

Återbruk och återvinning av vindkraftverk

*En förstudierapport om
kommande generationer
av vindkraft.*



Energimyndighetens publikationer kan beställas eller
laddas ner via www.energimyndigheten.se.
E-post: energimyndigheten@arkitektkopia.se
Orderfax: 08-505 933 99

© Statens energimyndighet
ET 2016:18 Oktober 2016
ISSN 1404-3343
Foto framsida: Mats Flodman
Grafisk form: Energimyndigheten
Tryck: Arkitektopia, Bromma

Förord

Inspiration till den här förstudien framkom på Energimyndighetens vindkraftsenhet hösten 2015 som en fortsättning av det arbete som pågått kring framtagande av en vägledning om nedmontering av vindkraft. Generationsväxlingar, återbruk och återvinning av vindkraft och är frågor som ännu inte diskuterats i så hög grad i Sverige, men som redan är aktuella i Danmark och Tyskland.

Genom denna förstudie som nu genomförts hoppas vi på att starta en diskussion som bidrar till att göra vindkraften mer långsiktigt hållbar i flera bemärkelser. Arbetet som pågått under några månader har gjort nedslag i den kunskap som finns tillgänglig samt samlat in information från ett antal utvalda aktörer. Mycket mer finns att säga om dessa frågor och denna rapport ska inte ses som en total kartläggning av området utan en startpunkt för diskussioner om återanvändning och återvinning av vindkraft.

Tack till de som svarat och bidragit med underlag till denna förstudie. *Chalmers, Vindforsk, Stand up for wind och Teknologiska forskningscentralen i Finland. Länsstyrelserna i Gävleborg, Halland, Kalmar, Blekinge, Jämtland, Jönköping, Norrbotten, Skåne, Västernorrland och Västra Götalands län. Elnätsbolagen Ellevio, Vattenfall Eldistribution och E.ON Elnät, turbintillverkarna Gamesa, Enercon och Siemens och vindkraftbolagen H.O.Enterprice, Skellefteå kraft AB, Vattenfall Vind AB och WPD. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie i Tyskland, Energistyrelsen och Ehrvervstyrelsen i Danmark samt Vindmølleindustri i Danmark.*

Författare till förstudien på Energimyndigheten har varit Matilda Schön, Johanna Lakso och Kristina Eriksson.

Trevlig läsning!

Innehåll

1	Ordlista	5
2	Inledning	6
2.1	Bakgrund.....	6
2.2	Syfte och mål	6
3	Nulägesbeskrivning	7
3.1	Vindkraftens teknikutveckling	7
3.2	Aktualitet	7
3.3	Livslängd	8
3.4	Livscykelanalyser	9
3.5	Återbruk och återvinning.....	11
3.6	Regelverk och styrmedel	14
3.7	Pågående forskning.....	16
4	Framtida möjligheter	20
4.1	Återbruk av äldre vindkraftverk	20
4.1.1	Reducerad energianvändning.....	21
4.1.2	Standardiserad nedmontering.....	21
4.1.3	Förlängd livslängd, testning och certifiering	21
4.1.4	Ökad kvalitet hos de verk som återbrukas	22
4.1.5	Återbruk på nya marknader	23
4.1.6	Designutveckling för ökad återvinning.....	23
4.1.7	Anpassa tillståndens giltighetstid för återbruk.....	24
4.2	Generationsväxling på samma plats	24
4.2.1	Tekniskt optimum och standardiserad teknik	24
4.2.2	Förenklad tillståndsprocess vid generationsväxling	25
4.2.3	Utveckling av styrmedel	25
5	Förstudiens förslag	27
5.1	Uppgifter för Energimyndigheten.....	27
5.2	Initiativ i samverkan med andra aktörer	28
5.3	Förslag på initiativ till fortsatt forskning kring återbruk:	30
6	Slutsats	31
7	Litteraturförteckning	32

1 Ordlista

Ekodesign-direktivet sätter minimikrav på energiprestanda hos produkter och förbjuder de mest energi- och resurskrävande produkterna på EU-marknaden. Direktivet ska förbättra produkternas miljöprestanda under hela livscykeln.

Elmix beskriver ett slags genomsnitt av den el som produceras. Elproduktionen består utav en mängd olika kraftslag. Genomsnittet är beroende av rådande förhållande som varierar år från år och är beroende av vad och hur mycket som produceras, importeras respektive exporteras.

Energy Pay-back är ett begrepp som används för att ange den tid det tar att producera lika mycket energi som gick åt vid tillverkning och installation.

Funktionella värden beskriver en komponents återbruksvärde, till exempel en växellåda eller ett torn som kan återanvändas för vidare bruk.

Materiella värden beskriver en komponents återvinningsvärde, till exempel värdet av att materialåtervinna en växellåda eller ett torn.

Repowering innebär att nya vindkraftverk ersätter gamla i en park vid ett generationsskifte.

Generationsväxling är synonymt med repowering och innebär att nya verk ersätter gamla inom en park när dessa tjänat ut.

Återbruk innebär att verk eller komponenter återanvänds alternativt att de materialåtervinns.

Omvänd logistik beskriver ett logistiksystem för återanvändning av produkter och material. Innefattar demontering av verk, separering av delar och transport av olika moduler för återvinning alternativt återbruk.

2 Inledning

2.1 Bakgrund

Energimyndigheten har under en tid arbetat tillsammans med Naturvårdsverket med frågor som rör nedmontering av vindkraftverk. Gemensamt med andra myndigheter och aktörer har en vägledning om nedmontering av vindkraftverk på land och till havs tagits fram (Energimyndigheten och Naturvårdsverket, 2016) som hanterar frågor som rör efterbehandling, ekonomisk säkerhet, lagstiftning, tillsyn och slutbesiktning. Vägledningen sammanfattar tillgänglig kunskap och ger rekommendationer avseende nedmontering av vindkraftverk och efterbehandling av platsen. Som ett led av arbetet med vägledningen blev det aktuellt att se till möjligheterna för återbruk, generationsskifte, även kallat repowering, och återvinning då nedmonteringen inte behöver betyda slutet för ett vindkraftverk.

Vindkraftsutbyggnaden i Sverige inleddes redan på 1980-talet och tog ordentlig fart under 2000-talets början. Idag finns det drygt 3300 vindkraftverk i Sverige, varav knappt hälften har byggts de senaste fem åren. Några av de äldsta verken har redan nedmonterats. Enligt företag som idag arbetar med nedmonteringar i Sverige säljs verken ofta vidare till andra länder för att renoveras och uppföras på andra platser för ytterligare driftsår. Alternativt att vissa komponenter renoveras och säljs vidare eller att uttjänta delar återvinns. Erfarenheter av nedmontering finns från både Danmark, Tyskland men även från Sverige.

2.2 Syfte och mål

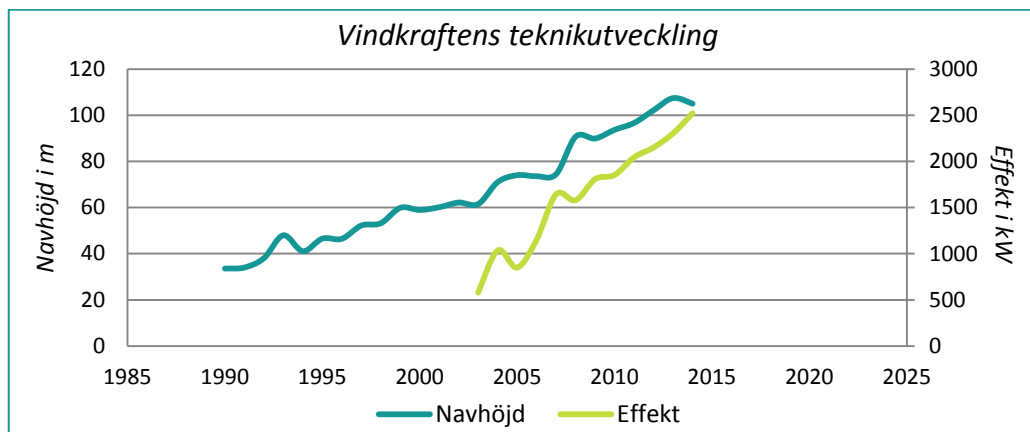
Syftet med denna förstudie är att få insyn i den forskning och teknikutveckling som pågår samt vilka möjligheter som finns för återanvändning, återvinning och generationsväxlingar av vindkraftverk på samma plats. Syftet är också att lyfta upp en diskussion om optimering av nuvarande och kommande generationer av vindkraft. I detta egeninitierade uppdrag ingår att ta fram förslag på projekt och forskning som kan behövas i framtiden, och vilken roll Energimyndigheten bör ha i utvecklingen.

Det långsiktiga målet med arbetet är att öka vindkraftens hållbarhet. Dels genom verka för att en större andel av vindkraftverk kan återbrukas, dels genom att utveckling sker för längre livslängder så att resurseffektiviteten för vindkraftverk ökar.

3 Nulägesbeskrivning

3.1 Vindkraftens teknikutveckling

Teknikutvecklingen av vindkraftverk har gått fort framåt de senaste åren i takt med att även utbyggnaden av vindkraft tagit fart. Ett genomsnittligt vindkraftverk som byggdes i Sverige år 2014 var totalt 150 meter högt och hade en installerad effekt på 2 921 kW (2015). Den genomsnittliga navhöjden på ett vindkraftverk har därmed ökat med drygt 60 meter sedan början av 1990-talet, *se figur 1*. Med högre verk ökar produktionen, då produktionen är direkt proportionell till större svepyta. Om svepytan dubblas så fördubblas även produktionen. För havsbaserade vindkraftverk är effekten ofta mellan 3-5 MW internationellt sett och förväntas öka till mellan 5-8 MW till år 2020. Teknikutvecklingen effektiviserar både resursanvändningen och kostnaden per producerad kWh.



