

NYA VINDAR FÖR VINDKRAFTEN

VINDFORSK SLUTSYNTES 2018



INNEHÅLL

Forskning i medvind	3
Vindkraftens lönsamhet	4
Fakta och kunskap för vettiga beslut	6
Kompetens och näringslivsutveckling viktigt för energimyndigheten	7
Samverkan och nätverk	8
Vindresursen, projektering och etablering	
Underlättar modellering i stor skala	10
Hur beter sig vinden över skog?	11
Enklare att beräkna produktionen	12
Drift och underhåll	13
Ny teknik för avisning	14
Alternativ metod för avisning	15
Att förvalta sin anläggning och producera mer	16
Effekt av underhåll på växellådor	17
Ny metod att beräkna behov av underhåll	18
Stor skillnad i prestanda	19
Vindkraft i elsystemet	20
Minskat underhåll utan borstar	22
Bättre användning av vindresursen	23
Nya realistiska tidsserier	24
Vindkraftens tröghetsmassa	25
Minskad risk för pendlingar	26
Ändrad lutning på blad ger mer kraft	27
Vindkraften tar ton	28
Fler vindkraftverk på samma ledning	29
Hitta orsaken till kortslutning	30
Programråd och experter bidrar	31





FORSKNING I MEDVIND

Under de senaste fyra åren har jag haft förmånen att vara ordförande i programrådet för Vindforsk. Samarbetet mellan industri och akademi är viktigt för utvecklingen av vindkraft och forskningsprogrammet har på ett utmärkt sätt fört samman branschens behov med kompetens och kreativitet i akademien.

Unikt samarbete

Programmets finansiärer består förutom Energimyndigheten av kraftbolag, nätägare, projektörer och andra aktörer i vindkraftsindustrin. Därmed har programmet gett slutanvändarna en unik möjlighet att samarbeta med högskolor och andra kvalificerade utförare.

Viktig bas för rekrytering

Programmet har resulterat i ett flertal doktorandprojekt som dels lägger grunden för fortsatt forskning och dels resulterar i en viktig rekryteringsbas för industrin. Därutöver finns ett flertal mer konkreta projekt som kommer leda till en mer kostnadseffektiv utbyggnad av den svenska vindkraften.

Intressanta diskussioner

Branschens stora intresse och engagemang i Vindforsk har varit en viktig tillgång i arbetet som har resulterat i många intressanta diskussioner både i programrådet och i de olika projektens referensgrupper. Utan detta djupa engagemang och utförarnas stora kompetens och entusiastiska arbete hade vi inte lyckats komma så långt i att hitta nya lösningar och vägar framåt. Sist men inte minst vill jag också peka på att programmet har drivits av Energiforsk på ett mycket professionellt och positivt sätt.

Jag tycker att den här slutrapporten visar på bredden i Vindforsk och jag hoppas att det kan leda till att intresset i branschen ökar för resultaten från de genomförda projekten och för all den kunskap som presenteras här.

Nya idéer

Vi står inför stora och spännande utmaningar inom energibranschen. Att vara med i denna utveckling är spännande och jag hoppas att du som läsare ska tycka att det är inspirerande läsning som kan ge nya idéer och kontakter mellan industri och akademi i ditt framtida arbete inom vindkraft.

Göran Dalén

Ordförande i programrådet för Vindforsk

Målet med programmet är att ta fram fakta som ger ny kunskap kring att projektera, bygga och driva vindkraftsanläggningar på ett mer effektivt sätt.

Vindforsk har drivits i samverkan med Energimyndigheten med syftet att underlätta anpassningen av anläggningar och kraftsystemet till en ökande andel vindkraft i Sverige.

Vindforsk startade i januari 2001 och avslutar nu sin fjärde programperiod som har pågått mellan 2013 och juni 2018.

Uppdragsgivare är Energimyndigheten, EnergiNorge, Göteborg energi, Eolus, Vattenfall, Vestas, Siemens, Stena Renewable, Fred. Olsen Renewables, Ox2, EOn, Svenska kraftnät, Karlstad energi, Wallenstam, AQ System, Statkraft, Jämtkraft, Öresundskraft, Falkenberg energi, Vindin, ABB, Skellefteåkraft, WPD, Systemcon och Tekniska verken i Linköping.



VINDKRAFTENS LÖNSAMHET

Vad är det som påverkar lönsamheten för ett vindkraftverk? Vi har frågat tre personer som arbetar med vindkraft. Åsa Elmqvist på Energiforsk som är programansvarig för Vindforsk, Måns Håkansson som är meteorolog och vind-analytiker och Göran Ronsten som arbetar på WindREN.

Åsa Elmqvist, programansvarig Vindforsk, vindkraften beskrivs av många som det energislag för elproduktion som har störst möjlighet att bli lönsamt. Hur ser du på det?

– Jag tror absolut att det kan vara så. Hela kostnaden för ett vindkraftverk är ju känd efter att man byggt verket. Man är till exempel inte beroende av en marknad med flukturerande bränslepriser till exempel. En stor del av kostnaden för vindkraftverket ligger i byggnaden. Det handlar också om att få till en så effektiv drift som möjligt.

Hur kan lönsamheten bli bättre för vindkraftsägarna?

– Vi behöver bygga mer effektivt än tidigare, materialkostnaden måste ner både till lands och till havs. För framtiden är det också viktigt att tänka på hur man lägger upp affären. Hur anläggningen finansieras kan ha stor betydelse för lönsamheten.



Tillståndsprocessen är en stor del av kostnaden i ett anlägga ett vindkraftverk:

– Ja, här behövs det en smidigare tillståndsprocess. Vi behöver få klarare riktlinjer från myndigheterna. Stora kostnader läggs idag på miljökonsekvensbeskrivningar.

Under en längre period har vi haft låga elpriser och låga elcertifikatspriser. Branschen har inte gått så bra. Nu kan vi se en viss optimism i branschen igen. Vad beror det på?

– Vi har en energiöverenskommelse med målet att vi ska ha 100% förnybar el till 2040, vinden kommer att bli ett av de viktigaste energislagen och det skapar optimism.

Vad behöver vindbranschen tänka på?

– Det finns mycket aktuell forskning som kan hjälpa företagen att få ut så mycket energi som möjligt ur vinden. Forskningen handlar till exempel om hur man hanterar vakar, om förutsättningar för vind i skog, hur verken förhåller sig till varandra i en park och vindens turbulens. En annan viktig del är underhållet av vindkraftverken. Ett planerat underhåll leder till färre stopp och minskat slitage. Om underhållsinsatser planeras, och läggs på dagar när det inte blåser så mycket, förlovar man inte så mycket av sin energiinkomst. Ett viktigt forskningsområde är också vad vindkraften har för förutsättningar att bidra till ett stabilt och robust elsystem.

Måns Håkansson, meteorolog och vindanalytiker på Statkraft Sverige, vad är det som påverkar hur lönsamt ett vindkraftsprojekt blir, anser du?

– Det är en kombination av många parametrar som avgör ett vindkraftsprojekts lönsamhet. Det handlar om var vindkraftverken byggs, är det tekniska utmaningar förenade med att bygga just där? Vilka begränsningar finns i tillståndet? Vilka program för underhåll kan användas vid driften? Vilket prisområde kommer parken att tillhöra? Hur ser avtalet med turbinleverantören ut?

Vilken är den mest avgörande parametern?

– Det är vindresursen och områdets geografiska förutsättningar att utnyttja vinden optimalt. Det är viktigt att vinden kan tas tillvara så effektivt som möjligt, utan för stora förluster från vindvakar, ogynnsamma strömningsförhållanden och nedisning. Det är ju vinden som utgör själva källan till energin som ska utvinnas. Har man inte vinden på sin sida är det ingen idé att gå vidare med projektet.

En gynnsam vind, vad utmärks den av?

– En bra vindresurs utmärks av hög medelvind, gynnsamma hastighets- och riktningsfördelningar med relativt låga turbulens- och vindskjuvningsnivåer. Vindresursen styrs av globala, regionala och lokala mönster i vindklimatet, där klimatzonen, de regionala förhållandena samt terräng, vegetation och byggnader påverkar vindarnas rumsliga och temporära variationer över parkområdet.

Hur bedöms lönsamheten bäst?

– För att kunna bedöma projektets lönsamhet, behöver man sätta inkomsterna från försäljningen av produk-



tion, inklusive elcertifikat i relation till kostnaderna för att bygga, driva, underhålla och slutligen demontera parken.

Hur kan vi använda vindresursen mer effektivt?

– Modern teknikutveckling hjälper oss att successivt att utnyttja vindresursen allt bättre. Med den senaste generationen turbiner kan vi numera utveckla lönsamma projekt på platser som tidigare ansågs för svaga rent vindmässigt. Vindens variation i tid och rum är avgörande och en tydlig trend är att allt fler utvecklare och konsulter väger in mer meteorologiska parametrar som vindskjuvning och atmosfärisk stabilitet i produktionsberäkningarna, där man tidigare endast förlitade sig på vinden i navhöjd. Man undersöker hur vindenergin fördelar sig över rotordisken. Man kan därmed beräkna den totala rörelseenergin hos luften som passerar en turbin, samt hur den fördelar sig över rotordisken. Det leder till att mer precisa produktionsutvärderingar kan göras, vilket ger bättre beslutsunderlag när man väljer vilka projekt som kan utvecklas till vindkraftparker med bra produktion.

Is minskar produktionen

Nedisning leder till stora produktionsförluster. Ofta stoppar nedisning vindkraftverket helt för att aerodynamiken runt bladen förstörts eller för att isen leder till vibrationer som gör att vindkraftverket stannar.

Göran Ronsten på WindREN har räknat på produktionsförluster till följd av nedisning. Värdet av den årliga produktionsförlusten för ett vindkraftverk med en nettointäkt på 300 kronor/MWh vid en årlig produktionsförlust på 10 procent är 30 000 kronor per GWh (utan nedisning).

– Dagens vindkraftverk kan utan vidare producera en faktor tio mera, det vill säga 10 GWh per år och då blir den årliga förlusten på grund av nedisning istället 300 000 kronor! De siffrorna visar att det är viktigt att vi fortsatt satsar på forskningen inom området!



Tekniken utvecklas snabbt och med hjälp av olika typer av bladuppvärmning och smarta detektions- och driftstrategier kan isen undvikas. Två nya forskningsprojekt om nedisning beskrivs på sidorna 14-15.



