



**IGSMiE**  
PAN

# Gospodarka wybranymi surowcami krytycznymi stosowanymi w niektórych technologiach OZE w krajach UE

dr inż. Katarzyna Guzik  
mgr inż. Anna Burkowicz  
dr inż. Jarosław Szlugaj

*Pracownia Polityki Surowcowej IGSMiE PAN*

XXXVI Konferencja Zagadnienia Surowców  
Energetycznych i Energii w Gospodarce Krajowej  
Zakopane, 15-18 październik 2023 r.



- Osiągnięcie neutralności klimatycznej w krajach Unii Europejskiej (UE) zakłada transformację procesu wytwarzania energii elektrycznej, polegającą na zastąpieniu tradycyjnych paliw kopalnych poprzez źródła odnawialne, w tym energetykę wiatrową i słoneczną;
- Technologie pozyskiwania energii elektrycznej z energii słonecznej (fotowoltaika) i wiatru oparte się na stosowaniu w szerokim zakresie różnego rodzaju surowców, takich jak: **Al, Cu, Fe, Pb, Ni, Cd, Mo, Se, Sn, Te, Zn i in.;**
- Największe obawy budzi jednak dostępność surowców uznawanych za krytyczne (CRMs) dla gospodarki krajów UE, których produkcja jest na ogół silnie skoncentrowana w kilku regionach świata;
- Wśród nich kluczowe znaczenie dla rozwoju energetyki wiatrowej i słonecznej mają pierwiastki ziem rzadkich (**dysproz, prazeodym, neodym, terb**), **bor metaliczny** oraz **niob** – niezbędne dla rozwoju energetyki wiatrowej, a także **krzem metaliczny, gal, german** oraz **ind** – wykorzystywane na potrzeby energetyki słonecznej.



- ❑ **Surowce krytyczne** dla UE to surowce o **dużym znaczeniu gospodarczym** i jednocześnie znacznym **ryzyku zagrożenia dostaw**.
- ❑ Lista surowców krytycznych dla UE została opublikowana po raz pierwszy w 2011 r. i co 3 lata jest aktualizowana. Na pierwszej liście znalazło się 14 surowców, na ostatniej (opublikowanej w 2023 r.) jest ich 34.

## 2023 Critical Raw Materials (*new CRMs in italics*)

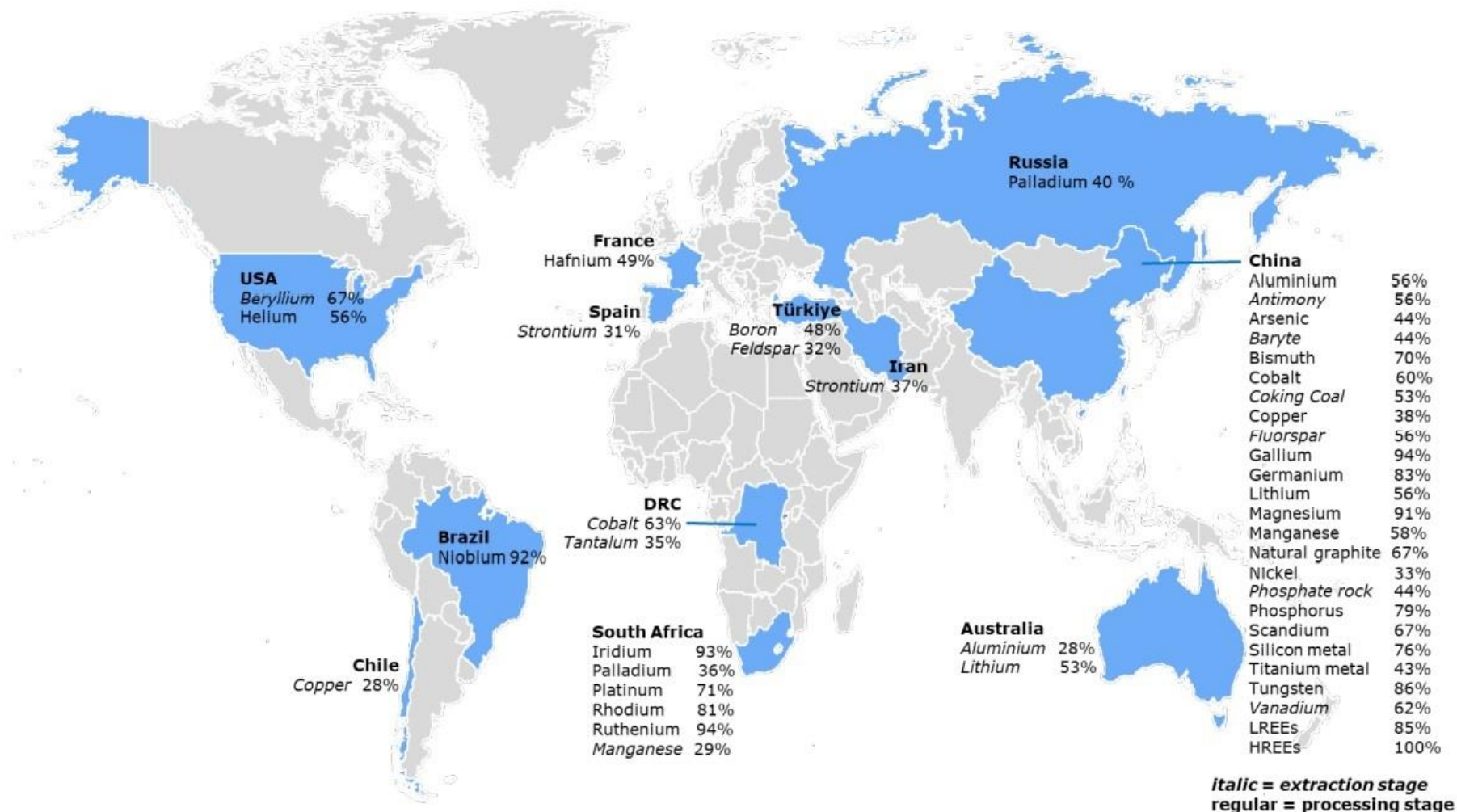
aluminium/bauxite	coking coal	lithium	phosphorus
antimony	<i>feldspar</i>	LREE	scandium
<i>arsenic</i>	fluorspar	magnesium	silicon metal
baryte	gallium	<i>manganese</i>	strontium
beryllium	germanium	natural graphite	tantalum
bismuth	hafnium	niobium	titanium metal
boron/borate	<i>helium</i>	PGM	tungsten
cobalt	HREE	phosphate rock	vanadium
		<i>copper*</i>	<i>nickel*</i>

Źródło: EC 2023



# Główni światowi producenci surowców krytycznych

4 / 30

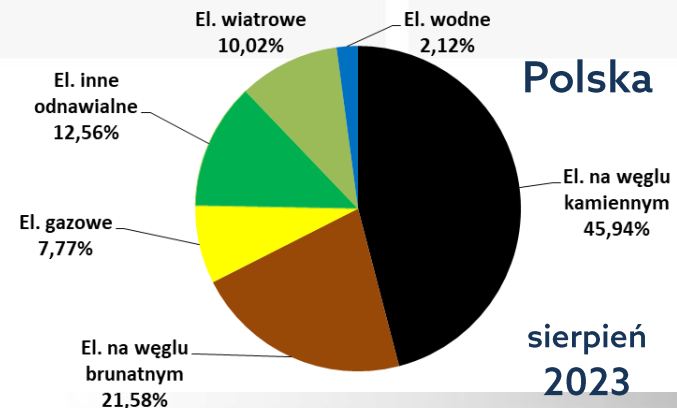


Źródło: EC 2023



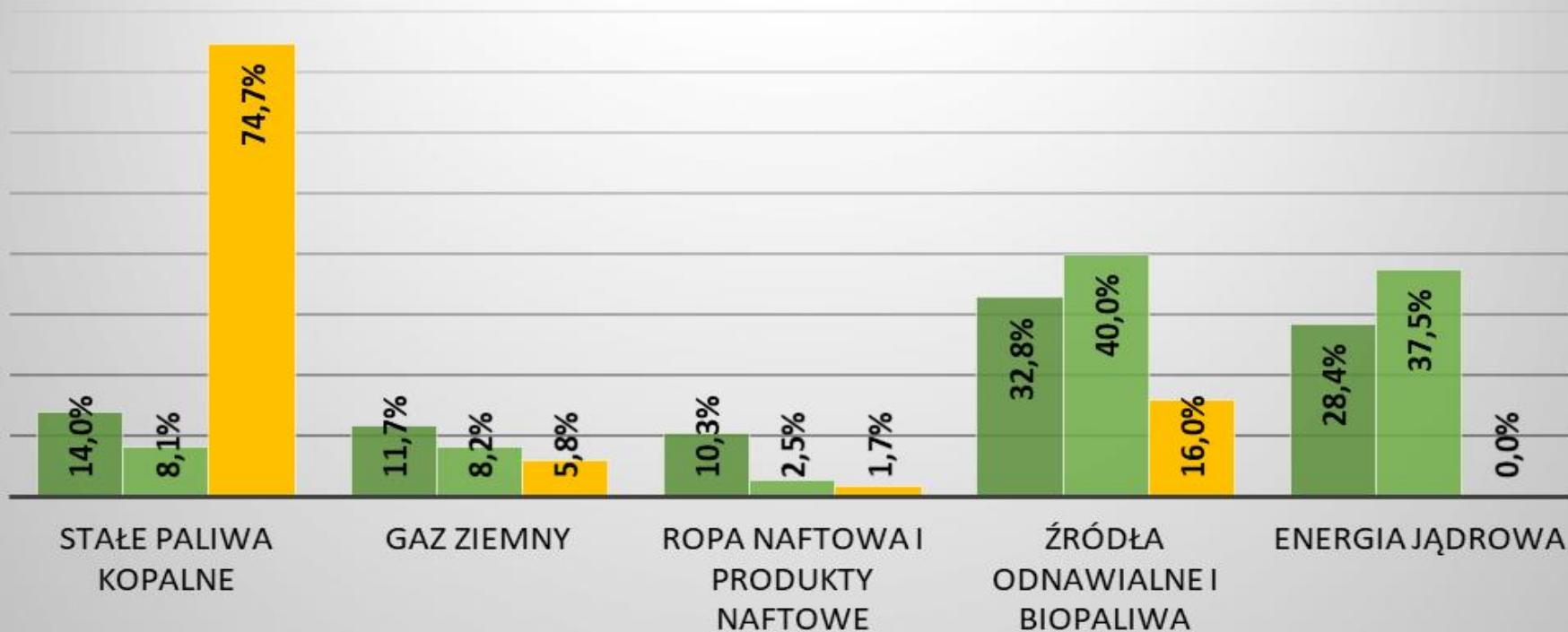
# Struktura wytwarzania energii elektrycznej w UE

