

2018



Fördjupad studie Drift och underhåll

VINDKRAFTCENTRUM.SE

Projektet *Fördjupad studie drift och underhåll* är utförd av Vindkraftcentrum.se med finansiering från Nätverket för Vindbruk. Resultaten som presenteras i denna rapport är sammanställda av:

Christer Andersson, Projektledare

Susanne Tellström, Projektmedarbetare

Tobias Bondesson, ÅF, kapitel 7 och 8

Rapporten är kvalitetsgranskad av ÅF.

Referensgruppen i projektet:

Ola Carlsson, Professor Chalmers

Stefan Ivarsson, Team Leader Renewable energy på RISE Research Institutes of Sweden

Vegard Saur, VD Windcluster Norway

Fredrik Dahlström Dolff, Nätverket för vindbruk

Kristina Eriksson, Energimyndigheten (Adjungerad)

Torbjörn Laxvik, Vindkraftcentrum.se

Lars Jacobsson, Drift och Underhållschef Rabbalshede Kraft AB

Anders Hildebertzon, Drift och Underhållschef Statkraft

Tobias Bondesson, ÅF

Sammanfattning

Inom projektet *Fördjudad studie – Drift och underhåll* har vindkraftens driftsfas undersökts utifrån perspektivet regional nytta i form av arbetstillfällen. Syftet har varit att visa på hur arbetsmarknaden ser ut under vindkraftens driftsfas, samt belysa utrymmet för förbättringar inom arbetsprocesser, affärsmöjligheter och teknikutveckling under driftstiden. Projektet har varit finansierat av Statens energimyndighet och har pågått under år 2017–2018.

Utgångspunkten i projektet har varit att genomföra en kartläggning av den svenska marknaden för drift och underhåll, samt vanliga affärsmodeller som tillämpas för drift av olika vindkraftparker. Detta har utförts i form av kontakter med 33 bolag som på olika sätt är aktiva i svensk vindkraftssektor. Insamlingen av enkätsvar och utförda djupintervjuer har kompletterats med litteraturstudier och analys av framtida möjligheter och utmaningar. Målet med kartläggningen har varit att beskriva situationen och potentialen för regionala och nationella företag som arbetar med drift och underhåll, men även att skapa strategier för minskade kostnader för vindkraftsägare.

För att visa på mängden möjliga arbetstillfällen har en beräkning av antalet årsanställningar som behövs vid repowering gjorts i projektet utifrån den väl underbyggda hypotesen att samtliga vindkraftverk som var i drift i Sverige vid årsskiftet 2017–2018 kommer att behöva bytas, renoveras och eller skrotas fram till år 2045. Beräkningarna bygger på empiriska studier utförda av Vindkraftcentrum tillsammans med ett antagande om arbetsåtgången som behövs vid nedmontering. Redovisningen av årsanställningar sker per kommun där vindkraften är etablerad idag, men arbetstillfällen kommer givetvis att hamna i andra kommuner i varierande grad när gammal vindkraft ersätts med ny. Detta eftersom de nya vindkraftverken behöver nya tillstånd och den ursprungliga lokaliseringen inte alltid är lämplig.

För att belysa den specifika situationen för vindkraft i Sverige ytterligare har andelen vindkraft i kallt klimat och skog beräknats. Sådant klimat påverkar underhållsbehovet i både nuvarande och framtida vindparker, eftersom placering av vindkraftverk i tuffare förhållanden ofta innebär mer underhåll för att elproduktionen ska kunna bibehållas. Detta eftersom tillgängligheten till vindparker i kallt klimat kan vara logistiskt begränsad under stora delar av året. Inte bara snö, utan även höga vattenflöden och kringliggande myrmarker kan försvåra framkomsten både i terrängen och på anlagda vägar. Till följd av detta krävs noggrann planering kring olyckor och andra tillbud eftersom evakuering kan vara svårt att genomföra eller dra ut på tiden. Under drift i kallt klimat är det viktigt att system för tillståndsovervakning används så att fel kan motverkas och upptäckas tidigt. Utöver standardparametrar bör systemet mäta isbildning, omgivningens temperatur, siktförhållanden och helst även kunna tillhandahålla webbkamerabilder av turbinblad och vindsensorer. Fortsatt utveckling av underhållsplaneringen när parker i kallt klimat är i drift är också viktig, då vindkraftverken kan vara otillgängliga under vinterhalvåret och många moment och reparationer är svåra att utföra i kyla. Detta gör det troligt att mer tillämpning av planerat prediktivt underhåll, med en större mängd underhållsåtgärder som kan utföras samtidigt, blir mer effektivt både vad gäller arbetsplatssäkerhet och ekonomi i vindparker i kallt klimat.

Den nuvarande andelen vindkraft i kallt klimat och skog är strax under hälften sett till antalet vindkraftverk, men strax över hälften sett till mängden producerad el. De anläggningar som står i kallt klimat eller skog producerar alltså en större andel av svensk vindel, fast de är färre till antalet.

Beräkningar av den framtida andelen visar på att det framöver kommer ske en ännu större förskjutning av produktionskapacitet norrut, vilket även gäller antalet framtida vindkraftverk. Detta kan på sikt ge ett ökande underhållsbehov, som kan gynna lokalt företagande och öka möjligheterna till anställning i vindbranschen i de glesbefolkade trakter där många parker planeras. Detta gäller dels generellt om en större mängd underhållspersonal behövs, men även i avseendet att det ökar möjligheterna för specialistverksamhet med de kompetenser som efterfrågas i högre utsträckning i kallt klimat.

Den forskningsöversikt som sammanställts i projektet visar på att forskning kring drift och underhåll är att det finns ett ökat intresse både i vindindustrin och akademien. Ett flertal svenska forskningsprogram som knyter an till drift och underhållsfrågor pågår, varav de flesta i något avseende är knutna till Energimyndigheten. Framtida utvecklingsmöjligheter som ofta nämns är den tekniska utvecklingen av system för tillståndsovervakning, mer långsiktiga underhållsstrategier baserade på funktionssäkerhetsinriktat underhåll (RCM) och livscykelperspektiv, som kan göra det lättare att motivera högre underhållskostnader när de slås ut på vindkraftverkets hela livstid. Marknadsanalyser visar på att den svenska marknaden för drift och underhåll rör sig mot ett mer moget stadium, även om den fortfarande är i en tillväxtfas. Turbintillverkare sköter ofta sina vindkraftverk även under drift, men detta luckras upp i och med att fler fristående serviceföretag etablerar sig på marknaden. Att kunna möta en mer kundstyrd efterfrågan på tjänster skulle gynna många operatörer, eftersom olika typer av ägarorganisationer har helt olika förutsättningar att sköta sina anläggningar. En viktig utmaning på driftsmarknaden gäller behovet av ökad transparens, då utbyte av erfarenheter och tillgång till driftsdata på många sätt är begränsad. Detta skyddar intressen hos enskilda aktörer men innebär i förlängningen att effektiviseringar och möjliga besparingar i branschen som helhet bromsas.

För att få en jämförelse med andra internationella marknader vad gäller drift och underhåll undersöktes Tyskland, Danmark, USA och Norge. De tre första tillhör alla de större marknaderna för vindkraft och kan därmed ge en indikation på hur den svenska marknaden kan komma att utvecklas. Norge är mindre utvecklad än den Sverige är intressant då den till viss mån är gemensam med den svenska marknaden då såväl stödsystem som kraftpris är gemensamt. De tydligaste dragen är att mer mogna marknader utvecklar ett större inslag av tredjepartsleverantörer. Detta gäller framförallt för äldre och mindre tekniskt komplicerade vindkraftverk. För modernare turbiner är det däremot svårare för tredjepartsleverantörer att ta delar av marknaden. Det förklaras bland annat av att turbinleverantörerna ser drift och underhåll som en del av deras affärsmodell. Ytterligare en förklaring är att turbiner blir allt mer specialiserade och det kan vara komplicerat för en tredjepartsleverantör att få tag på rätt reservdelar till rimlig kostnad inom rimlig tid.

Vad gäller tekniken och hur den kan tänkas utvecklas framöver så pågår det intensiv forskning inom området. Stor del af forskningen drivs av att uppnå nya lösningar för att möjliggöra allt större vindkraftverk i allt avlägsnare områden. Detta gäller inte minst på land där man vill tillgodogöra sig bra vindresurser samtidigt som det görs så litet ingrepp i boendemiljön som möjligt. Vad gäller vindkraftverkets komponenter, såsom torn, rotor och blad, innebär allt större dimensioner och avlägsnare placering att det blir viktigt att finna nya material och nya lösningar i själva konstruktionen. Styr- och övervakningssystem är minst lika viktiga som den fysiska konstruktionen. När drift och underhåll beräknas stå för 20 – 35 % av livscykelkostnaderna så innebär det stora möjligheter att förbättra lönsamheten om dyra produktionsavbrott och reparationer kan undvikas. För att uppnå

detta arbetas aktivt med högre frekvens av signalinsamling från ett större antal sensorer och integrering av olika system samt applicering av artificiell intelligens.

Slutsatser

De mål som angetts i projektbeslutet för denna rapport kan sammanfattas till att hitta metoder och strategier för att utveckla svenska företags möjligheter till ökade affärer inom vindkraft. Detta kan samtidigt ge förslag på hur effektiviteten skall öka och kostnaderna minska för drift och underhåll av förnybar elproduktion med vindkraft.

I den internationella utblick som gjorts i denna rapport kan man, genom att jämföra med större och mer mogna marknader, identifiera många av de affärsmöjligheter som kommer att skapas för den svenska marknaden. Vi har också visat på flera områden där möjligheter finns både för utveckling på den inhemska marknaden och att vinna exportmarknadsandelar.

Projektet har identifierat följande möjligheter för svenska företag:

- I stort sett alla vindkraftverk som nu är i drift skall antingen renoveras eller skrotas inom 10-25 år.
 - o Paketerade eller enskilda tjänster inom repowering till såväl turbinleverantörer som ägare
 - o Paketerade eller enskilda tjänster inom nedmontering och återvinning till såväl turbinleverantörer som ägare
- I de investeringar som sker nu och kan förutspås i framtiden kommer i de allra flesta fall långa serviceavtal att tecknas med turbinleverantörerna. Alternativt kommer vissa elproducenter sköta underhållet själva. Detta möjliggör för:
 - o Tredjepartsleverantör med bemanningstjänster till underhållsleverantören
 - o Tredjepartsleverantör med vissa specialtjänster till underhållsleverantören
 - o Driftstjänster, beställarfunktion åt investerare
- Åldrande maskinpark ger goda förutsättningar för nya aktörer att:
 - o Som underleverantörer erbjuda turbintillverkare tjänster för enklare serviceåtgärder
 - o I egen regi erbjuda paketerade eller enskilda lösningar i egen regi till vindkraftsägare
 - o Tillverkning av reservdelar som inte längre finns på marknaden
- Utveckling av konstruktionsmetoder och logistik
- Utveckling av nya material
- Utveckling av datafusion kompletterat med Artificiell Intelligens
- Komponenttillverkning

För att ta tillvara på de möjligheter som nu finns i och med den snabba utbyggnaden av vindkraft i Sverige krävs en mobilisering av flera samverkande krafter för att dra maximal nationell nytta av detta. En plattform med förankring i såväl nationellt som lokalt näringsliv, vindkraftbranschen, myndigheter, kommuner, regioner och forskning skulle kunna bidra till detta arbete. En vidareutveckling av Nätverket för Vindbruk skulle kunna ta ett ännu större ansvar än nu och vara basen för ett strategiskt råd för näringslivsutveckling och samtidigt vara samordnare av insatser för att ta tillvara möjligheter som belyses i denna rapport. Syftet ska inte vara att konkurrera ut turbintillverkare eller andra befintliga företag på marknaden, utan att i samarbete med dessa skapa nya och mer kostnadseffektiva lösningar som gagnar såväl befintliga aktörer som investerare. Ett sådant samarbete skulle kunna skapa en snabbare väg till en fossilfri energiproduktion och lägre elpriser för konsumenter och företag, samt bidra till en optimalt effektiv marknad i Sverige som skapar exportmöjligheter för inhemska företag. Internationella företag verksamma i Sverige skulle dessutom kunna få värdefulla erfarenheter att dra nytta av på andra marknader, vilket kan gynna de klimatmål som finns internationellt.

Innehållsförteckning

1	Projektbakgrund och förutsättningar för projektet.....	3
1.1	Syfte och mål.....	3
1.2	Avgränsningar.....	4
2	Metod för datainsamling.....	5
2.1	Arbetsgång.....	5
2.2	Kartläggning av svensk marknad för drift och underhåll.....	5
2.3	Andelen vindkraft i kallt klimat och skogslandskap.....	7
2.4	Forskningsöversikt.....	7
2.5	Internationell utblick.....	7
3	Kartläggning av svensk marknad för drift och underhåll.....	8
3.1	Generella arbetsmoment.....	8
3.2	Studier av tre vindparker.....	9
3.3	Resultat enkäter.....	13
3.4	Repowering.....	15
3.4.1	Bakgrund.....	15
3.4.2	Trolig utveckling och framtidsscenario.....	16
3.4.3	Arbetsstillfällen vid repowering.....	17
4	Kartläggning av affärsmodeller.....	21
4.1	Affärsmodeller för drift och underhåll.....	21
4.2	Översikt av vanliga affärsmodeller.....	22
4.3	Trender och marknadsutveckling.....	23
4.4	Möjlighet till klusterbildning och affärsmöjligheter för drift och underhåll regionalt.....	24
4.4.1	Bladbesiktning och reparationer: ett exempel på möjlig marknad.....	25
5	Andelen vindkraft i kallt klimat och skogslandskap.....	26
5.1	Nuvarande andel.....	27
5.1.1	Andel per län.....	27
5.1.2	Andel per elområde.....	28
5.2	Framtida scenarion och påverkan på drift och underhållsbranschen.....	30
6	Forskningsöversikt.....	32
6.1	Svensk forskning kring drift och underhåll av vindkraft.....	32
6.2	Översiktlig analys.....	33

6.3	Analyser av den svenska marknaden för drift och underhåll	34
6.4	Underhållskostnader.....	35
6.5	Funktionssäkerhetsinriktat underhåll (RCM)	37
6.6	Innovationer inom tillståndsovervakning.....	39
6.7	Diskussion och framtidsspaning.....	41
6.7.1	Utmaningar	41
6.7.2	Efterfrågan	42
6.7.3	Möjligheter	43
7	Internationell utblick	47
7.2	Danmark	48
7.3	Tyskland.....	49
7.4	Norge.....	51
7.4	USA	53
7.5	Slutsatser	54
8	Teknisk och organisatorisk framåtblick.....	56
8.1	Inledning	56
8.1	Hårdvara.....	58
8.1.2	Blad och rotor.....	59
8.1.3	Torn	60
8.2	Mjukvara	61
8.2.1	Övervakningssystem.....	61
8.2.2	Vägen framåt.....	63
8.2.3	SCADA-baserad tillståndsovervakning	64
8.3	Arbetsmetoder och strategier.....	66
8.3.1	Dominansen av OEM ökar.....	66
8.3.2	Drift och underhåll hålls separat	66
8.3.3	Intern eller extern drift	66
	Referenser	68
Bilaga 1	Tabell över arbetstillfällen i samband med repowering per kommun	72
Bilaga 2	Deltagande företag.....	81
Bilaga 3	Exempel på marknadsutveckling.....	82

1 Projektbakgrund och förutsättningar för projektet

Vindkraft är för närvarande det snabbast växande energislaget i Sverige sett till produktionskapacitet. Under 2018 byggs vindkraft på olika platser runtom i landet som när den är färdigställd kommer att ha en installerad effekt över 2.6 GW¹. Den totala installerade vindkraftseffekten i början av 2018 var runt 6.5 GW, vilket innebär en ökning med ungefär 40 %. Detta är viktiga steg mot ett förnyelsebart elsystem, och de mål som *Energiöverenskommelsen* satt om att svensk elproduktion ska vara helt fossilfri år 2040. De storskaliga vindkraftsetableringarna innebär även stora ekonomiska investeringar i svensk landsbygd, runt 30 miljarder SEK enligt Vindkraftcentrums beräkningar.

Vindkraften är alltså en viktig byggsten för att den stora energiomställningen mot ett fossilfritt samhälle, med lägre klimatpåverkan, ska kunna bli verklighet. Begreppet hållbar utveckling handlar dock inte bara om miljöeffekter, utan även om att uppnå en balans med ekonomiska och sociala faktorer. En förutsättning för att vindkraftsprojekt ska bli mer socialt hållbara är att regionalt näringsliv engageras. Detta skapar lokal nytta i form av arbetstillfällen, ökade intäkter till den lokala ekonomin och utvecklingsmöjligheter för närliggande samhällen. Tillvaratas denna potential och lokalt befintlig kompetens effektivt så ökar chanserna för acceptans bland lokalbefolkningen, liksom möjligheterna till en smidigare (och i vissa fall även mer ekonomisk) etableringsprocess.

Under byggfasen, som är mycket arbetsintensiv i en vindkraftspark, skapas många tillfälliga arbeten både i själva konstruktionsarbetet, kringliggande verksamhet som kost och logi, samt annan service. Dessa arbetstillfällen har kartlagts inom tidigare studier från Vindkraftcentrum som är noden med ansvar för arbetskraftsförsörjning, drift och underhåll inom Energimyndighetens *Nätverk för vindbruk*. Dessa tidigare studier finns sammanställda i ett prognosverktyg, som kan användas för att visa på kompetensbehovet i olika faser under etablering och byggfas.

I kontakter med branschen och andra aktörer har det framkommit att det är viktigt att driftsfasen får ett ökat fokus, för att bibehålla elproduktionen såväl som en god ekonomi för vindkraftsägare och operatörer. Sedan tidigare är det också känt att arbetstillfällen inom driftsfasen är mer långsiktiga än de som skapas under byggfasen. Dessa arbeten är således mycket intressanta i anslutning till lokal nytta eftersom de har visat sig ha högre chanser att tillfalla lokalbefolkningen i den mån det finns lämplig kompetens.

Baserat på detta har denna studie genomförts för att kartlägga och inkludera arbetstillfällen i driftsfasen i prognosverktyget, samt för att beskriva marknaden för drift och underhåll av vindkraft i Sverige. Vindkraftcentrum arbetar även med att ta fram prognoser för antalet vindkraftstekniker som behövs för att täcka upp behoven för den svenska vindkraftsflottan, vilket ytterligare ökar intresset för denna typ av information.

1.1 Syfte och mål

Syftet med denna fördjupade studie kring drift och underhåll är att visa på hur arbetsmarknaden ser ut under vindkraftens driftsfas, samt belysa utrymmet för förbättringar inom arbetsprocesser, affärsmöjligheter och teknikutveckling under driftstiden. Projektet ska dels kartlägga och beskriva situationen och potentialen för regionala och nationella företag som arbetar med drift och underhåll av vindkraft, dels skapa strategier för minskade kostnader för vindkraftsägare.

¹ Svensk Vindenergi (2018).

Delar av materialet i denna studie kommer att användas för att utöka prognosverktyget, som tagits fram av Vindkraftcentrum så att det även täcker in driftsfasen.

De mål som beskrivs i projektansökan är som följer:

- Beskriva de förutsättningar som råder för att regionala och nationella företag inom drift- och underhåll ska kunna konkurrera med internationella bolag.
- Identifiera och värdera tjänstepotentialen inom drift och underhåll på nationell och regional nivå.
- Identifiera metoder och strategier som kan hjälpa branschen att sänka drift- och underhållskostnaderna med minst tio procent.
- Identifiera nuvarande och kommande andel vindkraftverk i skog och kallt klimat samt redogöra för vilka extra kompetenser som krävs för denna i drift och underhåll.
- Beräkna arbetsinnehåll och belysa affärsmodeller inom repowering och återbruk. Erfarenheter från t.ex. Danmark och Tyskland ska användas för att belysa de utmaningar och möjligheter som kan förutses.
- Under arbetets gång ska minst 100 företag vara delaktiga.
- Ett företagssamarbete och början till ett kluster inom drift och underhåll ska ha uppstått efter projektslut.

1.2 Avgränsningar

Projektet syftar till att undersöka och beskriva förutsättningarna för drift och underhåll i svenska vindkraftsparker på land. Detta eftersom andelen vindel från landbaserade parker dominerar den svenska vindelsindustrin, och då det är kring landbaserade parker som majoriteten av nuvarande underhållsbehov (samt existerande företag inom drift- och underhåll) har uppstått. Avgränsningen är även satt utifrån vetskapen att behoven av drift och underhåll för havsbaserad vindkraft ser annorlunda ut, varpå detta bör undersökas separat i andra studier.

2 Metod för datainsamling

2.1 Arbetsgång

Denna rapport är till stor del baserad på en kartläggning av drift och underhåll som utförts inom projektet. Utifrån kartläggningen och litteraturstudier har analys av den svenska marknaden för drift och underhåll av vindkraftsparker gjorts. Fokus har varit att utöka Vindkraftcentrums planeringsverktyg, så att det inkluderar driftsfasen, samt att identifiera möjligheter och framtida utvecklingsområden för branschen. Detta arbete har även kopplats till litteraturstudier som visar resultat av tidigare forskning inom området och en internationell utblick för att ställa den svenska marknaden för drift och underhåll i perspektiv till den globala utvecklingen.

2.2 Kartläggning av svensk marknad för drift och underhåll

Projektet har som utgångspunkt genomfört en kartläggning av aktörer som är kopplade till drift och underhåll av svensk vindkraft. Denna genomfördes av Vindkraftcentrum hösten 2017 - våren 2018. Kartläggningen har inkluderat kontakt med olika typer av vindkraftsägare, företag som tillhandahåller service för vindkraftsparker och investerare. Material till kartläggningen samlades i första hand in i form av primärdata från intervjuer över telefon och mail, men sekundära data som representerar ytterligare aktörer har samlats in via hemsidor, broschyrer och liknande. Personliga möten för djupare intervjuer med några aktörer som medverkade i den primära datainsamlingen har också genomförts. En beskrivning av marknaden och framtida behov av kompetenser har sedan tagits fram utifrån kartläggningen.

Underlag för aktörer att kontakta har tagits fram genom urval från Vindkraftcentrums kontakter, Svensk Vindenergis medlemslista, Vindstats driftuppföljning av vindkraftverk och Swedish Wind Industry Database. Webbsockningar för att hitta fler mindre aktörer har också gjorts.

För att fånga upp möjliga samband och trender inom drift och underhåll gjordes enkätintervjuer med 15 vindkraftsägare av olika storlek (både i fråga om mängden ägd vindkraft och storleken på själva ägandeorganisationen). Intervjuerna har varit upplagda utifrån ett antal grundfrågor för att samla in basinformation, men anteckningar kring åsikter och idéer har också samlats in. De frågor som ställdes handlade om driftsorganisationen, vilka typer av servicebolag man anlitar och om lokala företag i någon mån anlitas för drift och underhåll. Mer specifika frågor kring bladreparationer, om man upplever sina underhållskostnader som rimliga och ifall det finns exempel på hur man minskat sina kostnader har också ställts till de ägare som varit mer engagerade i sin driftsorganisation.

2.2.1 Genomförande av djupintervjuer

Tre vindkraftsparker ingick i arbetet med djupintervjuer, vilka utfördes med drift- och underhållsansvariga i respektive park. Djupintervjuerna kompletterades med diskussioner med andra personer i samma organisation. Resultaten och slutsatserna används i flera kapitel i denna rapport.

De som intervjuades var:

- Ingemar Forsgren, Drift- och Underhållschef, Vattenfall Vindkraft AB, ansvarig för vindkraftsparkerna Juktan och Storrotliden.
- Lars Jacobsson, Drift- och underhållschef, Rabbalshede kraft AB.
- Magnus Österberg, Driftschef, Mörttjärnbergets vindkraftspark, Statkraft.

För att uppnå en större öppenhet används innehållet i intervjuerna som en sammanvägd informationskälla från de tre erfarna driftscheferna.

Följande ämnen diskuterades under djupintervjuerna:

- Organisation, bemanning, typ av avtal med turbinleverantörer och övriga som kontrakterats för olika leveranser
- Strategier för att optimera produktion
- Administration av serviceavtal, rapportering och uppföljning
- Teknisk support
- HSE (Health, Safety and Environment/Hälsa, Säkerhet och Miljö)
- Övervakningssystem
- Teknisk dokumentation
- Hur man mäter tillgänglighet och erfarenheter av valda metoder
- Lager och logistik
- Underhåll och besiktning av elanläggningar
- Införskaffande av reservdelar
- Renovering av reservdelar, omfattning
- Synen på och hur man organiserar asset managerfunktionalitet
- Tredjepartsleverantörer, användning och principiell inställning
- Lokala företag som leverantörer, nuvarande omfattning och potential
- HR-frågor: Arbetsrotation, rekrytering, personalpolitik, utbildning
- Bladhantering, omfattning, hantering, idéer
- Uppföljning av buller, skuggor, miljörapportering, kemikalier
- Skötsel av vägar och annan infrastruktur
- Kontakter med markägare
- Strategier och mål för framtiden

För att fånga upp perspektiv från företag som erbjuder underhållstjänster som tredje part intervjuades Johan Brink från Jemtel Kraftteknik AB. Detta företag arbetar både med rena elarbeten och som tredjepartsleverantör av vindkraftservice. De har ett antal vindkraftstekniker anställda. De ämnen som diskuterades var:

- Organisation och bemanning
- Kompetens och tjänster man kan leverera
- Svårigheter att hitta åretruntjobb för personalen, förslag till lösningar
- Samarbete med andra företag för att bredda tjänsteerbjudandet
- Synen på tredjepartsmarknaden

ÅF genomförde följande intervjuer för att belysa skillnader och likheter mellan hur drift och underhåll organiseras i Sverige jämfört med andra länder:

- Bill Kristensen, Service Manager North Europe, E.ON Wind Sweden AB
- Lars Ohlsson, Contract Manager, E.ON Wind Sweden AB
- Kent Eriksson, Driftchef, Eolus Vind AB
- Torbjörn Sjölin, Verkställande Direktör, Connected Wind Services Sverige AB
- Martin Jansson, Senior Wind Expert, Vattenfall Services Nordic AB
- Stefan Salomonsson, VD, SRS Windpower AB
- Christoffer Caesar, VD, Monsson Nordic AB

2.3 Andelen vindkraft i kallt klimat och skogslandskap

För att bättre fånga upp de specifika förhållanden som vindkraftverk i Sverige uppförs i, samt för att kunna visa vilken påverkan dessa förhållanden har på drift och underhåll, har en kartläggning kring förekomst och påverkan av kallt klimat och skogslandskap genomförts. Definitioner av begreppet kallt klimat visade sig ofta sammanfalla med svensk skogsmark, varpå även påverkan från skog inkluderats i efterföljande arbete.

För att möjliggöra vidare diskussion beräknades andelen vindkraft i kallt klimat och skog, baserat på data från tre olika källor:

- Energimyndighetens register över anläggningar som är godkända för elcertifikat²
- Vindbrukskollens dataregister över uppförda vindkraftverk³
- Svensk Vindenergis kvartalsstatistik⁴

Data från elcertifikaten och Vindbrukskollen ställdes mot varandra för jämförelse av antal anläggningar och normalårsproduktion per län i hela riket samt för att beräkna andelen nuvarande vindkraft i kallt klimat och skog. Svensk Vindenergis statistik, som redovisas per elområde, användes för att visa nuvarande produktion i kallt klimat och för att blicka framåt mot ett framtida scenario. För inblick i framtida scenarion användes även material ur den marknadsanalys av vindkraften i Sverige 2017 som *Noden för näringslivs- och affärsutveckling inom Nätverket för vindbruk* utfört. Avsnittet kompletterades även med litteratur kring vindkraft i kallt klimat.

2.4 Forskningsöversikt

En litteraturstudie kring drift och underhållsfrågor har gjorts inom ramen för projektaktiviteten *”Undersöka litteratur/studier inom området”*. Syftet har varit att ge projektet en tydlig förankring i tidigare forskning och att få en överblick över ämnesområden som är aktuella i forskningssammanhang. Fokus har varit att beskriva utmaningar, efterfrågan och möjligheter för den svenska drift och underhållsbranschen med avseende på vindkraft.

Referensurvalet är baserat på rapporter från svenska forskningsprogram och myndigheter, samt ett flertal internationella forskningsartiklar. Det mesta av materialet har hittats via digitala sökningar i olika databaser (bl.a. *Science Direct* och *Research Gate*), men en del har även hittats via rekommendationer. Urvalet har varit fokuserat på drift och underhåll av landbaserad vindkraft inom Sverige, men eftersom vindkraftsutveckling är ett internationellt forskningsområde har ett bredare urval av studier använts.

2.5 Internationell utblick

Arbetet med fokus på den svenska marknaden har kompletterats med en internationell utblick, som beskriver hur marknaden ser ut i andra länder. Utblicken är baserad på litteraturstudier och intervjuer.

² Från februari 2018. De anläggningar som saknar länsangivelse i listan exkluderades ur beräkningen.

³ Sökning gjordes i april 2018, baserat på uppförda anläggningar som finns registrerade i [Vindlov](#).

⁴ Från kvartal 1, 2018.

3 Kartläggning av svensk marknad för drift och underhåll

3.1 Generella arbetsmoment

Vindkraftsparker sköts på olika sätt beroende på ägarens intresse av drift och underhållsfrågor, vindkraftverkens ålder och en rad andra faktorer som inverkar på besluten under driftstiden. Detta innebär att detaljer i t.ex. underhållsrutinerna för en specifik vindkraftsanläggning kan vara unika för just denna anläggning. Samtidigt finns generella behov och moment som alla driftsorganisationer behöver ombesörja med tanke på både produktions- och personalsäkerhet. I Tabell 1 har vi listat vanligt förekommande arbetsmoment, för att visa på bredden i den kompetens som krävs för att sköta vindkraftverk praktiskt, tekniskt och ekonomiskt. Listan är baserad på material ur den vindkraftshandbok som Energimyndigheten tog fram i och med byggnationen av Havsnäs⁵ samt eftersökningar kring olika typer av tjänster som erbjuds från företag som fungerar som servicepartners.

Tabell 1. Lista över vanligt förekommande arbetsmoment i drift och underhåll av vindkraftverk.

Parkunderhåll	Teknisk drift	Finansiell förvaltning
• Turbinunderhåll • Elektriskt underhåll • Bevakning av transformatorbyggnader • Säkerhetstjänster • Fastighetsunderhåll • Kontorsservice • Elunderhåll och skötselåtgärder (t ex. mätningar, felsök, besiktning) • Lyftkranar och personliftar • Vägunderhåll (sommar och vinter) • Förrådsutrymmen • Kontorsmaterial • Möbler • Helikopterambulans • Transporter och budbilar • Anläggningsförvaltning • Produktionsoptimering • Besiktningar och statusanalyser • Förebyggande underhåll • Avhjälpande underhåll • Garantibesiktning • Växellådsinspektion • Bladinspektion • Bladreparation • Tunga lyft • Rening och byte av oljor • Eftermarknadsprodukter	• Övervakning av produktion • Kontorsservice • Kontroll på eldistribution • Bevakning av transformatorbyggnader • Säkerhetstjänster • Fastighetsunderhåll • Elövervakning • Bevakning av anläggningen • Kris-jour dygnet runt • Kontorsmaterial • Möbler • Produktionsoptimering • Besiktningar och statusanalyser • Avtalsförvaltning • Förebyggande underhåll • Övervakning av elnät och turbiner • Beredskap • Garantibesiktning • Växellådsinspektion • Bladinspektion	• Kontroll på eldistribution • Kontorsservice • Fastighetsunderhåll • Elhandel • Kontorsmaterial • Möbler • Avtalsförvaltning • Ekonomi och bokföring • Eftermarknadsprodukter

⁵ Energimyndigheten (2012).

Det är inte ovanligt att olika aktörer anlitas för olika moment även i de fall där ägarorganisationen själv har operatörsansvaret. Detta betyder att många vindkraftverk sköts av mer än ett företag, vilket kan göra det svårt att få en snabb överblick av hur drift och underhållsorganisationen är uppbyggd. Till exempel kan turbintillverkaren ha ansvar för vissa moment via serviceavtal, medan reparationer som inte täcks in i avtalet sköts av andra serviceföretag och ytterligare aktörer anlitas för driftövervakning och finansiella tjänster.

3.2 Studier av tre vindparker

Inom ramen för den här rapporten har tre djupstudier genomförts med syftet att få en större förståelse för hur tre olika vindparksägare sköter sina drift och underhållsfrågor. Syftet är också att undersöka om det finns avgörande skillnader som gör att kostnaderna är lägre eller elproduktionen högre beroende på det arbetssätt de valt. De tre är:

- **Storrotliden och Juktan, ägare Vattenfall Vindkraft AB.**
Storrotlidens Vindkraftspark ligger i Åsele kommun, cirka 20 kilometer norr om Fredrika och intill gränsen mot Lycksele kommun. Beräknad årsproduktion är 240 GWh. Parken består av 40 Vestas V90 vindkraftverk. Löpande service och underhåll sköts med egen personal medan turbintillverkaren anlitas vid utbyte av huvudkomponenter samt för vissa specialuppdrag. Juktans vindkraftspark är belägen vid Blaisjön i Sorsele kommun och har en beräknad årsproduktion på 82 GWh. Parken består av 9 direkt drivna Siemens 3,2 MW. Service och underhåll sköttes under de två första garantiåren av Siemens men tas succesivt över av Vattenfall Vindkrafts egen personal. I bägge parkerna tittar man på en ny organisation där planerat underhåll köps in från tredjepartleverantör.
- **Mörttjärnberget, ägare Statkraft.**
Mörttjärnbergets vindkraftspark ligger i Bräcke kommun ca 2,5 mil öster om Bräcke tätort. Beräknad årsproduktion är 290 GWh. Parken består av 37 direkt drivna Siemens 2,5 MW. Service och underhåll sköts i huvudsak av egen personal men vid vissa arbeten anlitas turbinleverantören
- **Rabbalshede Kraft AB. Hela bolagets driftsorganisation.**
Rabbalshede Kraft AB hanterar drift och underhållsfrågorna olika beroende på vilken vindkraftspark det gäller. Egen personal sköter delar av de egna parkerna medan man har serviceavtal med turbintillverkarna i andra. Tredjepartsleverantörer anlitas i vissa fall. Tabell 2 visar en förteckning över de vindkraftsparker Rabbalshede Kraft förvaltar.

