

Urszula Lorenz\*, Zbigniew Grudziński\*

## ZAWARTOŚĆ RTĘCI JAKO POTENCJALNY CZYNNIK OGRANICZAJĄCY WARTOŚĆ UŻYTKOWĄ WĘGLA KAMIENNEGO I BRUNATNEGO\*\*

---

### 1. Wstęp

Rtęć jest jednym z bardziej toksycznych pierwiastków. Jak się ocenia, stężenie rtęci w środowisku przyrodniczym wzrosło dwu-trzykrotnie w stosunku do okresu przed rozwojem przemysłowym. Spośród wszystkich pierwiastków metali ciężkich rtęć wykazuje się największą lotnością oraz podatnością do przemian chemicznych. Toksyczne oddziaływanie rtęci wynika głównie z jej zdolności do kumulacji w środowisku przyrodniczym. Do organizmu człowieka dostaje się głównie przez pożywienie (łańcuch pokarmowy) oraz przez powietrze (wzdychanie i wchłanianie przez skórę).

W szeregu publikacji zawartości rtęci w minerałach i substancjach podawane są w różnych jednostkach. Najczęściej — z uwagi na relatywnie niewielką wartość liczbową — są to ppb (*parts per billion* — części na miliard) lub ppm (*parts per million* — części na milion), ewentualnie gramy Hg na tonę surowca. W niniejszym artykule stężenia te wyrażano w ppb. Poniżej podano relacje pomiędzy tymi jednostkami:

$$\text{ppb} = \mu\text{g}/\text{kg} = 10^{-3} \text{ ppm} = 10^{-3} \text{ g}/\text{Mg} = \text{mg}/\text{Mg}$$

$$\text{ppm} = \text{mg}/\text{kg} = \text{g}/\text{Mg} = 10^3 \text{ ppb}$$

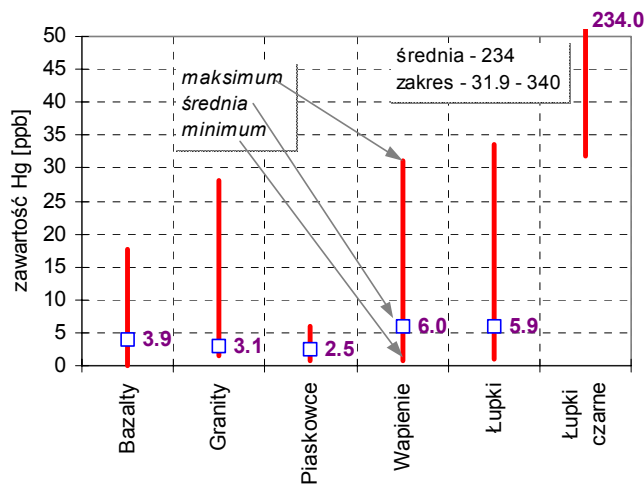
Według informacji podanych w pracy [2] znanych jest ponad 60 minerałów rtęci, z których najważniejsze to rtęć rodzima i cynober (HgS).

Szacowane zawartości rtęci w skałach przedstawia rysunek 1, który pokazuje zakres ich zmienności (wartości minimalne i maksymalne) oraz zawartości średnie.

---

\* Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

\*\* Artykuł powstał w ramach grantu nr 4 T12A 035 029



Rys. 1. Wahania zawartości rtęci w skałach [2]

W Polsce brak jest złóż rud rtęci. Rtęć nie jest też odzyskiwana, choć istotne jej ilości są uwalniane do atmosfery podczas spalania węgla oraz przetwórstwa rud miedzi [10]. Potwierdza to poniższe zestawienie (tab. 1): prawie 70% rtęci zawartej w surowcach wydobywanych w Polsce znajduje się w surowcach energetycznych, czyli w węglu brunatnym i kamiennym.

TABELA 1

Rozkład zawartości rtęci w wydobywanych surowcach [2]

Surowiec	Zawartości rtęci, %
Węgiel brunatny	48,4
Rudy miedzi	29,2
Węgiel kamienny	19,4
Rudy cynku i ołowiu	1,6
Surowce ilaste	0,8
Surowce węglanowe	0,6

## 2. Zawartość rtęci w złożach węgla kamiennego i brunatnego

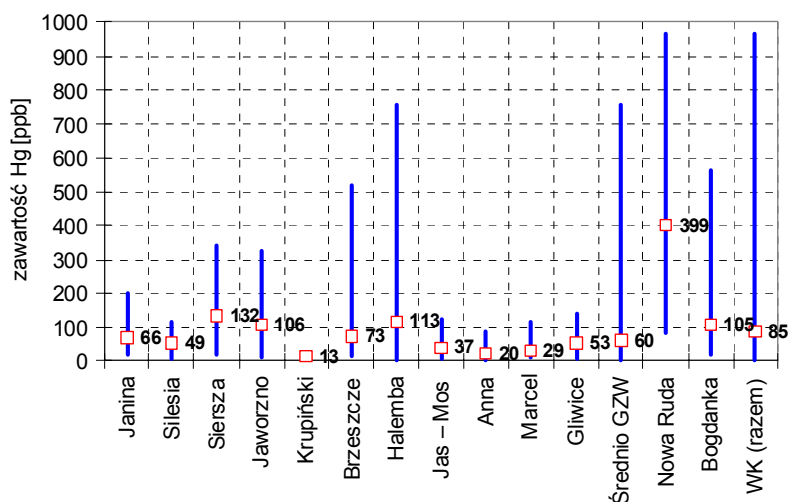
Podstawowy problem z oceną zawartości rtęci w polskich węglach w wynika z faktu, iż obecnie nie są prowadzone systematyczne badania odnoszące się do tego pierwiastka.

