2024

Cirkulärt omhändertagande av solcellspaneler och vindturbinblad för vindkraftverk

En rapport framtagen av forskningsinstitutet RISE på uppdrag av Energimyndigheten.

Denna rapport är framtagen av RISE Research Institutes of Sweden
på uppdrag av Energimyndigheten
Författare: RISE Research Institutes of Sweden

Energimyndighetens publikationer kan laddas ner
eller beställas via energimyndigheten.se

Statens energimyndighet, mars 2024
ER 2024:12
ISSN 1403-1892
ISBN (pdf) 978-91-7993-165-0

Grafisk form: Energimyndigheten (omslag), Arkitektkopia AB (inlaga)
Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma

Förord

I regleringsbrevet för 2023 fick Energimyndigheten i uppdrag av regeringen att utreda hur solcellspaneler och vindturbinblad till vindkraftverk i högre utsträckning ska kunna tas om hand på ett giftfritt och cirkulärt sätt i enlighet med avfallshierarkin. Redovisningen av detta regeringsuppdrag, rapporten Från avfall till resurs – Förslag för en mer cirkulär hantering av solcellspaneler och vindturbinblad, ER 2024:11, baseras på denna underlagsrapport som har tagits fram av forskningsinstitutet RISE på uppdrag av Energimyndigheten. Analyser, slutsatser och förslag/rekommendationer som framförs i rapporten är författarnas egna.

En fortsatt utbyggnad av fossilfri elproduktion är av stor vikt för att vi ska kunna nå Sveriges energi- och klimatmål. För att utbyggnaden i sig ska vara hållbar är det viktigt att vi redan nu planerar för hur avfallet från dessa elproduktionsanläggningar ska förebyggas, minimeras och sedan hanteras.

Det finns redan i dagsläget aktörer som har utvecklat och håller på att utveckla ett flertal olika lösningar för ökad cirkularitet. Dessa möjligheter kan tas tillvara och främjas genom regelbunden kartläggning och genom att arbeta gemensamt inom EU. Genom ett sådant arbete finns det också större möjligheter att etablera industriella värdekedjor i Sverige för hanteringen av avfallet från solcellspaneler och vindturbinblad.

En cirkulär hantering av avfall ger ett betydligt mindre avtryck på miljön än det som en linjär hantering ger upphov till. Det är viktigt att de aktörer som tillhandahåller fossilfri elproduktion tar ansvar under hela livscykeln och att det finns goda förutsättningar för aktörerna att göra det.

Fredrik Svartengren
Enhetschef enheten Elproduktion och samhälle, Energimyndigheten

Författarnas förord

Vindturbinblad och solcellspaneler är långlivade strukturer som behövs för omställning till förnybar energi. Utbyggnaden av dessa energislag kommer att medföra uppkomsten av avfall när anläggningarna nått slutet på sin livstid, avfall som består av många olika sammansatta material vilket försvårar återvinningen. Statens Energimyndighet har fått ett regeringsuppdrag om cirkulärt omhändertagande av solcellspaneler och vindturbinblad för vindkraftverk och ska utreda hur solcellspaneler och vindturbinblad till vindkraftverk i högre utsträckning ska kunna omhändertas på ett giftfritt och cirkulärt sätt i enlighet med avfallshierarkin. Föreliggande rapport utgör ett underlag i detta regeringsuppdrag. Arbetet har bestått i att:

- Ta fram underlag och förslag på konsekvensanalyserade åtgärder och styrmedel samt författningsförslag i det fall det är relevant.
- Ta fram hur miljö- och klimatpåverkan ser ut av business-as-usual jämfört med de olika föreslagna åtgärderna.
- Sammanställa den kunskap som finns om värdekedjorna för solcellspaneler respektive vindturbinblad, samt om de aktörer som är berörda från design/kravställande till omhändertagande. Då fokus ligger på cirkulärt omhändertagande så är särskilt följande steg i värdekedjan intressanta att samla data om: Återanvändning, insamling, sortering, återvinning, förbränning och deponi. Utgångspunkten är läget i Sverige och att jämföra med best-practice internationellt.
- Ta fram kunskap som bidrar till utvecklingen av en metod för att kartlägga plastflödet för vindturbinblad och solcellspaneler med utgångspunkt från Naturvårdsverkets kartläggning av plastflöden.

Inom ramen för uppdraget genomfördes två hearingar med branscherna då värdefulla synpunkter på arbetet framfördes och togs i beaktande i dess slutförande.

Rapporten har skrivits inom upphandling 2023-10006 av följande författare, samtliga medarbetare vid RISE Research Institutes of Sweden:

Kapitel 1 Alann André, Cecilia Mattsson, Thomas Bru

Kapitel 2 Cecilia Wästerlid, Katarina Lorentzon, Mattias Lindh

Kapitel 3 Lukas Hallquist, Niklas Thidevall

Förslag och bedömningar är författarnas egna.

Lund, Mölndal, Göteborg, Stockholm, Umeå den 29 januari 2023

Författarna

Innehåll

Sammanfattning 5

Summary 9

1 Kartläggning av vindturbinblad och dess värdekedjor för återanvändning och återvinning 13

1.1 Avfallsvolymer av vindturbinblad 14
1.2 Hantering av uttjänta vindturbinblad 18
1.3 Sveriges i perspektiv till andra länders utveckling 24
1.4 Andra EU länder: hantering av uttjänta vindturbinblad 26
1.5 Sammanfattning av status på industriella tekniker med högst TRL-nivå av återvinning av vindturbinblad 35
1.6 Tillstånd och lagar relaterade till hantering av avfall från vindturbinblad och dess olika processvägar 44
1.7 Vindturbinbladens materialdesign: cirkulär utveckling och problematik 45
1.8 Vad behövs för att stimulera skapandet av värdekedjor 50
1.9 Möjlig lösning ökad information om volymer av vindturbinblad: Digitaliserat plattformverktyg 53
1.10 Tillgängliga kompositavfallsströmmar 54
1.11 Avfallsvolymer och återvinning av kompositer 57

2 Kartläggning av solcellspaneler och dess värdekedjor för återanvändning och återvinning 58

2.1 Var och hur installeras solcellsanläggningar 58
2.2 Tre generationer solceller 59
2.3 Solcellspaneler i fokus för den här rapporten 59
2.4 Avfallsvolymer för solcellspaneler 61
2.5 Solcellspanelers materialvärdekedja 67
2.6 Miljöpåverkan från hantering av uttjänta solcellspaneler 69
2.7 Aktörskedjor och aktiviteter i Sverige 76
2.8 Återvinning av solcellspaneler i andra länder 80
2.9 Samlade reflektioner om avfall från solcellspaneler 85

3 Rekommendationer samt bedömning av omhändertagandet av solcellspaneler och vindturbinblad 88

3.1 Huvudsaklig bedömning för ett bättre omhändertagande av solcellspaneler och vindturbinblad 88
3.2 Storskalig industriell materialåtervinning av solcellspaneler och vindturbinblad förutsätter tillräckliga volymer 90
3.3 Behov av stöd för etableringar av storskaliga anläggningar för industriellt omhändertagande av solcellspaneler och vindturbinblad 96

3.4 Solcellspaneler behöver i högre utsträckning anmälas för producentansvar på ett korrekt sätt ... 98
3.5 Förbättrade data om solcellspaneler och vindturbinblad ... 105
3.6 Övrigt om omhändertagande av solcellspaneler och vindturbinblad ... 108
3.7 Konsekvensanalys vind ... 111
3.8 Konsekvensanalys sol ... 117

Referenser ... 125

Bilaga 1. Metoden för beräkning av avfallsvolymer av vindturbinblad ... 137

Avfallsvolymer för befintliga vindturbinblad i Sverige ... 137
Framtida avfallsvolymer av vindturbinblad i Sverige ... 138
Exempelberäkning ... 141

Bilaga 2. Data och metodik för avfallsvolymer från solcellspaneler ... 144

Sammanfattning

Den installerade effekten för de förnybara energislagen vind- och solenergi har ökat kraftigt i Sverige de senaste tio åren och kommer att fortsätta växa. Omhändertagandet av uttjänta vindturbinblad och solcellspaneler måste byggas upp för att dessa ska kunna återanvändas eller materialåtervinnas. Denna rapport syftar till att ge Energimyndigheten underlag till sitt regeringsuppdrag att tillsammans med Naturvårdsverket utreda hur solcellspaneler och vindturbinblad till vindkraftverk i högre utsträckning ska kunna omhändertas på ett giftfritt och cirkulärt sätt i enlighet med avfallshierarkin.

Både vindturbinblad och solcellspaneler består av många och sammansatta material vilket försvårar återvinningen. För såväl solcellspaneler som vindturbinblad gäller att storskaliga industriella lösningar för en hög materialåtervinningsgrad förutsätter stora volymer. Det kommer ta lång tid innan solcellspanelerna når sådana volymer i Sverige varför övergångslösningar sannolikt behövs. Efter 2030 kommer det att behövas en eller flera lösningar för industriell återvinning av glasfiberkompositer, inklusive vindturbinblad, i Sverige.

Vindturbinblad är uppbyggda av en komplex multimaterialstruktur som domineras av komposit av glasfiberarmerad härdplast. Kolfiber används också i kombination med glasfiber och andelen förväntas öka i nyare och längre blad. Kompositmaterial är svåra att materialåtervinna till högvärdiga produkter som kan konkurrera med nyproducerad glasfiber och härdplast. Därför saknas det idag cirkulärt omhändertagande högre upp i avfallshierarkin. De vindturbinblad som redan har nedmonterats har troligtvis gått till en andrahandsmarknad, energiåtervunnits eller deponerats. Eftersom vindturbinblad klassificeras som icke farligt bygg- och rivningsavfall under en generell avfallskod är det inte möjligt att spåra hur vindturbinbladen omhändertagits i Sverige.

De framtida volymerna av uttjänta vindturbinblad, vilka till 80 viktprocent utgörs av kompositmaterial, beror av framtida utbyggnad av elproduktion i Sverige och av bladens livslängd. Livslängden sätts normalt till 20 år men har visat sig kunna vara längre. Med 20 respektive 29 års teknisk livslängd uppskattas följande scenarier:

Vindturbinblad med 20 års livslängd: volymer av kompositmaterial

- 2024–2029 är volymerna låga och estimeras till 2 000 ton/år
- 2030–2039 förväntas en ökning till 8 000 ton/år
- 2040–2070 sker en ökning till 15 000–30 000 ton/år

Vindturbinblad med 29 års livslängd: volymer av kompositmaterial

- 2024–2029 är volymerna låga och estimeras till mindre än 500 ton/år
- 2030–2039 är volymerna låga och estimeras till 2 000 ton/år
- 2040–2049 förväntas en ökning till 9 000 ton/år
- 2050–2070 sker en ökning till 15 000–20 000 ton/år

Vi ser ett stort behov av att öka tillgången på information om existerande och framtida volymer av uttjänta vindturbinblad för att driva utvecklingen framåt för återanvändning och materialåtervinning av vindturbinblad till initiativ högre upp i avfallshierarkin.

Av de tekniskt möjliga lösningarna för återvinning av vindturbinblad som kan övervägas är det troligare att tekniskt enklare och mindre investeringsintensiva lösningar kommer att etableras tidigare. I ett tids- och teknikmognadsperspektiv rangordnar vi teknikerna på följande sätt: samförbränning i cementindustrin, återanvändning/mekanisk återvinning, termokemisk återvinning med pyrolys/solvolys.

Olika lösningar för cirkulärt omhändertagande av vindturbinblad är under uppbyggnad i Europa. Det är mindre aktörer och forskning/industriprojekt som ofta återfinns i länder som har infört direkta styrmedel, dvs deponiförbud eller andra förbud för hantering av vindturbinblad (Tyskland, Nederländerna, Österrike, Finland och Frankrike) eller som har producenter av vindturbinblad (Danmark). För långsiktiga lösningar krävs uppbyggnad av cirkulära affärsmodeller med alla olika aktörer i en värdekedja.

I Sverige och i vår närhet finns några industriella lösningar etablerade eller under uppbyggnad:

- Under 2023 har Kuusakoski etablerat hantering och förbehandling av vindturbinblad i norra Sverige. Materialet kan transporteras till Finland för samförbränning i cementindustrin (5 000 ton/år).
- I södra Sverige finns i närtid möjligheten att använda sig av Continuum's storskaliga etablering för mekanisk återvinning i Danmark (36 000 ton/år).

Detta betyder att det finns ett alternativ till bortskaffande av uttjänta vindturbinblad genom deponi eller förbränning tillgängligt i Sveriges relativa närområde. Däremot brukar en parameter som styr återvinning vara kostnaden, och om deponi- och förbränningsalternativen har en lägre kostnad samt är möjliga inom dagens avfallsregelverk kommer dessa troligen fortsätta vara alternativ som konkurrerar med mer cirkulära lösningar.

Sammantaget med andra strömmar av glasfiberkompositer, huvudsakligen fritidsbåtar (uppskattningsvis 9 000–13 000 ton/år efter 2020, därutöver finns redan ackumulerat 308 000 ton) ser vi ett behov av att etablera en eller flera industriella lösningar för materialåtervinning av glasfiberkompositer efter 2030 i Sverige eller i dess närhet.

Solcellspaneler är liksom vindturbinblad sammansatta av flera olika sammanfogade material. Den i Sverige helt dominerande typen av solcellspaneler (>95 procent av marknaden) har solceller av monokristallint kisel och majoriteten är tillverkade i Kina. I Sverige saknas idag helt inhemsk tillverkning av kiselbaserade solcellspaneler.

En typisk solcellspanel väger 20 kg och består av en aluminiumram som omsluter ett laminat av härdat glas, kristallina kiselsolceller och ett bakstycke av en plast (som ofta innehåller fluor), vilket sammanfogas med en skyddande inkapslingsplast. Den infångade energin leds ut via kopparkablar. Av dessa material återcirkuleras idag enbart metallerna. Plasterna energiåtervinns och glaset läggs på deponi. Någon dedicerad återvinningsanläggning för solcellspaneler finns idag inte i Sverige men paneler kan skickas till någon av de anläggningar som finns i Europa, vars kapacitet typiskt dock bara uppgår till några tusen ton per år.

Solcellspaneler räknas idag som annan elektronik och faller under det så kallade WEEE-direktivet, vilket innebär att omhändertagandet av uttjänta paneler ska ombesörjas av en producentansvarsorganisation och finansieras genom att en avgift betalas in i samband med att de sätts på marknaden.

En studie av klimatavtrycket från återvinning av kiselbaserade solcellsmoduler visar att denna process representerar några enstaka procent av det avtryck som uppstår vid tillverkning, transport och drift för en installation på ett tak i Centraleuropa.

Utifrån antaganden om de installerade solcellspanelernas effekt (340 Wp), storlek (1,7 m^2) och vikt (20 kg) beräknas volym och tidpunkt för avfall i form av solcellspaneler för tre olika panellivslängder (15, 30 och 45 år) och tre scenarier för solkraftens utveckling fram till år 2050. År 2018 installerades över 10 000 ton solcellspaneler, vilket är ungefär vad som kan förväntas krävas för att driva en ekonomiskt hållbar dedikerad återvinningsanläggning i Sverige. Solcellspaneler från 2018 beräknas dock inte bli avfall förrän år 2048 om livslängden är 30 år. Kortare livslängder ger upphov till något större avfallsvolymer eftersom omsättningen av solcellspaneler behöver öka för att bibehålla en viss installerad effekt. Framtida avfallsvolymer i Sverige kan vid år 2075 vara omkring 200 000 ton, vilket motsvarar en årlig installationstakt på 3,3 GWp per år.

Det saknas idag kunskap om hur länge solcellspaneler håller i ett nordiskt klimat vilket är en avgörande faktor för att kunna förutse när betydande avfallsvolymer i form av solcellspaneler kan förväntas. Statistiken saknar också avgörande detaljer om de installerade solcellspanelerna vilket utgör ett hinder mot planering av ett cirkulärt och effektivt omhändertagande.

Flera EU-regelverk är på gång som kan påverka både hur solcellspaneler utformas och vilka uppgifter om dem som registreras (Ekodesignregelverket), men även de framtida installationsnivåerna genom krav på att byggnader framöver producerar förnyelsebar energi (direktiv för byggnaders energiprestanda). Detta är två exempel på hur externa förutsättningarna kan förändras och leda till att det byggs mer eller mindre solkraft än man prognosticerat, vilket i sin tur får stora effekter på dimensionering och utformning av de anläggningar som ska omhänderta de uttjänta solcellspanelerna.

För att främja tekniskt och ekonomiskt effektiva lösningar lämnar vi följande **rekommendationer till Energimyndigheten**:

Rekommendationer med avseende på vindturbinblad

1. Ta fram en vägledning eller liknande som aviserar en i praktiken kommande utfasning av deponering och förbränning som alternativ för vindturbinbladsåtervinning.
2. Föreslå att regeringen ger Transportstyrelsen i uppdrag att utreda utformningen av ett fritidsbåtsregister för att få överblick över en till vindturbinblad liknande avfallsström med glasfiberkomposit och att vidare arbete behövs för att säkerställa att fler kompositmaterial kan återvinnas.
3. Rekommendera regeringen att gå vidare med Naturvårdsverkets förslag om att möjliggöra lagring i materialbank för en tidigare och jämnare tillgång till avfall.
4. Överväg offentlig innovationsupphandling eller innovationstävling för att påskynda etableringen av storskalig industriell hantering av uttjänta vindturbinblad, fritidsbåtar och andra kompositstrukturer.
5. Stärk möjligheten att beräkna kommande avfallsflöden genom att initiera en större utveckling av vindbrukskollen eller skapa ett nytt nationellt vindkraftsregister med information om driftsättande och nedmontering samt material i och design av vindkraftsanläggningar i landet.

Rekommendationer med avseende på solcellspaneler

6. Tydliggör producentansvaret för solcellspaneler till producenter och allmänhet.
7. Förstärk tillsynen av producentansvaret för solcellspaneler.
8. Stärk incitament för korrekt anmälan av producentansvar genom att villkora stöd för solcellsutbyggnad.
9. Överväg om sanktionerna för utebliven anmälan av solcellspaneler till producentansvar är tillräckligt kännbara för att vara handlingsstyrande.
10. Överväg införande av nationellt register för solcellsanläggningar, inklusive solcellspaneler.

Rekommendation med avseende på både vindturbinblad och solcellspaneler

11. Säkerställ finansiering för forskning och utveckling för lönsamma storskaliga industriella processer för återvinning av solcellspaneler och vindturbinblad.

Generellt förväntas dessa förslag inte medföra betydande direkta ekonomiska effekter för företag, utan ger i huvudsak vägledning inom gällande regelverk och begränsar undantag. Indirekta effekter kan inkludera potentiellt ökad export av vindturbinblad till länder med mindre strikta regler och att vissa oseriösa aktörer som inte anmäler producentansvar för solcellspaneler lämnar marknaden. På längre sikt förväntas förslagen leda till samhällsekonomisk nytta genom förbättrade konkurrensvillkor.

Summary

The installed capacity of renewable energy sources such as wind and solar energy has increased significantly in Sweden over the past ten years and is expected to continue growing. The management of decommissioned wind turbine blades and photovoltaic (PV) modules need to be established to enable their repurpose or material recycling. This report aims to provide the Swedish Energy Agency with a basis for its government mandate to collaborate with the Swedish Environmental Protection Agency in investigating how PV modules and wind turbine blades can be handled in a circular and non-toxic manner, and in accordance with the waste hierarchy.

Both wind turbine blades and PV modules consist of many intricated materials, which complicates recycling. For both PV modules and wind turbine blades, large-scale industrial solutions for high material recycling rates require substantial volumes. It will take a long time before PV modules reach such volumes in Sweden, so transitional solutions are likely needed. After 2030, one or more solutions for industrial recycling of glass fiber composites, including wind turbine blades, will be needed in Sweden.

Wind turbine blades are constructed with a complex multimaterial structure dominated by composite materials, mainly glass fiber-reinforced thermoset plastic. Carbon fiber is also used in combination with glass fiber, and its proportion is expected to increase in newer and longer blades. Composite materials are difficult to recycle into high-value products that can compete with newly produced glass fiber and thermoset plastic. Therefore, there is currently a lack of circular handling higher up in the waste hierarchy. Decommissioned wind turbine blades that have already been dismantled have likely been sent to a second-hand market, energy recovery, or landfilling. Due to the classification of wind turbine blades as non-hazardous construction and demolition waste under a general waste code, it is not possible to trace how decommissioned wind turbine blades have been managed in Sweden.

The future volumes of decommissioned wind turbine blades, which are made of 80 percent composite material by weight, depend both on the future expansion of electricity production in Sweden and the blades' lifespan. The lifespan is normally set at 20 years but has been shown to potentially be longer. With 20 and 29 years of technical lifespan, the estimated scenarios are as follows:

20 years of wind turbine blade lifespan: volumes of composite material

- 2024–2029: volumes of decommissioned blades are low and estimated at less than 500 tons/year
- 2024–2029: volumes of decommissioned blades are low and estimated at 2,000 tons/year of composite material
- 2030–2039: an increase is expected to 8,000 tons/year
- 2040–2070: a further increase to 15,000–30,000 tons/year.

29 years of wind turbine blade lifespan: volumes of composite material

- 2024–2029: volumes are low and estimated at less than 500 tons/year
- 2030–2039: volumes of decommissioned blades are low and estimated at 2,000 tons/year of composite material
- 2040–2049: an increase is expected to 9,000 tons/year
- 2050–2070: a further increase to 15,000–20,000 tons/year.

There is a significant need to increase the availability of information on existing and future volumes of decommissioned wind turbine blades to drive development for repurpose and material recycling of wind turbine blades to initiatives higher up in the waste hierarchy.

Among the technically possible recycling solutions for wind turbine blades that can be considered, it is more likely that technically simpler and less capital-intensive solutions will be established earlier. In a time and technology maturity perspective, we rank the technologies as follows: co-processing in the cement industry, repurpose/mechanical recycling, thermochemical recycling with pyrolysis/solvolysis.

Various solutions for circular handling of wind turbine blades are under development in Europe. Smaller actors and research/industry projects are often found in countries that have introduced direct regulatory measures, such as landfill ban or other restrictions for wind turbine blade handling (Germany, the Netherlands, Austria, Finland, and France) or have wind turbine blade producers (Denmark). For long-term solutions, the establishment of circular business models with all different actors in a value chain is required.

In Sweden and nearby regions, there are some industrial solutions established or under development:

- In 2023, Kuusakoski established handling and pre-treatment of wind turbine blades in northern Sweden. The material can be transported to Finland for co-incineration in the cement industry (5,000 tons/year).
- In southern Sweden, there is the opportunity to use Continuum's large-scale establishment for mechanical recycling in Denmark (36,000 tons/year).

This means that there is an alternative to disposal of decommissioned wind turbine blades through landfill or incineration available in Sweden's relative proximity. However, a parameter that influences recycling is cost, and if disposal and incineration alternatives have a lower cost and are possible within current waste regulations, these are likely to continue as alternatives competing with more circular solutions.

Combined with other streams of glass fiber composites, mainly leisure boats (estimated 9,000–13,000 tons/year after 2020, in addition to the already accumulated 308,000 tons), there is a need to establish one or more industrial solutions for material recycling of glass fiber composites after 2030 in Sweden or its proximity.

Like wind turbine blades, **photovoltaic (PV) modules** are composed of several different materials bonded into a multilayer structure. The most dominant type of PV modules in Sweden (>95 percent of the market) comprise monocrystalline silicon solar cells, and the majority are manufactured in China. There is currently no domestic production of silicon-based PV modules in Sweden.

A typical PV module weighs 20 kg and consists of an aluminium frame enclosing a sandwich of tempered glass, crystalline silicon solar cells, and a polymeric backsheet (which often contains fluorine), which are laminated with a protective encapsulation polymer. The converted solar power is led out through copper wires. Currently, only the metals are recirculated from these materials. Energy is recovered from the plastics through incineration, and the glass is deposited in landfills. There is currently no dedicated recycling facility for PV modules in Sweden, but modules can be sent to one of the dedicated facilities in Europe, whose capacity typically amounts to only a few thousand metric tons per year.

PV modules are currently classified as other electronics waste and fall under the so-called WEEE directive, which means that the handling of decommissioned modules must be taken care of by a producer responsibility organization and financed by a fee paid in connection with their market entry. A study of the carbon footprint from recycling of silicon-based PV modules shows the process represents only a few percent of the footprint that occurs during manufacturing, transport, and operation, for an installation on an inclined roof in Central Europe.

Based on assumptions about the installed PV module properties (340 Wp), size (1.7 m^2), and weight (20 kg), the volume and timing of PV module waste are estimated for three different module lifetimes (15, 30, and 45 years) and three scenarios for solar energy development until 2050. In 2018, over 10,000 metric tons of PV modules were installed, which is approximately what can be expected to be required to operate an economically sustainable dedicated recycling facility in Sweden. However, if the lifespan is 30 years, PV modules from 2018 are not expected to reach their end of life until 2048. Shorter lifespans result in slightly larger waste volumes because the turnover of PV modules need to increase to maintain a certain installed capacity. Future PV module waste volumes in Sweden could by the year 2075 be around 200,000 metric tons, which corresponds to an annual installation rate of 3.3 GWp per year.

There is currently limited knowledge about the lifespan of PV modules in a Nordic climate, which is a crucial factor predicting when significant waste volumes in the form of PV modules can be expected. Records and statistics also lack crucial details about the installed PV modules, which constitute an obstacle to planning for a circular and efficient handling.

Several EU regulations are underway that can affect both the design of photovoltaic modules and the information recorded about them (the Ecodesign regulations), but also the future installation levels through requirements for buildings to produce renewable energy in the future (Energy Performance of Buildings Directive). These are two examples of how external conditions can change and lead to deviations from the forecasted solar power capacity, which in turn has major effects on the sizing and design of facilities that handle decommissioned PV modules.

To promote technically and economically efficient solutions, we leave the following recommendations to the Swedish Energy Agency:

Recommendations with regards to wind turbine blades

1. There is a need for guidance or a similar announcement to practically signal a future phase-out of landfilling and incineration as alternatives for wind turbine blade recycling.
2. Suggest that the government instruct the Swedish Transport Agency to investigate the design of a leisure boat register to gain an overview of a waste stream similar to wind turbine blades with glass fiber composite, and further work is needed to ensure that more composite materials can be recycled.
3. Recommend that the government proceed with the Swedish Environmental Protection Agency's proposal to enable storage in a material bank for earlier and more even access to waste.
4. Consider public innovation procurement or an innovation competition to accelerate the establishment of large-scale industrial handling of decommissioned wind turbine blades, leisure boats, and other composites structures.
5. Strengthen the ability to calculate future waste flows by initiating a larger development of the existing platform vindbrukskollen, or creating a new national wind power register with information on commissioning, decommissioning, materials and design of wind power plants in the country.

Recommendations with regards to PV modules

6. Clarify producer responsibility for PV modules to producers and the public.
7. Strengthen supervision of producer responsibility for PV modules.
8. Strengthen incentives for correct reporting of producer responsibility by conditioning support for solar energy expansion.
9. Consider whether sanctions for failure to report PV modules to producer responsibility are sufficiently noticeable to be action-guiding.
10. Consider the introduction of a national register for photovoltaic plant installations, including PV modules.

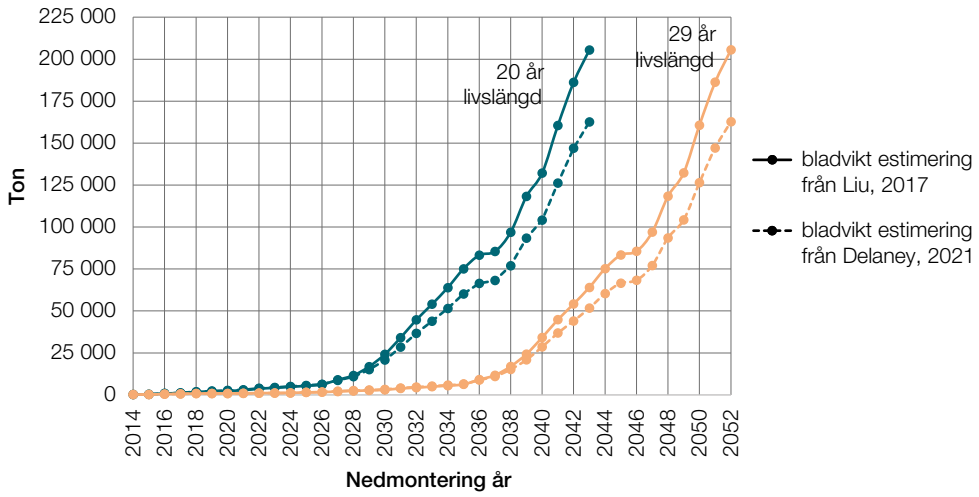
Recommendation with regards to both wind turbine blades and PV modules

11. Ensure funding for research and development for profitable large-scale industrial processes for recycling PV modules and wind turbine blades.

Overall, these proposals are not expected to have significant direct economic effects on companies but mainly provide guidance within existing regulations and limit exceptions. Indirect effects may include potentially increased export of wind turbine blades to countries with less strict regulations and that some unserious actors who do not report producer responsibility for PV modules leave the market. In the longer term, the proposals are expected to lead to socio-economic benefits through improved competitive conditions.

1 Kartläggning av vindturbinblad och dess värdekedjor för återanvändning och återvinning

Antalet vindturbinblad som ska monteras ner förväntas öka kraftigt de kommande åren. I Figur 1 visas en prognos för den ackumulerade vikten i ton uttjänta vindturbinblad i Sverige baserat på antalet registrerade vindturbiner i Sverige (www.vindbrukskollen.se) samt en livslängd på 20 år (teknisk livslängd) och 29 år (konstaterad medellivslängd från nedmonterade turbiner i Danmark (Abrahamsen et al, 2023).



Figur 1. Ackumulerad vikt (i ton) från vindturbinblad som förväntas omhändertas de kommande åren baserat på antalet registrerade vindturbiner i Sverige (www.vindbrukskollen.se) samt livslängd på 20 år (teknisk livslängd) och 29 år (konstaterad medellivslängd från nedmonterade turbiner i Danmark (Abrahamsen et al, 2023)). Beräkning se Bilaga 1.

Källa: RISE, producerad för denna rapport.

Ett stort problem idag är att det inte finns en etablerad industriell värdekedja för en hållbar hantering av uttjänta vindturbinblad i Sverige. Baserat på dessa beräkningar och 20 års livslängd kommer Sverige behöva hantera:

- 25 000 ton ackumulerat bladavfallsmaterial år 2030 (om 7 år)
- 150 000 till 200 000 ton ackumulerat bladavfallmaterial år 2043 (om 20 år från oktober 2023)

I Danmark är det möjligt att beräkna livslängden på nedmonterade vindturbiner då både installation och nedmontering av vindkraftverk ska registreras. Här konstaterades att landbaserade vindkraftverk hade en betydligt längre livslängd (i genomsnitt? 29 år) jämfört med den tekniska livslängden som är 20 år (Abrahamsen et al, 2023). Detta medför att förväntade volymer av bladavfall i Sverige också troligtvis kommer att förskjutas (se Figur 1). Beräknat enligt den danska modellen skulle den branta ökningen av bladavfall i Sverige flyttas från år 2030 till 2039.

Nedmontering av vindturbiner bestäms av många olika faktorer t.ex. elpris och vindkraftsverkets kondition. Efter en teknisk livslängd på 20 år kan vindkraftsverket fortsätta att producera energi och det är vindkraftsägaren som bestämmer tidpunkt för nedtagning. Därför är det svårt att fastställa vid vilken ålder vindturbiner tas ned.

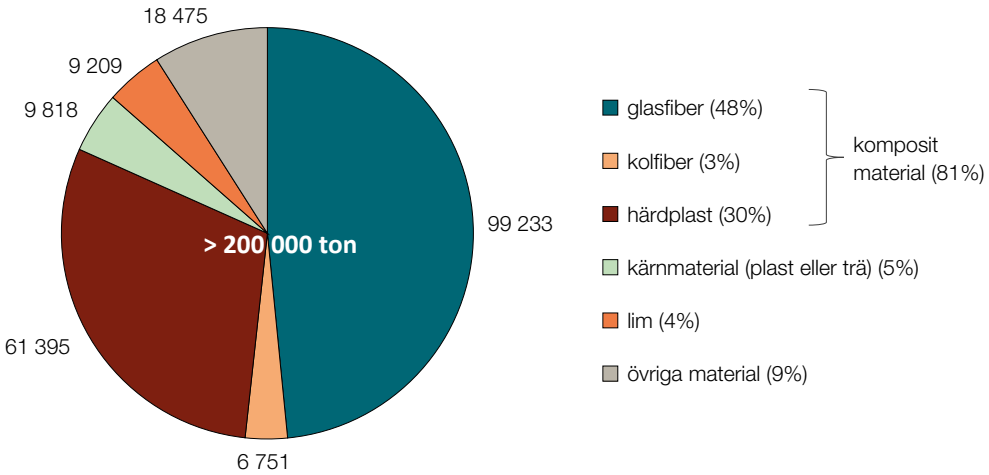
1.1 Avfallsvolymer av vindturbinblad

1.1.1 Nulägesanalys

I slutet av 2022 fanns det 5 164 vindkraftverk i drift i Sverige och den årliga elproduktionen från vindkraft var 33 TWh (Energimyndigheten, 2023a). Vindbrukskollens (u.å.) databas visar att 261 nya vindkraftverk har byggts under januari-september 2023. Under förutsättning att inga vindkraftverk monterats ned under 2022 innebär detta att det finns 5 425 vindkraftverk i Sverige idag (oktober 2023) vilket motsvarar 16 275 vindturbinblad (antagande tre blad per vindkraftverk).

Utifrån de installerade 16 275 vindturbinbladen är det möjligt att uppskatta vilket år de kommer av monteras ner baserat på livslängd på 20 år (teknisk livslängd) och 29 år (Abrahamsen et al, 2023) samt den ackumulerade vikten av uttjänta vindturbinblad (se Figur 1). Bladens vikt uppskattas från vindkraftverkets effekt, vilken är registrerad i Vindbrukskollens databas) enligt ekvationerna i Liu & Barlow (2017) och Delaney et al (2021). I resten av rapporten beräknas vikten av vindturbinbladen enligt förhållandet som har rapporterats i Liu & Barlow (2017): $m = A \times P$. m är totalt vikt av de tre bladen i ton, P är vindkraftverkets effekt i MW, och A är en konstant ($8{,}43 \leq A \leq 12$ för olika intervall av P). (Se Bilaga 1 för exakt beräkning.)

En approximativ materialsammansättning för samtliga befintliga vindturbinblad i Sverige visas i Figur 2. Kompositmaterial (epoxi- och polyesterhärdplast med glasfiber eller kolfiber) utgör ungefär 80 procent av bladens vikt, vilket motsvarar ungefär 160 000 ton kompositmaterial från samtliga befintliga vindturbinblad. Den totala plastandelen i denna beräkning av Sveriges installerade vindturbinblad kan summeras till 34 procent. Men då kärnmaterial innehåller plast är denna underestimerad. (se avsnitt 1.7 för ytterligare diskussion om de olika materialen relaterat till design och återvinning).



Figur 2. Approximativ materialsammansättning för vindturbinblad installerade Sverige (1995–2023) Materialsammansättningen beräknades från befintliga bladdata när sådana var tillgängliga (produktpass, cf-avsnitt 1.7.5) och generiska data (se Bilaga 1).

Källa: RISE, producerad för denna rapport.

1.1.2 Framtida avfallsvolymer av vindturbinblad i Sverige

I detta kapitel görs beräkningar för att uppskatta den framtida volymen av avfallsmaterial från vindkraftverk i Sverige fram till 2070. Beräkningarna utgår från 12 scenarier (se Tabell 1). De är baserade på följande variabler:

- *Prognoserna för den årliga energiproduktionen i Sverige från vind sektorn mellan 2025 och 2050.* Tre scenarier beaktas: ”Högre elektrifiering”, ”Lägre elektrifiering”, och ”Känslighetsfall industri”. Scenarierna beskrivs i Energimyndigheten (2023a).
- *Förhållandet mellan landbaserad vindkraft och havsbaserad vindkraft mellan 2025 och 2050.* Två scenarier beaktas: “Landbaserad vindkraft” och ” Havsbaserad vindkraft. Scenarierna beskrivs i Energimyndigheten (2023b)
- *Vindkraftverkens livslängd.* Två scenarier beaktas: ”20 år” och ”29 år”. Samma livslängd antas för landbaserade vindkraftverk och havsbaserade vindkraftverk.

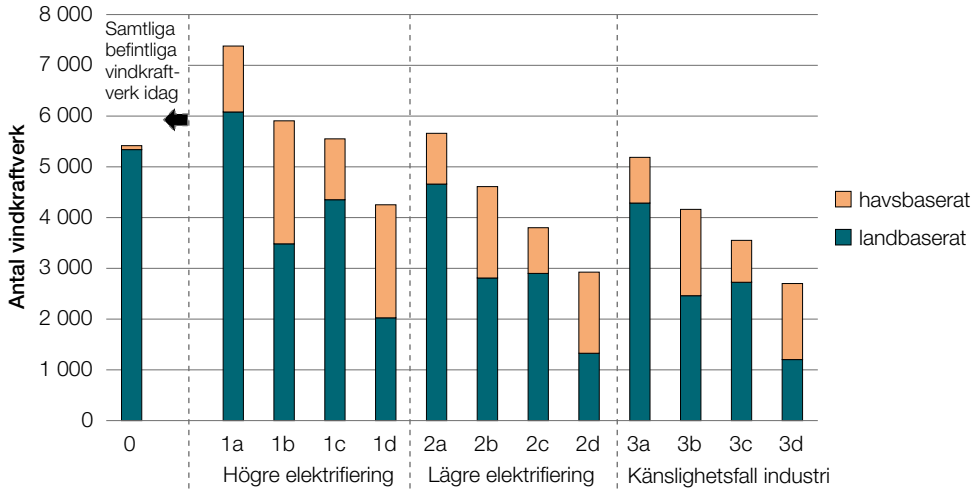
Tabell 1. De 12 scenarier som beaktas för prognoserna av framtida volymen av avfallmaterial från vindkraftverk i Sverige fram till 2070

	Scenarier över Sveriges energisystem (ER 2023:07)	Utvecklingsvägar för elproduktion (ER 2023:18)	Vindkraftverk livslängd
1a	Högre elektrifiering	Landbaserad vindkraft	20 år
1b	Högre elektrifiering	Havsbaserad vindkraft	20 år
1c	Högre elektrifiering	Landbaserad vindkraft	29 år
1d	Högre elektrifiering	Havsbaserad vindkraft	29 år
2a	Lägre elektrifiering	Landbaserad vindkraft	20 år
2b	Lägre elektrifiering	Havsbaserad vindkraft	20 år
2c	Lägre elektrifiering	Landbaserad vindkraft	29 år
2d	Lägre elektrifiering	Havsbaserad vindkraft	29 år
3a	Känslighetsfall industri	Landbaserad vindkraft	20 år
3b	Känslighetsfall industri	Havsbaserad vindkraft	20 år
3c	Känslighetsfall industri	Landbaserad vindkraft	29 år
3d	Känslighetsfall industri	Havsbaserad vindkraft	29 år

För de 12 scenarierna uppskattades antalet nya vindkraftverk som ska installeras varje år i Sverige fram till 2050 för att möta den ökade årlig energiförbrukningen (Figur 3), och ackumulerat avfallsvolymer i 2070 för de olika materialen som finns i vinturbinbladen (Figur 4). Figur 5 visar ökningen av ackumulerat bladavfall genom åren i de olika scenarierna[1].

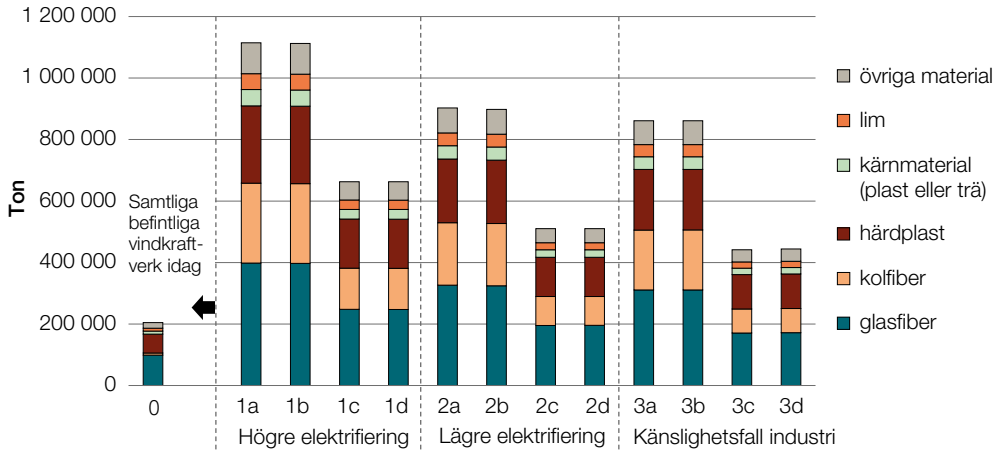
En beskrivning av metoden och antagandena som användes för beräkningar finns i Bilaga 1. Uppskattningar har gjorts angående storleken på framtida vindkraftverk. Både landbaserade och havsbaserade vindkraftverk förväntas öka i storleken, även om havsbaserade vindkraftverk vanligtvis är större än landbaserade vindkraftverk. Uppskattningar har också gjorts gällande mängden glasfiber och kolfiber i framtida vindturbinblad. Det antogs att användningen av kolfiber kommer att öka i framtiden på grund av ökningen i bladlängd och behovet av lättviktmaterial med högre strukturell prestanda än glasfiber.

[1] Eftersom det inte är någon skillnad i avfallsvolymer av vindturbinblad mellan scenario ” Landbaserad vindkraft” och ”Havsbaserad vindkraft” i Figur 5 visas bara resultat från scenario ” Landbaserad vindkraft”.



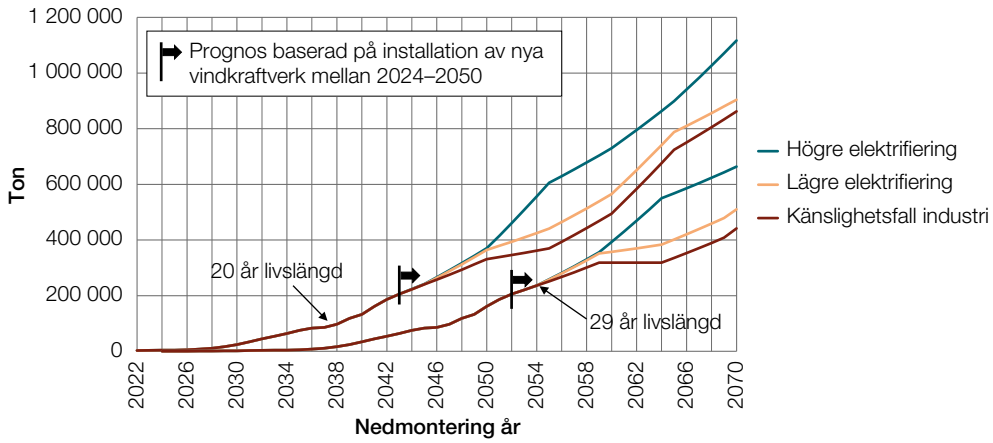
Figur 3. Antal nya vindkraftverk som kommer behöva byggas i Sverige mellan 2024 och 2050 för att möta ökningen i energiförbrukning beräknat utifrån de 12 scenarierna i Tabell 1.

Källa: RISE, producerad för denna rapport.



Figur 4. Ackumulerade avfallsvolymer av vindturbinblad i Sverige mellan 2022 och 2070 beräknat utifrån de tolv scenarierna i Tabell 1.

Källa: RISE, producerad för denna rapport.

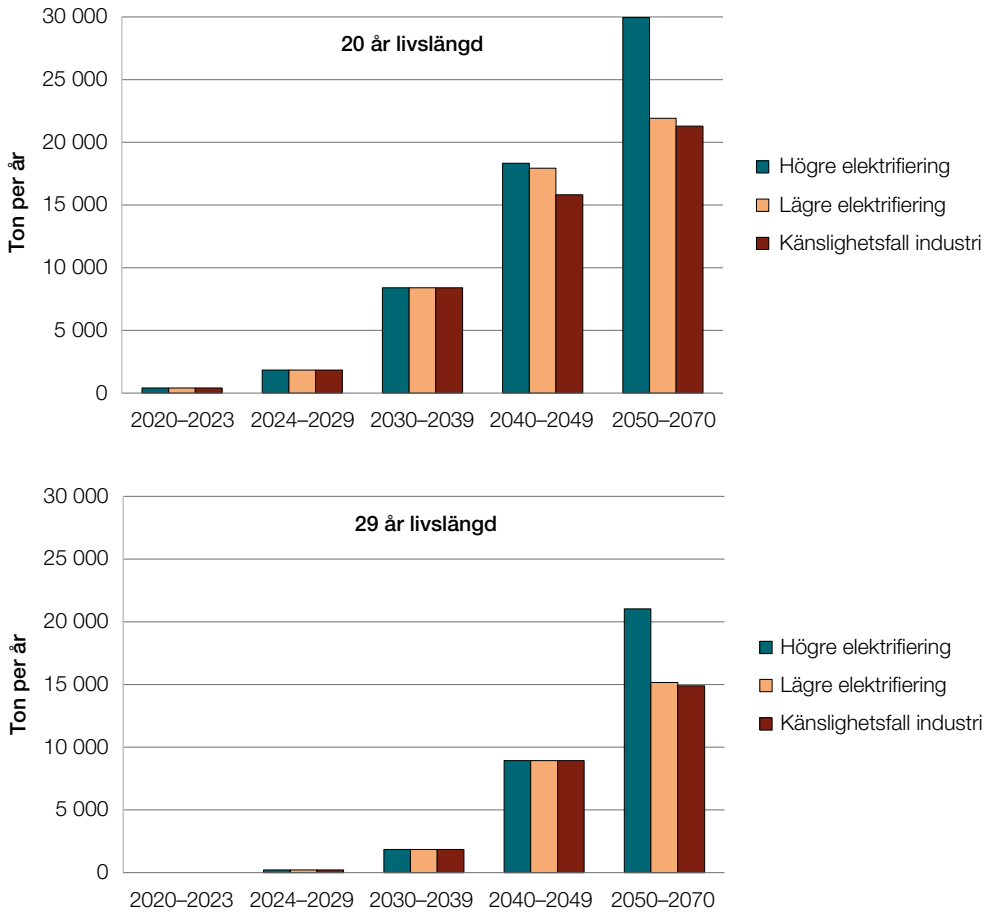


Figur 5. Ackumulerade avfallsvolymer av vindturbinblad i Sverige mellan 2022 och 2070 beräknat utifrån de olika scenarierna i Tabell 1 med en antagen livslängd på 20 och 29 år.

Källa: RISE, producerad för denna rapport.

Från beräkningen är det möjligt att uppskatta den årliga mängden avfall av kompositmaterial som kommer att finnas i Sverige, vilket visas i Figur 6. Kompositmaterial består av glasfiber eller kolfiber inbakade i en härdplast. Mellan 2030–2039 förväntas ungefär 8 000 ton/år kompositavfall från vindturbinblad, med en antagen livslängd på 20 år. Från 2050 framåt ökar denna siffra till 20 000–30 000 ton/år i de olika elektrifieringsscenarierna. Om vi istället antar en livslängd på 29 år blir de årliga avfallsvolymerna av kompositmaterial ungefär 2 000 ton/år mellan 2030–2039, och 15 000–20 000 ton/år från 2050 och framåt i de olika elektrifieringsscenarierna.

Vindturbinblad är en härdplastkomposit som generellt klassas som bygg- och rivningsavfall. Denna klassificering gäller allt bygg- och rivningsavfall inklusive betong. Under år 2020 genererade Sverige 14,6 miljoner ton bygg- och rivningsavfall (Naturvårdsverket 2023d) Plastmängden i denna avfallsström har estimerats 120 000 ton (Naturvårdsverket, 2022b). I relation till den totala volymen är mängden vindturbinblad liten. Samtidigt är härdplast-kompositer från byggnads- och konstruktionssektorn ej fullständigt kartlagda. I avsnitt 1.10 diskuteras volymer uttjänta vindturbinblad mot andra kompositprodukter.



Figur 6. Prognos för årliga avfallsvolymer av kompositmaterial från vindturbinblad i Sverige beräknat utifrån de tolv scenarierna i Tabell 1 med en antagen livslängd på 20 och 29 år.

Källa: RISE, producerad för denna rapport.

Som framgår av Figur 5 och Figur 6 kommer en, i varje fall inledningsvis, längre livslängd (eller återanvändning i nya anläggningar) starkt påverka den tid som vi har på oss för att få lösningar för omhändertagande av uttjänta vindturbinblad på plats. Det är också tydligt att det, särskilt med 29 års livslängd, kan ta lång tid innan volymerna av bladavfall når sådan omfattning att de kan utgöra underlag för nya återvinningsprocesser i industriell skala. Det finns därför behov att kartlägga andra avfallsströmmar och samordna återvinningen av glasfiberkompositer av olika ursprung. Andra tillgängliga avfallsströmmar är uttjänta fritidsbåtar, byggnadskonstruktioner samt produktionsavfall från kompositindustri i Sverige. Under 2023 har uttjänta fritidsbåtar kartlagts i ett regeringsuppdrag till Havs- och vattenmyndigheten vilket redovisas i Havs- och vattenmyndigheten (2023). Det finns ett stort behov av att utveckla cirkulär hantering av både övergivna fritidsbåtar (ca 400 000 båtar) och en förväntad årlig ström av uttjänta fritidsbåtar (9 000–17 000 båtar). Estimerade volymer uppgår till 308 000 ton glasfiberkomposit från övergivna fritidsbåtar och samt 7 000–13 000 ton årligen från uttjänta fritidsbåtar från och med 2020.

1.2 Hantering av uttjänta vindturbinblad

1.2.1 EU:s avfallshierarki, avfallstrappa

EU har i Europaparlamentets och rådets direktiv 2008/98/EG av den 19 november 2008 om avfall och om upphävande av vissa direktiv definierat ett ramverk för att förenkla prioriteringen i syfte att minska avfallsmängderna som läggs på deponi (artikel 4), den så kallade avfallshierarkin. Avfallshierarkin har genomförts i svensk rätt i miljöbalken (1998:808).

Figur 7. EU:s avfallshierarki.

Källa: EU:s lagstiftning om avfallshantering, https://eur-lex.europa.eu/SV/legal-content/summary/eu-waste-management-law.html, åtkomst 2023-10-23.

I korthet innebär avfallshierarkin att det bästa är att välja det översta alternativet, det vill säga att förebygga uppkomsten av avfall. Går inte det tar man nästa steg och så vidare. Den allra sista utvägen för den minsta mängden avfall är deponi enligt ordningen nedan:

1. förebyggande,
2. förberedelse för återanvändning,
3. materialåtervinning,
4. annan återvinning (till exempel energiåtervinning), och
5. bortskaffande (deponi).

Avfallshierarkin är inte ovillkorlig; om det finns skäl som motiveras av till exempel bedömningar i ett livscykelperspektiv eller hantering av avfall, kan avsteg göras.

1.2.2 Översikt över värdekedjan för återvinning av vindturbinblad enligt avfallshierarkin

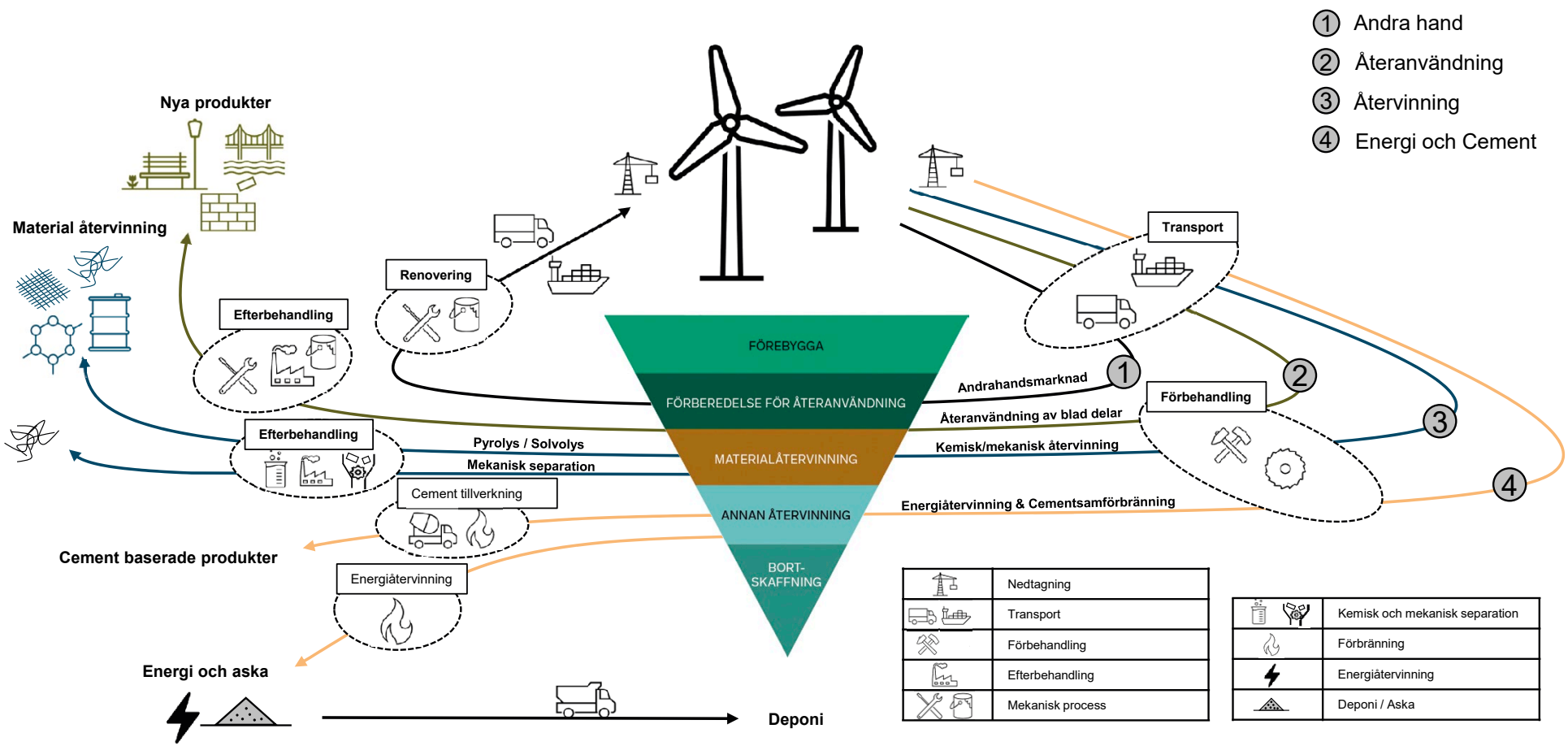
Det finns flera potentiella alternativ för hantering av vindturbinblad när ett vindkraftverk har tjänat ut. I Figur 8 visas hur dessa olika alternativ placeras i förhållande till avfallshierarkin.

1.2.3 Förebygga –livstidsförlängning

Att förebygga nedmontering kräver att vindturbinen går igenom en livstidsförlängningsprocess (ofta benämnd med förkortningen LTE från engelskans life time extension), som ökar livslängden för en specifik vindturbin. Nedmonteringen blir därmed framskjuten motsvarande antal år. Detta utesluter inte att det under vindkraftsverkets livstid exempelvis byts enstaka vindturbinblad. Denna rapport fokuserar dock på omhändertagande av uttjänta vindturbinblad, varför denna del av avfallshierarkin inte kommer att utvecklas vidare.

1.2.4 Vidareförsäljning på en andrahandsmarknad

Att sälja vindturbiner på andrahandsmarknad förekommer ofta. Det finns marknadsplatser online specialiserade för detta (WindTurbines-MarketPlace, 2024). Under exempelvis ett utbytesprogram (ofta benämnd med det engelska begreppet repowering), där en vindturbin med lägre effekt ersätts innan den har nått slutet av sin livslängd mot en vindturbin med högre effekt, kan den nedmonterade vindturbinen säljas vidare till en ny ägare. Det finns olika scenarier där vindkraftverk och vindturbinblad på andrahandsmarknaden passar till exempel på platser där existerande verk av någon anledning behöver nedmonteras och det önskas ett nytt verk på samma plats men där en större (högre) anläggning (som nya verk ofta är) inte är tillåten. Andrahandsförsäljning kan ske såväl inom Sverige som till utlandet, varför ett okänt antal vindturbinblad kan flyttas till respektive från Sverige under sin driftstid. Även efter vidareförsäljning på en andrahandsmarknad borde dock slutlig avveckling av vindturbinbladen ske ungefär som planerat. Under denna omförsäljning finns det möjlighet att renovera vindturbinblad och vindkraftverk dvs förlänga livstiden vilket skjuter avvecklingen framåt i tiden. Ett möjligt utfall av vidareförsäljning på andrahandsmarknaden kan bli att avfallet vid slutlig avveckling får hanteras i andra länder. Denna rapport fokuserar på omhändertagande av uttjänta vindturbinblad i Sverige och kommer därför inte heller att utveckla denna del av avfallshanteringen vidare.



Figur 8. Alternativa vägar för nedmonterade vindturbinblad i förhållande till avfallshierarkin och de processer som används.
Källa: RISE, producerad för denna rapport.

1.2.5 Återanvändning

Återanvändning (benämns återbruk i vissa sammanhang) av uttjänta vindturbinblad syftar på att ta vara på kompositstrukturen som vindturbinbladen är gjorda av. Dessa lättvikts-strukturer är starka, styva och beständiga. De är mycket väl anpassade för belastningarna och annan påverkan som uppstår i ett vindkraftverk och kan efter mindre mekaniska förändringar av vindturbinbladen återanvändas, i delar eller hela, i tillverkningen av nya produkter (André et al., 2020). Det finns exempel på återanvändning av vindturbinblad till balkar för gång- och cykelbroar i Polen och Irland, lekplatser och bänkar i Nederländerna samt som fasadmaterial till parkeringshus och bullerplank i Sverige. Några bolag med återanvändning av vindturbinblad som affärsmodell har etablerats (t.ex. Blade Made och Wings for living). Vidare pågår ett flertal forskningsprojekt i Europa och Nordamerika inom återanvändning (se 1.5.1).

