

Adam MICHCZYŃSKI

NOWY SYSTEM REJESTRACJI POMIARÓW C-14 W LABORATORIUM RADIOWĘGLOWYM W GLIWICACH

Streszczenie. W latach 1992–1994 została opracowana i wykonana nowa aparatura elektroniczna współpracująca z komputerem, umożliwiająca rejestrację widm amplitudy i czasu narastania impulsów pochodzących z licznika proporcjonalnego. Informacja o czasie narastania i amplitudzie impulsów pozwoli na częściowe rozróżnienie impulsów pochodzących od promieniowania izotopu ^{14}C , od impulsów pochodzących od promieniowania kosmicznego i promieniowania otoczenia, a w konsekwencji zmniejszenie tła liczników proporcjonalnych.

NEW DATA ACQUISITION SYSTEM FOR C-14 MEASUREMENTS AT GLIWICE RADIOCARBON LABORATORY

Summary. New, fully computerised data acquisition system was developed in Gliwice Radiocarbon Laboratory during 1992–1994. The system enables to acquire pulse-height and rise-time spectra from proportional counter. This information allows us to distinguish pulses produced by β -radiation of ^{14}C from pulses generated by cosmic radiation and environmental γ -radiation and as a consequence to reduce background of proportional counter.

1. Wprowadzenie

Jednym z najbardziej istotnych parametrów stanowiska pomiarowego przeznaczonego do datowania metodą radiowęglową jest wartość tła stanowiska, tj. ilość impulsów rejestrowanych podczas pomiaru nieaktywnej próbki. Zapewnienie odpowiednio niskiej i zarazem stabilnej wartości tła systemów pomiarowych jest zatem przedmiotem starań wszystkich laboratoriów radiowęglowych (Mäntynen et al., 1987, Aikääla et al., 1992) Osiągnięcie niższej wartości tła było też jednym z celów podjętej w 1992 roku przebudowy systemu

pomiarowego działającego w Laboratorium Radiowęglowym Instytutu Fizyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach (Michczyński et al., 1995). Drugim powodem podjęcia prac związanych z przebudową był zamiar unowocześnienia systemu, którego niektóre elementy były już w dużym stopniu wyeksploatowane.

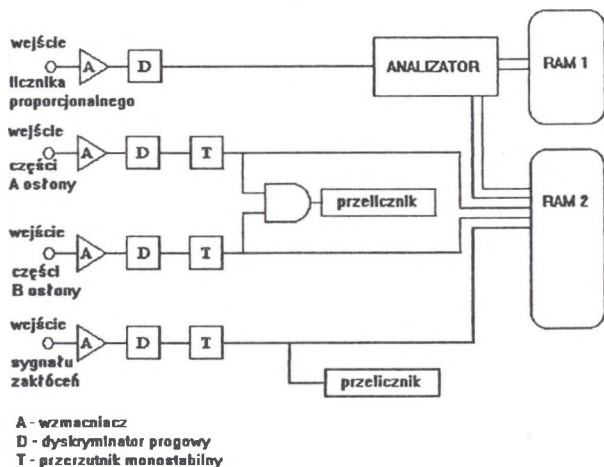
Metodą, którą zdecydowano się zastosować w celu zmniejszenia tła, jest dyskryminacja z uwagi na kształt impulsu z licznika proporcjonalnego. Metoda ta wykorzystuje fakt, iż impulsy generowane w liczniku proporcjonalnym przez cząstki β , powstające podczas rozpadu izotopu ^{14}C , różnią się kształtem od impulsów generowanych przez promieniowanie kosmiczne oraz promieniowanie γ otoczenia. Pozwala ona na częściowe rozróżnienie impulsów pochodzących od izotopu ^{14}C , od impulsów pochodzących od promieniowania kosmicznego i promieniowania γ , a w konsekwencji zmniejszenie tła liczników proporcjonalnych. System, który ma umożliwić takie rozróżnienie, musi zatem rejestrować kształt poszczególnych impulsów lub przynajmniej pewne jego parametry. System zbudowany w Gliwicach rejestruje w tym celu amplitudę i czas narastania impulsów pochodzących z licznika proporcjonalnego.