De tre djupstudierna avser vindkraftsparker som ägs av elbolag. En del av denna rapport skulle belysa möjligheterna för regionala och inhemska bolag att ta till vara och få chansen att ta del av den stora marknad som uppstår i driftsfasen i takt med att vindkraftsutbyggnaden eskalerar. Bedömningen var att det skulle vara svårt att få en djupare insyn i de parker där turbintillverkarna har mångåriga serviceavtal då deras arbete är kringgärdat av försiktighet att dela med sig av affärshemligheter i och med att det råder en konkurrenssituation tillverkarna emellan. Den tredjepartsmarknad som finns vid mångåriga serviceavtal är oftast bemanningstjänster, elarbeten, bladinspektioner och reparationer samt hantering av infrastruktur som till exempel vägar.

De bolag som äger de tre parker som undersökts är alla starka ägare med resurser att bygga egen organisation för drift och underhåll. Anledningen är att de gjort bedömningen att det är möjligt att uppnå lägre kostnader, en säkrare driftsorganisation med hög produktivitet, samt synergier och stordriftsfördelar med övrig verksamhet. Resultatet av djupstudierna har också använts för de generella slutsatser som finns i övriga kapitel i denna rapport.

Tabell 2. Förteckning över vindkraftsparker som ägs och/eller förvaltas av Rabbalshede Kraft AB, avseende storleksordning och ansvarsområden inom drift och underhåll.

Egen och samägd	WT #	Tot Power MW	Yr. Prod. GWh	
Hud	6	15	38	
Kil	4	8	20	
Brattön	6	15	35	
Töftedalsfjället	10	23	66	
Dingle-Skogen	12	28	68	
Årjäng SV	13	40	117	
Årjängs NV	9	28	79	
Skaveröd	11	34	94	
Lyrestad	22	76	234	Q4-2017
Totalt	93	266	751	
Förvaltade	WT #	Tot Power MW	Yr. Prod. GWh	Avtalstyp
PWP	47	96	250	TCM
Bliekevare	2	4	9	TM
Töftedalsfjället (GE mfl)	11	25	73	PM
Sv. Kyrkan	2	5	10	PM
Tanums kommun	1	3	8	TCM
Leva i Lysekil AB	2	6	17	SA
Gnosjö Energi	4	10	23	TCM
Mölnadal Energi	1	2	6	TM
Vindpark Vätern	7	21	56	TCM SA
Total förvaltat	77	172	452	
Totalt egen och förvaltat	170	438	1 203	

Förklaringar:
 TCM. Teknisk och kommersiell förvaltning
 TM: Teknisk förvaltning
 PM: Parkunderhåll
 SA: Serviceavtal

3.2.1 Trender

Trenden just nu är att den mesta vindkraften byggs i större enheter samt finansieras och ägs av konstellationer av företag som saknar egen kompetens inom drift och underhåll. Den vanligaste lösningen då är att förvaltningen outsourcas och mångåriga underhållsavtal tecknas med turbintillverkaren. Genom serviceavtalet kan ägaren förutse och budgetera kostnaden under lång tid med långtgående garantier för elproduktionen. Dessutom är det numera nästan uteslutande så att majoriteten av elproduktionen, i vindkraftsparker som byggs nu eller är i planeringsstadiet, säljs i förväg via PPA⁶. Med denna modell kan investeraren med relativt stor sannolikhet bedöma lönsamheten och kassaflödet då investeringskostnaden, driftskostnaden och intäkten alla är kända. Riskerna med att bygga upp en egen serviceorganisation bedöms vara för stor när det dessutom inte finns egen kompetens inom området. Storleken på de flesta vindkraftsparker som byggs nu innebär att turbintillverkaren skapar arbetstillfällen där parken ligger. Ur ett regionalt och lokalt perspektiv

⁶ Ett kraftöverenskommelsekontrakt (PPA) eller elavtal är ett avtal mellan två parter, en som genererar el (säljaren) och en som vill köpa el (köparen). PPA definierar alla kommersiella villkor för elförsäljning mellan de två parterna, inklusive när projektet kommer att inledas kommersiellt, schema för leverans av el, påföljder när leverans inte sker enligt avtal, betalningsvillkor och uppsägning. En PPA är huvudavtalet som definierar intäkter och kreditkvalitet för ett elgenereringsprojekt och är därmed ett centralt instrument för att möjliggöra en projektfinansiering.

innebär det sannolikt lika många lokala arbetstillfällen som om ägaren skulle bygga upp en egen organisation. I diskussioner med turbintillverkare och ägare som sköter driften själva framkommer att båda eftersträvar att i första hand försöka rekrytera lokalt förankrad personal.

3.2.2 Arbetssätt, målsättningar och strategier hos de tre vindparksägarna

Vid undersökningen framkom att alla tre hade likartade arbetssätt och i de flesta fall hade testat och genomfört egna likartade lösningar inom vissa delmoment. De problem som upplevdes var i stort sett de samma för alla tre. Strategier och målsättningar var också förvånansvärt lika. I avsnitten nedan beskrivs en sammanvägd bild av arbetssättet hos de tre utan att peka ut någon enskild operatör.

3.2.3 Driftövervakning, datainsamling och teknisk dokumentation

SCADA⁷ från turbintillverkarna används som en delmängd i övervakningen av driften. Två har som tillägg egna driftövervakningssystem medan den tredje som komplement använder ett övervakningssystem från en tredjepartsleverantör. Valda delar av informationen från SCADA importeras i de egna systemen. Egna data tillhandahålls också till turbintillverkarna. Ett stort arbete har varit att välja ut vilka data som har högst relevans för effektiv planering av underhållsarbetet. Att samla in all data och bearbeta informationen kräver stora resurser för analysen, så därför läggs fokus på de faktorer man bedömer har störst nytta för en effektiv underhålls- och produktionsplanering. Kontinuerlig revidering av underhållsplaner sker löpande och ambitionen är att arbeta i huvudsak proaktivt i stället för reaktivt. Även om programuppdateringar medför stora kostnader så är det begränsat i förhållande till vad ett haveri kan kosta.

Ett tydligt exempel på vad som efterfrågas är att man vill kunna se tidigt när t.ex. oljetemperaturen får en avvikelse så att förutsättningarna för att förhindra haverier blir de bästa möjliga. Med en utökad bevakning och stödjande datasystem är det möjligt att proaktivt planera in byte eller renovering av berörda komponenter i god tid i stället för att göra det när skadan är ett faktum.

Det finns upplevda svårigheter för ägaren till vindkraftparken att få tillgång till all teknisk dokumentation i samband med leverans av turbinerna. Det finns dock möjligheter att, via en prenumeration, få tillgång till dokumentationen via Internet samt komplettera detta med teknisk support från turbinleverantörerna för att själva sköta det mesta av underhållet.

3.2.4 Reservdelar

Erfarenhetsbaserat etableras reservdelslager med de komponenter som mest frekvent behöver bytas ut. I vissa fall skapas även ett "skugglager" baserat på turbinleverantörens användning av reservdelar under garantitiden. Detta innebär att man har skapat ett fiktivt lager (ett lager som bara finns teoretiskt) baserat på vilka reservdelar som används och frekvensen av dessa för att själva ha förberett egen lagerhantering i samband med övertagande av driften.

Prispåslagen på reservdelar upplevs som höga från turbinleverantören och i några fall har direktkontakt med den som tillverkat komponenten inneburit ett helt annat pris. Många av reservdelarna kan alltså köpas från andra företag till ett betydligt lägre pris, exempelvis luftfilter.

⁷ SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) är ett system för övervakning och styrning av processer. Systemet använder sig av datorer, datorkommunikation och grafiska användargränssnitt för att behandla övervakning och styrning på en hög nivå, men även andra kringutrustningar förekommer. Exempel på kringutrustningar kan vara PLC:er (Programmable Logic Controller) som är programmerbara styrsystem.

Därför genomförs alltid prisjämförelser från flera leverantörer vid inköp av komponenter. Det är extra viktigt i och med att många delar i ett vindkraftverk är standardkomponenter som finns att köpa på marknaden. En tredjepartslösning skulle kunna vara att ett intresserat företag kommer överens med ägarna till vindkraftsproducerande anläggningar och bygger upp ett reservdelslager och logistiklösning med alternativa standardkomponenter. Vid en sådan lösning, där flera vindparksägare blir kunder, kan volymerna göra att priserna pressas ännu mer. De större elbolagen har sannolikt själva möjlighet att nyttja befintliga inköpsavtal som används i andra delar av verksamheten

Det eftersträvas också att renovera komponenter i stället för att köpa nya för utbyte. Det görs antingen i egen regi eller i samarbete med lokala företag. Två exempel:

- Kol i generator: renovering 6 000 kr, utbyte 60 000 kr.
- Hinderbelysning: ny 50 000 kr, lödning av trasigt kretskort i hinderbelysningen, ca 1 000 kr.

Sammantaget sker en ständig revidering av arbetsformer och man söker hela tiden idéer för att sänka kostnader och effektivisera drift och underhållsarbetet.

3.2.5 Egen drifts och underhållspersonal

För drift- och underhållspersonal eftersträvas lokalt förankrad personal vilket innebär fördelar med korta inställelsetider, god lokalkännedom och låg personalomsättning. Flera av parkerna finns i utpräglad glesbygd där konkurrensen om arbetskraften inte är lika hög som vid de större tätorterna. Det finns en samstämmighet om att varje vindkraftverk har sina egna specifika egenskaper och med samma personal över tid lär dessa känna de olika vindkraftverken. Erfarenheten är att med den kunskapen kan ett mer proaktivt arbetssätt tillämpas.

För att göra anställningen mer attraktiv och varierande används ofta arbetsrotation där personalen under perioder även arbetar med underhållsplanering. Arbetsorder distribueras till teknikern via dator och i vissa fall finns de flesta funktioner tillgängliga via mobiltelefon. Om andra fel än det fel arbetsordern omfattar blir upptäckta ska dessa, om möjligt, åtgärdas vid samma tillfälle.

3.2.6 Jämförelse: drift- och underhåll i egen regi eller outsourcad

En jämförelse av drift och underhåll i egen regi eller outsourcad är oerhört svår att göra för enskilda vindkraftsparker. Detta eftersom varje etablering av vindkraft är unik vad avser turbintyp, topografi, medelvind och miljöförutsättningar m.m. En jämförelse bör också göras sett ur ett livscykelperspektiv, att vara mycket restriktiv med underhållet i början för att uppnå lägre kostnader kan straffa sig i längden och leda till många och dyra fel de sista åren av vindkraftverkens ekonomiska livslängd. De avtal som finns mellan ägare och turbinleverantörer omfattas av sekretess och kan därför inte användas för en generell jämförelse. Det är alltså inte känt vad som ingår exakt i dessa avtal som dessutom är anpassade efter respektive kund. Energimyndigheten har gjort en sammanställning av produktionskostnader för vindkraft som bygger på intervjuer med ett tjugotal aktörer på vindkraftsmarknaden i Sverige. De har svarat på frågor om kostnader, avkastningskrav och tekniska förutsättningar. Resultatet visas i form av en kostnadskurva för Sveriges alla planerade vindkraftsprojekt och visar hur stor potentialen bedöms vara och hur kostnadsbilden ser ut för dessa projekt. Där kan en aktör bilda sig en egen uppfattning om hur den egna drift och underhållskostnaden är i jämförelse med övriga aktörer på marknaden och väga in sina egna specifika förutsättningar i analysen. Ett fullserviceavtal kan också betraktas som en riskminimering och en särskild riskbedömning bör ingå i analysen.

3.2.7 Flera elproducenter erbjuder marknaden tredjepartslösningar för drift och underhåll

Elproducenter som erbjuder sig som tredjepartslieferantör via dotterbolag eller i moderbolaget av drift och underhåll för vindkraftsanläggningar är till exempel E.ON, Umeå Energi, Vattenfall Services och Skellefteå Kraft. Anledningen är sannolikt att med en större organisation ökar stordriftsfördelarna även för den egna verksamheten. Man får också erfarenheter från fler turbintyper och produktionsförutsättningar, vilket ger kunskaper som kan användas i den egna verksamheten. Att erbjuda underhållstjänster kan också vara ett lönsamt komplement till den egna kärnverksamheten.

3.3 Resultat enkäter

För att samla in mer information och intryck från branschen kontaktades 15 vindkraftägare för en enkätundersökning med frågor om hur underhållet av deras vindkraftverk/parker sköts. De kontaktade bolagen valdes för att de representerar olika ägandeformer, storlekar och delar av landet. De ägare som kontaktats äger sammanlagt 826 MW elproduktion och 343 vindkraftverk.

Samtliga bolag som kontaktades anlitar turbintillverkaren i någon mån och många av dem är direkt kopplade till serviceavtal med tillverkaren som täcker de första åren av vindkraftverkens livstid. Enkäten uppfångade en allmän tendens att äldre vindkraftverk i större grad sköts av egna tekniker eller serviceföretag som inte är turbintillverkaren. Förekomsten av tekniker och underhållsåtgärder som utförs av anställda i ägandeorganisationen hittades hos ägare i olika storleksordning. I vissa fall rör dessa uppgifter produktionsövervakning och förvaltning, i andra fall är de inspektioner eller enklare felavhjälpning. Kring teknisk förvaltning och hantering av data är större ägandeorganisationer ofta mer aktiva än mindre, vilket troligen kan kopplas till tillgängliga personalresurser, etc. De allra flesta av ägarna har någon form av insyn över produktion och driftsstopp, ibland via larm direkt i mobiltelefonen. I de allra flesta av vindkraftsparkerna sköts det allmänna parkunderhållet, t.ex. vägunderhåll och snöröjning, av lokala underleverantörer som ibland även är markägare.

En viktig faktor som framkommit i enkäterna är att samma ägare kan ha olika upplägg för drift och underhåll i olika vindkraftsparker, beroende på bl.a. ägandeorganisationens struktur, vindkraftverkens ålder, geografiska avstånd, parkernas storleksordning och ägarfördelningen i parkerna. Vidare upplever många av ägarna att drift och underhållskostnaderna är höga och att det är svårt att få optimeringen man blivit lovad.

För att ge exempel på olika typer av drift och underhållsorganisationer sammanfattas några av enkäterna i Tabell 3. Det blir tydligt när enkätsvaren studeras närmare att driftsfasen i sig har olika faser. En operatör (som inte är representerad i tabellen) berättar att de 24 vindkraftverk (totalt 79 MW) man äger för nuvarande sköts med serviceavtal med tillverkaren eftersom de är nykonstruerade. Från och med början av 2019, när dessa avtal löper ut, kommer operatören ta över och själv sköta vindkraftverken med egna resurser och vindkraftstekniker. Ägaren gör detta för att få bättre kontroll på kostnaderna och tillgängligheten, då uppfattningen är att turbinleverantörernas kostnad för drift och underhåll inte står i proportion till de nuvarande intäkterna i elbranschen.

I de mer blandade kommentarerna i enkäterna har framkommit att det finns önskemål från flera operatörer om att få bättre tillgång till äldre vindkraftverk och deras teknik, vad gäller tillgång till maskinrum och reservdelar såväl som dokumentation, så att man i större grad kan sköta dem utan serviceavtal med turbintillverkare. Ett förslag var att stämpla ner vindkraftverk som ett sätt att

förbättra ekonomin då detta kan befria mindre vindkraftverk och ägare från elnätsavgifter. Det har även påpekats att det kan behövas upp till fyra olika avtal för att täcka in drift och underhållsbehoven för att hålla ett verk igång, vilket kan vara en omfattande förhandlingsprocess för små ägarorganisationer. Funderingar kring yrket som vindkrafttekniker har också fångats upp. Oro för att omsättningen på tekniker är hög har lyfts, vilket kan tänkas bero på att det är ett slitigt yrke med mycket resande och tunga moment. En operatör påtalar att det är märkligt att externa serviceföretag i så stor grad är uteslagna från tillgången till äldre vindkraftverk, fast serviceföretagen ofta består av tekniker som tidigare arbetat för tillverkarna och har kompetens att sköta äldre modeller utifrån tidigare utbildning hos tillverkaren. Detta begränsar både marknaden för småföretagen och är ineffektivt då teknikerna skulle kunna fortsätta sköta de turbinmodeller de behärskar när de åldras.

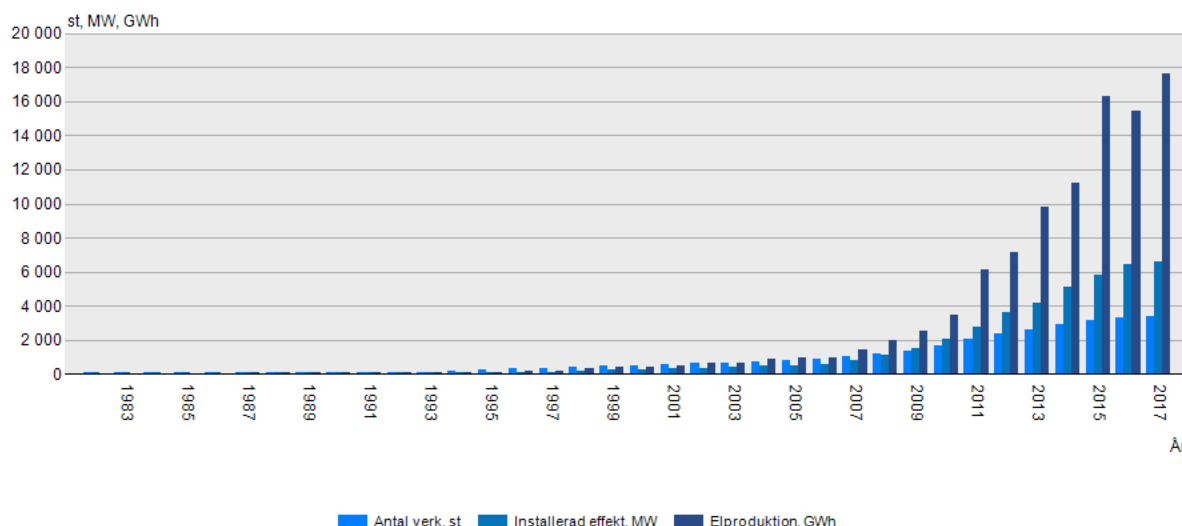
Tabell 3. Exempel från enkäten kring hur olika typer av ägandeorganisationer hanterar drift och underhåll. Sammanfattningen hålls anonym av hänsyn till ägarorganisationerna.

Ägandeorganisation	Storleksordning	Organisation kring drift och underhåll
Privat energibolag Mindre aktiebolag	Enstaka verk i sju olika parker, där parkerna delas med andra ägare. 12,8 MW.	Har serviceavtal med tillverkare. Får varning i sms när verken stannat. Övrig övervakning sköts av tillverkare.
Kommunalt energibolag #1	6 verk, alla utom ett byggt före 1995. 4,39 MW.	Har avtal med tre olika fristående serviceleverantörer men köper även tjänster av tillverkare. Gör egna ronder med intern personal en gång i månaden.
Enkelt bolag	4 verk om 4,5 MW. Arrenderar även ut mark till andra vindkraftsprojekt.	Har serviceavtal med tillverkare samt avtal med ett fristående bolag för förvaltningstjänster. Deltar själv i den allmänna parkskötseln.
Privat energibolag Större aktiebolag	64 verk om 139 MW, utspridda i landet.	Har gått över till fullserviceavtal från att tidigare ha 3000-avtal. Förvaltar själva och har två personer internt anställda. Produktionsövervakning med Breeze/Greenbyte. Övervakar åsknedslag via SMHI för att kunna inspektera bladen när blixten slagit ner.
Ekonomisk förening	2 verk, ägs av 2 600 kunder i form av vindandelar. 4,5 MW.	Ett verk sköts med serviceavtal med tillverkare och tekniska förvaltningstjänster som köps in från fristående aktör. Det andra verket sköts för nuvarande av en fristående aktör med 1-årigt serviceavtal, efter konflikt med den tidigare fristående leverantören av fullservice. En annan fristående aktör står för teknisk förvaltning.
Kommunalt energibolag #2	10 verk om 21,7 MW.	Har tre egna tekniker anställda och gör mycket jobb på verken själva. Tar hand om totalt 22 verk, med sammanlagt fyra märken och sex olika modeller, varav 12 verk sköts åt kund. En del av verken sköts delvis med serviceavtal med tillverkare. Övervakar översiktligt via Bazefield, men köper in analys från fristående aktör.

3.4 Repowering

3.4.1 Bakgrund

Vid årsskiftet 2017–2018 fanns i Sverige 3 376 vindkraftverk i drift fördelat på 174 av landets 290 kommuner. Sett till antal vindkraftverk, installerad effekt i MW och elproduktion har det mesta tillkommit de sista 10 åren. Fram till 2007 hade endast 24 % av antalet verk, 12 % av den installerade effekten och 8 % av vindkraftsproduktionen jämfört 2017 års utgång tagits i drift, se Figur 1.



Figur 1. Antal vindkraftverk, installerad effekt och elproduktion från vind i Sverige 1982–2017. (Energimyndighetens statistikdatabas)

Med en teknisk livslängd på 20–25 år kommer alla vindkraftverk som nu är i drift att behöva repowering, eller ersättas med annan energiproduktion, för att målet om ett helt förnyelsebart elsystem 2040 ska kunna uppnås. Repowering innebär att man håller liv i en vindkraftsanläggning under längre tid än den ursprungliga tekniska livstiden. Detta kan ske genom att komponenter byts ut i enskilda vindkraftverk, så att de får en längre livstid, eller genom att nya effektivare vindkraftverk byggs på de gamlas plats. I Energimyndighetens rapport *Vägen till ett 100 procent förnybart elsystem*⁸ visas att uppemot 105 TWh i ackumulerad produktion behöver ersättas med annat fram till år 2045. Den allmänna uppfattningen just nu är att landbaserad vindkraft ska stå för 20–100 TWh och havsbaserad vindkraft för 0–40 TWh av den totala elproduktionen. Det finns många osäkerhetsfaktorer i hur stor den framtida elanvändningen kommer att bli, liksom den faktiska livslängden på nuvarande anläggningar. Landbaserade vindkraftsanläggningar som får effektivt underhåll kan i många fall säkerligen fortsätta vara i drift efter att den förutspådda tekniska livslängden uppnåtts.

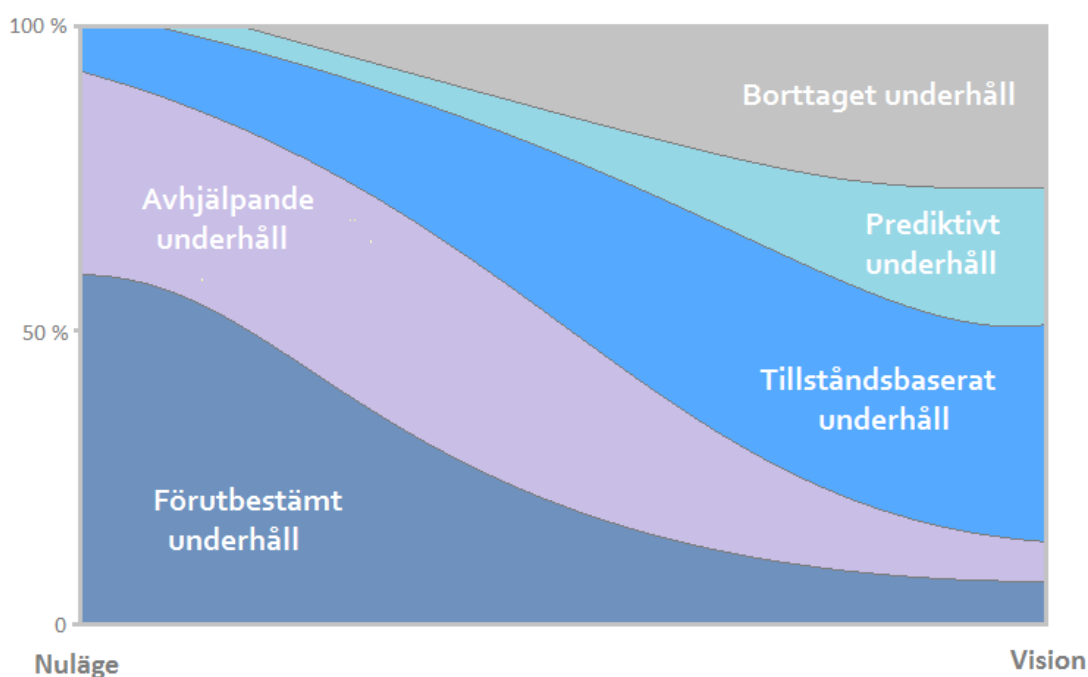
Enligt rapporten *Wind turbine performance decline in Sweden*⁹ är elproduktionen närmast konstant under de första åren efter idrifttagning för att sedan börja minska. Verk byggda före 2007 tappar i snitt 0,15 procentenheter per år i absolut kapacitetsfaktor, vilket motsvarar en energiförlust om ca 6 % över livslängden. En gradvis ökning av stilleståndstiden står för 1/3 av minskningen och försämrade

⁸ Energimyndigheten (2016b).

⁹ Olauson, o.a. (2017).

effektivitet för den resterande delen. I jämförelse med resultat från Storbritannien tappar svenska verk betydligt mindre prestanda.

Många vindparksägare och turbinleverantörer anser att ett mer proaktivt underhåll med utbyte eller renovering av huvudkomponenter kan öka produktionen samtidigt som livslängden förlängs. Det finns exempel på att livslängden för vindkraftverk kan nästintill fördubblas genom utbyte av samtliga huvudkomponenter. I de intervjuer och diskussioner som gjorts under den här rapportens sammanställande har det tydligt framkommit att samtliga aktörer eftersträvar en modell där drifts- och underhållsarbetet går mot en modell där det förutbestämda underhållet ersätts med en större andel tillståndsbaserat och prediktivt underhåll, illustrerat i Figur 2.



Figur 2. Skiss över önskad utveckling av drift och underhållsrutiner.

Om stål, cement och plasttillverkning görs med metoder som bygger på elanvändning kommer sannolikt behovet av förnybar elproduktion att öka rejält. Samtidigt sker energieffektiviseringar inom andra branscher och många hushåll och jordbruk kommer att producera sin egen el vilket gör det svårt att med säkerhet förutspå vilken elproduktion som behövs i Sverige 2045.

3.4.2 Trolig utveckling och framtidsscenario

Enligt branschorganisationen Svensk Vindenergi fattades under andra kvartalet 2018 beslut om investeringar i vindkraft i Sverige avseende 413 MW. Investeringstakten är fortfarande hög och Svensk Vindenergis prognos är att vindkraftsproduktionen kommer att öka från cirka 17 TWh år 2017 till nära 30 TWh år 2021. Det innebär att vid ett framtida scenario där landbaserad vindkraft ska stå för 60 TWh av elproduktionen har hälften uppnåtts redan 2021.

Det finns kalkyler som visar att repowering med begagnade renoverade turbiner kan ge lönsamhet, men sannolikheten att detta kommer att ske i någon större omfattning är liten i de fall det är en eller ett fåtal effektsvaga turbiner på nuvarande positioner. Nuvarande ägarkonstellationer kan också i många fall ha svårt att hitta finansiering för detta. Att bygga enstaka större vindkraftverk för att

ersätta de gamla torde vara ointressant för den typ av investerare som nu dominerar vindkraftsutbyggnaden. Om man ersätter gamla vindkraftverk med nya högre fordras en ny miljöprövning och ett nytt tillstånd. Kostnaden för detta samt avsaknaden av stordriftsfördelar i samband med byggnation och drift minskar sannolikheten för denna typ av lösningar vid en mindre etablering.

En affärsmöjlighet skulle kunna vara att en ägarkonstellation med bra kapitalbas tog fram ett standardpaket med en totallösning för repowering för befintliga etableringar där det finns få effektsvaga turbiner och skapa stordriftsfördelar genom detta. Ett annat alternativ är att på mäklarbasis skaffa affärsförbindelser med många tänkbara aktörer på de olika delleveranserna som kan förekomma och erbjuda en behovsanpassad paketerad lösning i varje enskilt fall. Fördelen med repowering på gamla positioner är att vindresursen är väl känd samt att mycket av infrastrukturen kan återanvändas.

I de vindkraftsparker som byggts efter 2007 finns ofta bättre förutsättningar för repowering. Dessa parker är i många fall byggda i goda vindlägen och har ett större antal vindkraftverk inom samma område. Ett alternativ är att ersätta dessa med samma antal vindkraftverk med högre effekt, vilket dock kräver att elanläggningar, interna elnät och anslutningarna till Svenska Kraftnät anpassas. Ett annat är att de befintliga vindkraftverken ersätts med färre vindkraftverk med lika stor total elproduktion.

3.4.3 Arbetstillfällen vid repowering

För att visa ett teoretiskt scenario kring vad repowering skulle kunna innebära i årsanställningar vid utbyte till samma typ av verk som tidigare eller att nya vindkraftverk byggs på annan position/ort har Vindkraftcentrums prognosverktyg använts. Se Bilaga 1 för mer detaljerad information kring beräkningsmodellen och en tabell över arbetstillfällen vid repowering per kommun.

I Energimyndighetens förstudie *Återbruk och återvinning av vindkraftverk*¹⁰ beskrivs utförligt ett nuläge samt framtida möjligheter med repowering. Där belyses möjligheten att standardisera nedmontering och diskussioner i samband med denna rapport har visat att hela repoweringprocessen håller på att standardiseras. Detta skulle kunna ge möjligheter för såväl regionala som nationella företagskonstellationer att ta en god del av marknaden. Genom att skapa en generaliserad arbetsmodell med de olika delmomenten prissatta och erbjuda denna som en paketslösning skulle detta kunna innebära att flera olika turbin typer skulle kunna erbjudas. De ledande turbin tillverkarna skulle kunna erbjuda ett samarbete där man tillhandahåller specialistkompetenser inom de arbetsmoment som krävs. I de fall turbin tillverkarna vill använda egen personal för montering och driftsättning av de nya vindkraftverken kan ett paket med övriga delmoment erbjudas.

Med tanke på att uppåt 4 000 vindkraftverk behöver ersättas de närmaste 25 åren i Sverige, och att de flesta sannolikt inte kommer att ersättas med ett likadant begagnat eller renoveras upp till en nivå att det håller 25 år till, kommer marknaden för demontering och återvinning att bli stor. Svenska företag skulle kunna specialisera sig på detta och skapa paketslösningar eller specialisera sig inom något av delmomenten. Möjligheten att växa och verka internationellt med ett konkurrenskraftigt erbjudande är stor då det vid slutet av 2016 fanns drygt 340 000 turbiner i drift i hela världen. Merparten av dessa har nått sin tekniska och ekonomiska livslängd före år 2045. Miljökraven vid nedmontering och

¹⁰ Energimyndigheten (2016b).

återvinning är i många länder inte lika vittgående som i Sverige. Det finns skäl att anta att kraven kommer att öka i de flesta länder beroende på det klimathot som fler och fler anser är en realitet. Svenska företag som ser möjligheter i detta kan läsa Energimyndighetens rapport *Vägledning om nedmontering av vindkraftverk till land och till havs*¹¹ samt Uppsala Universitets rapport *Nedmontering av vindkraftverk och efterbehandling av platsen*¹². Via dessa rapporter kan man skapa sig en uppfattning om hur denna paketslösning skulle kunna se ut. Det krävs konsultinsatser för planering, tillståndsfrågor, miljöfrågor och utbildning; men även effektiva nedmonteringsmetoder och hantering av material, samt hantering av en eftermarknad med återvinning och försäljning av komponenter som kan renoveras och återanvändas.

Vindkraftcentrum har tagit fram ett planeringsverktyg som kan användas för att öka andelen regionala företag i samband med etablering av en ny vindkraftsanläggning. Detta verktyg kan efter anpassning användas på samma sätt när det gäller repowering. Acceptansen för en förlängning av livstiden för en vindkraftsetablering skulle sannolikt öka om berörd bygd ser att det ger arbetstillfällen under ombyggnaden samt långsiktiga arbetstillfällen under den kommande driftsperioden. Anpassningen av verktyget skulle kunna göras efter noggrann kartläggning av genomförda repowering-projekt.

Arbetsgången skulle kunna se ut som följer:

Steg 1. I samband med kännedom om att repowering ska genomföras etableras ett samarbete mellan VINDKRAFTCENTRUM, berörd kommun och projektör. En prognos för arbetskraftsbehov tas fram med Vindkraftcentrums prognosverktyg. Där kan man se vilka kompetenser som behövs både för nedmontering och att resa de nya vindkraftverken. En lokal samverkansgrupp skapas med kommun, projektör, företagsföreningar, arbetsförmedling och skolor. Behovet av arbetskraft för nedmontering och nyetablering matchas mot de lokala företagens kompetens och vilken lokal arbetskraft som kan rekryteras. Utbildning för lokala företag genomförs samtidigt som vägar för att få fram anställningsbara personer utreds. Interesse för klusterbildning för regionala företag kan undersökas för att erbjuda projektören mer heltäckande lösningar.

Steg 2. När tillstånd beviljats görs en överenskommelse mellan projektör och övriga intressenter att en leverantörsdatabas etableras där lokala företag kan registrera sig. Överenskommelsen med projektören innebär att de lokala företag som registrerat sig ska beredas möjlighet till matchningsmöten med de huvudentreprenörer som får kontrakt. Samtal med såväl projektörer samt ett flertal företag som har haft huvudentreprenader vid vindparksbyggen ser en stor fördel när lokala företag kan vara med och leverera varor och tjänster. Korta inställelsetider och lokal kännedom ger effektivitets och kvalitetsvinster. Tidigare har tidsbrist och låg kännedom om lokal marknad gjort att man använt sig av redan kända företag eftersom arbetet oftast ska påbörjas direkt vid investeringsbeslut. Genomförda sysselsättningsstudier visar att vid ett större vindparksbygge används runt 150 företag och att det ofta finns lokala företag med rätt kompetens som inte kommit ifråga på grund av att de inte etablerats tidiga kontakter.

Med denna modell involveras samhällets aktörer liksom näringsliv och allmänhet vilket leder till ökad acceptans och effektivare byggprocesser.