1.2.6 Mekanisk återvinning

Mekanisk separation och återvinning är processer som har varit utforskade i nästan 50 år, och som är idag väl utvecklade (TRL[2] 9,). Mekanisk återvinnig är en mekanisk sönderdelning av vindturbinbladen med kvarn till olika storleksfraktioner av ’återvunnen kompositfiber’.

Slutprodukt efter mekanisk återvinning av glassfiberkomposit är antingen (1) i pulverform efter malning i flera steg, en blandning av fiber och plastmatris (epoxi eller polyesterhärdplast som binder samman fibrerna) som kan användas som fyllnadsmedel i nya produkter, eller (2) i form av korta glasfiber (några millimeter) med rester av plastmatris som används som fiberförstärkning i plastprodukter.

Denna process har en relativ låg energiförbrukning jämfört med andra processer såsom pyrolys, solvolys eller samförbränning i cementindustrin (se nedan), men kräver distributörer och kvalitetssäkring för att kunna implementera dessa fibrer som en ersättningsprodukt för ny glasfiber i industrin. En stor utmaning för den process är att det behövs stora volymer av samma kvalitet för att etablera en marknad för det återvunna materialet. Att säkerställa både kvalitet och innehåll i slutprodukten är också en utmaning eftersom sammansättningen av inkommande uttjänt bladmaterial sällan är helt och hållet känd.

Mekanisk återvinning är en teknik som utvecklats under lång tid. Under 1990-talet fanns det en värdekedja uppbyggd i Tyskland för bulkhantering av återvunnet material i olika fraktioner. Tiden och tekniken var dock inte mogen för denna värdekedja och verksamheten lades ned.

1.2.7 Termokemisk återvinning – pyrolys

Pyrolys är en termokemisk återvinningsprocess med en relativt hög TRL[2]-nivå (6–7) (Paulsen & Enevoldsen, 2021). Principen är att vindturbinbladets härdplast bryts ned termiskt vid 400–700 °C utan syre vilket ger slutprodukterna pyrolysolja, vilken kan användas som ”kemisk byggsten”, och glasfiber, som separeras under processen. Pyrolysprocessen kräver stora volymer av avfall för att kunna fungera optimalt. Intresset för detta teknisksår och dess slutprodukter har ökat under 2023 (avsnitt 1.5.3). Pyrolysprocessen är dock en process med hög energiförbrukning samt flera för- och efterbehandlingsprocesser. Etablering av pyrolys kräver stora ekonomiska investeringar för industriaktörer och en förutsägbar tillgång till stora volymer glasfiberkompositmaterial.

[2] Förkortningen TRL står för Technology Readiness Level och är en beteckning för en teknologisk mognadsgrad och tillhörande teknologisk risk

1.2.8 Kemisk återvinning – solvolys

Kemisk återvinning med solvolys har lägre TRL[2]-nivå än pyrolys för glasfiberkompositer (TRL 5–6) (Paulsen & Enevoldsen, 2021). Solvolys är ett övergripande namn för kemisk återvinning med olika lösningsmedel (vatten, alkoholer, syra etc.) med och utan tryck.

I solvolys separeras plast (här epoxi- och polyesterhärdplast) och glasfiber i vindturbinblad via upplösning och nedbrytning av härdplast med olika lösningsmedel, katalysatorer och vid olika temperatur (100–400 °C) och tryck (upp till 250 bar).

Solvolysprocesserna är liksom pyrolys en process med hög energiförbrukning samt med flera för- och efterbehandlingsprocesser. Etablering av solvolys kräver, liksom pyrolys, stora ekonomiska investeringar för industriaktörer och en förutsägbar tillgång till stora volymer glasfiberkompositmaterial.

1.2.9 Samförbränning i cementindustrin

Samförbränning i cementindustrin är en annan återvinningsprocess där vindturbinbladens material använts för att ersätta andra material som annars skulle ha använts för tillverkningen av cement. Denna process har varit industrialiserad i flera år nu (TRL[2]9) och ger möjlighet till återanvändning av glasfiber i form av aska (SiO_2 dvs kiseldioxid, Al_2O_3 dvs aluminiumoxid) som kan användas till ny cement. Därutöver ger plasten energi för cementomvandlingsprocessen.

Infrastruktur för denna processväg är uppbyggd i Tyskland och Finland. I Sverige finns också möjlighet att förbehandla bladen för transport till Finland för samförbränning i cementindustrin. Denna process kan vara en tillfällig lösning tills materialåtervinning högre upp i avfallshierarkin är etablerad. Idag räknas samförbränning i cementindustrin inte som materialåtervinning, men det är en lösning som kan hantera alla olika kompositstrukturer som t.ex. vindturbinblad och fritidsbåtar. Branchorganisationen EuCIA uppmanar EU att inkludera samförbränning i cementindustrin som återvinning i EU:s avfallsdirektiv (2008/98/EC) tack vare bidraget till möjlig återvinning av råmaterial (EuCIA, 2023b). Däremot har de tillfälligt låga volymerna av uttjänta vindturbinblad temporärt gjort processen oanvändbar i Tyskland under 2022 (IEA Wind Task 45, 2023). Detta är bland annat en konsekvens av de höga energipriserna som de senaste åren har bromsat nedtagningen av vindkraftverk. Det har varit mer lönsamt att låta äldre vindturbiner vara kvar i drift i stället för att montera ner dem.

1.2.10 Energiåtervinning

I energiåtervinningsprocessen skickas vindturbinbladen efter fragmentering eller sönderdelning till anläggningar för förbränning och produktion av energi. Då organiskt innehåll i vindturbinbladen är lågt bildas en stor mängd aska (oorganiskt material). Askan som motsvarar cirka 70 procent av bladvikten skickas därefter på deponi. Den stora mängden oorganiskt material dominerat av glas gör uttjänta vindturbinblad mindre intressanta som bränsle.

1.2.11 Bortskaffande genom deponering

Enligt 8 § förordningen (2001:512) om deponering av avfall råder deponiförbud för organiskt avfall. Från denna huvudregel får Naturvårdsverket enligt 10 b § meddela föreskrifter om undantag och om förutsättningar för Länsstyrelsens dispenser (som kan meddelas enligt 10 a §). Genom 12 § Naturvårdsverkets föreskrifter och allmänna råd (2004:4) om hantering av brännbart avfall och organiskt avfall har undantag meddelats för organiskt avfall med en homogen sammansättning som innehåller mindre än 10 viktprocent total mängd organiskt

material. Vindturbinblad består normalt av 30 procent plast och trä och ska därmed inte kunna deponeras i Sverige, om inte Länsstyrelsen i det enskilda fallet ger dispens från förbuden. Sådan dispens kräver, enligt 18 och 20 §§ i ovan nämnda föreskrifter och allmänna råd, att det är fråga om kapacitetsbrist eller att det finns särskilda skäl. Naturvårdsverket har nyligen remitterat ett förslag med nya föreskrifter som i denna del innebär att möjligheten till dispens vid kapacitetsbrist tas bort.

Deponering förekommer dock fortfarande idag i Sverige. Deponering är ett hanteringsalternativ av uttjänta vindturbinblad som väljs bort mer och mer. Bland annat har Vattenfall annonserat att de förbinder sig till ett förbud av deponering (Vattenfall, 2021). Det är däremot svårt att kunna följa dessa strömmar då (i) vindturbinbladen inte klassificeras som farligt avfall och därför inte kräver spårbarhet, och (ii) nedmontering inte kräver någon anmälan eller tillstånd, vilket oftast resulterar i att en nedmontering konstateras i efterhand av kommuner och genom registrering i fastighetsregistret. För att få en tydligare bild av dagens situation med deponering av vindturbinblad i Sverige skulle det behöva kartläggas vilka blad som har deponerats var eller att Länsstyrelsen för statistik över vad tillstånd givits för.

1.2.12 Förbehandling inför återvinning och återanvändning

Flera förbehandlingsprocesser behövs innan man kan implementera processerna som nämns i avsnitt 1.2.5–1.2.9. Detta illustreras i Figur 8. Förbehandlingsprocesser inkluderar nedmontering, sågning på plats eller i fabrik (beroende på möjligheter och kostnader och tillåtlighet relaterade till transporten av bladen i sin fulla längd). Om återanvändning väljs, blir det sågning i delar till önskad dimension. Om någon av de andra återvinningsprocesserna väljs krävs det ytterligare materialseparering (trä, metall, komposit, skum) och fragmentering av kompositstrukturen i mindre delar (upp till millimeterstorlek beroende på processen). I vissa fall krävs ytterligare separationsprocesser för att sortera bort oönskat material till de olika återvinningsalternativen.

1.2.13 Efterbehandling

Innan det nya materialet eller bladstrukturen kan nå sitt nya användningsområde krävs det ofta efterbehandlingar av de intermediära produkterna som erhålls från återanvändnings- och återvinningsprocesserna. Vilka typer av processer som behövs beror på användningsområde för slutprodukten. Ett exempel av efterbehandling är att glasfiber från pyrolys måste ytbehandlas (”sizing” på engelska) då pyrolysprocessen har försämrat den ursprungliga glasfiberytan. En ytbeläggning appliceras på glasfibern för att förbättra dess kompatibilitet med andra material och förstärka dess vidhäftningsegenskaper så att fibrerna kan användas som fiberförstärkning. Ett annat exempel är att samtliga oljeprodukter från solvolys och pyrolys kräver flera efterföljande kemiska processteg för framställning av kemikalier eller plaster (polymerer).

1.2.14 Transport och logistik

Transport och logistik är en mycket viktig komponent då vindturbinbladen måste flyttas från nedmonteringsplatsen till nästa geografiska plats där vald återvinningsprocess på bladen utförs. För att materialåtervinning ska kunna ske måste en kontrollerad nedtagning av vindturbinbladen göras. Detta medför att samma process som sker vid installation av vindkraftsverket och dess blad måste reverseras. Kravet på logistik är också kopplat till val av återvinningsprocess. Genom att minimera sågning där vindturbiner monteras ner kan riskerna att kontaminera marken med flis, damm eller andra mindre rester minimeras.

Det betyder i sin tur att man måste kunna transportera stora bladdelar från platsen för nedmontering. Om återanvändning väljs är det också viktigt att säkerställa att vindturbinbladen skyddas från mekaniska skador under transporten. Detta är mindre viktigt om andra återvinningsprocesser väljs.

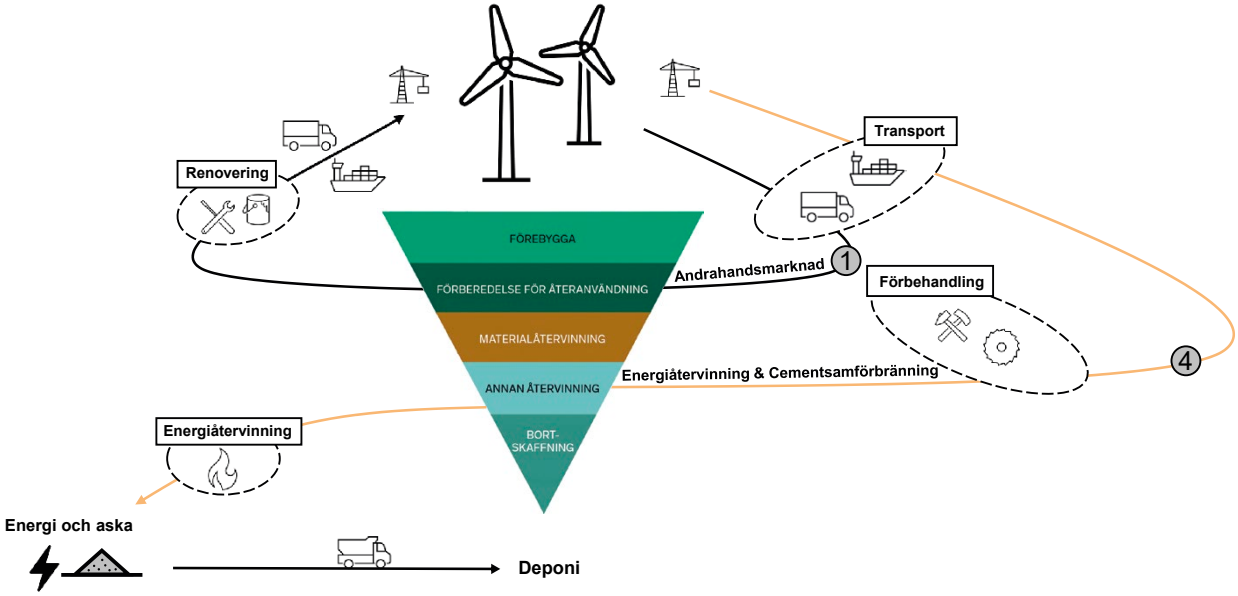
Transport och infrastruktur för hantering av uttjänta vindturbinblad är förutsättningar för att bygga nya cirkulära värdekedjor för blad och återvunnet material från blad. Dessa är inte uppbyggda i Sverige eller i Europa.

Transport av vindturbinblad till ett annat land kan ske som reparationsmaterial eller som avfall. I dialog med industriaktörer har det rapporterats att tillståndsprocessen för transport av bladavfall tar lång tid (3–9 månader) samt att lagring av bladavfall är komplicerad och begränsad till tre år. Därför används ibland alternativet att transportera uttjänta vindturbinblad som reparationsmaterial över landsgränser för vidare hantering (för närvarande sannolikt både deponering och återvinning) i detta land.

1.3 Sveriges i perspektiv till andra länders utveckling

1.3.1 Sverige: Avfallshantering av vindturbinblad idag

De flesta vindturbinblad som har monterats ner fram till idag i Sverige har med största sannolikhet skickats till förbränning med energiåtervinning eller sålts vidare på andrahandsmarknaden (se Figur 9). Som ovan nämnts i avsnitt 1.2.11 ska deponering av vindturbinblad inte förekomma i Sverige numera. Det är dock svårt att verifiera då det inte finns någon möjlighet att spåra uttjänta nedmonterade vindturbinblad i Sverige idag. Naturvårdsverket genomförde en kartläggning av uttjänta vindturbinblad och hur de hanterats under 2020 (Naturvårdsverket 2022b). I rapporten påvisas svårigheterna att få information om hur bladen hanterats. Endast fyra vindturbinblad av förväntade ca 50 (predikterat av Rekovind 2020) kunde identifierats hur de hanterats (ett vindturbinblad i retur till producent och tre till förbränning) (Naturvårdsverket, 2022b).



Figur 9. De flesta vindturbinblad idag följer troligen till större del väg 1 (andrahandsmarknad) eller väg 4 (förbränning och energiåtervinning).

Källa: RISE, producerad för denna rapport.

I Tabell 2 nedan beskrivs vilka styrmedel och icke bindande incitament som finns i Sverige idag för att styra avfallsströmmar av kompositblad från vindkraftsindustrin. Tabell 2 samlar också information om nuvarande avfallssystem för vindturbinblad.

Tabell 2. Styrmedel, incitament samt avfallssystem i Sverige idag

Styrmedel	Deponiförbud med viss möjlighet till dispens i enskilda fall (se avsnitt 1.2.11 ovan). Bygg- och rivningsavfall: insamling och sorteringskrav (Naturvårdsverket, 2023b).
Incitament icke bindande	Vattenfall (okt 2021): Vattenfall förbjuder deponering av vindturbinblad med målet om fullständig återvinning 2030. Svensk Vindenergi – branschförening, meddelade på Vind2023 att de stöttar WindEurope's deponiförbud (personlig kommunikation, Ylva Tengblad, Svensk Vindenergi, VIND2023, 17 oktober 2023).
Avfallssystem idag	Idag går vindturbinbladen i Sverige till energiåtervinning eller deponi (med dispens). Troligtvis går en del till återanvändning på andrahandsmarknaden. Här finns dock ingen spårbarhet vilket tydliggjordes i Riksrevisionen (2023).

I Sverige finns det idag ingen uppbyggd värdekedja för hantering av uttjänta blad eller kompositavfall (glasfiberkomposit) och inga industriella piloter etablerade. Det finns dock aktiva forskargrupper som studerar problematiken med hantering av uttjänta vindturbinblad, samt ett fåtal aktörer inom industrin som är aktiva inom utveckling av återvinning och återanvändning av vindturbinblad (se Tabell 3).

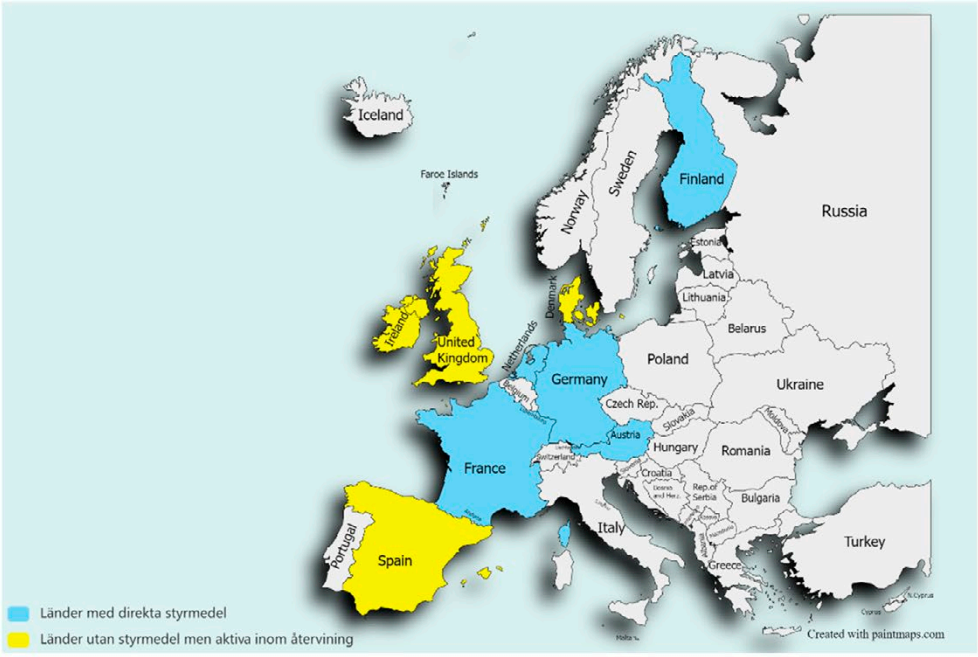
I Sverige finns det också andra aktörer som arbetar med reparation och underhåll av vindturbinblad, samt olika utbytesprogram och livstidsförlängning. Detta är olika alternativ för att förlänga den tekniska livslängden av vindturbinbladen som idag ofta sätts till 20 år. Dessa aktörer kan också vara en framtida del i en ny värdekedja för hållbar hantering av uttjänta vinturbinblad. En lista med dessa aktörer (inte fullständig) återfinns också i Tabell 3.

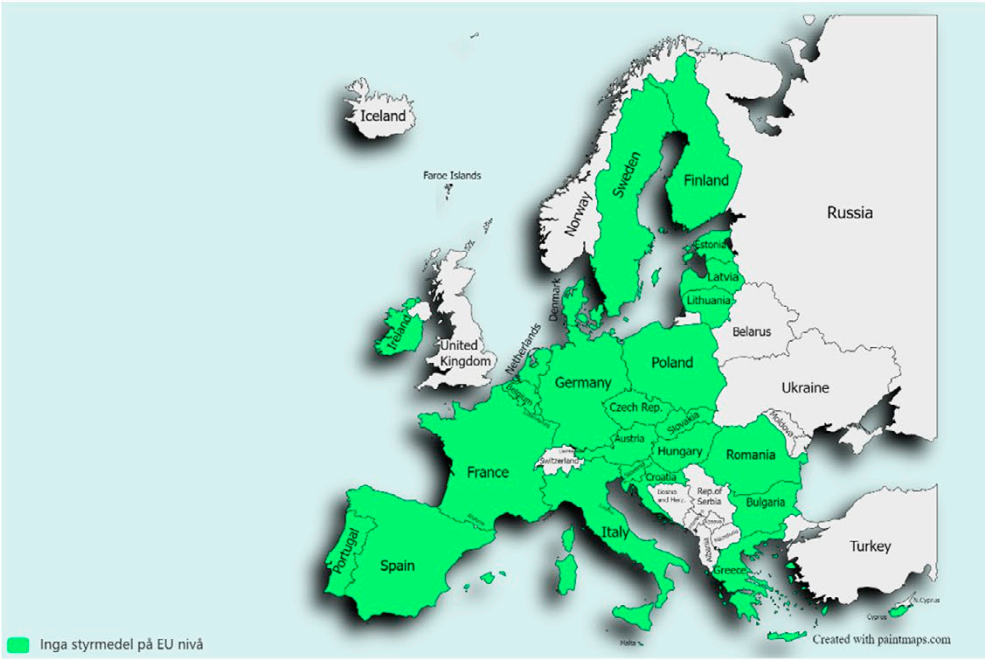
Tabell 3. Forskargrupper samt industriaktörer – Nyetablering inom återvinning

Forskningsprojekt	RISE, aktiv sedan 2019. Forskning på mekanisk återvinning, solvolys, pyrolys och återanvändning av vindturbinblad. Ett flertal projekt sedan 2019 tex Rekovind, Rekovind2, ReComp, RECINA och Circublade (se referenslistan). För närvarande pågår konstruktionen av en mindre pyrolyspilot i Piteå 100 liter via projekt från Energimyndigheten (Relys, 2024). Luleå tekniska universitet: GlassCircle – Exploring full cycle circular economy for glass fiber industry, InterReg Baltic See Region EU-projekt (GlassCircle, 2022).
Aktörer som är aktiva inom utveckling av återvinning och återanvändning av vindturbinblad.	Librixer (https://www.librixer.com/): Utvecklar mekanisk separation av glasfiberkompositer från vindturbinblad och båtar. Stena Recycling: Teknik ”Chemcycling” utvecklad av CETEC-projektet (Danmark). Tvåårigt industriprojekt med Vestas, Olin och Stena där pilot skall byggas (Vestas, 2023) Composite Design (https://www.composite-design-sweden.com/): bygger parkeringshus i Lund. Återanvändning av vindturbinblad. Aktiv i Circublade projekt. Lloyd’s arkitektbyrå (https://lloyds.se/) bygger parkeringshus i Lund med konsortium. Vattenfall: ägare av vindturbinparker som behöver cirkulära lösningar. Inblandad i parkeringshusprojekt i Lund. Afterwind svenskt-norskt initiativ, utvecklar en kombinerad mekanisk och kemisk process för att generera nya råvaror Kuusakoski (Lycksele): I Sverige finns möjlighet för förbehandling av vindturbinblad i Lycksele som sedan transporteras till Finland för ’samförbränning i cementindustrin’ (se 1.5.5).
Aktörer inom reparation, renovering, underhåll (Urval av aktörer)	Flodmans El & Energi (http://www.flodman.nu/sv/start/) Bladesolutions (https://www.bladesolutions.se/) Rope Acesss (https://ropeaccess.se/fields/vindkraft/) Business in Wind (https://businessinwind.com/)
Aktörer inom livstidsförlängning	Vestas service Nordic Business Development: https://www.vestas.com/en/products/refurbished-turbinesPre-owned turbines och LTE. Business in Wind (https://businessinwind.com/)

1.4 Andra EU länder: hantering av uttjänta vindturbinblad

Hantering av uttjänta vindturbinblad hanteras på olika sätt i Europa. På EU-nivå finns det inga styrmedel specifikt för vindturbinblad. Det finns däremot flera länder som antingen har tagit fram egna direkta styrmedel för att hantera uttjänta vindturbinblad (Frankrike, Tyskland, Österrike, Finland, Nederländerna) eller har aktiva industrier inom återvinning/återanvändning av vindturbinblad (Irland, Spanien, Danmark, Storbritannien). Av 27 länder i EU är det bara åtta länder (+ Storbritannien) som tagit en aktiv roll med eller utan styrmedel för att hitta en lösning till hanteringen av uttjänta vindturbinblad (se Figur 10). En sammanställning av styrmedelsutvecklingen i Europa visas i Tabell 4.





Figur 10. Övre bild: Översikt över länder i Europa som har direkta styrmedel. Övriga länder i Europa har inga styrmedel. Ett urval av dessa som har mycket aktivitet på återvinningsområdet visas också i bilden. Inga styrmedel finns idag på EU-nivå (nedre bild).

Källa: RISE, producerad för denna rapport.

Tabell 4. Situation i Europa idag (se också i Figur 10)

Styrmedel	Fyra länder har direkta styrmedel som (utan möjlighet till undantag eller dispenser) förbjuder deponering av vindturbinblad: Tyskland, Österrike, Nederländerna, Finland: Nationell lag på återvinning av vindturbinblad: Frankrike; fr.o.m. Januari 2022, 35 procent av vikten måste återvinnas. Övriga 22 EU länder har, vad vi känner till, inga direkta styrmedel för bladåtervinning
Incitament icke bindande	Vindindustriaktörer har annonserat publikt att de ska bannlysa deponering av vindturbinblad inom deras verksamhet (Publika annonserade icke bindande initiativ): WindEurope: För att påskynda cirkulariteten åberopar de ett europeiskt deponiförbud för uttjänta vindturbinblad till 2025. Detta innebär att industrin åtar sig att återanvända eller återvinna 100 procent av avvecklade vindturbinblad. Vattenfall (okt 2021): Vattenfall förbjuder deponering av vindturbinblad med målet om fullständig återvinning 2030. Örsted (juni 2021) förbjuder deponering av vindturbinblad. Det finns ett flertal länder utan direkta styrmedel som har stor aktivitet inom forskning och utveckling av återvinningsprocesser för vindturbinblad. (Figur 10). Orsaker till denna aktivitet har troligtvis flera olika förklaringar: • Stora volymer vindturbinblad i närtid • Nationellt intresse i bladproduktion och utveckling av förnybar energi. Länder med stort engagemang i bladåtervinning är Spanien, Danmark, Irland och Storbritannien.

Det finns ett fåtal aktörer i Europa som är engagerade i att driva verksamhet inom återvinning av vindturbinblad. I juni 2023 utgav European Composites Industry Association en sammanställning på 40 pågående industriinitiativ i Europa sorterade efter land (EuCIA, 2023). Denna branschorganisation stävar efter att uppdatera listan löpande. I avsnitt 1.4.1–1.4.6 presenteras några länder och deras pågående återvinningsinitiativ närmare.

1.4.1 Tyskland

I Tabell 5 sammanställs vilka styrmedel och avfallssystem som finns i Tyskland idag, samt vilka aktörer inom återvinning som har etablerat sig där.

Tabell 5. Tyskland

Styrmedel	Deponiförbud sedan 2009 för allt avfall med organiskt innehåll > fem procent (IEA Wind Task 45, 2022)
Avfallssystem idag	Tyskland har de största förväntade volymerna av bladavfall i EU. Tekniska lösningar med värdekedja har utvecklats bl.a. samförbränning i cementindustrin med tillhörande förbehandling samt mekaniska återvinning. • Geocycle (Holcim) – Samförbränning i cementindustrin • Neocomp, förbehandling av vindturbinblad avfallet till samförbränning i cementindustrin hos Geocycle. • Mekanisk återvinning tex Roth international https://www.roth-international.de/en/ Då Neocomp gick i konkurs 2022 p g a brist på vindturbinblad har denna möjlighet till omhändertagande via samförbränning i cementindustrin upphört. I Tyskland har industristandarden DIN SPEC 4866 “Sustainable dismantling, disassembly, recycling and recovery of wind turbines” utvecklats (Westbomke, 2020). Här beskrivs ramvillkor för hela rivningsprocessen från planering via själva demonteringen till dokumentation. Den ger bland annat en första guide till verksamhetsutövarna. (Recycling magazine, 2020; Westbomke, 2020). Standarden ger rekommendationer om hur man säkrar byggarbetsplatsen och vilka kvalifikationer arbetare behöver ha som utför demonteringen. Den beskriver också hur rotorblad, torn och nacelle (maskinhus) bör demonteras och vilka säkerhetsåtgärder som krävs för att förhindra att skadliga ämnen kommer ut i miljön och förklarar vilka av turbinens komponenter som kan återvinnas och på vilket sätt, hur demonteringen ska dokumenteras och vilka officiella tillstånd som krävs (beroende på delstat/förbundsland).
Nyetablering återvinning av industriaktörer	Nedan listas bolag som är aktiva som aktörer inom kompositåtervinning i Tyskland Uppgifterna är hämtade från EuCIA:s publicerade sammanställning (EuCIA, 2023). • Neowa GmbH (https://www.neowa.de) • Schwarzwälder Textil-Werke Heinrich Kautzmann GmbH (https://stw-faser.com/en/) • SGL Carbon SE (https://www.sglcarbon.com) • Tenowo GmbH (https://www.tenowo.com) • WIPAG Deutschland GmbH (www.wipag.de) • Zeisberg Carbon GmbH (https://www.zeisberg-carbon.com)

1.4.2 Frankrike

I Tabell 6 sammanställs vilka styrmedel och avfallssystem som finns i Frankrike idag, samt vilka aktörer inom återvinning som har etablerat sig där.

Tabell 6. Frankrike

Styrmedel	Nationell lag för 'End-of-Life Vindparker' Juli 2020 (Légifrance, 2020). Deponiförbud för avfall med organiskt innehåll över 30 procent (2022). Sen lagstiftning kring deponiförbuds för avfall med högt organiskt innehåll jämfört med andra länder t,ex. Sverige, Finland och Tyskland. Frankrike har skärpt lagen och numera krävs att 35 procent av uttjänta vindturbinblad återvinns från och med 1 juli 2022. Den 1 januari 2023 ökar kvoten till 45 procent och 2025 ytterligare till 55 procent. Enligt en omfattande lag som sätter många begränsningar för nedtagning av hela vindkraftsverket från och med den 1 juli 2022 måste 90 procent av den totala vikten av vindkraftverket återvinnas. Även 'repowering' och livstidsförlängning är reglerad. (IEA Wind Task 45, 2022; Légifrance, 2020).
Avfallssystem idag	I Frankrike är mindre än fem procent av den installerade vindkraften äldre än 15 år. En första vindkraftspark har tagits ned och 90 procent av vikten återvanns enligt den gällande lagen (Volard, 2023). Det franska energi bolaget Engie tog 2019 ned sin äldsta vindkraftspark Port-la-Nouvelle i södra Frankrike och redovisade då att 94 procent av vindturbinbladen återvanns, dock utan att ange metod (Boyer King 2019).
Nyetablering återvinning av industriaktörer	Engie utvecklar en förgasningsprocess där bladmaterial kan användas med annat avfall för produktion av metangas i den s.k. GAYA platform (Maheut 2022). Nedan listas bolag som är aktiva aktörer inom kompositåtervinning i Frankrike. Uppgifterna är hämtade från EuCIA:s publicerade sammanställning (EuCIA, 2023): • Extracthive (https://www.extracthive-industry.com/) • Polyloop (https://polyloop.fr/?lang=en) • Recycling Carbon (https://www.recycling-carbon.org/en/) • EU Forskningsprojekt: • R3FIBRE project Bcircular – återvunna fibrer i cement • ZEBRA – (IRT Jules Verne) återanvändning av fibrer i andra sektorer • Techtera (MC4 Project) (https://www.mc4-project.eu/)

1.4.3 Nederländerna

I Tabell 7 sammanställs vilka styrmedel och avfallssystem som finns i Nederländerna idag, samt vilka aktörer inom återvinning som har etablerat sig där.

Tabell 7. Nederländerna

Styrmedel	Deponiförbud sedan 2020 för härdplastkompositer (IEA Wind Task 45, 2022) Eftersom inga ekonomiskt lönsamma industriella återvinningsalternativ existerar tillåts undantag för deponi när inget annat ekonomiskt alternativ existerar.
Avfallssystem idag	Nederländerna är en av de ledande i utvecklingen av tekniska lösningar och cirkulär hantering av vindturbinblad. Idag finns det en etablerad värdekedja av mindre aktörer som kan användas för återvinning av vindturbinblad. Kostnaden för cirkulär återvinning är högre än för deponering och förbränning. Ett exempel på en värdekedja presenteras nedan: • Business in Wind (2018) – nedtagning för reparation och åter-försäljning av vindturbiner och nedtagning för cirkulär återvinning. • Blade Made (2021) – återanvändning av vindturbinblad i byggnadskonstruktioner • Mekanisk återvinning Circular Recycling Company – CRC (https://c-r-c.nl/) • Producent av klinker och termoplastkompositer.
Nyetablering återvinning av industriaktörer	Utvecklingen av nya fabriker för kompositåtervinning med större kapacitet förväntas lösa framtida återvinning (IEA Wind Task 45, 2022). Nederländerna har varit/är aktiv i ett flertal EU-projekt och har nationella satsningar. Det pågår stora industriella projekt. Exempelvis utvecklar TNO en pyrolyspilot i samarbete med EoLo-HUBS (EU-projekt 2023–2026). De är också aktiva i uppbyggnaden av cirkulära värdekedjor för vindkraftsparker offshore i projekten Circular Wind Hub och DecomTools. Nederländerna är ett mindre land men centralt placerat i EU när det gäller vindkraft med en kapacitet på 9,3 GW vindel 2022 (Statista, 2023) från ca 3 000 vindturbiner. Industriaktörer har närhet till Tyskland där de största volymerna av vindturbinblad väntas (WindEurope).

1.4.4 Finland

I Tabell 8 sammanställs vilka styrmedel och avfallssystem som finns i Finland idag, samt vilka aktörer inom återvinning som har etablerat sig där.

Tabell 8. Finland

Styrmedel	Deponiförbud för avfall med organiskt innehåll över 5 procent (2018).
Avfallssystem idag	Industrier med polymert avfall glasfiberkompositer får ansöka om dispens för deponering om “there is no viable other solution for recycling for them” (IEA Wind Task 45, 2022; Närings-, trafik- och miljöcentralen, 2023) Det finns tjänsteleverantörer som samlar in avfall av glasfiber-komposit och transporterar det till vissa förbränningsanläggningar. Där blandas det in till ca 10 procent med andra brännbara material (trä, textil etc.) för förbränning med energiåtervinning. Industrispill från industri med produktion av glasfiberkompositer som t.ex. båtar och byggnadsmaterial får ansöka om tillstånd om dispens. (Österbotten, 2019).
Nyetablering återvinning av industriaktörer	I södra Finland finns en värdekedja för hantering av bladavfall och andra strömmar av avfall från glasfiberkomposit via samförbränning i cementindustrin (Finnish Wind Power association, 2023). • **Kuusakoski (Hyvinkää):** Förbehandling av kompositavfall till samförbränning i cementindustrin i drift 2023. Investerar i en högre kapacitet inomhusanläggning färdig Q3 2024. Komposit-avfallet distribueras som råmaterial till cementindustrin. (Kuusakoski, 2023). • **Finnsement (Lappeenranta):** Samförbränning av kompositavfall från alla industrisektorer: Produktionsavfall från tillverkning av båtar och blad (Sjödahl, 2023). • CONENOR – mekanisk återvinningsprocess som kan användas till plywood och liknande konstruktionsmaterial. (https://www.conenor.com/ (mindre industriaktör).

1.4.5 Danmark

I Tabell 9 sammanställs vilka styrmedel och avfallssystem som finns i Danmark idag, samt vilka aktörer inom återvinning som har etablerat sig här.

Tabell 9. Danmark

Styrmedel	Inga styrmedel för återvinning av vindturbinblad. Deponering är tillåten.
Avfallssystem idag	Vindturbinbladen har möjlighet att gå på deponi i Danmark. Då tre stora aktörer inom produktion av vindturbinblad (Vestas, Siemens-Gamesa och LM Wind Power a GE Renewable Energy business) är etablerade i Danmark har industriaktörer som omhändertar produktions-avfall och uttjänta vindturbinblad med mekanisk återvinning kunnat etablera sig. Det återvunna materialet används till olika produkter t,ex. av företaget Miljøskærm (miljoskarm.dk) som producerar ljudabsorbenter och bullerskydd.
Nyetablering återvinning av industriaktörer	Ledande producenter och ett stort nationellt intresse för denna industri-sektor har påverkat utvecklingen i Danmark positivt. Under våren 2023 annonserades att Continuum (Esbjerg) etablerar en industriell, stor-skalig satsning i Esbjerg för produktion av paneler av komposit för konstruktions ändamål (https://www.continuum.earth/). Anläggningen förväntas vara klar 2026 och ska hantera 36 000 ton/år. Danmark är ett av de ledande länderna i utvecklingen av nya åter-vinningsprocesser och danska staten har finansierat flera stora teknik-utvecklingsprojekt som nu är inne på pilot- och implementeringsstadierna. • DecomBlades (https://decomblades.dk/), • CETEC (https://www.project-cetec.dk/uk/) Danska företag, institut och universitet är också medlemmar i de stora EU-projekten inom detta utvecklingsområde t.ex. Zebra (Zero wastE Blade ReseArch). DTU (Danmarks Tekniske Universitet) är ledande inom bladdesign och återvinning och har en position som 'Operator' inom nätverket IEA Wind Task 45 nätverket tillsammans med NREL i USA. I projektet DecomBlades, samverkar alla producenter av vindturbin-blad (Vestas, Siemens-Gamesa och LM Wind Power) i ett bransch-överskridande samarbete för att bygga upp nya värdekedjor. Projektet fokuserar på tre återvinningspiloter som kan lösa problem och implementeras i närtid. • Samförbränning i cementindustrin (FL SMIDTH) • Pyrolys (MAKEEN Energy) • Förbehandling och separation (HJ HANSEN) I DecomBlades-projektet har de första "Blade Material Passport" utvecklats i samråd med bladproducenterna Siemens Gamesa, LM Wind Power och Vestas. Nu förslås detta bli en standard.

1.4.6 Aktiva aktörer inom denna värdekedja i Norden och vid Östersjön

Sverige är ett till ytan stort och långsmalt land och samverkan kan därför med fördel ske i närområdet med nordiska och andra länder runt Östersjön för etableringar inom återvinning av vindturbinblad. För att få en överblick av vilka industriella satsningar som finns närmast geografiskt följer nedan en lista på pilotkonstruktioner samt startade och planerade etableringar.

- **Finland**
  - Kuusakoski (Hyvinkää): Förbehandling för samförbränning i cementindustrin i drift 2023, konstruktion av större anläggning klar 2024.
  - Finnsement (Lappeenranta): Samförbränning av kompositavfall från flera industrisektorer: Produktionsavfall, båtar och vindturbinblad.
  - CONENOR – ECOBULK process för mekanisk återvinning (etablerat verksamhet, startup)
- **Norge**
  - Gjenkraft AS, Norge (pyrolys, etablerat verksamhet, startup)
- **Esbjerg, Danmark**
  - Continuum – mekanisk återvinning, 36 000 ton/år, förväntad start 2026.
- **Danmark**
  - Flera startup: mekanisk återvinning
  - Decomblades: nationellt projekt med fokus på att implementera en värdekedja för vindturbinblad och för uppbyggnad av piloter. MAAKEN ENERGY har annonserat att de bygger en pyrolyspilot.
- **Danmark (Sverige)**
  - ’Chemcycling-process’ Vestas, Stena Recycling, Olin, pilotanläggning planeras (Start i CETEC-projektet).
- **Polen**
  - Anmet (Wroclaw) – nedtagningar för återanvändning som byggnadsmaterial startade 2019.
- **Tyskland**
  - Geocycle: total kapacitet 30 000 ton/år glasfiberkomposit (GFRP), varav det fram till 2022 ingick 10 000 ton/år bladavfall (tillfälligt stängd för vindturbinblad 2022)
  - Neocomp: förbehandling av vindturbinblad till cementindustrin, konkurs 2022 p.g.a. låga volymer av vindturbinblad.
  - Mekanisk återvinning: flertal mindre aktörer, bl. a.Roth international https://www.roth-international.de/en/

1.5 Sammanfattning av status på industriella tekniker med högst TRL-nivå av återvinning av vindturbinblad

1.5.1 Återanvändning

Tabell 10. Återanvändning

Process	Vindturbinblad sågas i delar av varierad storlek beroende på vilken slutprodukt som ska tillverkas med dessa delar. För att optimera återanvändning av vindturbinbladen krävs det att delningen planeras noggrant och med vetskap om vindturbinbladens struktur och dess materialinnehåll. Efter nedmontering av vindturbinbladen kan skärning ske på plats till längder som kan transporteras med vanligt transportmedel (längd kortare än 12 meter). För återanvändning av stora och långa bladsektioner (> 12 meter) kan specialtransport bli nödvändigt. När bladsektioner anländer till fabriken där den nya produkten ska tillverkas går de igenom olika processer beroende på slutprodukt.
Slutprodukt	Slutprodukt kan vara en bärande balk till en gång- och cykelbro, en lekpark, ett picknikbord, fasadelement för byggnader, klättervägg etc. Det finns inga specifika begränsningar för vilka slutprodukter som kan tillverkas med delar av uttjänta vindturbinblad. Beroende på tillämpningsområde måste tillverkare försäkra sig om att gällande standarder och konstruktionsregler uppfylls
Energiåtgång och kostnad	Energiåtgång och kostnader är beroende av storlek på delarna som sågas från vindturbinbladen. I fall där stora delar ska återanvändas (exempelvis bärande balk till brokonstruktion) kommer transportkostnaderna att öka om specialtransport krävs.
Volymer	I dagsläget är det enbart få verksamheter som har återanvändning av uttjänta vindturbinblad i nya produkter som kärnaktivitet. Det finns bland andra Blade Made i Nederländerna och i USA (https://blade-made.com/), Wings for living i Polen (https://wings-for-living.com/pages/herstellung), ReBlade i Storbritannien (https://reblade.com/) och Blade Bridge i Irland (https://bladebridge.ie/). Den sistnämnda verksamheten bildades utifrån det stora projektet ”Re-Wind Network” mellan USA och Irland (https://www.re-wind.info/) Det finns också andra verksamheter som har jobbat med återanvändning av uttjänta vindturbinblad, t.ex. i samband med olika forskningsprojekt. I svenska VINNOVA-projektet Circublade, som fokuserar på återanvändningsprocessen, finns det flera industrier med i konsortiet från hela värdekedjan t.ex. byggföretag, komposittillverkare och arkitektbyrå. Även om återanvändning visar en stor potential går denna process idag på ”låg varv”, delvis på grund av att ingen värdekedja finns etablerad idag och att bladmaterialdata inte är tillgänglig för att möjliggöra en bred återanvändning av vindturbinbladen. Därför är det fortfarande mindre volymer av nedmonterade vindturbinblad som återanvänds i nya produkter. Däremot, med en god planering (vetskap om var och när vindturbiner ska monteras ner), tillgång till bladmaterial-data och en etablerad värdekedja kan återanvändning ha potential att absorbera ett stort antal uttjänta vindturbinblad i nya produkter; ett bullerplank gjord med uttjänta vindturbinblad behöver till exempel flera hundra vindturbinblad per kilometer! Från Blade Made’s hemsida (https://re-use.eu/blade-made/) rapporteras 2019 en uppskattning av hur många blad som skulle kunna återanvändas: ”Om endast 5 procent av Nederländernas årliga produktion av ’stadsmöbler’ såsom lekplatser, offentliga sittplatser och busshållplatser tillverkades med delar av uttjänta vindturbin-blad, skulle alla Nederländernas uppskattade 400 årligen uttjänta vindturbinblad tas bort från avfallsströmmen.”

Vilka länder och aktör	Som nämnts ovan har ett fåtal länder och näringslivet där visat intresse via etablering av verksamhet eller i forskningsprojekt för utvecklandet av återanvändningsprocesser av vindturbinblad till nya produkter trots att värdebevarande enligt avfallshierarki är bättre jämfört med alla andra processer. De främsta länderna är Nederländerna, Polen, Irland, Sverige, USA, Storbritannien och Danmark. I projektet Rekovind 2 (Rekovind 2, 2022) rapporterades de mest betydande produkterna som hittills har tillverkats eller designats med delar av uttjänta vindturbinblad (André et al., 2023).
Miljö och klimatpåverkan	Då vindturbinbladen bevaras i relativt stora delar och används för att ersätta traditionella material blir miljö- och klimatpåverkan låg jämfört med de jungfruliga materialen som annars används t.ex. cement och stål. En livscykelanalys har gjorts för det äldsta konceptet, nämligen lekplatsen Wikado som byggdes 2008 av Superuse Studio i Rotterdam i Nederländerna (Superuse Studio u.å.). Det rapporteras en minskning av klimatpåverkan med ca 90 procent jämfört med en konstruktion med traditionella material (Medici, 2011).
Fördel	Återanvändning av vindturbinblad innebär att man tar vara på det inneboende värdet i vindturbinbladen. Denna process är högt upp i avfallshierarkin. Återanvändning är en process som ger vindturbinbladen ett nytt liv efter en skärning i mindre delar. Den nya produktens livslängd (t.ex. 60–70 år för en bärande balk till en ny gång- och cykelbro) ger tid till forskningen för vidare utveckling av mer hållbara och effektiva lösningar för separation av vindturbinbladens olika material.
Nackdel	En detaljerad kunskap gällande vindturbinbladens struktur och dess materialinnehåll behövs för att kunna designa den nya produkten med hög kvalitet och säkerhet, samt för att kunna försäkra sig om att man uppfyller alla nödvändiga krav från gällande konstruktionsregler och standarder. Detta är svårt att åstadkomma idag (men inte omöjligt) då vindturbinbladens struktur och materialinnehåll ofta är en tillverkningshemlighet. I en rapport angående säkerheten och hälsorisker med återanvändning av uttjänta vindturbinblad i konstruktionen av Wikado-lekplatsen (Medici, 2020) skriver författarna att materialkännedom är mycket viktigt för att kunna tillverka fler liknande strukturer. I detta specifika fall ommålades bladen med färg som var godkänd för lekplatser. De nya produktpassen för vindturbinblad som håller på att tas fram kan vara en lösning. Men det är fortfarande svårt idag att få tillgång till nödvändiga bladdata för design av nya produkter. Detta är en stor utmaning för återanvändningsprocessen.

1.5.2 Mekanisk återvinning

Tabell 11. Mekanisk återvinning

Process	Mekanisk återvinnig är en mekanisk sönderdelning av vindturbinbladen med kvarn till olika storleksfraktioner av 'återvunnen kompositfiber'. Dessa storleks-sorteras via siktning. Andra oönskade material som trä och plaster kan separeras genom processer som bygger på densitetsseparation.
Slutprodukt	Korta kompositfibrer och fyllningsmaterial (blandning av härdplast och andra material som finns i vindturbinbladet).
Energiåtgång och kostnad	Energiåtgång: 0.1–4.8 MJ per kg har rapporterats (Krauklis et al, 2021). Kostnad: En mottagningsavgift mellan 400 och 1 200 € / ton har rapporterats (personlig kommunikation, Business in Wind, Nederländerna, oktober 2023).
Volymer	Mekanisk återvinning är en process på TRL 9 som har utvecklats i flera länder. Continuum (Danmark, https://www.continuum.earth/) rapporterar att deras anläggning kommer att kunna processa 36 000 ton avfall per år. I denna rapport har vi för Sverige prognostiserat en genomsnittlig bladavfallsvolym på 8 000 ton per år fram till 2042, och en ökning till 20 000–30 000 ton/år från 2050 och framåt (se Figur 6). Detta innebär att en anläggning för mekanisk återvinning av vindturbinblad till byggpaneler har kapacitet att hantera alla uttjänta vindturbin-blad från Sverige årligen från 2050 och framåt.
Vilka länder och aktör	Ett flertal länder har utvecklat anläggningar för mekanisk återvinning av glasfiber-kompositmaterial. Ovan nämndes Continuum i Danmark, men det finns andra aktörer i Tyskland, Frankrike, Storbritannien, Italien, Polen, Nederländerna osv. En lista med olika aktörer finns publicerad på EuCIA:s hemsida (EuCIA. 2023). I Sverige har vi bland andra Librixer (https://www.librixer.com/) som utvecklar mekanisk separation av glasfiberkompositer från vindturbinblad och båtar.
Miljö och klimatpåverkan	Påverkan på miljön varierar beroende på hur processen tillämpas. Malning på plats kan exempelvis resultera i att närliggande ekosystem förorenas med flis, damm eller andra mindre rester om inte speciella metoder och utrustning används. Energiåtgången för mekanisk återvinning är låg jämfört med andra återvinningsprocesser (pyrolys, solvolys och samförbränning i cementindustrin).
Fördel	Processen är kostnadseffektiv och har en lägre miljöpåverkan jämfört med andra återvinningsprocesser som pyrolys, solvolys och samförbränning i cement-industrin. En annan fördel är att mekanisk återvinning är en process som inte är beroende av för- och efterbehandling i samma utsträckning som de andra processer som nämnts ovan. Det finns möjlighet att processa materialet 'on-site' med specialtillverkade maskiner som placeras på lastbilar. Vindturbinbladen kan också sågas i delar mindre än 12 m och transporteras med vanliga lastbilar till en anläggning med större maskiner.
Nackdel	Processens slutprodukt har oftast ett lågt marknadsvärde då det är svårt att fullständigt separera fibrerna från härdplasten, trä och andra förekommande material som finns i vindturbinbladen. Detta resulterar i att fibrernas yta inte är ren, vilket kan påverka vidhäftningen vid tillverkning av nytt kompositmaterial. Detta i sin tur bidrar till sämre mekaniska egenskaper. Fibrerna kan också skadas under den mekaniska processen, vilket ytterligare påverkar de mekaniska egenskaperna negativt. Denna process transformerar vindturbinblad till korta kompositfibrer och fyllningsmaterial. Det finns ingen möjlighet att få tillbaka långa glasfibrer som används vid produktion av vindturbinblad.

1.5.3 Termokemisk återvinning – pyrolys

Tabell 12. Pyrolys

Process	Glasfiberkompositer bryts ned termiskt (ca 400–800 °C) i en syrefri atmosfär och en ren glasfiber samt oljeprodukt erhålls från plasten i vindturbinbladet.
Slutprodukt	Både återvunnen glasfiber och oljeprodukten/'kemiska byggstenar' från vindturbinbladen (härdplast av epoxi och polyester) kan återanvändas till nya produkter. Men energikrävande och kostsam efterbehandling av båda produkterna krävs innan de kan användas. Återvunnen glasfiber är i form av korta fibrer med varierande längd och en ca 20 procent lägre styrka än ny glasfiber. Dessa kan ej ersätta de långa kontinuerliga[3] glasfibrerna som används i vindturbinblad (Paulsen & Enevoldsen, 2021). Pyrolyserad glasfiber behöver hitta tillämpningar i andra plastprodukter som förstärkning eller fyllnadsmedel. Återvunnen glasfiber kan användas som: • förstärkning av vissa termoplaster och härdplaster • komposit/plastprodukter t.ex. i fordonsindustrin som SMC (Sheet Moulding Compound) etc • ersättningsmaterial för sand i glasfiberindustrin för produktion av kontinuerlig glasfiber via omsmältning vid hög temperatur. Oljeprodukten/'kemiska byggstenar' kan processas vidare till kemikalier som kan användas till produktion av återvunnen plast med olika efterbehandlingsprocesser. Under 2023 har möjligheten att utvinna fenoler från epoxibaserade vindturbinblad lyfts för produktion av återvunnen epoxihärdplast. Detta medför att denna oljeprodukt har fått ett högre värde och kan bidra till uppbyggnaden av en pyrolysprocess för återvinning av vindturbinblad. För att optimera pyrolysprocessen krävs val av ingående vindturbinblad typ (epoxi, polyester eller en blandning av båda typer), pyrolysprocess och efterbehandling av oljan mot specifik slutprodukt. Detta kommer kräva mer information om vilken härdplast vindturbinbladen innehåller (via materialspecifikationer eller utvecklandet av analysteknik för bestämning av material i vindturbinbladen) och sortering av vindturbinblad innan pyrolys.
Energiåtgång och kostnad	Energiåtgång: Detta är kostnads- och energikrävande processer uppskattat till 30 MJ/ton glasfiberkomposit. Denna energiåtgång är bara beräknad på det primära pyrolyssteget. Efterbehandling för att erhålla slutprodukter från glasfiber och oljeprodukt krävs. Dessa är också energi- och kostandskrävande (Krauklis, 2021).
Volymer	För att driva dessa processer krävs att stora volymer av kompositavfall t.ex. vindturbinblad, båtar och byggnadsavfall säkras för att kunna investera i industriell skala.
Vilka länder och aktör	Idag finns det kommersiella mindre aktörer, och pilotanläggningar är under konstruktion i olika projekt. • Gjenkraft – Norge (https://www.gjenkraft.com/). Använder återvunna glasfiber till sportutrustning t.ex. skidor. Samarbetar med Vattenfall. Nytt EU projekt startat: REFRESH (u.å.) • Reciclalia Composite – Spanien. Hanterade Frankrikes första nedtagna park Port la Nouvelle (Engie Green) (Reciclalia Composite, 2019). Idag är denna anläggning permanent stängd enligt hemsidan. • MAKEEN – Danmark – DecomBlades projektet. MAKEEN Energy bygger en industriell pyrolysanläggning för kontinuerlig drift. (MAKEEN Energy, u.å. a) • TNO och Brightlands Materials Center i Nederländerna har en pyrolysprocess i pilotskala (500 °C) där återvunnen glasfiber ska användas som förstärkning i termoplast (polypropen, polyamid). Möjlig marknad är till bilkomponenter. (TNO, 2022; EoLo Hubs, u.å.). • RISE – Sverige. I Piteå pågår det uppskalning av en pyrolysreaktor (100 liter) där kompositer kan återvinnas (ca 10 kg). (Resurseffektiv återvinning av kompositer via pyrolys i industriellt relevant skala, 2020; Relys 2024)

[3] Långa fibrer som används för produktion av kompositer.

Miljö och klimatpåverkan	Pyrolys är kemisk återvinning, och miljö och klimatpåverkan kommer variera beroende på vilken typ av process som byggs upp. Det saknas LCA-studier på pyrolys uppbyggd för kompositavfall. Det finns LCA-studier där olika kemiska återvinningstekniker jämförs på specifika anläggningar baserat på annat plastavfall (Bergsma, 2021; BASF, u.å.). Generellt visar resultaten: • Lägre miljöpåverkan än förbränning med energiåtervinning; • Lägre miljöpåverkan än att tillverka plast eller kemiska produkter från fossila källor; • Högre miljöpåverkan än mekanisk återvinning (här finns en variation mellan teknologier och plastströmmar som behandlas). • Energimixen har stor påverkan på resultaten.
Fördel	Ökat intresse för slutprodukter från pyrolys (dvs kemiska byggstenar från epoxi) under 2023 från kemisk processindustri. Ren återvunnen glasfiber från pyrolys glasfiber kan användas för produktion av återvunnen kontinuerlig glasfiber via omsmältning vid 1 500–1 700 °C. Denna processväg kan ta stora volymer av bladavfall. Detta är också det enda sättet att sluta loopen, dvs 'closed loop recycling' av glasfiber från vindturbinblad till produktion av kontinuerlig glasfiber till vindturbinblad igen. Owens Corning, är en av de stora glasfibertillverkarna. De har utvecklat en "re-melt process" för återvunnen glasfiber från pyrolys. Processen kräver att glasfibern är fri från kontaminationer av plast och metaller. Därför kan pyrolyserad glasfiber vara en framtida råvara för glasfiberproduktion. På detta sätt kan klimatavtrycket för produktion av glasfiber minskas (Owens Corning, 2022), DecomBlades-projektet utvecklar också denna processväg (MAKEEN Energy, 3B-Fiberglass, DTU). Denna process har precis skalats upp av MAKEEN Energy i DecomBlades-projektet och testats i stor industriellskala med ett 37 meter långt vindturbinblad. Nästa steg är att beräkna klimatavtryck och teknoekonomi för denna processväg. (MAKEEN Energy, u.å. b)
Nackdel	Stora volymer av avfall krävs för uppbyggnad av ny återvinningsindustri för glasfiberkompositer via pyrolys. Pyrolys kräver flera processer nedströms och uppströms för förbehandling av vindturbinblad samt efterbehandling av producerad oljeprodukt och återvunnen glasfiber. Processen har hög energiförbrukning och utgör en stor ekonomisk investering för industriaktörer. För produktion av återvunnen glasfiber krävs minst två högtemperatur-steg vid 500 °C (pyrolys) samt omsmältning till glasfiber 1 500–1 700 °C.

1.5.4 Kemisk återvinning – solvolys

Tabell 13. Solvolys (Chemcycling)

Process	**Generell process:** Kemisk återvinning med solvolys har lägre TRL[2] än pyrolys för glasfiberkompositer. Solvolys är ett övergripande namn för processer som använder olika lösningsmedel (alkoholer, syra etc.) med och utan tryck. Med tryck bildas sub- eller superkritiska vätskor, och här används ofta vatten s.k. HTL (hydrotermisk förvätskning). I solvolys separeras plast (dvs epoxi- och polyesterhärdplast) och glasfiber i vindturbinblad via upplösning och nedbrytning av härdplast med olika lösningsmedel (vatten, alkohol, syra etc), katalytiska system och vid olika temperatur (100–400 °C) och tryck (upp till 250 bar). I denna sektion redovisas endast ett projekt som klassats under denna övergripande solvolys teknik. Under våren 2023 annonserades en ny återvinningsprocess av CETEC-projektet i Danmark dvs ”Chemcycling” (CETEC, u.å.). Vestas annonserade i februari 2023 att nytt industriellt fortsättningsprojekt med fokus på industrialisering och uppbyggande av piloter av ”Chemcycling”-processen (Vestas, 8 februari 2023).) tillsammans med Stena Recycling och OLIN. **”Chemcycling” processen** Informationen om denna process är hämtad från seminarium och konferenspresentationer från Vestas (personligt deltagande Vestas webinar 2 mars 2023, ’Vestas Innovations in Emissions-reduced Steel and Circular Blade Recycling samt Lisa Malmquist Ekstrand, Vestas, presentation 17 oktober 2023 VIND2023 https://vindkonferensen.se/). Konventionell epoxihärdplast från existerande gamla vindturbinblad bryts ned och olika delar i vindturbinbladet separeras i en lågtempererad process med lösningsmedel. Alla vindturbinblad komponenter kan separeras i ”Chemcycling” och de separerade delkomponenter i vindturbinbladet har potential att återvinnas eller återbrukas dvs trä, polyesterplast och glasfibermattor. Det tvåårigа projektet (2023–2025) har kommunicerat att målet är att utveckla en affärsmodell och bygga en pilotanläggning för att kunna sälja en framtida tjänst.
Slutprodukt	Epoxihärdplast byggstenar (fenoler), glasfiber och andra separerade materialfraktioner från vindturbinbladet.
Energiåtgång och kostnad	Solvolys processens energiåtgång beror på utvecklad process och varierar. Kostnad beror på hur många delprocesser och reningssteg som krävs. Energiåtgång: 61–93 MJ per kg har rapporterats för ett generell solvolys process (Krauklis, 2021).
Volymer	Ingen relevant information kunde identifieras.
Vilka länder och aktör	”Chemcycling” utvecklad av CETEC projekt i Danmark med partners Aarhus University, Olin, Stena Recycling och Vestas. CETEC projektet är partiellt finansierat av Innovationsfonden i Danmark. Fortsättningsprojektet pågår i Danmark och Sverige och Stena Recycling, OLIN är partners med Vestas (Vestas, 8 februari 2023).
Miljö och klimatpåverkan	Beror på specifika process betingelser och får utredas för respektive solvolys process. Ingen relevant information kunde identifieras.
Fördel	”Chemcycling” processen kan hantera befintlig pool av existerande epoxiblad. Med denna typ av process kan medföra att nya härdplaster ej behöver utvecklas för att öka cirkularitet för bladåtervinning.
Nackdel	”Chemcycling” processen är under utveckling och väldigt lite har kommunicerats. Mer detaljer behövs för bedömning av processens ekonomiska och miljömässig potential.

