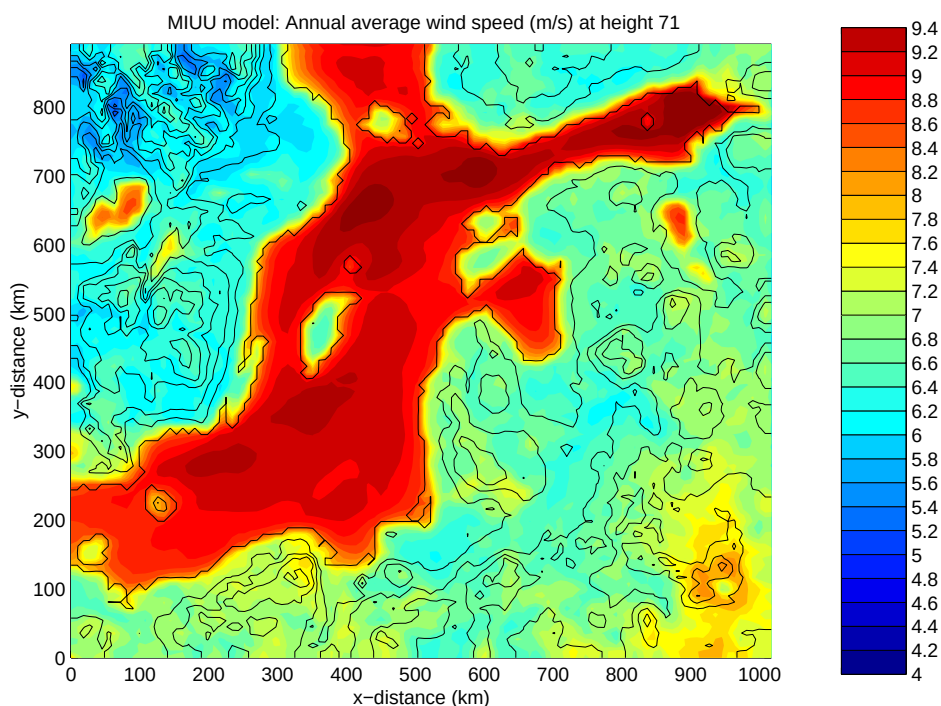


Vindkraftsprogrammet VKK

Lägesrapport verksamhetsåret 2000/2001

Sammanställd av Sven-Erik Thor



Årsmedelvinden på 71 m höjd i Östersjöområdet beräknad med MIUU-modellen, 9 km horisontell upplösning.

TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSINSTITUT
Flygteknik FFA
172 90 Stockholm

FOI--0185--SE
September 2001
ISSN 1650-1942

Vindkraftsprogrammet VKK

Lägesrapport verksamhetsåret 2000/2001

Sammanställd av Sven-Erik Thor

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Avdelningen för Flygteknik FFA 172 90 Stockholm	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0185--SE	Klassificering Underlagsrapport
	Forskningsområde 9 Övriga civila tillämpningar	
	Månad, år November 2001	Projektnummer E870323
	Verksamhetsgren 91 Övriga civila tillämpningar	
	Delområde 5 Uppdragsfinansierad verksamhet	
Författare/redaktör Sammanställd av Sven-Erik Thor	Projektledare Sven-Erik Thor	
	Godkänd av VKK-rådet, möte 13, september 2001	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Vindkraftsprogrammet VKK Lägesrapport verksamhetsåret 2000/2001		
Sammanfattning (högst 200 ord) Energimyndighetens ökade satsningar på forskning och utveckling inom vindenergiområdet har resulterat i att programmet nu omfattar 15.6 miljoner kronor per år. Verksamhetsåret 2000/2001 är det sista i en treårsperiod. Programmet har dock förlängts ett halvt år i avvaktan på nästkommande forskningsprogram och avslutas därför 31 december 2001. Under verksamhetsåret 2000/2001 har resultat från verksamheten bidragit till förbättrade möjligheter att konstruera effektiva och säkra vindkraftverk samt att underlätta etablering av vindkraft i landet- Detta är de två huvudmålen för forskningsprogrammet.		
Nyckelord Vindkraftsprogrammet VKK, Vindkraft, Vindenergi, Forskning		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 77 s.	
Distribution enligt missiv STEM	Pris: Enligt prislista Sekretess Öppen	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Division of Aeronautics, FFA 172 90 Stockholm	Report number, ISRN FOI-R--0185--SE	Report type Base data report
	Research area code Civil applications	
	Month year November 2001	Project no. E870323
	Customers code Civil applications	
	Sub area code Contracted Research	
Author/s (editor/s) Edited by Sven-Erik Thor	Project manager Sven-Erik Thor	
	Approved by VKK-rådet, meeting 13, September 2001	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Swedish wind energy research program VKK, Annual report 2000/2001		
Abstract (not more than 200 words) This report describes the results that have been achieved during the period July 1 2000 to June 30 2001.		
Keywords Windenergy research		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 77 p.	
Distribution: STEM	Price acc. to pricelist Security classification Open	

Sammanfattning

Energimyndighetens ökade satsningar på forskning och utveckling inom vindenergiområdet har resulterat i att programmet nu omfattar 15,6 miljoner kronor per år. Verksamhetsåret 2000/2001 är det sista i en treårsperiod. Programmet har dock förlängts ett halvt år i avvaktan på nästkommande forskningsprogram och avslutas därför den 31 december 2001.

Under verksamhetsåret 2000/2001 har resultat från verksamheten bidragit till förbättrade möjligheter att konstruera effektiva och säkra vindkraftverk och till att underlätta etablering av vindkraft i landet. Detta är de två huvudmålen för forskningsprogrammet.

Nedan följer några exempel på viktiga resultat från forskningen.

Vindunderlag och prestanda

Vid beräkningen av vindpotentialen på en plats är det av stor vikt att kunna ta hänsyn till bland annat terrängen. Meteorologerna vid Uppsala universitet har med sin MIUU-modell beräknat medelvinden till 8,4 m/s på 35 m höjd i Suorva, medan mätningarna ger 8,1 m/s. Den ofta använda WA^SP-modellen misslyckas helt i fallet Suorva. Den ger där endast 4,9 m/s i medelvind baserat på vinddata från Ritsem. Beräkningarna med MIUU-modellen har även verifierats för Östersjöområdet.

Metoderna som används för att beräkna vindklimatet och vindpotentialen har alltså utvecklats. Trots att MIUU-modellen är mycket datorkrävande är det nu realistiskt att använda denna modell för vindkarteringar i större eller mindre skala.

Vid bedömning av prestanda är det speciellt viktigt att kunna mäta vindhastigheten med stor noggrannhet. Detta beror på att effekten är proportionell mot vindhastigheten i tredje potens. Mätningar av vindhastighet med koppanemometrar är ofta osäkra. Osäkerheter i storleksordningen $\pm 4\%$ har uppmätts. Dessa mätningar blir därmed den största källan till osäkerheter vid utvärdering av vindturbiner. Utvecklingsarbetet vid FOI har lett fram till en patenterad anemometer. Den möjliggör mätning av vinden med högst 1% fel inom vinkelintervallet $\pm 45^\circ$.

Aeroelasticitet och laster

Det svenskutvecklade VIDYN-programmets möjligheter och prestanda hävdar sig väl vid jämförelse med andra program. Programmet har bland annat använts i flera EU-projekt. Resultaten har bidragit till säkrare kunskaper om vad som händer vid bladets passage för uppvindsplacerade turbiner. VIDYN-programmet har också givit ökad kunskap om vad som är viktigt vid modellering av vindkraftverks laster och dynamik.

Resultat från utvärderingen av den havsbaserade anläggningen Bockstigen (utanför Gotland) visar, att det finns tydlig inverkan av vågor

på fundamenten. Forskningen har dock visat att konstruktionen av fundamenten (av typ "monopile") har uppfyllt statiska säkerhetskrav för förekommande vind- och våglaster.

Elsystem

Elforskarna vid Chalmers har nått förbättrad förståelse för de mekanismer som begränsar krafttätheten i direktdrivna generatorer. Därmed har generatordiametern kunnat minskas med cirka 10 % jämfört med tidigare konstruktioner. Det har även visat sig att styrningen av direktdrivna generatorer kommer att kräva mer sofistikerade styrmodeller än vad konventionella permanentmagnet-maskiner kräver. Detta beror på inverkan av s.k. magnetisk mättning. Under året har prestanda ökat avsevärt på det överstegringsreglerade kraftverket på Hönö (med en direktdriven permanentmagnetiserad generator).

Vindkraftverk med variabelt varvtal är utrustade med omriktare, vilka tyvärr är känsliga för nätstörningar. Genom att införa nya styrstrategier som detekterar och minimerar nätstörningarnas inverkan på nätomriktaren, så har man uppnått att produktion inte påverkas av mindre nätstörningar. Genom att använda en väl vald styrstrategi för generatorn kan störningar från såväl vinden, vindkraftverket som det anslutna elnätet dämpas.

En konfigurationsstudie har gjorts av likströmsöverföringen i en vindpark med HVDC . Den visar att snabba effektvariationer inte kommer att vara ett problem.

Akustik och socioteknik

Vid KTH har utvecklats nya effektiva beräkningsmodeller för hur mycket akustisk effekt (dvs i praktiken stomljud från växellådan) som matas in i tornet på ett vindkraftverk vid olika geometrier. Olivier Fegeant disputerade våren 2001 på detta ämne.

Störningsundersökningar har utförts av Högskolan i Halmstad och Göteborgs universitet bland människor som bor i närheten av vindkraftverk. Dessa studier visar att buller från rotorbladen är den vanligaste störningen. Andelen människor som störs av buller ökar med stigande ljudnivåer, men relativt många störs trots låga nivåer. Bland de som utsattes för ljudnivån 35,0-37,5 dBA var det drygt 43% som stördes ganska mycket eller mycket. Den ekvivalenta ljudnivån är dock bara en förklaring till en upplevd bullerstörning. Visuella faktorer har betydelse, medan attityden till vindkraft inte tycks spela så stor roll. Störst förklaringsgrad har den psyko-akustiska karaktären "svischande".

Övrigt

Årets vindenergikonferens arrangerades på Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm den 25-26 oktober 2000 och samlade rekordmånga deltagare, 180 stycken.

VKK-programmet har under året utvärderats av en internationell grupp bestående av tre personer från Danmark, Finland och Sverige. Gruppens sammanfattande slutsatser återges nedan:

1. Sett i ljuset av vindkraftens aktuella position i Sverige, har VKK-programmet lyckats uppnå sina mål.
2. Hanteringen av VKK-ärenden hos Energimyndigheten, från beslut i VKK-rådet till utbetalning av anslag, måste förbättras avsevärt. Idag leder de försenade utbetalningarna till försenade forskningsresultat samt en ekonomisk situation som är mycket svår att hantera på institutionerna.
3. Programmet har genomförts med en hög grad av professionalism kopplat till ett, i de flesta fall, påtagligt entusiastiskt engagemang.
4. Den forskning som genomförts är av en kvalitet klart jämförbar med internationell nivå.
5. Utbildningen av ingenjörer och av forskare på lic.- eller doktorsnivå har haft stor nytta av programmet.
6. Det har funnits många bra relationer med den nu växande tillverkningsindustrin.
7. Det verkar möjligt att frågan om introduktion av betydligt mer vindkraft i det svenska energisystemet kan frigöras från "kärnkraftfrågan", och det politiska klimatet har därmed ändrats i förmånlig riktning för vindkraften.
8. Det kan därför rekommenderas, att anslagen i det kommande programmen ökas och inriktas mot detta mål.
9. Under nästa treårsperiod torde det finnas större möjligheter än tidigare för en breddning av programmet med deltagande av den framväxande industrin.
10. Nuvarande fördelning av relativt små medel gör att det är svårt att skapa forskningsgrupper som uppnår "kritisk" storlek. Denna problematik bör beaktas vid formuleringen av framtida program.
11. Materialforskning fanns tidigare med i VKK-programmet. Området bedömdes dock inte vara aktuellt och aktiviteten stoppades. Idag växer den svenska vindkraftsindustrin och materialfrågor får troligen en ökad relevans under kommande treårsperiod. Vi rekommenderar därför att man överväger att återuppta aktiviteten.
12. Området benämnt "sociotekniska aspekter" är idag mycket svagt kopplat till övriga delar av VKK-nätverket. Utvärderarna har, med hänvisning till sin tekniska bakgrund, svårt att tydligt se hur resultat från denna forskning skall nå fram till beslutsfattare utan att påverkas av politiska aspekter.

Innehållsförteckning

1. BAKGRUND	11
2. SAMMANFATTNING AV DELOMRÅDEN	13
2.1. Vindunderlag	13
2.1.1. Prestanda - anemometerutveckling - CLASSCUP	13
2.1.2. Erfarenheter från Bockstigen - TEPRES	14
2.1.3. Vindförhållanden i komplex terräng - KOMPLEX	14
2.1.4. Database on wind characteristics - IEA Annex XVII	16
2.1.5. Vindförhållanden offshore och i kustzonen - HAV&KUST	17
2.2. Aerodynamik och strukturdynamik	19
2.2.1. Aerodynamisk Dämpning - ADAM II	19
2.2.2. Verifiering av beräkningsprogram för vindkraftverk (VEWTDC)	19
2.2.3. Interaktion mellan blad och torn - ROTOW II	21
2.2.4. Dynamisk simulering av vindkraftverk - VINDSIM	22
2.2.5. Giregenskaper för vindkraftverk - GIRA II	22
2.2.6. Non-axisymmetric wakes and the possibility to optimise the power output of farms - NAWOPT	23
2.3. Lastunderlag och dimensionering	25
2.3.1. Struktur- och fundamentlaster vid havsbaserade vindkraftverk (TELOP)	25
2.3.2. Vindkraftverk i bergig terräng med bra vindpotential (ADAPTURB)	26
2.3.3. Kartläggning av laster på turbiner i vakar, speciellt närvakar - LATUVA	27
2.3.4. Modellprov för kartläggning av enskilda och samverkande vakars utveckling, WAKES	28
2.3.5. Säkrare dimensionering av vindkraftverk (LADIM)	28
2.3.6. Våglaster på vindkraftverk till havs - VÅGVIT	29
2.3.7. Islaster på vindkraftverk till havs - ISVIT	30
2.4. Elsystem och reglerteknik	31
2.4.1. Direktdrivna generatorer - DDgen	31
2.4.2. Robust nätomriktare för hög tillgänglighet - NÄTOMR	31
2.4.3. Vindkraftverk anslutna till likspänningsnät - LIKNÄT	33
2.4.4. Styrning av rotorresistans för överstegringsreglerat vindkraftverk	34
2.4.5. Styrning vindkraftverk och vindkraftsgenerator - StyrnVindGen	35
2.4.6. Konfigurationsstudie av HVDC-vindpark HVDCpark	36
2.4.7. Vindkraft i områden med begränsad exportkapacitet - ELBRA	37
2.5. Akustik	38
2.5.1. Ljudutbredning kring havsbaserade vindkraftverk	38
2.5.2. Ljudalstring hos vindkraftverk	38
2.6. Sociotekniska aspekter	38
2.6.1. Störningsundersökningar bland människor boende i närheten av vindkraftverk - STUV	38
2.6.2. Vindkraftens utformning i landskapet i samklang med andra markintressen	40
2.7. Information och programledning	40
2.7.1. Information	40
2.7.2. Programledning	40

2.7.3.	Vind 2000	41
2.8.	Resurser	41
2.8.1.	Drift och underhåll av mätsystem vid Bockstigen Valar - TEDRIFT	41
2.8.2.	Mätningar i master - LANDMAST	42
2.8.3.	Drift av Hönö provstation - HÖNÖ	43
3.	REFERENSER	45

1 Bakgrund

Föreliggande rapport sammanfattar det arbete som genomförts inom det svenska vindkraftsforskningsprogrammet VKK (Vindkraft, Kunskap, Kompetens) under det tredje verksamhetsåret 2000/2001. Det omfattar nu 15,6 MSEK per år under en treårsperiod. Programmets inriktning och verksamhet beskrivs närmare i det förslag till FoU-program som arbetades fram under 1998 [1]. Det utgör en fortsättning på den forskning inom vindkraftsområdet som sedan 1975 bedrivits med finansiering från det statliga energiforskningsprogrammet.

2 Sammanfattning av delområden

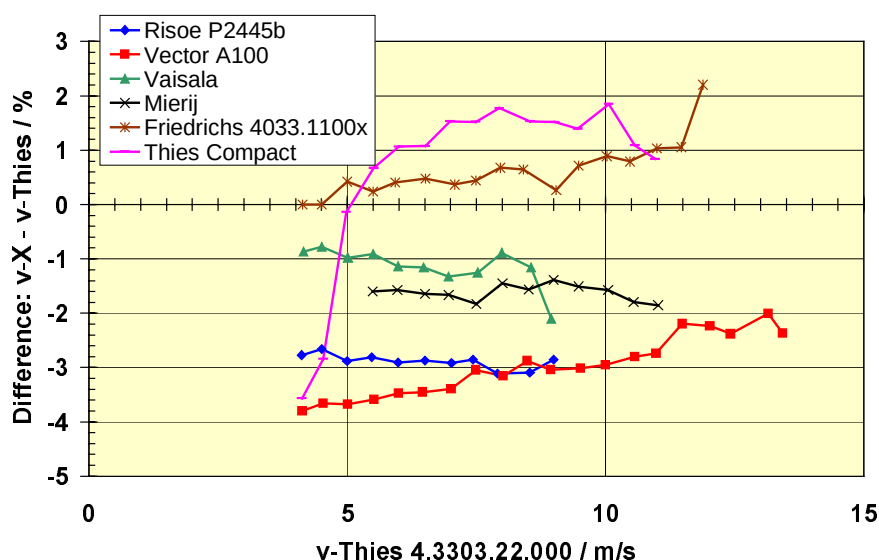
De olika projekten sammanfattas av respektive projektledare i avsnitt 2.1 och framåt. Bilaga A innehåller en översikt över de projekt som VKK-rådet givit ett positivt utlåtande om.

Projektuppföljningsblanketterna i Bilaga B ger en kortfattad redovisning av samtliga projekt. För en mer fullständig beskrivning av de olika projekten hänvisas till de rapporter som finns utarbetade, se avsnitt 3 Referenser.

2.1 Vindunderlag

2.1.1 Prestanda - anemometerutveckling - CLASSCUP

Inom vindenergiområdet är det speciellt viktigt att kunna mäta vindhastigheten med stor noggrannhet eftersom effekten är proportionell mot vindhastigheten i tredje potens. Brister vid mätningar av vindhastighet med koppanemometrar utgör den största källan till osäkerheter vid utvärdering av vindturbiner. Olika anemometrar som kalibrerats efter konstens alla regler och som jämförs sida vid sida i fält uppvisar stora (>5%) skillnader i mätt vindhastighet. Figuren nedan visar hur illa det står till. Strömningsförhållanden i vindtunnel är alltså inte representativa för förhållanden i fält.



Jämförelser mellan Thies och några vanliga anemometrar, genom mätningar i fält på 8 meters höjd, utförda av DEWI i projektet SITEPARIDENT

FFA har, tillsammans med deltagare från forskningsinstitutet RISØ i Danmark och DEWI i Tyskland, haft ett EU-uppdrag att utveckla en vindmätare som kan mäta vindens styrka oberoende av i vilken riktning den blir anblåst. Projektet startade den 1 september 1998 och avslutades den 30 november 2000. Projektiden blev, efter 3 månaders förlängning, 27 månader. FFA har förutom koordineringen av projektet ansvarat för den experimentella vindtunnelverksamheten som varit mycket omfattande.

Prov har utförts i tre olika vindtunnlar, LT-2000 vid KTH, LT-5 som är en nybyggd vindtunnel vid FFA anpassad speciellt för prov med anemometrar, samt röktunneln på FFA. Fler än 450 olika anemometrar och anemometerkonfigurationer har testats. Testerna omfattar vinkelresponsprov, i vilket olika anemometerkonfigurationer långsamt förts fram och tillbaka i syfte att simulera snedanblåsning ovan-, och underifrån, momentmätning, d.v.s. mätning av vridmomentet från enskilda koppar i syfte att förstå anemometerns driftsegenskaper under olika driftförhållanden samt dynamiska prov där anemometrar utsatts för pulserande vind med hjälp av en specialbyggd vindbygenerator.

Utvecklingsarbetet har lett fram till en anemometer som möjliggör mätning av vinden med högst 1% fel inom vinkelintervallet $\pm 45^\circ$.

I projektet ingår också att ta fram ett system för klassificering av anemometrar. Med hjälp av klassificeringssystemet skall det vara möjligt att systematiskt bestämma egenskaperna hos olika varianter av kopp-anemometrar. Alla parter i projektet deltar aktivt i standardiseringsarbetet. Resultaten från CLASSCUP kommer enligt planerna direkt att arbetas in i IEC-standarderna i form av ett separat annex.

Rapporteringen från projektet är omfattande och har summerats i två huvudrapporter [2], [3] samt ett antal delrapporter [4].

