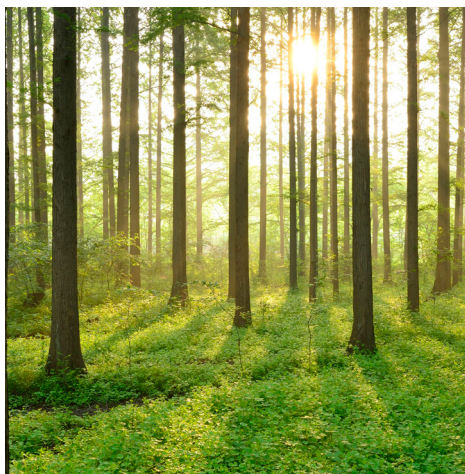


AVISNINGSSYSTEM FÖR VINDKRAFTVERK

RAPPORT 2018:467



Avisningssystem för vindkraftverk

Kontinuerligt autonomt system för avisning av
vindkraftverk

KJELL LINDSKOG OCH SVEN-ERIK THOR

ISBN 978-91-7673-467-4 | © Energiforsk januari 2018

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

"Avisning av vindkraftverk" är ett projekt finansierat av Energiforsk och Energimyndigheten genom programmet Vindforsk.

Projektet har utvecklat och testat en ny metod för detektion och avisning av vindkraftverk. Metoden som testats på ett vindkraftverk i drift fungerar väl och en framtida kommersialisering har goda möjligheter att öka produktionskapaciteten och därmed lönsamheten på befintliga och nya vindkraftverk i kallt klimat.

Projektet har utförts av Lindskog Innovation AB med Sven-Erik Thor som projektledare.

Referensgruppen bestod av Jenny Longworth Vattenfall, Jonas Sundström och Susanne Nyberg Skellefteå Kraft AB, Rolf-Erik Keck och Yngve Ydersbond Statkraft, Per-Anders Östling Fred. Olsen Renewables, Pierre-Jean Rigole Energimyndigheten och Åsa Elmquist Vindforsk.

Sammanfattning

En ny metod för avisning av turbinblad på vindkraftverk har utvecklats och demonstrerats. I projektet har ingått forskning om metoder för detektering av isbeläggning samt styrning av uppvärmning av bladytan. Projektets mål har varit att ta fram en prototyp för detektering av is och avisning samt testa denna på ett befintligt vindkraftverk. Systemet är skyddat med ett flertal patent.

De försök som genomförts vid vindkraftverket i Jokkmokksliden har visat att systemets principiella funktion är riktig och att systemet fungerar enligt ursprunglig plan. Däremot kommer det att behövas ytterligare "trimning/forskning" av de i systemet ingående komponenterna för att systemet skall bli kommersiellt attraktivt och kundanpassat.

Projektmålen har uppfyllts:

1. utveckling av värmemoduler, d.v.s. tillverkningsteknik för kombinationen av prepreg och koppartråd
2. ta fram metoder och modeller för styrning av avisningsutrustning
3. systemintegration
4. applicering av systemet på blad till vindkraftverk

Systemet har monterats och varit i drift på ett av Skellefteå Krafts vindkraftverk, under vintern 2016/2017. Erfarenheterna av drift är mycket goda.

Summary

Goal of the project:

1. Development of heating modules, including manufacturing technology.
2. Develop methods and models for controlling heating modules
3. System integration
4. Apply system on a wind turbine

The system has been installed and been in operation on one of the wind turbines owned by Skellefteå Kraft AB, during the 2016/2017 winter season.

The experiences are very promising.

Innehåll

1	Bakgrund	7
2	Systemets delar	9
2.1	Uppvärmningsmoduler	9
2.2	Styrning, reglering och kommunikation	10
3	Tester med uppvärmnings-systemet	12
3.1	Tester i fabrikslokal	12
3.2	Tester i fält	14
3.3	”Åskprov”	15
4	Montage	17
4.1	Arbetsplattform	18
4.2	Applicering av uppvärmningsmoduler	19
5	Mätning och Drift	20
5.1	Mätningar	20
5.2	Drift	21
6	Slutsatser	23
7	Stort tack	24
8	Bilagor	25

1 Bakgrund

Etablering av vindkraft i områden där nedisning kan förekomma ställer krav på att blad på vindkraftverk hålls fria från is. Avisning av blad sker i dag huvudsakligen enligt två principer. Dels genom att blåsa varm luft inuti bladen samt dels genom uppvärmning av bladytan med någon form av resistivt material.

