

**INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ**



KRAKÓW

RAPORT No 1162/D

**OCENA ZAGROŻENIA RADIACYJNEGO
WYNIKAJĄCEGO Z UŻYTKOWANIA POLSKICH
WĘGLI BRUNATNYCH**

Część I:

**Węgiel brunatny w polskiej gospodarce oraz przygo-
towanie metodyki oznaczeń stężeń głównych
naturalnych radionuklidów w węglu i produktach
jego spalania**

**MIROSŁAWA JASIŃSKA
TADEUSZ NIEWIADOMSKI
JAN SCHWABENTHAN**

KRAKÓW 1982

OCENA ZAGROŻENIA RADIACYJNEGO WYNIKAJĄCEGO
Z UŻYTKOWANIA POLSKICH WĘGLI BRUNATNYCH

Część I: Węgiel brunatny w polskiej gospodarce oraz
przygotowanie metodyki oznaczeń stężeń głównych
naturalnych radionuklidów w węglu i produktach
jego spalania

ASSESSMENT OF THE RADIATION RISK FOLLOWING
FROM EXPLOITATION OF POLISH BROWN COALS

Part I: Brown Coal in Polish Industry; Preparation
of the Method of Determining the Concentrations
of Main Natural Radioisotopes Appearing in
Brown Coal and its Combustion Products

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ ВОЗНИКАЮЩЕЙ
С ПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛЬСКОГО БУРОГО УГЛЯ

Часть I: Бурый уголь в промышленности Польши и подго-
товка методики определения концентрации
главных естественных радионуклидов в угле
и продуктах его горения

MIROSLAWA JASIŃSKA, TADEUSZ NIEWIADOMSKI, JAN SCHWABENTHAN

PROGRAM FINANSOWANY PRZEZ CLOR I MAEA-CONTRACT No 2908/RB

KRAKÓW 1982

*NAKŁADEM INSTYTUTU FIZYKI JĄDROWEJ W KRAKOWIE
UL. RADZIKOWSKIEGO 152*

Kopię kserograficzną, druk i oprawę wykonano w IFJ Kraków

Wydanie I

Zam. 14/82-2722/82

Nakład 40 egz.

Streszczenie

Polska należy do krajów posiadających znaczne wielkoprzemysłowe złoża węgla brunatnych, szacowane na około $13.5 \cdot 10^9$ t. W niedalekiej przyszłości prawie połowa wytwarzanej w naszym kraju energii elektrycznej będzie pochodzić z elektrowni spalających węgiel brunatny. W wyniku tego corocznie środowisko Polski zostanie obciążone około $15 \cdot 10^6$ t popiołów i żużli oraz około $0.79 \cdot 10^6$ t popiołów lotnych wyemitowanych do atmosfery. Stężenie radioaktywności w tych odpadach może być nawet około 12 razy większe w stosunku do radioaktywności spalanych węgla. Rozprzestrzenienie tego rodzaju odpadów do środowiska stwarza nowe obciążenie dla ludności, związane z wdychaniem emitowanych pyłów, spożywaniem skażonych pokarmów oraz z przebywaniem w budynkach powstałych z przetworzonych odpadów. W celu określenia w węglach brunatnych i powstających z nich odpadach stężeń ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K przygotowano metodę identyfikacji radionuklidów na podstawie spektrometrii promieniowania gamma, zaś do określenia stężenia ^{210}Pb i ^{210}Po metodą elektrodepozycji na metalicznym srebrze.

Summary

Poland is rich in deposits of brown coal applicable for large-scale industry. These deposits are estimated at about $13.5 \cdot 10^9$ tons. In the near future, one-half of the electric power produced in Poland will be generated by power plants using brown coal. As a result, the yearly burden of the environment in Poland will amount to about $15 \cdot 10^6$ tons of ashes and slag, and about $0.79 \cdot 10^6$ tons of fly-ash emitted into the atmosphere. Concentrations of radioactive elements in wastes following from the use of brown coal may in some cases be as much as 12 times that occurring from combustion products of lignite coal. Distribution of these was-

tes to the environment affects the population, through inhalation of fly-ashes, consumption of radioactively contaminated products and through living in dwellings constructed of building materials produced using industrial wastes.

In order to determine the concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in brown coal and in products of its combustion, the method of identifying these elements through gamma-spectrometry has been prepared. Concentrations of ^{210}Pb and ^{210}Po will be determined using the method of electrodeposition on metallic silver, which has been tested in the laboratory.

Резюме

Польша принадлежит к странам располагающим значительными крупнопромышленными месторождениями бурого угля, оцениваемыми приблизительно на $13.5 \cdot 10^9$ т. В недалеком будущем почти половина производимой электрической энергии будет производиться из электростанции сгорающих бурый уголь. В следствие того будет введено в естественную среду $15 \cdot 10^6$ т. пепела и шлаки и $0.79 \cdot 10^6$ т. пыли выemitированных в атмосферу. Концентрация радиоактивности в этих промышленных отбросах, может в 12 раз превосходить радиоактивность угля. Распространение этих промышленных отбросов создает в естественной среде новую нагрузку для населения, что связано с вдыханием emitированных пылей, приемом загрязненной пищи, а также пребыванием в зданиях построенных из переработанных отбросов. В цели определения содержания: ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в буром угле и продуктах его сжигания разработано метод идентификации радионуклидов с помощью спектрометрического анализа гамма излучения, ^{210}Pb и ^{210}Po разработано метод электродепозиции.

1. Wstęp

Wiadomo, że stopień zanieczyszczenia środowiska zależy od poziomu kultury technicznej i w Polsce jest wyjątkowo wysoki /80% w stosunku do 31% w USA/. Rozbudowywany obecnie w kraju przemysł energetyczny w coraz większym stopniu wykorzystuje węgiel brunatny i przewiduje się podwojenie jego zużycia w najbliższych latach /rys. 1/. Pogorszy to jeszcze bardziej istniejący stan zanieczyszczeń, tym bardziej, że już w chwili obecnej blisko 1/3 emitowanych do atmosfery pyłów i blisko 1/5 wszystkich odpadów składowanych w ciągu ostatnich lat na hałdach w Polsce pochodzi ze spalania węgla brunatnego. Charakterystycznym zjawiskiem przy spalaniu węgla, w tym również brunatnych, jest znaczne wzbogacenie powstałych popiołów w występujące w węglach pierwiastki. Na rys. 2-6 przedstawiono to zjawisko na przykładzie głównych naturalnych radionuklidów wazech-obecnych w przyrodzie. Jako skalę porównawczą przyjęto typowe zakresy ich stężeń w glebach, które są naturalną warstwą litosfery mającą kontakt z człowiekiem od zarania jego istnienia. Przedstawione maksymalne zakresy stężeń radionuklidów w popiołach są nawet do 12 razy większe od największych typowych ich stężeń w glebach. W związku z tym rodzi się pilna potrzeba przeprowadzenia badań szacujących w jakim stopniu spalanie polskich węgla brunatnych obciąża otoczenie. Tego rodzaju studium postanowiono rozpocząć od wytypowania do badań ważnych przemysłowo złóż węgla brunatnego i określenia parametrów związanych z przerobem tych węgla w elektrowniach. W zakresie

zaś pomiarów od przygotowania spektrometru gamma do wyznaczania stężeń ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K i metodyki radiochemicznej do określenia stężeń ^{210}Pb i ^{210}Po w próbkach węgla i popiołów.