FAKTA OCH VETENSKAP FÖR VETTIGA BESLUT

För att klara de nya utmaningarna inom energiområdet är samhället beroende av forskning och innovation. Genom forskningen kan vi få ny kunskap som leder till bättre beslut och mer effektiva produkter och tjänster, samtidigt som vi mår om klimat och miljö. Kunskap behövs också som underlag i politiska beslutsprocesser. Ett exempel är det omfattande kunskapsunderlaget som ställs samman kring den nationella ramen för vindkraften i Norge.

Ska vi ha en innovativ och konkurrenskraftig bransch så måste den nya kunskap som kommer fram via forskningen användas i ute på företagen.

–Forskningsprojektens referensgrupper bör lägga upp strategier för hur kunskapen ska spridas redan i starten av ett FoU-projekt. Det leder till effektiv kunskapsöverföring och de medverkande får sin kunskapsbas uppdaterad allteftersom, säger Solgun Furnes på Energi Norge. Det gör också att de medverkande i sitt dagliga arbete kan använda de nya kunskaperna, exempelvis för att identifiera kunskapsluckor och i investeringsbeslut.

–Samspelet mellan energibranschen och forskarna ger forskarna värdefull förståelse för vilka frågor som är viktiga för branschen och var utmaningarna ligger, säger Solgun Furnes.

Utbildning

Minst lika viktigt är att det erbjuds relevanta utbildningar på energiområdet. Uppdaterad kunskap är avgörande för att vi ska kunna erbjuda utbildningar för studenter som ligger i linje med vad branschen behöver.

–De som redan arbetar i branschen behöver också hålla sig ajour med den nya utvecklingen, därför är det centralt att det finns möjlighet till vidareutbildning i relevanta frågor, säger Solgun Furnes.

Det råder en stor brist på kompetent arbetskraft i energibranschen. På Svenska kraftnäts avdelning drift arbetar Camille Hamon sedan februari. Han kom från en forskarutbildning på KTH med inriktning på elkraftteknik.

Specialistkompetens

Tönn Arro på Svenska kraftnät och den som anställde Camille Hamon, bekräftar att det är svårt att få tag i personal med specialistkompetens inom energisektorn.

– Anställning av personer med en forskningskompetens som den Camille Hamon har, är en nödvändig förstärkning av vår organisation. Det var framförallt Camilles generella elkraftstekniska kompetens som var avgörande, men även hans erfarenheter från forskningsprojekt inom kraftsystemdrift är av värde för oss, säger Tönn Arro.

Nytta med forskarutbildad

Pontus de Maré är ansvarig för avdelningen för drift på Svenska kraftnät och svarar så här på frågan om vilken nytta han ser i att ha en forskarutbildad medarbetare:

– Camille arbetar nu med nya metoder för att beräkna kapaciteten i elnätet. Det är ett avancerat arbete och svårt att sätta sig in i. I kombination med Camilles analytiska förmåga ser jag nu att vi kan utvecklas snabbt och med hög kvalitet. Normalt tar det cirka ett år att bli högproduktiv inom det här området, men för Camille har det tagit mindre än 3 månader att nå fram till utmärkta resultat!

Camille Hamon tycker själv att övergången från forskningsvärlden till industrin gick bra.

–Tack vare min forskarutbildning har jag haft gott om tid att sätta mig in i ämnet. Det gör att jag känner mig trygg med min kunskap, och det gjorde att jag kunde komma in på mitt nya jobb i näringslivet relativt snabbt.



KOMPETENS OCH NÄRINGSLIVSUTVECKLING VIKTIGT FÖR ENERGIMYNDIGHETEN

Vi har ställt några frågor till Linus Palmblad på Energimyndigheten, som arbetar med forskningsstöd inom förnybar energi och med strategier för forskningsfinansiering på enheten för hållbar el. Energimyndigheten är den största finansiären i Vindforsk, och en viktig mottagare av nya resultat som kan underlätta anpassningen av anläggningar och kraftsystem till en ökad andel vindkraft i Sverige.

Varför behöver vi forskning om vindkraft?

–Energimyndighetens uppdrag är att ställa om till ett hållbart energisystem, och vindkraften är en viktig komponent i den omställningen. Resultat och ny kunskap från forskningen behövs på flera olika sätt i vårt arbete.

Kan du ge något exempel på användning av resultat?

–Ja, vi jobbar just nu med en prognos för hur ett framtida 100 procent hållbart energisystem ska se ut. De resultat som kommer från Vindforsk är viktiga för att kunna göra ett bra arbete i den här frågan.

Vad är det viktigaste resultatet som du ser det?

–En aspekt som ofta lyfts fram i utvärderingar är kompetensförsörjning. Jag tror att den största nyttan med Vindforsk är den kompetens, i form av doktorander från programmet, som efter avslutad utbildning finns tillgängliga för energibranschen.

Behöver vi forska mer?

–Vindkraften har kommit långt och tekniken är vid det här laget mogen. Det handlar därför i första hand om att göra saker lite, lite bättre. Flera projekt i Vindforsk som vi kan läsa om här handlar därför om drift och underhåll.

Vad kan vi förvänta oss av framtida vindforskning?

–Det finns flera stora framtidsfrågor för vindkraftsforskningen: Vad händer exempelvis när det är dags att avveckla en park? Det handlar om repowering, återvinning bland annat. Det kommer absolut att finnas ett stort forskningsbehov och tillfällen till nya affärsmöjligheter framöver.

Är kommersialisering en viktig fråga?

–I Energimyndighetens uppdrag ingår att främja näringslivsutveckling. Ett exempel på innovativt projekt är den koppartråds matta för avisning som Lindskog innovation tagit fram i ett av projekten. Det är ett spännande exempel som jag tror det finns en stor potential i.

Vad är framtiden för vindkraften?

–Det har på senare år blivit mycket tydligare i politiken åt vilket håll utvecklingen är på väg. Vindkraften är för tillfället det mest konkurrenskraftiga alternativet, och det är klart att vindkraft kommer att ha en betydande roll när mycket av vår nuvarande kraftproduktion kommer att läggas ner.

Vad återstår för att underlätta anpassningen till en ökad andel vindkraft i Sverige?

–Det viktigaste nu tror jag är att lösa frågan om långdragna tillståndprocesser. Det byggs mycket och det är många olika samhällsintressen som ska mötas i varje projekt, men signalen vi får är att det är svårt att få nya tillstånd.

Hur kan tillståndsfrågan lösas?

–Det krävs en övergripande samhällsplanering och det behövs bra riktlinjer så att olika intressen kan vägas mot varandra på ett rättvist och optimalt sätt i ett helhetsperspektiv. Exempel på det är den vindkarteringen som gjordes inom Vindforsk i en tidigare programperiod. Den visade att det fanns en mycket större andel goda vindlägen på land, framför allt i norra Sverige, än vi tidigare hade trott.



SAMVERKAN OCH NÄTVERK

En viktig del i forskningen är det arbete som görs i Vindforsks programråd, i expertgrupper och i referensgruppen till varje projekt. De olika grupperna bidrar med expertkunskap, är branschens stöd till projektet och är på så sätt en viktig förstärkning till forskningen genom den breda kopplingen till praktisk verksamhet i industrin.

–Att sitta med i programrådet var trevligt och lärorikt då det gav inblick i olika utvecklingsbehov. Gruppen var väl sammansatt med representanter från olika aktörer som deltog med goda intentioner vilket lade grunden för en bra samverkan, säger Johanna Lakso som var med i rådet för ett par år sedan och numera som arbetar på Naturskyddsföreningen.

Att delta i en referensgrupp betyder att avsätta tid för möten, men innebär också en möjlighet att utbyta erfarenheter med kollegor och forskare, att utöka sitt professionella nätverk, att bredda sin kunskap och att få en djupare insikt i ett specifikt forskningsområde.

Först med det senaste

Som deltagare i en referensgrupp är man bland de första som kan öka sin kunskap och få direkta svar på sina frågor. Många var intresserade av att vara med i referensgruppen till Chalmers-projektet Analys av genomslag i vindkraftparker med 36 kV kabelnät och vakuumbrytare.

Resultaten visade bland annat att man inte kan använda vanliga komponenter i samband med vindkraft. Det är viktigt att vara noga när man väljer utrustning, både i upphandling och i samband med att man bygger.

–Resultaten från projektet gav bra information om vilken typ av avslut man inte ska installera. Det är inte ett distributionsnät vi bygger, det är ett produktionsnät som kräver en annan typ av elektrisk stress, menar Giorgio Gallettini på OX2 som var en av deltagarna i referensgruppen.

Giorgio Gallettini menar att man borde kräva högre kvalitet på avslut och andra komponenter. Att man borde kräva en isolationskoordineringsstudie, även under 130 kilovolt på en vindkraftsanläggning.

Ändrad design

–Jag använder den här informationen i varje projekt. Sen 2012 när jag jobbade för Vattenfall tills nu när jag är på OX2 har vi inte haft ett enda haveri i avslut. Vi har tagit bort vissa leverantörer av kabelavslut, ändrat elnätsdesign – vi bygger på ett annat sätt numera, säger Giorgio Gallettini, som menar att många bygger på samma sätt som tidigare.

–Jag var mycket nyfiken på projektet! Jag hade själv gjort mätningar, men haft svårt att lösa hur man ska undvika problemet med kortslutningar, säger Christer Liljegren som är elkraftskonsult specialiserad på anslutning av förnybar el.

Egenföretagare

De flesta i just den här referensgruppen var från företag som antingen administrerar eller sköter driften på stora vindkraftverk. Men Christer Liljegren är egenföretagare och arbetar mycket ensam.

–Den största nyttan för mig med att vara med i projektet har varit att jag har kunnat verifiera sånt som jag jobbar med och har stött på. Och det är bra!

VINDRESURSEN, PROJEKTERING OCH ETABLERING

The background image shows two white wind turbines standing on a lush green field. The sky is a vibrant blue with scattered white clouds. The turbine in the foreground is larger and more prominent, while the second one is further back and smaller. The overall scene is bright and clear, suggesting a sunny day.

Projekten i det här kapitlet handlar om hur vi kan utnyttja vår vindresurs på bästa sätt och hur vindkraftverken kan bli mer ekonomiskt lönsamma. Genom ökade kunskaper om vind kan man lättare förutse energiproduktion hos vindkraftverken och de laster som de kommer att utsättas för. Det handlar till exempel om vindvakar och hur de påverkar i vindkraftsparker och vilka vindförhållande som kan råda i olika typer av skogsmark. Utökad kunskap gör det lättare att hitta rätt plats och rätt typ av vindkraftverk. Den här forskningen är viktig för att få verken mer lönsamma genom till exempel minskade underhållskostnader.