Pełny zestaw analiz wykonuje się w zasadzie tylko dla parametrów uznawanych za cenotwórcze (jak wartość opałowa, zawartość popiołu, siarki i wilgoci), natomiast analizy węgla na zawartość rtęci prowadzone są tylko sporadycznie.

Poniżej przedstawiono szacowane wielkości zawartości rtęci w węglu kamiennym i brunatnym. Informacje w tej części artykułu opracowano na bazie publikacji [2, 7, 9], prezentujących wyniki badań wykonywanych przez Państwowy Instytut Geologiczny (PIG), Centralne Laboratorium Energopomiaru (CLE) i Główny Instytut Górnictwa (GIG).

## 2.1. Węgiel kamienny

Rysunek 2 przedstawia wyniki badań PIG — badania prowadzone od 1997 roku obejmowały także kopalnie obecnie już zlikwidowane. Zawartość rtęci w węglu z badanych kopalń waha się w szerokich granicach od 1 ppb do 967 ppb. Największe zawartości stwierdzono w Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym, gdzie aktualnie nie prowadzi się już eksploatacji węgla. PIG [2] interpretuje, że te podwyższone zawartości rtęci mogą być wynikiem licznych erupcji i intruzji skał magmowych, jakim podlegały złoża tego zagłębia.



Rys. 2. Zmienność zawartości Hg w węglu kamiennym w wybranych kopalniach [2]

W Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW) największe zawartości rtęci występują w Kopalniach „Brzeszcze”, „Jaworzno” i „Siersza”, a więc w kopalniach we wschodniej części tego Zagłębia, oraz w Kopalni „Halemba”, gdzie maksymalne zawartości rtęci dochodzą do poziomu 758 ppb. Mimo wysokich maksymalnych zawartości rtęci w węglu z „Halemby” wartości średnie w tej kopalni są porównywalne do wyników uzyskanych w „Sierszy” i „Jaworznie”.

Na podobnym poziomie (średnio 105 ppb) jest także zawartość rtęci w kopalni „Bogdanka”. Jednak — jak podają autorzy [2] — w Lubelskim Zagłębiu Węglowym większa zawartość rtęci występuje w skałach płonnych towarzyszących węglowi kamiennemu: średnia zawartość rtęci w ilowcach z tej kopalni to poziom około 180 ppb przy zmienności w zakresie 23 do 925 ppb.

Dla przebadanych węgla kamiennych średnia zawartość rtęci wyniosła 85 ppb (rys. 2 — WK razem).

W pracy [7] z kolei zaprezentowane wyniki badań dotyczą średnich zawartości rtęci w węglu z kopalń należących do Katowickiego Holdingu Węglowego (wyniki podano za publikacją K. Bojarskiej). Kopalnie te położone są w centralnej części GZW.

Dla KHW średnia zawartość rtęci wynosi około 140 ppb. Najwyższe zawartości (145÷163 ppb) stwierdzono w kopalniach „Wujek”, „Mysłowice” i „Murcki”. W tabeli 2 zestawiono wyniki badań według [2, 7] — dla kopalń istniejących.

TABELA 2

**Zestawienie średnich zawartości Hg w węglach istniejących kopalń na podstawie różnych źródeł**

Kopalnia	Średnia zawartość Hg ppb	Kopalnia	Średnia zawartość Hg ppb
dane według [2]		dane według [7]	
„Halemba”	113	„Wujek”	163
„Jaworzno”	106	„Mysłowice”	151
„Bogdanka” (LZW)	105	„Murcki”	145
„Brzeszcze”	73	„Staszic”	113
„Janina”	66	„Wesoła”	113
„Silesia”	49	„Wieczorek”	104
„Jas-Mos”	37		
„Marcel”	29		
„Anna”	20		
„Krupiński”	13		

Przedstawione w tabeli 2 wielkości są zbieżne z wynikami badań, przeprowadzonych przez Centralne Laboratorium Energopomiaru i opublikowanych w pracy [9]. Pomiary zawartości rtęci wykonano za pomocą nowoczesnego japońskiego analizatora, który pozwala na oznaczanie rtęci w próbkach stałych (np. węgla), ciekłych lub gazowych.

W tabeli 3 przedstawiono wyniki analiz na zawartość rtęci w węglu kamiennym oraz w ubocznych produktach jego spalania. Pomiary te zostały przeprowadzone przez CLE

podczas pomiarów ciepłych kotłów energetycznych w kilkunastu elektrowniach węglowych w Polsce.

