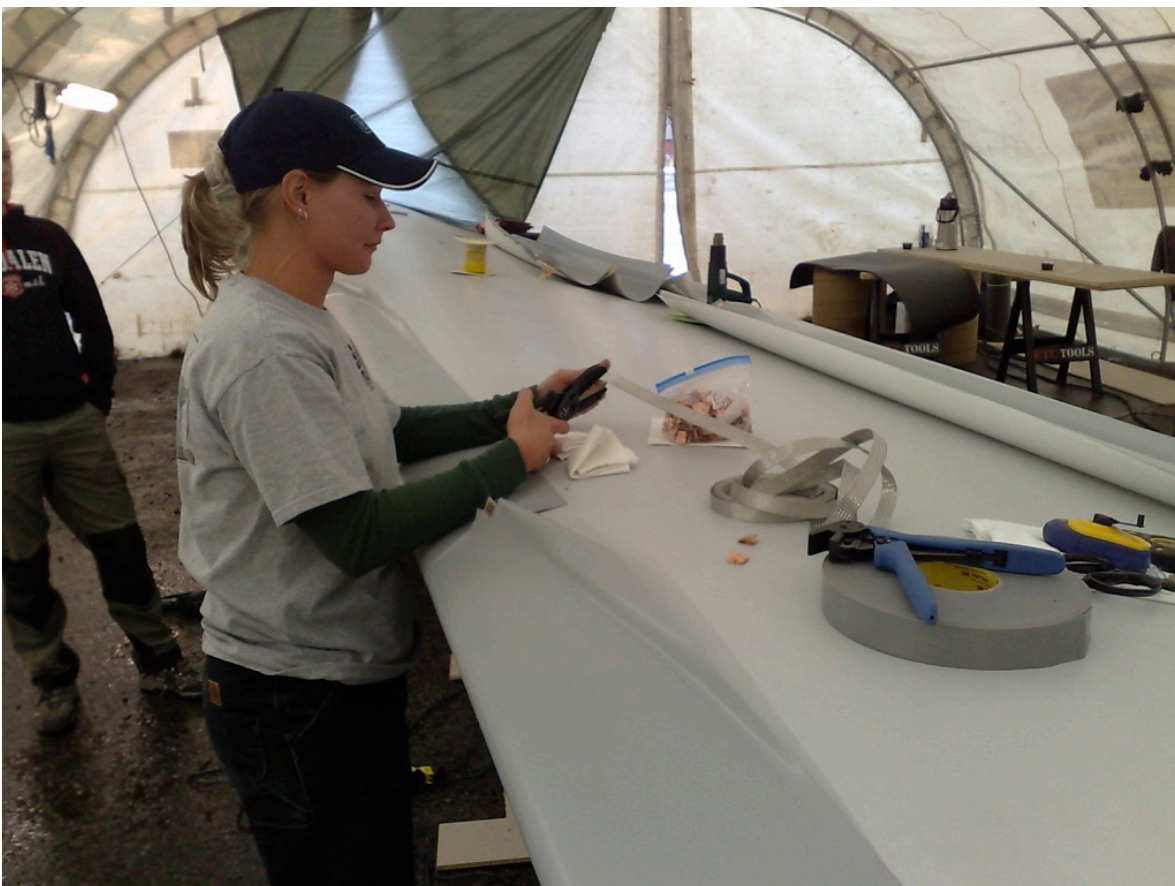


Lärdomar från projektet ”Storskalig, kostnadseffektiv vindkraft i fjällmiljö”

Göran Ronsten
OX2 & WindREN
goranronsten@windren.se



Innehållsförteckning:

1. Sammanfattning	4
2. Introduktion	5
2.1 Vindkraft i Sverige – nu och i framtiden.	5
2.2 Vindkraft i klimat där nedisning förekommer.....	7
3. Motiv.....	7
3.1 Det är dyrt att inte producera enligt förväntningarna.....	7
3.2 Nedisning minskar ersättningen för el vid långsiktiga kontrakt.	7
4. Varför började vi inte kartläggningen av nedisning tidigare?	8
5. Beslutet baserades på intuition snarare än fakta	9
6. VINDPILOTPROJEKTET – Storskalig ekonomisk vindkraft i fjällmiljö.....	9
6.1 Avisningssystem.....	9
6.2 Metoder för att detektera och avisa turbinerna	10
6.3 Synoptiska ismätningar.....	12
7. Resultat och diskussion	13
7.1 Bakgrund.....	13
7.2 Kartläggning av nedisning.....	16
7.3 Presentationer under vid IWAIS 2015	19
8. Slutsats.....	23
9. Deltagarna kommenterar projektet	23
9.1 Weathertech	23
9.2 Kjeller Vindteknikk	24
9.3 Vestas.....	25
9.4 OX2	25
9.5 SMHI.....	26
9.6 Leading Edge Atmospheric och FMI	26
9.7 HoloOptics	27
9.8 MW Innovation	27
9.9 In Situ Instrument	28
9.10 Combitech.....	28
9.11 Umeå Energi	29
9.12 Siemens Wind Power	29
10. Referenser	30

1. Sammanfattning

Projektets främsta mål har varit a) att stödja utvecklingen och installationen av 40 avisningssystem och b) att fyra konkurrerande meteorologiska företag ska utveckla och förbättra metoder för bedömning av produktionsförluster orsakade av nedisning. Energimyndigheten finansierade projektet med cirka 7,25 miljoner euro (72,5 miljoner kronor) mellan 2008 och 2015.

Projektet omfattade bland annat synoptiska mätningar av nedisning, kartläggning av nedisning, dagliga produktionsprognoser med fokus på förluster orsakade av nedisning, säsongsrapporter, avisning av turbinblad samt en utvärdering av prestanda och laster med avseende på nedisning. Utvecklingen av ny teknik för att bättre kunna utnyttja klimat där nedisning förekommer har gått snabbt sedan 2008. Speciellt glädjande är att det numera finns kommersiella avisningssystem från ledande turbintillverkare.

Anledningen till att det i början fanns ett bristande intresse var en moment 22-liknande situation där bristen på kartläggning av nedisning förhindrade genomförandet av marknadsundersökningar. En banbrytande marknadsundersökning [1] har varit tillgänglig sedan början av 2013.

"The review concludes that more than 71.5 GW of installed capacity at the end of 2012 was operating in Cold Climate regions around the globe. Over the WMU's forecast period to 2017, 50 GW of the expected wind power capacity will be installed in Cold Climates."



Figur 2: Is på ett rotorblad, som har tagits ner för att demontera ett avisningssystem. Bilden på framsidan visar manuellt montage av avisningsfolie.

2. Introduktion

2.1 Vindkraft i Sverige – nu och i framtiden.

I slutet av 2014 hade Sverige en växande installerad vindkraftskapacitet med 5 425 MW [2] som producerade 11,5 TWh.

Wind Energy Worldwide				
Top 12 countries by total wind installations				
Position 2013	Country/Region	Total capacity end 2014 ** [MW]	Added capacity 2014 *** [MW]	Growth rate 2014 [%]
1	China	114'763	23'350,0	25,7
2	USA	65'879	4'854,0	7,8
3	Germany	40'468	5'808,0	16,8
4	Spain	22'987	27,5	0,1
5	India	22'465	2'315,1	11,5
6	United Kingdom	11'998	1'467,0	13,9
7	Canada	9'694	1'871,0	25,9
8	France	9'296	1'042,0	12,6
9	Italy	8'663	107,5	1,3
10	Brazil	6'182	2'783,0	81,9
11	Sweden	5'425	1'050,0	21,4
12	Denmark *	4'850	78,0	1,6
	Rest of the World	47'300	7'000 (estimated)	16,0
	Total	370'000	51'753	16,2

* by november 2014
 ** Includes all installed wind capacity, connected and not-connected to the grid.
 *** Includes the net capacity added during the year 2014.