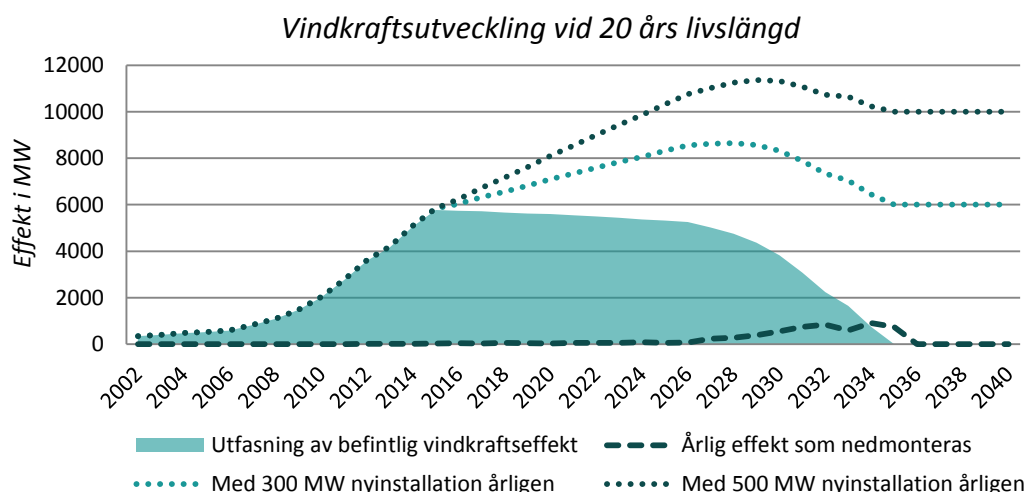
Figur 1. Utvecklingen av navhöjd och genomsnittseffekt per vindkraftverk de senaste årtiondena.

3.2 Aktualitet

Energimyndigheten har frågat länsstyrelser, företag, akademien och andra vindkraftsländer om aktualiteten för återbruk och repowering. Frågor om återanvändning och återvinning av vindkraft samt flera generationer vindkraft på samma plats är ännu inte särskilt aktuella i Sverige enligt länsstyrelserna. Flera av länen är i den fas där första generationens vindkraft just håller på att byggas ut. Frågorna tenderar till att vara något mer aktuella i de södra länen där vindkraftutbyggnaden startade tidigt, samt för akademien där vissa forskningsprojekt pågår. För några företag har det varit aktuellt med nedmonteringar och generationsväxlingar redan idag.

I Tyskland och Danmark ser det annorlunda ut. Frågor om nedmontering är högst aktuella och kommer att ske i stor utsträckning de kommande åren. Frågan om generationsskiftet och installation av nya vindkraftverk på samma plats är av stort intresse för branschen och i dessa länder arrangeras hela seminarier i ämnet.

Energimyndighetens bedömning är att nedmonteringar av vindkraftverk i större skala påbörjas om tio till tjugo år i Sverige, utgående från att livslängden är 20 år. De flesta vindkraftverken i Sverige har därmed inte nått sin tekniska eller ekonomiska livslängd ännu, *se figur 2*. Det turkosa området visar utfasningen av nuvarande effekt om ingen nyinstallation görs. För att bibehålla samma mängd installerad vindkraft som finns idag skulle omkring 300 MW behöva nyinstalleras årligen. Om ytterligare 200 MW nyinstalleras årligen skulle den installerade effekten öka för att sedan plana ut kring år 2035 till en installerad effekt om 10 000 MW.



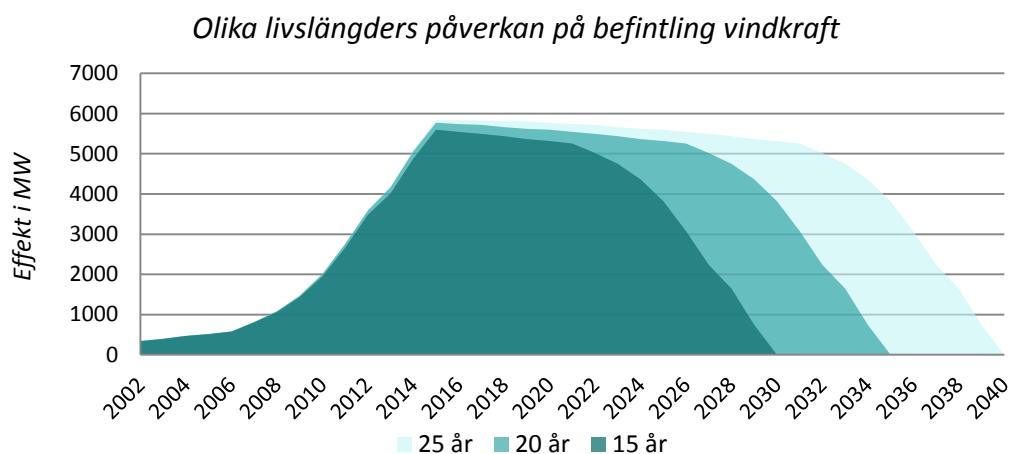
Figur 2. Vindkraftsutvecklingen fram till år 2040 om vi antar 20 års livslängd. Dagens vindkraft fasas ut mellan 2025 och 2035. Nyinstallationer skulle då behövas för en fortsatt stor vindkraftsproduktion.

3.3 Livslängd

Vindkraftsturbiner designas vanligen för en livslängd på 20 till 25 år, ibland även upp till 30 år. Utveckling av tekniker med längre livslängd pågår och utvecklas utifrån de behov som finns på marknaden. Den certifierade tekniska livslängden är 20 år och vindkraftsbolagen arbetar tillsammans med vindkraftstillverkare för att förlänga densamma. Vindkraftverkens livslängd har påverkan på hur den totala installerade effekten utvecklas och när vindkraft eventuellt fasas ut, *se figur 3*.

Vindturbinstillverkare och tjänsteföretag arbetar kontinuerligt med att optimera drift och underhåll för att minska drift- och underhållskostnaderna. Huvudkomponenter designas för en livslängd på 20 till 25 år, medan vissa delar såsom exempelvis växellådor har kortare livslängd. Övervakning sker av verkets huvudkomponenter och utveckling av nya metoder arbetas fram som ska upptäcka och åtgärda fel innan de leder till ett eventuellt turbinstopp. Reparationer kan därmed planeras till tidpunkter då kostnaden blir så låg som möjligt. Det är alltid en ekonomisk bedömning om delar ska bytas ut när ett fel i en turbin uppstår för att möjliggöra fortsatt drift. Verksamhetsutövaren kan då välja att nedmontera och sälja vindkraftverket vidare till andrahandsmarknaden eller materialåtervinna vindkraftverket.

Livslängden har därmed också en ekonomisk aspekt. Både i Sverige och i Tyskland har aktörer av ekonomiska skäl bytt ut turbinerna tidigare än livslängden medger. Detta skulle delvis kunna bero på tidsbegränsade stödsystemen men också på att utvecklingen i branschen varit så stor att de turbiner som byggdes för över 15 år sedan idag anses ineffektiva. Vissa aktörer anser att det lönar sig att byta ut äldre fungerande verk mot nya och mer effektiva turbiner.



Figur 3. Nedmontering av befintlig vindkraft om samtliga är i drift 15, 20 respektive 25 år. Olika bedömningar kommer emellertid att göras av den ekonomisk och teknisk livslängden på verken, vilket leder till en långsammare utfasning av befintligt vindkraftsbestånd.

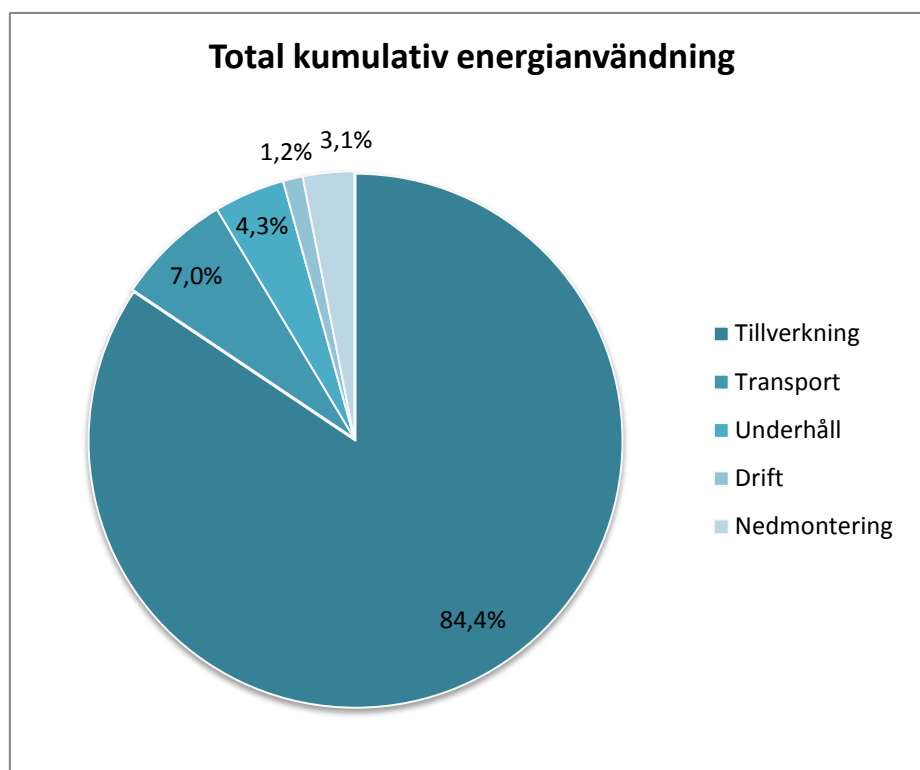
De flesta svenska vindkraftsbolag har hittills inte haft så lång erfarenhet att de kan säga något om möjligheterna för en förlängning av den tekniska livstiden. I Tyskland erbjuder turbintillverkare analyser av turbinerna när de närmar sig den tekniska livslängden för att avgöra verkets kondition utifrån den specifika platsen. Om det visar sig att materialen inte blivit utmattade under driften kan åtgärder vidtas för att förlänga drifttiden.