TABELA 3

**Zawartość rtęci w polskich węglach kamiennych i ubocznych produktach spalania według wyników badań Centralnego Laboratorium Energopomiaru [9]**

Obiekt	Zawartość rtęci, ppb		
	w węglu w stanie roboczym	w żużlu w stanie suchym	w popiele lotnym w stanie suchym
1	64÷100	9÷16	126÷265
2	97÷141	6÷10	445÷1000
3	84÷120	2÷5	372÷468
4	53÷92	2÷11	187÷476
5	100÷105	4÷5	374÷486
6	93÷132	2÷5	224÷229
7	66÷109	5÷17	318÷554
8	54÷124	4÷11	229÷539
9	56÷90	13÷30	378÷710

Zawartość rtęci w węglach kamiennych energetycznych spalanych w wybranych obiektach kształtowała się w zakresie od 53 do 141 ppb. W badaniach stwierdzono, że w ubocznych produktach spalania zdecydowana większość rtęci skupiona była w popiele lotnym, gdzie stężenia dochodziły nawet do 1000 ppb.

Z porównania wyników badań zaprezentowanych w pracach [2, 7, 9] wynika, że w istniejących kopalniach węgla kamiennego średnią zawartość rtęci można szacować na poziomie 100÷150 ppb. Oczywiście zmienność tych wartości w poszczególnych kopalniach może kształtować się w szerokich granicach (od 1 ppb do ponad 1000 ppb).

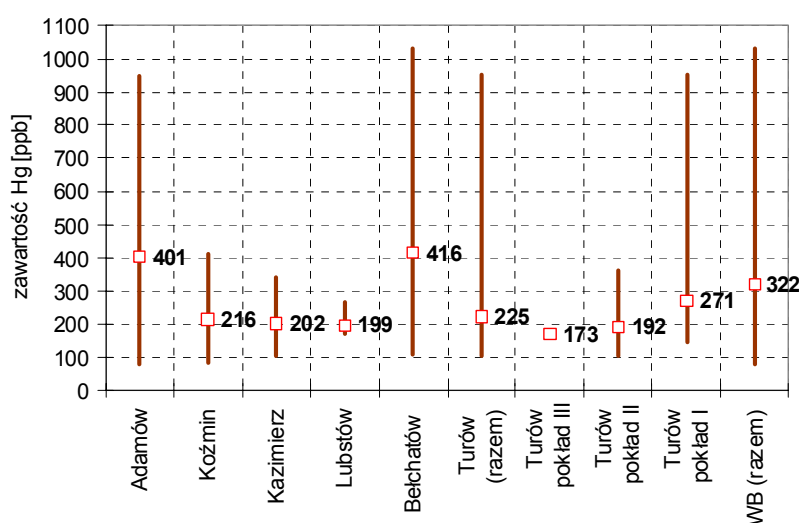
## 2.2. Węgiel brunatny

Wnioskując z rozkładu zawartości rtęci w surowcach wydobywanych w Polsce (podanego we wstępie do artykułu), najwięcej rtęci do środowiska jest wprowadzane w związku eksploatacją i użytkowaniem węgla brunatnego.

W badaniach PIG [2] zawartość rtęci w próbkach węgla brunatnego wahała się w granicach od 80 do 1030 ppb. Odpowiednie wielkości ilustruje rysunek 3. Średnia ze wszystkich analiz wyniosła 322 ppb. Najwyższe wartości średnie występują w złożach Bełchatów (416 ppb) i Adamów (401 ppb). Złóża Lubstów, Kazimierz, Koźmin i Turów mają zbliżone

średnie zawartości rtęci, przy czym w tym ostatnim złożu maksymalne zawartości rtęci sięgają nawet ponad 950 ppb. Stwierdzono tam również prawidłowość, że im wyższy pokład, tym niższa zawartość rtęci.

Wyniki badań nad charakterem połączeń chemicznych związków rtęci oraz substancji mineralnych i organicznych tworzących węgle brunatne nie pozwalają na formułowanie uogólnień. Stwierdzono natomiast, że zawartość rtęci w skałach płonnych z kopalń węgla brunatnego jest niższa niż w próbkach węgla i znacznie niższa niż w skałach płonnych ze złóż węgla kamiennego.



Rys. 3. Zmienność zawartości Hg w wybranych złożach węgla brunatnego [2]

Węgiel brunatny ze złóż Adamów i Koźmin jest dostarczany do Elektrowni Adamów, natomiast węgiel ze złóż Kazimierz i Lubstów do Elektrowni Konin i Pątnów.

Oceniono (Bojakowska, Sokołowska 2001), że w elektrowniach na węgiel brunatny średnia zawartość rtęci w paliwie wynosi 318 ppb, a w poszczególnych elektrowniach zawartości te kształtują się na poziomie:

- Elektrownia Adamów: 442 ppb,
- Elektrownia Bełchatów: 389 ppb,
- Elektrownia Konin: 177 ppb,
- Elektrownia Pątnów: 163 ppb.

Podobne pomiary, jak przedstawione wcześniej dla węgla kamiennego, Energopomiar (CLE) przeprowadził także w elektrowniach na węgiel brunatny. Ich wyniki zestawiono w tabeli 4.

TABELA 4

**Zawartość rtęci w polskich węglach brunatnych i ubocznych produktach spalania według wyników badań Centralnego Laboratorium Energopomiaru [9]**

Obiekt	Zawartość rtęci, ppb		
	w węglu w stanie roboczym	w żużlu w stanie suchym	w popiele lotnym w stanie suchym
1	172÷283	14÷28	538÷1377
2	117÷370	26÷89	125÷521

Zawartość rtęci w węglu brunatnym wahała się w granicach 117÷370 ppb. Wyniki te są zbieżne z danymi PIG, pokazanymi na rysunku 3. Z analiz produktów spalania węgla wynika, że większość rtęci była skupiona w popiele lotnym.