Underlättar modellering i stor skala

Hur påverkar vindvakar omgivande vindkraftverk i en park och mellan olika parker? Här tar forskarna fram kunskap om hur kostnaden per kilowattimme ska minska för svensk industri bland annat genom att utveckla metoder för att öka parkeffektiviteten och minska lasterna.

Syftet har varit att göra det möjligt att optimera och styra vindkraftsparker med avseende på prestanda och laster vilket innebär en minskad kostnad per producerad kilowattimme. Det handlar bland annat om att öka parkens effektivitet och att minska lasterna för att minska kostnaden för underhåll med 10 procent. Det görs genom att laster på turbiner nedströms kan beräknas med större tillförlitlighet med mer detaljerade beräkningsmodeller.

–Park-park interaktion är något som man i allt högre grad behöver ta hänsyn till i utbyggnaden av vindkraft då parker i större utsträckning kommer att byggas i närhet till varandra, säger Linus Palmblad på Energimyndigheten.

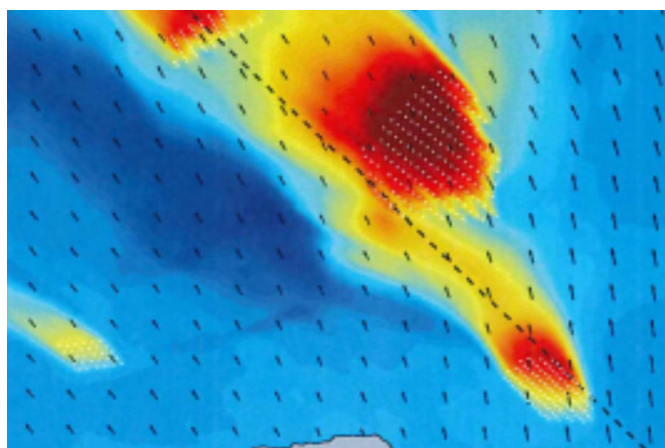
Sänkta elproduktionskostnader

– Den kunskap och kompetens som projektet resulterar i kan påverka möjligheten att öka elproduktionen och samtidigt minska utmattning och slitage på vindkraftverken i parker vilket kan sänka elproduktionskostnaden, säger Linus Palmblad.

Projektet genomförs av en grupp som verkar i ett väl etablerat samarbete med andra nordiska aktörer såväl som internationella grupper inom IEA. Gruppen samlar även aktörer från både akademien och branschen, bland annat genom jämförelser av mätdata och gemensamma studier.

Examinerade forskare

I projektet har Karl Nilsson disputerat med avhandlingen Numerical computations of wind turbine wakes and wake interaction och Ola Eriksson avlagt licentiatexamen med avhandlingen Numerical computations of wakes behind wind farms.



Projektet utvecklar metoder för mätning av hur vindvakar påverkar omgivande vindkraftverk.

Nordiskt konsortium; optimering av stora vindkraftsparker, NC Wake

Projektledare: Stefan Ivanell, Uppsala Universitet

Projekttid: april 2014 – december 2017

Hur beter sig vinden över skog?

Nu finns det ny kunskap om vindförhållanden över skogsmark som har tagits fram genom vindmätningar och modellsimuleringar av vindens egenskaper. Målet har varit att beräkna hur vinden påverkar och belastar vindkraftverk i skogsmiljö.

Forskningen har försökt att uppskatta skogens effekt på elproduktionen och föreslagit metoder för att bättre förutsäga energiutbytet över skog. Ett övergripande mål med modellverktygen är dessutom att försöka koppla det "riktiga vädret" på en viss plats till den momentana upplevda lasten på en vindturbin..

Modellsimuleringar

För att studera vind och turbulens över skog mer i detalj har modellsimuleringar gjorts med både den mesoskaliga modellen WRF och med LES-modeller för både homogen och icke-homogen skog. Det handlar här om att kvantifiera effekten av vind och turbulens över skog på vindturbinernas elproduktion och laster.

– Resultaten kommer att leda till mer pålitliga beräkningar av vindarna över skog. Det är viktigt för att göra rätt bedömningar av energiproduktionen och laster på turbinerna, säger Anders Björck på OX2.

Forskarna har tagit reda på om elproduktionen påverkas negativt av den ökade turbulensen och vindskjuvningsen över skog och om effekterna av detta kan uppskattas. Man har också studerat hur blandad skogsmark påverkar centrala parametrar som behövs i vindkarterings- och mikro-siting-modeller.

Brygga mellan forskare och användare

En partner i forskningsprojektet är Weathertech, ett litet konsultbolag som lägger halva sin tid på att forska och den andra halvan på att jobba kommersiellt.

–Vi vill ligga i framkant och jobba nära både universiteten och vindprojektörerna. Vi är en brygga mellan forskarvärlden och den kommersiella användningen, säger Stefan Söderberg på Weathertech.

Projektet byggde i samarbete med OX2 en 180 meter hög mätmast vid Hornamossen väster om Vättern. Under två års tid samlades mätvärden in som har analyserats av Johan Arnqvist och andra forskare på Uppsala universitet. Därefter har projektdeltagarna vidareutvecklat sina modeller för att ännu bättre kunna modellera platser i närheten av skog.



Gunnar Bergström och Johan Arnqvist i projektets 180 m höga mast.
Foto: Johan Arnqvist

– Det finns en stor osäkerhet om turbulens över skog, och de verktyg som används i dag är förenklade när det gäller skogsmark, säger Stefan Söderberg.

Turbulens över skog

Det är oklart hur vinden beter sig över kuperad skogsmark som liknar ett lapptäcke. Nya turbiner kommer i framtiden nå upp till 250 m höjd. Det man vet nu är att vinden vrider mer och att den ökar mer ovanför skog än över andra vegetationstyper. Slutmålet är att ta reda på mer om hur den vertikala vindförändringen och turbulensen ser ut över typiska svenska skogslandskap, mata in dessa data i modellerna och med hjälp av detta göra mer precisa last- och produktionsberäkningar.

Kunskap till projektörer

–Nytan med vårt projekt är att använda resultat från forskningen för att vidareutveckla modeller och föra ut ny kunskap till olika projektörer. Det här är inte fri forskning. Det viktiga är att det finns en mottagare och ett intresse så att vi kan komma ut med vår idé, säger Stefan Söderberg.

OM PROJEKTET

Vindkraft i skog II Forestwind

Projektledare: Mattias Mohr, Uppsala Universitet

Projekttid: april 2014 – december 2017

Slutrapprt: Wind Power in Forests, Energiforskrapport 2018:499

Enklare att beräkna produktionen

Det här är ett projekt om mätning och modellering av vibrationer och om hur vindkraftverkens prestanda påverkas av de vindar de utsätts för i typiska svenska klimat-, skogs- och terrängförhållanden.

Vindkraftverk är utrustade med övervakningssystem för att man ska kunna upptäcka vad som krävs för att utföra service på eller byta ut innan ett fel har inträffat. Men övervakningssystemen är inte fullt utvecklade för att bedöma risken för skador som beror på särskilda vindförhållanden på platsen. De nya metoder som projektet har utvecklat skulle kunna användas för en mycket mer detaljerad övervakning.

–Genom att minska osäkerheten när man gör prognoser för vindkraftproduktion minskar kostnaden för kapital och gör därigenom att projektet blir bättre. En bättre kunskap om laster på verk i komplexa förhållanden ger förhoppningsvis också en ökad livslängd, säger Ylva Odemark som är forskningsansvarig för vind på Vattenfall.

Lasterna påverkas

Uppströmsvindens olika egenskaper exempelvis vindgradient, inflödesvinkel och turbulensintensitet påverkar nacellens rörelser. Det betyder att lasterna i tornsystemet, i drivlinan och i rotorbladen påverkas. Forskarna har därför gjort 3D-mätningar av uppströmsvinden och av nacellens rörelser för att bättre förstå kopplingen mellan lasterna och vindkraftverkets prestanda och livslängd.

–Resultaten av det här projektet bidrar i sig kanske inte till kostnadsbesparingar eller effektivisering, men ger i förlängningen en möjlighet för vindkraftägare att mer exakt kunna bedöma och beräkna framtida vindkraftsproduktion, vilket är väldigt viktigt när man fattar beslut om etablering, säger Susann Persson på Jämtkraft VD-stab Miljö.

Analys av rörelsesignaler

Projektet kombinerar ett mät- och analyssystem som mäter högupplösta vibrationer för att undersöka turbinprestanda och identifiera olika vindförhållanden och defekter på komponenter. Det bidrar till ett bättre underlag för ekonomiska kalkyler och för framtida val av turbiner. Målet är att se när systemet inte presterar genom att analysera rörelsesignaler och verifiera dagens beräkningar av laster och vakförluster, baserat på de mätningar som har samlats in.



Spetskompetens ger svar

Modellutveckling Inom projektet har även en strömningssmodell utvecklats för att ta hänsyn till skog och terräng vilket innebär ett stort steg mot tillförlitliga simuleringar av vakinteraktioner.

Stort kunskapsutbyte

Forskarna har utvecklat ett system för att underlätta övervakning av laster på vindkraftverk som i detalj presenteras i den andra rapporten från projektet, Load Monitor 2. Resultaten bygger på såväl aeroelastiska simuleringar, som på mätningar från ett vindkraftverk i skogsterräng.

–Det här projektet har varit värdefullt för vindkraftsbranschen eftersom det medfört tillgång till svar på viktiga frågor från spetskompetens inom området. Och genom att forskningsfinansieringen sker kollektivt i Vindforsk blir kostnaden för varje företag en bråkdel av vad den är värd, säger Åsa Elmqvist som är programansvarig på Energiforsk.

Loadmonitor – mätning och modellering av vibrationer och laster på Vindkraftverk

Projektledare: Johannes Lindvall, Kjeller Vindteknikk

Projekttid: maj 2015 – december 2016

Slutrapporter: Load Monitor – Measuring and modeling vibrations and loads on wind turbines, Energiforskrapport 2018:482 och Load Monitor Part 2 – Concepts for monitoring loads on towers and foundations, Energiforskrapport 2018:483

DRIFT OCH UNDERHÅLL

Det är viktigt att kunna beräkna kostnaderna för underhåll av vindkraftverk och få fram kunskap om varför olika fel uppstår i vindkraftverkets komponenter. Forskningsprojekten i det här kapitlet handlar om beslutsmodeller för underhåll, om hur beställare av utrustning kan få ökad kunskap om olika komponenters tillförlitlighet och underhållsbehov och om hur livscykelkostnader kan beräknas med större säkerhet. Ett av projekten handlar om vindkraft i kallt klimat och behandlar problemen med is. Målet är att ta fram en produkt som minskar risken för produktionsuppehåll till följd av nedisning och minskar kostnaderna för underhåll. Ett annat projekt ger förslag på hur växellådor kan utvecklas.