Försök med hydrofobiska ytor har haft begränsad framgång. Det samma gäller de försök som gjorts genom att spruta varmt vatten på blad från en helikopter.

Syftet med detta projekt har varit att utveckla en ny metod för att avisa turbinblad på vindkraftverk. I projektet ingår forskning om metoder för detektering av isbeläggning samt styrning av uppvärmning av bladytan. Projektets mål har varit att ta fram en prototyp för detektering av is och avisning samt testa denna på ett befintligt vindkraftverk. Systemet är skyddat med ett flertal patent.

Det finns i dag några kommersiella system på marknaden för uppvärmning/avisning av bladytan. Det system som utvecklas inom detta projekt skiljer sig från dessa på ett par viktiga punkter:

- metoden för detektering av is
- applicering av värmemodulerna i ett steg
- metoden för att styra uppvärmningen

Teknologin baseras på de erfarenheter som erhållits vid utveckling av väskor som används för transport av sedlar och värdeföremål. Tekniken har utvecklats och kommersialiserats av Kjell Lindskog. Exempel på teknologiöverföring är till exempel användningen av vävd koppartråd samt mätning av temperatur med denna.

De första planerna för projektet diskuterades vid Winterwind-konferensen 2014 i Sundsvall. En ansökan om medfinansiering skickades till Energimyndigheten i slutet av 2014. Beslut erhöles i maj 2015.

WinterWind har varit och är den viktigaste mötesplats för alla som är intresserade av att nätverka och byta erfarenheter om vindkraft i kallt klimat.

Projektets referensgrupp har träffats vid tre tillfällen. Gruppen har bidragit med värdefulla synpunkter under projektets gång.



Delar av referensgruppen samlad september 2016.

2 Systemets delar

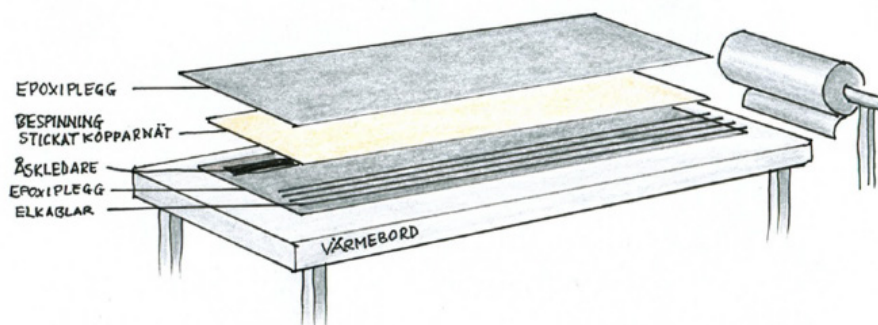
Systemet består av två huvuddelar:

- Uppvärmningsmoduler
- Styrning, reglering och kommunikation

Nedan ges en närmare beskrivning av de olika delarna

2.1 UPPVÄRMNINGSMODULER

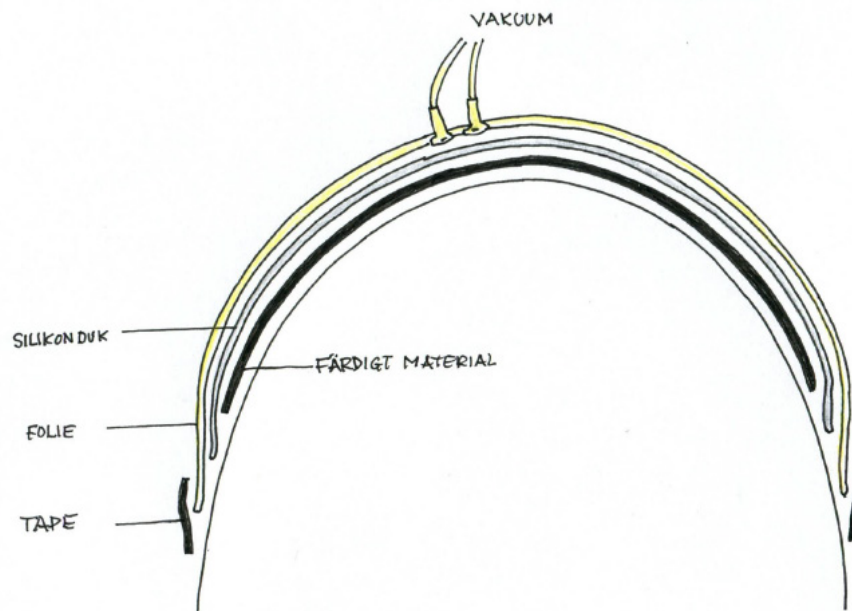
Uppvärmningsmodulerna tillverkas i sektioner på 3*0.8 meter. Dessa appliceras på turbinbladen, se kapitel 4. Modulerna tillverkas i en specialplast med ett inbyggt elektriskt värmelement, som består av en kopparväv. Modulerna kopplas samman så att de täcker den del av turbinbladen där isbildning vanligtvis uppstår. Modulen kan själv detektera när isbildningen börjar. Då aktiveras avisningen direkt, systemet känner även av när avisningen är klar.



Figur: Principiell bild visande tillverkningen av uppvärmningsmodulerna.



Figur: Kopparväv överst och exposi-prepreg, underst.



Figur: Principbild montage av uppvärmningsmodul på blad

Vid de prov som genomfördes inom projektet utrustades varje blad med tre moduler. De olika modulerna ansluts med bandkabel till styr- och mätsystemet.

Uppvärmningsmodulerna strömförsörjs från maskinhuset via släpringar i navet.

2.2 STYRNING, REGLERING OCH KOMMUNIKATION

Systemet för att mäta is på bladen och avisa bladen övervakas och styrs autonomt. Det består av en styrenhet i maskinhuset, ett åskskydd vid navet och ett drivdon i varje blad. Kommunikation mellan styrenhet och drivdon sker via radio. Kraft för avisning överförs via släpringar. Systemets status kan manuellt övervakas via en websida.

I bilaga A beskrivs systemet mer detaljerat.