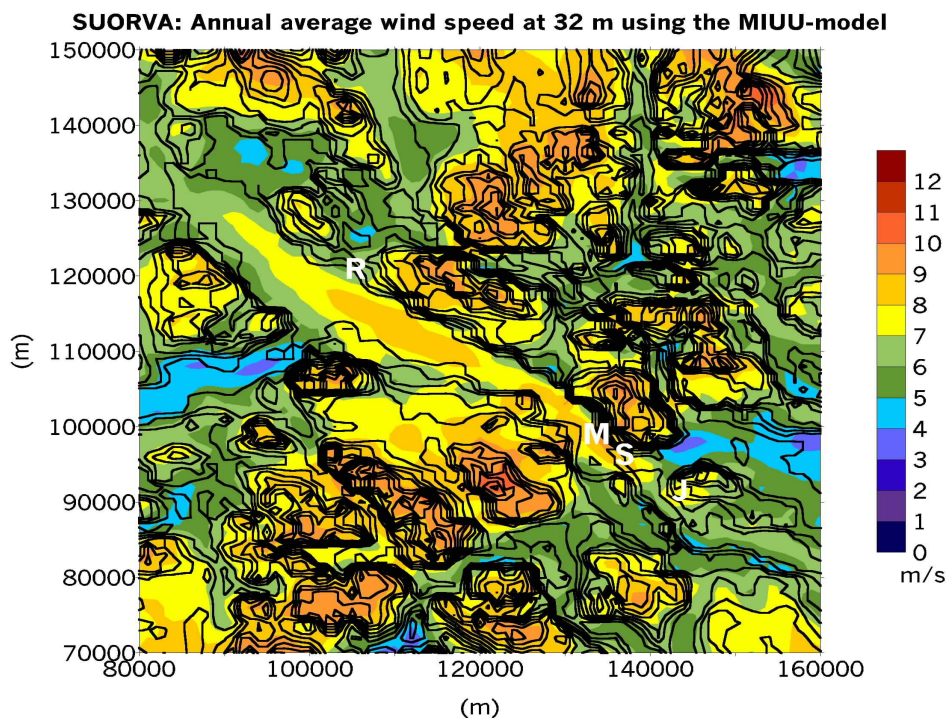
2.1.2 Erfarenheter från Bockstigen - TEPRES

2.1.3 Jämförelser av prestanda till havs och lands - TEPRESS

Under verksamhetsåret 2000/2001 har data samlats in för att en tillräckligt stor databas skall erhållas. Resultaten kommer att presenteras vid Bockstigenseminarium den 9 oktober 2001 och vid en internationell konferens för havsbaserad vindkraft i Bryssel den 10-12 december 2001. Ingen rapportering har, i väntan på att databasen skulle fyllas, skett under verksamhetsåret.

2.1.4 Vindförhållanden i komplex terräng - KOMPLEX

En andra version av modellsimuleringar har gjorts för Suorvaområdet med MIUU-modellen. Modelldomänen har då ökat från 150 km×120 km omfattande 99×99 beräkningspunkter, till 235 km×220 km med 115×100 punkter ([5], [6]). Avståndet mellan beräkningspunkterna har varit 1 km över hela området av intresse, d.v.s. från Ritsem till Stora Sjöfallet och Juobmotjåkkå (R, S respektive J i figuren). Dessutom användes en energibalansrutin för att beräkna temperaturen vid nedre modellranden utgående från solhöjd och markegenskaper. De 96 körningar som gjorts med MIUU-modellen över Suorvaområdet, har sedan viktats samman till en vindklimatologi för området. Resultaten skiljer sig dock inte signifikant från de tidigare, trots den bättre horisontella upplösningen. Jämförelser med observationer på 4 platser (Suorva, Ritsem och Stora Sjöfallet nere i dalgången, samt Juobmotjåkkå uppe på fjället) visar att modellen kan identifiera områden med höga respektive låga medelvindar. Till exempel gav modellen medelvinden 8,4 m/s på 35 m höjd för Suorva (M i figuren), medan mätningarna ger 8.1 m/s. Den ofta använda WAP-modellen misslyckas helt i fallet Suorva och ger där endast 4,9 m/s i medelvind baserat på vinddata från Ritesem.



Årsmedelvinden på 32 m höjd i Suorvaområdet beräknad med MIUU-modellen, 1 km horisontell upplösning.

Under perioden 11-21 september 2000 genomfördes en omfattande mätkampanj i Suorva. Fyra småmaster monterades tillfälligt upp tvärs

över dalgången vid Suorva. Dessa småmaster försågs med varsin kombinationsanemometer (skålkors/vindfana) av MIUU-typ, så att vindhastighet och vindriktning mättes samtidigt på fem platser. Förutom i 36 m masten även vid östra och västra dammen, på ön Jiertasuoloj mitt i dalgången, samt på den västra sidan av dalgången.

Under de flesta dagarna av mätkampanjen gjordes radiosonderingar tre gånger per dag i anslutning till 36 m masten, varvid profiler av temperatur och luftfuktighet erhöles upp till åtminstone 12 000 m höjd. Ballongviseringar för att erhålla profiler av vindhastighet och vindriktning upp till ca 2000 m eller mer gjordes i anslutning till radiosonderingarna och även mellan dessa. Viseringar gjordes på tre platser tvärs över dalgången, samt även längs med vägen mellan Vietas och Ritsem. Totalt gjordes ca 30 radiosonderingar, och det släpptes ca 600 viseringsballonger, vilket gav ca 200 st medelvindprofiler.

En första analys av data från den mätkampanjen och en motsvarande kampanj som genomfördes i maj 1999 har gjorts inom ramen för ett examensarbete i meteorologi under hösten 2000, se [7]. Den visar att skillnader ofta förekommer i vinden på de olika mätplatserna (även om de bara ligger på några km avstånd) både tvärs över och längs med dalgången på höjder upp till i höjd med de omgivande bergstopparna (ca 1000 m över mark), medan vinden där ovan som väntat var likartad. De högsta medelvindarna vid Suorva återfanns på dalens nordöstra sida, medan medelvinden var lägst i sydväst, i kvalitativ överensstämmelse med resultaten från beräkningarna med MIUU-modellen. I ett pågående arbete används data från mätkampanjen i maj 1999 för att verifiera beräkningarna med MIUU-modellen. Modellen körs därvid kontinuerligt för hela mätperioden.

Forskningsarbetet i Suorva har även utgjort en del av JOULE-projektet MOWIE. En del resultat redovisas i [8].

2.1.5 Database on wind characteristics - IEA Annex XVII

Den övergripande målsättningen är att etablera en världsomspännande databas för vindmätningar. Den snabba utvecklingen av datorer och IT-lösningar erbjuder allt effektivare metoder att lagra och bearbeta stora mängder data. Äldre media för datalagring (huvudsakligen band av olika typer) är ofta inte åldersbeständiga, eller har en kapacitet som möjliggör effektiv hantering. Det är därför en återkommande uppgift att uppdatera format och media för äldre mätkampanjer, så att de förblir tillgängliga för nya utvärderingar. Genom att inrätta en central funktion för detta arbete, sjunker kostnaderna och resurser kan frigöras för annan verksamhet. Arbetet inom annex XVII leds av Risø.

I arbetsgruppen IEA Annex XVII arbetar för närvarande sex länder (Danmark, Holland, Japan, Norge, Sverige och USA) med att utvidga och vidareutveckla en databas för lagring och on-line-bearbetning av

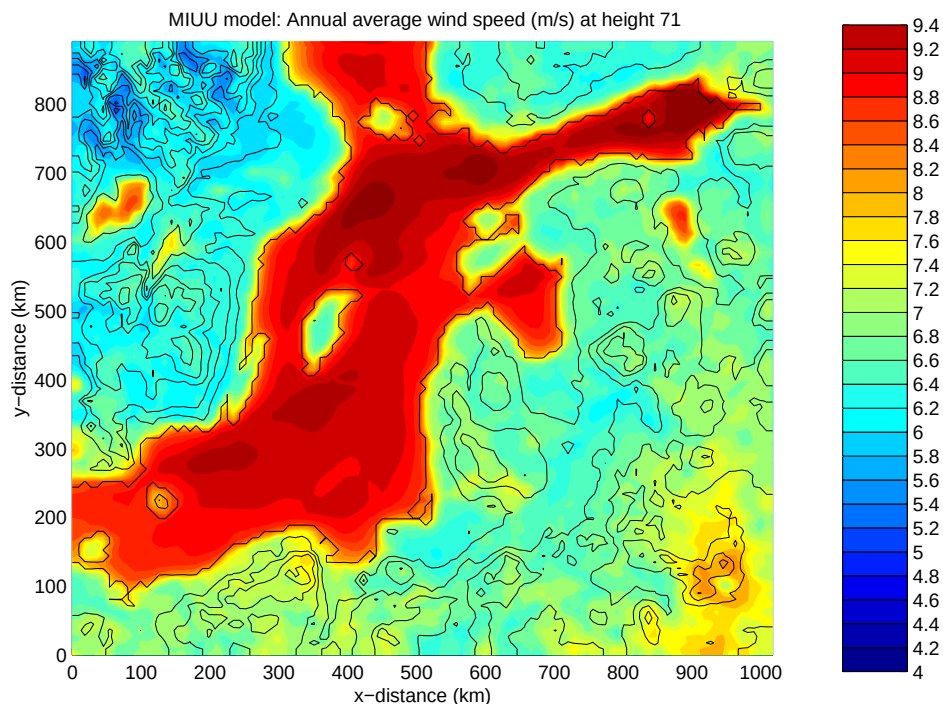
stora mängder vindmätningar från främst europeiska mätstationer. Målsättningen är främst att utvidga samarbetet successivt för att främja internationella kontakter inom området *Wind Conditions for Wind Turbine Design*, men även att utveckla databasens innehåll, gränssnitt, och funktionalitet. Fler utomeuropeiska deltagare medför ökad geografisk täckning, och en större spridning mellan olika typer av terräng och klimatologiska zoner. Sverige har bidragit främst med långtidsmätningar från Alsvik och Lyse, men även med kortare kampanjer från ett flertal platser. Under det sista året har web-gränssnittet vidareutvecklats (se www.winddata.com), och kontakt upprättats med potentiella användare i de deltagande länderna. I juli 2001 innehöll databasen ca 75 000 timmar data från 41 platser, med en lägsta upplösning på 1 Hz. Mer än 150 000 timmar med vindresursdata finns tillgängliga. Stora mängder data från NREL-projektet 'Turbulence Characterization for Wind Energy Development' håller för närvarande på att läggas in i databasen.

Den innevarande perioden slutade den 30 juni 2001 och en förlängning har föreslagits för ytterligare en period.

Databasens innehåll är tillgängligt för alla potentiella användare i de deltagande länderna och nås via www.winddata.com.

2.1.6 Vindförhållanden offshore och i kustzonen - HAV&KUST

Inom projektet har en betydande del av forskningsarbetet ägnats åt simuleringar med MIUU-modellen, vilken på en dator kan beräkna vindförhållandena inom ett geografiskt område. Simuleringar och mätningar visar på betydelsen av low-level jets (vindmaxima på relativt låg höjd, ofta 50-300 m), initierade av temperatur- och skrovlighetsskillnaderna mellan land och hav. Bl.a. av den anledningen är det nödvändigt att inkludera hela Östersjön med alla uppströms liggande kuster för att realistiskt kunna modellera vindarna över Östersjön. Detta betyder i sin tur att en mycket stor modelldomän måste användas. Resultaten från den klimatologiska vindberäkningen för Östersjöområdet, gjord med 9 km horisontell upplösning, har befunnits vara i mycket god överensstämmelse med existerande observationer från höga master i området. I [9] och [10] redovisas exempel på att komplexa vindfält även förekommer offshore och inte bara i komplex terräng.



Årsmedelvinden på 71 m höjd i Östersjöområdet beräknad med MIUU-modellen, 9 km horisontell upplösning.

Körningar med MIUU-modellen har även gjorts med 1-1,5 km upplösning för mindre områden runt Öland och Kalmarsund samt över Gotland. Dessa körningar håller för närvarande på att bearbetas. Preliminära jämförelser med beräkningar med WA^SP för Ölandsområdet visar att MIUU-modellen ger betydligt större uppbromsning av vinden i de kustnära områdena och i Kalmar sund. Alternativt kan man se det som att MIUU-modellen ger en högre vind offshore, jämfört med vindarna vid kusterna, än vad WA^SP gör. Resultaten med MIUU-modellen stöds av de fåtal vindobservationer som finns att tillgå.

En klimatologisk utvärdering av modellkörningarna för Östersjöområdet pågår. Syftet är att studera den geografiska fördelningen av low-level jets och dess inverkan på vindarna offshore, och att få kunskap om den klimatologiska betydelsen av de i de enskilda fallen, ofta mycket inhomogena vindförhållandena över havet, vilka inte enbart orsakas av low-level jets utan även av sjöbrisar m.m. Preliminära resultat visar att low-level jets inte påverkar klimatet på samma sätt över hela Östersjön. Störst effekter kan förväntas över de västra och norra delarna av Östersjön. Även angränsande landområden påverkas av jeten.

Vindpotentialberäkningar som görs med enklare modeller, t.ex. WA^SP, som inte kan generera low-level jets ger sannolikt för låga vindar på högre höjder. Även om skillnaderna kan vara relativt små på 30-50 m höjd, växer inflytandet av jeten med höjden så att felet blir större på högre höjder. Resultaten kommer även att användas inom JOULE-projektet ENDOW, [11], som syftar till att utveckla effektivare metoder

för projektering av vindparker till havs. Inom detta projekt ska växelverkan mellan vakar och gränsskikt undersökas. Betydelsen av termiskt betingade vindsystem, som endast mer avancerade modeller kan hantera, kommer att kvantifieras genom jämförelser mellan vindberäkningar med enkla och avancerade modeller.

2.2 Aerodynamik och strukturdynamik

2.2.1 Aerodynamisk Dämpning - ADAM II

Ett samarbete mellan FOI och Teknikgruppen AB (TG) har under det gångna året ägt rum. Detaljstudier av aerodynamisk karaktär har utförts. Resultat föreligger i form av en metod innehållande räknalgoritmer. Dessa är direkt lämpade att programmeras. Viss undersökning av algoritmernas riktighet (avbuggning) har utförts. Implementering i aeroelastisk kod (VIDYN) återstår fortfarande.

Planen för arbetet i projektet och i viss mån också målet förändrades i och med inbjudan att delta i **2nd NREL/NASA Ames Wind Tunnel Test Science Panel Meeting**. Motivet för förändringen var möjligheten att få validera det nyutvecklade aerodynamiska subrutinpaketet *Aerforce* mot mycket kvalificerade mätningar. Målet för mätningarna, som utförts av NREL i NASA AMES vindtunnel, var att få mätdata på aerodynamiska laster utmed bladet för olika förhållanden. Detta nyttjas "baklänges" så att aerodynamiska data kan extraheras för ADAM2. Testaggregatet var en tvåbladig maskin, som kördes både uppvinds och nedvinds samt med snedanblåsningsvinklar upp till ± 60 grader.

En VIDYN-modell av aggregatet togs fram och uppmätta egenfrekvenser trimmades in. [12] Aerodynamiska laster beräknades för (20=13+7) angivna konfigurationer och situationer. Vid möte på NREL, med representanter för runt 20 deltagande beräkningsmodeller, presenterades av NREL jämförelser mellan beräkningar från deltagarna samt mätningar. Denna jämförelse utgör tillgänglig dokumentation.

Genom att använda NREL-resultaten som jämförelsebas kom projekten ADAM2 och GIRA2 att kopplas fastare samman.

2.2.2 Verifiering av beräkningsprogram för vindkraftverk - VEWTDC

Projektet är ett benchmarktest av beräkningsprogram, som används vid konstruktion av vindkraftverk. Mätningar från tre vindkraftverk (Nordtank 500, Tacke 500 och Lagerweij 750) ingår i projektet. Vindkraftverken är trebladiga med uppvindsplacerade turbiner. Lagerweij 750, avviker dock från de två övriga med sin direktdrivna generator. Beräkningar avseende de tre vindkraftverken för utvalda mätta förhållanden utförs med sju deltagande aeroelastiska koder. Förutom själva benchmarktestet, där jämförelser görs mellan beräkningar och

mätningar, utförs vissa känslighetsberäkningar för att öka kunskapen om noggrannhetskrav på modellbeskrivningar, aggregatuppgifter och beräkningarnas genomförande.

I tidigare etapper av projektet har modellering och beräkningar av de konventionella trebladiga uppvinds stallreglerade vindkraftverken NTK 500 och Tacke 500 genomförts. I brist på detaljerat underlag för styvheter i kopplingar mellan huvudkomponenterna torn, hus och rotor ingick i projektet att trimma in modellens frekvensegenskaper mot uppmätta egenfrekvenser. Beträffande VIDYN innebar detta trimning av kopplingsstyvheter, som ofta är de mest osäkra strukturuppgifterna hos ett vindkraftverk. Utan uppmätta egenfrekvenser krävs i en verklig designsituation detaljerad komponentkunskap och känslighetsberäkningar, för att säkerställa vindkraftverkets frekvensegenskaper.

I denna avslutande etapp av projektet, har modellering och beräkningar av Lagerweij 750 (LW) genomförts. Denna trebladiga maskin är försedd med en direkt driven generator med variabelt varvtal. Regleringen sker med flöjlande vridning av bladen. Till skillnad från de två tidigare vindkraftverken har mätningarna utförts under projektets gång. Förutom tre normaldriftssituationer har också några felfall och udda situationer studerats. Det annorlunda konceptet och under projektets gång utförda mätningar, har varit värdefulla för projektets samlade resultat.

Bland viktiga erfarenheter och resultat är det värt att peka på betydelsen av kvaliteten hos mätningar. För samtliga tre aggregatmätningar har mycket arbete tillkommit vid efteranalysen och jämförelserna med beräkningar p.g.a. oklarheter hos främst mätförutsättningarna. Beträffande LW-mätningarna fick mycket arbete, i projektets slutskede, läggas ner på kontroller och kalibreringar.

Frågan om pitchregleringen, dess utförande och beskrivning, blev för LW-maskinen också en fråga som bidrog till merarbete i projektets slutskede. Avvikelser från korrekt beskrivning av pitchregleringen uppenbarade maskinens känslighet för regleringen. Inverkan var mycket påtaglig, bl.a. för torndynamiken.

Projektet har givit viktig kunskap om strukturmodellering av vindkraftverk vid beräkning av laster och dynamik. De studerade aggregaten är genomgående av s.k. styv typ, d.v.s. egenfrekvenserna hos aggregatstrukturen är relativt varvtalet relativt högt. För dessa aggregat kan frekvenser upp till 4-5 Hz vara viktiga att modellera korrekt. Metodfrågor kring representativitet hos mätningar med varierande och delvis okända förhållanden, tillika hos beräkningar (se projektet Ladim) för att ingå i jämförelser mellan mätningar och beräkningar återstår att besvara i kommande studier.

Sammanfattningsvis har projektet ökat kunskapen om vad som är viktigt vid modellering av vindkraftverk för beräkning av laster och dynamik samt för beräkningarnas utförande.

2.2.3 Interaktion mellan blad och torn - ROTOW II

Syftet med projektet är att öka säkerheten i prediktering av de laster som uppstår vid bladets passage av tornet. Sådana förlopp är mycket snabba vilket ger kortvariga transienta aeroelastiska fenomen, med ömsesidig verkan på strömning kring det fasta tornet och det passerande elastiska bladet. Projektet genomförs i tre delar. I en första experimentell del utförs olika grundläggande försök i vindtunnlar. Jämförande beräkningar med moderna CFD-metoder ingår i en andra del av projektet. I den tredje delen av projektet implementeras den nyvunna aerodynamiska kunskapen om de snabba bladpassageförloppen i aktuella beräkningskoder. Validering sker mot aeroelastiska modeller av den speciella nedvindsmaskinen WEG600 och uppvindsmaskinen Bonus600. Avslutningsvis är planen att studera konstruktiva konsekvenser av den förbättrade beskrivningen av de laster och den dynamik som uppstår vid bladets passage av tornet.

Beräkningsmodeller för tornets påverkan på den inströmmande vinden har studerats, och modeller för torn både nedströms och uppströms rotern har tagits fram. Beräkningar med de olika modellerna har jämförts med resultat från vindtunnelprov. Baserat på dessa jämförelser och krav på beräkningssnabbhet har en nedströmsmodell och två uppströmsmodeller valts. Dessa beräkningsmodeller är implementerade i beräkningsprogrammet VIDYN.

Som stöd för tolkning av vissa oväntade och oförklarade aerodynamiska fenomen i resultaten från vindtunnelproven, genomfördes en studie där hela vindtunnelriggen med sina strukturegenskaper ingick. Slutsatsen av studien blev att struktureffekter inte utgör orsak till de oförklarade fenomenen. Pitotrörmätningar på en fullskalemaskin, NordTank 500 kW på Risö, gjordes därför tillgängliga för validering, med mycket tillfredsställande resultat. I modellering av den speciella nedvindsmaskinen WEG600, med fri dämpad gir och rörelse även i tiltled, har tuning genomförts av den WEG-anpassade strukturmodellen. Jämförelse mellan resultat från fullskalemätning och beräkningar har bekräftat detta koncepts egenskaper och svårigheter.

I en tillkommande avslutande etapp, som utfördes under hösten 2000 av Teknikgruppen tillsammans med Risö, värderades utmattningsdimensioneringen av blad och torn [13] för NTK 500, som funktion av avståndet mellan blad och torn. För tornets utmattningsdimensionering var avståndet mellan blad och torn mycket väl avvägt.

Sammanfattningsvis har projektet lett till säkrare beräkningsmässig prediktering av de snabba aerodynamiska förlopp och de laster som uppstår då bladet passerar tornet hos uppvindsplacerade turbiner. Modellerna för detta är bl.a. implementerade i VIDYN. De försök och tester som avsåg nedvindsplacerade turbiner var behäftade med många problem och oförklarade resultat, vilket omöjliggjort motsvarande utveckling och validering av modell för nedvindsförhållanden. Genom medverkan vid möte hos NREL hösten 2000, vilket gav tillgång till

mätningar i NASA AMES vindtunnel, fick resultaten av projektet omedelbar tillämpning och ytterligare möjligheter till jämförelse med mycket värdefulla mätningar, uppvinds och nedvinds, se projekten Adam II och Gira II.

2.2.4 Dynamisk simulering av vindkraftverk - VINDSIM

Delprojektet har till syfte att modellera det dynamiska beteendet hos hela vindkraftverket, inkluderande de genererande delarna, men också det bärande tornet. Syftet är att beskriva den hela strukturen i generella modellerande komponenter, för att möjliggöra jämförelser mellan olika konfigurationer, och på sikt även en optimering av den totala strukturen. Den stora vinsten i detta kan förväntas vara att den komplexa samverkan mellan de olika delarna kan återges på ett mer korrekt sätt. Det syfte vi har innebär att vi kombinerar resultat från tidigare delprojekt till en ny helhet. Tre aspekter är framför allt intressanta i detta modellbyggande.