© WWEA - 2015

Tabell 1: Installerad effekt i slutet av 2014

Detta motsvarade 8 procent av landets elförbrukning [3]:

"Annual installations of wind power in the EU have increased over the last 14 years, from 3.2 GW in 2000, to 11.8 GW in 2014 at a compound annual growth rate (CAGR) of 9.8%. New wind capacity market shares were: Germany (44.8%), the UK (14.7%), Sweden (8.9%), France (8.8%), Poland (3.8%), Austria (3.2%), Romania (3%), Belgium (2.5%), Ireland (1.9%), and all others accounted for less than 10% in 2014."

"The total installed offshore wind capacity for Europe now stands at 8,045 MW in 74 offshore wind farms in 11 European countries. Almost 1.5 GW of offshore wind was installed in 2014, 5.3% less than 2013. Offshore wind power installations represented 12.6% of the annual EU wind energy market, down from 14% in 2013."

De senaste 12 månaderna, t o m augusti 2015, har vindkraften genererat 15 TWh.

Ett scenario med 100 procent förnyelsebar energi har studerats av Söder [4], där 60 TWh el kommer från vind- och solkraft.

"I denna rapport beskrivs först Sveriges nuvarande elsystem samt hur elbalansen upprätthålls. Sverige har delats in i 4 områden och effektsimuleringar (medelvärden per timme) har analyserats. Därefter görs en analys av behovet av reglerkraft vid integration av 60 TWh vind- och solkraft i det svenska elsystemet.

A. Fyra olika Case har studerats. I samtliga scenarier finns 48 TWh vindkraft och 12 TWh solkraft.

...

B. Ett viktigt budskap är att man förstår att elförbrukningen i Sverige varierar betydligt mer från timme till timme än, t ex, 12000 MW vindkraft. Detta är centralt för förståelsen av hur mycket mer reglerkraft (om man definierar detta som att motbalansera variationer) som behövs vid större mängder vindkraft. Även med, t ex, 12000 MW vindkraft blir det inga dramatiska förändringar av detta behov."

Hur mycket är 60 TWh jämfört med den el som produceras med kärnkraft i Sverige?

Fram till 1999 hade Sverige 12 kärnkraftverk i drift. En av två reaktorer i Barsebäck lade ned produktionen under 1999 och den andra stängdes ned 2005.

Majoritetsägarna av reaktorerna i Oskarshamn (E.ON) och Ringhals (Vattenfall) meddelade nyligen (i juni 2015) att de har för avsikt att stänga ytterligare fyra reaktorer före 2020 med hänvisning till dagens låga elpriser, som enligt prognoserna kommer att fortsätta vara låga.

Den genomsnittliga årsproduktionen från kärnkraft i Sverige från 2005–2014 uppgick till 59,6 TWh. Statistik för 2001–2013 finns i [5].

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Production													
Hydro power	78 418	65 811	53 087	60 085	72 010	61 192	65 591	68 550	64 973	66 773	66 609	78 412	60 935
Wind power	482	608	679	850	949	988	1 432	1 996	2 485	3 502	6 101	7 165	9 842
Solar	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	13	19	35
Nuclear power	69 211	65 550	65 454	75 000	69 764	64 983	64 279	61 266	49 987	55 626	58 026	61 393	63 597
Conventional thermal power	9 524	11 264	13 315	12 889	12 260	13 151	13 406	14 150	15 839	19 056	16 779	15 456	14 789

Tabell 2: Årsproduktion för olika energislag 2001–2013 (GWh).

2.2 Vindkraft i klimat där nedisning förekommer.

Målet för varje ägare av en vindkraftspark är att vindkraftverken ska vara driftklara när det blåser, det vill säga att tillgänglighetsgraden ska vara hög. Nedisade turbinblad utgör en betydande utmaning för tillverkarna, liksom för de som utvecklar och äger vindkraftsparker i regioner med kallt klimat runt om i världen. De viktigaste orsakerna till oron är: personlig säkerhet, produktionsförluster, ökat oljud och en förväntad minskning av komponenternas livslängd.

3. Motiv

3.1 Det är dyrt att inte producera enligt förväntningarna.

Den el som produceras av svenska vindkraftsparker säljs antingen via långsiktiga kontrakt till fast pris eller på den nordiska spotmarknaden till marginalpriset från den dyraste produktionsenhet som krävs vid det aktuella tillfället. Bristande produktion på grund av nedisade turbinblad när produktionsprognoserna endast bygger på vindkraft utgör inget större problem om den installerade produktionskapaciteten från vindkraft är låg (låg penetration).

En betydande ökning av vindkraftskapaciteten i norra Sverige kräver emellertid kommersiellt tillgängliga avisnings- och anti- isbildningssystem. När detta projekt inleddes 2008 var det endast en enda tillverkare som erbjöd avisningssystem.

3.2 Nedisning minskar ersättningen för el vid långsiktiga kontrakt.

Innan en vanlig vindkraftspark byggs fokuserar projekören på fyra saker: vind, vind, vind (effekten är proportionell mot vindhastigheten i kubik) samt infrastruktur.

När vindkraftsparken väl är färdigbyggd och den normala årliga energiproduktionen är fastställd beror intäkterna på vindhastigheten, elpriset och, i Sverige och Norge, priset på elcertifikat. På en avreglerad elmarknad är den stabilaste parametern...vinden.

Såvida det inte sker en storskalig introduktion av nedisningssystem kommer nedisning att leda till lägre ersättning för el vid långsiktiga kontrakt, då kostnaden för reglerkraft indirekt kommer att tas ut i form av lägre ersättning. Nedisning påverkar inte priset på elcertifikat, som kan sparas i flera år och säljas när som helst.

4. Varför började vi inte kartläggningen av nedisning tidigare?

Innan det europeiska samarbetsprojektet COST Action 727 (Atmosfärisk nedisning av strukturer) startade i april 2004 genomförde Sverige ett antal utvärderingsprojekt som rörde vindkraft i kalla klimat. Sverige deltog även i IEA R&D Task 19 och var involverat i EU-projektet NEW ICETOOLS. Energimyndigheten förutsåg inte några nya projekt med inriktning på kalla klimat då man hade ambitiösa planer på storskalig havsbaserad vindkraft.

Fram till början av 2005 visade tillverkarna endast ett förstrött intresse för att anpassa turbinerna till kalla klimat, eftersom tillverkarnas stora anhopningar av order gjorde det ointressant för dem att satsa på nischsegment som vindkraft i kallt klimat där nedisning förekommer.

Energimyndigheten beställde endast ett enda vindpilotprojekt med avseende på kallt klimat, eftersom allt fokus fram till mars 2007 riktades mot havsbaserad vindkraft.

Vid denna tid meddelade E.ON dock att ersättningen för havsbaserade vindkraftsparker var otillräcklig, och förvånande nog fick Energimyndigheten tillbaka de 70 miljoner kronor (7 miljoner euro) som tidigare hade getts i stöd för vindpilotprojektet Utgrunden II.

Den europeiska vindkraftsforskningens ensidiga fokus på havsbaserad vindkraft har inneburit en stor utmaning för utvecklingen av teknik för att hantera nedisning. En moment 22-situation uppstod då den europeiska finansieringen av avisnings-/anti-nedisningssystem kräver marknadsstudier, vilket i sin tur kräver kartläggning av nedisning, vilket i sin tur kräver att nedisningsprognoser tas fram och verifieras.

5. Beslutet baserades på intuition snarare än fakta

I mars 2007 var E.ONs besked till energimyndigheten tydligt: ”havsbaserad vindkraft är för dyr”. Energimyndigheten beställde då fyra nya vindpilotprojekt inriktade på kalla klimat, med en total budget på över 200 miljoner kronor (20 miljoner euro).

