

Polskie Towarzystwo Nukleoniczne
11 marzec 2005

PORÓWNANIE ZAGROŻEŃ ZWIĄZANYCH Z RÓŻNYMI ŹRÓDŁAMI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Dr inż. A. Strupczewski

Instytut Energii Atomowej

05-400 Świerk, A.Strupczewski@cyf.gov.pl

Plan wykładu

1. Potrzebujemy nowych źródeł energii
2. Zanieczyszczenie powietrza - Zagrożenie dla zdrowia
3. Pomijalnie małe skutki małych dawek promieniowania
4. Redukcje emisji w ciągu lat
5. Energia odnawialna – ogniwa słoneczne, wiatr
6. Studium Komisji Europejskiej – ExternE
7. Porównania kosztów zewnętrznych
8. Zabezpieczenia EJ przed awariami
9. Awaria w Czarnobylu
10. Porównania skutków awarii w energetyce
11. Dyskusje o energetyce jądrowej

Porównujemy **wszystkie skutki** zdrowotne i ekologiczne powodowane przez **cały cykl** wytwarzania energii elektrycznej

Według normy ISO “Bilans ekologiczny obejmuje wpływ na środowisko powodowany przez **cały cykl wytwarzania produktu**, od kołyski do grobu, począwszy od wydobywania 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.

Potrzeba źródeł energii na świecie

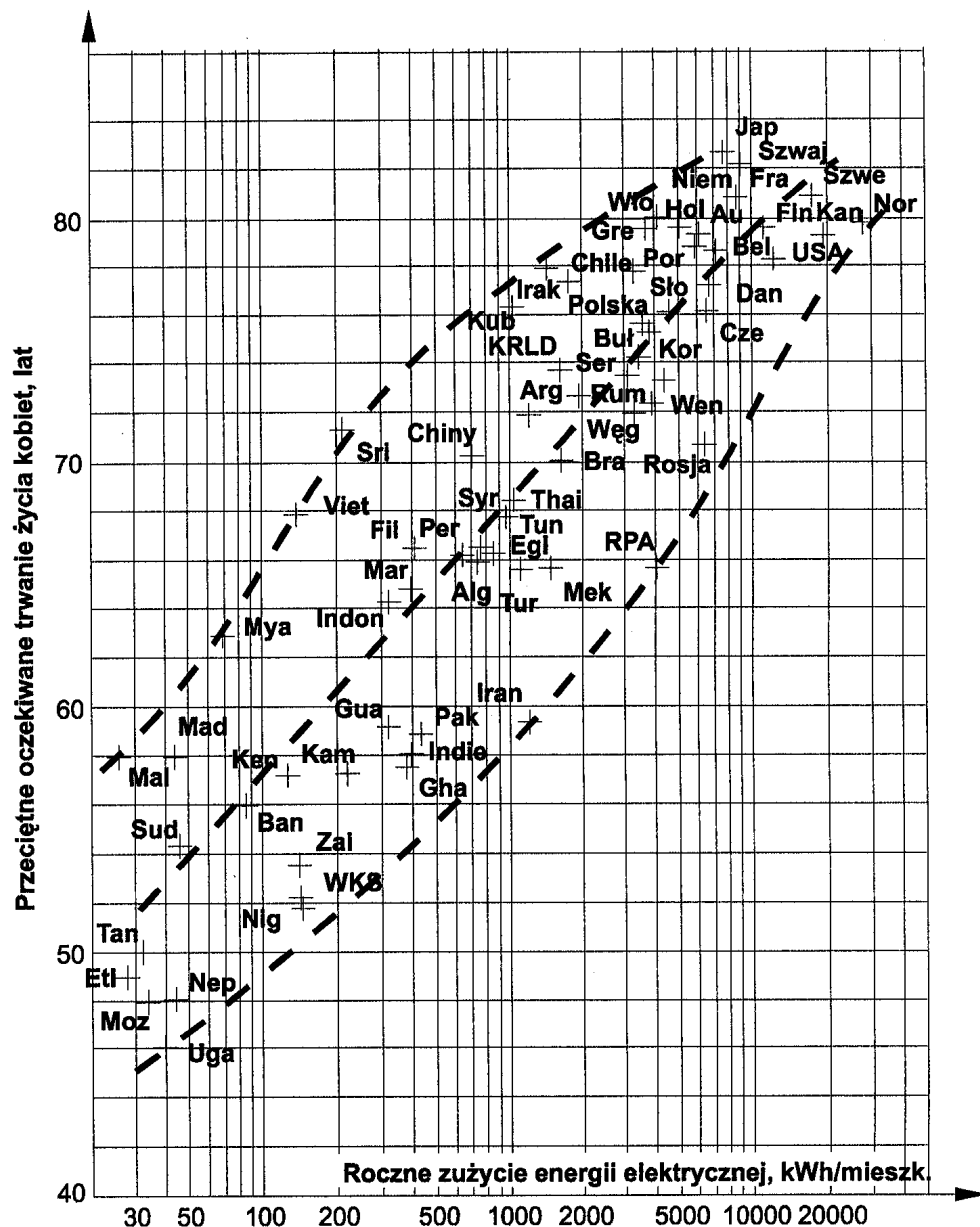
Od 1960 r. zapotrzebowanie energii na świecie wzrosło dwukrotnie, chociaż zużycie energii na jednostkę DNB zmalało.

Oczekiwany **dalszy wzrost sprawności wykorzystania energii, ale nie wystarczy on do pokrycie wzrostu zapotrzebowania**

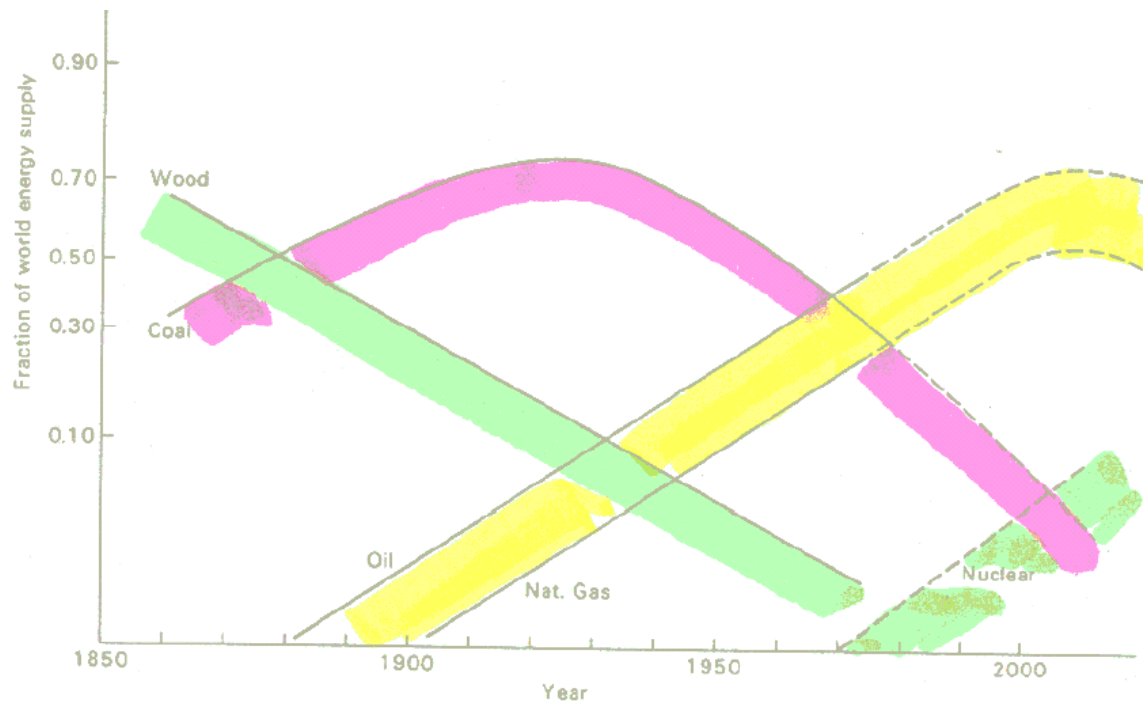
Wg ocen ONZ populacja świata wzrośnie z 6 miliardów w 1999 do 8.1 mld w 2020 i 10.5 mld w 2100.

Wśród **3 mld ludzi mieszkających w pld-wsch Azji, w Chinach i środkowej Afryce, średnie zużycie energii elektrycznej na mieszkańca to zaledwie 0.15 kW/rok, 10 razy mniej niż w USA i UE**

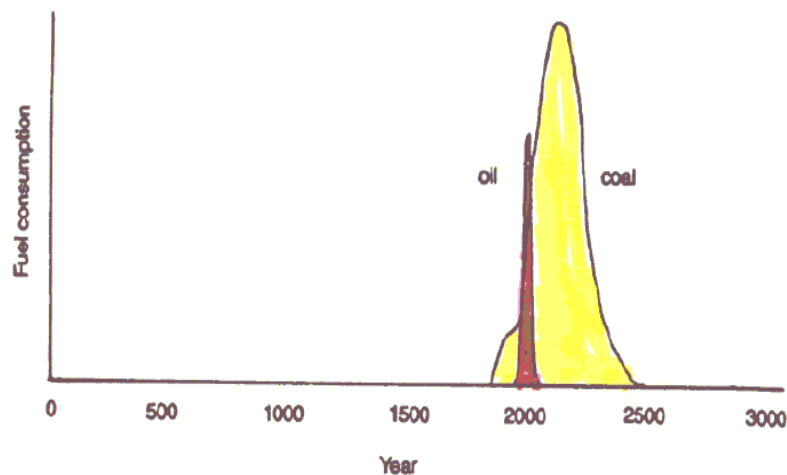
Elektryczność gra kluczową rolę w ochronie zdrowia i określeniu poziomu życia: rośnie produkcja rolna, rozwija się przemysł, polepsza ochrona zdrowia, podnosi się poziom wykształcenia. Powstają nowe miejsca pracy maleje umieralność niemowląt, rośnie długość życia i podnosi się poziom życia.



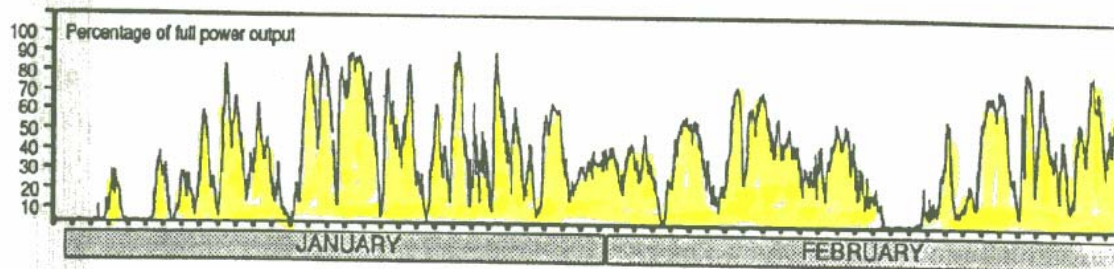
Rys. 1.1 Średnia oczekiwana długość życia kobiet w różnych krajach w funkcji zużycia energii elektrycznej, kWh/rok na mieszkańca.
Podwojenie zużycia energii elektrycznej odpowiada średnio przedłużeniu życia o około 3 lata.



Rys. 1.2 Frakcja energii dostarczana z różnych źródeł. Widać jak węgiel zastąpił drewno, a potem ropa i gaz zastąpiły węgiel. A co zastąpi ropę i gaz ? [Hafele, 1981]



Rys. 1.3 Oczekiwane okresy wykorzystania paliw organicznych, od początku naszej ery do 3000 r. Zużycie ropy to krótki okres, a i węgla nie starczy na długo.



Rys. 1.8 Współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej dla pięciu elektrowni wiatrowych w Danii o mocy łącznej 28.2 MWe, w styczniu i lutym 1990. Elektrownie wiatrowe pracują tylko w zakresie prędkości wiatru od 4 do 25 m/s.

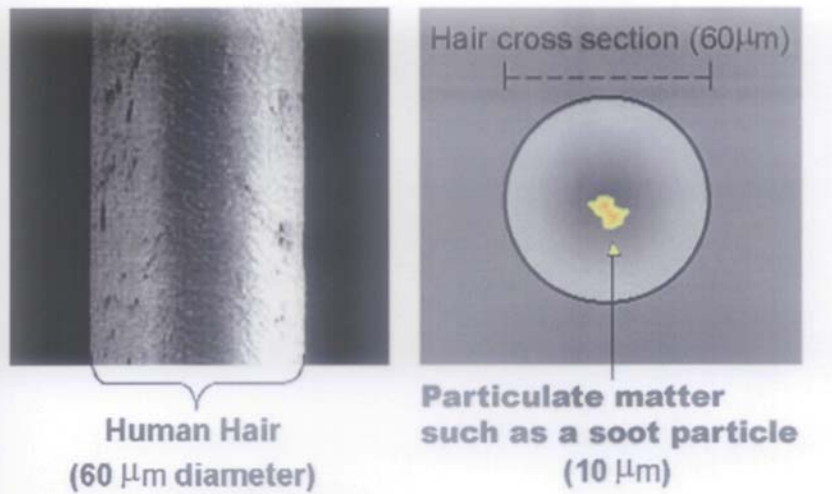


Rys. 1.9 Wiatraki i EJ St. Laurent des Eaux, Francja

Rys. 1.10 Rozmieszczenie EJ w Europie



Rys. 2.1 Zanieczyszczenie powietrza wskutek spalania paliw organicznych



Rys. 2.2 Przykład ilustrujący wielkość cząstek pyłów

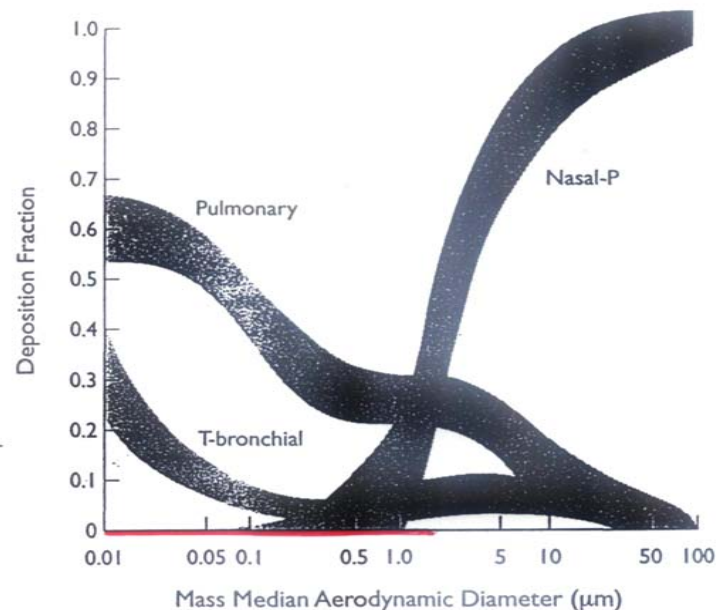


FIG. 2.3. Regional deposition based on the Human Respiratory Tract Model. Taken from [18]

Rys. 2.3 Osadzanie pyłów w ciele człowieka

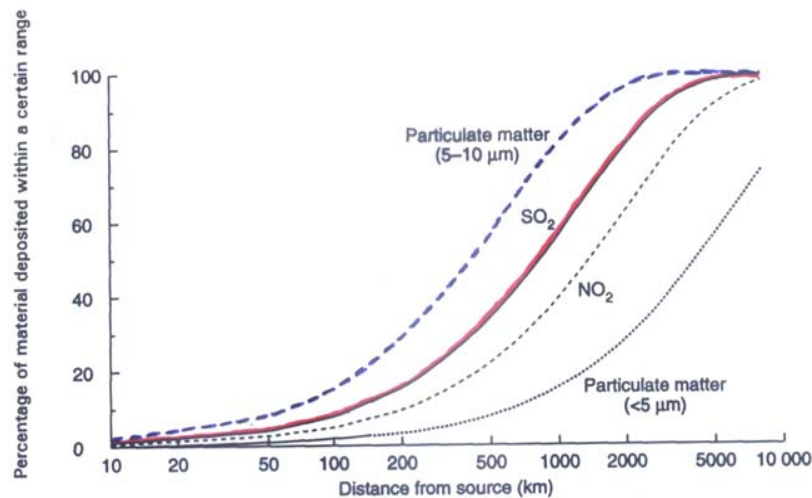
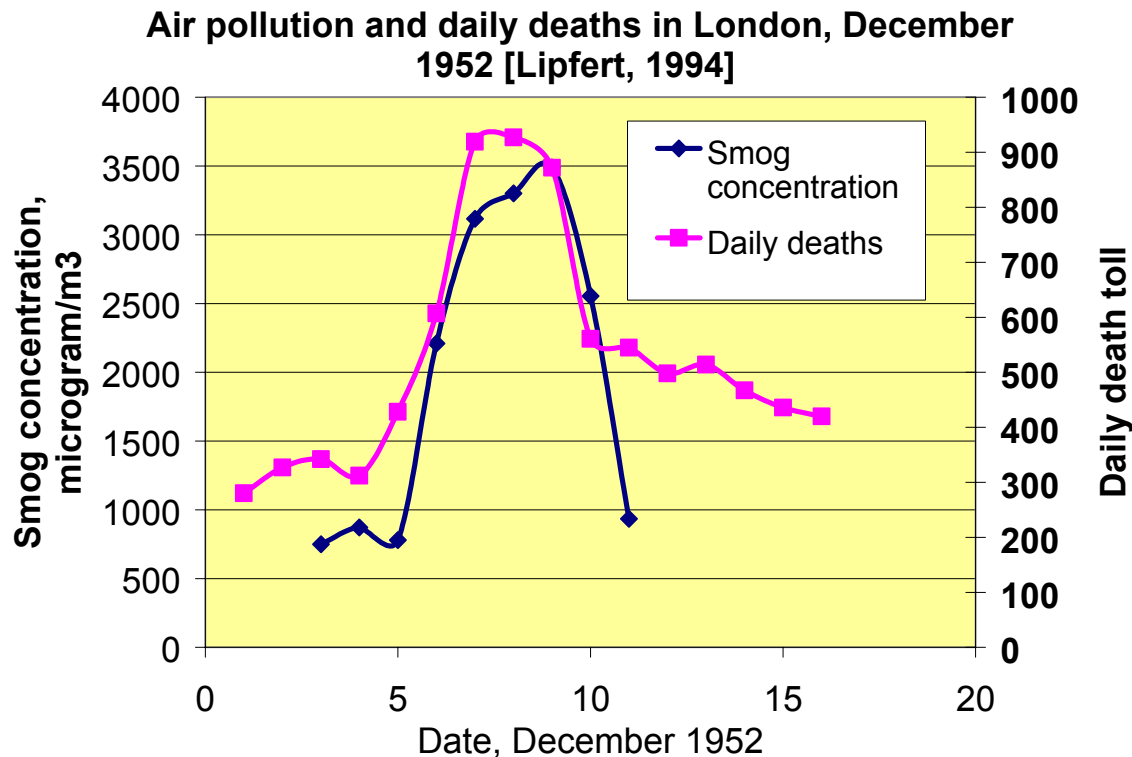


FIG. 2.4. Dispersion of airborne pollutants over long distances. Taken from [164]

Rys. 2.4 Osadzanie się pyłów unoszących się w powietrzu na dużych odległościach



Rys. 2.5 Dzienna liczba zgonów i średnie
dzienne stężenie smogu w czasie
incydentu w Londynie, w grudniu 1952
[Liczby zaczerpnięte z Lipfert, 94]

Dwutlenek siarki: przy wysokich stężeniach SO_2 powoduje poważne **trudności w oddychaniu**. Jest on także źródłem **kwaśnych deszczów**. Przez wiele lat SO_2 uważano za najlepszy wskaźnik zanieczyszczenia powietrza. Był on głównym składnikiem smogu w Londynie w 1952 r. **Krzywa zgonów** podążała w ślad za krzywą stężenia SO_2 z opóźnieniem zaledwie paru godzin.

