

# Vindkraftsfrågor på Island

Miljörelaterade möjligheter och utmaningar

## Wind Power on Iceland

Opportunities and challenges related to environmental issues





# **Vindkraftsfrågor på Island**

## Miljörelaterade möjligheter och utmaningar

# **Wind Power on Iceland**

## Opportunities and challenges related to environmental issues

### **Authors**

Terese Edlund, Carolina Togård, Yvonne Hedelin, Julia Westman och Sofia Holmström.

### **Date**

March 2023

# Key Page

<b>Report LV no.</b>	LV-2023-014	<b>Date</b>	March 2023
<b>Pages</b>	36	<b>Copies</b>	1
<b>Distribution</b>	[ X ] Published Online [ ] Open [ ] Limited until [Date.]		
<b>Title</b>	Windkraftsfrågor på Island: Miljörelaterade möjligheter och utmaningar  Wind Power on Iceland: Opportunities and challenges related to environmental issues		
<b>Authors / Company</b>	ARYA, Terese Edlund, Carolina Togård, Yvonne Hedelin, Julia Westman och Sofia Holmström.		
<b>Project manager</b>	Ragnheiður Ólafsdóttir		
<b>Prepared for</b>	Landsvirkjun		
<b>Co operators</b>			
<b>Abstract</b>	<p>Landsvirkjun planerar att utöka sin energiproduktion med ytterligare vindkraftverk. I samband med detta vill bolaget undersöka nuläge, möjligheter och utmaningar kring vindkraftverk och har därför kontaktat AFRY för att, som oberoende aktör, ge övergripande svar på vanligt förekommande diskussionsfrågor om vindkraftverkens miljöeffekter.</p> <p>Landsvirkjun is planning to increase the energy production from wind power by installing more turbines. In order to support this plan the company wishes to know more about the current state of affairs as well as future opportunities and challenges of wind power, and thus contracted AFRY, as an independent actor, to provide an overview of some of the issues being discussed regarding the environmental impact of wind turbines.</p>		
<b>Keywords</b>	Wind Power , Environment, Wind Turbines, LCA, Microplastics, Bisphenol A		

Signed by Landsvirkjun's  
Project manager

---



Kund: Landsvirkjun

Projekt: Vindkraftsfrågor på Island

Projekt nummer: D0065199

## Rapport

Författare

Terese Edlund, Carolina Togård, Yvonne Hedelin, Julia Westman och Sofia Holmström.

Tel

+46 10 505 0238

Mobil

+46 72 204 16 64

E-mail

Terese.edlund@afry.com

Datum

12/12/2022

Projekt ID

D0065199

Kund

Ragnheiður Ólafsdóttir, Landsvirkjun

# Vindkraftsfrågor på Island

Miljörelaterade möjligheter och utmaningar

## Innehållsförteckning

1	Inledning.....	3
1.1	Syfte och mål.....	3
1.2	Metod .....	3
2	Resultat .....	4
2.1	Viktigaste miljöfrågorna för allmänheten .....	4
2.1.1	Natur och kultur.....	4
2.1.2	Skuggor.....	4
2.1.3	Ljud .....	5
2.1.4	Fåglar och fladdermöss .....	5
2.2	Mikroplaster och Bisfenol A.....	5
2.2.1	Resultat .....	6
2.3	Livscykelanalyser av vindkraftverk.....	9
2.3.1	Vad är en livscykelanalys? .....	10
2.3.2	Vindkraftverkens miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv .....	10
2.4	Möjligheter och utmaningar kring återvinning och återanvändning av vindkraftverk .....	11
2.4.1	Stommen .....	11
2.4.2	Fundamentet .....	12
2.4.3	Rotorbladen .....	12
2.4.4	Återvinning och återanvändning internationellt .....	14
3	Slutsatser.....	15
4	Referenser.....	17

## 1 Inledning

Landsvirkjun är ett av Islands statligt ägna energibolag. Landsvirkjun producerar 75% av all el på Island (drygt 14.000 GWh per år), främst med vattenkraft och geotermiskkraft men även genom vindkraft. Energiproduktionen från vindkraft består av en liten del av den totala produktionen (5.4 GWh per år).

Landsvirkjun har två landbaserade vindkraftverk och planerar att utöka sin energiproduktion med ytterligare vindkraftverk. I samband med detta vill bolaget undersöka nuläge, möjligheter och utmaningar kring vindkraftverk och har därför kontaktat AFRY för att, som oberoende aktör, ge övergripande svar på vanligt förekommande diskussionsfrågor på Island om vindkraftverkens miljöeffekter.

Islands avfallsbolag har samarbete med svenska avfallsbolag för hantering av avfall och energibolaget ser en möjlighet till fortsatt samarbete för hantering av uttjänta vindkraftverk. Därför fokuserar studien främst på nuläge, möjligheterna och utmaningarna ur ett Svenskt perspektiv samtidigt som det görs en internationell utblick i vissa avsnitt.

Studien har gjorts på en övergripande nivå och rapporten är skriven så att det ska vara lätt för läsaren att ta till sig informationen utan några djupare förkunskaper om vindkraftverk.

### 1.1 Syfte och mål

Syftet med studien är att öka medvetenheten och kunskapen kring vindkraftverkens miljöeffekter och vilka möjligheter det finns att minska den negativa miljöpåverkan.

Målet med studien är att svara på följande frågeställningar:

- Vilka vindkraftsrelaterade miljöfrågor tycker allmänheten är viktigast?
- Hur ser man på riskerna med läckage av mikroplaster från vindkraftverk i Sverige?
- Används Bisfenol A vid tillverkning av vindkraftverken eller är det en utgående kemikalie?
- Hur ser miljöpåverkan ut för vindkraftverk ur ett livscykelperspektiv?
- Vilka möjligheter finns det till återvinning och återanvändning av vindkraftverk i Sverige och internationellt?

### 1.2 Metod

Studien har gjorts genom framför allt rapporter, artiklar och data från tillgängliga elektroniska källor. Därtill har ett flertal intervjuer gjorts.

#### **Viktigaste miljöfrågorna hos allmänheten**

Sammanställningen är baserad på tillgängliga elektroniska källor.

#### **Vindkraftverkens miljöpåverkan**

De senaste livscykelanalyserna och rapporter om ett vindkraftsverks miljöpåverkan under dess livstid har legat till grund för att utreda vindkraftverkens miljöpåverkan.

#### **Risker med mikroplaster och Bisfenol A**

Studien om mikroplaster och bisfenol A grundar sig på en genomlysning av ett urval rapporter och artiklar för att se på sanningshalten i dessa. Studien har också försökt få fram om dessa diskuteras i Sverige och /eller beaktas av till exempel Kemikalieinspektionen eller Naturvårdverket i Sverige.

## **Möjligheter och utmaningar kring återvinning och återanvändning**

För att utreda vilka möjligheter det finns till återvinning och återanvändning av vindkraftverk i Sverige idag har intervjuer med experter gjorts, så som en forskare inom det aktuella fältet på ett forskningsinstitut, en entreprenör som jobbar med nedmontering av vindkraftverk i hela Sverige och identifierar avsättningsmöjligheter för dem och en sakkunnig på ett återvinningsbolag. Därtill har andra intervjuer gjorts. För att undersöka hur möjligheterna och utmaningarna ser ut idag generellt på den internationella marknaden har tidigare studier gjorda av experter på AFRY använts. Vidare har utredningen baserats på tillgängliga elektroniska källor.

## **2 Resultat**

### **2.1 Viktigaste miljöfrågorna för allmänheten**

I detta kapitel presenteras vindkraftens påverkan inom områden som kan engagera allmänheten inför en etablering av vindkraftverk. De frågor som är viktigast för allmänheten i Sverige är: natur och kultur, skuggor, buller, fåglar och fladdermöss.

#### **2.1.1 Natur och kultur**

Vindkraftverkens påverkan på landskapet varierar utifrån hur tåligt landskapet är för förändringar. För att undvika så stor negativ miljöpåverkan som möjligt bör vindkraftverk inte byggas i områden med höga naturvärden eller i skyddade områden. Utöver själva vindkraftverken kan även byggnation i form av vägar och dylikt påverka naturmiljön (Naturvårdsverket, 2021).

Ett landskap som präglas av nutida mänsklig aktivitet är inte lika känsligt som ett landskap som präglas av ingen eller äldre mänsklig aktivitet. Vindkraft påverkar landskapet och medför visuella förändringar för de platser där vindkraftverken kan ses ifrån. Då byggnation av vindkraftverk och master sker relativt snabbt förändras landskapsbilden på förhållandevis kort tid. Uppfattningen av hur stor förändringen är beror på vem som betraktar landskapet. Vilken relation individen har till platsen, generell inställning till vindkraft samt vilka förväntningar som fanns i förväg påverkar människors upplevelse av etablering av vindkraftverk (Energimyndigheten, 2022).

Ett landskaps karaktär och förutsättningar kan variera stort mellan närliggande områden. En enskild analys av varje plats känslighet för vindkraft krävs för att göra en så korrekt bedömning som möjligt. Det ansvarar projektören för (Naturvårdsverket, 2013).

#### **2.1.2 Skuggor**

Vid soligt och klart väder uppkommer svepande skuggor från vindkraftverkens rotorblad. Beroende på landskapets topografi och utseende samt vindkraftverkens totalhöjd kan skuggorna uppfattas från olika avstånd (Energimyndigheten, 2020).

I planeringen av anläggande av vindkraftsverk är visualiseringar en viktig del för att undvika skuggproblematik. För att undvika skuggor som kan upplevas störande kan vindkraftverken placeras på avstånd från bostadshus och i väderstreck som minimerar störningar. Om den slutliga layouten skulle medföra skuggor vid närliggande bostadshus som överskrider rekommenderade värden kan vindkraftverken utrustas med avkopplingsautomatik. Vindkraftverk har avancerade styr- och reglersystem, och det finns



program och komponenter som gör det möjligt att styra och begränsa skuggutbredning (Boverket, 2012).

### 2.1.3 Ljud

Mängder av mänskliga aktiviteter i dagens samhälle orsakar ljud av olika slag. Vindkraftverk är inget undantag. Då vindkraft ofta byggs i områden med låga bakgrundsljud kan bullret vara mer framträdande.

Utvecklingen har gått framåt, dagens vindkraftverk kan avge lägre ljudnivåer än äldre modeller samtidigt som de är större och producerar mer el. De är däremot i drift större delar av dygnet. För att minska bullerproblematik har tillverkarna av vindkraftverk utvecklat de mekaniska delarna och bladens utformning. Äldre vindkraftverk alstrade mer buller från växellåda och generator. Då dagens vindkraftverk producerar mer el kan man säga att verken blivit mer bullereffektiva idag.

I närheten kring vindkraftverken finns dock fortfarande en risk för bullerstörningar och det är av stor vikt att dessa risker minimeras. Människor som ser vindkraftverken störs i högre utsträckning av ljud från vindkraftverk än de som inte ser dem (Naturvårdsverket, 2020).

### 2.1.4 Fåglar och fladdermöss

Genom att bygga vindkraftverk i områden med där fåglar inte övervintrar, häckar eller stannar under förflyttning är det effektivaste sättet att undvika en negativ påverkan för fåglar. Genom att hålla skyddsavstånd till områden med känsliga arter där inga vindkraftverk bör byggas minskar riskerna för hotade arter. Fåglar, möjligen med undantag för svalor och seglare, attraheras normalt inte till vindkraftverk, utan snarare undviker eller ignorerar dem (Energimyndigheten, 2022).

