

PRZYPISYWANIE WIEKU SPEKTROM W DIAGRAMIE PYŁKOWYM NA PODSTAWIE NIEWIELKIEJ LICZBY DAT RADIOWĘGŁOWYCH

DOROTA NALEPKA, ADAM WALANUS



NALEPKA D., WALANUS A. Age determination of individual spectra in a pollen diagram based on a small number of radiocarbon dates. *Botanical Guidebooks 26: 295–307.*

As a rule, a palynological profile contains tens to hundreds of pollen spectra. The profile is dated from two or three or more radiocarbon dates (or other “absolute” dates). The problem is how to assign ages to profile levels which have not been dated directly. Use of a few mathematical techniques for data interpolation, or even extrapolation, are sensible here; these may be polynomial curves (of order one to three or sometimes more), cubic splines or simple linear interpolation from date to date. Here an additional, subjective method is proposed, based on a competent author’s intuition when additional information about the profile is taken into account. To facilitate such an approach *POLPAL-Wiek*, the next in the *POLPAL* program series, has been created, where lithological boundaries are marked with lines in addition to ^{14}C rectangles and mathematical curves. It serves as an easy tool for creating the user’s own depth-age line, since use of the mouse is incorporated in the program. The result of spectra dating is stored in *POLPAL* format and can be used immediately for critical review against the background of the pollen curves.

Dorota Nalepka, Instytut Botaniki im. W. Szafera, Polska Akademia Nauk, Lubicz 46, 31-512 Kraków; e-mail: nalepka@ib-pan.krakow.pl
Adam Walanus, Instytut Archeologii, Uniwersytet Rzeszowski, K. Hoffmanowej 8, 35-016 Rzeszów; e-mail: walanus@univ.rzeszow.pl

WSTĘP

Najlepszą podstawą określenia wieku bezwzględnego skał są wyniki analiz radiometrycznych. W osadach górnego czwartorzędu są to analizy radiowęglowe. Analiza pyłkowa wykonana z warstw geologicznych służy badaniu zmian roślinności i klimatu w przeszłości. Jeżeli są to warstwy datowane radiowęglowo,

niosą one informacje o czasie, w którym te zmiany zachodziły. Porównanie kilku, kilkunastu, lub, o ile to możliwe, kilkudziesięciu profili geologicznych rozmieszczonych w przestrzeni geograficznej, jak również w czasie, jest naturalnym, kolejnym krokiem do interpretacji danych palinologicznych. Wydatowane profile nadają się między innymi do wykreślenia map izopolowych (Szafer 1935, 1949, Huntley, Birks 1983, Ralska-Jasiewiczowa 1983). Co prawda, pierwsze izolinie były wykreślane zanim pojawiła się metoda datowania osadów radiowęglem. Obecnie jednak, w celu narysowania izopoli, wykorzystuje się raczej diagramy pyłkowe z dobrze wydatowanych profili geologicznych. Zazwyczaj dat ^{14}C jest kilka, a spektrów pyłkowych wielokrotnie więcej (kilkadzieciąt). W takiej sytuacji zacząć można od zastosowania metod matematycznych, które w jednolity sposób datują cały profil w oparciu o obiektywne i porównywalne aproksymacje. Napisany do tego celu program *POLPAL-Wiek* oferuje kilka modeli matematycznych, które mogą być pomocne przy wyznaczaniu wieku spektrów na podstawie niewielu dat ^{14}C , jednak ostateczna decyzja o zależności: głębokość – wiek powinna być podejmowana z uwzględnieniem (subiektywnym z konieczności) wszystkich informacji o profilu.