2. Budowa systemu rejestracji pomiarów

Nowy system rejestracji zaprojektowany został w gliwickim Laboratorium wspólnie z firmą elektroniczną APEL s.c., która była zarazem jego wykonawcą. Podstawowym założeniem było, aby mógł on wykorzystując wypracowaną w toku ponad 20-letniego funkcjonowania Laboratorium metodykę pomiaru rejestrować widma amplitudy i czasu narastania impulsów.

System składa się z sześciu modułów, które obsługują sześć liczników proporcjonalnych wykorzystywanych obecnie do pomiarów ^{14}C w Gliwicach (Mościcki W., Zastawny A., 1977; Pazdur M.F., Pazdur A., 1986; Walanus A., 1986; Goslar et al., 1990). Blokowy schemat takiego modułu przedstawiony został na rys.1.

Każdy z modułów posiada cztery wejścia – jedno przeznaczone dla impulsów z licznika proporcjonalnego, dwa dla impulsów z dwóch części osłony antykoincydencyjnej oraz wejście dla sygnałów z anteny zakłóceń elektromagnetycznych. Impulsy wchodzące na każde z wejść są podawane na wzmacniacz i dyskryminator obcinający impulsy o niskiej amplitudzie (szumy). Impulsy z licznika proporcjonalnego podlegają następnie analizie przez mikroprocesorowy analizator zbudowany na bazie mikrokomputera jednokładowego 8051. Każdy impuls z licznika proporcjonalnego jest analizowany przez szybki 7-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy PNA-7509 z maksymalną szybkością próbkowania 10 MHz i tymczasowo zapamiętywany w pamięci RAM 1 analizatora. Następnie mikroprocesor analizatora dokonuje na podstawie zapamiętanego kształtu impulsu obliczenia amplitudy



Rys. 1. Schemat blokowy modułu systemu pomiarowego przeznaczonego do obsługi jednego licznika proporcjonalnego

Fig. 1. Schematic diagram of module of the data acquisition system for single proportional counter. A—amplifier, D—discriminator, T—trigger

i czasu narastania. Wartości te, wspólnie z informacją o koincydencji impulsu z licznika proporcjonalnego z impulsami z torów liczników osłon oraz toru zakłóceń są zapisywane w pamięci RAM 2. Ponadto w przeliczniku cyfrowym zliczana jest ilość impulsów koincydencji pomiędzy dwiema częściami osłony antykoincydencyjnej. Ta ostatnia wielkość jest jednym z parametrów wykorzystywanych w gliwickim laboratorium do kontroli czystości gazu wypełniającego licznik oraz punktu pracy licznika (Pazdur et al., 1978). Drugi przelicznik rejestruje całkowitą ilość impulsów zakłóceń. Informacje zapamiętane w pamięci RAM 2 są po upływie określonego czasu (5 minut) wysyłane do komputera w celu dalszego opracowywania oraz obliczeń wieku radiowęglowego.