2. Zasoby i gospodarka węglem brunatnym w Polsce^{*/}

Polska zaliczana jest do krajów dysponujących niemałymi zasobami węgla brunatnego. Ogólne zasoby geologiczne szacowane są na około $36 \cdot 10^9$ ton, ważne pod względem wielkoprzemysłowym wynoszą około $13,5 \cdot 10^9$ ton /Os70/. Złoża o znaczeniu przemysłowym należą z punktu widzenia geologii do formacji trzeciorzędowej przy czym największe znaczenie mają pokłady wieku oligocenckiego i miocenckiego wykształcone w kompleksie osadów lądowych. W złożach tych dominującymi litotypami są węgle ziemiste i ksyli- lity /lignity/. Oba te litotypy występują zazwyczaj łącznie a wzajemny ich stosunek określa typ węgla ksyli- towo-ziemistych i ziemistych. Przedstawione na rys. 7 przemysłowe złoża węgla brunatnego zgrupowane są głównie na obszarach środkowych i zachodnich Polski. Złoża te występują w VII regionach: łódzkim, konińskim, bydgoskim, zielonogórskim, poznańskim, legnickim i turosszowskim /tab. 1/. Jak można wnioskować z wielkości zasobów, przyszłość naszej energetyki opartej na węglu brunatnym wiąże się ze złożami Bełchatowa, Mosiny, Rydzyna, Legnicy i Ścinawy.

Wydobywany w Polsce węgiel brunatny jest prawie w całości spalany w elektrowniach. Eksport stanowi znikomą część ogólnego

^{*/} W przedstawionych rozważaniach, poza cytowaną literaturą opierano się także na informacjach uzyskanych w Zjednoczeniu Węgla Brunatnego we Wrocławiu.

wydobycia. Na węglu brunatnym pracuje w naszym kraju pięć elektrowni: "Pątnów", "Adamów", "Konin" /Zespół Elektrowni PAK/ oraz "Turów" i "Bełchatów" /tab. 2/. Produkcja tych zakładów, podobnie jak w innych gałęziach przemysłu, związana jest z charakterystycznymi wartościami i wskaźnikami. Tego rodzaju generalne i uśrednione wielkości dla wszystkich pięciu elektrowni zamieszczone są w tabeli 3. Będą one niezbędne w przyszłej ocenie i bilansie stężeń radionuklidów wprowadzanych z tych zakładów do środowiska.

Aktualnie największą mocą zainstalowaną 2000 MW dysponuje Elektrownia "Turów". W przyszłości ponad dwukrotnie większą moc 4320 MW posiadać będzie Elektrownia "Bełchatów". O wielkości tej elektrowni świadczyć będzie szacowane zużycie węgla prawie tak wysokie jak obecnie łącznie dla Zespołu Elektrowni PAK i "Turowa". Ilości węgla spalane w Elektrowni "Bełchatów" będą na poziomie całorocznego wydobycia. W konsekwencji elektrownia ta będzie miała największy ilościowy udział we wprowadzaniu zanieczyszczeń do otoczenia. Prawie połowa odpadów $7 \cdot 10^6 \text{ ton} \cdot \text{rok}^{-1}$ pochodzić będzie z "Bełchatowa".

3. Zagrożenia radiacyjne wynikające ze spalania węgla brunatnego.

Rozbudowa polskiego przemysłu energetycznego opartego na węglu brunatnym związana jest z dużymi zasobami tego surowca w naszym kraju. W niedalekiej przyszłości prawie połowa rocznej produkcji energii elektrycznej pochodzić będzie z elektrowni spalających węgiel brunatny.

Zakładając, że w ciągu roku wszystkie 5 elektrowni będzie produ-

kować $61 \cdot 10^6$ MWh energii /tab. 2/, wielkoprzemysłowe zasoby węgla brunatnego w Polsce wystarczą przy tym poziomie rocznej produkcji energii elektrycznej przynajmniej na najbliższe 150 lat. Zanieczyszczenia które powstaną w procesie spalania węgla, pozostaną albo w fazie stałej gromadzonej na hałdach, albo w fazie lotnej i w stopniu zależnym od sprawności filtrów zostaną wyrzucone do atmosfery, rozprzestrzeniając się na duże obszary. W wyniku spalania wszystkich wielkoprzemysłowych zasobów złóż węgla brunatnego, środowisko naszego kraju będzie obciążone /przy sprawności filtrów 95%/ około $2,5 \cdot 10^9$ tonami popiołów lotnych i żużli zgromadzonych na hałdach i około $0,13 \cdot 10^9$ tonami popiołów lotnych wyemitowanych do atmosfery. Ilość zgromadzonych odpadów na hałdach, tylko z samego spalania węgla brunatnego będzie około trzykrotnie przekraczać masę wszelkich odpadów stałych /około $0,85 \cdot 10^9$ ton wg /Gu80/ nagromadzonych przez wszystkie gałęzie przemysłu w Polsce do roku 1980.

Gdyby przyjąć, obecnie zupełnie teoretyczne założenie, że odpady te mogą posiadać wysoki stężenie radioaktywności /rys. 2-4/^{m/}, to wówczas nad powierzchnią gdzie byłyby one składowane moc dawki od promieniowania gamma byłaby rzędu $500 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$, podczas gdy najczęstsze wartości mocy dawki od składowej ziemskiej promieniowania gamma spotykane w Polsce wahają się w granicach $40-45 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ /N180/.

^{m/} próbka popiołu z Elektrowni "Turów", wg badań IBJ zawierała $610,5 \text{ mBq} \cdot \text{g}^{-1}$ ^{226}Ra ; $196,1 \text{ mBq} \cdot \text{g}^{-1}$ ^{232}Th i $1731,6 \text{ mBq} \cdot \text{g}^{-1}$ ^{40}K /Gw78/, a więc odpowiadałaby zakładanym kryteriom

Podobnie jak na całym świecie, również w Polsce dąży się do racjonalnego zagospodarowania hałd z odpadów. Występują tutaj dwa zasadnicze kierunki: zagospodarowanie leśno-rolnicze lub utylizacja przemysłowa. Pierwszy kierunek prowadzi do założenia na hałdach kultur leśnych, służących częstokroć jako miejsca rekreacyjne, lub do wykorzystania hałdy jako podłoża do uprawy warzyw czy założenia sadu. Wprowadzenie kultury leśnej wnosi dla ludzi zapewne mniejsze zagrożenie radiacyjne w porównaniu z uprawą roślin jadalnych, gdyż czasokres przebywania w takim terenie jest ograniczony np. do kilkunastu godzin tygodniowego weekend'u. Natomiast w przypadku upraw roślin jadalnych sumuje się tutaj jeszcze element ich spożywania, powodujący bezpośrednie wprowadzanie do organizmu ze zjedanymi roślinami substancji które pobrały z podłoża. Drugi kierunek, związany z utylizacją przemysłową, opiera się na stosunkowo znacznej zawartości CaO w popiołach z węgla brunatnego /często ponad 20%/ co predysponuje je do użycia w produkcji materiałów budowlanych. Tego rodzaju zastosowanie popiołów wpływa na szerokie rozprzestrzenienie się tych odpadów w środowisku w szczególnie bliskie sąsiedztwo człowieka. Na pewno istnieje mniejsze zagrożenie radiacyjne od tych materiałów gdy są użytkowane do budowy np. głębokich fundamentów czy wzmocnienia dróg.