Vindkraftsverkstillverkarnas orderstockar minskade i augusti 2008 då även vindturbintillverkarna drabbades av finanskrisen. Ökad internationell konkurrens har sedan dess lett till att många fler av de tillverkare som är aktiva i områden med stor risk för betydande nedisning har blivit mer intresserade av att hitta kostnadseffektiva avisnings-/anti-nedisningslösningar.

Människor som bor i kalla klimat blir, åtminstone vintertid, medvetna om de utmaningar som förknippas med nedisade föremål. Vintertid händer det att nyheterna flera gånger i veckan rapporterar om folk som har träffats eller nästan har träffats av is som fallit ned från höga byggnader, eller så varnas man om risken för att det ska hända. Det är därför inte så underligt att Energimyndigheten under 2009 beslutade sig för att stödja utvecklingen av vindkraft under förhållanden där nedisning förekommer. Beslut om de fyra vindpilotprojekten togs utan att Energimyndigheten hade tillgång till marknadsundersökning eller ens en nationell karta över nedisningen. Energimyndighetens bästa alternativ var att uppmuntra vindturbintillverkarna att erbjuda vindkraftverk utrustade med avisningssystem.

6. VINDPILOTPROJEKTET – Storskalig ekonomisk vindkraft i fjällmiljö

Det viktigaste målet för OX2:s vindpilotprojekt Storskalig ekonomisk vindkraft i fjällmiljö har varit att främja utveckling och installation av avisningssystem. OX2 har begärt att samtliga rapporter som ingetts till Energimyndigheten ska behandlas konfidentiellt med hänsyn till kommersiella intressen. I september 2015 kommer en del av de rapporter som producerats inom projektet att offentliggöras. Resultat från projektet har presenterats kontinuerligt, på konferenser i allmänhet och på Winterwind, [6] och [7], i synnerhet.

6.1 Avisningssystem

Enbart inom ramen för detta projekt skulle över 40 avisningssystem installeras. Då det i stort sett inte fanns några kommersiella avisningssystem uppmuntrades inledningsvis tredjepartsutveckling med målet att fånga tillverkarnas intresse.

6.2 Metoder för att detektera och avisa turbinerna

Nederbörd är bara en av många faktorer som påverkar isbildningen. Övriga parametrar är instrålning av sol, temperatur, luftfuktighet, lufttryck samt vindhastighet och vindriktning.

De två vanligaste sätten att detektera is är genom att montera sensorer på bladen eller genom att konstatera att effekten signifikant underskrider den nominella effekten, baserad på uppmätt maskinhusvindhastighet.

När det gäller avisning finns två huvudtekniker:

- 1) kolfiberelement (electro-thermal heating elements) som fästs nära ytan på rotorbladet och värmer den med hjälp av el.
- 2) cirkulation av varm luft i kanaler inuti bladet (warm-air circulation). Det här systemet innebär att rotorbladen måste stannas när avisningen sker.

De flesta stora europeiska tillverkare har i dag något av de nämnda systemen som tillval till sina turbiner. Inledningsvis var kolfiberelementen vanligast på vindkraftverken (läs Bonus, idag Siemens). Enercon och Vestas har på senare tid, för att minimera risken för skador orsakade av blixtnedslag, valt tekniken med varmluftscirkulation.

Fördelen med 1) är att avisningen kan ske under drift. Nackdelen är att sektioner av externt monterade kolfibermattor riskerar att lossna samtidigt som de, jämfört med varmluft, löper ökad risk att skadas av åska. De elektriska kopplingarna mellan foliesektionerna har dessutom visat sig vara en svag punkt.

Fördelen med 2) är hållbarheten och få komponenter. Nackdelen är att turbinerna inte kan avisas under drift utan att den tillförda effekten ökas på ett signifikant sätt. Eftersom bladen består av kol- och glasfiberarmerade plaster så får maxtemperaturen på inget ställe överstiga, som ett exempel, 100° C. Därmed begränsas den effekt som med hjälp av varmluft kan användas för att avisa bladen.

Båda systemen ökar genereringen av el. Reglersystemets utformning styr hur stora mängder el som tas från produktionen för att avisa bladen. Det kan till exempel vara meningslöst, det vill säga bortkastad energi, att försöka avisa med alltför låg effekt under pågående nedisning. Bättre då att vänta tills nedisningen har upphört.

Förutom avisningssystemen pågår FoU kring olika material som skulle kunna appliceras på vingarna och därmed minska isens möjlighet att få fäste (antifreeze coatings), material och smörjmedel som är särskilt anpassade för kalla klimat.

Service och underhåll kan också spela en viktig roll för att hålla turbinhus och rotorblad fria från is.

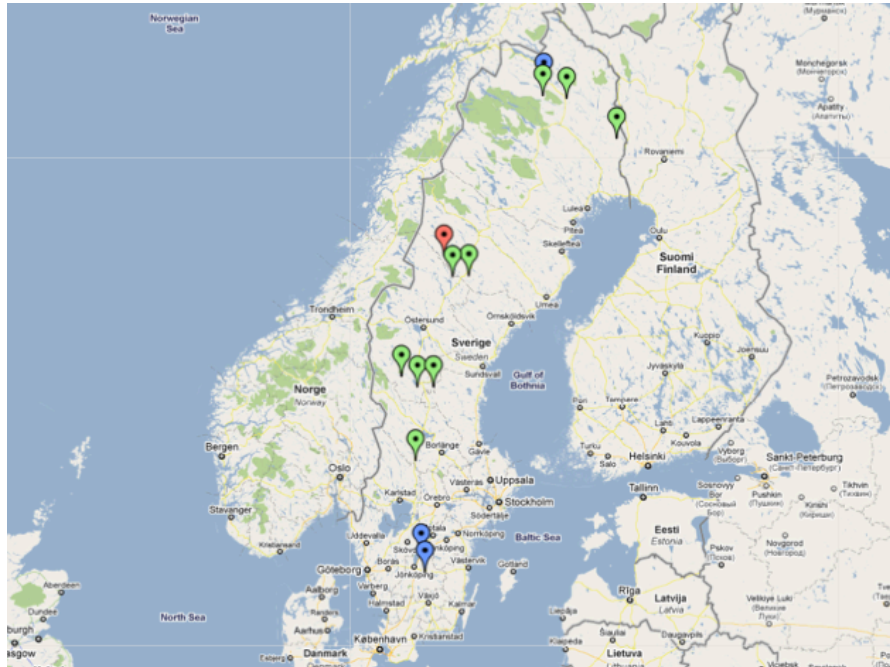
Under hösten 2008 påbörjade Kelly Aerospace Thermal Systems (US) installationen av tre avisningssystem i Vestas V90-2MW. Tre avisningssystem från EcoTEMP (CA) har installerats på Vestas V90-2MW och ett system har installerats på en Siemens SWT 2.3-101.

Siemens utvecklade senare en första och andra generation avisningssystem för OX2. Den första generationen installerades i ett vindkraftverk på Brahehus. Den andra generationen installerades i nio turbiner på Korp fjäll 2011. Under 2014 reste Vestas 30 stycken V90-2MV vindkraftverk som alla var utrustade med ett nyutvecklat avisningssystem.

Finansiering från projektet för utveckling av avisningssystem gick dessutom till en vindkraftverkstillverkare för att testa prestandan hos ett avisningssystem. Avisningssystem från alla fyra ovan nämnda leverantörer presenterades på Winterwind-konferenserna, [6] och [7].

6.3 Synoptiska ismätningar

Mätningar har utförts i fyra höga master från norr till söder, vid angränsande vindkraftsparker samt på platser där man planerar för nya verk.



Figur 3: Fördelning av ismätstationer i OX2s vindpilotprojekt.