Przy wykreśnianiu izopoli wykorzystuje się czasami również diagramy pyłkowe z profili niedatowanych. Względne datowanie palinologiczne profili, bazujące na porównaniu diagramów pyłkowych z sąsiadujących stanowisk, zakłada *a priori* względną równoczesność niektórych procesów (paleo)ekologicznych. Posłużenie się takim pośrednim określeniem wieku czasami jest nieuniknione, bo zdarzają się profile, które nie mogą być datowane radiowęglem ze względu na małą zawartość węgla (np. mułki organiczne), czy dopływ starego węgla (gytia węglanowa; Pazdur 1995), lub dlatego, że opracowane zostały przed wprowadzeniem metody radiowęglowej. Przeprowadza się wtedy synchronizację (korelację) diagramów pyłkowych, wykorzystując do tego celu przebieg krzywych pyłku tych taksonów, które odzwierciedlają zjawiska regionalne, a nie lokalne (np. Walanus, Nalepka 1996b). Oprzeć się przy tym należy na zgromadzonej już wiedzy o rozwoju roślinności w przeszłości, na znajomości danego stanowiska i jego otoczenia oraz dzisiejszych i dawnych warunków ekologicznych, położenia geograficznego itp. Należy jednak pamiętać, że jeśli celem datowania profilu jest późniejsze wykorzystanie go do rysowania krzywych izopolowych, to takie datowanie tworzy błędne koło rozumowania, ponieważ wnioski wyciąga się z założeń, a nie z danych. Jeżeli któremuś ze spektrów w profilu bez dat ^{14}C został przypisany wiek podobnego spektrum z profilu dobrze datowanego ^{14}C , to nie można się dziwić, że na mapie izopolowej, odpowiadającej temu wiekowi, oba stanowiska będą miały podobne wartości i nie zaobserwuje się pomiędzy nimi żadnej różnicy w procentach pyłku, która to obserwacja jest w zasadzie celem rysowania izopoli.

Systematyczne omówienie postępowania przy wyznaczaniu wieku spektrów zacząć trzeba od przeglądu typów dostępnych danych. Przykłady graficzne odnoszą się do dat ^{14}C z profilu palinologicznego z Wilkowa w Puszczy Kampinoskiej (Konecka-Betley i in. 1996).

DANE

DANE PALINOLOGICZNE

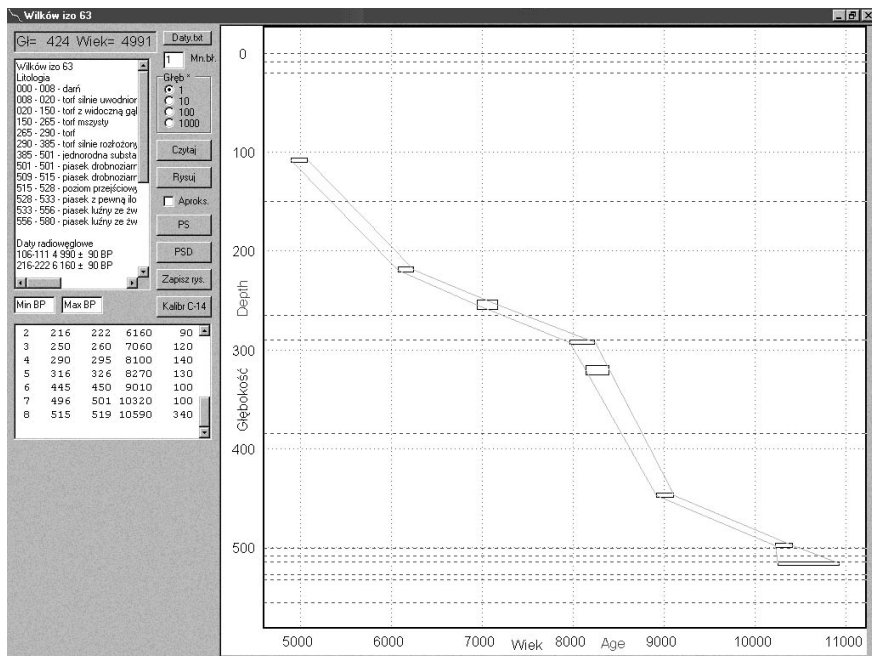
Diagram palinologiczny składa się z sekwencji spektrów. Spektrum, poza zliczeniami poszczególnych taksonów (i ewentualnie liczbą dodanego wskaźnika egzotycznego) charakteryzuje się głębokością z jakiej pobrano próbkę. W terminach standardu programu *POLPAL* (Walanus, Nalepka 1996a, 1999, Nalepka, Walanus 2003) dane te zawarte są w plikach PD (zliczenia) i PS (głębokości). Plik PN zawiera nazwę profilu, współrzędne geograficzne stanowiska i ewentualnie komentarz.