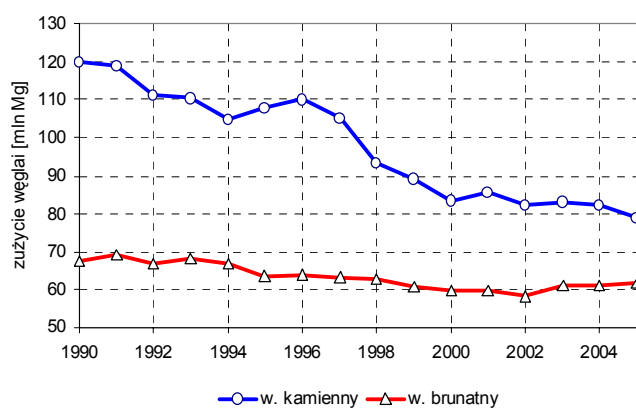
Można zatem przyjąć, że średnie zawartości rtęci we wszystkich elektrowniach na węgiel brunatny kształtują się na poziomie 300÷350 ppb.

Na podstawie wyników przytoczonych analiz można stwierdzić, że wagowa zawartość rtęci w węglu brunatnym jest od 2 do 4 razy większa niż węgla kamiennym.

Ponieważ średnia wartość opałowa węgla kamiennego (22 MJ/kg) jest około 2,5-krotnie wyższa niż węgla brunatnego (8,7 MJ/kg), to zawartości rtęci odniesione do jednostki energii chemicznej węgla są dla tych paliw jeszcze bardziej zróżnicowane.

Przyjmując określone poziomy zawartości rtęci w węglu kamiennym i brunatnym oraz wielkość rocznego zużycia tych dwóch paliw można określić ilość rtęci wprowadzanej do środowiska w związku z ich użytkowaniem.

Na rysunku 4 przedstawiono ilość zużywanego węgla w gospodarce krajowej od 1990 do 2005 roku w rozbięciu na węgiel kamienny i brunatny. Wykorzystując te dane oraz szacowane poziomy zawartości rtęci, określono ilość rtęci potencjalnie wprowadzanej do środowiska.



**Rys. 4.** Zużycie węgla kamiennego i brunatnego w gospodarce krajowej [12]

W tabeli 5 przedstawiono wyniki tych obliczeń. W wyniku użytkowania obu paliw ilość rtęci wprowadzonej do środowiska w 2005 roku można szacować w granicach od 26,3 do 33,4 Mg (wielkości tych nie należy utożsamiać z emisją rtęci, której poświęcono następny rozdział).

TABELA 5

**Ilość rtęci potencjalnie wprowadzana do środowiska w związku z użytkowaniem węgla kamiennego i brunatnego przy założonych poziomach zawartości rtęci w węglu, w Mg Hg/rok**

Rok	Węgiel kamienny zawartość Hg na poziomie		Węgiel brunatny zawartość Hg na poziomie	
	100 ppb	150 ppb	300 ppb	350 ppb
1990	12,0	18,0	20,3	23,6
1991	11,9	17,8	20,8	24,2
1992	11,1	16,7	20,0	23,4
1993	11,1	16,6	20,4	23,8
1994	10,5	15,7	20,0	23,3
1995	10,8	16,2	19,0	22,2
1996	11,0	16,5	19,1	22,3
1997	10,5	15,7	18,9	22,1
1998	9,3	14,0	18,8	22,0
1999	8,9	13,4	18,2	21,3
2000	8,3	12,5	17,8	20,8
2001	8,6	12,8	17,9	20,8
2002	8,2	12,3	17,5	20,4
2003	8,3	12,5	18,3	21,3
2004	8,2	12,3	18,3	21,4
2005	7,9	11,8	18,5	21,6

### 2.3. Zawartość rtęci w polskich węglach kamiennych według innych źródeł

Jak już wspomniano, na razie w Polsce nie przeprowadza się regularnych badań węgla pod kątem zawartości rtęci. Dane przedstawione poniżej dotyczą także polskiego węgla, ale opierają się na informacjach ze źródeł zagranicznych.

Według Eurelectric (dane opublikowane w 2004 roku — podano za [8]) zawartość rtęci w węglu importowanym do Holandii z poszczególnych krajów przedstawiała się następująco (wszystkie wielkości w ppb):



— Polska:	350,
— Niemcy:	160,
— USA:	140,
— Południowa Afryka:	90,
— Australia:	80,
— Kolumbia:	60,
— Rosja:	60.

W świetle tych danych węgiel z naszego kraju wypada w tym zestawieniu najgorzej, a wyniki znacznie przekraczają średnie zawartości Hg podane w tabeli 2.

To samo źródło podaje także dane dotyczące węgla polskiego importowanego przez Danię, dla którego średnia zawartość rtęci wynosiła około 90 ppb, a dla paliwa importowanego do Austrii zawierała się w zakresie 60÷200 ppb (w zależności od kopalni, z której pochodził węgiel).