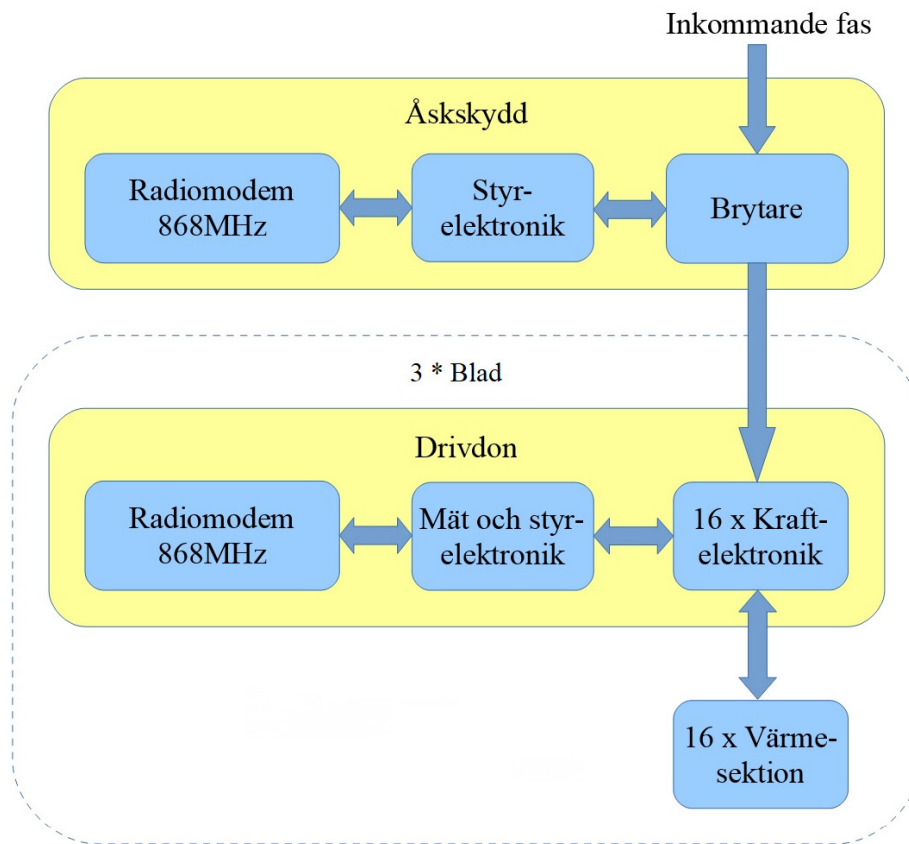


Bild: Systemöversikt

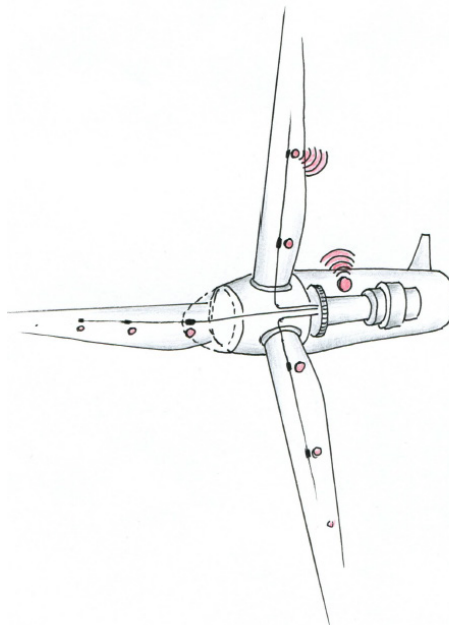


Bild: Principskiss trådlös kommunikation mellan maskinhus och blad

3 Tester med uppvärmnings-systemet

Vid projektets början fanns en principiell idé om hur uppvärmningsmodulerna skulle kunna tillverkas och monteras på bladytan. Ett omfattande testprogram genomfördes för att verifiera teknologin och montagemetoderna.

3.1 TESTER I FABRIKSLOKAL

Modulerna

I fabrikslokalen testades moduler med enskilda koppartrådar. Efter de inledande testerna konstaterades att det inte var lämpligt att lägga ut enskilda trådar i en epoxi-prepreg och därefter härda på en bladprofil. Ytan blev alltför ojämn och vågig. Nästa steg var att väva en koppartråd och på så sätt få en stabilare väv som inte gled isär vid härdningen. Ett antal olika varianter av vävar testades. Parametrar som varierades var; trådtjocklek och storlek på öglorna i väven.

Applicering av modulerna på blad

Inledande montagetester genomfördes på en mindre bladprofil. Ett flertal tester genomfördes med varierande resultat. Utmaningen var att få en jämn yta med en slät övergång till övrig bladprofil.



Figur: Inledande montagetester

Senare gjordes storskaliga tester på en bladprofil som efterliknade vindkraftverkens verkliga blad.



Figur: Härdning av uppvärmningsmodul på bladprofil



Figur: Härdad uppvärmningsmodul till vänster. Kjell Lindskog till höger.

3.2 TESTER I FÄLT

För att testa systemets förmåga att avisa gjordes fältförsök på den nedlagda flygplatsen i Fällfors. För detta ändamål utrustades en släpkärra med två bladprofiler med uppvärmningsmoduler monterade. Dessutom fanns utrustning för att spraya bladen med en vattendimma, samt styrning av avisningssystemet.

Släpvagnen drogs med en bil för att efterlikna den vindhastighet som ett blad upplever.



Figur: Testekipage med bladprofil och anordning för att spraya vatten från röret till höger



Figur: Nedisat blad



Figur: Samma blad med avisningen påslagen

Dessa tester verifierade systemets funktion. Det visade sig senare att det var opraktiskt att köra bil och släpkärra fram och tillbaka på flygfältet. Därför inhandlades en "höfläkt" med vilken man kunde blåsa en kombination av snö och kallt vatten mot bladet.