1.5.5 Samförbränning i cementindustrin

Tabell 14. Samförbränning i cementindustrin

Process	För att processa vindturbinblad i cementindustrin måste dessa blandas med plast eller pappersavfall till pellets. Därefter används pellets som bränsle och råmaterial till cementindustrin. Förbränning till klinker i cementanläggning sker vid en temperatur på 1 400 °C eller högre (Geocycle, 2022). Vindturbinbladens glasfiber blir till aska som kan ersätta naturliga råmaterial dvs sand i cementklinker Plasten omvandlas till energi som delvis ersätter fossil energi (kol) som behövs till cementprocessen. Inga andra restprodukter bildas. Samförbränning av vindturbinblad i cementindustrin räknas idag ej som materialåtervinning.
Slutprodukt	Denna teknik ger möjligheten till återanvändning av glasfiber i form av aska (SiO_2, Al_2O_3) som kan användas till ny cement samt att plasten blir till energi som kan användas till tex cementomvandlingen processen.
Energiåtgång och kostnad	I Tyskland har det rapporterats en grundavgift på 150 €/ton. Energiåtgång för omvandling av vindturbinblad till cementråvara har estimerats till 12 MJ/kg (Krauklis, 2021; Wind Turbine BoP 2019).
Volymer	Denna process kan hantera stora volymer av glasfiberkompositer av olika ursprung. Den kan vara en temporär lösning tills andra materialåtervinnings processer är industrialiserade. I Tyskland på Geocycle hanterades tom 2022 10 000 ton/år (IEA Wind TCP Task 45, 2023).
Vilka länder och aktör	Tyskland – värdekedja uppbyggd. NeoComp förbehandlar vindturbinblad till pellets med plast eller pappersavfall (IEA nätverk). Konkurs på grund av låga volymer av vindturbinblad 2022 (IEA Wind TCP Task 45, 2023). Geocycle del av Holcim koncernen har utvecklat denna process (Geocycle, 2022). Finland – värdekedja finns i drift sedan 2023 samt uppbyggnad i större volymer pågår. I södra Finland sker en etablering och utveckling av industriprocessen för hantering av bladavfall och andra strömmar av avfall av glasfiberkomposit. Kuusakoski Recycling (Hyvinkää) investerar i en inomhusanläggning som kommer hantera kompositmaterial (10 000 ton/år) för samförbränning i cementindustrin. Komposit-avfallet distribueras som råmaterial till cementindustrin. Färdig Q3 2024 (Kuusakoski, 2023; personlig kommunikation, Johan Holmgren, Kuusakoski, RISE hearing om vindturbinblad 10 januari 2024), Finnsement (Lappeenranta): Samförbränning av kompositavfall från alla industri-sektorer av produktionsavfall, båtar och vindturbinblad (Sjödahl, 2023). Sverige/Finland – värdekedja finns. Kuusakoski (Lycksele): I Sverige finns möjlighet för förbehandling av vind-turbinblad i Lycksele (5 000 ton/år) som sedan transporteras till Finland för 'samförbränning i cementindustrin (personlig kommunikation, Johan Holmgren, Kuusakoski, RISE hearing om vindturbinblad 10 januari 2024).

Miljö och klimatpåverkan	Miljöpåverkan från samförbränning av bladavfall i cementindustrin har jämförts med deponi och för olika scenarier med hjälp av livscykelanalys (LCA) (Nagle, 2020). Sambearbetning ses som fördelaktigt jämfört med deponi eller förbränning, men jämförelser med andra materialåtervinningstekniker som återvinning eller återanvändning har inte publicerats än. Re-Wind-konsortiet (Irland, USA) har publicerat en artikel där en LCA har gjorts där samförbränning i cementindustrin jämförs med deponi av uttjänta vindturbinblad i Irland (Nagle, 2020). Dessa alternativa omhändertaganden är realistiska i närtid för uttjänta vindturbinblad i Irland. Klimatpåverkan från materialsubstitution med 10 procent råmaterial i cementindustrin i Tyskland var sex gånger bättre än att deponera uttjänta vindturbinblad i Irland. Utfallet som visats tidigare i andra studier var att materialsubstitution har störst betydelse för den lägre klimatpåverkan från samförbränning och att transporten av vindturbinblad från Irland till Tyskland utgör det största enskilda bidraget till klimatpåverkan från samförbränning i cementindustrin. I december 2021 kommunicerade GE Renewable Energy att 81 vindturbinblad från fyra vindparker i Finland behandlades med denna process i Tyskland. Det rapporterades att varje ton bladavfall bidrog till en minskning av 110 kg CO_2 utsläpp och ersatte 461 kg av råmaterial i cementprocessen (Siemens Gamesa u.å. a).
Fördel	Snabbare marknadsintroduktion för de stora volymer av vindturbinblad som väntas. Kan ses som en brygglösning tills andra mer resurseffektiva lösningar är ekonomiskt och tekniskt möjliga att ta i drift. Sju branchorganisationener i Europa (WindEurope, EuCIA, CEMBUREAU, EBI, Cefic UP/VE, Cefic Epoxy Europe och Glass Fibre Europe) samverkar i ett gemensamt uttalande och ’position paper’ att industrialisering och erkännande av denna process som återvinning av material kan bidra till ökad cirkularitet och mindre avfall för uttjänta kompositstruktur (EuCIA, 2023b). De uppmanar EU att inkludera samförbränning i cementindustrin som återvinning i EU:s avfallsdirektiv (2008/98/EC) tack vare bidraget till möjlig återvinning av råmaterial.
Nackdel	Cementanläggningar behöver anpassas innan detta avfall kan tas emot. Härdplastkompositer som innehåller kolfiber som förstärkning är ej lämpliga dessa kan bidra till problem i processen och hälsorisker. De vindturbinblad som har ’spar cap’ i kolfiber måste separeras samt andra delar i vindturbinbladen som har kolfiberförstärkning. Bladavfall med höga halter av metaller i kompositen är mindre lämpliga. PVC i vindturbinbladen genererar klorutsläpp vid förbränning. Men halter i vindturbinblad kan tolereras i denna process (IEA Wind TCP Task 45, 2023)

I Tabell 15 sammanfattas energiförbrukning och samt kostnader för dessa olika processvägar för hantering av uttjänta vindturbinblad.

Tabell 15. Estimerad energi och kostnad för primär återvinningsprocess av vindturbinblad

	Kostnad (mottagningsavgift) (€/ton)	**Energiåtgång (MJ/kg)**	**Kommentar**
Mekanisk återvinning	400–1 200 *	0.17–4.8 [a)]	
Återanvändning	400–1 200 *		
Samförbränning i cementindustrin	150 (Tyskland) [#]	12 [(c)]	
Kemisk Återvinning – Pyrolys		24–30 [a)]	Energiåtgång beror på utvecklad process och varierar. Kostnad beror på hur många processer och reningssteg som krävs.
Kemisk Återvinning – Solvolys		61–93 [a)]	Energiåtgång beror på utvecklad process och varierar. Kostnad beror på hur många processer och reningssteg som krävs.
Deponi	130–140 (Sverige, Nederländerna) [b)] * 150–160 (inkl. transport, Storbritannien) [#]	-	
Energiåtervinning Sverige	ca 400	12 (antagande: samma som för samförbränning)	Beror bla på mängd PVC plast, diskussion med aktör på konferens 2022, Cecilia Mattsson.

* Intervju med Business in Wind, Wim Robbertsen, oktober 2023
[#] IEA Wind TCP Task 45 (2023)
[a)] Krauklis, 2021
[b)] Deponitaxa – Skellefteå kommun (skelleftea.se)
[c)] Circular economy: use of wind turbines blades as combustible and mix material for cement production (Wind Farm BoP 2019)

1.6 Tillstånd och lagar relaterade till hantering av avfall från vindturbinblad och dess olika processvägar

I detta avsnitt ställer vi samman några frågeställningar som framkommit under utrednings-arbetet relaterat till existerande lagstiftning och lagstiftning under utveckling för kemisk återvinning av plast som pågår i EU. Denna sammanställning är ej avsedd att vara fullständig utan infogas för att visa på områdets komplexitet och vad som kan vara problematiskt för utvecklandet av nya återvinningsprocesser för vindturbinblad och kompositprodukter.

Samtliga tekniker kräver:

- Uppbyggnad av avfallsvärdekedja.
  - Vägledning för nedtagning, standarder, miljötillstånd.
  - I Frankrike finns det tydliga lagar och i Tyskland framtagen standard.
- Nedtagning och förbehandling på plats.
  - Miljötillstånd.
  - Arbetsmiljö.
- Miljöbalken (1998:808) – återanvändning.
  - Återanvändning till samma funktion behöver ej klassas som avfall dvs renovering och återanvändning av vindturbinblad (andrahandsmarknad).
  - Återanvändning av vindturbinblad till annan produkt tex parkbänk eller bullerplank måste klassas först som avfall och sen certifieras som produkt via REACH. Detta kan medföra problem vid återbruk av inerta kompositstrukturer som t.ex. vindturbinblad med okänd materialsammansättning.
- End of waste – problematik.
  - Avfall behöver gå till produktlagstiftning (REACH).
  - Hur certifieras nya produkter inom REACH när vindturbinbladen från början inte har känd materialspecifikation?
  - Problematik relaterat till återvinningsteknik.
- Mekanisk återvinning.
  - ’kompositfiber’ med varierat innehåll härdplast/glas. Idag svårt att analysera och detektera nivåer av olika materialsammansättning när glasfiber finns i materialet.
  - Finns inga tillgängliga materialspecifikationer för vindturbinblad.
- Återanvändning av bladdelar.
  - Okänd sammansättning.
  - Generell samansättning på vindturbinblad finns.
  - Vindturbinblad klassas som ”icke farligt avfall”. Kan detta fortsätta att gälla i nästa fas dvs efter återanvändning?
- Kemisk återvinning – pyrolys.
  - Ren återvunnen glasfiber medför inga problem.
  - Oljeprodukt.
    - Generell samansättning av produkt/intermediär kan bestämmas för ansökan till REACH.

- För att underlätta industrialiseringen av dessa kemiska återvinningsprocesser krävs att det är tydligt när oljeprodukten från pyrolys räknas som återvunnen råvara och hur denna kan processas vidare med fossil råvara i befintlig kemisk industri. Här pågår styrmedel och standardutveckling på EU nivå.
  * 'End-of Waste': När oljeprodukt efter kemisk återvinning klassas som återvunnen är ej klargjort. – direkt efter kemisk återvinningsprocess eller efter polymerisering till plastråvara? Här pågår styrmedel utveckling av existerande lagstiftning på EU-nivå (Villanueva Krzyzaniak & Eder, 2014; European Commission, 2022).
  * Massbalansregelverk: Massbalansmetoden behövs för att möjliggöra användning av kemiskt återvunna råvaror i befintlig stor skala i industriella anläggningar för produktion av plast och kemikalier där även fossilbaserad råvara används (återvunnen oljeprodukt blandas med fossil olja). Här pågår styrmedel och standardutveckling på EU nivå (Caro, 2023).

1.7 Vindturbinbladens materialdesign: cirkulär utveckling och problematik

1.7.1 Produktion av vindturbinblad

Sverige har idag ingen produktion av vindturbinblad. Det finns endast produktion av trätorn (Modvion) och Sverige saknar därför en essentiell aktör i värdekedjan för hantering av vindturbinblad. Produktionen av vindturbinblad sker huvudsakligen i Danmark (Vestas Wind Systems A/S, Siemens Gamesa Renewable Energy A/S LM Wind Power[4]) och Tyskland (Enercon GmbH, Nordex SE och TPI Composites SA[5]). Det finns också produktion av vindturbinblad i Kina (Goldwind, LZ Blades och Ming Yang (King, 2023)).

1.7.2 Materialinformation om vindturbinblad

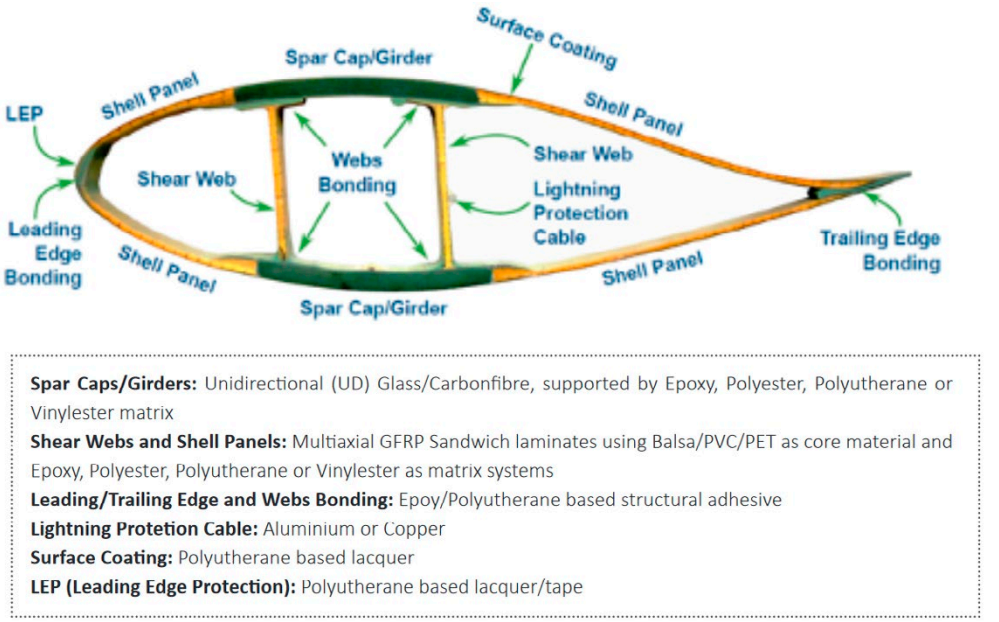
Vindturbinblad är en sammansatt multimaterialstruktur. Alla multimaterial är mer komplext att återvinna i en cirkulär återvinningsprocess än strukturer med enbart en typ av material. När härdplastkompositer används ökar komplexiteten för återvinning ytterligare då irreversibla kemiska bindningar bildas mellan förstärkningsmaterial och härdplast s.k. komposit.

Vindturbinbladet är uppbyggt av olika strukturella delar som tillverkas separat och sammanfogas med limfogar. Vindturbinbladets sammansättning har optimerats över tid för specifika egenskaper som livslängd, vikt, resistens mot väderlek och kostnad. Den specifika sammansättningen för enskilda vindturbinblad är inte känd. En approximativ sammansättning för ett vindturbinblad som i Figur 11 är rapporterat i WindEurope (2020). Kompositmaterial representerar den största andelen av ett vindturbinblad, med 60–70 procent fiber förstärkning (glasfiber och kolfiber i visa fall) och 30–40 procent härdplast. Andra material förekommer också som metaller, kärnmaterial, lim, färg och ytbehandling. Se avsnitt 1.1.1 för beräknade procentsatser för Sveriges installerade vindturbinblad.

Initialt användes glasfiber och polyesterhärdplast för bladproduktion, men utvecklingen av mekaniskt starka vindturbinblad över 50 meter har medfört en övergång till epoxibaserade härdplaster med en blandning av glas- och kolfiber. De delar som kan innehålla kolfiber i vindturbinbladet är de bärande och longitudinella kompositstrukturerna ('spar cap' på engelska, se Figur 11) och i form av hybridstrukturer med glasfiber i ytterpanelerna på vindturbinbladet ('shell panel' på engelska, se Figur 11). Detta skiljer sig åt mellan producenter.

[4] Ingår i GE Renewable Energy koncernen

[5] Huvudkontor i USA



Figur 11. Generell materialsammansättning i ett vindturbinblads konstruktion.
Källa: (WindEurope, 2020).

1.7.3 Cirkulär design av vindturbinblad

Alla de stora tillverkarna av vindturbinblad i Danmark har stora pågående program för att förbättra framtida design för återvinning och för att minska klimatavtrycket från produktion av vindturbinblad. Olika koncept för design för cirkularitet och återvinning är under utveckling och några är kommunicerade. Genom att byta ut härdplasten mot en termoplast eller modifierad, mer återvinningsbar härdplast (s.k. 'återvinningsbart härdplastsystem') kan fiber och plast lättare separeras vid återvinning. Andra koncept är att minimera blandning av olika förstärkningsfibrer, substituera PVC-plast och balsaträ i kärnmaterialet mot PET-baserad plast.

Design för ökad cirkularitet och återvinning är en komplex fråga för vindturbinblad och såvitt vi känner till finns inga planer på ny ekodesignlagstiftning specifikt för vindturbinblad. Vad som är cirkulär design inom tillverkning av vindturbinblad är idag heller inte definierat. Cirkulär design av vindturbinblad kommer att behöva baseras på många faktorer och måste anpassas till framtida återvinningsmetoder. Det behövs mer forskning och utveckling som tar hänsyn till hela livscykelperspektivet för produkter av härdplastkompositer i allmänhet och vindturbinblad i synnerhet. I dagsläget pågår framtagande av generella rekommendationer för cirkulär design av vindturbinblad i IEA Wind TCP Task 45 vilka kommer publiceras under våren 2024 (baserat på kunskapsläget idag).

Klimatavtryck

Det första steget för att minska dagens klimatavtryck är att optimera produktionsprocessen av vindturbinbladen. Vid produktion av kompositer är det vanligt med stort klippspill (25–30 procent). Minskning sker tex genom byte av material och ökad återvinning av produktionsavfall. Störst påverkan på klimatavtrycket har de ingående materialen i ett vindturbinblad. LM Wind Power och Siemens-Gamesa rapporterar att 71–76 procent av klimatpåverkan från vindturbinbladet kommer härifrån. (Vestas, u.å., LM Wind Power, u.å.; Siemens Gamesa, u.å b).

Substitution av material i vindturbinblad

Återvinningsbara härdplaster

Siemens Gamesa har utvecklat ett nytt vindturbinblad ’RecycableBlade’ baserat på s.k. ”återvinningsbara härdplaster” (Siemens Gamesa u.å c). Här används en modifierad epoxy utvecklad av Aditya Birla (Aditya Birla, u.å.). Denna epoxy (betecknas Recyclamine) har en reaktiv kemisk bindning som kan brytas ned med en lågtemperaturprocess under 100 °C med hjälp av sur katalys i vattenlösning. Båda två faktionerna (fiber och återvunnen termoplast) från återvinningen kan finna användning inom andra sektorer i framtiden.

Siemens-Gamesa har startat produktion av vindturbinblad för havsbaserad vindkraft. De första 81 meter långa ’RecyclableBlade’ från Siemens-Gamesa installerades i juli 2022 för RWE i Kaskasi havsbaserade vindkraftpark i Östersjön. (Siemens Gamesa, 2022; Siemens Gamesa, 2023).

Det utvecklas också andra varianter av ”återvinningsbara härdplaster” med kemiskt eller termiskt labila bindningar (s.k. ’Vitrimers’ och ’covalent adapted networks’ CANs) som gör det möjligt att omforma, laga eller bryta ned kompositen med selektiva metoder. Detta öppnar upp för ett nytt fält av cirkulär design av härdplastkompositer (Zhang et al, 2021).

Termoplastbaserade vindturbinblad

I termoplastbaserade vindturbinblad ersätts härdplasten med en termoplast. Denna måste ge likvärdig styrka som härdplasten. En termoplast har fördelen att kunna återvinnas via omsmältning eller med kemisk återvinning vid lägre temperatur, och de återvunna materialen (termoplast och fiber) kan återanvändas. Detta minskar klimatavtrycket och användningen av jungfruliga råvaror. En reduktion av klimatpåverkan på 28 procent har rapporterats vid utbyte till återvinningsbar termoplast jämfört med härdplast (Chiesura, 2020).

I Zebra-projektet används resiner (hartser) från Arkrema Elium® baserade på en reaktiv akryltermoplast. Här kan samma infusions- och produktionssystem som används för härdplaster nyttjas vilket är fördelaktigt för kostnadsoptimering av produktionsprocessen för vindturbinblad. I Zebra-projektet har ett 62 meter långt vindturbinblad producerats i mars 2022 som nu genomgår mekaniska tester. (LM Wind Power, 2022)

Covestro, Goldwind och LZ Blades har producerat ett vindturbinblad helt i polyuretan. Det 64,2 meter långa bladet har jämförbara mekaniska egenskaper som ett standardblad av epoxibaserad härdplast. Det rapporteras att kostnaden minskar för produktion då processen är mindre tidskrävande. (Covestro Global Corporate Website, 2020)

PET i skumkärnor

I vindturbinbladens kompositdesign finns kärnmaterial (’foam cores’) som kan bestå av PVC, PET och balsaträ. Här pågår nu en omdesign av vindturbinbladen för att minska klimatpåverkan. Dessutom byts PVC och balsaträ succesivt ut mot PET som har en bättre återvinningspotential. PET kan kemiskt återvinnas och användas för att producera återvunnen PET (LM Wind Power, 2023).

1.7.4 Toxiska ämnen och ämnen med annan typ av problematik

Yttersta lagret på ett vindturbinblad är baserat av ett ytskikt (’coating’) och färg som har till uppgift att skydda den underliggande strukturen (dvs glasfiberkompositen) från yttre påverkan av vatten, nötning och UV-ljus. Detta ytskikt är hydrofobt och väldigt resistent för yttre

påverkan. Trots optimerad design sker under vindturbinbladets livstid erosion (nötning, även kallad ’leading edge erosion’) då partiklar (hagel, havsvatten, damm och sand) träffar bladspetsen i hastigheter som kan överstiga 110 m/s (Katsaprakakis, 2021).

Skador på vindturbinbladet påverkar dess funktion och bladen underhålls kontinuerligt under sin livstid. Vid erosion frigörs partiklar från vindturbinbladets yttersta skikt och eventuellt även frånunderliggande glasfiberstrukturer. Partiklar som frigörs från bladet hamnar i vår natur, och här kan eventuellt miljöpåverkande ämnen lakas ut ur dessa partiklar. Frisättning av dessa partiklar och kunskap om mängd och vad de innehåller har inte studerats och vetenskapliga publikationer saknas.

Då materialen i vindturbinbladet och den specifika sammansättningen av ytskiktet (’coatingen’) inte är känd är det svårt att bedöma förekomsten av eventuellatoxiska ämnen. Några ämnen som nämns och som är problematiska är:

Bisfenol A (BPA): är en av de kemiska byggstenarna som polymeriseras till epoxihärdplast i vissa vindturbinblad. Då polymerisationen är fullständig finns inget monomert BPA i vindturbinbladen. BPA har begränsad användning och är idag med på ECHA:s kandidatlista klassat som s.k. Substance of very high concern (SVHC) (ECHA, 2023b). I en studie från Danmarks Miljöinstitut (2023) studerades urlakning av ämnen från olika fraktioner av kompositavfall och produktionsspill samt uttjänta vindturbinblad från deponi. Både hela bitar och krossade faktioner studerades och halten BPA mättes i lakvattnet. BPA uppmättes i låga nivåer och de krossade fraktionerna frigjorde mer BPA jämfört med intakta bladbitar (mindre frilagda ytor av komposit). Slutsatsen var att BPA troligtvis kan lakas ut från skadade, sågade eller krossade vindturbinblad men att fler studier behövs då detta var en första screeningstudie och inga ytterligare vetenskapliga studier har identifierats.

Per- och polyfluoralkylsubstanser (PFAS): Det har rapporterats att ytskiktet av vindturbinbladen kan innehåller PFAS-analoger. I Kemikalieinspektionen (2023) angavs att polymera PFAS-analoger såsom fluoretylenvinyleter (FEVE) och lågmolekylära etylentetrafluoretylen (ETFE) har använts för ytbehandling av vissa typer av vindturbinblad. PFAS är en syntetiskt utvecklad molekyl och innehåller en eller flera kol-fluorbindningar som är svåra att bryta ned i naturen och under kemisk återvinning. PFAS är därför klassad som långlivade organiska föroreningar och bidar till miljö- och hälsofara. PFAS-regleringen genomgår för närvarande en genomlysning och EU förväntas införa striktare reglering för lägsta nivåer av dessa ämnen (ECHA 2023a).

I ovan nämnda studie från Danmarks Miljöinstitut (2023) studerades urlakning även av PFAS från olika fraktioner av kompositavfall och produktionsspill samt uttjänta vindturbinblad från deponi. Som nämnts studerades både hela bitar och krossade fraktioner och halten av ett urval PFAS-analoger mättes i lakvattnet.

I likhet med BPA uppmättes låga nivåer av PFAS och de krossade fraktionerna frigjorde mer PFAS jämfört med intakta bladbitar (mindre frilagda ytor av komposit). Precis som för BPA drogs slutsatsen att PFAS kan lakas ut från skadade, sågade eller krossade vindturbinblad men att fler studier behövs då detta var en första screeningstudie och inga ytterligare vetenskapliga studier har identifierats. Slutsatserna från sådana studier kommer emellertid vara svåra att dra eftersom PFAS finns i miljön och kan ha spridits till proverna från annat avfall eller genom migration från andra miljökällor

Polyvinylklorid (PVC): PVC används i kärnmaterialet i vissa delar av vindturbinbladet. PVC innehåller klor och vid kemisk återvinning av blandade plaster är frånvaro av PVC att föredra. Under förbränning eller återvinning vid höga temperaturer av PVC bildas saltsyra vilket medför att utrustning korroderar. PVC ger också oönskade nedbrytningsprodukter

i kemisk återvinning och bidrar till högmolekylära biprodukter (s.k. koksbildning) vilket minskar utbytet av högvärdiga fraktioner av oljeprodukten. Vid mekanisk återvinning av vindturbinblad måste också PVC-material sorteras ut före eller i separationsprocessen för att få hög renhet på de återvunna kompositfibrerna. Vid förbränning bildas också andra skadliga ämnen som dioxiner och furaner som måste renas från rökgaserna.

Andra kemiska substansklasser: Vindturbinblad innehåller många olika material och är en multimaterialstruktur. Härdplaster som epoxi, polyester, vinylester och polyuretaner polymeriseras med olika kemiska byggstenar. Här finns möjlighet till läckage av andra substansklasser av molekyler under yttre miljöpåverkan. Detta är dock mindre studerat och eftersom exakta materialspecifikationer saknas behöver grundläggande lakningsstudier göras på de olika förkommande bladmaterialen.

Kemikalieinspektionen (2023) lyfter i sin rapport substansklasser som:

- Stabilisatorer såsom bensotriazoler
- Bisfenoler (andra klasser än A)

Däremot är dessa molekyler inbundna i större polymera nätverk av härdplaststruktur. Miljö- och hälsofaror kan uppkomma om dessa ämnen frisätts från vindturbinbladet.

1.7.5 Produktpass – utveckling i EU.

Konceptet med produktpass startades genom forskning inom ramen för projektet DecomBlades (2023). År 2023 presenterade bladtillverkarna Siemens Gamesa, LM Wind Power och Vestas sitt gemensamma åtagande att skapa produktpass för vindturbinbladen. Andra företag, inklusive Nordex Group, Enercon och GE Vernova, har aviserat att de planerar att ansluta sig till detta initiativ för att implementera standardiserade produktpass inom vindindustrin.

Produktpasset för vindturbinblad tillhandahåller information för att stödja hanteringen av uttjänta vindturbinblad. Det innehåller information om vindturbinbladens dimensioner, designkomponenter och material. Dess format är standardiserat så att varje tillverkare vet vad som ska tillhandahållas i varje avsnitt av dokumentet. Ett produktpass omfattar omkring tre sidor, vilket gör det relativt enkelt att hitta information i dokumentet. Den tillhandahållna informationen är generisk och hålls på en enkel nivå. Produktpasset är representativt för många bladmodeller som är byggt på samma sätt men tillverkas i olika storlekar.

Produktpassen för vindturbinblad är avsedda att användas av företagen som hanterar uttjänta vindturbinblad. Återvinningsföretagen efterfrågar kunskap om materialen som används i vindturbinbladen och var de är belägna. Detta gör det lättare att identifiera och separera de olika materialen inom bladstrukturen och återvinna delarna.

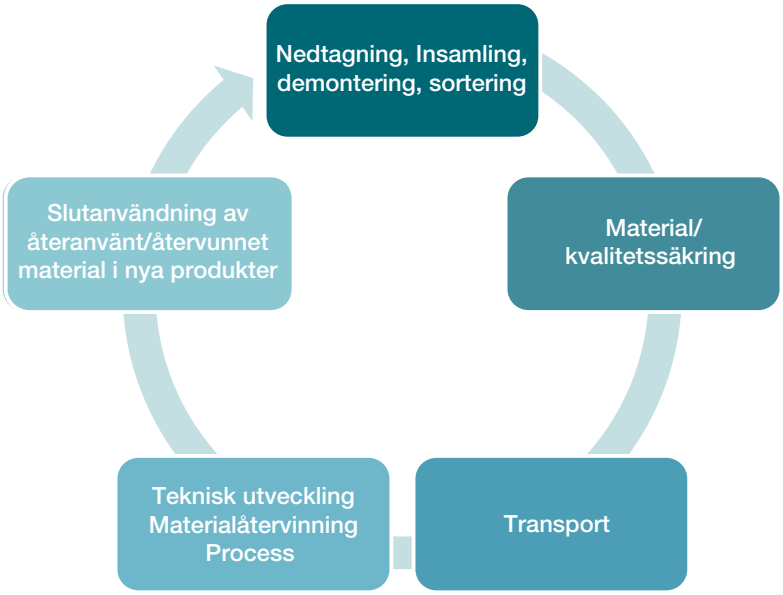
Stora bladtillverkare har frivilligt åtagit sig att tillhandahålla ett produktpass som en tjänst, inledningsvis för bladmodeller representativa för de vindturbinblad som kommer nedmonteras först. Vissa produktpass finns redan tillgängliga på bladtillverkarnas webbplatser.

Att utveckla ett pålitligt och standardiserat system för produktpass för vindturbinblad är fortfarande ett pågående arbete. Ansträngningar pågår för att skapa enhetliga standarder och metoder inom branschen för att säkerställa en effektiv återvinning och en ansvarsfull avfallshantering av dessa komponenter. Bladtillverkarna är öppna för förslag från återvinningsföretag om vilken information de skulle vilja se i produktpassen för vindturbinblad. Att publicera produktpass för vindturbinblad innebär att vissa tillverknings- och designfunktioner blir öppet tillgängliga. Detta kan orsaka problem med produkthemligheter, särskilt för nyare bladmodeller som fortfarande tillverkas och säljs idag.

Även om det inte, såvitt vi känner till, finns planer på ny ekodesignlagstiftning specifikt för vindturbinblad (som finns på förslag för solcellspaneler) kan frågorna komma att påverkas av var processen med att göra om nuvarande ekodesigndirektiv till en förordning landar (se avsnitt 2.9.2).

1.8 Vad behövs för att stimulera skapandet av värdekedjor

För att kunna säkra att vindturbinbladen följer en cirkulär hantering efter nedmonteringen krävs det att flera steg följs på rätt sätt och vid rätt tidpunkt. Flera kompetenser och aktörer behövs för att bygga upp nödvändiga värdekedjor. Idag finns det inga etablerade och fungerande värdekedjor. Ett cirkulärt värdeskapande avfallssystem behöver etableras för att åstadkomma lönsamma affärsmodeller. Figur 12 visar fem mycket viktiga grundstenar som behövs för detta.



Figur 12. Cirkulär värdekedja vindturbinblad.
Källa: RISE, producerad för denna rapport.

Riksrevisionen (2023) redovisade att det inte har genomförts några större industriella piloter eller demonstrationsanläggningar i Sverige för hantering av uttjänta vindturbinblad. Nationellt har fokus varit på utveckling av olika tekniska återvinningskoncept/processer i mindre skala. Inom **pyrolys**tekniken pågår en uppbyggnad av en mindre pilotanläggning (100 liter) på RISE i Piteå. Denna är i slutfasen och är nu inne på testförsök. Under december 2023 blev också ett nytt projekt beviljat av STEM där ett industrikonsortium tillsammans med RISE ska testa pyrolys av vindturbinblad och andra kompositer i denna pilotanläggning (Relys, 2024).

I Södra Sverige pågår det två olika satsningar en med användandet av vindturbinblad som konstruktionsmaterial till en fasad på ett parkeringshus i Lund. Detta initiativ har initierats av Vattenfall, och andra aktiva aktörer i detta industriprojekt är Composite Design och Lloyds arkitektbyrå. Stena Recycling har ingått samarbete med Vestas (bladtillverkare) och Olin (epoxiproducent) som utvecklar en '**Chemcycling**' process. Detta industrisamarbete fokuserar på att ta fram en cirkulär affärsmodell och industriella piloter.

I norra Sverige har återvinningsaktören Kuusakoski etablerat hantering och **förbehandling av kompositer för 'samförbränning i cementindustrin** i Finland. Här kan svenska uttjänta vindturbinblad omhändertas och förbehandlas och transporteras till Finland för 'samförbränning i cementindustrin' I dagsläget kan Kuusakoski hantera 5 000 ton av uttjänta vindturbinblad per år i Sverige (personlig kommunikation, Johan Holmgren, Kuusakoski, RISE hearing om vindturbinblad 10 januari 2024).

Det finns mindre aktörer i Sverige tex Librixer och andra entreprenörskluster som är i tidig etableringsfas i Sverige med olika koncept för återvinningstekniker

I ett framtida tidsperspektiv kan tekniker som har en mindre komplex teknisk lösning vara en första eller tillfällig lösning för hantering av uttjänta vindturbinblad. Nedan listas återvinningsteknikerna i ordning utifrån sin implementerbarheten i ett tids- och teknikmognadsperspektiv: Samförbränning i cementindustrin (avsnitt 1.8.1), mekanisk återvinning och återanvändning till konstruktionsmaterial (avsnitt 1.8.2), termisk och kemisk återvinning med pyrolys och solvolys (avsnitt 1.8.3).

1.8.1 Samförbränning i cementindustrin

Samförbränning i cementindustrin räknas inte som materialåtervinning men kan vara en tillfällig och snabbare lösning innan värdekedjorna för materialåtervinning är etablerade. Den europeiska branschorganisationen för komposittillverkare EuCIA har gått samman med andra branschorganisationer för att verka för att detta alternativ ska räknas som materialåtervinning (EuCIA, 2023). Det saknas idag materialåtervinning för alla komplexa glasfiberbaserade produkter av härdplastkomposit till exempel vindturbinblad, fritidsbåtar, bygg- och konstruktionsmaterial och produktionsspill från dessa produkter. Samförbränning i cementindustrin kan hantera alla kompositer baserade på glasfiber och olika härdplaster. Eftersom glasfiber dominerar som fiberförstärkning med 99 procent av världsmarknaden är det av yttersta vikt att en återvinningsprocess som kan hantera dessa komplexa produkter utvecklas.

Samförbränning i cementindustrin är etablerad i Tyskland men är dock tillfälligt stängd 2022 p.g.a. låga volymer bladavfall. I Finland finns en värdekedja i drift sedan 2023 för förbehandling av kompositavfall och samförbränning i cementindustrin. Kuusakoski Recycling (Hyvinkää) investerar i en inomhusanläggning som kommer hantera kompositmaterial för 'samförbränning' i cementindustrin och den beräknas vara färdig Q3 2024 (Kuusakoski, 14 februari 2023; Kuusakoski, 2023; personlig kommunikation, Johan Holmgren, Kuusakoski, RISE hearing om vindturbinblad 10 januari 2024).

Finland och Tyskland är två av fem länder som infört deponiförbud av kompositmaterial inklusive vindturbinblad. Detta har förmodligen påverkat utvecklingen av denna teknik för hantering av vindturbinblad.

Kolfiberkompositer kan inte hanteras genom samförbränning i cementindustrin och de delar i vindturbinbladen som innehåller kolfiber måste avskiljas innan (se vilka delar i Figur 11 och i avsnitt 1.7.2). Däremot har återvunnen kolfiber ett högre värde än återvunnen glasfiber och här finns pyrolys och solvolys processer som har utvecklats för kolfiber baserade kompositer (Zhang, 2023)

1.8.2 Mekanisk återvinning och återanvändning till konstruktionsmaterial

Mekanisk återvinning och återanvändning av vindturbinblad till konstruktionsmaterial är två processer som befinner sig på hög TRL[2]- nivå dvs TRL9 samt TRL8-9. Dessa båda tekniker har relativt låg energianvändning och uppbyggandet av dessa processer kan göras med befintliga utrustningar i återvinningsindustrin och kompositindustrin, men det det krävs att konsortier bildas över olika industrisektorer för samverkan för utvecklingen av dessa värdekedjor. Materialåtervinning med dessa två återvinningskoncept är under uppbyggnad av mindre aktörer. I juni 2023 gav European Composites Industry Association ut en sammanställning på 40 pågående industriinitiativ i €opa sorterade efter land (EuCIA, 2023c).

En av de större annonserade satsningarna för mekanisk återvinning av vindturbinblad är i närheten av Sverige. Continuum bygger upp en verksamhet i Esbjerg i Danmark för mekanisk återvinning av uttjänta vindturbinblad och andra kompositprodukter till kompositpaneler som kan användas till olika byggnadsprodukter som t.ex. fasadmaterial och golvklinkers. (Continuum, u.å.). Continuum konstruerar en industriell anläggning som ska vara driftklar under 2026 för hantering av 36 000 ton kompositavfall (Composites Manufacturing, 2023).

När det gäller återanvändning av vindturbinblad till byggnadskonstruktioner finns några mindre aktörer i EU, bland andra Blademade, Business in Wind och ReBlade. Dessa aktörer producerar olika byggnadskonstruktioner av uttjänta vindturbinblad.

Värdekedjan för återanvändning av vindturbinblad till byggnadskonstruktioner har specifika krav. Det är viktigt att tidigt veta material- och designinformation för vindturbinbladen för att t.ex. kunna göra rätt kapning vid nedtagning av vindturbinblad innan transport till så att ’återanvändningsaktören’ kan tillverka rätt byggnadskonstruktion. Men här finns också möjligheter till uppbyggandet av mindre aktörer som verkar mer ’lokalt’ i olika regioner för att minska t.ex. transportkostnader.

1.8.3 Termisk och kemisk återvinning med pyrolys eller solvolys

Pyrolys- och solvolysmetoder är baserade på konceptet att separera glasfiber från vindturbinbladet genom nedbrytning av härdplast med hög temperatur under en inert atmosfär eller med hjälp av lösningsmedel. Detta medför att plasten omvandlas till en oljeprodukt som kan vara en framtida råvara till kemisk industri för kemikalier och plastproduktion.

Både pyrolys- och solvolysprocesser kräver avancerade termokemiska processanläggningar och har en hög energiförbrukning i förhållande till mekanisk återvinning eller återanvändning till konstruktionsmaterial. Möjligheten att få en helt ren återvunnen glasfiberprodukt och nedbrytningen till attraktiva kemiska byggstenar (exempelvis aromater och fenoler) kommer att driva utvecklingen av dessa processer. Tidsperspektivet är dock längre än de andra två alternativen i 1.8.1 och 1.8.2

En fördel med pyrolys- och solvolys är att den återvunna glasfibern blir helt fri från plastrester. I DecomBlades-projektets pilot har glasfiberproducenter kunnat smälta om dessa glasfibrer till motsvarande virgin kvalitet. Glasfiber industrin har stor kapacitet och kan hantera stora volymer av pyrolyserad återvunnen glasfiber från uttjänta vindturbinblad och andra kompositstrukturer. Därför har en drivkraft erhållits för denna slutprodukt och utvecklandet av pyrolysprocessen. Detta möjliggör även en ’closed loop’-återvinning av vindturbinblad då den återvunna kontinuerliga omsmälta fibern kan användas för produktion av vindturbinblad.

Pyrolysprocessen kommer kunna hantera kompositavfall från olika härdplaster (epoxi och polyester) men processen måste anpassas efter vilken slutprodukt från oljefraktionen som eftersträvas. Dock måste kolfiberkompositer strukturer i vindturbinbladet (spar cap) avskiljas innan pyrolys. Då pyrolys är känslig för klorinnhåll måste även PVC-innehållet i vindturbinbladen separeras före eller hanteras med tillsatser i pyrolys-processen. Idag pågår utveckling av pyrolysanläggningar i pilot- och demoskala och det finns fåtal mindre industriella aktörer, exempelvis Gjenkraft i Norge och Reciclalia Composite i Spanien[6]. En solvolysprocess för existerande epoxiblad, s.k. 'Chemcycling', utvecklas aktivt idag av Vestas tillsammans med Stena och Olin.

För närvarande finns det i Europa minst ett 40-tal olika återvinningsinitiativ som listats av 'European Composites Industry Association' (EuCIA). Denna lista är inte heltäckande men den uppdateras löpande. Många av dessa är mindre aktörer eller i uppstartsfas. Det saknas emellertid uppgifter på vilka volymer som kan hanteras av de olika verksamheterna (EuCIA, 2023).

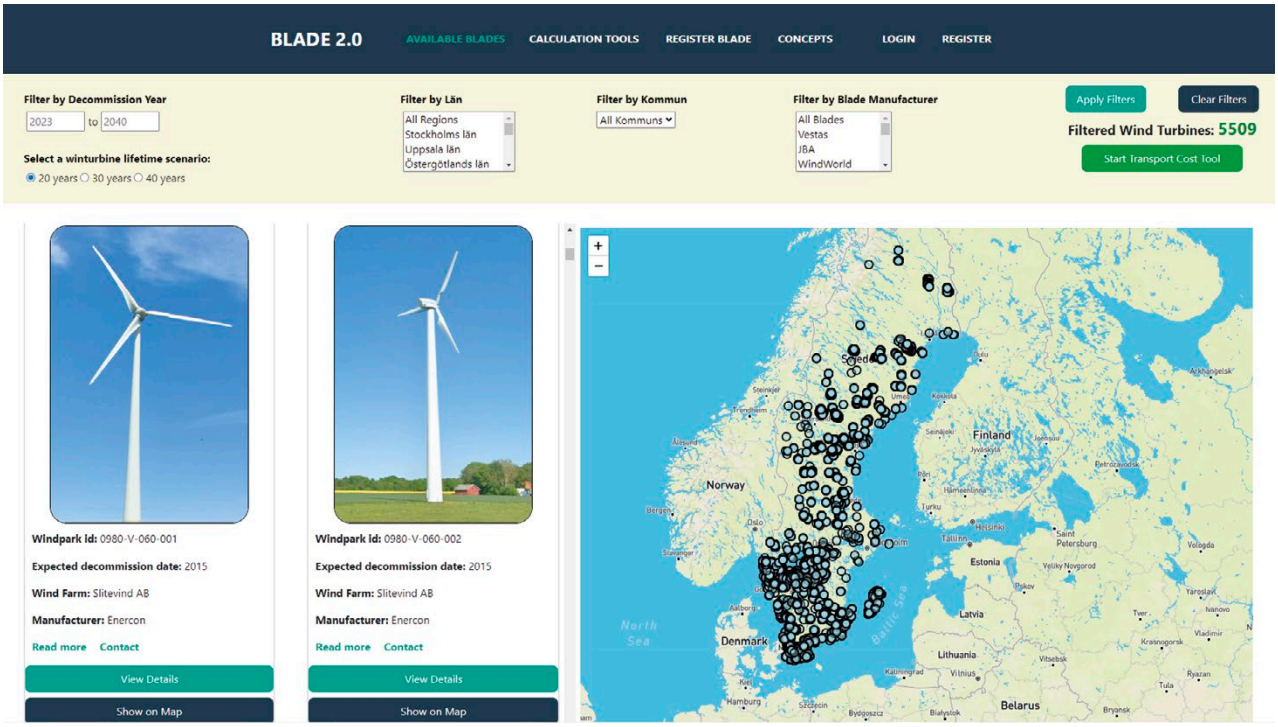
1.9 Möjlig lösning ökad information om volymer av vindturbinblad: Digitaliserat plattformverktyg

Det finns ett behov att i förväg tillgängliggöra information kopplad till nedmontering av vindturbiner för att möjliggöra uppkomsten av nya värdekedjor (information om vindturbinbladen, skador, materialdata, geolokalisering, datum för nedmontering, mängder, ägare, transport, …).

Den existerande webbtjänsten Vindbrukskollen skulle kunna vara en lösning att bygga vidare på. För detta krävs dock ett flertal ändringar i denna tjänst. Ett annat alternativ skulle vara att ta fram en ny plattform som enbart fokuserar på hanteringen av uttjänta vindturbinblad. En prototyp av en sådan plattform har tagits fram inom forskningsprojekten Rekovind2 och Circublade. I dessa projekt har det fokuserats på:

- Användargränssnitt: vilken information är relevant inför återanvändning och återvinning, vilka typer av användare kommer att använda plattformen och på vilket sätt.
- Utveckling av olika digitala verktyg för att underlätta hanteringen av vindturbinbladen efter nedmontering, i synnerhet hur den ska sågas för att kunna återanvändas för en specifik produkt. För detta har det utvecklats ett beräkningsverktyg som gör det möjligt för användare att verifiera var på vindturbinbladet man ska såga för att kunna använda en specifik längd som bärande balk till en gång- och cykelbro. Verifiering mot grundläggande konstruktionskrav (nedböjning och frekvens) görs.
- Utveckling av en databas med data på vindturbinblad. Säkerheten för data som sparas i databasen är en mycket viktig aspekt. I den nuvarande versionen kan ägare av vindturbinblad se alla sina egna data när vindturbinbladen har registrerats, men övriga användare kan inte se dessa förrän ankomstbekräftelsen godkänts av bladägaren. Det finns också möjlighet att välja vilka data man vill dela med vilken användare. En sådan struktur är att prioritera då den säkerställer skydd för känsliga data. CircuBlade projektet pågår fortfarande och en prototyp kommer att levereras (se Figur 13).

[6] Idag är denna anläggning dock permanent stäng enligt hemsidan.



Figur 13. Prototyp av digital plattform med information om vindturbinblad.
Källa: (Rekovind2, 2022).

1.9.1 Ökad information även om andra liknande kompositmaterial

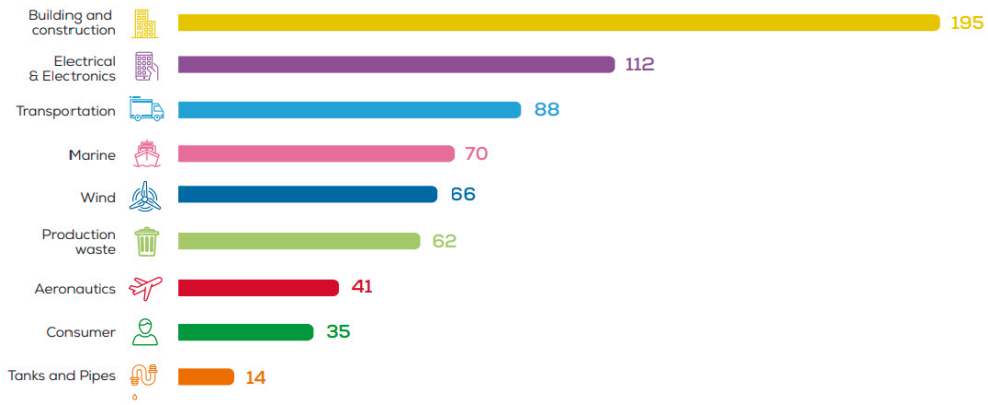
Det finns även andra kompositmaterial som liknar vindturbinblad för vilka det också finns behov av fungerande återvinningslösningar. Ett sådant exempel är fritidsbåtar som till stora delar består av plast. Idag saknas ett fritidsbåtsregister vilket gör att det är svårt att säkerställa att de plastbåtar som är i omlopp lämnas in för återvinning på rätt sätt. Det är liksom för vindturbinbladen svårt att fullt ut få en god överblick över förväntade materialströmmar. Därför finns skäl att överväga att, som Havs- och vattenmyndigheten (2023) föreslår, införa ett nationellt fritidsbåtsregister.

1.10 Tillgängliga kompositavfallsströmmar

För att bygga upp en återvinningsindustri för materialåtervinning eller cirkulärhantering enligt avfallshierarkin behövs mer information av när (dvs tidpunkt) och var i landet vindkraftsverken behöver återvinnas. I denna rapport har vi estimerat vilka volymer som kommer behöva hanteras i Sverige utifrån Vindbrukskollen och de publicerade scenerierna för framtida utbyggnad av vindkraft, men många faktorer påverkar när vindkraftsverket tas ned mer exakt som t.ex. prestanda på vindkraftverket, löpande underhåll och elpris. När elpriset har varit högt under 2022 har färre vindkraftsverk nedmonterats och detta har påverkat återvinningsaktörer för vindturbinblad i Tyskland som gått i konkurs.

Kompositer finns också i andra industrisektorer och för att bygga upp en återvinningsindustri kan en lösning vara att samlokalisera en möjlig återvinning av flera kompositavfallsströmmar i samma verksamhet.

I ETIPWind (2020) rapporterades en estimering av fiberkomposit avfall 2025 (se Figur 14) där man kan tydligt se att vindsektorn inte är den enda sektor som möter problematiken med hantering av uttjänta kompositstrukturer. Bygg, transport och båt är exempel av industrisektorer som producerar mer avfall av fiberkomposit än vindsektorn. Vindturbinblad är däremot oftast mycket större och framför allt synligare än kompositstrukturer från ovan nämnda sektorer, vilket kan vara en orsak till att fokus ligger mer på vindsektorn idag än på andra sektorer när det gäller att hitta lösningar för hållbar hantering av uttjänta glasfiberkompositer. Det finns stor potential och behov att hitta gemensamma återvinningslösningar för att hantera dessa likartade avfallsströmmar tillsammans med sektorspecifika lösningar.



Figur 14. Estimering av avfall från fiberkompositer per sektor i tusentals ton i Europa 2025.
Källa: (ETIPWind, 2020).

I följande avsnitt beskrivs de olika kompositavfallsströmmarna.

1.10.1 Vindturbinblad

Estimerat i denna utredning är att avfallsvolymer på ca 8 000 ton glasfiberkomposit förväntas återvinnas årligen mellan 2030–2039. Därefter sker en ökning till 20 000–30 000 ton/år från uttjänta vindturbinblad baserat på scenarier från ökad energiproduktion mellan 2040–2070. I intervallet 2024–2030 förväntas lägre volymer dvs ca 2 000 ton per år. Detta är volymer beräknade för en teknisk livslängd på 20 år, förlängs livslängden förskjuts ökningen med motsvarande antal år. I Danmark har man sett en livslängd på 29 år för landbaserade vindturbinblad.

Glasfiberkomposit i vindturbinblad domineras till 70 procent av glasfiber medan härdplast är den mindre delen om ca 30 procent. Alla sorter av härdplaster förekommer i vindturbinblad beroende på producent och tillverkningsår. Vanligast är härdplast av epoxi och polyester. Ytskikten på vindturbinblad kan vara behandlade med PFAS eller andra kemiska ämnen som medför problematik i framtida återvinning.

1.10.2 Fritidsbåtar

Under hösten 2023 publicerade Havs- och vattenmyndigheten regeringsuppdraget ’Uppdrag om insamling och återvinning av fiskeredskap och fritidsbåtar’ (Havs- och vattenmyndigheten, 2023). Här redovisas en kartläggning av förväntad mängd fritidsbåtar som behöver återvinnas. Från och med 2020 uppskattas att 9 000–17 000 fritidsbåtar behöver omhändertas. Detta motsvarar uppskattningsvis att 7 000–13 000 ton kompositavfall per år behöver återvinnas. Dessutom uppskattar kartläggning att det finns 400 000 uttjänta och övergivna båtar i plast som är i behov av att omhändertas för återvinning eller återanvändning. Detta medför approximativt 308 000 ton glasfiberkomposit som behöver återvinnas (APER, 2023; Havs- och vattenmyndigheten (2023).

De fritidsbåtar som återvinns idag är en mindre mängd och hanteras i konventionell metallåtervinning för fordon dvs krossning med hammarkvarn, utsortering av värdefulla metaller för materialåtervinning (25 procent) och energiåtervinning av resterande skrov och detaljer (75 procent). Skrovet är baserat på 70 procent härdplast (med dominans av polyester och vinylester) och 30 procent glasfiber. Ytskikten på äldre båtar kan vara behandlade med olika båtbottenfärger där farliga ämnen som tributyltenn (TBT) och tungmetaller, som koppar, zink och bly, kan förekomma.

1.10.3 Byggnadskonstruktioner av komposit

ETIPWind förutspår att härdplastkonstruktioner och produkter från byggnadsindustrin kommer att vara den största källan till kompositavfall i Europa år 2025 (motsvarande ca 30 procent av totalt 700 000 ton kompositavfall) medan båt- och vindsektorerna representerar 10 respektive 9 procent (ETIPWind, 2020). Då det inte är farligt avfall och det inte finns specifika avfallskoder är det svårt att kartlägga dessa flöden dvs samma problem som vindturbinbladen. Naturvårdsverket (2022b) lyfter denna problematik och listar en del produkter och användningsområden. Troligtvis kan stora delar av dessa strömmar hittas i de sammansatta plastfraktioner som går till förbränning. Idag saknas specifik kartläggning av dessa strömmar i Sverige.

1.10.4 Produktionsavfall från kompositindustri

I Sverige finns det en kompositindustri som producerar bl.a. fritidsbåtar och byggnadskonstruktioner. Detta genererar en avfallsström som består av plast- och kompositspill från produktionen. Generellt räknas att 30 procent av materialet som används till en produkt blir till produktionsspill. Denna ström har känd materialsammansättning av fiber och härdplast och är lättare att återvinna än uttjänta båtar och vindturbinblad. Däremot är denna ström ej kartlagd i Sverige.

1.11 Avfallsvolymer och återvinning av kompositer

Vi ser ett stort behov av att öka tillgången på information om existerande och framtida vindturbinblad för att driva utvecklingen framåt för materialåtervinning av vindturbinblad till initiativ högre upp i avfallshierarkin. Av de tekniskt möjliga lösningarna för återvinnig av vindturbinblad som kan övervägas är det troligare att tekniskt enklare och mindre investeringsintensiva lösningar kommer att etableras snabbare. Det krävs dock att det finns möjlighet till uppbyggnad av cirkulära affärsmodeller med alla olika aktörer i en värdekedja. I ett tids- och teknikmognadsperspektiv rangordnas teknikerna: samförbränning i cementindustrin, återanvändning/mekanisk återvinning, termokemisk återvinning med pyrolys/solvolys.

I Sverige förväntas volymer av vindturbinblad som behöver återvinnas att öka till 8 000 ton/år mellan 2030–2039 beroende på livslängds intervall 20–29 år. Mellan 2024–2030 är volymerna lägre och kan estimeras till 2 000 ton/år. Samtidigt finns det en pool av uttjänta båtar som är konstruerade av samma material dvs glasfiberkomposit. Dessa uppskattas till 308 000 ton övergivna i naturen samt en årlig ökning från 2020 av 7 000–13 000 ton kompositavfall.

Sammantaget ger det en estimerad volym av glasfiberkomposit från vindturbinblad och fritidsbåtar på 9 000–15 000 ton/år som behöver hanteras efter 2020. I intervallet 2030–2039 kommer en estimerad 50-procentig ökning att ske till 15 000 ton – 21 000 ton/år – beroende på bladens livslängd (20–29 år). Utöver detta finns det ett behov av att omhänderta och återvinna de övergivna fritidsbåtarna på 308 000 ton.

Under 2023 har Kuusakoski etablerat hantering och förbehandling av vindturbinblad i norra Sverige (Lycksele) som kan transporteras till Finland för samförbränning i cementindustrin. Denna verksamhet i Hyvinge i södra Finland rapporteras hantera 5 000 ton/år av kompositavfall och vindturbinblad.

I södra Sverige finns i närtid möjligheten till att använda sig av Continuum's storskaliga etablering för mekanisk återvinning i Danmark (Esbjerg på Danmarks västkust) till kompositpaneler. Här planeras att volymer på 36 000 ton/år kan återvinnas under 2026.

Detta betyder att det finns ett alternativ till bortförskaffande av uttjänta vindturbinblad med deponi och förbränning tillgängligt i Sveriges relativa närområde. Däremot brukar en parameter som styr återvinning vara kostnaden, och om deponi- och förbränningsalternativen är av lägre kostnad samt möjliga via dagens avfallsregelverk kommer dessa troligen fortfarande vara ett alternativ som konkurrerar med en mer cirkulär lösning.

Sammanslaget med estimerade och ansamlade volymer av fritidsbåtar i Sverige ser vi ett behov av att etablera en eller flera industriella lösningar för materialåtervinning av glasfiberkompositer efter 2030 i Sverige eller i dess närhet.