¹¹ Statens Energimyndighet (2016c).

¹² Uppsala Universitet (2013).

I Tabell 4 visas ett exempel på hur en första övergripande kartläggning kan se ut. Utifrån denna skapas en realistisk målbild att jobba utifrån. Nästa steg är att etablera kontakt med de företag som kan komma ifråga och informera dessa samt efterfråga om intresse finns. Exemplet visar en första kartläggning inför en repowering i Ljusdals kommun. Antalet företag är hämtat från Skatteverket vad gäller enskilda och enkla firmor, samt från Bolagsverket gällande övriga företag.

Tabell 4. Möjligheter för svenska företag i samband med repowering eller ersättning av befintlig vindkraft med nyetableringar.

Bransch	Ljusdals Kommun	Ljusdal + Härjedalen	Regionen	Uppskattat andel möjliga Regionen
Anläggningsarbeten	89	147	2371	50%
Avfallshantering & Återvinning	5	7	143	50%
Bränsle, Mineraler & Industrikem. Partihandel	4	8	133	50%
Byggverksamhet	342	578	10602	10%
Catering	6	8	226	5%
Drivning	42	68	953	40%
El-VVS & Bygginstallationer	68	113	2289	20%
Gruv-, Bygg- & Anläggningsmaskiner, Partihandel	2	3	107	40%
Hamngodshantering	0	0	14	50%
Hotell & Restaurang	90	242	3727	5%
Ikke spec. handel med livsmedel, Partihandel	1	1	79	50%
Juridik, Ekonomi, Vetenskap & Teknik, övrig	12	20	426	20%
Kontorsförbrukningsvaror, Partihandel	1	1	26	75%
Källsorterat material	0	0	52	40%
Livsmedelshandel	16	35	593	10%
Lufttransport, Godstrafik	0	0	7	50%
Maskiner, reparation	18	26	840	40%
Metallindustri	63	142	343	50%
Mineralutvinning, övrig	3	3	91	40%
Motorfordon, reparation & underhåll	35	69	1607	20%
Personalutbildning	4	7	346	10%
Rengöring & Lokalvård	16	46	803	20%
Stugbyverksamhet	13	58	331	10%
Säkerhetsverksamhet	2	3	70	40%
Teknisk konsult inom Bygg- & Anläggningsteknik	36	54	1178	30%
Teknisk konsult inom Elteknik	3	4	390	40%
Teknisk konsult inom Energi-, Miljö- & VVS-teknik	12	14	404	50%
Teknisk konsultverksamhet, övrig	6	17	199	30%
Teknisk Provning & Analys	2	3	97	50%
Telekommunikation, Trådbunden	2	2	75	5%
Transport stödtjänster, övriga	5	6	114	50%
Turist- & Bokningsservice	4	33	230	30%
Uthyrning & Leasing av Bygg- & Anläggningsmaskiner	8	13	225	50%
Uthyrning av bygg- och anläggningsmaskiner med förare	8	11	286	60%
VVS-varor, Partihandel	3	4	90	40%
Vägtransport, Godstrafik	58	101	1908	20%
Öppen Hälso- & Sjukvård	21	29	232	30%

Enligt den beräkningsmodell som tagits fram i detta projekt, och redogörs vidare för i Bilaga 1, kommer antalet årsanställningar fram till 2045 att bli knappt 27 000 om den nuvarande vindkraftsflottan genomgår repowering och drygt 33 000 om alla nuvarande vindkraftverk ersätts med nya. De flesta arbetstillfällena finns inom de branscher som redovisas i Ljusdalsexemplet ovan. Sannolikt kommer utfallet att bli någonstans mitt emellan. I totala antalet årsanställningar har en

multiplikatoreffekt¹³ på 25 % använts. Detta belyser alltså enbart befintlig vindkraft vid årsskiftet 2017–2018 som behöver ersättas.

Parallellt med ersättningen av befintlig vindkraft kommer det att byggas helt nya vindkraftsparker för att täcka energibehovet. Allt sammantaget innebär detta stora möjligheter för inhemska företag att växa och ha god utkomst över tid av vindkraftens repowering och nybyggnation. Erfarenheter från repowering inom vindkraftsindustrin kan också skapa kompetens som kan exporteras till andra branscher och marknader.

¹³ Multiplikatoreffekt som begrepp har använts i tidigare vindparksstudier för att beskriva kringeffekterna av en vindparksinvestering. I det föreliggande fallet används begreppet för att analysera de regionala effekterna av vindkraftsinvesteringar p.g.a. att den ursprungliga ökningen av investeringarna leder till att fler anställs som i sin tur får lön som de spenderar, vilket driver på nya investeringar och så vidare. Den enda kvantifierade multiplikatoreffekt som hittats för utbyggnad av vindkraft är beräknad i USA och utifrån deras nationella förutsättningar 2008. Nyckeltalen från den undersökningen har använts i efterföljande studier av vindkraftutbyggnad i Sverige utan validering mot faktiska förutsättningar. Det finns få studier av multiplikatoreffekter annat än som makroekonomiska effekter på nationsnivå. En undersökning om turismen i Stockholm utförd av Tyréns ger till exempel multiplikatoreffekten 19 % för hotell och restaurang och 53 % för evenemangsarenor, vilket visar på problematiken när en del av multiplikatoreffekterna sannolikt uppstår hos varandra vilket innebär att de inte bör läggas ihop. I denna fallstudie har siffror från Energimyndighetens studie *Arbetskraft, kompetenser och faciliteter för storskaligt vindbruk* (diarienummer 2009–002313) använts avrundat till 25 %. Multiplikatoreffekten kan således anses som ett osäkert antagande baserat på tidigare studier.

4 Kartläggning av affärsmodeller

4.1 Affärsmodeller för drift och underhåll

Eftersom vindkraft ägs och drivs under olika förutsättningar finns det olika lösningar för service och underhåll. Egenskaperna och behoven hos ägare, förvaltare och vindkraftverk påverkar hur organisationen kring drift och underhåll ser ut, vilket i sin tur ger varierande affärsmodeller för såväl operatörssidan som de företag som tillhandahåller servicetjänster. Den som äger vindkraftverket har en nyckelroll i hur driften sköts, men eftersom olika typer av ägare har olika förutsättningar och intresse av detaljer kring driften påverkar det hur underhåll planeras och genomförs. Ägaren kan själv vara ansvarig för drift och underhåll, eller anlita en annan operatör eller förvaltare som sköter detta. Driftorganisationen kan också planeras och startas av projektören i samband med att vindkraftsanläggningen byggs, så att driftsorganisationen redan finns på plats när de säljer projektet vidare.

Eftersom det finns många typer av vindkraftsägare, se Tabell 5, finns det även varierande lösningar för hur service och underhåll sköts. Skalan sträcker sig från att driften sköts helt av andra parter än ägaren till att ägaren själv tar fullt ansvar för driftsfasen. Det förekommer även att samma ägare kan ha olika ansvarsnivåer för olika vindkraftsanläggningar.

Tabell 5. Lista över olika typer av ägare till vindkraft, samt förklaring.

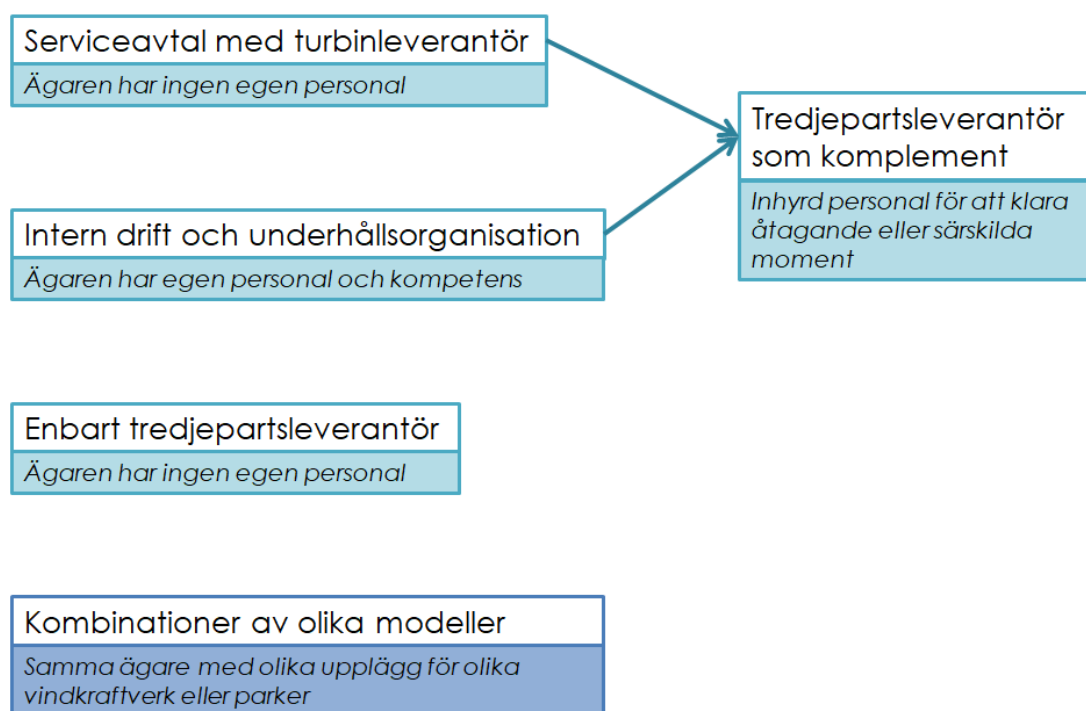
Typ av ägare	Förklaring
Energibolag	Offentligt ägda bolag som sysslar med elhandel och elproduktion, där vindkraft kan vara en kraftkälla. Är ofta kommunalt ägda och har många enskilda kunder.
Industrienergibolag	Bolag som ägs av industriföretag och sysslar med elproduktion, där vindkraft kan vara en kraftkälla. Har ofta få kunder med stor elförbrukning.
Projektorganisation	Skapas specifikt för att bygga och driva vindkraft, ofta i anslutning till en enskild park. Kan vara uppbyggd av olika ägare med olika fördelning i parken.
Kooperativ och ekonomiska föreningar	Skapas specifikt för att bygga och driva vindkraft, av privatpersoner som går samman för att kunna köpa vindkraft som de själva finansierar produktionen av. Äger ofta inte så många vindkraftverk och saknar ofta kompetens att aktivt sköta dem.
Enskilda ägare	Uppför vindkraft i anslutning till annan verksamhet, t.ex. jordbruk. Äger ofta inte så många vindkraftverk och saknar ofta kompetens att aktivt sköta dem.
Företag	Uppför vindkraft för att försörja sin ordinarie verksamhet med el och bättra på sin miljöprestanda. Kan äga både få och många vindkraftverk beroende på hur stort företaget är. Saknar ofta kompetens att sköta vindkraftverken.
Institutionella investerare	Uppför eller köper vindkraft som ett sätt att säkra ekonomiska tillgångar och förvalta dem för framtiden. Har annan huvudsyssla än energiproduktion, t.ex. förvaltning av pensionsfonder eller andra värdepapper.
Turbintillverkare	Tillverkar vindkraftverk som huvudsyssla och kan äga del i parker med sina verk. Äger som investering för att tillgodose sitt eget behov av el eller som möjlighet för framtida inkomster eller teknikutveckling.

Det finns många faktorer som har inverkan på vindkraftägarens val för drift och underhåll. Storleken på ägarorganisationen och huvudsysslan för ägaren påverkar möjligheten och intresset för att ha en egen driftsorganisation. Ägarens huvudsyssla påverkar även syftet med att äga vindkraft, eftersom det kan vara elproduktionen eller investeringen som skapar affärsnytta för ägaren. Syftet kan vara direkt kopplat till att äga elproduktionen, t.ex. för att kunna sälja el till kund, men vindkraft kan även ägas som ett sätt att placera kapital.

En viktig faktor som påverkar driftsorganisationen är ägarens kompetens kring drift av vindkraft, eftersom detta rent praktiskt styr ägarens möjligheter att ta aktiv del i beslut för drift och att utföra underhållsåtgärder. Kompetensen kan även utvecklas över tid, så att en egen driftsorganisation blir möjlig och skapas efter ett antal år som vindkraftsägare. Vidare påverkar faktorer som antalet ägda vindkraftverk och deras ålder, storleken på ägarorganisationen, samt underhållsbehoven som kan väntas uppstå. Vindkraftverkens geografiska placering i förhållande till ägaren kan också styra möjligheten och intresset för en egen driftsorganisation, eftersom det kan vara både mer ekonomiskt och praktiskt att sköta vindkraftverken med personalresurser som finns nära dem.

4.2 Översikt av vanliga affärsmodeller

Detta projekt har identifierat fyra typer av affärsmodeller som är vanliga för drift och underhåll i den svenska vindkraftbranschen: serviceavtal med turbinleverantör, intern drift och underhållsorganisation, tredjepartsleverantör som komplement, och enbart tredjepartsleverantör. En översikt kan ses i Figur 3.



Figur 3. Översikt över affärsmodeller som är vanliga för drift och underhåll av vindkraft.

När serviceavtal skrivs med turbinleverantör innebär det ofta att turbinleverantören har huvudansvar för de underhållsåtgärder som utförs i vindkraftsanläggningen. Detta är vanligt under de första åren i vindkraftsanläggningens livstid, när garantiavtal gentemot tillverkaren täcker in många tänkbara fel.

Efter att detta avtal går ut kan ytterligare serviceavtal med turbinleverantören skrivas, eller andra modeller för drift och underhållsorganisation tillämpas. Turbintillverkaren har vanligtvis egen personal i form av vindkraftstekniker som utför underhållsåtgärderna, samt annan intern personal som sköter produktionsövervakning, planering och ev. tillståndsovervakning. Detta gör att ägaren eller ägarens förvaltare inte har särskilt stort behov av egen personal.

På liknande sätt kan serviceavtal tecknas med andra aktörer än turbintillverkare, vilka här kallas tredjepartsleverantörer (då de inte är vare sig ägare eller tillverkare av den anläggning de sköter). Dessa kan vara enskilda vindkraftstekniker som tidigare arbetat för tillverkare, eller företag som samlar driftskompetens kring vindkraft för att kunna ge kund en fullservice-tjänst utan tillverkarens avtal.

Gemensamt för alla serviceavtal är att de skrivs med sekretess och är specifika för varje kund. Detta gör det svårt att som utomstående få kännedom om detaljer. De flesta större underhållsleverantörer, som turbintillverkare, har dock standardavtal att utgå ifrån. Vestas standardavtal heter AOM (Active Output Management®), och spänner från 1000–5000 i fem respektive nivåer med olika grader av service. Olika servicetjänster är sedan inkluderade till fast pris, som tillval till fast pris, eller som händelsebaserade enligt offert. Alla typer av tjänster är inte möjliga att köpa till i alla typerna av avtal, då vissa valmöjligheter bara erbjuds i de mer omfattande serviceavtalen.

Det finns även ägare och operatörer som har en intern drift och underhållsorganisation, där skötsel av anläggningen sker helt eller delvis med egen personal. Vilka delar man kan ombesörja själv beror på personalresurser, ekonomiska tillgångar och de specifika vindkraftsmodeller man har i sin flotta. Det är vanligt att man kan sköta t.ex. tillsyn och enklare reparationer med egen personal, medan inhyrd kompetens anlitas för större moment. Samma sak gäller kring produktions- och tillståndsovervakning, där en intern organisation kan hålla koll på den dagliga driften med larm, etc. medan djupare analyser ofta kräver mer omfattande data från tillverkare och expertkunskaper.

4.3 Trender och marknadsutveckling

Detta projekt har uppfattat en trend där stora, ekonomiskt starka ägare som investerar i vindkraft oftare tecknar långtgående serviceavtal som ger trygghet gentemot turbintillverkaren, medan mindre ägare som regionala energibolag eller ekonomiska föreningar kan vara mer intresserade av att istället optimera driftskostnaderna och anlita andra typer av underhållsleverantörer. Turbintillverkare anlitar i sin tur andra typer av underhållsleverantörer för särskilda uppdrag eller när deras egen personal inte räcker till för att täcka upp behovet.

Operatörer med intern driftsorganisation har börjat bli vanligare, främst bland energibolag som vill ha större kontroll över sina anläggningar och möjligheter att utveckla sin verksamhet. Det finns även energibolag som säljer underhållstjänster till andra ägare, t.ex. närliggande kooperativt ägd vindkraft. Mindre ägare med äldre anläggningar anlitar oftare enbart tredjepartsleverantörer för att optimera driftskostnaderna senare i livstiden. Det är även vanligt med kombinationer av de olika affärsmodellerna, eftersom det inte är ovanligt att en och samma ägare sköter olika vindkraftsanläggningar på olika sätt.

4.4 Möjlighet till klusterbildning och affärsmöjligheter för drift och underhåll regionalt

Mot bakgrund av den accelererande utbyggnaden av vindkraft och tendensen att större och större enheter byggs i framförallt i elområde 1 och 2 borde ett kluster¹⁴ av regionala företag leda till fler affärsmöjligheter. När en större vindkraftspark byggs brukar runt 150 företag vara inblandade. När Skogbergets vindkraftspark i Markbygden (36 vindkraftverk) uppfördes var 92 av de inblandade företagen från regionen. Dessa kom från vitt skilda branscher, vilket syns i Tabell 6.

Tabell 6. Förteckning över branscher där aktiva företag fanns under byggnationen av Skogbergets vindkraftspark.

Advokatbyråer	Kläder, Butikshandel	Site tjänster
Anläggningsarbeten	Kommunikationsutrustning, tillverkning	Skogsskötsel
Biluthyrning	Konsultverksamhet avseende företags org.	Sociala insatser
Bränsle, Mineraler & Industrikem. Partihandel	Kontorsförbbrukningsvaror, Partihandel	Stugbyverksamhet
Byggmaterialtillverkning	Kost och Logi	Sågning, Hyvling & Impregnering
Byggsverksamhet	Källsorterat material	Säkerhetsverksamhet
Catering	Lastbilar, Bussar & Specialfordon, Handel	Teknisk konsult inom Bygg- & Anläggningsteknik
Cementtillverkning	Linjebussverksamhet	Teknisk konsult inom Elteknik
Drivning	Livsmedelshandel	Teknisk konsult inom Energi-, Miljö- & VVS-teknik
Elektronikindustri	Lufttransport, Godstrafik	Teknisk konsultverksamhet, övrig
Elgenerering	Maskiner, reparation	Teknisk Provning & Analys
El-VVS & Bygginstallationer	Metallindustri	Telekommunikation, Trådbunden
Elöverföring	Mineralutvinning, övrig	Transport stödtjänster, övriga
Fabriksblandad Betongtillverkning	Motorfordon, reparation & underhåll	Turist- & Bokningsservice
Film, Video & TV	Museiverksamhet	Uthyrning & Förvaltning av Fastigheter
Gruv-, Bygg- & Anläggningsmaskiner, Partihandel	Personalutbildning	Uthyrning & Leasing av Bygg- & Anläggningsmaskiner
Hamngodshantering	Projekteringstjänster	Uthyrning av Bygg- & Anläggningsmaskiner med förare
Hotell & Restaurang	Reklam, PR, Mediebyrå & Annonsförsälj	VVS-varor, Partihandel
Icke Spec. Handel Med Livsmedel, Partihandel	Religiösa Samfund	Vägtransport, Godstrafik
Inspektion, Kontroll & Tillståndsgivning	Rengöring & Lokalvård	Öppen Hälso- & Sjukvård
Jord- & Skogsbruk, administration av program	Renskötsel	
Juridik, Ekonomi, Vetenskap & Teknik, övrig	Restaurangverksamhet	

Många av dessa företag skulle också kunna vara engagerade under drift och underhållsperioden. Det innebär att kunskaper och kontakter som erhålls under byggnationen ger värdefull erfarenhet och därigenom ett förmodat lättare insteg för ytterligare affärer. Exempel på branscher och kompetenser där aktiva företag behövs under en vindparks driftsfas presenteras i Tabell 7.

Tabell 7. Exempel på kompetenser som behövs för drift och underhåll.

Advokater	Lager	Säkerhet och bevakning
AI-lösningar för driftsövervakning	Logistik	Teknisk och kommersiell förvaltning
Besiktningstjänster	Lokalvård	Tillverkning av standardkomponenter
Bladreparationer	Mark & anläggning	Transporttjänster
Boendeservice för inresta specialister	Miljökonsulter	Underhållsplanerare
Catering	Projekteringstjänster	Utbildning
Cementkontroll fundament	Reparation av fordon	Uthyrning fordon och redskap
Data och teletjänster	Reparationer komponenter	Utveckling övervakningssystem
Elektriker	Rope access	Vindkrafttekniker
Elingengörare	Skogstjänster	VVS-tjänster
HSE-tjänster	Smeder	Återvinning
Kran och lyfttjänster	Svetsning	Översättning

¹⁴ Begreppet kluster avser här ett nätverk mellan företag som bildas för att erbjuda marknaden en specifik tjänst eller produkt, på sätt som maximerar nyttan eller värdet för kund på en nivå som de enskilda företagen inte kan uppnå. Klustret kan vara geografiskt avgränsat, som kring en vindpark, men kan också vara en gemensam plattform för företag i samma bransch som tillsammans kan ta större marknadsandelar t.ex. nationellt sett. Genom samarbete och konkurrens kan företagen i ett kluster få kostnadsbesparingar, inköpsamverkan och gemensam profilering vilket kan skapa möjligheter att ge sin in på nya marknader.

Diskussioner har förts med ett flertal företag på olika orter som varit inblandade i byggnation och drift av vindkraftsparker. Problemet är att de inte ser sig som ett företag engagerad i vindkraftsbranschen utan identifierar sig med den bransch som det egna företagets verksamhetsbeskrivning anger. På orter med lokala projekt med finansiering från Nätverket för Vindbruk kan man skönja ett växande intresse för klusterbildning för ökad regional konkurrenskraft. Med det planeringsverktyg¹⁵ som Vindkraftcentrum tagit fram kan aktörerna inse möjligheterna och agera för klusterbildning inriktat mot vindkraft med stöd av de olika aktörerna inom de aktiviteter som genomförs.

Bredden av kompetenser som behövs under driftstiden i en vindpark ger särskilt intressanta möjligheter för klusterbildning, särskilt i glesbygdsområden där samverkan mellan små företag kan ge större chans att man lyckas ombesörja kundbehoven lokalt. Några exempel på möjliga klusterbildningar kring drift och underhåll av vindkraft:

- Mark och anläggning: Vägunderhåll och snöröjning m.m.
- Servicetjänster för inresta företag: Boende, lokalvård, restaurang, catering, fritidsaktiviteter m.m.
- Tredjepartsunderhåll: Vindkrafttekniker, elektriker, byggtjänster, VVS-tjänster.
- Bladbesiktningar och reparationer.
- Reservdelar och logistik.
- Tekniska konsulter.

4.4.1 Bladbesiktning och reparationer: ett exempel på möjlig marknad

Enligt Svensk Vindkrafts tidigare bedömningar kommer det att finnas 6 500 vindkraftverk i drift i Sverige år 2040. Under övergångsperioden dessförinnan kommer det att finnas betydligt fler vindkraftverk i drift, innan hela processen med repowering och nedmontering med ersättning till nya större vindkraftverk är genomförd. I detta exempel finns 8 000 vindkraftverk med blad som behöver besiktigas och repareras. Detta innebär att det kommer finnas 24 000 blad inom vindelsproduktionen i Sverige.

Nedan visas ett teoretiskt exempel på hur man kan göra en marknadsbedömning kring detta.

- Årliga kamerainspektioner: 3 arbetstimmar per blad inklusive granskning av filmerna. Detta innebär 72 000 arbetstimmar per år, à 650 kr/timme, vilket ger en intäkt på knappt 47 Mkr. Material och resor tillkommer.
- Manuell besiktning, inklusive enklare reparationer, vart tredje år. 2 arbetsdagar för tre blad (ett vindkraftverk) med en timkostnad på 650 kr innebär intäkter på ca 27 Mkr. Material och resor tillkommer. Uppskattningsvis finns då en marknad med totalt värde på knappt 75 Mkr enbart för bladbesiktningar.
- Större reparationer och utbyte av blad tillkommer. Det är svårbedömt hur stor den marknaden kommer att bli, men med tanke på att reparationsbehovet är stort i nordiskt klimat är intäktsmöjligheterna mångdubbelt större än för besiktningarna. Här uppstår också andra affärsmöjligheter med logistiklösningar, smarta reparationslösningar för att slippa lyfta ned bladen, nya material eller tekniker för att bättre motstå skaderisken, m.m.

Här skulle ett kluster av företag kunna bildas för att erbjuda totallösningar.

¹⁵ Vindkraftcentrums planeringsverktyg beskrivs närmre i avsnittet om repowering i denna rapport.

5 Andelen vindkraft i kallt klimat och skogslandskap

Behov av service och underhåll varierar mellan olika vindkraftverk och vindparker. Detta beror delvis på slumpartade omständigheter men även på faktorer som i någon mån kan förutses, som vindkraftverkens ålder och den miljö som de är placerade i. Det klimat och väder som råder i miljön påverkar slitaget på vindkraftverken och påverkar även risken för att elproduktionen behöver stoppas tidvis. Väder och vindförhållanden kan även rent praktiska påverka förutsättningar för underhållsåtgärder, t.ex. kan stora snömängder begränsa tillgängligheten till platsen där vindkraftverken står och kyla begränsa tiden det går att arbeta utan handskar. Placering av vindkraftverk i områden där delar av året kantas av snö och is medför därför särskilda utmaningar i planering och drift, som påverkar elproduktionen negativt om de inte i någon mån förutses.

IEA Wind TCP¹⁶ rapporterar att stora vindprojekt i kallt klimat har blivit vanligare under senare år. Dels finns ofta goda vindförhållanden i sådana landskap, dels är de även överlag glest befolkade så att konkurrensen kring markanvändning är mindre. Förbättrad teknik, kunskap och ökande erfarenhet kring vindkraft i kallt klimat har också kunnat göra sådana projekt mer konkurrenskraftiga jämfört med landbaserade parker i sämre vindförhållanden eller havsbaserad vindkraft som har högre kostnader. IEA Wind definierar kallt klimat som väderförhållanden som innebär att standardvindkraftverk¹⁷ utsätts för lägre temperaturer och mer isbildning än de designats för.

Nedisning är en viktig försvårande faktor när vindkraft byggs i kallt klimat eftersom is kan orsaka produktionsbortfall om vindkraftverken blir stillastående under vissa tider på året. För att motverka detta kan olika typer av system för avisning installeras på och i vindkraftverket, men det är inte standard. Avisningsutrustning finns inte heller som krav för tillståndsgivning, trots att nedisning påverkar bullerrisker såväl som personsäkerhet vid iskast. I och med att avisningssystem är extrafunktioner som standardvindkraftverk måste förses med innebär det dessutom extra kostnader, vilket gör att många projekt i kallt klimat valt att inte installera det och istället tar risken för förlorad produktion.

I ett projekt om vindkraft i kallt klimat inom Elforsk¹⁸ fann man att installation av avisningssystem kunde motiveras ytterligare av att sådana system utöver en säkrare elproduktion även ökar personsäkerhet och minskar bullerrisk i närheten av vindkraftverk i vinterklimat. System för avisning förbättrar förutsättningarna när servicetekniker behöver arbeta i vindparken under den kalla tiden på året, då de kan minska iskast, men kan även gynna relationerna till närboende eftersom det ökade buller som isiga blad orsakar kan minimeras. När studien gjordes (2004) var Enercon den enda turbintillverkaren som marknadsförde ett avisningssystem och inga system för avisning under drift fanns på marknaden. Här finns en tydlig teknikutveckling mot anpassning till kallt klimat, eftersom de flesta tillverkare nu har avisning som tillval. Det är även troligt att effekten och ekonomin i nutida turbiner ytterligare kan motivera installation av avisningsutrustning i fler vindparker.

I detta projekt betraktas även placering i skogslandskap som ett mer krävande klimat, eftersom det i samtal med flera operatörer framkommit att det kan finnas en högre skadefrekvens när vindkraftverk är placerade bland omkringliggande träd. Till exempel kan grenar blåsa in i vindkraftverken, särskilt i samband med storm, och skada ytskikten. Detta drabbar antagligen i så fall främst vindkraftverkets

¹⁶ IEA Wind Technology Collaboration Programme (2017).

¹⁷ Enligt standarden IEC 61400-1 ed3.

¹⁸ Ronsten (2004).

blad och orsakar ökat slitage, sprickor eller defekter i det laminat som täcker bladen. I kombination med kallt klimat och tidvis isbeläggning kan sedan ytterligare skador uppstå om is tränger in i laminatet och spränger sönder det.

Det finns ett samband mellan kallt klimat och skogslandskap i svenska förhållanden, eftersom landområden som passar in i definitionerna för kallt klimat ofta präglas av skogslandskap. Sådana områden täcker stora delar av Sverige. Geografiskt sett motsvarar definitionen för kallt klimat hela elområde 1 och 2 samt delar av elområde 3. Dessa områden representerar även en stor andel av elproduktionen från svensk vindkraft och platser där vindkraft planeras, vilket på sikt påverkar behov och efterfrågan på tjänster under driftsfasen eftersom vindkraftverk i hårdare miljöer behöver mer underhåll. Placering i kallt klimat och skogslandskap innebär t.ex. ett allmänt högre slitage, ökad frekvens av bladreparationer och att avisningsutrustning blir viktigare för att hålla igång produktionen över en större del av året.

För att få bättre överblick över situationen visar detta avsnitt en uppskattning av andelen svensk vindkraft i kallt klimat och skog. Beräkningarna visar på både nu stående flotta och framtida scenarion.

5.1 Nuvarande andel

5.1.1 Andel per län

För att visa den nuvarande andelen vindkraft i kallt klimat har data från både Energimyndighetens lista över anläggningar godkända för elcertifikat och data från Vindbrukskollens databas använts. Båda dessa register täcker in Sveriges nuvarande flotta av redan uppförda vindkraftverk och är fördelade per län. Utöver de län som ingår i elområde 1 och 2 har länen Dalarna, Gävleborg och Värmland bedömts passa inom definitionerna för kallt klimat och skogslandskap.

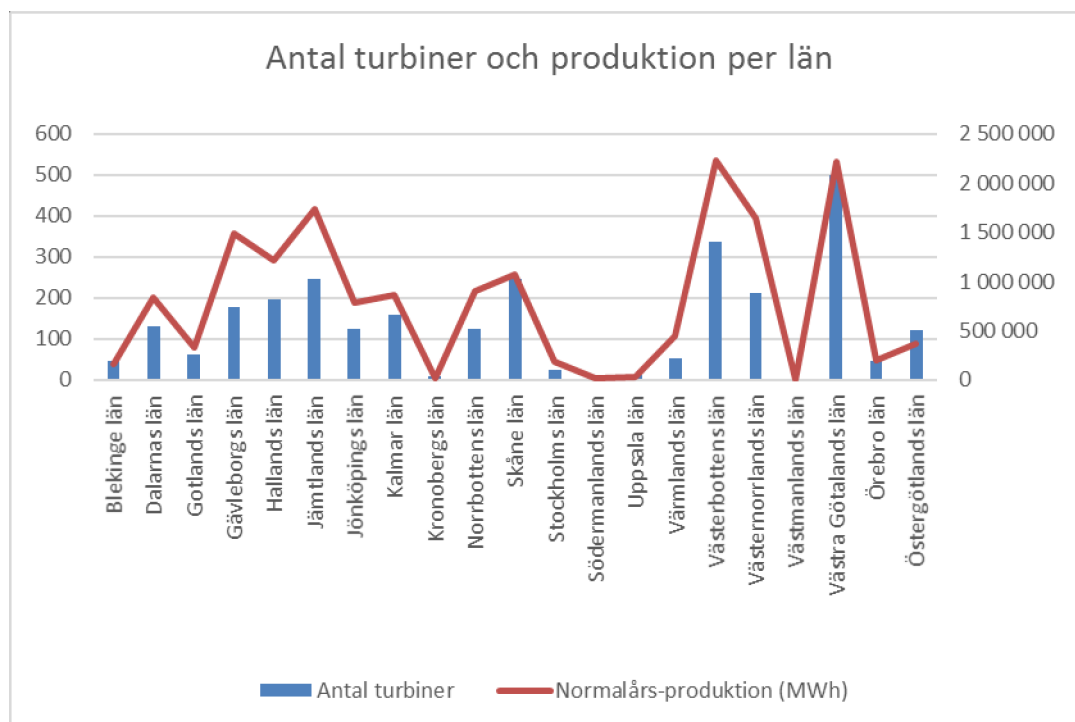
Tabell 8. Nuvarande antal turbiner och produktionskapacitet per län, samt andel vindkraft i kallt klimat och skogslandskap, baserat på Energimyndighetens listade elcertifikat och Vindbrukskollens databas¹⁹

Län	Antal vindkraftverk		Kapacitet	
	Anläggningar godkända för elcertifikat	Befintliga anläggningar registrerade i Vindbrukskollens databas	Normalårsproduktion (MWh) baserat på elcertifikat	Produktion (GWh) baserat på Vindbrukskollens databas
Dalarna	130	127	834 647	728
Gävleborg	178	243	1 489 259	1 613
Jämtland	246	309	1 733 998	1 848
Norrbottnen	126	127	904 992	739
Värmland	53	57	444 904	411
Västerbotten	337	345	2 229 241	2 114
Västernorrland	211	269	1 636 974	1 822
Totalt i utvalda län	1 281	1 477	9 274 015	9 274
Totalt i landet	2 836	3 418	16 714 136	16 349
Andel i kallt klimat	45 %	43 %	55 %	57 %

¹⁹ Skillnaden i antal vindkraftverk mellan elcertifikaten och Vindbrukskollen beror på att registret från Vindbrukskollens databas även inkluderar äldre vindkraftverk som inte har godkänts för elcertifikat.

När dessa två register ställs mot varandra, se Tabell 8, pekar de mot samma sak. Den nuvarande andelen vindkraftverk i kallt klimat är strax under hälften av den totala mängden anläggningar, medan produktionen i kallt klimat motsvarar mer än hälften av den totala vindelsproduktionen i Sverige.

