

Wydział Fizyki UW:
Podstawy bezpieczeństwa energetyki
jądrowej, 2018

3. PORÓWNANIE SKUTKÓW ZDROWOTNYCH PRACY ELEKTROWNI JĄDROWYCH I INNYCH

Prof. NCBJ dr inż. A. Strupczewski

Spis treści

- **Limity zanieczyszczeń powietrza**
- Emisje z elektrowni węglowych
- Stan zanieczyszczenia powietrza w Polsce
- Czy OZE wystarczą by zapewnić zasilanie?
- Zapotrzebowanie materiałów i energii na OZE
- Studium ExternE – wszystkie skutki wytwarzania energii elektrycznej

Dopuszczalne poziomy zanieczyszczenia powietrza produktami spalania

- Poziomy dopuszczalne zanieczyszczenia powietrza produktami spalania ustalono znacznie powyżej tła naturalnego. NP. w. USA średnie roczne dopuszczalne stężenia PM_{10} i SO_2 wynoszą odpowiednio 50 i 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Naturalny poziom tła SO_2 to 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a PM_{10} od 1 do 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, zaś znaczące skutki zdrowotne PM widać przy poziomie powyżej 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Rada UE ustaliła w 1999 r. wartości docelowe średnich stężeń rocznych jako 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla SO_2 , 40 dla NO_x (2010) i 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla PM_{10} (2005), ze spadkiem do 20 w 2010 r.
- Dostępne dane o skutkach narażenia na PM_{10} i $PM_{2.5}$ nie wykazują istnienia progu, poniżej którego nie ma ujemnego wpływu zdrowotnego pyłów, dlatego WHO proponuje stosować współczynniki ryzyka, a nie wartości graniczne.

Limity w UE

Czynnik	Koncentracja	Okres uśredniania
Pyły drobne (PM2.5)	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ***	1 rok
Dwutlenek siarki (SO ₂)	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 h
	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 h
Dwutlenek azotu (NO ₂)	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 h
	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 rok
PM10	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 h
	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 rok
Ołów (Pb)	0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 rok
Tlenek węgla (CO)	10 mg/m ³	Max dzienne z 8 h
Benzen	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 rok
Ozon	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max dzienne z 8 h
Arszenik (As)	6 ng/m ³	1 rok
Kadm (Cd)	5 ng/m ³	1 rok
Nikiel (Ni)	20 ng/m ³	1 rok
Benzoapiren i PAH	1 ng/m ³	1 rok

Czy przestrzega się limitów skażeń?

Według ocen WHO ,

- **Tylko 17%** mieszkańców miast oddycha powietrzem o zanieczyszczeniu mniejszym niż dopuszczalne,
- 24% żyje w warunkach gorszych niż zalecane
- **59%**, tj. ponad 1.25 miliarda ludzi mieszka w warunkach o **niedopuszczalnym zanieczyszczeniu powietrza.**
- Nawet w USA znaczna część ludności mieszka w rejonach, gdzie skażenie powietrza przekracza przynajmniej jeden ze wskaźników. W 2009 r. 60 % ludności w USA żyła w rejonach gdzie zanieczyszczenie powietrza stwarzało zagrożenie dla życia

<https://www.sciencedaily.com/releases/2009/04/090429131158.htm>

- Według szacunków Komisji Europejskiej z powodu zanieczyszczenia powietrza każdego roku przedwcześnie umiera ok. 42 000 mieszkańców Polski. Dla porównania: każdego roku w Polsce w wypadkach ginie ok. 3300 osób.

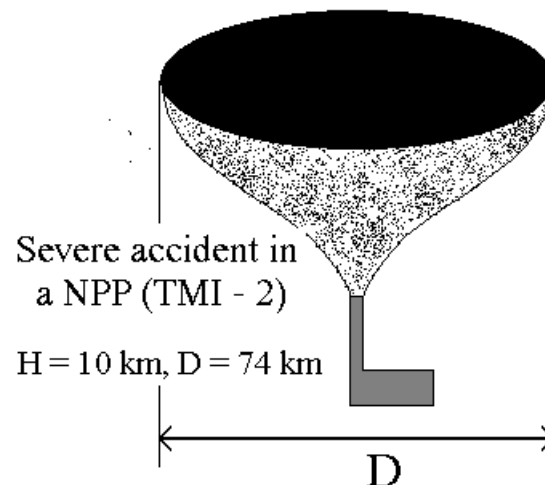
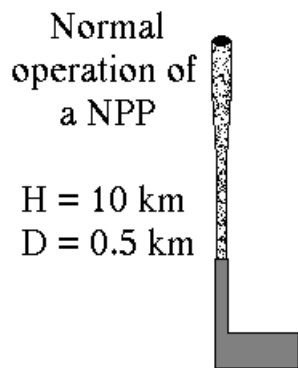
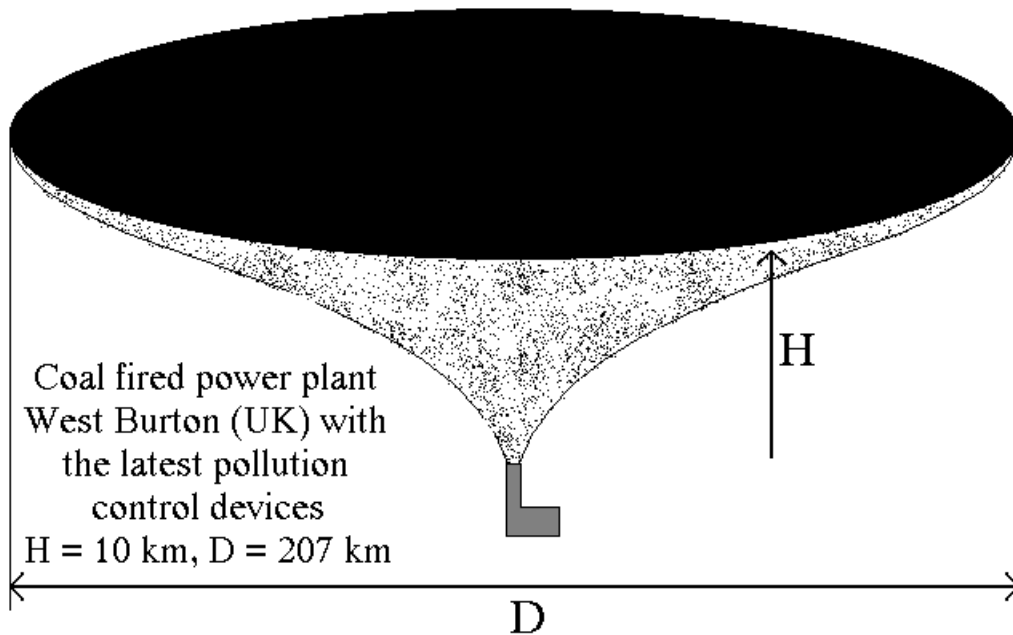
Spis treści

- Limity zanieczyszczeń powietrza
- **Emisje z elektrowni węglowych**
- Stan zanieczyszczenia powietrza w Polsce
- Czy OZE wystarczą by zapewnić zasilanie?
- Zapotrzebowanie materiałów i energii na OZE
- Studium ExternE – wszystkie skutki wytwarzania energii elektrycznej

Emisje z elektrowni węglowych i jądrowych

Źródło energii	Skazenie	Emisja	Dopuszczalne stężenie	Objętość skażonego powietrza
El. Węglowa OPOLE, Polska		t/GW(e).a	µg/m³	km³
	SO ₂	7095	20	354 000
	NO _x	11740	40	293 500
	PM10	350	20	17 500
EJ z reaktorami PWR w USA, dane uśrednione [Strupczewski 99]		Bq/GW(e)a	Bq/ m³	km³
	Kr85	2.2 E+12	1.24 E+5	1.8 E-2
	Kr85m	1.1 E+11	4.62 E+3	2.4 E-2
	Kr87	4.0 E+10	8.0 E+2	5.0 E-2
	Kr88	1.9 E+11	3.25 E+2	6.2 E-1
	Xe133	2.6 E+13	2.27 E+4	1.1 E-0
	Xe135	9.9 E+11	2.84 E+3	3.5 E-1
	J131	1.0 E+8	7.4	1.4 E-2
		Total for NPP		Σ= 2.2 km³

Objętość skażonego powietrza 2.2 km³ dla WSZYSTKICH emisji łącznie z EJ można porównać z wartością dla jednego tylko skażenia przez SO₂ z EW mianowicie 354 000 km³, lub do sumy skażeń tj. 665 000 km³.



Objętość powietrza skażonego do granic dopuszczalnych wskutek rocznej pracy EW o mocy 1000 MWe z nowoczesnymi układami filtrów.