Vår utgångspunkt är en beskrivning av hela strukturens mekaniska egenskaper, där geometri, material och förbindningar behöver beskrivas på ett tillräckligt noggrant sätt. Den andra komponenten vi behöver är en beskrivning av vilka krafter som påverkar ett rotorblad när vinden blåser an. Dessa krafter, som förstås är beroende på bladets form, finns beskrivna i form av tidigare utvecklad programvara. För att beskriva vindhastighetens variation mellan olika punkter i rummet och mellan olika tidpunkter, använder vi också programvara som utvecklats tidigare av andra delprojekt. Vårt bidrag är att kombinera dessa delar till en fungerande helhet, så att man kan simulera hela strukturens dynamiska beteende när den utsätts för en slumpmässig vindfördelning.

Genom att genomföra ett relativt stort antal simuleringar med den modell vi utvecklat, kommer det att vara möjligt att dra slutsatser till exempel om hur resonanser och andra instabiliteter kan uppstå i kraftverket, vilket är en viktig slutsats för såväl dimensioneringen av den bärande strukturen, som för den genererande förmågan. Arbetet avses resultera i en lic.avhandling under våren 2002 och fortskrider väl enligt planen. Avhandlingen kommer framför allt att behandla de metodmässiga aspekterna på utvecklingen av den diskuterade simuleringsmodellen och dess komponenter, men vår avsikt är också att presentera några resultat av praktiskt intresse.

2.2.5 Giregenskaper för vindkraftverk - GIRA II

Arbetet har delvis utförts som examensarbete inom området aerodynamik med inriktning mot girning av vindkraftverk. Detta kan också beskrivas som "free wake aerodynamics", vilket är den moderna metodik som krävs för att kunna beräkna krafterna på ett vindkraftverk som utsätts för stora och snabba förändringar av vindriktning och/eller girvinkel.

Resultatet föreligger som rapporterat examensarbete samt i form av fungerande Fortran-program som kan användas för vidare integration i ämnet.

En annan del av projektarbetet uppstod i och med inbjudan att delta i 2nd **NREL/NASA Ames Wind Tunnel Test Science Panel Meeting**. Motivet för förändringen var möjligheten att få:

Validera det aerodynamiska subrutinpaketet *Aerforce* mot mycket kvalificerade mätningar

Skaffa ett högkvalitativt underlag för free wake modelleringen (att ingå i *Aerforce*).

Mätningarna, som utförts av NREL i NASA AMES vindtunnel, ger oss en mätdatabas på aerodynamiska laster utmed bladet för olika förhållanden. Testaggregatet var en tvåbladig maskin, som kördes både uppvinds och nedvinds samt med snedanblåsningsvinklar upp till ± 60 grader.

En VIDYN-modell av aggregatet togs fram och uppmätta egenfrekvenser trimmades in, [TG-R-00-17] Aerodynamiska laster beräknades för (20=13+7) angivna konfigurationer och situationer. Vid möte på NREL, med representanter för runt 20 deltagande beräkningsmodeller, presenterades av NREL jämförelser mellan beräkningar från deltagarna samt mätningar. Denna jämförelse utgör tillgänglig dokumentation.

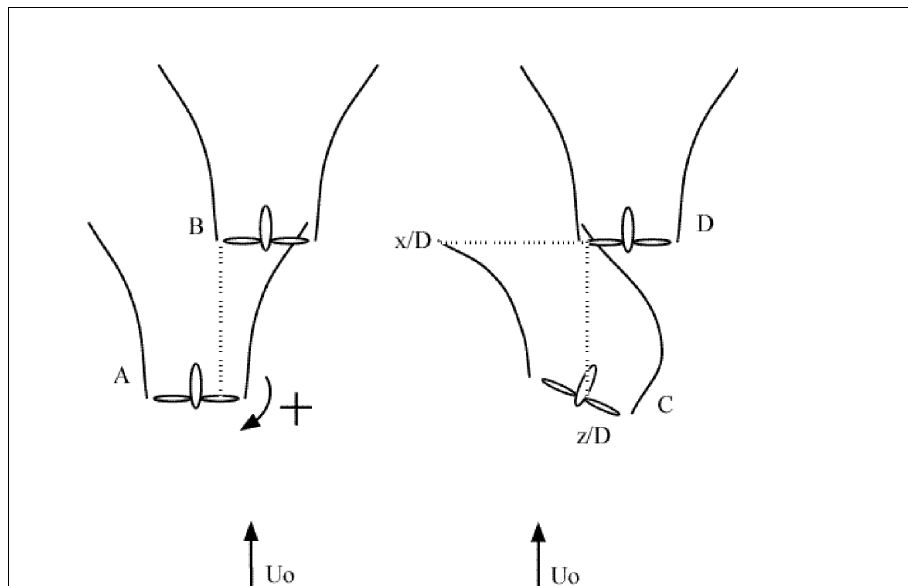
Genom att använda NREL-resultaten som jämförelsebas kom projekten ADAM2 och GIRA2 att kopplas fastare samman.

2.2.6 Non-axisymmetric wakes and the possibility to optimise the power output of farms - NAWOPT

Projektet syftar dels till att utveckla förståelse för vakutbredning (axisymmetrisk såväl som icke-axisymmetrisk) i det atmosfäriska markgränsskiktet, dels till att undersöka möjligheten att optimera energiuttaget i en vindkraftstation genom att aktivt kontrollera enskilda turbiners riktning för att därigenom minska vakarnas inverkan på turbiner placerade nedströms. Detta har tidigare inte undersökts, och möjligheten att på detta sätt optimera energiuttaget kan komma att spela en allt större roll när vindkraftstationer blir större och vanligare i framtiden. Möjligheten att styra vakar kan också vara väsentligt för att minska de strömningsinducerade belastningarna på nedströmsturbiner. I projektet har doktoranden Davide Medici engagerats från 1 januari. 2001. Även Dr. Penny Parkin har deltagit i mätningarna under våren 2001.

En första studie för att undersöka vaken bakom en roterande modellturbin har genomförts med PIV (Particle Image Velocimetry). Undersökningen har gjorts dels med turbinplanet riktat normalt mot anströmningen, dels med turbinen snedställd (upp till 40 grader). Den

ursprungliga hypotesen att en snedställning kan påverka vakutbredningen bekräftades av denna studie. Resultaten kommer att presenteras vid 4th International Symposium on Particle Image Velocimetry, Göttingen, 17-19 september, 2001. Titeln på presentationen är "The application of PIV to the wake of a wind turbine in yaw".



Exempel på strömning bakom en girad turbin

För närvarande pågår utvecklingen av mindre icke roterande modeller som kommer att användas för att simulera vindkraftverk. Det är viktigt att dessa har ett motstånd som motsvarar ett vindkraftverk i fullskala och att vaken uppträder på samma sätt vid en snedställning av modellen.

2.2.7 Model Experiment under Controlled Conditions - MEXICO

FFA deltar i ett europaprojekt tillsammans med deltagare från

ECN, Holland (Koordinator)
 Delft University of Technology, Holland
 NLR, Holland
 DNW, Holland
 Risø National Lab., Test Station for Wind Turbines, Danmark
 Technical University of Denmark
 CRES, Grekland
 NTUA, Grekland
 Technion, Israel

Projektets höjdpunkt blir vindtunnelkörningar av en instrumenterad vindturbin, med 4,5 m diameter, samt utvärdering av mätresultaten. Körningarna kommer att ske i vindtunneln DNW i Emmeloord, Holland.

Det övergripande syftet är att förbättra förståelsen av aerodynamiken hos vindturbiner generellt men med speciellt sikte på instationär strömning.

Härvid framstår strömningen över bladytan, då separerad strömning råder, samt inströmningsförhållandena genom rotordisken som de två huvudområden där ny insikt kan vinnas. Hittills har dessa situationer behandlats styvmoderligt i samband med konstruktion eller utvärdering av existerande vindkraftverk. Tidigare experiment har inte givit fullt tillfredsställande information.

Modellturbinen har tre blad varav ett är utrustat med tryckmätthål runt kordans periferi i fem radiella stationer. Sonder i vaken för kartläggning av inflödet nära turbinen planeras. Tryckkännarna är av den snabba typen som tillåter studium av de snabba förändringar som exempelvis en bladpassage eller avlöst strömning på bladen ger upphov till. Dessutom kommer en mera global kartläggning av vaken att ske med hjälp av visualiserande rök. Informationen sparas i form av fotografier tillsammans med övriga förutsättningar såsom vindhastighet och rotationshastighet. De senare avses skrivas på papper med stora bokstäver och kommer då med på varje fotografi som därmed bildar ett sammanhängande stycke data för senare analys.

Projektet löper över tre hela kalenderår nämligen 2001 till 2003.

2.3 Lastunderlag och dimensionering

2.3.1 Struktur- och fundamentlaster vid havsbaserade vindkraftverk - TELOP

De inledande uppgifterna för detta offshoreprojekt är utvärdering av monopilen som fundamenteringsprincip, och hur det därmed förlängda tornet inverkar på aggregatets dynamik och laster. Efter detta har inverkan av vind- och våglaster på torn och monopile studerats. Utvärderingarna baseras på mätdata, som produceras sedan sommaren 1998 vid Bockstigen.

Genom ett års uppföljning av tornets egenfrekvens och fördelningen av momentet längs monopilen och de omgivande bergen, kunde slutsatsen dras att inga förändringar av dessa egenskaper har skett. Detta var resultatet av utvärdering av två extrema situationer, med ett års mellanrum. Två tillfällen med stora belastningar på grund av mycket höga vindhastigheter, 35-40 m/s från sydväst till väst, och höga vågor utvärderades. Tornets egenfrekvenser före och efter dessa händelser uppvisade inga skillnader. Momentöverföringen från monopile till det omgivande berghålet var också intakt. Slutsatsen är att denna monopilekonstruktion är väldimensionerad för förekommande statistiska nivåer på vind- och våglaster.

I en andra utvärdering har variationerna (utmattning) hos böjmoment och tvärkrafter längs tornet och utmed monopilen studerats med avseende på vindens styrka och riktning. Hypotesen var att lastvariationerna hos monopilen är större p.g.a. ström och vågor för vindar från havet än från

land, liksom att högre turbulens för vindar från land ger större variationer hos lasterna på tornet. Bland många intressanta resultat bekräftas hypotesen att för jämförbar vindhastighet är lastvariationerna större för vindar från havssektorn, vilket visade sig vara särskilt påtagligt för de högre vindhastigheterna. Utvärdering av utmattningsförhållandena hos torn och monopile p.g.a. av vind- och våglaster bör bli nästa steg i att öka kunskapen om utmattning hos offshorestrukturer.

Projektet avslutades under hösten med avrapportering [14].

2.3.2 Vindkraftverk i bergig terräng med bra vindpotential - ADAPTURB

I två tidigare JOULE-projekt (MOUNTURB och COMTERID) har stora ansträngningar gjorts för att försöka identifiera och beskriva de speciella vindförhållanden som råder i bergiga områden (huvudsakligen kring Medelhavet). Omfattande mätkampanjer, inkluderande såväl vind som struktur, har genomförts och många nyvunna kunskaper har omsatts i beräkningsmodeller.

I det pågående projektet ADAPTURB, är målsättningen att undersöka om man med begränsade modifieringar av befintliga serieproducerade vindkraftverk kan anpassa (adaptera) dessa för installation i *komplex terräng*, med erforderlig säkerhet och ekonomi. Modifieringarna avser t.ex. materialtjocklek några i vitala komponenter (t.ex. blad och torn), samt kontrollparametrar och maskineri i gir- och bladvidsystem. Speciellt studeras även möjligheten att *uppgradera* hela rotorn, med ny strukturell och aerodynamisk design, optimerad för hög medelvind och mycket turbulens. Inom ramen för projektet genomförs två sådana uppgraderingar (Ecotecnia 600 och AOA 450), varvid omfattande mätkampanjer genomförs före respektive efter installationen.

Teknikgruppen deltar i projektet främst med att genomföra aeroelastiska beräkningar med nya, samt tidigare validerade beräkningsmodeller. Syftet är att jämföra resultat från lastberäkningar för några karaktäristiska terrängtyper (även specifika platser), med design-beräkningar enligt den vedertagna standarden IEC-61400.

De aeroelastiska simuleringsmodeller som utvecklats har även använts i syfte att försöka anpassa beprövade turbintyper och koncept, för installation i bergiga områden med hög vindpotential. Teknikgruppen deltar här med studier av Nordic 1000, där tidigare utvecklade optimeringsmetoder används för att anpassa främst karaktäristiska system och komponenter, som t.ex girsystem och teetermekanism, men även globala parametrar som t.ex konvinkel och tiltvinkel.

Tillsammans med NTUA (National Technical University of Athens) genomför Teknikgruppen också modellering och anpassning (adaptering) för komplex terräng av vindkraftverket Zephyr 28-250. Vindkraftverket är mycket speciellt med sin passiva reglering som åstadkoms med komplicerade mekaniska kopplingar. Anpassningen av detta

vindkraftverk baserat på beräkningar har hittills ägnats åt aggregatbeskrivning och VIDYN-modellering [15].

2.3.3 Kartläggning av laster på turbiner i vakar, speciellt närvakar - LATUVA

Syftet med projektet LATUVA (Laster på TURbiner i närVArkar) är att vidareutveckla vår förmåga att bestämma laster på turbiner som arbetar i närvak. Kunskapen skall bl.a användas till att bedöma hur turbiner bör vara utformade för att kunna arbeta i närvak. Kunskapen skall också leda till att bedöma när turbiner behöver stängas på grund av ökade laster och hur det påverkar energifångningen.

Projektet syftar till att kombinera informationen från den högkvalitativa databas som byggts upp från flera års mätningar i vindfarmen Alsvik och det strukturdynamiska programmet VIDYN för att ge svar på ett antal frågor om gruppeffekter.

Hittills har en väsentlig del av arbetet lagts ned på att bygga en bra strukturdynamisk modell. Detta arbete inleddes under 1998/99 och rapporterades i augusti 1999.

Utvecklingen av VIDYN har gått framåt och idag finns en ny version av VIDYN. Den nya versionen hanterar grundekvationerna på ett nytt sätt, vilket innebär att strukturmodellen kan byggas mera fritt och med flera frihetsgrader. De viktigaste förändringarna är att bladen kan ha kopplade moder samt att maskinhusets koppling till tornet kan beskrivas med flera frihetsgrader. En ny och välfungerande modell, baserad på det nya VIDYN, finns nu framtagen.

Det fortsatta arbetet som huvudsakligen kommer att utföras under hösten 2001 kommer att följa de ursprungliga projektplanerna och bland annat innehålla:

- Val av mätningar där turbinen arbetat i vak för bestämning av 1p och stokastisk-deterministiska laster.
- Generering av vindfält som så långt möjligt motsvarar mätningen. Detta kommer att göras med vakmodeller (MIUUs och/eller EWTS-projektet).
- Beräkningar av laster under vakförhållanden.
- Generering av vakar på nära avstånd. Jämförelser mellan EWTS-vakar och vakmätningar från vindtunnel.
- Utnyttjande av resultat från tidigare utförda modellprov av vakar i både när- och fjärrvak för att valideras mot motsvarande vakmätningar från Alsvik i syfte att extrapolera fram hastighets- och turbulensförhållanden för närvakar.
- Beräkning av laster under närvaksförhållanden.
- Jämförelser.

Status

Arbetet i projektet har under etappen legat nere på grund av resursbrist och inga rapporter har skrivits.

2.3.4 Modellprov för kartläggning av enskilda och samverkande vakars utveckling - WAKES

Projektet Wakes går ut på att genom prov med modeller i vindtunnel undersöka vindförhållandena bakom en turbin för att:

- få indikationer på i vilken omfattning det är möjligt att påverka och styra vakens utbredning,
- få indikationer på hur mycket större förlusterna blir för en turbin som utsätts för samverkande vakar,
- validera modeller (MIUU-teorier) av strömningen i vaken, dels från vindtunnelexperiment och dels från fullskalemätningar.

Utrustning för traversering av sensor för hastighet och turbin har konstruerats, byggts och testats i FFAs tunnel LT5.

Arbetet med att utveckla en MIUU-vakmodell som använder tidskala för att parametrisera avstånd nedströms vindturbinen har fortsatt. Ett nytt mer fysikaliskt uttryck för beräkning av hastigheten på centrumlinjen, så att hastighetsdeficit avtar exponentiellt, har tagits fram. Detta innebär underlättad implementering av algoritmen i ett program för vakeffektsberäkningar. Detta arbete presenterades på ett seminarium på institutionen för Geovetenskaper i februari 2000.

Vindtunnelexperimenten, som avsågs att utföras i FFAs stora låghastighetsvindhunnel, har senarelagts och planeras utföras under våren 2001.

Arbetet har främst inriktats på framtagning av provutrustning såsom turbinmodeller, mätutrustning samt färdigställande av mätprogram.

Ingen separat rapportering har gjorts.

2.3.5 Säkrare dimensionering av vindkraftverk - LADIM

Målet för projektet är att öka kunskapen och därmed säkerheten i dimensionering av vindkraftverk, med speciell inriktning på förutsättningarna i vårt land samt allmänt om krav på metoder och beräkningar för dimensionering. I projektet ingår att beskriva vindförhållandena för några typiska lokaliseringar, baserat på utförda långtidsmätningar av vinden.

En empirisk modell för *långa* utmattningscykler har utvecklats efter analys av vindstatistik från Näsudden (1992-1994). Modellen separerar cykler som motsvarar vindvariationer under några timmar, från dem som utgör dygn eller hela lågtryckspassager, och indata utgörs av vanliga

vindresursparametrar. För att kontrollera att modellen är användbar åtminstone för kustnära lokaliseringar i norra Europa, så har jämförelser gjorts även för tre danska mätkampanjer (Sprogø 88-99, Jylex 87-96, Tystofte 82-98).

I en annan studie har designberäkningar genomförts för de väl kända modellerna Danwin 180 och Nordic 1000. Syftet har varit att jämföra beräknade utmattningsresultat (livslängd, erforderliga dimensioner) baserade på IEC-61400, med beräkningar där vindbeskrivningar från Alsvik och Näsudden utgjort underlag. Resultaten visar att design baserad på IEC-standarden ger mycket goda säkerhetsmarginaler för ett vindkraftverk som skall installeras vid Alsvik.

En ytterligare studie har genomförts för att studera inverkan av några beräkningsparametrar, som beskriver den turbulenta vindens tids- och rumsupplösning, på resultaten för utmattningsdimensionering. Då varje tidsrealisering av det turbulenta vindfältet är förknippat med ett slumptal (frö) har sex realiseringar genomräknats för varje parameteruppsättning. I studien ingår de tre vindkraftverken Danwin 180 kW, Nordtank 500 kW och Nordic 1000 kW. Simuleringar med längden 10 minuter genomförs för vindhastigheterna 6, 12 och 18 m/s.

Till sist har också en studie utförts som belyser frågan om inverkan av de tidslånga (>10 minuter) och stora lastcyklernas inverkan på utmattningsdimensioneringen. Dimensioneringsberäkningar avseende utmattningsdimensionering vid normaldrift utförs ofta som 10 minuters sekvenser. Denna förenkling innebär att lastvariationer som i tiden överstiger 10 minuter inte beaktas.

Resultaten av dessa skilda studier är att en fortsättning på värdering av vind- och därmed lastförhållandena för svenska förhållanden bör utvidgas till att öka kunskapen om offshore och fjällokaliseringar, t.ex. Bockstigen, Östergarnsholm, Suorva. Beträffande dimensioneringsberäkningar innebär resultaten att val av beräkningsparametrar och hänsyn till tidslånga cykler har väsentlig betydelse för dimensioneringen. Då det är önskvärt att reducera osäkerhetsmarginalerna är det angeläget att förbättra och precisera metoderna för utmattningsberäkningar.

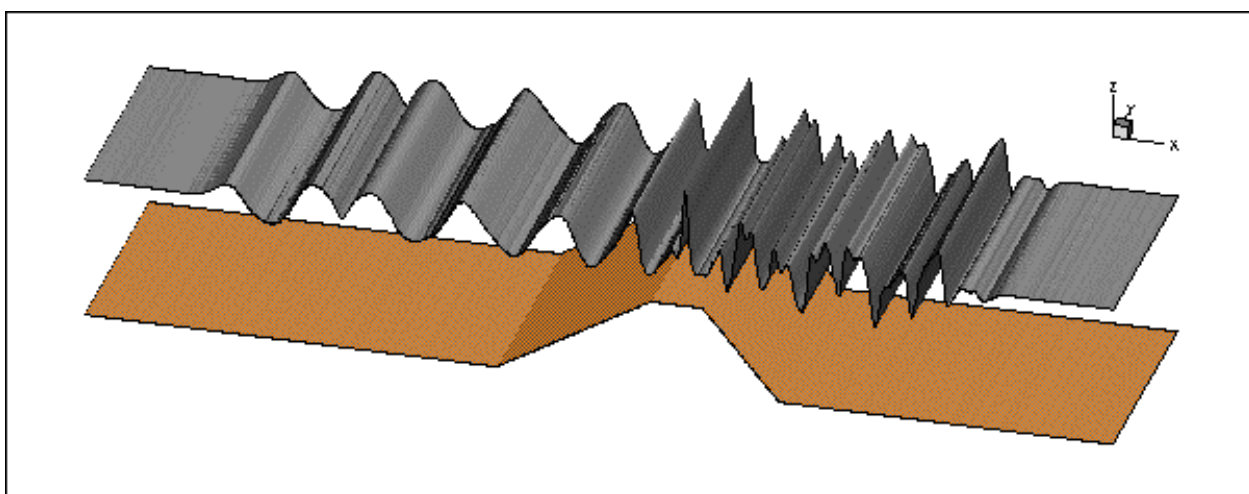
Rapportering under perioden [16], [17], [18] och [19].