Pilotprojektets avsikt var att verka för utveckling av beräkningsmodeller för nedisning. Detta så att historiska data (återanalys) skulle kunna användas för att bedöma den lokalt betingade energiproduktionsförlusten på etableringsorterna. Ett annat syfte var att prognosmodellerna skulle kunna verifieras och förbättras i syfte att minska balanskostnaden – och därmed öka värdet på vindkraft i kalla klimat.

På samtliga platser där parker planerades fanns redan master som kunde användas för ismätningar. På marken (på de flesta platserna) monterades en molnhöjdsgivare, för att i höjdlid bestämma luftens innehåll av flytande vatten samt om verken befann sig i moln eller ej.

De flesta mätstationerna var försedda med en kamera som gör det möjligt att verifiera ismätningarna. Kamerorna levererade värdefulla data, inte bara vad gäller uppbyggnaden av is utan även hur is försvinner (genom smältning, sublimering eller genom att brytas loss). Det ligger i sakens natur att det är svårt att beräkna detta, men kamerorna fångade t.ex. upp hur bräcklig is bryts sönder vid låga temperaturer.

Månatliga utvärderingar av ismätningar och produktion genomfördes av a) Weathertech (SE), b) Kjeller Vindteknikk (NO), c) Leading Edge Atmospheric (US)/Finnish Meteorological Institute FMI (FI) och d) Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, SMHI (SE). Dessa utförare levererade även dagliga prognoser och säsongsrapporter. Resultaten presenterades på fem Winterwind-konferenser, Winterwind 2011–2015, [6] och [7].

Betydelsen av dessa övningar framgår i deltagarnas kommentarer i slutet av rapporten.

7. Resultat och diskussion

7.1 Bakgrund

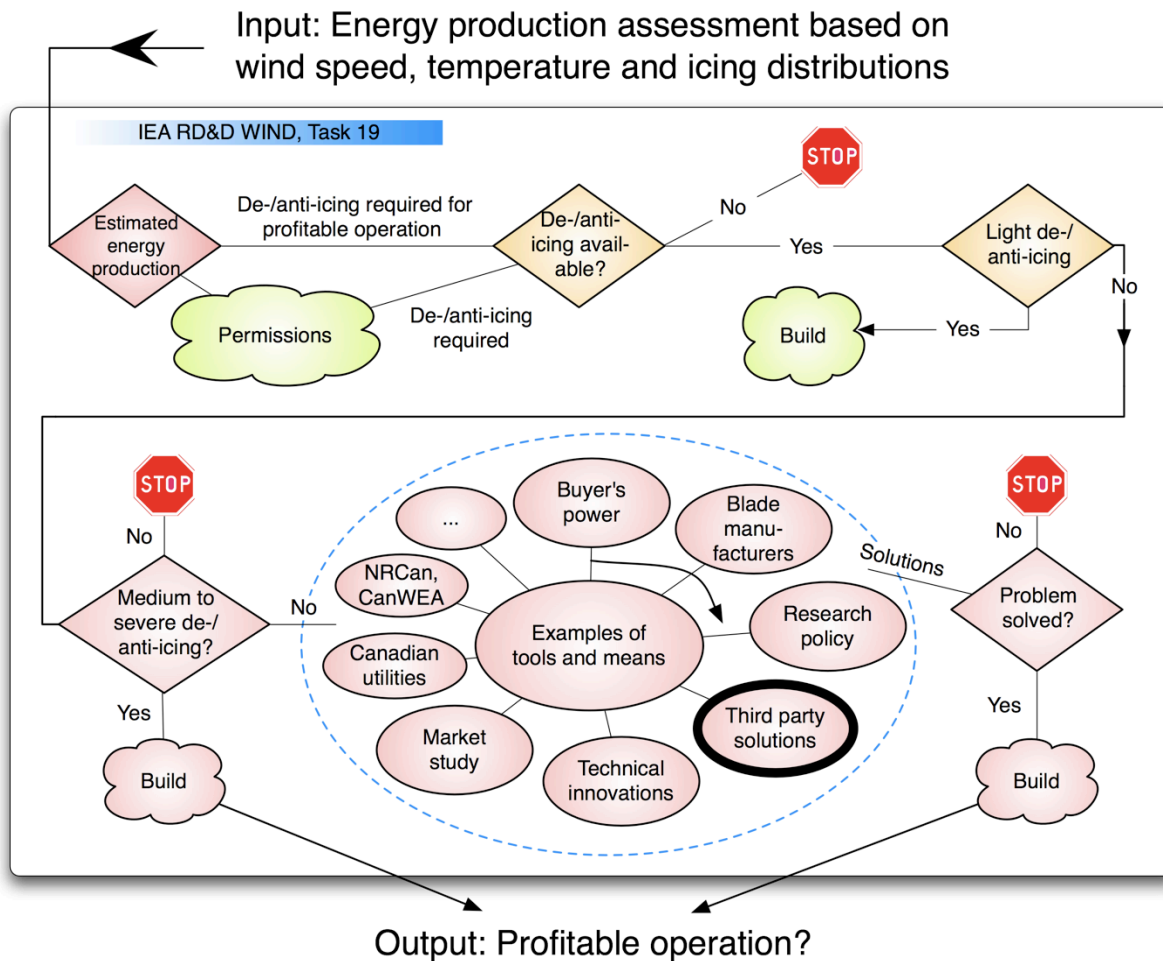
Sedan 2008 har Energimyndigheten lagt ner betydande resurser på att aktivt främja en snabb utveckling av vindkraft i kalla klimat. Ett stort hinder för projektörerna har nu försvunnit då vindturbintillverkarna utvecklat och tillhandahåller avisningssystem. Det återstår emellertid att inkludera nedisning i den garanterade tillgängligheten, något som inte sker i dag.

Kunskap om de förvånansvärt stora produktionsförlusterna som orsakas av nedisning utgör känslig information för tillverkare, exploatörer och ägare. Uppgifterna är därför i allmänhet konfidentiella. Hemlighetsmakeriet gjorde det svårt för projektörerna att sätta tillräcklig press på vindturbintillverkarna att utveckla avisningssystem.

Avisningsutrustning fanns vid projektets början 2008 endast hos en tillverkare och då endast för lätt nedisning. Bilden visar att fokus i den ursprungliga ansökan låg på tredjepartsutveckling. Detta berodde på att orderingången på konventionella turbiner vid den här tidpunkten var så stor att tillverkarna inte ansåg sig behöva utveckla avisningssystem. Detta ledda till exploateringen av vindkraft i kalla klimat skedde med standarverk utav avisning.

Varför kunde då inte tillverkare och exploatörer vänta på att tillverkarna skulle erbjuda avisning? Hur kunde tillverkarna övertygas om att avisningssystem verkligen behövdes?

Två saker är värda att nämna. Tillverkarna tjänade före finanskrisen i augusti 2008 mest på att sälja standarverk till standardplatser. Efter finans- och lånekriserna tog det tillverkarna flera år att utveckla avisningssystem.



Figur 4: Pilen i cirkeln visar att när bladtillverkarna inte var intresserade av att utveckla avisningssystem, tvingades kunderna undersöka tredjepartsmarknaden.