Niemniej ważne i interesujące jest zagadnienie związane z zapyleniem powietrza wynikającym w głównej mierze z emisji do atmosfery popiołów lotnych z kominów elektrowni spalających węgiel brunatny. Popioły dostające się do atmosfery tworzą

subtelne aerozole zdolne do rozprzestrzeniania się z prądami powietrza, uzależnionymi od panujących w danym rejonie warunków meteorologicznych. Szczególnie narażone są tutaj obszary w kierunku których najczęściej wieją wiatry od strony emitora popiołów. Popioły unoszone z prądami powietrza opadają na podłoże wnosząc do niego nowe wartości stężeń radioaktywności, jak również zostają wdychane przez ludzi i zwierzęta. Jeśli chodzi o wdychanie, osiadanie w płucach i przedostawanie się tą drogą do krwioobiegu popiołów o podwyższonej radioaktywności, wiąże się to zjawisko z powstaniem tzw. dawki inhalacyjnej. Określa ona obciążenie radiacyjne człowieka radionuklidami wprowadzonymi do organizmu w procesie oddychania. Jak wykazały badania ogłoszone przez Mc Bride /Mc77/ udział poszczególnych radionuklidów w radiacyjnym obciążeniu różnych organów jest zmienny. Np. największy udział w radiacyjnym obciążeniu nerek jest przypisywany ^{210}Po /29%/ , ^{226}Ra /28%/ i ^{210}Pb /18%/ ; w przypadku śledziony ^{226}Ra /42%/ i ^{210}Po /40%/ , płuca najbardziej obciąża ^{226}Ra /47%/ i ^{232}Th /10%/ . Są to bardzo istotne aspekty, ściśle wiążące się ze składem rozprzestrzenianych do środowiska popiołów. Z przedstawionych przez Styrona i innych /St81/ współczynników koncentracji radionuklidów w popiołach lotnych w stosunku do węgla z których powstały wynika, że są one dla ^{210}Po i ^{210}Pb 2 do 3 razy większe od takich samych współczynników wyliczonych dla ^{226}Ra . Jeszcze jedno z wielu, tego rodzaju obciążenie naszej przestrzeni życiowej, wynikające z przerobu węgla brunatnych, napewno nie może pozostać bez głębszego rozeznania w warunkach Polski.

Ze względu na konieczność przeanalizowania bardzo dużej liczby próbek węgla i popiołów lotnych a także wybranych gleb pod kątem stężeń radionuklidów, przyjęte zostały metody możliwe do użycia w badaniach wielkoskalowych. Do oznaczeń stężenia ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K zdecydowano się na pomiary spektrometryczne, stężenia ^{210}Pb i ^{210}Po określone zostaną na drodze fizykochemicznej.

4. Metodyka oznaczania stężeń ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{40}K

Dla oznaczenia stężeń tych radionuklidów zastosowano metodę analizy liczby kwantów gamma emitowanych przez ^{40}K i niektóre radionuklidy z szeregu ^{238}U , ^{232}Th . Analiza ta polega na porównaniu widma wzorców oznaczonych radionuklidów i widma badanych próbek. Przyrządem pomiarowym do rejestracji widm jest spektrometr gamma z detektorem Ge/Li/ opisany w pracy Koperskiego i Jasińskiej /KoSO/.

Do wyznaczenia współczynników kalibracyjnych spektrometru sporządzone zostały po dwa rodzaje wzorców dla każdego z oznaczanych radionuklidów. Wzorce służące do pomiarów stężenia radionuklidów w węglach brunatnych wykonano na bazie spektralnie czystego grafitu i węgla drzewnego. Nasypowy ciężar właściwy tych wzorców $0,8 \text{ g/cm}^3$ jest podobny do próbek węgla przeznaczonych do pomiarów. Wzorce dla pomiarów pyłów zostały wykonane na bazie spektralnie czystej mieszaniny 50% SiO_2 , 25% CaO , 20% Al_2O_3 i 5% Fe_2O_3 , odpowiadającej składem i ciężarem właściwym nasypowym $1,4 \text{ g/cm}^3$ popiołom lotnym. Do tak sporządzonych nośników wprowadzono odpowiednie ilości rudy uranowej

lub torowej, atestowane w New Brunswick Laboratory - USA, lub też spektralnie czysty KCl produkcji krajowej.

Otrzymano w ten sposób 5 wzorców, każdy o masie 1000 g; dwa wzorce o stężeniach $600 \text{ mBq} \cdot \text{g}^{-1} \text{ } ^{226}\text{Ra}$, dwa o stężeniach $200 \text{ mBq} \cdot \text{g}^{-1} \text{ } ^{232}\text{Th}$ i dwa o stężeniach $1500 \text{ mBq} \cdot \text{g}^{-1} \text{ } ^{40}\text{K}$.

Opracowanie wyników pomiarów oparto o analizę średnich ważonych ze zliczeń odpowiednich linii widna, przeprowadzoną na maszynie liczącej ODRA 1305 /Ko80/. Stężenie ^{40}K określone jest z błędem nie mniejszym niż $\pm 8\%$, natomiast stężenie ^{226}Ra i ^{232}Th z błędem nie mniejszym niż $\pm 4\%$ na poziomie ufności 2σ .

5. Metodyka oznaczania stężeń ^{210}Pb i ^{210}Po

Do oznaczania stężeń ^{210}Pb i ^{210}Po przyjęta została metoda elektrodepozycji /B166, An74, Bi78, Do78/. Metoda ta opiera się na samorzutnym odkładaniu się ^{210}Po znajdującego się w roztworze na metalicznym srebrze umieszczonym w tym roztworze. Wynika to z faktu, że tzw. elektrolityczna prężność roztwórcza srebra jest większa od polonu, przez co srebro wypiera polon z roztworu, wchodząc w jego miejsce. Atomy zaś polonu zastępują atomy srebra i osadzają się na metalicznym srebrze. W metodzie tej wyróżnia się następujące etapy: przeprowadzanie próbki do roztworu, elektrodepozycję ^{210}Po na srebrze metalicznym, pomiar aktywności alfa osadzonego ^{210}Po , obliczenie stężenia ^{210}Pb i ^{210}Po w próbce w oparciu o odpowiedni wzorec ^{210}Po . Średni błąd oznaczeń tą metodą nie przekracza 14% w granicach 2σ .

Przeprowadzenie próbki do roztworu odbywa się w sposób powszechnie stosowany w chemii analitycznej. Rozdrobnioną, wysuszoną i ściśle odważoną próbkę badanego materiału spala się w piecu muflowym. Po spaleniu próbka jest przeprowadzana do roztworu przez roztwarzanie w HF i HNO₃. Po roztworzeniu, jony NO₃⁻ i F⁻ są odpędzane z roztworu na drodze macerowania z HClO₄. Pozostałość po macerowaniu z HClO₄ rozpuszczana jest w HCl i zobojętnia na NaOH.