Ny teknik för avisning

Här har en helt ny teknik för att avisa vindkraftverk utvecklats för att användas i nya vindkraftverk. Tanken är att tekniken, som består av nät av koppartråd som monteras på rotorbladen, också ska kunna användas på redan uppförda vindkraftverk. Att avisa med kopparstickning är mer energieffektivt än befintliga tekniker och har dessutom förmåga att fungera bättre vilket ökar elproduktionen.

Nedisning är en betydelsefull fråga för många vindkraftsägare, eftersom en stor andel av de svenska parkerna är byggda på platser som påverkas av is. Produktionsförlusterna till följd av nedisning kan uppgå till mer än tio procent per år för de mest utsatta vindparkerna. Det är därför viktigt att lösa problemet med nedisning på ett bra sätt.

Laboratorieprov

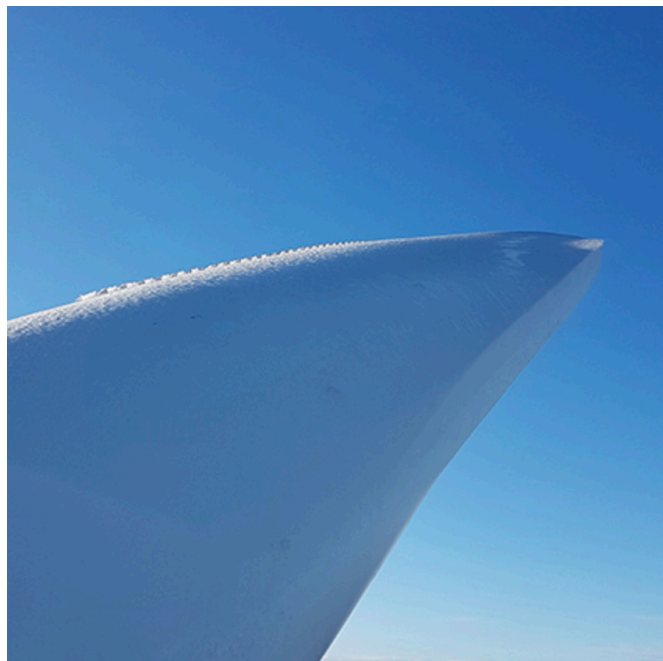
De inledande försöken med systemet genomfördes i laboratorium. I samband med det testades de olika komponenterna som ingår i systemet.

–Vi monterade värmemoduler på bladprofilerna och anslöt styrelektronik för uppvärmningen. Det innebar också en möjlighet att testa tekniken för hur värmemodulerna skulle monteras på rotorbladen, säger Sven-Erik Thor, projektledare på Lindsfog Innovation.

Driftsäker teknik

På Skellefteå Kraft har man nu testat tekniken en andra säsong i större skala. Lösningen med kopparstickning betyder att samtidigt som man mäter elektriska enheter som motstånd så kan man också upptäcka var det finns fel i värmemattan, vilket gör att tekniken är mycket driftsäker.

–Resultaten med den nya tekniken ser väldigt lovande ut! Vi har både en bra avisning och en bra mätning och övervakning av värmemattan, säger Jörgen Svensson som är chef för affärsenhet vindkraft på Skellefteå Kraft.



I andra avisningssystem används ett separat övervakningssystem och då uppstår ofta problem med givarna som kan leda till överhettning vilket gör att vindkraftbladet bränns sönder. Att reparera den typen av skador kostar mycket.

Spänning i mattan

I den nya kopparstickningen ligger det spänning direkt i mattan. Får man en skada så kan man enkelt koppla bort just den sektionen och fortfarande ha en tillräcklig avisning. Systemet ökar också personsäkerheten kring verket eftersom man slipper riskera att sjok av is ramlar ner från bladen.

–Den största nyttan i ett första skede är att eftermontera kopparstickningar på verk som ligger i randzonen för att bli nedisade. När tekniken kommer i produktion och blir mer kostnadseffektiv så kan det bära sig att montera kopparstickningar på fler vindkraftverk eftersom man slipper produktionsbortfall och uteblivna intäkter, säger Jörgen Svensson.

Kontinuerligt autonomt system för avisning av blad på vindkraftverk

Projektledare: Sven-Erik Thor Lindsfog Innovation AB

Projektid: april 2014 – december 2017

Slutrapport: Avisningssystem för vindkraftverk, Energiforskrapport 2018:467

Alternativ metod för avisning

Intresset för att etablera vindkraft i områden med kallt klimat ökar. Samtidigt innebär det risk för stillestånd och minskad elproduktion på grund av isbildning på rotorblad. Det finns också risk för iskast från kraftverk i kallt klimat. Vissa turbinleverantörer har utvecklat teknik för avisning av rotorbladen, men detta fungerar inte alltid tillfredsställande.

I Kanada har man med hjälp av helikopter avisat turbinblad med varmvatten med bra resultat. Försök har i det här projektet genomförts och testats i Sverige under fältmässiga förhållanden. Tekniken är den samma som när man avisar ett trafikflygplan, men med varmt vatten och utan kemikalier.

Sista utväg

Målet har varit att öka säkerheten för elbolag som annars måste räkna med stillastående verk. Metoden är tänkt att fungera som en garanti och sista utväg när andra metoder för att avhjälpa nedisning inte räcker till.

–Resultaten, som har kompletterats med en miljöanalys, pekar på att metoden inte bara är kostnadseffektiv, den är också bättre ur ett miljöperspektiv. Anledningen till det är att turbiner som står stilla på grund av nedisning ofta ersätts med kolkraft eller gasturbin som har större koldioxidutsläpp än de utsläpp som metoden med avisning med hjälp av helikopter medför, säger Göran Dalen, Dalenpower och fortsätter:

– I första hand ska man förstås satsa på att förhindra att det bildas is på rotorblad och turbiner. Det innebär att efterfrågan på den här metoden minskar när det utvecklas bättre avisningssystem i framtiden.



Avisning av turbinblad med helikopter – Heli-Deice

Projektledare: Hans Gedda Alpine Helicopter Sweden AB

Projekttid: april 2014 – april 2016

Slutrapport: Airborne de-icing solutions for wind turbines, Energiforskrapport 2016:300

Att förvalta sin anläggning och producera mer

Vindkraftsägare lägger stora resurser inför att en vindkraftpark byggs. Men när anläggningen är på plats görs oftast bara planerad service. Det här projektet har visat hur man kan öka energiproduktionen i både driftsatta och framtida vindkraftverk genom bättre uppföljning av befintliga verk. Målet har varit att förbättra uppskattningar av elproduktionen i en vindkraftpark och att utveckla metoder för att bättre kunna följa upp och optimera vindkraftparker som är i drift.

Det finns idag ett stort antal operationella vindkraftparker i Sverige vilket ökar behovet av analysmetoder för att kunna följa upp och optimera produktionen av vindkraft. Hur stämmer parkens produktion med de produktionsberäkningar som gjordes före vindkraftverket byggdes? Vad förklarar eventuella skillnader? Presterar parken optimalt?

– Det handlar om att vårda sin investering och optimera vindkraftparkerna, menar Johan Hansson, som varit projektledare för forskningsprojektet.

Projektet har haft tre delar – utveckling av metoder för produktionsanalys, användning av nacellemonterade lidararmätningar för prestandaoptimering av operationella vindkraftparker och kvantifiering av isförluster med utgångspunkt från operationell och modellerad data.

Optimal prestanda ökar avkastningen

Forskning är viktig för att kunna modellera och mäta vindresursen och för att kunna uppskatta produktionen av el på ett bra sätt när man projekterar en park. En aktiv uppföljning av hur parkerna producerar krävs för att förstå om parkerna producerar optimalt och hur vindkraftverken belastas. En optimal prestanda maximerar produktionen av el och parkens livslängd, och bidrar därmed till ökad avkastning.

– Vi har också sett att osäkerheten i uppskattningen av långtidsproduktionen motsvarar ungefär hälften av osäkerheten i en uppskattning gjord innan parken byggdes. Att göra en ny produktionsuppskattning 1–2 år efter parkens driftsättning ger därmed en betydligt bättre uppskattning av parkens långtidsproduktion, säger Johan Hansson.

Ett aktivt val

När Johan Hansson ska sammanfatta de viktigaste slutsatserna i rapporterna pekar han framförallt på tre saker. Det första är att som ägare av vindkraftparker



vara aktiv och välja den metod som är bäst lämpad för långtidsuppskattning av produktion. Vilken metod som ska användas beror på vilken data som finns tillgänglig från vindparken och vilken kvalitet den har. Val av metod är avgörande för att få ett användbart resultat.

Användbara uppskattningar

Det andra är att känna till att en nacellebaserad lidar kan vara nyttig för att utvärdera optimeringsbehovet. Det är också viktigt att en noggrann studie görs för att identifiera den optimala turbinen att mäta på.

Och för det tredje att det går att göra användbara uppskattningar av isförluster med hjälp av en modell, vilken är till hjälp vid bland annat uppskattning av den förväntade långtidsproduktionen och vid dagliga energiprognos.

Att vårda sin investering

– Det handlar i slutändan om att vårda och intressera sig för sin investering. Det går inte att tro att den sköter sig själv. Om man inte själv har kunskapen, ta hjälp och sätt press på turbintillverkarna – som oftast är de som sköter turbinerna – för att optimera driften.

– Rapporterna i detta projekt är ett viktigt bidrag för att höja kunskapen, inte minst hos ägarna av vindkraftparker, avslutar Johan Hansson.

Produktionsanalys och optimering av operationella vindkraftparker, Prod Optimize

Projektledare: Johan Hansson, Kjeller Vindteknikk

Projektid: maj 2014 – december 2015

Slutrapporter: Post-construction production assessment of wind farms Energiforsrapport 2016:297, Use of remote sensing for performance optimization of wind farms Energiforsrapport 2016:298, Quantification of icing losses in wind farms Energiforsrapport 2016:299

Effekt av underhåll på växellådor

Projektet har tydliggjort den sannolikt teoretiska livslängden för en växellåda genom att undersöka hur underhållsåtgärder inverkar och vilka faktorer som har betydelse för livslängden.

Växellådan är ett av de system i ett vindkraftverk som oftast orsakar problem och stillestånd. Detta innebär såväl kostnader för underhåll som produktionsbortfall. En ökad förståelse för vad som påverkar växellådors pålitlighet och livslängd är därför av stort intresse för vindkraftsbranschen.