3. Wykorzystanie analizy czasu narastania do redukcji tła

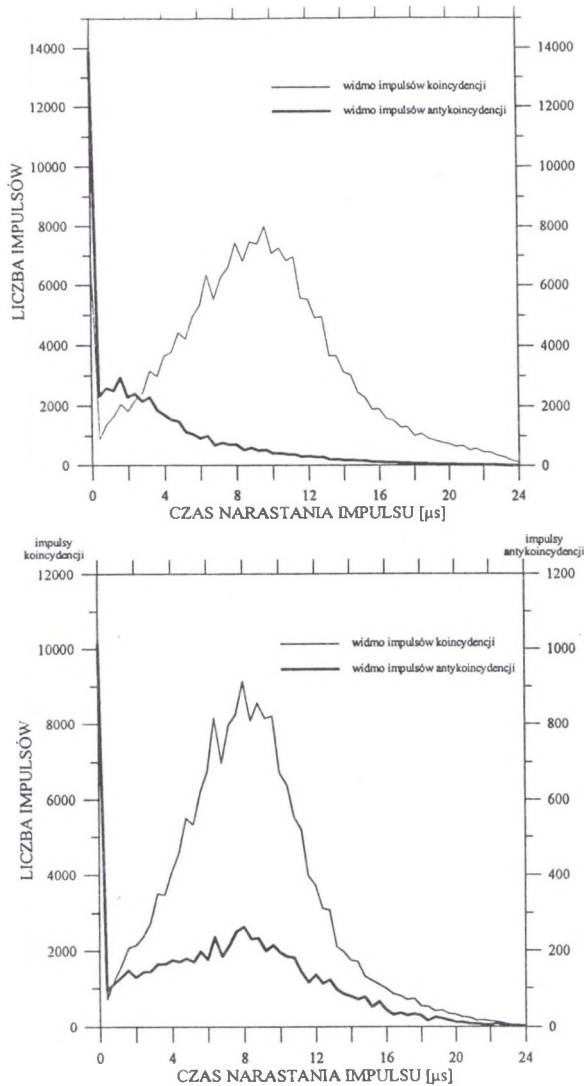
Przeprowadzone za pomocą nowego systemu testy potwierdziły możliwość redukcji tła licznika i zwiększenia zasięgu datowania przy wykorzystaniu analizy kształtu impulsu. Na rys. 2A przedstawione zostały widma czasów narastania impulsów zarejestrowanych przy wypełnieniu licznika L1 standardem SRM 4990C. Ponieważ aktywność tego standardu wynosi ok. 160% aktywności współczesnej biosfery impulsy, antykoincydencji z osłoną (za-

znaczone na rys.2A grubszą linią) pochodzą prawie wyłącznie od cząstek β wyemitowanych przez izotop ^{14}C . Widać wyraźnie, że czasy narastania tych impulsów są krótsze od czasów narastania impulsów pochodzących od promieniowania kosmicznego i rejestrowanych w widmie koincydencji. Inaczej wygląda obraz otrzymany przy wypełnieniu badanego licznika nieaktywną próbką tła. W tym przypadku (rys.2B) widma czasów narastania impulsów koincydencji i antykoincydencji znajdują się w tym samym miejscu, tj. impulsy tworzące oba widma mają takie same czasy narastania. Ponieważ próbka tła nie zawiera izotopu ^{14}C , w widmie antykoincydencji nie ma impulsów pochodzących od cząstek β , są natomiast najprawdopodobniej impulsy, których źródłem jest promieniowanie kosmiczne przedostające się przez stosowane osłony.

Oprócz widm czasów narastania w trakcie testów rejestrowane były również widma amplitudowe. Przykłady takich widm, otrzymanych przy wypełnieniu licznika L1 standardem SRM 4990C oraz tłem zostały przedstawione odpowiednio na rys.3A i rys.3B. Również tutaj występują różnice pomiędzy widmami antykoincydencji otrzymanymi dla standardu i tła – w tym pierwszym jest proporcjonalnie więcej impulsów o mniejszych amplitudach niż w drugim. Różnice te są jednak mniej wyraźne niż przy widmach czasów narastania.

