



Surowce dla odnawialnych źródeł energii – surowce „energetyczne” przyszłości?

Autor: Krzysztof Galos

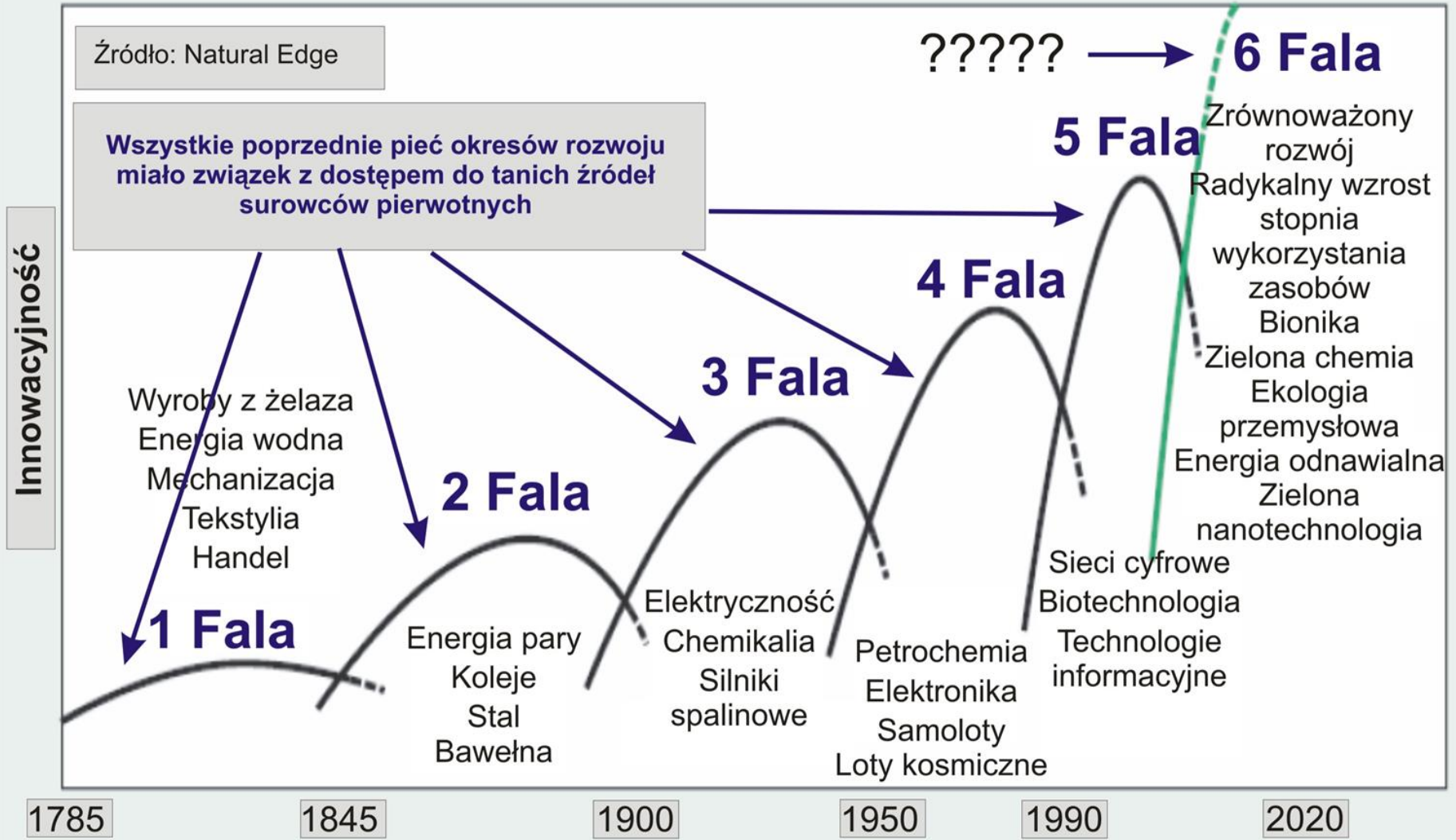
Afiliacja: Instytut Gospodarki

Surowcami Mineralnymi i Energią PAN

XXXIII Konferencja „Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej”
Zakopane-Kościelisko, 13-16 października 201



Fale rozwoju cywilizacyjnego





Łączne użytkowanie surowców mineralnych wzrosło z 3 mld t w 1900 do 33 mld t w 2000 i >50 mld t w 2015 r. W krajach rozwiniętych zużycie jednostkowe 13-20 ton/mieszkańca/rok, w Indiach <4 t/m/r (średnia światowa: 9 t/m/r)

Do 2050 r. przy utrzymaniu obecnych trendów użytkowanie surowców mineralnych musiałoby wzrosnąć co najmniej do ok. 100 mld ton/rok

Nie będzie wystarczającej ilości dostępnych zasobów, by zapewnić użytkowanie na tym poziomie

Tanie źródła pierwotne wielu surowców energetycznych i metalicznych – na wyczerpaniu



Zużycie energii (2013, obliczenia własne)

4 / 27

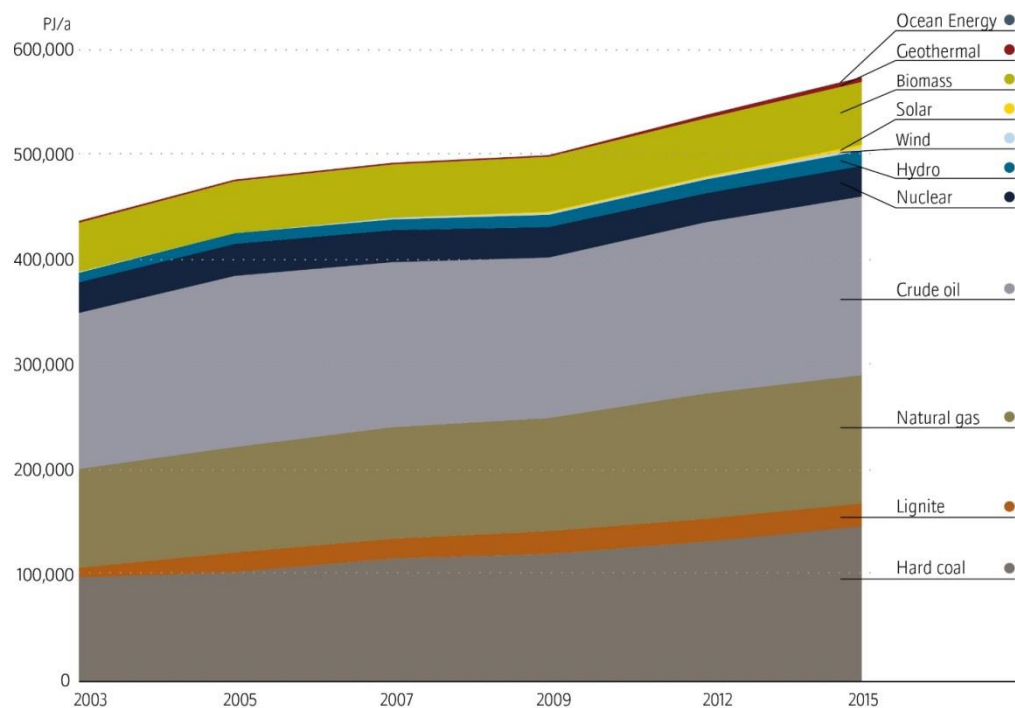
Kraj	Energia całkowita (GJ/os.)	Energia elektryczna (MWh/os.)	Ropa naftowa (ton/os.)
Świat	81	2,7	0,6
USA	290	12,1	2,6
Niemcy	163	6,6	1,4
Polska	108	3,7	0,3
Chiny	94	4,3	0,4
Indie	25	0,8	0,1
Wartości minimalne (niektóre kraje afrykańskie)	<10	<0,02	-
USA/Indie	12 razy	15 razy	20 razy
USA/Średnia światowa	3,6 raza	4,5 raza	4,3 raza



Produkcja energii pierwotnej 2003-2015 (IEA 2017)

5 / 27

Global primary energy supply, 2003 – 2015



Renewables Global Futures Report Great debates towards 100% renewable energy

Source: International Energy Agency, Paris/France, Data compilation: Dr. Sven Teske, UTS/ISF, Australia