5 / 30



Źródło: Polskie Sieci Elektroenergetyczne

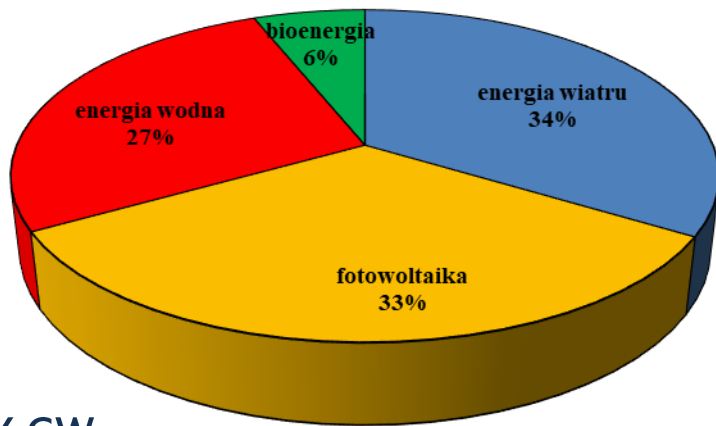
■ UE-28 ■ UE-19 ■ Polska





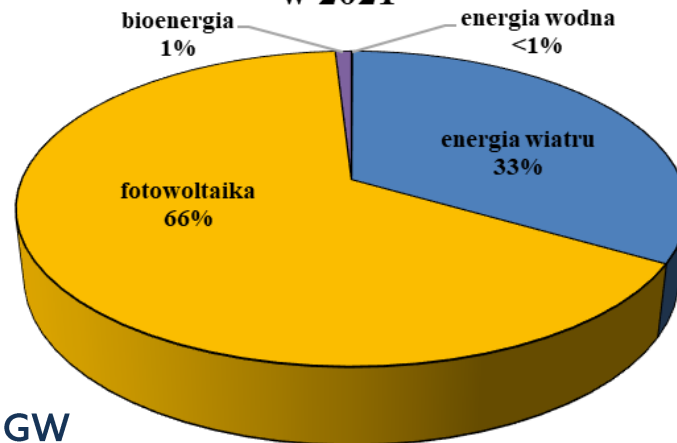
# Udział instalacji PV i energetyki wiatrowej w UE oraz skumulowane zdolności produkcyjne w UE i na świecie

### Moce OZE w UE 27 w 2021



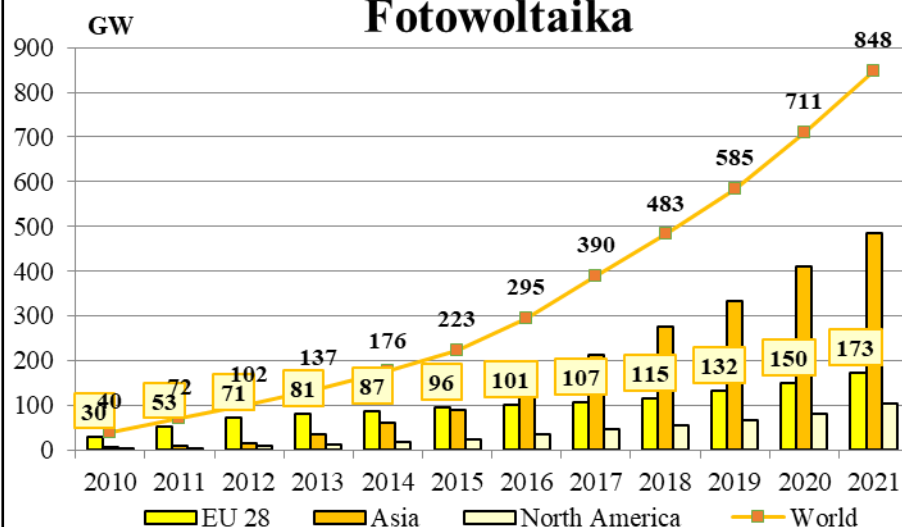
526 GW

### Nowe moce OZE zainstalowane w UE27 w 2021

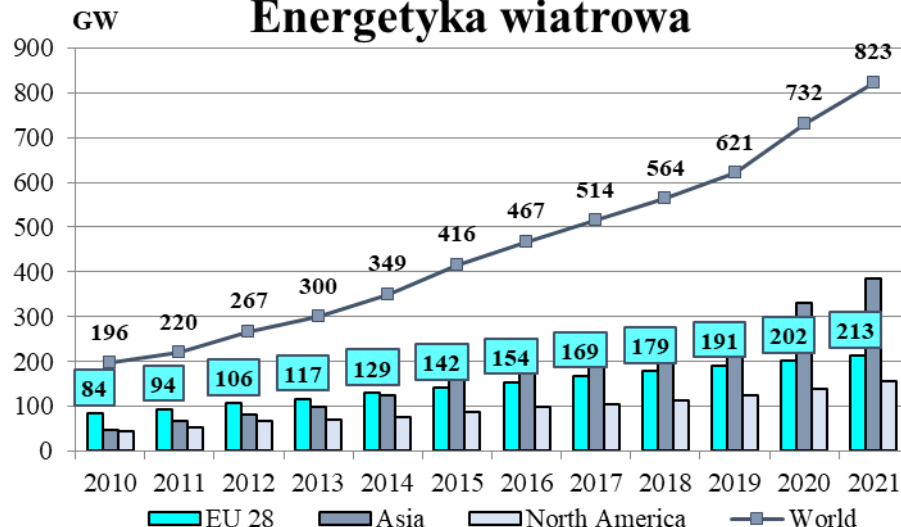


59 GW

### Fotowoltaika



### Energetyka wiatrowa



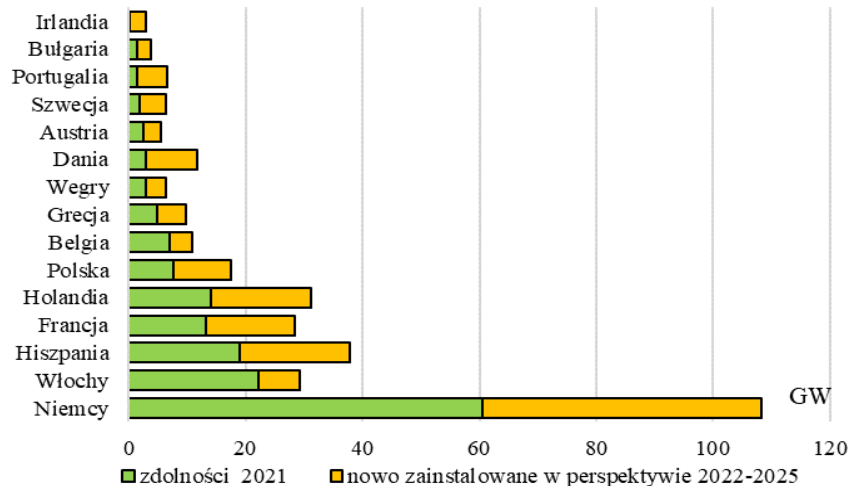
Źródło: IRENA 2022



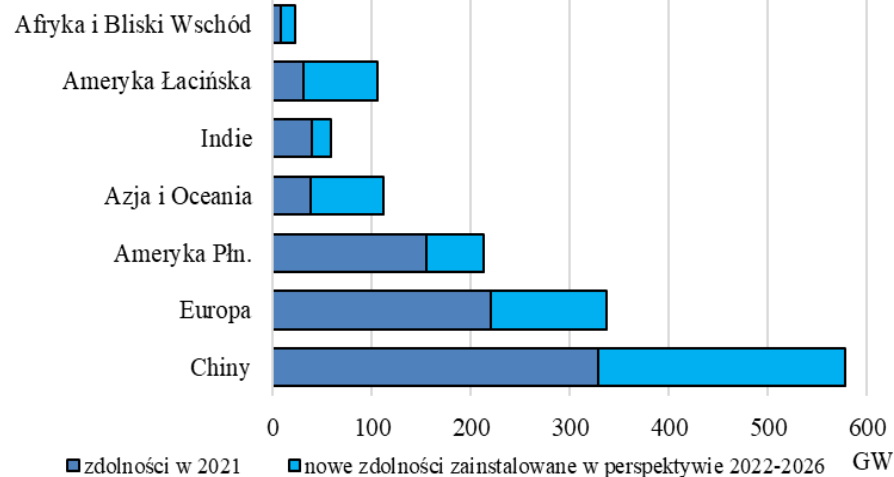
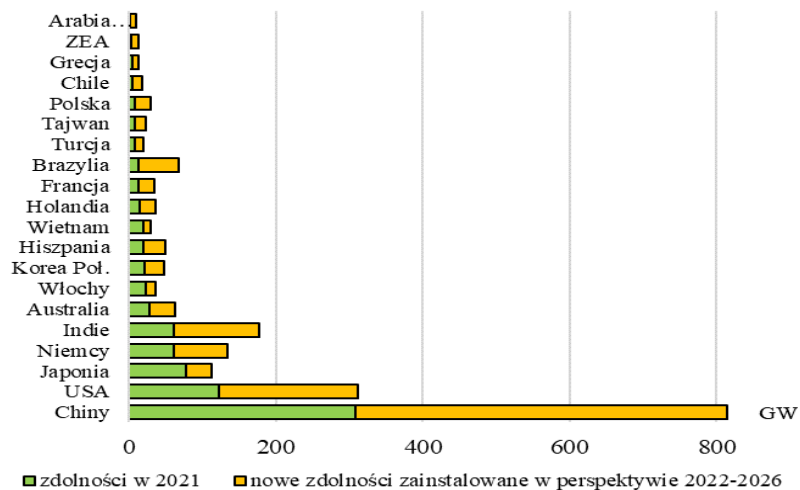
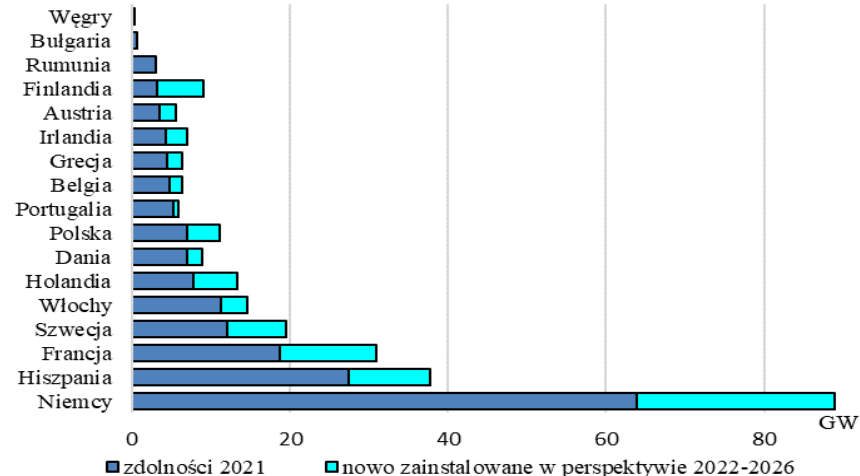
# Zdolności wytwórcze energii ze źródeł fotowoltaicznych i wiatrowych w krajach UE

7 / 28

## Fotowoltaika (ze 160 GW w 2021 do 328 GW w 2025 r.)



## Energetyka wiatrowa (ze 189 GW w 2021 do 276 GW w 2026 r.)



Źródło: IRENA 2022, GLOBAL WIND REPORT 2022, EU Market Outlook for Solar Power 2021- 2025 Solar PowerEurope