Figur 4 visar en uppställning av antalet anläggningar och produktionsmängden per län över hela riket. Det är tydligt att de nordliga länen har förhållandevis hög produktion i förhållande till antalet installerade vindkraftverk. Värt att notera är att Västerbotten och Västra Götalands län toppar produktionen och ligger båda på en nivå runt 2,2 TWh. Dock uppnår Västerbotten denna nivå med 163 färre vindkraftverk.

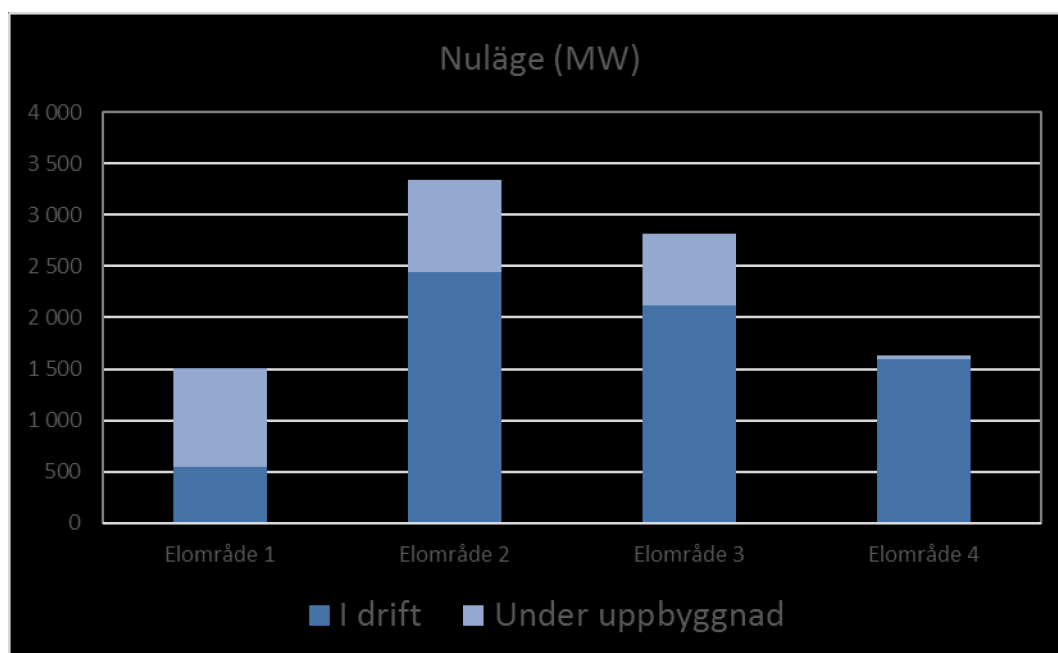


Figur 4. Antal turbiner och respektive produktion per län, baserat på anläggningar godkända för elcertifikat. Vänster Y-axel visar antalet turbiner, höger y-axel MWh. (Energimyndigheten).

5.1.2 Andel per elområde

För att titta närmare på andelen produktion från vindkraft i kallt klimat i Sverige har ytterligare referensmaterial studerats. Svensk Vindenergi släpper kvartalsvis statistik över marknadsutvecklingen för svensk vindkraft som sammanfattar nuvarande elproduktion, pågående projekt och prognos för kommande utbyggnad och framtida elproduktion. Statistiken är baserad på uppgifter från turbintillverkare och vindkraftutvecklare som är aktiva på svenska marknaden. Eftersom statistiken är uppdelad per elområde, se Figur 5, har vi baserat andelen vindkraft i kallt klimat och skog på data från elområde 1 och 2, samt halva²⁰ elområde 3.

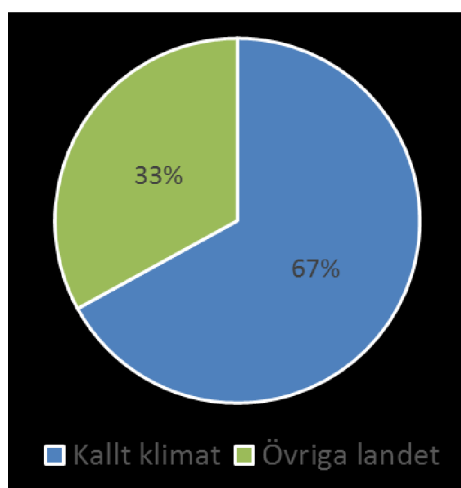
²⁰ Eventuellt representerar större delar av vindkraftsproduktionen i elområde 3 anläggningar i kallt klimat och skog, men mer detaljstudier kring aktuella parker och projekt krävs för att fastställa detta mer exakt.



Figur 5. Nuvarande flotta och projekt som är under uppbyggnad, per elområde, baserat på statistik från Svensk Vindenergi Q1 2018.

I den senaste kvartalsrapporteringen från Svensk Vindenergi²¹ är i så fall andelen nuvarande produktion i kallt klimat och skog 60 %, motsvarande 4 040 MW. Av produktionen återfinns 45 % i elområde 1 och 2, vilket är i linje med andelen baserad på elcertifikat och Vindlovs register. Samtidigt motsvarar de projekt som för nuvarande är under uppbyggnad i kallt klimat och skog 85 % av den totala pågående utbyggnaden av svensk vindkraft.

Lägger man samman produktionen som nu är i drift och den som är under uppbyggnad, vilket motsvarar anläggningar vars produktion vi känner till, så blir andelen i kallt klimat och skog 67 %²², se Figur 6. Denna andel motsvarar en produktion om 6 267 MW.



Figur 6. Procentuell fördelning, vindkraft i kallt klimat och skog i drift och under uppbyggnad, baserat på statistik från Svensk Vindenergi Q1 2018.

²¹ Svensk Vindenergi (2018).

²² Enbart i elområde 1 och 2 finns 52 % av den totala produktionen i drift och under uppbyggnad.

5.2 Framtida scenarion och påverkan på drift och underhållsbranschen

I en marknadsanalys av vindkraft i Sverige 2017²³ görs bedömningen att tillstånd på vindkraftverk med en höjd på 200 meter eller mer, som kan tas i anspråk år 2020 eller senare, har en god chans att byggas. Vidare redovisas att av de 1 287 vindkraftverk som i så fall sannolikt kommer att byggas återfinns totalt 85 %, alltså 1 094 turbiner, i elområde 1 och 2. Produktionsmässigt motsvarar detta ungefär 11 TWh/år i norra Sverige och 2 TWh/år i södra Sverige.

Vidare kan man utläsa i statistiken från Svensk Vindenergi att 74 % av de vindprojekt som nu är tillståndsgivna, men ännu inte befinner sig i byggfas, är förlagda till kallt klimat²⁴.

Sammantaget pekar detta mot att den stora framtida utbyggnaden och kapaciteten för svensk vindkraft har en tydlig förskjutning norrut. Detta gäller för såväl andelen av den totala produktionen som antalet vindkraftverk. En större andel av svensk vindkraftsproduktion kommer alltså att finnas i kallt klimat och skog inom ett decennium. Denna fördelning gör att en stor andel vindkraft som står i färd att byggas högst troligt kommer att behöva mer service och underhåll under sin livstid, då de står i ett hårdare klimat, vilket på sikt kan komma att påverka företagsamhet och tjänstemarknad inom drift och underhåll.

För drift och underhållsbranschen medför förskjutningen praktiska utmaningar i och med de tuffare förhållanden som fler vindkraftverk kommer att vara placerade i, men mer systematiska och strategiska utmaningar kommer också att uppstå. Effektiva lösningar för att hinna med anpassningar till dessa nya förhållanden behövs på marknadsnivå, så att elproduktionen från vindkraft blir så stabil som krävs för att målen om nationellt fossilfri energiproduktion ska kunna uppnås. Situationen kan bli än mer pressad då många parker ska uppföras i glesbygd och utbildningsmöjligheterna för vindkrafttekniker är få.²⁵

På sikt kan ett ökande underhållsbehov gynna lokalt företagande och öka möjligheterna till anställning i vindbranschen i de glesbefolkade trakter där många parker planeras. Detta gäller dels generellt om en större mängd underhållspersonal behövs, dels i avseendet att det kan komma att uppstå ett ökat behov av specialistverksamhet med de kompetenser som efterfrågas i högre utsträckning i kallt klimat. Eftersom blad är en av de delar som slits mest i kallt klimat och skog är det rimligt att räkna med att bladreparationer kommer att bli vanligare och öka i efterfrågan. Placeringar med längre vinter kommer också att innebära att avisningsutrustning blir vanligare och mer nödvändigt. Det kan även skapa större behov av t.ex. fordon som kan ta sig fram i djup snö och som tål iskast.

Värt att notera är att en stor andel av kommande byggnationer kommer att uppföras i stora parker, som kommer att drivas som storskaliga anläggningar med högre förväntan på produktionstillgänglighet och leveranssäkerhet. Detta intryck förstärks ytterligare av storleksordningen på de investeringar som krävs för att vindparker i skalan större än 50 verk ska kunna genomföras. Detta kommer att ställa högre krav på planering och effektivitet för underhållsåtgärder. Det kan även innebära stordriftsfördelar, men bara om fördelarna kan tillvaratas. På sikt kan dessa storskaliga

²³ Västra Götalandsregionen (2018).

²⁴ Motsvarande produktionskapaciteten för tillstånden i elområde 1, 2 och 50 % av kapaciteten i elområde 3.

²⁵ Vindkraftcentrum (2018).

parker öppna upp nya möjligheter för strategisk användning av underhållsstrategier och affärsmodeller som ännu inte finns, eftersom driften rör sig mot att förvalta kapital lika mycket som att producera el.

I sina rekommendationer för projekt i kallt klimat nämner IEA Wind TCP bl.a. vikten av att undersöka erfarenheter från närliggande projekt, att uppskatta produktionsbortfall p.g.a. nedisning baserat på mätningar från det tilltänkta området och att skapa en strategi för perioder med nedisning, samt att planera för hårda arbetsförhållanden och säkerhetsaspekter redan i projektplaneringen.²⁶

Rekommendationerna poängterar även att den inledande kartläggningen av förhållanden och risker för projekt i kallt klimat behöver vara mer ingående eftersom de har både mer utmanande klimat och högre säkerhetskrav än projekt i standardklimat. I drift och underhållsfasen rekommenderar man att underhållsåtgärder planeras till perioder med mildare temperaturer och helst undviks helt i hårt väder. Detta är viktigt eftersom tillgängligheten till vindparker i kallt klimat kan vara logistiskt begränsad under stora delar av året. Inte bara snö, utan även höga vattenflöden och kringliggande myrmarker kan försvåra framkomsten både i terrängen och på anlagda vägar. Till följd av detta krävs noggrann planering kring olyckor och andra tillbud, eftersom evakuering kan vara svårt att genomföra eller dra ut på tiden. Under drift i kallt klimat är det viktigt att system för tillståndsovervakning används, så att fel kan motverkas och upptäckas tidigt. Utöver standardparametrar bör systemet mäta isbildning, omgivningens temperatur, siktförhållanden och helst även kunna tillhandahålla webbkamerabilder av turbinblad och vindsensorer.

Det är tydligt att kallt klimat påverkar vindkraftverks funktion och produktion på sätt som gör att det behövs anpassningar av projektimplementering, ekonomi och säkerhetsaspekter. Större hänsyn till hur kallt klimat och skogslandskap påverkar elproduktionen behöver tas redan i projekteringsfasen, så att mer platsspecifik information samlas in och omsätts i varje projekt. Här kan framsteg ske bland annat genom noggrannare inledande mätningar av bl.a. risker för nedisning. På sikt vore det även fördelaktigt med utveckling av modeller för vindberäkningar som bättre kan spegla svenska förhållanden och skillnader i turbulens mellan varma och kalla årstider. Det finns en stor potential att förbättra och underlätta för vindelsproduktion i kallt klimat både vad gäller teknikutveckling och effektivitet för underhållsrutiner. På tekniksidan finns redan vissa anpassningsmöjligheter för turbiner av de flesta fabrikat, främst vad gäller utrustning för avisning. Anpassningar i stil med robustare blad i andra material, fler typer av uppvärmningssystem för olika turbinkomponenter och användning av oljor som fungerar bättre i lägre temperaturer kan också bidra till en säkrare produktion under de kallare delarna av året. Fortsatt utveckling av underhållsplaneringen när parker i kallt klimat är i drift är också viktig, då vindkraftverken kan vara otillgängliga under vinterhalvåret och många moment och reparationer är svåra att utföra i kyla. Detta gör det troligt att mer tillämpning av planerat prediktivt underhåll, med en större mängd underhållsåtgärder som kan utföras samtidigt, blir mer effektivt både vad gäller arbetsplatssäkerhet och ekonomi i vindparker i kallt klimat.

²⁶ IEA Wind Technology Collaboration Programme (2017).

6 Forskningsöversikt

För att sammanfatta den forskning som finns kring drift och underhåll av vindkraft har ett stort antal rapporter och vetenskapliga artiklar undersökts. Detta avsnitt omfattar ett urval om 22 referenser som samlats in under projektets litteraturstudie, presenterade i form av en översikt av framstående forskningsområden samt en diskussion kring utmaningar, efterfrågan och möjligheter för framtida utveckling. Ytterligare referenser som hittades under litteraturstudien har använts i andra avsnitt.

6.1 Svensk forskning kring drift och underhåll av vindkraft

Svensk vindkraftsforskning är fördelad mellan olika myndigheter, universitet och projekt. Detta ger en stor bredd av forskningsfrågor, som är mer eller mindre aktuella i drift och underhållsavseende. Detta projekt har identifierat ett antal pågående svenska forskningsansatser som knyter an till drift och underhållsfrågor, vilka redovisas i Tabell 9. Utöver den drift och underhållsforskning som är direkt kopplad till vindkraft finns ett flertal ansatser kring mer allmänna underhållsfrågor, samt underhåll inom olika slags industrier, initierade av bl.a. UTEK och SKF.

Energimyndigheten har stor del i svensk vindkraftsforskning, särskilt för frågor kring drift och underhåll. De har genom åren varit anslutna till flera olika forskningsprogram och ett antal projekt som ingått i dessa forskningsprogram har lett vidare till bolagsbildning och företag som nu är aktiva på marknaden. Ett exempel som knyter an till drift och underhållsbranschen är Greenbyte²⁷, som utvecklar programvara som gör driftsdata från vindkraftverk och solkraft mer lättillgänglig för analys och ökar användbarheten för sådan data för operatörer.

Tabell 9. Sammanfattning av pågående forskningsansatser som knyter an till drift och underhållsfrågor.

Namn	Delaktiga parter	Exempel på ämnesområden
Vindforsk III + IV	Energiforsk, Energimyndigheten, ett flertal universitet och högskolor, samt företag i branschen	• Bayesianska metoder för underhåll. • LoadMonitor - Mätning och modellering av vibrationer och laster på vindkraftverk. • ProdOptimize - Produktionsanalys och optimering av operationella vindkraftsparker.
VindEL (start 2017, fortsättning på Vindforsk + Vindval)	Energimyndigheten, ett flertal universitet och högskolor, samt företag i branschen	• Ljudoptimering runt vindkraftsparker. • Detektera och motverka lagerström för längre livslängd av huvudaxellager. • Inverkan av gläntor i skog: CFD-beräkningar och LIDAR-mätningar.
Swedish Wind Power Technology Centre (SWPTC)	Chalmers tekniska högskola, Energimyndigheten	• Last- och riskbaserad underhållsstyrning för vindkraftverk. • Karakterisering och modellering av lagerströmsaktivitet. • Optimalt underhåll av vindkraftverk.
WindAM	Chalmers tekniska högskola, Vindforsk, Göteborg Energi.	• Reliability Centred Maintenance (RCM): driftsäkerhetsfokuserat underhåll.
STandUP for Wind	STandUP for Energy, Kungliga Tekniska högskolan, Uppsala universitet, Luleå Tekniska universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet	• Implementation of Dynamic Line Rating in a Sub-Transmission System for Wind Power Integration. • Dynamic rating for connection of wind farms.

²⁷ Energimyndigheten (2017).

Bredden inom den svenska forskningen syns tydligt om man undersöker de projekt som knyter an till drift och underhåll under den senaste projektperioden inom Vindforsk (2013–2018):²⁸

- Kontinuerligt autonomt system för avisning av blad på vindkraftverk
- Avisning av turbinblad med helikopter - Heli Deice
- Produktionsanalys och optimering av operationella vindkraftsparker - ProdOptimize
- Effekt av underhåll på dagens och framtidens växellådor
- Bayesianska metoder för förebyggande underhåll
- Produktionsminskning över tid

Dessa ämnen anknyter både till tekniska aspekter av drift och underhåll, och till mer strategiska frågor kring användning av driftsdata, underhållsplanering och påverkan av olika driftsbeslut på vindkraftsproduktionen. Mångfalden visar hur komplexa drift och underhållsfrågor är, samt visar några av de utvecklingsområden som är viktiga för den svenska vindkraftssektorn.

6.2 Översiktlig analys

Litteraturstudien har visat hur forskning kring drift och underhåll av vindkraftverk utförs av olika intressentgrupper både i och utanför industrin, såsom universitet, turbintillverkare, och myndigheter. Detta skapar många olika infallsvinklar och frågeställningar för bedriven forskning, vilket i sin tur medför vissa svårigheter kring att lätt urskilja vilka frågor som är kritiska. Den utveckling som behöver ske mot effektivare underhållsåtgärder kopplar till hur olika komponenter kan göras mer hållbara, men även till hur underhållsstrategier och data kan användas mer fördelaktigt. Mycket forskning sker på alla dessa fronter genom t.ex. tekniska analyser som studerar vindkraftverkens och olika komponenters funktion, ekonomiska studier av utvecklingen på drift och underhållsmarknaden, och i forskning knuten till olika typer av övervakningssystem kopplat till behov av datainsamling såväl som vidare utveckling av sådana system. Ett annat ämnesområde som är viktigt i drift och underhållsavseende är livscykelperspektiv, som studerar vindkraftens behov och inverkan över hela den tekniska livslängden, från byggnation till nedmontering.

Bland de referensskällor som detta projekt har haft tillgång till verkar antalet artiklar och rapporter som behandlar drift och underhållsfrågor för vindkraft ha ökat internationellt sett under de senaste tio åren. Detta stämmer väl in med det ökade underhållsbehov som många studier beskriver. Det ökade behovet hänger troligen delvis samman med att fler vindkraftverk byggts och åldrats under denna tid, men även med att allt fler vindkraftsparker planeras storskaligt. Eftersom storskaliga parker har högre investeringskostnader uppstår högre krav på produktionsnivåer, teknisk tillförlitlighet och underhållsplanering. Detta visar på ett ökande behov av väl fungerande underhåll även i Sverige, kopplat till de nuvarande storskaliga utbyggnadsplaner av vindkraften som finns.

Ett viktigt förhållande som ofta framkommer är att vindkraft jämfört med andra energislag har låga underhållskostnader, samtidigt som drift och underhåll har stor inverkan på de totala produktionskostnaderna - eftersom även produktionen i sig har låga kostnader. Att optimera underhållet kan då skapa tydliga vinster såväl ekonomiskt som tekniskt. Detta är än mer viktigt i svenska förhållanden eftersom många vindkraftsanläggningar är otillgängligt placerade, vilket har en direkt påverkan på bl.a. transportkostnader och arbetsmiljökrav.

²⁸ Vindforsk (2018).

Många drift och underhållsfrågor som uppstått i vindkraftsbranschen är gemensamma med andra typer av stora industriella anläggningar, men det finns också särskilda behov och problem som är kopplade till specifikt vindkraft. Slitage och underhållsbehov av komponenter i vindkraftverk kan vara svårbedömt, eftersom belastningen under produktion i sig är ojäm och oförutsägbar i och med de egenskaper vinden har som kraftkälla. I flera av de studier som ingått i litteraturstudien framkommer att växellådor är kritiska komponenter, både vad gäller antalet fel och andelen orsakad stopptid. Vidare medför reparationer och byten av växellådor stora direkta kostnader eftersom de ofta behöver lyftas ner ur tornen, vilket kräver stora lyftkranar som medför höga hyres- och transportkostnader. Även reparationer på vindkraftverkens blad kräver särskilda kompetenser, dels för att bladen är tillverkade av kompositmaterial som kräver särskild materialkunskap vid lagningar, dels för att bladreparationer är höghöjdsmoment som ibland utförs bäst hängande från rep på vindkraftstornets utsida.²⁹ En annan faktor som skapar särskilda behov i planering och utförande av underhåll är vindkraftsparkers placering, vilken ofta är avses från annan bebyggelse och kommunikationer. Detta ger en lägre tillgänglighet till produktionsanläggningen och skapar merkostnader för transporter, personal, säkerhet, etc.

I fråga om teknikutveckling beskrivs vindkraft allt oftare som en mogen teknik, som svänger från ständigt ökande utbyggnad till optimering av bl.a. drift och underhåll. I förhållande till andra former av storskalig energiproduktion, som vattenkraft och kärnkraft, är dock vindkraft en förhållandevis ung industri. Den direkta konkurrensen med äldre tekniker innebär att vindkraften förväntas ha samma grader av produktionssäkerhet och tillgänglighet som dessa, men detta har visat sig vara svårt att uppnå. Delvis kan detta hänga ihop med den fortsatt snabba utvecklingen av system och komponenter i de ständigt större vindkraftverken, men det kan även kopplas till underutvecklad underhållsplanering, konkurrensen mellan olika vindkraftsägare och brister i samordningen mellan de olika slags aktörer som är viktiga i driftsfasen.

6.3 Analyser av den svenska marknaden för drift och underhåll

Det finns studier som pekar på att den svenska marknaden för drift och underhåll behöver förstärkas för att möta såväl nuvarande som kommande behov av service. Marknaden för fristående serviceföretag beskrivs ofta som underutvecklad och omogen, även om alternativ till turbintillverkarnas serviceavtal börjar dyka upp alltmer frekvent.

Behovet av en mer utvecklad marknad för drift och underhåll beskrivs i en studie från Jönköpings universitet³⁰, som även påvisar att bristerna hos denna marknad i förlängning påverkar servicekvalitet och driftsäkerhet för svensk vindkraft negativt. Studien innehåller en marknadsbeskrivning, baserad på intervjuer och en enkätundersökning med vindkraftsoperatörer, som visar på bristande konkurrens då turbintillverkare dominerar som leverantörer av underhållstjänster. Slutsatserna som dras utifrån detta belyser även hur en högre andel äldre vindkraftverk ökar marknadsmöjligheter för fristående serviceföretag och att dessa tredjepartsbolag är extra viktiga för små operatörer som är i behov av minskade kostnader.

²⁹ Marsh (2011).

³⁰ Duncker, o.a. (2010).

En studie utförd av Halmstad universitet³¹ har undersökt kundvärden i affärer mellan vindkraftsoperatörer och företag som säljer underhållstjänster. Kärnvärdet beskrivs som högsta möjliga energiproduktion, men andra kundvärden skiljer sig åt mellan de olika typer av operatörer som intervjuats. De intervjuade operatörerna skiljer sig åt i fråga om resurser som storlek på vindkraftsflotta och kompetens, men även aktivitetsmässigt varierar deras inblandning och målsättning för drift och underhåll. Till exempel skiljer sig graden av övervakning av vindkraftverken som sker internt hos operatörerna. För att drift och underhållsföretag ska kunna öka de upplevda kundvärdena efterfrågar studien större flexibilitet kring serviceavtal, mer långsiktighet i skapade kundrelationer och mer samarbete med operatörerna i servicebolagens affärsmodeller. Studien påtalar även att service i ännu större grad behöver betraktas som en värdeskapande aktivitet istället för en kostnad, samt att tredjepartsbolag inom drift och underhåll får allt större marknadsandelar. Detta förklaras av att turbintillverkare fortfarande har fokus på försäljning av nya produkter och inte fullt ut kan möta efterfrågan på service, särskilt av äldre vindkraftverk. Tredjepartsbolagens utveckling bromsas dock av att turbintillverkarna begränsar tillgången till information och reservdelar till nyare turbiner, vilket även låser kunder till deras serviceavtal.

Sammanfattningsvis kan sägas att svensk vindkraft fortfarande är i en tillväxtfas, och många av de utmaningar som branschen upplevt kring minskande tillgänglighet och bristande underhåll under de senaste åren är typiskt för denna fas³². Även internationellt sett har behov och krav på underhåll av vindkraftverk ökat under de senaste tio åren. En förklaring till detta är att installationsakten avtog under finanskrisen 2007–2008, och att service därefter har blivit en större del av lönsamheten för turbintillverkare³³. Detta innebär ett skifte bland turbintillverkare från tillverkning till mer fokuserad serviceverksamhet. Det framstår som att en svaghet i den nuvarande drift och underhållsmarknaden är behovet av tydligare segmentering, eftersom olika typer av vindkraftsägare och operatörer har olika behov av underhållstjänster. Ägare som energibolag, projektorganisationer och investerare har olika förutsättningar och intressen i hur drift och underhåll sköts, vilket företag som erbjuder sådana tjänster behöver bli bättre på att anpassa sig till. Det kan röra sig om att tillhandahålla ett bredare utbud av möjliga standardiserade lösningar eller mer skräddarsydda lösningar för specifika ägare. Detta är något som på sikt kan skapa en mer kundstyrd efterfrågan på de olika typer av tjänster som olika operatörer har behov av och öppna upp marknaden för flera typer av serviceaktörer.

6.4 Underhållskostnader

Ett i branschen välkänt samband är att investeringskostnaden per kW minskar när vindkraftens produktionskapacitet ökar, till följd av effektivare produktion. Det finns anledning att tro att samma samband gäller för drift och underhållskostnader, vilket i så fall tyder på att driftkostnaderna för svensk vindkraft kommer att kunna minska i och med att mycket av den vindkraftsutbyggnad som nu planeras och genomförs består av storskaliga vindparker. I storskaliga parker finns goda förutsättningar för att göra besparingar baserat på möjligheterna för effektivare underhållsplanering och samordning av moment.

I sin rapport om fördelar, risker och ekonomiska kostnader för vindkraftsproduktion beskriver European Wind Energy Association³⁴ drift och underhållskostnader som en betydande andel av

³¹ Göthberg & Simonchik (2014).

³² Ibid.

³³ Igba, o.a. (2013).

³⁴ The European Wind Energy Association (2009).

årskostnaderna i en vindkraftspark, även om de jämfört med andra energislag är låga. De driftskostnader som är medräknade i rapporten är följande:

- Försäkringar
- Regelbundet underhåll
- Reparationer
- Reservdelar
- Administration

Rapporten belyser att vissa av dessa kostnader kan uppskattas relativt enkelt, eftersom standardkontrakt för försäkringar och regelbundet underhåll kan skrivas för att täcka in en stor del av vindkraftverkens livslängd. Administrationskostnader är också vanligtvis stabila. Däremot är kostnader för reparationer och reservdelar svåra att förutse, även om de vanligtvis ökar med vindkraftverkens stigande ålder. Uppskattningar kring underhållskostnader är överlag fortfarande osäkra, särskilt för äldre vindkraftverk som närmar sig slutet på sin livstid. Den uppskattade underhållskostnaden som presenteras i rapporten är 1,2–1,5 eurocent/kWh vindel, fördelat över vindkraftverkets hela livstid. Rapporten lyfter även fram att det samband som finns mellan ökande produktionskapacitet och minskade investeringskostnader kan gälla även för drift och underhållskostnader, samt att nuvarande förhållanden kan förändras över tid om de vindkraftverksmodeller som nu installeras har mindre behov av underhåll under sin livstid än de som finns i nuvarande flotta.

Energimyndigheten har gjort en liknande rapport kring produktionskostnader för vindkraft i Sverige³⁵. Även i denna rapport finns ett avsnitt som berör drift och underhållskostnader, vilka vanligtvis motsvarar 25–30 % av den totala produktionskostnaden. Det beskrivs hur driftskostnaderna för vindkraft globalt sett sjunkit sedan 1980-talet, vilket beror på att konkurrensen på eftermarknaden ökat och att besparingar är möjliga då allt fler parker har stordriftsfördelar. Energimyndigheten bedömer att drift och underhållskostnaderna kommer att fortsätta sjunka i Sverige eftersom flera stora aktörer valt bort turbinleverantörernas avtal till förmån för att själva sköta sina verk, vilket ger större möjligheter att pressa sina kostnader och optimera driften.

I en amerikansk studie³⁶ ges följande förslag för att minska underhållskostnader:

- Utveckling av logistikplaner för reparationsarbeten.
- Identifiering av möjligheter att bygga mer robusta vindkraftverk, med mindre reparationsbehov.
- Bättre utbildning av reparatörer.
- Mer strategiska beslut hos fler operatörer kring vilken roll man eftersträvar i förhållande till sitt underhållsbehov.
- Förbättringar kring underhållsmässighet genom dels bättre uppfångning av underhållspersonalens kunskap, dels utveckling av möjligheter att konstruera mer modulbaserade system i vindkraftverken.
- Användning av övervakningssystem som kan möjliggöra avhjälpande åtgärder istället för reparationer, samt underlättar underhållsplanering.

³⁵ Energimyndigheten (2016a).

³⁶ Walford (2006).

Studien belyser även att kostnader för planerat underhåll överlag kan organiseras, men att utgifterna kan variera beroende på lokala arbetskostnader (t.ex. lönenivåer och arbetsgivaravgifter), tillgängligheten till vindkraftverken och priser på material. Mer konkreta förslag på besparingar ges också, bl.a. att växellådor kan lagas av lokala företag, samt att många elektriska och hydrauliska småkomponenter är standardprodukter som kan köpas från olika återförsäljare. Som ett viktigt forskningsbehov nämns att ta fram en baslinje för drift och underhållskostnader, baserad på verklig drift av varierande vindkraftverk i olika miljöer, som skulle vara till nytta för både operatörer och projektörer. Detta skulle bl.a. möjliggöra jämförelser och bättre uppskattningar av livscykelkostnader.

6.5 Funktionssäkerhetsinriktat underhåll (RCM)

Drift och underhåll av vindkraft kan ske med olika grader av planering, förutseende och tankesätt. I huvudsak kan underhållsrutiner delas in i tre kategorier:

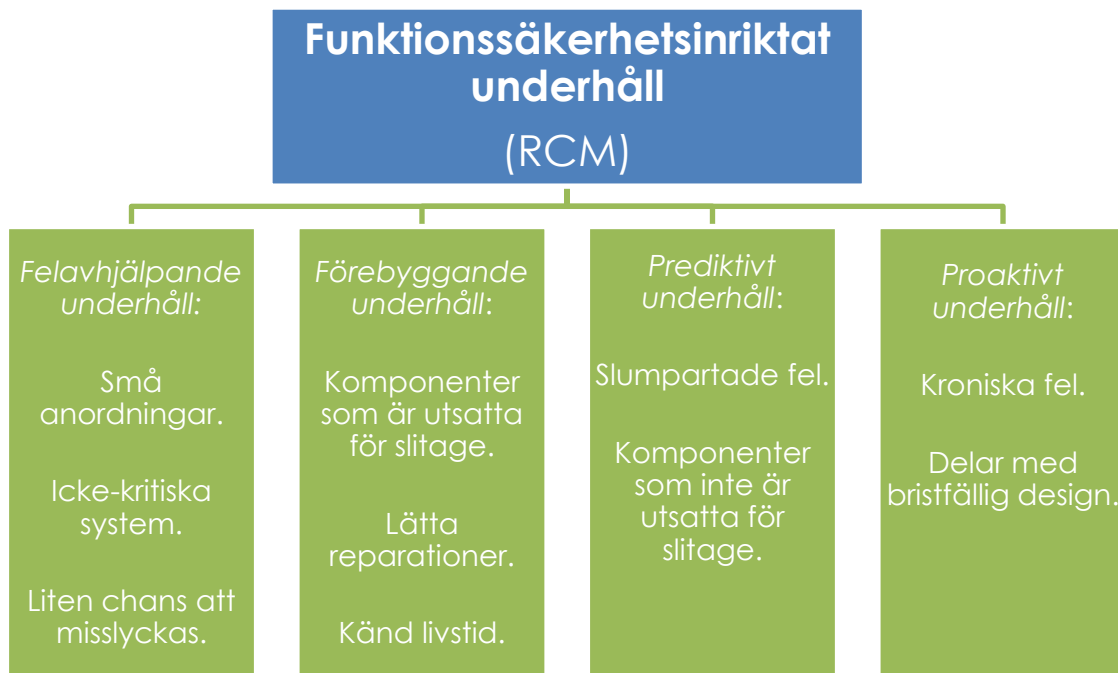
- Planerat underhåll, som sker schemalagt, med vissa tidsintervall.
- Avhjälpande underhåll, som är ren felavhjälpning och reparationer.
- Tillståndsbaserat underhåll, som baseras på uppmätta faktorer som tyder på slitage eller andra fel i systemet.

Både planerat och förutseende underhåll utförs förebyggande, medan avhjälpande underhåll utförs enbart när komponenter går sönder. Planerat underhåll syftar till att hålla en kontinuerlig hög säkerhetsnivå för bibehållen produktion, men kan medföra att man utför åtgärder som egentligen är onödiga, t.ex. byten av fortfarande fungerande komponenter. Avhjälpande underhåll kan i bästa fall innebära ekonomiska besparingar eftersom inget onödigt underhåll görs, vilket dessvärre medför högre risker för långa driftsstopp. Tillståndsbaserat underhåll innebär att åtgärder bara utförs när de är motiverade baserat på tillståndsmätningar, vilket möjliggör mer långsiktig planering, men kräver att man monterar övervakningssystem vilket ger extra kostnader för både själva övervakningssystemet och hantering av de data det genererar.

I en rapport från Elforsk³⁷ belyses hur stora parker gör effektiva underhållsstrategier mer kritiska och ökar efterfrågan på optimering av olika typer av underhållsåtgärder. Användandet av system för tillståndsovervakning förväntas därav bli viktigare i framtiden, för att kunna minska underhållskostnaderna och planera mer långsiktigt. Vidare gör detta att formerna för underhåll generellt kan börjat styra mot mer tillståndsbaserade åtgärder, så tillgången till data kommer att spela en avgörande roll för förbättring av underhållsmetoder. Historiskt har landbaserad vindkraft generellt varit baserad på felavhjälpning, eftersom operatörer inte haft tillgång till data som låtit dem agera innan reparationer krävts. Som *state of the art* för underhållsrutiner nämner rapporten automatiska, standardiserade system för rapportering av tillgänglighet; underhållsstrategier som bygger på funktionssäkerhetsinriktat underhåll (RCM); kvantitativa modeller som förutser fel på komponenter och inverkan från olika beslut; samt tillståndsovervakning som planeringshjälp.