På grund av teknikutvecklingen sedan början av 1980-talet är sannolikheten stor att fundament och torn inte kommer vara möjliga att återanvända även om de vore designade för längre livslängder. Vissa aktörer menar att turbintillverkare därför inte ser någon nytta med att designa komponenter för flera generationer vindkraft, så länge teknikutvecklingen gör att vindkraftverken kommer att se annorlunda ut om 20-25 år jämfört med idag. Både vägar och elinfrastruktur skulle delvis kunna återanvändas vid ett generationsskifte i samma område då de har längre livslängder än vindkraftverket. Ekonomiskt sett används ofta en teknisk avskrivningstid på 30 år men en kabel kan antas ha en livslängd på upp mot 40-50 år, läs mer om detta i avsnitt 3.5.

3.4 Livscykelanalyser

Livscykelanalyser av vindkraftverk visar att det framförallt är tillverkningen som bidrar med klimatutsläpp och denna post utgör ungefär 80 till 90 procent av energianvändningen (Meunier and Tremeac, 2009) (Guezuraga et al, 2012) (Garett och Rønde, 2013) (Martinez et al, 2009), se figur 4. I tillverkningen ingår

framställning av råmaterial, som utgör den absolut största posten, andra material som behövs vid tillverkningsprocessen, energianvändning samt avfall i tillverkningsprocessen (A Bonou, 2015).



Figur 4. Visar den totala energianvändningen ur ett livscykelperspektiv för ett vindkraftverks olika faser (Källa: Guezuraga et al, 2012).

Miljöpåverkan är generellt mindre för stora turbiner med höga torn och stora rotorblad och skillnaden i klimatutsläpp är stor jämfört med elproduktion från fossila energikällor (Demir and Taskin, 2013) (Haapala and Prempreeda, 2014). Koldioxidavtrycket för vindkraft på land är 20-38 gCO₂/kWh och till havs 9-13 gCO₂/kWh vilket är lågt i jämförelse med andra energislag, där avtrycket från exempelvis kolkraft är 786-990 gCO₂/kWh och för solenergi 88 gCO₂/kWh (Ortegon et al, 2013).

Vilka antagande som görs i livscykelanalysen är av stor vikt för resultaten i dessa. I de rapporter som studerats är de antaganden¹ som görs och hur resultat redovisas inte alltid helt transparenta och det är därför ofta svårt att jämföra olika studier med varandra (Price and Kendall, 2012). Antaganden om livslängd och vilken elmix som används vid tillverkning är direkt avgörande för resultaten. Då tillverkningsfasen står för en stor del av energianvändningen får ett lands elmix betydelse för resultaten i livscykelanalysen. I ett land som har stor andel kolkraft blir resultaten högre än om produktionen exempelvis skulle ske i Norden som har en stor andel förnybart i sin elmix. Även vindkraftverkets placering har stor

¹ Antaganden inkluderar vilka avgränsningar som görs i modellen och vilka indata som används.

betydelse eftersom goda vindlägen är avgörande för en låg miljöpåverkan (Demir and Taskin, 2013).

Hantering av vindkraftverket efter drift kan också göra skillnad. Genom att optimera hanteringen vid återbruk och återvinning kan användningen av råmaterial minska. Dock är det endast 11 av 72 genomgångna rapporter som tar med vindkraftverkets slutfas i analysen (Ortegon et al, 2013). Anledningen till detta, som nämns i rapporten, är att det saknas historiska data och beprövade metoder vid nedmontering. Oftast görs antagande för denna fas eller så exkluderas nedmonteringsfasen helt i analyserna. Både återanvändning och återvinning är områden som ur ett livscykelperspektiv kan bidra till att minska vindkraftens miljöpåverkan (Ortegon et al, 2013). I designutvecklingen av ett vindkraftverk kan val av designkoncept (exempelvis vid materialval) bidra till att koldioxidavtrycket minskas samtidigt som det bidrar till att reducera kostnader och energianvändning i tillverkning (Lee and Hashim, 2014). Ekodesigndirektivet beskrivs ha en nyckelroll för att förbättra energi- och miljömässig prestanda hos energirelaterade produkter utifrån ett designperspektiv (Aso & Cheung, 2015).



Efterbehandlat vindkraftsområde där vindkraftverk monterats ned (pinnen markerar var verket stått) Foto: Matilda Schön

3.5 Återbruk och återvinning

När vindkraftverket uppnått sin tekniska eller ekonomiska livslängd tar verksamhetsutövaren beslut om att avsluta driften och montera ned vindkraftverken. Ett verk behöver emellertid inte vara helt uttjänt när det når den

antagna livslängden. I Tyskland finns det riktlinjer (BWE Grundsätze) för hur man gör värdering och prövning av vindkraftanläggningar för vidare drift. Bedömningar görs från vindkraftverkets 20:e driftsår för huruvida verket kan drivas vidare på platsen.

Om det blir beslut om nedmontering förbereds tornet för nedmonteringen. Därefter monteras rotorn och bladen ned för att på marken monteras isär i mindre delar. Maskinhuset lyfts sedan ned och tornet kan monteras tas ned. Efterbehandlingen kan vara olika för fundamentet, antingen partiell eller att hela fundamentet tas bort. Marken efterbehandlas sedan i samråd med tillsynsmyndigheten. I vissa fall kan elledningar och vägar lämnas kvar till förmån för andra verksamheter. Mer information om nedmontering finns i vägledningen för nedmontering av vindkraft, på land och till havs (Energimyndigheten och Naturvårdsverket, 2016).

Vindkraftverkets olika delar kan därefter återanvändas/återbrukas eller återvinnas. Vindkraftsbolagen i Sverige säger generellt att de har brist på erfarenhet från dessa frågor. De företag som har erfarenhet av nedmontering menar att det sker återbruk av hela vindkraftverk eller komponenter. Beroende på skicket kan verken renoveras och säljas vidare till andra länder. En marknad för äldre vindkraftverk börjar ta form och det finns även tillverkare och tjänsteföretag som tar tillvara på reservdelar. Vid Yttre Stengrund utanför Karlskrona har fem havsbaserade vindkraftverk monterats ned. Rotor, blad och maskinhus återanvänds som reservdelar för liknande vindkraftverk, medan torn och fundament (monophiles) återvinns.

Enligt vissa bolag har det funnits problem med att dokumentation varit svårtillgänglig vid nedmontering på grund av flera ägarbyten eller att tillverkarna inte längre har eller tillhandahåller dokumentation, vilket kan försvåra en effektiv avveckling.

Om vindkraftverket istället går till återvinning kan materialen sorteras och återvinnas var för sig. Bladen utgör emellertid ett problem vid återvinning då de består av kompositmaterial. Dessa typer av material kan antingen separeras mekaniskt genom krossning varvid de olika komponenterna kan avskiljas, dock kan denna process frigöra giftigt damm. Separering kan även ske genom förbränning vilket är en energikrävande process med omfattande restprodukter varför energivinsten kan bli låg. Ett annat alternativ är att separera komponenterna på kemisk väg, metoden kräver i dagsläget dyra och hälsofarliga kemikalier. Generellt har metoder för återvinning av blad, exempelvis genom värmeåtervinning, inte slagit igenom kommersiellt (L. Aldén et al, 2013) ännu eftersom det finns begränsat med material tillgängligt för återvinning och att metoderna utvecklas. Utveckling av blad sker och är en del av den pågående designutvecklingen.

För vindkraft i kallt klimat finns hittills begränsad erfarenhet av återbruk och återvinning eftersom det är få vindkraftverk byggda i kallt klimat som är i slutet av sin livslängd. Enligt vissa uppgifter kan problem med ökat slitage på bladen

uppstå och därmed finns ett ökat behov av lämpliga återvinningsmetoder, designutveckling samt vidareutveckling av drift- och underhåll.

Erfarenheter finns också av generationsväxling, även så kallad repowering, där samma plats återanvänds och flera mindre verk med låg effekt nedmonteras och ersätts med färre större verk med högre effekt. Näsudden på Gotland är ett exempel i Sverige. Ett annat exempel på repowering är projekt Fehmarn i Tyskland där den första generationen vindkraft monterades ned och ersattes med nya verk. De tidiga verken hade en effekt på mellan 225 till 500 KW och ersattes av verk på 2,3 MW. Platsen används därmed än mer effektivt. I Tyskland har man haft problem med generationsväxling på platser som är tätbebyggda, då de nya större vindkraftsverken bidragit till avståndsproblematik och delvis ljudproblem. Platser som har bra vindförutsättningar kan på grund av detta falla bort då bebyggelse finns för nära ett eventuellt generationsskifte.



Generationsskifte vid Näsudden på Gotland Foto: Matilda Schön

Det kan finnas fördelar med att återanvända samma plats genom att vindegenskaperna är kända och att infrastruktur som vägar och elnät i vissa fall kan återanvändas. Elnätsinfrastrukturen som byggs till dagens vindkraftsanläggningar har en livstid som sträcker sig längre än vindkraftverkens livslängd. Detta ger potential att använda samma elnät till två generationer vindkraft. En begränsning finns emellertid i att elnätet dimensioneras för den effekt som den ursprungliga parken har. Om större vindkraftsverk ska byggas efter 20 år behöver antalet vindkraftverk reduceras så att den totala effekten inte överskrider nätkapaciteten, alternativt att elnäten förstärks. Det interna elnätet i en

vindkraftspark kan behöva läggas om i de fall placeringarna av vindkraftverken ändras, varför den största potentialen till återbruk är av nätet från parken till anslutningspunkten till överliggande nät.

Något återbruk av exempelvis fundament har det ännu inte varit frågan om eftersom alla generationsväxlingar har inneburit en signifikant skillnad i storleken på vindkraftverken. Den snabba teknikutvecklingen är en orsak till detta. Vid ett generationsskifte idag blir det i princip en helt ny etablering av vindkraft på platsen. När tekniken blivit mer standardiserad, liksom vattenkraften är idag, kan det komma att förändras och göra att fundament och torn kan återanvändas i framtiden.

Flera svar från branschen pekar på att generationsskiftet kan vara aktuellt på platser med dokumenterade goda vindlägen, det vill säga på platser där det redan idag finns etablerad vindkraft eller där det planeras för framtida vindkraftsetableringar.

3.6 Regelverk och styrmedel

Frågan om hur dagens lagstiftning är anpassad för längre livslängder och hur ekonomiska styrmedel kan möjliggöra till återbruk och återvinning av vindkraftverk är intressant och presenteras i detta avsnitt.