Elektrodepozycja ²¹⁰Po przeprowadzana jest z roztworu przygotowanego j.w. po zakwaszeniu ściśle określoną ilością HCl i zadaniu kwasem askorbinowym, w temperaturze 85°C. Osadzanie ²¹⁰Po następuje w czasie nie mniejszym niż 4 godziny, na krążku srebrnym zawieszonym w nieprzerwanie mieszanym roztworze.

Pomiar aktywności alfa ²¹⁰Po osadzonego na krążku srebrnym wykonywany jest na aparaturze STANDARD 70 firmy POLON.

Skład zestawu jest następujący:

- zasilacz napięcia, typ ZWN-41
- sonda scyntylicyjna z przedwzmacniaczem typ SSU-70
- scyntylator ZnS/Ag, ϕ 50 mm
- wzmacniacz, typ WL41
- analizator, typ A21
- przelicznik, typ P44

Pomiar ilości zliczeń od aktywności alfa ²¹⁰Po wykonywany jest przez co najmniej 180 minut z każdej strony krążka.

Obliczanie stężeń radionuklidów w próbkach oparte jest o współczynnik kalibracyjny F_k /mBq/1zlicz.·min⁻¹/ wyznaczony na podstawie pomiarów wzorca. Wzorec sporządzony jest z roztworu

zawierającego w 1 cm^3 $740 \text{ mBq } ^{210}\text{Po}$, znajdującego się w równowadze radioaktywnej z ^{210}Bi i ^{210}Pb / $^{210}\text{Pb} = ^{210}\text{Bi} = ^{210}\text{Po}$ /, produkcji Nuclear Chicago Corporation, USA^{*/}.

1 cm^3 tego roztworu naniesiono na powierzchnię jednej strony krążka srebrnego, takiego samego jaki jest używany przy osadzaniu ^{210}Po . Po odparowaniu wody z powierzchni krążka, zmierzona została ilość zliczeń, wynikająca z naniesionej aktywności ^{210}Po i obliczony współczynnik F_k .

Stężenie ^{210}Pb w roztworze próbki jest określane w następujący sposób /An74, Do78/: z badanego roztworu wydziela się ^{210}Po na drodze elektrodpozycji i mierzy jego aktywność /wartość ta będzie potrzebna w momencie obliczania stężenia ^{210}Po jakie było w próbce w chwili jej pobierania/. Roztwór pozbawiony w ten sposób ^{210}Po pozostawia się na okres np. 1-6 miesięcy. W tym czasie z pozostałego w roztworze ^{210}Pb narasta z powrotem, począwszy od zera, nowe stężenie ^{210}Po , zależne od stężenia tego ^{210}Pb . Ze stężenia narosłego ^{210}Po określa się stężenie ^{210}Pb w próbce wg następującej zależności:

$$A_{210\text{Pb}} = \frac{A_{n210\text{Po}}}{K}$$

gdzie:

$$A_{210\text{Pb}} = \text{stężenie } ^{210}\text{Pb} \text{ w próbce } / \text{mBq} \cdot \text{g}^{-1} /$$

$$A_{n210\text{Po}} = \text{stężenie narosłego } ^{210}\text{Po}, / \text{mBq} \cdot \text{g}^{-1} /$$

$$A_{n210\text{Po}} = \frac{N_{+E} \cdot F_k}{R \cdot G}$$

^{*/} roztwór otrzymano od dr J. Bilkiewicza z C.L.O.R., W-wa.

- gdzie: N = ilość zliczeń netto cząstek alfa
od ^{210}Po , /zlicz.·min⁻¹/
- E = średni błąd statystyczny zliczeń,
/zlicz.·min⁻¹/
- F_k = współczynnik kalibracyjny,
/mBq/1 zlicz.·min⁻¹/
- R = średnia wydajność elektrodopozycji ^{210}Po =0,86
- G = ilość gramów próbki w roztworze poddanym
elektrodopozycji, /g/
- K = współczynnik zależny od czasu przechowywa-
nia próbki

$$K = \lambda_2 \lambda_3 \frac{\exp(-\lambda_1 t)}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} + \frac{\exp(-\lambda_2 t)}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} + \frac{\exp(-\lambda_3 t)}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)}$$

- gdzie: λ_1 = stała rozpadu ^{210}Pb , /dzień⁻¹/
- λ_2 = stała rozpadu ^{210}Bi , /dzień⁻¹/
- λ_3 = stała rozpadu ^{210}Po , /dzień⁻¹/
- t = czas przechowywania próbki, /dzień/
/narastanie ^{210}Po /

Stężenie ^{210}Po w badanej próbce w chwili jej pobrania, określa-
ne jest ze stężenia ^{210}Po który został wydzielony z roztworu
próbki gdy jest on przygotowywany do narastania ^{210}Po /patrz
oznaczanie stężenia ^{210}Pb / /B178/:

$$A_{Z_{210}\text{Po}} = \frac{N \pm E}{R \cdot G \cdot f_c} \cdot F_k + P \cdot A_{210}\text{Pb}$$

gdzie:

- $A_{z_{210\text{Po}}}$ = stężenie ^{210}Po zawarte w próbce
 w chwili jej pobierania / $\text{mBq}\cdot\text{g}^{-1}$ /
 N = ilość zliczeń netto cząstek alfa
 od ^{210}Po , /zlicz. $\cdot\text{min}^{-1}$ /
 E = średni błąd statystyczny zliczeń,
 /zlicz. $\cdot\text{min}^{-1}$ /
 R = średnia wydajność elektrodepozycji
 $^{210}\text{Po} = 0,86$
 F_k = współczynnik kalibracji / $\text{mBq}/\text{zlicz.}\cdot\text{min}^{-1}$ /
 G = ilość gramów próbki w roztworze
 poddanemu elektrodepozycji, /g/
 f_c = poprawka na rozpad ^{210}Po od czasu
 pobrania próbki do czasu zliczenia
 aktywności alfa ^{210}Po

$$f_c = \exp \left/ \frac{-0,693 \cdot t}{T_{1/2}} \right/$$

gdzie:

- t = czas od momentu zebrania
 próbki do momentu zliczenia
 aktywności alfa ^{210}Po ,
 /dzień/
 $T_{1/2}$ = okres półrozpadu ^{210}Po ,
 /dzień/
 P = poprawka na narastanie ^{210}Po z zawartego
 w próbce ^{210}Pb w czasie od pobrania próbki
 do czasu zliczania aktywności alfa ^{210}Po

$$P = \frac{\lambda_2 \lambda_3 \{1 - \exp[(\lambda_3 - \lambda_2)(t_1 + t_3)]\}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} + \frac{\lambda_2 \lambda_3 \{ \exp[(\lambda_3 - \lambda_2)(t_1 + t_3)] - 1 \}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_2)}$$