W handlu międzynarodowym przedmiotem obrotu są niemal wyłącznie miały energetyczne o wartości opałowej rzędu 6000 kcal/kg (~25 MJ/kg). Polski węgiel kierowany na eksport to węgiel wzbogacany o wartości opałowej 24÷26 MJ/kg, zawartości popiołu poniżej 16% i zawartości siarki około 0,8%. Różni się on jakością od węgla spalanego w krajowych elektrowniach: średnie parametry węgla kamiennego zużywanego przez krajową energetykę zawodową wynoszą odpowiednio: 21÷22 MJ/kg, 20÷21%A i 0,9%S.

W pracach [3, 4] autorzy podają, że w polskim węglu nawet 65÷70% związków rtęci może występować w połączeniu z siarką — najczęściej z pirytem. Pozostałe 30÷35% występuje w połączeniu z popiołem i frakcją organiczną.

W większości polskich węgli kamiennych wraz ze wzrostem głębokości wzbogacania następuje znaczący spadek zawartości siarki. Jeśli większość rtęci w węglu jest związana z siarką, to dużą jej część można usunąć poddając węgiel procesom wzbogacania, jak to jest stosowane w przypadku węgla eksportowego. Jednak by takie stwierdzenie było wiarygodne, konieczne byłoby przeprowadzenia szczegółowych badań nad wzbogacalnością węgla poszerzonych o analizy na zawartość rtęci w poszczególnych frakcjach.

W świetle powyższego podane w materiale z Eurelectric dane o zawartości rtęci w polskim węglu wydają się zawyżone: w węglu surowym zawartość średnia rtęci to maksimum 150 ppb, natomiast w węglu wzbogaconym te zawartości powinny być zdecydowanie niższe.

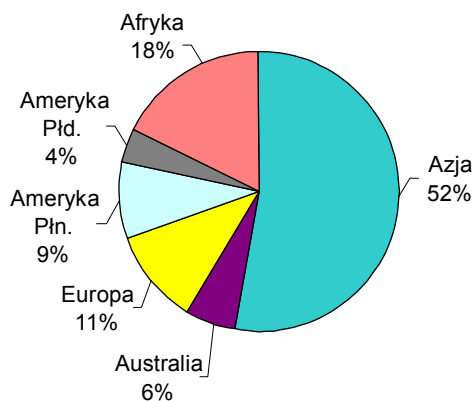
Z kolei w publikacjach omówionych w pracy [7] cytowani autorzy (jak Gluskoter, Ruch i Fiby) podają, że rtęć w węglu w 47% występuje we frakcjach ciężkich w postaci związków nieorganicznych; pozostała część we frakcjach lekkich i prawdopodobnie w związkach organicznych. Autorzy ci przestrzegają, że w przypadku występowania rtęci w węglu istnieje duże niebezpieczeństwo generalizacji wniosków. Często spotyka się np. występowanie dużej ilości rtęci przy niewielkich zawartościach pirytu. Z kolei na podstawie badań węgla australijskich — jak się stwierdza w tym artykule — nie udało się zaobserwować korelacji występowania rtęci i zawartości pirytu. W przebadanych próbkach węgla większość rtęci

występowała w związkach organicznych i w formie niezwiązanej, a tylko niewielka część w związkach z pirytem.

Średnie zawartości rtęci u głównych producentów węgla (podane w pracy [7]) kształtują się następująco: USA — 170 ppb, Rosja — 75 ppb, Chiny — 58 ppb, Indie — 27 ppb, Australia — 10 ppb. Jednak do tak dalece uśrednionych danych należy podchodzić bardzo ostrożnie, gdyż zakresy zmienności rtęci w prawie wszystkich przypadkach podlegają bardzo dużym wahaniom. Ponadto nie są to wyniki opracowane na podstawie prowadzonych ciągłych analiz. W Chinach np. niektóre próby węgla miały zawartość rtęci na poziomie nawet 2670 ppb.

### 3. Emisja rtęci w wyniku spalania węgla kamiennego i brunatnego

Jak się szacuje, globalna emisja rtęci wynosi od 4400 do 7500 Mg rocznie. Jedna trzecia tej emisji przypada na naturalne źródła, które obejmują przede wszystkim emisje z oceanów i mórz oraz emisje związane z erupcją wulkanów. Do tej emisji zalicza się także emisję wtórną z powierzchni gleby oraz emisję ze spalania biomasy. Pozostała część emisji rtęci pochodzi ze źródeł antropogenicznych. Jak się ocenia, od roku 1990 do 2000 globalna emisja rtęci zwiększyła się o 20%, przy czym udział Europy w tej emisji zmniejszył się o ponad 60%. Emisja z Azji i Afryki to aż 70% globalnej emisji [5, 12]. Emisje według kontynentów przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Emisja rtęci według kontynentów

Wśród źródeł antropogenicznych emisji rtęci najważniejsze źródła emisji to spalanie węgla kamiennego i brunatnego w elektrowniach i elektrociepłowniach, produkcja chloru metodą rtęciową oraz produkcja cementu.