Udział poszczególnych nośników energii w łącznej podaży energii pierwotnej (IEA, 2015)

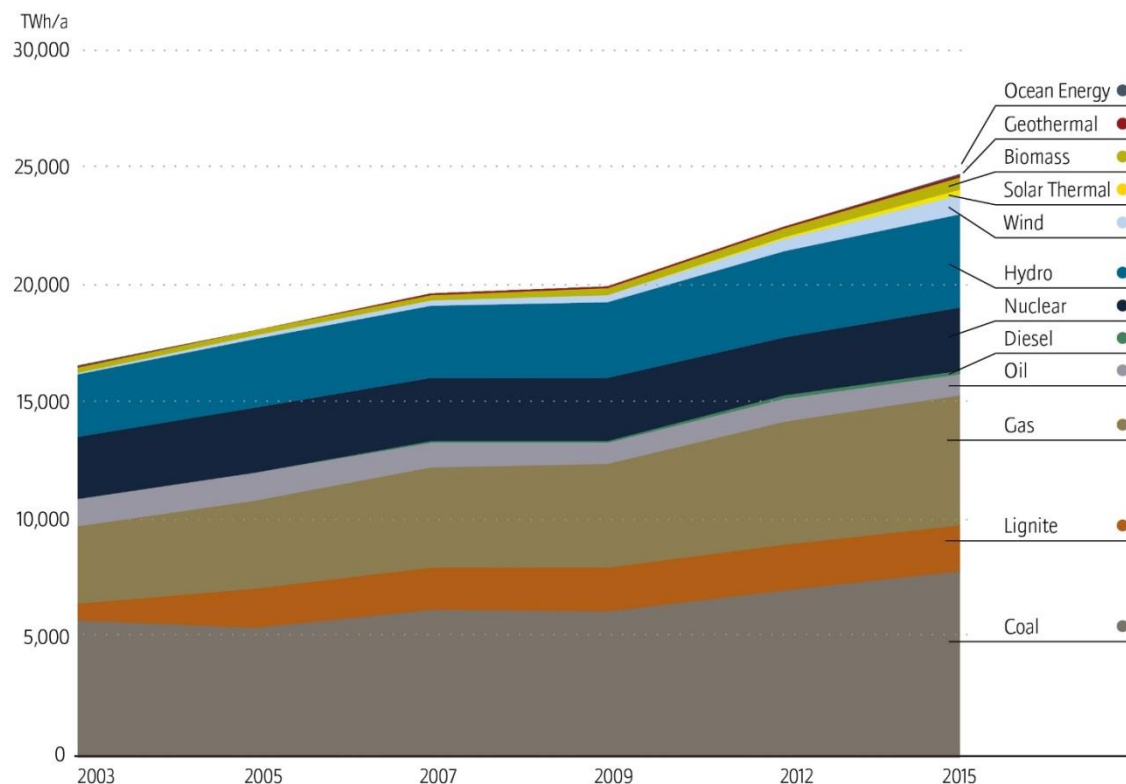
Źródło	Udział %
Ropa naftowa	33
Węgiel	29
Gaz ziemny	24
Energia wodna	6
Energia jądrowa	4
Energia wiatru	2
Energia słoneczna	1
Biomasa	1
Energia geotermalna	0,X



Produkcja energii elektrycznej 2003-2015 (IEA 2017)

6 / 27

Global power generation – development since 2003



Renewables Global Futures Report Great debates towards 100 % renewable energy

Source: Data: International Energy Agency, Paris/France, Data compilation: Dr. Sven Teske, UTS/ISF, Australia

Średnie roczne zużycie energii elektrycznej na zelektryfikowane gospodarstwo domowe (IEA, 2014, MWh/gosp.)

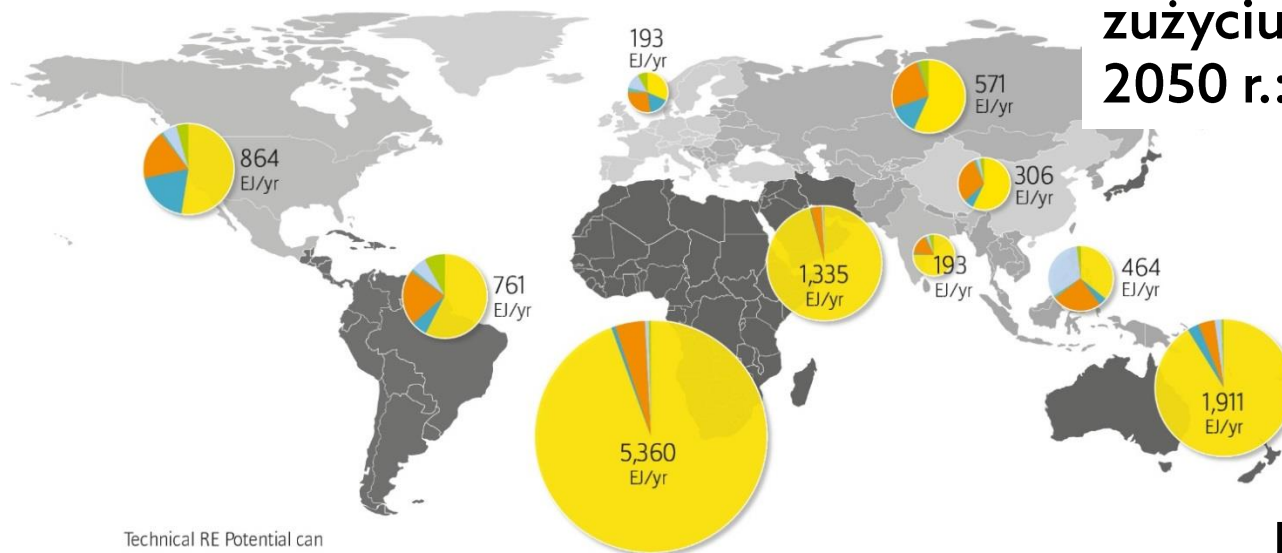
Region	Wartość
Świat	3,5
Ameryka Płn.	12,0
Bliski Wschód	9,0
Oceania	5,2
Europa	3,8
Ameryka Łac.	2,0
Afryka	2,0
Azja	1,7



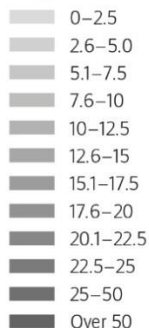
Łączny potencjał techniczny energii odnawialnej w 2050 (IPPC SRREN, 2015)

7 / 27

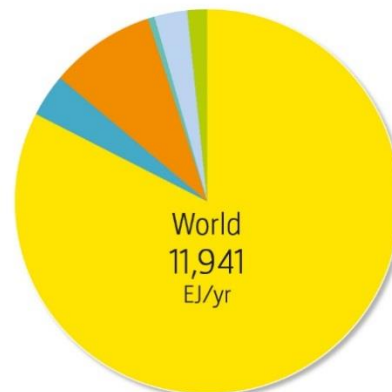
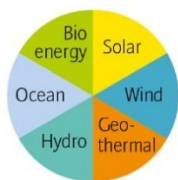
Total technical renewable energy potential in EJ/yr for 2050



Technical RE Potential can supply the 2007 Primary Energy Demand by a Factor of:



Total Technical RE Potential in EJ/yr for 2050 by Renewable Energy Source:



Najbardziej prawdopodobny udział OZE w łącznym zużyciu energii na świecie w 2050 r.: 40-70%

