

Tadeusz OLKUSKI\*

## Zawartość uranu i toru w węglach polskich i amerykańskich

**STRESZCZENIE.** Artykuł jest próbą porównania węgla polskich i amerykańskich pod względem zawartości w nich uranu i toru. Jak wiadomo uran i tor to pierwiastki promieniotwórcze, które podczas eksploatacji oraz energetycznego wykorzystywania węgla mogą stanowić zagrożenie dla człowieka. Dlatego tak ważna jest wiedza gdzie i w jakich ilościach te pierwiastki występują. W artykule skoncentrowano się głównie na węglach kamiennych pochodzących z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, chociaż przedstawiono także wyniki badań dotyczących Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego oraz Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Dla węgla amerykańskich zaprezentowano badania z obszarów Western United States i Illinois Basin.

**SŁOWA KLUCZOWE:** węgiel kamienny, uran, tor, promieniotwórczość

### Wprowadzenie

Węgiel kamienny jest skałą osadową pochodzenia roślinnego. Jego ilość w zewnętrznej skorupie ziemskiej szacowana jest na około 0,13% (Czapliński 1994). Powstawał w okresach geologicznych od górnego dewonu do dolnego permu poprzez powolne uwęglanie substancji roślinnej w stadium biochemicznym i geochemicznym. Organiczna substancja węglowa składa się nie tylko z pierwiastka węgla, ale zawiera również wodór, tlen, azot,

---

\* Dr inż. – Instytut GSMiE PAN oraz Wydział Paliw i Energii AGH, Kraków.

siarkę, fosfor oraz pierwiastki śladowe takie jak: ołów, kadm, miedź, cynk, chrom, nikiel, selen, arsen, kobalt, molibden i inne (Radioactive...1997; Srogi 2006; Aleksa i in. 2007; Jasieńko i in. 1995; Kucowski i in. 1997). Zawartość tych pierwiastków zależy od gatunku węgla i warunków w jakich powstawał. W węglu występuje również (Hatt 2000): rtęć, wolfram, uran, tor, glin i żelazo. Niektóre pierwiastki śladowe mają naturalną radioaktywność. Do tych pierwiastków radioaktywnych zalicza się: uran (U), tor (Th) i ich liczne produkty rozkładu wliczając w to rad (Ra) i radon (Rn) (Radioactive ... 1997). Do niedawna siarka uważana była za pierwiastek najbardziej szkodliwy w gospodarczym wykorzystywaniu węgla, gdyż podczas spalania dochodziło do tworzenia się tlenków siarki będących przyczyną kwaśnych deszczów. Postęp w procesach wzbogacania węgla, a przede wszystkim wprowadzenie nowych wysokosprawnych instalacji odsiarczania spalin w elektrowniach spowodowały, że ten szkodliwy wpływ nie jest tak uciążliwy. W ostatnich latach działania naukowców koncentrują się coraz bardziej na sposobach ograniczania szkodliwego oddziaływania pierwiastków śladowych na środowisko przyrodnicze, co do tej pory było pomijane lub bagatelizowane.

Węgiel kamienny wykorzystywany jest głównie do celów energetycznych, dlatego ważne jest aby podczas spalania nie wydzielały się do atmosfery pierwiastki promieniotwórcze mogące być przyczyną wielu chorób. Także wykorzystywanie produktów spalania, na przykład, do produkcji materiałów budowlanych musi podlegać ścisłej kontroli, aby nie doszło do napromieniowania mieszkańców tych budynków czy budowli.

W artykule zachowano jednostki stosowane w cytowanych publikacjach. Różnorodność jednostek nie powinna jednak wpływać negatywnie na możliwość porównywania różnych węgli, gdyż  $1 \text{ mg/kg} = 1 \text{ ppm}$ .