Miara skażenia wg. norm zdrowotnych dla wdychanego powietrza. Średnicę zanieczyszczonej przestrzeni określono przyjmując, że skażenie rozkłada się równomiernie w troposferze na wysokości 10 km. Porównanie z wykazuje, że **skażenia z nowoczesnej EW są 160 000 większe niż z Elektrowni Jądrowej.**

Spis treści

- Limity zanieczyszczeń powietrza
- Emisje z elektrowni węglowych
- **Stan zanieczyszczenia powietrza w Polsce**
- Czy OZE wystarczą by zapewnić zasilanie?
- Zapotrzebowanie materiałów i energii na OZE
- Studium ExternE – wszystkie skutki wytwarzania energii elektrycznej

Cele polityki energetycznej Polski

Niezależność energetyczna
Zrównowazona energetyka
ma chronić Polaków i
polskie firmy przed

- nadmiernymi kosztami energii,
- wzrostem cen wskutek potencjalnego wzrostu cen uprawnień do emisji CO₂
- i kosztów dostosowania do europejskich norm jakości powietrza.

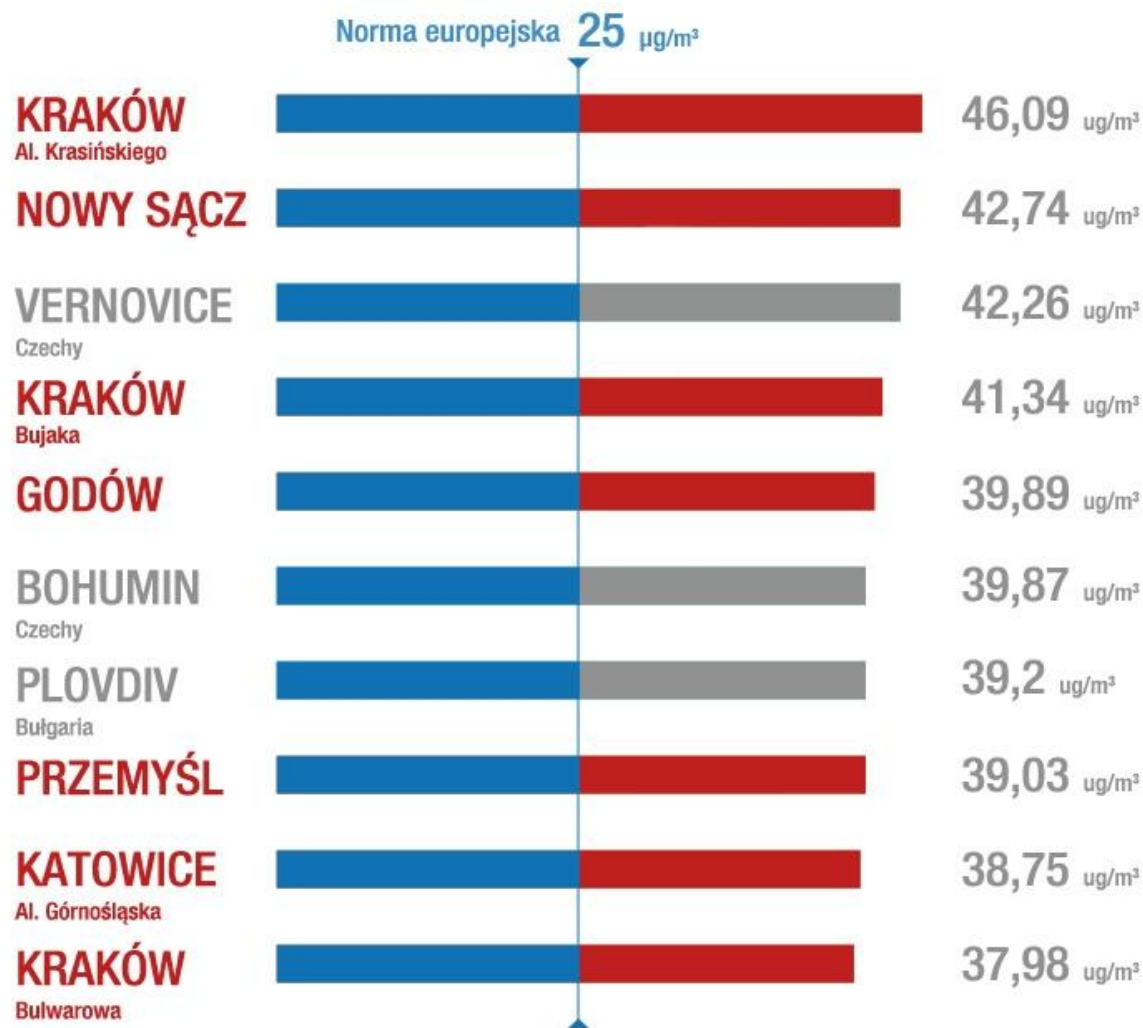


Bieg antysmogowy w Krakowie

Miasta o największym w Unii Europejskiej zanieczyszczeniu pyłem PM2.5

Średnioroczne stężenie pyłu PM 2,5 w 2012r.

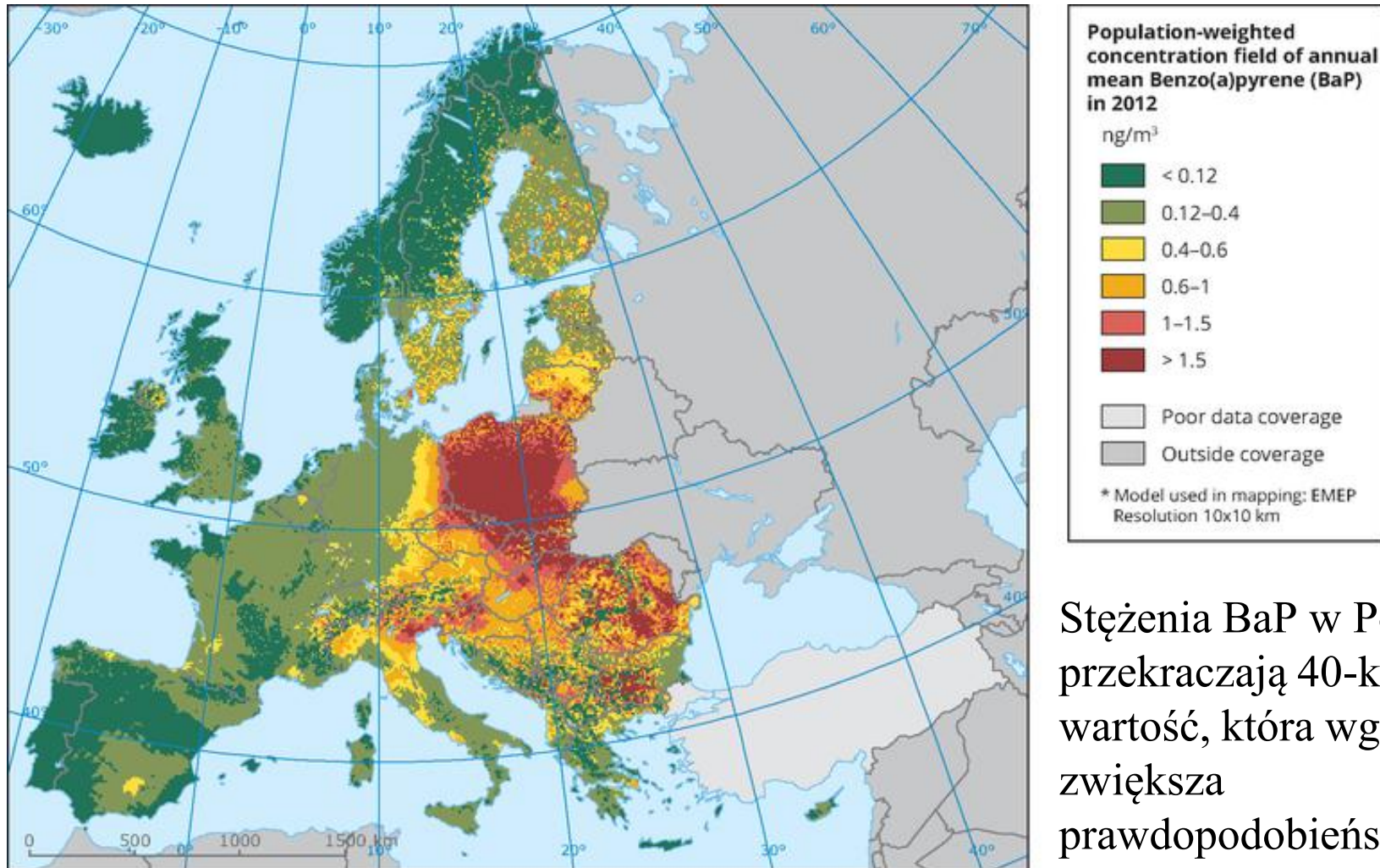
Źródło: Europejska Agencja Środowiska



PM_{2,5} w Polsce

- **GIOŚ - cena jakości powietrza w Polsce za rok 2014**
- <https://polskialarmsmogowy.pl/polski-alarm-smogowy/smog/szczegoly,smog-w-polsce-smog-w-europie,20.html>

Stężenia benzoapirenu największe w Polsce wśród krajów UE



Stężenia BaP w Polsce przekraczają 40-krotnie wartość, która wg WHO zwiększa prawdopodobieństwo raka.