2.3.6 Våglaster på vindkraftverk till havs - VÅGVIT

Nyckeln till beräkning av belastning från extremvågor mot slanka torn i havet (diametern $< 0.2 \times$ våglängden) är möjligheten att kunna beräkna hur havsvågor transformeras upp på grundområden. Syftet med detta inledande projekt är att studera vågornas transformering och att med kända metoder beräkna den belastning som vågorna ger upphov till. Hänsyn till vågornas olinjäritet och vattenytans momentana läge kommer redan nu att tas. I till exempel ABACUS och BLADED finns bara linjär vågteori som standard.

Doktorandprojektet startade i mars 2001. En rapport om metoder för vågor på djupt vatten, transformation av vågorna från djupt in på grunt vatten och överslagsmetoder för beräkning av uppkommande belastningar från dessa ofta branta och höga vågor, kommer att levereras i december 2001.

I figur nedan ses en av Claes Eskilsson [20], Vatten Miljö Transport, nyligen utförd simulering av hur en sinusformad låg våg går över ett undervattensgrund och transformeras, tillsammans med en jämförelse av en mätt våg. Vid uppgrundningen är det påfallande hur brantheten och våghöjden ökar. Efter grundet frigörs kortare vågor (övertoner) som utbreder sig med annan fashastighet än den långa ursprungsvågen.



Figur, simulering av hur en sinusformad låg våg går över ett undervattensgrund.

2.3.7 Islaster på vindkraftverk till havs - ISVIT

Vindkraftverk placerade på grunda havsområden i svenska vatten kommer att utsättas för istäcken eller ge upphov till packisvallar. Syftet med projektet är att beräkna laster från drivande isflak och isfält mot fundamenten till vindkraftverken

Den kontinuerliga isbrytningen ger upphov till en sågtandad belastning med ett visst frekvensinnehåll. Grova tunga konstruktioner utsätts för stora laster, men får små deformationer och försumbara vibrationer, och då är enbart maxlasten intressant. För slanka konstruktioner däremot blir de uppträdande lasterna mindre, men deformationerna större och exciterade vibrationer kan resultera i utmattning och i sämsta fall resonanssvängningar och nedskakning av torn och vindturbin.

Inga egentliga resultat har uppnåtts ännu, eftersom vi inte lyckats rekrytera någon doktorand till projektet. Den reella projektstarten blev den 1 september 2001, då en examensarbetare som gått mastersutbildningen i "Structural mechanics" på CTH, på heltid började arbeta med projektet. Vissa diskussioner har dock förts med Bengt Göransson, Scanwind, beträffande beräkning av islaster. Projektets mål beräknas dock i stort sätt uppnås i december 2001.

2.4 Elsystem och reglerteknik

2.4.1 Direktdrivna generatorer - DDgen

Projektet har under året utvecklat modeller för att kunna optimera direktdrivna generatorer bättre. Det har lett till att polbreddens koppling till den önskat höga generatorinduktansen har kunnat klarläggas. Det har gjort att en bättre optimering och en minskning av generatordiametern med storleksordningen 10% har varit möjlig att uppnå. Det har även visat sig att styrningen av direktdrivna generatorer kommer att kräva mer sofistikerade styrmodeller än vad konventionella permanentmagnet-maskiner kräver, på grund av större inverkan av magnetisk mättning. Att ta fram de nödvändiga modellerna för en effektiv styrning är därför en viktig fortsättning för projektet.

Med den framtagna kunskapen kan en direktdriven generators elektromagnetiska dimensionering och dess prestanda beräknas med relativt god noggrannhet, vilket kommer att vara viktigt inför beslut om framtida vindkraftkoncept.

2.4.2 Robust nätomriktare för hög tillgänglighet - NÄTOMR

Den snabba utvecklingen inom halvledarområdet har resulterat i krafthalvledare, såsom IGBT och IGCT, med ökad effekt och spänningstålighet samtidigt som priset/kW sjunker. Vidare så ökar prestandan hos microprocessorer snabbt, vilket resulterar i att allt mer komplexa styralgoritmer kan realiseras i realtid. Dessa två komponenter är båda beroende på halvledarutvecklingen, vilken enligt Moores lag fördubblar prestandan under ett 18 månaders intervall. Detta har gjort det möjligt att introducera självkommuterade omriktare i nätapplikationer på distributions- och transmissionsnivå.

Hittills har forskningen för nätanslutna omriktare i drivsystem med variabelt varvtal varit inriktad på att minimera eller helt reducera nätpåverkan i form av övertoner och förbrukning av reaktiv effekt. I och med introduktionen av den självkommuterade omriktaren, vilken har försetts med IGBT- eller IGCT-ventiler och digital vektorstyrning har denna målsättning uppnåtts. I stort sätt alla dagens drivsystem med variabelt varvtal, där den elektriska maskinen huvudsakligen bromsar och energi transporteras ut på elnätet, har en självkommuterad omriktare ansluten till nätet.

Dagens nätanslutna omriktare är tyvärr känsliga för nätstörningar. Detta resulterar i driftstörningar och produktionsbortfall. Detta beror på att omriktarna inte är konstruerade för att vara i drift då något onormalt inträffar på elnätet. Därför stängs de automatiskt av vid nätfeldetektering. Nätstörningar inträffar speciellt ofta i luftledningar långt ut i radialnät. Det är oftast denna typ av nät som vindkraftverk är

anslutna till. Exempel på nätstörningar är blixtnedslag, jordfel och kortslutningar som inträffar i någon del av elnätet.

Ett större problem än just den ekonomiska aspekten vid produktionsbortfall för ett enskilt vindkraftverk är att vindkraftens utbyggnad i många länder i huvudsak kommer att ske offshore. Dessa stora vindparker på flera 100 MW bidrar till stabiliteten i elnätet. Vid en nätstörning får inte hela vindparken slås ut, för då riskerar hela nätet att kollapsa.

Målet för projektet är att minimera driftsstörningar för vindkraftverk utrustade med variabelt varvtal och nätansluten transistoromriktare. Genom att introducera nya styrstrategier som detekterar och minimerar nätstörningarnas inverkan på nätomriktaren, så kommer vindkraftverkets produktion inte att påverkas av mindre nätstörningar.

Störningar på elnät

Störningar på ett elnät innebär att nätet inte befinner sig i ett nominellt stationärtillstånd. En stor störning kan vara ett avbrott där nätspänningen i anslutningspunkten har försvunnit helt och hållet. Mindre störningar kan vara att spänningsamplituden minskar i en eller flera av faserna under några nätcykler. Ett viktigt faktum kring störningar är att de har sitt ursprung från en viss punkt i elsystemet, det vill säga felstället. Felstället behöver inte vara lokaliserat direkt mellan den nätanslutna omriktaren och generatoren i systemet. Ett fel på en ledning som går till samma ställverk som omriktaren är ansluten till kommer att generera en störning hos omriktaren. Vidare så genererar fel i delsystem, vilka är anslutna till ställverk högre upp i systemet, även störningar i omriktarens anslutningspunkt. Skillnaden mellan första och andra exemplet är att felets karaktäristik kommer att ändras då det passerar transformatorer på vägen mellan felstället och anslutningspunkten. Det vill säga felets karaktäristik ändras då det transmittas genom elnätet till den punkt där omriktaren är ansluten.

Beräkning av spänningar under störningar

Det vanligaste sättet att definiera upp ”dips” avseende grundtonsfas-spänningar är att dela upp rms-värdena av de tre fasspänningarna i tre fasföljdskomponenter: positiv, negativ och noll. Vid ett perfekt nät utan störning kommer endast den positiva fasföljdskomponenten att anta ett stationärt värde och de andra två komponenterna är noll. Vid en störning kommer de tre fasföljdskomponenterna att ändra sig från nominellt värde. Nackdelen med denna metod är att den är för långsam för att användas i omriktarstyrningar. Vid beräkningen av rms-värdet används ett tidsfönster av halva periodtiden och endast grundtonskomponenten tas med.

För att snabba upp responsen används momentanvärden från Parktransformationen. Från Parktransformationen fås de ortogonala α - och β -spänningskomponenterna samt nollföljdsspänningen.

Tyvärr är det ett problem vid uppdelning av $\alpha\beta$ -vektorn till en positiv och en negativ vektor då denna procedur tar stor beräkningstid. Olika typer av algoritmer har undersökts och det visar sig att den snabbaste algoritmen behöver en fjärdedels nätperiod för att få rätt separation.

Styrning av självkommuterade omriktare

Den allmänt använda styrningen av självkommuterade nätanslutna omriktare är vektorströmstyrning där bärvågspulsbreddsmodulation används.

De förekommande vektorströmstyrningarna av nätanslutna självkommuterade omriktare är anpassade för positiva fasföljdskomponenter. Vid nätstörningar uppträder även negativa fasföljdskomponenter. Oberoende av hur bra styrningen kan bli, med avseende på bandbredd, av den traditionella vektorströmstyrningen så minskar prestandan kraftigt vid nätstörningar. En studie görs med olika modifieringar av strömregulatorn där olika kombinationer av de olika fasföljdskomponenterna har tagits med i styrningen för att klara av driften av ett vindkraftverk när olika typer av nätfel inträffar. Det har visat sig att strömregulatorn som utnyttjar både positiva och negativa fasföljdskomponenter i två parallella strömregulatorer är ett mycket intressant alternativ då effekten på dc-ledet varierar måttfullt.

Den omfattande rapporteringen med anknytning till detta projekt finns i [21]

2.4.3 Vindkraftverk anslutna till likspänningsnät - LIKNÄT

Projektet Vindkraftverk anslutna till likspänningsnät behandlar möjligheterna att uppnå mer ekonomiska lösningar för speciellt stora havsbaserade grupper av vindkraftverk. Mer energi kan exempelvis utvinnas med variabelt varvtal till havs än på land då begränsningarna av högsta turbinvarvtal till följd av acceptabel ljudnivå reduceras. Variabelt varvtal minskar också de mekaniska påkänningarna och gör det möjligt att undvika resonanser i systemet, vilket kan bidra till en ökad livslängd.

Existerande vindkraftparker byggs med antagandet att parken ansluts till ett växelspänningsnät. Med större vindkraftparker och med längre transmissionsavstånd blir likspänningsöverföringar ett konkurrenskraftigt alternativ. Med likspänningsöverföring blir inte valet av det lokala nätet i vindkraftparken lika självklart längre. Olika konfigurationer för elsystemet har föreslagits och en beräkning av kostnader har gjorts där ett antal olika konfigurationer av vindkraftparker med likströmsnät har jämförts med en konventionell växelströmslösning. Det som framför allt skiljer sig åt mellan de olika konfigurationerna är förlusterna. Förlusterna i omriktarna är i dagsläget relativt stora, vilket gör att energivinsterna med variabelt varvtal minskas. Avståndet från parken till land har dock en avgörande betydelse och vid tillräckligt långa avstånd är likström det enda alternativet. Förlusterna och kostnaderna för överföringen från

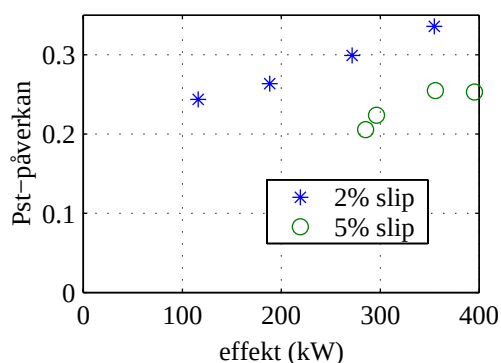
vindkraftparken till land kommer att minska i takt med att halvledar- och kabeltekniken utvecklas.

Tre olika omriktartopologier har valts ut och studerats närmare i en tänkt vindkraftpark. Det första problemet är den varierande utspänningen när generatoren går med variabelt varvtal och det andra problemet är att höja spänningen så att energin går att överföra utan för stora förluster. Boostomriktaren är lämplig för att anpassa spänningen från generatoren till det lokala vindparksnätet. En hel- eller halvbygga kan användas för att höja spänningen till en lämplig överföringsnivå. Ofta måste spänningen höjas i minst två steg. En modell har skapats över en vindkraftpark med de olika omriktarna och de första simuleringarna har körts för att verifiera systemet. Se [22].

2.4.4 Styrning av rotorresistans för överstegrings-reglerat vindkraftverk- SLIPSTYR

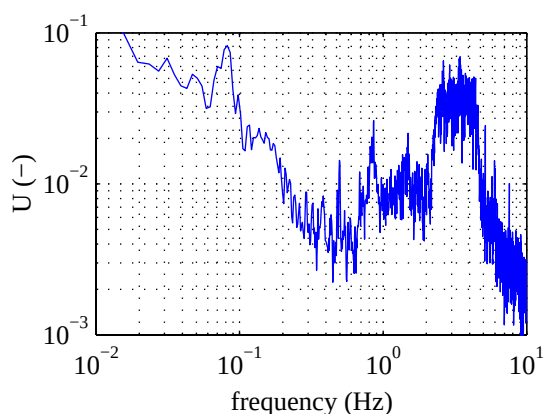
Målet med projektet är att fastställa möjligheter, potential och begränsningar med aktiv rotorresistansstyrning (eftersläpningsstyrning) av överstegringsreglerade vindkraftverk. Framförallt ur elkvalité- samt drivlinelastsynpunkt. Aspekter som är viktiga att värdera är flickerpåverkan, drivlinelaster, generatorverkningsgrad samt val av ingående drivlinekomponenter.

För verifiering av de teoretiskt framtagna styralgoritmerna används ett NWP-1000-verk. Detta verk har utrustats med högpresterande ström- och spänningsgivare samt ett PC-baserat datainsamlingssystem för att kunna fastställa vindkraftverkets elkvalitépåverkan. Vinddata erhålles separat från en näraliggande vindmast. Dessutom finns det möjligheter att erhålla kortare filer med data från vindkraftverkets styrsystem. Första steget är att undersöka vindkraftverkets elkvalitépåverkan vid olika fasta rotorresistansvärden. I figuren ser vi påverkan på nätet för två olika slipvärden, 2 % och 5 %. Tydligt är att med högre rotorresistans erhålles en lägre flickeremission från vindkraftverket.



Pst-påverkan vid 2 och 5 % slip.

Det är inte bara vindkraftverket självt som bidrar med en flickeremission till nätet. Spänningen som matar vindkraftverket spelar en mycket stor roll. I figuren nedan visas spektrum av den uppmätta spänningen vid vindkraftverket. Den presenterade spänningen skiljer sig kraftigt mot vad som är vanligt i och med den mycket kraftiga representationen av spänningsvariationer i frekvensregionen 3-5 Hz. Den viktiga erfarenheten är att regleralgoritmerna inte endast skall ta bort effektvariationer som härrör från vindkraftverket utan även effektvariationer orsakade av den matande spänningen.



Spänningsspektrum vid vindkraftverket.

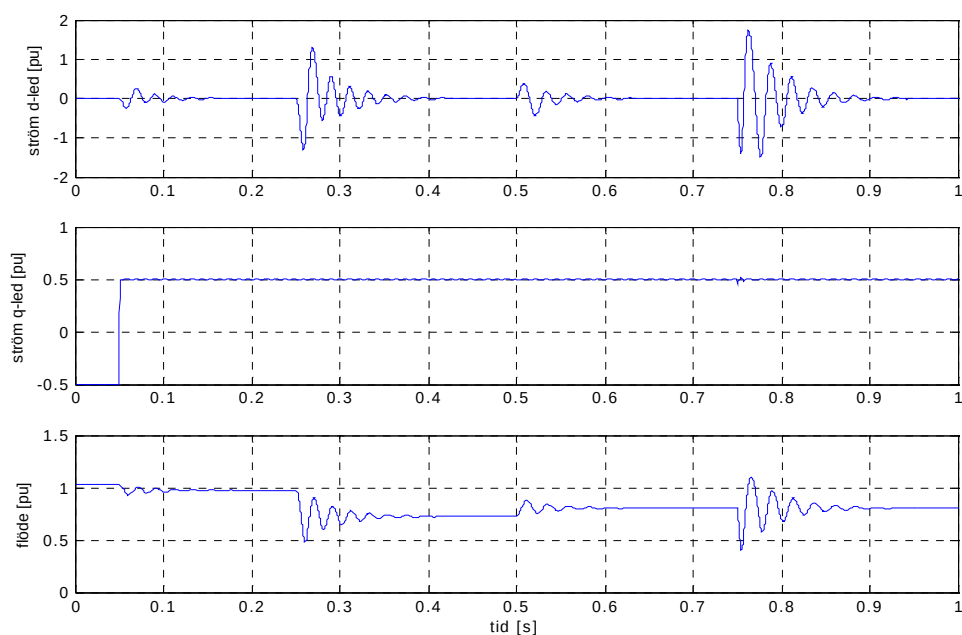
2.4.5 Styrning vindkraftverk och vindkraftsgenerator - StyrnVindGen

Projektets mål är att utveckla och utvärdera metoder för styrning och reglering av vindkraftsgeneratorer och vindkraftverk. I fokus står att utforma regleringar för svaga nät där elkvaliteten är bristfällig.

Nyckelkomponenten vid styrning av vindkraftverk (enligt elektrikerns åsikt) är generatorm samt dennas omriktare. Det gäller att ha ett snabbt, robust och energieffektivt system. Den vanligaste generatorm som sitter i vindkraftverk är asynkronmaskinen. Asynkronmaskinen går att reglera på ett flertal sätt. För att kunna få en bra prestanda på regleringen krävs en PWM-omriktare som kan kopplas antingen till stator- eller rotorkretsen. Den största fördelen, som hävdas i litteraturen, med en omriktare kopplad till rotorkretsen är att omriktaren och förlusterna blir mindre jämfört med en omriktare i statorkretsen. Nackdelen är att en asynkronmaskin där man kan ha yttre elektriska kretsar till rotorn, en s.k. släpringad maskin, blir dyrare och erfordrar mer underhåll. Regleringen är dessutom betydligt mer komplicerad när man har en omriktare i rotorkretsen, och oscillationer i strömmar är mycket svåra att undvika.

Figuren nedan visar en simulering av en vindkraftsgenerator, en släpringad sådan med omriktare i rotorkretsen. Figuren visar reglering av aktiv och reaktiv ström samt flöde vid laststeg och olika påkänningar från det elektriska nätet. För att dämpa oscillationerna är regleringen av

reaktiv ström (d-ström) långsammare än regleringen av aktiv ström (q-ström). Då momentet i maskinen bildas av strömmen i q-led och av flödet (som styrs av d-strömmen) är det viktigt att hålla dessa så konstanta som möjligt. Dock, gör man regleringen för snabb så erhåller man oscillationer i stället.



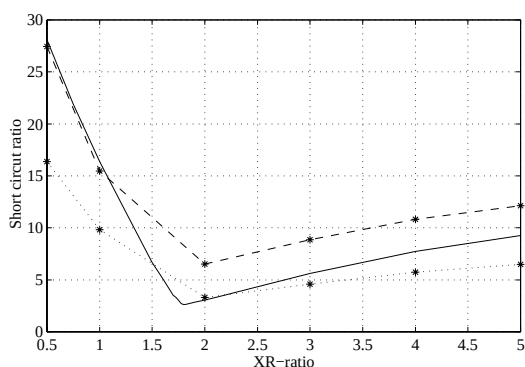
Reglering av asynkronmaskinen med hjälp av rotorkaskad. Överst visas statorströmmen i d-led, i mitten visas statorströmmen i q-led och underst visas flödet. Vid 0,05 sker ett steg i statorströmmen i q-led, vid 0,25 s sker ett statorspänningsfall på 25 %, vid 0.5 s sker ett nätfrekvens-sänkning på 10 % och vid tiden 0,75 s sker ett fashopp i nätspänningen på 30 °.

2.4.6 Konfigurationsstudie av HVDC-vindpark

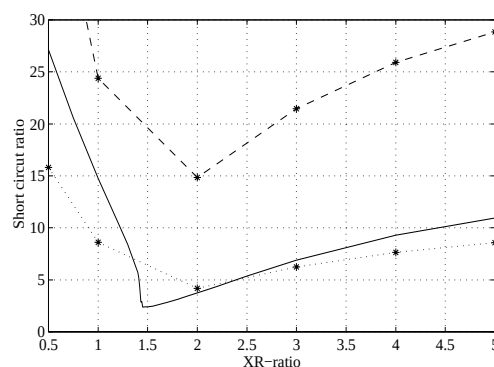
Steg 1 i projektet var att undersöka olika vindkraftverkstyper som kan komma att ingå i framtida vindparker. För detta användes mätningar från tre olika vindinstallationer runt om i landet. Ett viktigt mål för steg 1 var att studera högfrekventa effektpulsationer och om dessa kunde orsaka ojämn uteffekt från de framtida vindparkerna. Resultatet funnet var att för parker med vindkraftverk med konstant varvtal och överstegringsreglering kommer effektpulsationer inte att vara ett problem om parken har fler än ca 5 verk. För vindkraftverk med variabelt varvtal var resultatet att flickeremission aldrig blir ett problem såvida inte effektomriktarna är felställda.

Det enda fall då effektpulsationer kan vara av intresse att studera är fallet med bladvinkelreglerade vindkraftverk som matar ett gemensamt likled via en diodlikriktare (Ett av förslagen för ABBs Windformerkoncept).

Normalt kommer det att vara ledningskapaciteten eller den statiska spänningsnivåpåverkan som begränsar hur mycket vindeffekt som kan matas in från en stor vindpark (om man följer AMP, de svenska installationsanvisningarna). I figurerna nedan visas begränsningskurvorna för storleken på en vindpark med konstant varvtal och med 1) överstegringsreglering och 2) bladvinkelreglering av bladen.



Överstegringsreglering.



Bladvinkelreglering.

