



RIKSREVISIONEN

Bilaga till granskningsrapport

Datum: 2023-05-23

Diarienummer: 3.1.1-2022-0747

RiR 2023:11

Bilaga 2

Metodbeskrivningar



Uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad

– statens insatser för en effektiv
hantering

Mängder solcellspaneler

Diagram 1 Uppskattade framtida mängder uttjänta solcellspaneler

Mängderna uttjänta solcellspaneler avser den sammanlagda vikten på de solcellspaneler som har installerats i Sverige 1992–2021 och som kan förväntas ge upphov till motsvarande mängder uttjänta paneler när de nått sin tekniska livslängd. Uppskattningen beaktar inte den ekonomiska livslängden, det vill säga att utbyte görs för att höja effekten på anläggningar. Eftersom det saknas aggregerade uppgifter om vikt och antal på de solcellspaneler som årligen installerats i Sverige, har vi uppskattat dessa mängder utifrån antaganden om vikt i förhållande till förändringar av installerad effekt under respektive år.

Solcellspanelernas tekniska livslängd har antagits vara 30 år, vilket Research Institutes of Sweden (RISE) angett som en normal förväntad livslängd. Enligt RISE är det möjligt att solcellspaneler i svenska anläggningar har en betydligt längre livslängd.¹ I sådana fall förskjuts uppskattade mängder enligt diagrammet framåt i tiden. Det är också möjligt att solcellspaneler byts ut innan de nått sin tekniska livslängd för att höja effekten i anläggningar, vilket då utgör ekonomisk livslängd. I sådana fall förskjuts uppskattade mängder enligt diagrammet bakåt i tiden.

Uppskattningen av solcellspanelernas vikt och återvinningsmöjligheter baseras på monokristallina kiselpaneler, som RISE har uppgett stå för den övervägande delen av de installerade solcellspanelerna idag med 97 procent av världsmarknaden.² För Sverige uppger RISE att marknadsandelen för tunnfilmssolceller är högst fem procent, troligen mindre än så.³ Eftersom det kan antas ingå även tunnfilmspanelers effekt i International Energy Agencys (IEA) och den officiella energistatistikens uppgifter om installerad effekt (se nedan), finns en felmarginal i den skattade mängden solcellspaneler. I de data över mängder solcellspaneler som El-Kretsen AB⁴ har rapporterat till Naturvårdsverket och som ligger till grund för vårt antagande om genomsnittlig vikt på solcellspanelerna, finns olika typer av solcellspaneler med vilket inkluderar tunnfilmspaneler.⁵ Sådana minskar den genomsnittliga vikten. Vi bedömer att felmarginalen till följd av att det finns andra typer av solcellspaneler än monokristallina kiselpaneler är liten.⁶

¹ RISE, *Marknadsöversikt för solcellsmoduler, växelriktare, infästningsanordningar och kompletta system*, rapport 2019-11-21, s 6.

² RISE, *Marknadsöversikt för solcellsmoduler, växelriktare, infästningsanordningar och kompletta system*, rapport 2019-11-21, s 13.

³ RISE, *Provning av solesystem för villor Slutrapport 2021*, 2021-10-05, s. 16. E-post från Energimyndigheten, 2023-03-09.

⁴ El-Kretsen AB är en av de två producentansvarsorganisationerna för uttjänt elutrustning.

⁵ E-post från El-Kretsen AB, 2023-03-15.

⁶ Se även e-post från Energimyndigheten, 2023-03-08.

Solcellspanelernas genomsnittliga vikt, 18 kilo, bygger på data från El-Kretsen AB om mängder och antal solcellspaneler för 2019–2021.⁷ Det är sannolikt en underskattning av den genomsnittliga vikten på solcellspaneler som installerats före 2019.