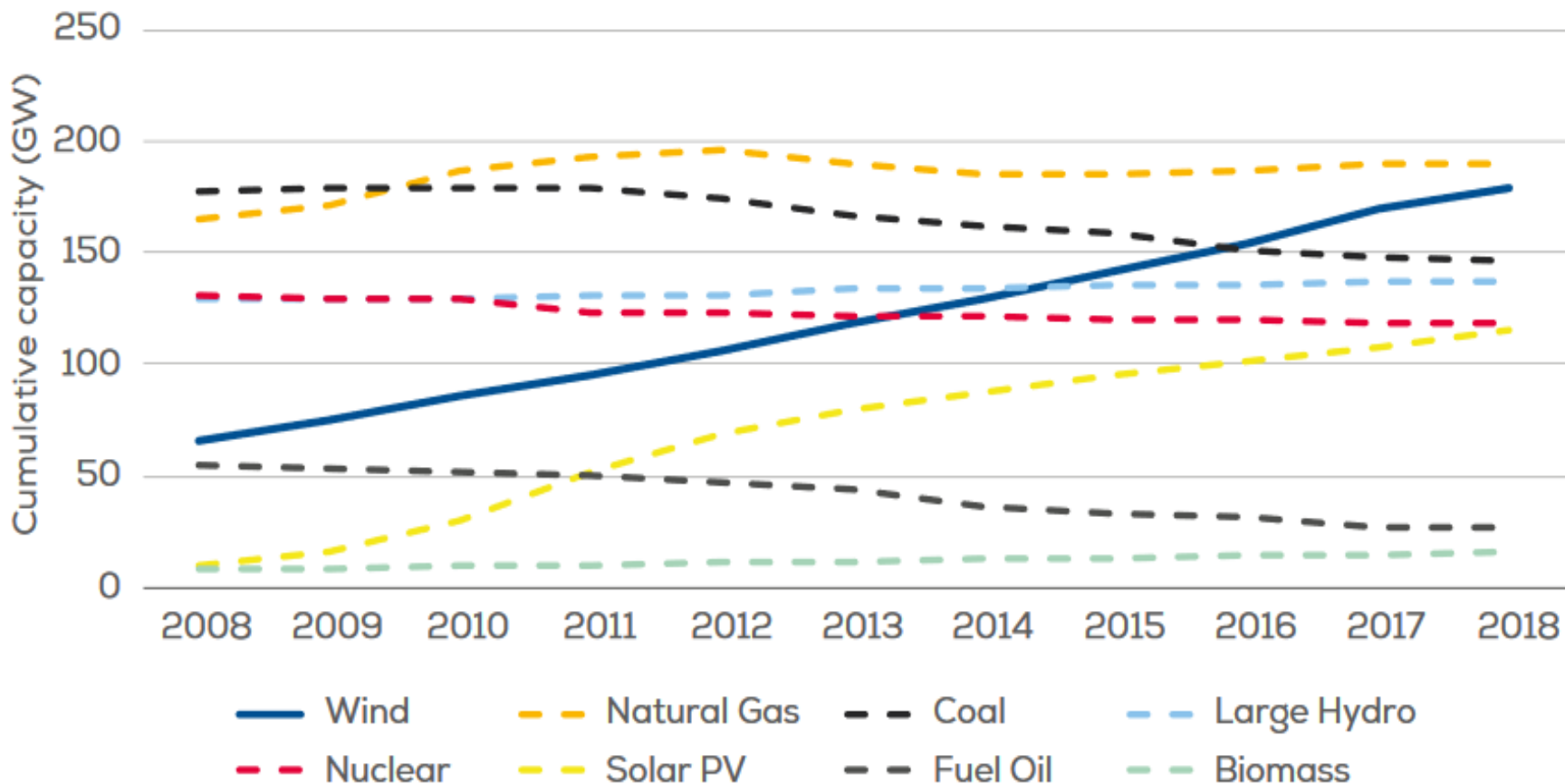
Relacja łącznej istniejącej energii do obecnego zapotrzebowania ludzkości

- E. słoneczna 6000 razy!
- E. wiatru 60 razy
- E. geotermalna 3 razy
- E. wodna 0,5 raza



Łączne zdolności produkcji energii elektrycznej w UE w latach 2008-2018 (Wind energy in Europe in 2018)

8 / 27

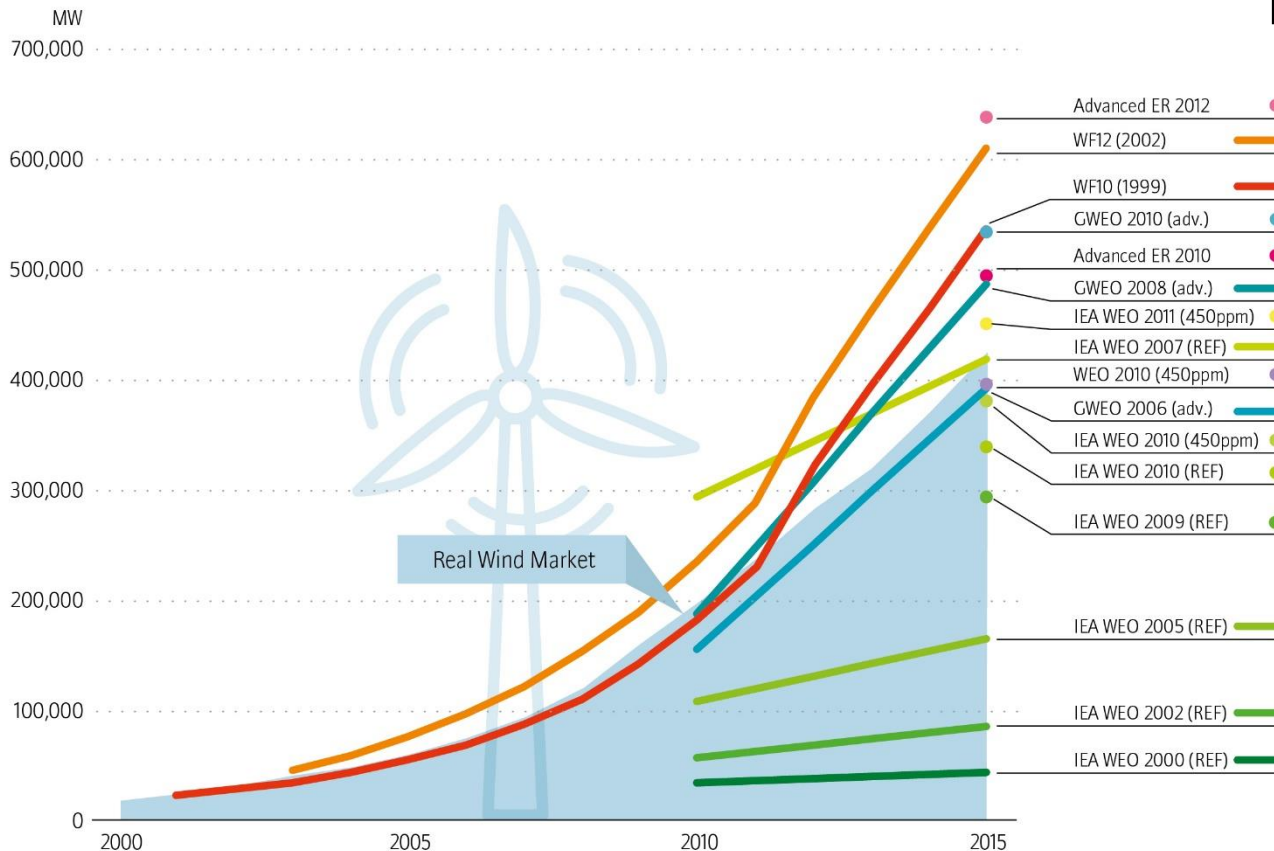




Prognozy i faktyczny rozwój mocy generowania energii elektrycznej z energii wiatru (REN21, 2017)

Wind power projections versus real market developments

W ciągu 15 lat wzrost mocy 20-krotny!