Tillstånd

Giltighetstiden för tillstånden till dagens vindkraftsetableringar i Sverige är vanligtvis mellan 30 till 35 år. Några undantag finns där giltighetstiden är satt till 25 år eller där tillståndet inte är tidsbegränsat. En utveckling som länsstyrelserna noterat är att de gått från icke tidsbegränsade tillstånd till tidsbegränsade tillstånd. I ett avgörande i mark- och miljööverdomstolen (M 9473-13) angavs att ett tillstånd för vindkraftsverksamhet normalt bör tidsbegränsas. Motiven till varför ett tillstånd bör tidsbegränsas är bl.a. att den tekniska utvecklingen och ökade kunskaper kan komma att leda till ändrade miljökrav och att det därför bör finnas en möjlighet att skärpa villkoren vid en förnyad tillståndsprövning. Det är bolagen själva som anger tiden för tillståndets giltighet i ansökningshandlingen vilket sedan hanteras i prövningen.

En förlängning av giltighetstiden innebär i princip alltid krav på en helt ny tillståndsprövning. Om vindkraftsverksamheten kan få ett nytt tillstånd bedöms utifrån de förutsättningar som finns på platsen vid den tidpunkten. I en dom från mark- och miljööverdomstolen (M 2942-15) anges att tidsbegränsningen endast fastställer den tid som verksamheten får bedrivas och utgör därför inget villkor för verksamheten. Det är inte möjligt att inom ramen för en ansökan om villkorsändring enligt 24 kap. 8 § miljöbalken bevilja en förlängning av ett tidsbegränsat tillstånd, detta gäller även för de fall där tidsbegränsningen har angetts som ett villkor och inte som en del av tillståndet enligt MÖD. I Tyskland är tillstånden ofta på 20 år, men kan förlängas på begäran om det finns bevis på stabilitet och säkerhet hos anläggningen.

Elcertifikatsystemet

Anläggningar som producerar förnybar el, såsom exempelvis vindkraft, och som driftagits första gången efter maj 2003 har rätt till elcertifikat i 15 år från det att de får beslut om tilldelning, dock inte längre än till år 2035. Elcertifikaten innebär en extra ekonomisk intäkt för verksamhetsutövaren.

Om det byggs en vindkraftsanläggning som återanvänder hela eller delar av samma fundament eller samma torn som det tidigare verket räknas det som samma anläggning som tidigare. I detta läge kan anläggningen prövas enligt 2 kap. 9 § lagen (2011:1200) om elcertifikat som omfattar ombyggnad av anläggning och få elcertifikat i 15 nya år. Det krävs då att anläggningen uppfyller de krav på omfattande renovering som beskrivs i 5 kap. 1 § föreskriften (STEMFS 2011:4) som säger att alla ingående komponenter i rotor och maskinhus ska ersättas med nya delar. Styr- och reglersystem för anläggningen ska ersättas med nya delar.

Det går också att få elcertifikat för enbart den ökade elproduktionen om en minde investering genomförs. Utifrån det regelverk som finns kan några slutsatser dras om vad som gäller vid en återanvändning av ett gammalt verk eller vid generationsväxling²:

- Ett nytt verk som byggs på ny plats nära det äldre verket får 15 års ny tilldelning av elcertifikat.
- Ett begagnat verk *som driftagits efter maj 2003* som byggs på en ny plats får 15 år minus den eventuella tilldelningsperioden av elcertifikat från den tidigare platsen. Detta innebär
 - att ett verk från till exempel ett annat land får 15 nya år och,
 - att ett verk som tidigare fått elcertifikat i Sverige får mindre än 15 år.
- Ett begagnat verk *som driftagits före maj 2003* och ersätter ett gammalt verk får inga elcertifikat eftersom anläggningen ska ersättas med nya delar
- Ett verk som genomgår en renovering och uppfyller kraven på omfattande ombyggnation får 15 nya år för hela produktionen
- Ett verk som genomgår en renovering men *inte* uppfyller kraven på omfattande ombyggnation får *inte* 15 nya år men kan få elcertifikat för den ökade andelen elproduktion
- Ett begagnat verk *som driftagits före maj 2003* som byggs på en ny eller gammal plats får inga nya elcertifikat.

Om ett vindkraftverk placeras i en befintlig park och bakom samma mätpunkt som övriga vindkraftverk är det möjligt att anläggningen tekniskt inte registreras som en ny anläggning, utan som en ny produktionsenhet inom en anläggning. Det är emellertid inget som har någon betydelse för tilldelningsperioden.

²Observera att detta är preliminärt och att ett beslut alltid måste fattas av Energimyndigheten i varje enskilt ärende.

Elcertifikatsystemet är, som kan utläsas ovan, inte direkt utformat med syfte att möjliggöra för renoveringar av befintlig vindkraft, nyetableringar av vindkraft på samma plats eller för återbruk av gamla verk. Regelverket för ombyggnation och produktionsökningar är mer anpassat för vattenkraft och biokraft. Dessa energislag är bundna till en specifik plats. Frågan om generationsväxlingar har inte varit aktuell för dessa på det sätt som det kommer bli för vindkraft. När elcertifikatsystemet utvecklades 2006/2007 hade den storskaliga vindkraftsutbyggnaden inte startat varför systemet inte utvecklades för energislag med kortare livslängd och mer spridd placering.

Inom arbetet med kontrollstation för elcertifikat 2017 utreder Energimyndigheten hur elcertifikatsystemet ska utformas efter år 2020. Efter att det i Energiöverenskommelsen har föreslagits att ambitionen i elcertifikatsystemet ska ökas med 18 TWh mellan åren 2020 till 2030, har myndigheten fått ett tilläggsuppdrag om att föreslå nya kvoter som kommer att redovisas tillsammans med kontrollstationen. Energimyndigheten har inom ramen för uppdraget börjat titta på hur hänsyn kan tas till eventuella nedmonteringar, generationsväxlingar och möjligheter för återbruk. I rapporten föreslås även att ett fortsatt arbete med dessa frågor bör bedrivas.

3.7 Pågående forskning

Efter genomgång av livcykelanalyser samt genom kontakter med olika forskningsinstitut och bolag kan Energimyndigheten konstatera att det pågår en hel del forskning för att nå en högre grad av återvinning och lägre miljöpåverkan, ofta i samverkan mellan turbintillverkare och forskningsinstitut. De projekt som redovisas nedan är ett urval av den pågående forskning inom återbruk och återvinning som kommit Energimyndigheten till känna under utredningsarbetet.

Fundament

I ett pilotprojekt (Windpower, 2009) har designen av fundament studerats för att utreda om livslängden hos fundamenten kan ökas från 20 år till exempelvis 50 år och i så fall om det är ekonomiskt försvarbart. Motiveringen till projektet är att det är en viktig fråga att kunna öka livslängden genom att byta ut delar som går sönder på vindkraftverket men att fundamentet är den del som (av naturliga skäl) inte går att byta ut. Därmed är livslängden av fundamentet avgörande i synnerhet när en mer standardiserad teknik uppnås där fundament kan återanvändas. Denna undersökning, som drivs av en svensk vindkraftprojektör, visar att fundamentdesignen kan optimeras till en rimlig merkostnad. Efter att ha misslyckats med det första fundamentet, ändrade bolaget den tekniska lösningen och lyckades få en lösning med en beräknad livslängd på 50 år. De noterar dock att utförandet på plats är avgörande och att sprickor kan uppkomma om design och utförande inte är optimerat.

På Chalmers har studier gjorts av fundament över tid och det har noterats sprickbildning vilket skulle kunna hindra återbruk av fundament, men också motivera till mer forskning och utveckling kring mer robusta fundament och

generationsväxling. Utveckling av metoder som säkerställer en optimerad livslängd även i kallt klimat sker också bland annat på Luleå Tekniska Universitet (T Edeskär m.fl., 2009). Forskare har i samarbete med branschen också reducerat koldioxidutsläppen vid cementtillverkningen genom att välja alternativa bränslen och tillsatsmaterial. Det skapas metoder för hur man speciellt utformar betongen för att hålla ned användningen av cement. Mängden betong som går åt för den planerade vindkraftsutbyggnaden runt om i världen är omfattande vilket betyder att även en liten reduktion av resursutnyttjande och liten förbättring av byggprocessen vid varje anläggning, ger mycket stora förtjänster beträffande hållbarhet (Wahlsten, 2013).

När det gäller fundament till havs tittar vindkraftsbranschen på lösningar för att hitta alternativ till att hela fundamentet behöver tas bort när det är uttjänt. Kostnaderna är stora för att ta bort fundamentet helt och hållet, det kan även ha bildats rev eller habitat på fundamenten som kan vara känsliga och själva borttagandet av fundamentet kan också störa omgivande djur- och växtliv. I vissa fall kan det vara mer rimligt att kapa fundamentet i nivå med botten enligt uppgift från branschen.

I exempel från USA har 420 plattformar från oljeindustrin donerats för uppbyggnad av artificiella rev. Artificiella rev är nedsänkta strukturer på sjöbotten som "härmar" naturliga formationer på havsbotten vilket ger ekonomiska fördelar för olje- och gasbolag samt för fisket och den marina miljön (Techera and Chandler, 2015). Forskningen tyder på att det finns signifikanta fördelar i ett brett perspektiv med dessa rev, då de bildar permanenta habitat. Artificiella rev har särskild betydelse för återupprättelse av kustmiljöers ekosystem. Om dessa fördelar ska ha verkan måste lagstiftningen anpassas, då det finns internationella regler om att allt huvudsakligen ska bort.

Det finns också exempel på teknikutveckling i Sverige där ett pråmliknande fundament "EMMA" (MarCon Wind Power, 2016) har testats för en mätmast. Pråmen är ett alternativ till förankrat fundament som stöds upp av stödben som vilar på botten. Fördelen enligt tillverkarna är att påverkan på omgivningen under byggnation är mindre jämfört med andra fundament som kan kräva mer omfattande arbete med utjämning av havsbotten eller borring. Återbruk förenklas eftersom stödbenen kan hissas upp och fundamentet bogseras bort och användas igen när det är dags att demontera vindkraftverken. Nackdelen är att det går åt cirka tre gånger mer stål vid tillverkning av fundamentet. Tekniken har inte testats för vindkraftverk ännu. Dock är det en vanlig teknik för stöd av t.ex. lyftkranar och oljeplattformar.