Heldragen kurva är för den statiska spänningen, Streckad för flicker-emission för ett vindkraftverk, punkterad linje för flicker emission med flera vindkraftverk, för figur 1 3 st och för figur 2 10 st.

I figurerna är "short circuit ratio" förhållandet mellan nätets kortslutnings effekt i anslutningspunkten och vindparkens märkeffekt, d.v.s ju lägre värde desto mer vindkraft kan anslutas. "XR-ratio" beskriver kvoten mellan reaktans och resistans i anslutningspunkten. Begränsningskurvorna visar för vilka nätparametrar som problem med elkvaliteten uppstår (enligt AMP). Ligger nätparametrarna under begränsningskurvan uppstår det problem och ligger de ovanför är det inga problem. Från figurerna ses att om det bara är ett vindkraftverk som skall anslutas till elnätet är det flicker-emissionen som sätter begränsningen, men om flera verk skall installeras så är det den statiska spänningsnivån som sätter begränsningen. Därtill kommer också inverkan från hur nätets lindringskopplare är ställda och var det finns konsumenter.

2.4.7 Vindkraft i områden med begränsad exportkapacitet - ELBRA

Ingen aktivitet under 2000/01. Projektet beräknas starta under hösten 2001.

2.5 Akustik

2.5.1 Ljudutbredning kring havsbaserade vindkraftverk - LJUV

Arbetet har till syfte att ta fram beräkningsmodeller för ljudfältet omkring havsbaserade vindkraftverk. Beräkningsmodellen skall ta hänsyn till vertikala och horisontella vind- och temperaturgradienter i luften. Vidare skall inverkan av en "skrovlig" vattenyta kvantifieras.

Under perioden har olika principer för att beräkna ljudfältet studerats. En viktig faktor har därvid varit hur man behandlar reflektionen av ljud i luft mot en yta med periodiska och icke-periodiska ojämnheter. Modeller för beskrivning av olika vågtyper har också studerats. Resultatet visar att numeriska beräkningsprinciper (s k paraboliska ekvationer) är lämpligast.

Resultaten redovisas i en rapport i institutionens rapportserie [23].

2.5.2 Ljudalstring hos vindkraftverk

Målet för arbetet är att utveckla beräkningsmodeller för hur mycket akustisk effekt (d.v.s i praktiken stomljud från växellådan) som matas in i tornet på ett vindkraftverk vid olika geometrier.

Problemet har studerats med hjälp av moderna matematiska metoder, s k perturbationsmetoder. Det har därigenom varit möjligt att ta fram enkla analytiska uttryck för tornets egenskaper; något som inte lyckats tidigare och som också visats sig vara omöjliga att få fram på direkt analytisk väg. Förutom dessa generella problemställningar har speciellt studerats inverkan av en förstärkning i tornets överkant. Det har visats hur denna förstärkning kan användas för att minska ljudöverföringen till tornet.

Arbetet resulterade i en doktorsdisputation [24] våren 2001. Avhandlingen är en sammanläggningsavhandling som består av sex artiklar i internationella tidskrifter med referee-system, ett konferensbidrag och ett inledande avsnitt.

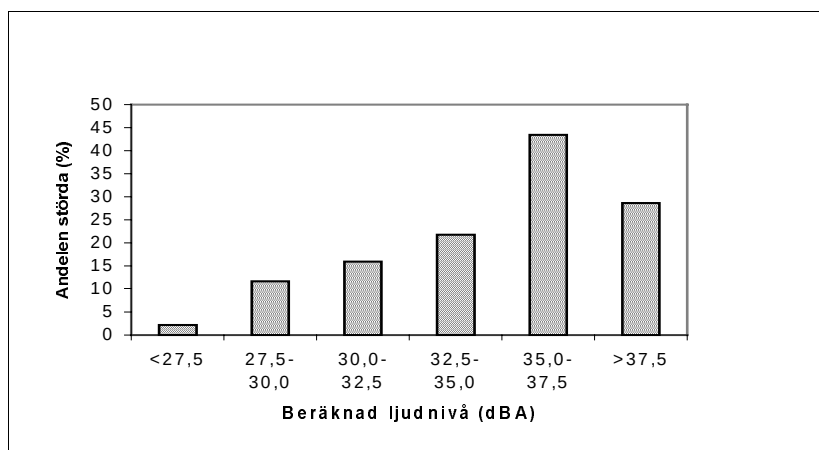
2.6 Sociotekniska aspekter

2.6.1 Störningsundersökningar bland människor boende i närheten av vindkraftverk - STUV

Projektet *Störningsundersökningar bland människor boende i närheten av vindkraftverk* är ett samarbete mellan Högskolan i Halmstad och Avdelningen för miljömedicin, Göteborgs universitet. Det långsiktiga målet är att medverka i arbetet med att minska störningar av ljud och därigenom förhindra en negativ attityd till vindkraften. Därför fortsätter arbetet med att bygga upp kunskap om ljud och ljudstörningar från vindkraftverk, vilka faktorer som bidrar till risk för störning och hur störning undviks.

Under året har en stor enkätundersökning, som utfördes i södra Halland sommaren 2000, bearbetats och analyserats. Materialet är mycket omfattande. Av de 518 utvalda, som bodde i närheten av vindkraftverk, svarade 356 (svarsfrekvens 68,7%). Några resultat:

- ◆ Inga andra störningar än de som tidigare rapporterats har framkommit (buller från rotorblad och maskinhus, skuggor och reflexer från rotorbladen, förändrad utsikt).
- ◆ Buller från rotorbladen är den vanligaste störningen.
- ◆ Andelen störda av buller ökar med stigande ljudnivåer, men det var relativt många som stördes trots låga nivåer. Bland de som exponerades för ljudnivån 35,0-37,5dBA var det 43,4 % som stördes ganska mycket eller mycket (se figur).
- ◆ Den ekvivalenta ljudnivån är dock bara en förklaring till bullerstörning. Visuella faktorer har betydelse, men attityden till vindkraft tycks inte spela så stor roll. Störst förklaringsgrad har den psyko-akustiska karaktären svischande.



Andelen ganska + mycket störda av ljud från vindkraftverk relaterat till ekvivalent ljudnivå vid bostad.



Vy över ett vindkraftsområde i Laholmsundersökningen.

Under året har en magisteruppsats [25] och ett konferenspaper [26] publicerats.

2.6.2 Vindkraftens utformning i landskapet i samklang med andra markintressen

Projektet syftar till kunskap om hur den visuella förändring, som en etablering medför, hanteras i planeringsprocessen. Projektet bygger olika delstudier, bland vilka fallstudien av den kommunala planeringen i Falkenberg utgör huvuddelen i första etappen. Det som studeras i denna är planerarnas kunskapsverktyg, d.v.s hur deras kunskaper värderas, väljs och hanteras, för att åstadkomma trovärdiga handlingsunderlag med en värdering av och avvägning mellan olika intressen. Öppna djupintervjuer med involverade tjänstemän och exploatörer har genomförts kring två vindkraftsetableringar i Falkenbergs kommun. Denna kommun har en tydlig policy att bygga ut vindkraften koncentrerat till ett antal områden, för att spara andra områden fria från vindkraftverk. Alla vindkraftsanläggningar skall detaljplaneläggas. Kommunen är själv mycket aktiv i utbyggnaden genom det kommunala energibolaget.

Dessa intervjuer, samt skriftligt material kring ärendena, skulle ha analyserats under våren. Dock har projektet gjort uppehåll sedan årsskiftet, eftersom doktoranden fått projektanställning på Länsstyrelsen i Skåne, för att där arbeta fram en regional handlingsplan för vindkraft. Med erfarenheterna från det projektet, ska doktorandprojektet på Alnarp fortsätta i november 2002.

2.7 Information och programledning

2.7.1 Information

Information om verksamheten sprids huvudsakligen genom informationsbladet *Vindbladet* samt genom direkta kontakter med allmänheten. Sex nummer av *Vindbladet* har distribuerats under året. Prenumerationen är gratis och antalet mottagare är för närvarande 400 stycken. En tredjedel av upplagan distribueras med e-post och resten på traditionellt vis. Skriften finns även tillgänglig på Internet. I uppdraget ingår även att sprida information från internationella konferenser inom vindenergiområdet. Exempel är reserapporten från konferensen om havsetablering, OWEMES, [27].

Vindkraftsprogrammets information på Internet har utökats under året. Adressen är www.vindenergi.foi.se.

2.7.2 Programledning

Till vindkraftsprogrammet finns knutet ett råd med uppgift att vägleda Statens Energimyndighet vid urval och finansiering av projekt samt att ta initiativ till ny/förändrad verksamhet. Programmets sekretariat sköts av Flygtekniska försöksanstalten. Verksamheten under föregående år 1999/00 har sammanställts i en rapport [28].

Under verksamhetsåret 2000/01 har rådet haft fem protokollsförda sammanträden.

2.7.3 Vind 2000

Årets vindenergikonferens arrangerades på Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm den 25-26 oktober 2000 och samlade ett rekordartat antal deltagare, 180 stycken. Dessa kom huvudsakligen från Sverige, men även några personer från övriga nordiska länder deltog. Konferensen invigdes av KTH rektor Anders Flodström.

Vindkraftens starka frammarsch i världen avspeglades i många av de föredrag som presenterades första dagen. Det var speciellt intressant att höra om verkliga erfarenheter från byggnation i fjällen och till havs i Sverige.

Framväxten av en svensk vindkraftsindustri och jämförelser med den tyska och holländska presenterades av Staffan Jacobsson från Chalmers. Han konstaterade att den svenska vindkraftshistorien är dyster, men att det mesta är gjort och att det fortfarande finns möjligheter att bygga en stark svensk industri. Avslutningsvis konstateras att ” Vad som krävs för att lösa upp traumat och genomföra en satsning på förnybar energiteknik är emellertid inte främst pengar utan ett mod att avsluta det skyttegravskrig som alltför länge har lamslagit den svenska politiken inom energiområdet. Finns det mod?”

Under dag två arrangerades en paneldebatt med temat Stöd och/eller certifikat för vindkraften i framtiden.

Lennart Thörnqvist avslutade konferensen med en inspirerande och tankvärd sammanfattning av dagarna. Han konstaterade bland annat att vindkraftens fokus bör flyttas från hinder och kostnader till lösningar och värde.

Konferensen finns dokumenterad i [29].

2.8 Resurser

2.8.1 Drift och underhåll av mätsystem vid Bockstigen Valar - TEDRIFT

Projektet (och bygglovets som är begränsat i tiden, f.n. t.o.m. 2007) tjänar som stöd och sammanhållande kitt mellan ett flertal VKK-projekt. Projektledningen vid FOI lutar sig mot en styrgrupp med representanter från Chalmers (t o m. årsskiftet 2000/01), Vindkompaniet, Teknikgruppen och MIUU. Protokoll från de månatliga telefonmötena distribueras till en större krets inkl STEM, GEAB och Chalmers. I projektarbetsuppgifterna ingår DoU av 1 st 56-m kustmast med givare och mätsystem samt motsvarande 40-m mast till havs och ett större mätsystem i anknytning till vindkraftverken. Under året har Vindkompaniet upphandlat vågmätningstrustning som ägs av Tedrift-projektet t.o.m. år 2007. I gengäld äger Vindkompaniet (NEG-Micon)

rätt att till självkostnadspris ta del av mätdata. Tyvärr har turerna kring upphandlingen och inköpsleden blivit så omfattande att det med facit i hand hade varit billigare att i egen regi köpa in motsvarande utrustning. Under våren 2001 bestämde styrgruppen att, efter två års drift, byta framför allt vindriktningsgivare i masterna. För detta ändamål har nya anemometrar upphandlats och kalibrerats. Under sommaren 2001 har preventivt underhåll utförts i havsmasten både under och över ytan. Mätsystemet har a) anpassats till den under våren 2001 uppgraderade "Supervisor'n" som utgör hjärnan i vindparkens styrning och kommer b) under hösten att anpassas till den nya vågmätningssystemet.

2.8.2 Is och laster i kallt klimat - IOLIK

Vindkraftverk har hittills uppförts huvudsakligen i områden med ingen eller liten risk för isbeläggning. I Suorva i norra Sverige har Vattenfall uppfört ett Bonus 600 kW vindkraftverk. Klimatet på platsen är sådant att isbeläggning kan förekomma. Rapporten [30] beskriver utvärdering av inverkan av is och laster på vindkraftverket för perioden 1/1 1999 till 14/3 2000. Dessutom har verkningsgraden för aggregatet utvärderats. Bonus mätsystem har på ett till synes tillförlitligt sätt samlat in mätdata av god kvalitet under 77 veckor. Effekten av is och turbulens är tydlig beträffande generatoreffekt och därmed även för edge- och primäraxelmomenten. Något förvånande är att effekten på ett signifikant sätt minskar med ökande turbulens vid samma uppmätta vindhastighet. Detta skulle kunna tyda på "overspeeding" om det inte dessutom vore så att maxeffekten även den ökar med avtagande turbulens. Isindikering erhålles vid, på platsen, normala vind och turbulensförhållanden. Som en kontroll på rimligheten i uppmätt primäraxelmoment har drivkedjans verkningsgrad analyserats. Verkningsgraden förefaller god vid en jämförelse (ej redovisad i rapporten) med andra aggregat. FOIs mätsystem för att bevaka is och bladets rörelser under drift presenteras tillsammans med några exempel på bilder tagna med detta system. Inga resultat från analys av bilderna finns färdiga att presentera i denna rapport. Det är vår förhoppning att bildanalysystemet kommer att kunna samköra med Bonus under hösten år 2001.

2.8.3 Mätningar i master - MAST

Kontinuerliga 1 Hz-mätningar görs inom projektet av vindhastighet, vindriktning och temperatur på flera höjder (typiskt 4-5) ovan mark. Dessutom mäts lufttryck och luftfuktighet. Mätningar görs på Östergarnsholm i en 30 m mast, på Näsudden i en 145 m hög mast samt, inom ramen för projektet Tedrift, i en 60 m mast vid stranden på Näsudden och i en 40 m mast vid Bockstogens vindfarm. Dessutom görs mätningar i en 36 m mast i Suorva i Lapplands fjälltrakter samt i Lyse på västkusten. Mätningarna i Lyse har dock p g a . tids- och personalbrist inte kunnat övervakas under det senaste året. Mätningarna har utökat den unika databanken med vinddata som samlats under ett flertal år, och som

är speciellt avsedd att utnyttjas för vindkraftsetablering. Den innehåller information både om medelvindförhållanden och turbulens.



Mätmasten på Östergarnsholm, Gotland.

2.8.4 Drift av Hönö provstation - HÖNÖ

Under året har vindkraftverkets regler- och övervakningsprogram utvecklats. Vidare har stora insatser gjorts på att göra mätsystemet mer allsidigt och användarvänligt. Vidare har ett flertal förbättringar och underhållsarbeten utförts på vindkraftverket, meteorologimasten och arbetsbodarna. Vi har haft besök på anläggningen i form av kurslaborationer, studiebesök och öppet hus.

Vindkraftverkets mätsystem har börjat läggas om till LabView-miljö. Signaler som finns tillgängliga i anläggningen samlas in till en dator, kallad terminaldatorn, via ett inmonterat mätkort, externa mät-noder anslutna till serieportar, och från reglerdatorn via serieport till terminaldatorn. Terminaldatorn kör ett på institutionen utvecklat mät- och presentationsprogram utvecklat i LabView. Fördelarna med denna konfiguration är bland annat att man kommer att ha tillgång till alla in-

och utsignaler från reglerdatorn, men man kan också få svar på frågor som t ex hur stor den integrerande komponenten är i varvtalsregleringen. Vidare ger LabView-miljön möjligheter till att relativt lätt bygga upp överskådliga användargränssnitt.

Arbetet med vindkraftverkets regler- och övervakningsprogram har bland annat resulterat i en väl fungerande spänningsregulator, som möjliggör lite högre effektuttag ur vindkraftverket. Några körningar i vindar omkring märkvind under något tiotal timmar har gjorts. Syftet har bland annat varit att testa och trimma in reglerprogrammet för så hög uteffekt som möjligt. Mätningar har samtidigt genomförts för att studera ett flertal intressanta beteenden hos generator, elsystem och vindkraftverk. Som exempel kan nämnas: Att verifiera reglerprogrammets funktion, studera generatorns temperaturhöjning vid olika uteffekt, studera hur generatorns elektriska prestanda påverkas av olika drifttemperaturer, ta reda på vid vilket varvtal som turbinens inkommande moment kan bli större än generatorns bromsande moment. Detta arbete har presenterats på EWEC '01 i Köpenhamn [31].

Under året har fem studiebesök anordnats vid vindkraftverket. Fredagen den 11 och lördagen den 12 maj hade vi öppet hus i samarbete med Vetenskapsfestivalen i Göteborg. Då visades, förutom vindkraftverket, även ett antal "posters" om vindkraftrelaterad forskning vid institutionen. Vi hade experiment med spolar, magneter och motorer. Möjlighet till en provtur i institutionens elbil fanns också. Totalt fick vi besök av ungefär 70 personer under de två dagarna.

3 Referenser

- 1 Thor S-E. Förslag till FoU-program 1998 - 2000, FFA TN 1998-04.
- 2 Dahlberg Jan-Åke et al., CLASSCUP, Final Report, JOR3-CT98-0263, June 2001.
- 3 Dahlberg Jan-Åke et al., CLASSCUP, Publishable Final Report, JOR3-CT98-0263, June 2001.
- 4 Delrapportering CLASSCUP
 - 1) Dahlberg Jan-Åke, "Wind Tunnel Studies of Vertical Sensitivity, –Results From Test With Vaisala, Thies and Risø Anemometers", FFAP-V-082, 2 February 1999.
 - 2) Pedersen Troels Friis, Uwe Schmidt Paulsen "Classification of Operational Characteristics of Commercial Cup-Anemometers", EWEC March 1-5, 1999.
 - 3) FFAP-V-084, Six-Monthly Progress Report, March 1999;
 - 4) Westermann Dieter, Albers Axel, Kieselhorst Stefan, "Field Studies and Verification & Bearing Friction Studies", DEWI 04, 5 September 1999.
 - 5) Dahlberg Jan-Åke, Gustavsson Jonas, "Results from tests carried out at FFA", Results presented at project meeting #5 , 8 September 1999.
 - 6) Westermann Dieter, Kieselhorst Stefan, "The Influence of Geometrical Parameters on the Vertical Sensitivity of Experimental Cup Anemometers", Results presented by DEWI at project Meeting #5, Wilhelmshaven, 8 September 1999.
 - 7) Dahlberg Jan-Åke, et.al, " JOR3-CT98-0263 / Mid-Term Assessment Report ", 16 September 1999.
 - 8) Gustavsson Jonas, Smoke Visualisations of Flow around Cup Anemometers, FFAP-V-101, October. 1999.
 - 9) Gustavsson Jonas, Dahlberg Jan-Åke, WT-tudies of vertical sensitivity-Results from parameter study, FFAP-V-102, Oct. 1999.
 - 10) Mid-Term Assessment Report, FFAP-V-103, October 1999
 - 11) Twelve-Monthly Progress Report, FFAP-V-104, October 1999.
 - 12) Gustavsson Jonas, Dahlberg Jan-Åke, Time series from WT studies of the vertical sensitivity of cup anem., FFAP-V-112, February, 2000.

- 13) Eighteen-Monthly Progress Report, FFAP-V-116, March 2000.
 - 14) Gustavsson Jonas, Dahlberg Jan-Åke, Torque Measurements on Anemometer Cups, FFAP-V-118, May 2000.
 - 15) Gustavsson Jonas, Dahlberg Jan-Åke, Overspeeding of Cup Anemometers in Fluctuating Wind and Deconvolution as its Remedy, FFAP-V-123, July 2000.
- 5 Bergström, H. and Källstrand, B., 2000: Measuring and modelling the wind climate in a mountain valley in northern Sweden. Proceedings from BOREAS V, 29 November-1 December. 2000, Levi, Finland.
- 6 Bergström, H. And Källstrand, B., 2001: Estimating wind potential in a complex terrain arctic mountain valley. Proceedings from EWEC2001 2-6 July 2001, Copenhagen, Denmark.
- 7 Hedblom, A., 2000: The wind climate in a mountain valley in northern Sweden. Examensarbete, Institutionen för geovetenskaper – meteorologi, Uppsala universitet, 39 pp.
- 8 B. Tammelin, R. Hyvönen, H. Bergström, G. Botta, D. Douvikas, O. Rathman, M. Strack: Verification on Wind Energy Predictions Produced by WAsP and Some Mesoscale Models in European Mountains. Proceedings from EWEC2001 2-6 July 2001, Copenhagen, Denmark.
- 9 Bergström H., 2001: Estimating offshore wind potential – a more complex task than expected? Proceedings from EWEC2001 2-6 July 2001, Copenhagen, Denmark.
- 10 Källstrand B., Bergström H., Højstrup J., and Smedman A.-S., 2000: Mesoscale wind field modifications over the Baltic Sea. Boundary-Layer Meteorol., 95, 161-188.
- 11 R. Barthelmie, G. Larsen, H. Bergström, M. Magnusson, U. Hassan, W. Schlez, K. Rados, B. Lange, I. Waldl, P. Vølund, S. Neckelmann, T. Christensen, T.G. Nielsen, J. Højstrup, G. Schepers, T. Hegberg, J. Coelingh, L. Folkerts: Efficient Development of Offshore Windfarms: A New Project for Investigating Wake and Boundary-Layer Interactions. Proceedings from EWEC2001 2-6 July 2001, Copenhagen, Denmark.
- 12 Ganander, H. "*Description of the structural model of the NREL wind tunnel test turbine*". Teknikgruppen AB rapport TG-R-00-17, november 2000.
- 13 Ganander H, Fatigue loads due to blade tower distance of the upwind turbine NTK 500 kW, TG-R-00-12, Teknikgruppen AB, October 2000.
- 14 Dahlman S, Ganander H. Vind-och våglaster på fundamentering på Bockstigen, som funtion av vindriktningen. Teknikgruppen AB. november 2000.