## 1. Charakterystyka pierwiastków promieniotwórczych

Pierwiastki radioaktywne – tzw. radionuklidy – z punktu widzenia pochodzenia, dzielą się na dwie grupy. Pierwszą grupę stanowią pierwiastki radioaktywne utworzone w okresie formowania się systemu słonecznego. Charakteryzują się one długimi okresami połowicznego rozpadu, porównywalnymi do czasu istnienia Ziemi, wynoszące około  $5 \times 10^9$  lat. Do grupy tej zaliczane są także pierwiastki promieniotwórcze pochodzące od pierwiastków, które zapoczątkowują tzw. naturalne szeregi promieniotwórcze. Drugą grupę radionuklidów naturalnych stanowią izotopy promieniotwórcze, powstałe w wyniku reakcji jądrowych zachodzących między cząstkami promieniowania kosmicznego, a jądrami niektórych pierwiastków znajdujących się w powietrzu. W ten sposób powstają: wodór  $^3\text{H}$  (tryt), beryl  $^7\text{Be}$ , węgiel  $^{14}\text{C}$ . Pierwiastki promieniotwórcze naturalne z obu grup są wszechobecne w środowisku Ziemi. Dzieje się tak ze względu na bardzo długi okres półtrwania pierwszych członów szeregów promieniotwórczych ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  – pierwotne izotopy promieniotwórcze) i ciągły proces powstawania izotopów wtórnych. Ciekawostką stanowią izotopy promieniotwórcze, nazwane geologicznie trwałymi. Ich okres połowicznego rozpadu wy-

nosi ponad  $10^{12}$  lat. Przykładem może tu być ind  $^{115}\text{In}$  ( $T_{1/2} = 6 \times 10^{14}$  lat), którego po 4 miliardach lat pozostanie w litosferze 99,9995%. (Niewęgłowska-Mazurkiewicz www).

## 2. Złóża węgla kamiennego w Polsce i USA

### 2.1. Złóża węgla kamiennego w Polsce

Złóża węgla kamiennego w Polsce znajdują się obecnie w dwóch zagłębiach: Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, oraz Lubelskim Zagłębiu Węglowym. Istnieje jeszcze Dolnośląskie Zagłębie Węglowe lecz ostatnią kopalnię – KWK Nowa Ruda – zlikwidowano w 2000 r. i obecnie nie prowadzi się już eksploatacji węgla w tym zagłębiu.

W Górnośląskim Zagłębiu Węglowym zasoby bilansowe węgla ogółem wynoszą 32 756 mln ton, w tym złoża zagospodarowane – 14 765 mln ton. Zasoby przemysłowe, czyli zasoby mogące być przedmiotem ekonomicznie uzasadnionej eksploatacji, wynoszą zaledwie 4742 mln ton. Odpowiednio w Zagłębiu Lubelskim zasoby bilansowe ogółem wynoszą 9240 mln ton, w tym złoża zagospodarowane – 585 mln ton, a zasoby przemysłowe – 315 mln ton. Ogółem zasoby bilansowe węgla w polskich zagłębiach węglowych wynoszą 41 996 mln ton, w tym złoża zagospodarowane 15 350 mln ton, a zasoby przemysłowe 5058 mln ton. Dane te dotyczą stanu na dzień 31 grudnia 2006 r. (Bilans ... 2007; Zestawienie... 2007).

### 2.2. Złóża węgla kamiennego w USA

Złóża węgla w USA zostały opisane dość dokładnie w ubiegłym roku w artykule autora dotyczącym występowania rtęci w węglach amerykańskich (Olkuski 2007). Warto jednak przypomnieć najważniejsze fakty.

Węgiel kamienny w USA występuje w środkowej oraz środkowo-wschodniej części kraju. Zasoby dzielone są na Region Wschodni, Region Środkowy oraz Region Zachodni. Szacuje się, że ogólne zasoby bilansowe węgla w tym kraju wynoszą 265 mld ton, co przy założeniu eksploatacji na obecnym poziomie, powinno wystarczyć na 285 lat. Złóża węgla zlokalizowane są na terenie 38 stanów. Najwięcej w stanie Montana – 120 mld ton. Duże zasoby węgla występują też w stanach: Illinois, Wyoming, Kentucky, West Virginia, Pennsylvania, Ohio, Colorado, Texas i Indiana. Węgłe z regionu zachodniego charakteryzują się mniejszą zawartością siarki niż te ze wschodniej części. Złóża węgla należą głównie do rządów federalnych. Na zachodzie właścicielem 60% złóż jest rząd federalny, a kolejne 20% znajduje się pod jego kontrolą. Kompanie węglowe chcące eksploatować złoża węgla muszą je dzierżawić od rządów federalnych (Olkuski 2007).