Torn

Forskning har bedrivits under många år gällande hela produktkedjan inom Sverige och internationellt sett. Forskning på torn kan ha flera syften:

- Utveckla nya material och jämföra olika material: På Uppsala universitet och KTH (Andersson, 2016) har det förekommit forskning om träorn.

Forskning inom området att använda modulärtorn tillverkade i limträ pågår.

- **Minska materialåtgången:** Materialåtgången är en viktig aspekt för miljöpåverkan under ett vindkraftsverks livstid. Genom att forska kring högre hållfasthet och högpresterande material kan materialåtgången minskas. På Luleå tekniska universitet har man till exempel tittat på utveckling av torn genom en kombination av högpresterande stål, montering och skarvmetoder för ståltorn (M Veljkovic m.fl, 2009).
- **Öka livslängden på tornen:** Tornen påverkas av ökade laster ju större vindkraftverken blir och i synnerhet i skog där turbulensen är hög. Det kan leda till utmattningsskador och kortare livslängd. Genom att beräkna lasterna på bland annat tornen kan på verkan minimeras. (SWPTC, 2016).
- **Identifiera lämpliga återvinningsprocesser för dagens konstruktionsmaterial:** Vissa torntyper, så kallade hybridtorn, består förenklat beskrivet av ett betongsegment som hålls samman av stålvarjrar. Betongen i dessa kan användas till fyllnadsmassor och stålet samt kopparn kan metallåtervinnas. I vissa fall kan dessa torndelar efter inspektion och godkännande återanvändas i andra vindkraftverk.

Rotorblad

Liksom för andra delar av vindkraftverket pågår det forskning på flera håll där man tittar på utveckling av rotorblad för högre återvinningsgrad av vindkraftverket. Verken designas bland annat utifrån Ekodesign-direktivet. Forskning genomförs framför allt för att identifiera lämpliga återvinningsprocesser för dagens konstruktionsmaterial. Utvecklingen av blad sker mot att öka bladlängder för att kunna leverera turbiner med högre effekttal, vilket är lockande för framtida kunder

I Danmark pågår ett forskningsprojekt (Energiforskning.dk, 2016) där man utvecklar nya kompositmaterial för bladen, som ses som den största barriären för att hela vindkraftverket ska kunna återvinnas. Projektet drivs i samarbete med Vestas, Aarhus universitet og teknologisk institut.

Projekt Genvind (Danmark) syftar till att identifiera och utveckla nya och vidareutveckla befintliga strategier för hållbar återvinning av plastkompositer med miljömässiga och ekonomiska fördelar för Danmark. Sammanställningen kommer att visa på att avfallet kan användas i många olika produkter, komponenter och strukturer. Det kan handla om allt från möbler till skateboards, till användning i byggnadsdelar och färgtillverkning (Genvind, 2016)

Optimering av drift och underhåll

Det pågår också forskning och utveckling på olika håll om hur parker optimalt planeras och styrs, dels hos bolagen men även inom flera forskningsinstanser som StandUpforWind och Nordiska konsortiet. Speciellt utvecklas modeller för mer optimal styrning av parker för att öka effektuttag och minska laster och därmed

öka livslängden. Svenskt Vindkraftstekniskt Centrum, på Chalmers, har under år 2016 startat ett doktorandprojekt inom detta område.

I Tyskland arbetar vindturbintillverkare och tjänsteföretag med att optimera drift och underhåll för att minska drift- och underhållskostnaderna. Bland annat genom övervakning av större komponenter. Det finns tjänsteföretag som är specialiserade på att ta hand om anläggningar i syfte att optimera kostnader för drift och underhåll.

Uppsala universitet Campus Gotland har tagit fram faktaunderlag om ”Nedmontering av vindkraftverk och efterbehandling av platsen” (L. Aldén et al, 2013). I denna ingår en beskrivning av återvinning och återbruk av vindkraftverk. Tre examensarbeten har också genomförts som behandlar detta ämne. Flera doktorander som är eller har varit knutna till universitet har studerat frågor om reduktion av miljöpåverkan vid återvinning av vindkraftsblad, nedmontering med perspektiv på föreskrifter och kostnader i Italien och Sverige samt om beräkningar av framtida nedmonteringskostnader.

Generator

Forskning har genomförts på Chalmers för att utveckla mer demonterbara och uppgraderingsbara generatorer. Chalmers har även genomfört projekt för att utveckla design för mer återvinningsbara generatorer och deltar även i flera EU-projekt kring återvinning/återvinningsprocesser av material som finns i generatorer.

Jordartsmetaller

Jordartmetaller förekommer hos vissa vindkraftsverk med direktdrivna system. De används i olika magnetiseringssystem i vindkraftverkens generatorer. Idag finns svårigheter med återvinning av dessa sällsynta jordartmetaller. Jordmetallernas miljö- och hälsopåverkan undersöks på flera håll internationellt sett. På Fraunhoferinstitutet i Alzenau forskas om metoder för återvinning av permanentmagneter (Ny metod återvinna permanentmagneter, 2015). Jämförelser mellan typer av vindkraftverk med denna typ av metaller och de utan dessa har tagits fram bland annat i ett examensarbete på Kungliga Tekniska Högskolan (Abrahamsson, 2014).

Fortsatt drift

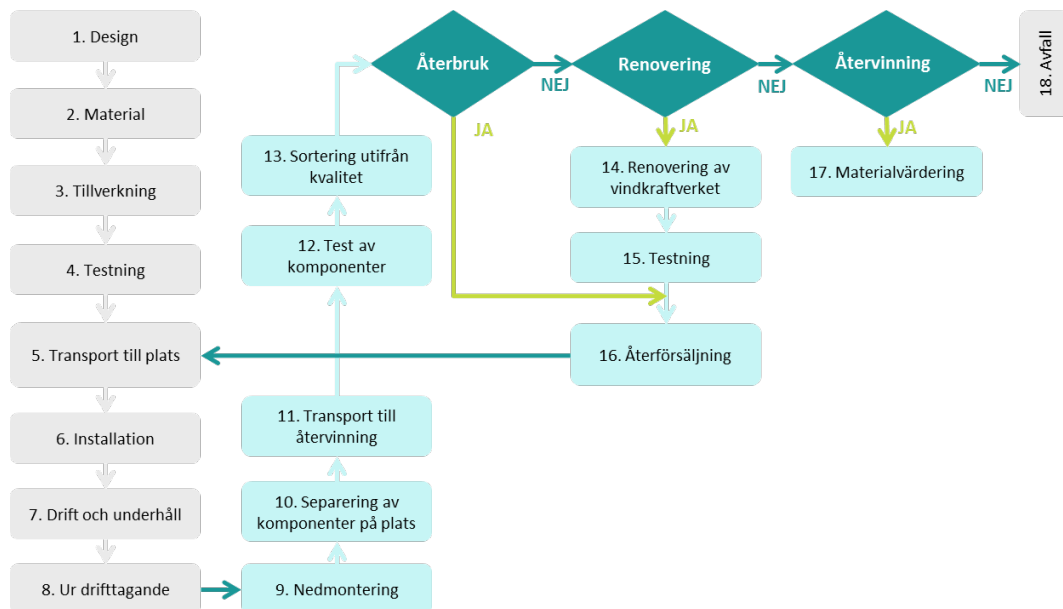
Forskningsprojekt pågår redan idag för hur vindkraftverk ska kunna producera vidare efter de första 20 åren. Institutet för materialtester i Bremen (MPA) arbetar tillsammans med forskare från Stiftelsen för materialvetenskap (IWT) i Bremen, universitetet i Bremen samt med näringslivet. Syftet med detta pilotprojekt är att göra det möjligt för fortsatt drift av äldre men fortfarande lönsamma och säkra vindkraftverk och därmed spara resurser. Efter 20 år måste företagen visa bevis på att vindkraftverket är stabilt och kan drivas vidare. Många vindkraftverk är ännu efter 20 år fortfarande i mycket gott skick.

4 Framtida möjligheter

I detta avsnitt beskrivs möjligheterna till utveckling av områdena återbruk, återvinning och generationsväxling på samma plats.

4.1 Återbruk av äldre vindkraftverk

När ett vindkraftverk nått sin ekonomiska (eller tekniska) livslängd finns flera olika alternativ till behandlingar som är tänkbara. Om verket inte skulle kunna renoveras för vidare försäljning eller om komponenterna inte skulle kunna återanvändas, är de flesta delar i ett vindkraftverk återvinningsbara. En processkarta vid övervägande av hur vindkraftverket skulle kunna återbrukas eller återvinnas finns i figur 5. De flesta led i denna beskrivning skulle vara möjliga att påverka och utveckla för en attraktiv andrahandsmarknad och för ökad återvinning av verket när det når sin slutliga livslängd.



Figur 5. Schematisk bild av processen för ett vindkraftverks hela livscykel. Fokus är på den avslutande delen som påbörjas när ett vindkraftverk har tagits ur drift. (Ortegon et al, 2013)

Återbruk handlar inte bara om materiella värden utan också om funktionella värden. Med det menas att det finns ekonomiska värden i återvinning av de olika materialen i vindkraftverket men att ett större värde finns hos komponenter som funktionellt kan återanvändas. Material från vindkraftverk testas och sorteras utifrån hur det ska hanteras. Om verket renoveras som helhet görs ytterligare tester av kvalitet och verket görs tillgängligt för andrahandsmarknaden.

4.1.1 Reducerad energianvändning

Andrahandsmarknaden för äldre verk och återanvändning av material har potential att reducera energianvändningen under livscykeln för verket och minska koldioxidutsläppen ytterligare per producerad kilowattimme. Det gäller även för de fall då komponenter används som reservdelar inom andra verksamhetsområden eller industrier.

Att återanvända huvuddelarna i ett vindkraftverk på 2 MW kan spara 70 procent av den totala energianvändningen jämfört med ett nytt vindkraftverk (Ortegon et al, 2013). Den energimässiga återbetalningstiden, även kallad ”energy pay-back” för ett återbrukat vindkraft verk är 0,15 år, det vill säga knappt två månader i jämförelse med 0,54 år (6 till 7 månader) för ett fabriksnytt vindkraftverk. Idag antas att vindkraftverk kan återanvändas en gång. Genom den slutliga återvinningen sluts energicirkeln där både importbehov och användning av råmaterial minskar.