3.3 "ÅSKPROV"

I projektet har ingått "åskprov" vid Uppsala Universitet, institutionen för teknikvetenskaper¹. Avsikten har varit att studera teknikens motståndskraft mot höga spänningar/strömmar.

¹ <http://www.teknik.uu.se/elektricitetslara/forskningsomraden/askforskning/>



Figur: Laboratorieuppkoppling åskprov

Nedan redovisas kortfattat erfarenheterna från testerna. En detaljerad beskrivning redovisas i bilaga B.

I den första försöksserien sköts totalt 30 skott mot provföremålet. Värmemodulen klarade de 25 första skotten utan skador. Vid de avslutande 5 skotten, vid högre ström/spänning blev resultatet blev att värmemodulens resistans sjönk från 30,3 ohm till 20,1 ohm.

I den andra serien sköts totalt 21 skott. De 16 första skotten klarade drivelektroniken utan skador. Efter de fem avslutande skotten, vid högre ström/spänning, slutade drivelektroniken att fungera. Inga synliga skador noterades.

I den tredje serien sköts 10 skott mot metallbandet/åskledaren. Metallbandet klarade 120 kA utan synliga skador. De sista skotten sköts vid högre strömstyrka. Metallbandet värmdes då upp ordentligt och brändes.

Kommentar: Globalt sett är 90 % av alla jordblixtar negativa som tar med sig negativa laddningar till jorden. Av dem har 5 % högre än 85kA kan man säga. Däremot har de övriga 10 % av alla jordblixtar som tar positiva laddningar med sig till jorden, strömstyrka som kan gå uppemot 300kA. Höga objekt mer än 100m hög kan själv initiera en blixtn som går uppåt mot molnen och strömmen i dessa fall kan bli mycket högre än genomsnittet som ligger mellan 30-45kA.

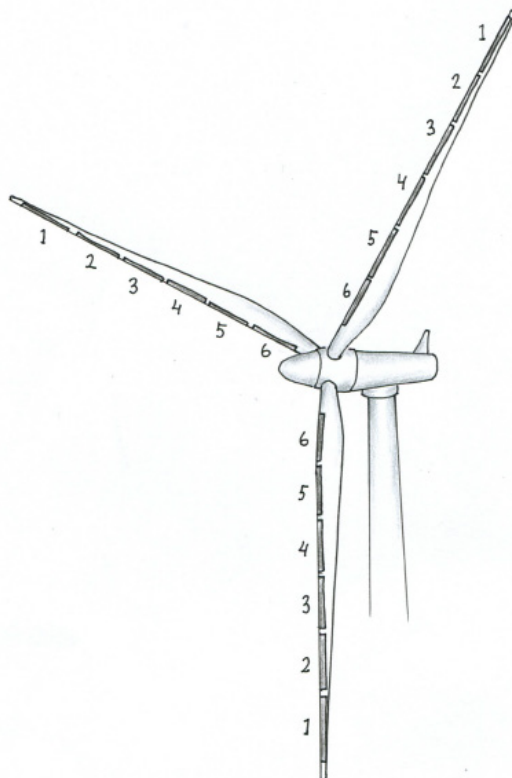
4 Montage

I samband med starten av projektet beslutades att montaget skulle ske på bladen på ett av Skellefteå Krafts vindkraftverk i Jokkmokksliden ².

Montage av värmemodulerna på blad på ett befintligt vindkraftverk är en stor utmaning. Arbete på hög höjd, utsatt för besvärliga meteorologiska förhållande gör att arbetet är svårplanerat och kan dra ut på tiden. Montage är hänvisat till de varmare årstiderna. Anledningen till att projektet valde att montera på ett befintligt vindkraftverk, var önskemålet om att montagemetoden skulle kunna demonstreras/verifieras/användas vid "retro-fit" på befintliga vindkraftverk.