Wydobycie węgla prowadzone jest w 27 stanach, głównie wschodnich. Eksploatacja odbywa się tam przede wszystkim metodą podziemną. Jednakże produkcja w zachodnich stanach zwiększa się systematycznie od 1968 roku i stanowi obecnie 45% krajowej pro-

dukcji całkowitej. Najwięcej węgla wydobywa się w stanach: Wyoming, Kentucky, West Virginia, Pennsylvania i Texas (<http://lsa.colorado.edu>). Od początku XXI wieku produkcja węgla kamiennego w USA przekracza corocznie 900 mln ton, a węgla brunatnego wydobywa się w granicach 74 – 80 mln ton rocznie (Coal information, 2005 – IEA Statistics).

### 3. Występowanie uranu i toru w węglu kamiennym

#### 3.1. Polska

Badania dotyczące występowania pierwiastków promieniotwórczych w polskich węglach były przedmiotem zainteresowania wielu autorów. Już w 1965 roku Sałdan (Sałdan 1965) zaobserwował strefowość występowania uranu. Zauważył, że w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym najbardziej zmineralizowane strefy uranowe to strefy brzeżne. We wschodniej części zbiornika sedimentacyjnego stwierdził nawet 2660 g/t U, co było wartością maksymalną. Największa mineralizacja uranowa występuje w warstwach łaziskich, orzeskich i libiąskich. Mineralizacja dotyczy głównie miejsc, w których występuje nieciągłość tektoniczna lub sedimentacyjna, a także w miejscach styku węgla z piaskowcami. Występowanie uranu w węglu jest efektem ługowania go z warstw nadległych i następnie infiltracji do pokładów węgla.

Największe zawartości uranu zaobserwowano we frakcjach o gęstości 1,7–2,0 g/cm<sup>3</sup>. Mineralizacji uranowej sprzyjały procesy hydrotermalne oraz obniżenia skał w obszarach metamorficznych. Istnieje również związek okruszczenia uranem z przepuszczalnością skał otaczających (Jęczalik 1970).

Z badań przeprowadzonych w ostatnich latach na największą uwagę zasługują badania przeprowadzone przez L. Róg (2005) oraz B. Michalika (2006).

L. Róg stwierdziła, że w węglach pochodzących z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego wśród pierwiastków promieniotwórczych występują przede wszystkim naturalne radionuklidy dwóch szeregów: uranowego z izotopem macierzystym <sup>238</sup>U i torowego z izotopem macierzystym <sup>232</sup>Th. W skład tych szeregów wchodzi między innymi izotopy radu <sup>226</sup>Ra (z rodziny uranowej) i <sup>228</sup>Ra (z rodziny torowej). Średnia ich aktywność właściwa w węglach w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym wynosi odpowiednio dla pierwszego izotopu 18 Bq/kg, a dla drugiego 11 Bq/kg. Na całym obszarze GZW rozkład aktywności <sup>226</sup>Ra i <sup>228</sup>Ra nie jest równomierny. W niektórych częściach Zagłębia odnotowuje się aktywność izotopów radu znacznie przewyższające wartości średnie.

Róg (2005) przebadła próbki handlowych sortymentów węgla analizowane w ramach kontroli jakości węgla przez Zakład Oceny Jakości Paliw Stałych GIG. Próbkę te pochodziły z siedmiu kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego – 12 próbek sortymentów grubych i średnich (orzech i groszek) oraz 39 próbek miałów. Promieniotwórczość naturalną badanych węgli scharakteryzowano na podstawie zawartości izotopów promieniotwórczych: <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra i <sup>40</sup>K. W tabelach 1 i 2 przedstawiono zróżnicowanie aktywności właściwej tych

TABELA 1. Aktywność właściwa izotopów promieniotwórczych w sortymentach grubych i średnich

TABLE 1. The specific activity of radioactive isotopes in medium and large sized coals.

Zawartość	<sup>226</sup> Ra [Bq/kg]	<sup>228</sup> Ra [Bq/kg]	<sup>40</sup> K [Bq/kg]
Minimalna	3	1	4
Maksymalna	19	18	53
Średnia	9	6	18

Źródło: Róg (2005)

TABELA 2. Aktywność właściwa izotopów promieniotwórczych w miałach

TABLE 2. The specific activity of radioactive isotopes in coal dust

Zawartość	<sup>226</sup> Ra [Bq/kg]	<sup>228</sup> Ra [Bq/kg]	<sup>40</sup> K [Bq/kg]
Minimalna	5	4	10
Maksymalna	55	39	319
Średnia	26	21	150

Źródło: Róg (2005)

izotopów w sortymentach grubych i średnich oraz w miałach. Jak widać z tabel, maksymalne i średnie wartości aktywności właściwej poszczególnych izotopów promieniotwórczych były znacznie większe w miałach niż w sortymentach grubych i średnich.