# Zastosowanie surowców krytycznych w energetyce słonecznej i wiatrowej

8 / 28

## Surowce krytyczne dla potrzeb fotowoltaiki

<b>Krzem metaliczny</b>	ogniwa płytkowe z krzemu krystalicznego c-Si (wafer solar PV cells), ogniwa cienkowarstwowe z krzemu amorficznego i jego stopów, a-Si
<b>Gal</b>	ogniwa płytkowe z arsenku galu GaAs (GaAs wafer solar PV cell), ogniwa cienkowarstwowe z diselenku miedziowo-indowo-galowego (CIGS)
<b>German</b>	ogniwa cienkowarstwowe ze stopów krzemu amorficznego a-SiGe
<b>Ind</b>	ogniwa cienkowarstwowe z diselenku miedziowo-indowo-galowego (CIGS), warstwy przewodzące z tlenku indowo-cynowego (ITO in transparent conductive oxide (TCO) w technologiach cienkowarstwowych

## Surowce krytyczne dla energetyki wiatrowej

<b>Bor</b>	składnik spiekanego magnesu trwałego $Nd_4Fe_{14}B$ generatora turbiny
<b>Dysproz (Dy)</b>	magnesy trwałe generatora turbiny oraz magnesy do mocowania osprzętu wewnętrznego w wieży turbiny technologie Drive direct (DD)
<b>Neodym (Nd)</b>	składnik spiekanego magnesu trwałego $Nd_2Fe_{14}B$ generatora turbiny, ale także magnesów do mocowania osprzętu wewnętrznego w wieży turbiny
<b>Prazeodym (Pr)</b>	w magnesach trwałych generatora turbiny zastępuje częściowo neodym
<b>Terb (Tb)</b>	w magnesach trwałych generatora turbiny, gdzie może zastępować dysproz
<b>Niob (Nb)</b>	wysokowytrzymałe stale niskostopowe (HSLA), stale mikrostopowe zawierające niob w wieży turbiny wiatrowej





# Główne zastosowania analizowanych surowców krytycznych w UE

9 / 28

Surowiec	Zastosowanie 1	% 1	Zastosowanie 2	% 2	Zastosowanie 3	% 3
Krzem metaliczny	związki chemiczne –głównie silany	54	metalurgia aluminium	38	fotowoltaika	6
Gal	układy scalone	70	optoelektronika	25	ogniwa słoneczne typu CIGS	5
German	optyka na podczerwień	47	światłowody	40	ogniwa słoneczne	13
Ind	ekrany ciekłokrystaliczne	60	złącza i luty niskotopliwe	11	fotowoltaika	9
Bor	szkło	49	ceramika	15	nawozy	13
Niob	stal konstrukcyjna	31	stal motoryzacyjna	28	stal (rurociągi)	27
Neodym	magnesy trwałe	74	baterie	12	ceramika	6
Prazeodym	magnesy trwałe	24	ceramika	15	baterie	12
Dysproz	magnesy trwałe	98	wielowarstwowe kondensatory ceramiczne	2	-	
Terb	optoelektronika	68	magnesy trwałe	32	-	

Źródło: EC 2020c, SCREEN 2019a



# Gospodarka wybranymi surowcami krytycznymi w UE

10 / 28

	2010	2013	2016	2019	2020	2021
<b>Krzem metaliczny (tony)</b>						
Produkcja	174 605	164 483	139 940	141 606	122 234	bd
Import spoza UE	397 116	405 489	405 386	411 182	331 878	373 347
Export poza UE	36 720	52 319	62 245	72 946	92 284	97 062
Saldo wymiany międzynarodowej	360 396	353 170	343 141	338 236	239 594	276 285
Zużycie <sup>1,2</sup>	534 996	558 470	483 041	479 842	361 828	bd
<b>Krzem o czystości <math>\geq 99,99\%</math> Si (tony)</b>						
Produkcja	bd	bd	bd	172 658	60 000	bd
Import spoza UE	10 178	2 402	4 042	7 061	5 561	8 119
Export poza UE	28 202	44 508	54 763	62 811	59 587	65 643
Saldo wymiany międzynarodowej	-18 024	-42 106	-50 721	-55 750	-54 026	-56 524
Zużycie <sup>1,2</sup>	bd	bd	bd	116 908	5 974	bd
<b>Gal (tony)</b>						
Produkcja <sup>3</sup>	bd	bd	bd	114,7	72,9	bd
Import spoza UE	71,0	67,3	25,2	25,5	40,0	50,0
Export poza UE	49,7	23,7	9,1	3,0	3,1	8,6
Saldo wymiany międzynarodowej	21,3	43,6	16,1	22,5	36,9	41,4
Zużycie <sup>1,2</sup>	bd	bd	bd	137,2	109,8	bd

<sup>1,2</sup> pozorne, szacunkowe <sup>3</sup> produkcja galu ze źródeł pierwotnych w UE, dane dostępne za lata 2012-2018 wg BGS i USGS:  
11,0-39,7 t/r



# Gospodarka wybranymi surowcami krytycznymi w UE c.d.

11 / 28

	2010	2013	2016	2019	2020	2021
<b>Ind (tony)</b>						
Produkcja <sup>3</sup>	50,0	83,0	35,0	65,0	65,0	bd
Import spoza UE <sup>4</sup>	129,6	61,2	44,9	29,1	29,3	28,1
Export poza UE <sup>4</sup>	105,7	52,8	20,1	42,6	52,9	34,8
Saldo wymiany międzynarodowej <sup>4</sup>	23,9	8,4	24,8	-13,5	-23,6	-6,7
Zużycie <sup>1,2</sup>	73,9	91,4	59,8	51,5	41,4	bd
<b>German (tony)</b>						
Produkcja <sup>5</sup>	12,0	17,0	0,0	-	-	bd
Import spoza UE <sup>6</sup>	15,8	13,6	7,4	14,6	6,8	21,0
Export poza UE <sup>6</sup>	0,5	4,3	4,0	5,3	5,7	4,7
Saldo wymiany międzynarodowej <sup>6</sup>	15,3	9,3	3,4	9,3	1,1	16,3
Zużycie <sup>1,2</sup>	27,3	26,3	3,4	9,3	1,1	bd
<b>Bor (tony)</b>						
Produkcja	-	-	-	-	-	-
Import spoza UE	31,0	1,6	1,0	1,7	1,7	2,2
Export poza UE	10,0	14,8	23,4	17,3	29,8	18,1
Saldo wymiany międzynarodowej	21,0	-13,2	-22,4	-15,6	-28,1	-15,9

<sup>1,2</sup> pozorne, szacunkowe, <sup>3</sup> ind rafinowany, <sup>4</sup> ind nieobrobiony i proszek indu, <sup>5</sup> german metaliczny, <sup>6</sup> german nieobrobiony i proszek germanu



# Gospodarka wybranymi surowcami krytycznymi w UE c.d.

12 / 28

	2010	2013	2016	2019	2020	2021
<b>Niob i ren<sup>7</sup> (tony)</b>						
Produkcja	-	-	-	-	-	-
Import spoza UE	545	863	635	1 143	1 088	843
Export poza UE	6	4	16	20	30	14
Saldo wymiany międzynarodowej	539	859	619	1 069	1 123	1 058
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>LREE (m.in. Neodym i Prazeodym) (tony)</b>						
Produkcja	-	-	-	-	-	-
Import spoza UE	176,8	157,2	163,6	98,1	29,9	33,7
Export poza UE	176,4	439,9	173,2	154,5	27,6	73,8
Saldo wymiany międzynarodowej	0,4	-282,7	-9,6	-56,4	2,3	-40,1
<b>HREE (m.in. Dysproz i Terb) (tony)</b>						
Produkcja	-	-	-	-	-	-
Import spoza UE	214,4	284,4	312,9	736,8	43,3	78,0
Export poza UE	4,0	13,7	5,0	4,3	7,6	21,8
Saldo wymiany międzynarodowej	210,4	270,7	307,9	732,5	35,7	56,2

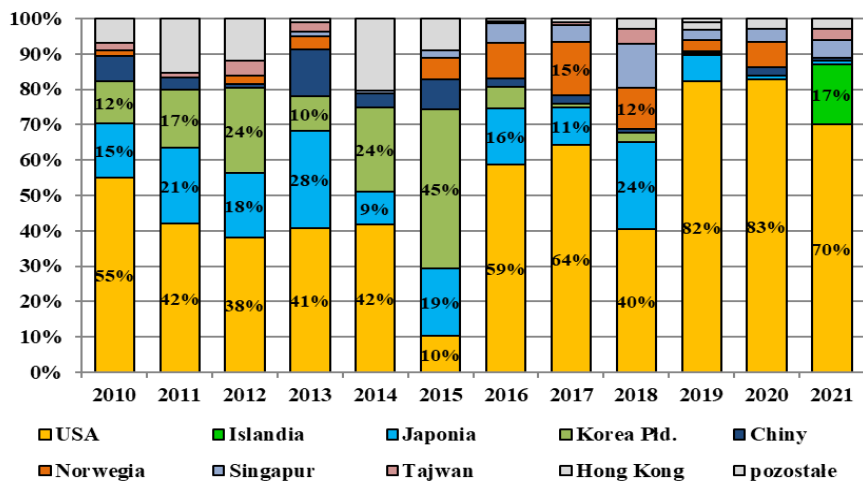
<sup>7</sup> w jednej pozycji import niobu i renu