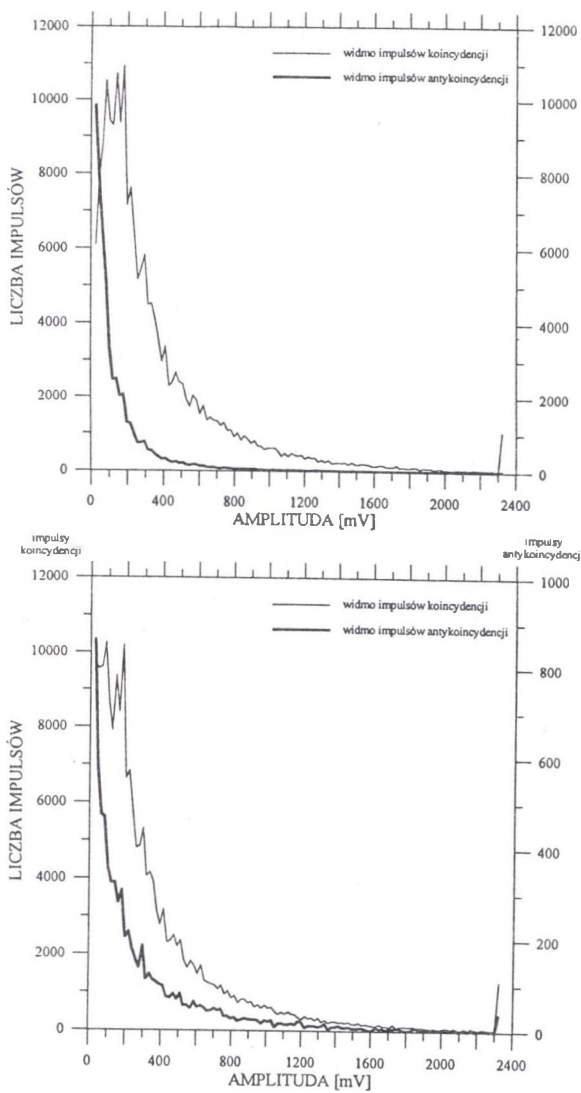
Aby móc wykorzystać powyższe obserwacje do redukcji tła licznika konieczne jest jeszcze ustalenie kryterium pozwalającego wybrać, które impulsy pozostawiamy do dalszych obliczeń, a które usuwamy. Ponieważ różnica pomiędzy impulsami standardu i tła jest zdecydowanie bardziej widoczna w widmach czasu narastania impulsów, informacją zawartą w tych właśnie widmach spróbujemy się „służyć”. Na rys.2A i 2B możemy zauważyć, że większość impulsów antykoincydencji zarejestrowanych przy wypełnieniu licznika standardem posiada czasy narastania mniejsze od $4\mu\text{s}$, podczas gdy większość impulsów antykoincydencji przy wypełnieniu tłem ma czasy narastania około $8\text{--}9\mu\text{s}$. Nasuwając się w sposób oczywisty metodą odrzucenia impulsów nie pochodzących z rozpadu ^{14}C jest pozostawienie tych impulsów, których czas narastania jest krótszy od pewnej granicznej wartości.

Oczywiście taki sposób spowoduje redukcję ilości zliczonych impulsów zarówno dla standardu, jak i dla tła, lecz w tym drugim przypadku redukcja będzie o wiele większa. Fakt ten może zilustrować rys.4, na którym przedstawiono, jaka część wartości standardu i tła pozostanie po dokonaniu redukcji opisaną wyżej metodą dla różnych granicznych wartości czasu narastania. Widać wyraźnie, że optymalna wartość graniczna, dla której różnica pomiędzy stopniem redukcji tła i standardu jest największa, przypada dla czasów narastania $4\text{--}5\mu\text{s}$. Znajduje to swoje potwierdzenie na rys.5., gdzie przedstawiono zależność wartości parametru *factor of merit* (charakteryzującego możliwy do osiągnięcia na danym stanowisku pomiarowym zasięg datowania) obliczonego dla tła i standardu po redukcji od granicznej wartości czasu narastania. Widać, iż maksymalna wartość *factor of merit* przypada dla granicznej wartości równej $4\mu\text{s}$. Dla tak dobranej, optymalnej granicz-



Rys. 2. A. Widma czasów narastania otrzymane przy wypełnianiu licznika L1 standardem SRM odwzorowującym aktywność współczesnej biosfery, B. Widma czasów narastania otrzymane przy wypełnianiu licznika L1 tłem

Fig. 2. A. Rise-time spectra of standard SRM of the modern biosphere from counter L1, B. Rise-time spectra of background from counter L1



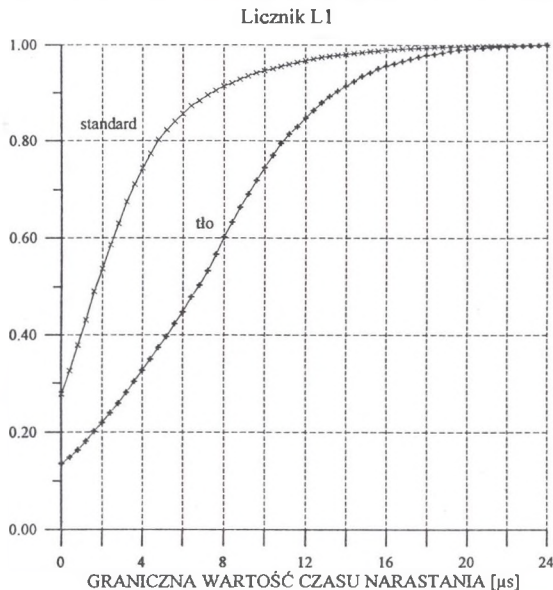
Rys. 3. A. Widma amplitudowe otrzymane przy wypełnianiu licznika L1 standardem SRM odwzorowującym aktywność współczesnej biosfery.