Även om det finns fördelar med att återbruka och återvinna vindkraftverk är andrahandsmarknaden ännu outforskad. Livscykelanalyserna behöver kompletteras med slutanvändningsfasen samt den omvända logistiken, där demontering av verk, separering av delar och transport av olika moduler ingår.

4.1.2 Standardiserad nedmontering

Att i framtiden ha standardiserade metoder vid nedmontering är en möjlighet för effektivitet och resursbesparingar. Dagens metoder vid nedmontering kan utvecklas vidare och anpassas till de större verk som blir aktuella i framtiden. Även om platsspecifika egenskaper gör att modellerna behöver anpassas ytterligare vid nedmontering kan dessa utgöra grund för avvecklingsarbetet. Utvecklingen skulle gärna kunna ske genom nationellt och internationellt samarbete, i samverkan mellan turbintillverkare och forskningsinstanser.

4.1.3 Förlängd livslängd, testning och certifiering

En möjlighet för fortsatt drift efter de första 20 driftsåren hos befintliga verk skulle kunna vara att ta fram en certifiering som görs av oberoende kontrollanter för att utvärdera om verket kan fortsätta att användas med bibehållna garantier. Genom analys och test om vilka laster och lastcykler verket utsatts för samt konditionen i övrigt hos verket kan dessa godkännas för vidare drift, med koppling till hälsa och säkerhet i övrigt. Metoder för certifiering har redan tagits fram i Tyskland och skulle kunna anpassas till svenska förhållanden.

Ett alternativ för att öka livslängden är att bolag som bygger vindkraft redan vid upphandling ställer krav om längre livslängd vilket skulle kunna bidra till ökad livslängd hos moderna vindkraftverk. Redan idag finns modeller med livslängder uppemot 30 år och detta är kanske bara början till en teknisk mognad där endast delar som tjänat ut byts ut liknande som för vattenkraften.

Utvecklingen av smartare drift- och underhållsprocesser syftar till att minska den totala kostnaden för vindkraftverken under hela livslängden genom att reducera

mängden felavhjälpande underhåll. Att bättre förstå turbinerna och deras olika komponenters tillstånd har potential att öka livslängden, eftersom det ger en förståelse för vad som påverkar slitage och behovet av reparationer. Samtidigt är beslutet för när en vindkraftpark har uppnått sin livslängd i flera fall ett finansiellt beslut när det inte längre är lönsamt att reparera turbinerna. Ett sådant beslut kan tas innan alla komponenter är utslitna.

4.1.4 Ökad kvalitet hos de verk som återbrukas

Av de underlag som genomgått framgår det att det är aktuellt att lyfta vikten av god kvalitet hos verk som återbrukas. För att öka värdet och kvaliteten hos verk som återbrukas är det viktigt att möjliggöra produktpårning. Produktpårning innebär att se till verkets härkomst och tillverkning, att identifiera varje komponent och dess underhåll sedan installation och underlätta för kontroll och renoveringsprocess. Det är då värdefullt att se till dokumentation över produktion/drift och renoveringsprocess vilket kan öka köparens trygghet.



Nedmontering av vindkraftverk. Foto: Mats Flodman

4.1.5 Återbruk på nya marknader

Genom återanvändning av äldre renoverade vindkraftverk öppnas det upp för nya möjligheter att använda vindkraft på platser där investeringar i helt nya vindkraftverk tidigare varit för kostsamma. Då skapas också nya marknader för företag som renoverar och säljer vidare dessa vindkraftverk.

En marknad med stor potential för renoveringsbolag är medelstora vindkraftverk, där intressenter kan vara skolor, småföretag, jordbrukare och kommuner. Dessa intressenter letar efter sätt att minska kostnaderna för sina elräkningar. Storleken på verk varierar på mellan 500 till 1500 kW. Marknaden håller på att utvecklas i Sverige, däremot säljs de flesta mindre verk vidare till andra länder.

Garantier för återvunna vindkraftverk är idag på 2-5 år och livslängden för dessa anges till 10-15 år. Att investera i begagnade vindkraftverk innebär även kortare ledtider och lägre kostnader enligt rapporten (Ortegon et al, 2012) vilket kan vara en fördel för de som vill investera i små till medelstora vindkraftverk. Länder som utforskar förnybara energitekniker har intresse i andrahandsmarknaden som en del i deras energiportfolio. Drivkraften är att det inte finns intresse inom landet att satsa på infrastruktur kring egen tillverkningsindustri utan man är mer intresserad av att importera tekniken och få till stånd kommersiella handelsavtal.

Användningen av renoverade medelstora verk kan även potentiellt lösa energiförsörjning i landsbygdsområden där eldistributionsmöjligheterna är begränsade eller inte existerar. I båda fallen behöver analys av vindpotential, klimat och markegenskaper undersökas för en bra utbyggnad. Även olika länders policys och andra incitament behöver undersökas för utveckling av denna marknad.

Vid återbruk är också certifierade produkter attraktiva, likaså certifierade rekonditioneringsprocesser samt dokumentation om framgångsrika etableringar på nya platser. Garantier och teknisk dokumentation för verk som återanvänds är nödvändiga för en attraktiv andrahandsmarknad. Det är även en fördel om företag är specialiserade på olika varumärken/turbintyper (Ortegon et al, 2012)

Behovet av reservdelar ökar med ökat antal åldrande vindkraftverk och på samma sätt kan fler reservdelar finnas tillgängliga när verk monteras ned. Detta kan också beskrivas som en framtidsmarknad.

4.1.6 Designutveckling för ökad återvinning

Potentialen för ökad återvinning av olika komponenter är fortsatt hög. Utmaningen är att utveckla komponenter (materialteknik) med hög kvalitet och lång livslängd, med möjlighet till hög grad av återvinning. Livscykelanalyser används därför för att identifiera möjligheter till återvinning av hela verket i utvecklingsprocessen. Det pågår redan forskning i området men det behövs ytterligare forskning för utveckling av material som lämpar sig för återvinning och återbruk, kopplat till tillverkningsfasen, i samverkan med andra länder.

4.1.7 Anpassa tillståndens giltighetstid för återbruk

Vid renovering av befintliga vindkraftverk torde nuvarande tillståndets giltighetstid på 30-35 år vara tillräcklig. Det är dock viktigt att notera om tillståndstiden börjar gälla när tillståndet tas i anspråk eller då tillståndet vunnit laga kraft eftersom det påverkar driftstiden. Den nuvarande lagstiftningen möjliggör inte, vad Energimyndigheten kunnat utläsa, för förlängning av den befintliga giltighetstiden för tillståndsgivna parker.

En möjlighet om tillståndstiden inte skulle visa sig vara tillräcklig är att göra som Tyskland, där tillstånden kan förlängas på begäran om det finns bevis på stabilitet och säkerhet hos anläggningen. Då skulle ändringar i lagstiftning vara nödvändig och då gäller det inte bara för verksamheter som vindkraft.

4.2 Generationsväxling på samma plats

En generationsväxling kan sannolikt vara ett ekonomiskt fördelaktigt alternativ jämfört med nyetablering då existerande infrastruktur kan återanvändas, samt att vindresursen är väl känd. Omgivningspåverkan bör också vara väl känd och accepterad, vilket minskar kostnaderna och riskerna kopplade till projektering av vindkraftsparken. Möjligheterna är dock beroende av platsens förutsättningar och omfattningen av generationsväxlingen.

Platser som byggdes ut tidigt har ofta generellt goda vindlägen men vindkraftverken som byggdes för uppemot 20 år sedan var små. Det finns god potential för effektivisering genom att ersätta dessa. Kostnadseffektivitet kan uppnås genom bättre erfarenheter, en utvecklad organisation internt, mer erfarna kunder, mer mogen bransch (som har mer relevanta förväntningar), bättre verktyg och bättre system. Svårigheten är ofta att det behövs en ny tillståndsprövning.

4.2.1 Tekniskt optimum och standardiserad teknik

Utvecklingen av vindkraftverkens höjd och effekt har sedan en längre tid gått fort framåt och det är rimligt enligt Energimyndighetens bedömning att anta att vindkraftverk på land i framtiden närmar sig ett tekniskt optimum där ett verk vid livstidens slut kan ersättas med ett i princip likadant. I dessa fall skulle fundament rimligen kunna återanvändas, om lasterna från verket inte har påverkat dess kvalitet, och eventuellt även andra delar av vindkraftverket likaså annan intilliggande infrastruktur.

Då vindkraftverken på sikt når en mer standardiserad³ teknik skulle byte av befintliga verk kunna bli en naturlig del av livslängden för en större vindkraftspark. Detta är också en tillståndsfråga men i ett ekonomiskt perspektiv skulle detta kunna sänka kostnaden för nyinstallation av verk samt höja livslängden för en vindpark avsevärt. När den tekniska utrustningen och infrastrukturen redan är etablerad och projekteringstiden kan förkortas avsevärt (möjligen även enklare att få tillgång till kapital) så kan kostnadsreduktionen bli

³ Med standardiserad menas först och främst att ett nytt verk inte skiljer sig så mycket från det gamla med avseende på effekt, elproduktion, fullasttimmar, tornhöjd och rotordiameter.

stor. Mer standardiserade verk skulle också kunna innebära att det blir vanligare att byta ut enskilda delar av verket, så som rotorblad, snarare än hela verket. I dagsläget får en producent inga elcertifikat för detta annat än för den ökade produktionen.

4.2.2 Förenklad tillståndsprocess vid generationsväxling

Vid generationsväxling behöver i princip ett nytt tillstånd sökas för verksamheten. Denna process skulle kunna förenklas och effektiviseras då flera av de faktorer som avgör om bolaget får tillstånd är väl kända. Tidigare genomförda bedömningar och inventeringar av miljökonsekvenser skulle kunna utvecklas med kunskap och erfarenheter från drifttiden på den specifika platsen samt från genomförda kontrollprogram, och kompletteras utifrån vilken modell av vindkraft som avses uppföras. Vindförhållanden och övrig vinddata från platsen är väl dokumenterad och kan visa på att platsen är synnerligen lämplig för vindkraft. Det behövs inte göras en ny avvägning mellan olika riksintressen då markanvändningen inte ändras. Mycket av den infrastruktur som är etablerad kan återanvändas och förstärkas vid behov. Denna möjlighet förutsätter också att lagstiftningen är densamma, annars behöver anpassning ske.