- gdzie:
- λ_1 = stała rozpadu ^{210}Pb , /dzień⁻¹/
 - λ_2 = stała rozpadu ^{210}Bi , /dzień⁻¹/
 - λ_3 = stała rozpadu ^{210}Po , /dzień⁻¹/
 - t_1 = czas jaki upłynął od momentu zebrania próbki do momentu elektrodepozycji, /dzień/
 - t_2 = czas jaki upłynął od momentu elektrodepozycji do momentu zakończenia pomiaru aktywności alfa osadzonego na płytce ^{210}Po , /dzień/

6. Zakończenie

W dotychczas wykonanych pracach przygotowawczych do wielkoskalowych pomiarów stężeń radioaktywności w polskich węglach brunatnych i produktach ich spalania, zebrano szeroki materiał faktologiczny, od danych o zasobach i złożach węgla brunatnego do wskaźników związanych z produkcją energii elektrycznej w oparciu o ten surowiec. Wykorzystane zostały w tym celu przeprowadzone studia literaturowe jak też częste konsultacje w Zjednoczeniu Węgla Brunatnego we Wrocławiu. Również wspólnie z geologami z tego Zjednoczenia zorganizowano szereg terenowych rekonesansów kopalni i elektrowni. W rezultacie, oprócz uzyskania cennych informacji, zgromadzono wstępnie próbki niektórych węgli i popiołów z elektrowni. Stworzono także zaplecze prac pod względem aparatury pomiarowej i laboratoryjno-chemicznym. Następnym etapem badań obejmie inwentaryzację stężeń podstawowych radionuklidów w ważnych przemysłowo złożach krajowych węgli brunatnych.

Tabela 1.

Szacunkowe zasoby w ważnych przemysłowo
złożach polskich węgla brunatnych.

| Lp. | Złoże | Zasoby /tony·10 ⁶ / | Lp. | Złoże | Zasoby /tony·10 ⁶ / |
|-----|--------------------------------------|-----------------------------------|---|-------------------------------------|-----------------------------------|
| | <u>I Region Łódzki</u> | | | <u>V Region Poznański</u> | |
| 1 | Rogoźno | 217 | 11 | Naramowice | 212 |
| 2 | Złoczew | 492 | 12 | Mosina | 1070 |
| 3 | Krosno | 450 | 13 | Szamotuły | 430 |
| 4 | Bełchatów | 2194 | 14 | Czempin | 464 |
| | <u>II Region Koniński</u> | | 15 | Rydzyna | 1205 |
| 5 | Konin | 460 | 16 | Krzywin | 284 |
| 6 | Adamów | 163 | 17 | Góra | 400 |
| | <u>III Region Bydgoski</u> | | | <u>VI Region Legnicki</u> | |
| 7 | Trzcianka | 227 | 18 | Legnica | 2321 |
| | <u>IV Region Zielono- górski</u> | | 19 | Ścinawa | 1275 |
| 8 | Cybinka | 237 | | <u>VII Region Turo- szowski</u> | |
| 9 | Mosty | 175 | 20 | Turów | 860 |
| 10 | Gubin | 283 | Razem wszystkie zasoby około: 13,5·10 ⁹ t | | |

Tabela 2.

Szacunkowa produkcja energii elektrycznej i powstawanie odpadów
w ciągu roku w elektrowniach opartych o węgiel brunatny.

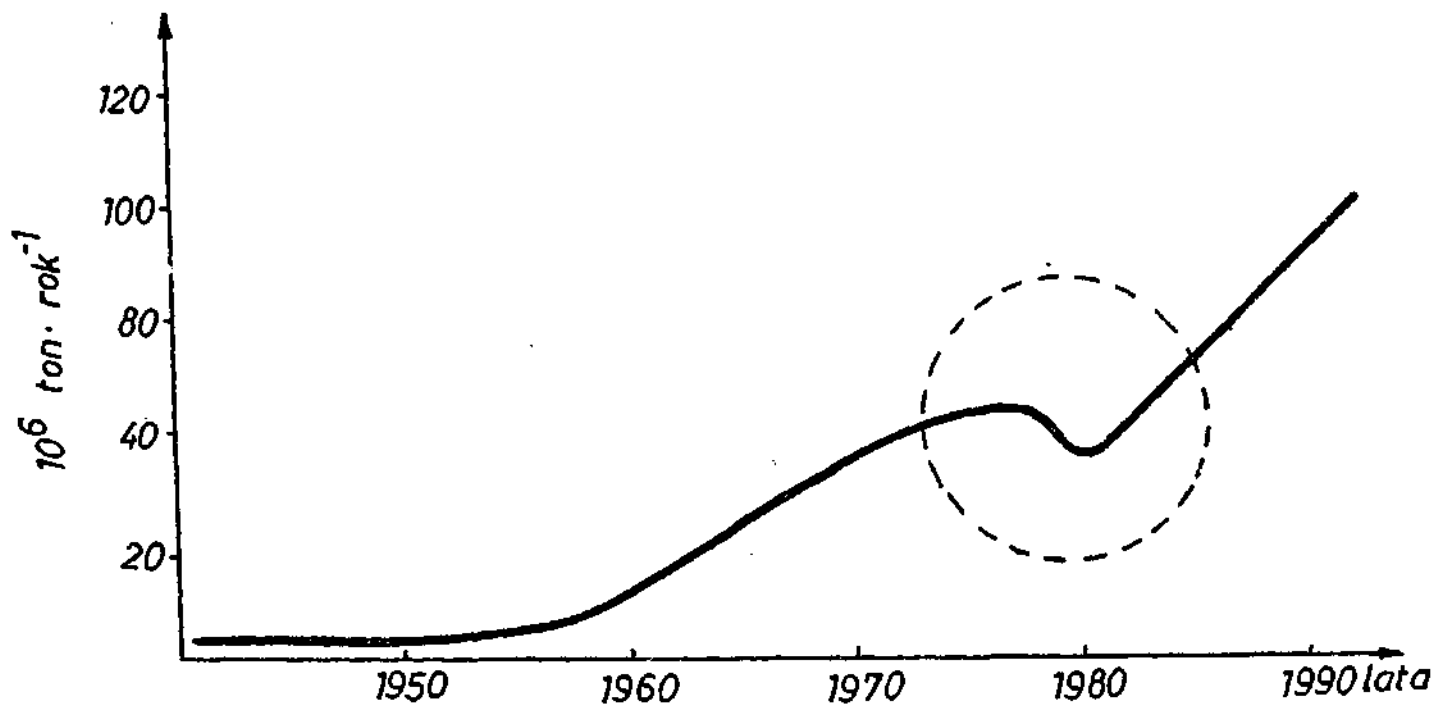
| Lp. | Elektrownia | Moc zainstalowana /MW/ | Produkcja energii elektrycznej /MWh·10 ⁶ / | Zużycie węgla /t·10 ⁶ / | Odpady /t·10 ⁶ / | | |
|------------------------|-------------|------------------------------|--|--|-----------------------------|------------------|--|
| | | | | | Odkładanie na hałdach | | Emitowane do atmosfery po- pioły lotne |
| | | | | | żuźle | popioły lotne | |
| 1 | Pątnów | 1600 | 10,6 | 14,8 | 0,074 | 2,61 | 0,140 |
| 2 | Adamów | 625 | 4,2 | 5,9 | 0,029 | 1,03 | 0,055 |
| 3 | Konin | 593 | 3,9 | 5,5 | 0,027 | 0,96 | 0,051 |
| 4 | Turów | 2000 | 13,3 | 18,6 | 0,093 | 3,27 | 0,173 |
| 5 | Bełchatów | 4320 ^{m/} | 28,7 | 40,2 | 0,201 | 7,06 | 0,370 |
| Szacunek sumaryczny | | 9138 | 61 | 85 | 0,42 | 15 | 0,79 |