Na podstawie przeprowadzonych badań Róg (2005) wykazała, że aktywność właściwa radionuklidów różnicuje się w zależności od sortymentu węgla. Występujące w miałach maksymalne wartości aktywności właściwej są znacznie większe aniżeli w sortymentach grubych i średnich. Najprawdopodobniej wiąże się to z większą zawartością popiołu w miałach. Poza tym wraz ze wzrostem izotopów promieniotwórczych, popiołu i karbominerytu we frakcjach wzrasta zawartość SiO<sub>2</sub> i K<sub>2</sub>O, a maleje – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i CaO, Na<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub> i P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

W 2006 roku B. Michalik poddał badaniom węgiel z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Oprócz węgla badał też skały otaczające złoża węgla. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdził, że zawierają one pewne ilości naturalnych izotopów promieniotwórczych. Stężenia izotopów promieniotwórczych obserwowane w skałach przywęglowych są kilkakrotnie wyższe od wartości odnotowanych w węglu (tab. 3, 4). Aktywność właściwa jest charakterystyczną wielkością dla węgla pochodzących z różnych pokładów. W zależności od eksploatowanych pokładów i budowy geologicznej, węgle z GZW różnią się średnimi wartościami aktywności właściwej poszczególnych izotopów promieniotwórczych. Wykazał również, że na aktywność właściwą naturalnych izotopów promieniotwórczych w węglu wpływa ilość zanieczyszczeń oraz skład mineralny. Handlowe sortymenty węgla zawierają zanieczyszczenia mineralne oraz zanieczyszczenia wprowadzone

TABELA 3. Aktywność właściwa naturalnych izotopów promieniotwórczych w węglach z poszczególnych ogniw stratygraficznych

TABLE 3. The specific activity of natural radioactive isotopes in coals from particular stratigraphic sources

Warstwy	$^{226}\text{Ra}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{40}\text{K}$
	Bq/kg		
GZW			
Łękowe	21	19	93
Siodłowe	7	5	25
Brzeżne	27	7	30
Obszar Rybnicko-Jastrzębski			
Łękowe	20	15	92
Siodłowe	10	9	24
Brzeżne	48	10	72
Średnia			
GZW	18	11	59
Świat	20	20	50

Źródło: Michalik (2006)

TABELA 4. Zakres zmienności aktywności właściwej naturalnych izotopów promieniotwórczych w skałach przywęglowych

TABLE 4. The range of variability of specific activity of natural radioactive isotopes in rocks that surround coal

Skały przywęglowe	$^{226}\text{Ra}$	$^{228}\text{Ra}$	$^{40}\text{K}$
	Bq/kg		
Z powierzchniowych składowisk w zależności od pochodzenia geologicznego	44–88	41–78	339–767
Mułowce i łupki ilaste	51–120	59–117	393–1070

Źródło: Michalik (2006)

w trakcie urabiania, a nie usunięte w procesach przeróbki i wzbogacania (karbońskie skały ilaste, pochodzące z partii spągowych i stropowych pokładów węglowych, oraz tzw. przerosty skały płonnej lub wkładki substancji ilastych, które podczas eksploatacji pokładu węglowego przechodzą do urobku). Z badań petrograficznych wynika, że głównym źródłem promieniotwórczości w węglu kamiennym oraz skałach przywęglowych są skupienia wtórnych fosforanów, detrytyczny monacyt ( $\text{CePO}_4$ ), cyrkon ( $\text{ZrSiO}_4$ ), ksenotym ( $\text{YPO}_4$ ) i uranotoryt ( $\text{Th,U}$ ) [ $\text{SiO}_4$ ].

Interesujące badania przeprowadziła również I. Bojakowska (Bojakowska i inni 2008). W badaniach tych przeanalizowano 112 próbek węgla z GZW, 6 próbek węgla z DZW i 29

próbek węgla z LZW. Węgle z GZW pochodziły z kopalń: Janina, Silesia, Jaworzno, Siersza, Brzeszcze, Krupiński, Halemba, Jas-Mos, Anna, Marcel i Gliwice. Węgiel z DZW pochodził, z nieczynnej już kopalni Nowa Ruda, a węgiel z LZW z kopalni Bogdanka. Zawartość uranu w poszczególnych zagłębiach polskich przedstawiono w tabeli 5, natomiast zawartości toru w tabeli 6.