En metod för förebyggande underhåll som får alltmer uppmärksamhet inom vindkraftsindustrin är funktionssäkerhetsinriktat underhåll (*Reliability Centered Maintenance*), som sedan tidigare används i underhåll av bl.a. kärnkraft.

³⁷ Bertling Tjernberg & Wennerhag (2012).



Figur 7. Principer för funktionssäkerhetsinriktat underhåll. (Baserat på Sainz & Sebastián, 2013).

Målet med funktionssäkerhetsinriktat underhåll är att, baserat på riskanalys, ta fram en kostnadseffektiv underhållsplan som optimerar de förebyggande och avhjälpande underhållsåtgärder som behövs för att hålla produktionen igång. Detta sker med den blandning av planerade, avhjälpande och tillståndsbaserade underhållsåtgärder som blir mest ekonomisk utan att produktionen riskeras. Genom detta förbättrar och optimerar man underhållsåtgärderna så att fel kan förebyggas innan de orsakar produktionsförluster, till sammantaget lägre underhållskostnader. Effektivt använt innebär RCM att olika strategier för underhåll tillåts samverka för att maximera anläggningens och utrustningens tillförlitlighet samtidigt som livscykelkostnaderna minimeras.

En artikel kring funktionssäkerhetsinriktat underhåll för anläggningar med avsides placering³⁸, vilket vindkraftverk ofta är, beskriver principerna för RCM enligt Figur 7. Sammanfattningsvis kan sägas att olika typer av fel får olika typer av åtgärder baserat på effekten de har på produktionen och de kostnader som relateras till detta. Detta tankesätt möjliggör ekonomiska besparingar utan avkall på säkerhet, miljö och systemets funktion.

I stora drag görs fördelningen baserat på följande steg:

- Analys av fellägen och effekter: identifierar fel och möjliga felkällor i systemet under normala driftsförhållanden, sätter prioriteringar och planerar åtgärder så att de minimerar påverkan på produktionen.
- Analys av grundorsak: identifierar underliggande orsaker till uppkomna fel baserat på logisk analys av händelseförloppet, som kan visa på felmönster och huruvida fel är av sporadisk (sker i undantagsfall) eller kronisk (vanligt återkommande) karaktär.
- Matematisk modellering: kvantifiering och analys av statistik som kan förutsäga sannolikheten för att komponenter fungerar eller ej vid en given/framtida tidpunkt, vilket kan användas för

³⁸ Sainz & Sebastián (2013).

planering av underhållsåtgärder så att livslängden hos olika komponenter maximeras utan att produktionen sätts på spel.

- Användning av tillståndsovervakning: optimerar möjligheterna att hitta och åtgärda fel tidigt genom att registrera och varna för avvikelser hos kända parametrar som orsakar fel i systemet.

Tillståndsovervakning ger dessutom möjlighet att skapa ett historiskt register och analyser över uppkomna fel, vilket är mycket användbart i bedömningen av återkommande fel och i funktionssäkerhetsbaserad planering.

Tillämpning av RCM inom vindkraftsbranschen har bl.a. utforskats i ett samarbetsprojekt mellan Chalmers tekniska högskola, Göteborg Energi, Triventus Service och SKF³⁹. Vid tiden för studien hade RCM använts i anslutning till vindkraft i ett fåtal projekt. Projektet utgick från en analys av kritiska delsystem, vanliga fel och orsaker, samt lämpliga förebyggande åtgärder för två olika modeller av Vestas. De kritiska komponenter som identifierades i studien var växellådan, generatoren, systemen för el, hydraulik och pitchning, samt rotern. Man upptäckte att många av de förebyggande underhållsåtgärderna som RCM föreslog för den äldre vindkraftsmodellen tillämpades i underhållsprogrammet för den nyare modellen, vilket visar på den tekniska inläring som finns i branschen. Ett annat intressant resultat är att man identifierade att vibrationer är en viktig faktor att mäta i tillståndsovervakning, eftersom de kan påvisa mekaniska fel på flera olika komponenter. Via vibrationer kan t.ex. skador på lager upptäckas tidigt. Baserat på RCM tog man även fram kvantitativa modeller för optimering av underhållsstrategier och projektet innefattade även en undersökning av optimala sätt att använda information från övervakningssystem. För att få bättre driftsäkerhet, tillgänglighet och lönsamhet föreslogs komponentstandardisering och nyttjande av databaserade kvantitativa metoder som beslutsstöd för underhåll av vindkraftverk.

Det finns även förslag som pekar mot att tekniker från RCM skulle kunna tas längre genom att inte bara analysera fel och underhållsoptimering utan även titta på själva underhållsprocessen med hjälp av verktyg från systemvetenskap. En studie gjord i samarbete med Vestas⁴⁰ föreslår detta för att bättre kunna ombesörja underhållet av växellådor i vindkraftverk. Studien påtalar att RCM vanligtvis tillämpas under driftstiden, men att sådan datainsamling och analys skulle kunna användas i tidigare faser av vindkraftverkets livstid. För att förankra RCM i hela livscykeln föreslår man att designfasen inkluderas och får feedback från det praktiska underhållsarbetet, så att demontering, tillgänglighet till komponenter, reparation och montering kan göras lättare att hantera.

6.6 Innovationer inom tillståndsovervakning

För att öka möjligheterna att sköta drift och underhåll mer effektivt är användning av system för tillståndsovervakning och effektiv tillämpning av de data sådana system genererar viktigt.

Tillståndsovervakning kan löpande mäta olika parametrar för olika komponenter i vindkraftverk, t.ex. vibrationer och temperatur, så att avvikelser kan uppfångas snabbare hos operatören och i bästa fall åtgärdas innan de trasiga komponenterna resulterar i driftstopp.

Eftersom vindkraftverk har rotationsaxlar med både höga och låga hastigheter, samt är utsatta för höga dynamiska vibrationer i både vridmoment och hastighet, är det utmanande att konstruera

³⁹ Fischer (2012).

⁴⁰ Igba o.a. (2013).

effektiva system för tillståndsovervakning. Liknande övervakningssystem har länge använts för att säkra produktionstillgängligheten i andra stora, konstant roterande maskiner, men utveckling av sådana system för vindkraftverk har påbörjats först på senare år.⁴¹

Forskning runt tillståndsovervakning, både i form av systemkonstruktion och tillämpning av data, sker i många projekt både akademiskt och inom själva vindkraftsbranschen. Växande kunskap i andra branscher, som artificiell intelligens och ökad användning av mobildata, möjliggör nya typer av tillståndsovervakning och tillämpningsmodeller.

Ett exempel på hur mobiltelefoneteknik kan användas för att underlätta i underhåll av vindkraftverk finns i en kinesisk studie där möjligheter och fördelar med att använda sig av videofunktioner i vanliga smartphones i samband med underhållsplanering och åtgärder belyses.⁴² Studien har även praktiskt tillämpat ett videosystem som visade sig kunna minska stopptiden i samband med underhållsåtgärder med 10–20 timmar. Att arbeta med ett videosystem kan bemöta tre vanliga underhållsproblem: låg effektivitet vid haveri, lång tidsåtgång vid inspektioner, och låg nivå i underhållshanteringen. Med ett videosystem på plats ökar kommunikationsmöjligheterna så att övervakning och stöd i teknikernas arbete kan ske direkt via en övervakningscentral. Den visuella tillgängligheten till trasiga komponenter blir också öppen för fler än teknikerna uppe i tornet. Bl.a. blir det möjligt att kontakta experter på vissa typer av fel utan att de måste befinna sig på plats, varpå transportkostnader och tid kan sparas in. Via en smartphone kan man även komma åt mer information, tillgänglig på t.ex. internet. Studien beskriver även hur ett videosystem skulle kunna vara baserat på monterade kameror, som kan användas för övervakning och korta ner tiden tekniker behöver befinna sig i turbinen, samt beskriver hur ett videosystem skulle kunna konstrueras med komponenter som trådlöst nätverk, VPN, inloggningssystem och servrar.

En komponent som är särskilt utmanande i underhållsavseende är vindkraftverkets blad. Dessa är sällan inkluderade i traditionell tillståndsovervakning, utan brukar inspekteras visuellt av tekniker. En studie från Loughborough University⁴³ föreslår ett trådlöst, självförsörjande felsökningssystem som kan mäta vibrationer i vindkraftsblad så att skador snabbare kan upptäckas. Systemet är tänkt att monteras inuti själva bladet, kan strömförsörja sig själv och skicka data till en station på marken som är mer lättillgänglig än de system som vanligtvis monteras i vindkraftverkets maskinhus. Om felsökning av blad kan skötas via en markstation innebär även det minskade kostnader, samt öppnar för möjligheter att övervaka flera maskiner från samma station. Komponenterna i systemet utgår från kommersiellt tillgängliga produkter⁴⁴ och kan designas för att vara igång när det finns gott om ström, för att sedan vara i strömsparläge när eltilgången är sämre eftersom man troligen inte behöver ständiga mätningar.

⁴¹ Esu o.a. (2016).

⁴² Liu o.a. (2017).

⁴³ Esu o.a. (2016).

⁴⁴ De föreslagna komponenterna är ett antal MEMS mikro-accelerometers (av samma typ som finns i mobiltelefoner); en mikrokontroller (Microchip dsPIC33FJ128MC802); en trådlös RF-transmitter; en spänningsreglerare och ett litiumbatteri. Som energikälla till systemet föreslås piezoelektriska enheter, eller solceller, och som ett dyrare alternativ till batteri föreslås kondensatorer. Det system som testats förbrukar 26 mW utan inlagda program, men experiment visar på att intensiv datoranvändning skulle dra ungefär 5-6 mA.

I ett svenskt forskningsprojekt på Chalmers⁴⁵ har man tagit fram en metod som använder artificiell intelligens för att tidigt hitta fel på komponenter i vindkraftverk. Den artificiella intelligensen används för att analysera data som samlas in under tillståndsovervakning, vilket representerar stora datamängder. Detta betyder alltså att man kan spara personalresurser och tid för analysfasen. Metoden kan användas för att övervaka både mekaniska och elektriska komponenter, förutsatt att lämpliga data finns tillgängligt. I de utförda fallstudierna har metoden kunnat hitta fel i växellådor så tidigt som tre månader innan komponenter behövt bytas ut. Sådan information kan sedan användas för att optimera underhållet så att man kan planera förebyggande åtgärder. Detta är viktigt då större vindkraftsparker kommer förväntas ha hög tillförlitlighet, liknande produktion från andra energikällor.

Denna forskning kring artificiell intelligens används inom Greenbyte. En innovation inom tillståndsovervakning som nyligen nått ut på marknaden är Greenbytes tjänst *Predict* som kan identifiera komponentfel innan de faktiskt inträffar. Tekniken bygger på statistiska modeller, artificiella neuronnät och maskininlärning baserat på förändringar i temperatur för olika komponenter. I en pilotstudie kunde *Predict* förutsäga fel på komponenter två till nio månader i förväg med 94 % säkerhet, vilket minskade kostnaderna för de relaterade underhållsåtgärderna med 23 %.⁴⁶

6.7 Diskussion och framtidsspaning

6.7.1 Utmaningar

Litteraturstudien har visat på ett antal utmaningar som drift och underhållsbranschen i Sverige står inför om den ska kunna växa utefter de behov som en ökande utbyggnadstakt och fler olika typer av operatörer innebär.

En av de största utmaningarna är att oförutsett underhåll, dvs. felavhjälpning, är en så stor del av kostnaderna under driftstiden. Det finns uppgifter om att upp till tio fel per vindkraftverk och år förekommer⁴⁷, vilket skulle kunna betraktas som orimligt högt i jämförelse med andra tekniska anläggningar. I kombination med att data kring fel, garantianspråk och produktionsbortfall inte är offentligt tillgängliga uppstår en osäkerhet kring tillförlitlighet för olika komponenter och en faktisk brist i förståelse kring hur vindkraftverk fungerar.⁴⁸ Många studier har försökt identifiera vilka komponenter som oftast bidrar till produktionsproblem, men det är svårt att få tillförlitlig information från sådana studier eftersom turbintillverkare kontrollerar och inte vill publicera data som får deras produkter att framstå som bristfälliga.⁴⁹ Detta skapar även problemområden för operatörer, då de som regel har begränsad tillgång till data från sina vindkraftverk, eftersom det är tillverkaren som hanterar och äger dessa.

En annan utmaning är att användningen av system för tillståndsovervakning fortfarande är begränsad. Detta kan kopplas till höga kostnader för sådana system och svårigheterna i att tolka de data som de levererar, vilket i sin tur har orsakat outvecklad feldiagnostik på sätt som begränsar kommersiell användning.⁵⁰ De övervakningssystem som finns är ofta datatunga och kräver expertkunskaper för att

⁴⁵ Bangalore (2016).

⁴⁶ reNEWS (2018).

⁴⁷ Puglia (2013).

⁴⁸ Walford (2006).

⁴⁹ Bertling Tjernberg & Wennerhag (2012).

⁵⁰ Igba o.a. (2014).

informationen ska kunna tolkas och omsättas till driftsbeslut, vilket minskar användbarheten och motivationen för operatörerna att införskaffa övervakningssystem.

Det är intressant att notera att dessa två problembilder hänger ihop, eftersom tillståndsovervakning kan hjälpa till att minska felavhjälpande underhåll när faktiska eller blivande fel upptäcks tidigare så att de kan åtgärdas innan de leder till driftstopp. En ökad användning av tillståndsovervakning är antagligen att vänta av denna anledning, vilket på sikt även kan gynna tillgängligheten till data så att rapporteringen blir bättre anpassad till operatörernas behov och övervakningen i större grad kan bidra till proaktiva beslut i underhållsplanering.

En annan stor utmaning är att många svenska vindkraftsprojekt har haft högre kostnader för drift och underhåll än vad som förväntades i projektplaneringen.⁵¹ Det är svårt att säga vad detta beror på, eftersom det kan vara kopplat till olika faktorer i olika projekt. En förklaring kan vara att många projekt har drabbats av fler fel och oförutsedda kostnader än vad som är rimligt, medan en annan möjlig anledning är att projektören från början satt en för låg budget för drift och underhåll. Båda förklaringar antyder att de modeller som används för att beräkna driftskostnader behöver förbättras, så att en större andel fel kan förutses och beräknas mer verklighetsnära.

Ytterligare utmaningar finns kopplat till den produktionsminskning över tid som kunnat påvisas bland svenska vindkraftverk i ett av projekten som genomförts inom den senaste perioden av Vindforsk. I projektet, som använt data på både månads- och timbasis för att mäta prestandaförändringar, framgick att tiden som vindkraftverk står stilla i genomsnitt är 4 % men att stilleståndstiden ökar när verken åldras⁵². Äldre verk har en energiförlust på 6 % och stilleståndstid motsvarande en tredjedels energiminuskning. En hög nivå av produktion håller i sig under de först fem åren av turbinens livstid, vilket kan ha att göra med att servicekontrakt med turbinleverantören ofta tecknas för denna tid. Minskningen i produktion skulle alltså kunna bero på att mindre ambitiösa underhållsprogram används senare i turbinernas livslängd.

En framtida utmaning som hela den svenska vindkraftbranschen står inför är att skalan på de parker som byggs ökar under kommande år. Detta, samt att fler ägare kommer att vara av typen investerare, kan komma att ställa högre krav på produktionstakt, lönsamhet och underhållstjänster. På sikt kan detta gynna drift och underhållsbranschen, i och med att den behöver utvecklas för att bättre passa dessa förutsättningar. Samtidigt är det en stor uppgift att omsätta den uppväxling av antalet underhållstekniker och underhållsrutiner som kommer att behövas för att sköta en växande flotta av såväl nya som äldre vindkraftverk. Fler aktörer kan därför komma att finnas på marknaden framöver, men större grader av samverkan och klok underhållsplanering är också nödvändigt.

6.7.2 Efterfrågan

För att konkretisera de utmaningar som finns inom drift och underhåll har litteraturstudien identifierat ett antal tydliga behov som finns kopplat till branschen.

Efterfrågan på mer förebyggande och tillståndsbaserat underhåll, som kan minska driftstoppen och kostnaderna för felavhjälpning, är tydlig. Att styra om från reaktiva till mer proaktiva underhållsåtgärder skulle kunna ge ekonomiska besparingar, men även jämnare arbetsbelastning för

⁵¹ Bertling Tjernberg & Wennerhag (2012).

⁵² Olauson o.a. (2017).

de som arbetar som vindkrafttekniker. Detta skulle kunna uppnås genom en ökad användning av system för tillståndsovervakning, så att underhållet kan ske mer förebyggande än avhjälpande och planeras så att kostnaderna hålls nere. Det är värt att uppmärksamma att mycket av det förutbestämda underhållet sker under den varma tiden på året, när arbetsförutsättningarna är bättre än vintertid. Att samordna flera åtgärder baserat på tillståndsovervakning kan minimera risken för att åtgärder i samma vindkraftverk måste utföras på vintern eller flera gånger per år.

Ett annat behov som lyfts fram i flera sammanhang är att det behövs standardisering av komponenter och reservdelar samt data och rapporteringssystem, för att drift och underhåll ska kunna ske mer effektivt. Långa leveranstider för reservdelar försenar underhållsarbetet och drar i värsta fall ut på tiden som ett vindkraftverk blir stillastående, varpå utveckling av komponenter som kan användas i mer än en turbinmodell och som kan finnas på lager hos underhållsleverantörerna är önskvärt. Angående rapporteringssystem saknas standarder för driftsdata, och mycket data hanteras i första hand enbart av turbintillverkaren, vilket begränsar möjligheter till förbättringar av drift och underhåll baserat på branschens faktiska erfarenheter. I sina rekommendationer kring insamling av data och optimering av drift och underhåll beskriver IEA Wind⁵³ att det finns ett erkänt behov av tillgänglighetsdata och analyser för att optimera användningen av sådan data. Detta behövs dels för att optimera vinstmarginaler, energikostnad (LCoE), etc., men även för att på sikt kunna optimera teknisk design och riskhantering. De konkreta rekommendationerna handlar bl.a. om att man som operatör behöver identifiera sitt eget databehov, se till att man har tillgång till all relevant data och att dela med sig av tillgänglighetsdata för att kunna skapa statistik.

Utöver detta har denna litteraturstudie identifierat en efterfrågan på förbättrade relationer mellan turbintillverkare, serviceföretag och operatörer, samt att relationerna ska bli mer långsiktiga och transparenta. Större flexibilitet kring serviceavtal efterfrågas också, liksom mer samarbete med operatörerna kring utvecklingen av underhållsföretagens affärsmodeller så att de bättre återspeglar operatörernas behov. Som marknaden ser ut nu skrivs alla serviceavtal separat med respektive operatör, vilket ställer höga krav på operatörens egen kompetens kring underhållsfrågor. Detta gynnar vissa typer av operatörer, främst de med tidigare erfarenhet av vindkraftsdrift, samtidigt som andra kan få svårt att träffa de avtal de behöver.

Förbättrad utbildning av underhållspersonal efterfrågas också i många studier. Detta gäller både på grundnivå, då en del operatörer upplever att de vindkrafttekniker de anlitat inte gett ett kompetent intryck, men kopplar även till vidareutbildning och tydligare utveckling av kunskaper kring ny teknik när den lanseras.

6.7.3 Möjligheter

Litteraturstudien har även kunnat fånga upp möjligheter till utveckling hos både operatörer, tillverkare och underhållsföretag.

Det finns indikationer på att fler operatörer behöver fatta tydliga strategiska beslut kring vilken roll de eftersträvar i drift och underhåll av sina anläggningar. Detta kan innefatta bättre kontroll över hur de serviceavtal man skriver med turbintillverkare ser ut, undersökningar kring behov och möjligheter för att öka bolagets interna kunskap om drift och underhåll, eller beräkningar av möjliga vinster från att

⁵³ IEA Wind Technology Collaboration Programme (2017).

ha en egen serviceorganisation och eventuell potential att sälja tjänster till andra närliggande vindkraftsägare. Möjligheter och intresse för detta varierar såklart mellan olika typer av ägare men om fler operatörer tog ett mer konkret eget ansvar för drift och underhåll skulle det antagligen i många fall kunna säkra elproduktionen bättre än om hela underhållskedjan lejs ut till andra aktörer som även sköter andra operatörers vindkraftverk.

För de företag som är verksamma som tjänsteleverantörer inom drift och underhåll behövs i många fall en vidareutveckling mot mer storskalig verksamhet, eftersom antalet kunder och serviceobjekt kan tänkas öka i framtiden med den utbyggnadstakt som nu finns. Detta kopplar även till hur ett växande antal äldre vindkraftverk, som inte sköts med serviceavtal med turbintillverkare, kan öka marknadsmöjligheter för fristående serviceföretag och gynna den svenska tredjepartsmarknaden. Oavsett vindkraftverkens ålder behövs mer planeringsarbete inför underhållsåtgärder, t.ex. i form av logistikplaner, om en större mängd serviceobjekt, personal och reservdelar ska kunna hanteras effektivt. Det finns även intressanta möjligheter för företag inom underhåll att utvecklas vidare kopplat till mer specialiserad kompetens, som t.ex. bladreparationer.

En annan viktig faktor för mer långsiktig utveckling i underhållsbranschen är att man blir bättre på att tillvarata kunskapen hos de som arbetar med underhåll, dels internt i underhållsföretagen, dels på sätt som ger tillverkaren återkoppling och möjlighet att utveckla sin teknik mot lättare eller färre underhållsåtgärder.

För att kunna fånga upp möjligheter till konstadsbesparingar inom driftsfasen behöver den svenska vindkraftsbranschen bli bättre på att utbyta erfarenheter och öka transparensen kring vad som fungerar väl i drift och underhållsavseende. Eftersom detta knyter an till data och annan information som anses företagsintern och hemlig behöver det kunna ske på en nivå där det inte vållar förluster för någon inblandad part. Ett sätt skulle kunna vara att bilda en branschorganisation eller ett konsortium för drift och underhållsfrågor, där främst operatörer kan mötas för att dela erfarenheter. Eftersom det är operatörerna som kan styra efterfrågan behöver de bli bättre på att förmedla sina behov till de företag som tillhandahåller tjänster inom drift och underhåll, vilket en gemensam ansats i frågorna skulle kunna bidra till. På en nivå behöver fler operatörer även ta större ansvar för att styra sina avtal bättre, men de behöver också i någon mån framstå mer som en enad front kring vad som är rimligt att förvänta sig av olika slags underhållsavtal och bidra till att samverka och planering inom drift och underhåll kan öka. T.ex. skulle informationsmaterial kring effektiv planering av drift och underhåll kunna tas fram med gemensamma krafter. Ett annat sätt att utveckla underhållsbranschen skulle kunna vara att ge akademiska resurser mer tillgång till driftsdata under anonymiserade former, så att en baslinje för vad som bedöms vara rimliga drift och underhållskostnader kan forskas fram.

Branschen behöver gemensamt arbeta mot en ökad användning av tillståndsovervakning och tillämpning av underhållsstrategier, som RCM. För att förutse fel och effekter av olika underhållsbeslut behöver utvecklingen av modeller fortsätta och bli mer baserade på kvantitativa data. En utökad användning av tillståndsovervakning skulle kunna möjliggöra en större användning av sådan data som planeringshjälp för underhållsaktiviteter, men också vidare utveckling av kvantitativa modeller för att förutse fel på komponenter och inverkan från olika beslut i driftsorganisationen. Det behövs även mer lättillgängliga, automatiska och standardiserade system för rapportering av tillgänglighet, fel, etc. Detta skulle kunna göra data mer tillgängligt som beslutsunderlag för operatörer/ägare såväl som underhållsföretag. Tillämpningen av underhållsstrategier kan ske hos både ägare och i

serviceorganisationen, beroende på hur ansvarsbilden ser ut. Det är viktigt att fler alternativa lösningar, främst inriktade på proaktiva åtgärder och tillståndsbaserat underhåll, börjar tillämpas av fler aktörer. Detta behövs för att säkra både enskilda aktörers produktion och vinstmarginaler, och i förlängningen för att trygga hela Sveriges vindkraftsproduktion.

Det är även viktigt att komma ihåg att ta del av möjligheterna i utvecklingen som sker i underhållsbranschen i stort, eftersom många sätt att spara utgifter i drift och underhåll av vindkraftverk är gemensamma med andra industrier. Möjligheter till mer samverkan med andra industrier bör undersökas, både för att öka kompetensen inom vindkraftsunderhåll och för att ta del av den industriella utvecklingen mot hållbarhet via begrepp som industriell symbios och cleantech.

En trend inom forskning kring vindkraftsunderhåll är användning av livscykelkostnadsmodeller (Life Cycle Cost Analysis), som ger möjlighet att fokusera på värdet av tillgångarna⁵⁴ istället för investeringskostnaderna. Detta kan motivera ökade underhållskostnader när de kan minska den totala livscykelkostnaden.⁵⁵ Ett ökat fokus mot livscykelperspektiv kan alltså medföra att mer omfattande underhållsprogram, t.ex. kopplat till tillståndsovervakning, blir mer motiverat eftersom kostnaden beräknas och slås ut över hela livstiden och den då tillgängliga produktionsnivån. Hur övervakningssystem kan ge fördelar till underhållshantering och planering i vindkraftsparker baserat på livscykelkostnad framkommer bl.a. i en svensk forskningsartikel⁵⁶ som påtalar att nyttan blir tydligast i lägen där vindkraft byggs i otillgängliga områden. I studien har livscykelkostnadsberäkningar utförts i två fallstudier som visar att övervakningssystem kan betala igen sig via besparingar i både felavhjälpande och förebyggande underhåll, då de möjliggör att onödigt ersättning av komponenter undviks, stopptiderna minimeras och transportkostnader sparas in.

En viktig framtida möjlighet för affärsutveckling inom drift och underhållsbranschen finns i det kommande behovet av repowering. I sin förstudie kring forskning och teknikutveckling som ökar möjligheter för återbruk, återvinning och generationsskiftet av vindkraftverk belyser Energimyndigheten⁵⁷ att detta är ett viktigt framtida behov. I Sverige har dessa frågor inte varit så aktuella ännu, då många etableringar fortfarande är första generationen i respektive län, men de kommer utan tvivel öka i betydelse om mellan tio till tjugo år när nuvarande flotta närmar sig slutet på sin beräknade livslängd. Möjligheterna för återbruk beskrivs som stora, liksom möjligheterna att utveckla återvinningsmetoder för turbinkomponenter. Vad gäller repowering fastställer studien en stor potential att återanvända parker som redan fått tillstånd, men även utmaningar för detta. Fördelar är att redan byggda vägar och elinfrastruktur kan återanvändas. Den stora utmaningen är att det sannolikt kommer krävas nya tillståndsprocesser, vilka kan komplicera situationen om de inte kan förenklas. Vidare fastslås att återbruk och återvinning kan minska materialanvändning, men att bladens kompositmaterial är ett problem i återvinningssynpunkt. I förlängning kan återbruk av hela verk skapa nya marknader och intresse att investera i vindkraft även i sammanhang där nya verk är för dyra. Förslag som läggs fram i studien inkluderar att föra ökad statistik över nedmonteringar, att ta fram standarder för nedmontering, att skapa certifieringar för fortsatt bruk som kan garantera

⁵⁴ Eng. *asset value*.

⁵⁵ Bertling Tjernberg & Wennerhag (2012).

⁵⁶ Nilsson & Bertling (2007).

⁵⁷ Energimyndigheten (2016b).

bibehållen kvalitet, samt att öka möjligheter till produktpårning och utveckla mer standardiserade komponenter.

För att repowering och återbruk ska vara möjligt och ekonomiskt har underhållet under vindkraftverkets driftstid stor betydelse, vilket läggs fram i en amerikansk studie⁵⁸ som påtalar att återtillverkning är ett lovande alternativ för att skapa mer cirkulär ekonomi för vindkraftsbranschen. Studien förordar regelbundet förebyggande underhåll eftersom det gör att vindkraftverk åldras långsammare, vilket håller ner kostnaderna vid återtillverkning. Utmaningar som nämns är att vindkraftverk ofta består av olika gamla delar som successivt bytts ut under verkets livstid, att glappet mellan gammal och ny teknik kan vara för stort för att marknaden alls ska vara intressant, och att återtillverkning bör kunna leverera verken på kortare tid än vid nytillverkning. Studien innehåller uträkningar som visar att det är runt 77 000 USD dyrare och tar tre månader längre att återtillverka ett vindkraftverk som inte fått regelbundet förebyggande underhåll jämfört med ett som fått förebyggande underhåll två gånger om året.

⁵⁸ Ortegon o.a. (2014).

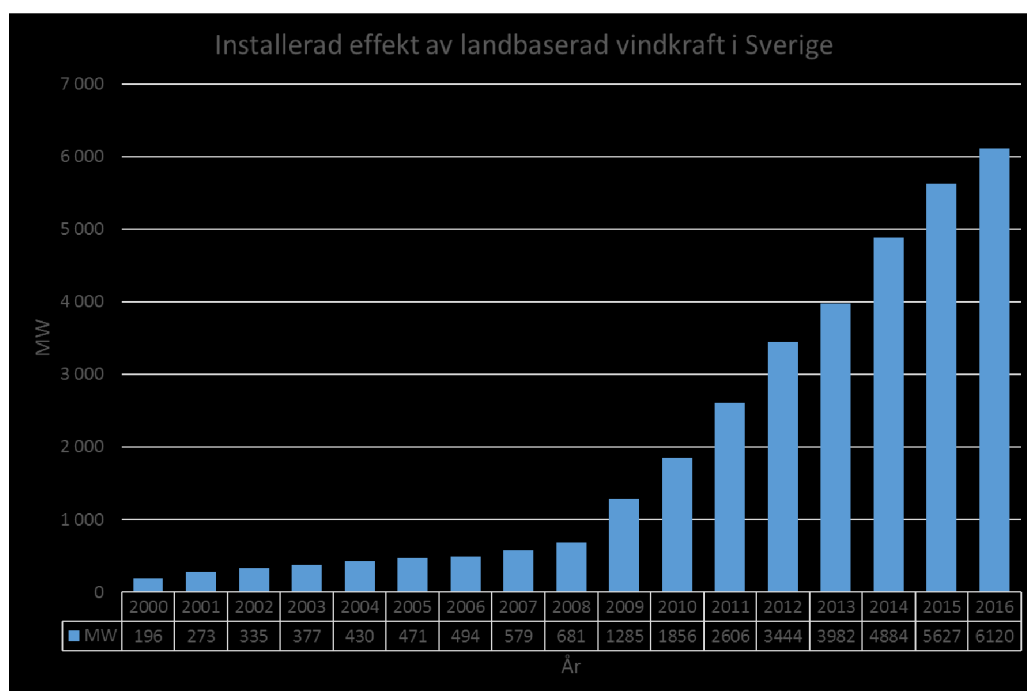
7 Internationell utblick

7.1 Inledning

I det följande kapitlet har fyra marknader studerats i syfte att genomföra en jämförelse med den svenska marknaden för drift- och underhåll. Resultatet är baserat på både publicerat material och personliga intervjuer. De personer som bidragit med insikter via intervjuer är:

- Bill Kristensen, Service Manager North Europe, E.ON Wind Sweden AB
- Lars Ohlsson, Contract Manager, E.ON Wind Sweden AB
- Kent Eriksson, Driftchef, Eolus Vind AB
- Torbjörn Sjölin, Verkställande Direktör, Connected Wind Services Sverige AB
- Martin Jansson, Senior Wind Expert, Vattenfall Services Nordic AB
- Stefan Salomonsson, VD, SRS Windpower AB
- Christoffer Caesar, VD, Monsson Nordic AB

Tre av de studerade marknaderna: Tyskland, Danmark och USA är utvalda då de alla tillhör de större marknaderna för vindkraft och därmed skulle kunna ge en indikation på hur den svenska marknaden kan komma att utvecklas. Den fjärde marknaden, Norge, är en mindre utvecklad marknad än den svenska men har bedömts som intressant då den till viss mån är gemensam med den svenska marknaden då såväl stödsystem som kraftpris är gemensamt. För att underlätta jämförelser med Sverige visas i Figur 8 en sammanställning över den installerade effekten av landbaserad vindkraft i Sverige år 2000 till 2016. Statistik på installerad effekt har för samtliga länder hämtats från IRENA.⁵⁹ I något fall har mindre avvikelser jämförts med statistik från nationella källor, varför siffrorna inte bör betraktas som exakta utan ska ses som en måttstock på hur storleken på marknaderna i de olika länderna förhåller sig till varandra.