Źródło: EUROSTAT, WMP, WMD, PRODCOM, obliczenia własne

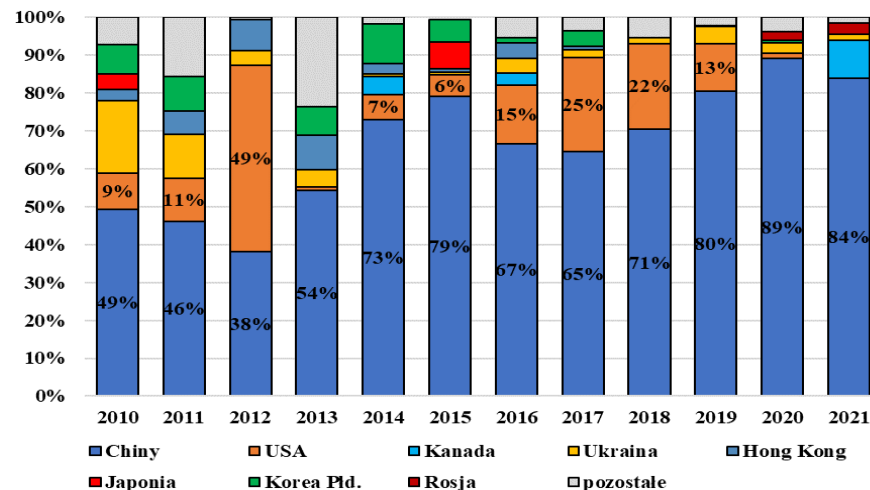


# Kierunki importu surowców krytycznych dla fotowoltaiki do UE

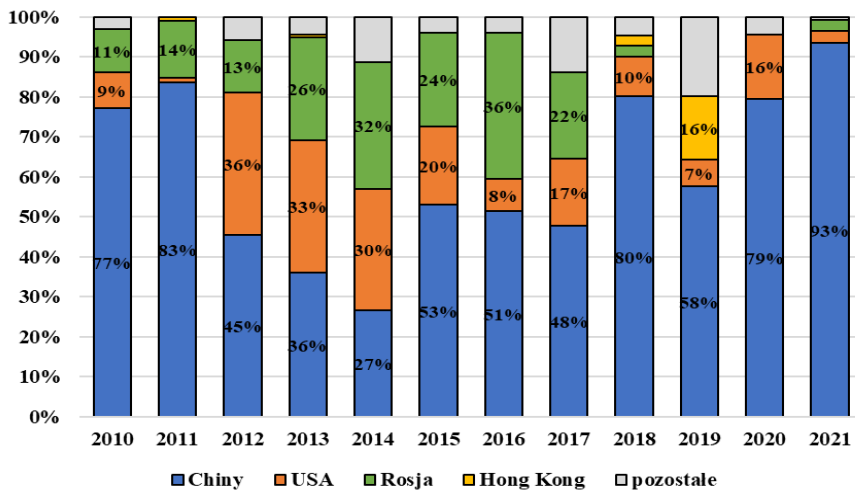
## Krzem metaliczny $\geq 99,99\%$ Si



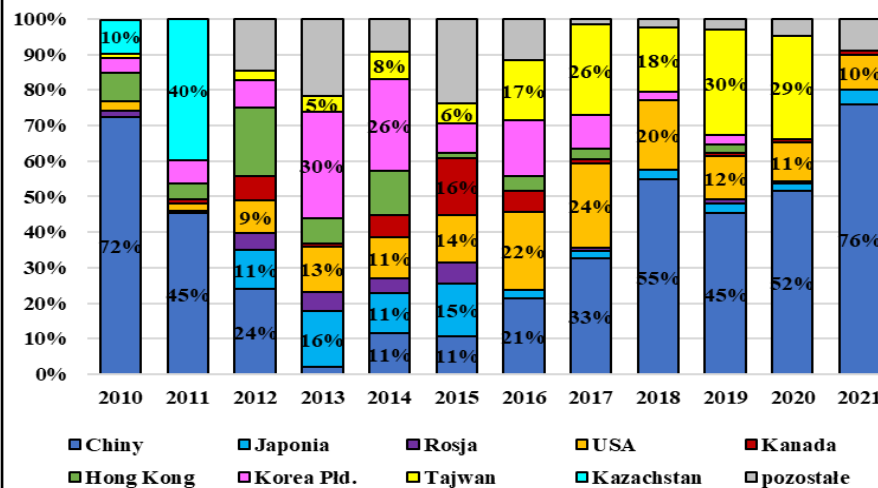
## Gal



## German



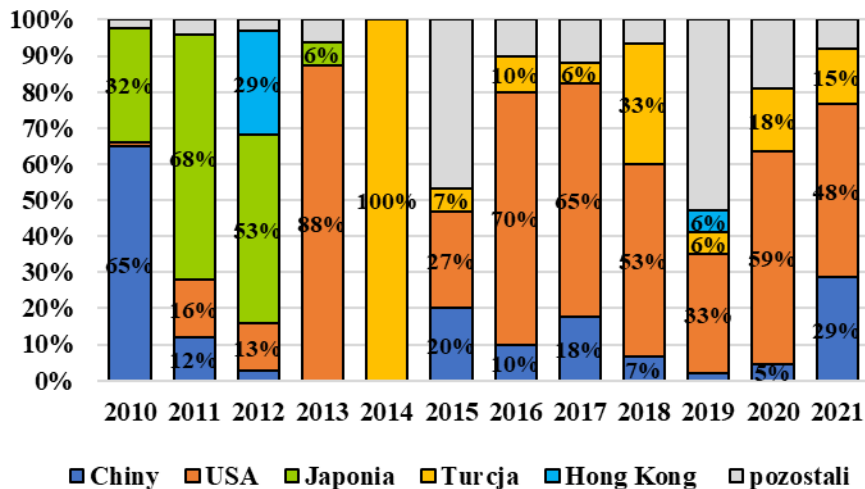
## Ind



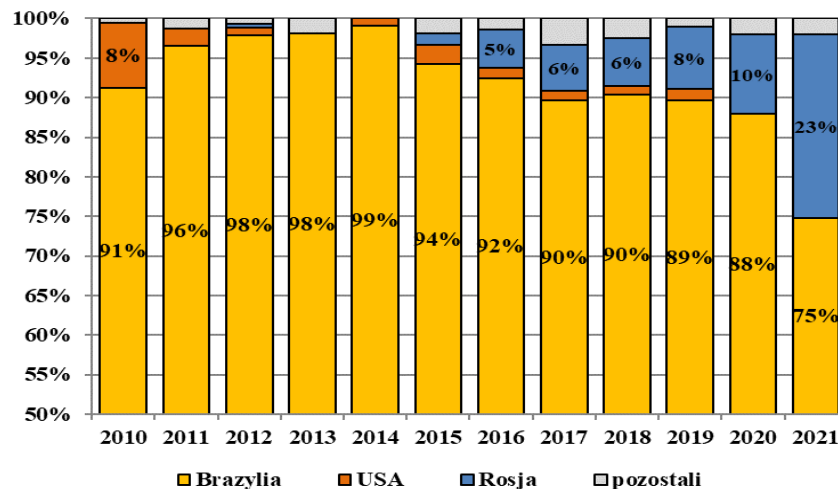


# Kierunki importu surowców krytycznych dla energetyki wiatrowej do UE

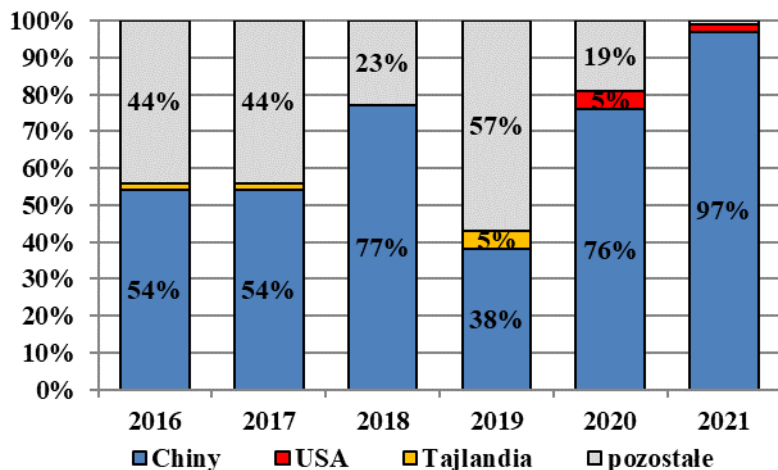
## Bor metaliczny



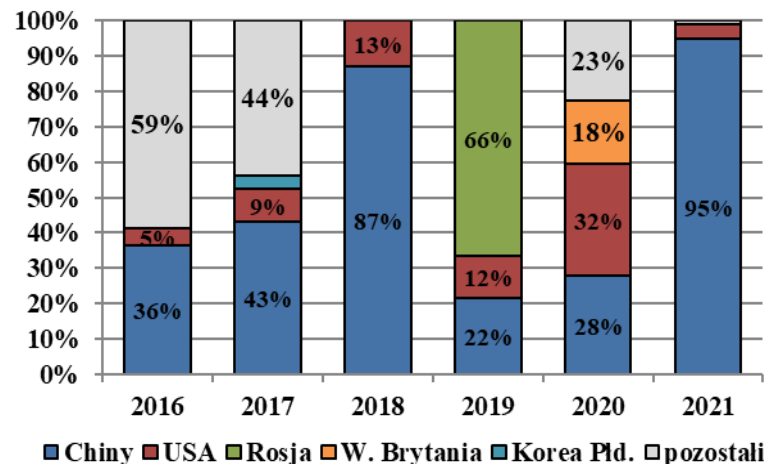
## Niob i ren



## LREE metale (m.in. Neodym i Prazeodym)



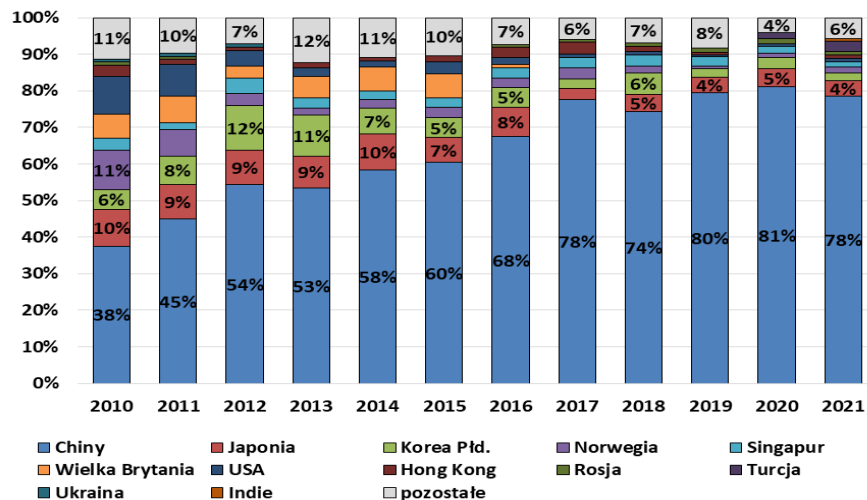
## HREE metale (m.in. Dysproz i Terb)