– En växellåda till ett vindkraftverk kostar två miljoner kronor. Tusen vindkraftverk har alltså växellådor till ett värde av två miljarder. Lyckas vi förlänga livslängden ett år på de här växellådorna, så har vi sparat 200 miljoner, och ännu mer om vi kan reparera den billigt på plats istället för att byta, säger Thomas Stalin på Vattenfall.

Viktigt med val av olja

Tre typer av växellådor har ingått i projekt vid givna driftförhållande. Det handlar om underhållets betydelse i form av oljeval och renhet, om konstruktionens inverkan på tillförlitligheten relaterat till antalet kritiska komponenter och om komplexitetens inverkan på förutsättningen att lyckas med en viss design.

–Forskning som implementeras i driften gör stor skillnad. Operatörer som tar ansvar för driften gör att underhållet effektiviseras och att problem kan lösas på ett konstruktivt sätt. Det gör att det blir billigare inköp och reengineering för att ta bort problem i stället för att köpa reservdelar och bara skjuta problemen framför sig, säger Thomas Stalin.

Resultaten visar att oljans renhet är viktig för tillförlitligheten vid en belastning motsvarande 20 års livslängd för planetstegen men av mindre betydelse för parallellstegen i de växellådor som har studerats. Det är speciellt viktigt att ha god oljerenhet om planetsteget smörjs av oljebadet i växellådan och inte direkt av tillförd filtrerad olja.

Livslängden påverkar

Även låg viskositet, hög temperatur och hög produktion påverkar livslängden negativt. Antalet reparationer eller byten av växellåda varierar mellan 0,4 och 1,5 per växellåda under 20 år beroende på de undersökta driftförhållandena.



– Det finns några saker att ta till sig, säger Jan Ukonsaari, projektledare på Vattenfall. Våra erfarenheter för att utveckla bra växellådor är:

- att integrera planetlagerbanans yttering i planethjulet
- att undvika mer än två lager för varje planethjul
- att bara ha filtrerad ren olja för smörjning av planetlagren
- att ha offline-filter för att hålla borta små och stora partiklar
- att efterfråga nya växellådor med alla kritiska delar enkelt utbytbara på plats
- att välja och efterfråga nya växellådor som klarar olika driftförhållanden

Effekt av underhåll på dagens och framtidens växellådor

Projektledare: Jan Ukonsaari, Vattenfall R&D AB

Projektid: maj 2015 – januari 2016

Slutrapport: Wind turbine gearboxes Energiforskrapport 2016:279

Ny metod att beräkna behov av underhåll

Här har forskare vid Uppsala universitet tagit fram en ny metod för att kostnadsoptimera underhåll av vindkraftverk. Det handlar om att med hjälp av matematiska verktyg som Bayesianisk statistik och statistiska simuleringsmetoder analysera Scada-data för att kunna förutse behovet av förebyggande underhåll och byte av komponenter.

Underhåll av vindkraftverk är en viktig del av driften och en ny metod för att minska underhållskostnaderna har därför stor betydelse för branschen.

–När vindkraftverket väl är i drift så är nya metoder för att minska underhållskostnaderna bland det viktigaste man kan göra, säger Göran Dalen, Dalenpower.

Samlad slutledning

För att kunna kostnadsoptimera underhåll av vindkraftverk har forskarna här tagit fram en metod baserad på Bayesianisk statistik och den statistiska simuleringsmetoden för finansiella tillämpningar, Monte Carlo-metoden. Bayesianisk statistik är en formell beskrivning av hur empiriska observationer förändrar vår kunskap om ett osäkert eller okänt fenomen. Tekniken använder Bayes sats för att kombinera insamlade data med andra informationskällor – tidigare studier och expertutlåtanden – till en samlad slutledning.

–Resultatet från det här projektet innebär att alla som beställer utrustning för underhåll i vindkraftbranschen får tillgång till kunskap om hur tillförlitliga olika komponenter är och vilket behov av underhåll de har. Det betyder att livscykelkostnaden för en viss komponent kan beräknas med större säkerhet, säger Göran Dalen.

Olika underhåll

Underhåll kan vara förebyggande, korrigerande eller villkorsbaserat. Det korrigerande underhållet innebär stora kostnader eftersom sådana fel ofta leder till oplanerade stillestånd och tiden mellan att felet uppkommer och att det avhjälpas medför produktionsförluster utöver kostnaden för själva underhållet.



Bayesianska metoder för förebyggande underhåll

Projektledare: Bahri Uzunoglu, Uppsala Universitet

Projekttid: maj 2015 – april 2017

Slutrapport: Bayesian Methods for Preventive Maintenance, Energiforskrapport 2018:484

Stor skillnad på prestanda

I princip alla tekniska system får en försämrad prestanda med tiden. Det gäller även vindkraftverk. Men trots att mycket forskning har gjorts om stillestånd och haverelevanta komponenter har det fram till nu saknats fakta om den generella produktionsminskningen över tid.

Här har förändringar i prestanda för vindkraftverk i Sverige studerats och forskarna har samlat in månadsdata från Vindstat och timdata från elcertifikatsystemet Cesar för de studerade verken. Kraftverken var byggda mellan 1984 och 2010 och data hade samlats in mellan 1990 och 2015.

Gradvis ökning av stillestånd

Resultaten visar att produktionen är närmast konstant de första åren innan den minskar. Vindkraftverk byggda före 2007 tappar i snitt 0,15 procentenheter per år, vilket motsvarar en energiförlust på ungefär 6 procent över hela livslängden.

Det som påverkar är en gradvis ökning av stilleståndstiden vilket är en tredjedel av kapacitetsminskningen, medan en försämrad effektivitet utgör den resterande delen. Om man jämför med resultat från Storbritannien, där studier har gjorts tidigare, tappar de svenska vindkraftverken betydligt mindre prestanda.

Att beräkna vindenergi

Forskarna pekar på att spridningen mellan olika verk och parker är stor – vissa har en mycket brant försämring medan andra går utan nämnvärda problem. En uppskattning är att försämringen av kapacitet bör ligga mellan 0,10 och 0,20 pe/år. Den mer optimistiska skattningen 0,10 motsvarar medianen för alla studerade verk, 0,15 motsvarar medianen för verk som tagits i drift 2007 och tidigare och som har producerat under en längre tid. Uppskattningen 0,20 innehåller ett påslag för att verk med högre kapacitetsfaktor tycks ha en något skarpare minskning i absoluta tal.

En fråga återstår

De här analysen av mönster är det första steget i att hitta förklaringar och möjliga förbättringsåtgärder. Men den visar att skillnaderna i huvudsak är stokastiska med tillgängliga förklaringsvariabler. Fortfarande återstår frågan varför skillnaden i försämring är så stor mellan olika parker och vad som ska göra att hela Sveriges vindkraftsflotta kan prestera lika bra som de bästa parkerna.



Minskar produktionen över tid?

Projektledare: Per Edström, Sweco, Uppsala Universitet

Projekttid: maj 2015 – april 2017

Slutrapport: Wind turbine performance decline, Energiforskrapport 2017:436

VINDKRAFT I ELSYSTEMET

Vi behöver en djup förståelse för hur stora mängder vindkraft kan komma att påverka kraftsystemet. Projekten under det här avsnittet handlar om hur elnätets resurser kan utnyttjas mer effektivt, och hur mer vindkraft kan etableras utan att det måste leda till att kraftnätet måste byggas ut eller förstärkas. För att få en hög kvalitet på kraftsystemstudier har ett projekt tagit fram realistiska tidsserier av vindkraftsproduktion, som kan jämföras med verkliga förhållanden. Vind och solkraft är energikällor som inte bidrar till mängden tröghetsmoment i systemet, det kan påverka frekvensstabiliteten negativt. Flera projekt har undersökt nyttan av att använda tröghetsmassan för att öka elnätets roterande massa. För att överföra stora mängder vindkraft från avlägsna vindkraftsparker till belastningsområden, behövs nya överföringsledningar och ett bättre utnyttjande av det befintliga överföringssystemet.





Minskat underhåll utan borstar

De flesta stora konventionella varvtalsreglerade systemen för vindkraft bygger på en släpringad asynkrongenerator. Varvtalsreleringen sker då genom en överföring av den elektriska effekten mellan rotorkretsen och nätet via släpringar och borstar. Men borstar och släpringar är känsliga för bland annat drifttemperatur och luftfuktighet och kräver därför mer underhåll.

Här har forskarna designat, byggt upp, testat och verifierat ett innovativt borstlöst system för varvtalsreglering i vindkraftverk. Systemet utvecklades teoretiskt i ett tidigare Vindforskprojekt som är sammanställt i en licentiatavhandling.

Minskat underhåll

Eftersom borstar och släpringar är känsliga för bland annat drifttemperatur, strömtäthet, periferihastighet och den omgivande luftfuktigheten krävs det mycket kontroll och underhåll. En lösning i form av ett borstlöst system kan därför medföra en stor förbättring genom ett minskat underhåll.

Trådlös signalöverföring

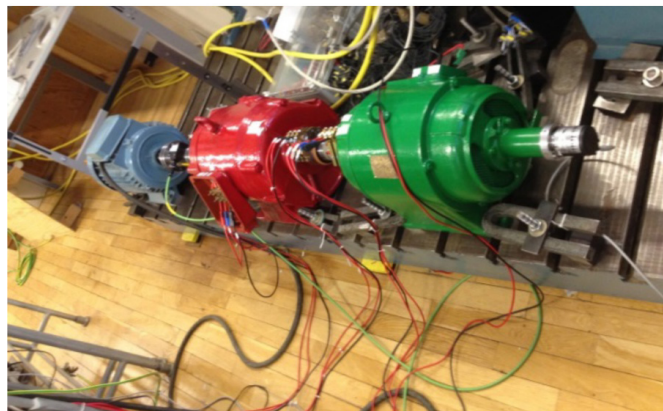
Allt tyder på att resultaten leder till minskade underhållskostnader för vindturbiner eftersom det nya systemet har samma fördelar som konventionella system, men utan släpringar och borstar. Systemet bygger på att integrera en hjälp - eller reglermaskin och en roterande strömriktare till huvudmaskinen. Signalöverföringen till den roterande strömriktaren sker då trådlöst.

Bra för vindkraft till havs

Forskarna har undersökt en innovativ topologi av en borstlös dubbelmatad induktionsgenerator och designat och utvärderat ett fullskalligt RPE-BDIM system för effektområdet 2-10 MW såväl tekniskt som ekonomiskt. Projektet har genomförts på ABB som ett examensarbete med handledning och stöd från personal på ABB. Särskild för havsbaserade vindkraftsgeneratorer är det en viktig fördel att kunna eliminera borstar eftersom det minskar underhållskostnaderna och förbättrar tillförlitligheten hos generatoren.