Utöver en noggrann lokalisering av vindkraftverken kan exempelvis kameror placeras på vindkraftverken i syfte att reagera när större fåglar närmar sig, vilket gör att verket automatiskt kan stannas för att undvika en kollision. Ett annat exempel är vindkraftverk som kör i så kallat fladdermussäkert läge för att undvika olyckor med fladdermöss. Det finns också forskning om att olika arter undviker vindkraftverk beroende på vilken färg rotorbladen har (Naturvårdsverket, 2011).

En tioårig studie har gjorts i Smøla, Norge, där man målat ett av tre rotorblad svart. Fyra vindkraftverk hade ett svartmålat rotorblad och fyra vindkraftverk hade vita klassisk färg rotorblad, studien gjordes på totalt åtta vindkraftverk. Studien visade en minskning av kollisioner för fåglar med över 70% på de vindkraftverk där ett rotorblad var svartmålat jämfört med vindkraftverk som hade vita rotorblad och störst skillnad märktes på rovfåglar. I rapporten skriver man att det rekommenderas att upprepa studien på andra platser eftersom försöket är gjort i liten skala för att se att resultaten är generiska på olika platser (May, et al., 2020).

## 2.2 Mikroplaster och Bisfenol A

Det byggs och planeras många vindkraftsverk av olika storlek i världen. Idag byggs bara i Sverige 25TWh och man räknar med en 4-dubbling dvs ca 100 TWh till 2040 (Källa: SR Klotet). Det är idag enklare och billigare att bygga ut vindkraften (än kärnkraften) och man bygger där man får tillstånd. Det behövs också ledningar och ett starkt elnät (kan vara begränsande). Därutöver kan tillståndet i sig hindras av olika intressen gällande artskydd, militära skäl eller de lokala kommunernas vetorätt (i Sverige) pga landskapsbilden, bulleraspekter etc.

Vindkraftverk utsätts för miljöpåverkan genom väder och vind och med det joniserande strålning, ozonnedbrytning och surt regn som ger ett slitage under deras livslängd. Då främst rotorbladen som roterar. Rotorbladen består av plast, en epoxi (ca 40%) armerad med glasfiber (ca 60%), och de är ofta målade i en epoxibaserad färg för att vara slitåliga. Epoxin består av härdad epoxiharts (ofta Bisfenol A, härdare, färgpigment (titan) och ev. andra komponenter, tillsatser eller additiv. Vindkraftsverkens mast eller torn består av stål och är även de målade med en färg för att skyddas från väder och vind (slitage och rost) men också för att smälta in i miljön.

I Rapporten "Búrfellslundur - Utvärdering av miljöpåverkan", nr LV-2016-029 från Landsvirkjun tas yttre påverkan som rotation, vindhastighet och lufttryckskillnader, solstrålning, väderförhållanden, temperatur/värme, isbildning, avisning och ev. aska och pimstensnedfall upp som också kan sättas i samband med slitage av plast och färg.

I Rapporten "Livscykelanalys av elproduktion med forskningsväderkvarnar på Havet vid Búrfell", nr LV-2015-129 från Landsvirkjun ges exempel på mängder av ingående material som man räknat på.

I detta kapitel undersöks:

- slitaget och om mikroplaster kan spridas från vindturbinens rotorblad.
- om Bisfenol används idag i tillverkningen av nya vindkraftverk och om en urfasning är på gång/kommer ämnet att användas framöver i tillverkningen.

I avsnittet presenteras olika studier och uttalanden från olika aktörer som kommenteras på löpande av författarna till denna rapport.

### 2.2.1 Resultat

I rapporten "Leading Edge erosion and pollution from wind turbine blades" (2021-07-08) tas Bisfenol A upp som ett farligt ämne och bl.a. finns på Norges lista över farliga ämnen som utgör en risk för människors hälsa och miljö, och som bör substitueras. I rapporten har man räknat på slitaget (av ett medelstort vindkraftsverk) och kommit fram till ca 1,55 ton under en 25 års period. Rapporten nämner också att snö, hagel, salt och sand bara kan öka slitaget. Andra rapporter nämns också, som säger att erosion pga regn är ett stort problem, liksom gropfrätning- och delamineringsproblem. Och att moderna vindturbiner därför är belagda med ett lager med polyuretanbaserad färg/lack ovanpå epoxigelcoaten. En dementi (Kieran Pugh) nämns som tar upp 0,5735 kg erosion/turbin/år, vilket skulle ge max 14,33 kg på 25 år och att under en 15-20 årsperiod så klarar de inte sig utan ett (dvs behövs också ett förebyggande) underhåll. Rapporten nämner också något om spridningsområdet (50 m bakom rotorbladen) av slitaget och det som eroderar.

*Kommentar:*

*- I andra rapporter från vindkraftsindustrin skiljer slitaget sig dock åt beroende på hur man räknar, storlek på vindkraftsverk, hastighet och energipåverkan etc. En del rapporter visar på klart lägre slitage. Liksom att större vindkraftsverk har ett högre slitage av olika anledningar. Man kan säga att siffrorna går isär men att epoxi används just för att minimera slitaget (då det är det starkaste materialet och ytbeläggningen som förekommer på marknaden bland plaster).*

*- Bisfenolen A (BPA) föreligger inte i fri form då epoxiplasten är härdad och vid en nedbrytning kan den inte återgå till ursprungsmätna (vilket inte framgår av rapporten!). Detta gäller också för polyuretanplast. Möjligen kan det finnas en liten andel oreagerad*

*epoxiharts (eller isocyanater) kvar som skulle kunna förorena mark, jord, vatten, fjordar eller hav. Denna andel är mycket låg, se uppgift i nedan artikel.*

*- Artikeln är trovärdig och vederhäftig men utgår från större vindkraftsverk och säger också att större sådana också har mer slitage, vilket kan tala för mindre vindkraftsverk, liksom att de står på land. En osäkerhet är att de beskriver epoxi och polyuretaner som att de består av fri bisfenol eller isocyanater vilket inte är fallet om de är rätt härdade, fullt uthärdade. De ska inte heller brytas ner i eller återgå i dessa komponenter.*

**I artikeln "Felaktiga uppgifter om vindkraft underblåser oro"** (2021-07-06) på Svensk vindenergis hemsida tas uppgiften upp om, att den svenska vindkraften skulle sprida 10 000 ton mikroplast per år, härstammar från Norge och har granskats av NORWEA. Granskningen visar att bladens vikt förlust främst utgörs av färg och uppgår till 2,25 kg per vindkraftverk under 15 år. Översatt till svenska förhållanden blir det 4 300 vindkraftverk och 0,15 kg per vindkraftverk och år = 645 kg/år. De menar att detta ska jämföras med de stora källorna till utmaningen med mikroplaster i naturen. Naturvårdsverket bedömer att följande källor tillsammans släpper ut cirka 13 000 ton mikroplast per år i Sverige: Däckslitage, Konstgräsplaner, Tvätt av syntetfibrer, Båtbottenfärg, Produktion & hantering av primärplast, Vägtrafik utom däckslitage, Målning av byggnader, Hygienprodukter. Vindkraftsblad innehåller små mängder Bisfenol A och bladen omges av ett hårt ytskikt som innesluter glasfiberplasten. Ett blad som väger 20 ton innehåller cirka 20 gram Bisfenol A. Högt räknat innehåller Sveriges 4 300 vindkraftverk tillsammans 260 kg Bisfenol A. Bisfenol A är ett misstänkt hormonstörande ämne som kan påverka fortplantningen. Vi får alla i oss låga doser av ämnet genom mat och dryck, men enligt Livsmedelsverket bedöms inte den mängd bisfenol A vi får i oss skada hälsan.

*Kommentar:*

- *Artikeln känns befogad, och att uppgifter om slitage måste sättas i sitt sammanhang.*

**I programmet "Så kan vindsnurror påverka livet i havet"** på Sveriges Radio (2022-08-09) tas påståendena upp om att vindkraften sprider stora mängder partiklar av mikroplaster på grund av slitage av turbinbladen i havet. Man menar att det finns inget stöd av det i forskningen eller studier med hänvisning till Svenska Naturvårdsverkets sammanställning. Det avfärdas som försumbara mängder som inte har någon märkbar påverkan på miljön (dvs det är lite av en myt).

**Naturvårdsverket i Sverige** har många olika publikationer och vägledningar om vindkraft som handlar om och tar upp buller, artskydd, landlevande däggdjur, kulturmiljö, samhällsnytta, hälsa och ohälsa mm men dessa nämner inget påtagligt om mikroplaster.

*Kommentar:*

- *Slitaget på vindkraftverk kan jämföras/vägas med tex antalet flygplan eller byggnader i världen. Antal vindkraftsverk i världen var 2019: 651 GW Onshore+ 29 GW Offshore (Källa: Energimyndigheten i Sverige) vilket ger (om man räknar på ca 3,5 MW per/st) ca 195 000 st och de blir fler (idag över 740 GW dvs fler än 200 000 st). Vid utgången av 2019 fanns det totalt 4 099 vindkraftverk i Sverige med en sammanlagd installerad effekt på 8 984 MW. I Danmark fanns 2019 drygt 6 000 vindkraftverk (Källa: Vestas). Antal målade byggnader i världen är oräkneliga men bidrar sannolikt i en mycket större omfattning till en större spridning av mikroplaster.*
- *Slitaget kan ge mikroplaster (nanoplaster), men det finns få rapporter som tar upp hälsoeffekter kopplade till mikroplaster eller nanopartiklar.*

**Enligt Arbetsmiljööpplysningen** ([www.arbetsmiljööpplysningen.se](http://www.arbetsmiljööpplysningen.se)): framgår det att det vanligaste härdplasterna är epoxi, akrylat och polyuretan. De flesta härdplaster är ofarliga när de har härdat färdigt. Polyuretan däremot innehåller isocyanater som kan frigöras vid uppvärmning och orsaka hälsoproblem vid inandning.

*Kommentar:*

- *Uppvärmning i höga temperaturer är inte aktuellt när det kommer till vindkraftsverk. Det gäller främst matförpackningar och liknande som kan upphettas.*

**Bisfenol A (BPA)** finns enligt Livsmedelsverket (i Sverige) i matbehållare, konservburkar, sportflaskor, tandfyllningsmaterial mm där man kan få ett direkt intag. Den mängd bisfenol A vi får oss bedöms inte skada hälsan enligt den bedömning Efsa, den europeiska myndigheten för livsmedelssäkerhet, gjorde 2015. Efsa betonar att det finns osäkerheter och därför ska man göra fler studier. Gränsvärdet för hur mycket bisfenol A från livsmedelsförpackningar av plast som får vandra över till livsmedel är 50 ug/kg livsmedel (EU-förordning 2018/213). De grupper som enligt "worst case"-beräkningar skulle få i sig mest bisfenol A, från både mat och andra källor, kommer upp i 1,5 ug per kilo kroppsvikt och dag (Källa: Efsa 2015).

*Kommentar:*

- *De flesta studier beaktar migrering till mat eller dryck som ger ett mer direkt intag för människan av bisfenol A (eller liknande bisfenoler).*

**Enligt Karolinska institutet** (i Sverige) och i den information som finns på deras hemsida anges att i människor bryts BPA snabbt ner och ackumuleras inte i kroppen. Trots det påträffas BPA och flera andra bisfenoler i nästan alla urin- och blodprover från människor där man gjort kemiska analyser. Detta tyder på att majoriteten av befolkningen exponeras kontinuerligt för låga doser av dessa ämnen, särskilt BPA. Hittills har man antagit att människor främst exponeras via mat och dryck som varit i kontakt med polykarbonatplast eller epoxi.

*Kommentar:*

- *Se ovan kommentar.*

**I andra studier (för dricksvatten)** kan man sällan visa på att gränsvärdena (BPA 0,1 mg/l) överskrids. Det finns förslag om att man ska utreda hur epoxi bryts ner i djursmatsmältning mm.