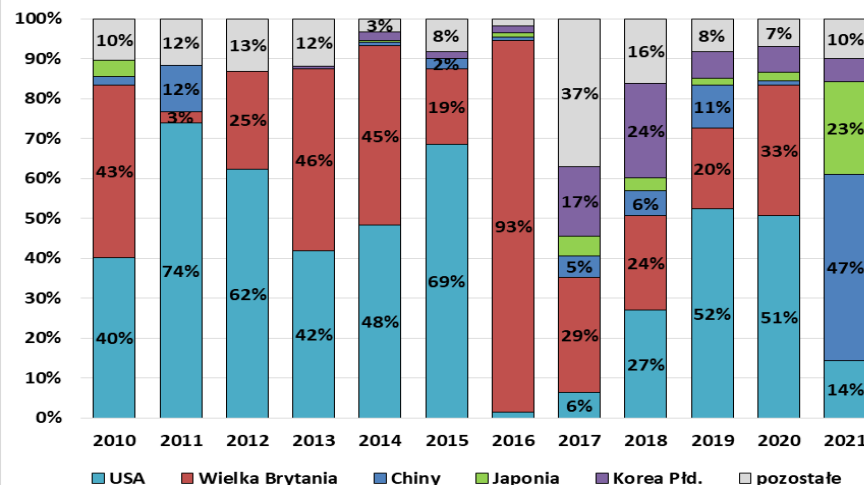


# Kierunki eksportu surowców krytycznych dla fotowoltaiki z UE

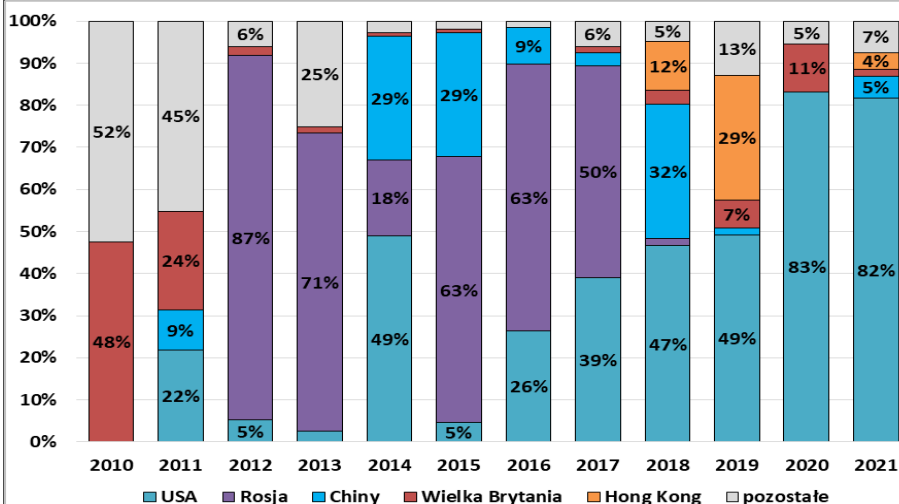
## Krzem metaliczny $\geq 99,99\%$ Si



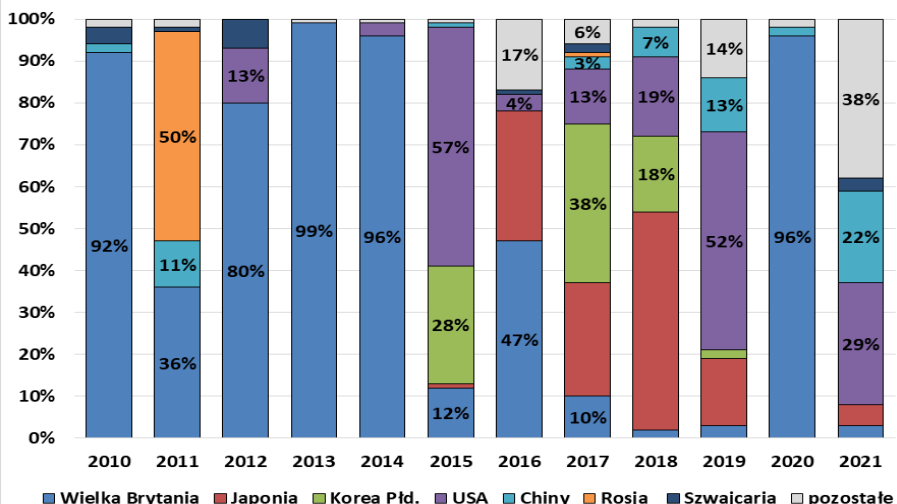
## Gal



## German



## Ind



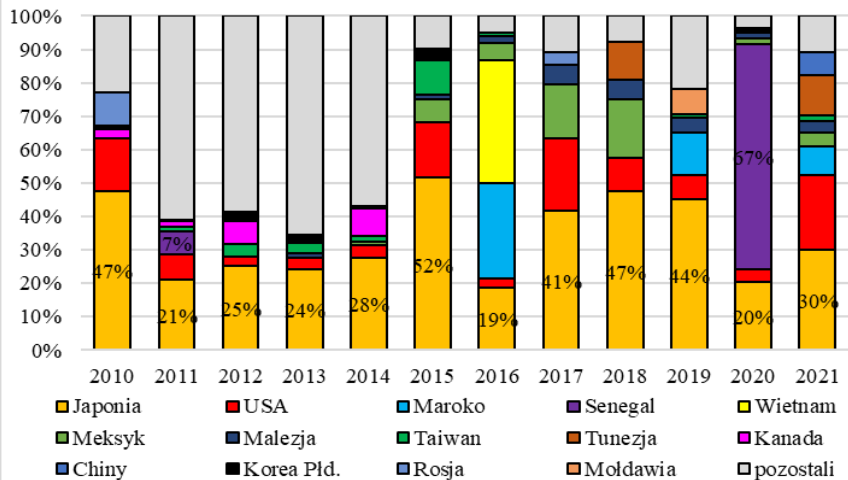
Źródło: Eurostat



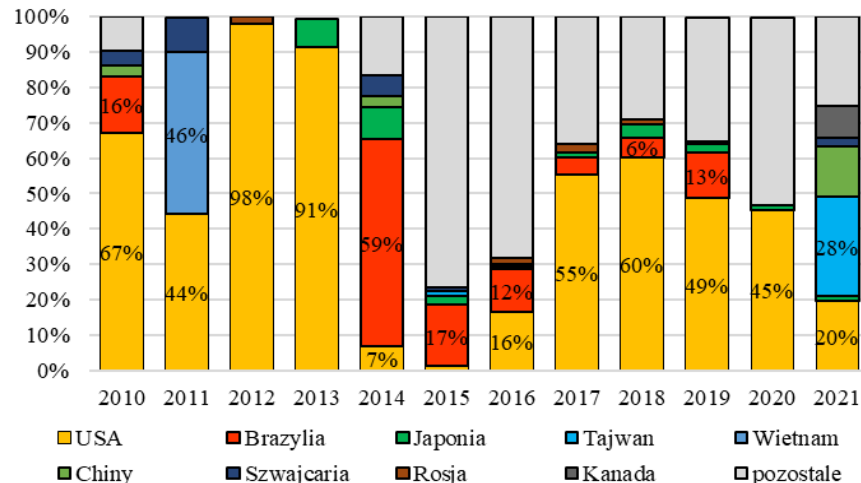
# Kierunki eksportu surowców krytycznych dla energetyki wiatrowej z UE