Den ursprungliga tanken var att utföra montagen under sommaren 2016. Av olika anledningar blev montaget försenat. Den 12:e oktober anlände arbetsplattformen till vindkraftverket. Arbete påbörjades dagen därpå. Den 1:a november var montaget klart, dvs. 19 dagar i kalendertid. Otjänlig väderlek resulterade i att 20-50% av tillgänglig tid, blev stilleståndstid. Därefter startade inkoppling av uppvärmningsmodulerna till styr- och reglersystemen.

I figur nedan visas en principiell bild på ett tänkt montage vid kommersialisering av produkten.



Figur: Principiell bild som visar vindkraftverk med monterade uppvärmningsmoduler

² <https://www.skekraft.se/om-oss/verksamhet/vindkraft/jokkmokksliden/>

4.1 ARBETSPLATTFORM

Montaget utfördes av Roofac Wind AB med deras mobila arbetsplattform. Arbetet utfördes under oktober och början av november månad. Väderförhållandena varierade kraftigt under perioden, vilket resulterade i avsevärd stilleståndstid.



Figur: Arbetsplattformen

4.2 APPLICERING AV UPPVÄRMNINGSMODULER

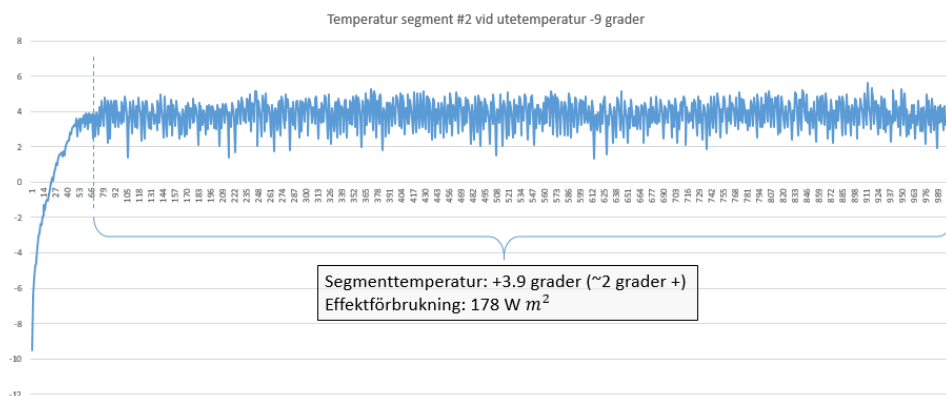


Figur: Montage av värmemodul på blad

5 Mätning och Drift

5.1 MÄTNINGAR

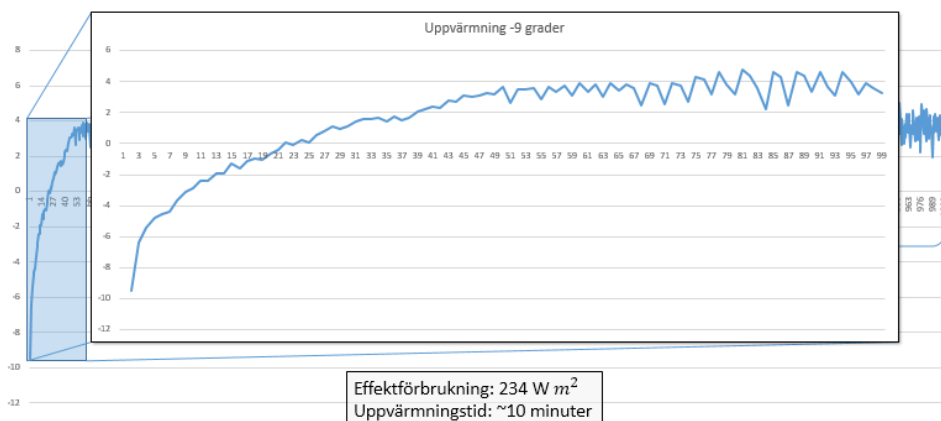
Systemet har en kraftfull funktion för styrning och insamling av data. Nedan visas några exempel på mätningar vid ca -10C.



Figur: Temperatur på segment 2. Vid start är temperaturen -10C. Då avisningssystemet slagits på ligger medeltemperaturen efter ett tag på +3.9C.

