrare. Trots detta väljs oftast kablar förlagda i mark som en följd av svårigheter och osäkerheter vad gäller möjligheten att få tillstånd för luftlinjer.

På kort sikt är det för projektörer av vindkraft av största intresse att säkerställa att de anläggningar som projekteras är säkert dimensionerade vad gäller elektrisk hållfasthet för utrustning och att vindkraftverken är tillförlitliga. När det gäller vindkraftverken så måste projektören säkerställa att de köper vindkraftverk med garantier som täcker kostnader för eventuella driftstörningar. Inom detta område krävs speciellt att leverantörer av vindkraftverk, tillsammans med leverantörer av drivlinans komponenter, säkerställer användande av tekniska standarder som ger säker drift för

vindkraftverken.

När det gäller den elektriska hållfastheten är det av stort intresse att säkerställa att de ingående komponenterna har korrekta isolationsnivåer. I dagsläget saknas en entydig standard för val av isolationsnivåer och utrustning för överspänningsskydd. Det är upp till varje projektör av vindparker att säkerställa att anläggningen blir säkert dimensionerad och utrustad med relevanta skydd för överströmmar och överspänningar. En möjlighet är även att överlåta ansvaret för elsystemets funktion på en underleverantör som då säkerställer att hela elsystemet dimensioneras på ett korrekt sätt.

Inom detta område vore det värdefullt att bedriva projekt inom isolationskoordinering som utvärderar alternativa lösningar för att säkerställa att isolationsmarginalerna i elsystemet uppfylls. Projektet bör beskriva rekommenderade nivåer enligt IEC, samt beskriva hur marginaler för kopplingsöverspänningar (SIWL) och åsköverspänningar (LIWL) bedöms med hjälp av beräkningar eller simuleringar.

Det vore även värdefullt att beskriva inverkan av elsystemets konfiguration och dimensionering på hur höga överströmmar och överspänningar som fås i elsystemets olika delar.

Vidare vore det för projektörerna önskvärt med en uppdatering av ASP. I en uppdaterad ASP bör det ingå konkreta rekommendationer på utformning av anslutningen mot regionnät samt exempel på hur SvKFS 2005:2 skall implementeras och hur anläggningen skall utföras för att uppfylla dessa krav. Ett exempel på oklarhet i SvKFS 2005:2 är: "Vindkraftgrupper skall utformas så att det reaktiva utbytet kan regleras till noll". Innebär det rent praktiskt att SvK kräver en avancerad styrutrustning för reaktiv effekt eller är det nöjaktigt att använda en mer kostnadseffektiv utrustning med ett antal fasta steg?

4.2 Intresseområden för nätägare

När det gäller nätägaren så ställs de, beroende på deras geografiska läge i landet, inför ett stort antal ansökningar för anslutning av vindkraft. Generellt sett så har utvecklingen inom vindkraftsområdet gjort att det har blivit svårare att bedöma hur elsystemet skall utformas på sikt eftersom nu ny generering kan tillkomma. Det är således lämpligt för den enskilde nätägaren att bedöma olika scenarion på framtida generering med vindkraft och framtida belastning i elnätet. Nätägaren kan bedöma hur dessa faktorer kommer att påverka belastningen på de enskilda ledningarna och utrustningen i stationerna. Det är även av intresse för nätägare att kunna säkerställa att elsystemet kommer att fungera på ett säkert och förutsägbart sätt vid störningar i elnätet, vilket kräver simuleringar som korrekt beskriver anslutna vindparker.

Då det bland nätägare kan finnas en tvekan inför installation av nya vindparker så vore det av värde att satsa på att sprida kunskap om hur vindparkerna samverkar med elnätet. För att uppnå detta så skulle det vara av stort värde att göra det möjligt för projektörer att få ett bidrag för att demonstrera att anläggningen fungerar stabilt tillsammans med det befintliga elnätet. Detta skulle rapporteras i en rapport som redovisar simuleringar och

verifierande mätningar på vindparkens aktiva och reaktiv effekt i samband med störningar i det anslutande elnätet.

Även för nätägare vore det önskvärt med en uppdatering av ASP av samma skäl som nämnts ovan. Rapporter som ASP är delvis att betrakta som färskvaror så länge som det pågår en stark teknikutveckling i vindkraftverken och samtidigt en snabb utveckling mot allt större vindparker.

5 Referenser

- [1] *"Delivering energy and climate solutions"*, EWEA 2007 Annual Report.
- [2] *"Bättre kontakt via nätet – om anslutning av förnybar elproduktion"*, SOU 2008:13.
- [3] H. Brakelmann, D. Zhang, *"HVAC cable systems with forced water cooling for wind energy transmission"*, 7th International Workshop on Large Scale Integration of Wind Power and on Transmission Networks for Offshore Wind Farms, 26-27 May, 2008, Madrid, Spain.
- [4] C. Rathke, M. Siebert, L. Hofmann, *"Grid integration of offshore wind farms using gas-insulated transmission lines"*, 7th International Workshop on Large Scale Integration of Wind Power and on Transmission Networks for Offshore Wind Farms, 26-27 May, 2008, Madrid, Spain.
- [5] H. Brakelmann, J. Brüggmann, J. Stammen, *"Connection of Wind Energy to the Grid by an Optimized HVAC Cable Concept"*, 7th International Workshop on Large Scale Integration of Wind Power and on Transmission Networks for Offshore Wind Farms, 26-27 May, 2008, Madrid, Spain.
- [6] *"Design and Operation of Power Systems with large Amounts of Wind Power"*, IEA WIND R&D Task 25.
- [7] S. Bolik, *"The impact of Grid Codes on the development of wind turbine technologies"*, 7th International Workshop on Large Scale Integration of Wind Power and on Transmission Networks for Offshore Wind Farms, 26-27 May, 2008, Madrid, Spain.