Skutki kwaśnych deszczów

To zdjęcie pochodzi z USA, ale i w Polsce są podobne obszary, szczególnie w czarnym Trójkącie na granicy z Niemcami i Czechami



Victims of acid rain - dead and dying Red Spruce in Maine, Photo by Paul Donahue

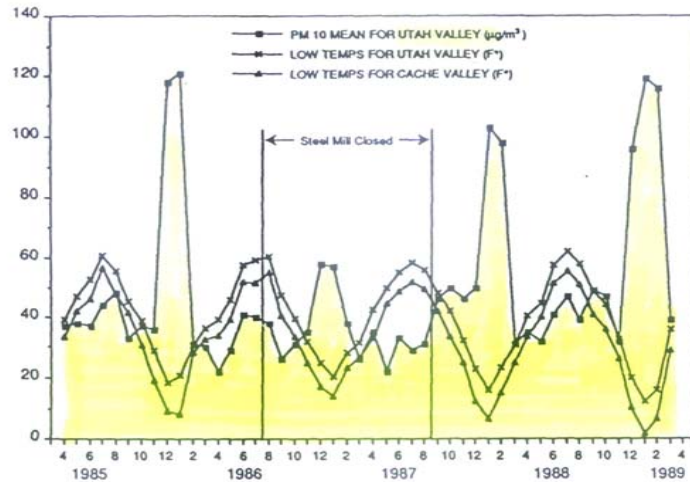


Fig. 1. Monthly mean PM_{10} for Utah Valley and monthly mean low temperatures for Utah and Cache valleys, April 1985–March 1989.

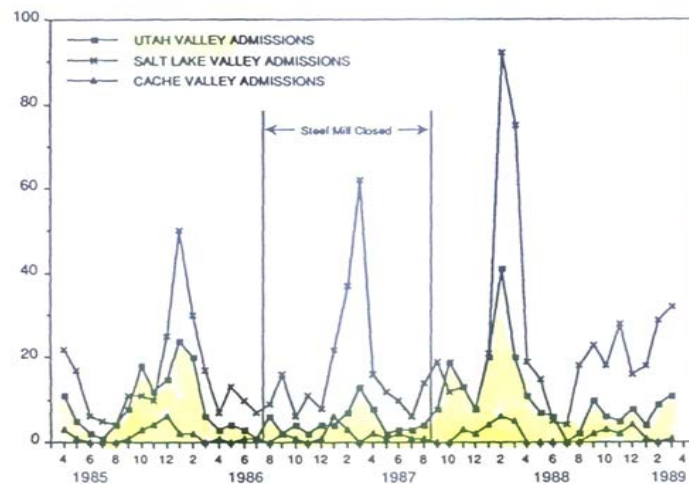
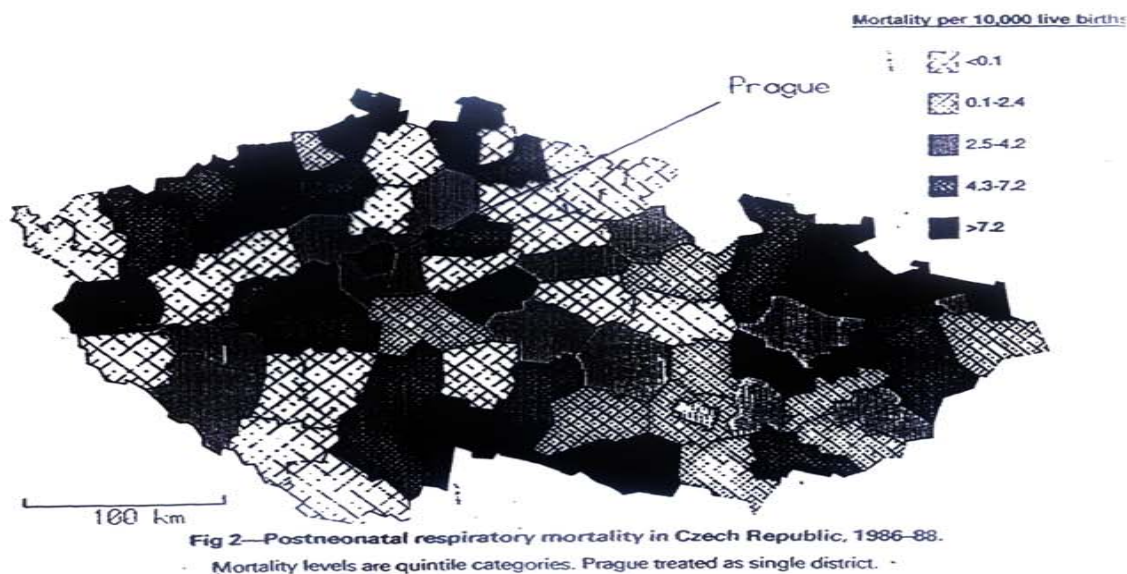
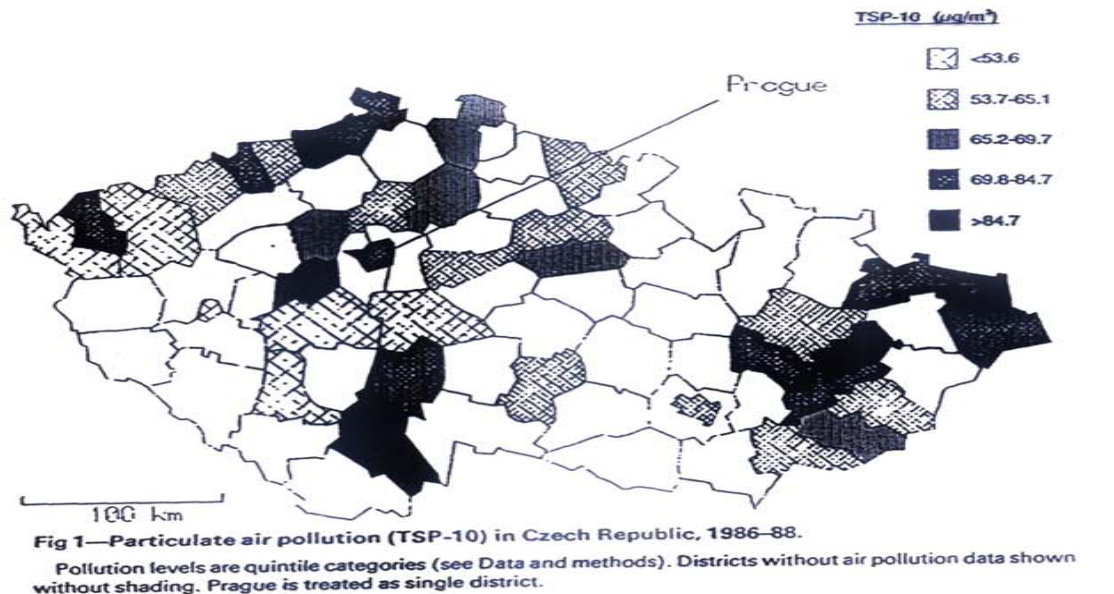


Fig. 4. Monthly bronchitis and asthma admissions for preschool-age children in Utah, Salt Lake, and Cache valley, April 1985–March 1989.

Rys. 2.6 Wykres w funkcji czasu pokazuje zależność między stężeniem pyłów w powietrzu a bronchitem i astmą wśród dzieci przedszkolnych.

Żółte obszary pokazane na rysunku przedstawiają skażenie powietrza i częstość bronchitu w Utah Valley. Widać wyraźnie wpływ rocznego wyłączenia stalowni w Utah Valley.

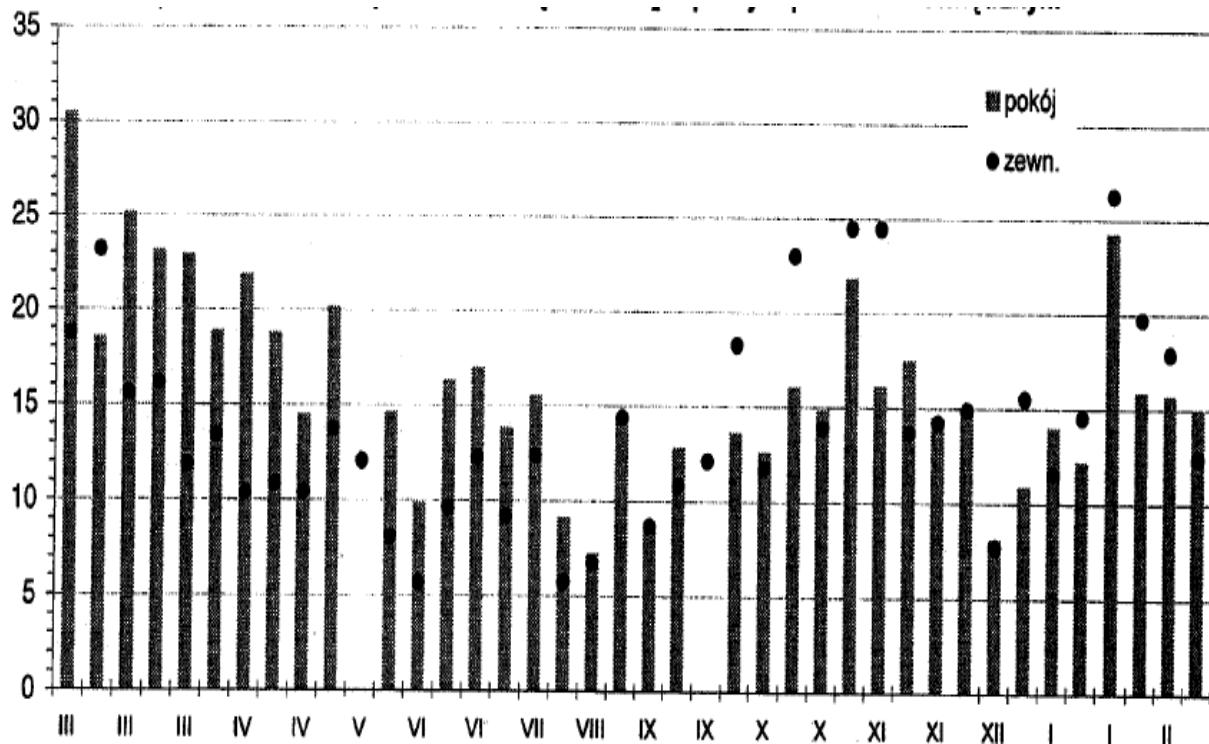


**Rys. 2.9 Skazenie
powietrza pylem i
umieralność
noworodków na choroby
dróg oddechowych w
Czechach, 1986-1988**
[Bobak, Leon, 92]

**Związek
podwyższonej
umieralności ze
zwiększonym
poziomem TSP-10**

widoczne jest na
rozproszonych obszarach,
co oznacza że jest to
rzeczywiście wynik
skażenia powietrza.

Fig. Comparison of particulate air pollution and postneonatal respiratory mortality in Czech Republic, 1986-1999. The association of increased mortality with increased TSP-10 levels is seen across dispersed areas, convincing of a real effect of air pollution. The estimated effect of a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ increase in TSP-10 level is to increase postneonatal respiratory mortality by a factor of 1.58. (equivalent to postneonatal mortality increase - 1.34). BOBAK M, LEON D.A., Air pollution and infant mortality in the Czech Republic, 1986-1988, Lancet vol 340, Oct. 24, 1992, p. 1010-1014.

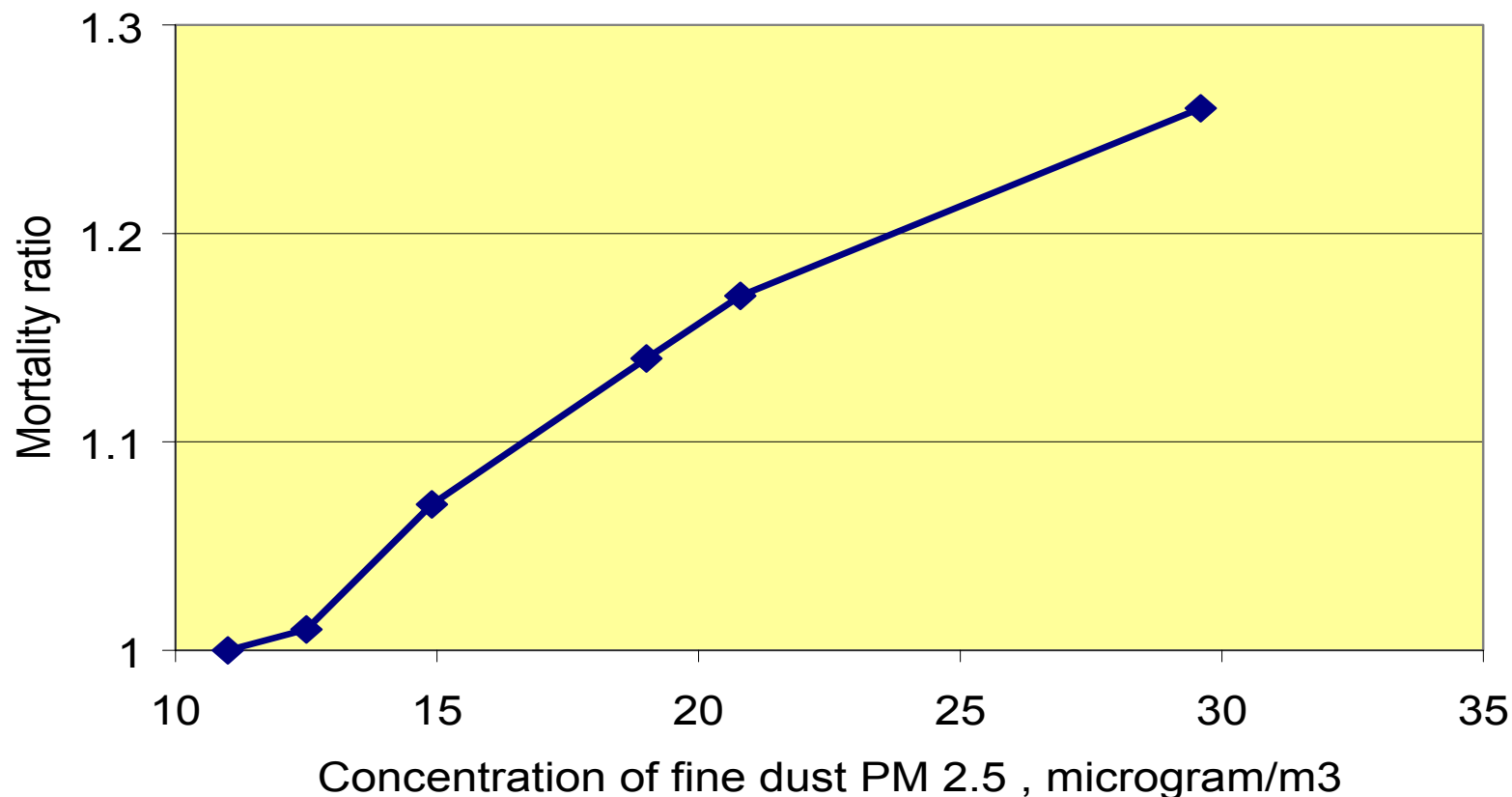


Rys. 2. 10 Stężenie skażeń w mieszkaniu odpowiada ściśle stężeniu zanieczyszczeń w powietrzu na zewnątrz. Zależność tę pokazano na przykładzie NO_2

Tlenek azotu NO_2 rozpuszcza się w płynie płucnym tworząc **kwaz azotowy HNO_2 i kwas azotawy HNO_3** . Skutki zdrowotne nie są ustalone. Badania epidemiologiczne wykazały, że **wzrost stężenia NO_2 o $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ przez 2 tygodnie powoduje 20% wzrost częstości zachorowań** na choroby dróg oddechowych wśród dzieci. Pacjenci chorzy na astmę lub drogi oddechowe COPD są szczególnie wrażliwi na działanie NO_2 na ich płuca.

NO_2 przekształca się w cząstki azotanów – jest to znaczący składnik cząstek PM_{10} i związanego z nim zanieczyszczenia powietrza w miastach. NO_2 reaguje ze związkami organicznymi w atmosferze zwiększając ich toksyczność.

Mortality ratio in function of concentration of fine dust PM 2.5 [Dockery 93]



Rys. 2.11 Wyniki wielkich badań przekrojowych w typowych miastach USA [Dockery, 93]. Nawet przy niskich stężeniach pyłu, poniżej wartości zalecanych przez WHO, widać ujemny wpływ skażeń na nasze zdrowie.

Wpływ zanieczyszczenia powietrza na umieralność określony w badaniach dużych populacji

Badanie	Zanieczyszczenie	średnie PM ₁₀ microg/m ³	Wzrost umieralności % na 10 microg/m ³ PM ₁₀	Miejsce badań
Badania podłużne				
[Schwartz Dockery 92]	TSP	42	1.2%±0.2	Philadelphia
[Schwartz 91]	TSP	48	1.0%±0.3	Detroit
[Schwartz 92]	TSP	61	0.6%±0.2	Steubenville
[Schwartz 93b]	PM ₁₀	48	1.04% ±0.1	Birmingham
[Dockery 92]	PM ₁₀	28	1.5%±0.7	St. Louis
[Dockery 93]	PM _{2.5} ²	47	1.5%±0.2	Utah Valley
[Plagiannakos 88]	Siarczany	Not reported	1.0%±0.5	Southern Ontario
[Xu 94]	Siarczany	102	4.4% ±2	Beijing
Badania przekrojowe				
[Dockery 93]	Siarczany, PM ₁₀		7.0%±3.6	Six Cities
[Pope 95]	PM _{2.5}	36	3.86%	USA, 151 areas

¹.Time-Series Mortality Studies cytowane wg [Rowe 95] który stosował następujące przeliczenia:

0.55 x TSP = PM10

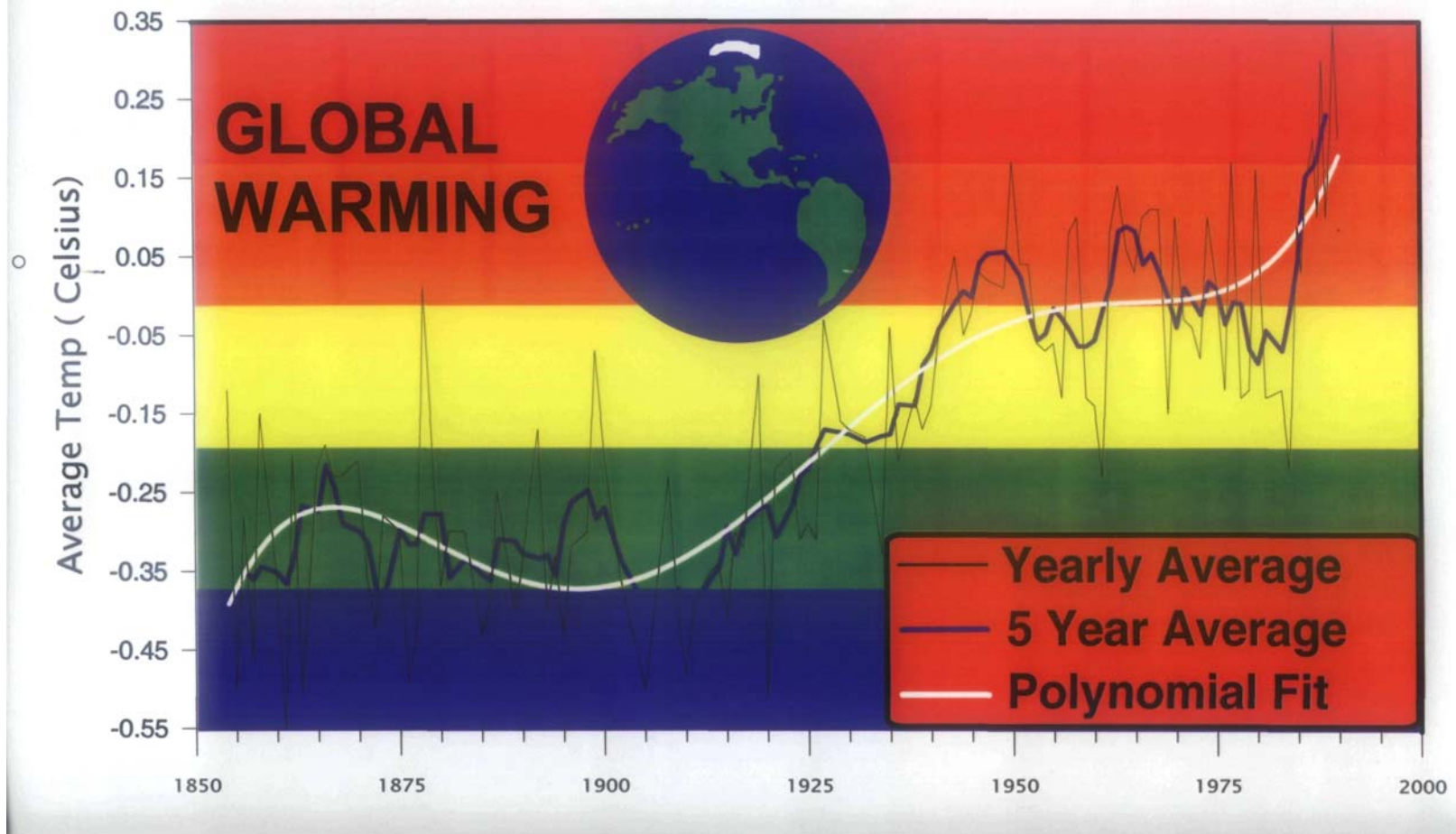
Siarczany/.25 = PM10

² Dane Pope przeliczono z PM2.5 na PM10 stosując zależność **0.55xPM10 = PM2.5** [ExternE 98]

Ograniczenia zanieczyszczeń powietrza

WHO 95/EC 98* wytyczne dla Europy

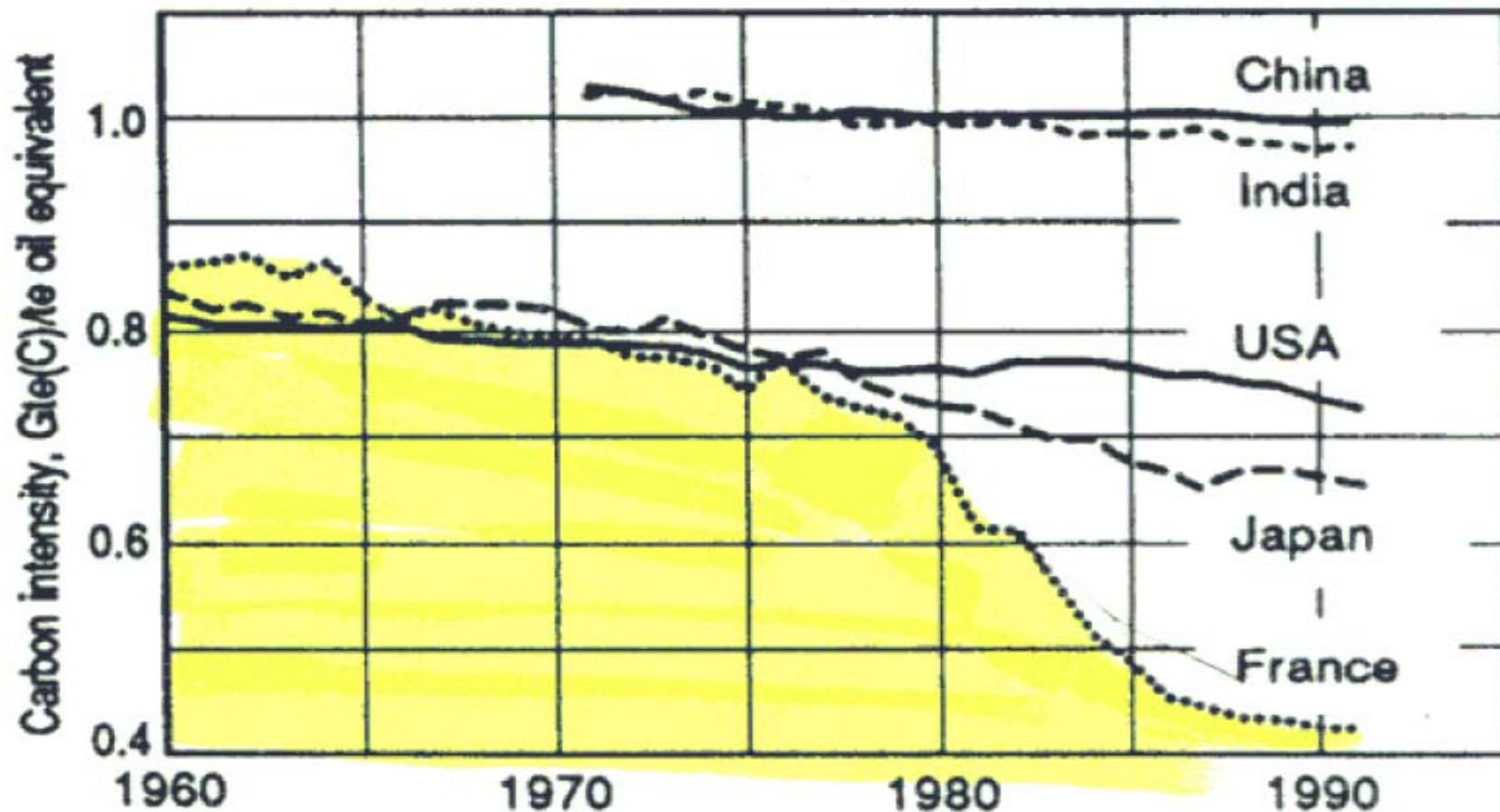
- **ozon**: 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na 8 godzin,
- **SO₂**: 500, 125/125 i 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na 10 min, 24 godz i 1 rok,
- **NO₂**: 200/200 i 40/40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na 1 godz i 1 rok, .
- **TSP**: 150-230 i 60-90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na 1 godz i 1 rok,
- **PM₁₀** : 70/30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na 24 godz
- **Pb**: 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na 1 rok
- *rekomendacje, będą obowiązywać od 2010

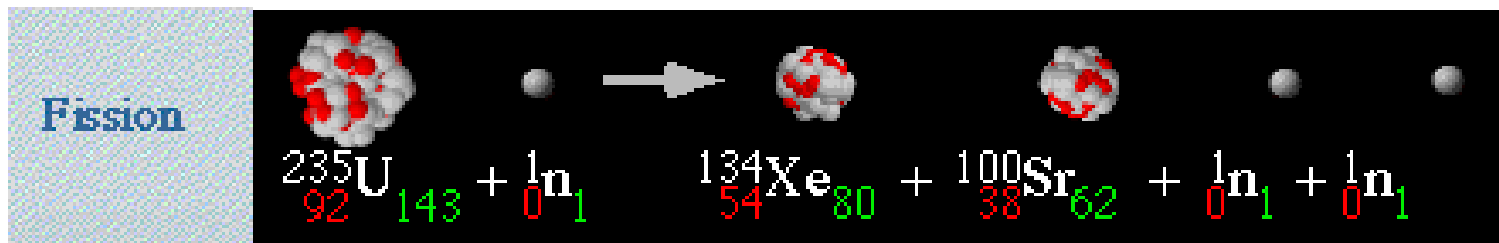


Rys. 2.12 Zmiana klimatu. Trudności dla twórców modeli:

1. Jak przedstawić i wycenić skutki zmiany klimatu?;
2. Jak uwzględnić możliwe zdarzenia o małym prawdopodobieństwie i ogromnych skutkach, np. zmiana kierunku Golfstromu?
3. Czego można oczekiwać od krajów rozwijających się?
4. Jak stworzyć spójny model całościowy?
5. Jak te oceny powinny wpłynąć na politykę?

Rys. 2.13 Energetyka jądrowa pomaga zmniejszyć emisje gazów cieplarnianych (ale nie wszyscy o tym wiedzą)



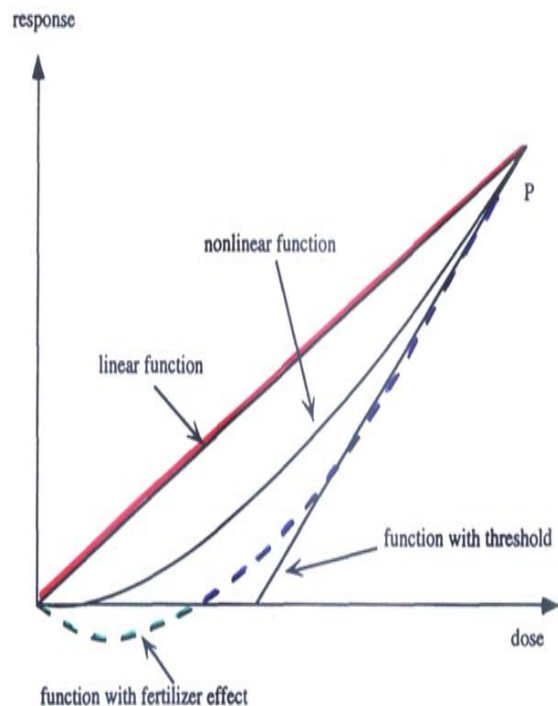


Rys. 3.1 Rozszczepienie daje energię... i produkty rozszczepienia.

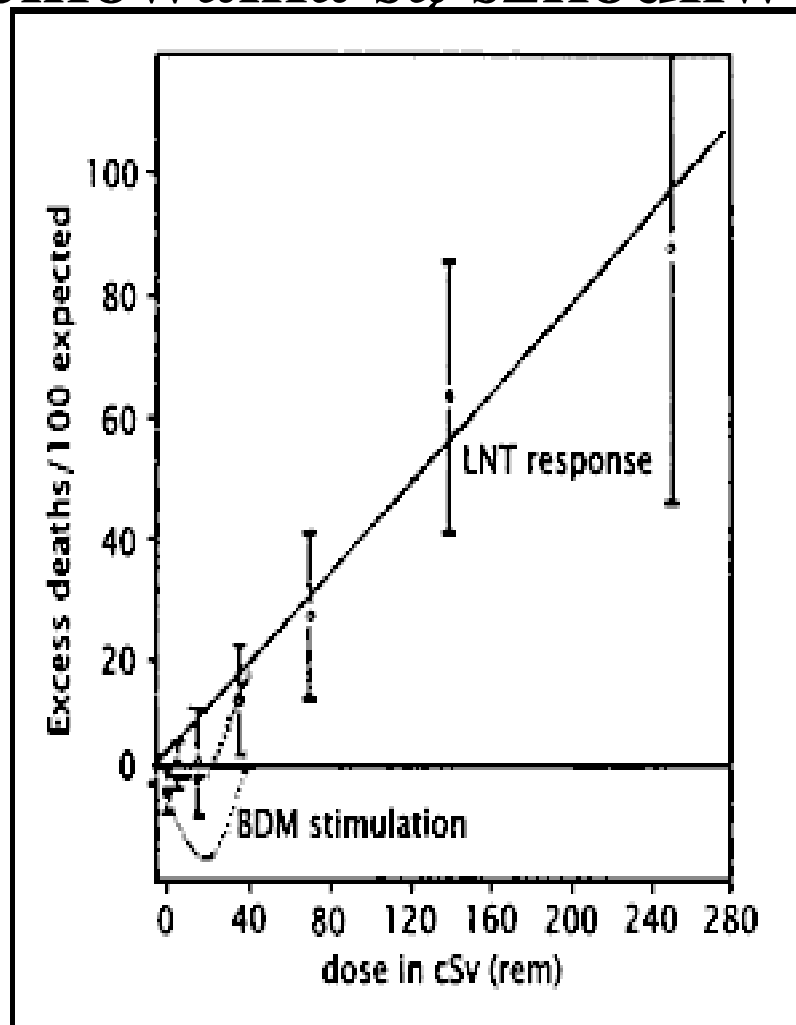


Rys. 3.2 Czysta elektrownia jądrowa w Loviisa, Finland

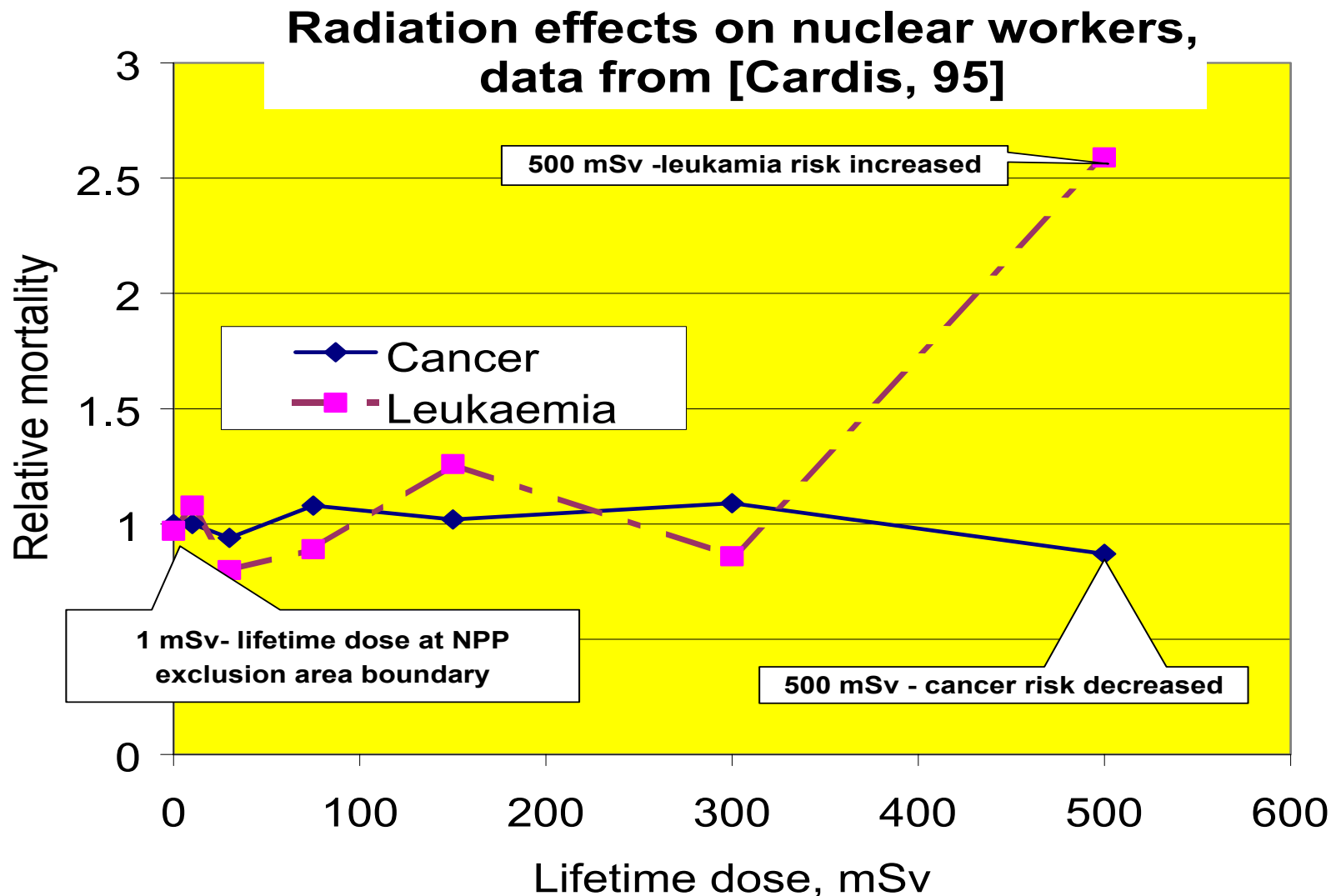
Czy małe dawki promieniowania są szkodliwe?



Possible behavior of dose-response functions at low doses. (The four functions shown have the same value at P).



Rys. 3.3 Możliwe modele odpowiedzi na małe dawki promieniowania



Rys. 3.6 Studium 95,673 pracowników przemysłu jądrowego w 3 krajach wykazało że przy dawkach 20-50 mSv umieralność na raka wyniosła 94% umieralności w grupie kontrolnej (Cardis et al. 1995).