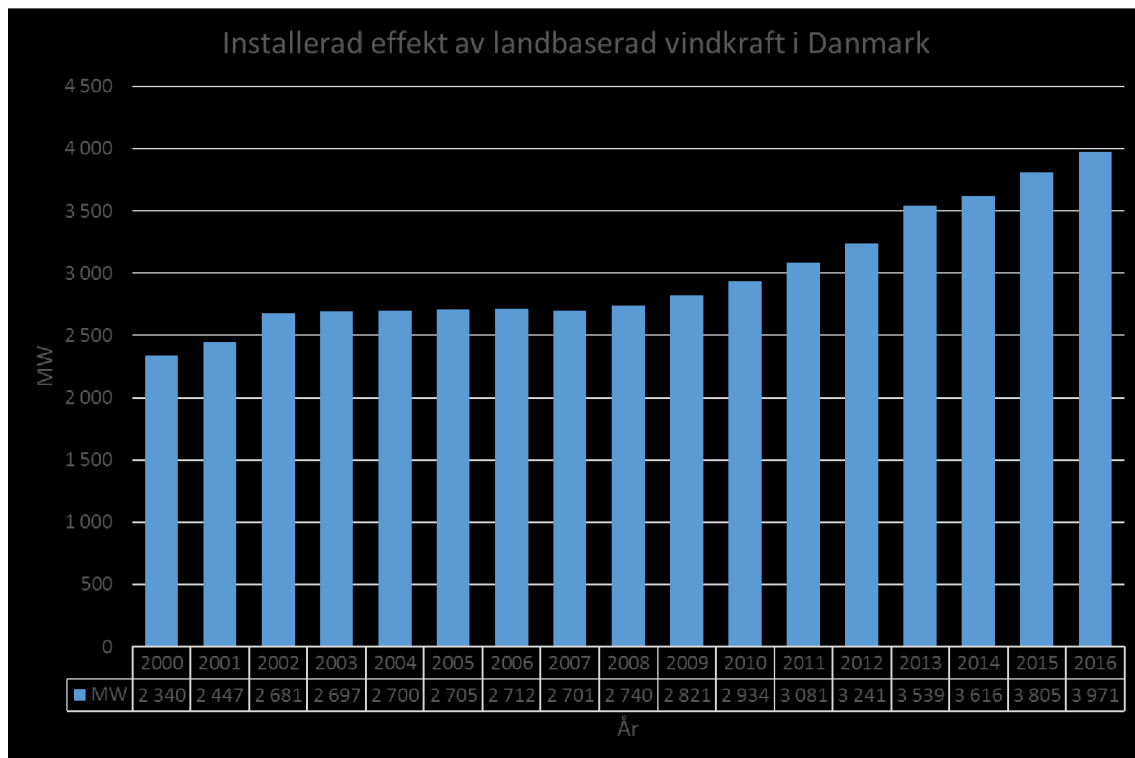


Figur 8. Installerad effekt av landbaserad vindkraft i Sverige. (International Renewable Energy Agency (IRENA)).

⁵⁹ The International Renewable Energy Agency

7.2 Danmark

Danmark är ett av vindkraftens verkliga pionjirländer. Under oljekrisen på 1970-talet började Danmark diversifiera sin energimix och vindkraft var ett av de kraftslag som valdes ut att satsas på. Landet var därför tidigt ute med stödsystem till vindenergi.⁶⁰ Ytterligare en faktor som har bidragit till landets tidiga start inom vindkraft är att det historiskt har funnits en utbredd mekanisk industri, bl.a. för tillverkning av redskap och maskiner för lantbruket.



Figur 9. Installerad effekt av landbaserad vindkraft i Danmark. (International Renewable Energy Agency (IRENA)).

Steget till små vindkraftverk på några tiotals kW var därför inte så långt och tillverkning kunde ofta ske parallellt med befintlig verksamhet. Denna småskaliga industri har med tiden utvecklats till att tillhöra världsledarna inom vindkraft. Redan år 2000 hade Danmark nästan 12 gånger så mycket landbaserad vindkraft som Sverige, även om dagsläget är att Sverige har över 50 % mer installerad effekt (se Figur 9).

Utmärkande för den danska marknaden jämfört med övriga som presenteras i detta kapitel är att den danska flottan av landbaserade vindkraftverk är föråldrad, vilket i sin tur medför att de är förhållandevis okomplicerade och enkla. De är dessutom ofta i slutet av sin livslängd. Kombinationen av de egenskaperna gör att produktionen per verk är låg och att verkens ekonomiska värde är förhållandevis lågt. Flera av de personer som intervjuats har påpekat att den gamla flottan av vindkraftverk är den främsta anledningen till att en stor del av drifts- och underhållsarbetet hanteras av tredjepartsleverantörer istället för att, som i exempelvis Sverige, hanteras av turbintillverkarna. Den förhållandevis enkla tekniken medför att drift och underhåll innehåller en större andel av icke specialiserade moment.

⁶⁰ IRENA (2017).

Den danska vindkraftflottan har historiskt till stor del ägts av privata ägare, både enmansägare och vindkraftkooperativ. Senare har även energibolagen gjort entré på marknaden men en stor andel är även fortsatt ägd av mindre aktörer. Energibolagen har i större utsträckning riktat sitt fokus mot den danska offshoremarknaden.⁶¹

Att de äldre och mindre vindkraftverken har ett lågt ekonomiskt värde och låg produktion innebär naturligt att utrymmet för avancerade servicelösningar och liknande minskar. Den förhållandevis enkla tekniken medför att det är gott om små leverantörer som kan hantera service och reparationer. Den danska marknaden har också ett starkt prisfokus, vilket sannolikt kan förklaras med både att marknaden är mogen men och att intjänandeförmågan hos varje verk är låg, p.g.a. den låga effekten och produktionen.

Turbintillverkarna uppges ha en mycket svagare ställning på den danska marknaden jämfört med den svenska. En av de intervjuade menar att detta är en naturlig utveckling då turbintillverkarna lägger mer kraft på att behålla kontroll över och kontrakt på O&M på nyare verk och därför är beredda att släppa mer av kontrollen för de äldre verken där marginalerna är sämre. En annan av de intervjuade menade att det snarare var en effekt av att marknaden är äldre och att därför har fler företag, inte sällan startade av tidigare anställda hos turbintillverkarna, hunnit etablera sig på marknaden och lyckats ta marknadsandelar från turbintillverkarna. Han menade vidare att turbintillverkarna inte släppt dokumentation och specialverktyg i någon större utsträckning utan det helt enkelt varit så att då verken varit i drift länge har också tredjepartsleverantörer av såväl drift som underhållstjänster hunnit utveckla metoder, verktyg och dokumentation för att kunna hantera drift och underhåll. Turbintillverkarna sades också den senaste tiden ha blivit mer aggressiva i sin prissättning av reservdelar för att återta marknadsandelar. De ansågs dock i vissa fall vara mindre "service minded" än de fristående leverantörerna.

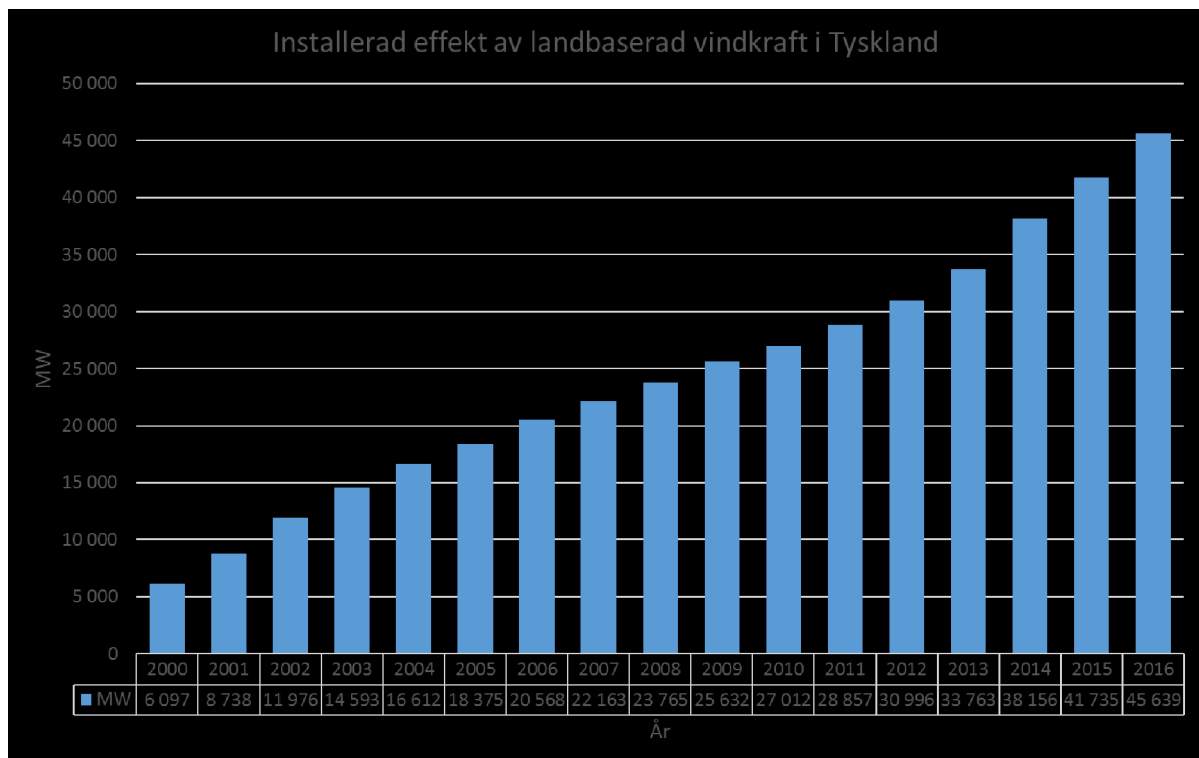
Ytterligare en skillnad som lyfts fram jämfört med den svenska marknaden är det danska affärssinnet. Danskar upplevs generellt som betydligt bättre än svenskar på att hitta affärsmöjligheter vilket har genererat en stor flora av små nischade företag som specialiserat sig och bara erbjuder produkter och tjänster inom ett välavgränsat och snävt område såsom blad eller växellådor.

Det bör understrykas att även om en stor del av förklaringsmodellen för hur den danska marknaden för drift och underhåll ser ut för landbaserad vindkraft i Danmark bygger på de äldre och därmed mindre och enklare turbinerna så har dansk offshore vindkraft en annan åldersstruktur, med fler nya och större verk. Drift- och underhållsstrukturen för offshore har emellertid inte varit i fokus i detta arbete.

7.3 Tyskland

Den tyska vindkraftmarknaden är väsentligt större än både den svenska och den danska. Vid utgången av 2016 hade Tyskland en installerad effekt på 45 639 MW, vilket visas i Figur 10. Värt att notera är dels att Tyskland 2000 hade en installerad kapacitet som låg på ungefär samma nivå som Sverige år 2016, dels att kapaciteten ökat år från år och inte visar samma plana nivå som den motsvarande danska figuren under det första årtionden av 2000-talet.

⁶¹ Danmarks Vindmølleforening (2002)



Figur 10. Installerad effekt av landbaserad vindkraft i Tyskland. (International Renewable Energy Agency (IRENA)).

Förutom storleken på marknaden och den långa traditionen av vindkraft finns ytterligare en viktig faktor att beakta, nämligen befolkningstätheten. Tyskland är, vid en jämförelse med svenska förhållanden, mycket tätbefolkat. Även vindkraftverken står tätt på många ställen i Tyskland, framförallt i den norra delen av landet.

Den danska marknaden har, som nämnts i föregående avsnitt, präglats av en stor flotta av äldre och relativt små verk. I Tyskland finns både en stor flotta av äldre och mindre verk men även en stor flotta av nyare verk vilka både är större och mer komplexa än sina föregångare.

Det tyska stödsystemet som varit av typen inmatningstariff (Eng: "feed-in tariff") har garanterat intäkter, vilket uppges har gjort det lättare för ägarna att planera in och spendera pengar på åtgärder. Den tyska marknaden upplevs som mer välmående än de danska, svenska och norska marknaderna. Storleken på den tyska marknaden har medfört att prisnivåerna generellt är lägre på såväl arbetskraft som komponenter. Då marknaden är äldre än den svenska finns det ett större antal tekniker vilket håller ner de generella lönenivåerna. Detta har enligt en respondent medfört att vindkraftverken i Tyskland är bättre underhållna än vad som är fallet på marknader med sämre lönsamhet för ägarna. Någon annan av respondenterna har dock påpekat att Danmark, i likhet med Tyskland, men till skillnad från Sverige och Norge, har reglering av vem som får utföra service av vindkraftverk och miniminivåer på hur inspektionsintervaller ska ske. Detta skulle då borga för att även om lönsamheten i Danmark är sämre än i Tyskland så kan inte underhållet strypas till för låga nivåer. Dessutom framfördes att de tyska vindkraftverken inte alltid stod i så fördelaktiga vindlägen vilket innebär att produktionen var förhållandevis låg.

En av de som bidragit med information till föreliggande kapitel har uppgett att en starkt bidragande orsak till utvecklingen mot den stora flora av tredjepartsleverantörer inom drift och underhåll av vindkraftverk i Tyskland är att turbintillverkarna ansågs vara dyra och inte alltid leverera den kvalitet

som förväntades. Under 1990-talet såg anställda hos turbinleverantörerna en möjlighet att tjäna pengar genom att starta egna verksamheter som erbjöd drift- och underhållstjänster till lägre priser än vad turbintillverkarna erbjöd marknaden. Likt Danmark finns också en större flora av specialiserade företag som enbart erbjuder en typ av tjänst eller produkt, exempelvis bladreparationer. Sannolikt kan detta åtminstone delvis förklaras av det faktum att koncentrationen av vindkraftverk är hög i Tyskland. Det är helt enkelt möjligt att marknaden för den nischade produkten/tjänsten lokalt är tillräckligt stor för att en aktör ska kunna etablera sig och hitta en långsiktigt hållbar lönsamhetsnivå. Ytterligare en faktor som sannolikt också bidragit till utvecklingen av många tredjepartsaktörer på marknaden är Tysklands bakgrund som industrination. Det har helt enkelt varit lätt att hitta kompetens inom maskinteknik, el och data i närområdet.

Någon av källorna har uppgivit att en bidragande orsak till att tredjepartsleverantörer etablerat sig på den tyska marknaden helt enkelt kan förklaras med att marknaden är så stor. Är det exempelvis intressant för en kinesisk leverantör att etablera sig i Europa framstår den tyska marknaden som ett naturligt val för den första etableringen.

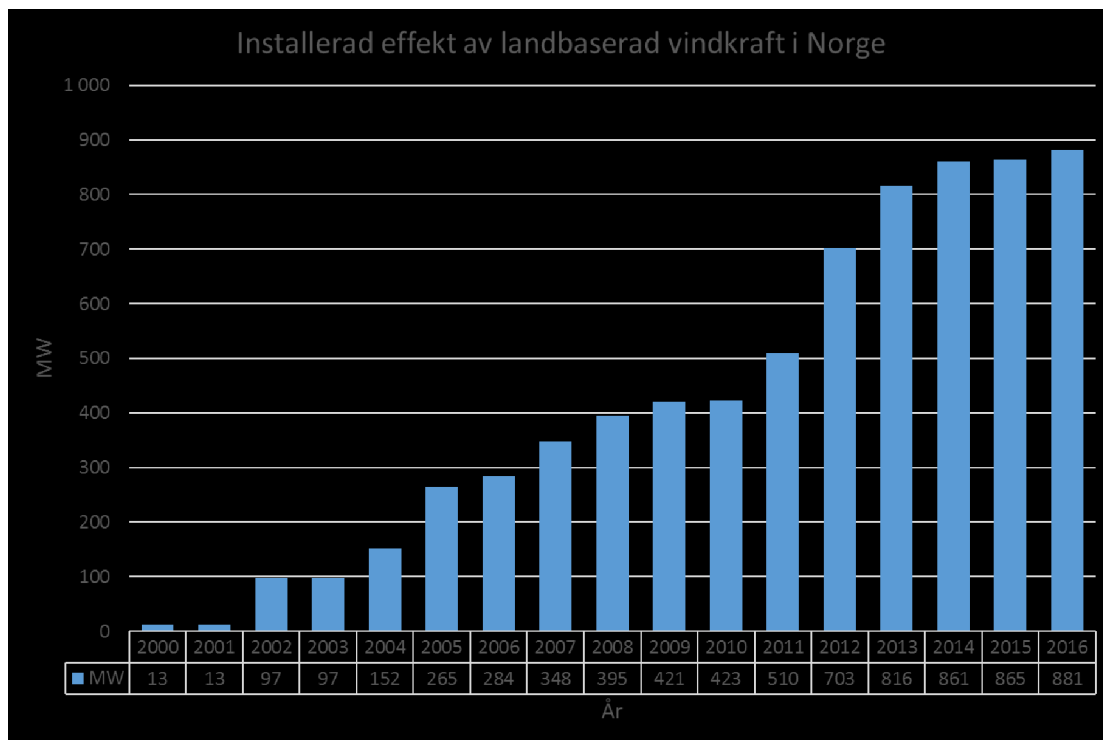
Bland de intervjuade har synen på vilka affärsmodeller som dominerar på de olika marknaderna skiljt sig åt. Möjligen beror det på hur affärsmodell definieras. Någon har framfört att affärsmodellerna är förhållandevis lika, vilket kunde förklaras med att det i grund och botten är turbintillverkarna som genom sina serviceprogram definierar vad som ska göras och med vilka intervaller. Någon annan menade att affärsmodellerna skiljer sig åt på så vis att fler aktörer har del i respektive verk på den danska marknaden, då fler specialiserade nischföretag existerar.

7.4 Norge

Den norska vindkraftsmarknaden är den minst mogna av de fyra marknader som studerats i detta kapitel. Den första större vindkraftsparken, Smøla vindpark, ligger i Smøla kommune i Møre og Romsdal och driftsattes 2002. Enligt NVE fanns 873 MW installerad effekt vid utgången av 2016, vilket kan jämföras med Sveriges installerade 6 430 MW (varav 203 MW offshore).⁶² Figur 11 visar utvecklingen av den installerade nätanslutna effekten av norsk landbaserad vindkraft 2005 till 2016.

Den norska vindkraftsmarknaden i stort visar många likheter med den svenska, och likheterna har också ökat sedan Norge 2012 anslöt sig till det svenska stödsystemet för förnybar energi, elcertifikatsystemet. Idag kan de två marknaderna ur vissa aspekter betraktas som en enda marknad. Ett antal projektutvecklare och/eller vindkraftsägare är aktiva på båda marknaderna. Exempel är Statkraft, Fred Olsen Renewables och Arise Wind Power.

⁶² Weir (2017).



Figur 11. Installerad effekt av landbaserad vindkraft i Norge. (International Renewable Energy Agency (IRENA)).

Den norska marknaden kan i viss mån sägas ha hoppat över den period i utvecklingen som i Sverige karaktäriserades av små projekt med lokala ägare. Den norska marknaden har mer eller mindre gått direkt på större projekt vilka lämpar sig bättre för storskalig förvaltning. Turbinleverantörerna upplevs som mer eller mindre allenarådande gällande drift och underhåll av vindkraftverken.

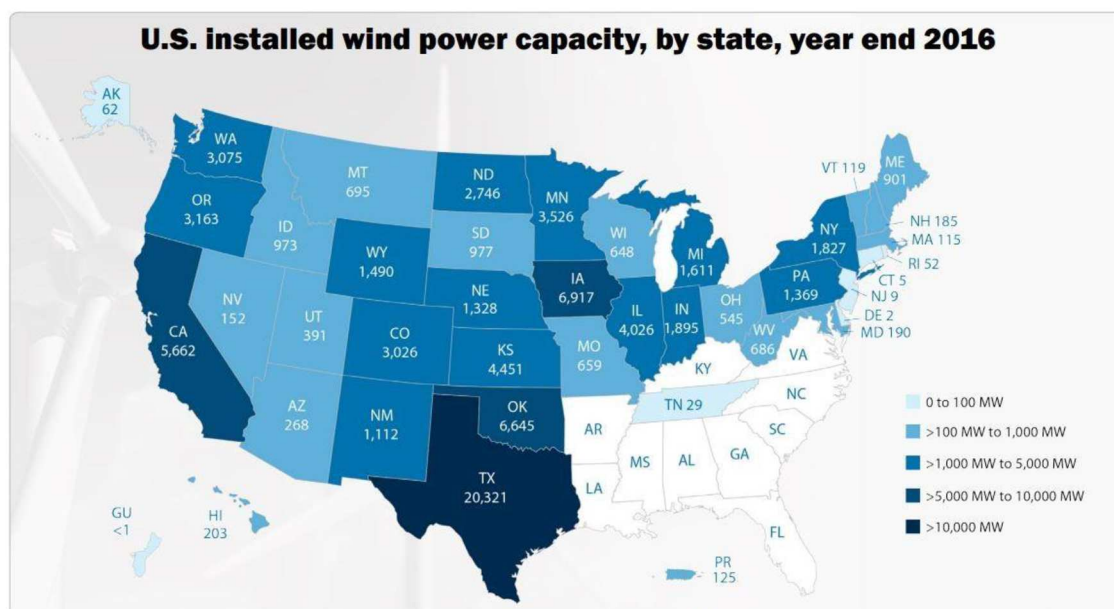
Flera bolag som bidragit med information till studien har sagt sig vilja stärka sin position på den svenska marknaden innan de aktivt bearbetar den norska marknaden. En del har förklarat detta med att Sverige är deras hemmamarknad och att de helt enkelt måste vara starka på den innan det finns rationalitet i att söka sig utomlands. Andra har menat att marknaden är geografiskt utmanande då vindkraftsparkerna ofta ligger otillgängligt, vilket gör steget större för drift och underhållsföretag som vill ta sig in på marknaden. Det blir också svårare att nå synergier när restiden mellan olika parker blir lång.

En likhet mellan USA och Norge är att båda länderna har en betydande offshoreindustri, vilket skulle kunna leda till kompetensöverföring till vindkraftsmarknaden, i synnerhet vad gäller säkerhetsfrågor. Någon av respondenterna menar att denna kompetens, tillgänglig från olje- och gasindustrin, sannolikt leder till att många aktörer kommer att vilja sköta drift och underhåll i egen regi.

På den norska marknaden finns ett antal professionella aktörer som har varit aktiva relativt länge på marknaden. I vissa fall arbetar de med att utveckla projekt i syfte att bygga, äga och driva parkerna i egen regi, men ofta arbetar de med att utveckla projekten för att sedan sälja dem och i varierande grad behålla arbetsuppgifter kopplade till drift och övervakning, vilket således påminner om hur den svenska marknaden är uppbyggd.

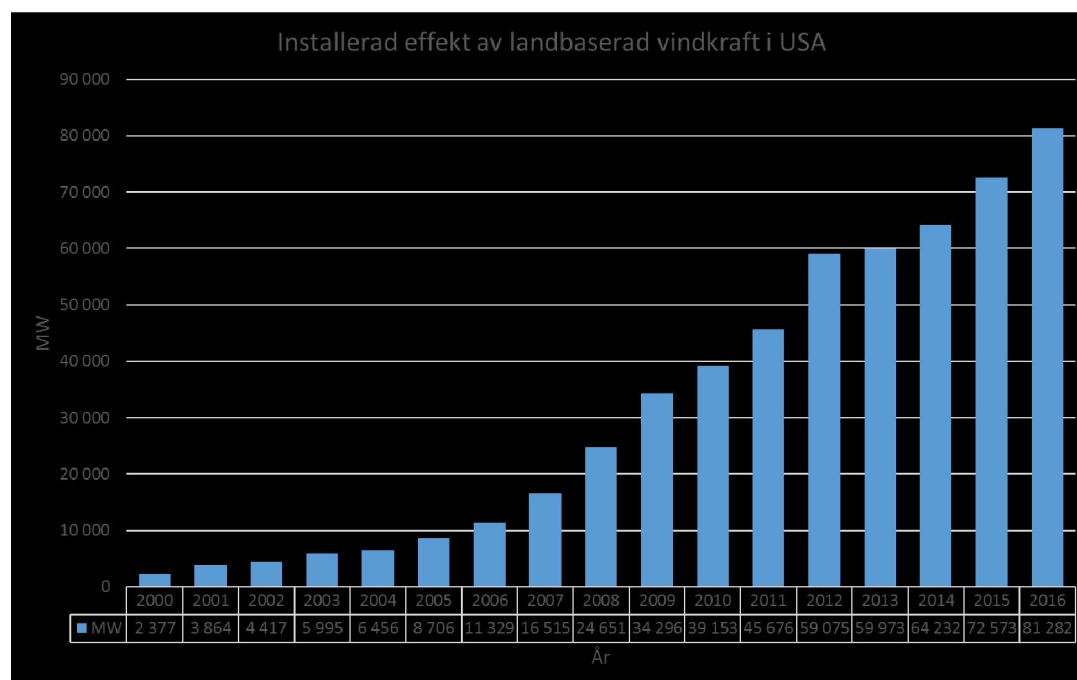
7.4 USA

USA är ett av de länder som startade tidigt med vindkraft. Från 1980-talet och framåt har det installerats kommersiella vindkraftverk och landet har under hela den moderna vindkraftens utveckling alltid funnits med bland toppnationerna i sammanställningar av installerad effekt. Den installerade effekten, som i slutet av 2016 var 82 163 MW⁶³, är emellertid långt ifrån jämnt fördelad över landet, vilket illustreras i Figur 12.



Figur 12. Fördelning av installerad effekt per stat i USA. (AWEA, 2016).

Figur 13 visas den installerade effekten av landbaserad vindkraft i USA 2000 till 2016.



Figur 13. Installerad effekt av landbaserad vindkraft i USA. (International Renewable Energy Agency (IRENA)).

⁶³ AWEA (2017a).

Till stor del beror utvecklingen på de policys och incitament som finns på både federal och statlig nivå för att öka andelen förnybar energi. Viktigast för utvecklingen på senare år har varit skattelättnader för vindkraftsproduktion (i.e. PTC – Production Tax Credit) och successivt ökade skattefördelar.

Ofta har anläggningarna i USA varit stora även om storleken på de individuella maskinerna inte alltid varit det. De stora anläggningarna gjorde det naturligt i många fall för turbinleverantören att etablera en servicestation i anslutning till parken/parkerna. De som investerade var ofta mycket stora energibolag och det fanns därför sedan tidigare en vana hos ägarna från såväl förvaltning som från underhåll och felavhjälpning. I takt med att anläggningarna blivit äldre har anställda flyttat från turbinleverantören till vindkraftsägaren eller en tredjepartsleverantör av drift- och underhållstjänster.⁶⁴ Denna utveckling liknar således den som observerats på de europeiska marknaderna. Något som framkommit som en aspekt där USA skiljer sig från Europa är att de stora finansiella investerarna ofta har en förvaltningsfunktion, d.v.s. anställda med teknisk kompetens, vilket således skiljer sig från det svenska normalfallet.

Baserat på rapporter på området som genomgått i föreliggande projekt är det ont om detaljerad information om drift- och underhållskostnader för USA-marknaden. Det finns dock gott om äldre vindkraftverk som kräver allt mer fokus på drift och underhåll. Majoriteten av anläggningarna har en ålder på minst fem år. På grund av detta kommer kostnaderna för drift och underhåll att öka i framtiden, vilket gör att anläggningsägarna kommer att fokusera mer på driftoptimering och att få ner kostnaderna. De ökade kostnaderna gör också att marknaden för drift- och underhållstjänster har ökat och kommer att öka med nya aktörer som etablerar sig på marknaden.

Den snabba utvecklingen mot anläggningar med högre effekt, liksom den stora flottan av äldre verk, medför att ägare till mindre och äldre kraftverksparkar också tenderar att ersätta äldre turbiner med nya (repowering). Det ser allt mer ut som att USA kommer att bli den stora marknaden för repowering. I jämförelse med exempelvis Tyskland, som också har en äldre vindkraftspark, finns förväntningar på att USA kommer att bli ledande i att ersätta äldre anläggningar. Strategin att ersätta gamla verk har till stor del sitt ursprung i viljan att behålla skattelättnader (PTC – Production Tax Credit). Villkoret för detta är att anläggningsägare har till slutet av 2019 på sig att ersätta gamla verk för att erhålla ytterligare 10 år med skattelättnader.

Det finns således två starka argument för att ersätta äldre anläggningar; dels snabbt ökade underhållskostnader under drifttiden, dels att uppfylla villkoren i PTC. Rent affärsmässigt betyder detta att det kommer att finnas fler möjligheter för tillverkare som kan erbjuda repowering, och de vindkraftsföretag som etablerar sig på den amerikanska marknaden tenderar att erbjuda tjänster längs hela värdekedjan.

7.5 Slutsatser

Att de danska och tyska vindkraftmarknaderna är mer mogna än den svenska avseende drift- och underhåll står tämligen klart. Ett större utbud av tredjepartsleverantörer och nischade aktörer som konkurrerar med turbintillverkarna bidrar till en starkare prispress. I någon mån kan det förklaras genom marknadens storlek men viktigt är också marknadens ålder.⁶⁵ Danmark och norra Tyskland har

⁶⁴ AWEA (2017b)

⁶⁵ Wind Energy Update (2017).

täta näringslivsband vilket sannolikt också bidragit till att dessa två länder kommit långt inom utvecklingen av drift och underhåll inom vindkraft.

Utvecklingen som kan skönjas i Sverige med fler aktörer inom drift- och underhåll, både i rollen som förvaltare och som utförare eller som specialiserad underleverantör går i riktning mot var de danska och tyska marknaderna befinner sig. Norge i sin tur befinner sig några steg efter Sverige i den utvecklingen. Förvisso har tredjepartsleverantörer sagt sig ha strategin att etablera sig på den norska marknaden, men det är ännu få som aktivt verkar bearbeta marknaden.

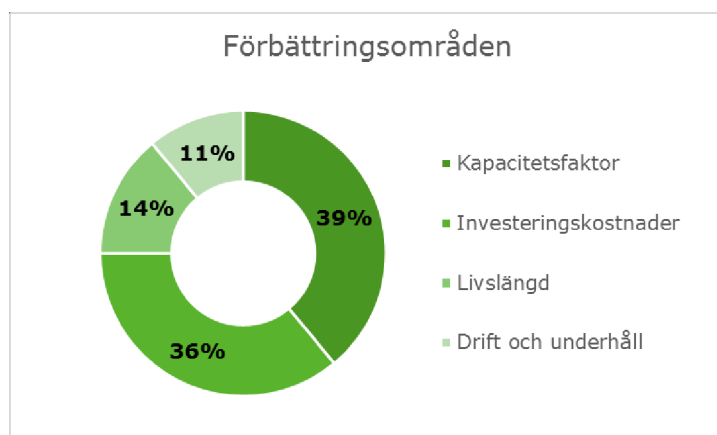
Affärsmodellerna upplevs som relativt lika. En viktig bakomliggande orsak till det är att turbintillverkarna genom sina serviceprogram styr vad som ska göras i det planerade underhållet. Dock är det emellertid så att det på de tyska och danska marknaderna finns kraft i storleken, tätare koncentrationer av vindkraftverk och längre historik med fler nischade och/eller geografiskt begränsade aktörer. Den norska marknaden har nästan uteslutande turbinleverantörerna som utförare av drift och underhåll på turbinerna men en större variation finns i rollen som förvaltare. Förvaltningstjänster är inte lika självklara på den danska marknaden där vindkraftsparkerna är mindre.

8 Teknisk och organisatorisk framåtblick

8.1 Inledning

Utvecklingen inom vindkraft har gått stadigt framåt genom åren, inte minst inom drift och underhåll. Kostnaderna för drift och underhåll påverkas av ett stort antal faktorer inom hårdvara och mjukvara samt påverkas mycket av den strategi som tillämpas. Det kan vara aspekter såsom optimering av vindkraftsparker, ökad tillförlitlighet, miljöhänsyn och verkningsgrad.⁶⁶ Till skillnad från produktionsanläggningar för de flesta andra kraftslag är vindkraftverk speciellt utsatta för väderförhållanden som dels kan variera mycket, dels vara mycket hårda. Det kan vara allt från svaga till mycket starka vindar, extrem värme, blixtnedslag, arktisk kyla, hagel och snö. Beroende på dessa extrema väderförhållanden utsätts vindkraftverk inte sällan för stora variationer i produktion och snabbt förändrade driftförhållanden. Detta leder till stora påfrestningar på såväl mekaniska delar som material. En tydlig trend inom vindkraften som ökar vindkraftverkens exponering är den att uppföra större vindkraftverk i avlägsna områden. Detta gäller inte minst på land där man vill tillgodogöra sig bra vindresurser samtidigt som det görs så litet ingrepp i boendemiljön som möjligt.⁶⁷

Drift- och underhållskostnader för landbaserad vindkraft är betydande och står för ca 20–35% av livscykelkostnaderna. Det pågår ett ständigt strävande för att uppnå ytterligare kostnadssänkningar och därmed bättre avkastning på investeringen. I och med det är det viktigt att vidga fokus från investeringskostnaderna för anläggningstillgångar och till större del även ta hänsyn till drift och underhåll över hela livscykeln. Korrekta val vad gäller underhållsstrategier och deras optimala implementering har potential att bli mycket viktiga faktorer för att sänka dessa kostnader.⁶⁸ I samband med allt större installationer ökar även risken för fel och för problem som uppkommer efter tillverkarens garantiperiod. Därmed blir kostnaden för och betydelsen av drift- och underhåll större allt eftersom det går längre tid från driftsättning. I och med att en stor andel av de landbaserade vindkraftverken i Europa varit i drift mindre än 10 år, dvs ungefär halva den förväntade livslängden, är detta något som får allt större betydelse för vart år.⁶⁹



Figur 14. Relativ betydelse av olika förbättringsområden. (Wiser, o.a., 2016).

⁶⁶ Vattenfall (2016).

⁶⁷ Tchakoua, o.a. (2014).

⁶⁸ Fischer & Coronado (2015).

⁶⁹ Clean Energy Pipeline (2018).

Det handlar inte nödvändigtvis om att flytta fokus från ett område till ett annat utan snarare att vidga fokus för att bättre förstå och hantera hur olika områden interagerar med varandra. I en studie från 2016 tillfrågades 163 experter inom vindkraft om deras syn på framtida kostnader och möjligheter för tekniska framsteg inom vindkraft. Resultaten visar på såväl avsevärda möjligheter till kostnadsreduceringar som stora osäkerheter. I medianscenariot uppskattades möjligheterna för lägre kostnader för landbaserad vindkraft till ca. 10–30% fram till 2030 och 20–40% fram till 2050. Resultaten illustrerar visserligen att det finns stor potential, men det stora spannet på uppskattade framtida kostnader visar att det även bland experter inom området finns osäkerhet och skilda åsikter vad gäller storlek och timing. Att uppskattning av framtida kostnadsutveckling inom vindkraft är mycket svårt understryks också av att andra studier som haft som mål att uppskatta effektivisering inom landbaserad vindkraft också har visat en mycket stor spännvidd. Allt ifrån 33% kostnadsreducering för varje fördubbling av elproduktion till 11% kostnadsökning för varje fördubbling.^{70, 71}

I sammanställningen av expertutlåtandena i den först nämnda studien uppskattas att kapacitetsfaktor och livslängd båda kommer kunna öka med 10% fram till 2030. Investeringskostnader samt drift- och underhåll uppskattas i sin tur kunna minska med 12% respektive 9%. Den relativa betydelsen av dessa visas i Figur 14. De fyra viktigaste områdena för att uppnå dessa kostnadsminskningar ansågs vara rotorstorlek, rotordesign, högre torn samt tålighet och pålitlighet hos enskilda komponenter.⁷²

Andra områden för förbättring, utöver dessa fyra, har lyfts fram av andra forskare. I en studie från 2012 identifieras sju olika områden tillsammans med möjliga effekter som kan uppnås inom områdena.⁷³ Dessa visas i Tabell 10. I det följande tittas närmare på möjlig utveckling inom olika områden uppdelat på hårdvara, mjukvara och arbetsmetoder/strategier.