Ett alternativ i den inledande fasen när ett tillstånd söks är att giltighetstiden kan regleras så att det finns marginal för flera generationer vindkraft om det är samma typ av verk. Olika fabrikat av vindkraftverk med samma storlek och samma belastningar på fundament kan definieras genom särskild certifiering av vindkraftverksmodellerna.

För en stor andel av de vindkraftverk som byggdes för 15 till 20 år sedan är det uteslutet att söka nya tillstånd för moderna vindkraftverk vid ett generationsskifte. Det kan bero på flera saker men en av de främsta är att man då byggde små verk jämfört med idag och att de ofta placerades nära hus. Att ersätta dessa verk med moderna turbiner skulle kunna ha en annan påverkan på omkringliggande bebyggelse vilket troligen skulle försvåra för generationsväxlingar inom tätbefolkade områden. Att återetablera med mindre vindkraftverk skulle vara en möjlighet om det är ekonomiskt fördelaktigt för ägarna.

När tekniken optimerats eller när är vindkraftverk på land nått standardisering skulle tillståndets giltighetstid kunna anpassas till att redan från början omfatta minst två generationer vindkraft alternativt omfattas av icke tidsbegränsade tillstånd. Vilket skulle kunna jämföras med en bil där tekniken är standardiserad. Nya bilar genomgår certifiering innan de släpps på marknaden och den befintliga bilparken kontrolleras vid bilprovningen. Nya vindkraftverk skulle då kunna etableras utan ny tillståndsprovning då tillståndet inte är tidsbegränsat.

4.2.3 Utveckling av styrmedel

Grundtanken med elcertifikatsystemet är att investeringskapitalet ska vara återbetalt efter 15 år och att intäkterna från försäljning av el därefter ska kunna täcka kostnaden för drift- och underhåll. Med dagens låga elpris kan utvecklingen ha blivit förändrad och det behöver utredas om det kan uppstå situationer där det

är ekonomiskt fördelaktigt att nedmontera ett vindkraftverk innan den tekniska livslängden har uppnåtts. I Energimyndighetens rapport (Energimyndigheten, 2016) inför kontrollstation 2017 för elcertifikatsystemet anges ett förslag om att det ska ha gått cirka 20 år från det att den första tilldelningen sker till att en ny tilldelningsperiod kan påbörjas. Syftet är att minska risken att anläggningar byggs om enbart för att stödet upphör eller att anläggningar optimeras för enbart 15 års drift.

Andra orsaker till att vindkraftverk monteras ned tidigare än avsett kan vara haverier och brist på reservdelar på andrahandsmarknaden då vissa äldre turbinmodeller inte längre tillverkas.

Enligt föreskriften gällande omfattande renoveringar behöver en stor andel av verket bytas till helt nya komponenter för att få förnyade elcertifikat. Dessa regler, om att det är nya komponenter som krävs, skulle kunna ha påverkan på möjligheten för återbruk av renoverade komponenter varför denna del skulle undersökas och utvecklas. I de fall ett bolag står inför en omfattande renovering av sitt verk uppstår frågan om det finns ekonomiska incitament för att byta en havererad komponent till en fabriksny istället för att återbruka en renoverad komponent i syfte att få förnyade elcertifikat. Vid ett sådant tillfälle behöver det vara tydligt vilka möjligheter som finns i elcertifikatsystemet.

Skulle det visa sig att stödsystemet har oönskad påverkan kan det vara lämpligt att se till hur elcertifikatsystemet mer skulle kunna omfatta generationsväxlingar där huvudkomponenter återanvänds för en än mer resurseffektiv vindkraftsutbyggnad och längre livslängder.

5 Förstudiens förslag

Förslag på fortsatta initiativ som förstudien identifierat som viktiga för återbruk, återvinning och generationsväxlingar i framtiden. Förslagen är uppdelade utifrån initiativ som ligger inom Energimyndighetens ansvarsområde, initiativ som sker i samverkan med andra myndigheter och aktörer samt uppslag till fortsatt forskning inom området.

5.1 Uppgifter för Energimyndigheten

Förslag på initiativ som skulle kunna utföras av Energimyndigheten:

Omvärldsbevakning av faktiska nedmonteringar

Genom att studera de nedmonteringar som sker i Europa samt undersöka hur genomförda generationsväxlingar hanteras internationellt kan viktiga lärdomar dras inför kommande hantering i Sverige. Det kan gälla erfarenheter från återvinningsprocesser, omvänd logistik samt att dra slutsatser om vilka förberedelser som krävs i Sverige för en optimerad process.

Ökad statistik och kunskap om nedmontering och återbruk

- **Föra statistik över genomförda nedmonteringar i Sverige**
Ett sådant exempel skulle kunna vara en sammanställande studie som uppdateras årligen med ny statistik. En sådan skulle lättare tas fram med en gemensam, obligatorisk projektportal.
- **Prognoser för kommande nedmonteringar**
Det är även viktigt att kunna bedöma när olika produktionsanläggningar i ett land behöver förnyas exempelvis vid utformning och utvärdering av styrmedel
- **Ta hänsyn till generationsväxlingar för att upprätthålla förnybar energiproduktion i energisystemet**
Verka förutseende för en fortsatt utbyggnad av vindkraft eller andra förnybara energikällor som står i nivå och svarar upp med utbyggnad i den takt som nedmontering av befintliga kraftverk kommer att ske. Generationsväxlingar kommer att spela stor roll för systemet.

De två sista punkterna är något som till viss del pågår och har analyserats i kontrollstationen för elcertifikatsystemet 2017.

Studera elcertifikatsystemets anpassning till nya energislag

Med tanke på den växande marknad rörande verk över 15 år som håller på att formas i Sverige bör frågan om hur elcertifikatsystemet påverkar livslängden och möjlighet för generationsväxlingar undersökas.

Regelverkets anpassning till energislag som behöver generationsväxlas bör därmed utredas. Enligt rapporten om kontrollstation 2017 bör även möjligheten för att ansöka om ny tilldelningsperiod utredas närmare.

- **Studera vilka variabler som påverkar aktörers beteenden**
Omställningen till ett hållbart energisystem kräver även kunskap och förståelse om samspelet mellan teknik och aktörers beteenden. Vilka faktorer och variabler som påverkar beslut om renovering eller återanvändning behöver utredas för att kunna ta slutsatser om påverkan av ekonomiska incitament, politiska instrument, osäkerhet gällande livslängd, andrahandsmarknader och framtida tillstånd.

Verka för svensk näringslivsutveckling

I och med att nedmontering av vindkraft, renovering och försäljning till andrahandsmarknader blir vanligare skapas nya behov av tjänster och företag. Energimyndigheten skulle kunna verka för en utveckling där dessa nya affärsmöjligheter kommer svenskt näringsliv tillgodo.

5.2 Initiativ i samverkan med andra aktörer

Förslag på initiativ som kan göras i samverkan med andra aktörer:

Ta fram certifiering och standarder

Energimyndigheten kan ta initiativ till att i samarbete med tillverkare, energibolag med erfarenhet av drift- och säkerhetsfrågor samt andra aktörer som exempelvis tillsynsmyndigheter och andra centrala myndigheter, ta fram nödvändiga certifieringar och standarder med inspiration från vår omvärld.

- **Utveckla standarder för nedmonteringsmetoder**
Genom att ta tillvara internationell och nationell kunskap kan hanteringen vid nedmontering optimeras i samverkan med verksamhetsutövare och turbintillverkare.
- **Standard/certifiering för fortsatt bruk**
Certifierade inspektörer som kan verifiera livslängd kan öka säkerheten för ägarna och öka viljan att förlänga livslängden genom investeringar i renovering samt certifierade rekonditioneringsprocesser.
Energimyndigheten kan vara drivande i detta förslag i samverkan med verksamhetsutövare, turbintillverkare och tillsynsmyndigheter.
- **Certifiering av produkter för lättare värdering**
Vid försäljning av begagnade verk och komponenter från vindkraftverk kan det behövas en certifiering för att utveckla och säkerställa en trygg andrahandsmarknad.
- **Produktspårning/ID-nummer**
Ett alternativ för att underlätta produktspårning kan vara att vindkraftverk och dess komponenter har separata ID-nummer som

förvaras i en databas. Energimyndigheten skulle kunna utreda vilka som bör ansvara för databasen i samverkan med bolagen som bygger och driver vindkraftverk.

- **Förenklad tillståndsprocess vid återetablering**

Energimyndigheten avser att ta initiativ till att tillsammans med Länsstyrelser, Naturvårdsverket och andra berörda aktörer diskutera hur tillståndsprocessen kan hanteras vid generationsväxlingar och om det är möjligt att exempelvis korta ner/förändra tillståndsprocessen för att underlätta en återetablering.

- **Ökad tillgänglighet till vindkraftverkens dokumentation**

För att möjliggöra optimerade processer, renoveringar och nedmonteringar behövs tillgång till dokumentation om vindkraftverken så som drift och underhållsdata, materialinnehåll, rivningsplaner, demonteringsinstruktioner, dimensioneringsdata samt dokumentation tidigare gjorda renoveringar.

I samarbete med branschen skulle en insats kunna göras för att tillgängliggöra viktig dokumentation. Dokumentationen är även viktig för värdet i på andrahandsmarknaden.

- **Smartare drift- och underhållsprocesser**

Att bättre förstå turbinerna och deras olika komponenters tillstånd kan öka livslängden, eftersom det ger en förståelse för vad som påverkar slitage och behovet av reparationer. Utveckling av strategier för planerat underhåll tillsammans med övervakning av kritiska delar i vindkraftverket minskar livscykelkostnaden. Utveckling och incitament för att användningen av "life extension programs" ökar bör undersökas närmre och vilka uppdateringar som kan göras i nutida verk för längre livslängder. Energimyndighetens roll kan vara stödjande i detta arbete.