Examinerad forskare

Huvuddelen av projektet har ingått i Naveed ur Rehman Maliks doktorsarbete. Han disputerade i oktober 2015 med avhandlingen *Modelling, Analysis and Control Aspects of a Rotating Power Electronic Brushless Doubly-Fed Induction Generator*.



Det innovativa borstlösa systemet bygger på att en hjälp - eller reglermaskin och en roterande strömriktare till huvudmaskinen integreras. Signalöverföringen till den roterande strömriktaren sker då trådlöst.

Borstlös vindkraftsgenerator för begränsat varvtalsområde

Projektledare: Chandur Sadarangani, KTH

Projektid: april 2014 – maj 2016

Slutrapport: Brushless wind power generator for limited speed range, Energiforskrapport 2018:503

Bättre användning av vindresursen

Här har en ny metod för omfördelning av produktionen tagits fram. Den innebär att man kan utnyttja den befintliga kapaciteten i ett system och produktionsresurser med lägre kostnader på bästa sätt.

I Sverige har vi behov av att sätta marginaler, exempelvis överföringsmarginaler, för att skydda kraftsystemet från osäkerhet. Det i sin tur betyder att de tillgängliga vindresurserna inte används på ett optimalt sätt. Därför behövs metoder för att både styra frekvensregleringsresurserna på ett kostnadseffektivt sätt och för att säkerställa en säker drift i kraftsystem med stora mängder vindkraft.

Det här projektet har utvecklat en ny metod för frekvensreglering i system med mellan 25 och 50 procent vindkraft. Genom den nyutvecklade metoden kan man också bestämma fördelningen av produktion via tertiärreglering. Detta leder till att behovet av att sätta överföringsmarginaler minskar, vilket i sin tur innebär en bättre användning av de befintliga vindresurserna.

Anpassad drift

Genom att använda de här metoderna går det att driva systemet mer situationsanpassat så att systemets resurser, exempelvis den befintliga transmissionskapaciteten används på ett bättre sätt. Det leder till en mer effektiv frekvensreglering. Ett av målen med projektet har också varit att utvärdera nyttan med den utvecklade metoden jämfört med dagens sätt för generationsomfördelning.

Osäkerhet i kraftsystemet

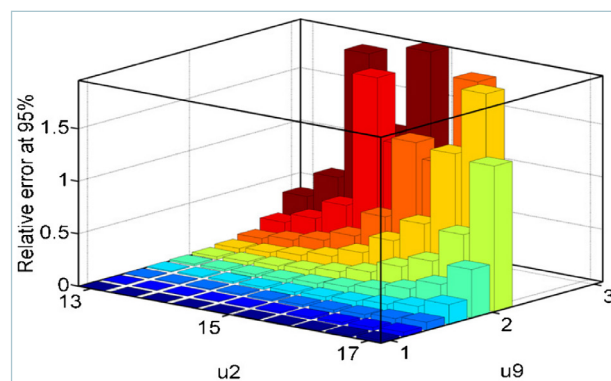
Inom projektet har Camille Hamon disputerat med en avhandling om osäkerhet i kraftsystemet. Forskningsarbetet handlar om vilka steg man kan ta mot mer datadrivna metoder och att kunna kvantifiera risker i systemet. Förutom forskarna har det varit många systemoperatörer runt om i Europa inblandade i projektet.

–Vi tittar inte bara på den teoretiska frågan utan också på hur man kan ta de första praktiska stegen och använda metoderna vilket är roligt, säger Camille Hamon.

Samhällsnytta

Projektet har lett till en bättre bild av möjliga risker så att man som nätägare inte behöver skydda sig mot det som man inte känner till. Det betyder att det går att minska de befintliga säkerhetsmarginalerna i systemet och i stället skydda sig mot det osäkra.

–Genom att använda mer datadrivna metoder för att få en bättre bild av det som är osäkert så kan man minska



En ny metod för att styra frekvensregleringsresurser på ett kostnadseffektivt sätt och säkerställa en säker drift av systemet i kraftsystem med stora mängder vindkraft.

marginalerna och använda de billigare produktionsresurser som finns i systemet, säger Camille Hamon och fortsätter:

– Det är en viktig samhällsnytta att kunna utnyttja den befintliga kapaciteten i ett system på bästa sätt. I dag är marginalerna stora vilket gör att mängden energi som kan överföras mellan två länder begränsas.

Examinerad forskare

Camille Hamon disputerade i maj 2015 med avhandlingen Probabilistic security management for power system operations with large amounts of wind power.

Frekvensreglering i kraftsystem med stor andel vindkraft

Projektledare: Lennart Söder, KTH

Projektid: april 2015 – maj 2016

Slutrapport: Frequency Control, Energiforskrapport 2016:278

Nya realistiska tidsserier

Nu finns det realistiska tidsserier av vindkraftsproduktionen som underlättar och höjer kvaliteten på studier av kraftsystem med en ökande andel vindkraft. Här har forskarna tagit fram produktionsserier med upplösningen 5-15 minuter mellan 1979 och 2014 som kan jämföras med verkliga förhållanden under samma period.

Många typer av kraftsystemstudier kräver realistiska tidsserier av den kommande vindkraftsproduktionen. Aggregerade produktionsserier har tagits fram för Sverige som helhet och för de fyra snittområdena. Tidsserierna är en trovärdig representation av de variationer som uppkommer med högre andel vindkraft och kan på det sättet höja kvaliteten på kommande kraftsystemstudier.

Scenarier för framtida uppbyggnad

Här har forskarna utformat scenarier av framtida utbyggnad, både geografiskt och tekniskt, i samverkan med aktörer i branschen. Nivåerna är 20, 30 och 50 TWh årlig produktion. Information om vindkraftverken matas in i en modell som med hjälp av meteorologiska återanalysdata, det vill säga historiska väderdata, beräknar timvis aggregerad produktion.

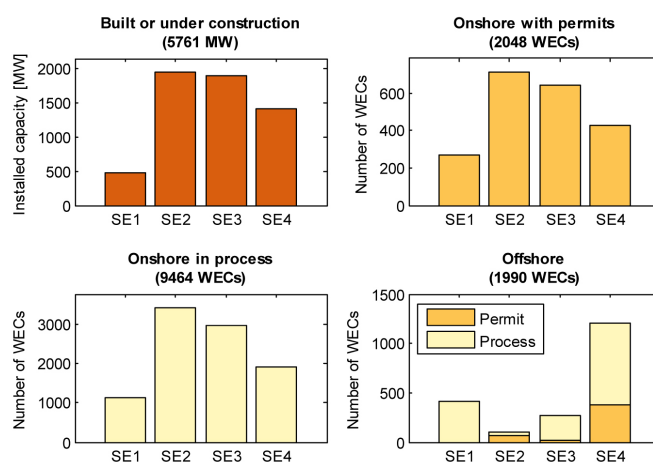
Data från 35 år

Resultat finns från 1979 till 2014 och kan jämföras med den verkliga last, hydrologiska situation och så vidare som då rådde. Data från länder med högre upplösning, som Danmark och Tyskland har också använts för att ytterligare förbättra modellen.

Att ha bra tidsserier är relevant eftersom vindkraftens variationer blir allt viktigare att studera när vindkraftens andel ökar i kraftsystemet.

Att bygga på rätt ställe

En säker vindenergiproduktion handlar om att sprida parkerna över landet så att det aldrig uppstår problem med att all vindkraft försvinner samtidigt när det slutar blåsa på en plats. Lösningen är att placera kraftverken enligt statistiska data. De högupplösta tidsserierna kan därför vara ett bra beslutsstöd exempelvis när nationella intresseområden för vindkraft tas fram, så att det byggs vindkraft på rätt ställen.



Flera olika scenarier med en årsproduktion mellan 20 och 70 TWh har tagits fram.

Högupplösta tidsserier av framtida vindkraftproduktion

Projektledare: Mikael Bergkvist, Uppsala Universitet

Projekttid: april 2014 – april 2015

Slutrapport: Scenarios and time series of future wind power production in Sweden, Energiforskrapport 2015:141

Vindkraftens tröghetsmassa

I ett framtida elnät där flertalet kärnkraftverk och fossila produktionsanläggningar stängts ner kommer det naturliga energilagret, i form av kinetisk energi från synkrongeneratorer att minska betydligt. Det naturliga energilagret är avgörande för att ha en stabil frekvens i elnätet vid stora effektbortkopplingar.

Vindkraftverk har kinetisk energi lagrad i sina turbiner, men den används inte i standardutförandet på grund av de kraftelektroniska omvandlarna i vindkraftverken. Här har forskarna studerat hur mycket kinetisk energi som kan utnyttjas från ett vindkraftverk med variabelt varvtal under perioder när mycket effekt kopplas bort och hur den energin kan gynna frekvensstabiliteten i elnätet.

Ny kontrollstrategi för vind

Ett tydligt resultat är en ny kontrollstrategi för vindkraftverk med variabelt varvtal. Den nya kontrollstrategin låter under kontrollerade former vindkraftverket extrahera delar av sin kinetiska energi för att stödja frekvensstabiliteten i elnätet. I en fallstudie som baserar sig på det nordiska elnätet ger den föreslagna strategin 5,2 procent mindre frekvensavvikelse än den mest lovande strategin som finns beskriven i litteraturen och som efterliknar frekvenssvaret från en traditionell synkrongenerator.

Extra energilager

År 2015 fanns i genomsnitt ca 2,2 GWs kinetisk energi att extrahera från vindkraften i Sverige. Då vindhastigheten är mycket låg går även den kinetiska energin ner till noll. För att alltid kunna leverera stöd till frekvensstabiliteten har forskarna därför tittat på möjligheten med ett extra energilager hos de kraftelektroniska omvandlarna.

10 procent extra kraft

Resultaten visar att ett vindkraftverk kan ge 10 procent extra kraft, i relation till toppeffekten, för att stödja nätfrekvensen oberoende av vindförhållandena.



Examinerad forskare

I projektet disputerade Mattias Persson i september 2017 med avhandlingen Frequency response by wind farms in power systems with high wind power penetration.