Tabell 10. Möjliga källor till kostnadsreduktioner inom vindkraft. (Lantz, Hand, & Wiser, 2012).

Område	Möjliga förändringar	Förväntad effekt
Drivlina	Ny design, lägre belastning genom bättre kontrollfunktioner och övervakningssystem.	Bättre tillförlitlighet och lägre kostnader.
Tillverkning	Större volymer, automatisering, tillverkning på site.	Skalekonomier, lägre transportkostnader, färre avvikelser
Strategi för drift- och underhåll	Bättre övervakningssystem och -teknologi	Realtidsövervakning, bättre tillgänglighet, effektivare planering
Kraftkonvertering	Bättre frekvens- och spänningskontroll	Bättre tillförlitlighet
Vindresursbedömning	Teknik för realtidsbedömning monterad på turbinen (LIDAR) kopplade till nya kontrollsystem	Bättre utnyttjande av vindresursen och mindre slitage på komponenter. Bättre produktion.
Rotorkoncept	Större rotor och nya lättviktsmaterial.	Infångande av mer energi med större tillförlitlighet och lägre vikt.
Tornkoncept	Högre torn genom ny design och nya material	Lägre kostnader för att komma åt starkare och mindre turbulenta vindar på högre höjd.

⁷⁰ Wiser, o.a. (2016).

⁷¹ Lantz, Hand, & Wiser (2012).

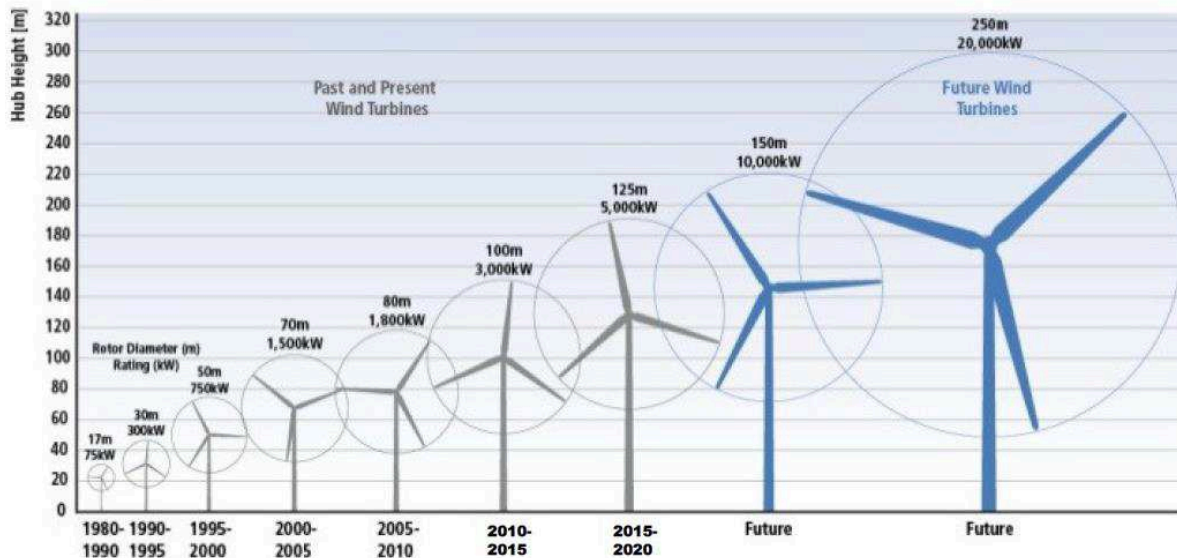
⁷² Wiser, o.a. (2016).

⁷³ Lantz, Hand, & Wiser (2012).

8.1 Hårdvara

8.1.1 Turbinteknik

Vindkraftverk har ökat avsevärt i både kapacitet och fysisk storlek över tid, vilket bland annat illustreras i Figur 15. Från 2007 till 2015 ökade till exempel den genomsnittliga höjden på tornen i Tyskland från ca. 90 till över 120 meter, dvs med ungefär 33%.



Figur 15. Utveckling över tid för storlek på landbaserad vindkraft. (Energimyndigheten, 2016a).

Parallellt med tornen har turbinerna också kontinuerligt växt i storlek vilket lett till skalekonomier vad gäller själva turbinen, kompletterande utrustning (balance of plant) och drift- och underhåll.⁷⁴ I nuläget är den vanligaste turbinstorleken för landbaserad vindkraft ca. 3,5 MW, men de största installerade som tagits i drift ligger på 7,5 MW.⁷⁵ För havsbaserad vindkraft är dimensionerna större. I mars 2018 tillkännagav GE lanseringen av en ny turbin för offshore tillämpningar. GE:s Haliade-X har en effekt på 12 MW och första installationerna väntas 2021. Som högst kommer den nå 260 meter över havet.⁷⁶ Det är avsevärt högre än dagens högsta landbaserade vindkraftverk, men inget som anses vara omöjligt.

Det finns naturligtvis en borte gräns för hur stora vindkraftverk kan bli, men var den gränsen befinner sig är i dagsläget inte klart. Förutom fysiska gränser kan faktorer som begränsningar inom transport, mer komplicerad installation och svårare miljöer på grund av ny lokalisering vara begränsande för landbaserad vindkraft. Det anses dock finnas avsevärt utrymme för utveckling. I en studie vid namn *Upwind* genomförd 2011 fastslås att åtminstone en turbin på 20 MW är möjlig. Målet med studien var inte att identifiera en optimal turbinstorlek utan att fastställa vilka begränsningar som finns i samband med en ökning i turbinstorlek upp till ca. 20 MW effekt och 250 m rotordiameter. Slutsatsen var att det inte föreligger några oöverkomliga problem vid ökning till sådan storlek förutsatt att några nyckellösningar utvecklas och implementeras. Dessa lösningar innebär naturligtvis ytterligare kostnader och relationen mellan kostnad och vinst beror på ett stort antal parametrar. Bland annat

⁷⁴ Lantz, Roberts, & Dykes (2017).

⁷⁵ WindPower Monthly (2017).

⁷⁶ General Electric (2018).

formulerades ett förhållande mellan massa och hållfasthet för framtida stora blad för att det ska vara möjligt att uppnå samma belastningsnivåer som hos den nuvarande generationen turbiner.⁷⁷

Vad gäller pålitlighet så är drivlinan en av de viktigaste komponenterna. I nuläget innebär den vanligaste konstruktionen en integrerad seriell konstruktion där de enskilda delarna, till exempel rotoraxel, huvudlager, växellåda och generator är så nära varandra som möjligt för att uppnå lägst möjliga massa. Erfarenheter visar dock att denna konstruktion kan resultera i många olika typer av fel, framförallt i växellådan.⁷⁸

8.1.2 Blad och rotor

Utvecklingen har gått fort och kommit långt sedan de första vindkraftverken byggdes. Jämfört med 70-talet är bladen ungefär 16 gånger större.⁷⁹ I dagsläget är de längsta bladen på landbaserade vindkraftverk nästan 80 meter långa.⁸⁰ De material som dominerar idag är glasfiberarmerad polyester samt epoxi och ju större bladen blir desto mer komplicerade blir de att tillverka i ett enda stycke. Ett material som även förekommer är trä-epoxi. Eftersom rotorbladen är tekniskt komplicerade och utsätts för mycket och stora påfrestningar kan de även råka ut för ett antal olika fel, varav de vanligaste är:⁸¹

- Tillverkningsfel (ojämnheter i ytbeläggning och/eller fel i laminering)
- Dåliga fogar
- Separerande laminering och/eller hålrum
- Skador på ledande kant
- Fläkning i bakre kant
- Brännskador och sprickor från blixtnedslag

I och med detta är rotorbladen ett naturligt område för forskning och vidareutveckling. Aspekter som aktivt utvecklas är bland annat material och bladdesign. Inom material söker man ständigt nya alternativ och lösningar för att öka tillförlitlighet och säkerhet. När rotorbladen är monterade ökar påfrestningen på såväl bladen som rotern och övriga strukturer – både vid drift och vid stillastående. Alternativa material såsom kolfiber är visserligen dyrare än glasfiberarmerad plast men reduktionen i vikt skulle kunna kompensera för detta.⁸² Blad av kolfiber är dock i större grad beroende på bra åskledare.

Inom design sökes bland annat optimering inom aerodynamiska egenskaper. Men i och med att storleken på blad kommer öka i takt med turbin och torn blir även transportfrågan viktig. En möjlighet att hantera detta och reducera transportkostnaderna är att tillverka blad som består av mer än en sektion. Bladen blir då tillverkade i två eller fler delar vilka sammanfogas på platsen för vindkraftsparken. Det kommer naturligtvis bli mycket viktigt att kunna övervaka hur fogen i ett sådant blad beter sig, för analys och underhåll, vilket kommer kräva ett antal sensorer med tillhörande system för utvärdering. Ytterligare en möjlighet som kan bli aktuell med blad i flera sektioner är att varje sektion skulle kunna justeras separat för att uppnå bästa möjliga profil i en given situation för att

⁷⁷ Fichaux, o.a. (2011).

⁷⁸ Ibid.

⁷⁹ Vattenfall (2016).

⁸⁰ Pomerantz (2017).

⁸¹ Fischer & Coronado (2015).

⁸² Sehlber (2013).

minska belastningen på bladen. En sådan funktion med styrsystem skulle i sin tur kunna kombineras LIDAR monterat i nacellen. Det skulle ge möjligheter att visualisera inkommande vindstötter och parera dem genom att justera bladen. En annan viktig applikation för LIDAR kan vara för mätning av referensvindhastigheter i samband med ström- och lastcertifiering.⁸³

8.1.3 Torn

I och med att turbiner blir större och bladen längre ökar även tornen i storlek och höjd. Ytterligare ett skäl är strävandet efter att nå upp till högre nivåer i atmosfären där vinden normalt sett är både kraftigare och jämnare. Även inom torn pågår det en hel del forskning för att identifiera framtidens lösningar. Några möjliga utvecklingsområden presenteras i Tabell 11.

Tabell 11. Alternativa tekniker för konstruktion av torn till vindkraftverk. (Lantz, Roberts, & Dykes, 2017).

Teknik	Fördel	Nackdel
Betongtorn gjutna på plats	Enklare transporter	Stor åtgång av material, kostnader för arbete och kranar, stor tidsåtgång
Fabriksgjutna hybridtorn av stål och betong	Enklare transporter	Känsligare för transportavstånd, materialåtgång, stor tidsåtgång
Ståltorn med stor diameter	Enklare transporter, mindre arbetskraft jämfört med andra koncept för höga torn, lägre underhålls krav	Mer arbetskraft och underhåll jämfört med traditionella ståltorn.
Fackverkstorn	Mycket lägre materialåtgång	Mer arbetskraft, beklädnad/täckning, stor tidsåtgång
Spiralsvetsade torn	Lägre massa	Kommer möjligen inte övervinna utmaningar inom transport
Torn av trä	Lägre vikt och billigt material	Uppnå tillräcklig styrka och hållbarhet för höga konstruktioner.

Några av de områden som främst är under utveckling är olika typer av kombinationer av tekniker, såsom olika former på stålsegmenten och kombination av betong och stål. En av anledningarna är att vägtransporter av traditionella rörformade stålsegment är begränsade till diametrar på ungefär 4,2–4,3 meter. För vindkraftverk med torn över 100 meter är det dock önskvärt med större diameter för

⁸³ Fichaux, o.a. (2011).

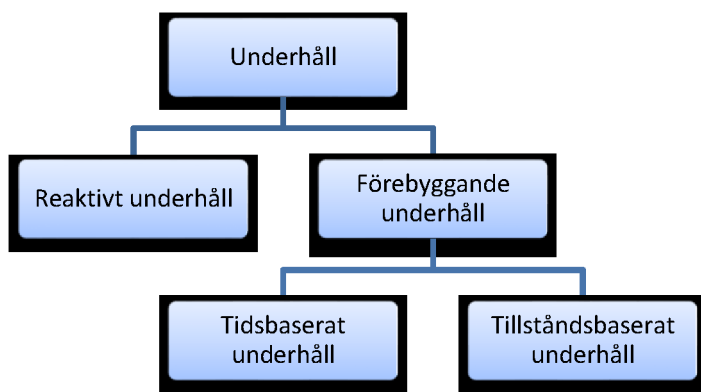
att kunna uppnå samma hållfasthet utan att öka tjockleken på stålet. Ett alternativ är att tillverka varje sektion i flera delar som sedan fogas samman till ett rörformat element på vindkraftsparken för att sedan monteras ihop med övriga sektioner. De avslutande sektionerna består av konventionella rörformade sektioner av konventionell typ. Flera turbiner i intervallet 4–4,5 MW erbjuds till exempel med denna typ av torn med en höjd på upp till 166 meter.⁸⁴

Även kombinationer av betong och stål, inte minst versioner med nedre sektioner av betong och övre sektioner av konventionella rörformade sektioner, förekommer och kommer utvecklas vidare. En ny typ av applikation är att inkorporera en vattenreservoar i betongsektionen. I och med det kan vindkraftverket agera även som ett vattenpumpkraftverk.⁸⁵ Slutligen pågår även utveckling av torn av trä på olika håll. Bland annat pågår långt framskriden forskning i Sverige, där ett företag, med stöd från Energimyndigheten, utvecklar ett modulbaserat torn tillverkat av en typ av plywood. En 30 meter hög prototyp förväntas vara färdig våren 2019 och ett torn på 150 m planeras till 2020.⁸⁶

8.2 Mjukvara

8.2.1 Övervakningssystem

Närmare 99 % av de fel som uppstår på ett vindkraftverk föregås av någon typ av indikation om att något är på väg.⁸⁷ Det finns alltså mycket att vinna på en effektiv underhållsstrategi. Underhåll inom vindkraft kan delas upp i två grundläggande strategier, reaktiv och förebyggande. En reaktiv strategi innebär att vänta till ett fel uppstår och då reparera. Förebyggande underhåll baseras däremot på antingen förutbestämt underhåll vid specifika tidpunkter (tidsbaserat underhåll), på information som samlas in och analyseras (tillståndsbaserat underhåll), eller på en kombination av dessa. Utvecklingen i stort har gått från att domineras av reaktivt och tidsbaserat underhåll till att mer och mer införliva tillståndsbaserat underhåll. Figur 16 visar en illustration över olika underhållsstrategier.



Figur 16. Illustration över underhållsstrategier.

I och med ökat fokus på tillståndsbaserat underhåll har som en naturlig följd tillståndsovervakning (Condition Monitoring, CM) blivit allt viktigare. I grunden innebär det att identifiera förändringar som kan indikera ett begynnande fel hos komponenter. Tillståndsovervakning kan vidare delas upp i "offline" och "online". Den första varianten utförs genom fysiska inspektioner, mätningar eller

⁸⁴ De Vries (2017).

⁸⁵ Weaver (2017).

⁸⁶ Hirthenstein (2017).

⁸⁷ Fischer & Coronado (2015).

analyser, medan den andra utgår från permanent installerade övervakningsinstrument. Slutligen kan en uppdelning göras mellan övervakning av stationära komponenter och rörliga komponenter. Den första kallas för "Structural Health Monitoring" (SHM) och omfattar till exempel torn och blad. System för att övervaka rörliga komponenter, såsom drivlinan och växellådan, benämns i sin tur "Condition Monitoring Systems" (CMS), dvs. tillståndsovervakningssystem.⁸⁸ Ofta avses dock båda typer av övervakning när uttrycket CMS används som begrepp.

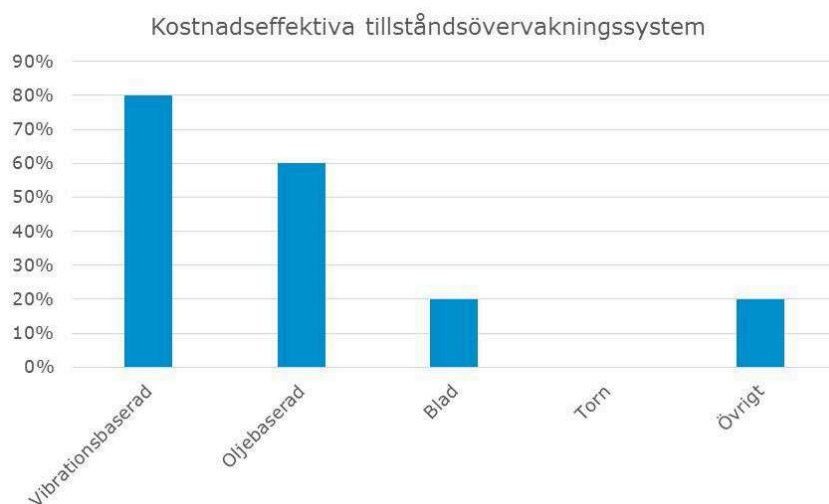
Tilltron till och det uppfattade värdet av tillståndsovervakningssystem inom vindkraft har varierat över tid. Det beror till stor del på att den optimala lösningen från ett kostnadsmässigt perspektiv ofta beror på ett stort antal faktorer. I dagsläget är dock så gott som alla vindkraftverk som uppförs utrustade med olika övervakningssystem. Trenden mot större vindkraftverk innebär också högre värde på tillgångarna, större risk för avbrott och större förluster vid avbrott. Dessutom leder trenden mot installationer i mer svåråtkomliga områden till högre reparationskostnader och längre tid för att ta sig till vindkraftsparken när det behövs. Alla dessa faktorer bidrar till att öka fördelarna med att använda tillståndsovervakningssystem och att i större utsträckning planera underhållet utifrån dessa. För projektutvecklare och ansvariga för drift och underhåll kan det dock vara en komplex och svår uppgift att välja de rätta alternativen bland alla tillgängliga system. Målet är att finna den mest kostnadseffektiva lösningen för en viss kombination av plats (vindresurs och tillgänglighet) samt storlek på och tillförlitlighet av vindkraftverket. För att vara lönsamt måste besparingarna från ett system, eller kombination av system, överstiga kostnaderna för både installering och löpande övervakningstjänster.⁸⁹

Dagens kommersiellt tillgängliga tillståndsovervakningssystem är framförallt vibrationsbaserade och övervakar roterande komponenter såsom huvudlager, växellåda och generatorlager samt rörelser i själva tornet. Utöver vibrationsbaserade tillståndsovervakningssystem för drivlinan finns kompletterande system, främst för att analysera antalet partiklar i växellådsoljan. Här kan skiljas mellan två fokusområden. Dels kvaliteten på själva oljan och filtersystemets effektivitet, dels mängd och storlek på partiklar som uppstår vid slitage i växellådan. Båda är värdefulla för att indikera begynnande fel. Till sist finns det relativt nya system för tillståndsovervakning av blad och stödstrukturer. Övervakningssystem för elkomponenter såsom frekvensomvandlare och system för övervakning av justering av bladen är ännu i ett mycket tidigt skede.⁹⁰ Dominansen av vibrationsbaserade och oljebaserade system är också tydlig när vindkraftsoperatörer tillfrågas vilka de anser mest kostnadseffektiva. Figur 17 visar resultaten av en sådan undersökning som genomfördes 2015.

⁸⁸ Fischer & Coronado (2015).

⁸⁹ Ibid.

⁹⁰ Fischer & Coronado (2015).



Figur 17. Kostnadseffektiva tillståndövervakningssystem enligt sex vindkraftsoperatörer. (Fischer & Coronado, 2015)

Fokus på ett begränsat antal inriktningar kan bero på dels att dessa täcker en stor del av de vanligaste och allvarligaste fel som kan uppstå, dels att det är svårt och dyrt att effektivt utveckla och implementera andra system. I en studie som täckte över 1 500 vindkraftverk över 15 år visade det sig att fem komponenter stod för 67% av alla fel: elsystem, kontrollsystem, hydraulik, sensorer och blad.⁹¹ Det är en av förklaringarna till det ökande intresset för tillståndövervakningssystem även inom andra områden, inte minst för övervakning av blad. Mycket av utvecklingen kommer ske med havsbaserad vindkraft som drivkraft. Vindkraftverk ute till havs är relativt sett mycket dyrare att underhålla och reparera än landbaserade vilket innebär att även dyra system som upptäcker ovanliga fel blir lönsamma i längden. Därför efterfrågas och installeras många typer av system till havs. När tekniken förfinats och priserna minskat blir de aktuella även för landbaserad vindkraft.

8.2.2 Vägen framåt

Vad kan då förväntas framöver inom övervakning? En viss vägledning kan fås från de sex vindkraftsoperatörerna som tillfrågades om vilka tillståndövervakningssystem de ansåg mest kostnadseffektiva. De ombads även lyfta fram de främsta tillkortakommandena och utmaningarna inom tillståndövervakning. Följande punkter framkom:⁹²

- Kontakt mellan turbintillverkare, operatör, och systemleverantör
- Implementering av tillståndövervakning i underhållsstrategierna
- Funktionella tillståndövervakningssystem integrerat med SCADA
- Övervakning av återstående livstid av komponenter med beaktande av framtida vindförhållanden
- Funktionell övervakning av blad
- Övervakning av tornens strukturella integritet
- Avancerad dataanalys

Dessa önskemål speglas också av att det skett avsevärd utveckling inom förutseende underhåll, dataanalys, förlängning av drifttid och optimering de senaste åren.

⁹¹ Tchakoua, o.a. (2014).

⁹² Fischer & Coronado (2015).

Utvecklingen går mot vad som kan kallas intelligent drift där tillståndsovervakningssystem blir allt mer självständiga. Sådana system kan skötas av utbildad personal men skulle inte kräva specialister för tolkning av resultat. Istället skulle övervakningssystemet kunna utföra denna analys vilket skulle medföra att antalet turbiner som en tekniker kan övervaka ökar avsevärt. Dessutom skulle möjligheten att integrera tillståndsovervakningssystemet med kontroll- och styrfunktioner vara fördelaktigt vad gäller såväl kostnad som teknik och kvalitet.⁹³

I nuläget är en av de stora utmaningarna den begränsade pålitligheten och detaljnivån hos både enskilda sensorer och kompletta övervakningssystem. Detta gäller framförallt oljebaserad övervakning och övervakning av blad, men även vissa vibrationsbaserade system för drivlinor och växellådor. Detta reflekteras i att för övervakningssystem som är certifierade så gäller certifieringen instrument, funktionalitet, diagnosmetod och dokumentation. En specifik nivå av identifiering av fel garanteras aldrig. (Fischer & Coronado, 2015)

8.2.3 SCADA-baserad tillståndsovervakning

Från vindkraftoperatörers perspektiv finns det ett klart intresse för metoder för tillståndsovervakning som är enklare och kräver mindre detaljerad turbin-specifik information för analys och diagnos än vad som krävs av de kommersiellt tillgängliga systemen. Därför ses det som mycket attraktivt med system som använder SCADA-signaler för tillståndsovervakning eftersom ett stort antal signaler som standard samlas in och mäts. Det är allt från temperaturvärden och tryckdata till vindhastighet- och riktning samt rotationshastighet och signaler från elsystemet, med mera. Däremot är mätningarna normalt baserade på 10 minuters genomsnittliga värden, vilket inte är tillräckligt detaljerat för att de ska kunna användas för tillståndsbaserad övervakning i sig själva. Realtidsdata med avsevärt större informationsinnehåll skulle å sin sida innebära stora möjligheter. Försök med att insamla SCADA-signaler med en upplösning på sekundnivå har gjorts och forskningen kommer onekligen att fortsätta inom detta område. Metoderna för användning av SCADA-data för tillståndsovervakning kan grupperas i tre kategorier.⁹⁴

Signaltrend

Signaltrend är det enklaste tillvägagångssättet. Metoden baseras på jämförelse av SCADA-signaler med motsvarande signaler från andra turbiner som arbetar under liknande förhållanden, t.ex. i samma vindkraftspark. Mätning kan även ske mot tidigare värden som uppmätts på samma turbin.

Artificiella Neurala Nätverk (ANN)

Denna metod har som mål att modellera normalt driftsbeteendet. Vanligtvis baseras detta på historiska data från perioder då alla komponenter fungerade korrekt. För denna modellering tillämpas neurala nätverk.

⁹³ Tchakoua, o.a. (2014).

⁹⁴ Wilkinson, o.a. (2014).

Fysiska modeller

Fysiska modeller har också som mål att modellera normalt driftsbeteendet. Till skillnad från artificiella neurala nätverk används dock regressionsmodeller som är baserade på de underliggande fysiska processerna.

Dessa ansatser kan bidra till att hantera vissa av dagens utmaningarna inom övervakning av vindkraftverk, såsom 1) att olika tekniker vid tillståndsovervakning och olika modeller för underenheter (t.ex. en modell för växellåda, en modell för lager, etc.) resulterar i många falska larm vilket gör övervakningen mycket komplex, 2) att det finns en modell för varje vindkraftverk vilket innebär att hanteringen av alla modeller blir mycket svår i stora vindkraftsparker, och 3) att för att fastställa gränser för larm ska data för varje vindkraftverk övervakas och lagras i flera månader vilket innebär en kostnad.⁹⁵

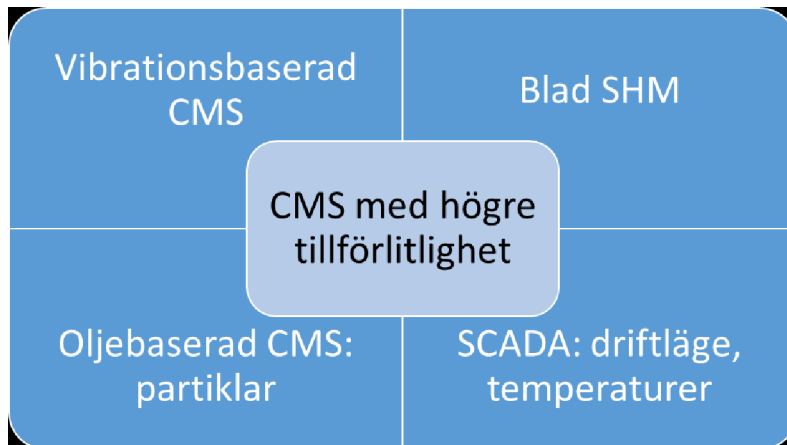
Som tidigare nämnts ökar betydelsen av och intresset för övervakning av fasta komponenter som torn och blad. Det är en logisk följd av att moderna turbiner är mycket större och dyrare än tidigare. Nya material och tyngre komponenter ställer helt nya krav vilket leder till att övervakning av fasta komponenter blir viktigare. Om exempelvis ett blad fallerar kan rotorn bli obalanserad vilket kan leda till att hela vindkraftverket förstörs. Vad gäller blad finns det möjlighet att till exempel bygga vidare på teknik och lösningar som används inom flygindustrin.⁹⁶ Det finns även ett antal tekniker för att övervaka torn och fundament, även om flera än så länge främst används i forskningssyfte, såsom påfrestningsmätare, optiska fibersensorer, vibration- och temperatursensorer, vinkelsensorer och förskjutningssensorer.

Möjligheten att på ett effektivt sätt kombinera informationen från flera källor för att uppnå ett bättre beslutsunderlag är något som eftersträvas. Sådan datafusion, då data från flera sensorer och möjligen olika övervakningstekniker kombineras, kan möjliggöra slutledningar som inte skulle vara möjliga baserat på endast en sensor eller teknik (se Figur 18). Varje övervakningsteknik har sina egna styrkor och begränsningar och olika övervakningstekniker avslöjar olika detaljer om den övervakade komponenten. Datafusion kan förbättra förmågan att identifiera fel i tidigare skede, förutsatt att styrkorna och begränsningarna hos de integrerade metoderna är kända. Ett exempel skulle kunna vara övervakning av växellådan. Informationen från traditionell vibrationsbaserad övervakning kan jämföras mot indikationer från ett system som räknar partiklar i oljan i växellådan och ytterligare förbättras med temperaturinformation från SCADA-systemet och eventuellt även vibrationsdata från systemet som övervakar bladen. Ett första steg kan vara att låta denna information kombineras och analyseras av en analytiker, men framtida övervakningssystem baserade på datafusion kommer sannolikt automatiskt kombinera och analysera informationen genom kvantitativa metoder för att tillhandahålla en analys med hög tillförlitlighet.⁹⁷

⁹⁵ Mazidi, o.a. (2017).

⁹⁶ Tchakoua, o.a. (2014).

⁹⁷ Fischer & Coronado (2015).



Figur 18. Kombination av olika strategier och metoder leder till tillståndsövervakning (CMS) med högre tillförlitlighet

8.3 Arbetsmetoder och strategier

8.3.1 Dominansen av OEM ökar

Den rådande normen i Europa för finansiella investerare, oberoende kraftproducenter och kraftbolag är att teckna fullserviceavtal med turbintillverkaren för underhåll av turbinerna och avtal om underhåll av andra komponenter med tredje part. En viktig anledning till detta är att turbintillverkarna har direkt tillgång till reservdelar, vilket innebär att reparationer och byten kan ske mycket snabbare än om en oberoende underhållsleverantör ska utföra det. Ytterligare ett hinder för tredjepartsleverantörer, utöver tillgången på reservdelar, är den ökande komplexiteten hos nya turbiner, vilket innebär att det krävs en högre nivå av teknisk expertis jämfört med tidigare för att underhålla turbiner. En möjlig konsekvens av detta kan bli att oberoende underhållsleverantörer behöver specialisera sig på specifika turbintillverkare, eller till och med turbinmodeller, för att vara framgångsrika. Vidare bidrar även ägarstrukturer och finansieringsmetoder till långa fullserviceavtal med turbintillverkare. I de fall det är en finansiell aktör som investerar i en vindkraftspark, eller en bank som finansierar, är det som regel ett krav att det finns ett flerårigt underhållsavtal med turbintillverkaren. I båda fallen är anledningen att det ses som den minst riskabla strategin. Dessa trender är naturligtvis något som tillverkarna använder till sin fördel. Längden på underhållsavtal blir längre i ambitionen att låsa in långsiktiga serviceintäkter.

8.3.2 Drift och underhåll hålls separat

De kunskaper som krävs för att effektivt driva och underhålla en vindkraftspark skiljer sig mycket åt. Därför är det standard att finansiella aktörer och oberoende kraftproducenter har olika leverantörer för drift respektive underhåll. För större kraftbolag kan det vara ett alternativ att ha en eller bägge funktionerna inom den egna organisationen. För ägare som inte har den möjligheten, eller kompetensen, är det även en klar fördel att separera ansvarsområdena för att säkerställa att de genomförs effektivt och med transparens.

8.3.3 Intern eller extern drift

Kraftbolag och stora oberoende kraftproducenter med stor erfarenhet av att driva vindkraftsparker kommer vanligtvis att hantera den tekniska, kommersiella och finansiella verksamheten internt medan de övervakar underhållsleverantörens arbete. Det gör det möjligt för ägarna att få en bättre förståelse för sina tillgångar och öka möjligheterna till effektiviseringar och kostnadsoptimering.

I den andra änden av skalan finns finansiella investerare och små oberoende kraftproducenter. Dessa saknar oftast kompetens och förmåga att driva vindkraftsparker. Sådana investerare kommer därför som regel att använda en extern tjänsteleverantör för driften. Investeringsstrategin för investerare och projektutvecklare påverkar också beslutet. Investerare som antingen har som avsikt att endast inneha en tillgång under en kortare period, eller som önskar ha flexibiliteten att avyttra en tillgång vid ett gynnsamt tillfälle, är mindre benägna att investera de resurser som krävs för att internt bygga upp den kompetens som krävs, om fördelarna endast kommer att ge avkastning under några år. För investerare som har som uttalad strategi att inneha en tillgång under lång tid och vara en aktiv ägare kan det däremot finnas ett mervärde i att hålla driften intern.

Referenser

AWEA (2017a). *U.S. Wind Industry Fourth Quarter 2016 Market Report*. American Wind Energy Association.

AWEA (2017b). *Wind brings jobs and economic development to all 50 states*. American Wind Energy Association.

Bangalore, P. (2016). *Load and Risk Based Maintenance Management of Wind Turbines*. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

Bertling Tjernberg, L., & Wennerhag, P. (2012). *Wind Turbine Operation and Maintenance: Survey of the Development and Research Needs*. Elforsk, Nr. 12:41.

Clean Energy Pipeline (2018). *Five new trends in onshore wind O&M*. Clean Energy Pipeline.

Danmarks Vindmølleforening (2002). *Fakta om Vindenergi - Faktablad Ø 7, Hvem ejer vindmøllerne?*. Danmarks Vindmølleforening.

Duncker, N., Klötzer, A. & Larsson, K. (2010). *Gone with the Wind: The economic impact of disruptions - A study of service and maintenance in the Swedish wind power market*. Jönköping Universitet.

Energimyndigheten (2012). *Svensk vindkraft och lokal tillväxt: en praktisk handbok baserad på erfarenheter från Havsnäs vindkraftspark*. Statens energimyndighet.

Energimyndigheten. (2016a). *Produktionskostnader för vindkraft i Sverige*. ER 2016:17. Statens energimyndighet.

Energimyndigheten (2016b). *Återbruk och återvinning av vindkraftverk: En förstudierapport om kommande generationer av vindkraft*. ET 2016:18. Statens energimyndighet.

Energimyndigheten (2016c). *Vägledning om nedmontering av vindkraftverk till land och till havs: Efterbehandling, ekonomisk säkerhet, lagstiftning, tillsyn och slutbesiktning*. ET 2016:11. Statens energimyndighet.

Energimyndigheten (2017). *Greenbyte*. [Online] <http://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/gron-tillvaxt/dessa-bolag-har-vi-stottat/greenbyte/> [Besökt 30 mars 2018.].

Energimyndigheten (2018). *Vägen till ett 100 procent förnybart elsystem - Delrapport 1: Framtidens elsystem och Sveriges förutsättningar*. ER 2018:16. Statens energimyndighet.