När det gäller effekten per solcellspanel, uppger Energimyndigheten att de flesta källor idag refererar till en genomsnittlig effekt på 300–400 W.⁸ Det finns även uppgift om att effekten ökade per solcellspanel från 280 W till 365 W mellan 2019 och 2020.⁹ Sammantaget bedömer vi att det är rimligt att anta en genomsnittlig effekt på 350 W för hela perioden. Tillsammans med en genomsnittlig vikt på 18 kg, ger den effekten mängden ($18/350 \times 1\ 000 =$) 51,43 kg solcellspanel per kW installerad effekt och ($51,43 \times 1\ 000/1\ 000 =$) 51,43 ton per MW installerad effekt. För de solcellspaneler som installerades 2021 och som blir uttjänta 2051 uppgår mängden till cirka 26 000 ton, se tabell 2 nedan.

Eftersom solcellspaneler har blivit mer effektiva med tiden, är den antagna genomsnittliga effekten troligen överskattad i förhållande till åtminstone åren före 2019. Det innebär att för den perioden är den uppskattade mängden installerade solcellspaneler troligen större än i vår beräkning. Om en genomsnittlig effekt per solcellspanel på 300 W antas för hela perioden, skulle mängden installerade solcellspaneler under 2021 (och mängden uttjänta solcellspaneler 2051) uppgå till cirka 30 000 ton. Om en genomsnittlig effekt per solcellspanel på 400 W antas, skulle mängden installerade paneler 2021 och alltså uttjänta paneler 2051 uppgå till cirka 22 000 ton.

Uppgifterna om årlig installerad effekt till och med år 2015 är hämtade från IEA:s årliga rapport om solcellsanläggningar i Sverige, tabell 4, kolumnen ”Total [MW]” som utgår från ackumulerad effekt respektive år.¹⁰ Vi utgår från att förändringen mellan år (med start mellan 1992 och 1993) motsvarar årlig installerad effekt.

Eftersom det från och med 2016 finns officiell energistatistik om nätanslutna solcellsanläggningar, har vi utgått från den i kolumnen ”Totalt” för åren 2016–2021, när det gäller nätanslutna solcellsanläggningar.¹¹ Till dessa data har vi lagt data från IEA:s årliga rapport (se ovan) för de aktuella åren i fråga om ackumulerad installerad effekt för icke nätanslutna solcellsanläggningar, tabell 4, kolumnen ”Off-grid [MW]”.¹² Då vi har bytt datakälla (med troliga skillnader i metod för insamling av data) i fråga om nätanslutna solcellsanläggningar mellan

⁷ Data från El-Kretsen AB 2022-10-05. Den genomsnittliga vikten är 18,2 kg, vilken vi har avrundat till 18 kg.

⁸ E-post från Energimyndigheten 2023-03-08.

⁹ Tidningen Elinstallatören, ”Teknikskifte inom solceller höjer effekten 30 procent”, hämtad 2023-03-13.

¹⁰ IEA, *National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2021*, tabell 4.

¹¹ Energimyndigheten, *Nätanslutna solcellsanläggningar, antal och installerad effekt*, från år 2016, 2023-01-19.

¹² IEA, *National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2021, 2022*, tabell 4.

2015 och 2016, finns det en trolig underskattning av den årliga totala installerade effekten för 2016. Vid utgången av 2021 överensstämmer dock i princip IEA:s data om total installerad effekt med energistatistikens uppgift om total installerad effekt i nätanslutna solcellsanläggningar, med tillägg för IEA:s data om total installerad effekt i icke nätanslutna solcellsanläggningar.¹³

Uppskattningen av mängden solcellspaneler som kan materialåtervinnas med ny teknik bygger på att hela mängden solcellspaneler som satts på marknaden under ett visst installationsår verkligen samlas in när panelerna blivit uttjänta. Andelarna material som ingår i en monokristallin kiselpanel har beräknats utifrån uppgifter i en rapport från IEA 2020, som redovisar andelarna för en icke inramad panel. Andelen material som utgörs av ramen anges av IEA som 19,3 procent utöver de 100 procent som ingår i själva solcellspanelen.¹⁴ Vi har räknat om dessa andelar så att andelarna för samtliga material inklusive aluminiumramen summerar till 100 procent, se höger kolumn i nedanstående tabell.

Tabell 1 Omvandling av andelar material i en icke inramad monokristallin kiselpanel till en inramad

Material	Ej inramad panel, andelar	Inramad panel, andelar
Kisel	0,052	0,044
Metaller	0,015	0,013
Plast	0,134	0,112
Glas	0,799	0,670
Aluminiumram	0,193	0,162
Summa andelar	1,193	1,000*

Källa: Riksrevisionens bearbetning av uppgifter från IEA.