15 Ganander H, " *Dynamic Model of the Zephyr 28-250 wind turbine*", Teknikgruppen AB, Report TG-R-01-09.

16 Carlén I., Larsen G. , Fatigue analysis of structures subjected to wind loading – a model for long load cycles, Teknikgruppen AB, TG-R-00-09 , 2000

17 Carlén I., Analysis of the fatigue life consumption for two wind turbines operating in a coastal environment – a comparison with IEC-61400 , Teknikgruppen AB , TG-R-00-10 , 2000.

18 Ganander H, Preliminär studie av inverkan av beräkningsparametrar på lastunderlag för utmattnings-dimensionering Teknikgruppen AB, TG-R-00-13, to be published October 2000.

19 Johansson H, Jämförelse av resultat från kontinuerlig resp. intervalluppdeldad RFC-analys av långa mätserier. TG-R-00-19. Teknikgruppen AB, December 2000.

20 Eskilsson, C. and Sherwin, S.J.: A spectral element method for Boussinesq-type equations, submitted to Coastal Engineering, 2 June 2001.

21 J. Svensson, "Synchronisation methods for grid-connected voltage source converters," *IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.*, Vol.148, No.3, May 2001, pp.229-235.

A. Sannino, J. Svensson, "A Series-connected Voltage Source Converter for Voltage Sag Mitigation Using Vector Control and a Filter Compensation Algorithm," *2000 IEEE Industry Applications Conference, 35th IAS Annual Meeting*, 8-12 October 2000, Rome, Italy, pp. 2476-2481.

G. Saccomando, J. Svensson, "Transient Operation of Grid-connected Voltage Source Converter Under Unbalanced Voltage Conditions," accepted for presentation at *2001 IEEE Industry Applications Conference, 36th IAS Annual Meeting*, September 30 - October 5, 2001, Chicago, Illinois USA.

A. Sannino, J. Svensson, "Application of a Converter-based Series Device for Voltage Sag Mitigation to Induction Motor Load," accepted for presentation at *2001 IEEE Power Tech Conference*, 10-13 September, 2001, *Power Tech Conference*, Porto, Portugal.

O. Martander, J. Svensson, "Connecting Offshore Wind Farms Using DC Cables," *Wind Power for the 21st Century*, Kassel, Germany, 25-27 September 2000.

J. Svensson, A. Sannino, "Active Filtering of Supply Voltage by Series-connected Voltage Source Converter," *9th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'01)*, Graz, Austria, 27-29 August 2001, pp.1-13.

G. Saccomando, J. Svensson, "Control and Operation of Grid-connected VSC under Grid Disturbances in Variable-speed Wind Turbines," *2001 European Wind Energy Conference and Exhibition (EWEC'01)*, Copenhagen, Denmark, 2-6 July 2001.

O. Martander, J. Svensson, "DC/DC Converter Topologies for Wind Farms with DC-grid," *2001 European Wind Energy Conference and Exhibition (EWEC'01)*, Copenhagen, Denmark, 2-6 July 2001.

Föredrag med titeln "Kraftelektronikens intåg i vindkraftssystem". Sveriges Energiting 2001, Eskilstuna 14-15 mars 2001. 2 dagars konferens, organiserad av Energimyndigheten, med 900 deltagare.

22 Svensson J, "Connecting Offshore Wind Farms Using DC Cables" presenterad på Wind Power for the 21st century Kassel, 25-27 September 2000

DC/DC converter topologies for Wind Farms" presenterad på 2001 European Wind Energy Conference and Exhibition, Copenhagen, 2-6 July 2001.

23 Johansson L: "Scattering från vattenvågor", arbetsrapport 2001:4, institutionen för Bygghvetenskap, KTH.

24 Fégeant O, Noise from Wind Turbines. Division of Building Technology, Dep of Building Sciences, KTH, Bulletin No 184, 2001.

"Structural mobilities for the edge-excited, semi-infinite cylindrical shell using a perturbation method" (Accepted for publication in the Journal of Sound and Vibration)

"Wind-induced vegetation noise, part I: a prediction model" *Acustica united with Acta acustica* 85(2), 228-240 (1999)

"Wind-induced vegetation noise, part II: field measurements" *Acustica united with Acta acustica* 85(2), 241-249 (1999).

"On the masking of wind turbine noise by ambient noise" *Proceedings of the European Wind Energy Conference, EWEC'99, Nice, France, 1-5 March 1999*, 184-188. "On the use of a vertical microphone board to improve low signal-to-noise ratios during outdoor measurements" *Applied Acoustics* 53(4), 291-312 (1998).

"Closed-form solutions for the point mobilities of axisymmetrically excited cylindrical shells" *Journal of Sound and Vibration* **243**(1), 89-115 (2001).

25 Pedersen, E.: Störningsupplevelser från vindkraft, förstudie. Examensarbete. Göteborgs Universitet, Avdelningen för miljövetenskaplig programutbildning. 2000.

- 26 Pedersen, E., Persson Waye, K.: The impact of wind turbines in Sweden with special reference to noise annoyance. 2001 European Wind Energy Conference and Exhibition.
- 27 Thor S-E sammanställd av, Reserapport, OWEMES 2000, Sicilien, Offshore Wind Energy in Mediterranean and Other Seas, FFA TN 2000-37.
- 28 Thor S-E, Lägesrapport för verksamhetsåret 1999/00 FFA TN 2000-55
- 29 Dokumentation från Vind 2000, sammanställt av S-E Thor, FFA TN 2000-65.
- 30 Ronsten G, Thor S-E, Utvärdering av is och laster i kallt klimat. Bonus 600kW Mk IV vindkraftverk i Suorva. FOI-R--0170--SE augusti 2001.
- 31 Ellsen M, Control and operation experience of a 40 kW directly driven permanent magnet wind turbine generator with a frequency converter” presenterad på 2001 European Wind Energy Conference and Exhibition, Copenhagen, 2-6 July 2000.

Bilaga A - VKK projekt

SAMMANSTÄLLNING AV VKK forskningsprojekt för perioden 98/99, 99/00, 00/01													
98/99	Dnr 108/98-23, VH 0300			Projekt-	Beslut om råd						Möte	STEM	STEM
99/00	Dnr 550/99-23, VH 0350	Akronym	Org.	ledare	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	nr	nr	beställt
VINDUNDERLAG OCH PRESTANDA													
	Development of a standardised cup anemometer suited to wind energy applications	CLASSCUP		Jan-Åke Dahlberg		300	30					P11552-2	330 000
	Utökad utvärdering, parkeffekter	TEPRES II	FFA	Göran Ronsten			130				8		
	Vindförhållanden i komplex terräng	KOMPLEX	MIUU	Hans Bergström		510	510				4	P11538-2	1 020 000
	IEA Annex XVII - Database on Wind Char.	ANNEX XVII	MIUU/Tek n	Hans Bergström		250					**	P12018-1	250 000
	IEA Annex XVII - Database on Wind Char.	ANNEX XVII	FOI	Ingemar Carlén				97			12		
	Vindförhållanden offshore och i kustzonen	HAV&KUST	MIUU	Hans Bergström		1129	1129				4	P11539-2	2 289 000
	Gruppstationsstudier — strömning, prestanda och laster	Grupp-SPL				770	700				4	P12863-1	1 470 000
	Mätsystem till landmasten (145m) på Nästudden	LANDMAST	Uppsala Univ.	Hans Bergström			250				7	P13210-1	250 000
	Förstudie av effekten av koherenta turbulensstrukturer på bladutmattning	TALA	MIUU	Hans Bergström				300			11		
	Utveckling av metod för vindenergiberäkning	ALARM	Lst V. Götaland	Måns Hagberg				70			11		
	Sammanställning och bearbetning av långa svenska vindmätningar för tillverkare, projektörer och brukare av vindkraftverk	VINDSAM	Teknikgru ppen	Hans Ganander			100	200			11		
AERODYNAMIK OCH STRUKTURDYNAMIK													
	Utökning ROTOW	ROTOW II	TG/EU	Hans Ganander			35				9, 11		
	Aerodynamisk dämpning, etapp II	ADAM-II	FFA	Björn Montgomerie		465	465				3	P11566-2	930 000
	Verification of European Wind Turbine Design Codes	Vewtdc	Teknikgr	H. Ganander		250	125				3	P11573-1, P11573-2	375 000
	Investigation of the Aerodynamic Interaction between Wind-Turbine Rotor Blades and the Tower and its impact on the Wind Turbine Design	Rotow	Teknikgr	H. Ganander		250	50				3	P11558-1, P11558-2	300 000
	Dynamisk simulering av vindkraftverk	VindSim	KTH	C. Pacoste		520	520				3	P12020-1	1 032 000
	Giregenskaper för vindkraftverk, Etapp II	GIRA-II	FFA	Björn Montgomerie		500	500				4	P11547-2	3 350 000
	Non-Axisymmetric Wakes and the possibility to Optimise the Power output of wind Turbine farms	NAWOPT	KTH	Johan Westin			600				7		
	Visuell inspektion av bladörerser under drift, etapp 1	VIBUDI	FFA	Göran Ronsten			400				7		
	Model rotor experiments under controlled conditions	MEXICO	FOI	Björn Montgomerie			124	224	176		11		
LASTER OCH DIMENSIONERING													
	Is och vågbelastningar på vindkraftverk	ISOVÅG	FFA	Sven-Erik Thor	80						1	P11875-1	80 000
	Adaption of Existing WT Designs for Operation in Complex Terrain Sites with very high wind speed	Adapturb	Teknikgr	Hans Ganander		320	125				3	P11557-2	445 000
	Islaster på vindkraftverk till havs	ISVIT	Chalmers	Lars Bergdahl			500				7	P13079-1	500 000
	Våglaster på vindkraftverk till havs	VÅGVIT	Chalmers	Lars Bergdahl			500				7	P13080-1	500 000
	Utmattning av offshorefundament till vindkraftverk orsakade av vind- och våglaster gällande främst för Östersjön, etapp 1	LAOFF	Teknikgru ppen	Hans Ganander			155	370			11		
EL- OCH REGLERTEKNIK													
	Direktdrivna generatorer	DDgen	Chalmers	A. Grauers		550	550				3	P11567-2	1 100 000
	Direktdrivna generatorer	DDgen	Chalmers	A. Grauers				952	x	x	11		
	Robust nätomriktare för hög tillgänglighet	NÄTOMR	Chalmers	J. Svensson		280	280				3	P11568-2	560 000
	Robust nätomriktare för hög tillgänglighet	NÄTOMR	Chalmers	J. Svensson				280	0	0	11		
	Flickermätningar på Alsvik	LIKNÄT	Chalmers	T. Thiringer		278					?	P11570-2	278 000
	Vindkraftverk anslutna till likspänningsnät	LIKNÄT	Chalmers	J. Svensson		550	550				3	P11571-2	1 100 000
	Vindkraftverk anslutna till likspänningsnät	LIKNÄT	Chalmers	J. Svensson				500	500	250	11		
	Konfigurationsstudie av HVDC-vindpark	HVDCPark	Chalmers	Torbjörn Thiringer		150	300				4	P12448-1	450 000

AKUSTIK												
	Bulleralstring hos vindkraftverk	BALV	KTH	S. Ljunggren		700	700				3	P11555-2 1 400 000
	Perception och störning för vindkraftsljud	PERC	GU Miljömed	K. Persson Waye		770					?	P11576-2 770 000
	Ljudspridning kring havsbaserade vindkraftverk	LJUV	KTH	Sten Ljunggren		300	450				4	P11554-2 750 000
	Ljudspridning kring havsbaserade vindkraftverk	LJUV	KTH	Sten Ljunggren				750			12	
	Förstudie till buller från land- och fjällbaserade	ÖVER	UU	Conny Larsson			100				**	P12620-1 100 000
	Ljud från fjällbaserade vindkraftverk	Fjällljud	UU	Conny Larsson			110				8	
	Ljudalstring hos vindkraftverk. I: Hur ofta hörs ljud från aggregat med variabelt varvtal?	LAAV	KTH	S. Ljunggren				—			12	
	Ljudalstring hos vindkraftverk. II: Inverkan av kuperad terräng (LUKT)	LAAV + LUKT	KTH	S. Ljunggren				500			12	
SOCIOTEKNISKA ASPEKTER PÅ VINDKRAFTSETBLERING												
	Störningsupplevelser från vindkraft	STUV	ERI	G. Sidén		290	120				3	P12021-1 381 000
	Störningsundersökningar	STUV II	Gbg Univ.	Eja Pederssen			436				8	440 000
	Störningsundersökningar	DOS Respons	Gbg Univ.	Eja Pederssen				200			12	
	Vindkraftvens utformning i landskapet i samklang med andra markintressen	SAMKLANG	Alnarp	Anne-Lie Mårtensson		275	410				4	P11559-2 ?
FLORA OCH FAUNA												
	Kraftverkskonstruktionen i havet - en metod för att öka den biologiska mångfalden i Östersjön	BLÅST	Högsk. Kalmar	Torleif Malm			500				7	P13630-1 500 000
	Vindkraft och fladdermöss - en pilotundersökning	WindPower-Bats	I. Ahlén, S. Ljunggren	Ingemar Ahlén, Sten Ljunggren			150				7	
	Miljödatabas		Elforsk	J. Westerberg			0				10	Utgår, annan finansiering
RESURSER												
	Information och programledning	IKL	FFA	Sven-Erik Thor	650	650	650				#17,3	P11547-2 se GIRA II
	Kompletteringar, Mätningar i Sourva	IOLIK II	FFA	Göran Ronsten			130				9	
	Drift och underhåll av mätsystemet vid Bockstigen - Valar	Tedrift II	FFA	G. Ronsten		975					3, 7	P11545-2 1 675 000
	Kompletterande arbeten som stöd för standardiseringsarbete	KOSTA	FFA	J-Å Dahlberg		300					3	
	Mätningar i master	MAST	MIUU	H. Bergström		367	370				3	P11560-2 737 000
	Drift av provstation	Hönö	Chalmers	Magnus Ellsén		200	200				4	P11609-2 400 000
	Summa				15667	13510	14092	6483	1427	700		40810
	Total "givit råd" för 3-årsperioden	43269					43269				nr=	VKK rådsmöte nummer
	Budgetram	46800									#=	VKK styrelsemöte numme
	"Kvar"	3531									**	Hanterat separat på STEM
											x=	beloppet 01/02 fördelas på år 1, 2 och

Bilaga B - Projektuppföljningsblanketter

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift: 2001-09-11

Projekttitel:	Vindförhållanden i komplex terräng			
Teknikområde:	Vindunderlag	Budget	1020	
Akronym:	KOMPLEX	Upparbetat	450	
Ev. medfinansier		Kvar	570	

Organisation:	MIUU	Avser perioden:	2000-07-01 – 2001-06-30
Projektledare:	Hans Bergström	Projektstart:	1999-07-01 (eg. 2000-02-01)
Signatur	HB	Projektslut enl plan:	2001-06-30

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Uppnått resultat:

En andra version av modellsimuleringar med MIUU modellen har gjorts för Suorvaområdet med ett avståndet på 1 km mellan beräkningspunkterna över hela området från Ritsem till Stora Sjöfallet. Resultaten skiljer sig inte signifikant från de tidigare beräkningar, trots den bättre horisontella upplösningen, vilket antyder en relativ okänslighet hos resultaten för beräkningspunkternas täthet utanför det mest intressanta kärnområdet. Jämförelser med observationer på 4 platser visar att MIUU-modellen identifierar områden med höga respektive låga medelvindar. T.ex. gav modellen medelvinden 8.4 m/s på 35 m höjd för Suorva, medan mätningarna ger 8.1 m/s. Den ofta använda WAsP-modellen misslyckas helt i fallet Suorva och ger där endast 4.9 m/s i medelvind.

Under perioderna 11-21 september 2000 genomfördes en omfattande mätkampanj i Suorva. Fyra småmaster monterades tillfälligt upp tvärs dalgången vid Suorva, där vindhastighet och vindriktning mättes. Vindmätningar gjordes även med ballonger på tre platser tvärs dalgången, samt även längs med vägen mellan Vietas och Ritsem. En databas har sammanställts från mätkampanjen. En första analys har gjorts inom ramen för ett examensarbete i meteorologi. Den visar att signifikanta skillnader ofta förekommer i vinden på de olika mätplatserna (även om de bara ligger på några km avstånd) både tvärs och längs med dalgången på höjder upp till i höjd med de omgivande bergstopparna (ca 1000 m över mark), medan vinden därovan som väntat var likartad. I ett pågående arbete används data från mätkampanjen i maj 1999 för att verifiera beräkningarna med MIUU-modellen. Modellen körs därvid kontinuerligt för hela mätperioden.

Återstår:

Fördjupade analyser av mätkampanjerna 1999 och 2000. Färdigställa modellkörningarna för kampanjen 1999 och göra motsvarande för kampanjen 2000. Testa om en vidareutveckling av MIUU-modellen (icke-hydrostatisk version) ger skillnader i de modellberäknade vindarna i området.

Rapportering:

Bergström, H. and Källstrand, B., 2000: Measuring and modelling the wind climate in a mountain valley in northern Sweden. Proceedings from BOREAS V, 29 Nov.-1 Dec. 2000, Levi, Finland.

Bergström, H. And Källstrand, B., 2001: Estimating wind potential in a complex terrain arctic mountain valley. Proceedings from EWEC2001 2-6 July 2001, Copenhagen, Denmark.

Hedblom, A., 2000: The wind climate in a mountain valley in northern Sweden. Examensarbete, Institutionen för geovetenskaper – meteorologi, Uppsala universitet, 39 pp.

B. Tammelin, R. Hyvönen, H. Bergström, G. Botta, D. Douvikas, O. Rathman, M. Strack: Verification on Wind Energy Predictions Produced by WAsP and Some Mesoscale Models in European Mountains. Proceedings from EWEC2001 2-6 July 2001, Copenhagen, Denmark.

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift: 2001-09-11

Projekttitel:	IEA Annex XVII – Database on Wind Characteristics			
Teknikområde:	Vindunderlag	Budget	250	
Akronym:	ANNEX XVII	Upparbetat	104	
Ev. medfinansiär		Kvar	146	

Organisation:	MIUU	Avser perioden:	2000-07-01 – 2001-06-30
Projektledare:	Hans Bergström	Projektstart:	1999-09-01 (eg. 2000-02-01)
Signatur	HB	Projektslut enl plan:	2001-06-30

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Uppnått resultat:

IEA annex XVII utgör en fortsättning på ett tidigare JOULE projekt, och startade officiellt i Januari 99. Syftet med arbetet i annexet är att underhålla, vidareutveckla, och demonstrera en befintlig databas innehållande vindmätningar från ett flertal platser i Europa. En av huvudmålsättningarna har varit att utvidga den geografiska täckningen genom att involvera länder och organisationer utanför Europa (för närvarande USA och Japan), samt att utnyttja andra samarbeten för att få tillgång till intressanta mätkampanjer (tex. från Egypten och Indien).

Utvecklingen av databasen har inneburit försök med kombinerade vind och lastmätningar (Sky River USA, Vestas V39 i komplex terräng), samt implementering av mjukvara för användning i specifika projekt (tex. JOULE-projekten NewGust och ADAPTURB).

Under det sista året har web-gräsnittet vidareutvecklats (se www.winddata.com), och kontakt upprättats med potentiella användare i de deltagande länderna. I juli 2001 innehöll databasen ca 75000 timmar data från 41 platser, med en lägsta upplösning på 1 Hz. Mer än 150000 timmar med vindresursdata finns tillgängliga. Stora mängder data från NREL-projektet 'Turbulence Characterization for Wind Energy Development' håller för närvarande på att läggas in i databasen.

Den innevarande perioden slutade per 2001-06-30, och en förlängning har föreslagits för ytterligare en period.

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift: 2001-09-11

Projekttitel:	Vindförhållanden offshore och i kustzonen			
Teknikområde:	Vindunderlag	Budget	2289	
Akronym:	HAV & KUST	Upparbetat	600	
Ev. medfinansiär		Kvar	1689	

Organisation:	MIUU	Avser perioden:	2000-07-01 – 2001-06-30
Projektledare:	Hans Bergström	Projektstart:	1999-07-01 (eg. 2000-10-01)
Signatur	HB	Projektsslut enl plan:	2001-06-30

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Uppnått resultat:

En betydande del av arbetet har ägnats åt simuleringar med MIUU-modellen. Simuleringar och mätningar visar på betydelsen av low-level jets, initierade av temperatur- och skrovlighetsskillnader mellan land och hav. Resultaten från en klimatologisk vindberäkning för Östersjöområdet, gjord med 9 km horisontell upplösning, har utvärderats och funnits vara i mycket god överensstämmelse med de observationer som finns från höga master. Körningar med MIUU-modellen har även gjorts med 1-1.5 km upplösning för mindre områden runt Öland och Kalmar sund samt över Gotland. Dessa håller för närvarande på att bearbetas. Preliminära jämförelser med beräkningar med WA^{SP} visar att MIUU-modellen ger en större differens mellan vindarna offshore och vindarna vid kusterna. En utvidgad klimatologisk utvärdering av modellkörningarna för Östersjöområdet pågår. Preliminära resultat visar att low-level jets inte påverkar klimatet lika över hela Östersjön. Störst effekter kan förväntas över de västra och norra delarna av Östersjön. Även angränsande landområden påverkas av jeten. Vindpotentialberäkningar som görs med enklare modeller, t.ex. WA^{SP}, som inte kan generera low-level jets, ger sannolikt för låga vindar på högre höjder. Även om skillnaderna kan vara relativt små på 30-50 m höjd, växer inflytandet av jeten med höjden så att felen blir större på högre höjder.

Återstår:

Fortsatta klimatologiska utvärderingar av betydelsen av low-level jets, sjöbris, interna gränsskikt m.m. över Östersjön. Bearbetningar och analyser av de mer detaljerade modellkörningarna över Gotland och Ölandsområdet. Klimatologiska analyser av mätningarna från Näsudden-Bockstigenområdet för att studera vindens variation i kustzonen. Jämförelser av dessa resultat med olika modeller. Analys av fältkampanjen från maj 2000.