Smog w polskich miastach – – SO₂, NO_x, PM₅, metale ciężkie

Autor: KRIS
www.BrudnyKrakow.wordpress.com



Główny sprawca energetyka, ogromna ilość popiołów lotnych i emisja zanieczyszczeń gazowych, z czego **75% to emisja SO₂**.
Również – niskie emisje z rozproszonych źródeł ciepła, w tym z palenisk domowych.

•

Spis treści

- Limity zanieczyszczeń powietrza
- Emisje z elektrowni węglowych
- Stan zanieczyszczenia powietrza w Polsce
- **Czy OZE wystarczą by zapewnić zasilanie?**
- Zapotrzebowanie materiałów i energii na OZE
- Studium ExternE – wszystkie skutki wytwarzania energii elektrycznej

Jeśli OZE- to konieczna moc rezerwowa

Źródła energii odnawialnej pracujące z przerwami, jak ogniwa pV i wiatraki, potrzebują albo urządzeń do magazynowania energii albo mocy rezerwowej systemu EW lub EJ

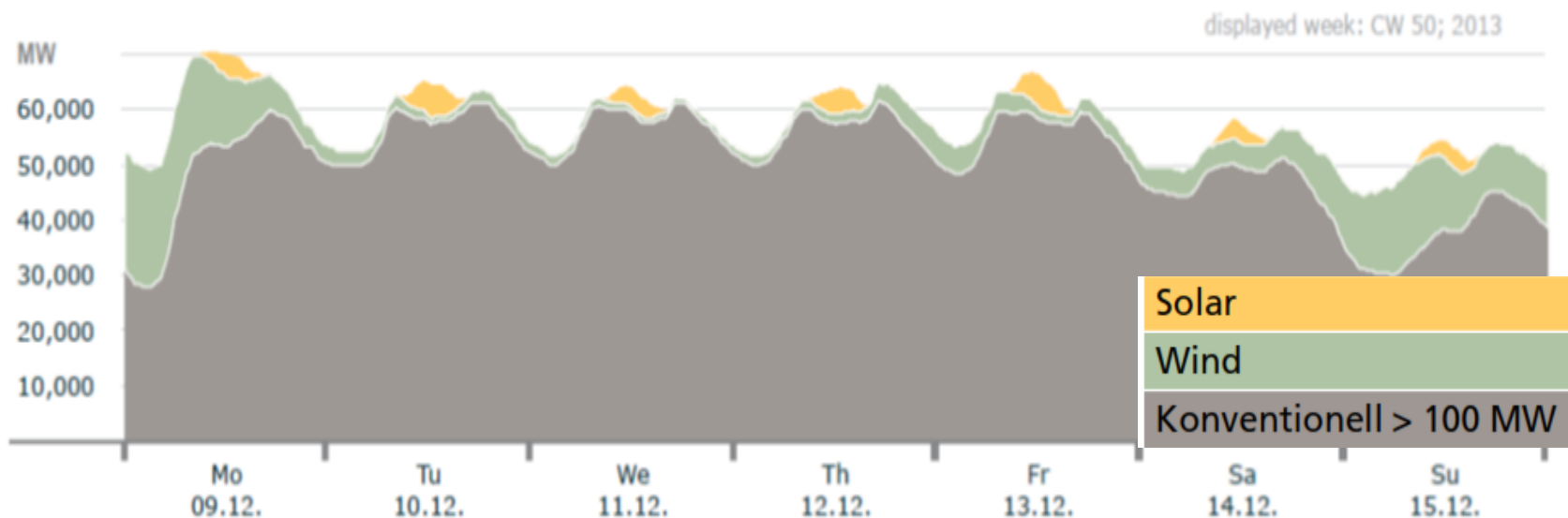
Potrzebna moc rezerwowa jest zadziwiająco duża. Analizy niemieckie wykazały, że dla ogniw PV dostarczających **2500 GWh/rok** potrzeba mocy rezerwowej odpowiadającej systemowi produkującemu **22.000 GWh/rok.**

Gdy moc energetyki ze źródeł energii odnawialnej wzrośnie, problem mocy rezerwowej będzie bardzo ważny.

Niemcy – np. 2-gi tydzień grudnia 2013 r. - brak energii z OZE

Actual production

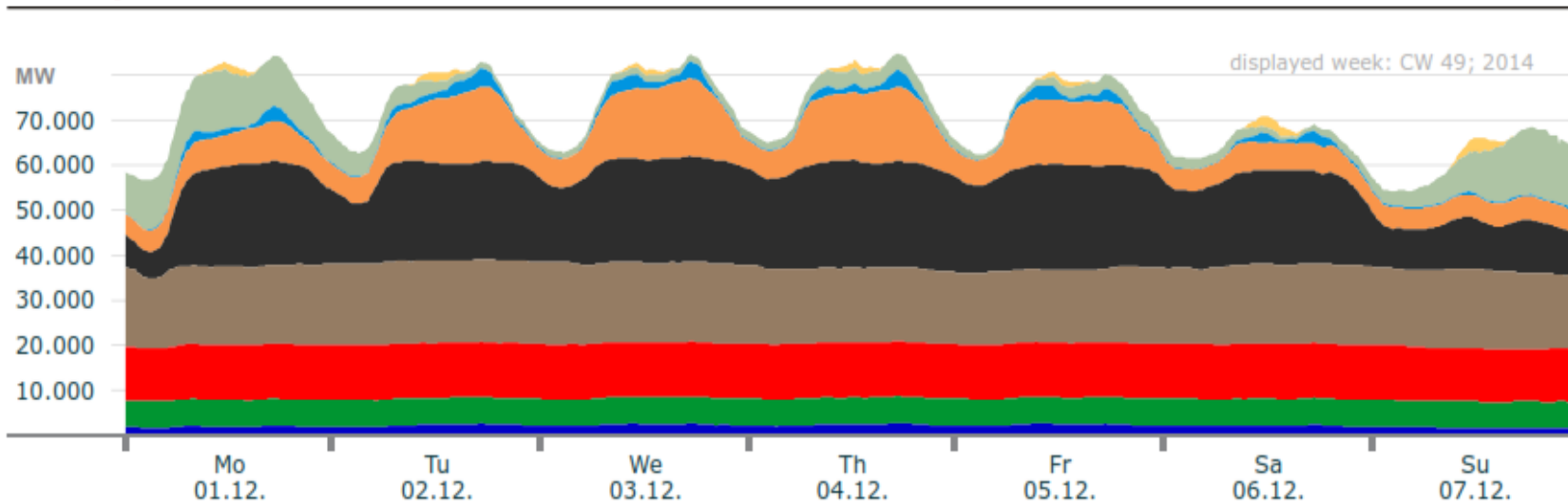
Institut Fraunhofer fur Solar und Wind Energie ISE



Die Welt: „Na początku grudnia 2013 r. produkcja energii z elektrowni wiatrowych i słonecznych niemal kompletnie stanęła. Nie obracało się ponad 23 000 wiatraków. Milion układów fotowoltaicznych niemal całkowicie przerwało wytwarzanie prądu. Przez cały tydzień EW, EJ i gazowe musiały zaspokajać około 95% zapotrzebowania Niemiec

2014.12.2-6 : Moc wiatru i pV 74 GW ale 5 d. obciążenie pokrywały EJ, EW i EG.