TABELA 5. Zawartość uranu w polskich węglach kamiennych [mg/kg]

TABLE 5. Uranium content in polish hard coal [mg/kg]

Zawartość uranu	Górnośląskie Zagłębie Węglowe	Dolnośląskie Zagłębie Węglowe	Lubelskie Zagłębie Węglowe
Minimalna	0,1	0,4	0,2
Maksymalna	8,5	3,1	8,3
średnia	1,9	1,9	2,2

Źródło: Bojakowska i in. 2008

TABELA 6. Zawartość toru w polskich węglach kamiennych [mg/kg]

Table 6. Thorium content in polish hard coal, mg/kg

Zawartość uranu	Górnośląskie Zagłębie Węglowe	Dolnośląskie Zagłębie Węglowe	Lubelskie Zagłębie Węglowe
Minimalna	0,1	0,1	0,1
Maksymalna	14,9	5,8	33,5
średnia	2,3	2,1	4,8

Źródło: Bojakowska i in. 2008

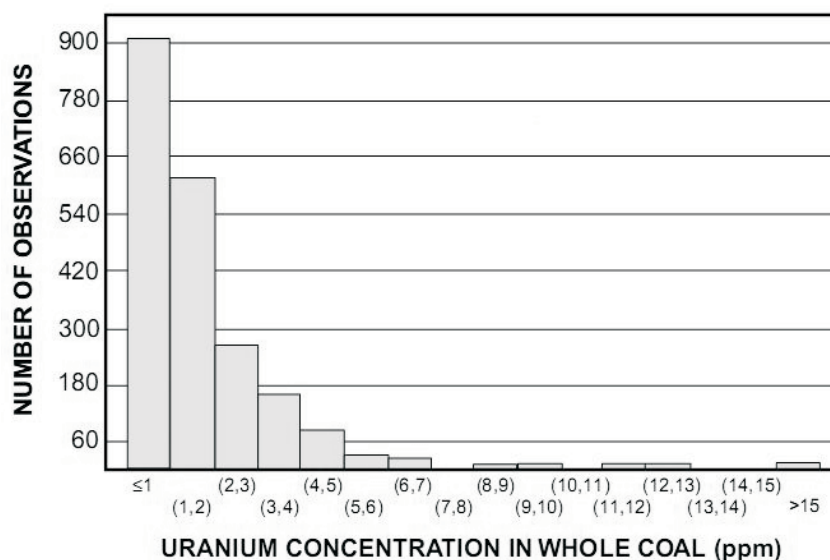
Jak widać z tabeli 5, zawartość uranu w węglach GZW zmienia się w granicach 0,1–8,5 mg/kg (średnio 1,9 mg/kg), dla węgla z DZW 0,4 – 3,1 mg/kg (średnio 1,9 mg/kg), a dla LZW 0,2–8,3 mg/kg (średnio 2,2 mg/kg). Najwyższą średnią zawartością uranu charakteryzują się węgle z kopalni Marcel, a najniższą węgle z kopalni Jas-Mos (Bojakowska i in. 2008).

W przypadku toru, tabela 6, jego zawartość w węglach GZW zawiera się w granicach 0,1–14,9 mg/kg (średnio 2,3 mg/kg), dla węgla z DZW 0,1–5,8 mg/kg (średnio 2,1 mg/kg), a dla LZW 0,1–33,5 mg/kg (średnio 4,8 mg/kg). Najwięcej toru występuje w kopalni Halemba, a najmniej w kopalniach Jas-Mos i Brzeszcze.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że badania przeprowadzone dla węgla z DZW nie są reprezentatywne. Analizie poddano jedynie sześć próbek i, jak stwierdzają to sami autorzy (Bojakowska i inni 2008), nie badano pokładów węgla radwanickich znanych z wysokiej zawartości uranu o czym świadczą badania z lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku (Wróblewski 1962; Nielubowicz, Wróblewski 1963). Nie jest to jednak tak istotne, gdyż DZW nie jest już obecnie eksploatowane.