Rapportering:

Bergström H., 2001: Estimating offshore wind potential – a more complex task than expected? Proceedings from EWEC2001 2-6 July 2001, Copenhagen, Denmark.

Källstrand B., Bergström H., Højstrup J., and Smedman A.-S., 2000: Mesoscale wind field modifications over the Baltic Sea. Boundary-Layer Meteorol., 95, 161-188.

R. Barthelmie, G. Larsen, H. Bergström, M. Magnusson, U. Hassan, W. Schlez, K. Rados, B. Lange, I. Waldl, P. Vølund, S. Neckelmann, T. Christensen, T.G. Nielsen, J. Højstrup, G. Schepers, T. Hegberg, J. Coelingh, L. Folkerts: Efficient Development of Offshore Windfarms: A New Project for Investigating Wake and Boundary-Layer Interactions. Proceedings from EWEC2001 2-6 July 2001, Copenhagen, Denmark.

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift: 10sep2001

Projekttitel:	Aerodynamisk Dämpning Etapp 2			
Teknikområde:	Vindkraft	Budget	930000	
Akronym:	ADAM2	Upparbetat	625000	
Ev. medfinansiär		Kvar	305000	
Organisation:	FOI, FFA	Avser perioden:		
Projektledare:	Björn Montgomerie	Projektstart:	31 aug 1999	
Signatur	MeB	Projektslut enl plan:	31 juli 2001	

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Ett samarbete mellan FOI, FFA (FFA) och Teknikgruppen AB (TG) har under det gångna året skett.

FFA:

Detaljstudier av aerodynamisk karaktär har utförts. Resultat föreligger i form av en metod innehållande räkneargoritmer. Dessa är direkt lämpade att programmeras. Viss undersökning av algoritmernas riktighet (avbuggning) har utförts. Implementering i aeroelastisk kod (VIDYN) återstår fortfarande.

Planen för arbetet i projektet och i viss mån också målet förändrades i och med inbjudan att delta i **2nd NREL/NASA Ames Wind Tunnel Test Science Panel Meeting**. Motivet för förändringen var möjligheten att få validera det nyutvecklade aerodynamiska subrutinpaketet *Aerforce* mot mycket kvalificerade mätningar. Målet för mätningarna, som utförts av NREL i NASA AMES vindtunnel, var att få mätdata på aerodynamiska laster utmed bladet för olika förhållanden. Detta nyttjas "baklänges" så att aerodynamiska data kan extraheras för ADAM2. Testaggregatet var en tvåbladig maskin, som kördes både uppvinds och nedvinds samt med snedanblåsningsvinklar upp till ± 60 grader.

En VIDYN-modell av aggregatet togs fram och uppmätta egenfrekvenser trimmades in. Aerodynamiska laster beräknades för (20=13+7) angivna konfigurationer och situationer. Vid möte på NREL, med representanter för runt 20 deltagande beräkningsmodeller, presenterades av NREL jämförelser mellan beräkningar från deltagarna och mätningar. Denna jämförelse utgör tillgänglig dokumentation.

Genom att använda NREL-resultaten som jämförelsebas kom projekten ADAM2 och GIRA2 att kopplas fastare samman.

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift:

Projekttitel:	Dynamisk simulering av vindkraftverk			
Teknikområde:	Aerodynamik och strukturdynamik Vindsim	Budget	1032000	
Akronym:		Upparbetat	775000	
Ev. medfinansier		Kvar	257000	
Organisation:	KTH	Avser perioden:	2000/3 –2001/8	
Projektledare:	C Pacoste -> A. Eriksson	Projektstart:	2000-03-01	
Signatur		Projektslut enl plan:	2002-02-28	

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Delprojektet har till syfte att modellera det dynamiska beteendet hos hela vindkraftverket, inkluderande de genererande delarna, men också det bärande tornet. Syftet är att beskriva den hela strukturen i generella modellerande komponenter, för att möjliggöra jämförelser mellan olika konfigurationer, och på sikt även en optimering av den totala strukturen. Arbetet, vilket, avses resultera i en lic.avhandling under våren 2002 fortskrider väl enligt planen, och har hittills inneburit främst isolerade studier av de olika komponenter och aspekter som erfordra modellering. En viktig integrerande del i arbetet, som just slutförs är en programmessig sammanjämkning av programvara för dels generering av rums- och tidsmessig vindhastighetsvariation, dels de kraftkomponenter som angriper rotorbladets delar, med en allmän programvara för dynamisk strukturanalys. Tentativa resultat tyder på att denna integration kommer att fungera, och därmed tillåta simulering av den totala strukturens dynamiska beteende. Baserat på denna modell, kan parametriska analyser göras av olika källor till instabiliteter i beteendet, men också simuleringar av strukturens beteende under icke-normal driftsituationer. Inom projektets ram återstår framför allt en ytterligare verifiering av den sammankoppling som utvecklats mellan delfunktionerna, och en parametrisk studie av några väsentliga strukturella komponenter. I verifieringen ingår också en mindre studie av hur resultaten från simuleringar med algoritmiskt slumpmässiga vindfördelningar kan tolkas med avseende på strukturella effekter. Den rapportering, i form av en licentiatavhandling, som planeras kommer framför allt att behandla de metodmässiga aspekterna på utvecklingen av den diskuterade simuleringsmodellen och dess komponenter. Vissa relevanta exempel, behandlade med modellen, kommer att behandlas, och diskuteras, med främsta betoning på en verifikation av modellens relevans, men med några praktisk relevanta slutsatser.

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift: 10sep01

Projekttitel:	Giregenskaper för vindkraftverk, Etapp 2			
Teknikområde:	Vindkraft	Budget	1miljon	
Akronym:	GIRA2	Upparbetat	795000	
Ev. medfinansiär		Kvar	205000	
Organisation:	FOI, FFA	Avser perioden:	2000-07-01	
Projektledare:	Björn Montgomerie	Projektstart:	1998-07-01	
Signatur	MeB	Projektslut enl plan:	2001-08-31	

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Arbetet har delvis utförts som examensarbete inom området aerodynamik med inriktning mot girning av vindkraftverk. Detta kan också beskrivas som "free wake aerodynamics", vilket är den moderna metodik som krävs för att kunna beräkna krafterna på ett vindkraftverk som utsätts för stora och snabba förändringar av vindriktning och/eller girvinkel.

Resultatet föreligger som rapporterat examensarbete samt i form av fungerande Fortran-program som kan användas för vidare integration i ämnet. Arbetet kommer troligen att godkännas från FOIs sida under september. Vidare planeras under denna tid ett seminarium på FOI, FFA vilket kommer att föregå examenspresentationen på KTH.

En annan del av projektarbetet uppstod i och med inbjudan att delta i **2nd NREL/NASA Ames Wind Tunnel Test Science Panel Meeting**. Motivet för förändringen var möjligheten att få:

1. Validera det aerodynamiska subrutinpaketet *Aerforce* mot mycket kvalificerade mätningar
2. Skaffa ett högkvalitativt underlag för free wake modelleringen (att ingå i *Aerforce*)

Mätningarna, som utförts av NREL i NASA AMES vindtunnel, ger oss en mätdatabas på aerodynamiska laster utmed bladet för olika förhållanden. Testaggregatet var en tvåbladig maskin, som kördes både uppvinds och nedvinds samt med snedanblåsningsvinklar upp till ± 60 grader.

En VIDYN-modell av aggregatet togs fram och uppmätta egenfrekvenser trimmades in. Aerodynamiska laster beräknades för (20=13+7) angivna konfigurationer och situationer. Vid möte på NREL, med representanter för runt 20 deltagande beräkningsmodeller, presenterades av NREL jämförelser mellan beräkningar från deltagarna och mätningar. Denna jämförelse utgör tillgänglig dokumentation.

Genom att använda NREL-resultaten som jämförelsebas kom projekten ADAM2 och GIRA2 att kopplas fastare samman.

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift:

Projekttitel:	Non-axisymmetric wakes and the possibility to optimise the power output of wind turbine farms			
Teknikområde:	Aerodynamik och strukturdynamik NAWOPT	Budget		600
Akronym: Ev. medfinansiär		Upparbetat Kvar		

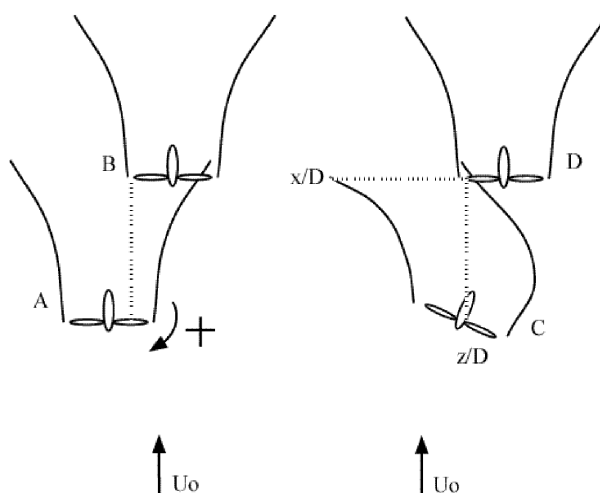
Organisation:	KTH	Avser perioden:	Jan 2001-nu
Projektledare:	H. Alfredsson	Projektstart:	Jan 2001
Signatur		Projektslut enl plan:	Dec 2004

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Projektet syftar dels till att utveckla förståelse för vakutbredning (axisymmetrisk såväl som icke-axisymmetrisk) i det atmosfäriska markgränsskiktet, dels att undersöka möjligheten att optimera energiuttaget i en vindkraftstation genom att aktivt kontrollera enskilda turbiners riktning för att därigenom minska vakarnas inverkan på turbiner placerade nedströms. Detta har tidigare inte undersökts och möjligheten att på detta sätt optimera energiuttaget kan komma att spela en allt större roll när vindkraftstationer blir större och vanligare i framtiden. Möjligheten att styra vakar kan också vara väsentligt för att minska de strömningsinducerade belastningarna på nedströmsturbiner. I projektet har doktoranden Davide Medici engagerats från 1 jan. 2001. Även Dr. Penny Parkin har deltagit i mätningarna under våren 2001.

En första studie för att undersöka vaken bakom en roterande modellturbin har genomförts med PIV (Particle Image Velocimetry). Undersökningen har gjorts dels med turbinplanet riktat normalt mot anströmningen, dels med turbinen snedställd (upp till 40 grader). Den ursprungliga hypotesen att en snedställning kan påverka vakutbredningen bekräftades av denna studie. Resultaten kommer att presenteras vid 4th International Symposium on Particle Image Velocimetry, Göttingen, September 17-19, 2001. Titeln på presentationen är "The application of PIV to the wake of a wind turbine in yaw".

För närvarande pågår en utvecklingen av mindre icke roterande modeller som kommer att användas för att simulera vindkraftverk. Det är viktigt att dessa har en motstånd som motsvarar ett vindkraftverk i fullskala och att vaken uppträder på samma sätt vid en snedställning av modellen.



VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift:

Projekttitel:	Islaster på vindkraftverk till havs			
Teknikområde:	LD	Budget	500 000	
Akronym:	ISVIT	Upparbetat	15 000	
Ev. medfinansier		Kvar	485 000	
Organisation:	Chalmers	Avser perioden:	00/01	
Projektledare:	Lars Bergdahl	Projektstart:	2001-03-01	
Signatur	LB	Projektslut enl plan:	2001-12-31	

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Uppnådda resultat:

Inga resultat egentliga har uppnåtts eftersom vi inte lyckats rekrytera någon doktorand till projektet. Vissa diskussioner har dock förts med Bengt Göransson Scanwind beträffande beräkning av islaster.

Avvikelser:

Projektets reella start blev den 1 september 2001 då en examensarbetare som gått mastersutbildningen i "Structural mechanics" att på heltid började arbeta med projektet under ledning från LB, vad gäller isbelastningens mekanik och vad gäller dennas modellering av tekn dr Karin Lundgren på Inst. för konstruktionsteknik.

Återstår:

I stort sätt allt arbete, men examensarbetaren, Karin Lundgren och LB kommer att med förenade ansträngningar göra det mesta som utlovats före jul. Den planerade rapporten kommer att innehålla:

Description of problem, outline of how to solve the problem in this work

Material properties of ice: Density, crystal structure, strength (load-rate dependence), and elasticity.

Ice sheets at sea: Frequency (in the Baltic), usual thickness, land-fast or moving ice

Ice loads: Difference of load action between cylindrical towers and sloping conical towers (cone pointing up or down). Subchapters: previous investigations, existing methods for load calculations.

Wind-Power Plant: Description of the foundation and the ground, the tower and the turbine as to structural properties (mass, stiffness and damping), some discussion on wind loads and turbine damping as well as damping from the water. (In this thesis we will make no mechanical model of the Wind power plant, but it should be described and will belong to the continued work)

FEM modelling in DIANA with the help of Doctor Karin Lundgren in Department of Structural Engineering. Possibilities, model restrictions, difference in approach between vertical structure and sloping structure, choose either case to start with. Try the other when successful?

Description of typical results from a few cases, including some verification against standard methods.

Validation of results, comparison with loads found in the literature or from recent measurements

Summary of calculation results

Conclusions and discussion

Rapportering:

Ingen

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift:

Projekttitel:	Våglaster på vindkraftverk till havs			
Teknikområde:	LD	Budget	500 000	
Akronym:	ISVIT	Upparbetat	268 000	
Ev. medfinansiär		Kvar	232 000	

Organisation:	Chalmers	Avser perioden:	00/01
Projektledare:	Lars Bergdahl	Projektstart:	2001-03-01
Signatur	LB	Projektslut enl plan:	2001-12-31

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Uppnådda resultat:

Projektproblemen har begränsats till att studera vågornas transformering från av botten opåverkade vågor på djupt vatten till starkt bottenpåverkade vågor på det ur vågsynpunkt grunda vatten som vindkraftverken normalt står på. Vid lastens överföring på strukturen antas att vindkraftverksfundamenten är en slanka konstruktioner med en liten diameter i förhållande till våglängden.

Avvikelser:

Inga modellförsök kommer att genomföras inom projektet, eftersom pengar till detta inte beviljades, men i en fortsättning av projektet kan det vara intressant, eftersom vågtransformeringen kan modelleras fysiskt med bra noggrannhet, medan däremot vattenströmningen kring själva tornet modelleras mer kvalitativt då stora skaleffekter uppträder vad gäller virvelbildning och avlösningspunkter.

Återstår:

En rapport om metoder för vågor på djupt vatten, transformation av vågorna från djupt in på grunt vatten och överslagsmetoder för beräkning av uppträdande belastningar från dessa kanske branta och höga vågor på grunt vatten, kommer att levereras i dec 2001.

Rapportering:

Ingen

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift:

Projekttitel:	Direktdrivna generatorer			
Teknikområde:	El & regl	Budget	550 kkr	
Akronym:	DDgen	Upparbetat	550 kkr	
Ev. medfinansiär		Kvar	000 kkr	
Organisation:	Chalmers Elteknik	Avser perioden:	00/01	
Projektledare:	Anders Grauers	Projektstart:	000701	
Signatur	AG	Projektslut enl plan:	010630	

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Resultat:

Projektet har under året utvecklat modeller för att kunna optimera direktdrivna generatorer bättre. Det har lett till att polbreddens koppling till den önskat höga generatorinduktansen har kunnat klarläggas. Det möjliggör en bättre optimering och en minskning av generatordiametern på i storleksordningen 10% har varit möjlig att uppnå. Det har även visat sig att styrningen av direktdrivna generatorer kommer att kräva mer sofistikerade styrmodeller än vad konventionella permanentmagnetmaskiner kräver, på grund av större inverkan av magnetisk mättning. Att ta fram de nödvändiga modellerna för en effektiv styrning är därför en viktig fortsättning för projektet.

Med den framtagna kunskapen kan en direktdriven generators elektromagnetiska dimensionering och dess prestanda beräknas med relativt god noggrannhet, vilket kommer att vara viktigt inför beslut om framtida vindkraftkoncept.

Avvikelser:

Problem att kunna styra direktdrivna generatorer med konventionella styrmodeller upptäcktes under projektets gång. Eftersom styrningen bedömdes lika viktigt för att uppnå små direktdrivna generatorer som konstruktionsstudier så har viss tid har lagts på att följa upp detta. Den undersökningen har lett fram till en ansökan om fortsättningsprojekt. Detta sidospår har fördröjt några delar av projektet, se nästa stycke.

Återstår:

Under hösten 01 utnyttjas det förbättrade konstruktionsprogrammet för att fortsätta undersöka vilka mekanismer som verkar mest begränsande på krafttätheten i en direktdriven generator. En skrivbordskonstruktion av en direktdriven generator kommer också att tas fram, för att exemplifiera hur en typisk direktdriven generator kan komma att se ut och vilken prestanda den kan ha.

Rapportering:

Inga artiklar publicerade under HT00 och VT01 men arbete pågår och publicering kommer snart ske.

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 00/01

Projekttitel:	Robust nätomriktare för hög tillgänglighet				
Teknikområde:	Elsystem		Budget	280 kkr	
Akronym:	Nätomriktare		Upparbetat	280 kkr	
			Kvar	000 kkr	
Organisation:	Chalmers		Avser perioden:	00/01	
Projektledare:	Jan Svensson		Projektstart:	990701	
Signatur	JS		Projektslut enligt plan:	010630	

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Uppnått resultat
 En övermodulationsstudie har utförts så att transistoromriktaren kan styras även då elnätet drabbas av en spänningsökning ("swells"). Vidare så har styrningen förbättrats vid normaldrift.
 En litteraturstudie av befintliga lösningar för omriktarstyrning vid nätfel har utförts. De vanliga typerna av nätfel har katalogiserats. Felets karakteristik ändras då det transmitteras genom elnätet till den punkt där omriktaren är ansluten. Beroende på feltyp, som resulterar i en ändring i amplitud och fas för de enskilda faserna, har den positiva- och negativa fasföljdspänningen samt nollföljdspänningen beräknats analytiskt. Vidare så har felkarakteristiken överförs till de positiva och negativa roterande koordinatsystemen. En on-line detektering har implementerats i simuleringar där den nätanslutna omriktaren har utsatts för nätfel. Tyvärr tar det en fjärdedels nätperiod att detektera de olika komponenterna. Simuleringsstudier med har gjorts med olika modifieringar av strömregulatorn i den nätanslutna omriktaren för att klara av driften av ett vindkraftverk då olika typer av nätfel inträffar. Resultatet ser mycket lovande ut (se rapportering).
 Tyvärr har ej undersökning om transformations-vinkelobserverare hunnits med.

Återstår

Se projektansökan.

Rapportering

Följande artiklar har publicerats under den aktuella tidsperioden:

J. Svensson, "Synchronisation methods for grid-connected voltage source converters," *IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.*, Vol.148, No.3, May 2001, pp.229-235.

A. Sannino, J. Svensson, "A Series-connected Voltage Source Converter for Voltage Sag Mitigation Using Vector Control and a Filter Compensation Algorithm," *2000 IEEE Industry Applications Conference, 35th IAS Annual Meeting*, 8-12 October 2000, Rome, Italy, pp. 2476-2481.

G. Saccomando, J. Svensson, "Transient Operation of Grid-connected Voltage Source Converter Under Unbalanced Voltage Conditions," accepted for presentation at *2001 IEEE Industry Applications Conference, 36th IAS Annual Meeting*, September 30 - October 5, 2001, Chicago, Illinois USA.

A. Sannino, J. Svensson, "Application of a Converter-based Series Device for Voltage Sag Mitigation to Induction Motor Load," accepted for presentation at *2001 IEEE Power Tech Conference*, 10-13 September, 2001, *Power Tech Conference*, Porto, Portugal.

O. Martander, J. Svensson, "Connecting Offshore Wind Farms Using DC Cables," *Wind Power for the 21st Century*, Kassel, Germany, 25-27 September 2000.

J. Svensson, A. Sannino, "Active Filtering of Supply Voltage by Series-connected Voltage Source Converter," *9th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'01)*, Graz, Austria, 27-29 August 2001, pp.1-13.

G. Saccomando, J. Svensson, "Control and Operation of Grid-connected VSC under Grid Disturbances in Variable-speed Wind Turbines," *2001 European Wind Energy Conference and Exhibition (EWEC'01)*, Copenhagen, Denmark, 2-6 July 2001.

O. Martander, J. Svensson, "DC/DC Converter Topologies for Wind Farms with DC-grid," *2001 European Wind Energy Conference and Exhibition (EWEC'01)*, Copenhagen, Denmark, 2-6 July 2001.

Föredrag

Föredrag med titeln "Kraftelektronikens intåg i vindkraftssystem". Sveriges Energiting 2001, Eskilstuna 14-15 mars 2001. 2 dagars konferens, organiserad av Energimyndigheten, med 900 deltagare.

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 00/01

Utskrift:

Projekttitel:	Vindkraftverk anslutna till likspänningsnät			
Teknikområde:	Elsystem	Budget	550 kkr	
Löpnummer:	E3	Upparbetat	550 kkr	
Akronym:	Liknät	Kvar	000 kkr	
Organisation:	Chalmers	Avser perioden:	00/01	
Projektledare:	Jan Svensson	Projektstart:	990701	
Signatur	JS	Projektslut enl plan:	010630	

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Uppnått resultat:

Projektet Vindkraftverk anslutna till likspänningsnät behandlar möjligheterna att uppnå mer ekonomiska lösningar för speciellt stora havsbaserade grupper av vindkraftverk. Mer energi kan exempelvis utvinnas med variabelt varvtal till havs än på land då begränsningarna av högsta turbinvarvtal till följd av acceptabel ljudnivå reduceras. Variabelt varvtal minskar också de mekaniska påkänningarna och gör det möjligt att undvika resonanser i systemet, vilket kan bidra till en ökad livslängd.