^{m/} moc docelowa
w najbliższych latach

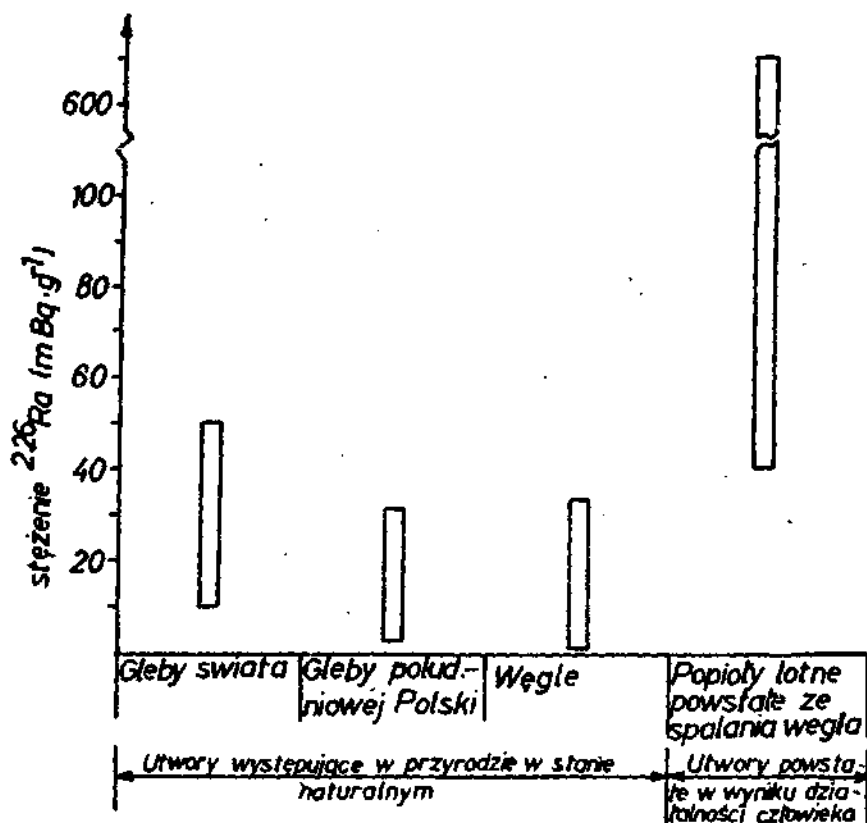
Tabela 3.

Zestawienie uśrednionych szacunkowych danych i wskaźników związanych ze spalaniem węgla brunatnego w elektrowniach.

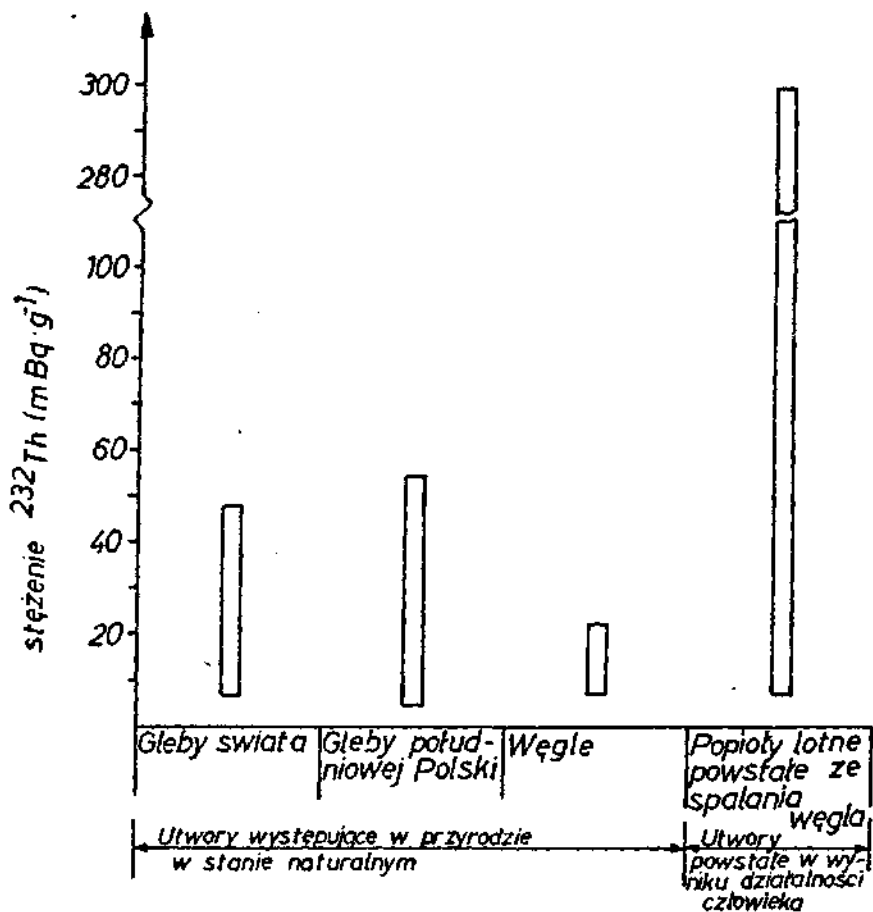
| Lp. | Określenie danych /wskaźników/ | Wartość | Jednostki |
|---|---|---------|---------------------|
| <u>Dla elektrowni</u> | | | |
| 1 | Roczny czas pracy bloków elektrowni | 7000 | h |
| 2 | Roczny stopień wykorzystania zainstalowanej mocy w elektrowni | 95 | % |
| 3 | Wydażność urządzeń odpylających | 95 | % |
| <u>Dla produkcji energii elektrycznej</u> | | | |
| 4 | Zużycie węgla brunatnego | 1,4 | t·MWh ⁻¹ |
| 5 | Sumaryczna ilość powstających odpadów stałych, | 0,266 | t·MWh ⁻¹ |
| | w tym: - żużle | 0,007 | t·MWh ⁻¹ |
| | - popioły lotne | 0,259 | t·MWh ⁻¹ |
| 6 | Odpady stałe dostające się na hałdy, | 0,253 | t·MWh ⁻¹ |
| | w tym: - żużle | 0,007 | t·MWh ⁻¹ |
| | - popioły lotne zatrzymywane na filtrach | 0,246 | t·MWh ⁻¹ |
| 7 | Popioły lotne emitowane do atmosfery | 0,013 | t·MWh ⁻¹ |