Naturalne tło promieniowania w USA

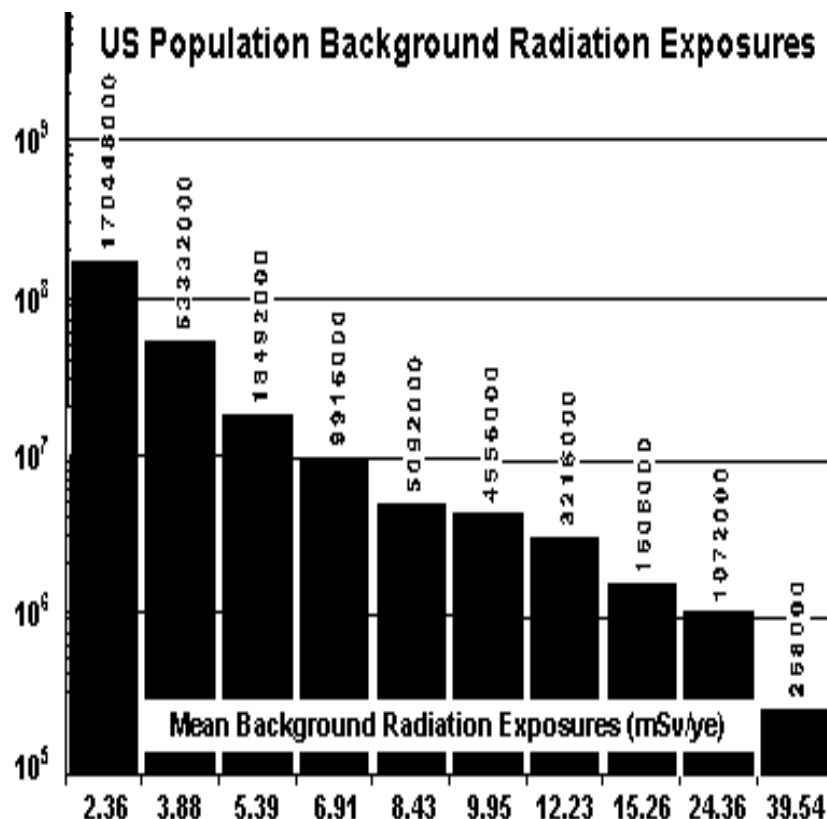


Fig. 1. Distribution of Background Radiation Exposures to US Population

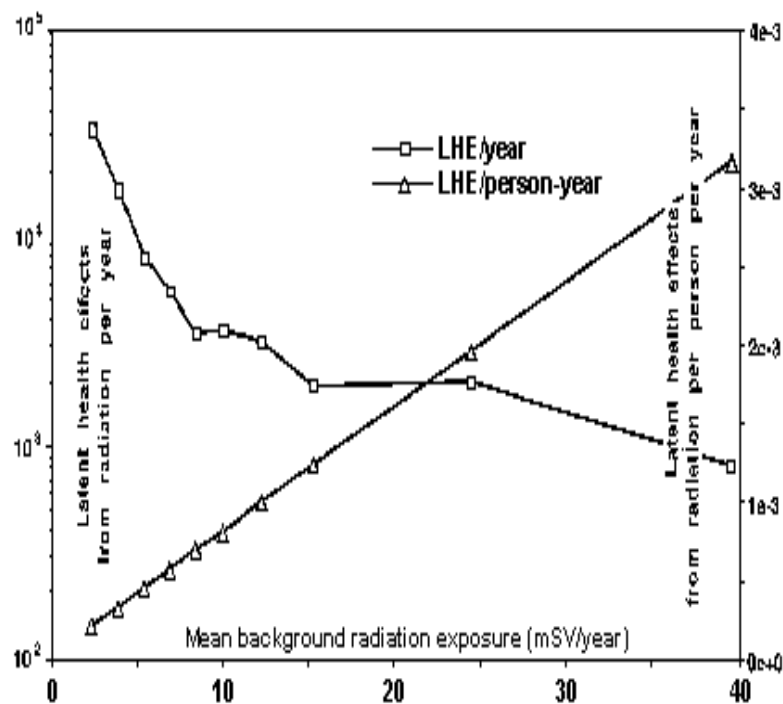
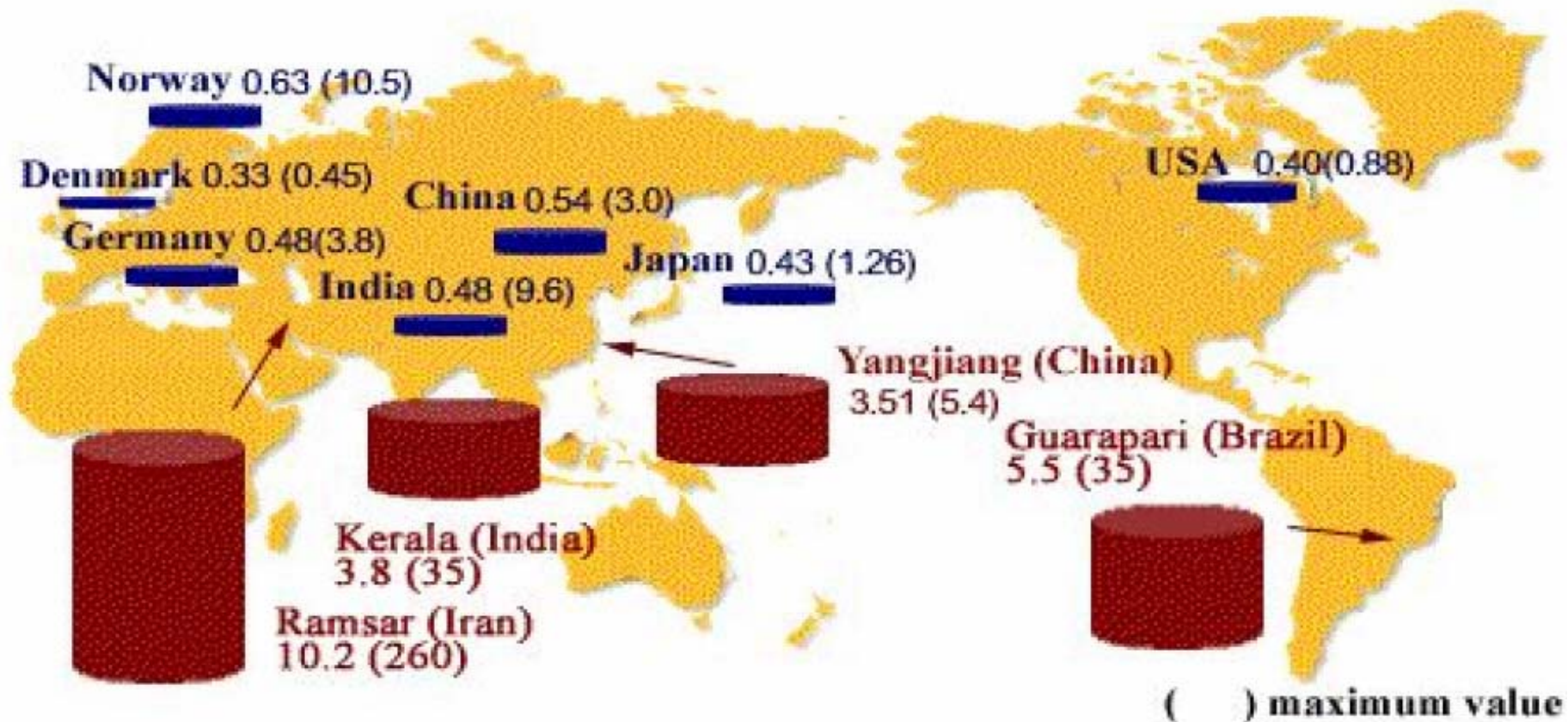


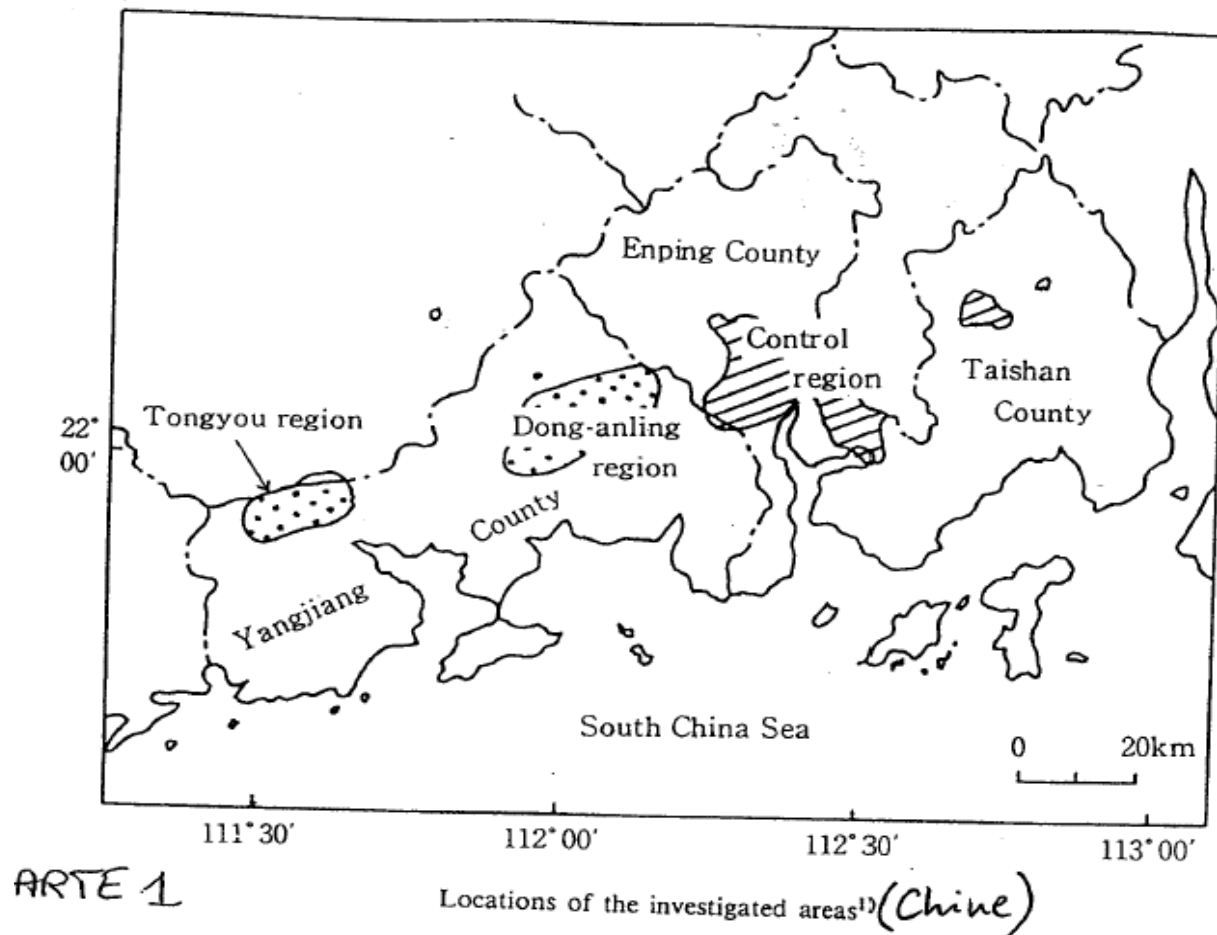
Fig. 2. Projected Latent Health Effects from Background Radiation

Rys. 3.7 W stanach USA o najwyższym tle promieniowania (CO, MT, ND, SD, UT, WY) zachorowalność na raka płuc wynosi $4.4 \cdot 10^{-4}$, co stanowi tylko 14% wskaźnika wynikającego z modelu LNT. Natomiast w stanach USA o najniższym tle promieniowania (ID, WA) średnia zachorowalność na raka płuc to $7.3 \cdot 10^{-4}$ tj. 390% wskaźnika wynikającego z modelu LNT.



Rys. 3.9 Średnie roczne dawki promieniowania w rejonach świata, mGy/rok

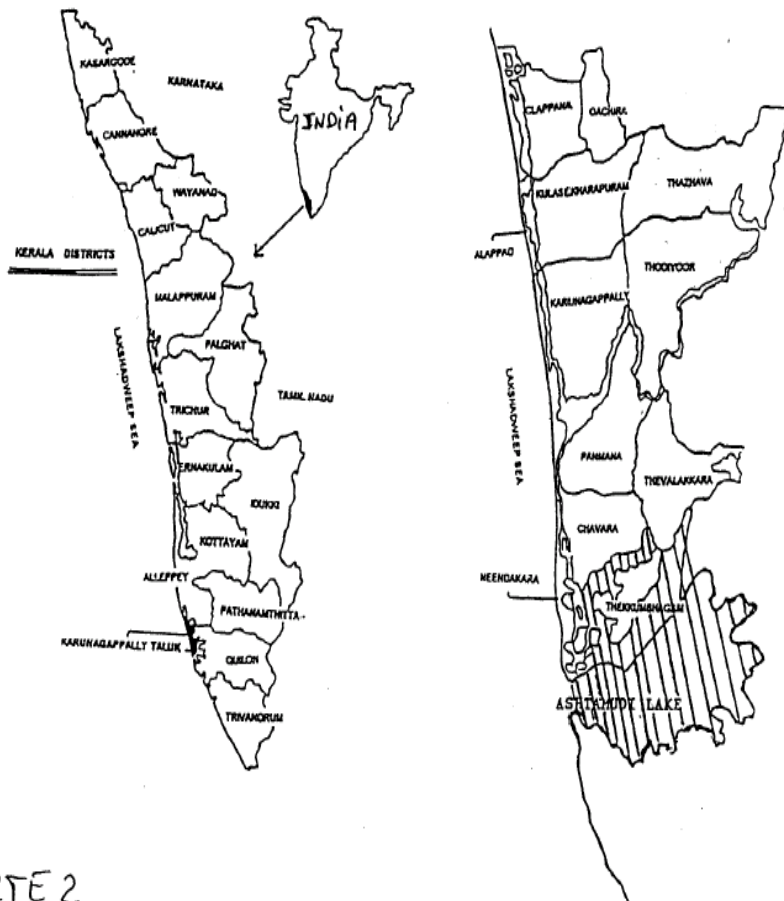
Kraj	Rejon	Populacja	Moc dawki pochłoniętej w powietrzu (nGy h ⁻¹)
Brazylia	Guarapari	73 000	90-170 (street)
Iran	Ramsar	2 000	90-90 000 (beaches)
Indie	Kerala	100 000	70-17 000
Chiny	Yangjiang	80 000	200-4 000
			370 (średnio)



Rys. 3.11
Yangjiang, China o
wysokim tle
promieniowania.

Laureatka Nagrody
Nobla , Prof. Dr.
Rosalyn Yalow:
„Podobnie brak
różnic stwierdzono
w rejonach o
wysokim
promieniowaniu w
Brazylii i w
Indiach.”

Stosunek dawek w HBRA do CA: 3.5 w domu, 3.7 na dworzu.
Efekty dobroczynne są silniejsze od negatywnych [Wei, 97].
Umieralność na raka (na 100,000 osobo lat) 51.41 w HBRA,
64.31 w rejonie kontrolnym CA [ZuFan Tao 97].



**Rys. 3.12 Kerala, India. Średnie
dzienne wchłanianie Ra-228
przez populację w rejonie
monazytowym w Kerala jest około
40 do 50 razy większe
niż średnie na świecie.**

Wskaźniki: płodność; umieralność
niemowląt; poronienia; uszkodzenia
płodni.

**Nie wykryto ujemnych
skutków promieniowania w
HBRA [Kesavan 97a]**

ARTE 2

Left panel: Map of Kerala state showing districts. Right panel: Map of Karunagappally taluk showing sub-divisions.

Płodność obejmuje też zdolność do życia embrionu. Niedożywiona ludność w Kerala dostaje dawki promieniowania 4-8 razy większe niż średnie w innych bogatszych rejonach. Mimo to wskaźnik płodności w Kerala jest wyższy, a liczba zgonów noworodków mniejsza niż w jakimkolwiek innym rejonie Indii. [Luckey 91]

Obszar o wysokim tle promieniowania w Ramsar, Iran

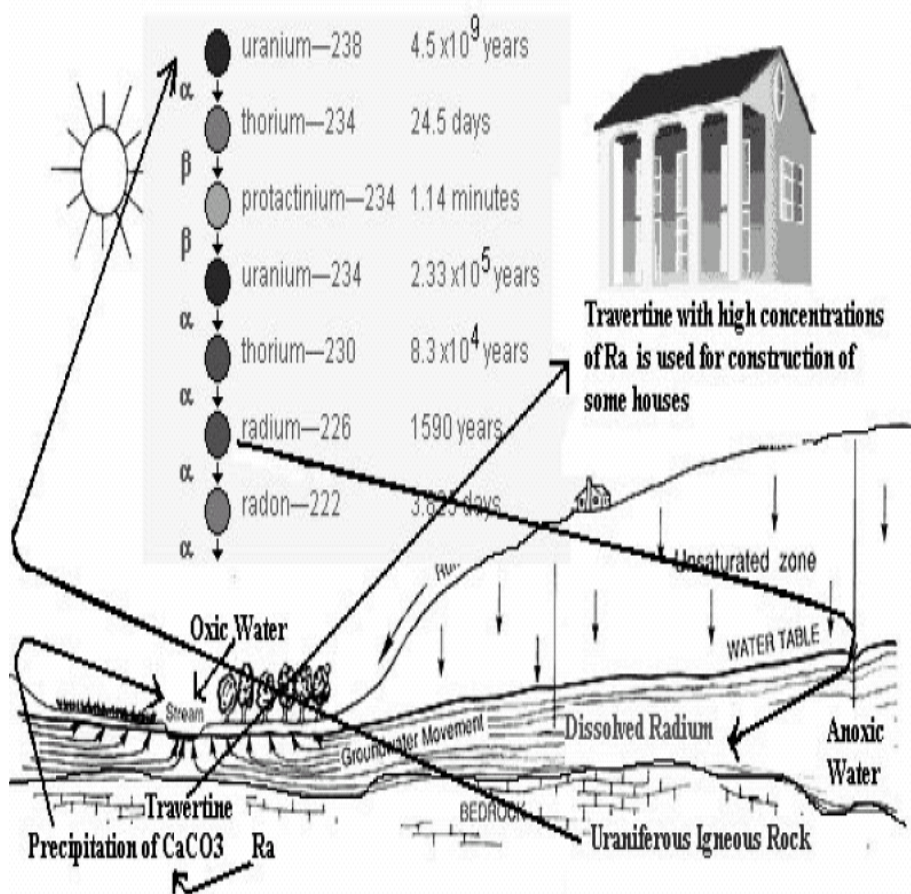
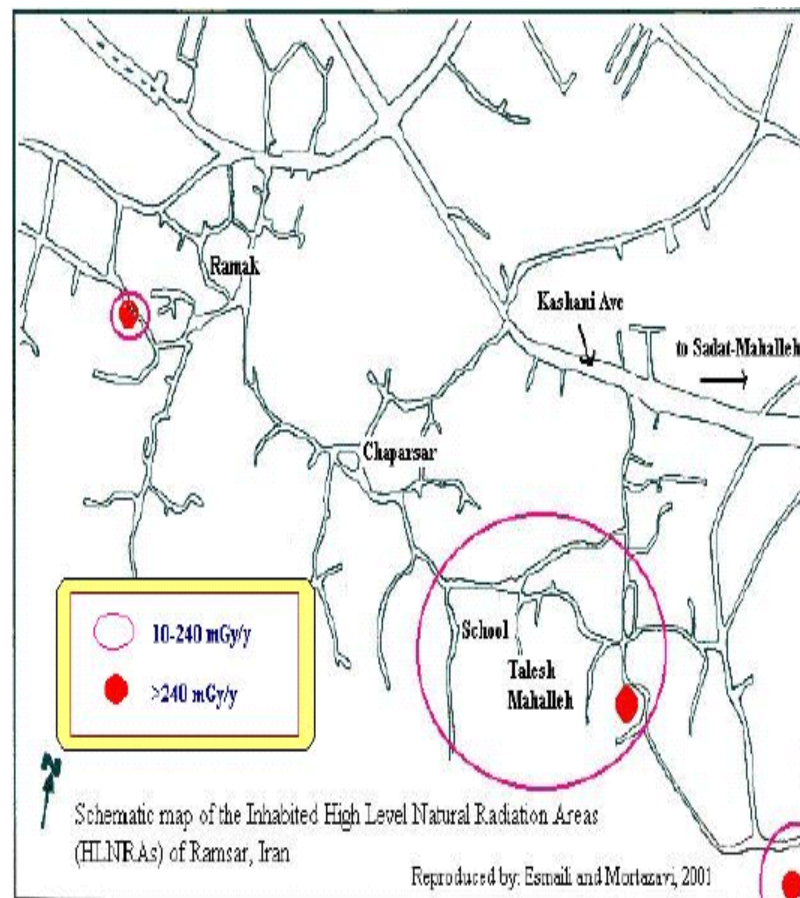


Fig. 3.13 Źródła promieniowania w Ramsar, Iran



Rys. 3.14 Mapa Ramsar, Iran

Hot Bedroom!

Two survey meters show the dose rates of **142** and **143** μ Gy/h on the wall of the bedroom of one dwelling. The owner has used the sedimentary stones formed at hot springs for construction of his house.



Mortazavi SMJ, Lessons learned from Ramsar Studies, Karlsruhe 2003

Rys. 3.15 Dawki w Ramsar, Iran:
0.142 mSv/h x 8600 h/rok x70 lat= 88 Sv !

Dom w Ramsar:
wiele pokoleń
otrzymywało w ciągu
70 lat 17,000 mSv (240
razy więcej niż obecne
limity ICRP dla
społeczeństwa).
Ale nie występował
wzrost żadnych
zachorowań, a
osiągany wiek
dochodził do 110 lat
(Sohrabi 1990)."



Wysokie moce dawki są też we Francji, Finlandii, USA...

Np. w USA średnio **0,4 miliSv/rok**, ale na Kapitolu i w Bibliotece Kongresu moc dawki od ścian wynosi $0.3 \text{ mSv/h} =$
2.6 miliSv/rok

Dla porównania – średnia moc dawki od wszystkich EJ na świecie **0,2 mikroSv/rok** – **13 000 razy mniej!**

A moc dawki od składowiska wysokoaktywnych odpadów Yucca Mountain - do **0,15 miliSv/rok**.

Wysokie moce dawki są też na dworcu autobusowym Central Station w New Yorku – ale nikt nie proponuje ewakuacji Kapitolu ani dworca!