Existerande vindkraftparker byggs med antagandet att parken ansluts till ett växelspänningsnät. Med större vindkraftparker och med längre transmissionsavstånd så blir likspänningsöverföringar ett konkurrenskraftigt alternativ. Med likspänningsöverföring blir inte valet av det lokala nätet i vindkraftparken lika självklart längre. Olika konfigurationer för elsystemet har föreslagits och en beräkning av kostnader har gjorts där ett antal olika konfigurationer av vindkraftparker med likströmsnät har jämförts med en konventionell växelströmslösning. Det som framför allt skiljer sig åt mellan de olika konfigurationerna är förlusterna. Förlusterna i omriktarna är i dagsläget relativt stora, vilket gör att energivinsterna med variabelt varvtal minskas. Avståndet från parken till land har dock en avgörande betydelse och vid tillräckligt långa avstånd är likström det enda alternativet. Förlusterna och kostnaderna för överföringen från vindkraftparken till land kommer att minska i takt med att halvledar- och kabeltekniken utvecklas.

Tre olika omriktartopologier har valts ut och studerats närmare i en tänkt vindkraftpark. Det första problemet är den varierande utspänningen när generatoren går med variabelt varvtal och det andra problemet är att höja spänningen så att energin går att överföra utan för stora förluster. Boostomriktaren är lämplig för att anpassa spänningen från generatoren till det lokala vindparksnätet och en hel- eller halvbrygga kan användas för att höja spänningen till en lämplig överföringsnivå. Ofta måste spänningen höjas i minst två steg. En modell har skapats över en vindkraftpark med de olika omriktarna och de första simuleringarna har körts för att verifiera systemet.

Rapportering:

Artiklar – “Connecting Offshore Wind Farms Using DC Cables” presenterad på Wind Power for the 21st century Kassel, 25-27 September 2000

“DC/DC converter topologies for Wind Farms” presenterad på 2001 European Wind Energy Conference and Exhibition, Copenhagen, 2-6 July 2001

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift:

Projekttitel:	Konfigurationsstudie av HVDC-vindpark				
Teknikområde:	EL		Budget	450 kkr	
Akronym:	HvdcPark		Upparbetat	450 kkr	
Ev. medfinansiär	ABB/PWR		Kvar	0 kkr	
Organisation:	CTH		Avser perioden:	00/01	
Projektledare:	Torbjörn Thiringer		Projektstart:	000701	
Signatur			Projektslut enl plan:	030701	

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Mål:

Målet med projektet är att undersöka olika vindparkskonfigurationers förmåga att producera en jämn uteffekt samt att väga denna förmåga mot kostnaden för den producerade energin för respektive konfiguration.

Rapportering:

Lundberg, S., Petru, T., Thiringer, T., "Electrical Limiting Factors for Wind Energy Instalations in Weak Grids". *International Journal of Renewable Energy Engineering*, Vol 3, No. 2, 2001.

Thiringer, T., Petru, T., Lundberg, S., "Flicker contribution from wind turbine installations". Inskickad för reviewing till *IEEE Transactions on Energy Conversion*.

Uppnått resultat:

Steg 1 i projektet var att undersöka olika vindkraftverkstyper som kan komma att ingå i vindparkerna. För detta användes mätningar från tre olika vindinstallationer runt om i landet. Ett viktigt mål för steg 1 var att studera högfrekventa effektpulsationer och om dessa kunde orsaka ojämn uteffekt från de framtida vindparkerna. Resultatet funnet var att för parker med vindkraftverk med konstant varvtal och överstegringsreglering kommer effektpulsationer inte att vara ett problem om parken har fler än ca 5 verk. För vindkraftverk med variabelt varvtal var resultatet att flickeremission aldrig blir ett problem såvida inte effektomriktarna är felställda.

Avvikelser:

Projektet löper enligt plan.

Återstår:

Under hösten 2001 pågår en utvärdering av olika vindparkskonfigurationers energifång och kostnader för den producerade energin. Vindparkskonfigurationer som kommer att undersökas är rena AC och DC parker samt parker med både AC och DC. Under våren 2002 startar den avslutande studien av en eller några konfigurationers dynamiska egenskaper och reglering av dessa.

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift:

Projekttitel:	Undersökning av metoder för att förbättra elkvaliteten från överstegringsreglerade vindkraftverk med generator med reglerbar eftersläpning				
Teknikområde:	ELsystem		Budget	188 kkr	
Akronym:	Slipstyr		Upparbetat	188 kkr	
Ev. medfinansiär	NWP		Kvar	0	

Organisation:	CTH	Avser perioden:	00/01
Projektledare:	Torbjörn Thiringer	Projektstart:	001001
Signatur		Projektslut enl plan:	020930

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Mål:

Målet med projektet är att fastställa möjligheter, potential och begränsningar med aktiv rotorresistansstyrning (eftersläpningsstyrning) av överstegringsreglerade vindkraftverk. Framförallt ur elkvalité- samt drivlinelastsynpunkt. Aspekter som är viktiga att värdera är flickerpåverkan, drivlinelaster, generatorverkningsgrad samt val av ingående drivlinekomponenter.

Rapportering:

Inga publicerbara resultat är ännu uppnått inom projektet

Avvikelser:

Projektet löper enligt plan.

Genomfört arbete:

En modell av experimentvindkraftverket innehållande en aerodynamisk modul, en enkel drivlinerepresentation samt detaljerad asynkronmaskinmodell har upprättats.

En första strategi för att minska elkvalitépåverkan har utvecklats och provats teoretiskt för några enkla fall med lovande resultat.

Parallellt med det teoretiska arbetet har ett mätinsamlingssystem tagits fram, installerats och testats under sommaren. De första resultaten visar inte oväntat på att ju högre eftersläpningsvärden som används ju bättre blir elkvalitén. Resultaten visar också på att den matande spänningen innehåller variationer som i relativt hög grad påverkar vindkraftverkets uteffekt.

Kommande arbete:

Under början av hösten startar en mätkampanj med fasta slip-värden under olika vindförhållanden. Resultaten används därefter för att bedöma den framtagna modellens prestanda. Parallellt med detta kommer under hösten olika reglerstrategier att undersökas för att under våren börja implementeras i experimentkraftverket.

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift:

Projekttitel:	Styrmeter för vindkraftverksgenerator och vindkraftverk			
Teknikområde:	ELsystem	Budget	450 kkr	
Akronym:	Styrvind	Upparbetat	450 kkr	
Ev. medfinansiär		Kvar	0	

Organisation:	CTH	Avser perioden:	00/01
Projektledare:	Torbjörn Thiringer	Projektstart:	000401
Signatur		Projektslut enl plan:	030401

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelse/Återstår/Rapportering/etc

Mål:

Projektets mål är att utveckla och utvärdera metoder för styrning och reglering av vindkraftsgeneratorer och vindkraftverk. I fokus står att utforma regleringar för svaga nät där elkvaliteten är bristfällig. Projektets vetenskapliga mål är att föra doktoranden Andreas Petersson till licentiatexamen.

Rapportering:

Inga publicerbara resultat har ännu uppnåtts inom projektet

Avvikelse:

Projektet löper enligt plan. Bengt Schmidtbauer som från början var tänkt att delta i projektet har valt att gå i förtida pension och har ersatts med Professor Lennart Harnefors som numera är gästprofessor i elektriska drivsystem (20 %) vid institutionen för Elteknik.

Kursdelen för licentiatexamen är avklarad genom kurser i reglerteknik och näraliggande ämnesområden.

Genomfört arbete

Befintliga modeller av 1) drivlinor för vindkraftverk, 2) asynkronmaskiner samt 3) konvertering av vind till axeleffekt har studerats, implementerats och modifierats för att passa utvecklandet av reglerstrategier.

Olika vindkraftskoncept har studerats och det funna resultatet är att de bladvinkelreglerade vindkraftverken med variabelt varvtal tycks vara de som kommer att dominera den närmaste framtiden. Det finns två olika koncept, antingen har man en generator med en omriktare i statorkretsen eller så har man en släpringad asynkronmaskin med en omriktare i rotorkretsen. Den senare typen verkar bli allt vanligare, på grund av lägre förluster samt mindre omriktare.

I fallet med en omriktare i generatorns statorkrets blir själva generatorstyrningen ganska enkel medan styrningen av rotoromriktarsystemet är besvärligare eftersom generatoren då blir ett system som matas med två ostyrbara instorheter, vinden och statorspänningen och den storhet man påverkar är rotorspänningen. Ett problem som är vanligt förekommande i dessa styrningar är oscillationer i maskinens flöde

Kommande arbete

Under hösten startar laboratorieprov på en släpringad 22 kW:s asynkronmaskin där de framtagna reglerstrategierna skall testas, dels i stationärtillstånd och dels när matningsspänningen störs. Dessa prover beräknas pågå fram till våren 2002. Under våren 2002 startar studier av de överordnade styrsystemet för vindkraftverket, där nyckelfrågan är: Hur får vi ut maximal energi, till priset av minimal belastning på det mekaniska systemet samt med bästa möjliga elkvalitépåverkan.

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift:

Projekttitel:	Ljudalstring hos vindkraftverk				
Teknikområde:	AK	Budget		1.400.000	
Akronym:	BALV	Upparbetat		1.742.800	
Ev. medfinansier	-	Kvar		-342.800	
Organisation:	KTH	Avser perioden:	00-07-01	01-06-30	
Projektledare:	Sten Ljunggren	Projektstart:	98-07-01		
Signatur	SLj	Projektstut enl plan:	01-06-30		

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelse/Återstår/Rapportering/etc

Målet för arbetet har varit att utveckla beräkningsmodeller för hur mycket akustisk effekt (i praktiken huvudsakligen stomljud från växellådan) som matas in i aggregatets torn vid olika geometrier.

Problemet har lösts med hjälp av moderna matematiska metoder, s k permutationsmetoder (Matched Asymptotic Expansions). Arbetet delades upp i två delar där den första behandlar det axisymmetriska fallet och den andra ett antal andra fall. I båda fallen blev det möjligt att ta fram enkla analytiska uttryck för tornets s k ingångsmobiliteter, dvs den kvantitet som bestämmer inmatning av ljudet till tornet. Detta är ganska anmärkningsvärt eftersom man tidigare har kunnat visa att det är omöjligt att härleda dessa resultat på vanlig analytisk väg. Det kan tilläggas att detta är första gången som Matched Asymptotic Expansions har använts på ett akustiskt responsproblem.

Dessa mycket generella resultat har gjort det möjligt att studera vissa frågor av speciellt intresse för tillverkare av vindkraftverk. Försök har därvid gjorts att finna enkla åtgärder som minskar ljudöverföringen till tornet. Det har därvid vistats att detta kan åstadkommas genom en förstärkning av tornets övre del med en ring. Enkla dimensioneringsregler för en sådan ring har tagits fram.

Arbetet resulterade i en doktorsdisputation våren 2001.

Referenser

O. Fégeant:

Noise from Wind Turbines. Division of Building Technology, Dep of Building Sciences, KTH, Bulletin No 184, 2001.

"Structural mobilities for the edge-excited, semi-infinite cylindrical shell using a perturbation method" (Accepted for publication in the *Journal of Sound and Vibration*)

"Wind-induced vegetation noise, part I: a prediction model" *Acustica united with Acta acustica* **85**(2), 228-240 (1999)

"Wind-induced vegetation noise, part II: field measurements" *Acustica united with Acta acustica* **85**(2), 241-249 (1999).

"On the masking of wind turbine noise by ambient noise" *Proceedings of the European Wind Energy Conference, EWEC '99*, Nice, France, 1-5 March 1999, 184-188. "On the use of a vertical microphone board to improve low signal-to-noise ratios during outdoor measurements" *Applied Acoustics* **53**(4), 291-312 (1998).

"Closed-form solutions for the point mobilities of axisymmetrically excited cylindrical shells" *Journal of Sound and Vibration* **243**(1), 89-115 (2001).

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift:

Projekttitel:	Ljudutbredning kring havsbaserade vindkraftverk				
Teknikområde:	AK	Budget		750.000	
Akronym:	LJUV	Upparbetat		456.000	
Ev. medfinansiär	-	Kvar		294.000	
Organisation:	KTH	Avser perioden:	00-07-01	01-06-30	
Projektledare:	Sten Ljunggren	Projektstart:	00-06-20		
Signatur	SLj	Projektslut enl plan:	02-12-30		

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Arbetet har inletts med en grundlig litteraturinventering och direkta kontakter med vissa forskare i Europa. Arbetet har koncentrerats på områdena scattering och beskrivning av vattenvågor. Resultaten kan sammanfattas på följande sätt.

Scattering

Olika modeller för beräkning av scattering i ojämna ytor har undersökts: perturbationsteori, Boss-teori, Kirchhoff-teori med mera. Ingen av de undersökta modellerna kan användas direkt för vattenytor. Perturbationsteori och Boss-teori är tillämpbara endast för små ojämnheter medan Kirchhoff-teorin ej tar hänsyn till multipla reflektioner. Vidare har hittats två empiriska metoder för just vattenytor. Dessa är dock avsedda för undervattensljud respektive mikrovågor, dvs för längre respektive kortare våglängder än vad som är aktuella här.

Vattenvågor

Vattenvågors uppkomst och utseende har studerats tillsammans med olika metoder för att förutsäga vågorna utifrån rådande vindförhållanden. Det har visats att det främst är de s k gravitationsvågorna med en period några få upp till 10 sekunder som är intressanta i vindkraftssammanhang. Gravitationsvågorna kan beskrivas med empiriska relationer eller via energianalys.

Beräkningsmodeller

Av de tre viktigaste metoder för beräkning av ljudutbredning (strålteori, Fast Field Program samt Paraboliska ekvationer) bedöms PE-modellen vara mest intressant i detta sammanhang. Detta beror på att den bättre kan hantera varierande meteorologiska förhållanden, långväga ljudutbredning samt ojämna ytor än de båda andra. Mjukvara finns också tillgänglig.

Det fortsatta arbetet är nu inriktat på en närmare studie av beräkning av ljudutbredning med PE-teknik och där full hänsyn tas till gravitationsvågornas inverkan.

Referens

L. Johansson: "Scattering från vattenvågor", arbetsrapport 2001:4, institutionen för Bygghälsan, KTH.

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift:

Projekttitel:	Störningsundersökningar bland människor boende i närheten av vindkraftverk				
Teknikområde:	Sociotekn		Budget	436 000	Ekonomisk redovisn 020228
Akronym:	Stuv II		Upparbetat		
Ev. medfinansiar			Kvar		
Organisation:	GU		Avser perioden:	2001-01-01 – 2001-06-30*	
Projektledare:	K Persson Wayne		Projektstart:		
Signatur			Projektslut enl plan:	förlängd disposition till 01-12-31	

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Uppnått resultat

Enkätundersökningen som utfördes i södra Halland sommaren 2000 har analyserats tillsammans med ljudutbredningsberäkningar. Några av resultaten var:

- Inga andra störningar än de som tidigare rapporterats har framkommit (buller från rotorblad och maskinhus, skuggor och reflexer från rotorbladen, förändrad utsikt).
- Buller från rotorbladen var den vanligaste störningen.
- Andelen störda av buller ökar med stigande ljudnivåer, men det var relativt många som stördes trots låga nivåer. Bland de som exponerades för ljudnivån 35,0-37,5dBA var det 43,4% som stördes ganska mycket eller mycket.
- Den ekvivalenta ljudnivån var dock bara en förklaring till bullerstörning. Visuella faktorer har betydelse, men attityden till vindkraft tycks inte spela så stor roll. Störst förklaringsgrad har den psyko-akustiska karaktären svischande.

Avvikelser

Sjukskrivning under våren har försenat projektet. Kontraktförsening har inneburit begärd förlängning av dispositionsrätt samt förlängd till för ekonomisk redovisning. Planering och genomförande av nya störningsundersökningar under sommaren 2001 fick avbrytas, då inga projektmedel beviljats.

Återstår

Fortsatt ljudregistrering i området.
Doktorandförberedande arbete (kurser).
Artikelskrivning

Rapportering

Rapport sänds till STEM oktober 2001.
Artikel för vetenskaplig publicering planerad till dec 2000

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift:

Projekttitel:	Vindkraftens utformning i landskapet i samklang med andra markintressen		
Teknikområde:	Sociotekn	Budget	650.000
Akronym:	Samklang	Upparbetat	
Ev. medfinansiär		Kvar	
Organisation:	SLU Alnarp	Avser perioden:	2000
Projektledare:	Erik Skärbäck	Projektstart:	1999-01-01
Signatur		Projektslut enl plan:	2001-04-30

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Doktorandprojektet bygger på olika delstudier, bland vilka fallstudien av den kommunala planeringen i Falkenberg utgör huvuddelen i första etappen, vilken skulle avslutats april 2001.

Öppna djupintervjuer med involverade tjänstemän på kommun och länsstyrelse samt exploitörer har genomförts kring två vindkraftsetableringar i Falkenbergs kommun. Dessa intervjuer, samt skriftligt material kring ärendena, skulle ha analyserats under våren. Dock har projektet gjort uppehåll sedan årsskiftet, eftersom doktoranden fått projektanställning på Länsstyrelsen i Skåne, för att där arbeta fram en regional handlingsplan för vindkraft. Med erfarenheterna från det projektet, ska doktorandprojektet på Alnarp fortsätta i november 2002. Efter att resultaten från etapp 1 sammanställts och rapporterats, ska då etapp 2 igångsättas. I doktorandprojektet har hittills 26 av totalt 40 poäng kurser avklarats.

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift: 2001-09-11

Projekttitel:	Mätningar i master			
Teknikområde:	Resurser	Budget	1020	
Akronym:	MAST	Upparbetat	500	
Ev. medfinansiär		Kvar	520	
Organisation:	MIUU	Avser perioden:	2000-07-01 – 2001-06-30	
Projektleddare:	Hans Bergström	Projektstart:	1999-07-01 (eg. 2000-02-01)	
Signatur	HB	Projektslut enl plan:	2001-06-30	

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Uppnått resultat:

1 Hz-mätningar av vindhastighet, vindriktning och temperatur på flera höjder (typiskt 4-5) ovan mark har gjorts på Östergarnsholm i en 30 m mast, på Näsudden i en 145 m hög mast, inom ramen för projektet Tedrift i en 60 m mast vid stranden på Näsudden och i en 40 m mast vid Bockstogens vindfarm, i en 36 m mast i Suorva i Lapplands fjälltrakter samt i en 66 m mast i Lyse på västkusten. Mätningarna har bearbetats löpande, kontroll av kvaliteten hos data gjorts och en loggbok förts över mätsystemens status. Service av mätsystemen har utförts vid behov.

Databasen lagras på CD-ROM för att finnas tillgänglig för analys inom andra forskningsprojekt. Mätningarna har utökat den unika databanken med vinddata som samlats under ett flertal år, och som är speciellt avsedd att utnyttjas för vindkraftsetablering. Den innehåller information både om medelvindförhållanden och turbulens.

Avvikelser:

Mätningarna i Lyse har p.g.a. tids- och personalbrist inte kunnat övervakas under det senaste året.

Återstår:

Mätningarna bör fortgå i de tre masterna i Näsudden/Bockstigen, på Östergarnsholm, samt i Suorva för att erhålla goda statistiska underlag avseende vindförhållandena, speciellt avseende extrema vindhändelser.

Rapportering

Ingen.

VKK PROJEKTUPPFÖLJNING 2000/2001

Utskrift:

Projekttitel:	Drift av Hönö provstation				
Teknikområde:	El & regl		Budget		
Akronym:	Hönödrift		Upparbetat		
Ev. medfinansiär	Göteborg Energi		Kvar		
Organisation:	Chalmers Elteknik		Avser perioden:	000701	
Projektledare:	Magnus Ellsen		Projektstart:	010630	
Signatur	ME		Projektslut enl plan:	010630	

Redovisning: Uppnått resultat/Avvikelser/Återstår/Rapportering/etc

Resultat:

Under året har vindkraftverkets regler- och övervakningsprogram utvecklats. Vidare har stora insatser gjorts på att göra mätsystemet mer allsidigt och användarvänligt. Vidare har ett flertal förbättringar och underhållsarbeten utförts på vindkraftverket, meteorologimasten och arbetsbodarna.. Vi har haft besök på anläggningen i form av kurslaborationer, studiebesök och öppet hus

Vindkraftverkets mätsystem har börjat läggas om till LabView-miljö. Denna miljö ger möjligheter till att relativt lätt bygga upp överskådliga användargränssnitt.

Arbetet med vindkraftverkets regler- och övervakningsprogram har bland annat resulterat i en väl fungerande spänningsregulator, som möjliggör lite högre effektuttag ur vindkraftverket. Några körningar i vindar omkring märkvind under något tiotal timmar har gjorts. Syftet har bland annat varit att testa och trimma in reglerprogrammet för så hög uteffekt som möjligt. Mätningar har samtidigt genomförts för att studera ett flertal intressanta beteenden hos generator, elsystem och vindkraftverk. Som exempel kan nämnas: Att verifiera reglerprogrammets funktion, studera generatorns temperaturhöjning vid olika uteffekt, studera hur generatorns elektriska prestanda påverkas av olika drifttemperaturer, ta reda på vid vilket varvtal som turbinens inkommande moment kan bli större än generatorns bromsande moment. Detta arbete har presenterats på EWEC '01 i Köpenhamn.

Under året har studiebesök anordnats vid vindkraftverket. Vidare hade Institutionen öppet hus vid vindkraftverket under Vetenskapsfestivalen i Göteborg.

Återstår:

Att vidareutveckla regulatorer så att bästa möjliga prestanda kan erhållas från det överstegringsreglerade vindkraftverket med den permanentmagnetiserad generator.

Rapportering:

Artikel till Vindbladet

“Control and operation experience of a 40 kW directly driven permanent magnet wind turbine generator with a frequency converter” presenterad på 2001 European Wind Energy Conference and Exhibition, Copenhagen, 2-6 July 2001.