16 / 28

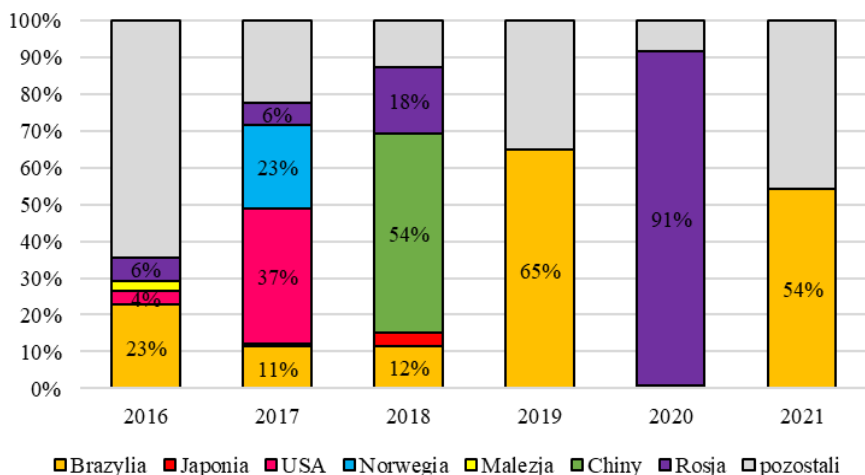
## Bor metaliczny



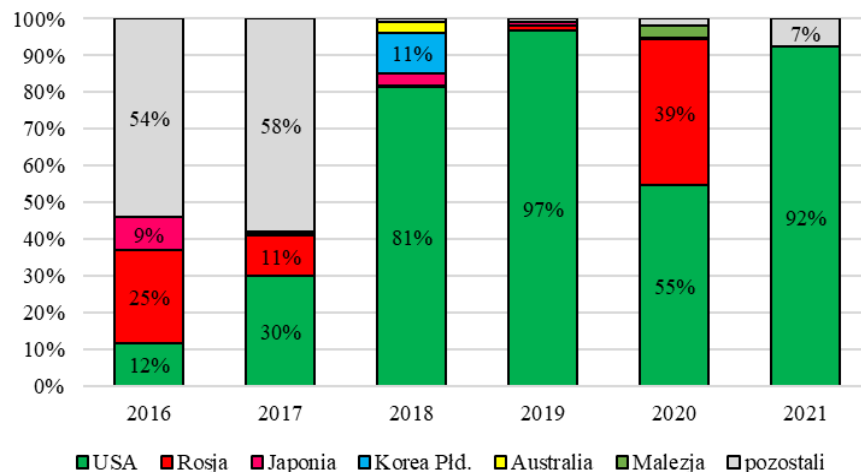
## Niob i ren



## LREE metale (m.in. Neodym i Prazeodym)



## HREE metale (m.in. Dysproz i Terb)

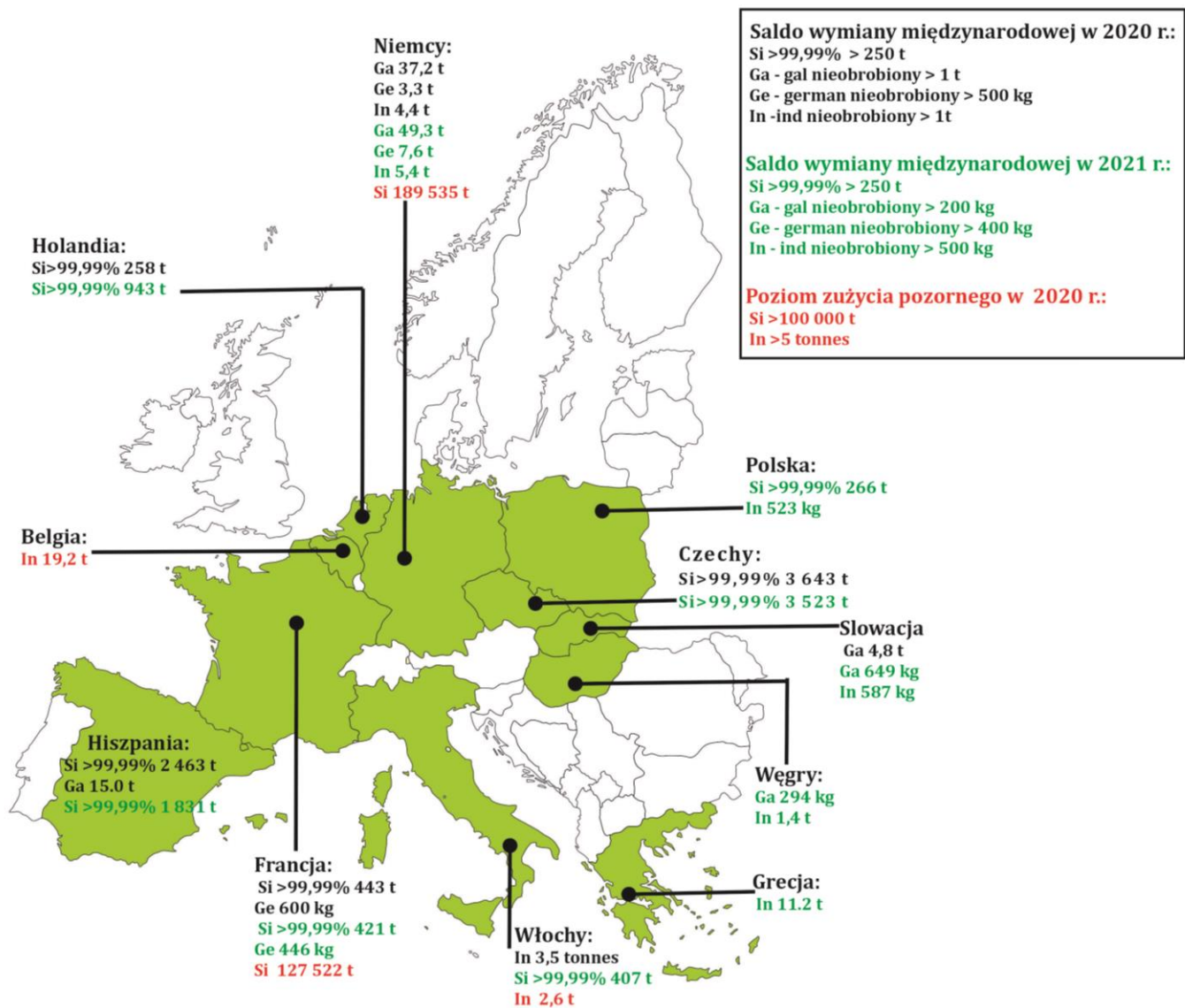


Źródło: Eurostat





# Główni konsumenci i importerzy netto surowców krytycznych dla fotowoltaiki w UE

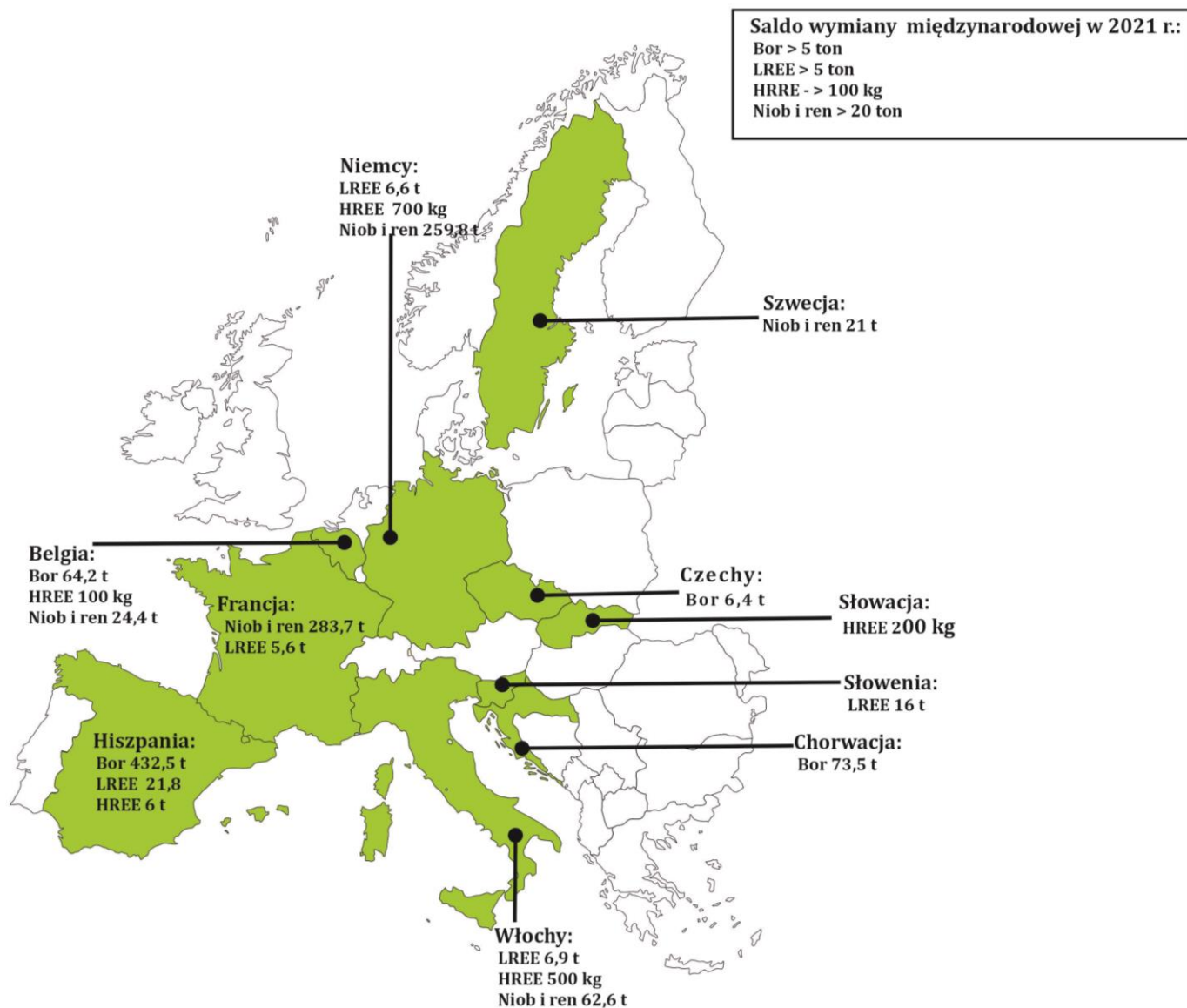


Źródła: EUROSTAT, WMP, obliczenia własne



# Główni importerzy netto surowców krytycznych dla energetyki wiatrowej w UE

18 / 28



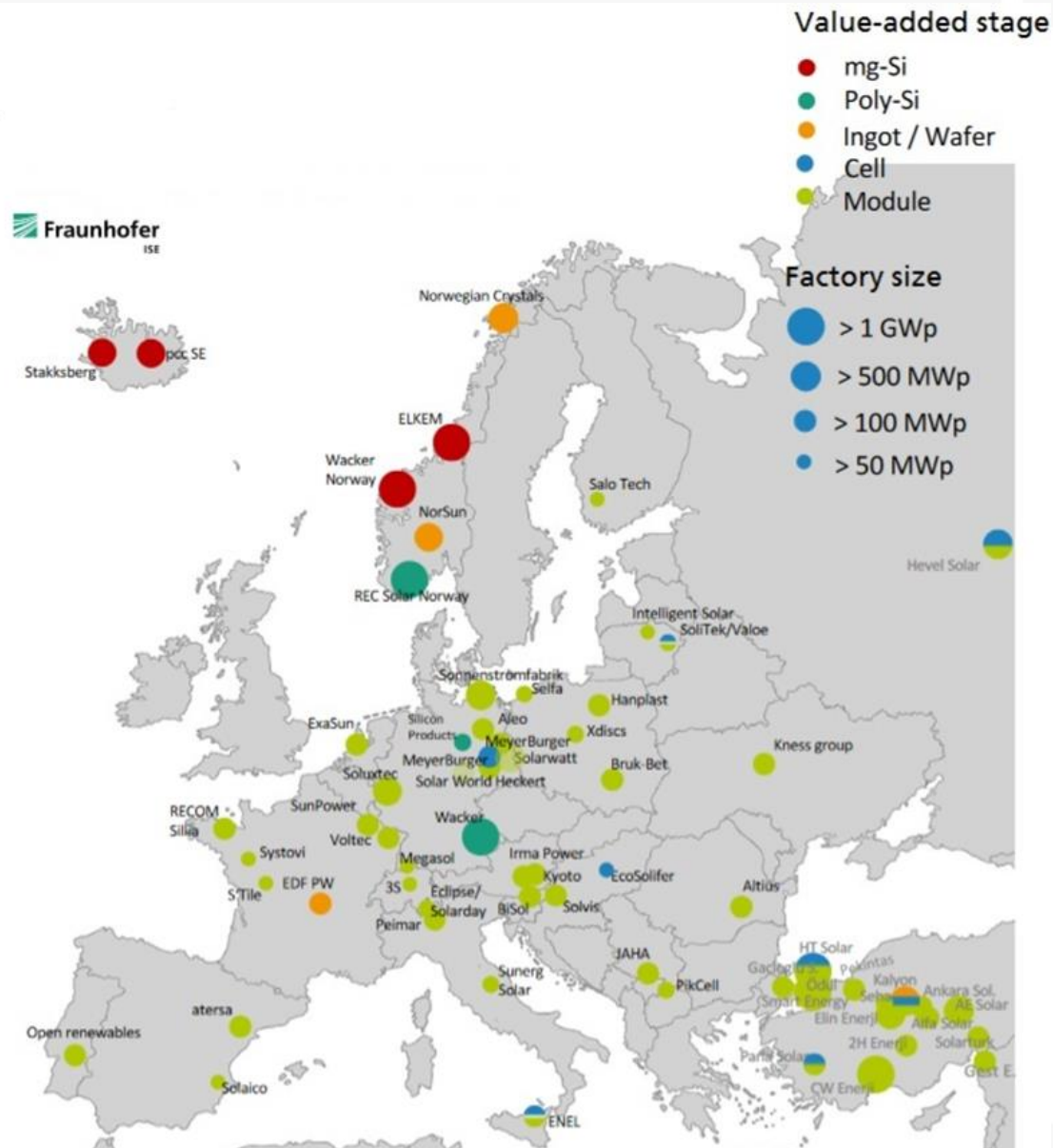
Źródła: EUROSTAT, obliczenia własne

XXXVI Konferencja Zagadnienia Surowców Energetycznych i Energii w Gospodarce Krajowej Zakopane, 15-18 październik 2023 r.

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN



# Lokalizacja produkcji PV w UE + Norwegia z uwzględnieniem poszczególnych etapów łańcucha wartości



Źródło: Fraunhofer ISE



# Łańcuch wartości dostaw dla fotowoltaiki (ogniwa krzemowe)

20 / 28

## Udział Chin w poszczególnych etapach produkcji systemów fotowoltaiki w 2021 r.

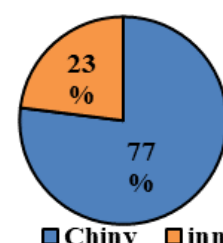
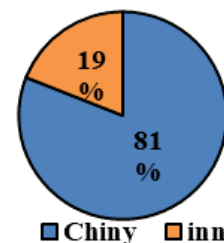
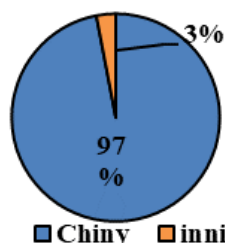
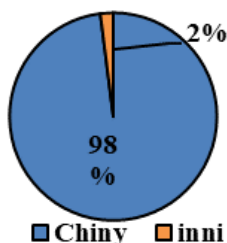
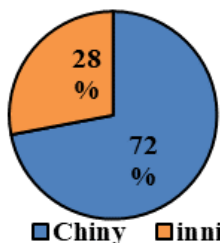
Polikrzem