Populacja narażona na promieniowanie	Liczba osób/średnia dawka	Umieralność w stosunku do grupy kontrolnej
Rejon w Chinach	80 000/5,5 mSv na rok, 274 mSv przez 50 lat	Niższa o 14,6% [Wei 97]
Pracownicy nuklearni, USA, Kanada, UK	95 000/80% poniżej 50 mSv	Niższa o 7%/Sv [Cardis 95]
Pracownicy nuklearni, Japonia	115 000/14 mSv	Znacznie niższa [Hosoda 97]
Stocznia Shippingport, USA	70 000/28 500 ponad 5 mSv, inni poniżej 5 mSv	Niższa o 24% [Matanoski 91]
Ośrodek jądrowy w Hanford, USA	44 154/23 mSv	Niższa [Gilbert 93]
Pacjenci, diagnostyka J-131	34 000/1100 mSv	Częstość raka dorosłych b.z. [Hall, 96]
USA rejony o wysokim promieniowaniu kosm.	43 rejonów w USA, 0,6-1,6 mSv/rok	Niższa [Hickey 81]
USA, Domy wysokie stężenie radonu	1601 rejonów 90% of ludności USA	Niższa [Cohen 95]
Brytyjscy radiolodzy w okresie 1955-1979	1352 osób/100 mSv, gr. kontr.- lekarze ogólni	Niższa o 32%, rak o 29% [Berrington 01]

A więc, czy małe dawki promieniowania są szkodliwe?

Obserwacje w dużych populacjach: małe dawki promieniowania nie wywołują szkodliwych skutków.

To nie dowodzi, że promieniowanie jest dobroczynne. Ale **nawet jeśli są efekty szkodliwe, nie da się ich stwierdzić.**

Ale we wszystkich porównaniach różnych źródeł energii, aby uniknąć zarzutu, że faworyzujemy energię jądrową, **zakłada się, że nawet małe dawki promieniowania wiążą się z ryzykiem** według hipotezy o zależności liniowej skutków od dawki (LNT) .

Dopuszczalne poziomy zanieczyszczenia powietrza produktami spalania

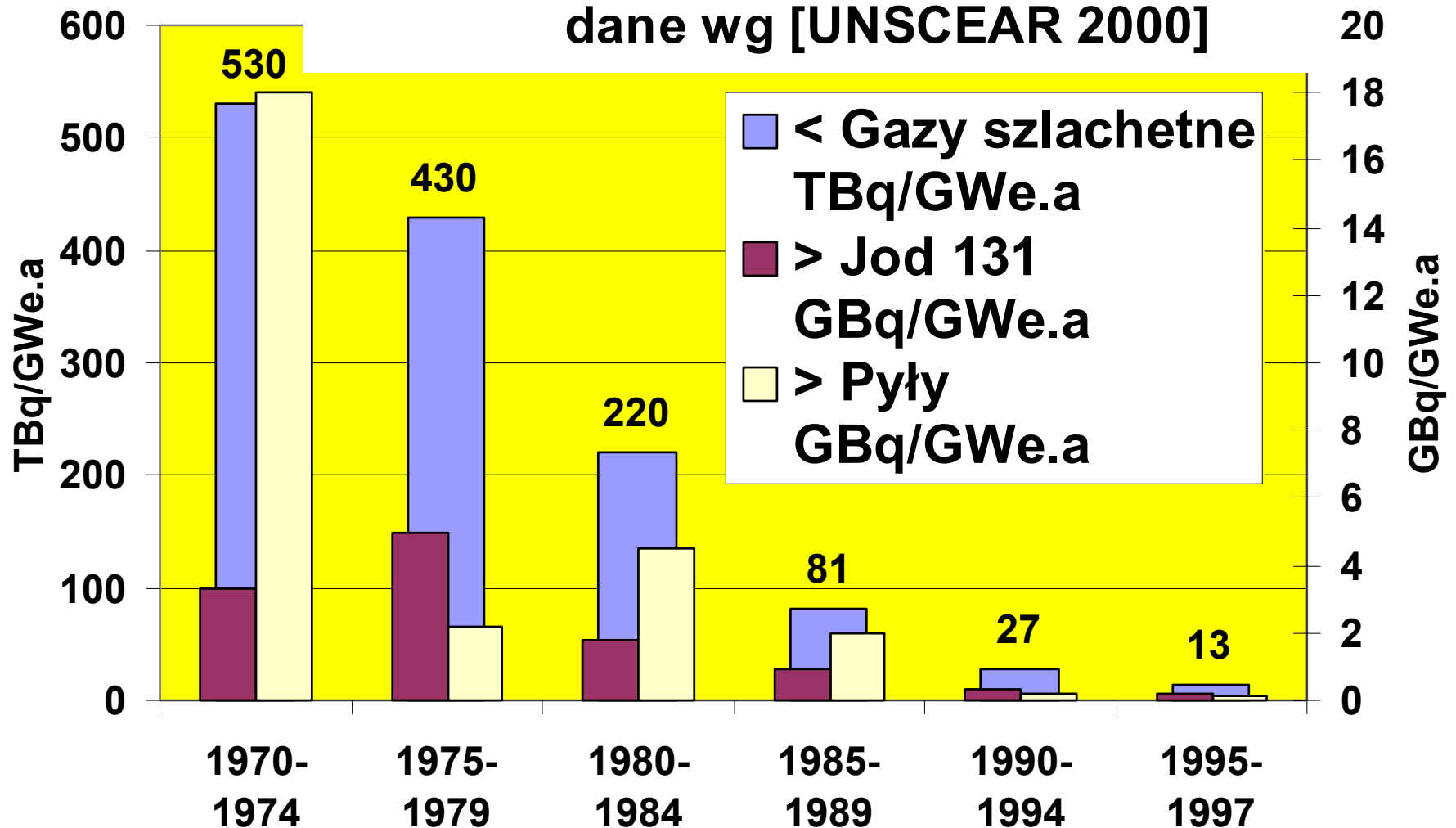
- Poziomy dopuszczalne zanieczyszczenia powietrza produktami spalania ustalono znacznie powyżej tła naturalnego. NP. w. USA średnie roczne dopuszczalne stężenia PM_{10} i SO_2 wynoszą odpowiednio 50 i 80 $\mu g/m^3$. Naturalny poziom tła SO_2 to 1 $\mu g/m^3$ a PM_{10} od 1 do 10 $\mu g/m^3$, zaś znaczące skutki zdrowotne PM widać przy poziomie powyżej 15 $\mu g/m^3$.
- Rada UE ustaliła w 1999 r. wartości docelowe średnich stężeń rocznych jako 20 $\mu g/m^3$ dla SO_2 , 40 dla NO_x (2010) i 40 $\mu g/m^3$ 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.

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 1990 liczba takich osób w USA wyniosła 74 miliony a w 1996 – 86 milionów.

Emisje z reaktorów PWR na jednostkę energii, dane wg [UNSCEAR 2000]



Dawki powodowane przez emisje z EJ

- Komitet Souleau (Francja) oszacował, że max. dawka odpowiadająca dopuszczalnym emisjom z EJ wynosi **0.3 mSv/y**.
- Roczne dawki poza EJ powodowane przez wszystkie emisje w 1992 wyniosły średnio **0.001 mSv/rok**, podczas gdy limit dla społeczeństwa był 5 mSv, a dla pracowników 50 mSv. Podobne wartości wystąpiły w następnych latach.
- Wg raportu za rok 1995 uwolnienia ciekłych i gazowych produktów radioaktywnych ze wszystkich obiektów cyklu jądrowego z zakładami przerobu paliwa wypalonego łącznie nie miały mierzalnego wpływu na zdrowie ludzi, a moce dawki były krańcowo małe, rzędu 0.01 mSv/rok, tj. **poniżej 1/200 tła**.
- Np. wokoło EJ Flamanville (PWR 2x900 Mwe), moce dawki od wszystkich emisji z EJ w 1995 r. wyniosły

Dawki promieniowania powodowane przez zakłady przerobu paliwa wypalonego

Moc dawki dla grupy krytycznej mieszkańców koło zakładów przerobu paliwa wypalonego La Hague wyniosła 0.02 mSv/rok.

Zaniepokojenie wywołało wykrycie – 4 przypadków białaczki zamiast oczekiwanych 1.4 w okresie 1978-1992 (na granicy istotności statystycznej).

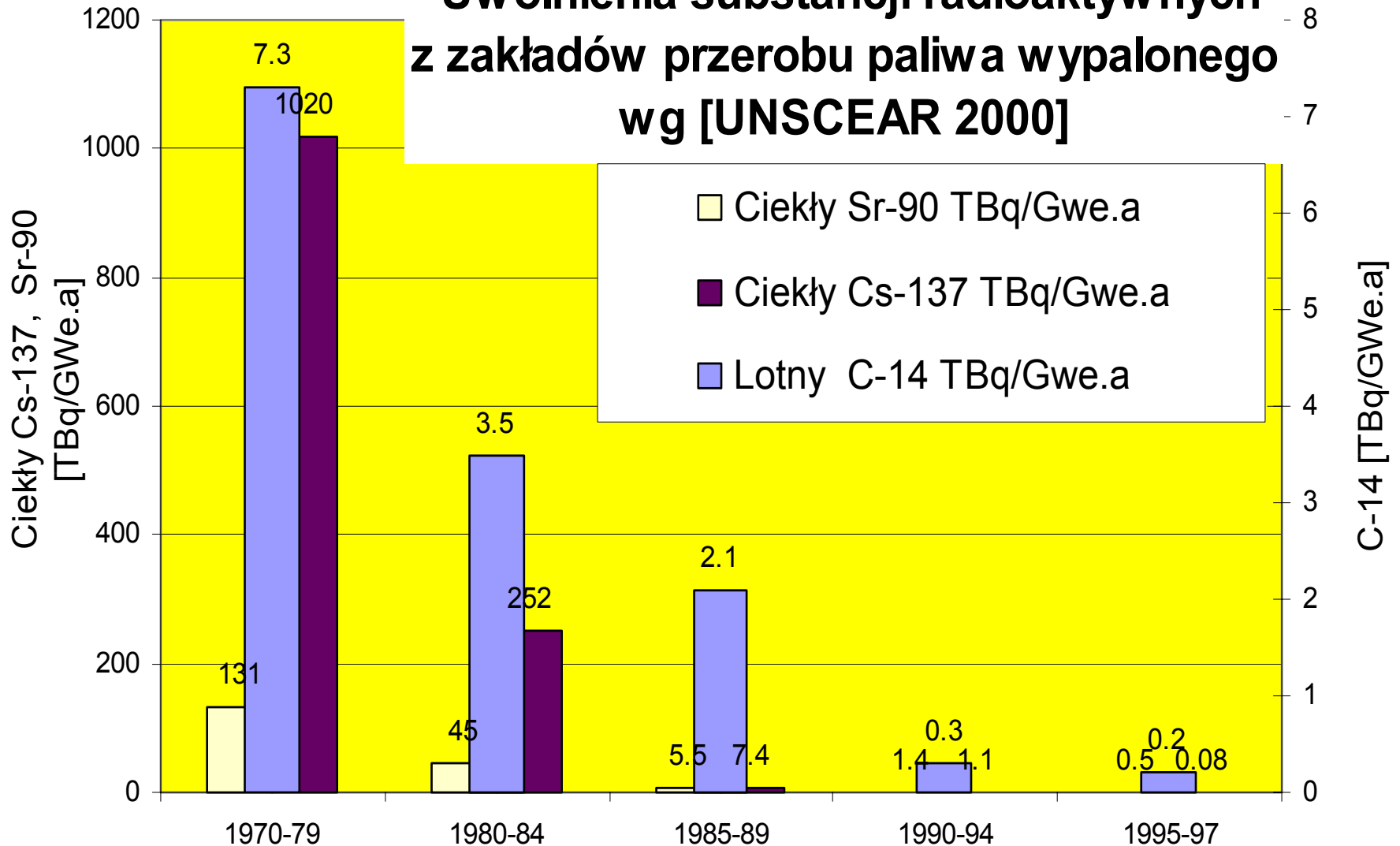
Minister ochrony środowiska i sekretarz stanu ds. zdrowia we Francji powołali Komitet Naukowy dla zbadania tej sprawy..

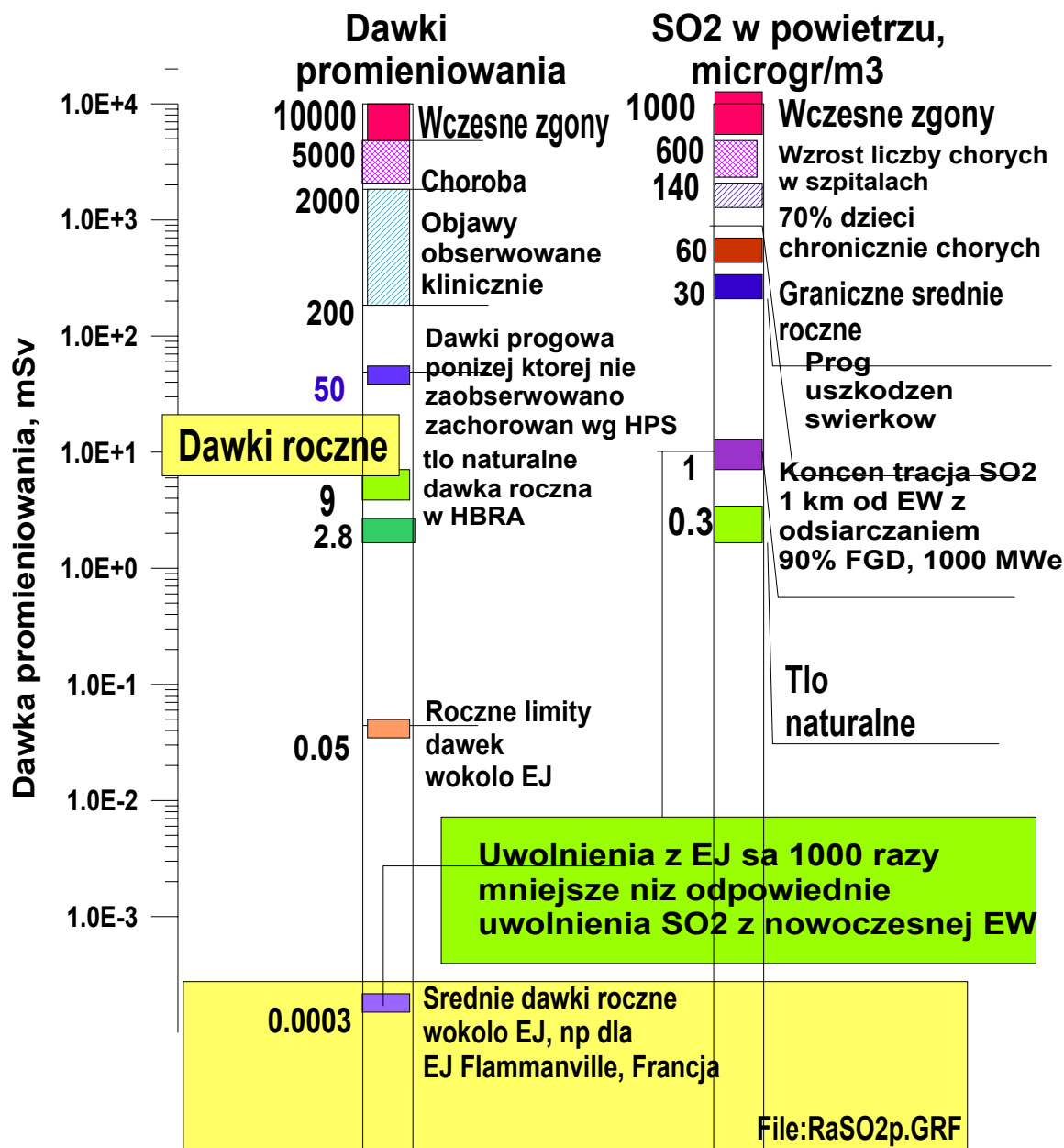
Komitet stwierdził, że całkowita liczba przypadków białaczki, którą teoretycznie (LNT) mogły spowodować uwolnienia z zakładów w całej kohorcie badanej w okresie **1978-1996 wyniosła 0.835**.

Naturalne tło promieniowania i napromieniowanie do celów medycznych dały główne wkłady w dawkę (74% i 24%), a ***rutynowe wycieki radioaktywne z zakładów przerobu mogły dać co najwyżej 0.0009 przypadku***, to jest 0.1% przypadków białaczki.

Wycieki z La Hague **nie były powodem zwiększenia** częstości białaczki wokoło zakładów.

Uwolnienia substancji radioaktywnych z zakładów przerobu paliwa wypalonego wg [UNSCEAR 2000]





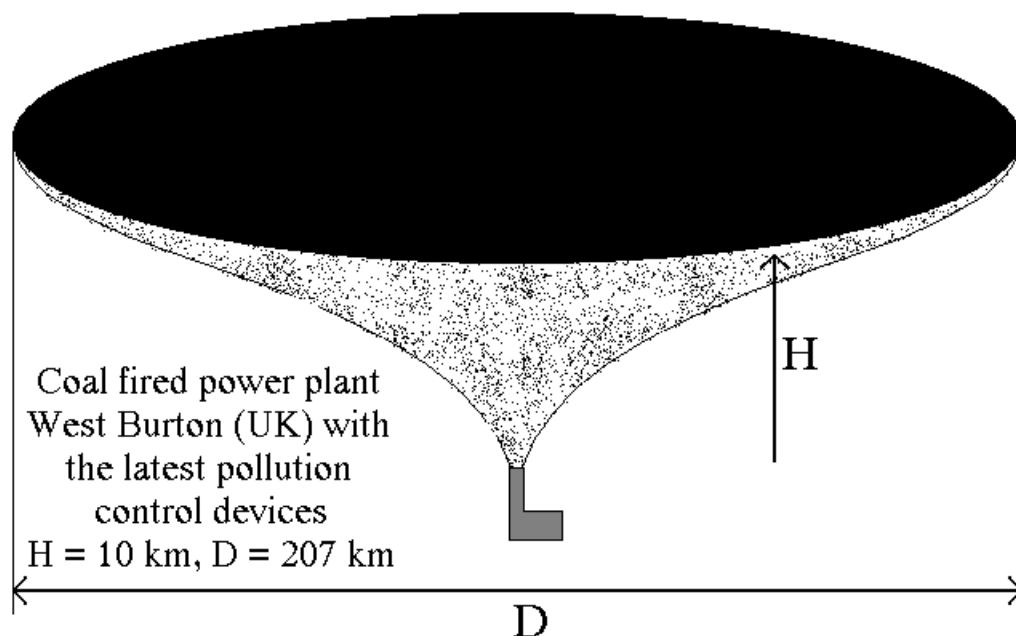
**Skutki zdrowotne,
obowiązujące
limity i wpływ
uwolnień z
elektrowni na
moce dawki
promieniowania i
poziom stężeń SO₂**

**Parametry EW
wzięte z ExterneE
95 (EW Lauffen,
Odsiarczanie
90% , 7000 ton
SO₂/GWe.a)⁷**

Emisje z elektrowni węglowych i jądrowych

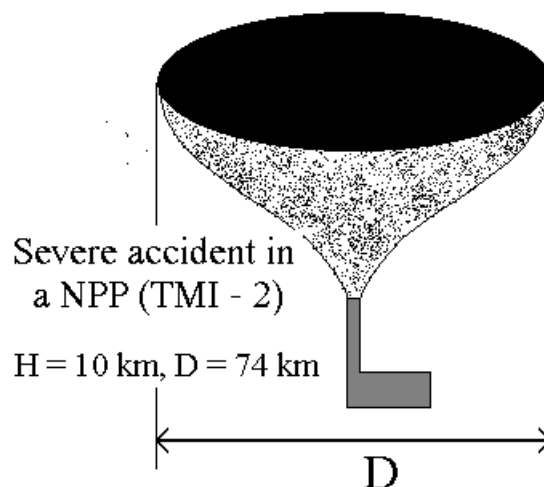
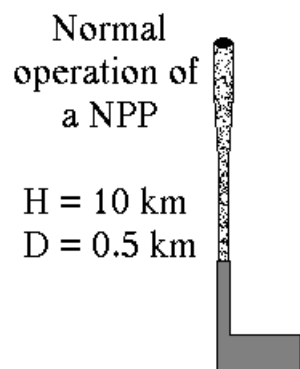
Źródło energii	Skażenie	Emisja	Dopuszczalne stężenie	Objętość skażonego powietrza
El. Węglowa OPOLE, Polska		t/GW(e).a	µg/m³	km³
	SO ₂	7095	20	354 000
	NO _x	11740	40	293 500
	PM10	350	20	17 500
EJ z reaktorami PWR w USA, dane dla 35 EJ w 1988 r. [Struipczewski 99]		Bq/GW(e)a	Bq/ m³	km³
	Kr85	2.2 E+12	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.