* Utifrån en rak summering av de ingående andelarna blir summan 1,001. Skillnader i avrundning gör att summan i tabellen angetts till 1.

Utifrån de omräknade andelarna av uppgifterna i IEA:s rapport och uppgifter från återvinningsföretag, har vi antagit att den totala andelen material som kan materialåtervinnas framöver uppgår till cirka 89 procent av en inramad solcellspanel. Den återstående andelen på cirka 11 procent motsvarar utifrån IEA:s

¹³ För 2021 anger energistatistiken, hämtad 2023-01-19, en totalt installerad effekt på 1 587,01 MW. Med tillägg för installerad effekt enligt IEA, *National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2021*, tabell 4, kolumnen "Off-grid MW" 18,89 MW, blir total installerad effekt 1 605,9 MW vid utgången av 2021. Sett till summan av årlig installerad effekt för 1993–2021 i vår tabell 2, uppgår den till 1 605,09 MW. Om IEA:s uppgift om ackumulerad installerad effekt till och med 1992, motsvarande 0,81 MW, läggs till summan av årlig installerad effekt för 1993–2021 skulle summan vara (1 605,09+0,81=) 1 605,9 MW. Skillnaden mot den av IEA angivna ackumulerade effekten 2021, 1 606,06 MW, är mycket liten.

¹⁴ International Energy Agency, *Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems*, 2020, tabell 2.

rapport plast. Stena Recycling AB uppger att företaget återvinner vissa plastmaterial idag och att företagets anläggning i Italien idag har en materialåtervinningsgrad på cirka 80 procent. Företaget uppger att dess anläggning i Italien på några års sikt bör kunna materialåtervinna cirka 90 procent av mängden material i en solcellspanel. Företaget tror att fram till 2040 kommer det att kunna materialåtervinna nära 100 procent av en solcellspanel inklusive plasten.¹⁵ Remondis Sweden AB uppger att om miljötillstånd ges för dess anläggning där det kommer vara möjligt att återvinna bland annat solcellspaneler, är tanken att metall, glas och kisel men inte plast ska materialåtervinnas.¹⁶ Vi bedömer att den totala andelen material i en solcellspanel som utifrån pågående förändringar i återvinningsbranschen kan antas materialåtervinnas på några års sikt, stämmer relativt väl med en uppskattning utifrån en summering av andelarna för samtliga material förutom plast i IEA:s sammanställning (cirka 89 procent).

Tabell 2 nedan redovisar data som ligger till grund för diagram 1, uppskattade framtida mängder uttjänta solcellspaneler (ton). För de närmast kommande åren från och med 2023 kan mängden som kan materialåtervinnas enligt vår bedömning vara överskattad, eftersom det tar tid att få system för materialåtervinning på plats.

Tabell 2 Uppskattade framtida mängder uttjänta solcellspaneler

Installationsår	Akkumulerad installerad effekt nätanslutna och ej nätanslutna anläggningar (MW)	Årlig installerad effekt (MW)	År då panelerna blir uttjänta	Mängd uttjänta paneler (ton)*	Mängd av panelerna som kan materialåtervinnas framöver (ton)**
1992	0,81				
1993	1,05	0,24	2023	12	11
1994	1,33	0,28	2024	14	13
1995	1,62	0,29	2025	15	13
1996	1,85	0,23	2026	12	10
1997	2,12	0,27	2027	14	12
1998	2,37	0,25	2028	13	11
1999	2,58	0,21	2029	11	10
2000	2,8	0,22	2030	11	10
2001	3,03	0,23	2031	12	10
2002	3,3	0,27	2032	14	12

¹⁵ E-post från Stena Recycling AB, 2023-02-13, 2023-04-18 och 2023-04-20.

¹⁶ E-post från Remondis Sweden AB, 2023-02-03, 2023-02-08 och 2023-05-02.