**Från sammanfattningen i Rapport 5/17 "Bisfenoler – en kartläggning och analys"** från KEMI Kemikalieinspektionen 2017 (i Sverige) framgår att Bisfenol A är ett ämne som framställs i stora volymer och som används framför allt för att tillverka plast, särskilt polykarbonat- eller epoxiplast. Bisfenol A förekommer också i termopapper, som till exempel används till kvitton. De två största källorna för exponering för BPA är material som kommer i kontakt med livsmedel och termopapper (SOU 2014:90). Ämnet påträffas i nästan alla urin- och blodprover från människor, vilket tyder på att de flesta av oss hela tiden får i oss låga doser av ämnet. Bisfenol A är hormonstörande för människor och kan påverka vår fortplantningsförmåga. För att minska exponeringen för bisfenol A har nya regler för bisfenol A antagits både i Sverige och i EU under de senaste två åren. Kemikalieinspektionens kartläggning visar att det finns sex bisfenoler som har egenskaper och användningar som skulle kunna vara problematiska ur ett riskperspektiv, bland dem

bisfenol A. För samtliga är utredningar av alternativ till riskbegränsande åtgärder initierade i 8 EU inom ramen för kemikalielagstiftningen Reach. Kemikalieinspektionen har påbörjat utredningar för två av dessa sex bisfenoler. Om det finns behov kommer myndigheten föreslå lämpliga åtgärder för dessa ämnen. Totalt är 12 av de 39 bisfenolerna identifierade för åtgärder under Reach-förordningen. Kemikalieinspektionen föreslår i nuläget inga nya begränsningsregler för bisfenoler. Anledningen är att vi idag saknar tillräcklig information om hur bisfenolerna används och om deras toxikologiska effekter för att någon risk ska kunna påvisas. Inte heller vid beaktande av försiktighetsprincipen bedömer vi att vi inom ramen för uppdraget har tillräcklig kunskap för att kunna avgöra om det finns en vetenskapligt grundad misstanke om risker med bisfenoler.

**I samma rapport (från KEMI I Sverige)** anges att: BPA togs upp som SVHC-ämne på EU:s kandidatförteckning i Reach-förordningen i januari 2017. I juni 2017 togs dessutom beslut i medlemsstatskommittén, MSC, om att föra upp BPA på kandidatförteckningen som hormonstörande för människa. Tyskland lämnade i augusti 2017 ett förslag om att BPA även ska identifieras som hormonstörande för miljön. Klassificeringen av BPA som ett CMR-ämne leder dessutom till att ämnet är förbjudet i kemiska produkter som är tillgängliga för konsumenter.

**I samma rapport (från KEMI I Sverige)** anges att: Bisfenoler förekommer som monomerer i ett stort antal polymera material (plaster). De funktionella grupper som leder till polymerisering av bisfenolerna är hydroxigrupperna som reagerar i polymeriseringen och bildar exempelvis ester- eller eter-bindningar. Ursprungsåmnet, monomeren, förbrukas därför i polymeriseringen och vanligtvis återfinns endast mycket små mängder kvar i slutmaterialet (<http://webapps.kemi.se/kemistat/>). UV-stabilisatorer tillsätts ett material för att förhindra nedbrytning under inverkan från UV-ljus och för att skydda det underliggande materialet.

*Kommentar:*

- *Bisfenol är också ett ämne som inom Reach-lagstiftningen kommer att utredas vidare.*
- *Uppgifterna gör att man ska beakta bisfenol A som ett reglerat ämne vilket kommer att leda till en substitution på sikt.*
- *I vindkraftsverk har man härdad epoxi (eller med viss inblandning av polyuretan) och tillsatsämnen tillsätts för att skydda och förhindra slitage och nedbrytning.*

Sammanfattningsvis kan sägas att epoxi som en härdad (en kemiskt tvärbunden) plast är ett val utifrån att vindkraftsverkens rotorblad ska hålla bra och slitas så lite som möjligt. Epoxiplasten (och färg gjord baserat på epoxi eller sådan blandplast) har vissa tillsatser och additiv för att göra den stabil mot nedbrytning. Det sker en ständig utveckling inom såväl vindkraftsindustrin som inom den kemisktekniska branschen och alla produkter (plaster och färger) utvecklas till det bättre med tiden. Därför bör såväl slitaget som risken för bisfenol A förbättras och minskas över tid. Om mängden mikroplaster i form av slitage från ca 4300 vindkraftverk i Sverige (uppgifter från 2021) som uppgår till ca 645 kg/år jämförs med en siffra om 10 000 ton/år av annat slitage (som ger mikroplaster) från t.ex. dubbdäck, konstgräsplaner etc. är det en väldigt liten andel (ppm) av den totala mängden.

## 2.3 Livscykelanalyser av vindkraftverk

Detta avsnitt sammanfattar aktuella livscykelanalyser och rapporter på vindkraftverk främst med fokus på klimatpåverkan från tillverkning och drift av vindkraftverken. Det finns olika typer av vindkraftturbiner. Denna del av studien har främst fokuserat på vindkraftverk med horisontell rotoraxel, både på land och till havs.

### 2.3.1 Vad är en livscykelanalys?

En livscykelanalys (LCA) beräknar en produkts påverkan på olika miljöfaktorer under produktens hela livscykel. Detta innefattar påverkan från utvinning av råmaterial, materialsammansättning, produktanvändning, nedmontering, ev. återvinning och avfallshantering. I detta dokument är klimatpåverkan den främsta faktorn som tas upp, men andra miljöfaktorer kan också nämnas. Vad som är viktigt att komma ihåg är att resultat mellan olika livscykelanalyser inte är direkt jämförbara, då livscykelanalyser kan göras på olika sätt med olika funktionella enheter och gränser. I detta dokument jämförs därför inga resultat mellan olika livscykelanalyser.

### 2.3.2 Vindkraftverkens miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv

#### 2.3.2.1 Övergripande miljöpåverkan

Flertalet livscykelanalyser påvisar att extraktion av råmaterial samt produktionen av vindkraftturbiner är de delar av livscykeln som har den absolut största miljö- och klimatpåverkan (Mello, et al., 2020; Vestas, 2022; Sphera, 2021). De material som bidrar mest till miljöpåverkan är järn och stål, aluminium, glasfiber och cement (Energimyndigheten, 2021). Även transport, både av råmaterial till tillverkningsanläggning samt till vindparken har en signifikant klimatpåverkan. Denna påverkan varierar dock beroende på typen av transport (båt, tåg, lastbil etc.), typ av bränsle, samt avstånd mellan tillverkare och slutdestination (Vestas, 2022; Mello, et al., 2020).

Andra delar i vindkraftverkets livscykel, så som tillverkning av transformatorstationer, underhåll, installation och demontering har generellt mindre betydelse (Sphera, 2021).

Livstiden för ett vindkraftverk har även den inverkan på dess miljöpåverkan per kilowattimme. Ett sätt att minska påverkan är att byta ut/reparera så mycket som möjligt av de delar som är möjliga för att förlänga den totala livslängden på vindkraftverket (Vestas, 2022).

Storleken på vindkraftverken, placeringen på vindkraftverken samt vindförhållandena vid platsen spelar roll för ett vindkraftsverk livscykelpåverkan. Generellt sett ger större vindkraftverk mer el än små verk, vilket innebär att växthusgasutsläppen per kilowattimme blir lägre (Energimyndigheten, 2021). Dock gäller det att vindkraftverken är anpassade till de olika vindklasserna som finns där vindkraftverken är placerade, så det är inte alltid storleken som spelar roll (Vestas, 2022).

Den totala mängden energin som går åt till extraktion av råmaterial, tillverkning av vindkraftverket, installation, transport, nedmontering samt avfallshantering och återvinning brukar ta runt ett halvår för ett vindkraftverk placerat på land att producera. För vindkraftverk placerad i havet bedöms det ta ca 8 månader. Baserat på att ett vindkraftverks livslängd är ca 20-25 år innebär det att vindkraftverket kommer producera mellan 20 och 100 gånger mer än insatsenergin (Energimyndigheten, 2021).

#### 2.3.2.2 Material och återvinning

Vindkraftverk som plockas ner i förtid (p.g.a. utgången giltighetstid eller annat) kan repareras och säljas vidare i sin helhet, eller plockas isär och säljas komponentvis. För mindre vindkraftverk finns det en andrahandsmarknad (i Sverige). Det har även förekommit flytt av större vindkraftverk, i bl.a. Spanien och Tyskland. Det finns även en stor andrahandsmarknad för komponenter som renoveras och säljs vidare, som för rotorblad, växellåda, generatorer, etc.

Om inte komponenterna kan återanvändas kan en stor del av materialen återvinnas, så som stål, järn, aluminium och koppar. Betongen från fundamenten kan krossas och användas som fyllnadsmassor. (Energimyndigheten, 2021).

Glasfiberkomposit används i rotorbladen, och utgör ca 5-8 % av vindturbinens vikt. Rotorbladen har, efter användning, tidigare tagits om hand genom renovering, förbränning och deponi, bland annat. Hur sluthantering av rotorblad som är gjorda av glasfiber kan göras mer cirkulärt är ännu osäkert då det just nu inte finns en utvecklad återvinningsmetod som är ekonomiskt hållbar. Utveckling och forskning kring återvinningstekniker pågår dock, som tex malning och inblandning som fyllnadsmedel i byggnadsmaterial och andra kompositmaterial, samt utveckling av kemiska processer för att återvinna materialet (RISE, 2020).

Sällsynta jordartsmetaller återfinns i stor utsträckning i permanentmagneter som används för bl. a. elgeneratorer. Användningen av dessa metaller gör att magneterna kan göras effektivare, och dessa används i många nya vindkraftverk. EU kommissionen har klassat jordartsmetallerna som de mest kritiska råmaterialen för europeisk industri, i och med att de ökat kraftigt i användning. Fördelen med att ha dessa i vindkraftverksmotorer är att de klarar mer varierande vindhastigheter, vilket gör att det inte krävs en växellåda. Det finns dock vindkraftverk med liknande installerad effekt utan permanentmagneter, se (Energimyndigheten, 2021).

Mer än 95% av världens produktionen av sällsynta jordartsmetaller finns idag i Kina. Det har tidigare funnits en stor illegal gruvdrift i Kina som till stor del bidragit till miljöförstöring i vissa provinser, men Kina har sedan 2010-talet arbetat med att minska denna brottslighet. Det är därför i nuläget svårt att få information om hur utvinningen och bearbetningen av metallerna har påverkat miljön i form av radioaktivt avfall och annan miljöförstöring, vilket gör att det är svårt att genomföra fullständiga livscykelanalyser med korrekt data (Energimyndigheten, 2021).

För att öka cirkulariteten i nya vindkraftverk föreslår (Vestas, 2022) att öka mängden återvunnen metall i turbinen, öka mängden av andra återvunna material i turbinen samt öka möjligheten att återvinna dessa material, öka förmågan att reparera och/eller återanvända komponenter, att välja material med lång livslängd, samt öka eller optimera turbinens livstid.

## 2.4 Möjligheter och utmaningar kring återvinning och återanvändning av vindkraftverk

Studien visar att vindkraftverk till stor del kan materialåtervinnas. Återvinningsmöjligheterna skiljer sig dock beroende på vilka delar av vindkraftverken man tittar på. När det kommer till återanvändning så finns det en andrahandsmarknad men den är idag begränsad. I följande avsnitt redogörs för återvinnings- och återanvändningsbarheten för tre olika delar av vindkraftverk (stomme, fundament och rotorblad) ur ett Sverige och internationellt perspektiv.