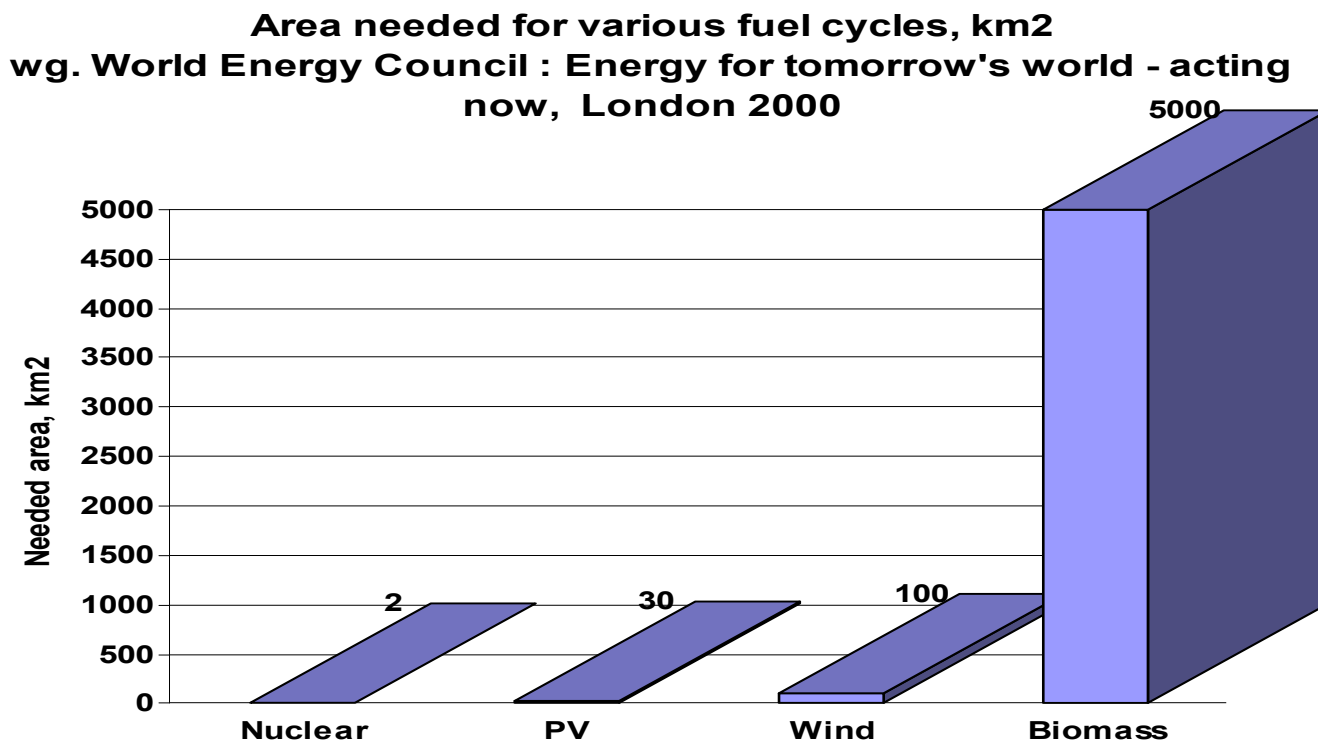
Objętość powietrza skażonego do granic dopuszczalnych wskutek rocznej pracy EW o mocy 1000 MWe z nowoczesnymi układami filtrów.

Jako miarę skażenia przyjęto objętość powietrza zanieczyszczonego do granic dopuszczalnych 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.**

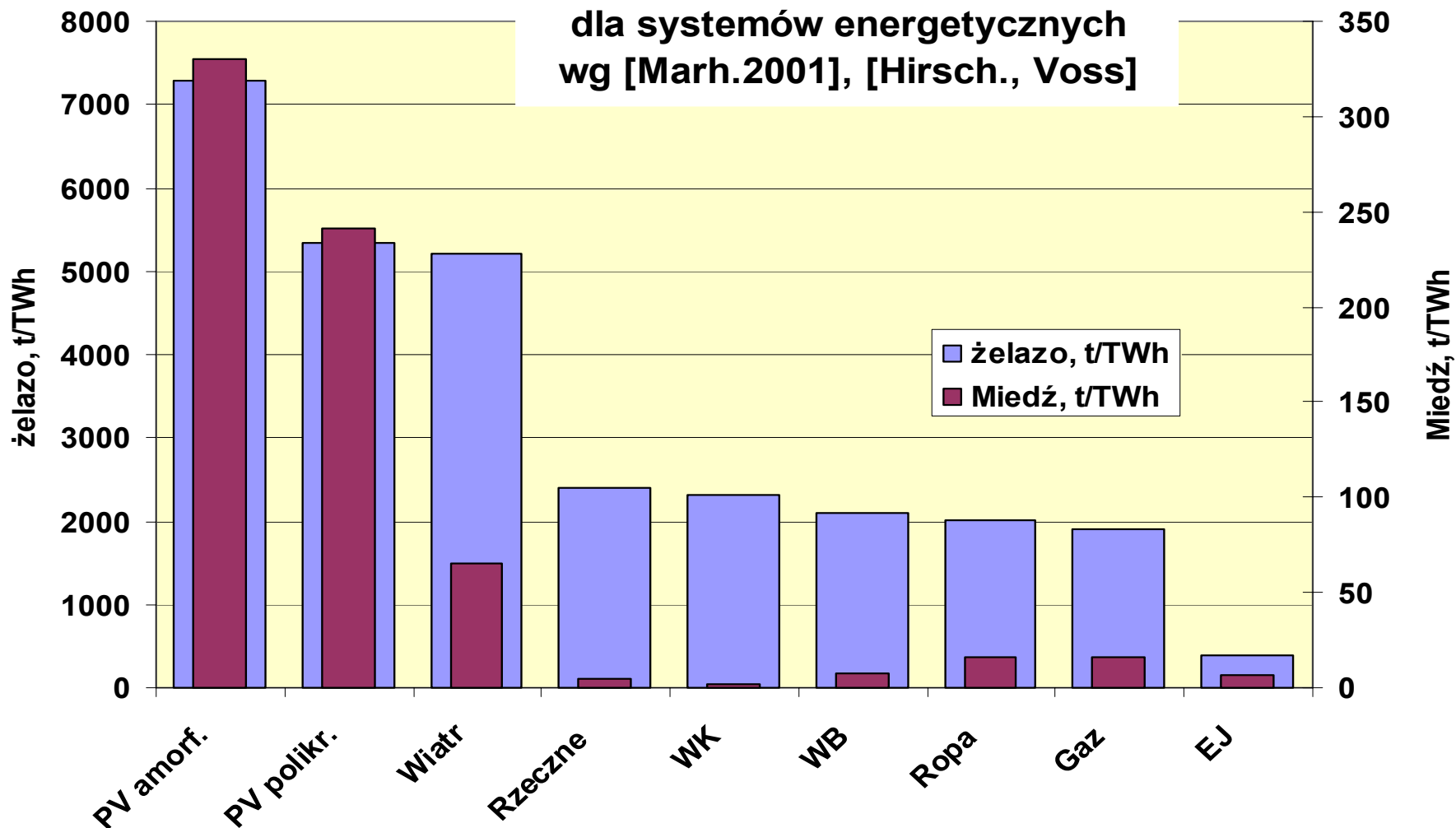


Poza-finansowe aspekty porównań

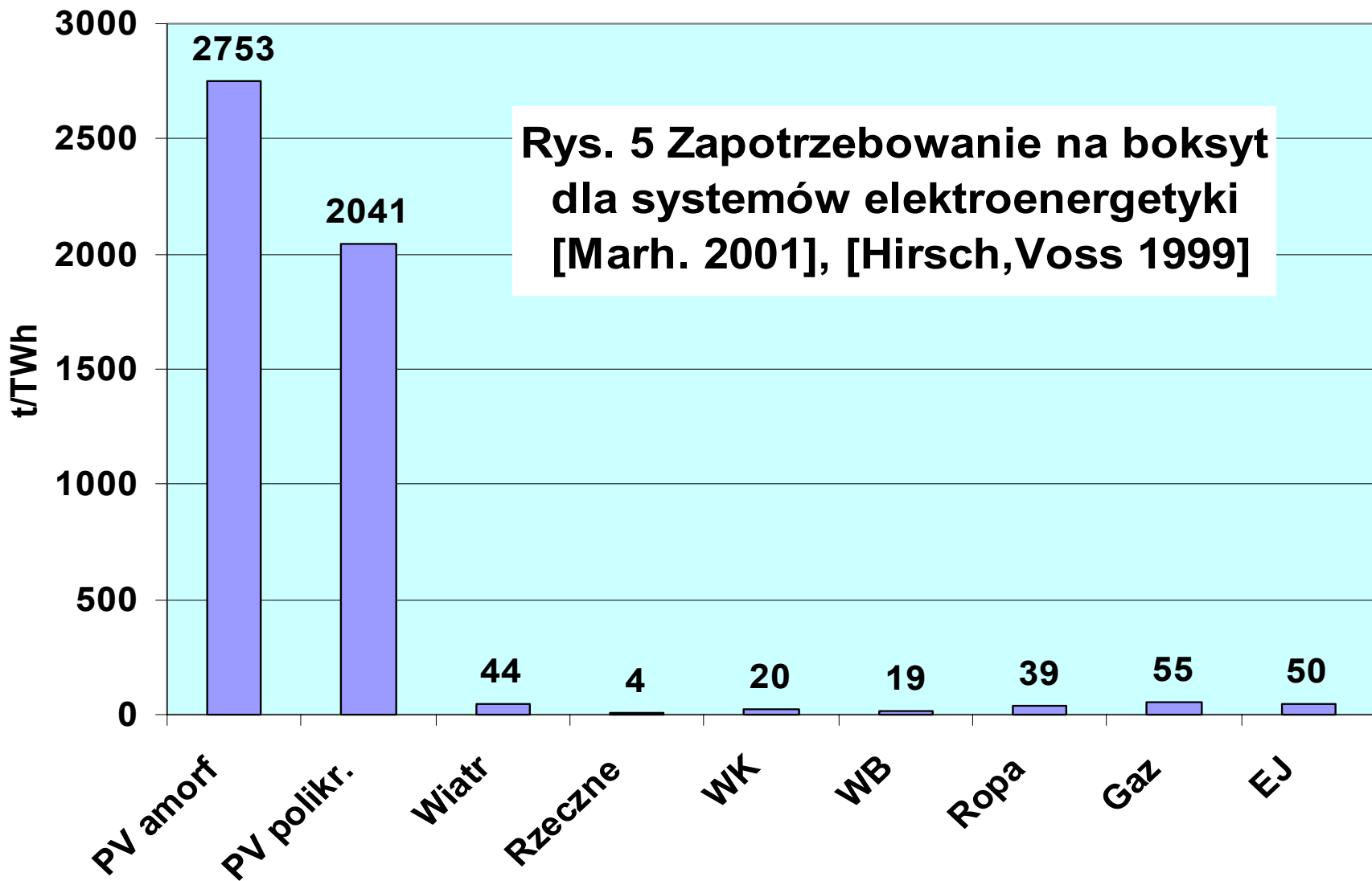
Wobec małej wydajności ogniw fotowoltaicznych PVC w skali światowej, średnia powierzchnia potrzebna dla elektrowni z PVC wynosi 33 km²/GW, a masa materiałów półprzewodnikowych 110 ton/GW. Tak wysokie wartości wskazują, że wdrożenie PVC na dużą skalę nie jest możliwe przy obecnie stosowanych półprzewodnikach a nowe materiały trzeba najpierw znaleźć..



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

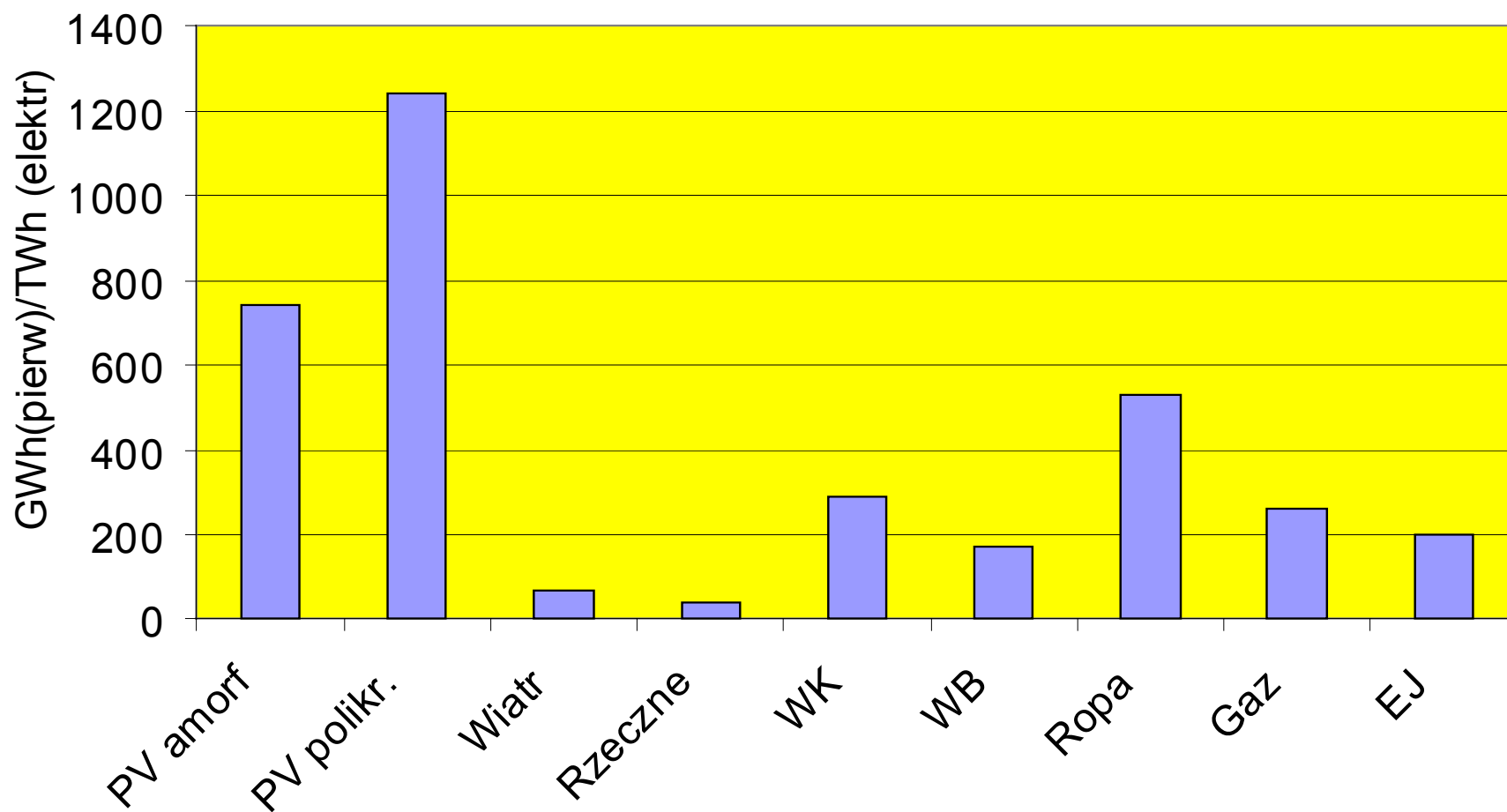


Ogniwa fotoelektryczne są najmniejszymi układami do wytwarzania energii elektrycznej, ale zużywają najwięcej metali na jednostkę energii wytwarzanej w ciągu ich życia.



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]



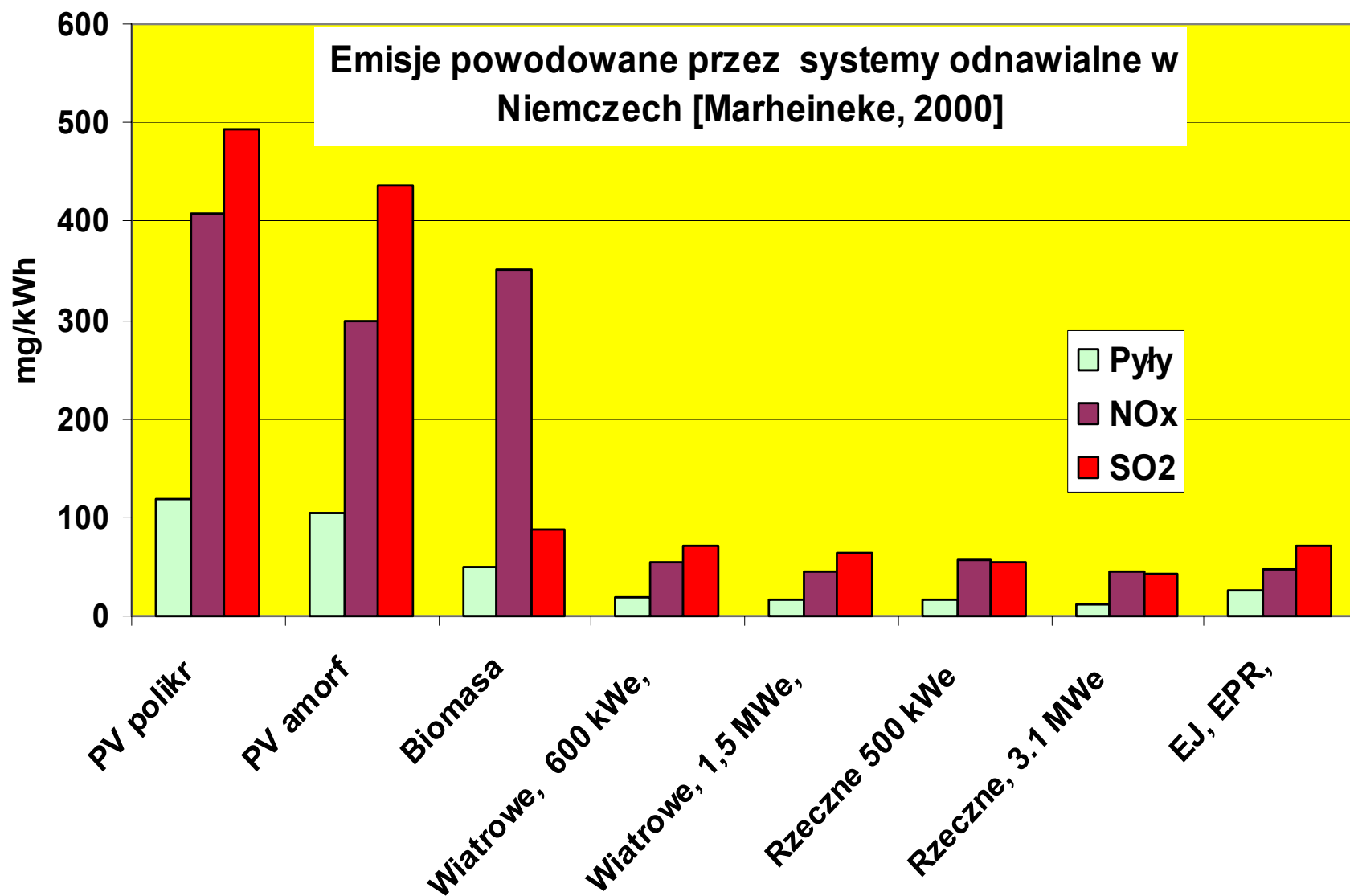
**Aby zbudować nową elektrownię potrzeba materiałów i energii.
Najwięcej energii na jednostkę energii wytworzonej w ciągu życia
potrzeba dla ogniw fotoelektrycznych**