Wlewki

Płytki

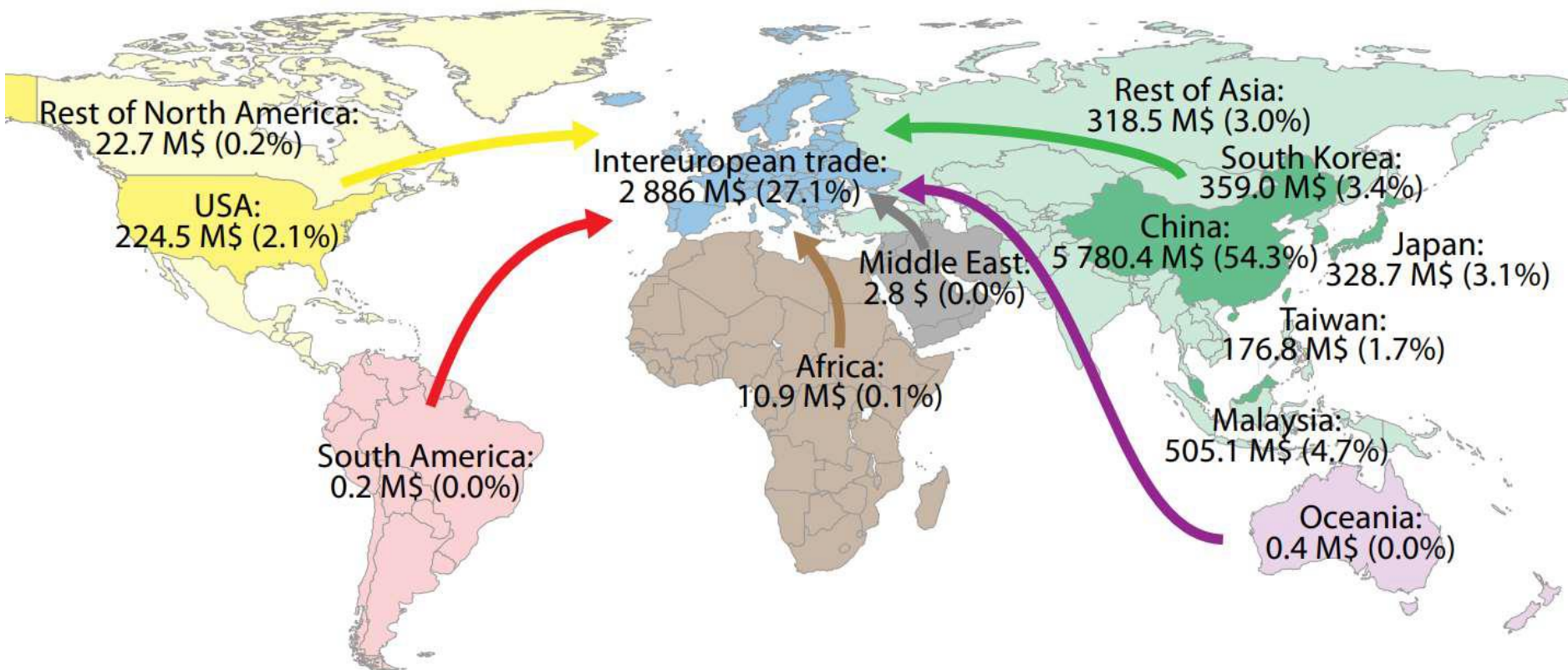
Ogniwa

Moduły



(GW)	Polikrzem	Wlewki i płytki	Ogniwa	Moduły
Zdolności produkcyjne w EU 27 + Norwegia	20,7	1,7	0,8	8,3
Ilość firm produkujących w EU 27 + Norwegia	1 (Niemcy: Wacker)	3 (Norwegia 2: NorSun; Norwegian Crystal; Francja: EDF Photowatt)	4 (Litwa: Valeo; Niemcy: Meyer Burger; Włochy: 3Sun; Węgry: Ecosolifer)	49

Źródło: US Department of Energy 2022, SolarPowerEurope

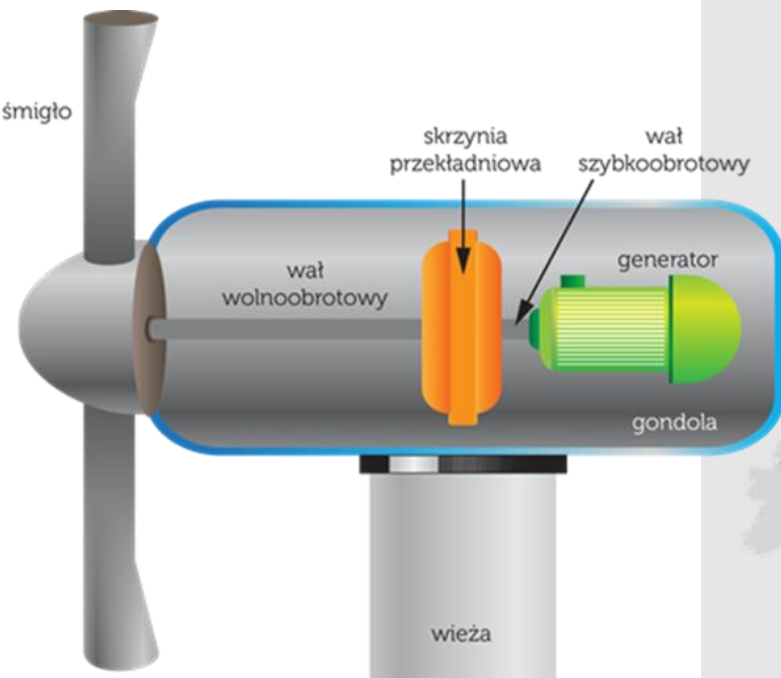


**Przepływy handlowe z towarami objętymi kodem CN 854140: Światłoczułe urządzenia półprzewodnikowe, w tym ogniwa fotowoltaiczne, złożone w moduły lub złożone w panele; Diody elektroluminescencyjne sprowadzane do Europy w 2020 roku**



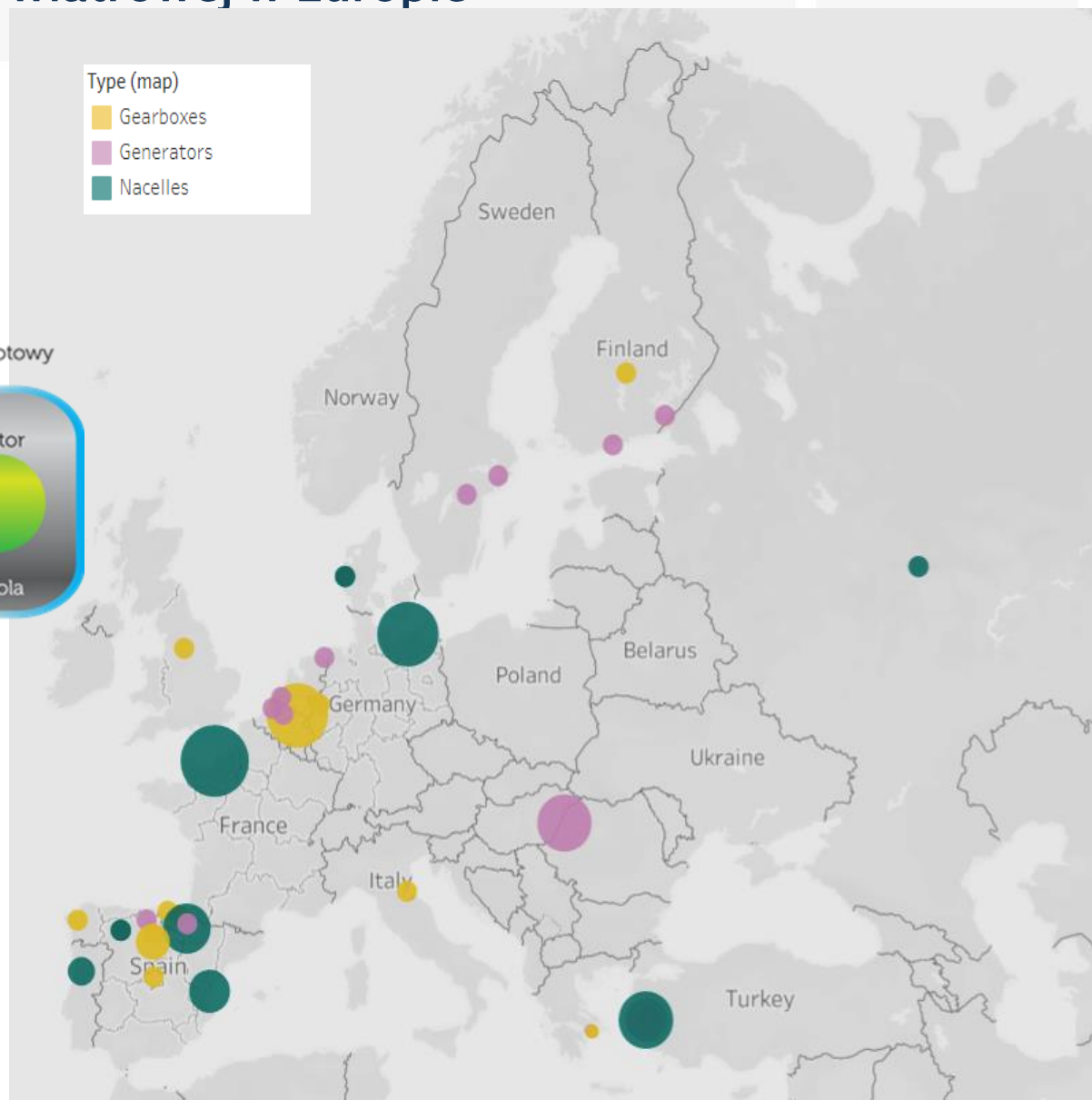
# Lokalizacja produkcji elementów dla energetyki wiatrowej w Europie

22 / 28



Type (map)

- Gearboxes
- Generators
- Nacelles



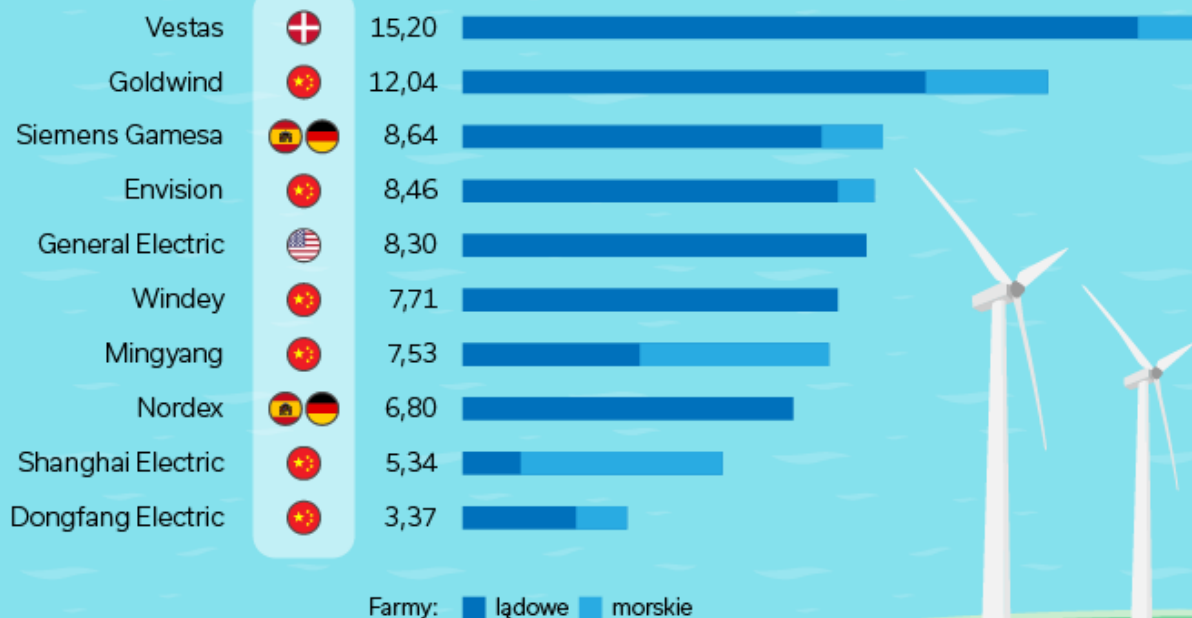
Źródło: [Windeurope.org](http://Windeurope.org)



## RYWALIZACJA NA GLOBALNYM RYNKU PRODUCENTÓW TURBIN WIATROWYCH W ROKU 2021

Źródło: BloombergNEF | listopad 2022

Najwięksi producenci turbin wiatrowych na świecie w 2021 r.  
[moc turbin oddanych do użytku (GW)]

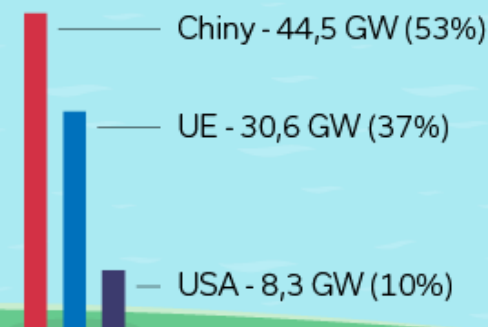


**99,2 GW**

moc turbin wiatrowych oddanych do użytku w 2021 r.