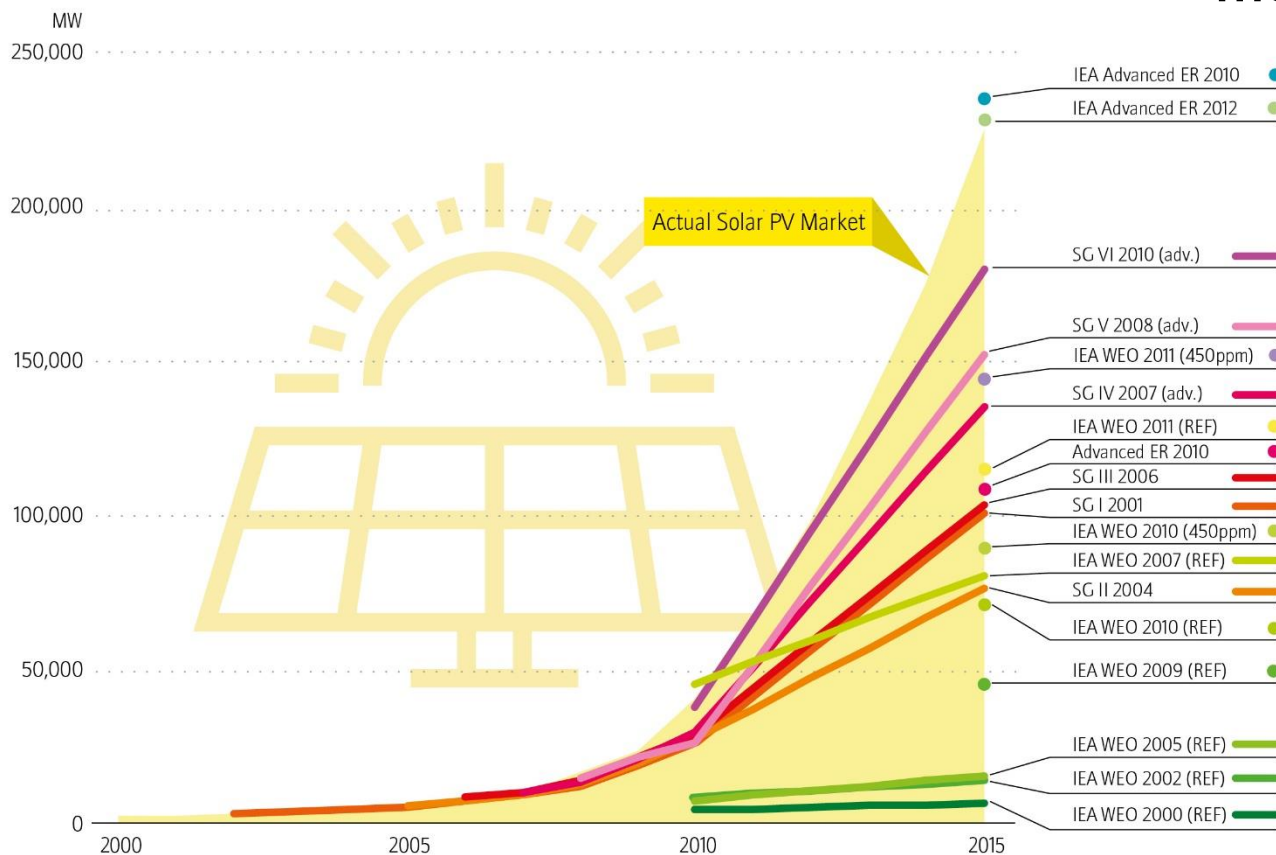




Prognozy i faktyczny rozwój mocy generowania energii elektrycznej z energii słonecznej (REN21, 2017)

10 / 27

Solar photovoltaic projections versus real market developments



W ciągu 15 lat wzrost mocy 50-krotny!

Równocześnie spadek kosztu modułów fotowoltaicznych z 6 EUR/W do 0,5 EUR/W

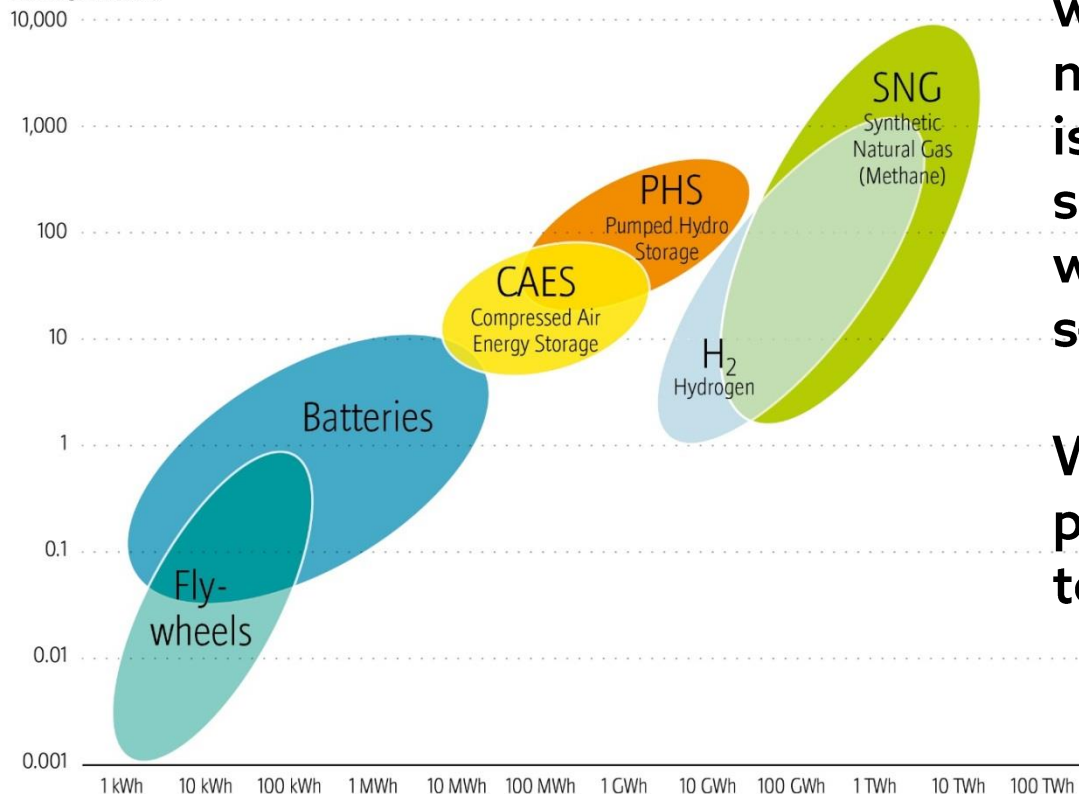


Możliwości magazynowe różnych systemów magazynowania energii (Fraunhofer Institute, 2014)

12 / 27

Overview storage capacity of different energy storage systems

Discharge time (hrs)



Rozwiązanie efektywnego wielkoskalowego magazynowania energii istotnym warunkiem skokowego wzrostu wykorzystania energii słonecznej i wiatrowej