### 2.4.1 Stommen

Det vanligaste materialet för vindkraftverkens stomme är stål. Det finns också stommar gjorda av betong. Enligt intervjuerna är det praxis att stommen på vindkraftverken återvinns i Sverige då den ofta är gjort av stål. Andrahandsmarknaden för vindkraftverkens stommar är begränsad eftersom stommarna utsätts för så mycket påfrestning, vilket kan göra det svårt att avgöra om begagnade stommar klarar säkerhets- och kvalitetskrav.

Det finns en liten andrahandsmarknad av vindkraftverk i både Sverige och utomlands där komponenter eller hela vindkraftverk säljs.

#### 2.4.2 Fundamentet

Fundamentet kan vara gjort av stål eller betong. Det återanvänds ibland på plats i stället för att återvinnas eller krossas. Det intervjuade återvinningsbolaget berättar att i Sverige kan betongfundament krossas och användas som fyllnadsmaterial och om fundamentet i stället är gjort av stål kan det materialåtervinnas.

#### 2.4.3 Rotorbladen

Rotorbladen är gjorda av kompositmaterial vilket gör dem svåra att återvinna. Det krävs omfattande och avancerade återvinningsprocesser genom termisk, kemisk eller mekanisk återvinning. I Sverige finns det tekniker för materialåtervinning så som mekanisk återvinning, kemisk återvinning och pyrolys. Dock i mycket liten skala och mestadels på pilotstadium. Genom mekanisk återvinning kan man exempelvis tillverka bullerplank eller byggskivor. Det är dock vanligare i Danmark än i Sverige. Enligt intervjuerna är förbränning (energiåtervinning) den vanligaste metoden för att omhänderta uttjänta rotorblad i Sverige. Det sker i cementugn eller i avfallspanna. Ibland tillverkas bränsle till cementproduktion. Globalt är det vanligast att rotorbladen läggs på deponi. Enligt AFRYs tidigare studier finns det mer storskaliga återvinningsprocesser internationellt för specifikt kolfiberbaserade rotorblad, nämligen pyrolys (till exempel i Norge), där output blir fibrer, olja och gas, samt återvinning genom cementproduktion (i Europa).

Det finns några internationella exempel där blad från vindkraftverk används för att bygga lekparker och kontormöbler (figur 1 – 5). Andrahandsmarknaden är dock liten. Dessa exempel kommer från tidigare projekt gjorda av AFRY.

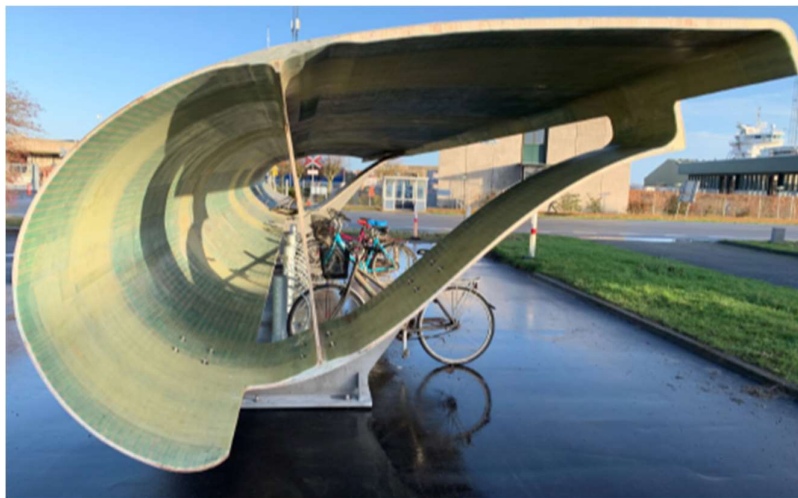


Figur 1: Wikado lekpark i Rotterdam (2009)

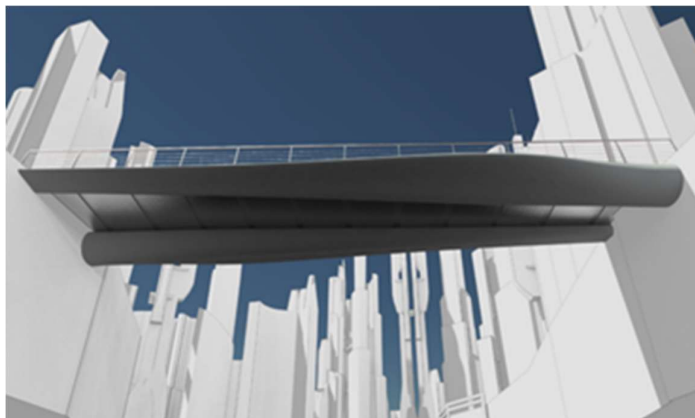




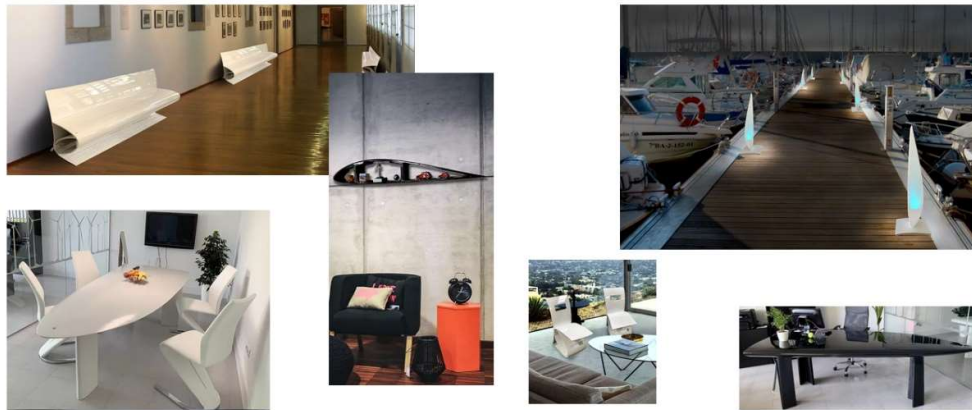
Figur 2: Rewind Willemsplein, Rotterdam (2012)



Figur 3: Cykelställ, Port of Aalborg (2020)



Figur 4: studie om möjligheten att bygga broar gjorda av blad från vindkraftverk (masteruppsats på Delft University of Technology)



Figur 5: möbler gjorda av rotorblad

#### 2.4.4 Återvinning och återanvändning internationellt

Marknaden för återanvändning av äldre vindkraftverk och dess komponenter är liten i både Sverige och utomlands. Enligt entreprenören som jobbar med nedmontering av vindkraftverk så finns det andrahandsmarknader i Sverige, Irland och Italien. Komponenterna från vindkraftverken säljs som reservdelar till liknande turbiner eller så säljs hela vindkraftverken till små aktörer, individer eller till städer/byar där man inte kan finansiera inköp av helt nya vindkraftverk. Samma intervjuperson berättar att det också kommer in en del begagnade komponenter till Sverige, exempelvis från Holland och Belgien där många vindkraftverk monteras ner. Vidare berättar intervjupersonen att det är väldigt få vindkraftverk som monteras ner i Sverige, 3 till 5 per år. Det är vanligt att åtminstone vissa komponenter återanvänds.

Studier som AFRY har gjort med ett internationellt perspektiv visar att återanvändning av vindkraftverkens komponenter är komplicerat, exempelvis behöver komponenterna kvalitetssäkras och certifieras på nytt vilket kan vara en tidskrävande process. Författarna till rapporten misstänker att dessa omfattande processer eventuellt inte görs när vindkraftverk och dess komponenter köps av små entreprenörer och individer. Dessutom är arbetsprocessen för att plocka isär och rengöra komponenterna också komplicerat och tidskrävande.

Det finns internationella digitala plattformar för att köpa och sälja vindkraftverk eller dess komponenter, så som Spares in Motion och Wind Aftermarket.

Danmark, Tyskland, Holland, England, Norge och Irland är länder som beskrivs ha kommit längre än Sverige med att utveckla cirkulära flöden kring vindkraftverk men det mesta är fortfarande på pilotstadiet. Det pågår mycket teknikutveckling. Siemens Gamesa och IRT Jules Verne har börjat utveckla rotorblad för återvinning (IRT JULES Verne, 2022; Siemens Gamesa, 2021) och Vestas har utvecklat en teknik för återvinning av vindkraftverksblad (Vestas, 2021). Teknikutvecklingen sker för det mesta utanför Sverige, så som i Danmark, Tyskland och Norge och det mesta är på pilotstadier eller väldigt småskaligt. Ett projekt kallat FiberEUse syftar till att skapa ett cirkulärt system kring återvinning av olika typer av

starka kompositmaterial (GFRP och CFRP) för att använda dem som förstärkningsmaterial i både konsumentprodukter och i infrastruktur (FiberEUUse, 2022). Sju Europeiska länder är involverade så som Finland, Tyskland och England. Inte Sverige.

Vindkraftsbranschen i Europa vill att det införs ett förbud mot deponi av vindkraftverksblad och vill att Europa Kommissionen inför ett sådant förbud (WindEurope, 2021). Än så länge har detta inte införts och Kommissionen har inte kommunicerat någon tydlig agenda för detta. En anledning, enligt tidigare internationella studier gjord av AFRY 2020, är att det inte finns tillräckligt med volymer avfall från rotorbladen för att ärendet ska prioriteras. Ytterligare en anledning kan vara kriserna som pågått sedan 2020 (Corona-pandemi och kriget i Ukraina). Däremot har förbud införts på nationell nivå i några EU-länder. Tyskland, Finland, Österrike och Nederländerna är de länder som infört förbud mot deponi av rotorblad. I Nederländerna gäller lagen så länge alternativa behandlingsmetoder inte överskrider 200 EURO/ton.

Enligt en intervjupersonen som jobbar med att montera ner vindkraftverk är det bara 3 -5 vindkraftverk som monteras ner i Sverige per år och därför har frågan om möjligheten till materialåtervinning och återanvändning inte varit så brådskande i Sverige.

Eftersom återvinningsmöjligheten och återanvändningsmöjligheten av vindkraftverk är begränsad idag är det ur ett miljöperspektiv bra att försöka förlänga vindkraftverkens livslängd så mycket det går. Underhållskostnaderna ökar visserligen ju äldre vindkraftverken blir. Enligt AFRYs tidigare studier kan underhållskostnaderna gå från 10 – 15% av årskostnaderna när vindkraftverken är relativt nya till 20 – 35% när de har stått ett tag. Det finns tillverkare av vindkraftverk internationellt som jobbar på att designa dem så att de blir lättare att underhålla och reparera. Dessutom kan man utveckla tekniker så som övervakningstekniker som också bidrar till att det blir lättare att underhålla och reparera vindkraftverken.

## 3 Slutsatser

### Miljöpåverkan från vindkraftverk

Extraktionen av råmaterial samt tillverkningen av vindkraftturbinerna är den del som har absolut störst påverkan i vindkraftverkets livscykel. De material som har allra störst påverkan är järn, stål, aluminium, glasfiber och cement. För att minska påverkan från dessa steg i livscykeln föreslår (Vestas, 2022) att bland annat öka mängden återvunnen material i vindturbinen.

Vindkraftverket storlek, placering i relation till vindförhållanden samt vindkraftverkets livslängd har även dessa påverkan på ett vindkraftsverk totala miljöpåverkan under dess livstid. Det är därmed viktigt att se till att vindförhållandena är anpassade till vindkraftverkets placering och storlek för att minska miljöpåverkan per producerad kWh. Även transport från tillverkning av vindkraftsturbiner till slutplacering av vindkraftverket kan ha relativt stor miljöpåverkan beroende på avstånd, transport- och bränsletyp som används.

Många material och komponenter i ett vindkraftverk kan antingen återanvändas eller återvinnas när vindkraftverket är uttjänt. Det material som det ännu inte finns utvecklade återvinningstekniker för är glasfiberkomposit som återfinns i rotorbladen. Det pågår flera

olika forsknings- och utvecklingsprojekt kring hur en återvinning av glasfiberkomposit kan se ut för att vara ekonomisk och ekologiskt hållbar.