2 Kartläggning av solcellspaneler och dess värdekedjor för återanvändning och återvinning

Solkraftsbranschen har de senaste åren utvecklats snabbt och kommer framöver växa ytterligare. Solcellspaneler är förhållandevis långlivade produkter som typiskt håller flera decennier, kanske upp emot 50 år, och eftersom utbyggnaden tagit ordentlig fart först på senare år finns solcellspaneler som avfall än så länge i små kvantiteter. De solcellspaneler som blir avfall idag är oftast felande eller skadade produkter snarare än från anläggningar som demonterats vid slutet av sin livstid. Internationellt har producenter stort fokus på att utveckla effektivare paneler och i Sverige driver branschen på för snabb utbyggnad, varför återvinning hamnat i skymundan. Det gör att kunskapsläget när det gäller ett cirkulärt omhändertagande av solcellspaneler ännu är begränsat och att det saknas sammanställningar och kartläggningar av värdekedjorna för återvinning av solcellspaneler i Sverige. Utöver solcellspaneler innefattar solcellsanläggningar också annan elektronik i form av exempelvis växelriktare och kablar. Denna utrustning omfattas enligt vår bedömning av producentansvar enligt förordningen (2022:1276) om producentansvar för elutrustning, som genomför genom *Europaparlamentets och rådets direktiv 2012/19/EU av den 4 juli 2012 om avfall som utgörs av eller innehåller elektrisk och elektronisk utrustning* (**WEEE-direktivet**), även om viss osäkerhet i frågan framförts (se avsnitt 3.4). WEEE är i detta sammanhang en förkortning för avfall som utgörs av eller innehåller elektrisk eller elektronisk utrustning som ofta används.

I det här kapitlet går vi inledningsvis igenom vad en solcellspanel är för att sedan fortsätta med vilka volymer uttjänta solcellspaneler vi har att vänta, materialströmmar, aktörskedjor i Sverige samt tittar på miljöpåverkan från hanteringen. Vi gör också en utblick till andra länder och avslutar med ett antal reflektioner och förslag.

2.1 Var och hur installeras solcellsanläggningar

Det ännu så länge vanligaste sättet att installera solcellsanläggningar i Sverige är att fästa solcellspaneler på ett tak. Det förkommer även, och blir allt vanligare med, större solcellsparker där panelerna monteras på markställningar. Byggnadsintegrerade solceller (på engelska förkortat till BIPV för *Building Integrated PhotoVoltaics*) används så att de utöver elproduktion också fyller en annan byggnadsteknisk funktion, till exempel att utgöra yttre tätskikt i form av takpannor eller fasadelement. Det finns också små, lätta solcellspaneler inkorporerade i elektronikprodukter där de används främst för att förlänga batteritid. 2021 fanns i Sverige fanns 92 000 solcellsanläggningar enligt statistik från Energimyndigheten, vilken återges av Svensk Solenergi. Av dessa är majoriteten mindre anläggningar (<20 kWp) och ca 60 procent var installerade på tak (Svensk Solenergi, u.å-a). I skrivande stund 2023 är Sveriges största drifttagna solkraftsanläggning på cirka 21 MWp (HSB, 2023), vilket motsvarar i storleksordningen 60 000 solcellspaneler. Bygget har också börjat av en mycket stor anläggning i Hultsfred som beräknas bli på ungefär 100 MWp, täcka en yta på 136 hektar och beräknas vara i full drift under 2025 (Wennberg, 2023). Utvecklingen av solkraft i Sverige går fort!

2.2 Tre generationer solceller

Det finns idag en mängd olika teknologier av solceller för att fånga in solenergin och dessa delas ofta förenklat in i tre generationer:

- **Första generationen:**
  Solceller bestående av skivor av kristallint kisel. Kislet kan vara monokristallint, vilket ger svarta paneler eller multikristallint, vilket ger blå och skimrande paneler. Cellerna är på grund av sin kristallina natur och tjocklek (ca 0,5 millimeter) känsliga och behöver ligga plant. Solcellspaneler med denna teknik är därför oftast platta.
- **Andra generationen:**
  Solceller baserade på tunnfilmsteknik, där det aktiva materialet är ett eller flera tunna lager av metallkombinationer, oftast kadmium-tellur (CdTe) eller koppar-indium-gallium-selen (CIGS). Dessa solceller är betydligt tunnare än första generationens solceller och kan därför vara rundade eller böjbara.
- **Tredje generationen:**
  Det finns flera nya solcellstekniker på forskningsstadiet. Utan att gå in i närmare detalj på hur dessa fungerar kan vi nämna några tekniker: organiska (kolbaserade), Grätzel (dvs sensitized solar cells), Perovskit, tandem.

2.3 Solcellspaneler i fokus för den här rapporten

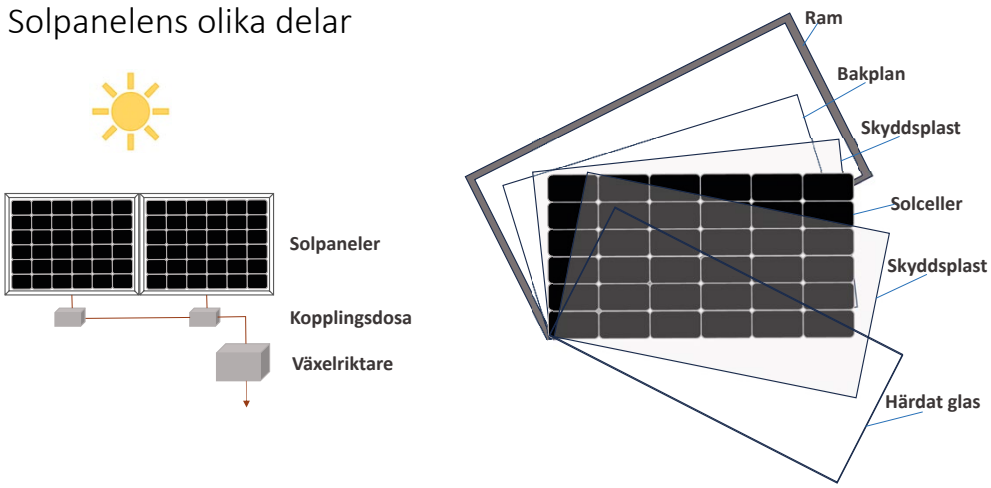
En solcellsanläggning består, utöver solcellspanelerna som fångar in solenergin, av en rad tillhörande komponenter som exempelvis kablar, montageutrustning och växelriktare. I det här arbetet fokuseras enbart på solcellspanelerna.

Vi har även valt att fokusera på paneler med solceller av kristallint kisel, då denna typ av solceller av första generationen helt dominerar i Sverige idag med ca 99 procent av marknaden.

Vi använder även antagande om vikt om 20 kg, en storlek om 1,7 m^2 samt en effekt om 340 Wp (där p står för peak).

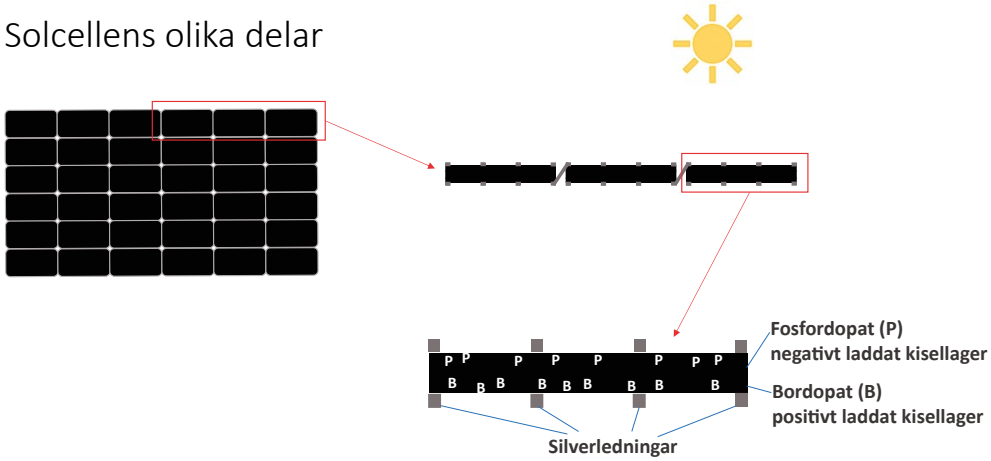
2.3.1 Uppbyggnad och material i solcellspaneler

Som nämnts ovan är den vanligaste solcellspanelen som monteras i Sverige idag en monokristallin kiselsolcell och vi använder en sådan som exempel för att beskriva övergripande vilka delar och material en solcellspanel är uppbyggd av. Monokristallina solcellspaneler byggs upp av ett antal solceller som består av dopat monokristallint kisel där ström leds från och mellan cellerna med hjälp av silverledare och ut från cellen med kopparkabel. En potentialskillnad i solcellerna skapas genom att kiselytan dopas (enstaka kiselatomer i kristallstrukturen ersätts med atomer av ett annat grundämne) med fosfor för n-dopning där n står för negativ respektive bor för p-dopning där p står för positiv. Solcellerna är känsliga för syre och fukt och skyddas genom att kapslas in i skyddande plastlager, till exempel etylvinylacetat (ofta benämnt med förkortningen EVA), och detta paket sätts mellan ett främre skalskydd bestående av härdat glas och ett bakre som ofta är av en fluorerad väderbeständig plast. Hela solcellspanelen sätts sedan i en aluminiumram som håller ihop panelen och ger den stadga samt möjlighet att fästa panelen på till exempel ett tak. På baksidan av solcellspanelerna finns en kopplingsdosa med anslutning till elektriska kablar samt s.k. bypassdioder som kan leda strömmen förbi en grupp av celler om de blir skuggade. Solcellspanelens och solcellens delar illustreras i Figur 15 och Figur 16.



Figur 15. Övergripande beskrivning av en solcellspanels konstruktion. Till vänster två seriekopplade solcellspaneler anslutna till en växelriktare. Till höger en sprängskiss över de typiska lager en vanlig solcellspanel består av.

Källa: RISE, producerad för denna rapport.



Figur 16. Övergripande beskrivning av vad en solcell är uppbyggd av. Till vänster en solcellspanel med sammankopplade solceller. Överst till höger hur cellerna är seriekopplade, och nederst till höger en förenklad bild av en solcell i genomskärning.

Källa: RISE, producerad för denna rapport.

2.4 Avfallsvolymer för solcellspaneler

2.4.1 Hur många solcellspaneler samlas in i Sverige idag?

Sammanställningen i Tabell 16 över insamlad elutrustning 2019–2021 är gjord av Naturvårdsverket (2023a).

Tabell 16. Insamlade mängder av elutrustning, ton

	2019	2020	2021
1. Temperaturregleringsutrustning	28 954	30 539	33 273
2. Bildskärmar	17 868	15 829	11 816
3. Lampor	643	498	2 035
4. Stor elutrustning – exkl. solcellspaneler	59 531	58 180	50 912
4.1 Solcellspaneler	62	2	17
5. Liten elutrustning	27 675	33 543	28 484
6. Liten IT- och telekomutrustning	15 286	10 810	8 680
TOTAL	**150 019**	**149 401**	**135 216**

Källa: Naturvårdsverket (2023a).

Om dessa siffror räknas om med för vår i denna rapport använda exempelsolcellspanel (som väger 20 kg), fås ett uppskattat antal insamlade solcellspaneler, se Tabell 17.

Tabell 17. Insamlade solcellspanelsmängder omvandlade till uppskattat antal solcellspaneler

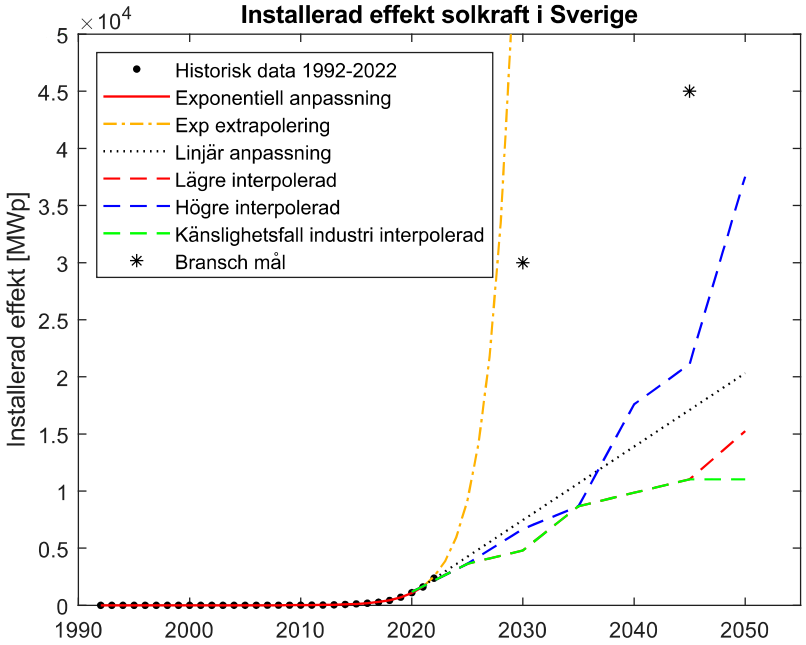
År	**2019**	**2020**	**2021**
Insamlad mängd i ton	62	2	17
Uppskattat antal solcellspaneler (20 kg/styck)	3 100	100	850

Källa: RISE, producerad för denna rapport.

Vi kan konstatera att det endast är ett fåtal paneler som samlats in i Sverige under de senaste åren. En möjlig orsak till minskningen under åren 2020–2021 är coronapandemin.

2.4.2 Framtida avfallsvolymer av solcellspaneler i Sverige

För att man ska kunna dimensionera och planera för ett effektivt cirkulärt omhändertagande av solcellspaneler behöver man ha en uppfattning om hur stora volymer det rör sig om, när dessa paneler behöver omhändertas, samt hur panelerna är utformade. För att kunna göra dessa uppskattningar av de årliga avfallsvolymerna utgår vi från historiska installationsdata och scenarier över solkraftsutbyggnaden fram till 2050, samt gör antaganden om huvudsakligen solcellspanelernas effekt, vikt och livslängd. Metodiken och betydelsen av de antaganden vi gjort beskrivs mer utförligt i Bilaga 2.

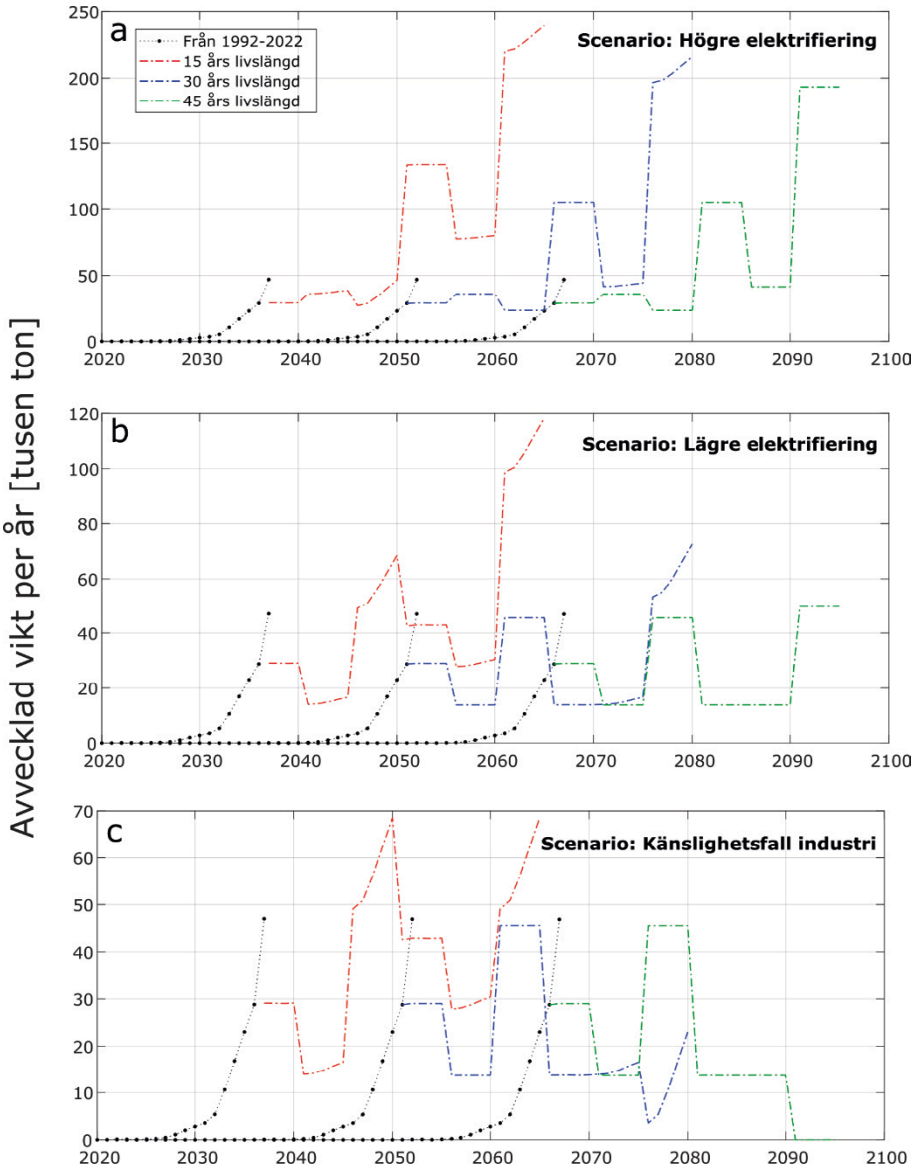


Figur 17. Tidsutveckling av den installerade solkraftseffekten i Sverige baserat på historisk statistik från IEA Task 1 och Energimyndighetens solenergistatistik (svarta kvadrater), extrapolering av två matematiska anpassningar (gul streckad linje och svart prickad linje), tre långsiktiga framtidsscenarier (blå, grön och röd streckad linje) samt solenergibranschens mål (asterisk).

Källa: RISE, producerad för denna rapport.

I Figur 17 presenteras den historiska (1992–2022) och framtida (2023–2050) installationsnivån av solkraft i Sverige. Den historiska installationsnivån baseras på sammanställningarna i IEA PVPS Task1 Strategic PV Analysis and Outreach (2021) (för åren 1992–2016) samt Energimyndighetens solenergistatistik (2023) (från SCB, baserat på elnätsbolagens anmälningar, för åren 2017–2022) och visas som svarta kvadrater. Framtida installationsnivåer representeras av solkraftens andel i Energimyndighetens tre långsiktiga scenarier av elsystemets utveckling (Energimyndigheten 2023a): högre elektrifiering (blå streckad linje), lägre elektrifiering (röd streckad linje), samt känslighetsfall industri (grön streckad linje). Två matematiska anpassningar har gjorts till de historiska installationsnivåerna; en exponentiell och en linjär. Den exponentiella kurvan har anpassats till åren 1990–2021 (röd heldragen linje som vid extrapolering övergår i gul streck-punktad linje) och kan antyda en möjlig utveckling de närmaste åren om nuvarande trend fortsätter. Den saknar dock en övre gräns och når därför orimliga värden större än nuvarande svensk elproduktion inom en 10-årsperiod. Den linjära kurvan anpassades till åren 2019–2021 (svart prickad linje) och visar att framtidsscenarierna för lägre elektrifiering och känslighetsfall industri motsvarar en lägre installationstakt än nuvarande, medan högre elektrifiering kräver en ökad installationstakt. Branschens mål (Svensk solenergi 2022) är markerade med asterisker vid 30 GWp för 2030 och 45 GWp för 2045; båda överstiger kraftigt de valda framtidsscenarierna.

Vi antar en konstant panelvikt på 20 kg, en paneleffekt på 340 Wp och undersöker hur livslängder på 15, 30 och 45 år av panelmängderna i Figur 17 påverkar de framtida avfallsmängderna. I Figur 18 a–c visas dessa för scenarierna högre elektrifiering, lägre elektrifiering respektive känslighetsfall industri.



Figur 18. Avvecklad vikt solcellspaneler i Sverige för scenarierna a) högre elektrifiering, b) lägre elektrifiering och c) känslighetsfall industri. I respektive figur visas historiskt installerade mängder som svarta fyrkanter tillsammans med tre olika livslängder för solcellspanelerna: röd linje 15 år, blå linje 30 år och grön linje 45 år. Data även presenterat i tabellform i Bilaga 2.

Källa: RISE, producerad för denna rapport.

Historiskt installerade solcellspaneler presenteras i Figur 18 a–c som svarta kvadrater och man ser hur de i samtliga fall förskjuts fram i tid motsvarande panelernas antagna livslängd och därför ökar kraftigt omkring år 2030, 2045 respektive 2060. Vi ser också att olika livslängder i ett längre perspektiv medför olika årliga avfallsmängder; en kort livslängd på 15 år innebär att paneler behöver bytas ut oftare jämfört med en längre livslängd på 30 eller 45 år, vilket i praktiken innebär att fler paneler behöver installeras för att bibehålla en viss installerad effekt, vilket i sin tur leder till större panelomsättning och avfallsmängder. Detta syns i övre, mellan och nedre figuren som en lägre avvecklad vikt per år för större livslängder. Vi ser också att avfallsmängderna i samtliga fall varierar kraftigt över tid vilket är en direkt följd av en varierande installationstakt i våra scenariodata. Lutningen på kurvan i Figur 18 motsvarar installationstakten vilket tillsammans med kompensation för avvecklad effekt utgör de volymer som kommer avvecklas en panellivslängd senare. Ju snabbare installationsnivåerna ökar desto större kommer avfallsvolymerna alltså sedan bli.

De hittills installerade panelerna gör att vi kan se framför oss avfallsvolymer på omkring 50 000 ton per år omkring år 2050 för 30 års livslängd och om installationstakten ökar blir den större. Alla scenarierna visar på stora variationer av avfallsmängder över tid. Scenariot för en högre elektrifiering ger avfallsmängder med toppar på mellan 100 000 och 240 000 ton, med en dal på ca 75 000 ton. Scenariot lägre elektrifiering har för 30 års livslängd lägsta årliga avfallsmängder på 14 000 ton och en topp på ca 70 000 ton. Scenariot känslighetsfall industri, som mellan 2045 och 2050 inte ser någon tillväxt av solkraften, har som mest nästan 70 000 ton avfall per år vilket till 2090 reduceras till noll för en panellivslängd på 45 år. Se även Tabell B1 – Tabell B4 i Bilaga 2.

Den ackumulerade mängden avfall i form av solcellspaneler i Sverige kan enligt våra uppskattningar vara upp emot 700 000 ton till år 2050, och nästan tre miljoner ton år 2080 beroende på installationstakt och -nivå (scenario) och panelernas livslängd.

Ett tankeexperiment för ett framtida läge, där utbyggnaden av solkraft stannat av, ger att avfallsmängderna enbart utgörs av de paneler som behöver bytas ut för att den totala installerade effekten ska bibehållas. Våra antaganden om panelerna ger en vikt på ca 60 ton/MWp, så om det något år installeras exempelvis 5 GWp kommer den årliga avfallsmängden som uppstår en panellivslängd senare vara ca 300 000 ton.

2.4.3 Diskussion om avfallsvolymer

Nedan följer några kommentarer och funderingar kring hur olika faktorer påverkar bedömningen av framtida avfallsvolymer.

Varierande installationstakt

De framtida avfallsvolymer som baseras på prognoser av hur solkraftsutbyggnaden kommer se ut varierar kraftigt, vilket beror på hur installationstakten varierar. I våra data är variationerna i installationstakt en fiktiv artefakt som följer av den linjära interpolationen av scenariodata, men installationstakten kan också komma att variera i verkligenheten. Förändringar i reglerna kring energiskatt, utformning av elnätsavgifter, hur investeringsstöd (såsom skattereduktionen för grön teknik) utformas, hur stöd till förnybar produktion (såsom den s.k. 60-öringen) utformas, elcertifikatsystem, hur bygglov och andra tillståndsprocesser fungerar framöver och den nationella energipolitiken i stort, är alla exempel på faktorer som kan komma att påverka installationstakten och därmed ge upphov till svängningar i de framtida avfallsvolymerna.

Ett regelverk som kommer att påverka är Förslaget till Europaparlamentets och rådets direktiv om byggnaders energiprestanda (omarbetning, COM[2021] 802) som är ett till uppdaterat direktiv om byggnaders energiprestanda. I den preliminära överenskommelse som Europaparlamentet och rådet efter trepartsförhandlingar uppnådde den 7 december 2023 framgår bl.a. följande: Medlemsländerna måste bl.a. se till att nya byggnader är förberedda för solenergi, dvs. att det är möjligt att installera solcells- eller solvärmeanläggningar på taken. Installation av solenergianläggningar kommer att bli normen för nya byggnader. För befintliga offentliga byggnader som inte är avsedda för bostäder kommer solenergi att behöva installeras gradvis från och med 2027, när detta är tekniskt, ekonomiskt och funktionellt genomförbart. Sådana bestämmelser kommer att träda i kraft vid olika tidpunkter beroende på byggnadstyp och storlek. Innan förslaget kan träda i kraft ska det nu formellt antas av Europaparlamentet och rådet.

Konstant och definierad livslängd

En välkänd livslängd är en av de mest avgörande faktorerna för att kunna bedöma vid vilken tidpunkt avfallsvolymerna kommer och hur stora de blir. Dessvärre är detta inte väldefinierat och forskning kring solcellspanelers livslängd i nordiska förhållanden saknas i stor utsträckning, delvis beroende på att kraftslaget är ungt i förhållande till sin förmodade livslängd. Solcellspaneler försämras gradvis under sin livstid genom något som kallas för degradering. Degraderingen innebär att den ursprungliga effektiviteten minskar, vilket sker genom ett antal olika fysikaliska och kemiska processer. De faktorer som driver degradering är huvudsakligen temperatur, fukt och UV-ljus, eller kombinationer av dessa. Samtliga har relativt låga tal på våra breddgrader vilket gör att man teoretiskt förväntar sig låg degradering. Ascencio-Vásquez et al. (2019) bedömde att degraderingen i vår del av Europa borde vara 0,1–0,3 procent/år, vilket bekräftas av de två experimentella studier vi funnit i litteraturen: Rinio, Enarsson & Hansen (2022) fann ca 0,22 procent/år för en markmonterad solcellsanläggning i Värmland, och Sveen et al. (2020) fann en degradering på 0,2 procent/år för en anläggning i Norge. Ett nordligt klimat med stora snölaster i kombination med låga temperatur skulle dock kunna innebära hög mekanisk degradering (till exempel sprickbildning) och kortare livslängd än vad dessa studier antyder.

Eftersom det saknas uppgifter om faktisk livslängd för solcellspaneler i Sverige har vi valt tre olika konstanta livslängder: 15, 30 och 45 år. 15 år sammanfaller med den förväntade livslängden på en annan kritisk komponent i en solcellsanläggning – växelriktaren – och får utgöra ett fall där livslängden är kortare än vad som förväntas. 30 år är en vanlig livslängdsbedömning i branschen och motsvarar ett växelriktarbyte i anläggningen, medan 45 år motsvarar teoretisk och experimentellt uppmätt degradering på våra breddgrader (ca 0,2 procent/år) till 90 procent av ursprungseffekten, eller två växelriktarbyten. Sveriges äldsta nätanslutna solcellsanläggning är nästan 40 år gammal och fungerar fortfarande väl, vilket tydligt visar att livslängden på solcellspaneler i Sverige kan vara stor om förutsättningarna är de rätta, von Schultz (2023). I ett framtida klimat med mer och fler extrema väderhändelser kan dock den faktiska livslängden komma att reduceras till följd av skador.

I beräkningen av avfallsvolymerna har vi antagit att livslängden inte förändras över tid och inte heller varierar mellan olika anläggningar. Eftersom livslängden på paneler kan avgöra deras lönsamhet gör tillverkarna vad de kan för att producera så hållbara produkter som möjligt. Att döma av panelernas garantier har livslängden ökat de senaste 15 åren från ca 25 år till idag ibland ända upp till 40 år och kan komma att öka ytterligare när andra panelutformningar och teknologier etableras. Med en allt längre livslängd kommer avfallet att fördröjas och topparna reduceras. I verkligheten kommer inte alla paneler heller ha samma livslängd och de kommer avvecklas vid olika ålder beroende på exempelvis avtal som löper ut, tak som behöver bytas, byte av andra komponenter i anläggningen (t.ex. växelriktare), teknikutveckling med nya och mer effektiva paneler och varierande livslängd för olika panelutformningar respektive marknadssegment. Detta kommer också jämna ut volymsvariationerna över tid.

Konstant vikt och effekt

När vi räknar om den installerade effekten till avfallsvolym i form av panelernas vikt, gör vi förenklade antaganden om att paneler har en med tiden konstant vikt på 20 kg och en konstant effekt på 340 Wp. Det är en överskattning av effekten på historiska paneler men sannolikt en underskattning av effekten för nu- och framtida paneler. Det innebär att avfallsmängderna i Figur 18 a–c initialt är underskattade och längre fram i tiden överskattade. Då utbyggnaden tagit ordentlig fart först omkring 2016 bör den initiala underskattningen dock vara av liten betydelse för de faktiska mängderna. Vikten av paneler går upp i samband med

att panelerna blir större och får en större andel glas (se nedan) vilket leder till att framtida avfallsvolymer kan vara underskattade, kanske med omkring 25 procent, baserat på exempel med glas-glaspanel som väger 24,4 kg jämfört med motsvarande standardpanel med glas-framsida och plastbakstycke, som väger 19,7 kg (Meyer Burger, u.å.).

Oförändrad sammansättning

Solcellspaneler är högteknologiska produkter som utvecklas mycket snabbt över tid. Den nuvarande trenden är till exempel att det blir vanligare med så kallade glas-glaspaneler där både framsida och bakstycke är gjorda av glas. Detta gör att panelerna troligen blir tyngre framöver och kan även påverka vilka återvinningsmetoder som är lämpade. En framtida utveckling kan också leda till andra typer av paneler, större andel tunnfilmssolceller, kombinerade solcellsteknologier, andra panelmaterial och liknande. Vi har dock antagit att panelernas utformning är helt oförändrad under hela perioden 1992–2050. Dessa osäkerhetsfaktorer kan påverka både det cirkulära omhändertagandet och avfallsvolymerna vid respektive tidpunkt.

Installationsnivå och avfallsmängder

De framtida avfallsvolymer som baseras på uppgifter om framtida installationsnivåer är behäftade med stor osäkerhet, detta eftersom det är svårt att förutse hur olika kraftslag kommer samspela och utvecklas under lång tid framöver i den stora elektrifiering av samhället som pågår. Utvecklingen för solkraft i Energimyndighetens långsiktiga scenarier är egentligen inte heller prognoser utan optimeringar utifrån ett antal antaganden som görs för energisystemet. En maximal nivå på installerad solkraftseffekt är svårt att sia om, men vi noterar att nivån år 2050 för de tre scenarierna är 32 TWh/år, 13 TWh/år och 9,4 TWh/år vilket motsvarar 8,8 procent, 5,1 procent och 3,8 procent av Sveriges elproduktion det året för högre och lägre elektrifiering respektive känslighetsfall industri. Detta kan jämföras med branschens mål om 15 procent och att solkraften i Tyskland redan under första halvåret 2023 stod för 12,5 procent av landets elproduktion (Fraunhofer ISE, 2023). Den totala mängden solcellspaneler behöver inte heller vara begränsad av elnätets kapacitet, utan kan påverkas av tekniksprång inom lagring, vätgasframställning, elektrobränslen, ammoniak med mera. Vid halvårsskiftet 2023 väntade i Sverige 252 solcellsparker på tillstånd hos Länsstyrelserna, med en sammanlagd effekt på 8,4 GWp och bedömd årsproduktion om 7,2 TWh/år (Wennberg 2023). Hur dessa ärenden hanteras får med andra ord stor påverkan på installationstakten och därmed avfallsvolymerna. Likaså kan en högre utbyggnadstakt i vårt närområde minska incitamenten att bygga i lika stor utsträckning i Sverige om marknaden skulle ”mättas”.

En internationell debatt som pågår handlar om hur stora mängder avfall det blir från förnyelsebara energislag som sol- och vindkraft. Ena sidan lyfter detta som problem, vilket kan fördröja utbyggnaden globalt, medan andra sidan påtalar att avfallsmängderna visserligen är stora men att de jämfört med andra avfallstyper är mycket små, Mirletz et al. (2023). Vi vill i detta sammanhang passa på att understryka att det ännu finns tid att utveckla cirkulära lösningar för uttjänta solcellspaneler. Med dessa kan oanvändbart avfall från uttjänta solcellspaneler undvikas eller reduceras väsentligt, vilket kommer krävas för en långsiktigt hållbar elproduktion.

2.5 Solcellspanelers materialvärdekedja

För att förstå återvinningens möjligheter och utmaningar tittar vi på hela värdekedjan för solcellspaneler ur ett materialperspektiv. I Figur 19 återfinns en överblick över materialvärdekedjan för den idag i Sverige mest sålda typen av solcellspaneler med monokristallina kiselsolceller.

Solcellspaneler är produkter sammansatta av en mängd olika beståndsdelar och material, se även avsnitt 2.3. Andelen av olika material kan variera mellan olika leverantörers modeller, men för översiktsbilden i Figur 19 av materialvärdekedjan har vi använt följande viktfördelning, hämtad från IEA PVPS Task 12 PV Sustainability (2020), för en antagen panelvikt om 20 kg (Solens energi 2023):

67 procent härdat glas, vilket motsvarar 13,4 kg

16 procent aluminium, vilket motsvarar 3,2 kg

11 procent plast, vilket motsvarar 2,2 kg

4 procent kisel, vilket motsvarar 0,9 kg

1 procent övriga metaller, vilket motsvarar 0,2 kg

2.5.1 De olika materialen

Själva solcellen består av rent kisel (99,999 procent renhet) som tas fram genom att rena och reducera sand, kiseldioxid, till rent kisel. Detta är en energikrävande process och framför allt de sista reningsstegen kräver både tid och energi. Kislet får sedan kristallisera till en monokristallin rund kiseltacka med cirka 15 cm diameter, som därefter skärs till cirka 0,5 mm tunna skivor, så kallade ”wafers”. Dessa skivor dopas sedan med mycket små mängder bor på ena sidan och fosfor på den andra vilket leder till en potentialskillnad mellan cellens ytor. Därefter skärs de runda cellerna till mer fyrkantiga former som gör att cellerna kan täcka så stor del som möjligt på en panel. För att kunna leda ut ström från solcellen, så printas ett fint ledningsmönster av silver på själva solcellerna och dessa kopplas sedan samman med större ledare i koppar för att leda bort den ström som genereras i panelen (Let’s go solar (u.å.)).

Kiselmetall, bor – av metallurgisk kvalitet, fosfor och koppar är med på EU:s lista över strategiska material 2023. Kiselmetall, bor, fosfor och koppar är även med på motsvarande lista över kritiska råvaror. För EU är dessa intressanta både ur försörjningssynpunkt och för att säkra materialåtervinningen av dem (European Commission, 2023a).

I en koppargruva förekommer ofta andra metaller i lägre koncentration. Silver är en av dessa och det är vanligt att gruvdriften grundfinansieras med hjälp av kopparfyndigheten och att silvret tas upp som en biprodukt.

Materialström
Monokristallin kiselsolpanel

Monokristallin kiselsolpanel
Storlek: ca 1x1,7 m
Vikt: ca 20 kg

Material	Prospekt-ering	Gruvdrift	Förädling	Råmaterial	Design	Produktion	Användning Återbruk	Insamling	Material-återvinning
Glas	Sand Hav Kalkavlagring	Kvarts Saltvatten Kalksten	Rening och karbonati-sering	Kiseloxid (SiO_2) Soda ($NaCO_3$) Kalk ($CaCO_3$)	Genomskinlig framsida, skyddande skikt	Härdat glas	67 vikt% **13,4 kg**	Samlas in som elskrot som hel panel	Nytt glas Glasull Fyllmassa
Aluminium	Bauxit	Bauxit	Aluminium-oxid	Aluminiumgöt	Ram	Gjuts till en ram	16 vikt% **3,2 kg**	Samlas in som elskrot som hel panel	Återvinning av Al
Plast	Fossila olje-fyndigheter Flusspat Sand	Fossil olja Flusspat, fossil olja Kvarts, fossil olja	Vinylacetat Klorfluormetan, fluoreten Silanol	EVA, polyvinylacetat Fluorerade polymerer Organiska kiselföreningar	Skyddande inkapsling av solcellerna, lim Baksida Fuktspärr	Tunn film, skikt Lim Tunn film/platta Tätningsfog	11 vikt% **2,2 kg**	Samlas in som elskrot som hel panel	”Övrig plast” Termoplaster kan göras om till pellets Bränns och energi+rester (aska) tas om hand
Kisel	Sand	Kvartssand	99,999% renhet	Monokristallin kiseltacka	Solceller	Monokristallint kisel skärs i tunna 15x15 cm stora celler som dopas med bor och fosfor	4 vikt% **0,9 kg**	Samlas in som elskrot som hel panel	Återvinns inte separat, hamnar i plast och/eller glasfraktionen
Övriga metaller	Sulfid-malm	Koppar huvudämne, silver biprodukt	100% Cu, Ag Övriga ämnen också hög renhet	Koppar Silver Bly, tenn Bor, fosfor	Elöverföring Lod för fäste Dopning av kisel för potential-skillnad	Ag printas ut på kiselcellerna för elöverföring Lod används för att fästa elektronik	1 vikt% **0,2 kg Cu** **0,02 kg Ag**	Samlas in som elskrot som hel panel	Återvinning av Cu, Ag och Pb om det inte blir kvar i plast eller glasfraktion

Figur 19. Översikt materialvärdekedjan för monokristallina kiselsolcellspaneler.
Källa: RISE, producerad för denna rapport.

För att skydda solcellerna kapslas de in i film av plast, ofta etylvinylacetat (EVA), som består av kol, syre och väte och vanligtvis tillverkas med fossil olja som grundråvara. Denna plast kan liksom silikon användas för att täta solcellspanelens kanter.

Till största viktandel består en solcellspanel av glas som står emot väder, vind och UV-ljus och därmed fungerar som ett genomskinligt yttre skalskydd för solcellerna. Glaset tillverkas av renad sand (kiseldioxid) och kalksten (kalciumkarbonat) samt salt ur saltvatten där saltet karbonatiseras till soda, kalciumkarbonat. Alla de ingående materialen är vanligt förekommande och kisel är till och med det vanligaste ämnet i jordskorpan (Sveriges Geologiska Undersökningar 2020). Dessa tre beståndsdelar hettas upp till en smälta vid hög temperatur, 1 400–1 500 °C. För att få ett härdat glas kyls glaset ned hastigt och resultatet blir ett hårt glas som när det går sönder går i ”tusen” bitar, i stället för i skärvor. Ett glas skärs till innan det härdas, då det efter härdning är svårare att bearbeta.

Baksidan av en panel kan också bestå av härdat glas, men historiskt är bakstycket av plast. Framåt ser vi dock en trend att även bakstycket görs av glas i större omfattning (Personlig kommunikation, Solkompaniet, 2023-11-01). Plasten behöver vara följsam, beständig mot UV-ljus och klara temperaturväxlingar. Det är vanligt med fluorerade plaster som polyvinylfluorid med varumärken som exempelvis Tedlar, som är både följsamma och hållbara. Dessa plaster har också sitt ursprung i fossil olja, som fluoreras.

En solcellspanels olika lager hålls samman i en ram som oftast är av aluminium, vilket är en förhållandevis lätt metall. Aluminiumramen får ett skyddande naturligt oxidlager som skyddar den mot väder och vind. Primärt aluminium bryts i form av mineralet bauxit, vilket renas och oxideras till aluminiumoxid. Aluminiumoxiden reduceras sedan till ren aluminium i en fluorsaltlösning vid 960 °C (Metallkompetens, u.å.). Aluminium återvinns idag i stor utsträckning och när sekundärt aluminium kan användas krävs bara ca 5 procent av mängden energi jämfört primärt utvunnen aluminium (Råvarumarknaden 2011).

För att få en tät fuktspärr mellan glas och ram samt kring kopplingsdosan där bypassdioder och kablar är infästa, används silikon. Silikon har sitt ursprung ur sand och fossil olja.

2.6 Miljöpåverkan från hantering av uttjänta solcellspaneler

För att förstå vilka möjligheter som finns för solcellspaneler enligt avfallshierarkin är det bra att veta på vilket sätt en solcellspanel kan degraderas eller gå sönder under den tid den används.

2.6.1 Vad händer med en solcellspanel under dess användningstid?

Funktionen i solceller försämras när de används. För den nu dominerande kiselbaserade solcellsteknologin innebär den första tiden med solljus en tydlig försämring, vilket beror på att kvarvarande syre som hittar de indopade boratomerna och binder till dem. Då minskar ledningsförmågan i materialet och man får en så kallad LID (light-induced degradation) som reducerar effekten med en till två procent. Efter denna tidiga försämring sker degraderingen mer gradvis (se avsnittet ”Konstant och definierad livslängd” i avsnitt 2.4.3) med mellan 0,2 och en procent per år. Denna degradering beror på allmän försämring av de olika materialen som ingår i en panel. Till exempel är det vanligt att skyddsplasten som cellerna är laminerade med kan gulna med tiden vilket gör att lite ljus absorberas och blir värme istället för att nå själva solcellen. För storskaliga anläggningar med stor elektrisk potential i strängarna med

sammankopplade paneler i förhållande till jord, kan så kallad PID (potential induced degradation) uppstå. Då börjar de olika materialen i en panel påverka varandra genom läckströmmar med försämring av panelen som följd. (Solar Magazine 2022).

Utöver detta kan yttre mekaniska skador på grund av väder och vind eller hantering uppstå. Om en kristallin solcell får en skada kommer sprickan propagera genom kristallen och till slut förstöra hela cellen. Ytterglaset, bakstycket eller infästningar kan skadas, vilket kan göra att fukt tränger in och solcellerna riskerar att helt sluta fungera. Skadas det härdade ytterglaset kommer det att krackelera i ”tusen” bitar. Det är lätt att förstå att det är viktigt att solcellspanelerna transporteras och hanteras säkert så att det inte uppstår skador redan innan de satts upp. Under transport bör paneler stå på högkant och inte ligga ned, de ska bäras i ramen och aldrig användas som stöd på något sätt – skador på solcellerna syns ofta inte med blotta ögat.

Sammantaget brukar livslängden för en solcellspanel avgöras av hur länge den har använts aktivt. Tillverkarna anger en degradering på 0,5–1 procent effektuttag per år som normalt. Ofta anges en uppskattad siffra på hur många år det tar tills kapaciteten sjunkit till 80 procent av den ursprungliga, vilket brukar anges som solcellspanelens livslängd. Livslängden uppskattas på detta sätt till mellan 20–40 år. Att använda denna uppskattning som solcellspanelens livslängd kan dock ifrågasättas. Det finns ju även andra aspekter, som till exempel vad alternativet skulle vara, dvs eventuell kostnad för att ersätta solcellspanelerna med nya eller använda ett annat energislag som påverkar solcellspanelernas lönsamma användningstid. Annat som kan påverka och kanske korta livslängden är om taket som panelerna är monterade på behöver bytas eller om ett arrendeavtal för mark installerade paneler går ut.

2.6.2 Återanvändning och återvinning

Återanvändning av solcellspaneler är förhållandevis liten och vi har bara hittat något enstaka exempel i Europa där använda solceller monteras i en andra installation. Vi har inte hittat några exempel alls där panelerna återanvänds för andra ändamål, som till exempel byggnadsmaterial eller liknande.

Återvinning av solceller inom EU regleras i WEEE-direktivet och solcellspaneler samlas in som elskrot. För att materialåtervinningen ska bli så effektiv som möjligt är det bra om panelerna hanteras varsamt ända fram till den faktiska återvinningsstationen. Att ta bort aluminiumramen från panelen är ofta relativt enkelt och det finns upparbetade kanaler för återvinning av aluminium. Bakstycket, en plastfilm, kan ibland avlägsnas. Plastfilmen kan då sorteras efter plasttyp och återvinnas. Är den av en fluorerad polymer sorteras den som övrig plast och är den av så kallad termoplast kan den bli till små pellets och sedan återanvändas som material till nya produkter. Fluorerade plaster bränns för att dels återvinna energin i materialet, dels ta om hand fluoret på ett säkert sätt. Fluorinnehållande organiska föreningar kallas ofta PFAS (per- och polyfluorerade alkylsubstanser) vilket är kemiska föreningar som inte bryts ner så lätt i naturen och som kan påverka levande organismer negativt.

Sedan blir det svårare: solcellerna ligger skyddade i plastlager av EVA (etylvinylacetat) och detta lager sitter fast i skyddsytan av härdat glas. När dessa ska separeras från varandra är det lätt att glaset spricker. Idag är det vanligt att dessa lager krossas tillsammans för att sedan skilja fraktionerna åt. Krosset separeras i fraktioner av metall (koppar och silver) samt kross av härdat glas och kisel. Det finns tekniker på forsknings- och utvecklingsstadium för att skala av solcellspanelen lager för lager och den teknik som ligger närmast storskalig användning använder delaminering med hetknivsteknik (se 2.6.3) för att skilja lagren åt. Den tekniken innebär att en het kniv eller skärtråd förs mellan glas och skyddsplast och på så vis skärs de isär.

För metallerna finns det upparbetade kanaler för att återvinna och återanvända. Plasten bränns och energin tas till vara. Glaset och kislet däremot används oftast som fyllmassa då det är ett stabilt, inert material som inte avger ämnen till kringliggande jord. Är glaset tillräckligt rent kan det även bli sekundär råvara som smälts om till nytt glas. Det förekommer också att det härdade glaset mals och blir en råvara till mineralull (Glasbranschföreningen u.å.).

2.6.3 Fördjupning om återvinningstekniker

I en litteraturstudie över processer för återvinning av solcellspaneler av kisel på lab- och pilotskala beskriver Deng et al (2022) att högvärdig återvinning normalt sett omfattar fyra steg: demontering, delaminering, sortering och materialutvinning. Vid demonteringen avlägsnas aluminiumramen från solcellspanelen. Delamineringen öppnar upp panelens lager, är den svåraste delen i återvinningen och inverkar på metodens komplexitet, emissioner och kostnader. Sorteringen och återflödet, som är nyckeln till en hög återvinningsgrad, separerar material i olika grupper för att möjliggöra ett effektivt nästa steg, materialutvinning (lakning och metallutvinning), där olika metoder, ofta med hjälp av kemikalier och energi, används för att få fram en ren slutprodukt. Stegen enligt Deng, et al (2022) beskrivs under punkterna nedan.

- **Demontering.** Aluminiumramen är den ekonomiskt mest fördelaktiga delen att återvinna, vilket också kan minska klimatpåverkan från solcellspaneler med tolv procent. Den kan avlägsnas manuellt eller automatiskt, exempelvis med en teknik från NPC Incorporated med en hastighet om 40 sekunder per panel.
- **Delaminering.** Det finns termiska, kemiska och mekaniska metoder för delaminering av panelen.
  - **Termisk delaminering** bryter ner tvärbundet EVA till flyktiga ämnen. Glas, solceller och metalliska strömledare släpper från varandra. Pyrolys över 480 °C ger upphov till kondensat och kol, men också giftiga gaser. En svagt oxiderande miljö och cirkulerande gasflöden i pyrolysreaktorn kan möjliggöra fullständig nedbrytning av produkterna från pyrolysen och därmed resultera i rena, kolfria solceller. Metoden är emellertid energiintensiv och dyr i jämförelse med andra, och kräver förbättrad energieffektivitet, värmeåtervinning och hantering av giftiga gaser före storskalig implementering. Endast dessa termiska metoder kan ge hög återanvändning av kisel.
  - **Kemisk delaminering** löser upp det inkapslade limmet med organiska eller oorganiska lösningsmedel. Endast ett fåtal organiska lösningsmedel kan lösa upp tvärbundet EVA och då vid höga temperaturer (kokpunkten) och lång exponeringstid. Mikrovågor och superkritiskt CO_2 kan öka lösligheten och snabba på reaktionerna. Metoden ger glas med hög renhet som kan användas direkt i glasgjutning, och kan ge möjlighet att återanvända kisel och silver, men användningen och kvittblivningen av organiska lösningsmedel är problematisk. Den är dessutom dyr.
  - **Mekanisk delaminering** är den vanligaste metoden och syftar till att fysiskt bryta upp fogen mellan olika material utan att kemiskt förstöra EVA-lagren. Här ingår fragmentering (strimla, krossa, mala, slipa), kontaktfri fragmentering, klippning ('cutting') och skalning ('peeling'). Klippning med vattenjet skrapar bort silikonlagren med EVA medan panelglaset hålls intakt och rent, varefter den fragmenterade solcellen och EVA-blandningen omhändertas för att sorteras och extraheras för återvinning av värdefulla material. Nyligen har krossning med högspänning ('high voltage crushing', HVC, också kallad elektrohydraulisk fragmentering, EHF) provats på solceller. Metoden, som är ett alternativ till krossande förbehandling, är kontaktfri, ger högre återvinningsgrad och är mer selektiv med avseende på material än vanlig krossning.

I stället för att ta sönder hela panelen finns det andra mekaniska metoder som avlägsnar lager, till exempel hetknivstekniken, som kan kategoriseras som termo-mekanisk. I denna upphettas panelen eller kniven till 200 °C för att mjuka upp EVA-lagret. Bladet sticks in i det mjuka lagret och separerar glaset intakt. NPC har utvecklat kommersiella metoder med helautomatiserad teknik både för paneler med trasigt och med helt glas. Uppvärmning av panelen till 150–200 °C smälter/mjukar upp bakstyckets plastfilm och gör det möjligt att ”skala av” det. Mekanisk delaminering var den teknik som implementerades i världens första specialiserade återvinningsanläggning för kisel-baserade solcellspaneler i Frankrike (Deng et al., 2022), en anläggning som invigdes 2017 och som ägs av Veolias dotterbolag Triade. (IEA PVPS Task 12 PV Sustainability, 2022)

- **Sortering och återflöde.** Delaminerat material sorterad i fraktioner baserat på material-egenskaper till exempel densitet, elasticitet, optisk genomsläpplighet och elektrostatiska egenskaper. Material som inte blivit tillräckligt delaminerat återcirkuleras för att gå igenom delamineringen en gång till.
- **Materialutvinning (lakning och metallutvinning).** Det metallrika materialet lakas för att utvinna silver och koppar, vilket görs mest effektivt med 35-procentig salpetersyra. Andra lakningsmedel som kan återanvändas är tänkbara, mer resurseffektiva alternativ. Kisel med hög renhet kan också lakas ut och återanvändas i solcellstillverkning. Silver fälls ut eller elektrolyseras från lösningen som pH-justeras för att få effektivt utbyte. Pyrometallurgiska processer används för att återvinna koppar, tenn och bly från metal-liska strömledare.

Den enda komponent som ännu inte går att materialåtervinna är det fluorerade bakstycket. Det innehåller polymerer som inte kan separeras och måste därför förbrännas eller deponeras. PET är ett alternativt material som kan återvinnas till monomerer genom glykolys, men dess beständighet behöver verifieras i utomhustester (Deng et al., 2022).

2.6.4 Avfallshierarkin applicerad för solcellspaneler

Tar vi en titt tillbaka på avfallshierarkin i avsnitt 1.2.1 och applicerar den på solcellspaneler kan vi notera följande.

- **Förebyggande (100 procent)**

  Solcellspaneler har en beräknad livstid på 20–40 år tills de har en kapacitet på 80 procent av den ursprungliga kapaciteten. Denna livslängd är av samma storleksordning som för ett plåttak, även om dessa beroende på väderförhållandena kan hålla betydligt längre än så. Det går också att ifrågasätta den beräknade livstiden, som förmodligen kan vara längre om lägre kapacitet än 80 procent av ursprunglig kapacitet kan accepteras.

  Jämfört med många typer av elektronik är 20–40 år en lång livstid och den växelriktare som kopplas till solkraftsanläggningen har ofta en livslängd på 10–15 år. En ägare av en solcellsanläggning kan alltså räkna med att byta ut växelriktaren minst en gång under systemets livstid (Energimyndigheten 2015). Vid byte av växelriktaren finns en risk att ägaren även byter sitt system av solcellspaneler i förtid, särskilt om ny teknik med högre prestanda finns tillgänglig på marknaden.

  Det finns även vägledningar för hur solcellsanläggningar underhålls på ett bra sätt (Energikontor Syd & RISE 2023). Det görs bland annat genom att besiktiga installationen samt ta fram och följa en drifts- och underhållsplan.

  Vi har därför valt att sätta den här kategorin till 100 procent, dvs alla dagens solcells-paneler är designade för en lång tids användning. Vi ser också att utvecklingen går mot längre användningstider.

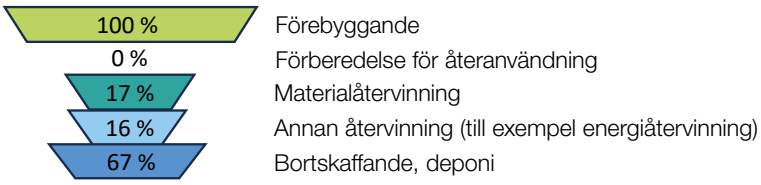
- **Förberedelse för återanvändning (0 procent)**
  Vi hittar få exempel i Europa på återanvändning av solcellspaneler och ingen av dem i Sverige och vår bedömning är att inga dvs 0 procent av solcellspanelerna hamnar i denna kategori Idag är det mer kostnadseffektivt att köpa nya paneler. Framåt i tiden skulle det kunna finnas möjlighet för en andrahandsmarknad för nedplockade paneler som kan återanvändas som solcellspaneler i en andra installation. För att det ska ske behöver det finnas tydliga mättekniker för att kontrollera kapacitet och skick av de nedtagna panelerna. Även glas och aluminiumramar borde kunna återanvändas, kanske som byggelement.

  För nedan använda procentsatser jämför tidigare avsnitt i denna rapport om material-värdekedjorna.
- **Materialåtervinning (17 procent)**
  Idag är det främst metallinnehållet av aluminium och övriga metaller så som koppar och silver som materialåtervinns. Det beror dels värdet av dessa material, dels metallers egenskaper som gör dem relativt enkla att få tillbaka i de kvaliteter som krävs för att kunna användas igen. Ett ungefärligt metallvärde i oktober 2023 (Grundämnen u.å.) för vår exempelsolcellspanel (se 2.4.1) ger att 3,2 kg aluminium á 24 kr/kg + 0,2 kg koppar à 87 kr/kg samt 0,02 kg silver à 8 127 kr/kg ger ett ungefärligt metallvärde på 100 kr per solcellspanel.

  Övriga fraktioner materialåtervinns inte eller i liten mängd idag. Det skulle förändras om glasfraktionen skulle kunna hållas ren från solcellerna och dess skyddande plastskikt. En renare glasfraktion skulle kunna användas till nya glasapplikationer.
- **Annan återvinning (t.ex. energiåtervinning) (ca 16 procent)**
  Plast och -kiselfraktionerna energiåtervinns genom förbränning där energi, rökgaser och askor tas om hand.
- **Bortskaffande, deponi (ca 67 procent)**
  Det härdade glaset krossas och läggs på deponi. I glaskrosset kan det finnas med krossade solceller främst i form av kisel.

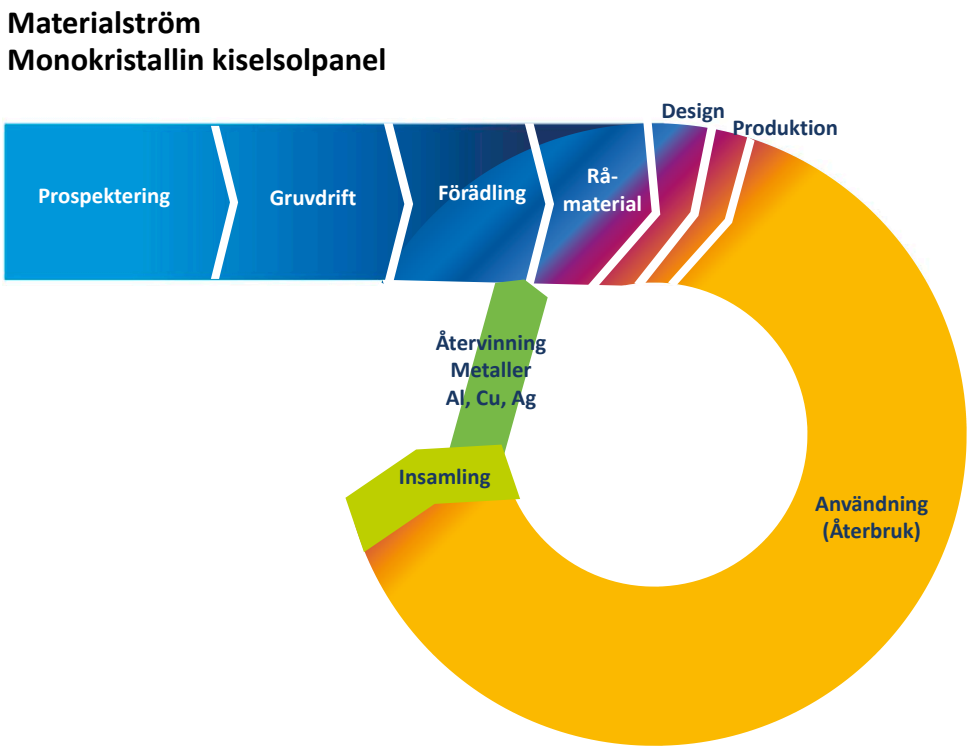
De kvantifierade andelarna ovan kan summeras i bildform motsvarande en avfallshierarki-”triangel” vilket visas i Figur 20.

Avfallshierarkin för solpaneler



Figur 20. Avfallshierarkin applicerad för solcellspaneler.
Källa: RISE, producerad för denna rapport.

Den cirkulära hanteringen av solcellspaneler åskådliggörs i Figur 21, där endast metallerna återgår till värdekedjan som sekundära material.



Figur 21. Så cirkulär är hanteringen av solcellspaneler i Sverige baserat på ovan resonemang. Endast metallerna materialåtervinns.

Källa: RISE, producerad för denna rapport.