Wiodące znaczenie w przyszłości mogą mieć technologie Power-to-Gas

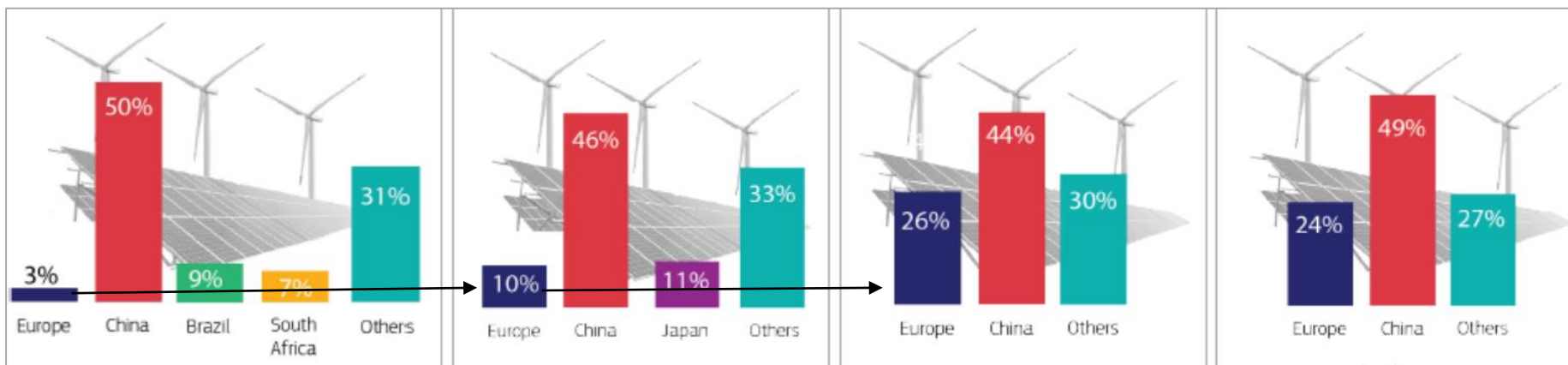
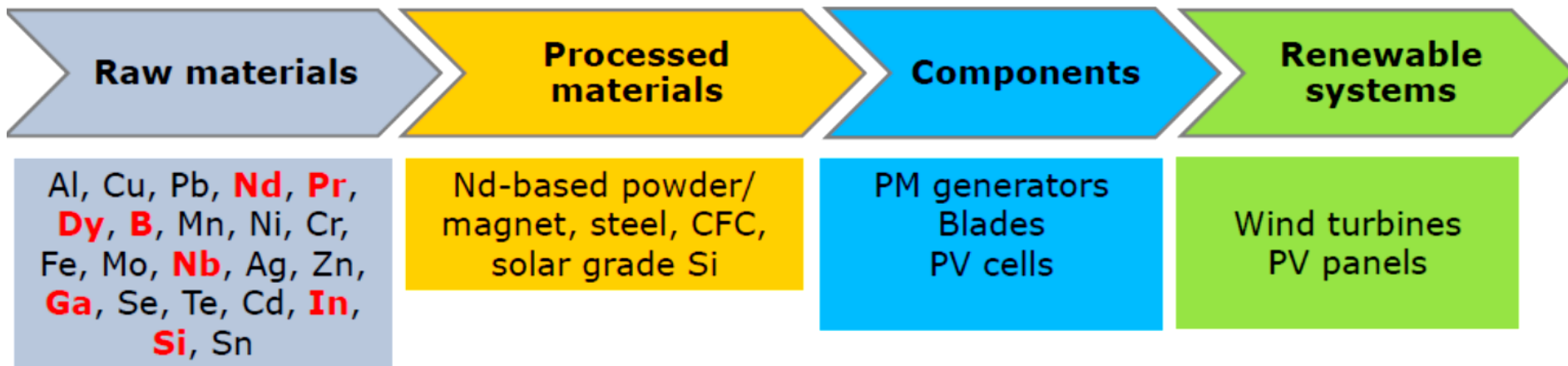
Renewables Global Futures Report Great debates towards 100 % renewable energy





Łańcuchy wartości (*value chains*) dla turbin wiatrowych i paneli fotowoltaicznych (Raport JRC 2018)

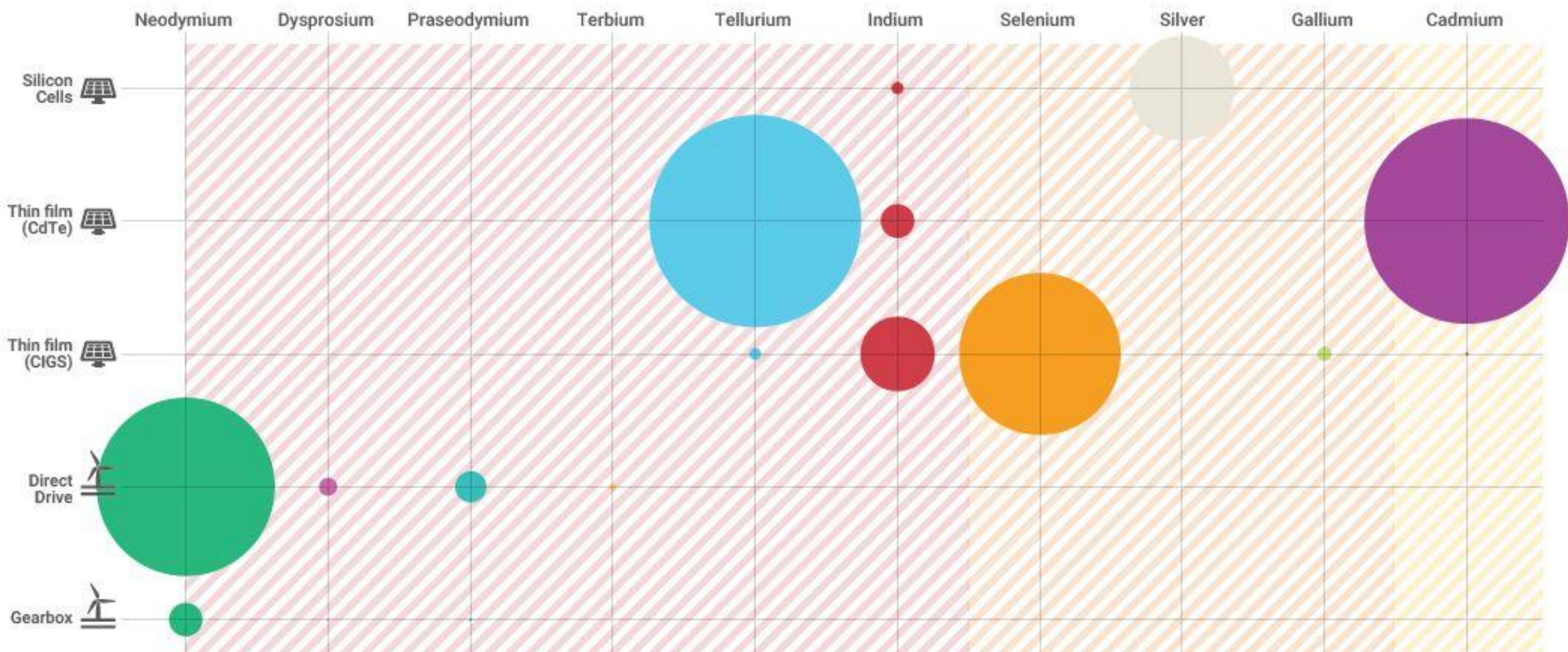
13 / 27





Znaczenie wybranych metali w wybranych technologiach fotowoltaicznych i turbinach wiatrowych (*Colophon 2018*)