### **Mikroplaster och Bisfenol A**

Epoxiharts är överlägset andra typer av hartser eftersom det har låg krympning under härdning och utmärkt fukt- och kemikalieresistens. Den har hög slitstyrka och är slagålig, den har goda elektriska och isolerande egenskaper och lång hållbarhet.

Man kan sluta sig till att det sker ett visst slitage från vindkraftsverk och dess rotorblad och därmed en viss spridning av mikroplaster från färg och ytbeläggning till mark och vatten. Härdad epoxi (ev. viss mängd polyuretan) används däremot för att skydda ytor mot slitage. Det betyder att spridning av mikroplaster bör vägas mot nyttan och man hade förmodligen fått högre slitage av andra ytbehandlinger. Slitaget som sprids i miljön bör sättas i samband med annan spridning av mikroplaster tex av flygplan eller byggnader, slitage av däck på våra vägar, och den miljöpåverkan det får.

Härdad epoxi avger väldigt lite bisfenol A (monomer). Mängden och exponeringen (hälsomässigt) är troligtvis försumbar jämfört med vad vi får i oss genom livsmedel och dess förpackningar.

Härdad epoxi är idag det starkaste materialet för rotorblad och dess ytbeläggning. Bisfenol A är nu reglerat i lagstiftning och kommer substitueras men hur fort det går för olika applikationer är svårt att förutspå eller hur snabbt branschen kan ställa om och ersätta epoxi eller likande material (polyuretaner). Hållbarheten/hållfastheten spelar ju en stor roll ur ett livscykelperspektiv.

### **Återvinning och återanvändning av vindkraftverk**

I Sverige materialåtervinns vanligtvis vindkraftverkens fundament och stomme. Däremot materialåtervinns inte rotorbladen annat än i mycket liten skala (pilotstadier). Det vanligaste sättet att omhänderta rotorblad på i Sverige är genom förbränning (energiåtervinning).

Det pågår dock mycket teknikutveckling för att öka möjligheterna till att återvinna rotorbladen och skapa cirkulära flöden för vindkraftverk. Mer i andra länder än i Sverige. Teknikutveckling sker även i Sverige men är fortfarande på pilotstadium.

Det finns en liten andrahandsmarknad i Sverige och i några andra länder för uttjänta vindkraftverk där både hela vindkraftverk eller dess komponenter säljs. Det är dock mest individer eller mindre entreprenörer som handlar på andrahandsmarknaden. Det kan också vara fattigare områden som inte har råd att köpa nya vindkraftverk, som köper begagnat.

## 4 Referenser

Arbetsmiljöupplysningen, 2022. [Online]

Available at: <http://www.arbetsmiljoupplysningen.se/>

[Använd 02 september 2022].

Asbjorn, S., Rimereit, B.-E. & Weinbach, J. E., 2021. *Leading Edge erosion and pollution from wind turbine blades*, u.o.: THE TURBINE GROUP.

Boverket, 2012. *Vindkraftshandboken - Planering och prövning av vindkraftverk på land*, u.o.: u.n.

Energimyndigheten, 2020. *Skuggor, reflexer och ljus*. [Online]

Available at: <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/vindkraft/vindlov/planering-och-tillstand/gardsverk/inledande-skede/halsa-och-sakerhet/skuggor-reflexer-och-ljus/>

Energimyndigheten, 2021. *Vindkraftens resursanvändning*. [Online]

Available at: [https://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/strategi-for-hallbar-vindkraftsutbyggnad/vindkraftens-resursanvandning\\_slutversion-20210127.pdf](https://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/strategi-for-hallbar-vindkraftsutbyggnad/vindkraftens-resursanvandning_slutversion-20210127.pdf)

Energimyndigheten, 2022. *Vindkraft i landskapet*, u.o.: u.n.

Energimyndigheten, 2022. *Vindkraftens påverkan på fåglar och fladdermöss*, u.o.: u.n.

Karolinska institutet, 2022. *Bisfenoler*. [Online]

Available at: <https://ki.se/imm/bisfenoler>

[Använd 02 september 2022].

Kemikalieinspektionen, u.å.. *Bisfenoler - en kartläggning och analys*, u.o.: Kemikalieinspektionen.

May, R. o.a., 2020. Paint it black: Efficacy of increased wind-turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities.. *Ecology and evolution*, Volym 10, p. 8927–8935.

Mello, G., Ferreira Dias, M. & Robaina, M., 2020. Wind farms life cycle assessment review: CO2 emissions and climate change. *Energy Reports*, pp. 214-219.

Naturvårdsverket, 2011. *Vindkraftens effekter på fåglar och fladdermöss*, u.o.: u.n.

Naturvårdsverket, 2013. *Vindkraft i öppet landskap, skog, fjäll och hav*, u.o.: u.n.

Naturvårdsverket, 2020. *Vägledning om buller från vindkraftverk*, u.o.: u.n.

Naturvårdsverket, 2021. *Vindkraftens påverkan på människors intressen*, u.o.: u.n.

Naturvårdsverket, 2022. *Söksida*. [Online]

Available at: <https://www.naturvardsverket.se/soksida/?q=vindkraft>

[Använd 02 september 2022].

RISE, 2020. *Sverige behöver ett system för återvinning av vindturbinblad*. [Online]

Available at: <https://www.ri.se/sv/press/sverige-behover-ett-system-for-atervinning-av-vindturbinblad>

Sphera, 2021. *Evaluating Sustainability of Wind Energy: Fact-Based Insights Through LCA*. [Online]

Available at: <https://sphera.com/blog/evaluating-sustainability-of-wind-energy-fact-based-insights-through-lca/>

Svensk Vindenergi, 2021. *Felaktiga uppgifter om vindkraft underblåser oro*. [Online]  
Available at: <https://svenskvindenergi.org/debattinlaqq/felaktiga-uppgifter-om-vindkraft-underblaser-oro>  
[Använd 02 september 2022].

Vestas, 2022. *Life Cycle Assessment of electricity production from an onshore V136-4.2 MW wind plant*. [Online]  
Available at: [https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/sustainability/reports-and-ratings/lcas/LCA%20of%20Electricity%20Production%20from%20an%20onshore%20V136-4.2MW%20Wind%20Plant\\_Final.pdf.coredownload.inline.pdf](https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/sustainability/reports-and-ratings/lcas/LCA%20of%20Electricity%20Production%20from%20an%20onshore%20V136-4.2MW%20Wind%20Plant_Final.pdf.coredownload.inline.pdf)

Vindkraftverk, 2022. *Vindkraftverk*. [Online]  
Available at: <https://www.vindkraftverk.top/>  
[Använd 02 september 2022].

WindEurope, 2021. *Wind industry calls for Europe-wide ban on landfilling turbine blades*. [Online]  
Available at: <https://windeurope.org/newsroom/press-releases/wind-industry-calls-for-europe-wide-ban-on-landfilling-turbine-blades/>  
[Använd 11 November 2022].



# Wind Power on Iceland

Opportunities and challenges related to environmental issues

Client  
Ragnheiður Ólafsdóttir, Landsvirkjun

Author  
Terese Edlund, Carolina Togård, Yvonne Hedelin,  
Julia Westman and Sofia Holmström  
Phone  
+46 10 505 0238  
Mobile  
+46 72 204 16 64  
E-mail

Date  
19/12/2022

Project  
D0065199

Landsvirkjun  
Wind power on Iceland D0065199  
Date 12/12/2022

copyright© AFRY (ÅF-Infrastructure AB)

terese.edlund@afry.com

## Contents

1	Introduction.....	3
1.1	Scope of Work .....	3
1.2	Methods.....	3
1.2.1	The environmental issues most important to the public.....	3
1.2.2	Risks related to microplastics and Bisphenol A .....	3
1.2.3	Life cycle environmental impacts of wind turbines .....	4
1.2.4	Opportunities and challenges of recycling and reuse .....	4
2	Results.....	4
2.1	Environmental Issues Important to the Public.....	4
2.1.1	Nature and Culture.....	4
2.1.2	Shadow flicker .....	4
2.1.3	Sound.....	5
2.1.4	Birds and bats .....	5
2.2	Microplastics and Bisphenol A .....	5
2.2.1	Review of the current state of knowledge.....	6
2.2.2	Summary .....	10
2.3	Life Cycle Analyses of Wind Turbines .....	10
2.3.1	What is a Life Cycle Analysis? .....	10
2.3.2	Environmental Impact of Wind Power from a Life Cycle Perspective .....	10
2.4	Opportunities and Challenges in Recycling and Reuse of Wind Turbines....	12
2.4.1	Tower .....	12
2.4.2	Foundation .....	12
2.4.3	Turbine Blades.....	12
2.4.4	An International Outlook on Recycling and Reuse.....	14
3	Conclusions .....	15
3.1	Environmental impacts of wind turbines .....	15
3.2	Microplastics and Bisphenol A .....	16
3.3	Recycling and reuse of wind turbines .....	16
4	References .....	17



# 1 Introduction

Landsvirkjun is the National Power Company of Iceland and produces 75% of all electricity on Iceland (over 14.000 GWh per year), mostly from hydro power or geothermal power but also from wind power. The energy production from wind power constitutes a minor part of total production (5.4 GWh per year).

Landsvirkjun has two on-shore wind turbines and is planning to increase the energy production from wind power by installing more turbines. In order to support this plan the company wishes to know more about the current state of affairs as well as future opportunities and challenges of wind power, and thus contracted AFRY, as an independent actor, to provide an overview of some of the issues being discussed on Iceland regarding the environmental impact of wind turbines.

Waste management companies in Iceland cooperate with Swedish waste management companies and thus Landsvirkjun sees an opportunity for further cooperation regarding the management of decommissioned wind turbines. Hence the present study focuses on the current state of affairs, opportunities and challenges from a Swedish perspective but with an international outlook in some sections.

This study constitutes a general overview and the report is intended to be read by a layperson, i.e. no in-depth knowledge of wind power is required.

## 1.1 Scope of Work

The purpose of this study is to increase awareness and understanding of the environmental impacts of wind power and what can be done to reduce negative impacts to the environment.

The study aims to answer the following questions:

- What environmental issues regarding wind power are most important to the public?
- What is the view on the risks of the spread of microplastics from wind turbines in Sweden?
- What are the environmental impacts of a wind turbine from a life cycle perspective?
- What are the possibilities regarding recycling and reuse of wind turbines in Sweden and internationally?

## 1.2 Methods

This study is primarily a literature review based on digitally available reports, articles and data sets. In addition, a number of interviews have been carried out.

### 1.2.1 The environmental issues most important to the public

This section is based on available digital sources.

### 1.2.2 Risks related to microplastics and Bisphenol A

To address this issue a number of reports and articles have been scrutinized for veracity. In addition an attempt has been made to investigate whether these reports and articles are being discussed or considered by relevant authorities in Sweden, such as the Swedish Chemicals Agency or the Swedish Environmental Protection Agency.

### 1.2.3 Life cycle environmental impacts of wind turbines

This issue has been investigated using the latest available life cycle analyses and reports on the environmental impact of wind turbines.

### 1.2.4 Opportunities and challenges of recycling and reuse

To investigate current possibilities for recycling or reusing wind turbines in Sweden a number of experts have been interviewed, including a researcher, a contractor working on decommissioning of wind turbines and a specialist at a recycling company. Additional interviews have also been carried out. The international outlook regarding this issue is based on previous studies performed by experts at AFRY. Finally, any available digital sources have also been used.