Nedan visas mätningar av ytemperaturen som funktion av tiden. Mätningen startar vid -9C. När temperaturen +4C uppnåtts börjar systemet pulsa uppvärmningen vilket resulterar i att bladytan får en temperatur på ca +4C.

Uppvärmning Segment #2 (från -9 grader till > +2 grader)

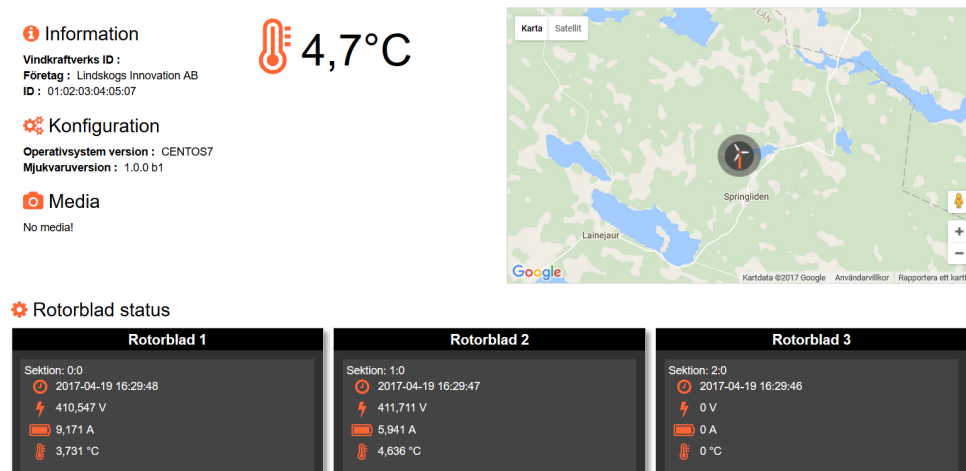


Energiförbrukningen har varit av storleksordningen 200W/m² vid dessa driftsituationer.

5.2 DRIFT

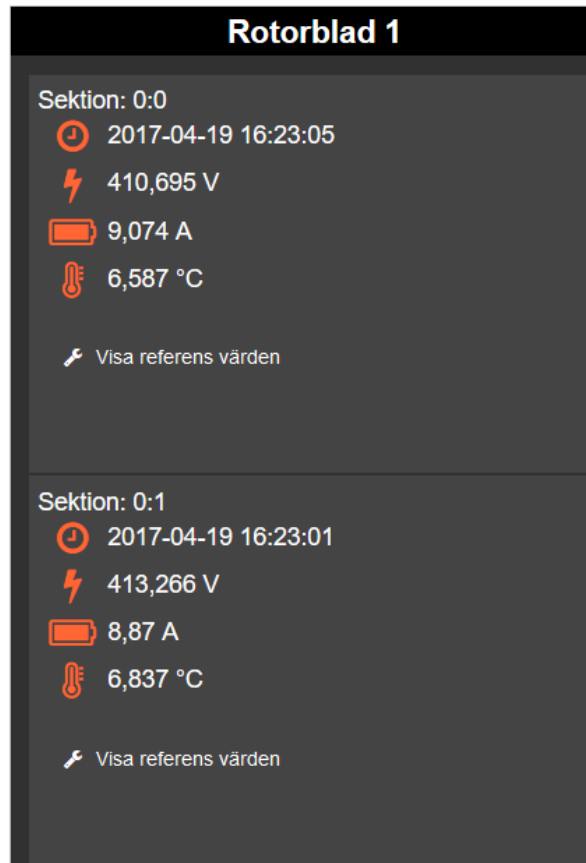
Efter det att systemet monterats och trimmats in sattes det i autonom drift hösten 2016.

För att övervaka systemet har en web-applikation utvecklats. I denna ges information om de olika sektionernas status samt värden på matningsspänning, strömstyrka och temperatur. Nedanstående figurer visar en översikt samt data för uppvärmningsmodul 0 och 1 på blad 1.



Figur: Översikt web-gränssnittet.