Actual production

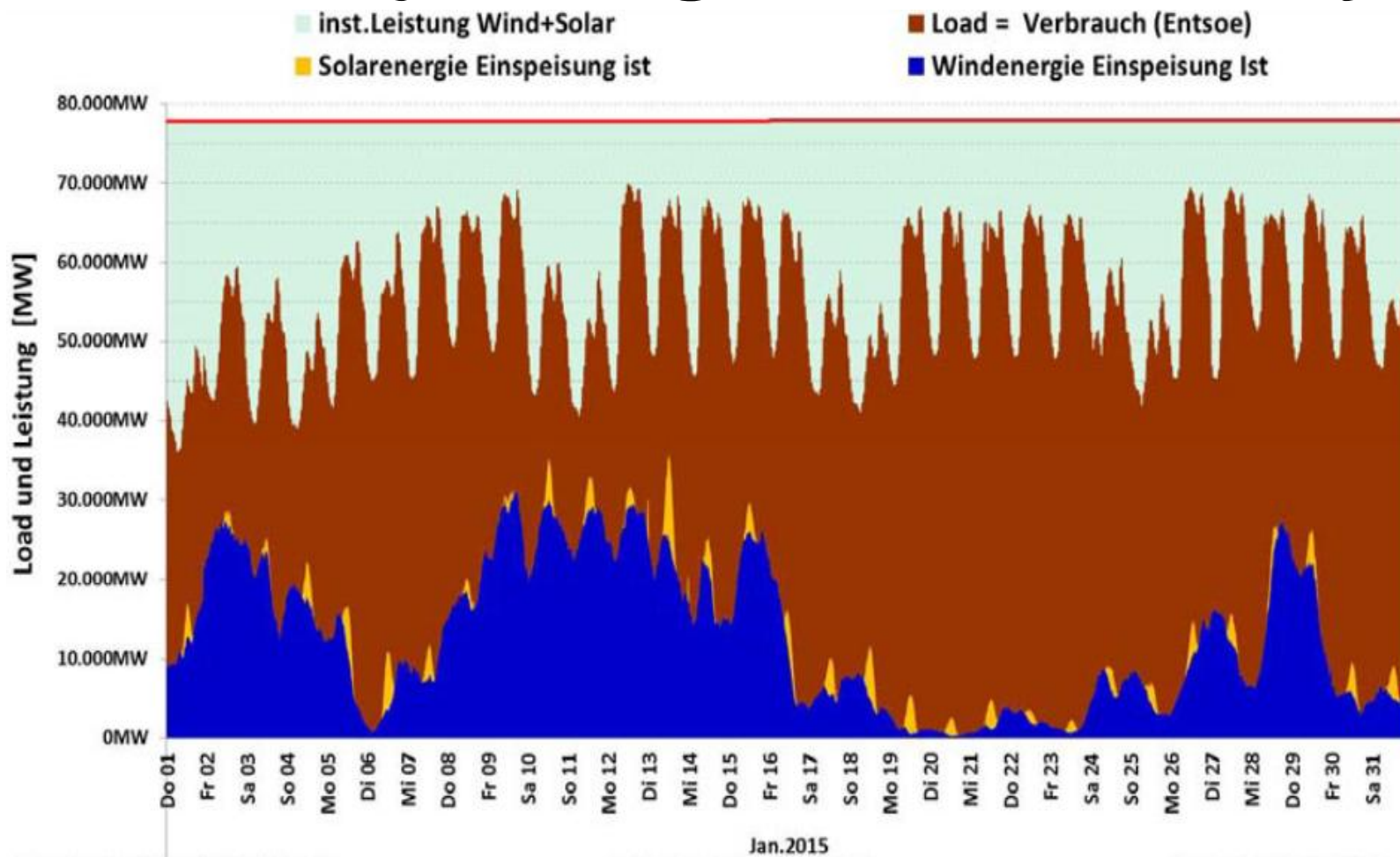


Legend: ■ Hydro ■ Biomass ■ Uranium ■ Brown Coal ■ Hard Coal ■ Gas ■ Pumped Storage ■ Wind ■ Solar

	Hyd	Bio	Uran	BC	HC	Gas	PSt	Wind	Solar
min. power (GW)	1.4		11.44	15.36	5.81	4.52	0.01	0.65	0
max. power (GW)	2.02		12.11	18.43	23.85	17.36	4.19	15.43	3.13
weekly energy (TWh)	0.35	1.0	2.04	2.91	3.19	1.52	0.19	0.73	0.06

Graph: Bruno Burger, Fraunhofer ISE; Data: EEX Transparency Platform

Produkcja energii elektr., Niemcy

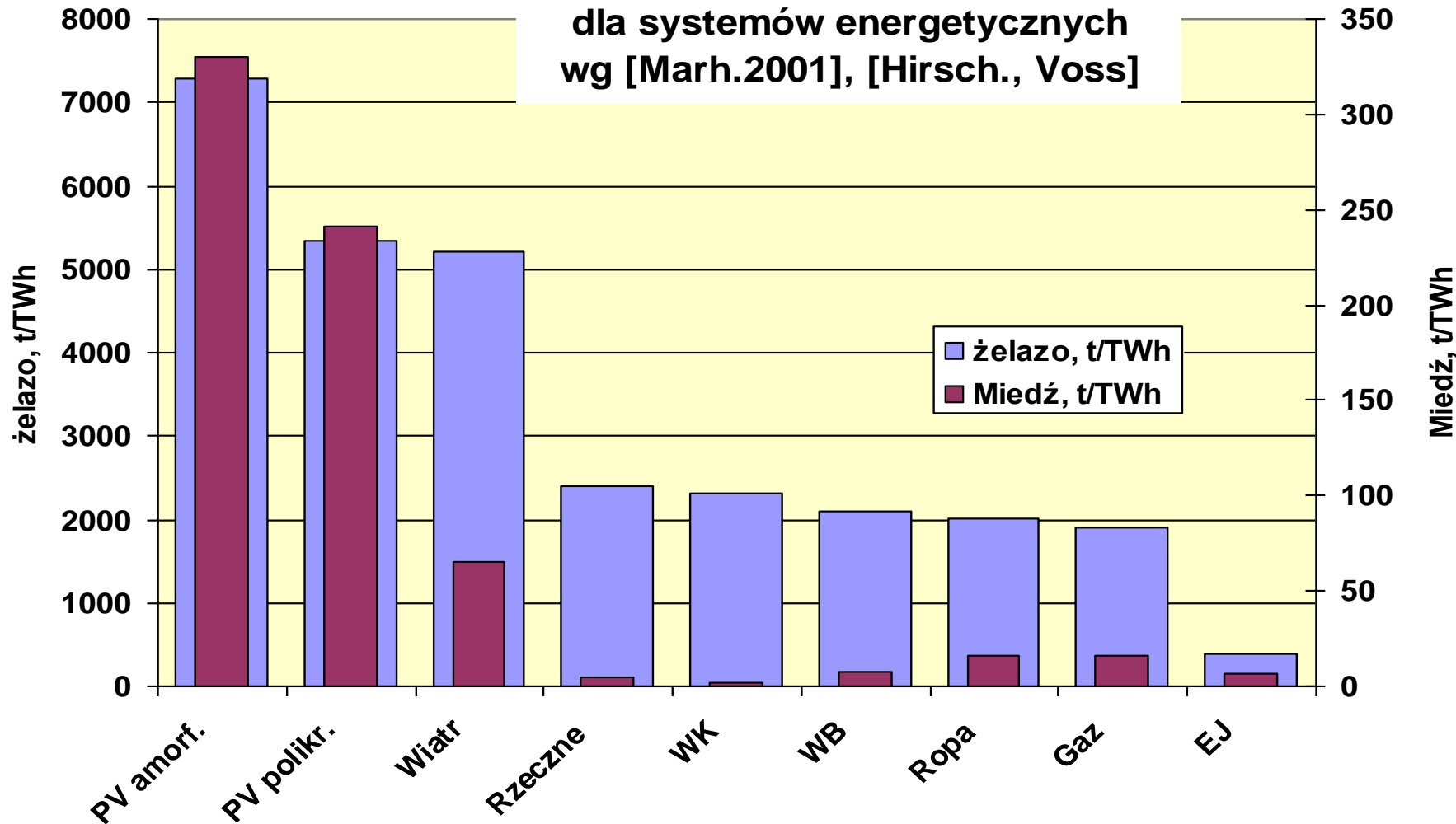


Łączna moc wiatru i słońca, 77 000 MWe, Zapotrzebowanie (MWe),
Generacja z pV (MWe), Generacja z wiatru (MWe)