## 2 Results

### 2.1 Environmental Issues Important to the Public

In this section the issues pertaining to the impacts of wind power that engage the public are presented. Those issues that are most important to the Swedish public are: nature and culture, shadowing, noise, and birds and bats

#### 2.1.1 Nature and Culture

The impact on wind turbines on the landscape depends on how resilient the landscape is to changes. To avoid a large environmental impact wind turbines should not be installed in protected areas or areas with high natural values. In addition to the turbines themselves construction of roads and other infrastructure can impact the natural environment (Swedish Environmental Protection Agency, 2021).

A landscape that bears the stamp of modern human activity is not as sensitive as a pristine landscape or a landscape that only bears the mark of historical human activity. Wind power affects the landscape and has a visual impact on places from where the turbines can be seen. Since the installation of turbines, as well as radio masts, is a fairly quick process the visual changes to the landscape can appear sudden. How these visual changes are perceived depends on the observer. An individual's experience of the installation of wind power varies depending on that individual's relationship to the site, their general view on wind power and what their prior expectations were (Swedish Energy Agency, 2022).

The character and properties of a landscape can vary greatly between nearby areas. Thus a separate analysis of the landscape's sensitivity to the installation of wind turbines is required for each specific site. This is the responsibility of the wind power project developer entering a permit process (Swedish Environmental Protection Agency, 2013).

#### 2.1.2 Shadow flicker

During sunny weather and clear skies flickering shadows will be cast by the turbines' rotor blades. These shadows can be perceived at different distances from the turbines, depending on the topography and appearance of the landscape as well as the height of the turbines (Swedish Energy Agency, 2020).

When planning the installation of wind turbines visualizations are an important tool for avoiding issues with shadow flickering. By locating the turbines sufficiently far from residential areas and in suitable directions perceived disturbances from moving

shadowing can be minimized. If the final layout does impact residential housing beyond what is recommended then the turbines can be equipped with automated control systems that can limit the degree of shadowing (Swedish National Board of Housing, Building and Planning, 2012).

### 2.1.3 Sound

Many human activities of today produce noise of different kinds. Wind turbines is no exception. Since wind turbines are often installed in areas with low background noise levels the sound from the turbines can be more prominent.

Technological development has led to modern wind turbines being much more quiet than older models, despite being larger and producing more power. Still, wind turbines may be in operation around the clock. To reduce sound, turbine manufacturers have improved the mechanical parts as well as the design of the blades. In older turbines most of the noise came from the gear box and generator. As modern turbines produce much more electricity they have become much more efficient in terms of power to noise.

In the vicinity of wind turbines there is still a risk of noise pollution and thus it is of great importance that this risk is minimized. Members of the public who see wind turbines tend to be more annoyed by noise pollution than those who do not (Swedish Environmental Protection Agency, 2020).

### 2.1.4 Birds and bats

The best method for minimizing negative impacts on birds is to avoid installing wind turbines in areas where birds winter, breed or migrate through. Maintaining a protective distance between wind turbines and areas containing sensitive species reduces the risk to said species. Usually birds, with possible exceptions being swallows and swifts, are not attracted to wind turbines, but instead avoid or ignore them (Swedish Energy Agency, 2022).

In addition to a careful choice of location for wind turbines, cameras can be mounted which can detect larger birds approaching and automatically stop the turbine to avoid a collision. For bats there is a system in use called bat mode for avoiding accidents with bats during conditions when they are most active.

There is also research indicating that some species will avoid wind turbines depending on the colour of the blades (Swedish Environmental Protection Agency, 2011). A decade long study was conducted in Smøla, Norway, where four out of eight three-bladed wind turbines had one blade painted black. The study showed a 70% reduction in bird collisions for the turbines with one blade painted black, relative the turbines which did not have a black-painted blade. The biggest difference was found for birds of prey. The report recommends that the study be replicated in other locations to ensure that the results are universal in nature (May, et al., 2020).

## 2.2 Microplastics and Bisphenol A

The wind power market is expanding rapidly throughout the world. According to Radio Sweden (program Klotet) 25 TWh is installed or in the process of being installed in Sweden alone, and this is expected to quadruple to about 100 TWh by 2040. It is today easier and cheaper to expand wind power than, e.g., nuclear power and installations are made where permits are granted. However, this also requires transmissions lines and a resilient grid, which can be limiting factors. Furthermore,

permitting may be hindered by different interests, such as species protection, military defence reasons or local municipalities. In Sweden municipalities are responsible for local planning and may have concerns regarding noise, shadowing, etc.

Wind turbines are subject to the wear and tear of weather, ionizing radiation, degradation by ozone and acidic rain, in particular the rotating blades. The turbine blades are primarily made out of plastic, an epoxy (about 40%) reinforced by fiberglass (about 60%), and often painted using an epoxy-based paint to increase durability. The epoxy will often consist of Bisphenol A (BPA), as well as colour pigments and other additives. The pylon will usually be made out of steel but are also painted for durability and to visually blend in.

The report LV-2016-029 by Landsvirkjun highlights a number of external factors that may affect the wear on plastics and paint, such as rotation, wind speed, differences in air pressure, solar radiation, temperature, ice and possibly also the fallout of ash and pumice.

In the report LV-2016-129 also by Landsvirkjun a life cycle analysis is presented and a number of examples are given regarding the amounts of different materials that have been considered.

This section focuses on the following issues:

- The wear on the blades and the potential spreading of microplastics.
- The role of Bisphenol in present and future manufacture of wind turbines.

The referenced studies, articles or statements are commented upon by the present authors (in italics).

### 2.2.1 Review of the current state of knowledge

In the report "Leading Edge erosion and pollution from wind turbine blades" (Asbjorn, et al., 2021) Bisphenol A is claimed to be a dangerous substance, listed in Norway as a substance that constitutes a risk to human health and the environment, and that it should be replaced by more benign substances. In the report the wear on an average-sized wind turbine is estimated to be about 1.55 tonnes over a 25-year period. It is also stated that snow, hail, salt and sand can increase the wear further. Other reports are cited that claim that erosion due to rain is a major problem, as well as pitting and delamination. Hence modern wind turbines are coated with a layer of polyurethane-based paint or varnish on top of the epoxy gelcoat. In the report correspondence with researcher Kieran Pugh is cited, who puts forward the figure 0.5735 kg erosion per turbine and year. This would amount to 14.33 kg over a 25-year period. It is also stated that a wind turbine cannot operate without maintenance for as long as 15 to 25 years. Finally, the report also mentions that eroded particles should spread over an area stretching 50 m behind the blades.

*Comments:*

- *Other reports from the wind power industry show varying figures for the wear, depending on how the wear is calculated, the size of the wind turbine, wind and rotation speed, etc. Some reports show much lower wear. For some reason larger turbines appear to show higher wear. So to summarize there is no clear consensus on the degree of wear. Also, epoxy is used to reduce wear as it is the strongest coating available on the market.*

- *BPA cannot be released once the epoxy has hardened, as the epoxy cannot be broken down into its original constituents once the hardening reaction is complete (this is not mentioned in the cited report). This is also true for polyurethane plastics. Possibly there could be a small amount of epoxy resin (or isocyanates) left which has not completely reacted in the hardening process, and thus could pollute the environment. However, as shown below this amount is very small.*
- *Overall the report appears credible and valid, but focuses on larger wind turbines, admitting that they have a higher wear than smaller wind turbines, which are usually those installed on-shore. Furthermore, the report describes epoxy and polyurethane plastics as though they contain freely available BPA or isocyanates, which is unlikely if they have been properly hardened. Also, eroded coating will not break down and release its original constituents.*

**The article “Erroneous information about wind power foments concern”**

(Swedish Wind Energy Association, 2021) responds to the claim that Swedish wind turbines releases 10 000 tonnes of microplastics per year. The claim originates from Norway and has been reviewed by NORWEA. The review showed that the reduction in the weight of the blades is mainly due to eroded paint and amounts to about 2.25 kg over a 15-year period. The 4 300 Swedish wind turbines would thus give rise to 645 kg per year. The article makes the argument that this should be compared to known large sources of microplastics in nature, and states that according to the Swedish Environmental Protection Agency the following sources together release about 13 000 tonnes of microplastics annually in Sweden: tire wear, astro turf, washing of synthetic fibres, antifouling paint, production and handing of primary plastics, road traffic (not including tire wear), painting of buildings and hygienic products. Furthermore, it is stated that wind turbine blades contain very small amounts of BPA and that the fiberglass blades are enclosed within a hard surface coating. One blade weighting 20 tonnes contains about 20 g of BPA. The 4 300 wind turbines in Sweden could thus in total contain about 260 kg of BPA. Though BPA is an endocrine disruptor that can affect reproductive health, the low doses that we all currently ingest are according to the Swedish Food Agency not detrimental to our health.

*Comments:*

- *The article appears justified, and it seems clear that information on wear and possible release of BPA needs to be put into context.*

**In the radio program “This is how wind turbines may impact life in the sea”** (Radio Sweden, 2022-08-09) the claim that off-shore wind turbines release large amounts of microplastics to the sea due to wear on the blades is addressed. The broadcast comes to the conclusion that there is no scientific support for this claim and references the Swedish Environmental Protection Agency. The amounts released are said to be negligible with no measurable impact on the environment (i.e., it is something of an urban legend).

**The Swedish Environmental Protection Agency** has produced a number of publications and guide lines regarding wind power which consider issues such as noise, species protection, land-living mammals, cultural heritage, benefits to society, human health and welfare, etc., but microplastics are not clearly mentioned in any of these.

*Comments:*

- *The wear on wind turbine blades and subsequent release of microplastics could be compared to the wear on painted buildings. The installed wind power in the world was in 2019 about 651 GW on-shore and 29 GW off-shore (source: the Swedish Energy Agency) which assuming an average power output of 3.5 MW per turbine gives about 195 000 turbines. These numbers are increasing and today is expected to exceed 740 GW (200 000 turbines). By the end of 2019 there were 4099 installed wind turbines in Sweden with a combined power output of 8 984 MW. In Denmark there were about 6 000 turbines in 2019 (source: Vestas). The number of painted buildings in the world is certainly much higher and they are likely to contribute more to the total spread of microplastics.*
- *Though wear can result in the release of microplastics (and possibly nanoparticles) there is still a limited body of knowledge regarding their effects on health.*

**According to a site providing information on health and safety in the work environment** (Arbetsmiljöupplysningen, 2022) the most common thermosetting resins are epoxy, acrylate and polyurethane. Most of these resins are harmless once they have hardened, though polyurethane contains isocyanates which may be released upon heating and cause health issues when inhaled.

*Comments:*

- *Heating to high temperatures is not relevant to wind turbines. Instead this issue is primarily relevant to food packaging and similar products which are heated.*

**According to the Swedish Food Agency** BPA that is readily ingested is found in food containers, tins, water bottles for sports, dental filling materials, etc. According to an assessment by the European Food Safety Authority (EFSA) from 2015 the amount of BPA that we ingest is not detrimental to health. However, the EFSA states that there are uncertainties and further investigation is needed. The threshold value for the amount of BPA that may enter food from plastic packaging is 50 µg/kg of food (EU Regulation 2018/213). Those groups who according to worst case estimates would have the highest intake of BPA, from both food and other sources, reach 1.5 µg/kg bodyweight/day (source: EFSA 2015).

*Comments:*

- *Most studies only consider migration of BPA into food and drink which causes a more direct intake of BPA (or other bisphenols) in humans.*

**According to the Swedish medical university Karolinska Institutet** and information on their website (Karolinska institutet, 2022) BPA is quickly broken down in humans and does not accumulate in the body. Despite this BPA and other bisphenols are consistently found when performing chemical analyses on human urine and blood. This implies that the majority of the population are continually exposed to low doses of these substances, in particular BPA. So far it has been assumed that humans are primarily exposed via food and drink which have been in contact with polycarbonate plastics and epoxy.