**83,4 GW**

przypało na 10 największych producentów



Pochodzenie kapitału 10 największych producentów turbin wiatrowych



# Łańcuch wartości dostaw w produkcji turbin wiatrowych

24 / 28

## Udział Chin w poszczególnych etapach produkcji turbin wiatrowych w 2018 r.

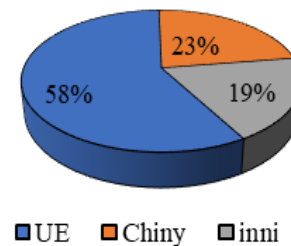
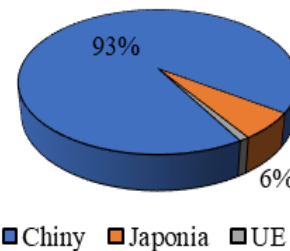
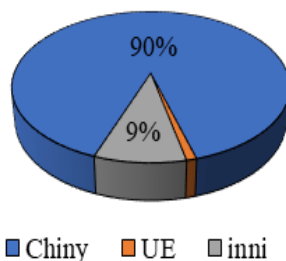
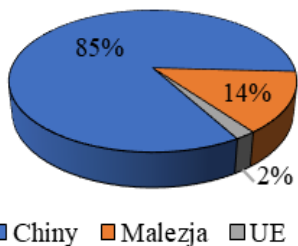
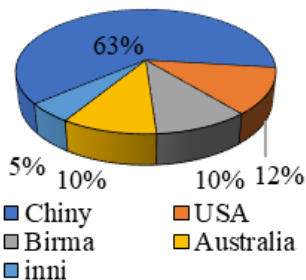
Tlenki REE  
(wydobywanie)

Tlenki REE  
(rafinacja)

REE  
metale

Magnesy  
trwałe

Turbiny  
wiatrowe



Źródło: *Rare Earth Magnets and Motors: A European Call for Action. A report by the Rare Earth Magnets and Motors Cluster of the European Raw Materials Alliance. Berlin 2021*





## Prognoza zapotrzebowania na wybrane surowce krytyczne w UE

25 / 28

- Zgodnie z raportem JRC dotyczącym zapotrzebowania na surowce dla technologii wiatrowych i fotowoltaicznych, autorzy rozważyli trzy scenariusze z różnymi założeniami dotyczącymi rozwoju konkretnych technologii fotowoltaicznych i ich udziału w rynku (Carrara i in. 2020).
- Scenariusz **średniego rozwoju** zakłada wzrost udziału technologii **cienkowarstwowych** do **10% w 2050 r.**, **scenariusz wysokiego rozwoju** do **23%** (i spadek c-Si do **77%**), natomiast w **scenariuszu niskiego rozwoju** technologie te stanowią zaledwie **1%** (pozostałe **99%** przypada na technologie c-Si).
- W konsekwencji w **scenariuszu średniego rozwoju** oczekuje się, że zapotrzebowanie na **german wzrośnie 7,5-krotnie, na ind 6-7-krotnie, na gal 6-krotnie, a na krzem 3-4-krotnie**. W scenariuszu wysokiego rozwoju **popyt na german wzrośnie 86-krotnie, na ind i gal 36-40-krotnie, a na krzem 13-krotnie** (Carrara et al. 2020).



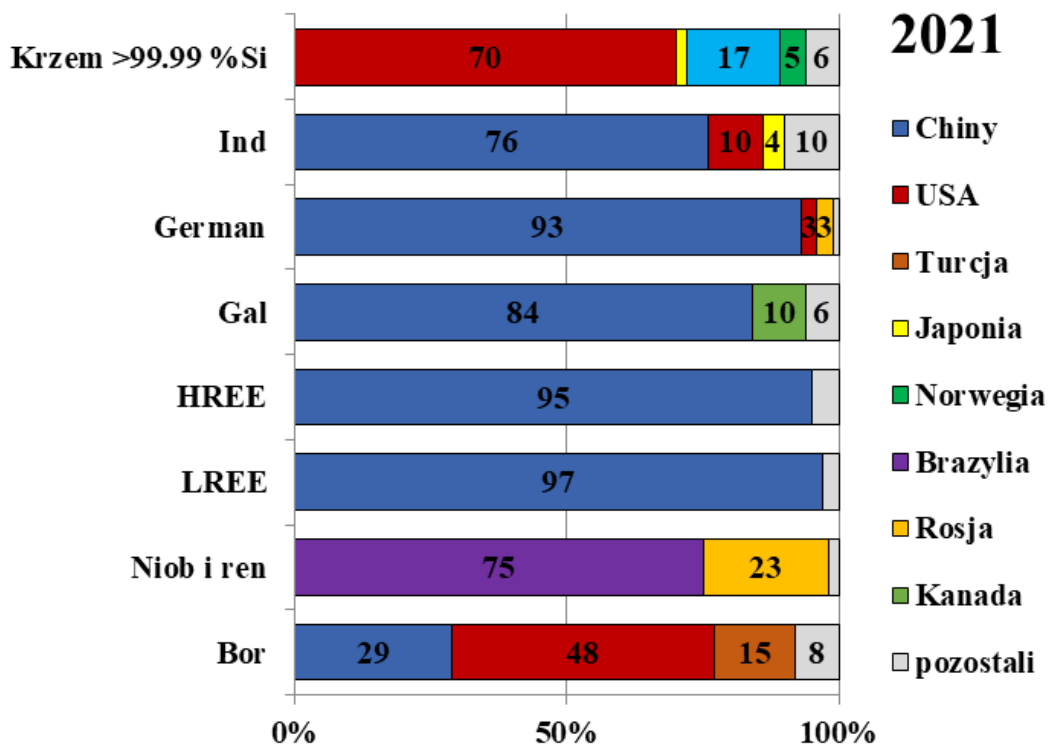
## Prognoza zapotrzebowania na wybrane surowce krytyczne w UE c.d.

26 / 28

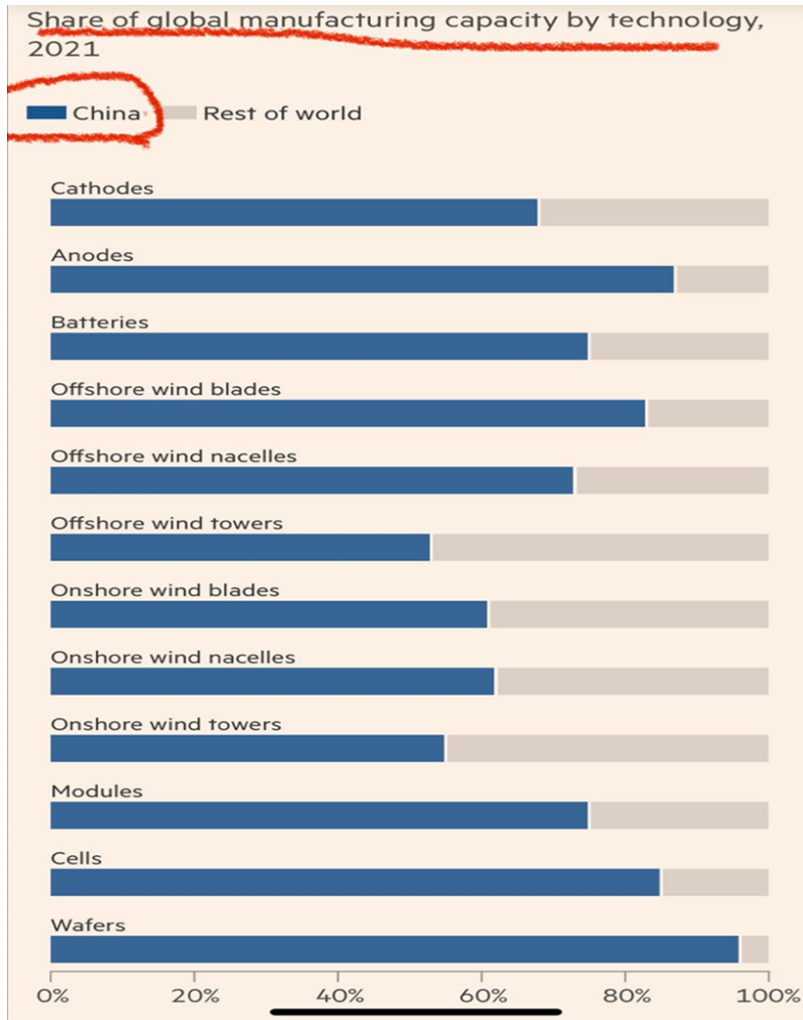
- W przypadku energetyki wiatrowej w **scenariusz średniego rozwoju** zapotrzebowanie na **bor, neodym, prazeodym, dysproz i terb** ulegnie podwojeniu w 2030 r. i wzrośnie o 3,5 do 5 razy w 2050 r. **Scenariusz wysokiego rozwoju** zakłada wzrost zapotrzebowania na te surowce od 4 do 5 razy w 2030 r. i ponad 10 razy w 2050 r. (Carrara i in. 2020).

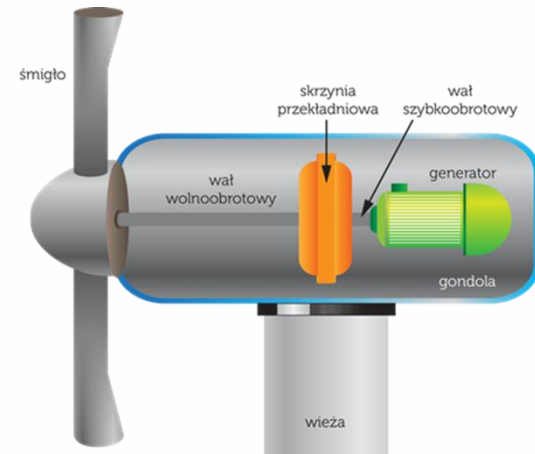
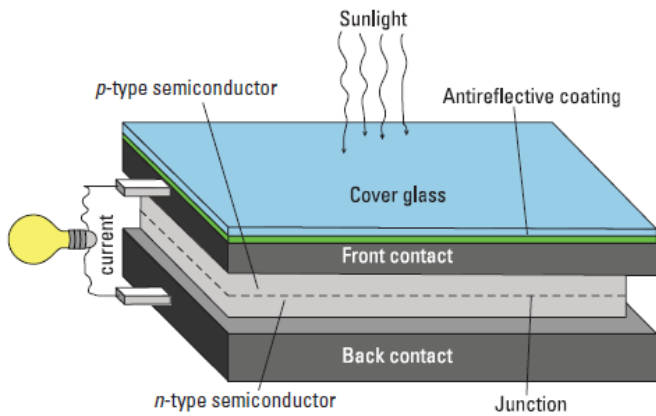


# Podsumowanie



Źródło: IEA





IGSMiE  
PAN

Dziękujemy za uwagę