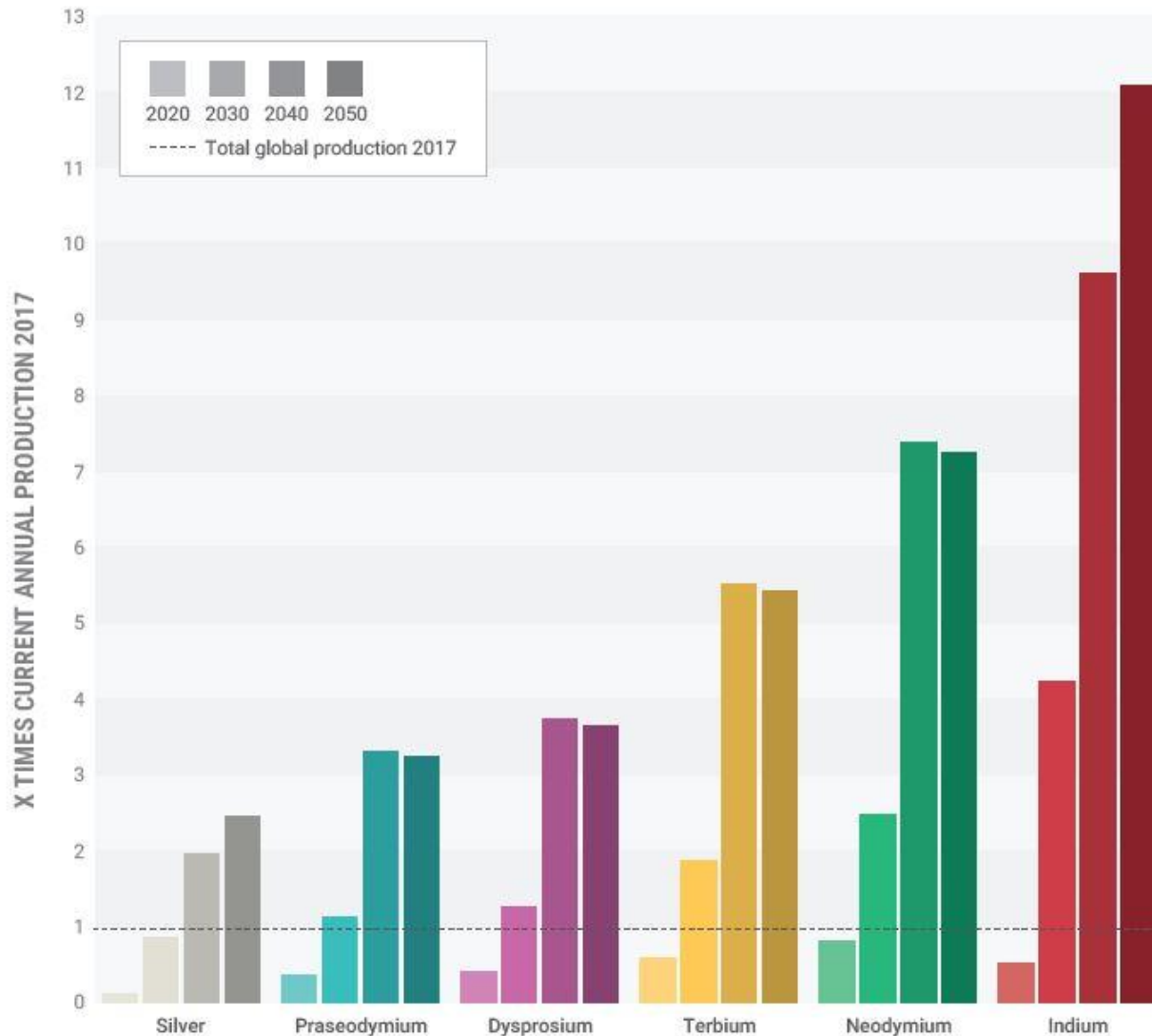
14 / 27



- Ogniwa fotowoltaiczne krzemowe - krzem, srebro, *ind*
- Ogniwa fotowoltaiczne cienkowarstwowe CdTe - tellur, kadm
- Ogniwa fotowoltaiczne cienkowarstwowe CIGS - selen, ind, gal, tellur
- Turbiny wiatrowe z napędem bezpośrednim - neodym, prazeodym, dysproz
- Turbiny wiatrowe przekładniowe - neodym



Prognozowany wzrost popytu na wybrane metale do zastosowań w energetyce wiatrowej i słonecznej (*Colophon 2018*)



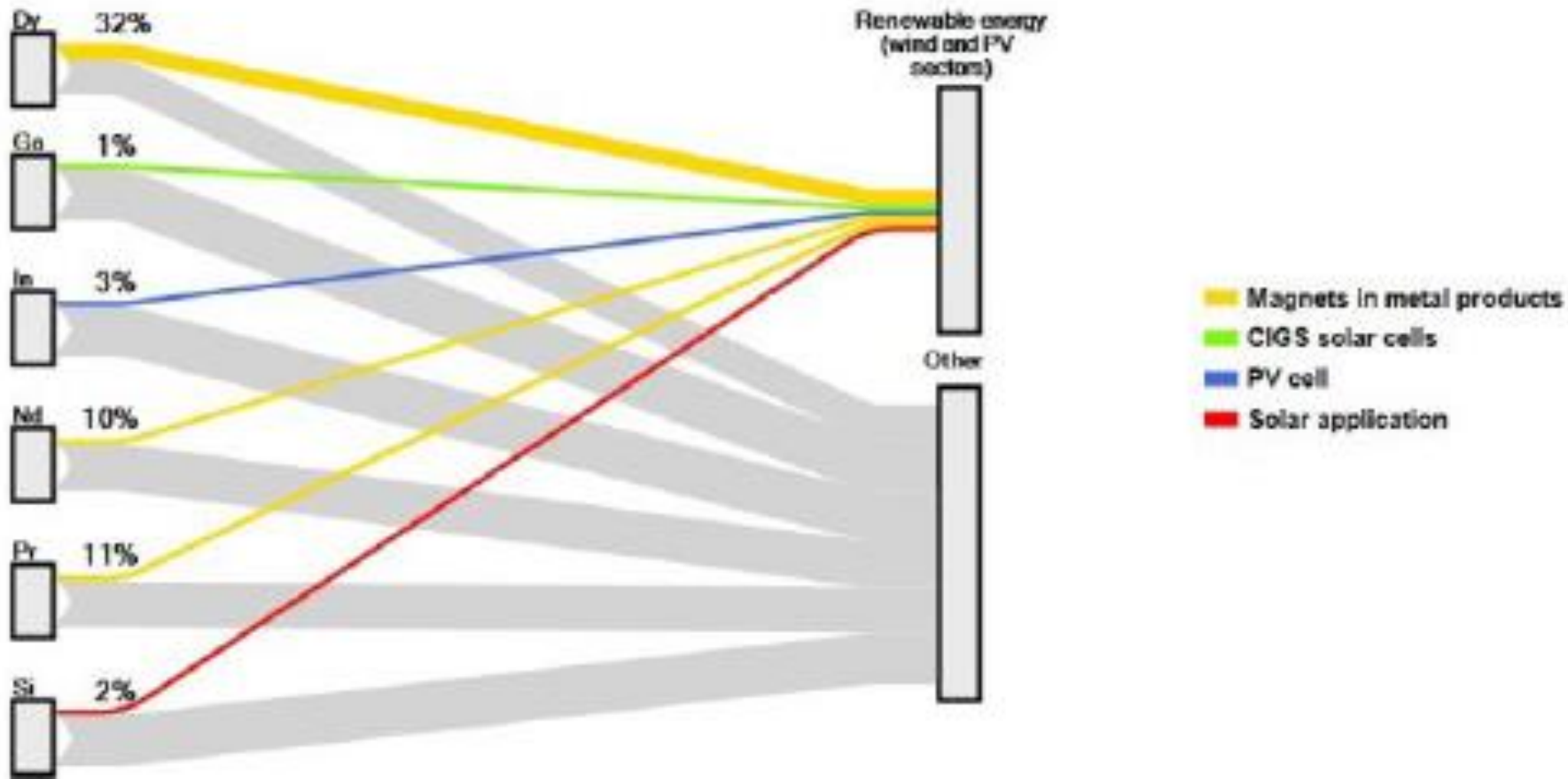


Udział turbin wiatrowych i paneli fotowoltaicznych w zużyciu wybranych metali (*Raw Materials and the Circular Economy, EC 2018*)

16 / 27

Materials*

Sectors
(End-Use Shares)



* Only a subset of all CRMs used in renewable energy sector is included.



Wybrane kierunki technologii przyszłości oraz przykłady stosowanych w nich metali