Konieczność zapewnienia mocy rezerwowej

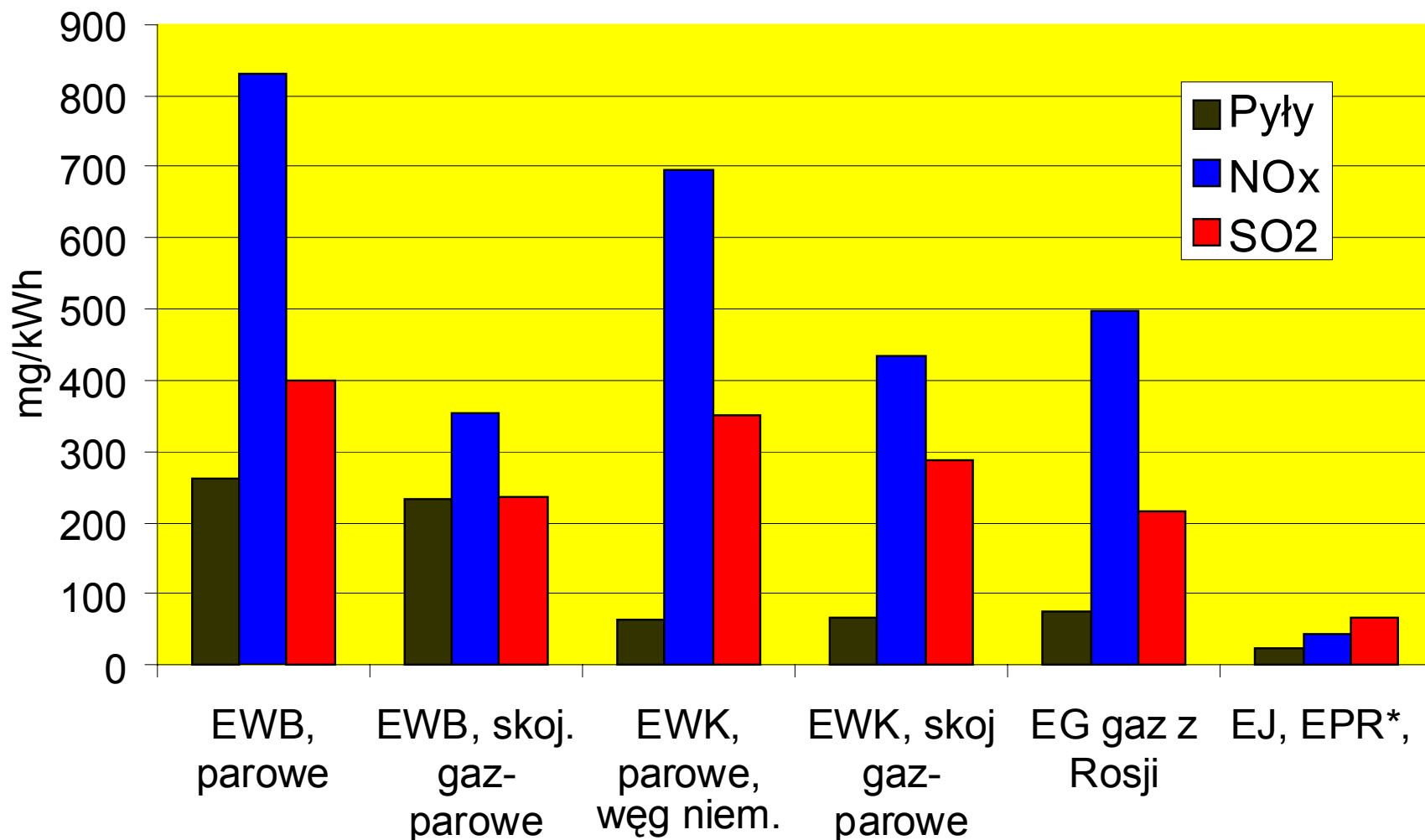
Dalsze obciążenia wynikają stąd, że źródła energii odnawialnej pracujące z przerwami, jak ogniwa pV i wiatraki, potrzebują albo urządzeń do magazynowania energii albo mocy rezerwowej systemu elektrowni węglowych lub jądrowych

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**.

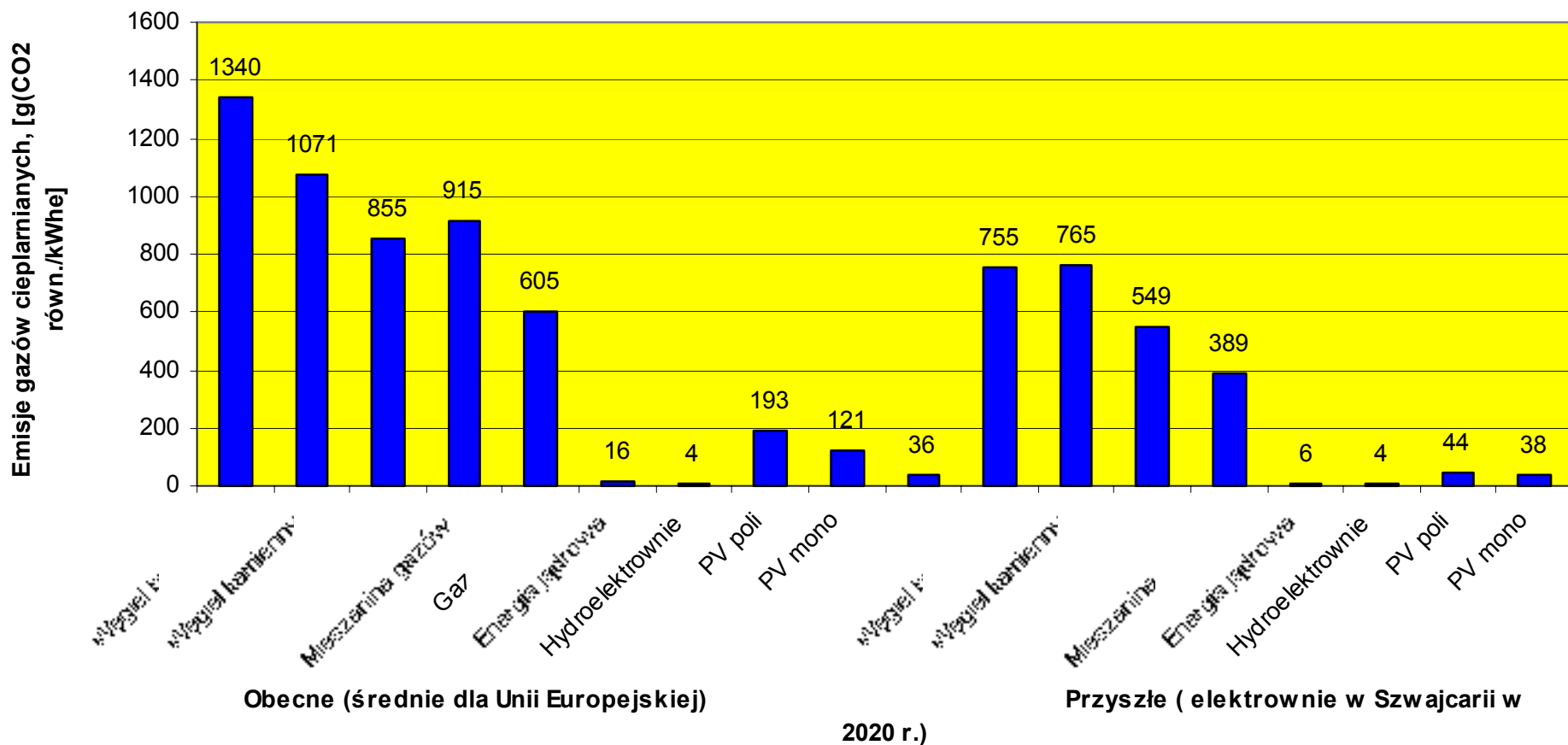
Gdy moc energetyki ze źródeł energii odnawialnej wzrośnie, problem mocy rezerwowej będzie bardzo ważny.



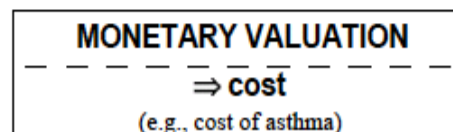
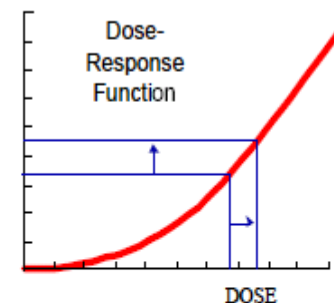
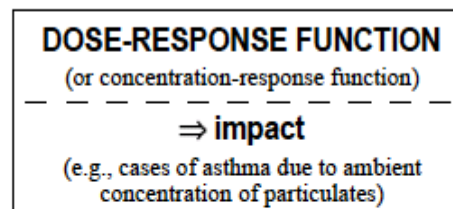
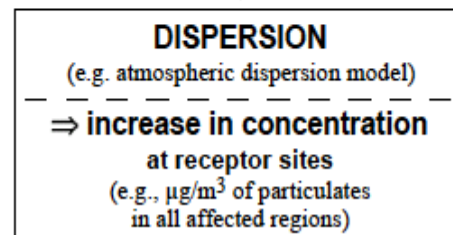
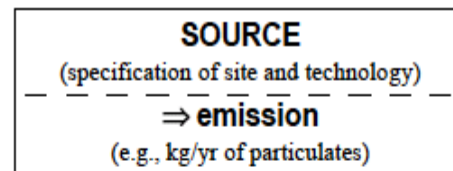
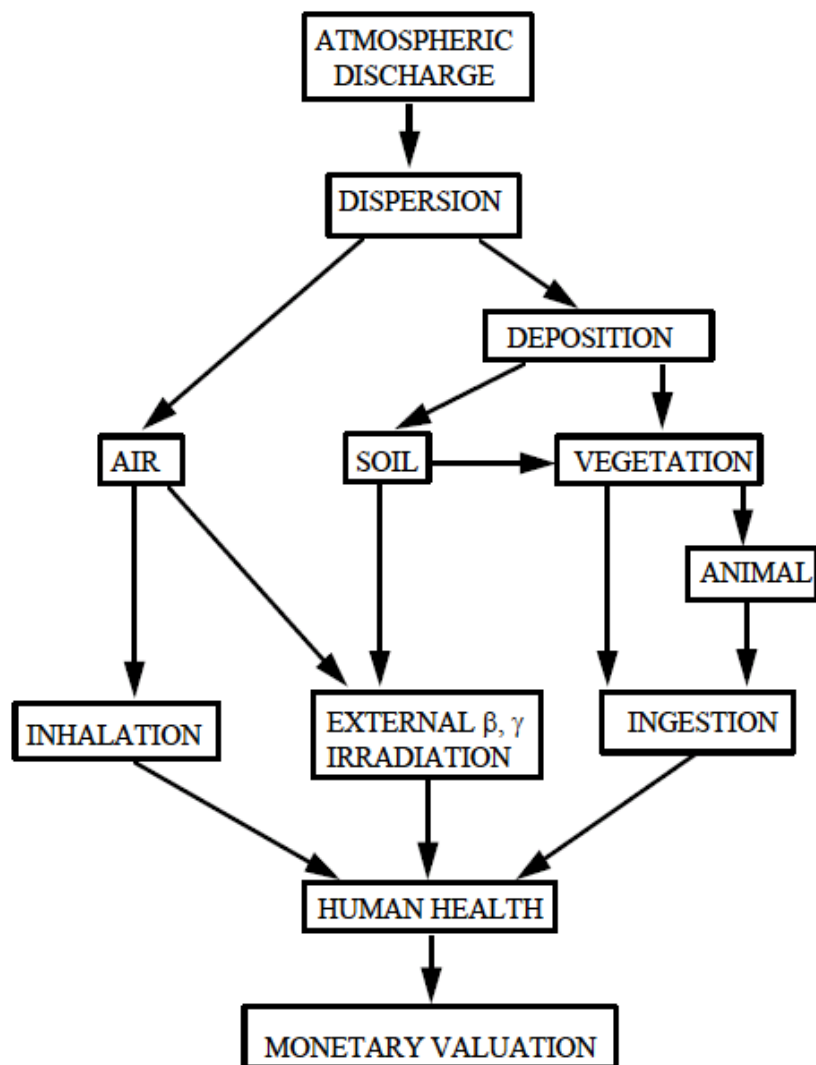
Emisje z nowoczesnych systemów energetyki konwencjonalnej i jądrowej, wg. [Marheineke 2000]



**Skumulowane emisje gazów cieplarnianych z obecnych i przyszłych systemów elektroenergetycznych,
[Hirschberg, Voss, 99]**

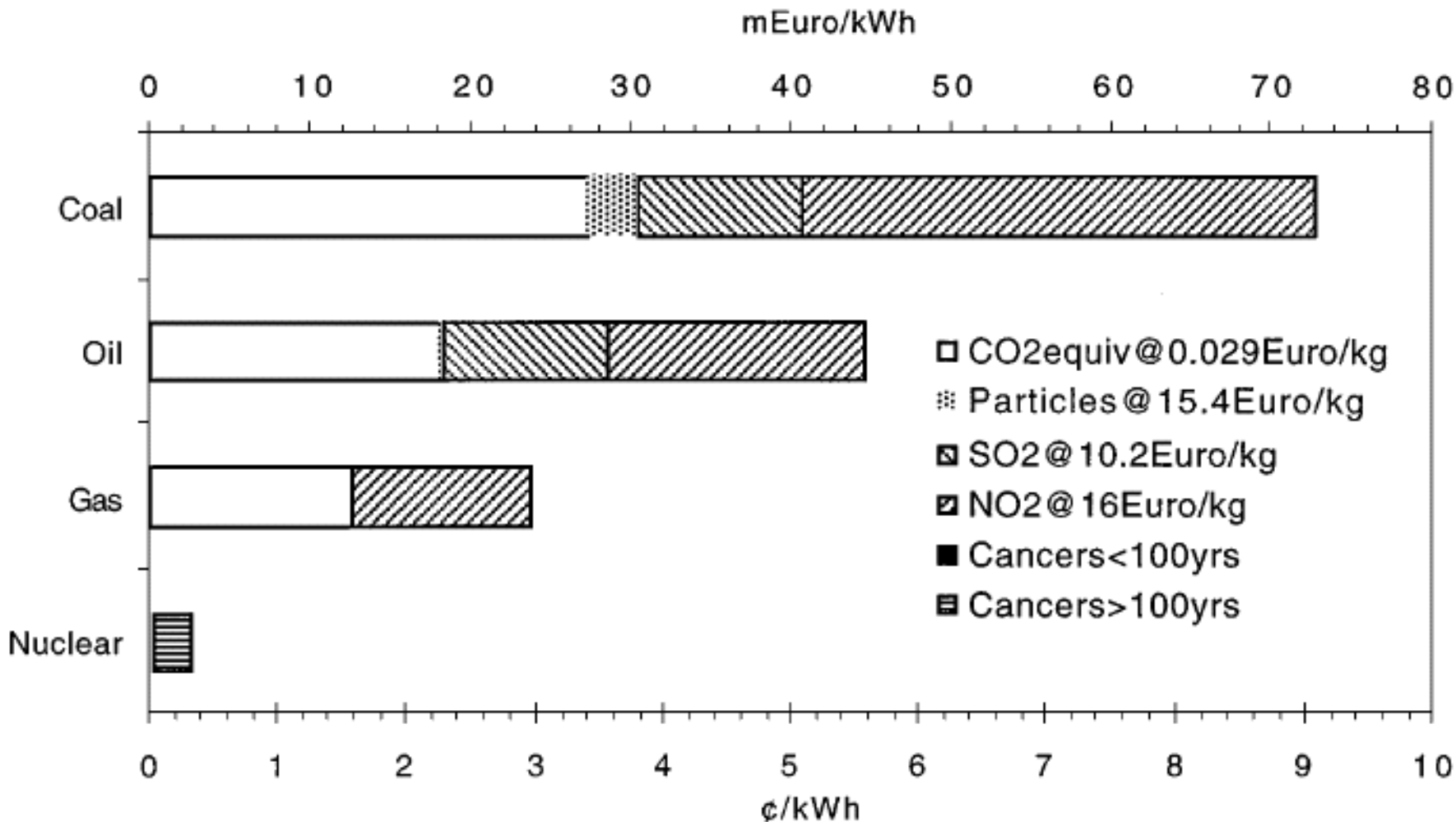


Emisje gazów cieplarnianych są najwyższe przy spalaniu paliw organicznych, ale wobec zapotrzebowania na energię i materiały w czasie budowy elektrowni emisje gazów cieplarnianych przypadające na jednostkę wytwarzanej energii są dużo wyższe dla ogniw PV niż dla EJ