Rotorblad status



Figur: Detalj web-gränssnittet, blad 1 sektionerna 0 och 1.

6 Slutsatser

Erfarenheterna från projektet är:

1. de försök som genomförts vid vindkraftverket i Jokkmokksliden har visat att systemets principiella funktion är riktig och att systemet fungerar enligt ursprunglig plan. Däremot kommer det att behövas ytterligare "trimning/forskning" av de i systemet ingående komponenterna för att systemet skall bli kommersiellt attraktivt och kundanpassat.
2. En storskalig demonstration behövs för att kommersialisera produkten.
3. Det finns behov av en mer ändamålsenlig service/arbetsplattform vid applicering av uppvärmningsmaterialet.

Projektet har uppfyllt de i ansökan angivna tre projektmålen:

1. utveckling av modulerna, d.v.s. tillverkningsteknik för kombinationen av pre-preg och koppartråd
2. ta fram metoder och modeller för styrning av avisningsutrustning
3. utveckling av utrustning för avisning samt
4. applicering av denna på blad till vindkraftverk

Projektet har även uppfyllt de motiv som finns angivna i ansökan:

1. Projektet bidrar till Vindforsks mål genom att utveckla system för ökad drifttillgänglighet, minskad ekonomisk risk och ökad säkerhet i vindkraftprojekt
2. Energirelevans. Den nya produkten kommer att kunna öka energiproduktionen i kallt klimat
3. Nyhetsvärde: Den framtagna produkten bygger på nya metoder för att applicera avisningssystemet, mäta ispåbyggnad samt styrning av avisningsmodulerna.

Till ovanstående slutsatser kan läggas synpunkter från en av deltagarna i referensgruppen som framfördes i samband med granskning av rapporten

Har ni idéer om kompletteringar som kan behövas som nästa steg? (fråga i VindForsks granskningsmall)

"Viktigt med ett storskaligt försök, dels för att se hur ljudet påverkas, samt hur man kan applicera produkten på ett befintligt vindkraftverk."

7 Stort tack

Lindskog Innovation AB vill framföra stort tack till de som stöttat projektet finansiellt, "in kind" och med värdefull kunskap.

- Energimyndigheten för finansiering av projektet
- Skellefteå Kraft AB som givit projektet tillgång till vindkraftverk i Jokkmokksliden samt varit en värdefull diskussionspartner.
- WindREN för givande diskussioner om vindkraft i kallt klimat
- Roofac Wind AB för montage av uppvärmningsmodulerna
- Projektets referensgrupp, med följande medlemmar

Referenspersoner:	Företag
Jenny Longworth	Vattenfall
Jonas Sundström	Skellefteå Kraft AB
Susanne Nyberg	Skellefteå Kraft AB
Rolf-Erik Keck	Statkraft
Yngve Ydersbond	Statkraft
Per-Anders Östling	Fred. Olsen Renewables
Pierre-Jean Rigole	Energimyndigheten
Åsa Elmqvist	Vindforsk

8 Bilagor

Bilagorna bifogas ej i den publika versionen av rapporten.

Bilaga A:

Systembeskrivning avisning vindkraft

Tobias Bodén och Lars-Arne Eriksson

Nr: 100014, version 2.

Bilaga B:

High voltage simulation

Uppsala Univertitet, High Voltage Laboratory

Test report 1701, 2017-04-25

AVISNINGSSYSTEM FÖR VINDKRAFTVERK

Att etablera vindkraft i områden där det förekommer nedisning ställer höga krav på att vindkraftverkets blad hålls fria från is. Här presenteras ett nytt system som har tagits fram för att mäta is på bladen och för att avisa bladen genom uppvärmning.

En prototyp av det nya systemet har testats på ett vindkraftverk i Jokkmokksliden. Resultaten visar att systemets principiella funktion är riktig och att det fungerar enligt den ursprungliga planen. För att avisningssystemet ska bli kommersiellt attraktivt och kundanpassat kommer ytterligare försök och trimning att krävas.

Vi gör energivärlden smartare

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. Forskningsprogrammet Vindforsk drivs i samverkan med Energimyndigheten.