LITOLOGIA

Ze względu na konieczność interpolacji dat ^{14}C (nigdy nie jest tak, by datowane było każde spektrum), cenne są dane o litologii osadu, z którego pobierano próbki. Chodzi tu o uwzględnienie typu osadu w ocenie tempa sedymentacji. Informacja o litologii ma charakter opisowy, nie jest ona (na obecnym etapie) przetwarzana komputerowo. Natomiast czytelne dla komputera są głębokości (liczby) zalegania osadu, które pochodzą z „metryczki” profilu. Z pliku tekstowego program pobiera pierwszą liczbę, czyli strop danej warstwy osadu i rysuje poziomą linię przerywaną, pokazującą na wykresie głębokość–wiek na jakiej głębokości następuje zmiana osadu (ryc. 1).

DATY ^{14}C

Data ^{14}C to para liczb (nie będą tu omawiane przypadki dat „nieskończonych” i o asymetrycznym błędzie, nie występujące właściwie dla zakresu wieku do 15 000 lat BP). Pierwsza z nich to wiek wyrażony w latach konwencjonalnych ^{14}C , druga to błąd, czyli miara niedokładności daty (np. Madeyska 1992, Pazdur 1995, Pazdur i in. 1999). Kwestia kalibracji dat będzie poruszona dalej, w tym miejscu konieczne jest przypomnienie sensu błędu daty. Otóż standardowo jest to tzw. błąd $\pm 1\sigma$, odnoszący się do normalnego (gaussowskiego) rozkładu prawdopodobieństwa. Rozpatrzmy, jako przykład, datę 5000 ± 100 BP. Zapis ten oznacza, że rzeczywisty wiek zawiera się w granicach 4900–5100 z prawdopodobieństwem zaledwie 2/3 (dokładnie 68%). Jedna trzecia dat, niejako z definicji, wykracza poza ten zakres. Aby mieć pewność na poziomie 95% trzeba rozszerzyć granice błędu do $\pm 2\sigma$ (w naszym przykładzie: 4800–5200). Warto zauważyć, że taki właśnie poziom pewności przyjmuje się dla dat kalibrowanych.



Ryc. 1. Granice warstw (linie przerywane) umieszczone na wykresie głębokość–wiek z przedstawionymi graficznie datami radiowęglowymi.

Fig. 1. Lithological boundaries (broken lines) and ^{14}C date rectangles on an age–depth plot.

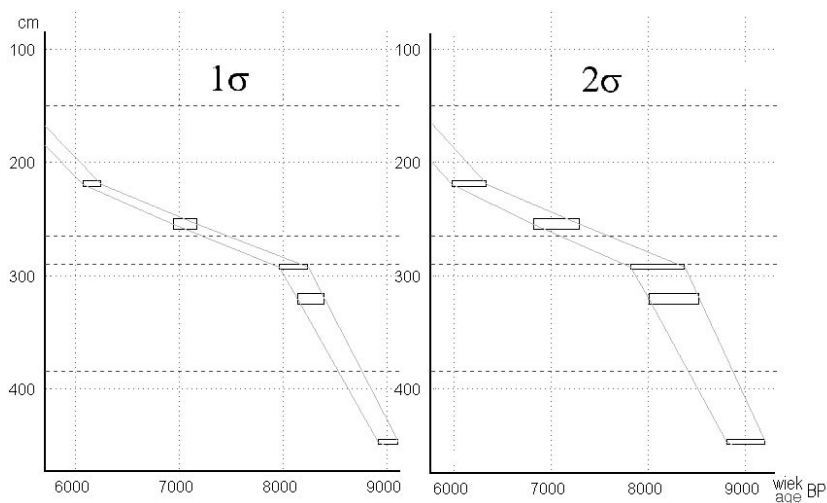
Ważniejszą zwykle przyczyną niepewności datowania, poza nieuchronnym czynnikiem statystycznym, jest czynnik przyrodniczy, przez który rozumiemy skład samej próby i sposób jej pobrania. Próba może pochodzić z osadu, który zawiera starszy lub młodszy węgiel. Próbkę można zanieczyścić przy pobieraniu. Próbkę można pobrać w ten sposób, że połączy się w niej materiał różnego wieku (np. węgle czy porcje osadu zebrane z dużej powierzchni). Nie miejsce by tu wyliczać wszystkie źródła błędów pozastatystycznego. Trzeba jednak zwrócić uwagę na to, że doświadczenia oparte na konkretnych analizach wykazują, że rzeczywisty błąd dat „dobrych” (nie obciążonych „grubym” błędem), jest dwa razy większy od podawanego standardowego błędów $\pm 1\sigma$.