**Stödstrategier medelst vindkraftverk
för elsystem med lågt tröghetsmoment
och med hög andel vindkraft**

Projektledare: Peiyuan Chen, Chalmers

Projektid: september 2014 – december 2017

Slutrapport: Inertial Support from Variable Speed Wind
Turbines, Energiforskrapport 2018:468

Minskad risk för pendlingar

För att kunna överföra stora mängder vindkraft från avlägsna vindkraftsparker till användarna behövs både nya ledningar och ett bättre utnyttjande av det överföringssystem som finns i dag. Ett effektivt sätt att öka kapaciteten är seriekompensering. Men att använda seriekompenserade ledningar ökar risken för elektriska pendlingar, så kallade subsynkrona oscillationer, som kan vara skadligt för turbinerna.

Vindkraft, som utgör en av de viktigaste förnybara energikällorna, ger upphov till betydande fördelar för elsystem i form av ekonomi, genomförbarhet och miljöhänsyn och lockar därför investerare, forskare och ingenjörer. Men det finns också utmaningar som följer med integrationen av vindkraft i elsystemet. En av de största är odämpade kraftoscillationer.

Oscillationer som växer

Sedan slutet av 2009 undersöks en ny typ av oscillationer som har uppmärksamats av forskare. Svängningarna uppträder när en vindturbin med dubbel inducerad induktionsgenerator, DFIG är ansluten radiellt till en seriekompenserad transmissionsledning då styrkretsarna växlar för omvandlare av DFIG med seriekompensationskondensatorn. Den här interaktionen är känd som subsynkron kontroll-interaktion, SSCI som i sin tur triggar tillståndet för spänning och skapar oscillationer som fortsätter att växa snabbt.

Identifiera risk

Eftersom det här är ett nytt fenomen har forskarna här analyserat problemet för att förstå vad som orsakar svängningarna och för att ta fram en kontrollteknik som kan minska risken för subsynkron resonans i vindkraftsystemen. Risken identifieras genom ett testsystem som simuleras över ett brett spektrum av driftsförhållanden, till exempel variationer i vindkraftsproduktion, olika nivåer på seriekompensering och kortslutningseffekter. Målet är att identifiera risken för subsynkrona oscillationer.

Ny kontrollteknik

Baserat på matematiska och analytiska metoder har projektet identifierat de styralgoritmer och parametrar som har störst inverkan för att SSCI ska uppstå i elnätet. I en andra del av projektet har forskarna också utvecklat en ny kontrollteknik som, utan att det behövs en extra kraftig elektronisk enhet, kan förhindra uppkomsten av SSCI och göra systemet mer robust.



Vidare forskning

Forskningsresultaten, som vänder sig till vindkrafttillverkare och systemoperatörer med seriekompenserade ledningar, bekräftar att problemet med SSCI går att lösa internt i vindkraftsgeneratoren.

–Nästa steg i forskningen bör kunna vara att fördjupa frågan om inverkan av en varierad andel vindkraftproduktion och kortslutningseffekten, säger Göran Ericsson på SVK.

Examinerad forskare

På KTH får de forskarstuderande välja mellan att göra en licentiatexamen eller ett halvtidsseminarium i mitten av sin utbildning. I juni 2017 höll Muhammad Taha Ali sitt halvtidsseminarium med titeln Analysis of Sub-Synchronous Oscillations in Wind Power Plants.

Analys av subsynkrona oscillationer i vindkraftsparker

Projektledare: Mehrdad Ghandhari, KTH

Projektid: april 2014 – december 2017

Slutrapport: Analysis of Sub-Synchronous Oscillations in Wind Power Plants, Energiforskrapport 2018:498

Ändrad lutning på blad ger mer kraft

Här visar resultaten att trögheten, i form av ökad produktion under ett allvarligt frekvensfall, från vindturbinen inte bara begränsas av den tillgängliga mängden rörelseenergi utan också av inställningarna för de olika reglersystemen.

Forskarna har här studerat hur en ökad vindproduktion påverkar kraftsystemfrekvensen. Resultaten visar att frekvensen sjunker fort under de första sekunderna efter att en stor produktionskälla har förlorats. Frekvensfallets storleken beror på trögheten i de synkrona generatorer som används för tillfället. Frekvensfallet kan begränsas under de första 7 till 10 sekunderna efter att produktionskällan förlorats vilket gör det möjligt med primär frekvenskontroll för att återfå elnätets nominella frekvens.

Syntetisk tröghetsmassa

Ett tidigare Vindforskprojekt visade att det finns möjlighet att förbättra frekvensstabiliteten genom syntetiskt tröghetsmoment. Här visar forskarna att det tar längre tid för frekvensen att återhämta sig och att det finns ett större behov av primärreserv jämfört med ett konventionellt system.

Övervarvsskydd

Det betyder att det behövs en återhämtningsperiod då vindkraftverken accelereras tillbaka till hastigheten de hade innan störningen, särskilt under den period som inställningen av olika reglersystem spelar en viktig roll. Simuleringar visar särskilt effekterna av övervarvsskydd och styrning av lutningsvinkeln, så kallad pitch angle.

Frekvenskontollen viktig

När vindhastigheten är hög, kan ytterligare kraft extraheras från vinden genom att man ändrar bladvinkeln. Här bekräftar resultaten att de standardvärden som tillverkaren tillhandahåller eller de som tagits fram i en studie av ett annat nät inte nödvändigtvis ger ett optimalt bidrag till det syntetiska tröghetsmomentet. Resultaten visar att frekvenskontrollen för turbinerna har en betydande inverkan.

Lösningen finns

Den lägsta stabila frekvensen påverkas inte i hög grad av en ökad vindkraftsproduktion. Det innebär att det är möjligt att ha en bra frekvenskontroll med en ökad vindkraftsproduktion under förutsättning att turbinen är utrustad med det syntetiska tröghetsmoment som finns tillgängligt idag.



Nätkoden RfG, Requirements for Generators är nätföreskrifter som definierar kraven på generatorer som ansluts till elnätet. RfG ska omsättas till nationella föreskrifter med krav för generatorer. De svenska föreskrifterna tas fram av Energimarknadsinspektionen.

Systemtjänster

Att kunna leverera systemtjänster motsvarande en snabb och momentan frekvensreglering skulle kunna vara något som införs i nästa generation av de europeiska eller nationella nätföreskrifterna. Det skulle innebära krav på att alla nya generatorer som ansluts till elnätet har syntetiskt tröghetsmoment för att kunna hjälpa till med en snabb frekvensreglering.

Syntetiskt tröghetsmoment för att förbättra frekvens och vinkelstabilitet

Projektledare: Math Bollen, STRI

Projektid: april 2014 – juni 2015

Slutrapport: Synthetic inertia to improve frequency stability and how often it is needed, Energiforskrapport 2015:224

Vindkraften tar ton

Elnätet är viktigt i övergången till ett mer hållbart energisystem eftersom energieffektivisering och minskad miljöpåverkan ofta nås genom att ersätta annan energi med el. Elsystemets prestanda är en förutsättning för den här omställningen, men när vindkraft införs i systemet ökar risken för övertoner.

– Resultaten av vår studie innebär att det kan finnas höga nivåer av övertoner, men det var inte alls som vi från början förväntade oss, säger forskarstuderande Daphne Schwanz. Det blir mer ovanliga toner, det som vi kallar för mellantoner, som kommer från kraftelektroniken. Och då är det växelverkan mellan nätet och uppsamlingsnätet, snarare än kraftelektroniken i turbinerna, som ger höga nivåer av båda vanliga och ovanliga toner.

Förvrängda vågformationer

Forskningen handlar om att utveckla och tillämpa kunskapen om vågformsdistorsion i samband med vindkraftverk, särskilt när det gäller spridningen av övertoner genom vindparkerna från turbinerna till det offentliga nätet, mellan olika turbiner och från det offentliga nätet till uppsamlingsnätet.

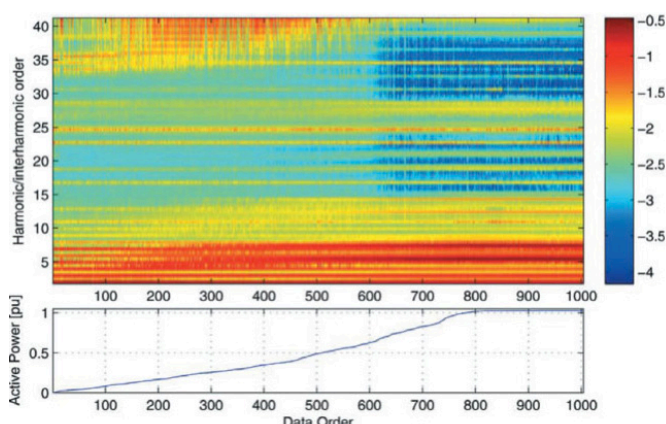
– De här forskningsresultaten kan för en oinvigd verka svåra att använda i praktiken, men resultaten bygger grundläggande kunskap. Det är insikter som behövs för att man ska förstå vad det är för problem man har råkat ut för och hur det kan åtgärdas, säger Erik Thunberg på Svenska kraftnät som suttit med i referensgruppen till doktorandprojektet och fortsätter:

– Det är viktigt för oss på Svenska kraftnät att veta att kunskapen finns. Många parker kommer inte att drabbas av problem, men när problem med övertoner uppstår så är det viktigt att ha kunskap om vad problemet handlar om och hur det bör åtgärdas. Utan just den kunskapen finns en risk att de utbyggnader som planeras inte kommer att kunna producera på ett driftsäkert sätt.

Frågan om övertoner är av intresse för hela kedjan inom vindkraften – generatortillverkare, exploatörer, de som bygger uppsamlingsnät och nätagare.

Världsledande forskning

Ett syfte med projektet har också varit en kunskapsuppbyggnad inom akademien och att behålla och förstärka forskargruppens roll som världsledande inom övertonsproblematik i samband med att förnybar elproduktion.



Emissioner från vindturbiner mot produktion.

Examinerad forskare

Daphne Schwanz har i september 2017 avlagt licentiatexamen på Institutionen för teknikvetenskap och matematik, Energivetenskap på Luleå tekniska universitet. Hennes avhandlingen heter On Wind Power Plants Harmonic Emission and Single-Phase Photovoltaic Hosting Capacity.

– Forskning handlar om att vara tålmodig, nyfiken och öppen för utmaningar och nya upptäckter. Att vara doktorand är tillfredsställande för du arbetar i ett ämne som du är intresserad av och du lär dig från de bästa forskarna i området. Jag skulle också säga att när du avslutar dina studier är du redo att starta din forskningskarriär och inspirera nya studenter inom ditt ämne, säger Daphne Schwanz.