*Comments:*

- *See previous comment above.*

**Other studies on drinking water** show that the threshold value for BPA of 0.1 mg/l rarely is exceeded. Proposals have been put forward to, e.g., investigate how epoxy is broken down in the digestive systems of animals.

**The summary of Report 5/17 "Bisphenols – a survey and analysis"**

(Swedish Chemicals Agency, u.d.) by the Swedish Chemicals Agency (KEMI) states that BPA is produced in large quantities and primarily used in the manufacturing of plastics, especially polycarbonate or epoxy plastics. BPA can also be found in thermal paper used for, e.g., receipts. The two largest sources of exposure to BPA are materials that come into contact with food and thermal paper (source: Swedish Government Official Report SOU 2014:90). BPA is almost always found in human urine and blood samples which indicates that most of us are consistently exposed to low doses of this substance. BPA is an endocrine disruptor can impact reproduction. To reduce exposure to BPA new regulations have been adopted in Sweden and the EU over the last two years. The survey by KEMI shows six bisphenols which could be problematic from a risk perspective, among them BPA. Investigations into alternatives to risk-reducing measures have been launched by the EU for all of these substances within the REACH framework. If necessary suitable measures will be proposed. Twelve out of 39 bisphenols have been identified as requiring measures under the REACH Regulation. At the moment KEMI has not proposed any new limiting regulations for bisphenols, the reason being that there is still not enough known about how bisphenols are used and what their toxicological effects are to be able to determine whether there is any risk. Even when invoking the cautionary principle there is still insufficient knowledge to be able to determine whether there is a scientifically based reason to suspect that bisphenols constitute a risk to human health.

**In the same KEMI report** it is stated that BPA was included as a SVHC substance (Substances of Very High Concern) on EU:s Candidate List of the REACH Regulation in January 2017. In June 2017 the Member State Committee decided to add BPA to the Candidate List as a human endocrine disruptor. In August the same year Germany proposed that BPA also be listed as an environmental endocrine disruptor. Classifying BPA as a CMR substance (Carcinogenic, Mutagenic, or toxic for Reproduction) would lead to a ban on using BPA in chemical consumer products.

**The KEMI report** also states that bisphenols occur as monomers in a large number of polymer materials (plastics). The functional groups that lead to polymerization of bisphenols are hydroxyl groups that are converted into, e.g., ester or ether bindings. The original substance, the monomer, is consumed in the polymerization and can usually only be found in very small quantities in the final substance (source: <http://webapps.kemi.se/kemistat/>). To prevent decomposition due to UV exposure and protect the underlying material special UV stabilizers can be added.

*Comments:*

- *Bisphenol will be further investigated within the REACH Framework.*
- *The information implies that BPA should be considered a regulated substance that in the long run will require substitution by other substances.*
- *Wind turbines use hardened epoxy (possibly with some polyurethane added) and additives to protect from and prevent wear and decomposition.*

### 2.2.2 Summary

Using epoxy, a hardened, chemically cross-linked plastic, is a choice made to prolong the lifetime of wind turbine blades and reduce wear. The epoxy plastic (and coating based on epoxy or a similar mix of plastics) contains certain additives to increase stability and reduce decomposition. Development within both the wind power industry and the chemical industry is ongoing and the products gradually improve. Hence it may be expected that both wear and the risks associated with BPA will decrease with time. If the 645 kg/year of microplastics lost through wear on the approximately 4 300 wind turbines in Sweden (as of 2021) is compared to the total 10 000 tonnes/year of microplastics released from sources such as tire wear, astro turf, etc., then the contribution from the wind turbines is very small, by a factor of about 10 000.

## 2.3 Life Cycle Analyses of Wind Turbines

This section provides an overview of recent life cycle analyses and other studies with a primary focus on the climate impact of manufacturing and operating wind turbines. There are different kinds of turbines, but here we focus on those with a horizontal rotor axis, both on-and off-shore.

### 2.3.1 What is a Life Cycle Analysis?

A life cycle analysis (LCA) calculates a product's impact on different environmental factors for the product's entire life cycle. This includes impacts from raw material extraction, material composition, product use, decommissioning, possible recycling and waste management. Here the climate impact is the primary focus, but other environmental factors will be mentioned. It is important to note that different LCAs are not always directly comparable, due to differences in defining limits and functional units. Hence no comparisons between different LCAs are presented in this report.

### 2.3.2 Environmental Impact of Wind Power from a Life Cycle Perspective

#### 2.3.2.1 General Environmental Impact

A number of LCAs show that extraction of raw materials and manufacturing are the parts of the life cycle of wind turbines that produce the greatest environmental and climate impacts (Mello, et al., 2020; Vestas, 2022; Sphera, 2021). The materials with the largest environmental impacts are iron, steel, aluminium, fiberglass and cement (Swedish Energy Agency, 2021). Transport, both of raw materials to the manufacturing facility and of turbines to the installation site, also has a significant climate impact. However, this impact depends on the type of transport (ship, train, truck, etc.), the type of fuel and the distance (Vestas, 2022; Mello, et al., 2020).

Other parts of a wind turbine's life cycle, such as manufacturing of transformer substations, maintenance, installation and dismantling is generally of lesser importance (Sphera, 2021).

The lifespan of a wind turbine of course affects its environmental impact per kWh produced. Thus one way of reducing the impact is to increase the lifespan by replacing or repairing as much as possible as parts degrade (Vestas, 2022).

The size of the wind turbine, its location and the local wind conditions also make a difference to the total environmental impact. Since larger turbines in general produce much more electricity than smaller ones, the greenhouse gas emissions per kWh are reduced for larger turbines (Swedish Energy Agency, 2021). However, the turbines



must be designed for the specific wind conditions at the installation site, so size is not everything (Vestas, 2022).

The total energy required for extraction of raw materials, manufacturing of the wind turbine, installation, transport, dismantling, recycling and waste management is usually equal to the energy produced by an on-shore turbine in six months. For off-shore turbines it takes about eight months. If the lifespan of a wind turbine is about 20-25 years this means that it will produce between 20 and 100 times the energy input (Swedish Energy Agency, 2021).

#### 2.3.2.2 Materials and Recycling

Wind turbines that are decommissioned before the end of their operational lifespan (e.g., due to expired permits) can be repaired and sold as is, or be dismantled and the components sold. In Sweden there is a second hand market for smaller wind turbines. Bigger turbines have been relocated in, e.g., Spain and Germany. There is also a large second hand market in refurbished components, such as blades, gear boxes, generators, etc.

If components cannot be reused then many of the material can be recycled, such as steel, iron, aluminium and copper. The concrete foundations can be crushed and used as filling (Swedish Energy Agency, 2021).

Fiberglass composites are used in the turbine blades and constitute about 5-8% of the wind turbine by weight. Previously blades have either been refurbished and reused or become waste and burned or deposited in landfills. Currently there is no economically sustainable recycling method for fiberglass blades that could make the management of end-of-lifespan blades more circular. Research and development of different techniques is however ongoing, such as grinding the fiberglass and use it as a filling in building materials or other composites, or recycling through chemical processes (RISE, 2020).

Rare earth metals are commonly found in the permanent magnets that in turn are used in generators. These rare earth metals improve the efficiency of the magnets and are thus used in many new wind turbines. Wind turbine generators including rare earth metals can handle a larger range of wind speed, which means they may not need a gear box. The EU Commission has designated rare earth metals as the most critical raw material for European industry, because of the strong increase in demand.

Today more than 95% of the world's production of rare earth metals is located in China. Previously there has been substantial illegal mining in China which has contributed to environmental degradation in some provinces, but since the 2010's China has worked on curtailing these illegal activities. Hence it is currently difficult to obtain information about how the extraction and processing of these metals has impacted the environment through radioactive waste and other types of degradation, which in turn makes it difficult to perform complete life cycle analyses with accurate data (Swedish Energy Agency, 2021).

To make new wind turbines more circular it has been proposed (Vestas, 2022) to increase the amount of recycled metals used in the manufacturing of the turbines, to increase the amount of other recycled materials used, to increase the degree to which the new turbine in turn can be recycled after decommissioning, to increase the degree to which components can be repaired or reused, to choose materials with long lifespans and to optimize and increase the overall lifespan of the turbine.

## 2.4 Opportunities and Challenges in Recycling and Reuse of Wind Turbines

This study has shown that to a large part wind turbines can be recycled. However, it varies depending on which component is being considered. There is a second hand market for some components but it is as yet limited. In the following sections we discuss the possibilities for reuse or recycling of three main parts of a wind turbine – the tower, the foundation and the blades – from a Swedish and international perspective.

### 2.4.1 Tower

The most common material used for the tower is steel, through there are also concrete towers. According to those interviewed it is common practice to recycle steel towers in Sweden. However, the second hand market for used towers is limited as the towers are subjected to a great deal of strain, making it hard to determine whether a used tower will pass the safety and quality requirements.

### 2.4.2 Foundation

The foundation can be made out of steel or concrete. Sometimes the foundation is reused on site, rather than being recycled or crushed. According to the recycling company that was interviewed, in Sweden concrete foundations can be crushed and used as filling whereas steel foundations are recycled.

### 2.4.3 Turbine Blades

The blades are made out of composites and thus harder to recycle. It requires extensive and advanced chemical, thermal or mechanical processes. In Sweden there are techniques for recycling the blades using both mechanical processes, chemical processes or pyrolysis, but only in very small scale and mostly as pilot studies. Through Mechanical recycling blades can be turned into, e.g., sound berms or sheet materials for building. This is more common in Denmark than in Sweden. According to the interviewees incineration in waste boilers (recycling for energy production) is the most common method for taking care of spent turbine blades in Sweden. Sometimes fuel for cement production is produced of the blades. Globally the most common fate of spent turbine blades is deposition in a landfill. However, according to earlier studies by AFRY large-scale recycling facilities do exist internationally, in particular for blades made out of carbon fiber composites, such as pyrolysis (e.g. in Norway) which produces fibers, oil and gas, or recycling by producing cement (in Europe).

There are some international examples where wind turbine blades have been used to construct playgrounds or office furniture (). However, the second hand market is small. The examples below are from previous studies by AFRY.



Figure 1 Wikado playground, Rotterdam (2009).



Figure 2 Rewind Willemsplein, Rotterdam (2012).

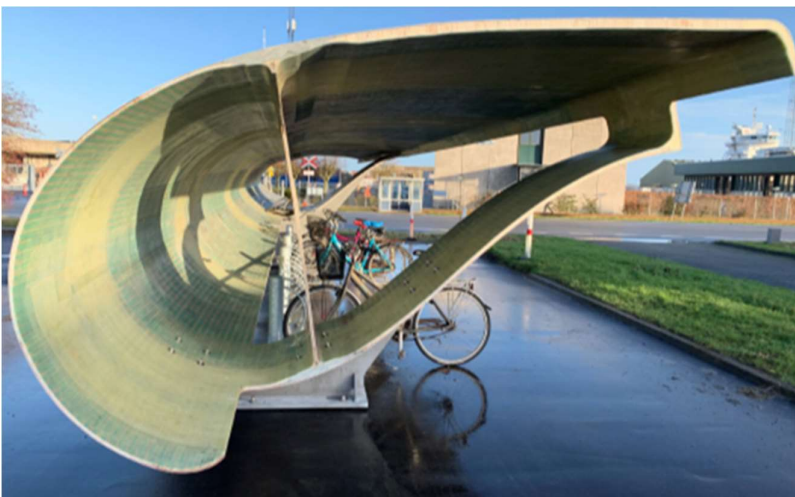


Figure 3 Bike rack, Port of Aalborg (2020).



Figure 4 From a feasibility study on constructing bridges from wind turbine blades (Master Thesis at Delft University of Technology).