### 3.2. USA

W latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku przeprowadzono w USA zakrojone na szeroką skalę badania zawartości uranu i toru w węglach kamiennych występujących w dwóch zagłębiach: Western United States i Illinois Basin. Na rysunku 1 i 2 przedstawiono częstotliwość rozproszenia koncentracji uranu dla około 2000 próbek węgla z Western United States i około 300 węgli z Illinois Basin. W większości próbek zawartości uranu spadają w zakresie do nieznacznych ilości 1–4 ppm, czyli 1–4 mg/kg. Podobna zawartość uranu występuje w pospolitych skałach i glebach, co pokazano na rysunku 3. Węgle o zawartości uranu powyżej 20 ppm występują rzadko w USA. Zawartość toru w węglu spada w podobnym zakresie 1–4 ppm. Dla porównania średnia zawartość w skorupie ziemskiej wynosi około 10 ppm. Węgle z zawartością toru powyżej 20 ppm są niesłychanie rzadkie.

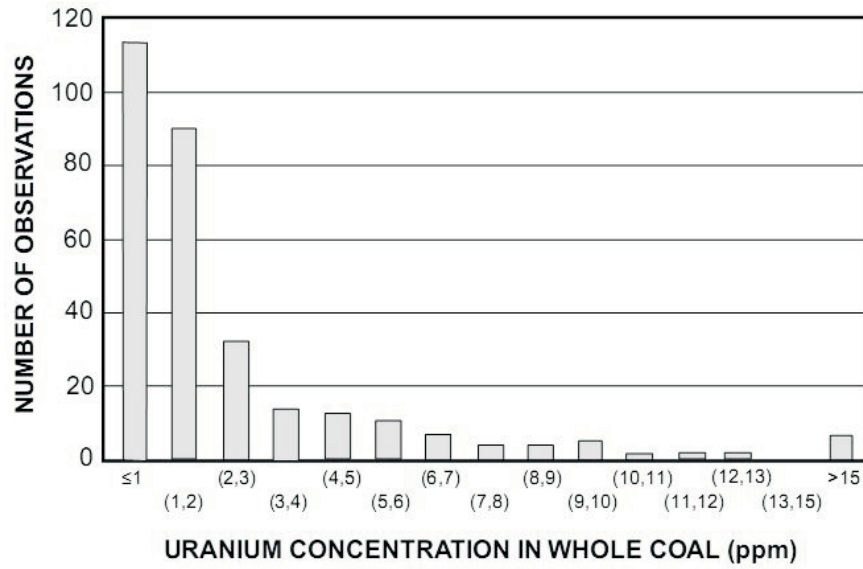


Rys. 1. Rozkład zawartości uranu w węglu z Western United States  
Źródło: (Radioactiv ... 1997)

Fig. 1. Distribution of uranium concentration in coal from Western United States

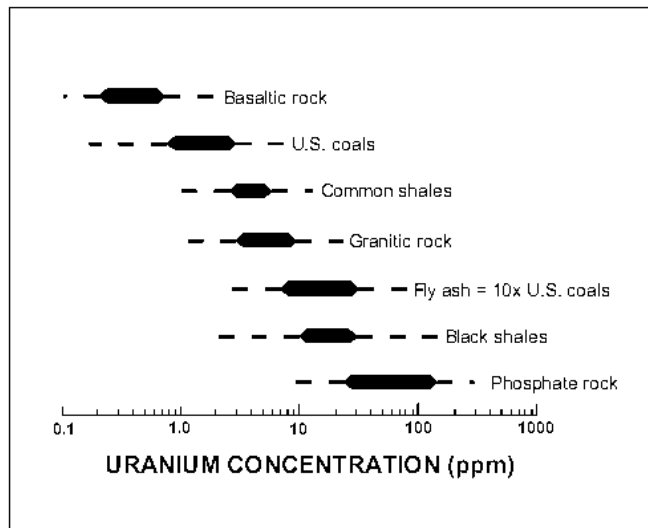
Podczas spalania węgla większość uranu, toru i ich produktów rozkładu jest uwalniana ze struktury węglowej i rozprzestrzeniana pomiędzy fazą gazową i stałymi produktami spalania.





Rys. 2. Rozkład zawartości uranu w węglu w Illinois Basin  
 Źródło: (Radioactiv ... 1997)

Fig. 2. Distribution of uranium concentration in coal from Illinois Basin



Rys. 3. Przedziały zawartości uranu w węglu, popiele lotnym i różnych skałach  
 Źródło: (Radioactiv ... 1997)

Fig. 3. Range of uranium concentration in coal, fly ash, and a variety rocks

## Podsumowanie

W Górnośląskim Zagłębiu Węglowym najbardziej zmineralizowane strefy uranowe to strefy brzeżne. Mineralizacja dotyczy głównie miejsc, w których występuje nieciągłość tektoniczna lub sedimentacyjna, a także w miejscach styku węgla z piaskowcami. Występowanie uranu w węglu jest efektem ługowania go z warstw nadległych i następnie infiltracji do pokładów węgla (Sałdan 1965).