Miljöpåverkan från hantering av förbrukade solcellspaneler

International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme (IEA PVPS) Task 12 PV Sustainability (2018) genomförde livscykelanalyser för de vid den tiden förekommande återvinningsmetoderna för solcellspaneler av kristallint kisel och CdTe (tunnfilmssolceller). Författarna konstaterade att eftersom avfallsströmmarna fortfarande är begränsade så behandlas solcellspaneler med kristallint kisel i anläggningar som är avsedda för återvinning av laminerat glas, metall eller elektronikavfall. Endast bulkmaterialen (glas, aluminium och koppar) återanvänds, medan cellerna och annat material (exempelvis plast) förbränns. CdTe-paneler har däremot länge hanterats i speciella återvinningsanläggningar, där halvledare, glas och koppar återanvänds. Modelleringen av livscykelanalysen görs på två sätt: en så kallad ”cut-off”-metod, där miljöpåverkan från återvinningsprocessen fördelas mellan hanteringen av den förbrukade solcellspanelen och de återanvända produkterna baserat på deras ekonomiska värde (så kallad ekonomisk allokering), och en så kallad ”end-of-life”-metod som beräknar miljöpåverkan från återvinningsprocessen skilt från de utsläpp man potentiellt kan undvika genom att använda återvunnet material. Data för återvinning av solcellspaneler av kristallint kisel kommer från fyra europeiska återvinnare 2015–2016, medan data för återvinning av CdTe baseras på publika data från First Solars anläggning i Tyskland 2014 och 2016. Miljöpåverkan analyserades för sex miljöpåverkanskategorier, bland annat klimatpåverkan, som konstaterats relevanta för el producerad från solkraft. Cut-off-metoden ger att återvinningen av kiselbaserade solcellspaneler står för ungefär en procent av klimatpåverkan från produktionen och installationen av solcellsanläggningar på sluttande tak. Motsvarande värde för CdTe är knappt fem procent. ”End-of-life”-metoden ger en bedömning av de miljömässiga fördelarna från återvinning: återvinningen av glas, metaller och halvledarmaterial från båda typerna av paneler ger lägre miljöpåverkan än motsvarande primära källor.

Majewski et al (2021) rapporterar att klimatpåverkan från en återvinningsprocess som utvecklats till en pilotanläggning inom projektet FRELP och som omfattar termomekaniska metoder, lakning och elektrolys, uppgår till 370 kg CO_2eq per ton solcellspanelsavfall (motsvarande tolv kg CO_2eq per panel à 20 kg), där transporter, förbränning och metallåtervinning utgör ungefär en tredjedel vardera. När det gäller metallåtervinningen hade den också stor påverkan på övergödning, försurning, bildning av fotokemiskt ozon och partiklar (någon jämförelse med utvinning av primär råvara gjordes inte). Förekomsten av polymerer, varav några ofta är fluorerade, i solcellspanelen ger oönskad miljöpåverkan vid återvinning av avfall från solcellspaneler. (Majewski et al, 2021)

Delaminering med hetknivstekniken, som alltså separerar frontglaset på solcellspaneler av kristallint kisel från bakstycket med hjälp av en het kniv, utvärderas i en livscykelanalys från IEA (IEA PVPS Task 12 PV Sustainability, 2023). Data i studien kommer från tillverkare av hetknivsteknik via en enkät och representerar år 2018. Även i denna studie görs modellerna på två sätt, med så kallad cut-off-metod och med en så kallad end-of-life-metod (se första stycket i detta kapitel), och miljöpåverkan analyserades för sex kategorier. End-of-life-metoden visar på de potentiella miljöfördelarna från användning av återvunnet material jämfört med delamineringstekniken. Den funktionella enheten är 1 kg ramad solcellspanel med kiselteknologi vid installationsplatsen. För att komplettera livscykeln hämtades data för produktion och installation av solkraftssystemet från databasen som tillhandahålls av IEA PVPS Task 12 (uppdaterad 2020). Ett viktat genomsnitt för globalt installerad kapacitet av multi- och monokristallina kiselbaserade solcellspaneler 2018 användes. För andra processer användes det schweiziska miljö-, transport-, energi- och kommunikationsdepartementets LCI-databas DQRv2:2022. Hetknivstekniken är automatiserad i en demonteringslina som består av en enhet som avlägsnar kopplingslådan (varefter kablar tas bort från kopplingslådan), en enhet som tar bort ramen och en enhet som separerar glaset från resterande laminat med hetkniv. Kopparkablar och laminatet (cellen i EVA och bakstycke) säljs till en extern återvinningsanläggning, där plasterna bränns och koppar och silver återvinns. Den externa återvinningsanläggningen, återvinningen av koppar och silver, samt eventuella undvikna utsläpp ingår inte i livscykelanalysen. Påverkan från de tre demonterings- och delamineringsstegen fördelas mellan avfallsbehandlingen och material/komponenter som återanvänds utifrån deras ekonomiska värde (ekonomisk allokering). Författarna konstaterar att hetknivstekniken står för en väldigt liten andel av miljöpåverkan från en solkraftsanläggning på 3 kWp monterad på ett sluttande tak i Europa. Det största bidraget från delamineringen observeras för klimatpåverkan, huvudsakligen orsakad av transportlogistik (insamling av solcellspaneler och leverans till hetknivsanläggningen) och elanvändning (IEA PVPS Task 12 PV Sustainability, 2023).

2.6.5 Diskussion och kommentarer till material i solcellspaneler

Nedan är några punkter som är värda att notera och diskutera vidare kring för materialvalen i solcellspaneler.

- Rätt plast på rätt plats? I solcellspanelerna används idag ofta bakstycken av fluorerade plaster. De har fördelen av att vara lätta och beständiga, men samtidigt finns risken att de avger fluorerade kolföreningar, så kallade PFAS (per- och polyfluorerade alkylsubstanser) som är föreningar som bryts ner långsamt i naturen och där tillåtna utsläppshalter är mycket låga. Dessa bakstycken bör ersättas med andra material som t.ex. annan typ av plast eller glas.
- Glasfraktionen skulle kunna materialåteranvändas i högre grad om den kunde hållas ren. Flera av de vi talat med förutspår att det i framtiden kan bli brist på glas, då dagens kiseldioxidtäkter kommer att tömmas. Om glaset i solcellspanelerna kan skiljas ut till en ren glasfraktion, kommer detta återvunna glas ha ett värde.

- Idag importeras de flesta solcellspaneler till Europa. För att påverka utformningen av och informationen om dem, har EU tagit fram förslag till nytt ekodesignregelverk specifikt för solcellspaneler (European Commission, 2022b). I detta finns bl.a. förslag om innehållsförteckning över ingående material. (Se vidare i avsnitt 2.9.2).
- Vi har inte tagit upp solceller av andra och tredje generationen i denna analys. I dessa består de aktiva skikten av ytterst tunna skikt av olika metallkombinationer. För att kunna materialåtervinna dessa ytterst små mängder behövs tekniker som specifikt kan fokusera på dem. Idag används och utvecklas lakningstekniker där man på kemisk väg kan återvinna metaller som silver och indium (Teknetzi et al., 2023) och det finns kommersiella anläggningar för tunnfilmssolceller av CdTe-typ i Tyskland, USA och Malaysia.

2.7 Aktörskedjor och aktiviteter i Sverige

Idag kommer de allra flesta solcellspaneler som installeras i Sverige från Kina eller Sydkorea och den helt dominerade solcellstypen är monokristallina kiselsolceller. Kina har 70–80 procent av världsmarknaden. I och med att de allra flesta solcellspaneler importeras, väljer vi också att fokusera på aktörskedjorna från att dessa paneler ommer till Sverige, dvs faserna Användning och Återbruk (det senare används här synonymt med återanvändning), Insamling och Materialåtervinning. I Figur 22 illustreras materialkedjans aktörer för solcellspaneler av monokristallint kisel.

2.7.1 Aktörer i användningsfasen

Det finns idag några svenska företag som tillverkar solcellspaneler, men dessa är tillverkade med tunnfilmsteknik och eftersom dess andel av installationerna än så länge är så pass liten går vi inte närmare in på det här även om aktörsformationen när det kommer till användning, insamling och materialåtervinning är relativt lika.

Producentansvarsorganisation

I förordningen (2022:1276) om producentansvar för elutrustning finns regler om producentansvar för elutrustning, däribland solcellspaneler (se vidare i avsnitt 3.4). I praktiken är det således importörerna av solcellspaneler som är att anse som producenter i lagens mening. Innan en producent tillhandahåller en konsumentelutrustning på den svenska marknaden ska producenten enligt 39 § anlita eller själv tillhandahålla en producentansvarsorganisation som åtar sig att ta hand om producentens elutrustning när den blivit avfall. Tanken med systemet är att producenten betalar en ersättning till producentansvarsorganisationen som sedan finns tillgänglig för att finansiera omhändertagandet av konsumentelutrustning den dagen den blivit avfall. Enligt flera av de vi har intervjuat i branschen förekommer det missförstånd i klassningen som konsument- eller annan elutrustning och det beskrivs att syftet med panelerna väger tungt för vilken kategori som elutrustningen anmäls i. För annan elutrustning är det istället producenten själv som ska ta hand om avfallet som uppstår, vilket är en särskild utmaning med tanke på den långa livslängd som kan förväntas av solcellspaneler.

Oftast är det en grossist som importerar solcellspanelerna till Sverige och som har avtal med en eller båda producentansvarsorganisationerna som finns i Sverige för elutrustning, El-Kretsen och/eller Recipo. El-Kretsen tar betalt per kilo solcellspanel. För de flesta produkter använder de principen ”Pay as you go”, dvs att det som betalas in för produkter som kommer till Sverige idag betalar för insamling och återvinning för de produkter som tjänat ut idag. Modellen fungerar fint för produkter med några års livslängd, men har större risker när produktens livslängd är 25–30 år och när nyförsäljningen ökar kraftigt från ett år till nästa. Pengarna som kommer in för solcellspaneler idag fonderas för att finnas tillgängliga i framtiden när dessa har tjänat ut.

Materialkedjans aktörer i Sverige, monokristallin kiselsolpanel

Material	Prospekt-ering	Gruvdrift	Förädling	Råmaterial	Design	Produk-tion	Användning Återbruk	Insamling	Material-återvinning
Mono-kristallin kisel-solpanel	Kina har störst andel av världsmarknaden, ca 70-80%, för monokristallina kiselsolceller. Andra stora leverantörer är från SydKorea och Kanada.						**Grossist** **Producentansvarsorg.** **Kommun** **Återförsäljare** **Installatör** **Elnätsföretag** **Energimyndigheten** **Användare**	**Användare** **Installatör** **ÅVC** **Producentansvarsorg.**	**Demonterare** **Materialåtervinnare** **Materialköpare** **Energiutvinning** **Deponi** **Producentansvarsorg.** **Naturvårdsverket**

- Grossist köper in solpanelen till Europa, Sverige.
- Grossister av konsumentelektronik har avtal med en svensk producentansvarsorganisation och registrerar och betalar en avgift för framtida återvinning till dem.
- Användaren ansöker om bygglov hos kommunen om det behövs.
- Grossisten säljer till återförsäljare i Sverige. Många av dem är även installatörer, som installerar solpanelssystem.
- Elnätsföretaget registrerar installationen hos Energimyndigheten.
- Användaren använder sitt installerade system mellan 15-45 år.
- Användaren beslutar sig för att ta ner sina solpaneler – alla solpaneler eller vissa som gått sönder.
- Installatör monterar ner dem.
- Installatör tar dem till en återvinningscentral, ÅVC, där de samlas in som elavfall enligt WEEE-direktivet. Större mängder kan ibland köras direkt till återvinnare.
- Producentansvarsorganisationen fördelar insamlat elavfall för omhändertagande.
- Demonterare och materialåtervinnare är ofta samma företag i Sverige. De tar emot solpanelerna som del av strömmen för elavfall och återvinner dem. Om särhantering sker, skickas panelerna ofta packade pallvis ner till återvinningsanläggningar i Europa.
- Materialåtervinning sker av metallerna till vilka det i dag finns en väletablerad marknad.
- Det material, som det idag inte finns en marknad för, förbränns för energiåtervinning, används som fyllmassa eller läggs på deponi.
- Återvinnaren redovisar sin återvinningshantering till producentansvarsorganisationen, som i sin tur rapporterar till Naturvårdsverket.

Figur 22. Översikt aktörer och aktiviteter i respektive fas i Sverige. Rapportering är indikerat med en grå papperssymbol.
Källa: RISE, producerad för denna rapport.

Bygglov och samråd enligt miljöbalken (1998:808)

Enligt 9 kap. 3 c § plan- och bygglagen (2010:900) krävs det, med vissa undantag såsom om kommunen bestämt annat eller solcellsanläggningen äventyrar värden av historisk, kulturhistorisk, miljömässig eller konstnärlig synpunkt, inte bygglov för att på en byggnad montera solcellspaneler som följer byggnadens form även om byggnadens yttre utseende påverkas avsevärt. Vinklade paneler kan således enligt huvudregeln, enligt 9 kap. 2 §, kräva bygglov inom detaljplanelagt område om byggnadens yttre utseende avsevärt påverkas. Det är normalt användaren som ansöker om bygglov hos kommunen.

För anläggningar, oftast större solcellsparker, som kan komma att väsentligt ändra naturmiljön, skall anmälan för samråd göras hos Länsstyrelsen enligt 12 kap. 6 § miljöbalken (1998:808). Länsstyrelsen kan besluta om försiktighetsmått eller förbud mot verksamheten.

Installatörer

De flesta slutanvändare köper och äger sin solcellsanläggning, även om det finns exempel på företag som hyr/leasar ut solcellsanläggningar. Återförsäljare och installatörer finns ibland i samma bolag och ibland i separata företag och slutanvändaren köper in solcellsanläggningen och installationen av ett och samma företag eller olika företag. Via branschföreningen Svensk Solenergi kan installatörer certifiera sig som montörer för just solcellssystem (Svensk Solenergi u.å.-b). Kommer anläggningen bli nätansluten ska en föranmälan skickas in till det aktuella elnätsföretaget (Energiföretagen & Svensk Solenergi 2021). När installationen är klar och om den är nätansluten, färdiganmäls den till elnätsföretaget. Elnätsföretaget rapporterar sedan in statistik som presenteras av Energimyndigheten. Denna rapportering sker årligen med avseende på total installerad solkraftseffekt och antal anläggningar per kommun i tre olika effektintervall: mindre än 20 kW, 20–1 000 kW och över 1 000 kW (Energimyndigheten 2023c).

Med allt installerat och klart används solcellspanelerna sedan i uppskattningsvis runt 30 år. Tekniken är ännu så pass ny att ingen ännu vet hur länge systemet håller i vårt svenska klimat. Under användningen finns det delar av systemet som kommer att behöva bytas ut, till exempel växelriktaren som har en förväntad livslängd på ungefär 15 år. Vid ett sådant byte kommer förmodligen solcellspanelsägaren även fråga sig om det bara är växelriktaren som behöver bytas ut eller om det även är dags att byta solcellspaneler.

I Sverige finns det idag ingen marknad för begagnade solcellspaneler och detta gäller också i de flesta andra länder. Vi har endast kunnat hitta ett fåtal exempel på återbruk i Tyskland och Frankrike (se avsnitt 2.8). Det beror förmodligen dels på att solcellspaneler som teknik är en relativt ny företeelse, dels på att nya solcellspaneler är relativt billiga jämfört övriga kostnader i form av kringutrustning, transport och installation och att inköp av billigare solcellspaneler kan behöva ställas mot dyrare men mer effektiva moderna paneler.

2.7.2 Aktörer i insamlingsfasen

Det är slutanvändaren som tar beslut om att panelerna har tjänat ut. Nedmontage eller byte av paneler görs normalt av installationsföretag på ägarens beställning men arbete som inte kräver elbehörighet kan genomföras av annan. Är det någon enstaka panel som tjänat ut lämnas den till en återvinningscentral som del av elskrotsinsamlingen. Är det ett större antal, kan dessa köras direkt till en återvinningsanläggning, vilket kan ombesörjas av en producentansvarsorganisation.

De solcellspaneler som lämnas till en återvinningscentral (ÅVC) läggs i elskrotsfraktionen ”diverse elektronik” och fördelas till en återvinnare genom El-Kretsens försorg. El-Kretsen har genom ett anbudsförfarande tagit in anbud från återvinnare i Sverige och fördelning sker beroende på distans mellan ÅVC och återvinnare samt antagna anbud. Är det en större mängd solcellspaneler kan de skickas vidare packade på pall, men är det bara någon enstaka får de ligga tillsammans med andra uttjänta elprodukter i ”diverse elektronik”-fraktionen. Idag är kostnaden för insamling och transport större än kostnaden för själva återvinningen. (Personlig kommunikation, intervju med El-Kretsen november 2023).

Om el-utrustningen inte är anmäld som konsumentelutrustning är det istället producenten som ska ansvara för att ta omhand om solcellspanelerna.

2.7.3 Aktörer i materialåtervinningsfasen

Producentansvarsorganisationen fördelar ut insamlade solcellspaneler till återvinnare. Solcellspanelerna ingår i fraktionen ”diverse elektronik” och en förenkling som görs av El-Kretsen och mottagande återvinnare är att innehållet i fraktionen beskrivs genom en schablon. Schablonen uppdateras kontinuerligt för att så väl som möjligt motsvara ett genomsnittligt innehåll. Skulle det vara någon sändning som markant avviker från schablon-innehållet, kan både El-Kretsen och återvinnaren påpeka det och en specialräkning av skrotinnehållet kan göras.

Det finns även påbörjade diskussioner om återvinnare som skulle kunna specialisera sig på just solcellspaneler och som idag inte hanterar elskrot. Det skulle i så fall kräva att solcells-panelerna sorteras ut ur elskrotet och särbehandlas. Brytpunkten för när mängden av en viss vara är tillräckligt stor för att kunna bära kostnader för dedicerad återvinning beror på anläggningskostnad och -effektivitet, marknaden för återvunna materialfraktioner och deras kvalitet, bidrag från t.ex. staten, samt på mängden solcellspaneler. En grov uppskattning baserad på de intervjuer vi har genomfört är att det behövs ett inflöde på minst 5 000 till 10 000 ton solcellspaneler per år för att ekonomiskt hållbart bygga och driva en dedicerad anläggning för solcellspanelsåtervinning. Redan under år 2018 installerades över 10 000 ton solcellspaneler i Sverige (givet antagande om effekt på 340 Wp och en panelvikt på 20 kg) och den årliga installationen har sedan dess ökat. Om panelernas livslängd är 30 år bör den årliga mängd av paneler som är redo för materialåtervinning och som skulle möjliggöra en dedicerad anläggning kunna finnas från år 2048 och framåt (se Figur 18 och Bilaga 2).

Idag är det materialåtervinnaren som också demonterar solcellspanelen. Den demontering som sker för närvarande är att elektronik i form av kablar och kopplingsdosa tas bort. Allvarligt skadade paneler följer med den generella elskrotsströmmen för återvinning medan sär-behandling kan ske om glaset är något så när helt. Då kan panelerna skickas på pall till en dedicerad återvinningsanläggning i Europa. Några av de svenska återvinnarna tillhör större koncerner med anläggningar i flera länder och har den möjligheten. Om det görs eller inte beror på ekonomiska ställningstaganden, som till exempel kostnad för transport och om det finns en marknad för de återvunna fraktionerna. Det idag vanligaste förfarandet är att demonteringen fortsätter lokalt och att aluminiumramen bryts av och att aluminiumet går vidare till återvinningsströmmen för aluminium. Finns det ett bakstycke av plast förbränns det för att ta till vara dess energi samt på ett kontrollerat sätt fånga in de fluorerade kolvätena. Det övriga som återstår, det vill säga inplastade solceller och glas, krossas. Glaset med sol-cellerna krossas och krosset skickas till smältverk för återvinning av koppar och silver. Glas och kisel hamnar då i en restfraktion, slagget, vilket sedan deponeras och/eller används som fyllmassa i till exempel bullervallar.

Om en högre återvinningsgrad ska kunna åstadkommas är det således troligt att en eller flera dedicerade återvinningsanläggning i vårt närområde vore att föredra.

Återvinnare som tar emot elskrot via El-Kretsen redovisar kontinuerligt antal kilo mottaget elskrot digitalt som en del i El-Kretsens logistiklösning. Årligen redovisar återvinnarna till El-Kretsen hur mottaget elskrot har hanterats och vilka och i vilken mängd i kilo dessa material har återvunnits. El-Kretsen redovisar sedan sammanställda siffror till Naturvårdsverket.

2.7.4 Diskussion och kommentarer till aktörskedjan i Sverige

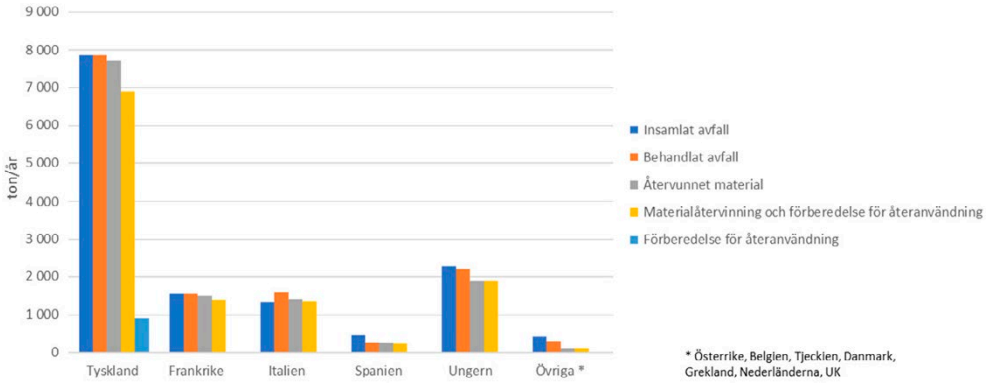
Nedan är några punkter som är värda att notera och diskutera vidare kring för aktörskedjan för solcellspaneler i Sverige.

- Det finns idag flera instanser som tar emot information om solcellspaneler innan och i samband med att de sätts upp, men denna information innehåller inte materialspecifik information.
- Producentansvarsorganisationer är de som agerar i alla tre faserna Användning (återbruk), Insamling och Återvinning.
- Solcellspaneler är ofta stora, 1 x 1,7 m^2 eller mer, vilket lämpar sig väl för utsortering i ett eget flöde (om de bara var fler än idag).
- Om det kopplat till varje solcellspanel fanns information om ursprunglig producent och om medel betalats in till en producentansvarsorganisation, skulle det tydliggöra ansvaret för återvinning när panelen tjänat ut.
- Sveriges del av aktörskedjan börjar när solcellspanelerna anländer till Sverige. Så gott som alla solcellspaneler importeras och det är Kina som är det största tillverkningslandet. Förutom beroende till dessa leverantörer, deras prissättning m.m. påverkar det ju också om material från solcellspaneler som återvinns i Sverige ska kunna bli till nya solcellspaneler. Finns ingen inhemsk industri kommer ett beroende till de asiatiska leverantörerna och deras vilja att köpa materialet för att använda till nya solcellspaneler. Om det inte blir ekonomiskt hållbart för dem att köpa in det återvunna materialet från de i Sverige använda solcellspanelerna kan materialet ändå komma att återanvändas till andra applikationer. Det är bättre än att det deponeras eller deponeras, men det blir inte en helt cirkulär hantering av solcellspanelerna som innebär att material från gamla solcellspaneler blir till nya solcellspaneler.

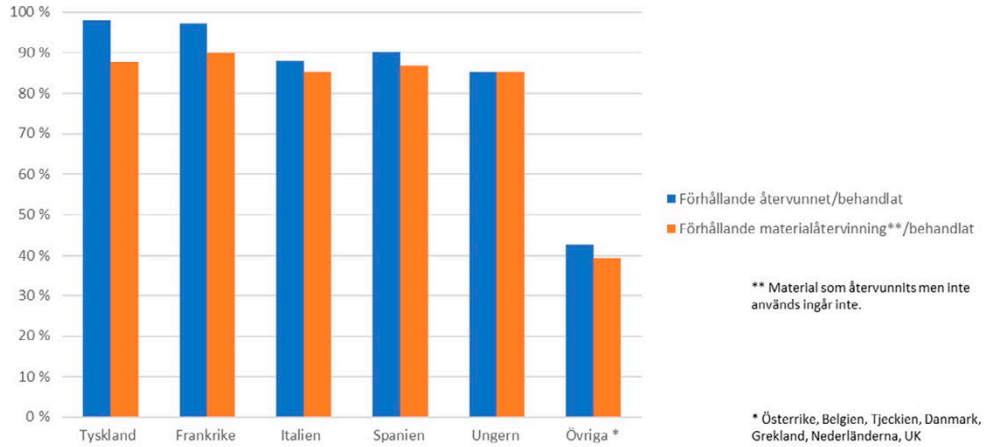
2.8 Återvinning av solcellspaneler i andra länder

Deng et al (2022) refererar till en studie genomförd av EU-kommissionen (European Commission, 2020) som granskar hur WEEE-direktivet genomförts i EU-länderna. Studien fann 26 anläggningar som hanterar förbrukade solcellspaneler, men att endast två uppfyllde kraven som sätts i branschstandarder från CENELEC (the European Committee for Electrotechnical Standardization) om insamling, logistik och behandling av och för förberedelse för återanvändning av avfall som utgörs av eller ingår I elektrisk eller elektronisk utrustning (CLC/EN 50625-4:2017).

I Figur 23 och i Figur 24 redovisas volymen solcellspanelsavfall respektive återvinningsgrader i några EU-länder 2018 (IEA 2022). Av de kartlagda länderna hade Tyskland utan jämförelse de största mängderna; solcellsmarknaden utvecklades tidigt där och vissa anläggningar har redan nått slutet av sin livslängd. Återvinningsgraderna låg i linje med målen för WEEE-direktivet (Tyskland något högre) utom för gruppen ”övriga länder” med små mängder solcellspanelsavfall, där systemen för omhändertagande av förbrukade solcellspaneler 2018 troligen var relativt outvecklad. Baserat på solcellspanelernas sammansättning (med glas motsvarande två tredjedelar av panelernas vikt) är det tydligt att man i denna sammanställning gjort en annan tolkning av vad materialåtervinning innebär än vi gjort i denna rapport. Givet att glas räknas läggs på deponi och inte återanvänds för nyproduktion av glas hade materialåtervinningsgraden annars inte kunnat vara så hög.



Figur 23. Avfallsvolymer i form av solcellspaneler under WEEE-direktivet i Europa 2018.
Källa: (IEA 2022), producerad av RISE för denna rapport.



Figur 24. Återvinningsgrader under WEEE-direktivet i Europa 2018. Blå staplar visar andelen solcellspaneler som bedöms ha gått till återvinning av de som behandlats, orange staplar hur stor andel av de behandlade delarna som materialåtervunnits.
Källa: (IEA 2022), producerad av RISE för denna rapport.

I IEA (2022) görs en genomgång av solcellspanelsavfall och tekniker för hantering av detta i ett antal av organisationens medlemsländer. Denna studie och andra källor ligger till grund för nedanstående översikt fördelad över avsnitt 2.8.1 till 2.8.10.

2.8.1 Tyskland

Alla solcellspaneler som sätts på marknaden måste registreras hos producentansvarsorganisationen för avfall som utgörs av eller ingår I elektrisk eller elektronisk utrustning Stiftung Ear och erhåller ett registreringsnummer (Stiftung elektro-altgeräte register Ear, u.å., Ear-Portal, u.å.). I Stiftung Ears webportal ska även kommuner, organisationer som återtar eller handlar med förbrukade solcellspaneler, insamlare och avfallshanterare registrera sig (Ear-Portal, u.å.).

I den tyska lagstiftningen kategoriseras avfall som utgörs av eller ingår I elektrisk eller elektronisk utrustning i sex kategorier, och solcellspaneler hamnar i en av två kategorier beroende på storlek (åtminstone ett mått >50 cm respektive inget mått >50 cm). När det gäller insamling och återvinning av konsumentelutrustning görs emellertid ingen skillnad på storlek i lagstiftningen; alla förbrukade solcellspaneler inom konsumentelutrustning hamnar därför i en grupp.

Återtag, återvinning och återanvändning av uttjänta solcellspaneler ombesörjs av tjänsteleverantörer till exempel PV CYCLE och take-e-way GmbH. Återvinning av solcellspaneler av kristallint kisel görs huvudsakligen av glasåtervinnare, till exempel Reiling Unternehmensgruppe. En specifik återvinningsanläggning för solcellspaneler av tunnfilmstyp (CdTe) drivs av First Solar i Frankfurt (Oder), där även sådant avfall från bland annat Frankrike hanteras. First Solar, som också har anläggningar i USA och Malaysia, har en teknik som återvinner 90 procent av bulkmaterialet men också specialmaterial (till exempel lagret av CdTe-halvledare). (IEA PVPS Task 12 PV Sustainability, 2022)

Företaget 2ndlifesolar förädlar förbrukade solcellspaneler och säljer dem för återbruk. Företaget samlar in, testar och förbereder solcellspaneler för återbruk. (2ndlifeSolar, u.å.).

Mängden årligt solcellspanelsavfall i Tyskland beräknas uppgå till mellan 0,4 och en miljon ton 2030, och 2050 bedöms mängderna bli omkring 4,3 miljoner ton.

2.8.2 Frankrike

I den franska lagstiftningen som genomför WEEE-direktivet definieras en specifik kategori för solelutrustning, vilket underlättar rapporteringen av avfall som utgörs av eller ingår i elektrisk eller elektronisk utrustning och gör den mer pålitlig i jämförelse med andra länder (IEA PVPS Task 12 PV Sustainability, 2022). Enligt producentansvarsorganisationen Soren (tidigare PV Cycle France) uppgick mängden förbrukade solcellspaneler i Frankrike 2022 till 5 005 ton varav 84 procent gick till någon form av återvinning (Soren, 2023). Soren genomför insamlingen och kontrakterar företag i Frankrike och utomlands för själva återvinningen. Sorens insamlingsmetoder varierar beroende på mängder (för mer än 40 paneler kontaktar innehavaren Soren för upphämtning; för mindre än 40 paneler lämnar innehavaren panelerna till någon av uppsamlingsplatserna i landet).

Den första dedicerade anläggningen för återvinning av avfall från solcellspaneler av kristallint kisel byggdes av Veolias dotterbolag Triade på uppdrag av Soren. Den togs i drift 2017 (IEA PVPS Task 12 PV Sustainability, 2022) och har en kapacitet om 2 000 ton/år. Anläggningen uppges vara en investering om två miljarder euro (L'Usine Nouvelle, 2022). I anläggningen används de vanligaste metoderna vid solcellspanelsåtervinning: aluminiumram och kopplingsdosa tas bort, omhändertagande av kopparledning från kopplingsdosan, resten krossas och sorteras med olika metoder (vibration, sållning, optik, magnetism). (IEA PVPS Task 12 PV Sustainability, 2022, Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires/Ministère de la Transition énergétique, u.å.). För att återvinna

mer kisel från panelerna mals de krossade panelerna varefter kislet separeras från glaskrosset, som då får en något bättre kvalitet men inte hög-transmitterande solcellsglas, eftersom det innehåller EVA och bitar av kiselceller. Kislet kan återanvändas som råvara till ferro-kisel, en tillsats vid stålframställning. Vid omsmältningen av glaskrosset krävs en scrubber för att fånga in den vätefluorid som frigörs från de fluorerade bakstyckena av PVF eller PVDF som täcker solcellspanelens baksida. (Tao et al., 2020)

I september 2022 öppnade Soren i samarbete med Envie 2E Aquitaine en anläggning som kommer att hantera 4 000 ton solcellspaneler per år med tre olika metoder: den klassiska metoden (se ovan), rekonditionering, test och försäljning av fungerande solcellspaneler samt delaminering med värme (300 ˚C) av de solcellspaneler som är intakta men ändå inte kan användas. Delamineringstekniken kommer från japanska NPC och gör det möjligt att separera lagren av glas från metallkomponenterna. Det energigivande laminatet med inkapslingsplasten EVA och kiselsolceller på ena sidan och PVF på den andra skickas till det franska företaget ROSI för återvinning (se nedan), medan övriga delar materialåtervinns (Pays et Quartiers de Nouvelle-Aquitaine, 2023, Envie, u.å). Envie 2E Aquitaine uppskattar att de ska kunna rekonditionera, testa och sälja cirka fem procent av de paneler de hanterar och som har en kapacitet är minst 80 procent av den ursprungliga effekten och vars återstående livslängd är åtminstone 15–25 år (Pays et Quartiers de Nouvelle-Aquitaine, 2023).

2021 öppnade Soren ytterligare två anläggningar i samarbete med Galloo respektive Envie 2E Midi-Pyrenées (IEA PVPS Task 12 PV Sustainability, 2022), men vilka tekniker som används vid dessa anläggningar och deras kapaciteter har inte gått att hitta information om.

Företaget ROSI har utvecklat en annan teknik för att separera laminerade material och har byggt en anläggning för återvinning av solcellspaneler som togs i drift 2023. Anläggningen kommer årligen att återvinna 3 000 ton solcellspaneler och utvinna 90 ton kisel, 30 ton koppar och 2,5 ton silver. Inom två år ska kapaciteten ha ökat till 10 000 ton per år. Företaget planerar även etableringar i Tyskland, Italien och Spanien. (Horizon The EU Research & Innovation Magazine, 2022). ROSI har även en teknik för att återvinna och återanvända spån av kisel från slammet som bildas vid sågningen av tunna kiselskivor för tillverkning av solceller (ROSI, 2023).

2.8.3 Italien

Stena Recycling har vid en anläggning i Italien byggt en linje specifikt för bearbetning av solcellspaneler av kristallint kisel där även förbrukade solcellspaneler från Stena Recyclings svenska verksamhet (för närvarande 100–200 solcellspaneler per år) kan omhändertas. Vid anläggningen tas aluminiumramen och kopplingsboxen bort och sedan mals laminatet av glas, plast och kiselsolceller, varefter de mindre bitarna av glas skiljs från de större bitarna av plast med hjälp av skiktning. Till skillnad från andra anläggningar erhålls glas som är tillräckligt rent för användning vid glasering av kakel och takpannor och till nya glasprodukter. I den italienska anläggningen återvinns 80 procent av materialet i solcellspanelen på detta sätt, medan de malda bitarna av kiselsolceller och plast går till förbränning (Nohrstedt 2023).

2.8.4 Storbritannien och Irland

Recycle Solars anläggning i Scunthorpe, England, är enligt företagets hemsida den enda anläggningen i Storbritannien och Irland som återvinner solceller. Metoderna är mekaniska och kemiska och möjliggör återvinning av 90 procent av glaset och 95 procent av halvledarmaterialen. (Recycle Solar, u.å.)

Små mängder förbrukade solcellspaneler och en lagstiftning för avfall som utgörs av eller ingår i elektrisk eller elektronisk utrustning som skiljer sig från den i EU gör att Storbritannien troligen kommer att exportera använda solceller till EU-länder för återvinning (Majewski et al., 2021).

2.8.5 Japan

Det finns ingen specifik lagstiftning för förbrukade solcellspaneler i Japan. Enligt IEA PVPS Task 12 PV Sustainability (2022) finns det 29 företag som tar emot solcellspaneler för återvinning, varav hälften uppges inneha utrustning som är specifik för solcellspanels-återvinning och som kan separera panelernas struktur och komponenter. De övriga företagen hanterar vanliga typer av industriavfall genom att separera bulkmaterial. (IEA PVPS Task 12 PV Sustainability, 2022)

PV Cycle och Akita Prefectural Resources Technology Development Organization (Akita PRTDO) bildade 2021 PV CYCLE Japan för hantering av förbrukade solcellspaneler. Till att börja med ska PV CYCLE Japan fungera som kontaktpunkt för förbrukade solcellspaneler, ansvara för verifieringen av avfallshanteringsföretag och samla in och publicera statistik för solcellspanelsavfall. (PV Cycle, 2021)

2.8.6 Sydkorea

I Sydkorea infördes producentansvar för solcellspaneler 2023. Målsättningen är minst 80 viktprocent återvinning och/eller återanvändning. Företaget Yoonjin Tech var det första återvinningsföretaget för solcellspaneler i Sydkorea, med en planerad kapacitet 3 600 ton/år. 2020 startade WonKwang S&T en anläggning med en kapacitet om 1 200 ton/år. Chungbuk Technopark kombinerar fysiska och termiska metoder i sin anläggning om 3 600 ton/år. Det pågår ett stort antal statsfinansierade projekt för att utveckla solcellsrelaterade återvinnings- och återanvändningstekniker (IEA PVPS Task 12 PV Sustainability, 2022).

2.8.7 Kina

Det finns lagstiftning för el- och elektronikavfall i Kina, men solcellspanelsavfall omfattas inte av denna (Majweski et al., 2021). Som resultatet av ett forskningsprojekt var den första anläggningen för solcellspanelsåtervinning i Kina färdig i slutet av 2021. Kapaciteten uppgår till 2 750 ton/år. I andra forskningsprojekt togs två demoanläggningar i drift 2021, där både termomekaniska (hetknivstekniken) och termo-kemiska metoder används. (IEA PVPS Task 12 PV Sustainability, 2022).

2.8.8 Indien

Det finns ingen särskild lagstiftning för solcellspanelsavfall i Indien, utan detta regleras i lagstiftningen för avfall i allmänhet. (Majewski et al., 2021)

2.8.9 Australien

Med undantag för delstaten Victoria, där deponi av elavfall inklusive solcellspaneler och växelriktare är förbjudet sedan 2019, hade Australien 2021 ingen lagstiftning som reglerade avfall från solcellspaneler, som till största delen deponeras eller lagras. Det finns emellertid exempel på företag och start-ups inom solcellspanelsåtervinning. Ett producentansvar för solcellspaneler och växelriktare har införts 2023. (IEA PVPS Task 12 PV Sustainability, 2022)

2.8.10 USA

Det saknas federal lagstiftning kring solcellspanelsavfall, men det finns delstater som infört regler om bland annat återtagssystem för förbrukade solcellspaneler. First Solar driver anläggningar i USA för återvinning av tunnfilmssolcellspaneler (CdTe) med en samlad kapacitet om 150 ton/dag (motsvarande 55 000 ton per år) där både bulk- och specialmaterial återvinns. Det finns emellertid ingen anläggning för fullständig och högvärdig återvinning av solcellspaneler av kristallint kisel. Kostnadsuppskattningar visar att det är mer fördelaktigt ekonomiskt att deponera; nettot (det vill säga efter försäljning av återvunnet material) för återvinning av kiselbaserade solcellspaneler uppgår till mellan $25 och $30 per panel, vilket är betydligt högre än kostnaden för deponering i USA. Energidepartementet i USA har fastställt en handlingsplan för förbrukad solkraftsutrustning (U.S. Department of Energy, 2022) med målsättning om en återvinningskostnad på 3 $ per panel (IEA PVPS Task 12 PV Sustainability, 2022).

Solar Energy Industry Association (SEIA) är den nationella branschorganisationen för solenergiindustrin i USA och har kontrakterat ett nätverk av anläggningar för återvinning av solcellspanelsavfall (Solar Energy Industries Association, u.å.).

2.9 Samlade reflektioner om avfall från solcellspaneler

Solcellspaneler är känsliga men ofta mycket långlivade elektroniska produkter. Det finns ännu mycket få exempel på fungerande återbruk av paneler. När paneler tas ur bruk lämnas de till återvinning via återvinningscentraler för mindre mängder, medan större mängder kan transporteras direkt till återvinningsföretag vilket då normalt organiseras av en producentansvarsorganisation.

Kunskapen om degradering av solcellspaneler i nordiska förhållanden är begränsad. Degradering påverkar panelernas livslängd och vetenskapligt granskade experimentella studier saknas helt. Detta påverkar möjligheten att beräkna främst när avfallet uppstår, men även volymerna.

Metoder för välfungerande materialåtervinning av solcellspaneler finns däremot idag internationellt (i förhållandevis liten skala) och utveckling av metoderna pågår.

Avfallsvolymerna från redan installerade solcellspaneler i Sverige ser ut att bli stora nog för att skapa lönsamhet för minst en dedicerad återvinningsanläggning i Sverige eller våra nordiska grannländer. Volymsuppskattningarna beror dock på antaganden om livslängd som kraftigt påverkar när avfallet uppstår och panelernas utformning vilket i sin tur avgör deras materialsammansättning och lämpliga återvinningsteknologier. Variationen av de framtida avfallsvolymerna kan väntas variera kraftigt om installationstakten varierar varför det kan finnas skäl att överväga sätt att bättre kunna hantera dessa ojämnheter.

Relevant statistik saknas för att kunna planera för ett bra omhändertagande. Den befintliga solenergistatistiken kräver ett flertal antaganden om de installerade solcellspanelerna för att kunna användas för att bedöma tidpunkt, volym och typ på framtida solcellspanelsavfall. Det saknas helt statistik över vilka volymer som av olika skäl avvecklas i Sverige. Utan denna data är det svårt att följa den faktiska fördelningen av livslängder och dra lärdomar utifrån den.

2.9.1 Öka information om installerade solcellspaneler och dess tillgänglighet – ett nationellt register

För att vara väl förberedd för kommande avfallsmängder, skulle mer information om de solcellspaneler som installeras behöva samlas in. Det internationella energiorganet IEA har i rapporten *Data Model for PV Systems* sammanställt hur man valt att göra i ett antal länder samt lämnar rekommendationer för vilken information som ska lagras, hur det ska göras och på vilket sätt det ska göras så att den administrativa bördan hålls till ett minimum (IEA, 2020). IEA skriver här att länder bör införa en centraliserad databas som ska vara obligatorisk, heltäckande och öppen för olika intressenter. Detta är av betydelse för beslutsfattare så att de tydligt kan se effekter av införda styrmedel, för elnätsägare som i framtiden kommer behöver mer data för att kunna planera sin verksamhet och för att samhället ska kunna göra bra bedömningar och planering för ett cirkulärt omhändertagande när solcellsanläggningarna tjänat ut. I avsnitt 3.5.1 återfinns ett förslag om vad ett register med information om de solcellsanläggningar som uppförs bör omfatta.

2.9.2 Förslag på gång från EU

EU är i processen att uppdatera ekodesignregelverket. Det gäller både en förordning för ekodesign som ska ersätta det gällande ekodesigndirektivet (European Commission, 2022a) och en delegerad förordning om ekodesignkrav särskilt för solcellspaneler och växelriktare (European Commission, 2022b).

EU-förordningar gäller direkt som lag i Sverige och kan komma att påverka hur solcellspaneler utformas i framtiden och förhoppningsvis leda till att dessa konstruktioner av svårseparerade multimaterial blir enklare att hantera. På förslag från kommissionen finns skrivningar om digitala produktpass vilket beroende på utformning kan komma att bli högaktuellt för att hålla koll på antal, typ och materialsammansättning på installerade solcellspaneler. Detta är av relevans för återvinnarna, men också för konsumenter som genom att vissa material tydligare deklareras enklare kan välja bort produkter med oönskade material.

För närvarande pågår revidering av EU:s direktiv för byggnaders energiprestanda som innebär att krav på att många nya byggnader från 2027 och framåt kommer vara att de förses med solcellspaneler (nya offentliga byggnader 2027, renoverade offentliga byggnader från 2028 och småhus från 2030) (Boverket, 2023). Det är tänkbart att detta kommer leda till både större volymer installerade solcellspaneler tidigare och att det påverkar andelen av olika sorters paneler. Kanske blir det vanligare med byggnadsintegrerad solel, kanske påskyndas utvecklingen av tandem-solcellspaneler.

2.9.3 Pågående forskning och aktuella aktiviteter

Det är vår uppfattning att många aktörer i Sverige år 2023 fått upp ögonen för att återvinning av solcellspaneler och att det är ett ämne värt att undersöka, bevaka och satsa på. Det finns ännu inte så många forskningsprojekt i Sverige men exempel på aktiviteter som vi noterat är följande:

Svensk solenergi har tagit in en konsult som undersökt och testat en förenklad och manuell version av hetknivstekniken för återvinning av solcellspaneler (Svensk solenergi, 2023).

I Svensk solenergis riktlinje för den dokumentation av solcellsanläggningar som leverantörer ska överlämna till slutkunder skriver de explicit att man ska ange hur solcellspanelerna kan tas om hand och återvinnas. Det finns dock inget tydligt krav på att ange om utrustningen är anmäld som konsumentelutrustning ansluten till en producentansvarsorganisation och om inte varför.

CircSolar (VINNOVA Dnr. 2023-02481) är ett treårigt forskningsprojekt som ska utreda och komma med förslag för en ökad cirkularitet i solcellspanelers värdekedjor.

Kompetenscentrum Solelforskningscentrum i Sverige, (SOLVE, u.å.) löper från 2022 till och med 2026 och fokuserar ett av sina teman på ”Hållbarhet” vilket inkluderar återvinning, miljö- och klimatavtryck från solcellspaneler.

Kompetenscentrum för återvinning (Chalmers, u.å.) vid Chalmers hade den 7 november 2023 ett seminarium om återvinning av solcellspaneler med flera europeiska och svenska talare.

3 Rekommendationer samt bedömning av omhändertagandet av solcellspaneler och vindturbinblad

Kapitel 3 behandlar såväl frågan om omhändertagande av solcellspaneler som vindturbinblad. Av respektive numrerad rubrik framgår om denna del behandlar dessa tillsammans eller om delen endast avser solcellspaneler eller vindturbinblad.

3.1 Huvudsaklig bedömning för ett bättre omhändertagande av solcellspaneler och vindturbinblad

Vår bedömning: Det huvudsakliga problemet för återvinningen av uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad bedöms inte vara policy- och regelverksutmaningar utan att det finns ett behov av effektiva och kostnadseffektiva storskaliga industriella lösningar för en högre grad av materialåtervinning.

Det behövs för närvarande inte ytterligare riktade åtgärder för att stimulera en ökad återanvändning av solcellspaneler och vindturbinblad.

För såväl solcellspaneler som vindturbinblad gäller att storskaliga industriella lösningar för en hög materialåtervinning förutsätter stora volymer. Det kommer ta lång tid innan solcellspanelerna når sådana volymer i Sverige varför övergångslösningar sannolikt behövs. Det finns också såväl i våra beräkningar för framtiden som historiskt (bl.a. under senare år under pandemi och utökat krig i Ukraina) stora variationer från år till år i antalet uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad. Detta riskerar sammantaget att det kan dröja innan ett storskaligt industriellt omhändertagande för en god materialåtervinning kommer på plats i Sverige.

Det har i avsnitt 1.11 bedömts att det efter 2030 kommer behövas en eller flera lösningar för industriell återvinning av glasfiberkompositer på plats i Sverige. För att så snabbt som möjligt nå en punkt där det finns underlag för en storskalig industriellt omhändertagande av solcellspaneler och vindturbinblad i Sverige behöver de som vill investera få bättre verktyg för att säkerställa en stabil försörjning av kompositavfall och solcellspaneler till produktionen. Om det inte finns tillräcklig volym finns ingen grund för lönsamma återvinningsföretag. Det är viktigt att efterfrågan skapas så att återvinningsföretagen kan räkna med en stabil tillgång på råmaterial.

3.1.1 Vindturbinblad

För att få volym i mängderna så tidigt som möjligt måste Naturvårdsverket och andra myndigheter säkerställa att möjligheten till förbränning och deponering inte i praxis tillåts i fler fall än absolut nödvändigt och titta över sektorer som använder liknande materialtyper, till exempel konstrueras både vindturbinblad och fritidsbåtar av jämförbara glasfiberkompositer och det finns en stor mängd liknande material i byggavfall. Ett beroende av en enskild avfallsfraktion som vindturbinblad utgör en stor risk för ett återvinningsföretag. Av samma anledning kommer det inte heller att vara möjligt att skala upp produktionen på kort sikt om inte liknande avfallstyper samordnas. Detta är något som erfarenheterna från de stängda avfallsförbränningsanläggningarna i Tyskland och Spanien vittnar om, eftersom de har tvingats stänga på grund av för små avfallsmängder. Det innebär att alla liknande avfalls-fraktioner så snart som möjligt bör gå till återanvändning eller återvinning och inte till deponering.

För vindturbinblad kommer, som ovan nämnts, tidpunkten då tillräckliga volymer nås komma väsentligen tidigare än för solcellspaneler. Det finns lösningar i närtid, som om de används framför energiåtervinning eller deponering, inte ger en optimal materialåtervinning men en acceptabel sådan. Detta handlar primärt om samförbränning i cementindustrin. Om dessa metoder tillämpas fullt ut får det i vår mening anses acceptabelt under en övergångsperiod i kombination med olika lösningar för utbytesprogram och annan återanvändning av materialet.

Beträffande återanvändningen av vindturbinblad är vår bedömning att det finns relativt väl fungerande processer för såväl utbytesprogram där vindturbinbladen kommer till nytta i en ny anläggning som nyttjande som olika former av konstruktionsmaterial i broar, fasader m.m. Vi har inte uppfattat att detta begränsas i någon större utsträckning av brister i regelverk eller andra styrmedel. Om möjligheten till deponi och förbränning minskar (se avsnitt 3.2.1) kommer även intresset för att hitta kostnadseffektiva alternativ att öka.

3.1.2 Solcellspaneler

När det gäller solcellspaneler är det för närvarande för tidigt att utvärdera behovet av ytterligare åtgärder för att stimulera återanvändning. De paneler som idag tas ur bruk har till stor andel någon form av defekt och det finns idag inte, som för vindturbinblad, någon avsättning för materialet för annan användning.

3.2 Storskalig industriell material-återvinning av solcellspaneler och vindturbinblad förutsätter tillräckliga volymer

3.2.1 Avisera utfasning av deponering och förbränning som alternativ för återvinning av vindturbinblad

Vår rekommendation: Naturvårdsverket bör överväga att i samband med kommande författnings-ändring avseende möjligheterna till dispens från deponiförbudet ta fram en tydlig vägledning för hur aktörer ska förhålla sig till de lösningar för omhändertagande som finns. Naturvårdsverket bör även överväga hur myndigheten kan kommunicera framåtsyftande på ett sätt som ger en tydligare bild om vad för nya tekniker för omhändertagande som kan leda till att det inte längre kommer att vara möjligt med deponi och energiåtervinning av vindturbinblad.

Vår bedömning: Det behövs, utöver Naturvårdsverkets remitterade förslag till ändrade regler för dispens från deponiförbudet för kapacitetsbrist, för närvarande inte någon författningsändring avseende deponi och förbränning av vindturbinblad. Givet att den svenska lagstiftningen redan är relativt sträng bör ett initiativ till än strängare regler än vad som föreslås i Naturvårdsverkets remissförslag främst tas på EU-nivå.

För att investeringar ska göras i anläggningar för storskalig industriell återvinning av vindturbinblad får det inte finnas någon oklarhet om stora volymer av ekonomiska skäl i stället hanteras på ett sämre sätt i enlighet med avfallshierarkin. Omvänt kan en otydlighet över möjligheten att fortsatt hitta en billigare deponerings- eller förbränningslösning försena investeringsbeslut i en storskalig industriell återvinning av vindturbinblad. Redan idag finns lösningar för samförbränning i cementindustrin som i många fall är lämpligare än energiåtervinning och deponering. Därför är det viktigt att det kommer en tydlighet om vad som krävs för att förbränning och deponi inte längre bedöms uppfylla kriterierna för undantag/dispens. Bedömningar av vad som kan utgöra bästa möjliga teknik och om krav på särskilda skäl är uppfyllt formellt görs först i det enskilda fallet i prövningen av en viss verksamhet. En central vägledning i frågan kan vara till nytta för aktörer och allmänhet.

Det kan dock finnas skäl att så tidigt som möjligt hitta en lämplig form för att avisera hur denna bedömning i framtiden kan komma att göras den dagen en viss teknik, som idag inte finns tillgänglig men förutses finnas tillgänglig inom överskådlig tid, blir tillgänglig. Detta i stället för att invänta att tekniken är etablerad och först då ge vägledning. Förutsägbarhet om att en viss teknik sannolikt stänger möjligheten till deponering och energiåtervinning kan skapa en tydlighet utan behov av att avisera författningsändringar som tar bort möjligheten till undantag och dispens (som vissa aktörer efterfrågat).

Att det finns indikationer på att vindturbinblad har deponerats betyder, som regeringen framfört i skrivelsen (2023/24:49) *Riksrevisionens rapport om hantering av uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad,* inte att lagstiftningen nödvändigtvis är oklar. Det kan som framförts i stället bero på att dispenser har beviljats eller på brister i tillsynen. När det sker snabba förändringar och nya aktörer etablerar sig är det möjligt att en del av förbränning och deponering har sin bakgrund i att det hade behövts mer kunskap. Detta gäller särskilt att hålla sig uppdaterad om nya aktörer med bättre metoder för omhändertagande. Vi instämmer i regeringens slutsats att det inte är otydligt vilket avfall som får deponeras. Reglerna skiljer sig på det stora hela inte heller från länder som aviserat att de har ett deponiförbud (se exempelvis om Nederländerna) där det sedermera fått införas undantag som medger deponering om det skulle bli orimligt dyrt (IEA Wind Task 45, 2022).

För att öka förutsättningarna för så likvärdiga beslut som möjligt om dispenser från deponiförbudet bör Naturvårdsverket överväga att ta fram en vägledning till Länsstyrelserna och andra aktörer om hur bedömningen bör ske med hänsyn till avfallshierarkin och tillgängliga alternativ. Det kan i detta sammanhang även övervägas hur Länsstyrelserna i sin bedömning, utöver det som framförs i ansökan, även kan få del av beslutsunderlag avseende vilka alternativ som finns vid beslutstillfället. Som omnämnts i avsnitt 1.2.11 finns det ett starkt tryck från många aktörer i vindkraftsbranschen att deponering bör förbjudas. Det finns därför skäl för myndigheterna att genom god vägledning säkerställa att en aktör inte ansöker om deponering i brist på kunskap om alternativa sätt för omhändertagande. Här bör det även övervägas hur det, utan att på olämpligt sätt särbehandla enskilda kommersiella aktörer, kan lyftas fram de alternativ som finns (se bl.a. avsnitt 1.11). Om inte en vägledning uppdateras löpande bör det övervägas hur Naturvårdsverket, branschorganisationer eller andra med kunskap om alternativa möjligheter för omhändertagande kan få lämna synpunkter före beslut om undantag från deponiförbudet.

Ett beslut på EU-nivå skulle sannolikt medföra en stark press på att identifiera fler och bättre lösningar för storskaligt omhändertagande av vindturbinblad (som kan ta lång tid att få på plats i tillräcklig skala) men samtidigt svårigheter att ta omhand vindturbinblad i det korta perspektivet.

Det bör i sammanhanget som ovan nämnts framföras att flera branschaktörer liksom branschorganisationer (såväl i Sverige som på EU-nivå) önskar ett totalt deponiförbud (dvs. helt utan möjlighet till dispens). Detta helst på EU-nivå men i andra hand på nationell nivå. Skulle det därför visa sig att vindturbinblad fortfarande förbränns eller deponeras sedan det i Sverige etablerats flera bättre lösningar som borde täcka in behovet helt bör dock en skärpning av lagstiftningen övervägas. En sådan lösning bör så långt som möjligt inte peka ut vindturbinblad eller glasfiberkompister utan vara generellt utformad (att överblicka konsekvenserna av en sådan reglering är dock inget som ryms inom ramen för detta uppdrag, vilket i sig är ett skäl att inte föreslå förändringar nu).

Den tidpunkt från vilken det inte längre föreligger ett behov av undantag från deponiförbudet avseende vindturbinblad kan, som framgår av avsnitt 3.2.3 nedan, tidigareläggas med stöd av nya bestämmelser om möjlighet till förlängd lagring i materialbank.

Avseende förbränningsförbudet konstaterar regeringen i sin skrivelse (2023/24:49) *Riksrevisionens rapport om hantering av uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad* att:

> ”I fråga om förbränningsförbudet konstaterar regeringen att oklarheten inte ligger i förbudet utan i om vindturbinblad omfattas av undantaget från utsortering i Naturvårdsverkets föreskrifter. Regeringen konstaterar vidare att undantaget är formulerat i syfte att vara generellt för olika typer av avfallsslag och att det skulle vara svårt att konkretisera det för alla olika typer av avfallsslag. Eventuella oklarheter kan, enligt regeringens mening, hanteras genom Naturvårdsverkets vägledning.”

Liksom avseende deponiförbudet delar vi bedömningen att ytterligare vägledning bör tas fram. Från våra samtal är det för oss tydligt att det anses som klart mer prioriterat att först ta fram vägledningen för när undantag för deponiförbudet ska vara möjligt.

3.2.2 Uttjänta fritidsbåtar är en materialström som kan komplettera uttjänta vindturbinblad

Vår rekommendation: Energimyndigheten bör överväga att, likt Havs- och vattenmyndigheten, föreslå att regeringen ger Transportstyrelsen i uppdrag att utreda utformningen av ett fritidsbåtsregister.

För att underlätta att uppnå tillräckliga volymer för omhändertagande av glasfiberkompositer från vindturbinblad kommer förutsättningarna att hitta gemensamma lösningar med andra liknande material troligen att underlätta, särskilt för att tidigarelägga tidpunkten när en kritisk årlig volym uppnås (se avsnitt 3.1 ovan). Ett sådant område som pekats ut är glasfiberkompositer från fritidsbåtar.

Genom ett nationellt register över fritidsbåtar finns det möjlighet att samla in de uppgifter som behövs för att kunna beräkna materialströmmarna från fritidsbåtar och, exempelvis genom krav på skrotningsintyg för avregistrering, säkerställa att uttjänta fritidsbåtar omhändertas på ett korrekt sätt. Idag är det på många sätt oklart hur ett omhändertagande av fritidsbåtar kan ske utan att skattebetalarna eller miljön drabbas.

Ett fritidsbåtsregister har, sedan det tidigare upphörde att gälla 1992, föreslagits av flera utredningar. Senast i raden av aktörer att föreslå ett fritidsbåtsregister var Havs- och Vattenmyndigheten som under 2023 föreslog att regeringen ger Transportstyrelsen i uppdrag att utreda utformningen av ett fritidsbåtsregister (Havs- och vattenmyndigheten, 2023).