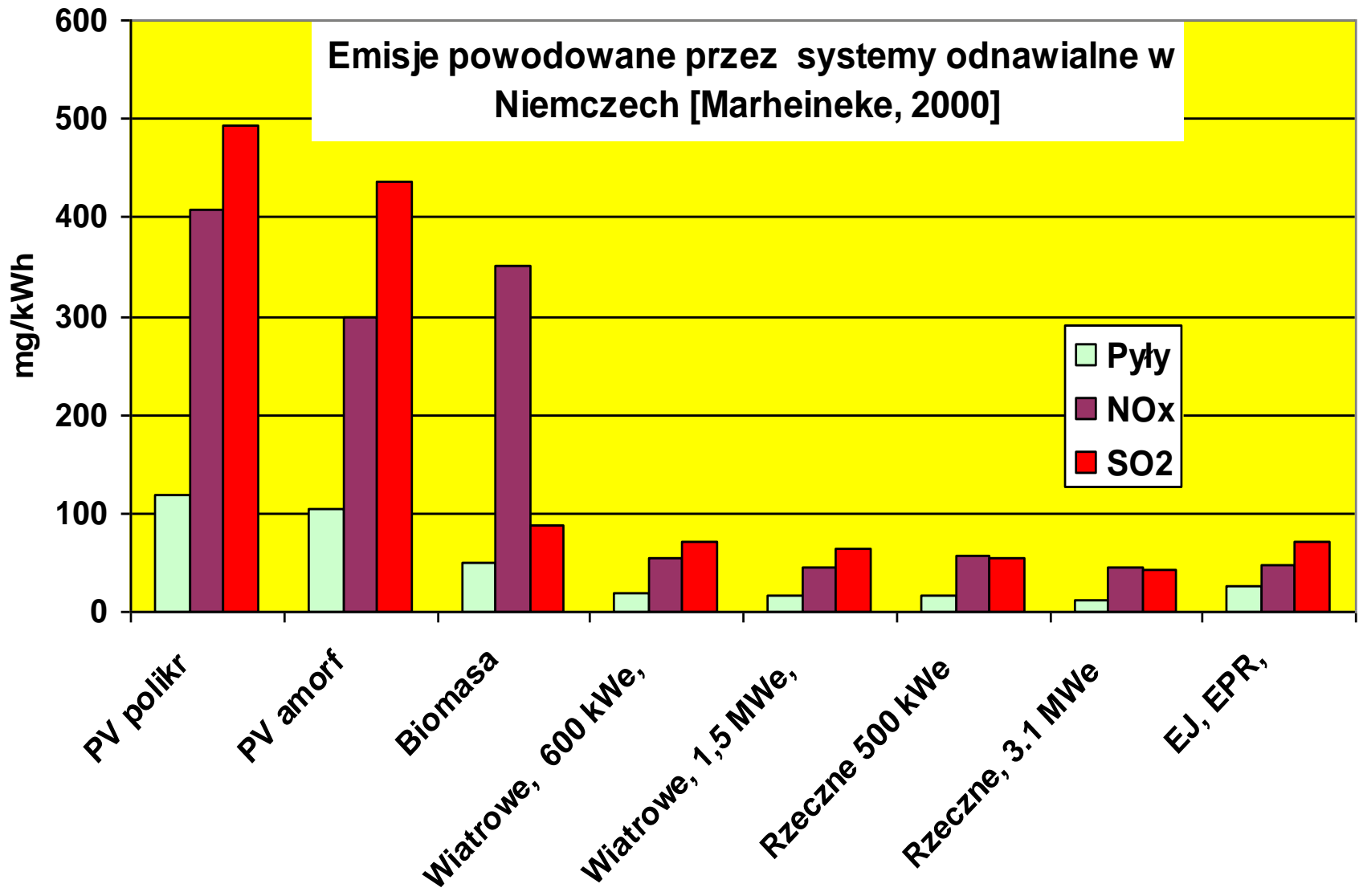
Spis treści

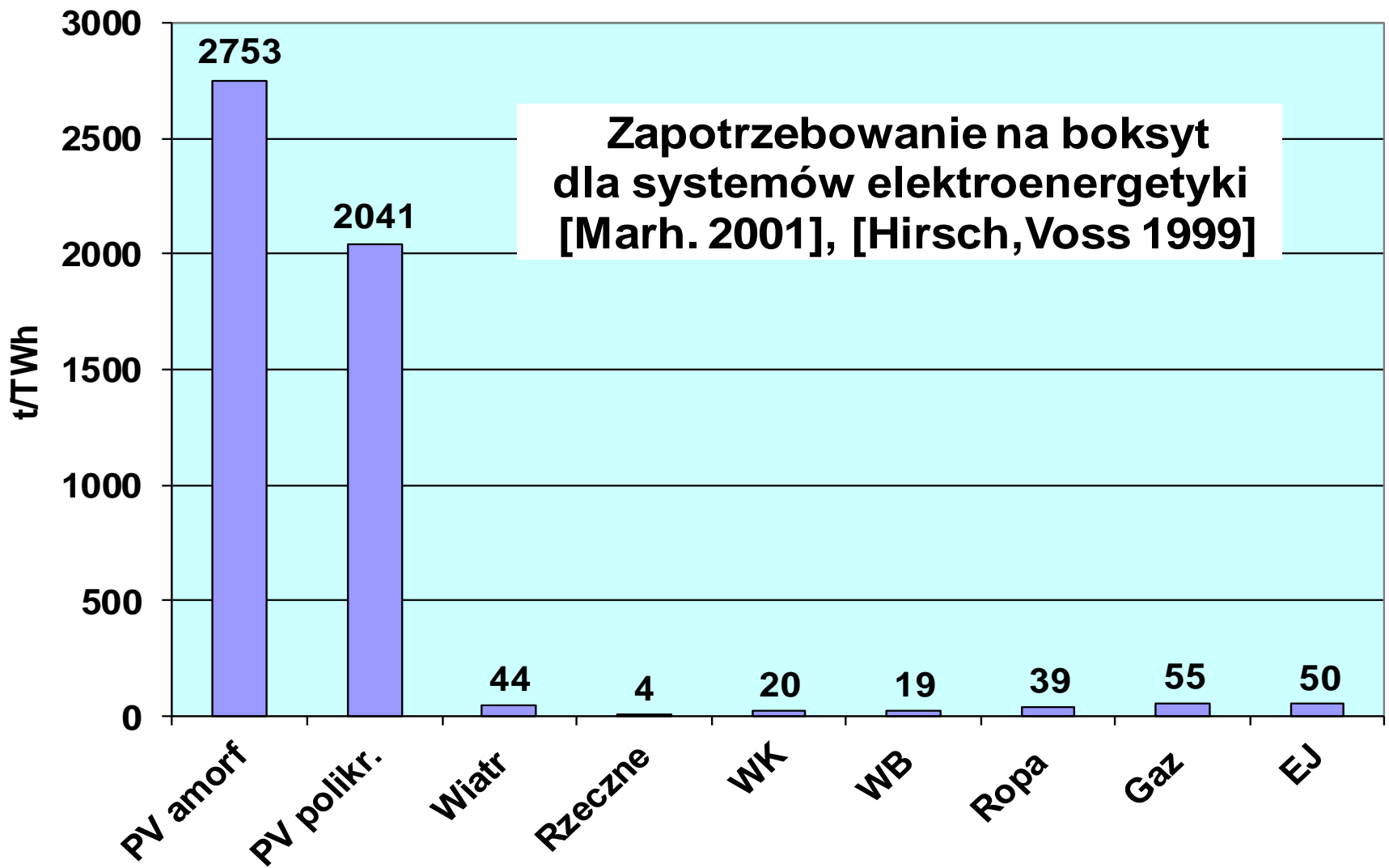
- Limity zanieczyszczeń powietrza
- Emisje z elektrowni węglowych
- Stan zanieczyszczenia powietrza w Polsce
- Czy OZE wystarczą by zapewnić zasilanie?
- **Zapotrzebowanie materiałów i energii na OZE**
- Studium ExternE – wszystkie skutki wytwarzania energii elektrycznej

Zapotrzebowanie na żelazo i miedź dla systemów energetycznych wg [Marh.2001], [Hirsch., Voss]