W węglach pochodzących z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego wśród pierwiastków promieniotwórczych występują przede wszystkim naturalne radionuklidy dwóch szeregów: uranowego z izotopem macierzystym  $^{238}\text{U}$  i torowego z izotopem macierzystym  $^{232}\text{Th}$ . W skład tych szeregów wchodzi między innymi izotopy radu  $^{226}\text{Ra}$  (z rodziny uranowej) i  $^{228}\text{Ra}$  (z rodziny torowej). Średnia ich aktywność właściwa w węglach w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym wynosi odpowiednio dla pierwszego izotopu 18 Bq/kg, a dla drugiego 11 Bq/kg (Róg 2005).

Występujące w miazłach maksymalne wartości aktywności właściwej poszczególnych izotopów są znacznie większe aniżeli w sortymentach grubych i średnich. Najprawdopodobniej wiąże się to z większą zawartością popiołu w miazłach (Róg 2005).

Aktywność izotopów promieniotwórczych obserwowana w skałach przywęglowych jest kilkakrotnie wyższa od wartości odnotowanych w węglu.

W zależności od eksploatowanych pokładów i budowy geologicznej, węgle z GZW różnią się średnimi wartościami aktywności właściwej poszczególnych izotopów promieniotwórczych.

Na aktywność właściwą naturalnych izotopów promieniotwórczych w węglu wpływa ilość zanieczyszczeń oraz skład mineralny. Handlowe sortymenty węgla zawierają zanieczyszczenia mineralne oraz zanieczyszczenia wprowadzone w trakcie urabiania, a nie usunięte w procesach przeróbki i wzbogacania (Michalik 2006).

W większości próbek węgla amerykańskich zawartość uranu wynosi 1–4 ppm. Podobna zawartość uranu występuje w pospolitych skałach i glebach. Zawartość toru wynosi również 1–4 ppm (Radioactiv... 1997). Jest to niewiele, zważywszy, że średnia zawartość w skorupie ziemskiej wynosi 10 ppm.

Porównując węgle polskie i amerykańskie wyraźnie widać, że średnia zawartość uranu jest podobna i mieści się w tych samych granicach zarówno w jednych jak i w drugich węglach, natomiast zawartość toru w węglu z Lubelskiego Zagłębia Węglowego jest wyższa niż w węglach amerykańskich. Również wyższe są zawartości maksymalne, zarówno uranu jak i toru w polskich węglach dla wszystkich polskich zagłębi węglowych.