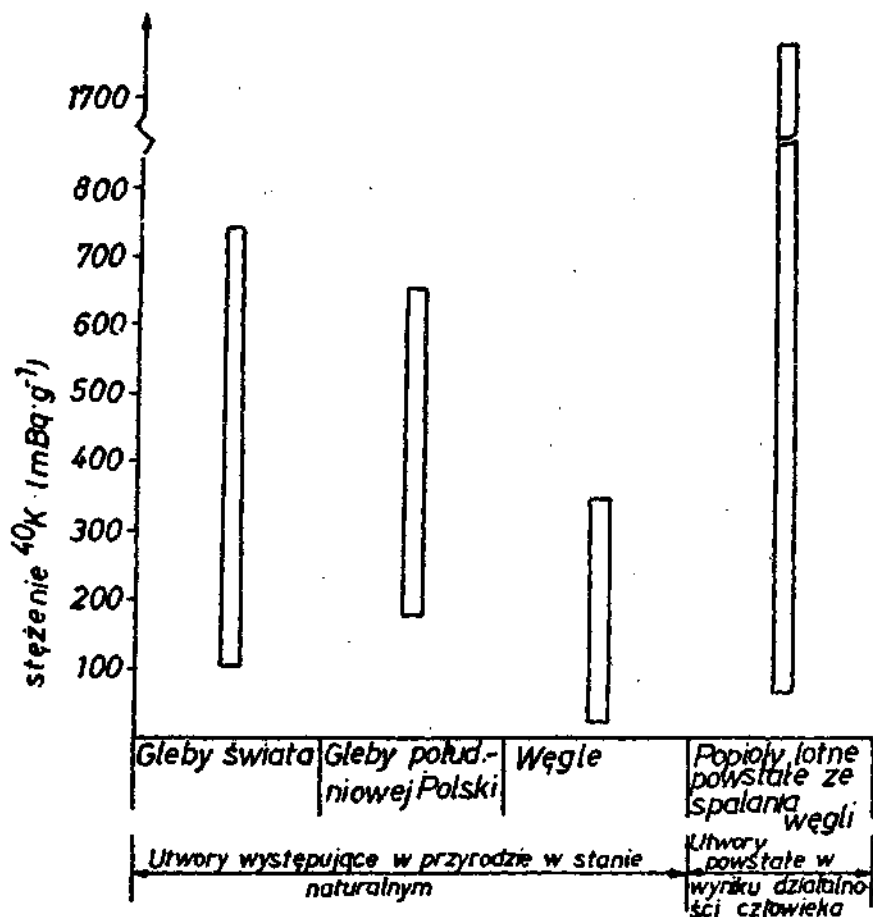
Rys. 1. Wydobycie węgla brunatnego w Polsce - linią kreskową zaznaczono okres kryzysu /wykres sporządzone na podstawie danych osobiście uzyskanych w Zjednoczeniu Węgla Brunatnego we Wrocławiu/.



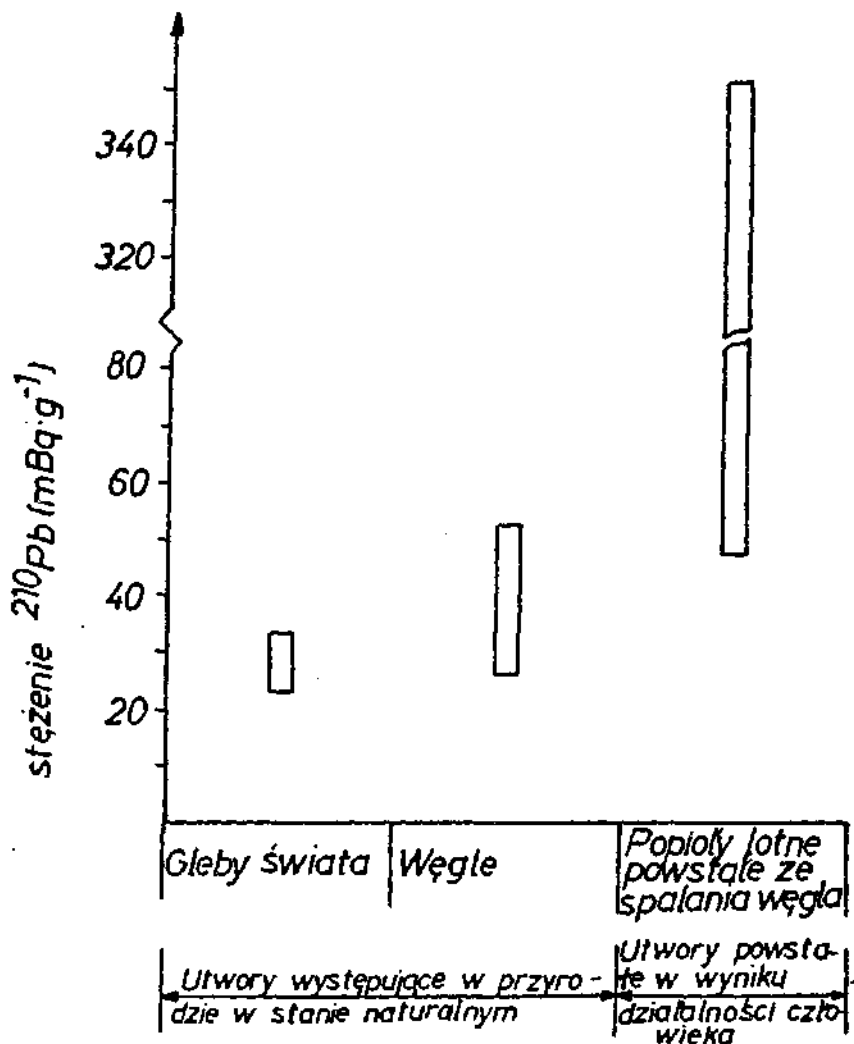
Rys. 2. Zakresy zmian stężeń ^{226}Ra w węglach różnego pochodzenia i popiołach lotnych powstałych z ich spalania /Un77, Gw78/ na tle typowych zakresów zmian stężeń ^{226}Ra w glebach świata /Un77/ i południowej Polski /Jas79/.