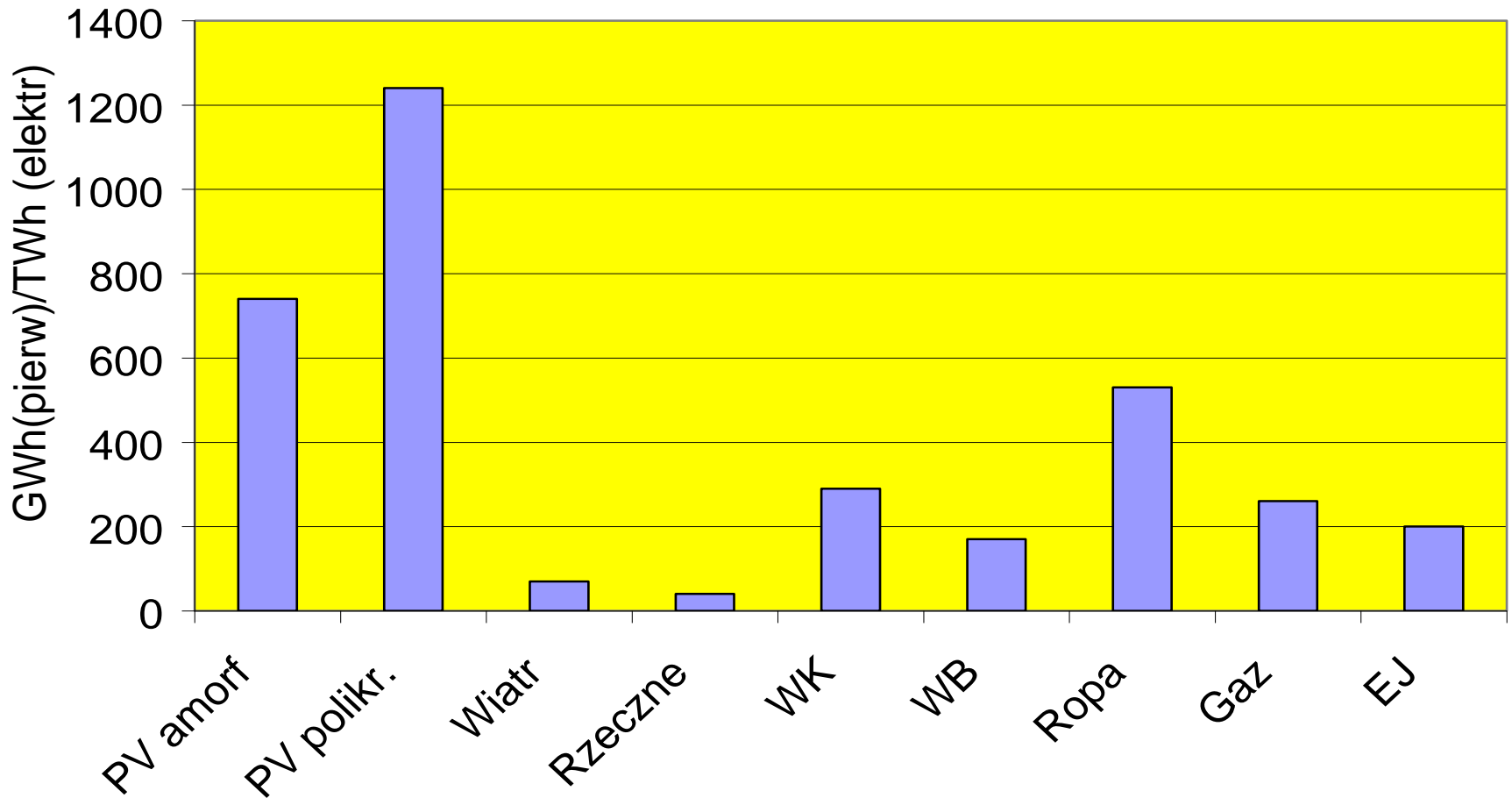
Ogniwa fotoelektryczne są najmniejszymi układami do wytwarzania energii elektrycznej, ale zużywają najwięcej metali na jednostkę energii wytwarzanej w ciągu ich życia.





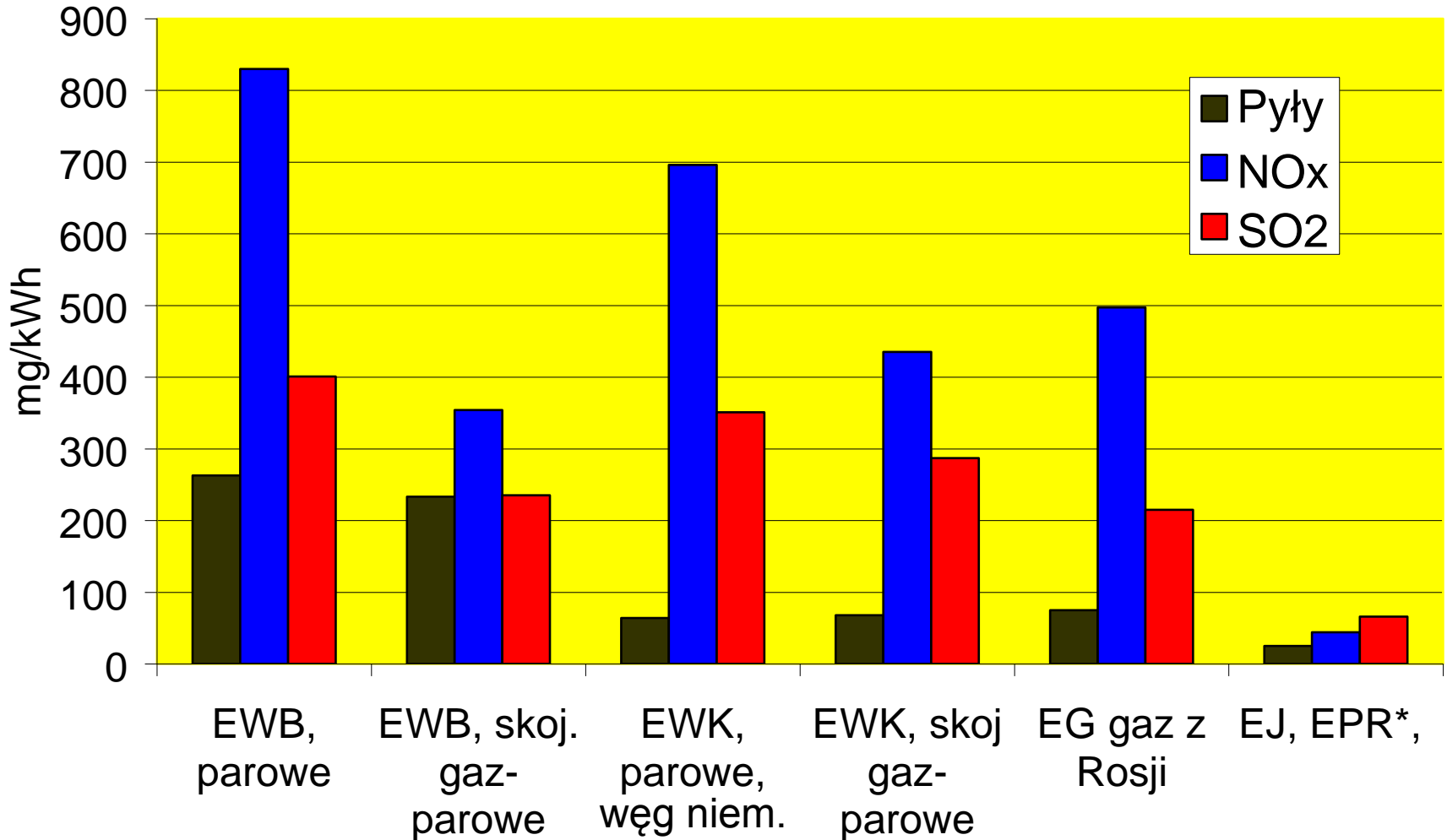
Ogniwa fotoelektryczne potrzebują także największych ilości boksytu – a więc aluminium – na jednostkę wytwarzanej energii. A produkcja Al to wielkie obciążenie dla środowiska. (Pamiętacie Hutę Skawina ?)

Zapotrzebowanie energii pierwotnej do zbudowania elektrowni [Marheineke 2000]