## Literatura

- ALEKSA H., DYDUCH F., WIERZCHOWSKI K., 2007 – Chlor i rtęć w węglu i możliwości ich obniżenia metodami przeróbki mechanicznej. *Kwartalnik AGH Górnictwo i Geoinżynieria*, Kraków rok 31, z. 3/1, 35–48.
- Bilans zasobów kopalni i wód podziemnych w Polsce według stanu na 31.12.2006 r., Państwowy Instytut Geologiczny. Warszawa 2007.
- BOJAKOWSKA I., LECH D., WOŁKOWICZ S., 2008 – Uran i tor w węglach kamiennych i brunatnych ze złóż polskich. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 24, z. 2/2, s. 53–65.
- Coal information, 2005 – IEA Statistics.
- CZAPLIŃSKI A. (red.), 1994 – Węgiel kamienny. Wyd. AGH, Kraków.
- HATT R., 2000 – Trace elements In coal. *World Coal*. April 2000, s. 36–37.  
<http://lsa.colorado.edu/>
- JASIEŃKO S. i in. 1995 – Chemia i fizyka węgla. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław.
- JĘCZALIK A., 1970 – Geochemia uranu w uranonośnych węglach w Polsce. *Biuletyn Instytutu Geologicznego* t. V, nr 224, s. 103–204.
- KUCOWSKI J., LAUDYN D., PRZEKWAŚ M., 1997 – Energetyka a ochrona środowiska. WNT, Warszawa.
- NIELUBOWICZ B., WRÓBLEWSKI T., 1963 – Przyczynek do poznania okruszczenia uranowego w węglach radwanickich na Dolnym Śląsku. *Kwartalnik Geologiczny* 7(1), s. 114-130.
- NIWĘGŁOWSKA-MAZURKIEWICZ A. – Ziemskie promieniowanie naturalne (promieniowanie skorypy ziemskiej, odpadów kopalnianych, materiałów budowlanych – intensywność, zawartość w różnych materiałach, szkodliwość). (<http://www.if.pw.edu.pl>) [http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mfj/zal03/nieweglowska/PRACA-FJ\(wstep,historia,definicje\).htm](http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mfj/zal03/nieweglowska/PRACA-FJ(wstep,historia,definicje).htm)
- OLKUSKI T., 2007 – Porównanie zawartości rtęci w węglach polskich i amerykańskich. *Polityka Energetyczna* t. 10, z. spec. 2, s. 603–611.
- Radioactive Elements In Coal and Fly Ash: Abundance, Forms, and Environmental Significance. USGS Science for Changing World. Central Region Energy Resources Team. Fact Sheet FS-163-97. October, 1997 (<http://greenwood.cr.usgs.gov>).
- SALDAN M., 1965 – Metalogeneza uranu w utworach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Biuletyn Instytutu Geologicznego* t. V, nr 193, s. 111–169.
- SROGI K., 2007 – Pierwiastki śladowe w węglu. *Wiadomości Górnicze* nr 2, s. 87–96.
- WRÓBLEWSKI T., 1962 – Przejawy mineralizacji uranowej w warstwach radwanickich. *Kwartalnik Geologiczny* 6(4), s. 816–817.
- Zestawienie zasobów węgla kamiennego w kopalniach czynnych. Lata 1990–2006. System IGZOP/M, ARP SA Oddział Katowice.

Tadeusz OLKUSKI

## The uranium and thorium content in polish and american coals

### Abstract

The article constitutes an attempt to compare Polish and American coals in terms of their uranium and thorium content. As is known, uranium and thorium are radioactive elements that may constitute a danger to man during the process of exploiting and using coal for energy. That is why it is important to know where and what quantities of these elements can be found in coal. The article focuses mainly on bituminous varieties of coal originating from the Upper Silesian Coal Mining Area, although the results of studies conducted on coals from the Lower Silesian Coal Mining Area and Lublin Coal Mining Area have also been presented. For American coals, the results of studies conducted from the Western United States and Illinois Basin regions have been presented.

In the Upper Silesian Coal Mining Area, the most highly mineralized uranium zones are marginal zones. Mineralization mainly concerns areas characterized by tectonic or sedimentary discontinuity, as well as areas where coal meets sandstone. The presence of uranium in coal is the effect of its leaching from upper layers, and subsequent infiltration into coal beds.

Among the radioactive elements present in coals from the Upper Silesian Coal Mining Area, two different series of natural radionuclides can be found, above all: a uranium series with the mother isotope  $^{238}\text{U}$ , and a thorium series with the mother isotope  $^{232}\text{Th}$ . Isotopes of radium such as  $^{226}\text{Ra}$  (from the uranium family) and  $^{228}\text{Ra}$  (from the thorium family) can also be found within these series, among other things. The specific activity of these isotopes in coals from the Upper Silesian Coal Mining Area is respectively equivalent to 18 Bq/kg for the first isotope, and 11 Bq/kg for the second isotope.

The maximum proportions of particular isotopes are much higher for coal dust as opposed to medium or large sized coal. This is most likely tied to the greater amount of ash in coal dust.

The concentrations of radioactive isotopes observed in rocks that surround coal are many times higher than the values noted in the coal itself.

Depending on the exploited coal bed and geological construction, coals from the Upper Silesian Coal Mining Area differ from each other in terms of the average specific activity of particular radioactive isotopes. The specific activity of natural radioactive isotopes is influenced by the amount of pollution and mineral composition. Commercial size of coal contain mineral pollution, in addition to pollution introduced during mining, which is not subsequently eliminated during the coal's processing and enrichment.

In most of the samples of American coals the uranium content is equivalent to 1–4 ppm. Similar concentrations of uranium can be found in ordinary rocks and soils. The thorium content is also equivalent to 1–4 ppm. This value is low considering that the average thorium content in the earth's crust is equal to 10 ppm.

KEY WORDS: hard coal, uranium, thorium, radioactivity