Installationsår	Akkumulerad installerad effekt nätanslutna och ej nätanslutna anläggningar (MW)	Årlig installerad effekt (MW)	År då panelerna blir uttjänta	Mängd uttjänta paneler (ton)*	Mängd av panelerna som kan materialåtervinnas framöver (ton)**
2003	3,58	0,28	2033	14	13
2004	3,86	0,28	2034	14	13
2005	4,23	0,37	2035	19	17
2006	4,86	0,63	2036	32	29
2007	6,25	1,39	2037	71	63
2008	7,91	1,66	2038	85	76
2009	8,57	0,66	2039	34	30
2010	10,71	2,14	2040	110	98
2011	14,53	3,82	2041	196	174
2012	22,19	7,66	2042	394	350
2013	40,82	18,63	2043	958	850
2014	74,95	34,13	2044	1 755	1 558
2015	122,64	47,69	2045	2 453	2 177
2016	150,46	27,82	2046***	1 431	1 270
2017	243,26	92,8	2047	4 773	4 237
2018	425,15	181,89	2048	9 354	8 304
2019	713,87	288,72	2049	14 848	13 181
2020	1 106,43	392,56	2050	20 189	17 921
2021	1 605,90	499,47	2051	25 687	22 802

Källa: Riksrevisionens bearbetning av data från främst IEA, National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2021 och Energimyndigheten, Nätanslutna solcellsanläggningar, antal och installerad effekt, från år 2016, 2023-01-19.

* Vissa avrundningsdifferenser på något ton förekommer i denna kolumn.

** Vissa avrundningsdifferenser på något/några ton förekommer i denna kolumn.

*** Data från och med 2016/2046 bygger delvis på annan källa än data till och 2015/2045, vilket förklarar den tillfälliga nedgången i installerad effekt 2016 och uppskattad mängd installerade solcellspaneler det året.

Diagram 2 Jämförelse av mängd installerade solcellspaneler och mängd med producentansvar

För jämförelsen har vi utgått från uppgifter i avsnittet ovan om effekt (350 W) och vikt (18 kg) i de solcellspaneler som installerats under 2019–2021. De totala mängderna installerade solcellspaneler under perioden redovisas i tabell 3.

Tabell 3 Totala mängder installerade solcellspaneler 2019–2021, ton

År	Årlig installerad effekt i panelerna (MW)	Mängd installerade paneler (ton)
2019	288,72	14 848
2020	392,56	20 189
2021	499,47	25 687

Källa: Energimyndigheten, Nätanslutna solcellsanläggningar, antal och installerad effekt, från år 2016, 2023-01-19.

Därefter har vi (utifrån samma antaganden om effekt och vikt) uppskattat mängden installerade solcellspaneler i energistatistikens effektkategori för anläggningar på minst 1 000 kW, som kan antas till stor del omfatta solcellsparker vilka skulle kunna betraktas som storskaliga fasta installationer. Se tabell 4 nedan.

Tabell 4 Mängder installerade solcellspaneler i effektkategori >1 000 kW 2019–2021, ton

År	Årlig installerad total effekt i panelerna (MW)	Mängd paneler satt på marknaden (ton)
2019	1,44	74
2020	35,45	1 823
2021	68,40	3 518

Källa: Energimyndigheten, Nätanslutna solcellsanläggningar, antal och installerad effekt, från år 2016, 2023-01-19.

Sedan har vi jämfört mängden installerade solcellspaneler totalt exklusive sådana i energistatistikens effektkategori > 1 000 kW (se mittenkolumnen) med mängderna solcellspaneler som det åtagits producentansvar för under perioden 2019–2021. Att denna period valts beror på att Naturvårdsverket införde möjligheten till separat rapportering av solcellspaneler i en egen underkategori 2019. Att vi har utelämnat mängden solcellspaneler i effektkategori > 1 000 kW beror på att solcellsparker, som skulle kunna anses som storskaliga fasta installationer och i så fall vara undantagna från producentansvar, till stor del ingår i den kategorin. Se tabell 5 nedan.