Övertoner i vindparker – spridning och åtgärder

Projektleddare: Math Bollen, Luleå tekniska universitet

Projektid: april 2014 – december 2017

Slutrapport: Harmonics in wind power, Energiforskrapport 2018:469

Fler vindkraftverk på samma ledning

På flera håll i Sverige hämmas utbyggnaden av vindkraft idag av att elnätet har en begränsad kapacitet. Här har forskarna utvecklat nya och ändamålsenliga metoder för att avgöra hur många vindkraftverk som kan installeras utan att nätet behöver förstärkas.

När man dimensionerar ett elnät görs det med tanke på maximal effekt på lasten, men kapaciteten är också beroende av omgivande faktorer som temperatur, vind och fuktighet. Här har forskarna visat att man genom att ta hänsyn till fler faktorer när man dimensionerar kan en mindre transformator anläggas eller fler vindkraftverk anslutas till en existerande kraftledning.

Dynamic rating

Med hjälp av så kallad dynamic rating kan man dimensionera den tillgängliga kapaciteten genom att ta hänsyn till vindstyrka och temperatur. Experiment har bland annat genomförts i vindtunnlar.

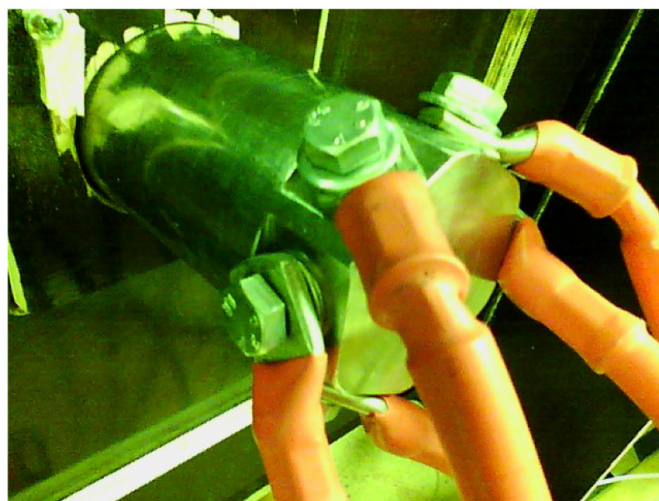
–Att slippa investeringar eller att kunna investera i billigare utrustning är naturligtvis ekonomiskt fördelaktigt för nätägaren och vindkraftsanläggningen. Och att slippa bygga en ny ledning är också fördelaktigt tidsmässigt och från miljömässig synpunkt. Projektet är därför av stort intresse, både för elnätsbolag och vindkraftbolag, säger Susann Persson på Jämtkraft.

Utnyttja mer kapacitet

–Den kunskap som kommit fram kring transformatorer inom projektet bidrar till att vi kan utnyttja vår utrustning mer effektivt. Befintliga anläggningar är ofta överdimensionerade och med ytterligare kunskap om vad en anläggning tål kan vi utnyttja mer kapacitet och ändå hålla oss inom den ekonomiska livslängden, säger Ola Ivarsson på E.ON Energidistribution och fortsätter:

–När det kommer till nyinvesteringar har vi numera större möjlighet att välja den utrustning som passar våra behov på den specifika platsen.

–För kraftledningar använder vi redan dynamic rating till exempel på Öland men det här projektet har visat att det finns parametrar som vi kan fortsätta att justera för att ytterligare effektivisera kapaciteten i våra ledningar, menar Ola Ivarsson.



Vindkraft bidrar till kylning av luftledning och transformatorer. Genom en bättre förståelse för sambandet mellan vindkraftsproduktion och ökad kyleffekt kan elnätets kapacitet utnyttjas bättre.

Förbättrad lönsamhet

Genom en bättre förståelse för sambandet mellan vindkraftsproduktion och ökad kyleffekt kan elnätets kapacitet utnyttjas bättre. Eftersom förstärkning av elnätet ofta är kostsamt, kommer projektets resultat kunna förbättra lönsamheten vid etablering av vindkraft genom att elnätets resurser kan utnyttjas mer effektivt och mer vindkraft kan etableras utan att kraftnätet behöver byggas ut eller förstärkas. Ett annat mål med projektet har varit att resultaten ska implementeras i relevanta moment inom vindkraftutbildningar på universitetet.

Examinerad forskare

Kateryna Morozovska har i maj 2018 avlagt licentiatexamen med avhandlingen Dynamic Rating of Power Lines and Transformers for Wind Energy Integration.

Dynamic rating för effektiv anslutning av vindkraft

Projektledare: Patrik Hilber, KTH

Projektid: maj 2015 – december 2017

Slutrapport: Dynamic Rating of Power Lines and Transformers for Wind Energy Integration, Energiforskrapport 2018:500

Hitta orsak till kortslutning

Vindkraftägare och nätägare lyfter ofta fram problem med genomslag, det vill säga kortslutning i apparater och i parker med 36 kV kabelnät. Kortslutningarna leder till produktionsbortfall och till ökade kostnader. Hittills har det varit oklart vad som orsakar problemen och därför har det också saknats lämpliga lösningar.

Det är framför allt i apparater som kabelavslut, genomföringar och lokaltransformatorer som problemet uppstår. Här har forskarna undersökt hur så kallade högfrekventa transienter i ett kabelnät påverkar de olika komponenter som är anslutna.

Projektet handlar också om påverkan av kortlivade signaler som kan skada isoleringen och därmed orsaka kortslutning, vad som orsakar uppkomsten och spridningen av överspänningarna och vilka skydd som kan behövas för att förhindra problemen.

Viktigt att välja utrustning

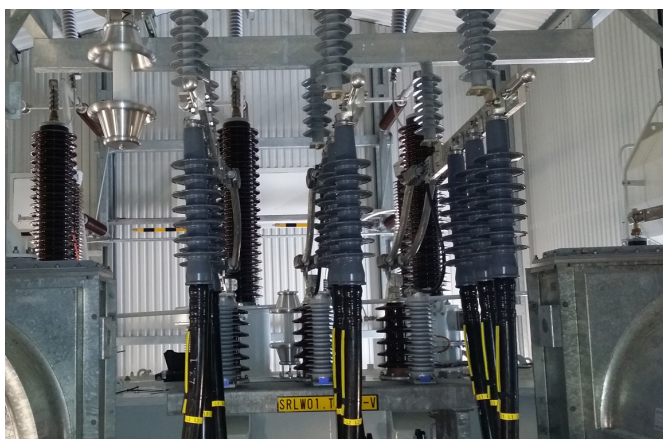
Forskningen bidrar till att identifiera spänningar och andra händelser som kan orsaka kortslutningar i utrustning som ansluts till kabelnät från vindkraftparker. Resultaten visar att vanliga komponenter inte bör användas i samband med vindkraft.

–Resultaten från projektet gav bra information om vilken typ av avslut man inte ska installera. Det är inte ett distributionsnät vi bygger, det är ett produktionsnät som kräver en annan typ av avslut för att ta hand av den elektrisk stress vindturbinen och produktionsnät skapar, menar Giorgio Gallettini på OX2 som var en av deltagarna i referensgruppen.

En lösning på problemen med genomslag och kortslutning i vindkraftparker skulle radikalt kunna minska risken för produktionsbortfall och öka lönsamheten för vindkraftparkerna.

Stor-Rotlidens vindpark

Mätningar har i samverkan med Vattenfall genomfört en isolationskoordinations- och transientanalys i Stor-Rotlidens vindpark där haverier av kabelavslut vid transformatorer har förekommit. Jämfört med tidigare arbete är fokus här på jordningssystemets utformning, speciellt egenskaperna vid hög frekvens. Målet är att ta reda på vilka skydd som behövs för att förhindra kortslutning.



Rätt val av utrustning

–Den största nyttan med resultaten är att man kan uppskatta hur markresistens och andra fenomen påverkar spänningen under korta transienter. Det gör att man kan välja rätt utrustning, antingen standardutrustning eller den utrustning som passar bäst i det aktuella fallet, säger projektledaren Tarik Abdulahovic.

Analys av genomslag i vindkraftparker med 36 kV kabelnät och vakuumbrytare

Projektledare: Tarik Abdulahovic, Chalmers

Projekttid: maj 2015 – maj 2017

Slutrapport: Analysis of vacuum breaker generated transients in a 36kV wind farm cable grid, Energiforskrapport 2018:502



Linus Palmblad
Energimyndigheten



Per Brännström
E.ON



Ylva Odenmark
Vattenfall



Andreas Gustafsson
Energimyndigheten



Göran Dalén
Dalén power



Måns Håkansson
Statkraft



Göran Ericsson
Svenska Kraftnät



Solgun Furnes
Energi Norge



Susann Persson
Jämtkraft

PROGRAMRÅD OCH EXPERTER BIDRAR

I Vindforsks programråd sitter experter från Energimyndigheten och vindindustrin. Rådet värderar och bedömer projektansökningar som därefter ligger till grund för Energimyndighetens beslut om stöd eller avslag. Rådet rekommenderar också godkännande av rapporter från projekten och hjälper till att sprida resultat och ny kunskap från programmet.

Varje delområde i Vindforsk har också en expertgrupp med representanter och bred kompetens från vindbranschen för att öka relevansen och för att säkerställa forskningens kvalitet. Delområdena är vindresursen,

projektering och etablering som du kan läsa om på sid 9, drift och underhåll som beskrivs på sid 13 och vindkraft i elsystemet, som du ser på sid 20.

Programmet, som drivs i samverkan med Energimyndigheten, startade i januari 2001 och här redovisas resultat från den fjärde programperioden mellan 2013 och det andra kvartalet 2018.

Läs mer om de pågående projekten och ladda gärna ner rapporter med resultat och ny kunskap från alla avslutade projekt på www.energiforsk.se

NYA VINDAR FÖR VINDKRAFTEN

Vindforsks slutrapport visar på bredden i forskningsprogrammet och vi hoppas att den kan öka intresset för resultaten från de olika projekten och för all den nya kunskap som forskningen bidrar till.

Vindforsk finansieras av Energimyndigheten tillsammans med kraftbolag, nätägare, projektörer och andra aktörer i vindkraftsindustrin. Programmet startade i januari 2001 och här redovisas resultat från den fjärde programperioden från år 2013 till och med det andra kvartalet 2018.

Vindforsk har framgångsrikt fört samman branschens behov av ny kunskap med kompetens och kreativitet i akademien. Programmet har erbjudit de olika aktörerna en unik möjlighet att samarbeta med högskolor och andra kvalificerade utförare.

Energibranschen står inför stora och spännande utmaningar. De resultat som presenteras här hoppas vi kan inspirera till nya idéer och kontakter i energibranschen. Trevlig läsning!