Ett fritidsbåtsregister kan sannolikt även medföra ett stort antal fördelar för samhället. Den kanske tydligaste vinsten är att det blir möjligt att tydligare koppla kostnaden för återvinningen av fritidsbåtarna till de som nyttjar dem och inte, som annars till stor del blir fallet, att skattekollektivet eller miljön behöver stå kostnaden. Idag bidrar skattebetalarna genom statsbudgeten till kostnaderna för omhändertagande. Stödet utgår så långt det finns tillgängliga medel till omhändertagande av en mindre del av landets fritidsbåtar. Havs- och vattenmyndigheten meddelade i december 2023 att det för 2024 finns 9,5 miljoner kronor avsatta som subvention för skrotning av fritidsbåtar (kostnaden för att omhänderta alla fritidsbåtar och att istället för sämre omhändertagande materialåtervinna dessa kommer vara avsevärt högre). I förlängningen, om inte ansvaret kan kopplas till enskilda ägare eller att det finns ett producentansvar som fungerar, kan kostnaden bli avsevärt mycket större (se avsnitt 3.7.6 nedan). I en underlagsrapport till Havs- och vattenmyndighetens regeringsuppdrag om insamling och återvinning av fiskeredskap och fritidsbåtar (Ecoloop & Båtskroten 2023) angavs att

> ”Ett alternativt överslag för att bedöma kostnaden är genom en nulägesbild. Bortses från transportkostnader och endast ser till kostnad för administration och återvinning så finns ett historiskt snitt på 6–8 000 kronor för fritidsbåtar. Om populationen är överslagsmässigt 1 miljon båtar så är kostnaden alltså 6–8 miljarder kronor för att ta hand om de båtar som finns ute på marknaden. Givet en livslängd i snitt på 40 år så motsvarar det 150–200 miljoner kronor per år vid jämn utskrotning oaktat omhändertagande av de redan uttjänta eller övergivna.”

Ett annat starkt skäl att på nytt överväga att införa ett fritidsbåtsregister kan, med beaktande av det nya säkerhetspolitiska läget som Sverige befinner sig i, vara behovet av att ”krigsplacera” fritidsbåtar inför och i en krigssituation förfoga över fritidsbåtar för såväl militärt som civilt försvar.

Vidare kan ett fritidsbåtsregister underlätta möjligheten att utreda brott genom att lättare kunna identifiera personer av relevans för utredningar.

I en utredning som har till uppdrag att utreda ett fritidsbåtsregister finns således starka skäl att involvera en stor bredd av myndigheter som kan ha behov av uppgifterna, såsom Polismyndigheten och Försvarsmakten.

3.2.3 Utökad möjlighet till lagring i materialbank för ett tidigarelagt och jämnare tillgång till avfall från solcellspaneler och vindturbinblad

Vår rekommendation: Energimyndigheten bör rekommendera regeringen att gå vidare med Naturvårdsverkets förslag om bland annat en ny bestämmelse i 15 kap. miljöbalken om lagring längre tid än tre år utan att det ska anses utgöra deponi och i beredningen även beakta de skäl som framförs nedan om behovet av utökad lagring i materialbank.

Det kommer att ta många år innan antalet uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad har kommit upp i avfallsvolymer nog för att kunna motivera en storskalig industri för materialåtervinning. I vårt arbete har det identifierats att det, särskilt avseende vindturbinblad, finns ett behov av att hitta nya former för att minska riskerna kopplade till nivåerna på de framtida avfallsvolymerna.

Med deponi avses enligt 15 kap. 5 a § 1 st. miljöbalken (1998:808) en upplagsplats för avfall som finns på eller i jorden. Enligt andra stycket ska dock en upplagsplats inte räknas som deponi där avfall lagras innan det återvinns, om lagringen sker under en kortare period än tre år. Denna paragraf genomför artikel 2 g Rådets direktiv 1999/31/EG av den 26 april 1999 om deponering av avfall (**deponidirektivet**) i svensk rätt. Deponidirektivet har en något annan formulering än miljöbalken (1998:808): ”lagring av avfall innan det återvinns eller behandlas för en period av **som regel** mindre än tre år” [vår fetstilsmarkering]. Det finns således en öppning för att hitta undantagslösningar. Behovet av att kunna mellanlagra i materialbank diskuteras även i IEA-arbetsgrupper (IEA Wind TCP Task 45, 2023). Naturvårdsverket (2022c) har för regeringen föreslagit bl.a. en ny bestämmelse i 15 kap. miljöbalken om att det ska vara möjligt att i enskilt fall kunna besluta om lagring längre tid än tre år inte ska anses utgöra deponi.

Som framgår av ovan avsnitt kommer det för såväl solcellspaneler som vindturbinblad att finnas flera utmaningar beträffande tillgången till rätt avfall för en storskalig industri för materialåtervinning. Dessa skulle enligt vår bedömning minska om det fanns möjlighet att, som ett undantag och under noga reglerade förhållanden, bedriva en materialbank för utökad mellanlagring (längre än tre år), exempelvis i anslutning till en projekterad eller öppnad anläggning för storskaligt omhändertagande av detta avfall. Tillåtande av utökad materialbank kan bidra till att:

1. **Hantera de inledningsvis låga volymerna**. Med anledning av att det enligt de beräkningar som görs i rapporten under ganska många år kommer uppstå för låga volymer av avfall för att motivera att ta en anläggning i drift men att det längre fram kommer finnas det. Det vore enligt vår bedömning mer förenligt med motiven bakom lagstiftningen att istället för att nu välja åtgärder längre ner på avfallshierarkin välja att under ordnade former och som ett undantag möjliggöra att avfallet lagras i avvaktan på en storskalig industri för materialåtervinning.

2. **Minimera risker kopplat till varierande avfallsflöden**. Det är troligt att inflödet av avfall från solcellspaneler och vindturbinblad kommer variera på samma sätt som för många andra avfallsströmmar. Hur dessa variationer infaller i relation till när en anläggning för omhändertagande av materialet öppnas kan påverka lönsamheten i anläggningen. Till exempel ledde minskade materialströmmar till ekonomiska svårigheter i en anläggning i Tyskland. Om det finns möjlighet att lagra avfall i en materialbank kan denna risk minskas.
3. **Skapa marginaler i materialvolymer i syfte att skapa säkerhet inför investeringsbeslut**. Ovan kan utmaningar i kombination med risken att det tar längre tid än planerat att bygga upp logistikflöden och kundrelationer göra att en större marginal i beräknade materialvolymer behövs för att våga investera i en anläggning. Det kan försena när en anläggning för storskaligt omhändertagande av solcellspaneler och vindturbinblad kan komma på plats.
4. **Minska risker i samband med försenad projektering**. Risken för förseningar i projekteringen kan skapa risker att, inom den nu tillåtna gränsen på tre år, bygga upp en materialbank inför öppnandet av en ny anläggning. Detta för att det kan uppstå såväl logistiska som ekonomiska utmaningar om avfall, som var planerat att återvinnas i anläggningen, av juridiska skäl behöver transporteras bort från platsen.
5. **Komplettera de årliga avfallsströmmarna med lagrat material för full beläggning direkt kan tidigarelägga anläggningsstart**. Förekomsten av en materialbank leder i sig till att produktionen i anläggningen kan starta tidigare då de första driftårens lägre inflöde kan toppas upp med lagrat avfall. Vidare skulle möjligheten att lämna vindturbinblad till en materialbank i praktiken innebära att det finns ett alternativ till deponering. Vilket i praktiken därmed kan innebära att behovet av undantag från i första hand deponiförbudet inte längre behövs då det blir svårare att visa att det föreligger särskilda skäl.

En möjlighet till mellanlagring i en materialbank kommer dock inte utan risker. Om en aktör tillåts att över lång tid bygga upp omfattande volymer av avfall som sedan inte omhändertas korrekt finns en risk, som nyligen aktualiserats i samband med åtalen mot företrädare för Think Pink, att olägenheter uppstår och att kostnaderna riskerar att landa på skattebetalarna. Därför bör en möjlighet att mellanlagra avfall i en materialbank endast vara möjlig i undantagsfall och efter en ordentlig prövning. Det bör i Miljöbalken (1998:808) utformas som att det ska föreligga särskilda skäl. Denna prövning bör innefatta en helhetsbedömning med beaktande bl.a. av

1. De skäl/behov som framförs till varför en lagring under max tre år inte är tillräckligt. Det kan handla om att visa beräkningar på hur många år tidigare en anläggning för omhändertagande kan beräknas komma på plats med möjligheten att bygga upp en materialbank.
2. De andra handlingsalternativ som finns tillgängliga för återvinning utan möjligheten till mellanlagring i materialbank. Det bör normalt inte vara möjligt att bygga upp en materialbank för en anläggning som är under uppbyggande om det finns andra jämförbara alternativ med god kapacitet tillgängligt till rimliga villkor. Detta blir således främst aktuellt vid större tekniksprång eller för nya typer av avfall. Om däremot alternativet är att avfallet tas omhand på ett sämre sätt enligt avfallshierarkin, exempelvis förbränning eller deponi av vindturbinblad, finns det en mindre nedsida med att mellanlagra vindturbinbladen i en materialbank. Om projektet fallerar får dessa då ändå troligen omhändertas på motsvarande sätt om inte förutsättningar för ett bättre omhändertagande möjliggjorts under tiden.

3. Att den affärsmodell som valts för mottagandet i materialbanken är hållbar och bygger på rimliga krav på affärsmässighet och marginaler. Det bör exempelvis säkerställas att tillståndshavaren tar tillräckligt betalt för att kunna ha råd att omhänderta allt avfall i materialbanken på såväl avsett sätt som på det sätt som varit aktuellt om materialbanken inte funnits. I detta sammanhang, utifrån det exempel som nu efterfrågats för framför allt lagring av vindturbinblad, ska särskilt övervägas risken för att projekteringen av den storskaliga anläggningen för materialåtervinning inte lyckas. Det bör därför inte vara aktuellt utan att den anläggning som projekteras bygger på ett gediget underlag avseende processens lönsamhet och genomförbarhet. Det bör också förutsätta att planeringsprocessen kommit så pass långt att det är troligt att projektet kan genomföras. Det skulle kunna handla om att det finns miljötillstånd i en första etapp eller att positivt besked lämnats om det allmännas grundläggande syn på lämpligheten av en viss verksamhet på en viss plats (se direktivet 2023:78 till Miljötillståndsutredningen för möjliga alternativ).
4. Att det ställs betryggande säkerhet, med bortseende från att det bör ske en viss prövning av verksamhetens egen ekonomiska hållbarhet, för såväl hanteringen av lagringsplatsen som annat omhändertagande av det lagrade materialet för det fall att tillståndshavaren skulle få problem att genomföra omhändertagandet enligt plan. Säkerheten får lämpligen ställas efter hand enligt en plan som vid varje tid tillgodoser det aktuella behovet av säkerhet.
5. Att det finns en tydlig bortre tidsgräns för när förutsättningarna för när materialbanken inte längre är i uppbyggnadsskede utan kontinuerligt ersätts eller minskar.
6. Att sökanden kan visa att en lagring under lång tid på en viss plats kan ske på ett lämpligt sätt med beaktande av risken för olägenhet, förorening eller annan störning kopplat till förvaringen. Här ska särskilt beaktas den risk som kan uppkomma av att en stor mängd avfall lagras och urlakas på samma plats över lång tid. Det kan i fallet med vindturbinblad handla bl.a. om risken för att ytskikten av bladen över tid kan sprida farliga nivåer av bl.a. PFAS som Kemikalieinspektionen identifierat (2023). Såväl solcellspaneler som vindturbinblad är dock till sin natur designade för att inte släppa ifrån sig material under påfrestande förhållanden.

För aktörer som avser att ansöka om tillstånd för en materialbank behöver det särskilt övervägas de kostnader som en materialbank medför såsom eventuella extra transportkostnader (om inte materialbanken kan upprättas i omedelbar anslutning till en tänkt anläggning som kan ta omhand om dem) och markkostnader (fastigheten som sådan, markberedning, övervakning m.m.). Till detta kommer de omfattande insatser som kan behövas för att motverka en eventuell negativ opinion och oro för att avfallet ska bli liggande.

En möjlighet till utökad lagring i materialbank bör vara en generell reglering, som således skulle kunna tillämpas med avseende på alla avfallsströmmar och inte endast uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad. Beslut bör tidsbegränsas och tiden som avfall får lagras utan att det klassas som deponi bör normalt trappas ner efter viss tid. Detta då det inte över lång tid bör finnas ett behov av längre lagring än tre år utan det bör ses som en övergångslösning.

3.2.4 Fler kompositmaterial behöver återvinnas för att öka förutsättningarna till ett omhändertagande av vindturbinblad högre upp i avfallshierarkin

Vår rekommendation: Energimyndigheten bör rekommendera Regeringen att hitta en lämplig form för att identifiera och analysera om det finns behov av ytterligare åtgärder för att säkerställa att fler kompositmaterial än vindturbinblad och fritidsbåtar kan återvinnas.

Som framgår av avsnitt 1.10.3 saknas specifik kartläggning från kompositmaterial inom byggsektorn. Ett första steg för att identifiera potentialen i att återvinna olika kompositmaterial tillsammans kan vara att genomföra en sådan kartläggning. Vi har dock inte inom ramen för detta arbete haft möjlighet att närmare utreda hur fler materialströmmar av kompositmaterial än vindturbinblad och fritidsbåtar kan återvinnas. Då tillgången till tillräckliga volymer av liknande kompositmaterial är avgörande för att få en storskalig industriell materialåtervinning på plats finns det anledning att utreda hur återvinningsgraden av exempelvis kompositmaterial i byggavfall och produktionsavfall i kompositindustrin kan återvinns. Se även avsnitt 3.6.3 nedan.

3.3 Behov av stöd för etableringar av storskaliga anläggningar för industriellt omhändertagande av solcellspaneler och vindturbinblad

Från flera branschorganisationer framförs att det under en övergångsperiod behöver finnas acceptetans för avsteg från 100 procent återvinningsgrad men att det är det som är målet. För att snabba på utvecklingen och nå det målet behövs stöd till forskning, och etableringar av nya lösningar där tekniksprånget är stort. Samhället måste därför hitta sätt att optimera mot 100 procent återvinningsgrad.

3.3.1 Det behövs ytterligare forskning om omhändertagandet av solcellspaneler och vindturbinblad

Vår rekommendation: Energimyndigheten bör överväga att uppmana regeringen att säkerställa att det finns medel till forskning och utveckling syftande till att möjliggöra lönsamma storskaliga industriella processer för återvinning av solcellspaneler och vindturbinblad.

Det behövs ytterligare forskning om metoder för materialåtervinning av solcellspaneler och vindturbinblad.

Det är viktigt att finansierande myndigheter löpande för dialog med branschen om forsknings- och utvecklingsbehov inom området och att de inte mer än nödvändigt begränsar vilka konkreta idéer som kan få finansiering till exempel genom formuleringar i utlysning.

3.3.2 Vindturbinblad

Avseende vindturbinblad bör det särskilt satsas på projekt som skapar förutsättningar för att utforska metoders ekonomiska hållbarhet och möjlighet att omsätta i en konkret och lönsam lösning. Specifikt handlar det om att utforska vilka metoder som har förutsättningar att komma högre upp på TRL-skalan.

Det är viktigt att stimulera all steg i en framtida värdekedja för cirkulär hantering av vindturbinblad. Det bör finnas utrymme för att utveckla förbehandling inför återvinning och återanvändning, material och kvalitetssäkring av produkter, transportlogistikfrågor och slutanvändningen av återanvänt/återvunnet material i nya produkter. Exempelvis finns det behov av att stimulera steg i värdekedjan som är oberoende av återvinningsteknik. En identifierad generell kunskapslucka är förhanteringstekniker (kapning, malning, etc.) i direkt anslutning till platsen där vindturbinblad nedmonteras och undersökning kring effektiviteten i logistikflödet.

3.3.3 Solcellspaneler

För solcellspaneler behövs ökad kunskap om hur ingående material i samband med återvinning kan separeras till rena materialfraktioner. Det är viktigt för möjligheten till ekonomiskt hållbar återvinning av glas, men även för kritiska råvaror som finns i låga halter.

Ökad kunskap behövs också inom spårbarhet av material, produkter och återvinning, samt rapporteringskrav i olika länder för att få fram så administrativt effektiva metoder som möjligt för tillförlitlig kunskap om enskilda produkter samt samlad statistik.

Det behövs även bättre kunskap om solcellspanelers verkliga livslängd i våra nordiska förhållanden eftersom det är avgörande för att prognosticera både volym och tidpunkt för solcellspanelsavfall och planera för dess omhändertagande. Särskilt hur solcellspaneler degraderas i de olika och varierande förhållanden som råder i Sverige och hur snölast och kyla kan påverka solcellspanelernas livslängd är av betydelse.

3.3.4 Det bör övervägas att genomföra en innovationsupphandling eller annat stödförfarande för ett bättre omhändertagande av uttjänta vindturbinblad, fritidsbåtar m.m.

Vår rekommendation: Energimyndigheten bör särskilt överväga att uppmana regeringen att tillsätta medel för att påskynda etableringen av en första anläggning storskalig industriellt omhändertagande av vindturbinblad, fritidsbåtar och andra kompositer, exempelvis genom en offentlig innovationsupphandling eller annan innovationstävling.

Strömmen av uttjänta vindturbinblad ökar men det är ännu många år bort innan det finns underlag för ett storskaligt industriellt omhändertagande i landet. Risken är stor att detta leder till att vindturbinblad i en allt för stor utsträckning inte kommer att materialåtervinnas än på många år. För att påskynda processen för etableringen av en eller flera lösningar för storskaligt industriellt omhändertagande i Sverige till inte allt för långt efter 2030 bör staten överväga att genomföra en innovationsupphandling eller annat stödförfarande (om behovet se bl.a. avsnitt 1.11). Med en sådan lösning långt kommen i projektering före 2030 kan, i kombination med förslaget i avsnitt 3.2.3 om materialbanker, troligen förbränningen och deponeringen av vindturbinblad helt upphöra före 2030.

Myndigheterna bör tidigt i denna process bjuda in till dialog om hur en innovationsupphandling skulle kunna läggas upp för största möjliga effekt.

3.3.5 Det saknas för närvarande skäl för ytterligare ekonomiska stöd för omhändertagande av solcellspaneler

Vår bedömning: Det finns för närvarande inte anledning till ekonomiskt stöd till storskaliga industriella anläggningar för omhändertagande av solcellspaneler.

Det finns idag ett i huvudsak acceptabelt sätt att omhänderta solcellspaneler mot bakgrund av att det nu, och under lång tid framöver, kan förväntas ett lågt inflöde av solcellspaneler. Det finns även pågående projekt, såsom CircSolar som syftar till att ta fram en nationell plan för omhändertagandet av solcellspaneler. Arbetet är indelat i tre etapper: Systemanalys fram till 2024-12-31, framtida scenarier till 2025-07-31 och sedan avslutas det med en etapp för att ta fram förslag för ett cirkulärt system som blir klart till 2026-07-31. Även om denna tidsplan inte skulle hålla eller resultaten inte nå tillräcklig effekt bedöms det finnas gott om tid att därefter överväga alternativa lösningar. Det bör även särskilt beaktas att det på området finns ett producentansvar och därmed producentansvarsorganisationer som ska ta ett huvudansvar för insamlingen och omhändertagandet.

De relativt små volymer som uppstår under tiden kan fortsatt omhändertas, primärt genom El-kretsens avfallsström för diverseelektronik men även genom transporter till dedikerade anläggningar i våra grannländer. Det kan dock, när vi närmar oss den tidpunkt då volymerna kan förväntas öka finna skäl att ompröva frågan i fall att sådana anläggningar inte bedöms komma på plats på kommersiell grund.

3.4 Solcellspaneler behöver i högre utsträckning anmälas för producent-ansvar på ett korrekt sätt

Vår bedömning: Det behövs inte någon författningsändring för att förtydliga tillämpligheten av producentansvaret för elutrustning på solcellspaneler.

Om solcellspaneler anmäls på ett, enligt vår bedömning korrekt sätt, som konsument-elutrustning och ersättning till en producentansvarsorganisation betalats finns såväl ekonomiska resurser att ta hand om avfallet den dagen solcellspanelerna blir uttjänta som en stark aktör som kan verka för att en storskalig industriell lösning kommer på plats. Det är därför mycket angeläget att tillämpningen av producentansvaret avseende solcellspaneler stramas åt. Detta är särskilt angeläget mot bakgrund av den bild som finns i branschen att det finns aktörer som får konkurrensfördelar genom att medvetet eller genom okunskap inte följa regelverket.

Rapportförfattarna delar regeringens, i skrivelsen (2023/24:49) *Riksrevisionens rapport om hantering av uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad*, och Riksrevisionens bedömning att otydliga definitioner beträffande solcellspaneler i producentansvarslagstiftningen riskerar att leda till att producenterna inte uppfyller producentansvaret. Denna otydlighet behöver redas ut. Vi har inom ramen för vår utredning trots samtal med flera branschaktörer haft svårt att förstå mer konkret varför regelverket strikt juridiskt skulle anses vara otydligt. Vår analys,

som bedömts som rimliga av aktörer vi pratat med, är att ordalydelser i förordning (2022:1276) om producentansvar för elutrustning som inte läses tillsammans med andra vägledningar och bakomliggande WEEE-direktiv för icke-jurister kan framstå som att det har en annan betydelse än vad majoritetsåsikten bland jurister är. Någon rättspraxis som förtydligar relevanta delar saknas och skulle underlätta.

De svenska bestämmelserna om producentansvar för elutrustning är, som regeringen framför i skrivelsen (2023/24:49) *Riksrevisionens rapport om hantering av uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad*, emellertid ett införlivande av EU-lagstiftning, och vi gör liksom regeringen därför bedömningen att eventuella förtydliganden genom ändrad lagstiftning bör göras i den bakomliggande EU-lagstiftningen, i detta fall WEEE-direktivet. För tillfället pågår förhandlingar om en begränsad revidering av WEEE-direktivet som, såvitt vi förstått, inte omfattar de identifierade svårtolkade definitionerna *storskalig fast installation* (som avgör om det föreligger ett undantag från regelverket) och *konsumentelutrustning* (som innebär att andra regler ska gälla för resterande *annan elutrustning*, vilket får effekter bl.a. avseende om det fonderas medel för omhändertagandet och om en producentansvarsorganisation ska ta omhand avfallet). Se vidare under avsnitt 3.4.1 nedan om problematiken med dessa definitioner. Europeiska kommissionen förväntas presentera ett förslag till nytt direktiv eller förordning om elektrisk och elektronisk utrustning under 2025 eller 2026. Det arbetet bör som regeringen för fram i skrivelsen inkludera en översyn av definitionerna.

Då detta arbete bör avvaktas, men inte säkert leder till ett förtydligande, behöver dock andra åtgärder vidtas för att hantera den brist på tydlighet som vissa branschaktörer upplever.

3.4.1 Det behövs ett ställningstagande som tydliggör vad som gäller för producentansvaret avseende solcellspaneler

Vår rekommendation: Naturvårdsverket bör ta fram en vägledning eller ett rättsligt ställningstagande avseende producentansvarets tillämpning på solcellspaneler där särskilt frågan om definitionen av *storskalig fast installation* och frågan om solcellspaneler är att anse som *konsumentelutrustning* bör klarläggas.

Vi har uppfattat att den otydlighet som beskrivs om producentansvarets tillämplighet har sin bakgrund i definitionerna av *storskalig fast installation* och frågan om solcellspaneler är att anse som *konsumentelutrustning*. Naturvårdsverket bör, just för att motiven bakom lagstiftningen är relativt otydliga i vissa delar och delar av de relevanta vägledningar som finns är på engelska, utfärda ett tydligt rättsligt ställningstagande.

Detta är i linje med regeringens konstaterande i skrivelsen (2023/24:49) *Riksrevisionens rapport om hantering av uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad* att tillsynsansvaret, utöver att säkerställa att producenterna bekostar omhändertagande av avfallet, även omfattar tillsyn av hur insamlingssystemet fungerar och hur effektivt och på vilket sätt elavfallet materialåtervinns. Detta då det förtydligas att det med tillsyn inte bara avses att kontrollera att miljöbalken (1998:808), föreskrifter och beslut följs utan också att underlätta för den enskilde att fullgöra sina skyldigheter. Det senare kan exempelvis innebära att på ett så klart och tydligt sätt som möjligt informera om myndighetens tolkning av bestämmelserna. Rapportförfattarna kan konstatera att det inte av information från exempelvis myndighetens hemsida ges någon närmare ledning till producenter och andra företag.

Vi anser att det behövs ett rättsligt ställningstagande eller annan vägledning från Naturvårdsverket. Ett tydligt ställningstagande, som också tillämpas i tillsynen, kan bidra till att en aktör som gör en annan bedömning väljer att låta frågorna prövas rättsligt. Givet den oklarhet och olika uppfattning som verkar förekomma i olika länder borde en domstol överväga att inhämta ett förhandsavgörande från EU-domstolen. Där bör det klart framgå myndighetens syn på om solcellspaneler omfattas av producentansvaret (att solcellspaneler inte omfattas av undantaget om storskaliga fasta installationer) och i vilken kategori som solcellspanelerna i så fall ska anmälas (att det normalt är konsumentelutrustning, och inte annan elutrustning).

Det kan även, som Naturvårdsverket konstaterat i sin rapport *Ökad återvinning och återanvändning av elutrustning* (Naturvårdsverket 2023a, s.62), vara så att ett riktat rapporteringskrav för mängden solceller som sätts på marknaden, samlas in och behandlas kan bidra till en tydlighet till producenter inom solcellsbranschen om att solcellspaneler omfattas av producentansvaret.

Det ska i detta sammanhang särskilt nämnas att flera branschaktörer har erbjudit sin medverkan i att sprida slutsatserna i ett rättsligt ställningstagande. På så sätt kan det förväntas att ett rättsligt ställningstagande effektivt kan minska risken för omedvetna avsteg från regelverket. Det har i detta sammanhang särskilt önskats vägledning om hur aktörer som gjort fel kan rätta sina uppgifter i efterhand och vad det får för konsekvenser av om anmälan gjorts för sent men självrättelse gjorts. Även om det inte är möjligt att retroaktivt anmäla sig till Naturvårdsverket finns det genom producentansvarsorganisationerna ett ansvar att ta omhand även historiska avfallsflöden. Ett tydligt svar på hur den som i efterhand insett att de gjort fel bör gå tillväga för att så långt möjligt rätta sitt misstag och göra rätt för sig kan vara bra information att lämna på Naturvårdsverkets hemsida. I detta sammanhang behöver beaktas hur förhållandet att den uppgiftsskyldige, innan det funnits anledning att anta att Naturvårdsverket uppmärksammat felet, rättar sitt agerande ändå kan riskera åtalsanmälan kan påverka viljan att anmäla. På andra områden såsom i fråga om skattebrott kan självrättelse i vissa fall leda till ansvarsfrihet.

Det är givetvis svårt att uppskatta hur stort felet i rapporteringen är men det största felet förefaller, efter samtal med aktörer och förutsatt att vår tolkning är rätt, vara avseende att solcellspanelerna inte ansetts vara konsumentelutrustning. Vissa aktörer menar att felet kan vara så stort som 50 procent.

I arbetet med att ta fram det rättsliga ställningstagandet kan Naturvårdsverket även överväga att ge vägledning om producentansvarets tillämplighet på byggnadsintegrerade solceller för att förekomma en framtida diskussion kring dessa. Vi ser dock gärna att ett sådant arbete inte ska tillåtas försena arbetet i övrigt, i så fall är det bättre att arbetet tas i två steg.

Närmare om den juridiska tolkningen

Vi har inom ramen för vår utredning gjort en begränsad egen bedömning hur frågorna ska tolkas.

När det gäller den första frågan om **storskalig fast installation** menar vi att det finns gott stöd för att solcellspaneler *inte* är att anse som en storskalig fast installation. De är därför inte undantagna från producentansvaret för elutrustning. Enligt förordningen (2022:1276) om producentansvar för elutrustning gäller följande.

> ”19 § Med storskalig fast installation avses i denna förordning en elutrustning som
>
> 1. är avsedd att användas varaktigt i en byggnad eller annan konstruktion på en på förhand bestämd och särskilt avsedd plats,

2. består av olika slags elutrustning som satts samman och installerats av fackmän,
3. måste monteras ned av fackmän, och
4. endast kan ersättas av en motsvarande specialtillverkad utrustning."

"22 § Denna förordning gäller inte […] storskaliga fasta installationer och elutrustning som ingår i storskaliga fasta installationer om elutrustningen är särskilt tillverkad för att ingå i och installerad som en del av installationen"

Även om det inte av svensk förordning framgår hur frågan ska tolkas är bakomliggande direktiv betydligt tydligare. I WEEE-direktivet (skäl 9) anges att

"Målen för detta direktiv kan uppnås utan att storskaliga fasta installationer såsom oljeplattformar, bagagetransportsystem på flygplatser eller hissar ingår i dess tillämpningsområde. Utrustning i sådana installationer, men som inte är särskilt utformad och installerad som en del av sådana installationer, och som kan fungera även om den inte utgör en del av dessa installationer, bör dock omfattas av direktivets tillämpningsområde. Detta gäller t.ex. utrustning som belysningsutrustning och solcellspaneler"

Detta innebär en avsevärd uppförsbacke för den som menar att solcellspaneler skulle falla under undantaget för storskaliga fasta installationer. Här ska särskilt lyftas fram att solcellspaneler i större solcellsparker, för den delen även oljeplattformar, bagagetransportsystem på flygplatser eller hissar som nämns i ovan citerat skäl, normalt inte är särskilt utformade för dessa utan kan monteras även som en del av andra anläggningar. Det är normalt fråga om liknande paneler för olika användningsområden (småhus, större byggnader och markanläggningar av olika slag). Att exempelvis solcellspaneler för större solcellsparker ofta är större gör inte att de inte kan komma att dyka upp i andra anläggningar, såväl i markanläggningar som på tak. Det är därför i vår mening svårt att anse att solcellspaneler normalt är särskilt tillverkade för att ingå i och installerad som en del av installationen.

För att undantaget för storskaliga fasta installationer ska vara tillämpligt behöver alla delar i 19 och 22 §§ uppfyllas. Det finns vidare skäl att bl.a. ta del av European WEEE Registers Networks (2016) vägledning (med hänvisningarna däri) i frågan (2). I denna lyfts bl.a. följande punkter som gör det svårt att se solcellspaneler som en storskalig fast installation.

- Det anges att konsumentelutrustning inte kan omfattas av undantaget (se nedan i detta avsnitt för en utveckling av frågan om solcellspaneler som konsumentelutrustning).
- Det anges kriterier för vad som kan anses vara storskaligt. Det är där fråga om betydligt större föremål än solcellspaneler, som kan rymmas i en vanlig skåpbil och inte är svårt att få in i en container.
- Det kan ifrågasättas om det krävs särskilt utbildad personal för montering och nedmontering av de flesta solcellsanläggningar. Vägledningen kan tolkas som att det krävs någonting mer än vad som normalt gäller för en stor del av fasta elinstallationer (elektrikerbehörighet). Givet att det är en särskilt komplicerad uppgift att montera och särskilt enkelt att nedmontera en solcellsanläggning när den väl gjorts strömlös.
- Det är fråga om generiska produkter som mycket väl kan komma att installeras på en avsevärt annan plats efter försäljning på andrahandsmarknaden. Det är därför möjligt att anse att dessa inte varaktigt ska installeras just på en viss plats för hela installationens livslängd.

- När det gäller frågan om utrustning i sådana installationer, men som inte är särskilt utformad och installerad som en del av sådana installationer, och som kan fungera även om den inte utgör en del av dessa installationer framförs kravet på att utrustningen ska vara skräddarsydd/anpassad för installationen. Standardiserade delar kan alltså utgöra en del av storskaliga fasta installationer men inte i sig undantas.

När det gäller den andra frågan om **konsumentelutrustning** är rättsläget i vissa fall möjligen något mer oklart. I de flesta fall menar vi dock att solcellspaneler är att anse som konsumentelutrustning. Detta då det i huvudsak är samma eller likartade solcellspaneler som installeras på privatbostadsfastigheter som i exempelvis mycket stora solcellsparker och det även om solcellspanelerna till större parker skulle ha viss annan utformning alltid finns en betydande risk för att panelerna på en andrahandsmarknad ändå hamnar hos konsumenter. Enligt uppgifter till oss verkar det som om myndigheter i andra länder en annan syn i frågan. Inom ramen för detta kartläggningsarbete har vi dock inte hittat aktörer på den svenska marknaden som till oss framfört att de i huvudsak inte skulle dela bedömningen att det är fråga om konsumentelektronik. Däremot har det framförts att det förekommer aktörer som inte anmält solcellspanelerna på detta sätt samt angetts att vissa aktörer (andrahandsuppgifter) menar att det, om producenten exempelvis importerat utrustning för att installera det i en stor solcellspark eller takinstallation, är otydligt mot bakgrund av Europeiska kommissionens Generaldirektoratet för miljös dokument med svar på vanliga frågor (European Commission 2014). Där anges följande som exempel på konsumentelektronik:

> ”standard photovoltaic panels operating at a voltage or having a power consumption or generating electricity inside the range available in private households.”

Samtidigt anges i följande stycke att elektrisk och elektronisk utrustning

> ”operating at a voltage or having a power consumption or generating electricity outside the range available in private households (e.g. large scale photovoltaic systems designed for professional use)”

Detta indikerar att det finns en öppning för att inte alla solcellssystem skulle anses som konsumentelutrustning, men att det för att inte omfattas då inte får vara fråga om solcellspaneler som skulle kunna monteras hos konsumenter. Enligt vår bedömning ska det i praktiken, utifrån denna tolkning, vara fråga om klart avvikande paneler. Här ska även särskilt noteras att benämningen storskaliga solcellssystem antyder att det såväl är något stort som någon annat än klassiska paneler.

När det gäller *byggnadsintegrerade solceller* är rättsläget mer oklart och då vi bedömt att det ligger i utkanten av vårt uppdrag har vi inte lika ingående analyserat denna fråga. Här följer två delar som vi tycker vore särskilt intressant att få besked kring:

- Det finns skäl att närmare undersöka gränsdragningen mellan vad som är byggnadsmaterial och vad som kan anses som en installation, vilket bl.a. lyfts av (European WEEE Registers Network, 2016).
- Om de byggnadsintegrerade solcellerna skulle räknas som en installation menar vi att det finns skäl att ifrågasätta om de kan anses vara storskaliga fasta installationer av tre skäl. För det *första* kan exempelvis en panel integrerad i takbeläggningen normalt ersättas av en annan produkt (en traditionell takbeläggning med utanpåliggande paneler) med samma funktionalitet. För det *andra* behöver det utredas i vilken utsträckning själva elutrustningen tillverkats särskilt just för denna tillämpning (exempelvis för att vara en

del av en fasadpanel) eller om det är fråga om utrustning som lika gärna kan användas i andra sammanhang. För det *tredje* behöver det övervägas hur exempelvis tämligen generiska fasadpaneler, som kan fästas på en stor variation av byggnader, förhåller sig till de mer nischade exempel på storskaliga fasta installationer som nämns i WEEE-direktivet (skäl 9).

3.4.2 Förstärkt tillsyn av producentansvaret för solcellspaneler

Vår rekommendation: Naturvårdsverket bör genomföra en riktad tillsyn avseende om producenter på rätt sätt, i enlighet med det framtagna rättsliga ställningstagandet, anmält solcellspaneler i rätt mängd och kategori.

Tillsynen för producentansvaret för elutrustning behöver stärkas. Riksrevisionen bedömer att det finns brister i tillsynen såväl avseende antalet ärenden som djupet i dessa. Vi har även förstått att en stor del av tillsynen består i praktiken om att ha fokus på de som redan finns i systemen och exempelvis påminna om de är sena med rapportering. Inte heller har vi förstått att tillsynen i praktiken inte heller prövar om producentansvar anmäls i rätt kategori (konsumentelutrustning och inte annan elutrustning). Det är från våra samtal uppenbart att det finns, en visserligen minoritet av, aktörer som medvetet eller omedvetet brutit mot regelverket och att bristande tillsyn av att gällande lagstiftning följs och otillräckliga sanktioner kan påverka möjligheten att konkurrera på lika villkor.

Regeringen framför i skrivelsen (2023/24:49) *Riksrevisionens rapport om hantering av uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad* att den utgår från att Naturvårdsverket fullgör sina skyldigheter i egenskap av tillsynsmyndighet och konstaterar att Riksrevisionens rapport kan utgöra en del av underlaget till tillsynsplanen för 2024. Även om vi har förståelse för att sådan tillsyn kan komma att ske på bekostnad av annan tillsyn anser vi att det är motiverat att Naturvårdsverket gör riktad tillsyn mot ett segment där det upplevs förekomma problem och där avfallsvolymerna snabbt växer.

För att finansiera ett utökat arbete med tillsyn bör en avgiftshöjning för producenter i allmänhet att övervägas.

Om Naturvårdsverket, efter en sådan riktad tillsyn, bedömer att tillsynen inte är tillräcklig kan ytterligare sanktioner övervägas. Om det förekommer mer flagranta eller särskilt omfattande överträdelser bör Naturvårdsverket överväga att använda sig av möjligheten till åtalsanmälan. Att i samband med en ny vägledning (se avsnitt 3.4.1) tydliggöra att Naturvårdsverket kan komma att göra en riktad tillsyn och vid misstanke om brott kan komma att göra en åtalsanmälan kan förtydliga budskapet om att ”från och med nu behöver ni se till att anmäla producentansvar och vi kommer snart börja agera om ni inte gör det”.

3.4.3 Stärkta incitament för korrekt anmälan om producentansvar avseende solcellspaneler

Vår rekommendation: Energimyndigheten bör överväga att i sin rapportering till regeringen lämna förslaget att det bör utredas om skattereduktionen för grön teknik bör villkoras med att installerad elutrustning (särskilt solcellspanelerna) har anmälts till Naturvårdsverket som konsumentelutrustning.

Som tidigare nämnts är det samma eller liknande solcellspaneler som installeras i konsumenters anläggningar som i större solcellsparker och takinstallationer. Om staten genom skattereduktionen för grön teknik endast skulle ge stöd för installation av solcellspaneler som anmälts som konsumentelutrustning kan systemet med producentansvar stärkas. Det saknas enligt oss vidare skäl att, givet att stödet riktar sig till privatbostadsfastighetsägare, subventionera solcellspaneler (och annan elutrustning) som inte klassas som konsumentelektronik. På liknande sätt finns andra krav för ökad seriositet, bl.a. att utföraren ska vara godkänd för F-skatt och att det som installeras ska vara av viss typ, t.ex. ska laddningspunkter för elbilar uppfylla vissa standarder för att berättiga till skattereduktion.

Det bästa vore om detta förslag, som ofrånkomligen medför ökad administration, inte skulle behövas. Samtidigt måste staten vidta ytterligare åtgärder om andelen anmälningar till Naturvårdsverket över tid fortsätter att vara alltför låg. Att fler åtgärder med bieffekter övervägs kan utgöra skäl för branschaktörer att vidta åtgärder för att öka andelen (korrekt) anmälda solcellspaneler.

Förslaget förutsätter, om inte Skatteverket ska få fler uppgifter och att kostnaden och arbetsinsatsen för prövningen av ansökningar ska öka kraftigt, att det;

- inte sker någon löpande kontroll av om detta krav efterlevs (vi har förstått att Skatteverket inte gör någon kontroll före utbetalning av vissa andra krav såsom standard för uttag till laddningspunkter för elbilar), eller
- samlas in uppgifter från utföraren av installationen som berättigar till skattereduktion som gör det möjligt att på ett automatiserat sätt verifiera om producenten (ofta i tidigare led) anmält panelerna. Detta bör i så fall inte innefatta en prövning av om anmälan som sådan är korrekt utan den prövningen åligger fortsatt Naturvårdsverket. Vi har inte inom ramen för detta uppdrag kunnat dyka djupare i frågan men kan konstatera att Skatteverket inte idag i blanketten *Begäran om utbetalning – Installation av grön teknik* (SKV 4557) samlar in uppgifter om solcellspanelernas modell. Det är inte heller säkert att det av fakturorna eller av annat tillgängligt skriftligt underlag finns uppgift om vilken panel som installerats var. En automatiserad prövning skulle dock sannolikt leda till utvecklingskostnader och tidsåtgång hos företagen som behöver vägas mot nyttan. Detta är således den första punkten som ligger närmast till hands.

Oavsett om den initiala prövningen är begränsad eller inte, finns det givetvis möjlighet att återkräva skattereduktionen om det kommer till Skatteverkets kännedom att kraven inte är uppfyllda. För att inte enskilda ska drabbas på ett orimligt sätt bör det i ett lagstiftningsarbete övervägas om en sådan reform bör kombineras med åtgärder, eller förarbetsuttalanden, för att mildra eventuella effekter. En utmaning kan vara avtalsvillkor där konsumenten ska bära den slutliga kostnaden även för återbetalningskrav som beror på att installatörsledet inte anmält solcellspanelerna på rätt sätt. Sådana avtalsvillkor bör enligt oss anses oskäliga och därför jämkas.

Om Skatteverket har, och med sekretessbrytande kan dela, uppgifter om vilken modell av solcellspaneler som installerats och om den i bakomliggande led ansvariga producenten, skulle dessa uppgifter kunna vara till nytta för Naturvårdsverkets tillsyn. Uppgifter om utföraren (alltså den som installerat solcellsanläggningen) saknar dock i många fall värde för tillsynen av producentansvaret (då det oftast inte är denna aktör som ska anmäla producentansvar).

3.4.4 Sanktionsavgifter vid överträdelser av regelverket om producentansvar för bland annat solcellspaneler

Vår rekommendation: Naturvårdsverket bör överväga kännbara sanktionsavgifter för den som inte fullföljt sina skyldigheter beträffande producentansvaret.

Det bör övervägas om sanktionerna på producentansvarsområdet är tillräckligt kännbara för att ge en handlingsstyrande effekt, detta gäller särskilt att miljösanktionsavgifter inte är möjligt för aktörer som inte är, men borde vara, anmälda hos Naturvårdsverket och att vitesförelägganden vid tillsyn blir framåtsyftande. Detta är givetvis en fråga som är större än bara solcellspaneler, varför det bör övervägas för lika för alla jämförbara produkter. Risken för kännbara sanktionsavgifter, särskilt om de står i proportion till volymen av produkter som satts på marknaden i Sverige, bör enligt flera vi pratat med öka. Som framgår i avsnitt 3.4.2 finns även möjligheten att vid behov göra en åtalsanmälan. Vi tror att detta verktyg bör användas oftare, om inte annat för att driva praxis vid oklara fall.

3.5 Förbättrade data om solcellspaneler och vindturbinblad

3.5.1 Solcellsanläggningsregister

Vår bedömning: Det bör i annat sammanhang övervägas om det bör införas ett nationellt register för solcellsanläggningar, inklusive solcellspaneler.

Som framgår i avsnitt 2.9.1 finns skäl att överväga insamling av fler uppgifter än idag för att kunna bedöma avfallsströmmarna på sikt då dagens beräkningar av solcellspanelerna i Sverige till stora delar bygger på antaganden. Vi tror mot bakgrund av detta att det finns skäl att överväga att införa ett nationellt solanläggningsregister där det framgår vilka solcells-anläggningar som finns var och vilken utrustning som finns installerad och föreslår att man tar *Data Model for PV Systems* som utgångspunkt. Ett sådant register bör fylla ett antal olika behov för flera olika intressenter, men för att kunna nyttjas för planering av ett cirkulärt omhändertagande bör åtminstone parametrarna i Tabell 18, eller motsvarande, vara inkluderade.

Tabell 18. Skiss på information för kunskap för att kunna förstå framtida avfallsmängder från solcellspaneler, utan inbördes ordning. Bör anpassas efter nya ekodesignregelverk/produktpass.

Parameter	Enhet/ kategori
Antal paneler	Stycken, st
Vikt per panel	Kg
Ursprunglig paneleffekt	Wp
Panelutformning	Glas-glas / ramlös / ej glas / byggnadsintegrerad / annat
Cellteknologi	Kristallint kisel / tunnfilm / tandem / annat
Marknadssegment	Småhusinstallation, handel och industri, större markanläggning
Position	Koordinater (latitud, longitud) för mindre anläggning samt area (hektar) för större anläggningar
Datum installation	Datum (här kan hänsyn behöva tas för paneler som bytts ut med nya eller begagnade)
Förväntad livslängd	År
Faktiskt avvecklingsdatum	Datum
Producentansvar	Anmäld som konsumentelutrustning eller annan elutrustning. Anmälnings/diarienummer eller motsvarande

I detta register kan även näraliggande uppgifter registreras, såsom förekomsten av batterier. Det ger även möjlighet att uppskatta volymer kopplade till system som inte är uppkopplade mot elnätet (s.k. off-gridsystem).

Vilka uppgifter som samlas in kan även med fördel samordnas med kommande krav på information med anledning av nytt ekodesignregelverk (se avsnitt 2.9.2). Detta gör det möjligt för aktörer som exempelvis överväger att starta en anläggning för storskaligt industriellt omhändertagande av framtidens avfallsströmmar i Sverige att bättre kunna uppskatta marknadens storlek och innehåll. För den som vill komma över eller bli av med paneler inom ramen för utbytesprogram skulle det underlätta avsevärt om det gick att veta vilka typer av paneler som närmar sig en ålder då de kan tänkas monteras ner. På så sätt skapas större förutsättningar att ge stöd för investeringar i materialåtervinning och utbytesprogram.

Givetvis kan ett solcellsregister även fylla flera andra funktioner för olika aktörer som vi inte inom ramen för denna utredning kunnat fördjupa oss i. Detta kan handla om (i) att minska behovet för de olika nivåerna av elnätsägare att beräkna belastningen på deras nät vid olika väderlek, (ii) att balansansvariga bättre kommer kunna beräkna kundernas förbrukning och produktion i förväg, (iii) att olika myndigheter, utan att begära in uppgifterna manuellt, exempelvis kan publicera aggregerad statistik över utvecklingen i landet och (iv) att aktörer med ett berättigat intresse kan få direktaccess till uppgifter om enskilda anläggningar registret för viktiga ändamål, såsom för Skatteverket att kunna verifiera rätten till ersättning för grön teknik, ”60-öringen” och befrielse från energiskatt, nätägare för att planera åtgärder i sin anläggning eller räddningstjänsten vid insatser (såväl brand i batterierna som risk för strömgenomgång från aktiva paneler påverkar deras insatser).

En ingående utredning av förutsättningarna för ett sådant register behöver utredas i ett annat sammanhang. Det bör då även övervägas möjligheterna att genom detta register undvika behov av dubbelrapportering, exempelvis statistik till myndigheter, anmälan till nätägare m.m. utan att det kan ske på samlat sätt genom en och samma plattform. Det bör även särskilt övervägas vilken säkerhetsnivå som är rimlig för sådan information med tanke på det försämrade omvärldsläget.

På kort sikt är det välkommet med Naturvårdsverkets förslag i rapporten *Ökad återvinning och återanvändning av elutrustning* (Naturvårdsverket 2023a) om att införa en ny underkategori för solcellspaneler vid anmälan och rapportering av vilken utrustning som släppts ut på marknaden, samlats in och behandlats. Detta förslag kombinerat med ett nationellt solcellsanläggningsregister finns även utökade möjligheter att planera tillsynen om det finns uppgifter om att volymerna kan skilja sig åt.

3.5.2 Mer data om vindkraftsanläggningar

Vår rekommendation: Energimyndigheten bör överväga att till regeringen föreslå att det tas initiativ för en större utveckling av vindbrukskollen alternativt att ett nytt nationellt vindkraftsregister tas fram avseende all vindkraftsproduktion i landet.

Som framgår under avsnitt 1.9 ovan är tillgången till data om vindturbinblad en viktig möjliggörare för att få till satsningar på ett industriellt omhändertagande för materialåtervinning och återanvändning.

Vi har i våra samtal med aktörer upplevt att det beskrivs som att Vindbrukskollen har brister och inte är fullständig. Det finns exempel på aktörer som av denna anledning valt att inte alls använda sig av denna tjänst. Liknande synpunkter framfördes för tio år sedan i Energimyndighetens rapport *Vidareutveckling av databasen Vindbrukskollen Avrapportering av uppdrag 4 i Energimyndighetens regleringsbrev 2014* från den 5 maj 2014 där följande framgick:

> ”Det är ett brett spektrum av upplevda brister som framförs i remisserna. Den brist som framträder tydligast i remissvaren är att Vindbrukskollen inte innehåller uppgifter om alla befintliga vindkraftverk eller pågående vindkraftsprojekt samt att man inte kan lita på att uppgifter för inlagda verk/projekt är uppdaterade. Konsekvensen blir att Vindbrukskollen inte uppfattas som ett lika användbart och pålitligt verktyg som det skulle kunna vara. I dagsläget är användning av Vindbrukskollen inte obligatorisk, vilket är en huvudorsak till denna brist.”

Vi menar att det finns skäl att överväga att ta fram ett nationellt vindkraftsregister som är fullständigt och obligatoriskt. Det är samma slutsats som Energimyndigheten drog i sin rapport för tio år sedan. I rapporten ges ett antal förslag kopplade till detta. Det kan dock finnas skäl för regeringen att ta ett nytt och samlat grepp om frågorna. Möjligheten till pålitliga prognoser över tillgången på vindturbinblad (vilka volymer när) beskrivs som mycket viktig (se även exempelvis IEA Wind TCP Task 45, 2023). Vi har inte inom ramen för detta projekt möjlighet att utreda denna fråga på djupet men vi listar nedan några frågor vi tror särskilt bör övervägas:

- Finns det skäl att överväga att bygga ett helt nytt register från grunden snarare än att lappa och laga det nuvarande?
- Beaktar registret krav från myndigheter som inte tidigare varit del i arbetet (bl.a. Skatteverket som med anledning av SOU 2023:18 *Värdet av vinden* konstaterat att de varken har tillgång till koordinater om byggnader eller vindkraftverk).
- Hur förhåller det sig i övrigt till behov av rapportering av olika slag (Värderingsenheter hos Skatteverket, anmälningar till elnätsägare m.fl.). Kan detta vara ett samlat register även för fler aktörer än idag?

- Vad finns det för möjligheter att integrera den framtida databasen med exempelvis ett filformat/API för produktpass för vindturbinbladen (se projektet Decomblades i bl.a avsnitt 1.4.5) och kan det i övrigt anpassas för att på bladnivå uppskatta materialströmmar? Det är i detta sammanhang särskilt viktigt att lyfta frågan om att få tekniska standarder på plats så att denna information lätt kan importeras in i ett sådant register vid behov. Här kan även lyftas frågan att det ytterst är det allmänna som kommer behöva ta hand om vindkraftverken för det fall att de ställda säkerheterna för avvecklingen inte räcker varför uppgifter om verkets sammansättning och uppbyggnad kan behöva kunna bli tillgängliga för fler än de som idag äger anläggningen.

Från samtal med den europeiska branschorganisationen Wind Europe efterfrågas möjlighet att på sikt få fram ett gemensamt dataformat för att exportera uppgifter från registret för att få bättre möjligheter att följa utvecklingen på EU-nivå utan omfattande manuellt arbete. Idag är det ett omfattande arbete att samla in uppgifter från de olika medlemsorganisationerna varför de endast samlar in enstaka datapunkter.

I avslutade projekt Rekovind 2 (Rekovind 2, 2022) samt pågående projekt Circublade (Circublade, 2023) har forskare i Sverige jobbat med framtagning av en digital databas med syfte att kunna samla nödvändig information om vindturbinbladen som är i drift i Sverige idag. Till skillnad från data som finns i vindbrukskollen ska dessa nya data kunna göra det möjligt att i god tid planera framtida återvinning eller återanvändning av bladen när demonteringen sker. Det har dock varit en stor utmaning att få tillgång till data för vindturbinblad att lägga in i databasen, trots att flera olika strategier har använts för att komma i kontakt med ägarna av vindturbinerna (kontakt via mail, brev och formulär). Presentationen av vårt arbete inom IEA Wind task 45-arbetsgruppen har väckt mycket intresse från andra aktörer i Europa och Nordamerika (Costa, 2022; André, 2023), och det finns en konsensus bland medlemmarna inom IEA Wind task 45 att tillgång till data för vindturbinblad är nödvändigt för att kunna åstadkomma en hållbar cirkulär hantering av uttjänta vindturbinblad. Svårigheterna att komma åt dessa är en uppfattning som delas med andra forskare som har jobbat med liknande frågor i andra länder.

3.6 Övrigt om omhändertagande av solcellspaneler och vindturbinblad

3.6.1 Samråd och tillstånd enigt miljöbalken (1998:808) samt frågor om återvinningsbarhet av solcellspaneler och vindturbinblad

Vår bedömning: det bör inte i detta sammanhang prövas förändringar avseende samråd eller tillstånd enligt miljöbalken (1998:808) eller för att öka återvinningsbarheten.

Regeringen har i skrivelsen (2023/24:49) *Riksrevisionens rapport om hantering av uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad* angående samråd och tillståndsprövningar och återvinningsbarhet framfört att den bedömer

> ”att omhändertagandet av uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad lämpligen hanteras genom den avfallslagstiftning som gäller när avfallet uppstår, mot bakgrund av att livslängden för de aktuella anläggningarna är förhållandevis lång. På motsvarande sätt regleras utformningen med avseende på återvinningsbarhet och liknande lämpligen genom produktlagstiftningen.”

Vi bedömer mot bakgrund av detta inte att det finns skäl att nu närmare överväga åtgärder på området. Här ska särskilt påpekas att, som nämnts i avsnitt 2.9.2, att det pågår förhandlingar inom EU om ett nytt ekodesignregelverk och att den frågan rimligen passar bättre att hantera inom ramen för en statlig utredning som tittar särskilt på frågor kring samråds och tillståndsprocesser, såsom de för närvarande pågående *En ordnad prövning av havsbaserad vindkraft* (dir. 2023:61) och *Miljötillståndsutredningen* (dir. 2023:78) som dock inte uttryckligen har att beakta denna fråga.

När det gäller solcellspaneler har vi inte närmare kunnat utreda frågan om att villkora möjligheten att bygga särskilt större anläggningar med att anmälan till producentansvar skett. Detta skulle kunna bli aktuellt genom bygglov eller en ny ordning för Länsstyrelsens prövning av större anläggningar. Krav på korrekt anslutning till producentansvar för att få uppföra anläggningen har efterfrågats av vissa branschaktörer.

I linje med regeringen, i skrivelsen (2023/24:49) *Riksrevisionens rapport om hantering av uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad*, ser vi positivt på möjligheterna att genom ekodesignkrav förbättra förutsättningarna för att hantera uttjänta solcellspaneler i enlighet med avfallshierarkin. Samtidigt delar rapportförfattarna regeringens och Riksrevisionens bild av att det kommer att dröja innan sådana ekodesignkrav får effekt varför någon större vikt inte lagts vid denna förordning förutom att förslag, särskilt avseende ett nationellt register för solcellsanläggningar, bör anpassas för att kunna fungera smidigt med exempelvis ett produktpass.

3.6.2 Vägledning avseende avvecklingsplan för vindkraftverk

Vår bedömning: Riksrevisionens rekommendationer i fråga om vägledningen till verksamhetsutövare om tekniker för materialåtervinning av uttjänta vindturbinblad är berättigade.

Vår bild av samtalen med branschen bekräftar i huvudsak Riksrevisionens bedömning att det föreligger en bristande vägledning för principer för cirkulär ekonomi i avvecklingsplaner för vindkraftsparker. Det vore önskvärt att Naturvårdsverket och Energimyndigheten i dialog med berörda aktörer utarbetar en mer detaljerad integrerad vägledning för cirkulära avvecklingsplaner för vindkraftsparker i enlighet med Riksrevisionens rekommendationer. Vägledningen behöver vara detaljerad, bygga på senaste forskning inom området och uppdateras löpande.

3.6.3 Gränsöverskridande transporter och samarbete avseende solcellspaneler och vindturbinblad

Vår rekommendation: Energimyndigheten bör i sin rapportering till regeringen tydliggöra att det, när tillfälle uppstår i förhandlingar på EU-nivå, bör övervägas regler som underlättar inregränsöverskridande handel med avfall där volymer för ett nationellt storskalig industriellt omhändertagande är begränsat.

Möjligheten att på ett lättare sätt flytta uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad över landsgränserna för att ge tillräckligt underlag för ett omhändertagande högre upp i avfallshierarkin har lyfts av aktörer vi har varit i kontakt med och har även uppmärksammats i andra länder. Exempelvis Miljøstyrelsen (2023) i Danmark lyfter fram att:

> ”WindEurope är i diskussion med glasfiberbranschorganisationen och kemibranschorganisationen för att samla in glasfiberkompositer från olika sektorer för att skapa mer volym. Det kräver införande av relevanta avfallskoder i avfallsdirektivet, precis som det finns ett stort behov av att harmonisera reglerna för transport av kompositavfall över landsgränserna. Så länge det inte finns tillräckligt med volym av glasfiberkompositavfall i enskilda EU-länder måste man transportera kompositavfallet över en viss sträcka för att skapa tillräcklig volym för en lönsam återvinningsverksamhet. Därför är det nödvändigt att samla in kompositavfall över landsgränserna.” [vår översättning]

Det beskrivs bl.a. som ett problem att det kan ta flera månader att få godkännande för en transport till en anläggning med ett bättre omhändertagande än deponering. Såväl svenska som europeiska branschorganisationer har till oss framfört att de gärna ser en utveckling på området. Det har bl.a. särskilt lyfts frågan om avfallskoder. Det är dock en fråga som behandlas på EU-nivå varför vi stannat vid att regeringen bör uppmärksammas om frågan.

3.6.4 Producentansvar för vindturbinblad och andra liknande materialströmmar

Vår bedömning: Det bör, företrädesvis på EU-nivå, utredas vidare om och i så fall hur det kan införas ett producentansvar för vindturbinblad, fritidsbåtar och andra kompositmaterial eller annat system som kan nå motsvarande resultat för att öka materialåtervinningen.

Under arbetet med vår rapport har ett stort antal aktörer förespråkat införandet av ett producentansvar för vindturbinblad och fritidsbåtar. Vi konstaterar även att kostnaden för omhändertagandet är begränsad i förhållande till nypriset men kan vara betydande i relation till viljan att betala för ett bra omhändertagande.

Särskilt för fritidsbåtarna bedömer vi att ett producentansvar kan öka viljan att öka återvinningsgraden och på sikt minska behovet av statligt stöd för att finansiera återvinningen. Havs- och Vattenmyndigheten (2023) har föreslagit att ett producentansvar för fritidsbåtar utredas vidare. Då vår utredning primärt handlar om vindturbinblad (och solcellspaneler som redan har ett producentansvar) samt att vi, under avsnitt 3.2.2 ovan, föreslagit att regeringen bör ta initiativ till ett fritidsbåtsregister har vi inte närmare undersökt frågan om ett producentansvar för fritidsbåtar utan anser att frågan i första hand bör hanteras av regeringen och Havs- och Vattenmyndigheten.