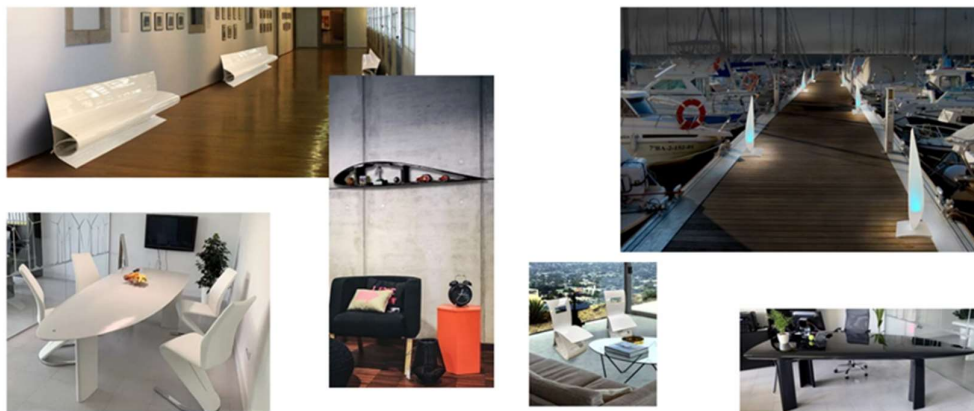


Figure 5 Furniture and fittings made from recycled turbine blades.

#### 2.4.4 An International Outlook on Recycling and Reuse

The second hand market for older wind turbines and their components is small in Sweden and internationally. According to the contractor with experience in decommissioning wind turbines, there are viable second hand markets in Sweden, Ireland and Italy. Components are sold as spare parts for similar wind turbines or complete wind turbines are sold to smaller operators, individuals or communities/villages who cannot finance the purchase of new wind turbines. According to the contractor who was interviewed second hand spare parts also find their way to Sweden, in particular from the Netherlands and Belgium where a number of wind turbines are being decommissioned. In Sweden very few wind turbines are currently being decommissioned, about three to five a year. Usually at least some components are reused.

Previous studies by AFRY show that recycling used wind turbine components is complicated, e.g., quality assurance and recertification can be a lengthy process. The authors of these studies suspect that this step is sometimes skipped when used wind turbines and their components are purchased by small operators or individuals. Furthermore, the dismantling and cleaning of components is a complicated and time-consuming process.

There are international digital platforms for buying and selling wind turbines and their components, such as Spares in Motion and Wind Aftermarket.

Denmark, Germany, the Netherlands, England, Norway and Ireland are described as being more advanced than Sweden in terms of developing a circular economy for wind turbines, but most initiatives are at the pilot stage. Technical development is however rapid. Siemens Gamesa and IRT Jules Verne have begun to develop blades that are recyclable whereas Vestas has developed a technique for recycling turbine blades. This development is happening mostly in Denmark, Germany and Norway and is so far at the pilot stage or in small-scale production. One project called FiberEUse aims at creating a circular system for recycling different types of glass and carbon fiber reinforced polymer composites (GFRP and CFRP). The project has participants from seven European countries, including Finland, Germany and the UK, but not Sweden.

The European wind power industry wants to see a ban on depositing used turbine blades in landfills and has petitioned the European Commission for such a ban (WindEurope, 2021). So far this has not happened and the Commission has not communicated a clear agenda on this matter. One reason, according to previous studies by AFRY from 2020, is that the volume of waste from wind turbine blades simply is not high enough for this issue to be given priority. Of course, another reason could be the crises that have been ongoing since 2020 (the pandemic and the war in Ukraine). However, some EU countries have introduced national legislation. In Germany, Finland, Austria and the Netherlands it is no longer permitted to put wind turbine blades in landfills. In the Netherlands there is an exemption if the cost of alternative treatment methods exceed 200 EUR/ton.

Because there are so few wind turbines being decommissioned each year in Sweden, the issue of recycling and waste management has not been considered urgent in Sweden.

Because the opportunities for recycling or reuse of wind turbines are limited today, from an environmental perspective it is best to prolong the lifespan of wind turbines as much as possible. On the other hand, maintenance costs increase with age. According to previous studies by AFRY the maintenance costs may increase from 10-15% of the yearly costs when the wind turbine is new to 20-35% later on. Some wind turbine manufacturers are developing their designs to simplify maintenance and repair. Other techniques such as monitoring system also help in facilitating maintenance and repair.

## 3 Conclusions

### 3.1 Environmental impacts of wind turbines

The extraction of the necessary raw materials and the manufacturing have the greatest impact in the life cycle of a wind turbine. Iron, steel, aluminium, fiberglass and cement are the materials with the greatest environmental impact. To reduce this impact Vesta has, among other things, proposed a larger proportion of recycled materials in wind turbines (Vestas, 2022).

The size of the wind turbine, its location in relation to wind conditions and its lifespan also influence the total environmental impact over the entire life cycle of the turbine. Thus it is important to optimize the wind turbine's size and location relative the wind conditions in order to minimize the environmental impact per kWh produced. The transport of wind turbines to the installation site can also have a sizeable environmental impact depending on distance, type of transport and the fuel used.

Many of the materials in a wind turbine can be reused or recycled once the turbine is decommissioned. However, there still a need for the development of an efficient and large-scale recycling method for the fiberglass composites in the turbine blades. A number of research and development projects are ongoing in this area.

### 3.2 Microplastics and Bisphenol A

Epoxy resin is superior to many other resins in that it does not shrink during hardening and has excellent resistance to moisture and chemicals. It is also resistant to wear, strong, with good electrical and insulating properties as well as durable.

Due to wear there will be some spreading of microplastics from the coating of wind turbines and their blades to ground and water. However, hardened epoxy (possibly including some polyurethane) is used to protect against wear. Hence the spread of microparticles of epoxy must be balanced against reduced wear (and thus reduced number of microparticles) as it is likely other types of coatings would result in greater wear, and thus more microplastics in the environment. Furthermore, the spread of microplastics from the wear of wind turbine blades should be considered in relation to other sources of microplastics such as tire wear, wear of painted buildings, astro turf, etc.

Hardened epoxy releases very little Bisphenol A (BPA; a monomer). The release of microplastics from wind turbines is relatively small and human exposure to BPA from microplastics released from turbine blades is likely negligible compared to the exposure from foods and their plastic containers.

Hardened epoxy is today the most wear resistant material for coating turbine blades. BPA is regulated in law and will be phased out, but how long this will take for different applications is hard to predict, or how quickly the industry can adapt and replace epoxy and similar materials (polyurethanes). After all, durability is important from a life cycle perspective.

### 3.3 Recycling and reuse of wind turbines

In Sweden the tower and foundation are usually recycled. However, the turbine blades are not recycled except in small-scale pilot studies. The most common fate of spent blades in Sweden is incineration to produce energy.

There is ongoing development to increase the recycling of turbine blades and create a circular material flow for wind turbines, primarily in a number of European countries and not so much in Sweden.

There is a small second hand market for decommissioned wind turbines and their components, both in Sweden and some other countries. It is mostly individuals, smaller operators or operators who cannot afford new wind turbines who purchase second hand.

## 4 References

- Arbetsmiljöupplysningen, 2022. [Online]  
Available at: <http://www.arbetsmiljoupplysningen.se/>  
[Accessed 02 september 2022].
- Asbjorn, S., Rimereit, B.-E. & Weinbach, J. E., 2021. *Leading Edge erosion and pollution from wind turbine blades*, s.l.: THE TURBINE GROUP.
- Karolinska institutet, 2022. *Bisfenoler*. [Online]  
Available at: <https://ki.se/imm/bisfenoler>  
[Accessed 02 september 2022].
- May, R. et al., 2020. Paint it black: Efficacy of increased wind-turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities.. *Ecology and evolution*, Volume 10, p. 8927–8935.
- Mello, G., Ferreira Dias, M. & Robaina, M., 2020. Wind farms life cycle assessment review: CO2 emissions and climate change. *Energy Reports*, pp. 214-219.
- Radio Sweden, 2022-08-09. *Så kan vindsnurror påverka livet i havet*. s.l.:s.n.
- RISE, 2020. *Sverige behöver ett system för återvinning av vindturbinblad*. [Online]  
Available at: <https://www.ri.se/sv/press/sverige-behover-ett-system-for-atervinning-av-vindturbinblad>
- Sphera, 2021. *Evaluating Sustainability of Wind Energy: Fact-Based Insights Through LCA*. [Online]  
Available at: <https://sphera.com/blog/evaluating-sustainability-of-wind-energy-fact-based-insights-through-lca/>
- Swedish Chemicals Agency, n.d. *Report 5/17 Bisfenoler - en kartläggning och analys*, s.l.: Kemikalieinspektionen.
- Swedish Energy Agency, 2020. *Skuggor, reflexer och ljus*. [Online]  
Available at:  
<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/vindkraft/vindlov/planering-och-tillstand/gardsverk/inledande-skede/halsa-och-sakerhet/skuggor-reflexer-och-ljus/>
- Swedish Energy Agency, 2021. *Vindkraftens resursanvändning*. [Online]  
Available at: [https://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/strategi-for-hallbar-vindkraftsutbyggnad/vindkraftens-resursanvandning\\_slutversion-20210127.pdf](https://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/strategi-for-hallbar-vindkraftsutbyggnad/vindkraftens-resursanvandning_slutversion-20210127.pdf)
- Swedish Energy Agency, 2022. *Vindkraft i landskapet*, s.l.: s.n.
- Swedish Energy Agency, 2022. *Vindkraftens påverkan på fåglar och fladdermöss*, s.l.: s.n.
- Swedish Environmental Protection Agency, 2011. *Vindkraftens effekter på fåglar och fladdermöss*, s.l.: s.n.
- Swedish Environmental Protection Agency, 2013. *Vindkraft i öppet landskap, skog, fjäll och hav*, s.l.: s.n.
- Swedish Environmental Protection Agency, 2020. *Vägledning om buller från vindkraftverk*, s.l.: s.n.
- Swedish Environmental Protection Agency, 2021. *Vindkraftens påverkan på människors intressen*, s.l.: s.n.

Swedish National Board of Housing, Building and Planning, 2012. *Vindkraftshandboken - Planering och prövning av vindkraftverk på land*, s.l.: s.n.

Swedish Wind Energy Association, 2021. *Felaktiga uppgifter om vindkraft underblåser oro*. [Online]

Available at: <https://svenskvindenergi.org/debattinlagg/felaktiga-uppgifter-om-vindkraft-underblaser-oro>

[Accessed 02 september 2022].

Vestas, 2022. *Life Cycle Assessment of electricity production from an onshore V136-4.2 MW wind plant*. [Online]

Available at: [https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/sustainability/reports-and-](https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/sustainability/reports-and-ratings/lcas/LCA%20of%20Electricity%20Production%20from%20an%20onshore%20V136-4.2MW%20Wind%20Plant_Final.pdf.coredownload.inline.pdf)

[ratings/lcas/LCA%20of%20Electricity%20Production%20from%20an%20onshore%20V136-4.2MW%20Wind%20Plant\\_Final.pdf.coredownload.inline.pdf](https://www.vestas.com/content/dam/vestas-com/global/en/sustainability/reports-and-ratings/lcas/LCA%20of%20Electricity%20Production%20from%20an%20onshore%20V136-4.2MW%20Wind%20Plant_Final.pdf.coredownload.inline.pdf)

WindEurope, 2021. *Wind industry calls for Europe-wide ban on landfilling turbine blades*. [Online]

Available at: <https://windeurope.org/newsroom/press-releases/wind-industry-calls-for-europe-wide-ban-on-landfilling-turbine-blades/>

[Accessed 11 November 2022].