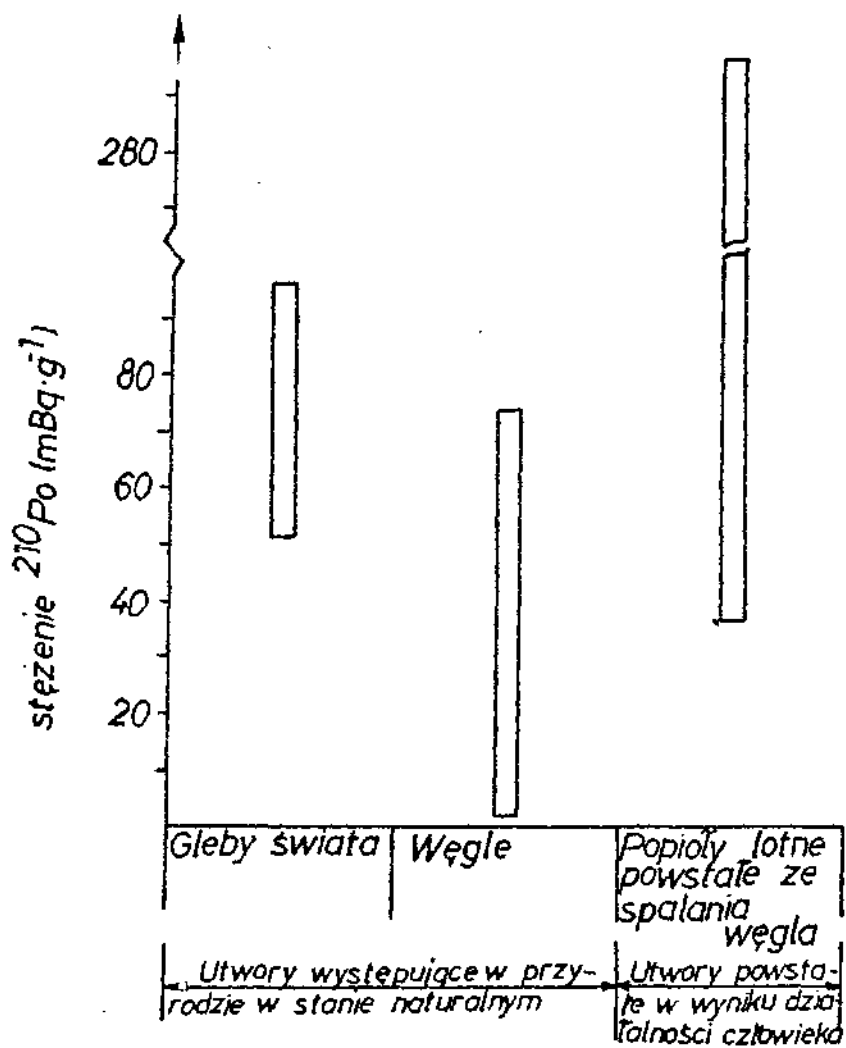
Rys. 3. Zakresy zmian stężeń ^{232}Th w węglach różnego pochodzenia i popiołach lotnych powstałych z ich spalania /Un77, Gw78/ na tle typowych zakresów zmian stężeń ^{232}Th w glebach świata /Un77/ i południowej Polski /Jas79/.



Rys. 4. Zakresy zmian stężeń ^{40}K w węglach różnego pochodzenia i popiołach lotnych powstałych z ich spalania /Un77, Gw78/ na tle typowych zakresów zmian stężeń ^{40}K w glebach świata /Un77/ i południowej Polski /Jas79/.



Rys. 5. Zakresy zmian stężeń ^{210}Pb w węglach różnego pochodzenia i popiołach lotnych powstałych z ich spalania/Gr81, St81/ na tle typowych zakresów zmian stężeń ^{210}Pb w glebach świata /Ja77/.



Rys. 6. Zakresy zmian stężeń ^{210}Po w węglach różnego pochodzenia i popiołach lotnych powstałych z ich spalania /Ja79, St81/ na tle typowych zmian stężeń ^{210}Po w glebach świata /Ja79, St79/.



Rys. 7. Rozmieszczenie na obszarze Polski ważnych przemysłowo złóż węgla brunatnego o zasobach powyżej $150 \cdot 10^6$ ton /rysunek sporządzono na podstawie /Os70/ oraz danych osobiście uzyskanych w Zjednoczeniu Węgla Brunatnego we Wrocławiu/.

Literatura

- /An74/ Andrews H.L., 1974, "Radiation Biophysics", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- /Be78/ Beck H.L., Gogolak C.V., Miller K.M., Lowder W.M., 1978, "Perturbations on the Natural Radiation Environment Due to the Utilization of Coal as an Energy Source", Proc. Natural Radiation Environment III Symposium, Houston, Tx, 1521.
- /B178/ Bilkiewicz J., Bysiek M., Chrzanowski E., Dembińska S., Grzybowska D., Jaworowski Z., Kownacka L., Lewandowski H., Rutkowski W., Wardaszko T., Włodek S., Wódkiewicz L., 1978, "Procedures for Radiochemical and Chemical Analysis of Environmental and Biological Samples", Report CLOR No. 110/D, Warsaw.
- /B166/ Blanchard R.L., 1966, "Rapid Determination of Lead-210 and Polonium-210 in Environmental Samples by Deposition on Nickel", Analytical Chemistry, Vol. 38, No. 1, Washington.
- /Do78/ Doniec J., Domański T., Świątnicki D., 1978, "Badanie czynników warunkujących wydajność metody oznaczania ^{210}Pb w materiale biologicznym", maszynopis otrzymany z Instytutu Medycyny Pracy w Łodzi.
- /Gr81/ Gragnani R., Mastino G.G., Paganin G., 1981, "Natural Radioactivity Releases from Coal Firend and Geothermal Power Plants in Italy", Laboratorio Geochimica Ambientale, Roma.

- /Gu80/ GUS, 1980, "Rocznik statystyczny", Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- /Gw78/ Gwiazdowski B., Mamont-Cieśla K., Biernacka M., Dzikiewicz-Sapiecha H., 1978, "Badania radioaktywności materiałów budowlanych, dawek promieniowania gamma i stężeń radonu w budynkach mieszkalnych", ekspertyza wykonana dla Komitetu Fizyki Medycznej PAN, Warszawa.
- /Ja77/ Jaworowski Z., Bilkiewicz J., Bysiek M., Grzybowska D., Kownacka L., Włodek S., 1975, "The Influence on Man and the Environment of Natural Radionuclides and Heavy Metals from Industrial Operations", Procc. 15th Annual Honford Life Sciences Symp., Richland, Washington.
- /Ja79/ Jaworowski Z., Bilkiewicz J., Bysiek M., Grzybowska D., Kownacka L., 1979, "Influence of Industry on Pollution of the Environment and Human Population With Natural Radionuclides and Heavy Metals", CLOR, Warszawa.
- /Jas79/ Jasińska M., Niewiadomski T., Schwabenthan J., 1979, "Zależność mocy dawek ziemskiego promieniowania gamma od niektórych właściwości gleby", Opracowanie IFJ nr 7/79/NPP, Kraków.
- /Ko80/ Koperski J., Jasińska M., 1980, "Narażenie ludności Krakowa na promieniowanie gamma materiałów budowlanych", Raport IFJ Nr 10821 D, Kraków.
- /Mc77/ Mc Bride J.P., Moore R.E., Witherspoon J.P., Blanco R.E., 1977, "Radiological Impact of Airborne Effluents

of Coal-Fired and Nuclear Power Plants", Oak Ridge
- Tennessee.

- /Ni80/ Niewiadomski T., Koperski J., Ryba E., 1980, "Natural Radiation in Poland and its Disturbance in an Urban Environment", Health Physics, Vol. 38, Pergamon Press Ltd., USA.
- /Os70/ Osika R., 1970, "Geologia i surowce mineralne Polski", Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- /St79/ Styron C.E., Casella V.R., Farmer B.M., Hopkins L.C., Jenkins P.H., Phillips C.A., Robinson B., 1979, "Assessment of the Radiological Impact of Coal Utilization, Part I. Preliminary Studies on Western Coal", Monsanto Research Corporation, Miamisburg, Ohio.
- /St81/ Styron C.E., Bishop C.T., Casella V.R., Jenkins P.H., Yanko W.H., 1981, "Assessment of the Radiological Impact of Coal Utilization, Part II. Radionuclides in Western Coal Ash", Monsanto Research Corporation, Miamisburg, Ohio.
- /UN77/ UNSCEAR, 1977, "Sources and Effects of Ionizing Radiation", Report to the General Assembly, N. York.