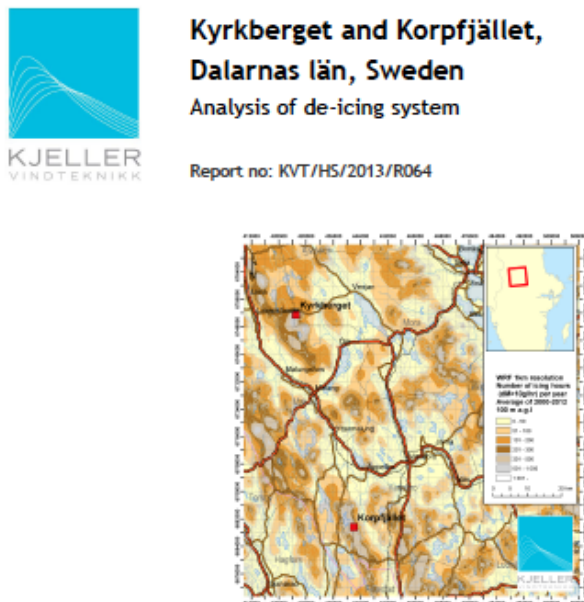
Vid den här tidpunkten var också myndigheterna omedvetna om de utmaningar, främst personsäkerhet och buller, som finns i vindkraftsparker som drabbas av nedisning. Ansvariga myndigheter kan ingripa om is orsakar en oacceptabel ökning av oljud eller risk för iskast i en vindpark, men ofta var myndigheterna inte varse om problematiken.

Ett krav från myndigheterna på att blad ska vara isfria skulle ha kunnat påskynda utvecklingen av avisningssystem.

Tredjepartstillverkarnas framgång på marknaden har varit begränsad. Främst på grund av att kunderna vill ha turbiner med fulla garantier, inklusive avisningssystem. Det har i sin tur lett till att några av de företag vi samarbetade med inledningsvis, till exempel MW Innovation, Kelly Aerospace och EcoTEMP (numera GreenWIND Global), inte fanns med på slutet. Både Kelly Aerospace och GreenWIND Global arbetar fortfarande med att utveckla avisningssystem för vindkraftverk.

Kundernas krav ledde till att Vindpilotprojektet efter hand kom att samarbeta närmare med turbintillverkarna. Projektet har med råge uppfyllt målsättningen 40 avisningssystem, främst tack vare att Vestas och Siemens engagerat sig i utvecklingen av nya avisningssystem.

På Winterwind 2014 presenterade Madsen exempel på prestandan hos Siemens avisningssystem, [8]. Madsen visade framsidan på en hemlig rapport som beskriver prestandan hos Siemens avisningssystem.



"To find an estimate of gain of energy production due to the de-icing system it has been assumed that the ratio between production by turbines with and without de-icing system corresponds to this ratio at Kyrkberget. With this rough assumption the gain of energy production by having de-icing system installed at Korp fjället is calculated to an average of 26 % for the three winter periods. If looking at the winter season 2012-2013 (Oct- Mar) the gain of energy is estimated to 32 %."

Figur 5: Framsidan på Siemens rapport samt en av slutsatserna.

Siemens presenterade inga resultat från Vindpilotprojektet under Winterwind 2015, [9]. Däremot presenterade företaget sin marknadsbedömning:

A well-functioning de-icing system is a "must" in Scandinavia, where it is required on:

- | | | |
|------------------------------------------|----|------------------|
| • approx. 75 % of the Swedish projects | => | 450 MW per annum |
| • approx. 50 % of the Finnish projects | => | 100 MW per annum |
| • approx. 33 % of the Norwegian projects | => | 200 MW per annum |

Demand also requested in...

- | | | |
|-----------------------------------------------|--------------|---------------|
| • <i>approx. 25% of the Belgian projects</i> | <i>=></i> | <i>100 MW</i> |
| • <i>approx. 25% of the Austrian projects</i> | <i>=></i> | <i>75 MW</i> |
| • <i>approx. 25% of the Canadian projects</i> | <i>=></i> | <i>200 MW</i> |
| • <i>approx. 10% of the German projects</i> | <i>=></i> | <i>300 MW</i> |

Siemens har offentliggjort en större order på hundratals turbiner utrustade med avisningssystem.

De 30 avisningssystemen från Vestas som finansierades av projektet togs i bruk i slutet av 2014. Det finns ännu ingen offentlig information angående prestandan hos dessa system. Prestandan har emellertid utvärderats av en examensarbetare samt av de meteorologer som deltagit i projektet.

Energimyndigheten har fått ta del av resultaten i konfidentiella rapporter. Vestas avisningssystem presenterades senast av Nielsen på Winterwind 2015, [10]. Nielsen gav exempel på systemets prestanda och nämnde ett orderintag på 72 turbiner utrustade med avisningssystem.

Vestas De-icing System track record:

- *3 turbines have been tested in the winter season 2013-2014 (V90+V112).*
- *In autumn 2014 the first commercial order of 30 V90-3.0 MW's with de-icing have been installed in Sweden.*
- *So far... 39 V112 turbines is going to be installed in 2015 with de-icing which equals to a total track record of 72 De-icing turbines.*
- *Vestas De-icing System is available on V112-3.3 MW, V117-3.3 MW & V126 3.3 MW.*

7.2 Kartläggning av nedisning

Om anti-nedisnings-/avisningssystemen¹ skulle klara allt från milda till svåra nedisningsförhållanden behövde man inte heller genomföra iskartering eller oroa sig för en onödigt stor kostnad för balanskraft.

Utvärdering av modellerad och uppmätt ismängd och effekt visar a) att

¹ På engelska: de-icing/anti-icing systems.

nedisningsperioderna är relativt lätta att fånga i tid, och b) att det kan vara svårt att ge en korrekt uppskattning av nedisningens storlek, och c) att de faktiska produktionsförlusterna på grund av nedisade turbinblad kan vara förvånansvärt stora, även om de d) generellt sett är mindre än de förluster man ursprungligen fick fram vid modelleringen.

Resultaten från utvärderingen – som bygger på data från OX2:s vindpilotprojekt – av prestandan hos vindkraftsparker som är utsatta för nedisning presenterades av Weathertech, [11] och [12] på Winterwind 2015:

Conclusions [11]:

- *Local production loss may be dependent on terrain height but - Dependency varies with wind regime.*
- *Icing seasons may be characterised by wind direction or large scale weather patterns during winter.*
- *Need to extend analysis to several wind farms to find what is only local and what is general.*
- *Much can be learned by careful analysis of SCADA data from existing wind farms.*

Conclusions [12]

- *Large variability in icing conditions and production losses from year to year and site to site.*
- *The variability coefficient for icing hours is an order of magnitude larger than for wind speed.*
- *Production losses is a function of terrain height, terrain height relative to surrounding terrain, proximity to open water etc.*

Kjeller Vindtekniks sammanfattning löd [13]:

- *Gained experiences from operational forecasting of icing.*
- *Validation of instrumental icing: Able to predict the large buildup of icing that resulted in power line damages in 2013-2014.*
- *Probability of detection: 68-81%.*

- *False alarm ratio: 2-5 %.*
- *Validation of meteorological icing: 60 % of the observed icing episodes starts when the model indicates meteorological icing.*
- *Validation of power forecasts: General improvement of the power forecasts when the icing is included.*

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut SMHI, sammanfattade [14]:

- *A new product for forecasting power production losses due to icing has been developed.*
- *It relies on output from the joint Sweden/Norway operational forecast model.*
- *The model data is adapted to a 1 km horizontal resolution, taking a more detailed topography into account.*
- *Reasonable quality of the wind speed and temperature forecasts.*
- *Production loss forecast a bit too pessimistic.*
- *Some tuning is needed of the ice load model.*

Leading Edge Atmospherics och det finska Meteorologiska institutet, FMI, gav en presentation på [15] Winterwind 2014:

Summary - Part 1

- *Compare systems, observations*
 - *Same data*
 - *Same methods*
 - *Same plots*
- *Verification data*
 - *Limited, flawed. STILL VERY USEFUL!*
- *A lot has been gained through standardization*

Summary - Part 3

- *There is NO ABSOLUTE "TRUTH".*
 - *No one answer tells the story*
- *What field/measure is most important to you?*
 - *Depends person, requirement, etc.*
 - *POWER LOSS - often most critical.*

- *Other measures are important, too*
 - *Learn WHY the power loss forecasts succeed *and* fail.*
- *Each of the 4 systems “wins” some of the & me.*
 - *Each has it’s strengths and weaknesses.*
 - *Through verification, we can all learn and improve.*

7.3 Presentationer under vid IWAIS 2015

Under IWAIS 2015 (16th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures), en konferens om nedisning av landbaserade strukturer, som till exempel kraftledning, torn, master, broar, vindkraftverk och andra byggnader) gavs 9 presentationer från vindpilotprojektet, [16]–[24], <http://iwais.org>.