Esu, O. O., Lloyd, S. D., Flint, J. A. & Watson, S. J. (2016). *Feasibility of a fully autonomous wireless monitoring system for a wind turbine blade*. Renewable Energy Nr. 97.

Fichaux, N., Beurskens, J., Hjuler Jensen, P. & Wilkes, J. (2011) *Upwind. Design limits and solutions for very large wind turbines - A 20 MW turbine is feasible*. European Commission.

Fischer, K. (2012). *Maintenance Management of Wind Power Systems by means of Reliability-Centred Maintenance and Condition Monitoring Systems*. Slutrapport från projektet WindAM-RCM, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

Fischer, K. & Coronado, D. (2015). *Condition monitoring of wind turbines: State of the art, user experience and recommendations*. Bremerhaven: Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology IWES, 2015.

General Electric (2018). *GE announces Haliade-X, the world's most powerful offshore wind turbine*. [Online] <https://www.genewsroom.com/press-releases/ge-announces-haliade-x-worlds-most-powerful-offshore-wind-turbine-284260> [Besökt 30 mars 2018].

Göthberg, N. & Simonchik, A. (2014). *Customer Value for Business Model Innovation: Case of O&M Services in Swedish Wind Energy Industry*. Halmstad Universitet.

Hahn, B., Welte, T., Faulstich, S., Bangalore, P., Boussion, C., Harrison, K., Miguelanez-Martin, E., O'Connor, F., Pettersson, L., Soraghan, C., Stock-Williams, C., Dalsgaard Sørensen, J., van Bussel, G. &

Hirthenstein, A. (2017). *Swedish Startup Tilts Into Power With Wooden Windmills*. [Online] <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-10-23/swedish-startup-tilts-into-power-with-modular-wooden-windmills> [Besökt 2 april 2018].

IEA Wind Technology Collaboration Programme (2017). *Expert Group Study On Recommended Practices: 13. Wind Energy Projects In Cold Climates*. 2nd edition. International Energy Agency.

Igba, J., Alemzadeh, K., Anyanwu-Ebo, I., Gibbons, P. & Friis, J. (2013). *A Systems Approach towards Reliability-Centred Maintenance (RCM) of Wind Turbines*. Procedia Computer Science Nr. 16.

Igba, J., Alemzadeh, K., Durugbo, C. & Henningsen, K. (2014). *Through-life engineering services: a wind turbine perspective*. Procedia CIRP, Nr. 22.

IRENA (2017). *Renewable energy benefits: Leveraging local capacity for onshore wind*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Lantz, E., Hand, M. & Wiser, R. (2012). *The Past and Future Cost of Wind Energy*. Denver: World Renewable Energy Forum.

Lantz, E., Roberts, O. & Dykes, K. (2017). *Trends, Opportunities, and Challenges for Tall Wind Turbine and Tower Technologies*. Anaheim: Wind Energy Association's (AWEA) WINDPOWER 2017 Conference & Exhibition, NREL/PR-6A20-68732.

Liu, Z., Jia, L. & Pang, Y. (2017). *Wind Turbine Operation and Maintenance Video Supportive System Based on the Mobile Internet of Things*. Procedia Computer Science, Nr. 107.

Marsh, G. (2011). *Meeting the challenge of wind turbine blade repair*. Reinforced Plastics, Volym 55, nr. 4.

Mazidi, P., Du, M., Bertling Tjernberg, L., Sanz Bobi, M. A. (2017). *A health condition model for wind turbine monitoring through neural networks and proportional hazard models*. Journal of Risk and Reliability, 2017, Volym 1.

- Nilsson, J. & Bertling, L. (2007). *Maintenance Management of Wind Power Systems Using Condition Monitoring Systems – Life Cycle Cost Analysis for Two Case Studies*. IEEE Transactions on Energy Conversion, Volym 22, Nr. 1.
- Olauson, J., Bergqvist, M., Edström, P. & Carlstedt, N-E. (2017). *Wind Turbine Performance Decline in Sweden*. Energiforsk, nr. 2017:436.
- Ortegon, K., Nies, L. F. & Sutherland J. W. (2014). *The Impact of Maintenance and Technology Change on Remanufacturing as a Recovery Alternative for Used Wind Turbines*. Procedia CIRP, Nr. 15.
- Pomerantz, D. (2017). *Size Matters: The Next Big Thing In Wind Turbines*. [Online] <https://www.ge.com/reports/size-matters-next-big-thing-wind-turbines/> [Besökt 14 februari 2018]
- Puglia, G. (2013). *Life cycle cost analysis on wind turbines*. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- reNEWS (2018). *Greenbyte Predicts system failures*. [Online] <http://renews.biz/112205/greenbyte-predicts-system-failures/> [Besökt 19 september 2018]
- Ronsten, G. (2004). *Svenska erfarenheter av vindkraft i kallt klimat: nedisning, iskast och avisning*. Elforsk, Nr. 04:13.
- Sainz, J. A. & Sebastián, M. A. (2013). *Methodology for the Maintenance Centered on the Reliability on facilities of low accessibility*. Procedia Engineering, nr. 63.
- Sehlber, U. (2013). *Framtidens turbinblad: längre, lättare och starkare*. Vindkraftsnyheter. [Online] <http://www.vindkraftsnyheter.se/20161227/1125/framtidens-turbinblad-langre-lattare-och-starkare> [Besökt 20 januari 2018].
- Svensk Vindenergi (2018). *Statistics and forecast Q1 2018*. Svensk Vindenergi SWEA. [Online] <https://svenskvindenergi.org/wp-content/uploads/2018/04/Statistics-and-forecast-Svensk-Vindenergi-20180420.pdf> [Besökt 19 september 2018]
- Tchakoua, P., Wamkeue, R., Ouhrouche, M., Slaoui-Hasnaoui, F., Tameghe, T. A. & Ekemb, G. (2014). *Wind Turbine Condition Monitoring: State-of-the-Art Review, New Trends, and Future Challenges*. Energies 2014, 7, 2595-2630.
- The European Wind Energy Association (2009). *The Economics of Wind Energy: A report by the European Wind Energy Association*.
- Uppsala Universitet (2013). *Nedmontering av vindkraftverk och efterbehandling av platsen*. Uppsala Universitet.
- Vatn, J. (2017). *Recommended practices for wind farm data collection and reliability assessment for O&M optimization*. Energy Procedia Nr. 137.
- Vattenfall (2016). *Vindkraft i framtiden*. [Online] <https://corporate.vattenfall.se/om-energi/el-och-varmeproduktion/vindkraft/vindkraft-i-framtiden/> [Besökt 3 januari 2018]
- Viberg, E. & Rasouli, A. (2014). *Underhållet i en vindkraftpark: En utredning om behov och kostnad*. Kungliga Tekniska högskolan, Stockholm.

Vindforsk (2018). *Nya vindar för vindkraften: Vindforsk slutsyntes 2018*. Energiforsk. Tillgänglig online: <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/24711/nya-vindar-for-vindkraften-juni-2018.pdf>

Vindkraftcentrum (2018). *PM rekryteringsbehov av vindkrafttekniker 2018-2022*. Vindkraftcentrum.

Vishnu C.R. & Regikumar, V. (2016). *Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study*. Procedia Technology, Nr. 25.

de Vries, E. (2017). *WindTech: Mixing steel and concrete to go higher*. [Online]
<https://www.windpowermonthly.com/article/1448423/windtech-mixing-steel-concrete-go-higher>
[Besökt 10 april 2018].

Västra Götalandsregionen (2018). *Marknadsanalys av vindkraften i Sverige 2017*. Noden för näringslivs- och affärsutveckling inom Nätverket för vindbruk.

Walford, C.A. (2006). *Wind Turbine Reliability: Understanding and Minimizing Wind Turbine Operation and Maintenance Costs*. Sandia National Laboratories.

Weaver, J. F. (2017). *World's tallest wind turbine built*. [Online]
<https://electrek.co/2017/11/02/worlds-tallest-wind-turbine-built-in-germany/> [Besökt 18 mars 2018].

Weir, D. E. (2017). *Vindkraft - Produktion i 2016*. NVE.

Wilkinson, M., Darnell, B., van Delft, T. & Harman, K. (2014). *Comparison of methods for wind turbine condition monitoring with SCADA data*. IET Renewable Power Generation Volym 8 Nr. 4

Wind Energy Update. (2017). *The Wind energy operations & maintenance report 2017*. New Energy Update.

WindPower Monthly (2017). *Ten of the biggest turbines*. [Online]
<https://www.windpowermonthly.com/10-biggest-turbines> [Besökt 20 januari 2018].

Wiser, R., Jenni, K., Seel, J., Baker, E., Hand, M., Lantz, E. & Smith, A. (2016) *Expert elicitation survey on future wind energy costs*. Nature Energy 1(10):16135.

Bilaga 1

Tabell över arbetstillfällen i samband med repowering per kommun

I tabellen som presenteras på följande sidor finns dessa kolumner:

1. Kommun
2. Antal verk som nu är i drift i dessa kommuner (174 av Sveriges kommuner har vindkraft, i 79 av dessa kommuner finns färre än 10 vindkraftverk)
- 3 Installerad kapacitet (MW) per kommun
4. Hur många turbiner som skulle krävas för att uppnå samma antal MW som nuvarande installation med användning av 4,5 MW per turbin (beroende på höjd på nya verk, medelvind och andra produktionsfaktorer skulle sannolikt elproduktionen öka med nya verk och samma antal MW)
5. Antal MW som kan uppnås om man bygger lika många verk som nu är installerade på samma position
6. Utfall årsarbeten (demontering och nybyggnation) om man byter ut befintliga verk till samma antal på samma ort

Tabellen är baserad på befintlig vindkraft vid årsskiftet 2017–2018.

Följande antaganden har gjorts i beräkningen:

- För projektering, ny MKB, mm, krävs 50 % jämfört vid ren nybyggnation.
För markarbeten krävs ca 20 % jämfört med ren nybyggnation då mycket av infrastrukturen redan finns på plats.
- För el och optoarbeten krävs 50 % jämfört med ren nybyggnation. Sannolikt behöver interna elnät och apparatur uppgraderas.
- För torn och turbin krävs 150 % jämfört med ren nybyggnation. I detta ingår då demontering samt tillvaratagande av de komponenter som går till andrahandsmarknad samt det som går till återvinning.
- För transporter krävs 120 % jämfört med ren nybyggnation. Sannolikt skärs bland annat torndelar ned så att de kan transporteras med vanliga lastbilar utan väglotsar. Transporterna kan också antas bli kortare till de platser där materialet ska återvinnas.
- För Site Facility krävs 100 % jämfört med ren nybyggnation.
- För boendeservice krävs 100 % jämfört med ren nybyggnation.

1. Kommun	2. Antal verk	3.MW	MW/verk	4. Antal verk vid 4,5 MW/verk	5. Antal MW med samma antal verk och 4,5 MW/verk	6. Årsarbeten repowering, utbyte av alla torn & turbin på samma position	Årsarbeten vid nybyggnation samma antal verk på annan position, byggfas. (4,5 MW)	Årsarbeten vid samma antal verk, inhemska jobb driftsfas	Årsarbeten vid nybyggnation (4,5 MW) driftsfas inhemska jobb
0980 Gotland	128	172	1,3	38,2	576	1011,2	1270	47,9	14,3
2283 Sollefteå	111	341	3,1	75,8	499,5	876,9	1101	41,5	28,3
1381 Laholm	100	159	1,6	35,3	450	790	992	37,4	13,2
2101 Ockelbo	89	250	2,8	55,6	400,5	703,1	883	33,3	20,8
2284 Örnköldsvik	89	221	2,5	49,1	400,5	703,1	883	33,3	18,4
2313 Strömsund	85	186	2,2	41,3	382,5	671,5	843	31,8	15,5
1382 Falkenberg	83	173	2,1	38,4	373,5	655,7	823	31,0	14,4
2418 Malå	74	150	2,0	33,3	333	584,6	734	27,7	12,5
0885 Borgholm	71	132	1,9	29,3	319,5	560,9	704	26,6	11,0
0586 Mjölby	66	87	1,3	19,3	297	521,4	655	24,7	7,2
2581 Piteå	64	146	2,3	32,4	288	505,6	635	23,9	12,1
1290 Kristianstad	60	98	1,6	21,8	270	474	595	22,4	8,1
2421 Storuman	59	146	2,5	32,4	265,5	466,1	585	22,1	12,1
1470 Vara	58	91	1,6	20,2	261	458,2	575	21,7	7,6
1435 Tanum	57	100	1,8	22,2	256,5	450,3	565	21,3	8,3
0685 Vetlanda	56	145	2,6	32,2	252	442,4	556	20,9	12,1
2161 Ljusdal	55	175	3,2	38,9	247,5	434,5	546	20,6	14,5
1280 Malmö	52	114	2,2	25,3	234	410,8	516	19,4	9,5
2361 Härjedalen	51	127	2,5	28,2	229,5	402,9	506	19,1	10,6
2422 Sorsele	50	131	2,6	29,1	225	395	496	18,7	10,9
1285 Eslöv	47	60	1,3	13,3	211,5	371,3	466	17,6	5,0

1. Kommun	2. Antal verk	3.MW	MW/verk	4. Antal verk vid 4,5 MW/verk	5. Antal MW med samma antal verk och 4,5 MW/verk	6. Årsarbeten repowering, utbyte av alla torn & turbin på samma position	Årsarbeten vid nybyggnation samma antal verk på annan position, byggfas. (4,5 MW)	Årsarbeten vid samma antal verk, inhemska jobb driftsfas	Årsarbeten vid nybyggnation (4,5 MW) driftsfas inhemska jobb
2463 Åsele	44	85	1,9	18,9	198	347,6	436	16,5	7,1
2401 Nordmaling	42	95	2,3	21,1	189	331,8	417	15,7	7,9
1495 Skara	41	68	1,7	15,1	184,5	323,9	407	15,3	5,7
1499 Falköping	39	50	1,3	11,1	175,5	308,1	387	14,6	4,2
1461 Mellerud	38	56	1,5	12,4	171	300,2	377	14,2	4,7
2305 Bräcke	37	92	2,5	20,4	166,5	292,3	367	13,8	7,6
2326 Berg	35	99	2,8	22,0	157,5	276,5	347	13,1	8,2
0861 Mönsterås	34	88	2,6	19,6	153	268,6	337	12,7	7,3
0840 Mörbylånga	31	28	0,9	6,2	139,5	244,9	308	11,6	2,3
1286 Ystad	31	29	0,9	6,4	139,5	244,9	308	11,6	2,4
1287 Trelleborg	31	32	1,0	7,1	139,5	244,9	308	11,6	2,7
1494 Lidköping	31	34	1,1	7,6	139,5	244,9	308	11,6	2,8
2523 Gällivare	30	78	2,6	17,3	135	237	298	11,2	6,5
1471 Götene	29	36	1,2	8,0	130,5	229,1	288	10,8	3,0
1493 Mariestad	29	83	2,9	18,4	130,5	229,1	288	10,8	6,9
2518 Övertorneå	29	80	2,8	17,8	130,5	229,1	288	10,8	6,6
0583 Motala	27	39	1,4	8,7	121,5	213,3	268	10,1	3,2
1486 Strömstad	27	52	1,9	11,6	121,5	213,3	268	10,1	4,3
1497 Hjo	27	39	1,4	8,7	121,5	213,3	268	10,1	3,2
2062 Mora	27	62	2,3	13,8	121,5	213,3	268	10,1	5,2
0682 Nässjö	26	43	1,7	9,6	117	205,4	258	9,7	3,6
1430 Munkedal	26	56	2,2	12,4	117	205,4	258	9,7	4,7
1781 Kristinehamn	26	81	3,1	18,0	117	205,4	258	9,7	6,7

1. Kommun	2. Antal verk	3.MW	MW/verk	4. Antal verk vid 4,5 MW/verk	5. Antal MW med samma antal verk och 4,5 MW/verk	6. Årsarbeten repowering, utbyte av alla torn & turbin på samma position	Årsarbeten vid nybyggnation samma antal verk på annan position, byggfas. (4,5 MW)	Årsarbeten vid samma antal verk, inhemska jobb driftsfas	Årsarbeten vid nybyggnation (4,5 MW) driftsfas inhemska jobb
1214 Svalöv	25	30	1,2	6,7	112,5	197,5	248	9,4	2,5
1282 Landskrona	25	31	1,2	6,9	112,5	197,5	248	9,4	2,6
2404 Vindeln	24	79	3,3	17,6	108	189,6	238	9,0	6,6
0188 Norrtälje	22	58	2,6	12,9	99	173,8	218	8,2	4,8
0509 Ödeshög	22	17	0,8	3,8	99	173,8	218	8,2	1,4
0584 Vadstena	22	21	1,0	4,7	99	173,8	218	8,2	1,7
1083 Sölvesborg	22	26	1,2	5,8	99	173,8	218	8,2	2,2
1270 Tomelilla	22	29	1,3	6,4	99	173,8	218	8,2	2,4
1765 Årjäng	22	68	3,1	15,1	99	173,8	218	8,2	5,7
2309 Krokoms	22	43	2,0	9,6	99	173,8	218	8,2	3,6
0834 Torsås	21	42	2,0	9,3	94,5	165,9	208	7,9	3,5
1291 Simrishamn	21	24	1,1	5,3	94,5	165,9	208	7,9	2,0
1315 Hylte	21	54	2,6	12,0	94,5	165,9	208	7,9	4,5
1438 Dals-Ed	21	48	2,3	10,7	94,5	165,9	208	7,9	4,0
2021 Vansbro	21	40	1,9	8,9	94,5	165,9	208	7,9	3,3
2303 Ragunda	21	67	3,2	14,9	94,5	165,9	208	7,9	5,6
0880 Kalmar	20	35	1,8	7,8	90	158	198	7,5	2,9
1380 Halmstad	20	26	1,3	5,8	90	158	198	7,5	2,2
2085 Ludvika	20	39	2,0	8,7	90	158	198	7,5	3,2
0680 Jönköping	18	39	2,2	8,7	81	142,2	179	6,7	3,2
1281 Lund	18	19	1,1	4,2	81	142,2	179	6,7	1,6
2425 Dorotea	18	36	2,0	8,0	81	142,2	179	6,7	3,0
0881 Nybro	17	42	2,5	9,3	76,5	134,3	169	6,4	3,5

1. Kommun	2. Antal verk	3.MW	MW/verk	4. Antal verk vid 4,5 MW/verk	5. Antal MW med samma antal verk och 4,5 MW/verk	6. Årsarbeten repowering, utbyte av alla torn & turbin på samma position	Årsarbeten vid nybyggnation samma antal verk på annan position, byggfas. (4,5 MW)	Årsarbeten vid samma antal verk, inhemska jobb driftsfas	Årsarbeten vid nybyggnation (4,5 MW) driftsfas inhemska jobb
1383 Varberg	17	32	1,9	7,1	76,5	134,3	169	6,4	2,7
1080 Karlskrona	16	23	1,4	5,1	72	126,4	159	6,0	1,9
1283 Helsingborg	16	36	2,3	8,0	72	126,4	159	6,0	3,0
1284 Höganäs	16	27	1,7	6,0	72	126,4	159	6,0	2,2
1485 Uddevalla	16	27	1,7	6,0	72	126,4	159	6,0	2,2
1444 Grästorps	15	21	1,4	4,7	67,5	118,5	149	5,6	1,7
2031 Rättvik	15	30	2,0	6,7	67,5	118,5	149	5,6	2,5
2181 Sandviken	14	43	3,1	9,6	63	110,6	139	5,2	3,6
2280 Härnösand	14	35	2,5	7,8	63	110,6	139	5,2	2,9
2480 Umeå	14	29	2,1	6,4	63	110,6	139	5,2	2,4
1263 Svedala	13	24	1,8	5,3	58,5	102,7	129	4,9	2,0
1384 Kungsbacka	13	36	2,8	8,0	58,5	102,7	129	4,9	3,0
1882 Askersund	13	23	1,8	5,1	58,5	102,7	129	4,9	1,9
2023 Malung-Sälen	12	32	2,7	7,1	54	94,8	119	4,5	2,7
2132 Nordanstig	12	19	1,6	4,2	54	94,8	119	4,5	1,6
2521 Pajala	12	36	3,0	8,0	54	94,8	119	4,5	3,0
1292 Ängelholm	11	16	1,5	3,6	49,5	86,9	109	4,1	1,3
1462 Lilla Edet	11	18	1,6	4,0	49,5	86,9	109	4,1	1,5
1880 Örebro	11	13	1,2	2,9	49,5	86,9	109	4,1	1,1
0860 Hultsfred	10	28	2,8	6,2	45	79	99	3,7	2,3
1081 Ronneby	10	18	1,8	4,0	45	79	99	3,7	1,5
1473 Töreboda	10	6	0,6	1,3	45	79	99	3,7	0,5
1484 Lysekil	10	11	1,1	2,4	45	79	99	3,7	0,9

1. Kommun	2. Antal verk	3.MW	MW/verk	4. Antal verk vid 4,5 MW/verk	5. Antal MW med samma antal verk och 4,5 MW/verk	6. Årsarbeten repowering, utbyte av alla torn & turbin på samma position	Årsarbeten vid nybyggnation samma antal verk på annan position, byggfas. (4,5 MW)	Årsarbeten vid samma antal verk, inhemska jobb driftsfas	Årsarbeten vid nybyggnation (4,5 MW) driftsfas inhemska jobb
1780 Karlstad	10	28	2,8	6,2	45	79	99	3,7	2,3
2034 Orsa	10	20	2,0	4,4	45	79	99	3,7	1,7
2506 Arjeplog	10	30	3,0	6,7	45	79	99	3,7	2,5
1266 Hörby	9	13	1,4	2,9	40,5	71,1	89	3,4	1,1
1480 Göteborg	9	10	1,1	2,2	40,5	71,1	89	3,4	0,8
1861 Hallsberg	9	14	1,6	3,1	40,5	71,1	89	3,4	1,2
2080 Falun	9	18	2,0	4,0	40,5	71,1	89	3,4	1,5
2409 Robertsfors	9	21	2,3	4,7	40,5	71,1	89	3,4	1,7
0617 Gnosjö	8	16	2,0	3,6	36	63,2	79	3,0	1,3
0687 Tranås	8	13	1,6	2,9	36	63,2	79	3,0	1,1
1261 Kävlinge	7	8	1,1	1,8	31,5	55,3	69	2,6	0,7
1265 Sjöbo	7	5	0,7	1,1	31,5	55,3	69	2,6	0,4
1487 Vänersborg	7	8	1,1	1,8	31,5	55,3	69	2,6	0,7
1860 Laxå	7	13	1,9	2,9	31,5	55,3	69	2,6	1,1
2083 Hedemora	7	14	2,0	3,1	31,5	55,3	69	2,6	1,2
2282 Kramfors	7	16	2,3	3,6	31,5	55,3	69	2,6	1,3
0883 Västervik	6	11	1,8	2,4	27	47,4	60	2,2	0,9
1267 Höör	6	12	2,0	2,7	27	47,4	60	2,2	1,0
1421 Orust	6	7	1,2	1,6	27	47,4	60	2,2	0,6
1463 Mark	6	8	1,3	1,8	27	47,4	60	2,2	0,7
1492 Åmål	6	5	0,8	1,1	27	47,4	60	2,2	0,4
1496 Skövde	6	4	0,7	0,9	27	47,4	60	2,2	0,3
2584 Kiruna	6	5	0,8	1,1	27	47,4	60	2,2	0,4

1. Kommun	2. Antal verk	3.MW	MW/verk	4. Antal verk vid 4,5 MW/verk	5. Antal MW med samma antal verk och 4,5 MW/verk	6. Årsarbeten repowering, utbyte av alla torn & turbin på samma position	Årsarbeten vid nybyggnation samma antal verk på annan position, byggfas. (4,5 MW)	Årsarbeten vid samma antal verk, inhemska jobb driftsfas	Årsarbeten vid nybyggnation (4,5 MW) driftsfas inhemska jobb
0319 Älvkarleby	5	10	2,0	2,2	22,5	39,5	50	1,9	0,8
0760 Uppvidinge	5	6	1,2	1,3	22,5	39,5	50	1,9	0,5
1230 Staffanstorps	5	5	1,0	1,1	22,5	39,5	50	1,9	0,4
1446 Karlsborg	5	4	0,8	0,9	22,5	39,5	50	1,9	0,3
2039 Älvdalen	5	10	2,0	2,2	22,5	39,5	50	1,9	0,8
2184 Hudiksvall	5	10	2,0	2,2	22,5	39,5	50	1,9	0,8
2281 Sundsvall	5	9	1,8	2,0	22,5	39,5	50	1,9	0,7
2462 Vilhelmina	5	4	0,8	0,9	22,5	39,5	50	1,9	0,3
2514 Kalix	5	8	1,6	1,8	22,5	39,5	50	1,9	0,7
2583 Haparanda	5	5	1,0	1,1	22,5	39,5	50	1,9	0,4
0381 Enköping	4	1	0,3	0,2	18	31,6	40	1,5	0,1
0580 Linköping	4	7	1,8	1,6	18	31,6	40	1,5	0,6
1419 Tjörn	4	2	0,5	0,4	18	31,6	40	1,5	0,2
1427 Sotenäs	4	2	0,5	0,4	18	31,6	40	1,5	0,2
1439 Färgelanda	4	0	0,0	0,0	18	31,6	40	1,5	0,0
1445 Essunga	4	6	1,5	1,3	18	31,6	40	1,5	0,5
1491 Ulricehamn	4	6	1,5	1,3	18	31,6	40	1,5	0,5
1761 Hammarö	4	10	2,5	2,2	18	31,6	40	1,5	0,8
1785 Säfle	4	2	0,5	0,4	18	31,6	40	1,5	0,2
2104 Hofors	4	9	2,3	2,0	18	31,6	40	1,5	0,7
0117 Österåker	3	3	1,0	0,7	13,5	23,7	30	1,1	0,2
0428 Vingåker	3	5	1,7	1,1	13,5	23,7	30	1,1	0,4
0683 Värnamo	3	4	1,3	0,9	13,5	23,7	30	1,1	0,3

1. Kommun	2. Antal verk	3.MW	MW/verk	4. Antal verk vid 4,5 MW/verk	5. Antal MW med samma antal verk och 4,5 MW/verk	6. Årsarbeten repowering, utbyte av alla torn & turbin på samma position	Årsarbeten vid nybyggnation samma antal verk på annan position, byggfas. (4,5 MW)	Årsarbeten vid samma antal verk, inhemska jobb driftsfas	Årsarbeten vid nybyggnation (4,5 MW) driftsfas inhemska jobb
1082 Karlshamn	3	2	0,7	0,4	13,5	23,7	30	1,1	0,2
1278 Båstad	3	2	0,7	0,4	13,5	23,7	30	1,1	0,2
1447 Gullspång	3	8	2,7	1,8	13,5	23,7	30	1,1	0,7
1488 Trollhättan	3	1	0,3	0,2	13,5	23,7	30	1,1	0,1
1498 Tidaholm	3	2	0,7	0,4	13,5	23,7	30	1,1	0,2
1881 Kumla	3	6	2,0	1,3	13,5	23,7	30	1,1	0,5
2029 Leksand	3	6	2,0	1,3	13,5	23,7	30	1,1	0,5
2183 Bollnäs	3	6	2,0	1,3	13,5	23,7	30	1,1	0,5
2482 Skellefteå	3	2	0,7	0,4	13,5	23,7	30	1,1	0,2
0305 Håbo	2	0	0,0	0,0	9	15,8	20	0,7	0,0
0380 Uppsala	2	0	0,0	0,0	9	15,8	20	0,7	0,0
0483 Katrineholm	2	2	1,0	0,4	9	15,8	20	0,7	0,2
0488 Trosa	2	0	0,0	0,0	9	15,8	20	0,7	0,0
0604 Aneby	2	4	2,0	0,9	9	15,8	20	0,7	0,3
0642 Mullsjö	2	3	1,5	0,7	9	15,8	20	0,7	0,2
0662 Gislaved	2	7	3,5	1,6	9	15,8	20	0,7	0,6
0780 Växjö	2	1	0,5	0,2	9	15,8	20	0,7	0,1
1264 Skurup	2	1	0,5	0,2	9	15,8	20	0,7	0,1
1276 Klippan	2	0	0,0	0,0	9	15,8	20	0,7	0,0
1277 Åstorp	2	1	0,5	0,2	9	15,8	20	0,7	0,1
1442 Vårgårda	2	1	0,5	0,2	9	15,8	20	0,7	0,1
1482 Kungälv	2	5	2,5	1,1	9	15,8	20	0,7	0,4
1489 Alingsås	2	4	2,0	0,9	9	15,8	20	0,7	0,3

1. Kommun	2. Antal verk	3.MW	MW/verk	4. Antal verk vid 4,5 MW/verk	5. Antal MW med samma antal verk och 4,5 MW/verk	6. Årsarbeten repowering, utbyte av alla torn & turbin på samma position	Årsarbeten vid nybyggnation samma antal verk på annan position, byggfas. (4,5 MW)	Årsarbeten vid samma antal verk, inhemska jobb driftsfas	Årsarbeten vid nybyggnation (4,5 MW) driftsfas inhemska jobb
1862 Degerfors	2	5	2,5	1,1	9	15,8	20	0,7	0,4
1981 Sala	2	0	0,0	0,0	9	15,8	20	0,7	0,0
2061 Smedjebacken	2	2	1,0	0,4	9	15,8	20	0,7	0,2
2321 Åre	2	2	1,0	0,4	9	15,8	20	0,7	0,2
0187 Vaxholm	1	0	0,0	0,0	4,5	7,9	10	0,4	0,0
0461 Gnesta	1	0	0,0	0,0	4,5	7,9	10	0,4	0,0
0665 Vaggeryd	1	0	0,0	0,0	4,5	7,9	10	0,4	0,0
1256 Östra Göinge	1	1	1,0	0,2	4,5	7,9	10	0,4	0,1
1260 Bjuv	1	0	0,0	0,0	4,5	7,9	10	0,4	0,0
1273 Osby	1	2	2,0	0,4	4,5	7,9	10	0,4	0,2
1293 Hässleholm	1	1	1,0	0,2	4,5	7,9	10	0,4	0,1
1407 Öckerö	1	1	1,0	0,2	4,5	7,9	10	0,4	0,1
1415 Stenungsund	1	2	2,0	0,4	4,5	7,9	10	0,4	0,2
1980 Västerås	1	0	0,0	0,0	4,5	7,9	10	0,4	0,0
2510 Jokkmokk	1	1	1,0	0,2	4,5	7,9	10	0,4	0,1
Totalt Sverige	3 376	6613	282,2	1 469,6	15 192	26 670,4	33 490	1 262,6	549,6

Bilaga 2

Deltagande företag

Sammanlagt har studien omfattat kontakter med 32 bolag verksamma inom den svenska vindkraftsbranschen. För att värna om respektive bolags intressen har de som regel inte namngivits i rapportens löpande text, men de listas här som del i redovisningen av projektet.

Tack till alla som deltagit!

Arise
Connected Wind Services Sverige AB
Eolus
Eolus Vind AB
Europe, E.ON Wind Sweden AB
Fred. Olsen Renewables
GE
Göteborg Energi
HO Enterprise
Holmen Energi
Jemtel AB
Jönköping Energi
Jönköping Energi Vind Ek. för.
Krafringen Energi
Monsson Nordic AB
Mångkraft AB
Ollebacken Energi/Ollebacken Vind Ek. för./Vindvision Norr
PeBo Naturbruk
Power Wind Partners
Rabbalshede Kraft AB
Siemens
Skellefteå Energiunderhåll
SRS Windpower AB
Statkraft
Svensk NaturEnergi
Telge Energi Vind
Umeå Energi
Vattenfall Services Nordic AB
Vattenfall Vindkraft AB
Vestas
Windcluster Norway
WPS Sweden AB

Bilaga 3

Exempel på marknadsutveckling

Under detta projekts gång har många exempel på hur marknaden kring drift och underhåll av vindkraftverk utvecklats på senare tid framkommit. Här belyses några av dem kortfattat, då de inte funnit sin plats tidigare i rapporten.

- Det finns flera nischer/segment av bolag som sysslar med drift och underhållstjänster, utöver turbintillverkarna:
 - Egna serviceorganisationer inom kraftbolag som äger vindkraft, t.ex. Umeå Energi
 - Förvaltningsbolag som äger lite/ingen vindkraft själva, t.ex. OX2
 - Rena servicebolag, t.ex. WPS
 - Firmor som gör specifika reparationer, t.ex. Roofac Wind
- Vindbolag som täcker in hela värdekedjan från projektering till drift finns, t.ex. Svevind.
- Tekniker som arbetat för turbintillverkare bildar egna bolag för att bedriva fristående verksamhet, t.ex. Total Wind Service och Svenska Vindkraftkonsulterna.
- Redan stora bolag i branschen ger sig in på drift och underhållsmarknaden. T.ex. E.ON Wind Service, som har etablerat sig som tredjepartsleverantör av underhållstjänster i Sverige, för en vindpark i Gnosjö.
- Utländska serviceleverantörer etablerar sig på den svenska marknaden, t.ex. Deutsche Windtechnik och Total Wind Service.
- Efterfrågan på mer avancerad produktionsövervakning för att minimera produktionsförluster och öka andelen förebyggande/reaktivt underhåll växer, vilket märks genom t.ex. tester av AI inom övervakning av vindkraft.
- Lanseringar av nya sorters övervakningstjänster förekommer. Bl.a. ABB Ability™ Condition Monitoring, som levererar driftsdata i realtid och kan förutsäga fel, skräddarsys för att passa specifika kundbehov i form av erhållna data, samt erbjuder tillgång till ABB:s experter.
- Nya metoder för att mäta tillståndsfaktorer för vindkraftverk tas fram, t.ex. forskar man kring möjligheten att använda laserbaserade mätningar på Fraunhoferinstitutet IOSB.
- Det finns en efterfrågan på att byta ut äldre verk mot nya, så att vindparker kan återanvändas, bl.a. i Lysekil där ansökan om att ersätta fyra äldre vindkraftverk med två nya har lämnats in till kommunen.
- Arbete mot en internationell standard för förlängd drifttid för vindkraftverk som uppnått sin livslängd pågår inom International Electrotechnical Commission TC 88, som har en svensk referensgrupp via Svensk Elstandard.