Frågan om producentansvar för vindturbinblad kan vara intressant för att säkra att någon tar ansvar för avfallet och skulle även kunna omfatta även mindre vindkraftverk (som inte kräver tillstånd enligt miljöbalken). Det är dock en fråga som kommer ta lång tid innan det kan få genomslag (ett ikraftträdande ligger minst några år bort och sen tar det ytterligare ett stort antal år innan några nämnvärda volymer av vindturbinblad är att vänta). Frågan är komplex då det väcker frågor om även andra delar av vindkraftverket bör omfattas samt om det är något som bör införas samlat i EU eller Norden. Vi har därför bedömt att det inte för oss finns förutsättningar att närmare utreda frågorna inom ramen för denna utredning. Vi har inte heller haft förutsättningar att närmare utreda om det kan införas något annat system än producentansvar för ett ökat omhändertagande genom materialåtervinning (såsom exempelvis fondering av medel).

3.7 Konsekvensanalys vind

3.7.1 Inledning

I detta avsnitt gör en förenklad konsekvensutredning, med utgång ifrån Naturvårdsverkets handledning i samhällsekonomiska analyser (Naturvårdverket 2023c). Syftet med konsekvensutredningen är att analysera effekterna av styrmedel för att åstadkomma ett effektivt omhändertagande av uttjänta vindturbinblad.

Konsekvensanalysen beskriver kvalitativt ekonomiska konsekvenser av förslagen. Beskrivning av miljömässiga konsekvenser beskrivs mer i avsnitten om vad miljöproblemet är i avsnitt 1.7 och hur dessa föreslås lösas i avsnitt 1.10. Sociala konsekvenser berörs inte i denna konsekvensanalys med anledning av att förslagen inte bedöms ha några betydande effekter på folkhälsa, jämställdhet och jämlikhet, kultur, demokrati, tillgänglighet eller utbildning.

3.7.2 Problem- och målformulering

Problembeskrivningen för hantering av uttjänta vindturbinblad återfinns i Riksrevisionens granskningsrapport (2023) samt i tidigare avsnitt i denna rapport, exempelvis i avsnitt 1.7.

Sammanfattningsvis beskriver Riksrevisionen problemet som att ”de statliga styrmedel som finns idag sammantaget inte är tillräckligt effektiva för att styra mot en hantering i enlighet med avfallshierarkin där uttjänta vindturbinblad i första hand återanvänds eller materialåtervinns”. De huvudsakliga styrmedel som finns är förbud mot förbränning och deponering, men att det inte är tydligt om dessa förbud alltid är tillämpliga på uttjänta vindturbinblad.

Avsikten med de alternativa lösningarna som beskrivs nedan är att öka andelen vindturbinblad som återbrukas och materialåtervinns för att minska volymen avfall som hamnar på deponi eller förbränns.

3.7.3 Nollalternativet

Nollalternativet, eller referensalternativet, anger vad som händer om ingen ytterligare åtgärd vidtas.

Riksrevisionen (2023) beskriver att tidigare regeringsuppdrag inte har resulterat i nya eller förändrade styrmedel gällande hanteringen av uttjänta vindturbinblad.

Regeringsuppdraget *Rätt plast på rätt plats* pekar på ett behov av bättre statistik angående vindturbinblad. I arbetets delleverans redovisar Naturvårdsverket att de föreslår att använda Vindbrukskollen för att uppskatta volymer, något som inte skulle innebära bättre information än vad vi har i dag (Naturvårdsverket, 2022b). Utöver att använda Vindbrukskollen föreslår de att även hämta information om avfallsflödet från ägarna av vindkraftsparkerna, om så blir fallet kan nollalternativet leda till bättre data framgent jämfört med nuläget. Däremot nämner Naturvårdsverket att det är osäkert om nationell plastsamordning kommer att ha förutsättningarna att utveckla plastkartläggningsmetoden framgent.

Riksrevisionen (2023) redovisar att Energimyndigheten, Vinnova och Formas har under perioden 2017–2022 beviljat forskningsmedel till närmare sjuttio forskningsprojekt med anknytning till vindenergi. De flesta projekt gäller utveckling av nya material och tekniker kopplat till konstruktionen av vindturbinblad i framtiden, vilket potentiellt kan underlätta hanteringen av framtida uttjänta vindturbinblad. Sju projekt avser hanteringen av uttjänta vindturbinblad, exempelvis metoder för att återanvända och återvinna glasfiberkompositen i bladen.

Det finns åtminstone en aktör som påstår att de har utvecklat en lösning för materialåtervinning av vindturbinblad, se avsnitt 1.5.4. Denna lösning inkluderas inte i nollalternativet då den inte är tillgänglig för marknaden än. Däremot inkluderas de lösningar som beskrivs i avsnitt 1.11, såsom samförbränning och mekanisk återvinning till kompositpaneler.

I nollalternativet finns det potentiellt bättre data om installerade vindturbinblad. Det ställs sällan specifika villkor vid tillståndsprövningen inför etablering av vindkraftverk om hur uttjänta vindturbinblad ska hanteras. Det finns visst återbruk av vindturbinblad i form av exempelvis broar, bullerplank och busshållplatser, men inte i någon större skala. Det finns ingen skalbar marknadslösning för materialåtervinning och begränsade möjligheter till energiåtervinning med anledning av att vindturbinbladens material är skadliga för förbränningsanläggningar.

3.7.4 Alternativa lösningar

De alternativa lösningarna som diskuteras beskrivs tidigare i kapitel 3. Nedan analyseras de alternativ som bedöms som mest lämpliga mer ingående.

3.7.5 Berörda aktörer

De aktörer som kan komma att påverkas direkt av förslagen är tillverkare, importörer, distributörer, installatörer och användare av vindturbinblad, återvinningsaktörer samt myndigheter relaterade till tillsyn och statistikhantering inom vindenergi (ev. Naturvårdsverket, Energimyndigheten, Energimarknadsinspektionen, SCB). Indirekt kan andra aktörer relaterade till vindenergi specifikt och energi generellt påverkas i den mån förslagen underlättar eller försvårar utbyggnaden av Sveriges vindenergiproduktion, såsom länsstyrelser, kommuner, industrier och privatpersoner.

I Tabell 19 att utläsa att en överväldigande majoritet av potentiellt berörda bolag har 0–4 anställda. Viktigt att notera är att ett företag kan vara registrerat under flera SNI-koder.

Tabell 19. Antal företag och storlek i antal anställda inom berörda SNI-koder.

	2022			
SNI-kod	**35.110 Elverk**	**46.699 Partihandel med diverse övriga maskiner och utrustning**	**71.124 Tekniska konsultbyråer inom energi-, miljö- och vvs-teknik**	**38 Avfallshanterings-anläggningar; återvinnings-anläggningar***
0 anställda	1 931	1 822	3 298	477
1–4 anställda	97	985	1 517	200
5–9 anställda	21	331	193	83
10–19 anställda	13	245	131	82
20–49 anställda	14	150	70	60
50–99 anställda	3	49	17	19
100–199 anställda	2	17	9	18
200–499 anställda	3	9	1	11
500+ anställda	6	0	0	7

* Nivån har inte detaljerats till en femsiffrig detaljnivå då flera anläggningar är aktiva inom fler SNI-koder.
Källa: SCB Företagsdatabasen.

3.7.6 Identifiering och bedömning av konsekvenser för olika aktörer

I detta avsnitt beskrivs inom ramen för uppdraget förväntade konsekvenser av förslagen ur ett kvalitativt perspektiv. Dessa behöver kompletteras med en kvantitativ analys.

Minskad möjlighet till deponering och förbränning

Förslaget om minskad möjlighet till deponering och förbränning beskrivs i avsnitt 3.2.1.

Konsekvenser för företag och enskilda

I och med att förslaget endast innebär ett förtydligande av gällande regelverk, ska inte förslaget i sig anses vara ett kostnadsdrivande förslag för företag och enskilda.

Indirekta effekter kan uppstå som en följd av förändringar i utbud och efterfrågan på hantering av uttjänta vindturbinblad. IEA Wind Task 45 – Work Package 4.1 (2022) beskriver hur förbud mot deponi i samband med avsaknad av industriellt skalbara alternativ leder till ökade kostnader för förbränning. På sikt kan detta vara en drivkraft för aktörer att satsa på industriellt skalbara lösningar om även dåliga alternativ är dyra.

Förslaget förväntas inte ha någon särskild påverkan på konkurrensvillkoren för marknadsaktörerna i sektorn.

Konsekvenser för det offentliga

Konsekvenser av förslaget innebär i huvudsak en fullgörandekostnad och ökade löpande administrativa kostnader för ansvarig myndighet i att ta fram och uppdatera vägledningen. Fullgörandekostnader avser i huvudsak engångskostnader för arbetstid som uppstår för myndigheten för att fullgöra förslaget.

Indirekta effekter som förslaget kan leda till är minskade kostnader för prövning för länsstyrelser, av att färre ansöker om dispens. Samtidigt kan förslaget leda till ökade kostnader om vägledningen leder till fler nekade beslut som överklagas.

Konsekvenser för miljön

Förslaget har inga betydande direkta effekter på miljön.

Förslaget förväntas leda till indirekta positiva effekter på miljön genom att minska omfattningen av deponering och förbränning av vindturbinblad. Genom att minska möjligheten för dessa alternativ förväntas incitament skapas att livstidsförlänga bladens användning, antingen genom återanvändning i samma eller andra vindkraftsparker, genom återbruk av bladet till andra funktioner, samt för branschen att utveckla lösningar för materialåtervinning.

Indirekta negativa effekter på miljö kan uppstå ifall förslaget leder till att vindturbinblad i större utsträckning exporteras till länder med mindre strikta regler om deponi och/eller förbränning.

Bättre data om vindturbinbladen

Förslaget om bättre data om vindturbinbladen beskrivs i avsnitt 3.5.2.

Konsekvenser för företag och enskilda

Konsekvenser av förslaget innebär i huvudsak en fullgörandekostnad och löpande administrativa kostnader för producenter av vindturbinblad, producenter av vindkraftverk samt vindkraftsparksägare.

Fullgörandekostnader avser engångskostnader för arbetstid och eventuella inköp av mjukvarustöd för att kunna rapportera efterfrågade uppgifter.

Administrativa kostnader avser kostnader för den arbetstid som tillkommer relevant aktör för att administrera aktörens datainsamling och rapportering. Omfattningen av uppgifterna bör vara restriktiv och inte innehålla fler variabler än nödvändigt för att uppnå önskad miljöeffekt. Detta eftersom den administrativa bördan förväntas ökar ju fler uppgifter som efterfrågas, i den mån administrationen i något steg inkluderar manuellt arbete. På sikt kan ett register leda till minskade löpande administrativa kostnader för datahantering genom att statistiken samlas i ett centralt register.

I det fall myndighetens kostnader för registerhållning ska finansieras genom en registreringsavgift tillkommer en sådan avgift för berörda bolag.

Indirekta effekter kan innebära att aktörer väljer att dra sig ut från marknaden om kostnaderna för fullgörande av förslaget samt de efterföljande administrativa avgifterna blir för höga. Vindkraftverksproducenterna förväntas däremot ha tillgång till mycket av den information som är relevant att samla in enligt förslaget, och bör rimligtvis inte leda till några kostnader av stor betydelse.

Det finns ungefär 5 500 upprättade vindkraftverk i Sverige och det upprättades i snitt ungefär 300 vindkraftverk per år under perioden 2009–2023 (Vindbrukskollen, u.å.). Enligt Svensk Vindenergi (2023) kommer ungefär 900 tas i drift under perioden 2023–2026, vilket motsvarar ungefär 225 vindkraftverk per år.

Regelrådets metod att enskilda regelkrav anses medföra betydande kostnader om de förväntas leda till en ekonomisk påverkan om minst 28 miljoner kronor per år (Tillväxtverket, 2021). För att detta krav skulle anses vara betydande skulle administrationen för datainsamling och rapportering per vindkraftverk behöva kosta 124 000 kronor och ta 290 timmar baserat på en genomsnittlig arbetskraftskostnad om 430 kr/h och 225 nya vindkraftverk per år, vilket vi bedömer som mycket osannolikt.[7] Utöver administration för nya vindkraftverk innebär förslaget administration vid förändring av upprättade vindkraftverk, men inte heller dessa förväntas uppgå till någon betydande kostnad.

Förslaget kan bidra till förbättrade konkurrensvillkor genom att företagen levererar mer information om produkterna. Omfattningen av dessa effekter beror till stor del i vilken utsträckning informationen blir tillgänglig för diverse aktörer på marknaden.

[7] Arbetskostnad baserad på SCB arbetskraftskostnad oktober 2023 bransch D, https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/arbetsmarknad/loner-och-arbetskostnader/arbetskostnadsindex-for-arbetare-och-tjansteman-inom-privat-sektor-aki/pong/tabell-och-diagram/arbetskostnader-for-tjansteman-under-oktober-2023/

Konsekvenser för det offentliga

Kostnaden för ett obligatoriskt register har inte undersökts inom uppdraget.

För berörda myndigheter innebär förslaget både engångskostnader för att upprätta ett system för datainsamling samt löpande administrativa kostnader för att underhålla systemet.

Kostnaden för att upprätta och administrera ett register för vindkraftverk inklusive vindturbinblad beror på om det finns kostnadseffektiva möjligheter att komplettera befintliga register så att de kan användas till vindturbinblad, eller om ett helt nytt register behöver upprättas.

Skatteverket (2023) skriver att uppgifter om vindkraftverk för intäktsdelning bör integreras med fastighetstaxeringsregistret. De uppskattar att det kommer kosta 21 miljoner att utveckla ett nytt IT-system för registrering av uppgifter av vindkraftverk, följt av årliga kostnader om cirka 7,4 miljoner för förvaltning och ökade personalkostnader. Skatteverket beskriver att kostnadsuppskattningen är osäker då det råder stor osäkerhet kring omfattningen. Det är inte klart om kostnadsuppgifterna antar ett separat IT-system eller om det avser integration med fastighetstaxeringsregistret. Enligt IEA (2020) är det svårt att använda befintliga databaser för nya syften om databasen inte var förberedd för ett visst syfte från designfasen.

Andra referenser på kostnader för att upprätta och förvalta ett register är Sjöfartsverkets register för fritidsbåtar tolv miljoner första året och nio miljoner per år, för 256 000 registrerade båtar under perioden 1988–1992 (SOU 2022:49). Enligt Transportstyrelsen finns det klart mer kostnadseffektiva system som kan användas i dag jämfört med kostnaden 1988–1992 (personlig kommunikation, Transportstyrelsen).

Kostnaden för registret bör finansieras genom avgifter.

Konsekvenser för miljön

Förslaget förväntas inte leda till några betydande direkta effekter på miljön.

Förslaget förväntas leda till indirekta positiva effekter på miljön som följd av att bättre information om vindturbinbladen skapar bättre förutsättningar att hantera de på ett sätt som är i linje med avfallshierarkin. Mer information om hur bättre data om vindturbinblad förväntas bidra till positiva miljöeffekter beskrivs i exempelvis i avsnitt 1.7.

Möjlighet till lagring i materialbank

Förslaget om möjlighet till utökad mellanlagring beskrivs i avsnitt 3.2.3.

Konsekvenser för företag och enskilda

I och med att förslaget inte är tvingande leder det inte till några direkta monetära konsekvenser. För företag som vill kunna lagra uttjänta vindturbinblad längre än 3 år förväntas förslaget leda till lägre kostnader än nuläget, genom att dispensprocessen från deponiförbudet underlättas.

För att hantera risker för att mellanlagringen leder till permanent deponi bör förslaget kompletteras med styrmedel som syftar till att minimera denna risk, exempelvis genom incitament såsom avgifter för fondering eller annan betryggande säkerhet. Ett sådant styrmedel skulle endast påverka de aktörer som ansöker om utökad mellanlagring.

Indirekta effekter för aktörer i värdekedjan för vindturbinblad är mer kostnadseffektiv hantering av uttjänta vindturbinblad som följd av ökad förutsägbarhet samt minskad risk för stora årliga variationer i antalet uttjänta vindturbinblad som behöver hanteras.

Konsekvenser för det offentliga

Förslaget kan leda till ökade löpande administrativa kostnader för länsstyrelser i det fall fler aktörer väljer att ansöka om dispens att lagra i materialbank. Denna kostnad kan delvis täckas av avgiftsfinansiering.

Indirekta effekter för kommuner kan uppstå som följd av att förslaget ökar risken för att det som mellanlagras förblir permanent deponi. Detta kan exempelvis ske genom direkt uppsåt eller oavsiktligt av att ett lagrande bolag försätts i konkurs. I sådana fall faller ansvaret på kommunerna att hantera vindturbinbladen tar ansvar för konkursboets lagrade vindturbinblad om ställda säkerheter inte kan täcka kostnaderna. Andra indirekta effekter är att kostnader för att hantera ordinarie dispens för deponiförbudet kan minska.

Konsekvenser för miljön

Förslaget öppnar för möjligheten att fler uttjänta vindturbinblad kan hanteras på ett mer cirkulärt sätt än nollalternativet, vilket förväntas leda till positiva miljöeffekter.

Förslaget kan leda till negativa miljöeffekter om möjligheten till utökad mellanlagring missbrukas och används som en form av deponi utan avsikt att omhändertas.

Utökade forskningsmedel riktade mot återvinningsmetoder för vindturbinblad

Förslaget om möjlighet till utökade forskningsmedel riktade mot återvinningsmetoder för vindturbinblad beskrivs i avsnitt 3.3.1.

De samhällsekonomiska konsekvenserna i detta förslag bör särskilt utredas kvantitativt för att säkerställa att det leder till samhällsekonomiskt positiva effekter. Befintliga eller utökade forskningsmedel bör riktas till de forskningsområden som förväntas ge störst samhällsekonomisk nytta. Vi kan inom ramen för detta uppdrag inte ge någon indikation på att forskningsmedel riktade mot återvinningsmetoder för vindturbinblad har högst marginalnytta i relation till svensk ekonomi och Sveriges miljömål.

Energimyndigheten bör föreslå att regeringen ger Transportstyrelsen uppdrag att utreda utformningen av ett fritidsbåtsregister

Förslaget om Energimyndigheten bör föreslå att regeringen ger Transportstyrelsen i uppdrag att utreda utformningen av ett fritidsbåtsregister beskrivs i avsnitt 3.2.2.

Konsekvenser för företag och enskilda

Konsekvenser av förslaget innebär i huvudsak kostnader för enskilda i form av en registreringsavgift.

Konsekvenser för det offentliga

Uppskattningar för kostnaden att upprätta och förvalta ett register för fritidsbåtar redogörs mer i konsekvensutredningens avsnitt om bättre data om vindturbinbladen. Sammanfattningsvis finns uppskattningar om cirka tolv miljoner under första året och nio miljoner per år följande år, men att dessa troligen är höga uppskattningar. Se även 3.2.2 för överslagsberäkning för nollalternativet.

Kostnaden för registret bör finansierad genom avgifter, förslagsvis en fritidsbåtsregister-avgift med ledning från hur det fungerar på andra områden såsom vägtrafikregisteravgiften.

Konsekvenser för miljön

Mer information om hur bättre data om fritidsbåtar förväntas bidra till positiva miljöeffekter beskrivs exempelvis i avsnitt 1.10.

3.7.7 Sammanfattande bedömning

Sammanfattningsvis syftar de flesta förslag till att minska omfattningen av deponering och förbränning av vindturbinblad samt att skapa bättre förutsättningar att hantera uttjänta vindturbinblad mer cirkulärt genom att etablera data om bladen, såsom innehåll och plats. Förslagen förväntas inte leda till några direkta betydande ekonomiska effekter för berörda företag, utan är med av vägledande karaktär givet gällande regelverk. Förslagen kan leda till indirekt ökade kostnader genom att minska möjligheten att använda billiga metoder såsom deponi eller förbränning. För det offentliga förväntas förslagen sammantaget leda till ökade löpande administrativa kostnader, men att dessa till stor del eller i sin helhet ska bekostas av branschen enligt principen om att förorenaren betalar.

Indirekta effekter som förslagen kan leda till är ökad utsträckning av export till länder med mindre strikta regler för deponi och/eller förbränning. Bättre data om vad som händer med vindturbinbladen när de är uttjänta kan ge underlag huruvida detta är eller blir ett problem, samt hur det kan hanteras effektivt.

3.8 Konsekvensanalys sol

3.8.1 Inledning

I detta avsnitt gör vi en förenklad konsekvensutredning, med utgång ifrån Naturvårdsverkets handledning i samhällsekonomiska analyser (Naturvårdsverket, 2023c). Syftet med konsekvens-utredningen är att analysera effekterna av styrmedel för att åstadkomma ett effektivt omhänder-tagande av uttjänta solcellspaneler.

Konsekvensanalysen beskriver kvalitativt ekonomiska konsekvenser av förslagen. Beskriv-ning av miljömässiga konsekvenser beskrivs med avsnitten om vad miljöproblemet och hur dessa föreslås lösas i avsnitt 2.6. Sociala konsekvenser berörs inte i denna konsekvensanalys med anledning av att förslagen inte har några betydande effekter på folkhälsa, jämställdhet och jämlikhet, kultur, demokrati, tillgänglighet eller utbildning.

3.8.2 Problem- och målformulering

Problembeskrivningen för hantering av uttjänta solceller återfinns i Riksrevisionens granskningsrapport (2023) samt i tidigare avsnitt i denna rapport, exempelvis avsnitt 2.6.

Sammanfattningsvis beskriver Riksrevisionen problemet som att ”de statliga styrmedel som finns idag sammantaget inte är tillräckligt effektiva för att styra mot en hantering i enlighet med avfallshierarkin där uttjänta solcellspaneler i första hand återanvänds eller materialåtervinns”. Livslängderna för solcellspanelerna förväntas vara så pass långa att det finns en förväntan att det kommer saknas ekonomiska incitament att återanvända uttjänta solcellspaneler, med anledning av att mer effektiv teknik förväntas introduceras på marknaden. Det saknas adekvat materialåtervinningskapacitet för den i dag dominerande solcellsteknologin (första generationen).

Avsikten med de alternativa problemlösningar som beskrivs nedan är att öka användningstiden av installerade solceller, samt att öka andelen solcellspaneler som materialåtervinns. En förlängd användningstid minskar det totala materialbehovet för att möta Sveriges efterfrågan på förnybar energi. Ökad andel solcellspaneler som materialåtervinns minskar också det totala materialbehovet för att möta Sveriges efterfrågan på förnybar energi, samt minskar volymen avfall som hamnar på deponi eller förbränns.

3.8.3 Nollalternativet

Nollalternativet, eller referensalternativet, anger vad som händer om ingen ytterligare åtgärd vidtas.

Riksrevisionen (2023) beskriver att tidigare regeringsuppdrag inte har resulterat i nya eller förändrade styrmedel gällande hanteringen av uttjänta solcellspaneler.

Vi förväntar oss att det kommer finnas bättre solenergistatistik framgent som följd av ett regeringsuppdrag som Energimyndigheten har fått kopplat till utbyggnaden av solel (Riksrevisionen, 2023). Statistik om exempelvis installerad kapacitet är viktigt för att skapa förutsägbarhet om förväntade framtida avfall att hantera.

Det finns åtminstone fyra statligt finansierade forskningsprojekt som avser hantering av uttjänta solcellspaneler som beviljats under perioden 2017–2022 (Riksrevisionen, 2023).

EU förhandlar om en kommande Ekodesignregelverk som inkluderar ekodesignskrav för solcellspaneler, dessa inkluderas inte i nollalternativet.

I nollalternativet finns bättre statistik om den installerade solcellskapaciteten, medan den fortsatt kommer vara begränsad för redan installerade solcellspaneler och det råder otydligheten om vilka solcellspaneler som omfattas av producentansvar. Detta förväntas resultera i en felaktig bild av kommande volymer av uttjänta solcellspaneler samt att de solcellspaneler som i dag inte registrerats inom producentansvaret inte kommer att hanteras på ett önskvärt sätt enligt avfallshierarkin.

3.8.4 Alternativa lösningar

De alternativa lösningarna som diskuteras beskrivs tidigare i kapitel 3. Nedan analyseras de alternativ som bedöms som mest lämpliga mer ingående.

3.8.5 Berörda aktörer

De aktörer som kan komma att påverkas direkt av förslagen är tillverkare, importörer, distributörer, installatörer och användare av solcellspaneler, elnätsägare, återvinningsaktörer samt myndigheter relaterade till tillsyn och statistikhantering inom solenergi (ev. Naturvårdsverket, Energimyndigheten, Energimarknadsinspektionen, SCB). Indirekt kan andra aktörer relaterade till solenergi specifikt och energi generellt påverkas i den mån förslagen underlättar eller försvårar utbyggnaden av Sveriges solenergiproduktion, såsom länsstyrelser, kommuner, industrier och privatpersoner.

I Tabell 20 och Tabell 21 går att utläsa att en överväldigande majoritet av potentiellt berörda bolag är 0–4 anställda. Viktigt att notera är att ett företag kan vara registrerat under flera SNI-koder.

Tabell 20. Antal företag och storlek i antal anställda inom berörda SNI-koder.

	2022				
SNI-kod	**35.110 Elverk**	**71.122 Tekniska konsultbyråer inom industri-teknik**	**71.124 Tekniska konsultbyråer inom energi-, miljö- och vvs-teknik**	**46.521 Partihandel med elektronik-komponenter**	**38.312 Anläggningar för demontering av elektrisk och elektronisk utrustning**
0 anställda	1 931	6 621	3 298	507	12
1–4 anställda	97	3 357	1 517	235	1
5–9 anställda	21	256	193	82	0
10–19 anställda	13	181	131	54	1
20–49 anställda	14	109	70	39	1
50–99 anställda	3	51	17	13	0
100–199 anställda	2	19	9	3	0
200–499 anställda	3	7	1	1	0
500+ anställda	6	6	0	2	0

Källa: SCB Företagsdatabasen.

Tabell 21. Antal företag och storlek i antal anställda inom avfallshantering och återvinningsanläggningar.

	2022
SNI-kod	38 avfallshanteringsanläggningar; återvinningsanläggningar
0 anställda	477
1–4 anställda	200
5–9 anställda	83
10–19 anställda	82
20–49 anställda	60
50–99 anställda	19
100–199 anställda	18
200–499 anställda	11
500+ anställda	7

Källa: SCB.

3.8.6 Identifiering och bedömning av konsekvenser för olika aktörer

I detta avsnitt beskrivs inom ramen för uppdraget förväntade konsekvenser av förslagen ur ett kvalitativt perspektiv. Dessa behöver kompletteras med en kvantitativ analys.

Tydliggörande producentansvar

Förslaget om tydliggörande producentansvar beskrivs i avsnitt 3.4.

Konsekvenser för företag och enskilda

I och med att förslaget endast innebär ett förtydligande av gällande regelverk, ska inte förslaget i sig anses leda till ökade kostnader för företag som hittills inte har anmält producentansvar.

Indirekta effekter som förslaget kan leda till är att aktörer som inte har anmält producentansvar väljer att dra sig ut från marknaden. Detta kan däremot vara en önskvärd effekt för att marknaden inte ska inkludera oseriösa aktörer. Med färre aktörer på marknaden kan konsumenternas valmöjligheter minska och kostnaderna för solcellspaneler kan öka.

Förslaget förväntas bidra till förbättrade konkurrensvillkor för marknadsaktörerna i sektorn. Detta som följd att det blir tydligt att samtliga aktörer inom sektorn ska omfattas av samma villkor.

Konsekvenser för det offentliga

Konsekvenser av förslaget innebär i huvudsak en fullgörandekostnad och ökade löpande administrativa kostnader för ansvarig myndighet.

Fullgörandekostnader avser engångskostnader för arbetstid och eventuella inköp av varor och/eller tjänster som uppstår för myndigheten för att fullgöra förslaget.

Indirekta effekter som förslaget kan leda till är ökade kostnader för tillsyn och prövning för ansvarig myndighet, av att fler anmäler producentansvar. Detta bör finansieras av tillsynsavgifter, i enlighet med att tillsyn och prövning inte ska bekostas av samhället, dvs. principen om att förorenaren betalar.

Konsekvenser för miljön

Förslaget har inga betydande direkta effekter på miljön.

Förslaget förväntas leda till indirekta positiva effekter på miljön i linje med producentansvaret för elutrustning, som följd att fler aktörer förväntas anmäla producentansvar. I det fall som aktörer drar sig ut från marknaden som följd av förtydligandet om producentansvar, och kostnaderna för slutkonsumenter ökar, kan andelen solceller som installeras i Sverige minska, och som följd å ena sidan minskar resursförbrukningen, å andra sidan minskar den svenska produktionen av förnyelsebar el.

Förstärkt tillsyn

Förslaget om förstärkt tillsyn beskrivs i avsnitt 3.4.2.

Konsekvenser för företag och enskilda

Beroende på förslagets utformning kan det leda till att den årliga tillsynsavgiften behöver höjas.

Indirekta effekter som förslaget kan leda till är att aktörer som inte har anmält producentansvar väljer att dra sig ut från marknaden om de förväntar sig att upptäcktsrisken ökar. Detta kan däremot vara en önskvärd effekt för att marknaden inte ska inkludera oseriösa aktörer. Med färre aktörer på marknaden kan konsumenternas valmöjligheter minska och kostnaderna för solcellspaneler kan öka.

Förslaget förväntas bidra till förbättrade konkurrensvillkor för marknadsaktörerna i sektorn. Detta som följd att det blir tydligt att det blir svårare för oseriösa aktörer att undvika producentansvar.

Konsekvenser för det offentliga

Beroende på förslagets utformning kan förslaget innebära ökade löpande administrativa kostnader för ansvarig myndighet, i det fall den förstärka tillsynen riktad mot solcellspaneler inte sker på bekostnad av minskad tillsyn mot annan elutrustning.

I det fall förslaget innebär ökade kostnader för ansvarig myndighet bör kostnaden finansieras av ökade tillsynsavgifter, i enlighet med att tillsyn och prövning inte ska bekostas av samhället, dvs. principen om att förorenaren betalar.

Konsekvenser för det miljön

Förslaget har inga betydande direkta effekter på miljön.

Förslaget förväntas leda till indirekta positiva effekter på miljön i linje med producentansvaret för elutrustning, som följd att fler aktörer förväntas anmäla producentansvar. I det fall som aktörer drar sig ut från marknaden som följd av förtydligandet om producentansvar, och kostnaderna för slutkonsumenter ökar, kan andelen solceller som installeras i Sverige minska, och som följd å ena sidan minskar resursförbrukningen, å andra sidan minskar den svenska produktionen av förnyelsebar el.

Bättre data om panelerna

Förslaget om bättre data om panelerna beskrivs i avsnitt 3.5.1.

Konsekvenser för företag och enskilda

Konsekvenser av förslaget innebär i huvudsak en fullgörandekostnad och löpande administrativa kostnader för de bolag som installerar solcellspaneler.

Fullgörandekostnader avser engångskostnader för arbetstid och eventuella inköp av mjukvarustöd för att kunna rapportera efterfrågade uppgifter.

Administrativa kostnader avser kostnader för den arbetstid som tillkommer relevant aktör för att administrera aktörens datainsamling och rapportering. Omfattningen av uppgifterna för att uppnå förslagets ändamål bör hållas restriktivt och inte innehålla fler variabler än nödvändigt. Däremot kan fler uppgifter vara intressant för andra ändamål som sträcker sig utanför denna rapports fokusområde. Detta eftersom den administrativa bördan förväntas öka ju fler uppgifter som efterfrågas, i den mån administrationen i något steg inkluderar manuellt arbete. Beroende på utformningen av registret kan det leda till sänka löpande administrativa kostnader om rapporteringen kan samlas till ett register i stället för att rapportera samma eller liknande uppgifter till flera myndigheter.

I det fall myndighetens kostnader för registerhållning ska finansieras genom en registreringsavgift tillkommer en sådan avgift för de berörda bolagen.

Indirekta effekter kan innebära att aktörer väljer att dra sig ut från marknaden om kostnaderna för fullgörande av förslaget samt de efterföljande administrativa avgifterna blir för höga. En förväntan är att kostnaden för att rapportera efterfrågade uppgifter kommer föras över till slutkonsumenten, vilket kan leda till en minskad efterfrågan på solcellspaneler.

Förslaget kan bidra till förbättrade konkurrensvillkor genom att företagen levererar mer information om produkterna. Omfattningen av dessa effekter beror till stor del i vilken utsträckning informationen blir tillgänglig för diverse aktörer på marknaden.

Konsekvenser för det offentliga

För berörda myndigheter innebär förslaget både engångskostnader för att upprätta ett system för datainsamling samt löpande administrativa kostnader för att underhålla systemet.

Kostnaden för att upprätta och administrera ett register för installerade solcellspaneler beror på om det finns kostnadseffektiva möjligheter att komplettera befintliga register så att de kan användas till solcellspaneler, eller om ett helt nytt register behöver upprättas. Enligt IEA (2020) är det svårt att använda befintliga databaser för nya syften om databasen inte var förberedd för ett visst syfte från designfasen.

Som nämnts tidigare finns exempel på kostnader för att upprätta och förvalta ett register såsom Sjöfartsverkets register för fritidsbåtar tolv miljoner första året och nio miljoner per år, för 256 000 registrerade båtar under perioden 1988–1992 (SOU 2022:49). Enligt Transportstyrelsen finns det klart mer kostnadseffektiva system som kan användas i dag jämfört med kostnaden 1988–1992 (personlig kommunikation, Transportstyrelsen).

Andra exempel återfinns från Skatteverket som uppskattar att det kommer kosta 21 miljoner att utveckla ett nytt IT-system för registrering av uppgifter av vindkraftverk, följt av årliga kostnader om cirka 7,4 miljoner för förvaltning och ökade personalkostnader (Skatteverket, 2023). Skatteverket beskriver att kostnadsuppskattningen är osäker då det råder stor osäkerhet kring omfattningen.

Kostnaden för registret bör finansieras genom avgifter.

Konsekvenser för det miljön

Förslaget förväntas inte leda till några betydande direkta effekter på miljön.

Förslaget förväntas leda till indirekta positiva effekter på miljön som följd av att bättre information om solcellspanelerna skapar bättre förutsättningar att hantera de på ett sätt som är i linje med avfallshierarkin. Mer information om hur bättre data om solcellspaneler förväntas bidra till positiva miljöeffekter beskrivs i avsnitt 2.9.

Möjlighet till lagring i materialbank

Förslaget om möjlighet till utökad mellanlagring beskrivs i avsnitt 3.2.3.

Konsekvenser för företag och enskilda

I och med att förslaget inte är tvingande leder det inte till några direkta monetära konsekvenser. För företag som vill kunna lagra solcellspaneler längre än 3 år förväntas förslaget leda till lägre kostnader än nuläget, genom att dispensprocessen från deponiförbudet underlättas.

För att hantera risker för att mellanlagringen leder till permanent deponi bör förslaget kompletteras med styrmedel som syftar till att minimera denna risk, exempelvis genom incitament eller avgifter. Ett sådant styrmedel skulle endast påverka de aktörer som ansöker om utökad mellanlagring.

Indirekta effekter för aktörer i värdekedjan för solcellspaneler är mer kostnadseffektiv hantering av uttjänta solcellspaneler som följd av ökad förutsägbarhet samt minskad risk för stora årliga variationer i antalet uttjänta solcellspaneler som behöver hanteras.

Konsekvenser för det offentliga

Förslaget kan leda till ökade löpande administrativa kostnader för länsstyrelser i det fall fler aktörer väljer att ansöka om dispens som följd av möjlighet till utökad mellanlagring.

Indirekta effekter för kommuner kan uppstå som följd av att förslaget ökar risken för att det som mellanlagras förblir permanent deponi. Detta kan exempelvis ske genom direkt uppsåt eller oavsiktligt av att ett lagrande bolag försätts i konkurs. I sådana fall faller ansvaret på kommunerna att den producentansvarslösning som ska hantera solcellspanelerna tar ansvar för konkursboets lagrade solcellspaneler.

Konsekvenser för miljön

Förslaget öppnar för möjligheten att fler uttjänta solcellspaneler kan hanteras på ett mer cirkulärt sätt än nollalternativet, vilket förväntas leda till positiva miljöeffekter.

Förslaget kan leda till negativa miljöeffekter om möjligheten till utökad mellanlagring missbrukas och används som en form av deponi utan avsikt att omhändertas.

Utökade forskningsmedel riktade mot återvinningsmetoder för solcellspaneler

Förslaget om möjlighet till utökade forskningsmedel riktade mot återvinningsmetoder för solcellspaneler beskrivs i avsnitt 2.9.3.

De samhällsekonomiska konsekvenserna i detta förslag bör särskilt utredas kvantitativt för att säkerställa att det leder till samhällsekonomiskt positiva effekter. Befintliga eller utökade

forskningsmedel bör riktas till de forskningsområden som förväntas ge störst samhällsekonomisk nytta. Vi kan inom ramen för detta uppdrag inte ge någon indikation på att forskningsmedel riktade mot återvinningsmetoder för solcellspaneler har högst marginalnytta i relation till svensk ekonomi och Sveriges miljömål.

3.8.7 Sammanfattande bedömning

Sammanfattningsvis syftar de flesta förslag till att gällande regelverk för producentansvar ska efterlevas i högre utsträckning, och att dessa inte förväntas leda till några betydande ekonomiska effekter för berörda företag. För myndigheter förväntas förslagen sammantaget leda till ökade löpande administrativa kostnader, men att dessa till stor del eller i sin helhet ska bekostas av branschen enligt principen att förorenaren betalar.

Indirekta effekter förväntas inkludera att vissa företag som i dag inte har anmält producentansvar kommer välja att dra sig ur marknaden och att det åtminstone kortsiktigt kan leda till ökade kostnader för slutkonsumenterna. Samhällsekonomiskt förväntas detta vara långsiktigt positivt genom att det blir svårare för oseriösa aktörer att bedriva verksamhet och på så sätt förbättras konkurrensvillkoren på marknaden.

Referenser

Abrahamsen, A.B., Beauson, J., Wilhelm Lund, K., Skov Madsen, E., Rudolph, D.P., Pagh Jensen, J. (2023). Method for estimating the future annual mass of decommissioned wind turbine blade material in Denmark, DOI:10.22541/au.168105743.37926484/v1

Aditya Birla (u.å.). *Recyclamine Technology.* https://www.abg-am.com/portfolio/chemistry/recyclamine-technology/F008?tab=1 (besökt den 8 december 2023)

André, A. (2023). CIRCUBLADE presentation – IEA wind Task 45 – Recycling of wind turbine blades, Bristol, 14th November 2023. DOI: 10.13140/RG.2.2.30747.44322. https://www.researchgate.net/publication/375756575_IEAWindT45-Bristol-AlannAndre-RISE-CIRCUBLADE-14112023_-_Final

André, A., Bru, T., Ghafoor, A., Sinha, S., & Mattsson, C. (2023). *Digital platform for management of EoL windturbine blades: Rekovind 2 – WP2*. RISE. Retrieved from https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-65656

André, A., Kullberg, J., Nygren, D., Mattsson, C., Nedev, G. and Haghani, R. (2020) *Re-use of wind turbine blade for construction and infrastructure applications*. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 942.1 (Oct. 2020), p. 012015. DOI: 10.1088/1757-899X/942/1/ 012015. URL: https://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/942/1/012015.

Ascencio-Vásquez, J., Kaaya, I., Brecl, K., Weiss, K.-A., & Topič, M. (2019). Global Climate Data Processing and Mapping of Degradation Mechanisms and Degradation Rates of PV Modules. *Energies, 12*(24), 4749. https://doi.org/10.3390/en12244749

APER (2023) Association pour la Plaisance Eco-Responsable, Presentation L'APER. https://www.recyclermonbateau.fr/l-aper-association-pour-la-plaisance-eco-responsable/ (hämtad den 12 december 2023).

BASF (u.å.). *Life cycle assessment (LCA) for ChemCycling.* https://www.basf.com/be/en/who-we-are/sustainability/we-drive-sustainable-solutions/circular-economy/mass-balance-approach/chemcycling/lca-for-chemcycling.html (besökt den 1 december 2023).

Bergsma, G. (2021). *Chemical recycling and its CO_2 reduction potential* [PowerPoint-presentation]. CE Delft. https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/Chemical-recycling-and-its-CO2-reduction-potential.pdf (hämtad den 1 december 2023).

Boverket (14 september 2023). *Energipolitiska mål påverkar småhus.* https://www.boverket.se/sv/energiguiden/varfor-energirenovera/energisystemet/energipolitiska-mal/ (besökt den 21 dec 2023).

Boyer King, E. (12 december 2019). *Video: France decommissions its oldest wind project.* Windpower Monthly. https://www.windpowermonthly.com/article/1668629/video-france-decommissions-its-oldest-wind-project (besökt den 12 december 2023).

Caro, D., Albizzati, P. F., Cristóbal Garcia, J., Saputra Lase, I., Garcia-Gutierrez, P., Juchtmans, R., ... & Tonini, D. (2023). *Towards a better definition and calculation of recycling* (No. JRC131531). Joint Research Centre (Seville site).

CETEC (u.å.). *CETEC projektet.* https://www.project-cetec.dk/ (besökt den 11 januari 2024).

Chalmers (u.å.) *Kompetenscentrum för återvinning*. https://www.chalmers.se/centrum/ccr/ (besökt den 18 dec 2023).

Chiesura, G., Stecher, H., & Jensen, J. P. (2020, October). Blade materials selection influence on sustainability: a case study through LCA. In IOP *Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 942, No. 1, p. 012011). IOP Publishing.

Circublade (2023) Cirkulär resursanvändning av uttjänta vindturbinblad – Vinnova projekt, Diarienummer, 2022-01348.

Costa, S. (2022) Digitalization of wind turbine blade waste stream to fa-cilitate their re-purpose in new products. In: test. International Conference on Sustainable Wind Turbine Blades: New Materials, Recycling and Future Perspectives (Roskilde, Denmark, Nov. 21–23, 2022). 2022.

Composites Manufacturing (5 augusti 2023). *A Second Life for Wind Blades*. https://compositesmanufacturingmagazine.com/2023/08/a-second-life-for-wind-blades/2/ (besökt den 3 januari 2024).

Continuum (u.å.). *We turn composite waste into recyclable building materials. It's a win-win-win*. https://www.continuum.earth/ (besökt den 3 januari 2024).

Covestro Global Corporate Website (12 augusti 2020). *Covestro, Goldwind and LZ Blades develop world's first 64.2-meter polyurethane wind turbine blade.* https://www.covestro.com/press/covestro-goldwind-and-lz-blades-develop-worlds-first-642-meter-polyurethane-wind-turbine-blade/ (besökt den 20 december 2023).

DecomBlades (25 april 2023). *Blade manufacturers announce joint commitment to support recycling by providing material passports*, https://decomblades.dk/index.php/2023/04/25/638/

Delaney, E.L., McKinley, J. M., Megarry, W., Graham, C., Leahy, P.G., Bank, L.C., & Gentry, R. (2021). An integrated geospatial approach for repurposing wind turbine blades. *Resources, Conservation and Recycling,* Volume 170. Artikel 105601. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092134492100210X

Deng, R., Zhuo, Y., & Shen, Y. (2022). Recent progress in silicon photovoltaic module recycling processes. *Resources, Conservation and Recycling,* Volume 187, Artikel 106612. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106612.

Dodd, N., Espinosa, N, Van Tichelen, P., Peeters, K., Soares, A. M. (2020). *Preparatory study for solar photovoltaic modules, inverters and systems.* EUR 30468 EN. Publications Office of the European Union, Luxembourg.-https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC122431

Ear-Portal. (u.å.). *Systemzugang.* https://www.ear-system.de/ear-portal/ (besökt den 17 november 2023).

ECHA (7 februari 2023 a). *ECHA publishes PFAS restriction proposal.* https://echa.europa.eu/sv/-/echa-publishes-pfas-restriction-proposal (besökt den 8 december 2023).

ECHA (5 december 2023 b). *Substance Infocard 4,4'-isopropylidenediphenol.* https://echa.europa.eu/sv/substance-information/-/substanceinfo/100.001.133 (besökt den 8 december 2023).

Ecoloop & Båtskroten. (2023). *Fritidsbåtar i en cirkulär ekonomi – Kartläggning och åtgärdsförslag.* https://www.havochvatten.se/download/18.4472db4c18a2853a5b1b6684/1693913068355/ru-911-2022-bilaga-1-fritidsbatar-i-en-cirkular-ekonomi.pdf

Energiföretagen & Svensk Solenergi (2021). *Solcellsanläggningars effekt. Anmälan till elnätsföretag* [Broschyr]. https://www.energiforetagen.se/493aaf/globalassets/dokument/broschyrer/anmalan-solceller.pdf

Energikontor Syd & RISE (2023). *Klimateffektiva Solcellsanläggningar -Vägledning för en klimateffektiv förvaltning.* RISE Rapport 2023:19. RISE Research Institutes of Sweden. http://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1740599/FULLTEXT01.pdf

Energimyndigheten (18 oktober 2015). *Solceller växelriktare.* https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/tester/tester-a-o/solceller-vaxelriktare/ (besökt den 23 oktober 2023).

Energimyndigheten (2023a). *Scenarier över Sveriges energisystem 2023 – Med fokus på elektrifieringen 2050*. ER 2023 :07. https://www.energimyndigheten.se/49428c/globalassets/statistik/prognoser-och-scenarier/langsiktiga-scenarier/langsiktiga-scenarier-over-sveriges-energisystem-2023.pdf

Energimyndigheten (2023b). *Utvecklingsvägar för elproduktion – Möjligheter och utmaningar för att möta ett växande elbehov*. ER 2023:18. https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=214523

Energimyndigheten (31 mars 2023c). *Nätanslutna solcellsanläggningar*. https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/natanslutna-solcellsanlaggningar/ (besökt den 12 december 2023).

Energimyndigheten (2024). *Från avfall till resurs – Förslag för en mer cirkulär hantering av solcellspaneler och vindturbinblad. ER 2024:11*.

Envie (u.å.). *Envie 2E Aquitaine inaugure son site de réemploi et de traitement de panneaux photovoltaïques.* https ://www.envie.org/nos-actualites/actualites/reemploi-traitement-panneaux-photovoltaiques-aquitaine/, besökt den 12 december 2023

ETIPWind (2020). *How wind is going circular blade recycling* [Broschyr]. https://etipwind.eu/files/reports/ETIPWind-How-wind-is-going-circular-blade-recycling.pdf (hämtad 12 december 2023).

EoLo Hubs (u.å.). *Discover our project.* https://www.eolo-hubs.eu/ (besökt den 11 januari 2024).

EuCIA (3 juli 2023a). *EuCIA publishes latest edition of European Composites Recycling Solutions database.* https://eucia.eu/eucia-publishes-latest-edition-of-european-composites-recycling-solutions-database/ (hämtad 15 december 2023).

EuCIA (juni 2023b). *Cement co-processing is a sustainable solution for recycling end-of-life composite materials*. *Position paper.* https://eucia.eu/wp-content/uploads/2023/07/230623-Joint-posbition-Co-processing-Composites.pdf (besökt den 1 oktober).

EuCIA (juni 2023c). *European Composites Recycling Solutions.* https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Bf5JAmXTulg0hL8cnV5uuF50lQVsIU26atR-HxqbZFk/edit#gid=1891869250 (besökt den 3 januari 2024).

European Commission (2014). *Frequently Asked Questions on Directive 2012/19/EU on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE).* https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/weee/faq.pdf

European Commission (2020). *Study on Quality Standards for the Treatment of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE).* https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2004b067-726a-11eb-9ac9-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-193365602

European Commission (2022a). *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council, establishing a framework for setting ecodesign requirements for sustainable products and repealing Directive 2009/125/EC,* https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:bb8539b7-b1b5-11ec-9d96-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF

European Commission (2022b). *Working document on a Commission regulation (EU))* of XXX laying down *codesign requirements for photovoltaic modules and photovoltaic inverters pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council,* https://www.energimyndigheten.se/49bee0/contentassets/c266a5f097f647efa00d52f7ece43f11/ecodesign-pv_v2.pdf

European Commission (5 april 2022c). *The Commission starts to develop end-of-waste criteria for plastic waste.* https://environment.ec.europa.eu/news/commission-starts-develop-end-waste-criteria-plastic-waste-2022-04-05_en (besökt den 1 december 2023).

European Commission (2023a). *Proposal for establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials*, COM/2023/160 final. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/DOC/?uri=CELEX:52023PC0160

European Commission (2023b), *Commission welcomes political agreement on new rules to boost energy performance of buildings across the EU, EPBD,* https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_6423

European WEEE Registers Network (2016). *WEEE2 guidance document: Large-scale fixed installations ("LSFI").* https://www.ewrn.org/fileadmin/ewrn/documents/161028_EWRN_LSFI_WEEE2_Guidance_fin.pdf

Finnish Wind Power association 18.8.2023. https://tuulivoimayhdistys.fi/en/ajankohtaista/press-releases/report-wind-turbine-demolition-costs-have-remained-the-same (hämtad 14 november 2023).

Fraunhofer ISE (3 juli 2023) German Net Power Generation in First Half of 2023: Record Renewable Energy Share of 57.7 Percent, https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2023/german-net-power-generation-in-first-half-of-2023-renewable-energy-share-of-57-percent.html (hämtad 2023-12-08).

Geocycle (2022) *Co-processing – our circular solution* https://www.geocycle.com/sites/geocycle/files/2022-08/geo_coprocessing_2022.pdf (besökt den 1 oktober 2023).

GlassCircle (2022) Exploring full cycle circular economy for glass fiber industry https://interreg-baltic.eu/project/glasscircle/

Glasbranschföreningen (u.å.). *Återvinning av bil- och planglas.* https://gbf.se/glasbranschen/hallbarhet/atervinning-av-bil-och-planglas

Grundämnen (u.å.). *Metallpriser: guld, silver, koppar med mera*. Besökt den 20 oktober 2023.

Havs- och vattenmyndigheten (2023) *Regeringsuppdrag insamling och återvinning av fiskeredskap och fritidsbåtar Delrapportering om fritidsbåtar* Dnr 911-2022 https://www.havochvatten.se/om-oss-kontakt-och-karriar/om-havs--och-vattenmyndigheten/regeringsuppdrag/regeringsuppdrag/uppdrag-om-insamling-och-atervinning-av-fiskeredskap-och-fritidsbatar-2022.html#h-Redovisning

Horizon The EU Research & Innovation Magazine (4 oktober 2022). *French tech start-up wins EU's new Industry of the Future Award with raw-materials prowess.* https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/french-tech-start-wins-eus-new-industry-future-award-raw-materials-prowess

HSB (5 juli 2023) *Här anländer fåren till Sveriges största solcellspark*. https://www.hsb.se/nyheter-och-tips/nyheter/2023/har-anlander-faren-till-sveriges-storsta-solcellspark/ (besökt 13 december 2023).

IEA PVPS Task 1 Strategic PV Analysis and Outreach (2021). *National Survey Report of PV Power Applications in Sweden.* https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2022/10/National-Survey-Report-of-PV-Power-Applications-in-Sweden-2021.pdf

IEA PVPS Task 1 och Task 14. (2020). *Data Model for PV Systems: Data Model and Data Acquisition for PV registration schemes and grid connection evaluations – Best Practice and Recommendations*. (Report IEA-PVPS T1/T14-01 :2020). https ://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/11/2020_11_30-PVPS-T1-T14-Data-Model-for-PV-Systems.pdf

IEA PVPS Task 12 PV Sustainability. (2018). *Life Cycle Assessment of Current Photovoltaic Module Recycling.* (Report IEA-PVPS T12-13 :2018). https ://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/Life_Cycle_Assesment_of_Current_Photovoltaic_Module_Recycling_by_Task_12.pdf

IEA PVPS Task 12 PV Sustainability. (2020). *Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Photovoltaic Systems.* (Report IEA PVPS T12-19 :2020). https ://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/12/IEA-PVPS-LCI-report-2020.pdf

IEA PVPS Task 12 PV Sustainability. (2022). *Status of PV Module Recycling in Selected IEA PVPS Task 12 Countries*. (Report IEA-PVPS T12-24 :2022). https ://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2022/09/Report-IEA-PVPS-T12-24_2022_Status-of-PV-Module-Recycling.pdf

IEA PVPS Task 12 PV Sustainability. (2023). *Life Cycle Assessment of Crystalline Silicon Photovoltaic Module Delamination with Hot Knife Technology*. (Report IEA-PVPS T12-25 :2023). https ://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2023/07/Report_IEA-PVPS_T12-25-2023_LCA-PV-Recycling-Hot-Knife.pdf

IEA Wind Task 45 (2022). *Wind Turbine Blades at End-of-Life. A preliminary summary of policies, legislation, guidelines, and initiatives that address reuse, recycling, repurposing, and disposal.* https://usercontent.one/wp/iea-wind.org/wp-content/uploads/2022/12/IEA-Task-45-WP4-Preliminary-Summary-of-Regulations-and-Policies_SHORT.pdf,

IEA Wind Task 45 (2023) Deliverable 2.2 *Blade End-of-Life Treatments: State of the Art, Challenges, Barriers & Environmental Impacts* (Report in press). https://iea-wind.org/task45/t45-publications/

Katsaprakakis, D. A., Papadakis, N., & Ntintakis, I. (2021). *A comprehensive analysis of wind turbine blade damage*. Energies, 14(18), 5974

Kemikalieinspektionen (2023). *Problematiska ämnen i plast som hindrar återvinning.* Rapport 3/23. https://www.kemi.se/publikationer/rapporter/2023/rapport-3-23-problematiska-amnen-i-plast-som-hindrar-atervinning (hämtad 20 december 2023).

King, C. (23 augusti 2023) *Top 10 Wind Turbine Manufacturers.* Energy. https://energydigital.com/top10/top-10-wind-turbine-manufacturers (besökt den 5 december 2023).

Krauklis, Andrey E., Christian W. Karl, Abedin I. Gagani, and Jens K. Jørgensen. (2021). Composite Material Recycling Technology—State-of-the-Art and Sustainable Development for the 2020s. *Journal of Composites Science* 5, no. 1: 28. https://doi.org/10.3390/jcs5010028

Kuusakoski (14 februari 2023) *Kuusakoski announces first composite treatment plant in Finland* https://www.kuusakoski.com/en/global/news/2023/kuusakoski-announces-first-composite-treatment-plant-in-finland/ (besökt den 1 oktober 2023).

Légifrance (2020) *Arrêté du 22 juin 2020 modifiant l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à déclaration au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement.* https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article_lc/LEGIARTI000042064061'

Let's go solar. (u.å.) *How Are Solar Panels Made ?* https://www.letsgosolar.com/faq/how-are-solar-panels-made/ (besökt den 23 oktober 2023).

Liu & Barlow (2017), "Wind turbine blade waste in 2050", Waste Management, Volume 62, 2017, https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.02.007

LM Wind Power (2022). *LM Wind Power readies first recyclable wind turbine blade prototype under ZEBRA project*.https://www.lmwindpower.com/en/stories-and-press/stories/news-from-lm-places/zebra-project-achieves-key-milestone-with-first-prototype-of-recyclable-blade (besökt den 6 december 2023).

LM Wind Power (2023) *From a plastic bottle to a wind turbine blade* https://www.lmwindpower.com/en/stories-and-press/stories/sustainability/from-a-plastic-bottle-to-a-wind-turbine-blade (hämtad 8 december 2023).

LM Wind Power (u.å.). *Designing Blades Without Waste.* https://www.lmwindpower.com/en/sustainability/zero-waste-blades (besökt den 6 december 2023).

Maheut, M. (oktober 2022). *Gaya: Production of SNG from dry biomass and waste pyrogasification* [PowerPoint-presentation]. Engie Crigen. https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2022/10/1-4_Maheut-Engie.pdf

Majewski, Peter & Al-shammari, Weam & Dudley, Michael & Jit, Joytishna & Lee, Sang-Heon & Myoung-Kug, Kim & Sung-Jim, Kim. (2021). Recycling of solar PV panels-product stewardship and regulatory approaches. Energy Policy, 149 (2021). 112062. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112062

Makeen Energy (u.å a). *Environmentally friendly technology.* https://www.makeenenergy.com/business-segments/envirotech (besökt den 11 januari 2024).

Makeen Energy (u.å. b). *DecomBlades' breakthrough in recycling wind turbine blades.* https://www.makeenenergy.com/news-from-makeen-energy/decomblades-breakthrough-in-recycling-wind-turbine-blades (besökt den 11 januari 2024).

Mattsson, C., André, A., Juntikka, M., Tränkle, T., & Sott, R. (2020, October). Chemical recycling of End-of-Life wind turbine blades by solvolysis/HTL. In IOP conference series: materials science and engineering (Vol. 942, No. 1, p. 012013). IOP Publishing.

Medici, P. (2011) LCA of Wikado Playground Compared to a Standard Playground; EC/SD: Rotterdam, The Netherflands.

Medici, P, Dobbelsteen, A- & Peck, D. (2020). Safety and Health Concerns for the Users of a Playground, Built with Reused Rotor Blades from a Dismantled Wind Turbine. Sustainability. 12. 3626. 10.3390/su12093626.

Metallkompetens (u.å.). *1.1 Framställning av aluminium ur bauxit.* https://metallkompetens.se/handbok/om-aluminium/framstallning-av-aluminium/framstallning-av-aluminium-ur-bauxit/ (besökt den 23 oktober 2023).

Meyer Burger (u.å.). *Moduldatablad Meyer Burger Glass,* https://www.meyerburger.com/fileadmin/user_upload/PDFs/Produktdatenblaetter/EN/DS_Meyer_Burger_Glass_en.pdf (hämtad den 8 december 2023)

Miljøstyrelsen (2023). *Kortlægning af mængder og behandlingsmuligheder for vindmøllevinger Initiativ 115.* https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2023/04/978-87-7038-511-4.pdf

Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires/

Ministère de la Transition énergétique (u.å.). *Le recyclage des panneaux photovoltaïques*. https://www.ecologie.gouv.fr/solaire (besökt den 18 oktober 2023).

Mirletz, H., Hieslmair, H., Ovaitt, S., Curtis, T. L., & Barnes, T. M. (2023). Unfounded concerns about photovoltaic module toxicity and waste are slowing decarbonization. Nature Physics, 1–3.