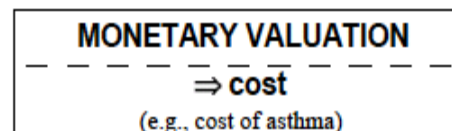
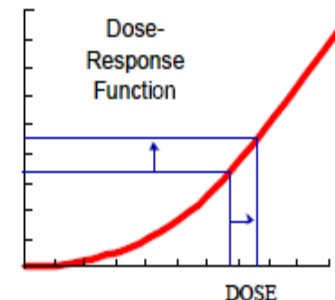
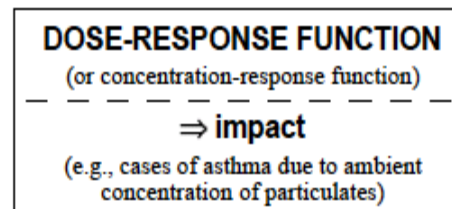
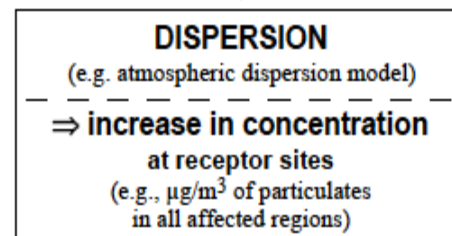
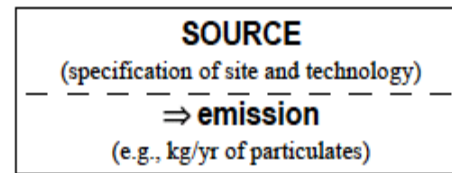
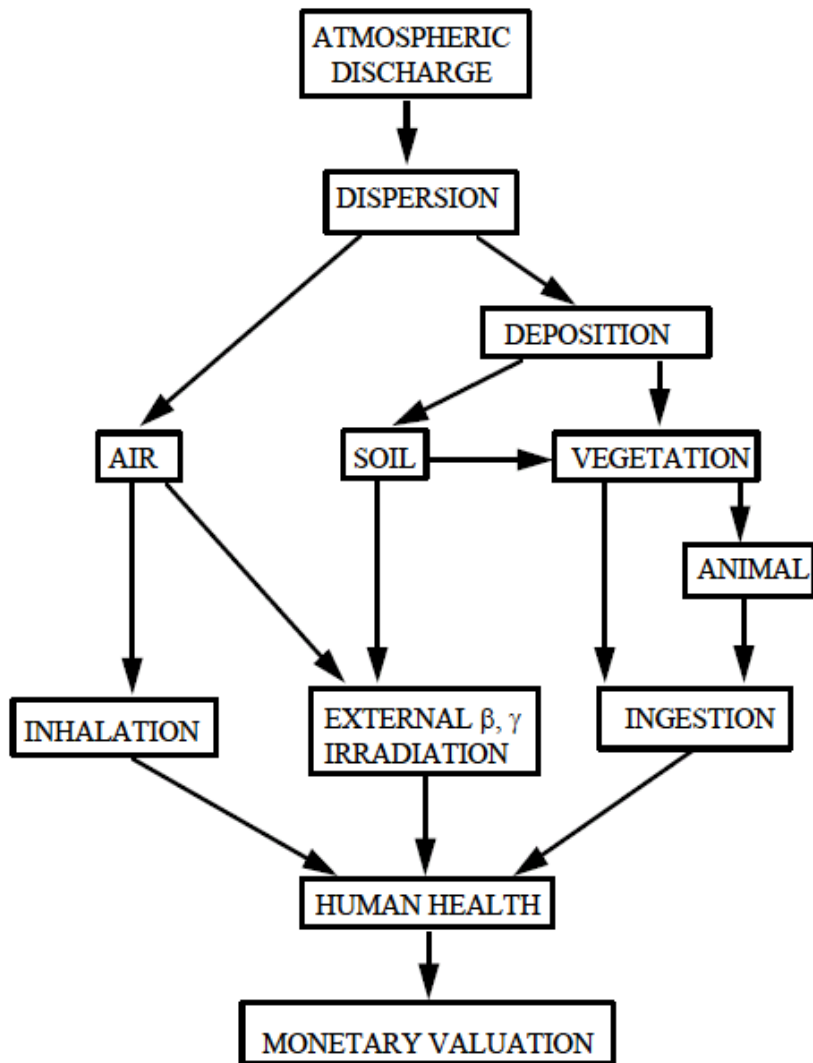
Aby zbudować nową elektrownię potrzeba materiałów i energii. Najwięcej energii na jednostkę energii wytworzonej w ciągu życia potrzeba dla ogniw fotoelektrycznych

Emisje z nowoczesnych systemów energetyki konwencjonalnej i jądrowej, wg. [Marheineke 2000]



Spis treści


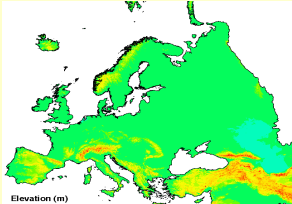
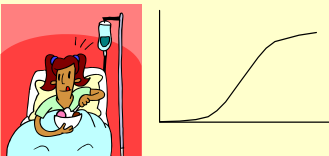

- Limity zanieczyszczeń powietrza
- Emisje z elektrowni węglowych
- Stan zanieczyszczenia powietrza w Polsce
- Czy OZE wystarczą by zapewnić zasilanie?
- Zapotrzebowanie materiałów i energii na OZE
- **Studium ExternE – wszystkie skutki wytwarzania energii elektrycznej**



Drogi wpływu skażeń powietrza i gleby na koszty zdrowotne ponoszone przez człowieka

Metodologia studium EksternE

Ocena kosztów zewnętrznych (zdrowie, środowisko)

Kroki analizy		Narzędzia, dane
1. Emisje		Narzędzia, dane Charakterystyki źródła <i>lokalizacja</i> <i>technologie</i> <i>parametry komina</i> <i>emisyjności zanieczyszczeń</i>
2. Rozprzestrzenienie zanieczyszczeń		Modele rozprzestrzenienia Dane meteorologiczne <i>rozprzestrzenienie lokalne</i> <i>transport regionalny</i>
3. Oszacowanie skutków		Funkcje dawka-skutek (E-R) (lub stężenie-skutek) Przestrzenny rozkład receptorów <i>zdrowie ludzi</i> <i>rośliny , materiały budowlane</i> <i>ekosystem</i>
4. Pieniężna wartość szkód		Analizy „Gotowości do zapłaty” – WTP, ceny rynkowe <i>koszt zewnętrzny</i>

Umieralność wskutek zanieczyszczeń powietrza

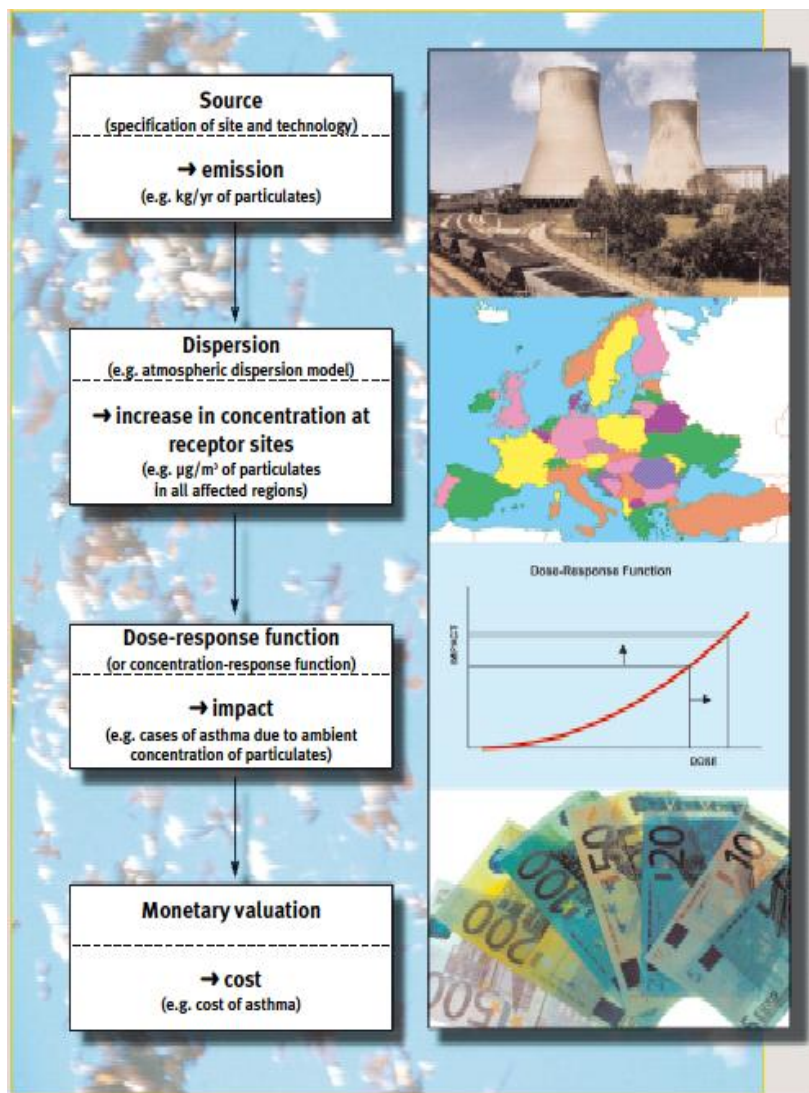
Światowa Organizacja Zdrowia w raporcie *Global Health Observatory (GHO) data* z 2014 r. tak oceniła skutki emisji zanieczyszczeń do powietrza:

W 2012 r. zanieczyszczenie powietrza spowodowało 7 mln przedwczesnych zgonów, co stanowi 12.5% łącznej liczby zgonów. “

W skali światowej, zanieczyszczenie powietrza powoduje 16% zgonów na raka płuc, 11% zgonów na przewlekłą obturacyjną chorobę płuc (COPD), ponad 20% chorób niedokrwiennych i zawałów serca, i około 13% zgonów na infekcje układu oddechowego. “

„W Europie z powodu zanieczyszczenia powietrza umiera przedwcześnie ok. 440 tys. osób rocznie, w Polsce jest to ok. 44 tys. ” (komisarz UE ds. środowiska, Karmenu Vella, styczeń 2016).