17 / 27

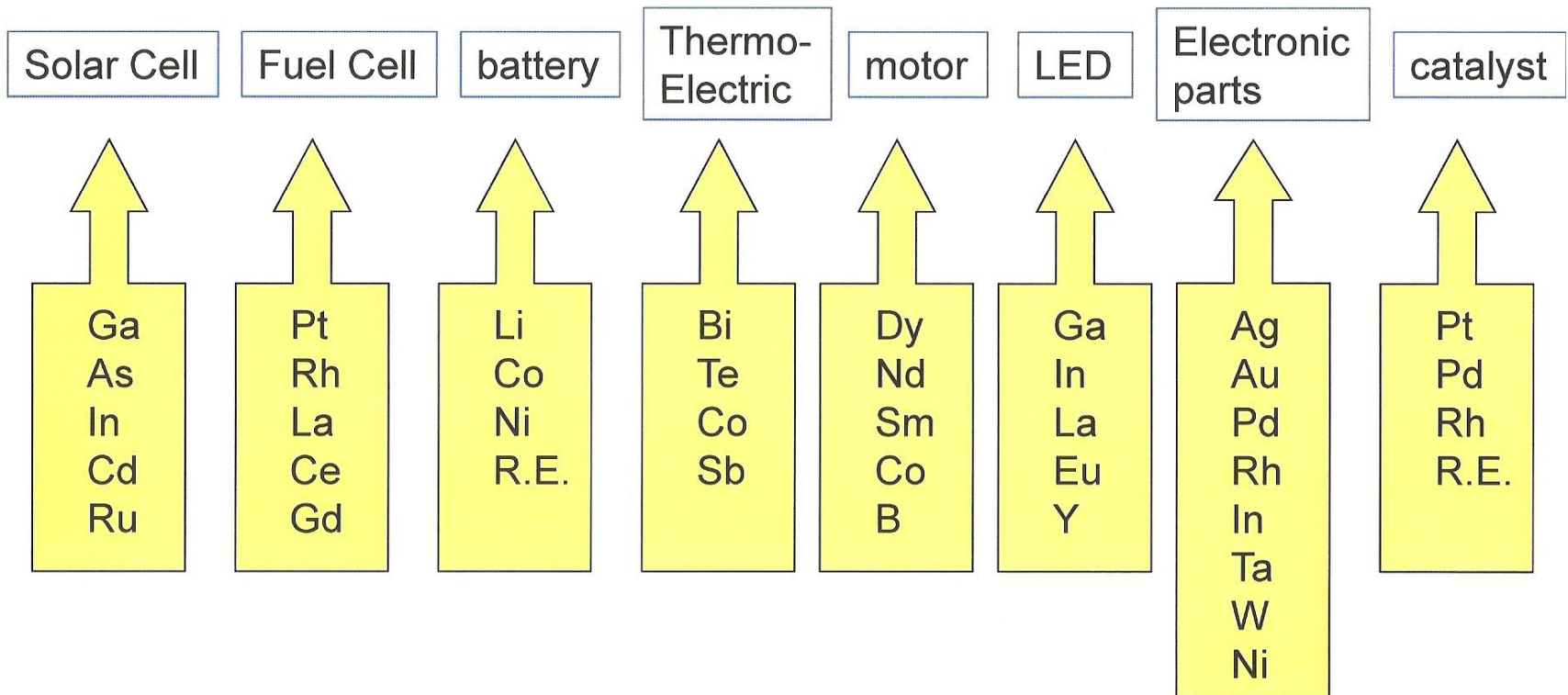
Energy

Generation, conversion, storage

Energy use

Heat, actuation, illumination, information

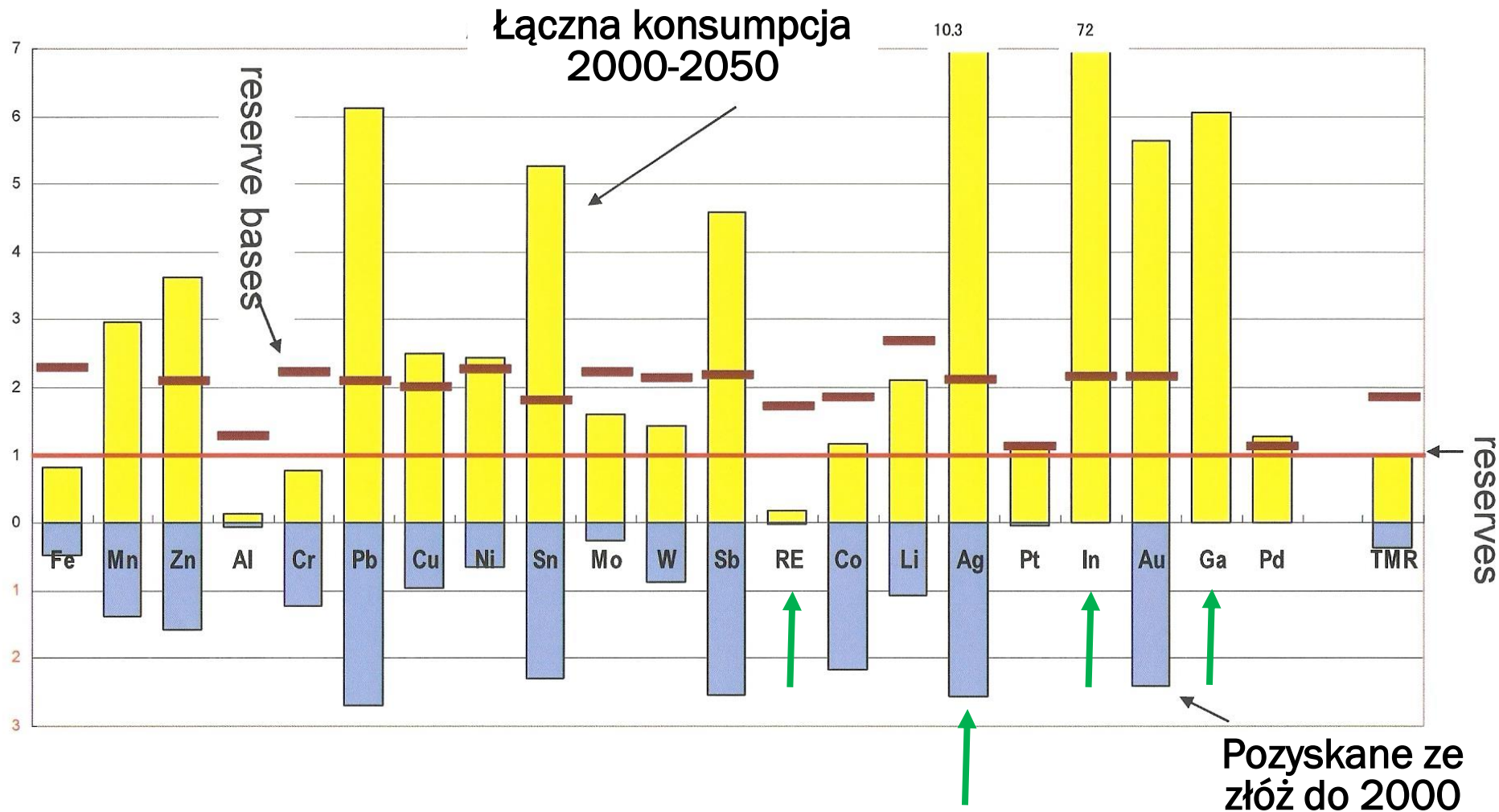
cleaning





Zużycie ważniejszych metali do 2050 względem dotychczasowej produkcji oraz zasobów (Halada i in. 2008)