Źródłem dodatkowych zanieczyszczeń rtęcią jest wykorzystywanie w przemyśle takich związków jak: tlenek rtęci, siarczek rtęci, chlorki rtęci, dwutiokarbaminian, boran i oleinian fenylortęci, chlorek, krzemian i fosforan alkilortęci. Rtęć metaliczna i nieorganiczne związki rtęci mają zastosowanie w produkcji instrumentów pomiarowych (termometry, barometry), wyposażenia elektrycznego (wyłączniki, prostowniki, oscylatory, elektrody, baterie, lampy rtęciowe, w produkcji stopów z ołowiem i cyną, amalgamatów dentystycznych i jedwabiu syntetycznego) [6].

Ostatnio w Parlamencie Europejskim opracowano projekt dyrektywy wprowadzającej zakaz stosowania rtęci w termometrach lekarskich oraz w innych urządzeniach pomiarowych przeznaczonych do otwartej sprzedaży konsumentom. Przedmiotem wniosku legislacyjnego są wyłącznie nieelektryczne i nieelektroniczne urządzenia pomiarowe [6]. Ten projekt ma zmienić istniejącą dyrektywę 76/769/EWG.

Obecnie w wyniku wprowadzanych przez Unię Europejską dyrektyw IPPC, LCP oraz NEC można zaobserwować znaczne ograniczenie emisji zanieczyszczeń z instalacji przemysłowych. Wymienione dyrektywy stanowią podstawowe narzędzie UE wpływające na redukcję emisji zanieczyszczeń do środowiska [9].

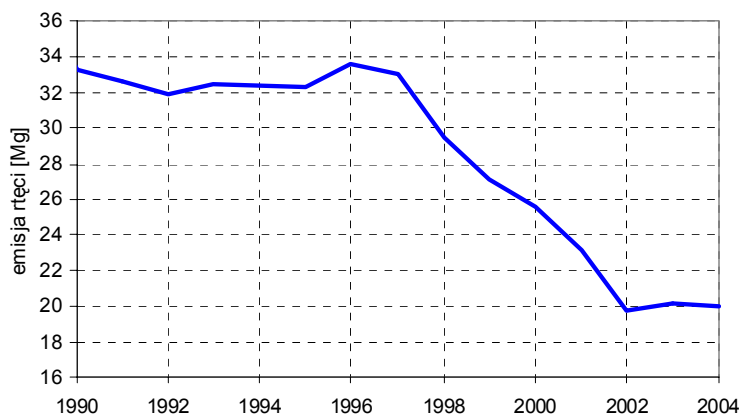
W czwartej dyrektywie UE dotyczącej jakości powietrza (2004/107/WE), która została przyjęta w 2004 r., nie ustanowiono limitu co do granicznych emisji metali ciężkich, lecz tylko przedstawiono wymagania dotyczące monitorowania stężeń w powietrzu dla arsenu, kadmu i niklu.

W badaniach na zawartość rtęci w powietrzu w Europie stwierdzono, że jest ona poniżej poziomu uznawanego za szkodliwy dla zdrowia człowieka i obecnie na żadnym obszarze UE nie ma stałego przekroczenia stężeń dopuszczalnych.

Biorąc pod uwagę toksyczne działanie tych pierwiastków i ich związków, konieczne jest mierzenie ich zawartości bez względu na występującą koncentrację. Rtęć wchłaniana przez organizm ludzki pochodzi z wielu procesów, ponadto kumuluje się w organizmie, dlatego bardzo trudno jest ustalić limity emisji z poszczególnych źródeł. Na razie więc dla rtęci brak jest wymagań dotyczących stężeń, natomiast w najbliższej przyszłości planowane jest przyjęcie kompleksowej strategii dotyczącej tego pierwiastka [9]. Uregulowania takie — jeśli zostaną wprowadzone — w dużej mierze dotkną węgla zarówno kamiennego, jak i brunatnego, gdyż ich spalanie stanowi jedno z głównych źródeł emisji rtęci.

Wielkość szacowanej całkowitej emisji rtęci w kraju w latach 1990–2004 przedstawiono na rysunku 6. W Polsce w 2002 roku zatwierdzono Krajową Strategię Ograniczania Emisji Metali Ciężkich. Zobowiązania międzynarodowe stanowią, że emisja w dowolnie kontrolowanym roku powinna być niższa niż w tzw. roku odniesienia, wybranym przez dane państwo spośród lat 1985–1995. Polska dla rtęci wybrała rok odniesienia 1985. Wówczas szacowana emisja wyniosła 39,7 Mg [1].

Jak wynika z danych GUS [12], obecny szacowany poziom emisji rtęci ze wszystkich źródeł w Polsce wynosi około 20 Mg i taki poziom utrzymuje się od 2002 roku. W stosunku do wybranego przez nasz kraj roku odniesienia obecna emisja jest na poziomie około 50%. Natomiast w porównaniu do roku 1990 (a taki okres obejmuje wykres 5) spadek emisji wyniósł ponad 40%.



Rys. 6. Całkowita emisja rtęci w latach 1990–2004 [12]

Porównując te dane z danymi przedstawionymi na rysunku 4 można wnioskować, że głównym czynnikiem, który spowodował spadek emisji rtęci, jest zmniejszenie zużycia węgla w gospodarce: łącznie dla obu węgli spadek zużycia wyniósł 25%. Pozostałe 15% redukcji emisji osiągnięto w wyniku rozbudowy instalacji ochrony środowiska u użytkowników. Choć działania te nie były nakierowane na redukcję rtęci, to — jak się okazuje — stosowanie bardzo skutecznych technologii oczyszczania spalin (filtry pyłowe, instalacje odsiarczania) przyczynia się do znaczącego zmniejszenia emisji rtęci.