B. Widma amplitudowe otrzymane przy wypełnianiu licznika L1 tłem

Fig. 3. A. Pulse-height spectra of standard SRM of the modern biosphere from counter L1

B. Pulse-height spectra of background from counter L1

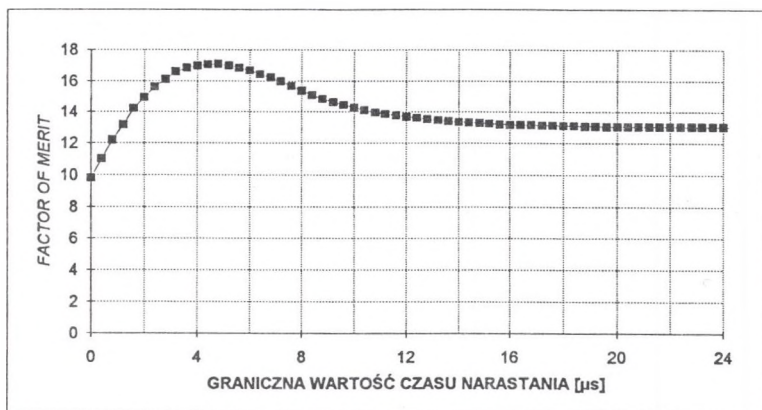
nej wartości czasu narastania tła licznika L1 po redukcji ma 38% swojej dotychczasowej wartości, natomiast wartość standardu spada jedynie do 73% wartości pierwotnej.



Rys. 4. Wartość stopni redukcji standardu i tła po odrzuceniu impulsów o czasach narastania większych od przyjętej wartości granicznej w zależności od tej wartości (licznik L1)

Fig. 4. Residual values of standard and background count rates after rise-time discrimination by eliminating the part of spectrum with rise-times greater than the selected terminal value (counter L1)

W trakcie testów nowego systemu zgromadzono i poddano analizie widma amplitudy i czasu narastania impulsów z trzech różnych liczników proporcjonalnych, działających we Laboratorium Radiowęglowym - L1, L2 i L3. Otrzymane wyniki wskazują, że chociaż we wszystkich trzech przypadkach analiza widma czasów narastania impulsów pozwala na wyraźne rozróżnienie impulsów pochodzących od cząstek β od impulsów pochodzących od promieniowania kosmicznego, to efekty wykorzystania tego zjawiska do redukcji tła licznika są inne dla każdego z trzech liczników. Najlepszy efekt uzyskuje się dla licznika L2, dla którego przy optymalnym dobraniu granicznej wartości czasu narastania można osiągnąć redukcję szybkości zliczeń tła do 45% dotychczasowej wartości, przy jednoczesnej redukcji szybkości zliczeń standardu do 86% dotychczasowej wartości, co odpowiada zwiększeniu wartości parametru *factor of merit* z 23.7 do 30.1 (zwiększenie zasięgu datowania przy pomiarze jednodniowym z około 46300 do około 48200 lat). Dla licznika L1 następuje zwiększenie wartości *factor of merit* z 16.6 na 19.8, a dla licznika L3 z 8.8



Rys. 5. Zależność wartości parametru *factor of merit* obliczonego dla tła i standardu po redukcji od przyjętej granicznej wartości czasu narastania (licznik L1)

Fig. 5. Values of *factor of merit* after background reduction by rise-time discrimination versus terminal values of rise-time (counter L1)

jedynie na 9.5. Zmiany te odpowiadają zwiększeniu zasięgu datowania przy pomiarze jednodniowym odpowiednio z około 43400 do 44800 lat oraz z 38000 do 39000 lat. Obecnie trwają testy metody analizy kształtu impulsów z uwagi na stabilność pracy aparatury i wiarygodność otrzymanych dat radiowęglowych.