18 / 27

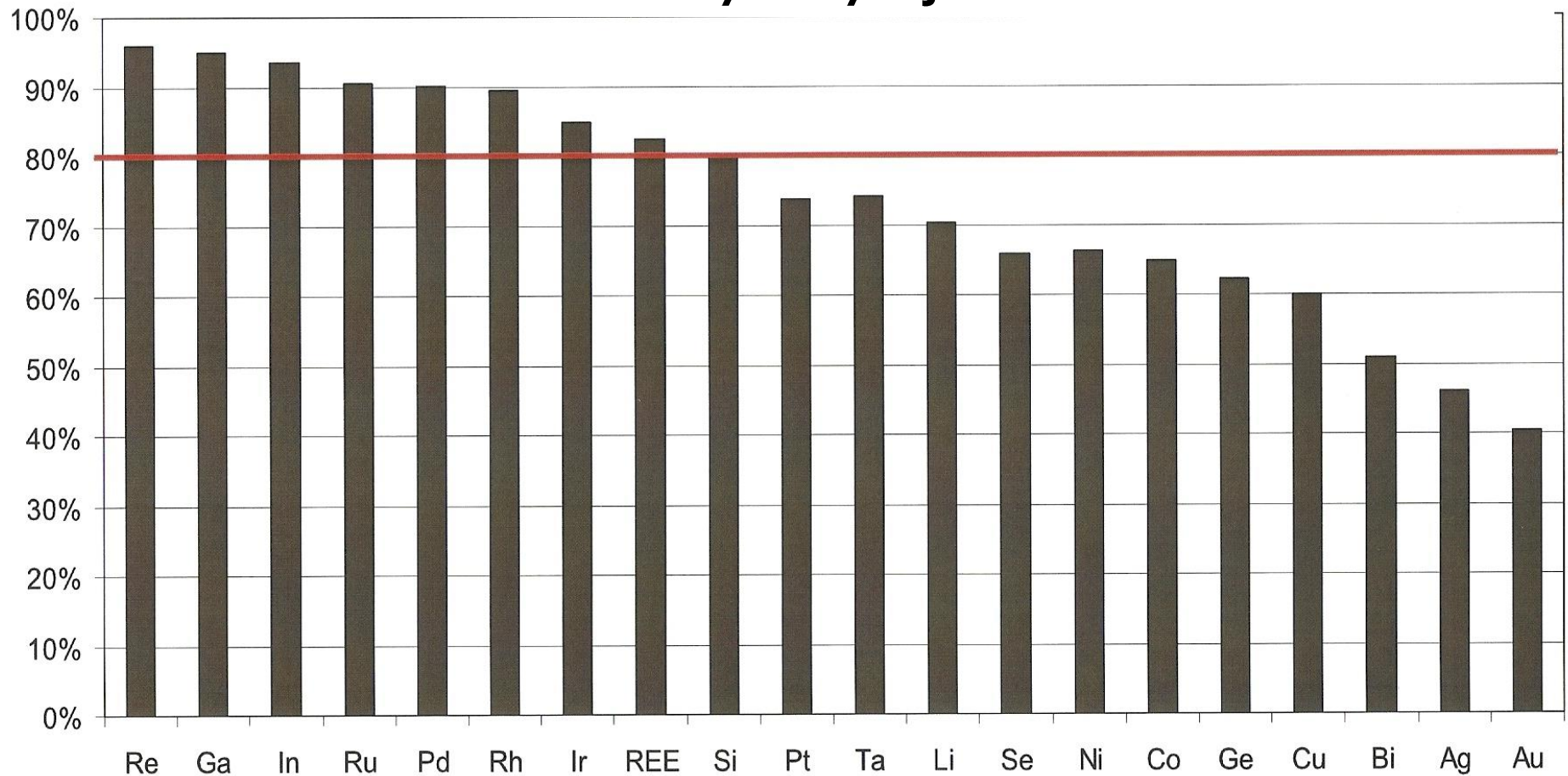




Współczesny boom zapotrzebowania na „metale technologiczne”

19 / 27

Udział ilości metalu wydobytego w ostatnich 30 latach do ilości wydobytej od 1900 r.



**Znaczna część tych metali znajduje się wciąż w „technosferze”
Czy będziemy w stanie odzyskać je „któregoś dnia” w wyniku recyklingu?**



Gospodarka wybranymi surowcami krytycznymi dla OZE w UE

20 / 27

Surowiec	Indeks EI	Indeks SR	Produkcja górnicza w UE	Przetwórstwo w UE	Produkcja półproduktów	Kierunki zastosowań
Gal	3,2	1,4	Nie	Tak	Tak	Ogniwa fotowoltaiczne CIGS, elementy oświetleniowe
Ind	3,1	2,4	Nie	Tak	Tak	Ogniwa fotowoltaiczne CIGS, wyświetlacze LCD, baterie, półprzewodniki, LEDy
Krzem	3,8	1,0	Tak	Tak	Tak	Ogniwa fotowoltaiczne, stopy Al-Si, elektronika
Pierwiastki ziem rzadkich	3,7	5,0	Nie	Tak	Tak	Stałe magnez, katalizatory, stopy specjalistyczne



Surowce kluczowe i strategiczne dla Polski

21 / 27

Surowce kluczowe (podstawowe znaczenie dla gospodarki) – łącznie 28 surowców, w tym 4 surowce energetyczne, 10 surowców metalicznych i 14 surowców niemetalicznych:

- **Wśród surowców energetycznych:** gaz ziemny, ropa naftowa, węgiel kamienny i węgiel brunatny
- **Wśród surowców metalicznych:** aluminium, boksyty i alumina, cynk, krzem, miedź, ołów, srebro, żelazo i żelazostopy

Surowce strategiczne (ważne a deficytowe) – łącznie 35 surowców, w tym 3 surowce energetyczne, 23 surowce metaliczne i 9 surowców niemetalicznych: :

- **Wśród surowców energetycznych:** gaz ziemny, ropa naftowa, węgiel kamienny,
- **Wśród surowców metalicznych:** aluminium, antymon, beryl, bizmut, bor, boksyty i alumina, chrom, cyna, cynk, **german, ind, kobalt, krzem, magnez, mangan, niob, pierwiastki ziem rzadkich, platynowce, tellur, tytan, żelazo i żelazostopy**



Surowce krytyczne (możliwości pozyskania obarczone dużym ryzykiem) – łącznie 18 surowców, w tym 2 surowce energetyczne, 12 surowców metalicznych i 4 surowce niemetaliczne:

- ✓ **Wśród surowców energetycznych:** gaz ziemny, ropa naftowa,
- ✓ **Wśród surowców metalicznych:** antymon, beryl, chrom, cynk, german, ind, kobalt, krzem, magnez, niob, pierwiastki ziem rzadkich, platynowce



Surowce uznane za krytyczne dla UE - sytuacja w Polsce

23 / 27

- Z 28 surowców obecnie uznawanych za krytyczne dla UE (COM(2017) 490 final), tylko dwa są obecnie produkowane w Polsce w istotnych ilościach: węgiel koksowy i hel
- Kilka innych surowców krytycznych jest odzyskiwanych w Polsce w małych ilościach: fosfor, krzem, platynowce
- W przypadku 8 innych surowców krytycznych znane są pewne zasoby kopalin do ich produkcji, ale obecnie nie są użytkowane: baryt, fluoryt, magnez, fosforyty, **krzem**, wolfram, wanad, **pierwiastki ziem rzadkich**
- 7 surowców krytycznych mogłoby potencjalnie być odzyskiwane z obecnie eksploatowanych kopalin, ale odzysk ten nie został do tej pory wprowadzony: bizmut, **kobalt** (rudny Cu-Ag), **gal**, **german** (rudny Zn-Pb), borany (w solach potasowych), beryl (w węglu kamiennym), **pierwiastki ziem rzadkich** (w węglu kamiennym, w fosfogipsach na zwałowiskach)



Wybrane surowce krytyczne, całkowicie deficytowe dla polskiej gospodarki

24 / 27

Surowiec krytyczny UE	Popyt w Polsce (t)	Kierunki importu	Główne kierunki użytkowania	Krytyczne dla Polski
Ind	Kilogramy	USA	Elektronika	TAK
Kobalt, metal	<50	USA, Niemcy	Superstopy, stale specjalne	TAK
Kobalt, tlenek	<100	Włochy, Finlandia, Belgia	Farby i lakiery	TAK
Gal	Kilogramy	USA, Francja	Nieznane	NIE
German, metal	Kilogramy	Belgia, Wielka Brytania, USA	Nieznane	NIE
German, tlenek	<100	Chiny, Niemcy, RPA	Detektory IR, elektronika	TAK
Krzem, metal	15,000-25,000	Holandia, Brazylia, Australia	Stopy Al, Cu, Ni, półprzewodniki	TAK
REE ciężkie	<100	Chiny, Włochy, Francja	Elektronika	TAK
REE lekkie	<100	Chiny, Włochy, Francja	Szkło i ceramika	TAK



Rola tradycyjnych źródeł energii w kolejnych dekadach wciąż będzie istotne, choć udział OZE w perspektywie roku 2050 może sięgnąć 40-70%

Wśród OZE w skali świata największe perspektywy rozwoju rysują się przed energią słoneczną i energią wiatru, w mniejszym stopniu - energią geotermalną i energią z biomasy

Kluczową kwestią efektywnego wykorzystania energii słonecznej i wiatrowej jest rozwój efektywnych systemów wielkoskalowego magazynowania energii

W Polsce znaczenie poszczególnych OZE będzie zapewne odmienne, wobec choćby uwarunkowań klimatycznych; wciąż także wobec posiadanej bazy zasobowej i wytwórczej istotny powinien pozostać udział energii z paliw kopalnych (zwłaszcza węgla)



Potencjał wzrostu wykorzystania energii słonecznej i energii wiatru jest ogromny, ale barierami wzrostu mogą okazać się:

- Możliwości wielkoskalowego magazynowania wytwarzanej nieregularnie energii elektrycznej z tych źródeł
- Dostępność absolutnie kluczowych do wytwarzania turbin wiatrowych i ogniw fotowoltaicznych takich metali rzadkich jak niektóre pierwiastki ziem rzadkich (neodym, prazeodym, dysproz), ind czy gal

Popyt na wymienione metale może za 30 lat być 4-12 razy wyższy niż ich obecna łączna produkcja, a może brakować odpowiednich zasobów, żeby go zaspokoić, w szczególności ze źródeł w Europie

W Polsce zużycie omawianych surowców do wytwarzania turbin wiatrowych i ogniw fotowoltaicznych nie występuje, gdyż urządzenia takie w Polsce nie są wytwarzane

Dziękuję za uwagę!



Krzysztof Galos

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi
i Energią PAN