Nagle, A. J., Delaney, E. L., Bank, L. C., & Leahy, P. G. (2020). A Comparative Life Cycle Assessment between landfilling and Co-Processing of waste from decommissioned Irish wind turbine blades. *Journal of Cleaner Production*, *277*, 123321.

National Composites Centre (2022). *Delivering a sustainable future for composites in wind.* SusWIND annual review, April 2022. https://www.nccuk.com/media/u1el5jap/suswind-annual-review-2022-final.pdf (hämtad den 11 januari 2024).

Naturvårdsverket (2020). *Vägledning – Deponering av avfall*. https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall/deponering-av-avfall/dispens-fran-deponeringsforbud/

Naturvårdsverket (2021). *Kemisk återvinning av plast Teknik, flöden och miljöaspekter.* https://www.naturvardsverket.se/4ac42b/globalassets/media/publikationer-pdf/ovriga-pub/978-91-620-6990-2.pdf

Naturvårdsverket (2022a). *Rätt plast på rätt plats – kartläggning av plastflöden. Delleverans av regeringsuppdrag*. https://www.naturvardsverket.se/4aeefc/contentassets/bd2e169826b942ce924d2a3da445f6d5/ratt-plast-pa-ratt-plats-kartlaggning-av-plastfloden.pdf

Naturvårdsverket (2022b). *Kartläggning av plastflöden i Sverige* 2020, https://www.naturvardsverket.se/publikationer/7000/978-91-620-7038-0

Naturvårdsverket. (2023a). *Ökad återvinning och återanvändning av elutrustning*. https://www.naturvardsverket.se/4acefb/globalassets/om-oss/slutredovisade-regeringsuppdrag/redovisning-av-ru-okad-atervinning-och-ateranvandning-av-elutrustning.pdf

Naturvårdsverket (2023b). *Vägledning – Bygg- och rivningsavfall.* https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall/bygg--och-rivningsavfall/

Naturvårdsverket (2023c). *Handledning i samhällsekonomisk analys.* https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/samhallsplanering/handledning-i-samhallsekonomisk-konsekvensanalys/ (besökt den 10 december 2023).

Naturvårdsverket (9 september 2023 d). *Bygg- och rivningsavfall* https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/avfall/avfallslag/bygg--och-rivningsavfall (besökt den 24 januari 2024).

Nohrstedt, L. (2023). *Stena testar batterimetod för att återvinna mer från solpaneler.* Ny Teknik. https ://www.nyteknik.se/energi/stena-testar-batterimetod-for-att-atervinna-mer-fran-solpaneler/4203752

Närings-, trafik- och miljöcentralen https://www.ely-keskus.fi/ (visad 1 oktober 2023).

Owens Corning (2022), Owens Corning's Circular Economy Performance – Wind Turbine Blades, https://www.csrwire.com/press_releases/743576-owens-cornings-circular-economy-performance-wind-turbine-blades, besökt den 5 oktober 2023

Paulsen, E. B., & Enevoldsen, P. (2021). A multidisciplinary review of recycling methods for end-of-life wind turbine blades. *Energies*, *14*(14), 4247.

Pays et Quartiers de Nouvelle-Aquitaine. (6 februari 2023). *Envie 2E Aquitaine, pionnière du réemploi des panneaux solaires en France.* https ://pqn-a.fr/fr/acteurs-territoires/experiences/envie-2e-aquitaine-pionniere-du-reemploi-des-panneaux-solaires-en-France

PV Cycle. (30 juni 2021). *PV Cycle and Akita PRTDO create PV Cycle Japan.* https://pvcycle.org/2021/07/01/joint-take-back-and-recycling-scheme-for-japanese-pv-market/

RECINA (2021) Återanvändning av Kompositdelar i Infrastruktur, Energimyndigheten projektnummer 49763-1

ReCOMP (2022) *Cirkulära strömmar från glasfiberkomposit* Vinnova Dnr: 2018-04132

Recycle Solar. (u.å.). *Recycling Solar Panels In the UK & Ireland.* https://www.recyclesolar.co.uk/ (besökt den 18 oktober 2023).

Reciclalia Composite (28 november 2019). *Reciclalia overview* [video]. https://www.youtube.com/watch?v=lwZ33gGtHW4 (besökt den 11 januari 2024).

Recycling magazine (23 juli 2020). *First standard for dismantling and recycling of wind turbines*. https://www.recycling-magazine.com/2020/07/23/first-standard-for-dismantling-and-recycling-of-wind-turbines/ (besökt 23 november 2023).

REFRESH (u.å.). *Smart, circular recycling of composite wind turbine blades.* https://refresh-project.eu/ (besökt den 11 januari 2024).

Regeringen (2015). Regeringsbeslut. Uppdrag att ta fram ett förslag till strategi för ökad användning av solel. https://www.regeringen.se/contentassets/33e2bd95cd1e46d895f9762c4b8b779e/150723-regbeslut-uppdrag-energimyndigheten-solel.pdf

Rekovind (2020) *Kemisk återvinning av glasfiberkomposit från vindturbinblad*, Energimyndigheten, Projktnummer 47044-1

Rekovind2 (2022) – Digitalization of wind blade streams before reuse and recycling", Energimyndigheten projektnumer 47044-2, Dnr 2021-029795

Relys (2024) – Efficient material recycling of fibre reinforced polymers – Improved recovery and upgrading of pyrolysis products for reuse in new products, Energimyndigheten projektnummer P2023-00945, Dnr 2023-204287

Resurseffektiv användning av fiberförstärkta polymerer, Energimyndigheten, projektnummer. 46145-1, RE:Source (2018–2020)

Resurseffektiv återvinning av kompositer via pyrolys i industriellt relevant skala, Energimyndigheten, projektnummer. 51234-1 (Industrins energi- och klimatomställning) (2020–2024)

RISE (2022) *ReComp – Cirkulära strömmar från glasfiberkomposit*. https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/recomp-cirkulara-strommar-fran-glasfiberkomposit (hämtad den 12 juli 2023).

Riksrevisionen (2023). *Uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad – statens insatser för en effektiv hantering*. (RiR 2023:11). https://www.riksrevisionen.se/download/18.4c616b9e188641e491b82780/1685594817497/RiR_2023_11_rapport.pdf

Rinio, M., Enarsson, U., & Hansen, C. (2022). A fast software check for PV systems. Proceedings of the 8th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 1085–1088. https://doi.org/10.4229/WCPEC-82022-4DO.2.4

ROSI. (13 juni 2023). *Inauguration of the ROSI Alpes industrial plant.* https://www.rosi-solar.com/inauguration-of-the-rosi-alpes-industrial-plant/

Råvarumarknaden (7 juli 2011). *Aluminium – världens vanligaste metall,* https://ravarumarknaden.se/aluminium-varldens-vanligaste-metall/ (besökt den 23 oktober 2023).

von Schultz, C. (2023). *Solcellerna är 39 år gamla – och ger mer el än vid starten.* https://www.nyteknik.se/energi/solcellerna-ar-39-ar-gamla-och-ger-mer-el-an-vid-starten/4154179

2ndlifeSolar. (u.å.). *Collection and disposal of photovoltaic modules – Conserving Resources by Reusing and Recycling*, https://2ndlifesolar.de/rz (besökt den 6 november 2023).

Siemens Gamesa (u.å. a). *Cementing solutions to blade recycling in Finland.* https://www.siemensgamesa.com/explore/journal/2021/12/solutions-blades-recycling-finland (besökt den 12 december 2023).

Siemens Gamesa (u.å. b). *Delivering sustainability through actions.* https://www.siemensgamesa.com/en-int/sustainability (besökt den 5 december 2023).

Siemens Gamesa (u.å. c). *RecyclableBlade. Pioneering technology.* https://www.siemensgamesa.com/en-int/explore/journal/recyclable-blade (besökt den 8 december 2023).

Siemens Gamesa (1 augusti 2022). *Revolutionary RecyclableBlades: Siemens Gamesa technology goes full-circle at RWE's Kaskasi offshore wind power project.* https://www.siemensgamesa.com/newsroom/2022/07/080122-siemens-gamesa-press-release-recycle-wind-blade-offshore-kaskasi-germany (besökt den 11 januari 2024).

Siemens Gamesa (9 februari 2023). *Taking innovation offshore: The Kaskasi wind energy project, a world first. And why policymakers should care.* https://www.siemensgamesa.com/explore/journal/2023/02/offshore-kaskasi-recyclable-wind-turbine-blades (besökt den 8 december 2023).

Sjödahl, K. (2023): *Kim's Tech Corner E6: Turning composite waste into cement with Finnsementti* https://www.youtube.com/watch?v=Oeosm8KeXjw (besökt den 1 oktober 2023).

Skatteverket (2023). Remissvar. Betänkandet Värdet av vinden – Kompensation, incitement och planering för hållbar fortsatt utbyggnad av vindkraften (SOU2023:18). https://www.regeringen.se/contentassets/88a0635f85204dd297510707ef4445da/skatteverket.pdf

Solar Energy Industries Association. (u.å.). *SEIA National PV Recycling Program.* https://www.seia.org/initiatives/seia-national-pv-recycling-program (besökt den 18 oktober 2023).

Solar Magazine (11 oktober 2022). *Solar Panel Degradation: What Is It and Why Should You Care?* https://solarmagazine.com/solar-panels/solar-panel-degradation/

Solcellskollen (7 juli 2021). *Hur länge håller solceller?* https://www.solcellskollen.se/vanliga-fragor/hur-lange-haller-solceller

Solens energi (20 oktober 2023). *Tekniken bakom solel.* https://solensenergi.se/tekniken-bakom-solpaneler/

Solve (u.å.) Solelforskningscentrum Sverige. https://www3.uu.se/forskning/solve/ (besökt den 18 dec 2023).

Soren (2023). *Soren verksamhetsberättelse 2022.* https://www.soren.eco/rapport-dactivite-soren-2022/

SOU 2022:49. Ändrade regler för vattenskotrar. https://www.regeringen.se/contentassets/d02ba80a990545c981758eff701a2350/andrade-regler-for-vattenskotrar-sou-202249.pdf

Statista (14 april 2023). *Installed wind power capacity in the Netherlands from 2008 to 2022*. https://www.statista.com/statistics/421525/total-wind-power-in-the-netherlands/

Stiftung elektro-altgeräte register Ear. (u.å.). *Welcome at stiftung ear.* https://www.stiftung-ear.de/en/home/ (besökt den 17 november 2023).

Superuse (u.å.). *Blade–Made playgrounds.* https://www.superuse-studios.com/projectplus/blade-made/ (besökt den 12 december 2023).

Sveen, E. B., Øgaard, M. B., Selj, J. H., & Otnes, G. (2020). *PV System Degradation Rates in the Nordics*. *2020*, 1563–1566. https://doi.org/10.4229/EUPVSEC20202020-5CV.3.36

Svensk Solenergi (2022). *Solenergipolitiskt program. Förslag antaget av årsmötet den 29 mars 2022*. https://svensksolenergi.se/wp-content/uploads/2022/04/Solenergipolitiskt-program-2022.pdf

Svensk Solenergi. (u.å-a). *Om solenergi, anläggningar.* https://svensksolenergi.se/om-solenergi/anlaggningar/, besökt den 29 november 2023

Svensk Solenergi (u.å.-b). *Certifiering.* https://svensksolenergi.se/certifiering-av-solcellsmontorer/ (besökt den 23 oktober 2023).

Svensk Solenergi (27 oktober 2023) *Återvinning av Solcellspaneler*. Mattias Dahlberg 2023-05-21. https://svensksolenergi.se/atervinning-av-solpaneler/ (besökt 13 december 2023).

Svensk vindenergi (2023). Statistik och prognos, tredje kvartalet 2023. https://svenskvindenergi.org/wp-content/uploads/2023/11/Statistik-o-prognos-Q3-2023_final-1.pdf

Sveriges Geologiska Undersökningar (6 oktober 2020). *Kisel.* https://www.sgu.se/mineralnaring/kritiska-ravaror/kisel (besökt den 23 oktober 2023).

Tao, M., Fthenakis, V., Ebin, B., Steenari, B-M., Butler, E., Sinha, P., Corkish, R., Wambach, K., Simon, E.S. (2020). Major challenges and opportunities in silicon module recycling. *Progress in Photovoltaics, 2020;*28;1077-1088. https://doi.org/10.1002/pip.3316

Teknetzi, I., Holgersson, S., & Ebin, B. (2023). Valuable metal recycling from thin film CIGS solar cells by leaching under mild conditions. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, *252*, 112178.

Tillväxtverket (2021). *Regler som påverkar företagens kostnader och konkurrenskraft 2013–2020. Slutrapport av uppdrag enligt Tillväxtverkets regleringsbrev 2014*. https://tillvaxtverket.se/download/18.5fd797aa185a49fa99c2ed2/1673551731858/Regler procent20som procent20p procentC3 procentA5verkar procent20f procentC3 procentB6retagens procent20kostnader procent20och procent20konkurrenskraft procent202013-2020.pdf

TNO (17 oktober 2022). *TNO innovation offers discarded wind turbine blades a circular future.* https://www.tno.nl/en/newsroom/insights/2022/10/tno-innovation-offers-discarded-wind/ (besökt den 11 januari 2024).

U.S. Department of Energy. (2022). *Solar Energy Technologies Office Photovoltaics End-of-Life Action Plan.* https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-03/Solar-Energy-Technologies-Office-PV-End-of-Life-Action-Plan_0.pdf

Usine Nouvelle. (2022). *Soren et Envie 2E inaugurent un site de recyclage de panneaux photovoltaïques en Gironde.* https://www.usinenouvelle.com/article/soren-et-envie-2e-inaugurent-un-site-de-recyclage-de-panneaux-photovoltaiques-en-gironde.N2048522

Vattenfall (2021). Pressrelease – Vattenfall förbjuder deponering av vindturbinblad med målet om fullständig återvinning 2030. https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2021/vattenfall-forbjuder-deponering-av-vindturbinblad-med-malet-om-fullstandig-atervinning-2030

Vestas (17 maj 2021). *New coalition of industry and academia to commercialise solution for full recyclability of wind turbine blades.* https://www.vestas.com/en/media/company-news/2021/new-coalition-of-industry-and-academia-to-commercialise-c3347473 (besökt den 11 januari 2024).

Vestas (8 februari 2023). *Vestas unveils circularity solution to end landfill for turbine blades* https://www.vestas.com/en/media/company-news/2023/vestas-unveils-circularity-solution-to-end-landfill-for-c3710818 (hämtad 10 oktober 2023).

Vestas (u.å.). *Environment. Zero-Waste.* https://www.vestas.com/en/sustainability/environment/zero-waste (besökt den 5 december 2023).

Villanueva Krzyzaniak, A., Eder, P (2014). *End-of-waste criteria for waste plastic for conversion. Technical proposals*. EUR 26843. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2014. JRC91637, https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC91637

Vindbrukskollen (u.å.). Hämtad 2023-12-21: https://vbk.lansstyrelsen.se/

Volard, A. (11 januari 2023). Wind turbines: can we make blades recyclable?

Polytechnique insights, a review by Institut Polytechnique de Paris. https://www.polytechnique-insights.com/en/columns/energy/wind-turbines-can-we-make-blades-recyclable/

Wennberg, A. (12 oktober 2023). *Ny kartläggning – Många solparker väntar på besked.* Solenerginyheter.se (besökt 13 december 2023). https://www.solenerginyheter.se/20231012/3361/ny-kartlaggning-manga-solparker-vantar-pa-besked

Wennberg, A. (25 oktober 2023). *Neoen och Alight startar bygget av Sveriges största solpark i Hultsfred*, Solenerginyheter.se (besökt 13 december 2023). https://www.solenerginyheter.se/20231025/3375/neoen-och-alight-startar-bygget-av-sveriges-storsta-solpark-i-hultsfred

Westbomke, M. (3 november 2020*). DIN SPEC 4866 – Industry standard for dismantling, disassembly, recycling and recovery of wind turbines* [PowerPoint-presentation]. RDRWind e.V. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/03-westbomke.pdf (hämtad den 23 november 2023).

WindEurope (2020) *Accelerating Wind Turbine Blade Circularity*, https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/WindEurope-Accelerating-wind-turbine-blade-circularity.pdf (hämtad 23 september 2023).

Wind Farm BoP (9 juni 2019). *Circular economy: use of wind turbines blades as combustible and mix material for cement production* https://www.windfarmbop.com/circular-economy-use-of-wind-turbines-blades-as-combustible-and-mix-material-for-cement-production/

WindTurbines-MarketPlace.com (2024). *Global trade platform for new and used wind turbines.* https://windturbines-marketplace.com/ (besökt den 12 december 2023).

Zhang, Y., Zhang, L., Yang, G., Yao, Y., Wei, X., Pan, T., & Yin, P. (2021). Recent advances in recyclable thermosets and thermoset composites based on covalent adaptable networks. *Journal of Materials Science & Technology*, *92*, 75–87.

Zhang, J., Lin, G., Vaidya, U., & Wang, H. (2023). Past, present and future prospective of global carbon fibre composite developments and applications. Composites Part B: Engineering, 250, 110463.

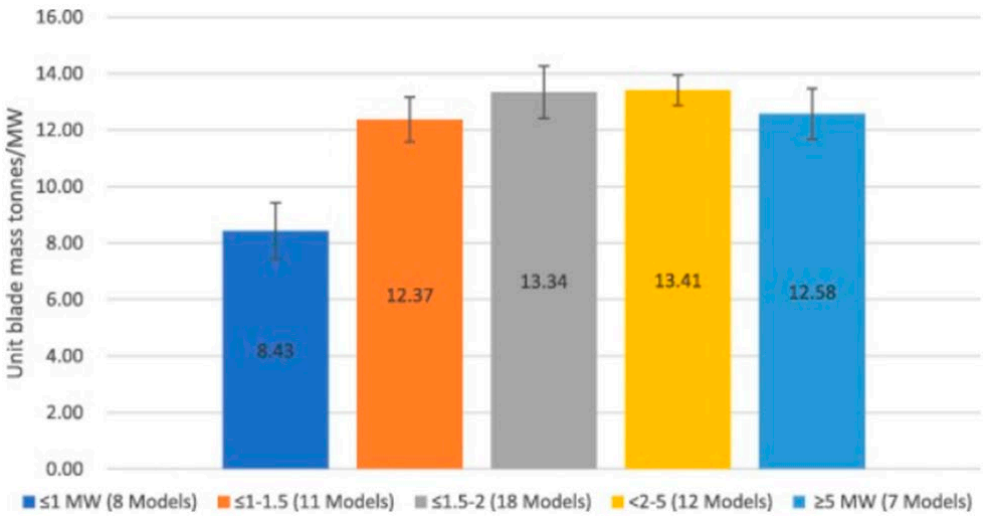
Österbotten (2019) *Båtindustrins avfall grävs fortfarande ner – ingen vill investera i återvinningen* https://svenska.yle.fi/a/7-1433899

Bilaga 1. Metoden för beräkning av avfallsvolymer av vindturbinblad

Avfallsvolymer för befintliga vindturbinblad i Sverige

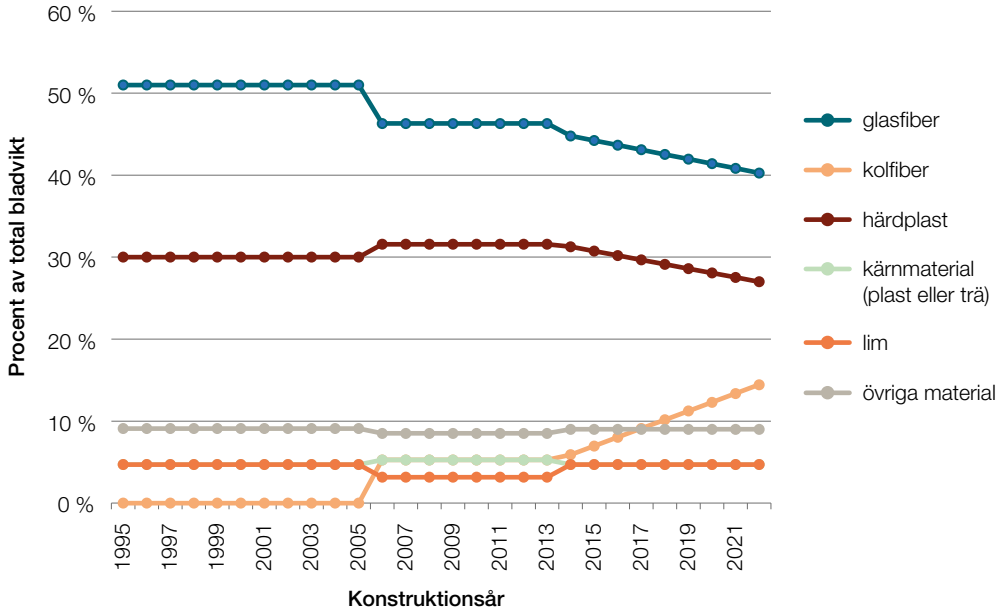
Uttjänta vindturbinblad i Sverige är baserad på registrerade vindturbiner i Sverige (www.vindbrukskollen.se) samt livslängd på 20 år (det som antas generellt vid byggnation idag) och 29 år (faktiska medellivslängd från nedmonterade turbiner i Danmark, rapporterad i Abrahamsen et al. 2023)

Bladvikten (för tre vindturbinblad) beräknas från vindkraftverkets effekt, enligt korrelationen som visas i Figur B1 (Liu 2017). Vindkraftverkets effekt är registrerat i vindbrukskollen databas.



Figur B1. Korrelation mellan effekt och bladvikt hos ett trebladigt vindkraftverk.
Källa: (Liu 2017).

Andelen av de olika materialen som utgör vindturbinbladen antas från Material Passport för olika vindturbinblad modeller som finns tillgängliga idag (Vestas V47, Siemens Gamesa B45, LM 37.3 P2) och från diskussion med företag Vestas. Materialsammansansättningen enligt Figur B2 användes för beräkningarna.

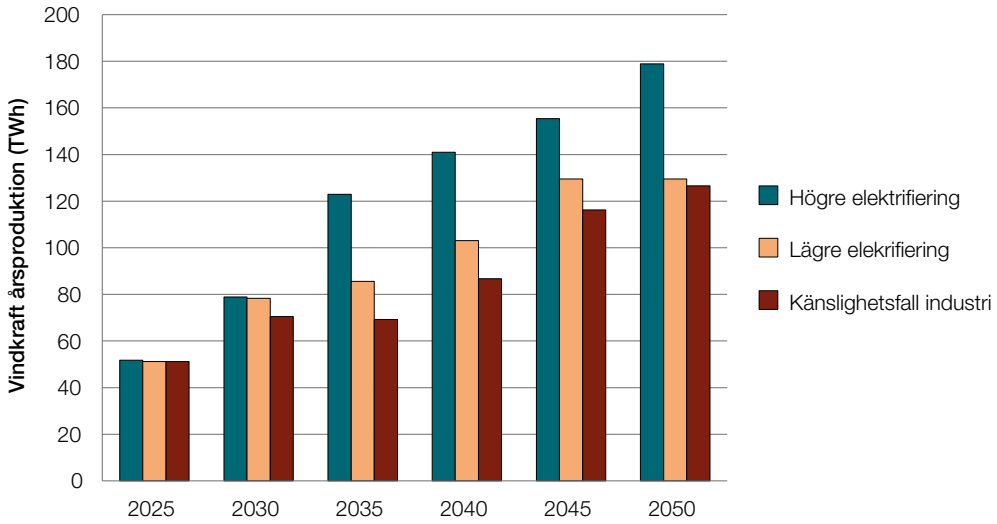


Figur B2. Materialsammansättning hos vindturbinblad för konstruktionsår 1995–2021.
Källa: RISE, producerad för denna rapport.

Det antogs också att endast Vestas V90, V100, V112, V126, V136, V150 använder kolfiber i vindturbinbladen som är installerade i Sverige idag. Alla andra blad som installerade mellan åren 1995 och 2022 antas ha en kolfiber innehåll på 0 procent.

Framtida avfallsvolymer av vindturbinblad i Sverige

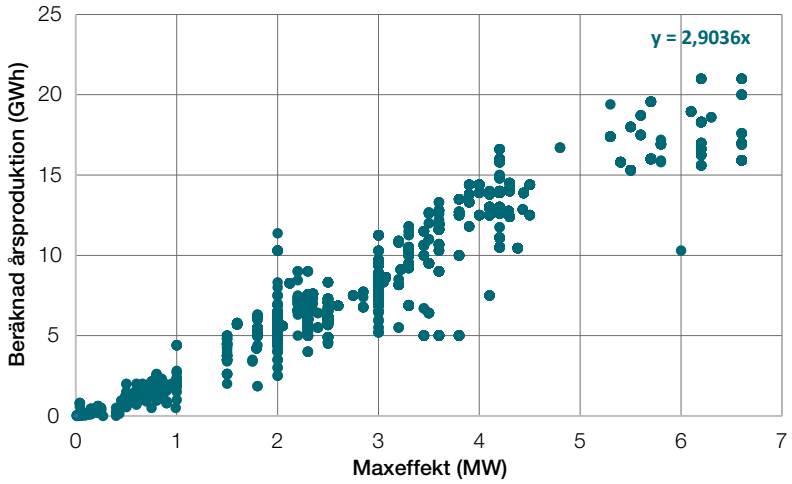
Utgångspunkten är årligt elproduktionen (TWh) från vindkraft i de tre olika scenarierna mellan 2025–2050. Dessa siffror finns tillgängliga i Fig 28 i Energimyndigheten (2023a), och är reproducerade i Figur B3.



Figur B3. Årlig elproduktion från vindkraft (TWh) enligt scenarierna i Energimyndigheten
Källa: (Energimyndigheten, 2023a).

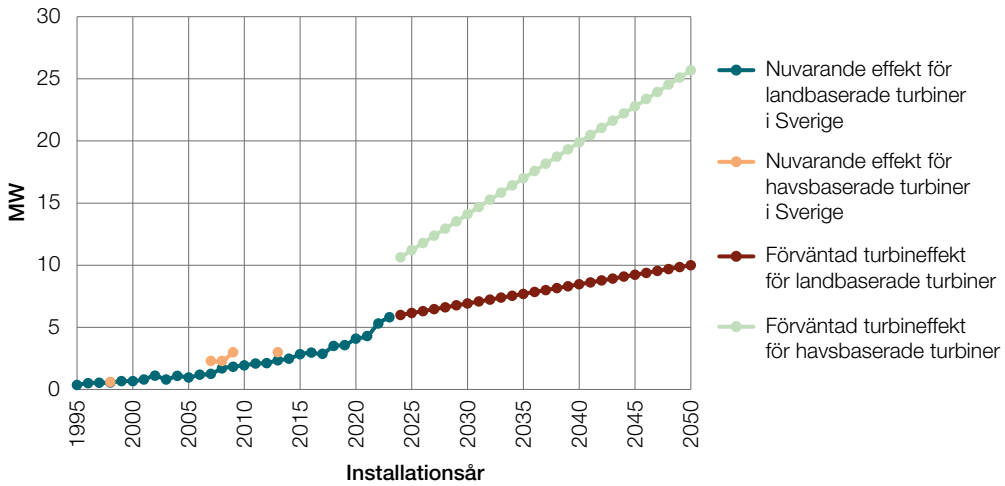
Nästa steg är att uppskatta antalet nya turbiner som ska byggas varje år för att uppfylla elproduktionen.

En linjär relation användes mellan en vindturbin årlig elproduktion och vindturbinseffekt, som visas i Figur B4 nedan (Samtliga befintliga vindkraftverk i Vindbrukskollen databas använts):



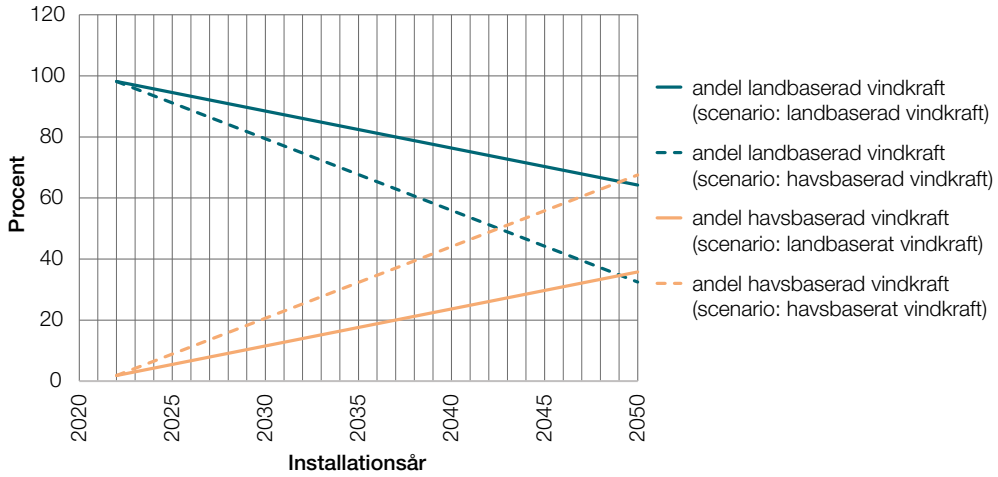
Figur B4. Relationen mellan elproduktion och turbineffekt för vindkraftverken i Vindbrukskollen (u-å.)
Källa: RISE, producerad för denna rapport.

Vindturbin effekten förväntas öka i framtiden, eftersom rotordiametern blir större och större i nya turbiner. De antagna värdena för effekten hos de nya turbinerna visas i Figur B5 (lands- och havsbaserad vindkraft).



Figur B5. Faktisk och förväntad vindturbineffekt mellan 1995 och 2050.
Källa: RISE, producerad för denna rapport.

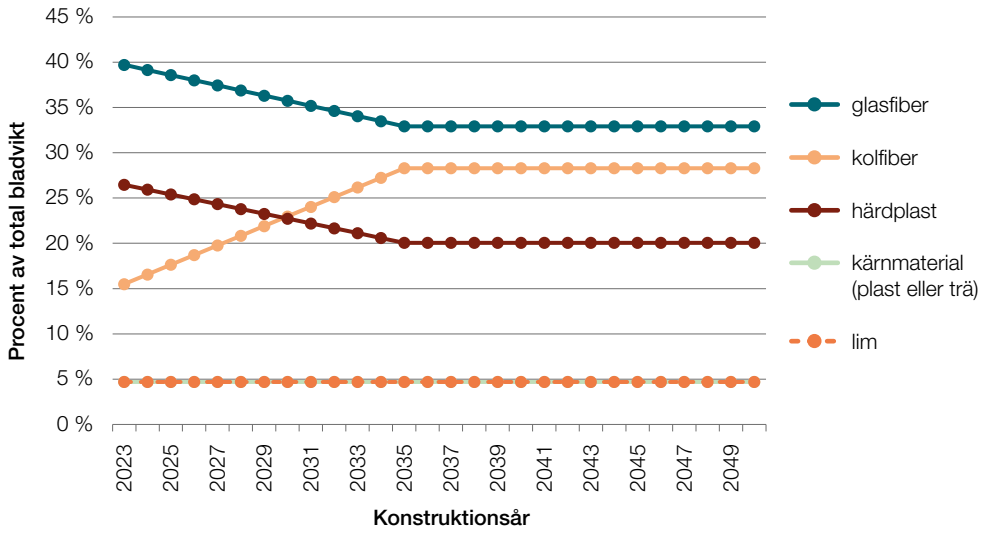
En uppskattning för förhållandet mellan landbaserad vindkraft och havsbaserad vindkraft mellan 2025–2050 finns i Figur 17 i Energimyndigheten (2023b) och är reproducerade i Figur B6 nedan. För alla scenarier antogs det att inga nya vindkraftverk skulle installeras till havs år 2024 och 2025.



Figur B6. Förhållandet mellan vindkraftsproduktion på land och till havs 2020–2050.
Källa: (Energimyndigheten, 2023b), producerat av RISE för denna rapport.

Livslängden för nya vindkraftverk som kommer att byggas mellan 2022–2050 är 20 år eller 29 år, precis samma som för beräkningen av de befintliga vindkraftverk som finns i Sverige idag (se ovan). Samma livslängd utgår för landbaserade vindkraftverk och havsbaserade vindkraftverk i beräkningar.

För att beräkna vikten av vindturbinbladen och de olika materialen i bladen följdes samma procedur som i för befintliga vindturbinblad idag (se ovan). Den här gången användes materialsammansansättningen enligt Figur B7 för vindturbinblad:

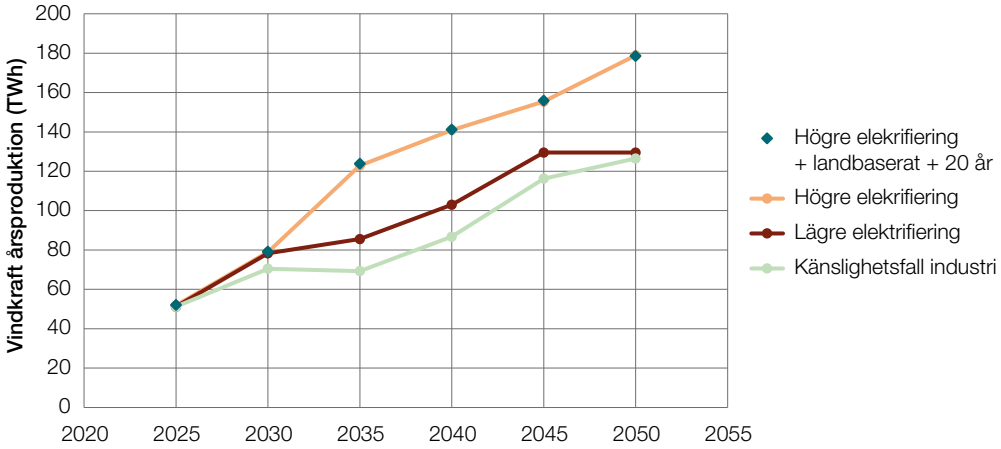


Figur B7. Materialsammansättning hos vindturbinblad för konstruktionsår 2023–2050.
Källa: (National Composites Center, 2022), producerad av RISE för denna rapport.

Data mellan 2023 och 2035 extrapolerades från data som tillhandahölls av National Composites Center (2022). Inga ändringar gjordes efter 2035, eftersom det är för mycket osäkerhet om bladkonstruktionen om 15 år.

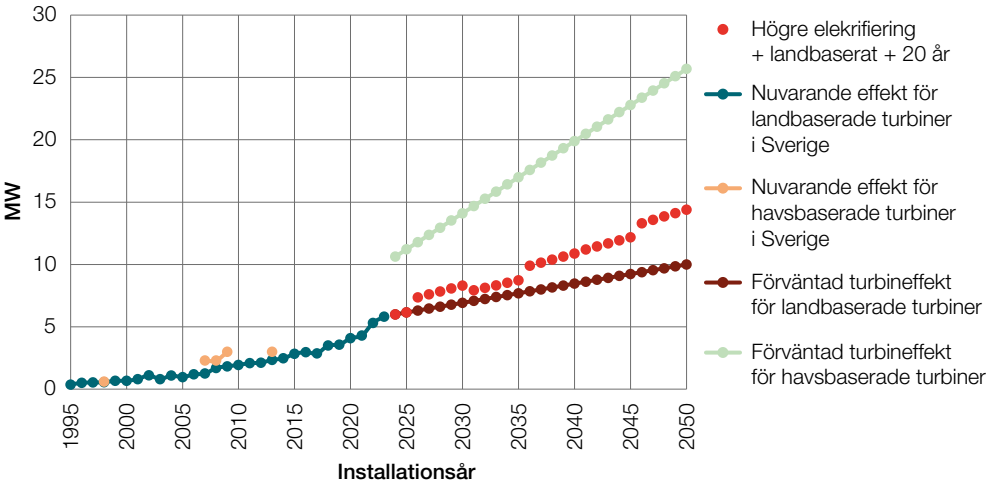
Exempelberäkning

I Figur B8 – Figur B13 visas resultaten för beräkningar i ”Scenario 1c: Högre elektrifiering med landbaserad vindkraft och 29 års livslängd”.



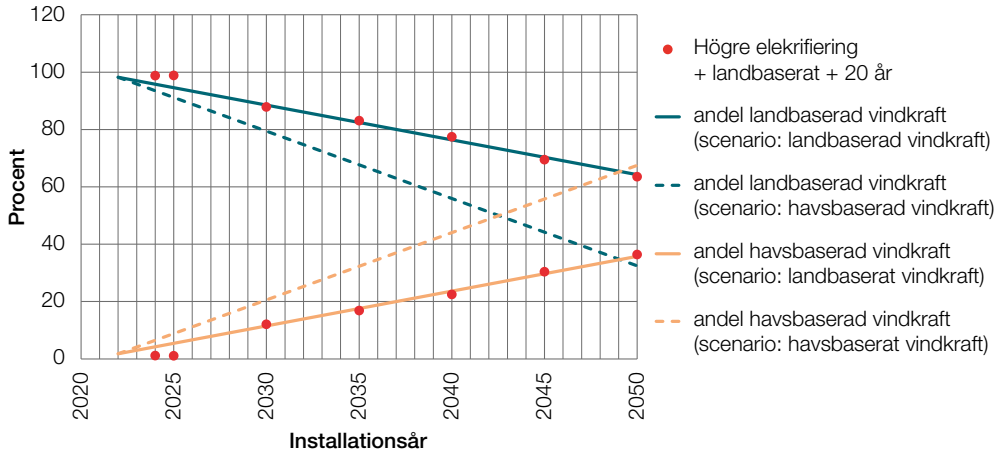
Figur B8. Årlig produktion av vindkraft (TWh) för scenario 1c.

Källa: RISE, producerad för denna rapport.

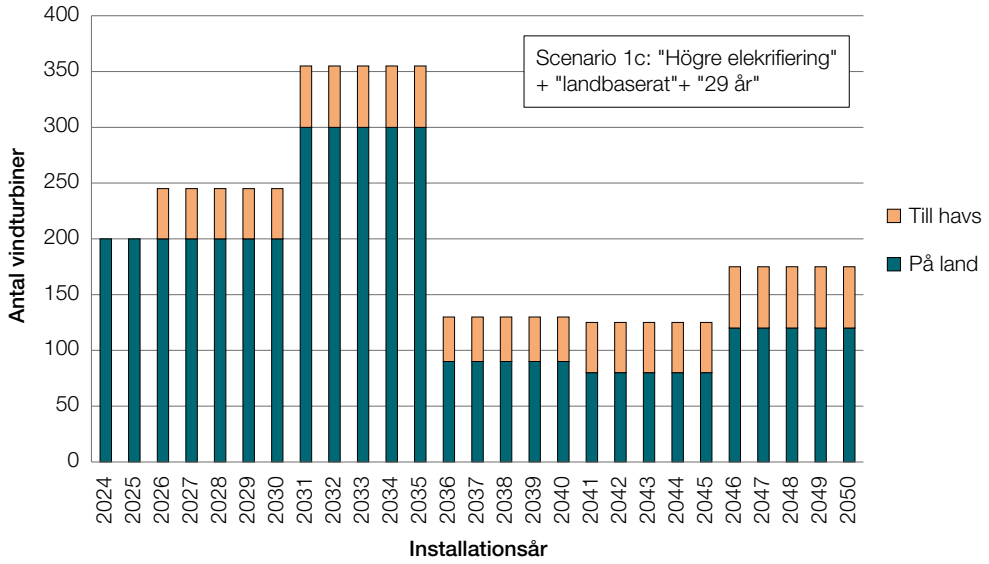


Figur B9. Årlig genomsnittseffekt för installerade vindturbiner för scenario 1c.

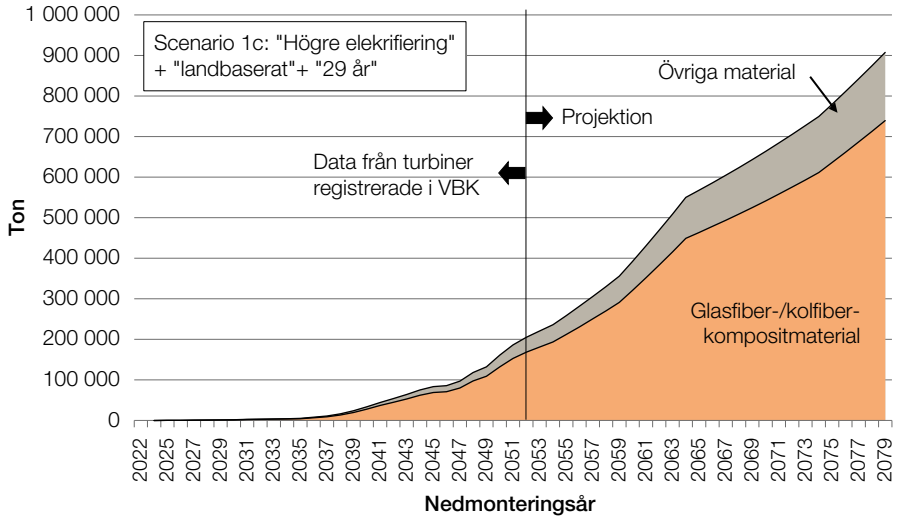
Källa: RISE, producerad för denna rapport.



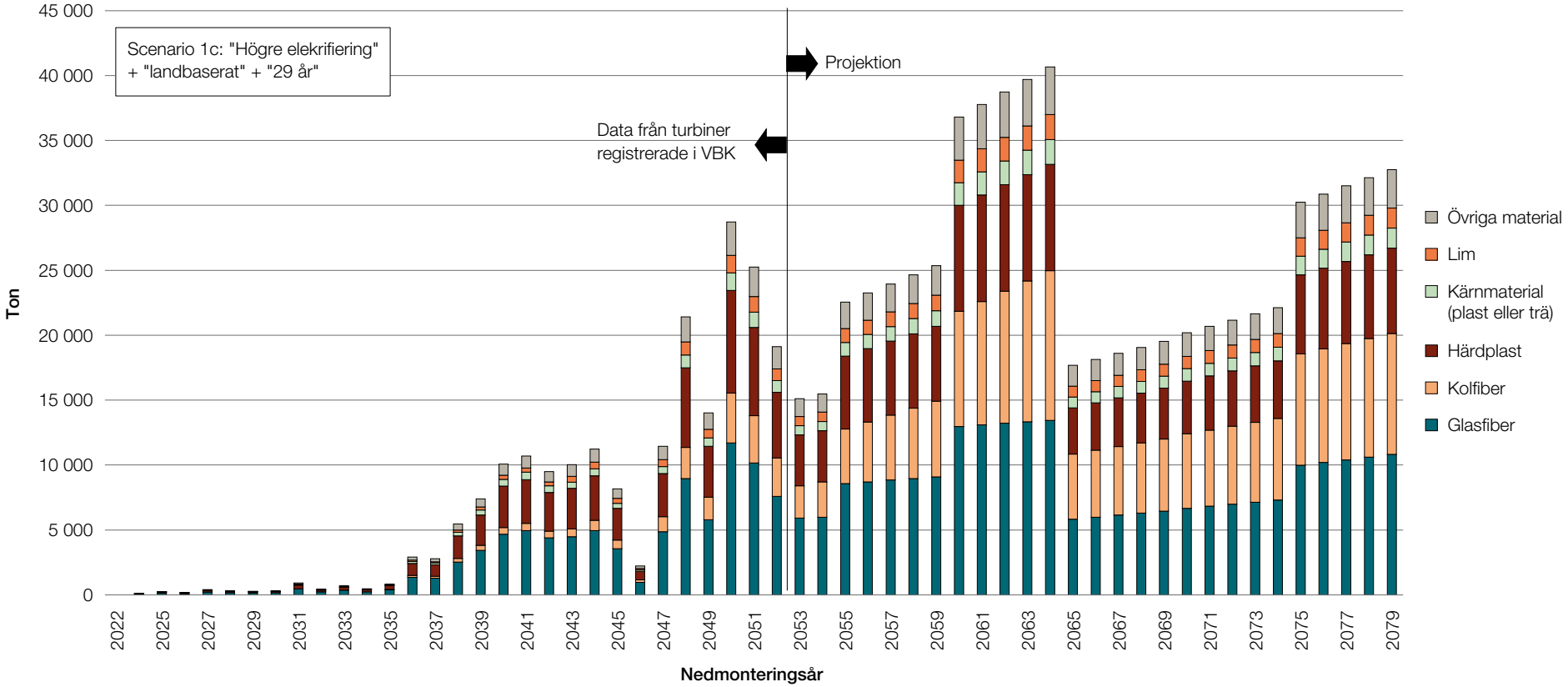
Figur B10. Förhållandet mellan vindkraftsproduktion på land och till havs 2020–2050 för scenario 1c.
Källa: RISE, producerad för denna rapport.



Figur B11. Årligen installerade vindturbiner 2024–2050 i scenario 1c.
Källa: RISE, producerad för denna rapport.



Figur B12. Ackumulerad mängd avfall från uttjänta vindturbinblad 2022–2079 i scenario 1c.
Källa: RISE, producerad för denna rapport.



Figur B13. Årlig mängd avfall från uttjänta vindturbinblad 2022–2079 i scenario 1c.

Källa: RISE, producerad för denna rapport.

Bilaga 2. Data och metodik för avfallsvolymer från solcellspaneler

Vi utgår från statistiska sammanställningar av den installerade effekten i Sverige genom att nyttja sammanställningarna i IEA PVPS Task1 Strategic PV Analysis and Outreach (2021) (för åren 1992–2016) samt Energimyndighetens solenergistatistik (2023) (från SCB, baserat på elnätsbolagens anmälningar, för åren 2017–2022).

Framtida installationsnivåer representeras i vår analys och i Figur 17 och Figur 18 av solkraftens andel i Energimyndighetens tre långsiktiga scenarier av elsystemets utveckling (Energimyndigheten 2023a): högre elektrifiering, lägre elektrifiering, samt känslighetsfall industri. Dessa scenarier är specificerade med fem års intervall och vi har därför gjort en linjär interpolation mellan datapunkterna för att få årlig tidsupplösning. De anges också i form av producerad energi per år (TWh) vilket vi omvandlat till installerad toppeffekt genom att beräkna ett genomsnittligt årligt energiutbyte för svensk installerad solkraft baserat på Energimyndighetens solelstatistik mellan 2019 och 2021, med antagandet att solkraftens tillväxt är linjär under respektive år; den blir då 853 kWh/kWp per år.

Den årliga avvecklingen av solkraft beräknas genom att anta en livslängd (L) för panelerna. Den effekt som installerades år n fås av den installerade effekten år n minus den installerade effekten år n-1, och denna mängd uppkommer som avfall år n+L. Den totala installationsnivån ett visst år blir därför summan av förra årets nivå, den årliga installationen minus den effekt som avvecklats. Avfallets vikt kan utrönas om man vet de avvecklade panelernas vikt och toppeffekt, vilket inte är tillgängliga data. Vi gör därför, i brist på detaljerade data, ett förenklat och förhållandevis grovt antagande om att alla paneler som installeras mellan 1992 och 2050 har en effekt på 340 Wp och väger 20 kg. För en panel med ytan 1,7 m^2 motsvarar det en verkningsgrad på 20 procent vid en solinstrålning på 1 000 W/m^2 (standardtestförhållanden).

Tabell B1. Historiskt installerad solkraft i Sverige samt scenariodata för solkraftens bidrag från Energimyndighetens långsiktiga scenarier mot 2050. Samtliga värden uttryckta i MWp. Tabellen sammanställd och beräknad för denna rapport av RISE utifrån data i (IEA PVPS Task 1 Strategic Analysis and Outreach, 2021), (Energimyndigheten, 2023c), samt (Energimyndigheten, 2023a).

År	IEA PVPS Task 1 National Report Sweden 2021	Installerad effekt STEM solelstatistik	Högre elektrifiering	Installerad effekt Lägre elektrifiering	Installerad effekt Känslighetsfall industri
1992	0,8	-	-	-	-
1993	1,1	-	-	-	-
1994	1,3	-	-	-	-
1995	1,6	-	-	-	-
1996	1,9	-	-	-	-
1997	2,1	-	-	-	-
1998	2,4	-	-	-	-
1999	2,6	-	-	-	-
2000	2,8	-	-	-	-
2001	3,0	-	-	-	-
2002	3,3	-	-	-	-
2003	3,6	-	-	-	-
2004	3,9	-	-	-	-
2005	4,2	-	-	-	-
2006	4,9	-	-	-	-
2007	6,3	-	-	-	-
2008	7,9	-	-	-	-
2009	8,6	-	-	-	-
2010	10,7	-	-	-	-
2011	14,5	-	-	-	-
2012	22,2	-	-	-	-
2013	40,8	-	-	-	-
2014	75,0	-	-	-	-
2015	122,6	-	-	-	-
2016	182,7	140,0	-	-	-
2017	268,1	231,0	-	-	-
2018	425,1	411,1	-	-	-
2019	706,8	698,1	-	-	-
2020	1 106,6	1 089,2	1 172,8	1 172,8	1 172,8
2021	1 606,1	1 578,0	1 665,4	1 665,4	1 665,4
2022	-	2 374,6	2 158,0	2 158,0	2 158,0
2023	-	-	2 650,6	2 650,6	2 650,6
2024	-	-	3 143,2	3 143,2	3 143,2
2025	-	-	3 635,8	3 635,8	3 635,8
2026	-	-	4 245,7	3 870,4	3 870,4
2027	-	-	4 855,6	4 105,0	4 105,0
2028	-	-	5 465,5	4 339,5	4 339,5
2029	-	-	6 075,3	4 574,1	4 574,1
2030	-	-	6 685,2	4 808,7	4 808,7

År	IEA PVPS Task 1 National Report Sweden 2021	Installerad effekt STEM solelstatistik	Högre elektrifiering	Installerad effekt Lägre elektrifiering	Installerad effekt Känslighetsfall industri
2031	-	-	7 084,0	5 582,8	5 582,8
2032	-	-	7 482,8	6 356,8	6 356,8
2033	-	-	7 881,5	7 130,9	7 130,9
2034	-	-	8 280,3	7 905,0	7 905,0
2035	-	-	8 679,1	8 679,1	8 679,1
2036	-	-	10 461,8	8 913,6	8 913,6
2037	-	-	12 244,5	9 148,2	9 148,2
2038	-	-	14 027,3	9 382,8	9 382,8
2039	-	-	15 810,0	9 617,3	9 617,3
2040	-	-	17 592,7	9 851,9	9 851,9
2041	-	-	18 296,4	10 086,5	10 086,5
2042	-	-	19 000,1	10 321,1	10 321,1
2043	-	-	19 703,8	10 555,6	10 555,6
2044	-	-	20 407,5	10 790,2	10 790,2
2045	-	-	21 111,2	11 024,8	11 024,8
2046	-	-	24 395,2	11 869,2	11 024,8
2047	-	-	27 679,2	12 713,7	11 024,8
2048	-	-	30 963,2	13 558,1	11 024,8
2049	-	-	34 247,1	14 402,6	11 024,8
2050	-	-	37 531,1	15 247,0	11 024,8

Tabell B2. Beräknad volym solcellspanelsavfall i metriska ton per år för 15 års panellivslängd och de tre scenarierna.

År	Högre elektrifiering	Lägre elektrifiering	Känslighetsfall industri
2007	48	48	48
2008	14	14	14
2009	16	16	16
2010	17	17	17
2011	14	14	14
2012	16	16	16
2013	15	15	15
2014	12	12	12
2015	13	13	13
2016	14	14	14
2017	16	16	16
2018	16	16	16
2019	16	16	16
2020	22	22	22
2021	37	37	37
2022	129	129	129
2023	112	112	112

År	Högre elektrifiering	Lägre elektrifiering	Känslighetsfall industri
2024	55	55	55
2025	143	143	143
2026	238	238	238
2027	466	466	466
2028	1 111	1 111	1 111
2029	2 020	2 020	2 020
2030	2 818	2 818	2 818
2031	3 548	3 548	3 548
2032	5 366	5 366	5 366
2033	10 609	10 609	10 609
2034	16 898	16 898	16 898
2035	23 032	23 032	23 032
2036	28 789	28 789	28 789
2037	29 106	29 106	29 106
2038	29 088	29 088	29 088
2039	29 032	29 032	29 032
2040	29 119	29 119	29 119
2041	36 114	14 036	14 036
2042	36 342	14 265	14 265
2043	36 986	14 909	14 909
2044	37 895	15 818	15 818
2045	38 694	16 616	16 616
2046	27 005	49 082	49 082
2047	28 823	50 901	50 901
2048	34 066	56 143	56 143
2049	40 355	62 432	62 432
2050	46 489	68 566	68 566
2051	133 656	42 588	42 588
2052	133 972	42 904	42 904
2053	133 954	42 886	42 886
2054	133 898	42 830	42 830
2055	133 985	42 917	42 917
2056	77 508	27 835	27 835
2057	77 736	28 063	28 063
2058	78 381	28 707	28 707
2059	79 290	29 616	29 616
2060	80 088	30 415	30 415
2061	220 180	98 756	49 082
2062	221 998	100 574	50 901
2063	227 241	105 816	56 143
2064	233 530	112 106	62 432
2065	239 664	118 240	68 566

Källa: RISE, producerad för denna rapport.

Tabell B3. Beräknad volym solcellspanelsavfall i metriska ton per år för 30 års panellivslängd och de tre scenarierna.

År	Högre elektrifiering	Lägre elektrifiering	Känslighetsfall industri
2022	48	48	48
2023	14	14	14
2024	16	16	16
2025	17	17	17
2026	14	14	14
2027	16	16	16
2028	15	15	15
2029	12	12	12
2030	13	13	13
2031	14	14	14
2032	16	16	16
2033	16	16	16
2034	16	16	16
2035	22	22	22
2036	37	37	37
2037	82	82	82
2038	98	98	98
2039	39	39	39
2040	126	126	126
2041	225	225	225
2042	451	451	451
2043	1 096	1 096	1 096
2044	2 008	2 008	2 008
2045	2 805	2 805	2 805
2046	3 535	3 535	3 535
2047	5 351	5 351	5 351
2048	10 592	10 592	10 592
2049	16 882	16 882	16 882
2050	23 011	23 011	23 011
2051	28 752	28 752	28 752
2052	29 024	29 024	29 024
2053	28 990	28 990	28 990
2054	28 993	28 993	28 993
2055	28 993	28 993	28 993
2056	35 889	13 812	13 812
2057	35 891	13 814	13 814
2058	35 890	13 813	13 813
2059	35 888	13 811	13 811
2060	35 888	13 811	13 811
2061	23 470	45 548	45 548
2062	23 473	45 550	45 550

År	Högre elektrifiering	Lägre elektrifiering	Känslighetsfall industri
2063	23 473	45 551	45 551
2064	23 473	45 551	45 551
2065	23 479	45 556	45 556
2066	104 903	13 835	13 835
2067	104 948	13 880	13 880
2068	104 964	13 896	13 896
2069	104 905	13 837	13 837
2070	104 992	13 924	13 924
2071	41 619	14 023	14 023
2072	41 845	14 249	14 249
2073	42 490	14 894	14 894
2074	43 402	15 806	15 806
2075	44 200	16 603	166 03
2076	196 710	53 208	3 535
2077	198 525	55 024	5 351
2078	203 767	60 266	10 592
2079	210 057	66 555	16 882
2080	216 185	72 684	23 011

Källa: RISE, producerad för denna rapport.

Tabell B4. Beräknad volym solcellspanelsavfall i metriska ton per år för 45 års panellivslängd och de tre scenarierna.

År	Högre elektrifiering	Lägre elektrifiering	Känslighetsfall industri
2037	48	48	48
2038	14	14	14
2039	16	16	16
2040	17	17	17
2041	14	14	14
2042	16	16	16
2043	15	15	15
2044	12	12	12
2045	13	13	13
2046	14	14	14
2047	16	16	16
2048	16	16	16
2049	16	16	16
2050	22	22	22
2051	37	37	37
2052	82	82	82
2053	98	98	98
2054	39	39	39
2055	126	126	126

År	Högre elektrifiering	Lägre elektrifiering	Känslighetsfall industri
2056	225	225	225
2057	451	451	451
2058	1 096	1 096	1 096
2059	2 008	2 008	2 008
2060	2 805	2 805	2 805
2061	3 535	3 535	3 535
2062	5 351	5 351	5 351
2063	10 592	10 592	10 592
2064	16 882	16 882	16 882
2065	23 011	23 011	23 011
2066	28 752	28 752	28 752
2067	28 976	28 976	28 976
2068	28 976	28 976	28 976
2069	28 976	28 976	28 976
2070	28 976	28 976	28 976
2071	35 875	13 798	13 798
2072	35 875	13 798	13 798
2073	35 875	13 798	13 798
2074	35 875	13 798	13 798
2075	35 875	13 798	13 798
2076	23 457	45 534	45 534
2077	23 457	45 534	45 534
2078	23 457	45 534	45 534
2079	23 457	45 534	45 534
2080	23 457	45 534	45 534
2081	104 866	13 798	13 798
2082	104 914	13 846	13 846
2083	104 880	13 812	13 812
2084	104 883	13 815	13 815
2085	104 883	13 815	13 815
2086	41 408	13 812	13 812
2087	41 410	13 814	13 814
2088	41 409	13 813	13 813
2089	41 407	13 811	13 811
2090	41 408	13 811	13 811
2091	193 188	49 687	14
2092	193 191	49 689	16
2093	193 191	49 690	16
2094	193 191	49 690	16
2095	193 197	49 695	22

Källa: RISE, producerad för denna rapport.

Hållbar energi för alla

Energimyndighetens uppdrag är att förena ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet i energisystem, som är hållbara och kostnadseffektiva med en låg påverkan på hälsa, miljö och klimat.

Vi bidrar med fakta, kunskap och analyser om tillförsel och användning av energi i samhället, och arbetar för en trygg energiförsörjning.

Forskning om framtidens energisystem och teknik får stöd av oss. Vi stöttar också affärsutveckling som gör det möjligt att kommersialisera innovationer och ny teknik, och ser till att goda lösningar kan exporteras.

Vi ansvarar för Sveriges officiella statistik på energiområdet, och hanterar stödsystem så som elcertifikatsystemet och handeln med utsläppsrätter. Dessutom deltar vi i internationella klimatsamarbeten, och förmedlar fakta om effektivare energianvändning till hushåll, företag och myndigheter.

Energimyndigheten är också beredskapsmyndighet och sektorsansvarig myndighet inom energiområdet.

Energimyndigheten

Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna
Telefon 016-544 20 00
E-post registrator@energimyndigheten.se
energimyndigheten.se