W pracy [5] podano (na podstawie badań: Pacyna JM, Pacyna EG), że w przypadku mokrych instalacji odsiarczania spalin możliwe jest ograniczenie emisji rtęci o 30÷50%, w przypadku suchych metod możliwe redukcje kształtują się w granicach 35÷85%.

W tabeli 6 przedstawiono główne źródła emisji rtęci w Polsce w 2004 roku. Dwa główne źródła tej emisji to procesy spalania w sektorze produkcji i transformacji energii (z udziałem 41,6%) oraz procesy spalania w przemyśle (41,2%). Za ten ostatni udział w głównej mierze odpowiada produkcja cementu, z której pochodzi aż 77% tej emisji. Produkcja cementu daje emisję rtęci na poziomie porównywalnym do emisji z elektrowni spalających węgiel kamienny i wynosi prawie 32% emisji rtęci w kraju. W podziale na paliwa węgiel brunatny stanowi tylko około 11% całkowitej emisji.

Kolejne działy przemysłu powodujące emisję rtęci to procesy spalania w sektorze komunalnym, mieszkaniowym i w rolnictwie i tu w 99% jest to związane ze spalaniem węgla kamiennego.

Następnym znacznym źródłem emisji rtęci są procesy produkcyjne z udziałem 7% w emisji całkowitej. W tej grupie 75% emisji związane jest z procesami w przemyśle metali nieżelaznych, a za 25% tej emisji odpowiada produkcja chloru metodą rtęciową.

Spalanie opadów komunalnych zwiększa emisję ogółem o 129 kg, co powoduje zwiększenie emisji całkowitej zaledwie o 0,6%. W przyszłości w miarę zwiększania ilości odpa-

dów przekazywanych do spalarni te ilości mogą się dosyć znacznie zwiększyć. Mimo tego jednak nie powinno to mieć istotnego wpływu na emisję całkowitą.

TABELA 6  
Źródła emisji rtęci w 2004 roku [11]

Lp.	Źródło emisji	kg	Udział
1	Procesy spalania w sektorze produkcji i transformacji energii:	8298	41,6%
	węgiel kamienny	6240	
	węgiel brunatny	2058	
2	Procesy spalania w sektorze komunalnym, mieszkaniowym i rolnictwie:	1913	9,6%
	węgiel kamienny	1882	
	węgiel brunatny	22	
3	Procesy spalania w przemyśle	8211	41,2%
	produkcja cementu	6290	
4	Procesy produkcyjne:	1402	7,0%
	procesy w przemyśle metali żelaznych	1044	
	produkcja chloru metodą rtęciową	358	
5	Spalanie odpadów komunalnych	129	0,6%
Emisja ogółem		19 953	100,0%

W przypadku spalania węgla w elektrowniach zawodowych emisja rtęci z węgla brunatnego (tab. 6) jest ponad trzy razy mniejsza. Przypomnieć należy, że w przeliczeniu na 1 GJ energii chemicznej paliwa zawartość rtęci w węglu brunatnym jest około 5 razy wyższa niż węgla kamiennym.

W tabeli 7 zamieszczono wskaźniki emisji w głównych procesach użytkowania węgla kamiennego i brunatnego [11]. Porównując te dane oraz dane dotyczące średnich zawartości rtęci w obu węglach, a także dane o wielkościach emisji, da się zauważyć niski poziom wskaźników emisji rtęci z węgla brunatnego w stosunku do węgla kamiennego.

Wskaźnik emisji z węgla brunatnego w elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych (a w tym to dziale zużywa się prawie 99% węgla brunatnego) jest 1,6 razy niższy niż z węgla kamiennego.

Podobna relacja wskaźników występuje w grupie „ciepłownictwo komunalne”, natomiast u drobnych użytkowników (mieszkalnictwo, rolnictwo, leśnictwo i inne) relacja jest odwrotna, tzn. wskaźnik emisji z węgla brunatnego jest wyższy.

TABELA 7

Wskaźniki emisji rtęci w głównych procesach użytkowania węgla kamiennego i brunatnego [11]

Źródło emisji	Zużycie, TJ	Wskaźnik emisji rtęci, kg/TJ
Elektrownie i elektrociepłownie zawodowe		
węgiel kamienny	921 614	0,0064
węgiel brunatny	513 850	0,004
Ciepłownictwo komunalne		
węgiel kamienny	117 629	0,008
węgiel brunatny	386	0,005
Mieszkalnictwo, rolnictwo, leśnictwo i inne		
węgiel kamienny	235 225	0,004
węgiel brunatny	3 940	0,005