Koszty zewnętrzne produkcji energii elektrycznej z różnych źródeł



Najpełniejsza ocena ryzyka, program Unii Europejskiej, ExternE.

ExternE obejmuje cykl produkcji energii i wszystkie aspekty zarówno ryzyko awarii jak i normalnej pracy

Obejmuje źródła, rozpraszanie, funkcje wpływu na zdrowie i środowisko, i ocenę monetarną strat zdrowia i innych skutków.

Dla EJ wyniki są obciążone całkowaniem bardzo małych dawek przez bardzo długie okresy czasu.

Nie uwzględnia się stopy dyskonta.

A jednak EJ okazuje się jednym ze źródeł energii najbardziej przyjaznych dla człowieka i środowiska.

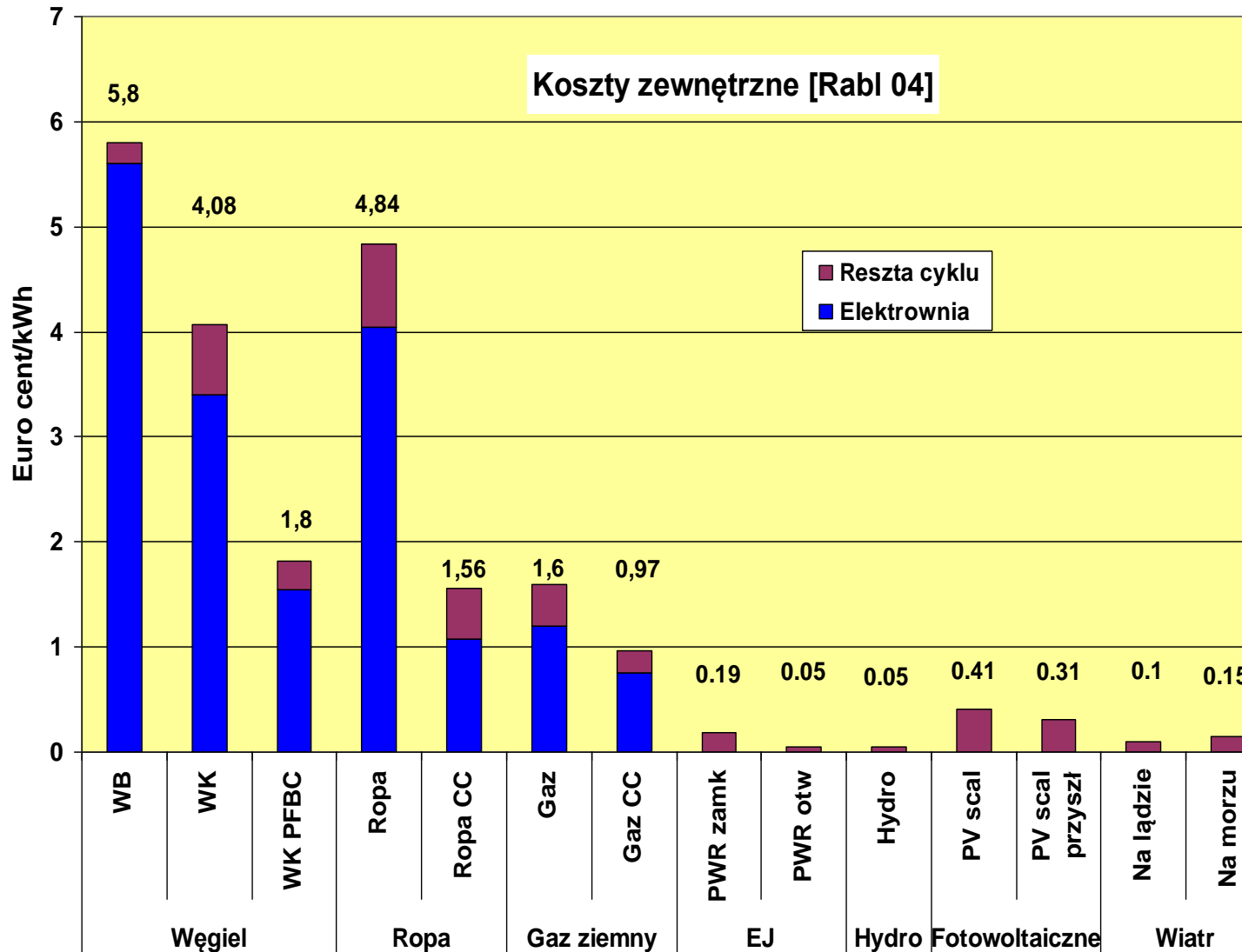
Porównujemy **wszystkie skutki** powodowane przez **cały cykl** wytwarzania elektryczności

Wg normy ISO “Bilans ekologiczny obejmuje wpływ na środowisko powodowany przez **cały cykl wytwarzania produktu**, od kołyski do grobu, począwszy od wydobycia surowców przez produkcję urządzeń i wykorzystanie produktu aż do demontażu zakładu i przywrócenia terenu do stanu zielonego.”

Dla społeczeństwa **strategia optymalna** to rozwijanie tych źródeł energii, które **wiążą się z najmniejszymi łącznymi kosztami**, nie ważne czy płaci te koszty właściciel zakładu czy społeczeństwo jako całość.

Koszty zewnętrzne związane z utratą zdrowia i zniszczeniem środowiska płacone przez społeczeństwo trzeba **dodać** do kosztów produkcji płaconych przez właściciela elektrowni aby dostać właściwą miarę kosztów płaconych przez człowieka za różne źródła energii.

Skutki zdrowotne wytwarzania elektryczności z różnych źródeł w UE-15 [Rabl 04]



Straty zdrowia przeliczone na pieniądze – wyniki programu ExternE

PFBC- spalanie w złożu fluidalnym pod ciśnieniem,
 CC- cykl kombinowany,
 PWR otw. – cykl paliwowy otwarty,
 PWR zamk. - cykl paliwowy zamknięty

EJ są zasadniczym światowym niskoemisyjnym źródłem energii elektrycznej

- W UE dostarczają one ponad połowę „czystej” energii.
- W 2007 r. PE: bez EJ starania o obniżenie emisji CO₂ nie mają szans powodzenia,
- Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC) stwierdził, że EJ to główne źródło bezemisyjnej energii elektrycznej
- 15 grudnia 2015 PE uchwalił rezolucję wzywającą KE do stworzenia warunków do budowy w UE nowych EJ, jako jednego z ważnych źródeł niskoemisyjnych

EJ pomagają chronić środowisko naturalne ponieważ:

- **Zapewniają czyste powietrze, wodę i glebę** - są zaprojektowane i eksploatowane tak, by były dobrymi sąsiadami, przyjaznymi dla ludzi i środowiska.
- **ExternE (External costs of Electricity generation):** Koszty zewnętrzne – to koszty ponoszone przez środowisko, a nie przez producenta energii. Minimalne koszty zewnętrzne – to minimalne straty zdrowia i życia ludzi, to minimalne obciążenia dla przyrody, dla lasów, łąk, jezior, ryb i zwierząt.
- En. jądrowa bierze pełną **odpowiedzialność za swe odpady** – zapewnia środki finansowe i technologię wystarczającą by unieszkodliwiać odpady radioaktywne. Po okresie eksploatacji EJ można zlikwidować „do zielonego pola”

Wyniki studium UE: en. jądrowa należy do najkorzystniejszych dla ludzi

Studium ExternE, 1993-2001. Kryterium - koszty zewnętrzne, tj koszty płacone przez społeczeństwo (za stratę zdrowia, przedwczesne zgony, zniszczenie środowiska)

- Koszty zewnętrzne oceniano dla wszystkich źródeł energii, dla całego cyklu budowy, pracy, likwidacji "od kolebki do grobu"
- Dominujący wpływ - skrócenie życia ludzi wskutek zachorowań powodowanych przez emisje zanieczyszczeń do atmosfery

Zgodne wyniki wielu krajów UE wykazały że:

- **Najniższe koszty zewnętrzne powoduje energia wiatru, energia jądrowa i hydroenergia**
- Największe – spalanie węgla i ropy.
- Średnie – spalanie gazu i użycie ogniw słonecznych.

Łączne koszty dla społeczeństwa – tj koszty produkcji i koszty zewnętrzne – są najniższe dla energii jądrowej.