Nedan följer en mycket kort sammanfattning av presentationerna:

[16] Ronsten G., ”Lessons learned from "Large scale, cost-effective deployment of wind energy in icing climates"”, (this paper), IWAIS 2015, Uppsala, July, 2015, <http://iwais.org/>. Den här presentationen sammanfattar projektet på engelska.

[17] Bernstein B. C. et al, ” Innovations in F-LOWICE real-time forecasts of wind power and icing effects, IWAIS 2015, Uppsala, July, 2015, <http://iwais.org/>.

Conclusions:

- *Icing is a difficult phenomenon to predict well*
- *Effects on turbines, power add big layer of complexity*
- *We’re making advances understanding and predicting them both, however...*
- *Nature and Physics keep providing lessons. Still much to learn!*

[18] Byrkjedal Ø., "Development of operational forecasting for icing and wind power at cold climate sites", IWAIS 2015, Uppsala, July, 2015, <http://iwais.org/>.

Conclusions:

The WRF model has been configured to run operational 48 hour forecasts, initiated four times per day, in order to predict icing and wind farm energy production for wind farms located at exposed locations for icing in Sweden.

The results of the analysis described show that the modelling system is able to correctly predict the periods when ice influences wind energy production in 63-82 % of the time of observed production losses in the considered wind farms. In 68-71 % of the severe icing events, which accounts for approximately 90 % of the observed production losses, the forecasted onset of the icing episodes were correct.

For all four wind farms the IceLoss model improved the energy forecasts and the associated icing losses.

[19] Levati D., "Siemens de-icing system", IWAIS 2015, Uppsala, July, 2015, <http://iwais.org/>.

From the abstract:

For continuous de-icing innovation and increased customer benefit, future research into ice characteristics and behavior is necessary to standardized methods of describing icing conditions, increase de-icing efficiency, and warrant the additional performance.

From the presentation:

- *The power is taken from a power unit outlet at the tower base, wired through the tower to the nacelle and into the hub through a slip-ring system.*
- *Cables connect a hub control cabinet to terminal boxes in the blade with lightning protection. The slip-ring system is the only moving part in the system.*
- *All cables, slip rings, and other electrical components are dimensioned to supply power to the blades continuously at nominal grid voltage of 690 V at 50 or 60 Hz.*

- *The average heat generated per m² de-icing carbon mat (approximately 0.6m wide per side of the blade from the front of the leading edge starting at 1m from the root up to 1.5 m before the tip) is 0.48 kW/m².*
- *Note that the general +/- 10% tolerance band on grid voltage will affect the blade power correspondingly.*
- *Circuit breakers in the AA33 cabinet placed in the nacelle protect the system against short circuit and ground fault.*
- *An additional circuit breaker is located in the power unit.*
- *Overload protection is performed by the turbine controller.*
- *Over voltage protection devices are located in the hub.*

[20] Norén B., "What we learned – Adaption and development of measurement technique and camera supervision for icing conditions", IWAIS 2015, Uppsala, July, 2015, <http://iwais.org/>.

Cold climate activities is just one In Situ measurement systems:

- *Hydrology systems*
- *Flux systems (Turbulent fluxes, greenhouse gases)*
- *Dam monitoring (Geotechnical dam safety)*
- *Icing measurement*
- *Thermo response (Geothermal energy analysis)*
- *Vibration measurement*
- *Wind power meteorology*

[21] Söderberg S., "Experiences from studies of icing and production losses due to icing in OX2's Vindpilot project", IWAIS 2015, Uppsala, July, 2015, <http://iwais.org/>.

- *Icing climate and production losses studied 2009-2015 at several sites in Sweden*

Unique data set => WICE - Tool for:

- *Site assessment and de-icing studies*
- *Forecasting*
- *Performance evaluation*

On-going work:

- *Analysis of SCADA data from turbines with de-icing system*
- *Forecast evaluation projects*

[22] Olsson E., "Modelling icing conditions for a selection of Swedish wind farms during winter 2014–2015", IW AIS 2015, Uppsala, July, 2015, <http://iwais.org/>.

- *Generally mild winter in 2014/5 gave rise to mild production losses.*
- *Operational open forecasting data serves as input for atmospheric icing on wind turbines.*
- *Meteorological verification shows possible degradation during spring.*
- *A new map product for forecasting power production losses due to icing has been developed.*
- *Some tuning is needed of the ice load model, especially due to new version of weather model.*

[23] Westerlund R., "Controller for Surface heating", IW AIS 2015, Uppsala, July, 2015, <http://iwais.org/>.

Described a system for heating the ground and roofs to remove ice.

[24] Kolar S. "Comparison of three different anti and de-icing techniques based on SCADA-data", IW AIS 2015, Uppsala, July, 2015, <http://iwais.org/>.

In particular, one of the studied systems (de-icing with heating resistances) could be shown to improve the production during single ice events, which shows the potential of having a de- or anti-icing system installed. The results also indicate that the de-icing system with warm air not is sufficient enough, this could however partly be because the studied time period was a testing period of the system.

8. Slutsats

Betydande framsteg har gjorts sedan 2008, både med avseende på utvecklingen och den kommersiella tillgängligheten hos avisningssystem samt förmågan att kartlägga och prognosticera nedisning.

Vindturbintillverkarna var inledningsvis tveksamma till att utveckla avisningssystem, främst på grund av sina stora orderstockar. En projektör beställde tredjepartsutvecklade avisningssystem, något som närmast liknade ett rop på hjälp. Enligt minst en tillverkare spelade detta projekt stor roll när det gällde att få tillverkarnas uppmärksamhet riktad mot betydelsen av avisningsförmåga.

Klimatologisk kartläggning av nedisning, prognostisering av nedisning och verifiering av produktionsförluster har genomförts av fyra företag i nära samarbete, trots att de är konkurrenter. Detta har legat helt i linje med OX2:s mål att höja standarden till en nivå som gynnar alla intressenter inom vindkraft i kalla klimat.

9. Deltagarna kommenterar projektet

9.1 Weathertech

Den data som har gjorts tillgänglig inom vindpilotprojektet och samarbetet med de andra utövarna har varit av stort värde för WeatherTech. Ett flertal verktyg för att analysera och beräkna produktionsförluster på grund av nedisning från observationer och modelldata har utvecklats under projektets gång. I synnerhet har en objektiv metod, föreslagen av IEA Task19, för utvärdering av produktionsförluster på grund av nedisning från SCADA data implementerats. Denna metodik är nu en viktig del i WeatherTechs arbete försäkras att analyser av stora data set från olika vindkraftparker utförs på ett konsekvent sätt.

Framöver kommer WeatherTech att följa och föra dialog med IEA Task19 för att ta en standardiserad metodik. Vidare har WeatherTech utvecklat en ny metodik där en kombination av statistiska och fysikaliska modeller används för att uppskatta årliga produktionsförluster på grund av nedisning på platser där inga mätningar har genomförts. Under arbetet har även en djupare förståelse för hur parameteriseringar av molnfysik fungerar i vädermodeller uppnåtts. Genom arbetet inom vindpilotprojektet har nya lärdomar dragits kring hur atmosfärisk nedisning ter sig klimatologiskt och hur detta påverkar vinkraftturbiner. WeatherTech erbjuder nu kommersiella tjänster för uppskattning av produktionsförluster på grund av nedisning

baserade på den metodik WeatherTech utvecklat och validerat med hjälp av data från bland annat vindpilotprojektet.