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

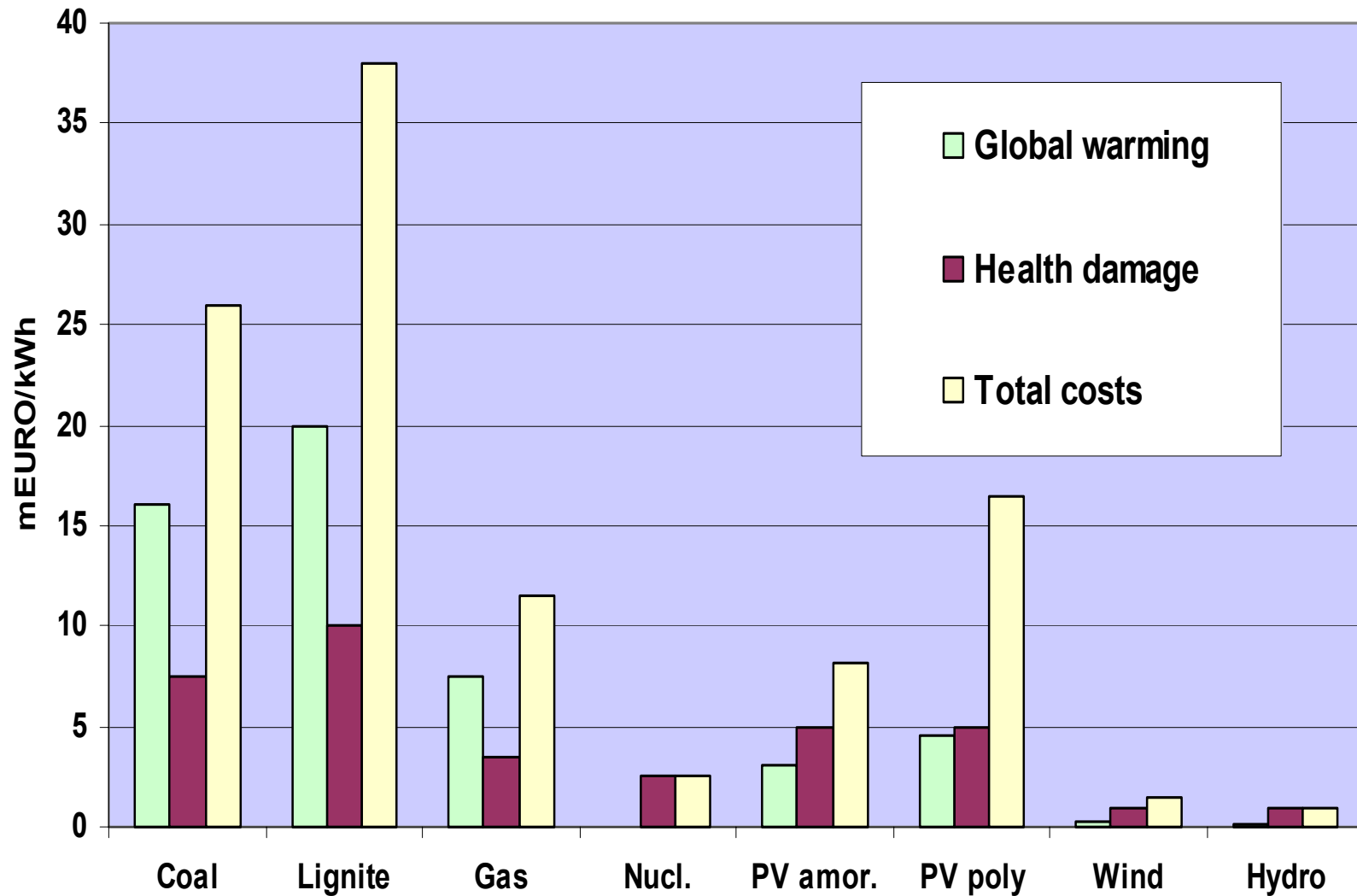
Metodologia studium Eksternego



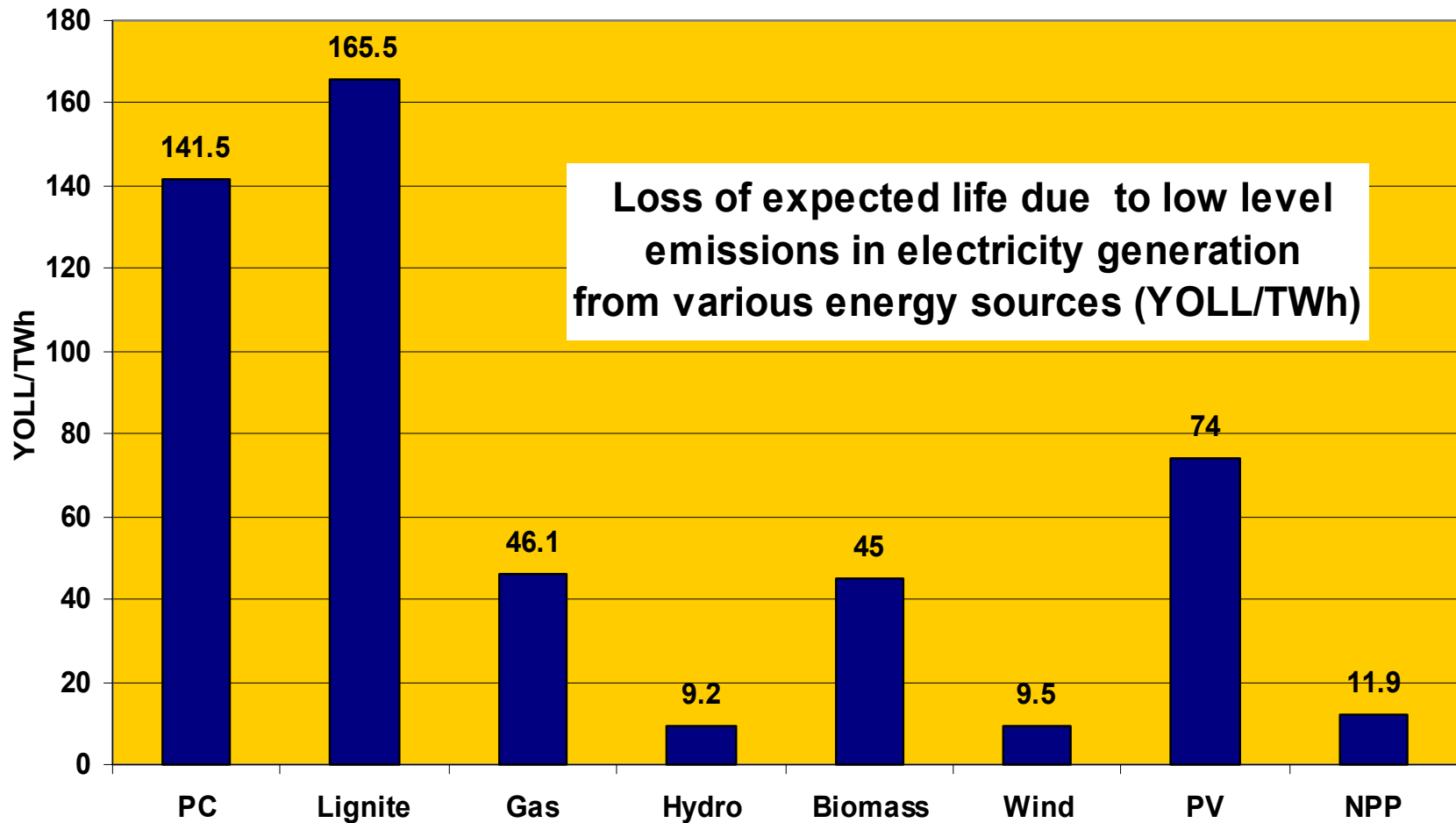
Typowe koszty zdrowotne powodowane przez wytwarzanie energii elektrycznej w pełnym cyklu z różnych źródeł w przeciętnych warunkach europejskich przy pracy nowych elektrowni na obciążeniu podstawowym. Koszty dla EJ przyjęto najwyższe możliwe (0% dyskonta). Typowe koszty sprzedaży elektryczności to 40 do 80 mEuro/kWh [Rabl 2000].

External costs for power systems in Germany [Krewitt, 2001]

External costs



ExternE – skrócenie życia (w skali zbiorowej)



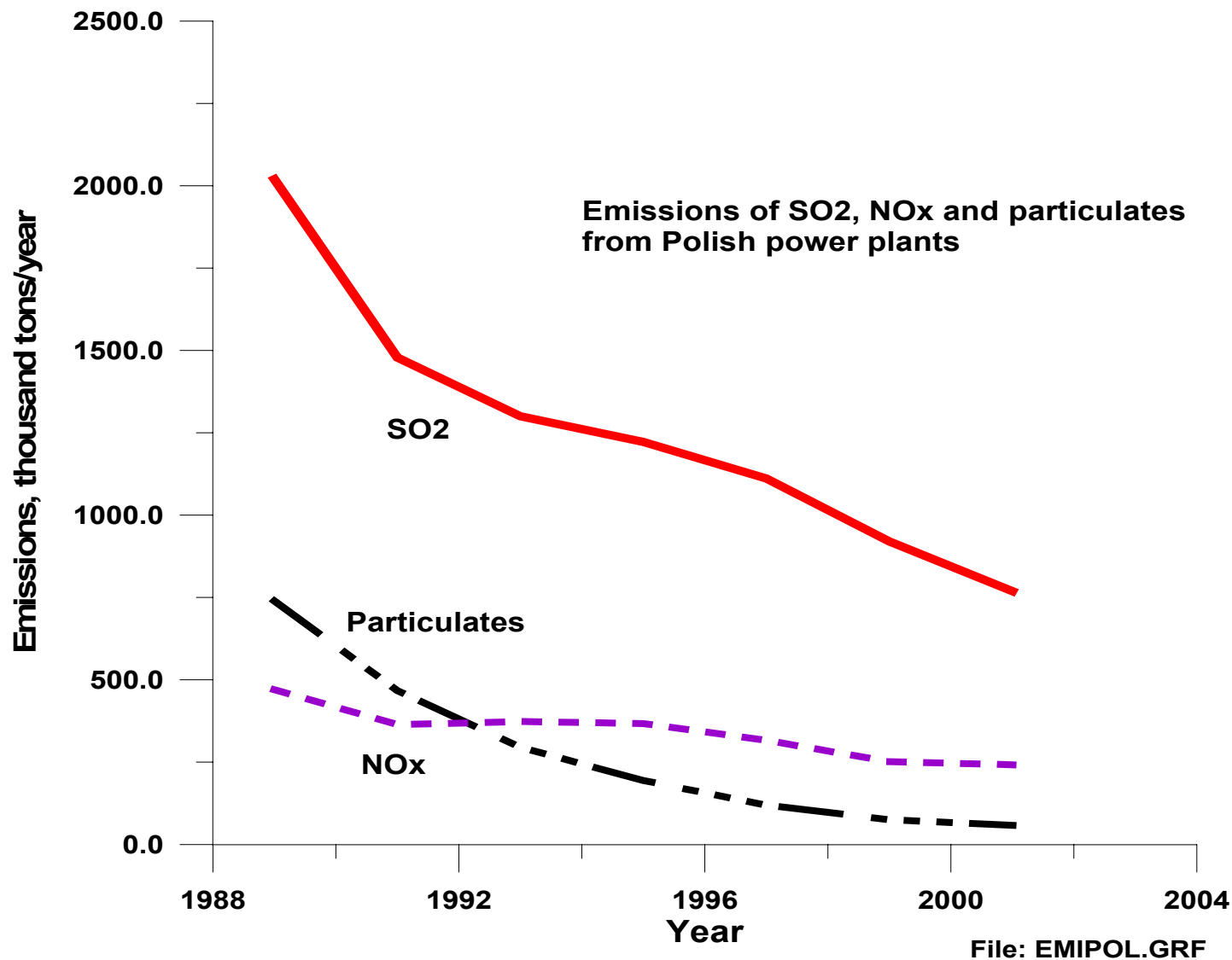
Ochrona środowiska

W Polsce od ponad 10 lat energetyka prowadzi intensywne starania o zmniejszenie zagrożeń środowiska. Od 1990 do 1998 zużycie wody przez przemysł zmalało o 20%, a ilość wody zanieczyszczonej zmalała o 68%.



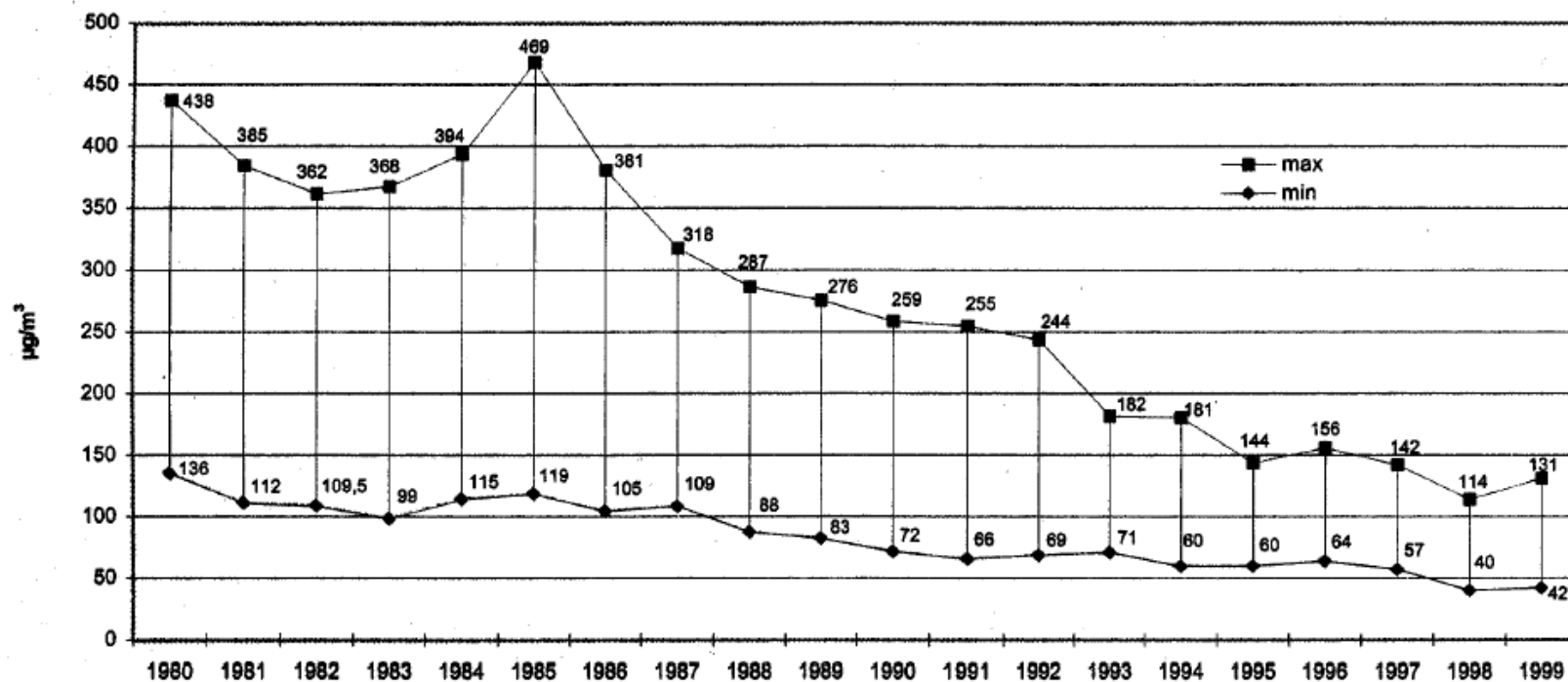
Emisje zanieczyszczeń powietrza stale maleją.
Emisja SO_2 o 46%,
 NO_x o 27%..

Dla Polski, gdzie węgiel jest źródłem ponad 90% energii elektrycznej, ważnym ograniczeniem jest limit emisji gazów cieplarnianych: CO_2 , CH_4 i NO_x .



**Osiągnięcia polskiej energetyki w redukcji emisji
zanieczyszczeń do atmosfery**

Maksymalne i minimalne wartości zanieczyszczenia powietrza w województwie katowickim w okresie 1980-1999 [Radomski 01].



Udział powierzchni zniszczonej przez emisje przemysłowe w całkowitej powierzchni lasów w Polsce, 2003

Stopień uszkodzenia	Łącznie	małe	średnie	poważne
%	60.8	50.8	9.7	0.3

Próg zniszczeń świerków – $30 \mu\text{g SO}_2 / \text{m}^3$

Średnie stężenia SO_2 są wyższe.

Wartość progowa wg zaleceń WHO dla Europy

$50 \mu\text{g of SO}_2 / \text{m}^3$

Proponowany standard UE:

$20 \mu\text{g SO}_2 / \text{m}^3$

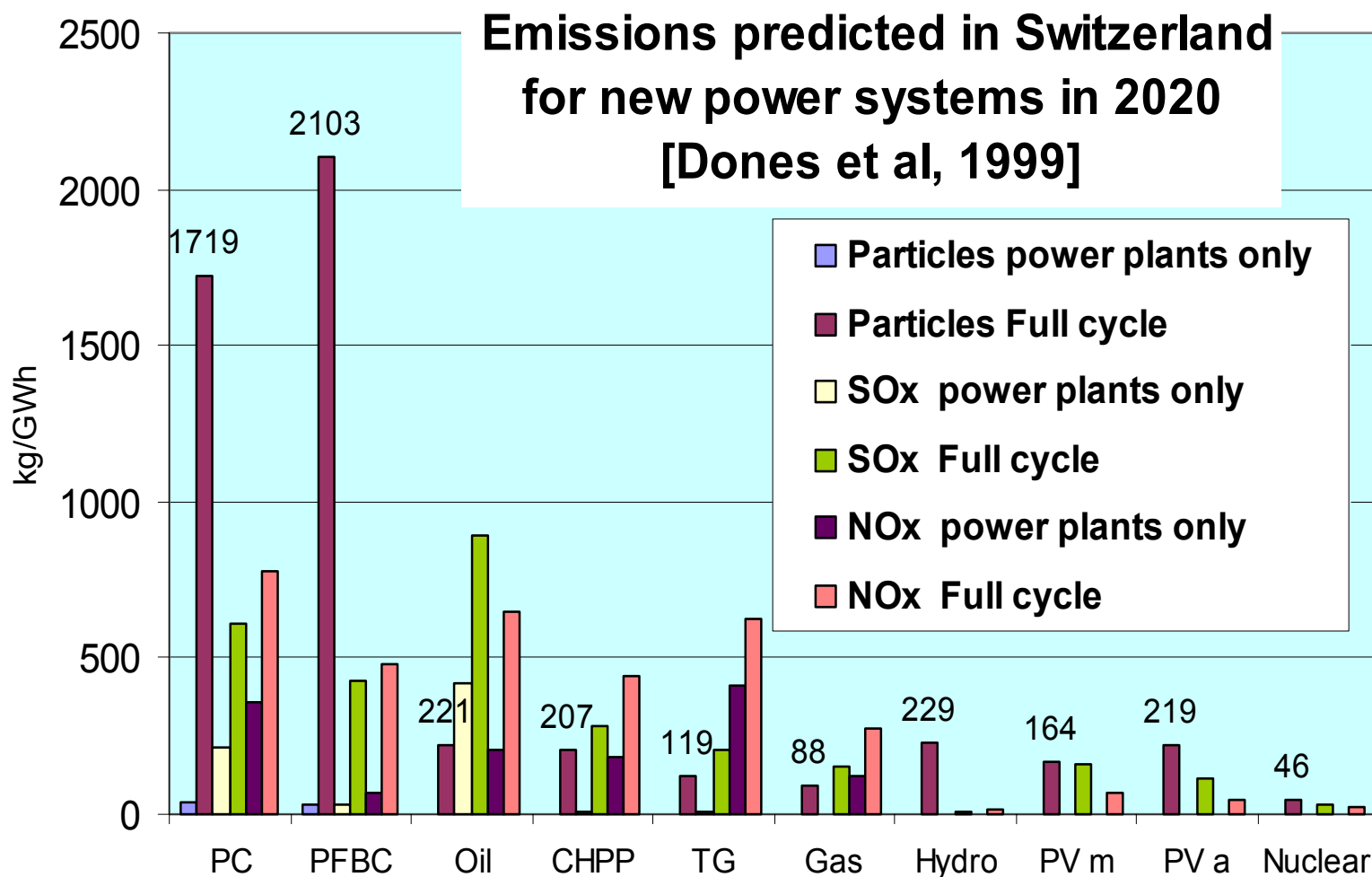
Współczynniki emisji w polskich elektrowniach [Pinko 01]

Elektrownia	Emisje, g/kWh			
	SO ₂	NO _x	Pyły	CO ₂
Kozienice	6.4	1.97	0.44	874
Opole	0.81	1.34	0.04	855
Turów	4.53	1.46	0.95	1034
Elektrownie węglowe w Niemczech, cały cykl paliwowy	0.912	0.99	0.2	897

Koszty zewnętrzne w Polsce (bez efektu cieplarnianego)

	Węgiel brunatny		Węgiel kamienny		Energetyka polska	
	EUR/t	mEUR/kWh	EUR/t	mEUR/kWh	EUR/t	mEUR/kWh
PM ₁₀	6360	3.2	8938	4.67	8257	4.9
SO ₂	4330	43	4387	25.5	4362	29.4
NO _x	4592	8.4	4633	10.0	4600	9.2
CO ₂	20	22.4	20	18.3	20	17.4
Suma	-	77		58.5		60.9

A jakie są perspektywy na przyszłość?



Energia jądrowa
NIE powoduje efektu cieplarnianego
NIE niszczy warstwy ozonowej
NIE powoduje kwaśnych deszczy

Czy jest przyjacielem Ziemi?