5.3 Förslag på initiativ till fortsatt forskning kring återbruk:

Optimering och utveckling av återbruksprocesser i Sverige

Det finns en stor potential för att öka återbruk och återvinning av delar såsom exempelvis maskinhus, rotorerna och generatorer. Planering och förberedelse av logistiska utmaningar är av största vikt för att optimera och öka hanteringen av verk som återanvänds respektive återvinns. Genom detta kan andelen råmaterial och import av kritiska material minimeras. Se processbild (figur 5) steg 9-17.

Fördjupad förståelse för slitage i kallt klimat

För att säkerställa en optimerad livslängd även vid svenska förhållanden och i kallt klimat, måste metoder för att minska slitage vid is och temperaturvariationer utvecklas ytterligare. Huruvida det finns fler utmaningar med kallt klimat behöver undersökas.

Fördjupad kunskap om nedmontering och återbruk i LCA:er

Då endast en mindre del av befintliga livscykelanalyser (LCA) berör slutanvändningsfasen bör forskningsinstanser verka för att LCA-analyser inkluderar denna del samt gör beräkningarna mer transparenta. En eller flera examensarbetare skulle även kunna kopplas till Energimyndigheten. Även jämförelser mellan olika verkstyper kan vara av intresse vid prioriteringar vid upphandlingar.

Forskning på olika material och metoder

Forskning på nya material och olika återvinningsmetoder skulle kunna intensifieras. Även jämförelser mellan olika alternativa material och metoder borde utföras noggrannare för att ge underlag för teknikutveckling.

6 Slutsats

Energimyndigheten har genom denna förstudie undersökt med olika aktörer om hur aktuella frågor om återbruk och återvinning av vindkraftverk är. Myndigheten har även kartlagt en viss del av den forskning som pågår nationellt och internationellt sett. Även om det pågår mycket forskning och utveckling av vindkraftverk, både vad gäller ytterligare designutveckling för nya verk och återbruk av äldre vindkraftverk, finns det mer att göra. För Energimyndighetens del är det viktigt att följa utveckling kring återbruk och återvinning men också se till hur kommande nedmonteringar har påverkan på elsystemet som helhet. En fördjupad kartläggning av forskningen skulle behöva göras för att få en helhetsbild och följa utvecklingen internationellt sett.

Inom forskningen skulle livscykelanalyser som på ett transparent sätt inkluderar ett vindkraftverks slutfas och möjligheter till återbruk vara intressanta för en än mer hållbar vindkraftsutbyggnad. Fler faktiska fall kommer att kunna ingå i forskningen framöver då fler nedmonteringar blir aktuella i Sverige och andra delar av världen. Kopplingen till kallt klimat är intressant då det speglar svenska förhållanden och möjligheten för ökade livslängder och generationsväxlingar.

Det finns stora möjligheter till återbruk av vindkraftverk och utveckling av effektiva metoder för återvinning av vindkraftskomponenter. En framtida marknad för återförsäljning av äldre vindkraftverk förutspås samt en spirande marknad för drift- och underhållsföretag som servar både nya och gamla vindkraftverk är möjlig. Flera projekt skulle kunna drivas i samverkan mellan Energimyndigheten och andra aktörer för att utveckla och skapa en marknad i Sverige.

Ser man till möjligheten för generationsväxlingar av vindkraftverk på samma plats finns fördelar men också utmaningar med detta. Vindförhållanden är väl kända och möjligheter finns för ett visst återbruk av befintlig infrastruktur vilket gör att platsen blir attraktiv och det kan finnas kostnadsfördelar. Utmaningar finns både när det gäller hur tillståndsprocessen kan effektiviseras vid återetablering men också hur elcertifikatsystemet skulle kunna anpassas för en andra generation vindkraft på samma plats. Det senare skulle behöva undersökas närmare.

Energimyndigheten avser att ha en aktiv roll i denna utveckling av vindkraften i Sverige, både i egen regi och i samverkan med andra aktörer och länder. Det långsiktiga målet med förstudien var att öka vindkraftens hållbarhet. Bara genom att lyfta frågan om återbruk och återvinning skapas intresse för framtida generationer av vindkraft.

7 Litteraturförteckning

- A Bonou, S. I. (2015). Intruding life cycle thinking in product development - A case from Siemens Wind Power. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 45-48.
- Abrahamsson, C. (2014). *Miljöpåverkan, hälsopåverkan och LCC för direktdrivna kontra växellådsdrivna vindkraftverk med avseende på deras innehåll av jordartsmetaller*. Stockholm: KTH School of Industrial Engineering and Management.
- Andersson, M. (2016). *Vindkraftverk med trätorn miljöpåverkan och kostnad i jämförelse med ståltorn*. Stockholm: Kungliga tekniska högskolan.
- Aso, & Cheung. (2015). Towards greener horizontal-axis wind turbines: analysis of carbon emissions, energy and costs at the early design stage. *Journal of Cleaner Production*, 263-274.
- BWE Grundsätze. (u.d.). *BWE Grundsätze - für die Durchführung einer Bewertung und Prüfung über den Weiterbetrieb von Windenergieanlagen*.
- Demir and Taskin. (2013). Life cycle assessment of wind turbines in Pinarasi-Kayseri. *Journal of Cleaner production*, 253-263.
- Energiforskning.dk. (den 6 mars 2016). Hämtat från energiforskning.dk: http://energiforskning.dk/da/projects/detail?program=All&teknologi=67&lokalitet=All&start=&slut=&field_status_value=All&keyword=&page=0
- Energimyndigheten. (2016). *Kontrollstation 2017 för elcertifikatsystemet ER 2016:19*. Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Energimyndigheten och Naturvårdsverket. (2016). *Vägledning om nedmontering av vindkraft, på land och till havs*. Eskilstuna: Energimyndigheten, ET 2016:11.
- Garett och Rønde. (2013). Life cycle assessment of wind power: Comprehensive results from a state-of-the-art approach. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 37-48.
- Genvind. (Augusti 2016). Hämtat från Teknologisk institut: <http://www.teknologisk.dk/genvind/35106>
- Guezuraga et al. (2012). Life cycle assessment of two different 2MW class wind turbines. *Renewable Energy*, 37-44.
- Haapala and Prempreeda. (2014). Comparative life cycle assessment of 2.0 MW wind turbines. *Int. J. Sustainable Manufacturing*, 170-185.
- L. Aldén et al. (2013). *Nedmontering av vindkraftverk och efterbehandling av platsen*. Uppsala Universitet Campus Gotland.
- Lee and Hashim. (2014). Modelling and optimization of CO2 abatement strategies. *Journal of Cleaner Production*, 40-47.
- M Veljkovic m.fl. (2009). *High-strength tower in steel for wind turbines (HISTWIN)*. Hämtat från High-strength tower in steel for wind turbines (HISTWIN): https://pure.ltu.se/portal/files/41563266/KINA25127ENN_002.pdf den 22 08 2016

- MarCon Wind Power*. (den 29 September 2016). Hämtat från <http://marconwind.com/>
- Mark- och miljööverdomstolen. (2014). *M 9473-13*.
- Mark- och miljööverdomstolen. (2015). *M 2942-15*.
- Martinez et al. (2009). Life cycle assessment of a multi-megawatt wind turbine. *Renewable Energy*, 667-673.
- Metalliska material*. (den 18 08 2016). Hämtat från Centrum för högpresterande stål: <http://www.metalliskamaterial.se/en/research/chs-stalbyggnad-doktorandprojekt/>
- Meunier and Tremeac. (2009). Life cycle analysis of 4.5 MW and 250W wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2104–2110.
- Ny metod återvinna permanentmagneter*. (den 03 09 2015). Hämtat från Ny teknik: <http://www.nyteknik.se/energi/ny-metod-atervinna-permanentmagneter-6344922> den 22 08 2016
- Ortegon et al. (2012). Remanufacturing An Alternative for End of Use of Wind Turbines. *Leveraging Technology for a Sustainable World*, 155-160.
- Ortegon et al. (2013). Preparing for end of service life of windturbines. *Journal of CleanerProduction*, 191-199.
- Price and Kendall. (2012). Wind power as a case study: Improving LCA reporting to better enable meta-analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 22-27.
- SWPTC. (den 26 augusti 2016). *SWPTC*. Hämtat från SWPTC: <http://www.chalmers.se/sv/centrum/SWPTC/forskning/Sidor/Temagrupp-2.aspx> den 26 augusti 2016
- T Edeskär m.fl. (2009). *Grundläggning av vindkraftverk med hänsyn till tjäle*. Hämtat från Grundläggning av vindkraftverk med hänsyn till tjäle: https://pure.ltu.se/portal/files/3570874/Grundl_ggning_av_vindkraftverk.pdf den 22 08 2016
- Techera and Chandler. (2015). Offshore installations, decommissioning and artificial reefs: Do current legal frameworks best serve the marine environment. *Marine policy*, 53-60.
- Wahlsten, M. (2013). *Hållbarare vindkraft med mobila betongfabriker*. Hämtat från Hållbarare vindkraft med mobila betongfabriker: <http://www.vindkraftsnyheter.se/2013/05/h-llbarare-vindkraft-med-mobila-betongfabriker> den 22 08 2016
- Windpower, A. (2009). *Pilotprojekt vindkraft förbättrad fundamentalsdesign*. Oxhult: Arise windpower.

Ett hållbart energisystem gynnar samhället

Energimyndigheten arbetar för ett hållbart energisystem, som förenar ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet.

Vi utvecklar och förmedlar kunskap om effektivare energianvändning och andra energifrågor till hushåll, företag och myndigheter.

Utvecklingen av förnybara energikällor får stöd av oss, liksom smarta elnät och framtidens fordon och bränslen. Svenskt näringsliv får möjligheter till tillväxt genom att förverkliga sina innovationer och nya affärsidéer.

Vi deltar i internationella samarbeten för att nå klimatmålen, och hanterar olika styrmedel som elcertifikatsystemet och handeln med utsläppsrätter. Vi tar dessutom fram nationella analyser och prognoser, samt Sveriges officiella statistik på energiområdet.