#### 4. Podsumowanie

- 1) Problem skażenia środowiska naturalnego rtęcią wzbudza duże zainteresowanie z uwagi na skutki, jakie powoduje podwyższenie jej koncentracji w biosferze. Rtęć jest zaliczana do jednego z bardziej toksycznych pierwiastków. Cechuje ją duża aktywność chemiczna i biologiczna. Toksyczność tego pierwiastka zależy od jej postaci chemicznej. Ma też tendencję do kumulowania się w organizmach ludzkich i zwierzęcych.
- 2) Globalna emisja rtęci ze wszystkich źródeł wynosi około 4400÷7500 ton rocznie. Naturalne źródła emisji rtęci — takie jak wybuchy wulkaniczne i emisje z oceanów — stanowią jedną trzecią aktualnej światowej emisji rtęci do atmosfery, a pozostałe dwie trzecie — to źródła antropogeniczne.
- 3) Uwalnianie rtęci do środowiska zachodzi głównie przy okazji spalania węgla, który jest paliwem zawierającym pewne naturalne ilości rtęci, oraz w wyniku innych procesów przemysłowych, jak produkcja chloru metodą rtęciową czy produkcja cementu. Wymienione trzy gałęzie przemysłu są źródłem większości emisji rtęci do powietrza.
- 4) Wielkość emisji rtęci ze spalania zależy także od formy chemicznej, w jakiej rtęć jest obecna w spalinach, ponieważ ma to wpływ na stopień jej zatrzymywania w urządzeniach oczyszczających.
- 5) W ostatnich dziesięcioleciach emisja rtęci w Unii Europejskiej znacząco spadła, ale ładunek rtęci w środowisku nadal jest wysoki, powodując zanieczyszczenie gleby, wody i żywności.

- 6) Unia Europejska systematycznie zaostrza wymagania ograniczające emisje do atmosfery. Przykładem takich działań są przyjęte przed kilkoma laty dyrektywy IPPC, LCP oraz NEC. Dyrektywa IPPC, dotycząca zintegrowanego zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli, stanowi podstawowe narzędzie Wspólnoty Europejskiej wpływające na redukcję emisji rtęci oraz innych substancji zanieczyszczających środowisko.
- 7) Jeśli zostaną ustanowione limity emisji rtęci do powietrza, dotkną one przede wszystkim instalacje, w których spala się węgiel, są to bowiem główne źródła emisji tego pierwiastka. Oznacza to kolejne wymagania dla energetyki.
- 8) Z przeprowadzonych badań wynika, że średnia zawartość rtęci w polskich węglach kamiennych można szacować na poziomie od 100 do 150 ppb, a w węglu brunatnym — od 300 do 350 ppb. Z analiz zawartości rtęci w ubocznych produktach spalania wynika, że jest ona skupiona głównie w popiele lotnym, a tylko jej niewielka część w żużlu.
- 9) W Polsce ocenia się, że większość związków rtęci (65÷70%) w węglu występuje w połączeniu z siarką, najczęściej z pirytem. Taki charakter występowania rtęci pozwala na usunięcie pewnych jej ilości przy zastosowaniu odpowiednich technologii wzbogacania węgla.
- 10) Jak dotąd nie przeprowadza się w Polsce regularnych badań węgla pod kątem zawartości rtęci ani monitoringu zanieczyszczenia powietrza tym pierwiastkiem, chociaż rtęć uważana jest za jeden z najbardziej toksycznych metali ciężkich.

#### LITERATURA

- [1] *Bednarczyk J.*: Emisja rtęci ze spalania polskiego węgla brunatnego i kamiennego w elektrowniach i elektrociepłowniach w świetle dotychczasowych badań i pomiarów. *Górnictwo Odkrywkowe*, 6, 2005
- [2] *Bojakowska I., Sokołowska G.*: Rtęć w kopalniach wydobywanych w Polsce jako potencjalne źródło zanieczyszczeń środowiska. *Biuletyn PIG*, 394, 2001, 5–54
- [3] *Głodek A., Kubica K., Pacyna J.M.*: Wybrane zagadnienia emisji rtęci z procesów spalania paliw stałych. 2005
- [4] *Głodek A., Pacyna J.M.*: Możliwości redukcji rtęci ze spalania węgla. *Ochrona powietrza i problemy odpadów*, 2, 238, 2007, 53–63
- [5] *Hławiczka S., Fudala J.*: Główne kategorie źródeł emisji metali ciężkich do powietrza w Polsce, II. Emisja rtęci. *Ochrona powietrza i problemy odpadów*, 2, 238, 2007, 53–63
- [6] *Martínez S.*: Sprawozdanie w sprawie wniosku dotyczącego dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady zmieniającej dyrektywę Rady 76/769/EWG w odniesieniu do ograniczeń w zakresie wprowadzania do obrotu niektórych urządzeń pomiarowych zawierających rtęć. 2006
- [7] *Smoliński A.*: Energetyczne wykorzystanie węgla źródłem emisji rtęci — porównanie zawartości tego pierwiastka w węglach. *Ochrona powietrza i problemy odpadów*, 2, 238, 2007, 45–53
- [8] *Tokarski S., Janikowski J.*: Problemy z rtęcią. *Koncern*, 8, 2004
- [9] *Wojnar K., Wisz J.*: Rtęć w Polskiej energetyce. *Energetyka* — kwiecień 2006
- [10] *Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 2000–2003*. Kraków, Wyd. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Pracownia Polityki Surowcowej 2004
- [11] *Inwentaryzacja emisji do powietrza SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CO, pyłów, metali ciężkich, NMLZO i TZO w Polsce za rok 2005*. Wyd. Instytut Ochrony Środowiska, marzec 2006
- [12] *Ochrona środowiska — GUS, wybrane numery z lat 1990–2006*