Literatura

Aikää O., Mäntynen P., Kankainen T., 1992, High-performance ^{14}C gas-proportional counting system applying pulse-shape discrimination. *Radiocarbon* 34, vol. 3, p.414-419.

Goslar T., Pazdur A., Pazdur M. F., Walanus A., Zastawny A., 1990, Stanowisko licznika L2 używane w pomiarach ^{14}C o podwyższonej dokładności. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Matematyka - Fizyka, Geochronometria* 6, p.83-89.

Mäntynen P., Aikää O., Kankainen T., Kaihola L., 1987, Application of pulse-shape discrimination to improve the precision of the carbon-14 gas-proportional-counting method. *Applied Radiation Isotopes* 38, vol.10, p.869-873.

Michczyński A., Pazdur A., Pazdur M.F., 1995, Development and preliminary testing of electronic system with pulse-height and rise-time analysis at the Gliwice Radio-

carbon Laboratory, Myslienky a Fakty – Zbornik Slovenskych Matematikov, Fizikov a Technickych Pracovnikov 1, p.4–7.

Mościcki W., Zastawny A., 1977, New proportional counter assembly in Gliwice ^{14}C Laboratory. In Povinec P. and Usacev S., eds., *Low-Radioactivity Measurements and Applications*. Bratislava, Slov. Pedagog. Naklad, p.91–92.

Pazdur A., Pazdur M.F., 1986, Aparatura pomiarowa Laboratorium ^{14}C w Gliwicach. Doświadczenia konstrukcyjne i eksploatacyjne. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Matematyka-Fizyka, Geochronometria 1*, p.55–69.

Pazdur M. F., Walanus A., Mościcki W., 1978, A method of continuous examination of counting efficiency during measurements of natural radiocarbon by CO_2 filled proportional counter. *Nuclear Instruments and Methods 151*, p.541–547.

Walanus A., 1986, A ^{14}C electronic measurement system with a microcomputer. *Radiocarbon 28, vol.2A*, p.569–570.

Abstract

New, fully computerised data acquisition system, which enables to acquire pulse-height and rise-time spectra from proportional counter, was developed in Gliwice Radiocarbon Laboratory. A module of the system for single counter consist of four lines – for signals from proportional counter, two parts of anticoincidence shield and radio-frequency shield (see Fig.1). All signals are amplified and passed through the low-threshold discriminator. Signals from proportional counter are then analysed by microprocessor-controlled analyser based on single-chip microcomputer 8051. Every pulse from counter is digitised by analog to digital converter PNA 7509 with 128 channels with sampling rate about 10 MHz and temporary stored to first part of analyser RAM. The microprocessor uses the stored shape of pulse for calculation of pulse-height and rise-time values. These values, jointly with information on simultaneous detection of anticoincidence shield pulses or radio-frequency noise, are stored in the second part of RAM. All pulses from anticoincidence shield are moreover counted in binary scaler. The information stored in the second part of analyser RAM and system binary scalers are sent every 5 minutes to IBM PC compatible computer for further treatment and final calculations.

In Figure 2A we can note differences in rise time spectra of pulses of SRM standard obtained in coincidence and anticoincidence with guard. There are much more pulses with short rise time in anticoincidence than in coincidence spectrum. Because the proportional counter was filled with the relatively high activity sample, β particles originating from

^{14}C isotope were the main source of pulses in rise time spectrum of anticoincidence events. On the other hand, pulses in rise-time spectrum of coincidence events are generated by cosmic radiation. Basing on this facts we can distinguish pulses generated by β particles from other pulses.

The rise-time spectrum of coincidence events of background are similar the rise-time spectra of coincidence events of standard (see Fig.2B). But the spectrum of anticoincidence events of background, unlike the spectrum of anticoincidence events of standard, include many pulses with the large values of rise time – the same as spectrum of coincidence. The rejection of these pulses gives effect of background reduction.

The diagrams presented in Figure 4 and Figure 5 shows the effect of reduction of counting rate (for background and standard) by rejection of pulses with rise time greater than selected terminal value and estimated value of *factor of merit* after reduction.