Tabell 5 Jämförelse mängd installerade paneler totalt och i anläggningar med effekt upp till 1 000 kW i förhållande till mängd som det rapporterats producentansvar för, ton

År	Mängd paneler satta på marknaden totalt (ton)	Mängd installerade paneler exklusive de i stora anläggningar (ton)	Mängd paneler med producentansvar* (ton)	Skillnad mellan installerat och rapporterat exklusive de i stora anläggningar (ton)
2019	14 848	14 774	9 038	5 736
2020	20 189	18 366	13 938	4 428
2021	25 687	22 169	16 185	5 984

* Mängden utgår från Naturvårdsverkets producentansvarsregister för 2020 och 2021. Den utgår från mängd från El-Kretsen AB för 2019 då den är större än mängden i producentansvarsregistret 2019.

De kolumner som ligger till grund för diagram 2 i rapporten är "Mängd installerade paneler exklusive de i stora anläggningar" (röda staplar i diagrammet) och "Mängd paneler med producentansvar" (svarta staplar i diagrammet). Kolumnen "Skillnad mellan installerat och rapporterat exklusive de i stora anläggningar" motsvarar skillnaderna mellan röda och svarta staplar i diagrammet. Om den genomsnittliga effekten per solcellspanel antas vara 300 W i stället för 350 W, skulle skillnaden mellan installerade solcellspaneler och solcellspaneler med producentansvar 2021 vara cirka 10 000 ton för 2021. Om den genomsnittliga effekten per solcellspanel antas vara 400 W, skulle motsvarande skillnad för 2021 vara cirka 3 000 ton.

Mängder vindturbinblad

Diagram 3 Uppskattning av mängden uttjänta vindturbinblad

Som grund för beräkningen har vi använt Energimyndighetens dataunderlag till myndighetens rapport *Regionala utbyggnadsbehov och generationsväxling*. Energimyndigheten har utgått från en livslängd på 22 år.¹⁷ Vi har uppskattat mängden uttjänta vindturbinblad (m) utifrån den linjära formeln $m \text{ (ton)} = 10,33 \times \text{effekt (MW)}$ som togs fram av Delaney med flera 2021.¹⁸ Formeln har även använts av RISE i det av Energimyndigheten finansierade forskningsprojektet Rekovind 2, med antagande om 20 års livslängd och baserad på vindkraftverk som installerats till och med 2020. Till 2040 uppgår RISE skattning av ackumulerad mängd uttjänta vindturbinblad till drygt 100 000 ton.¹⁹ Eftersom vår skattning utgår från Energimyndighetens beräkning av installerad effekt till och med 2019 och med antagande om 22 års livslängd, finns en differens mellan de två skattningarna.

Tabell 6 Mängd uttjänta vindturbinblad per fas i generationsväxlingen av vindkraften samt ackumulerad mängd uttjänta vindturbinblad (ton), för verk installerade till och med 2019

Tidpunkt för installation*	Ungefärlig tidpunkt för generationsväxling	Effekt på vindkraftverk som monteras ned per ungefärlig tidpunkt (MW)	Mängd nedmonterade blad per ungefärlig tidpunkt (ton)**	Ackumulerad mängd nedmonterade blad (ton)
1983–1999	2020	148,44	1 533	1 533
2000–2005	2025	321,70	3 323	4 857
2006–2010	2030	1 474,41	15 231	20 087
2011–2015	2035	3 859,34	39 867	59 954
2016–2019	2040	2 434,34	25 147	85 101
Totalt		8 238,23	85 101	

Källa: Riksrevisionens bearbetning av data från Energimyndigheten.

* Tidpunkterna för installation har olika antal år i Energimyndighetens data.

** Avrundade mängder utifrån värden i mittenkolumnen och formeln $m \text{ (ton)} = 10,33 \times \text{effekt (MW)}$.

¹⁷ Energimyndigheten, *Regionala utbyggnadsbehov och generationsväxling Underlag till nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad*, s. 25 och 30. Data från Energimyndigheten 2022-12-08.

¹⁸ Delaney, E.L. m.fl., *An integrated geospatial approach for repurposing wind turbine blades*, Resources, Conservation and Recycling, volume 170, 2021, s 4.

¹⁹ RISE, *Rekovind 2 Digitization of wind blade streams before reuse and recycling Mapping of blades in Sweden with focus on End of Life (EOL)*, projektnummer 47044-2, presentation 2023-03-24.