Stefan Söderberg & Magnus Baltscheffsky, Weathertech

9.2 Kjeller Vindteknikk

The wind pilot project has given Kjeller Vindteknikk (KVT) the opportunity to develop new products and has given the company new expertise in the field of meteorological icing and the influences on wind power. The data sets that supplied in the project has been quite unique since it represents production data and icing measurements at several sites and lasting for long period.

KVT has over the latest years developed several new products in the field of meteorological icing, and it is unlikely that these products would have been developed without the knowledge gained from the wind pilot project: IceLoss - assessment of production losses due to icing in planned wind farms; IceRisk - assessment of risks associated with icing on wind turbines and other structures; Icing forecasts - daily forecasts of icing and production losses; Post construction analysis with focus on icing losses; Evaluation of blade heating systems.

Based on the expertise developed in this project KVT has carried out icing analysis for wind farms in several European countries. The expertise gained through this project has opened up new markets for KVT. During the project we have gained more knowledge in the field of meteorological modelling, the collaboration and networking with the other executors and with the reference group has also been important to develop the new tools for icing assessments.

The validation using measurements in the project has also increased our confidence in the calculations of ice loads and production losses. The verification of our icing calculations has also paved the way for using this model tool for assessing climatic loads for towers and power lines. KVTs focus on meteorological modeling and icing calculations over the latest years has made the company very attractive for skilled scientists, resulting in several new highly skilled personnel to join our company.

Øyvind Byrkjedal, Kjeller Vindteknikk

9.3 Vestas

*The Glötesvålen project was the perfect project for Vestas to try out the functionality of our de-icing technology
Being able to work with OX2 in the implementation of our de-icing technology enabled us to work with the product in a known customer environment
Indications showed that the environment of the site presented opportunities for Vestas to get input data in our continuous development work of the de-icing technology*

Vestas De-icing System

https://www.vestas.com/en/products_and_services/options_and_solutions#!vestas-de-icing-system (2015-09-14)

Vestas De-icing System brochure

<http://nozebra.ipapercms.dk/Vestas/Communication/Productbrochure/VestasDeicing/VestasDeicingSystem/> (2015-09-14)

Brian Daugbjerg Nielsen, Vestas

9.4 OX2

Avisningsprojektet har bidragit till insikt i förutsättningar för eftermontage av avisningsutrustning samt att det varit en bidragande del i utvecklingen av nya system på turbinmarknaden. OX2 har med hjälp av resultat från avisningsprojektet kunna ställa mer relevanta krav på turbinleverantörers system och OX2 har genom erfarenhet av projektgenomförandet även blivit involverade av turbinleverantörers utveckling av nya avisningssystem.

Avisningssystemens prestanda behöver fortfarande utvecklas och förbättras för att klara av att hålla vindkraftverkens blad fria från is.

Idag är de främsta tekniska faktorerna som begränsar detta tillgänglig effekt på avisningssystemet samt att bladens material ska tåla erforderlig temperatur. Även styrningen och mjukvaran för avisningssystemen behöver förbättras och optimeras vilket sannolikt kräver ett tätt samarbete mellan meteorologer, vindturbintillverkare och ägare av verken.

Det mest optimala är att ha bladegenskaper där is inte fastnar utan tillförsel av energi vilket ännu inte finns tillgängligt på den kommersiella marknaden. Det näst bästa är att ha ett energieffektivt avisningssystem som kan aktiveras innan isen

fastnar på bladen, dit har utvecklingen inte nått fram ännu.

Is på blad ger upphov till ökade ljudeffekter. Detta område är viktig att utreda då det kan ge möjlighet till installation av vindkraftverk i ljudkänsliga miljöer. Avisningsprojektet har i bidragit till ett rejält avstamp för vindkraftmarknaden att ta fram system för optimering av turbiner i kallt klimat, men det finns fortfarande en hel del kvar att utveckla och optimera.

Hans Sollenberg & Paul Stormoen, OX2

9.5 SMHI

During the project SMHI has learnt a lot about the wind power industry. We have had access to very unique datasets, especially ice load and wind power production. The project allowed us to run and monitor a test production for wind power in cold climate over several years. Unfortunately the quality/availability of the ice measurements and also the other meteorological parameters has degraded during the last years. The modelling discussions with the other executors during the meetings has been very fruitful. We think that the coordination of the project could have been better with regards to the long-term planning.

Esbjörn Olsson, SMHI

9.6 Leading Edge Atmospheric och FMI

Through our involvement in OX2-windpower/icing project, the LEA-FMI team has:

- Had the opportunity to work with international experts in the same field, with the exchange of knowledge and new developments/results as an outcome.*
- Participated in improving the understanding of icing related processes and how to better diagnose and forecast icing and it's impacts on wind energy.*
- Closely studied many turbine icing (and non-icing) events, allowing important results to be concluded, such as 1) the importance of ice sublimation to the return of wind power in cold climates and 2) showing that icing rate and it's time-history are much more important than icing load (the standard metric), when finding the relationship between icing and produced wind-power energy.*
- Gained experience and better understanding of the wind-power industry, such as; how icing affects to wind-turbines in reality, turbine controlling systems, actions taken by operators, de-icing/anti-icing systems etc.*
- Had the opportunity to provide real-time products to some end users, such as power traders.*
- Attended several Winterwind conferences and interacted with members of the wind power industry, bridging the understanding between the meteorologists/developers and end-users (the wind park owners and operators*

etc.).

- *Written an article about some of the things learned in this program and interesting results from our two real-time systems, using the excellent material from this project (see: <http://dx.doi.org/10.1175/JTECH-D-14-00151.1>)*

Ben Bernstein (LEA) and Erik Gregow (FMI)

9.7 HoloOptics

OX2:s vindpilotprojekt har haft stor betydelse för utvecklingen av HoloOptics ismätare. Trots vissa svårigheter är nu mätaren klar. Svårigheterna har främst varit att bemästra den minst sagt svåra miljö som mätaren befinner sig i.

Rolf Westerlund, HoloOptics

9.8 MW Innovation

På begäran lämnas härmed följande kommentar till er slutredovisning av projekt Storskalig vindkraft i fjällmiljö. Energimyndigheten Dnr 2009-001838 Projektnr 31464-2.

Helt plötsligt efter 5 års tystnad hörde Göran Ronsten av sig om ett utlåtande för rubricerade projekt.

Vi samarbetade bra i ansökningsfasen med O2 och stärkte tillsammans alla indikatorer och kriterier om ett utvecklingsprojekt med starka svenska inslag från SME företag. Efter positivt besked från Energimyndigheten påbörjades ett intensivt samarbete med många möten och avtalsteckning.

Ur vår synpunkt blev emellertid projektet misslyckat. O2:s etiska och juridiska kompass fungerade ej utan de gick förbi oss och tog över våra utländska samarbetspartners, skapade en konstig tävling med annat utländskt företag samt hävde felaktigt ingångna avtal i juni 2010 etc. För oss blev därför detta projekt en finansiell härdsälta med förluster i storleksordningen 1,7Mkr. Vi överlevde som företag genom att bl a utnyttja gamla reserver och avskrivning av betydande belopp hos närstående viktig leverantörer till oss.

Bernt Granberg, MW Innovation

9.9 In Situ Instrument

Den viktigaste insikten är att det kvarstår mycket att göra inom detta område!

Vi har kunnat konstatera att de isrelaterade mätinstrument vi använt oss av i projektet, har uppenbara brister. Annan teknik bör användas/utvecklas, liksom att förbättringar av befintliga mätinstrument måste göras.

Vi har själva satsat mycket resurser utifrån gjorda erfarenheter, att utveckla den mätsystemteknik som vi erbjuder. Vi har gjort väsentliga framsteg rörande produktutveckling av strömförsörjning, kommunikation, uppvärmning av maststrukturer, uppvärmda kameraövervakningssystem, smartare styrning och kontroll av såväl uppvärmning samt generella systemfunktioner, samt val av väl fungerande mätinstrument- allt i syfte att väsentligt öka datatillgängligheten under svåra vinterförhållanden.

Vi har bland annat tagit denna utvecklade teknik till Norge där vinterförhållanden generellt har varit betydligt svårare än i Sverige, detta till trots så har mätsystemen levererat mycket bra. Vi kan nog tillskriva gjorda erfarenheter från detta projekt som en del av anledningen till goda resultat i Norge.

Arbetet inom området måste fortsätta, vi arbetar intensivt med detta och samarbetar gärna med andra aktörer under rätt förutsättningar.

Björn Östberg, In Situ Instrument

9.10 Combitech

The Pilot project has been important for Combitech in our development of ruggedized measurement systems to be used in cold climate conditions. Wind power applications has special demands that needs to be addressed in order to achieve monitoring systems with high reliability that fulfills customer needs.

The Pilot project has helped Combitech get in contact with a new market with new customers. These customers has needs that helped Combitech to further develop our ice load sensor IceMonitor for wind power applications.

Combitech has also developed a data collection system and a user interface called the wind portal that makes measurement data available for end users and researchers.

Patrik Jonsson, Combitech

9.11 Umeå Energi

OX2:s vindpilotprojekts tidigare samarbete med EcoTEMP, numera Green Wind Global, har medfört att de Senvion-turbiner vi inhandlat har varit utrustade med avisningssystem.

Daniel Eliasson, Umeå Energi

9.12 Siemens Wind Power

Siemens Wind Power is truly grateful to OX2 which gave us the opportunity to take part at the development of the Wind Pilot Project for Large Scale Deployment of Wind Energy in Icing Climate.

Our participation in the Wind Pilot Project gave us a tangible opportunity to increase our knowledge and competences in operating our wind turbines in cold climate conditions.

The collaboration with OX2 was truly effective in order to build up a team of experts composed by OEM and developer which shared the challenging target of developing a wind farm able to operate in harsh climate conditions.

Diego Levati, Siemens Wind Power

10. Referenser

- [1] "World Market Update 2012", Navigant Research, March 26, 2013
- [2] "New Record in Worldwide Wind Installations", World Wind Energy Association, February 5, 2015, <http://www.wwindea.org/new-record-in-worldwide-wind-installations/> (2015-06-27)
- [3] "Global Wind Report – Annual Market Update 2014", Global Wind Energy Council, March, 2015, p.70, http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/03/GWEC_Global_Wind_2014_Report_LR.pdf (2015-06-27)
- [4] Söder L., "På väg mot en elförsörjning baserad på enbart förnybar el i Sverige - En studie om behov av reglerkraft och överföringskapacitet", Version 4.0 (in Swedish), 2014-06-22, <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:727697/FULLTEXT01.pdf> (2015-06-27)
- [5] "Electricity supply and use 2001–2013", http://www.scb.se/en_/Finding-statistics/Statistics-by-subject-area/Energy/Energy-supply-and-use/Annual-energy-statistics-electricity-gas-and-district-heating/Aktuell-Pong/6321/24270/ (2015-06-27)
- [6] Winterwind presentations, previous conferences, 2008-2014 <http://winterwind.se/about-the-conference/previous-conferences/> (2015-06-27)
- [7] Winterwind 2015, presentations, <http://winterwind.se/about-the-conference/presentations/> (2015-06-27)
- [8] Madsen F.D., "Siemens Wind Power Blade De-Icing - 25 years of experience with turbines in cold climate", presented at Winterwind 2014, Sundsvall, Feb, 2014, <http://www.winterwind.se/sundsvall-2014/presentations-2014/?edmc=2860> (2015-06-27)
- [9] Birkemose B., "Siemens Wind Power Blade De-icing", presented at Winterwind 2015, Piteå, Feb, 2015, http://windren.se/WW2015/WW2015_57_711_Birkemose_Siemens_Deicing.pdf (2015-06-27)
- [10] Nielsen, B.D., "Vestas De-icing System", presented at Winterwind 2015, Piteå, Feb, 2015, http://windren.se/WW2015/WW2015_61_715_Nielsen_Vestas_Deicing.pdf (2015-06-27)
- [11] Baltscheffsky M., Söderberg S., "Towards an increased understanding of icing conditions within a wind farm through visualisation of SCADA data in a topographic context", presented at Winterwind 2015, Piteå, Feb, 2015,

http://windren.se/WW2015/WW2015_34_433_Baltscheffsky_Weathertech_Ice_intrafarm.pdf (2015-06-27)

- [12] Söderberg S., Baltscheffsky M., "Analysis of spatial and temporal variability in icing conditions and production losses due to icing using a new long-term icing climate database", presented at Winterwind 2015, Piteå, Feb, 2015, http://windren.se/WW2015/WW2015_36_512_Soderberg_Weathertech_Icewind_Production_losses.pdf (2015-06-28)
- [13] Byrkjedal Ø. Et al, "Validation of icing and wind power forecasts at cold climate sites", presented at Winterwind 2015, Piteå, Feb, 2015, http://windren.se/WW2015/WW2015_37_513_Byrkjedal_Kjeller_Icewind_Forecast_validation.pdf (2015-06-28)
- [14] Olsson E., "High resolution forecast maps of production loss due to icing", presented at Winterwind 2015, Piteå, Feb, 2015, http://windren.se/WW2015/WW2015_42_531_Olsson_SMHI_Icing_forecast_maps.pdf (2015-06-28)
- [15] Bernstein B. C., "Validation of Icing and Power Predictions for the O2 Wind Pilot Program", presented at Winterwind 2014, Sundsvall, Feb, 2014, http://windren.se/WW2014/O2_03_053_Validation%20of%20icing%20and%20power%20predictions%20for%20the%20O2%20wind%20pilot%20program.pdf (2015-06-28)
- [16] Ronsten G., "Lessons learned from "Large scale, cost-effective deployment of wind energy in icing climates"", (This paper), IWAIS 2015, Uppsala, July, 2015, <http://iwais.org/>. (To be published, 2015-06-28)
- [17] Bernstein B. C. et al, " Innovations in F-LOWICE real-time forecasts of wind power and icing effects, IWAIS 2015, Uppsala, July, 2015, <http://iwais.org/>. (To be published, 2015-06-28)
- [18] Byrkjedal Ø., "Development of operational forecasting for icing and wind power at cold climate sites", IWAIS 2015, Uppsala, July, 2015, <http://iwais.org/>. (To be published, 2015-06-28)
- [19] Levati D., "Siemens de-icing system", IWAIS 2015, Uppsala, July, 2015, <http://iwais.org/>. (To be published, 2015-06-28)
- [20] Norén B., "What we learned – Adaption and development of measurement technique and camera supervision for icing conditions", IWAIS 2015, Uppsala, July, 2015, <http://iwais.org/>. (To be published, 2015-06-28)
- [21] Söderberg S., "Experiences from studies of icing and production losses due to icing in OX2's Vindpilot project", IWAIS 2015, Uppsala, July, 2015, <http://iwais.org/>. (To be published, 2015-06-28)

- [22] Olsson E., "Modelling icing conditions for a selection of Swedish wind farms during winter 2014–2015", IWAIS 2015, Uppsala, July, 2015, <http://iwais.org/>. (To be published, 2015-06-28)
- [23] Westerlund R., "Controller for Surface heating", IWAIS 2015, Uppsala, July, 2015, <http://iwais.org/>. (To be published, 2015-06-28)
- [24] Kolar S., " Comparison of three different anti and de-icing techniques based on SCADA-data", IWAIS 2015, Uppsala, July, 2015, <http://iwais.org/>. (To be published, 2015-06-28)