Reasumując, o ile zupełnie nierozsądnym jest upieranie się przy literalnym znaczeniu daty (tu 5000 BP), to trzeba ponadto dopuszczać nie tylko jej odchylenie w granicach $\pm 1\sigma$, ale jeszcze nieco większe. Krzywa zależności wieku od głębokości może różnić się z datą o 2σ , a nawet więcej. Oczywiście zawsze istnieje możliwość błędów „grubych” (wynikających z czynnika przyrodnicze-

go), eliminujących daty zupełnie. Jest to poważna decyzja, którą musi podjąć autor danego diagramu.

Trzeba jeszcze wprowadzić pewne uzupełnienie do podanego wyżej określenia daty. W aspekcie krzywej głębokość–wiek, datę charakteryzują cztery liczby: poza samą datą i jej błędem, potrzebne są jeszcze głębokości spągu i stropu próbki ^{14}C . W programie *POLPAL-Wiek* daty rysowane są jako prostokąty (ryc. 2), których wymiar poziomy (wzdłuż osi czasu) wynosi 2σ czyli $\pm 1\sigma$ i odpowiada standardowemu przedstawianiu dat, a pionowy (oś głębokości) jest zgodny z miąższością próbki. (Warto zwrócić uwagę, że pionowy rozmiar prostokąta nie oznacza błędu, ponieważ przy stałym tempie sedymentacji datowany jest środek próbki, bez dodatkowego błędu). Program ma opcję mnożenia wartości błędów dat o zadany, arbitralny czynnik, np. właśnie 2 (patrz dyskusja powyżej o rozszerzeniu granicy błędu do $\pm 2\sigma$).

Datowanie radiowęglowe nie jest jedynym źródłem dat bezwzględnych, możliwe są też inne datowania, np. warwowe i dendrochronologiczne; podobnie artefakty archeologiczne mogą spełniać funkcję datowników niezależnych od warunków przyrodniczych. Mogą one być równoprawne datom ^{14}C , pamiętać tylko trzeba o precyzji takich datowań. Duże znaczenie ma „datowanie” stropu profilu na wiek 0, oczywiście tam, gdzie zachodzi taka sytuacja. Zerowy wiek również obarczony jest błędem (abstrahując od faktu, że np. rok 2000 AD to -50 BP),



Ryc. 2. Daty ^{14}C narysowane w konwencji 1σ i 2σ . Na wykresie umieszczany jest również pas błędu dotyczący obszaru interpolacji pomiędzy datami.

Fig. 2. ^{14}C dates plotted according to the 1σ and 2σ conventions. The error limits are also plotted to provide an estimate of the accuracy of the interpolation between the data.

wynikającym na przykład z tego, że nie wiemy czy, a także ile samego stropu osadu brakuje.

Datowanie, a właściwie ocena tempa sedymentacji na podstawie koncentracji pyłku, wydaje się uprawniona także w zastosowaniu izopolowym (Young i in. 1999).

KRZYWA GŁĘBOKOŚĆ–WIEK

Mając w profilu co najmniej dwie daty bezwzględne można na ich podstawie datować, z mniejszym lub większym stopniem pewności, wiele spektrów. Aby określić wiek spektrum, które nie jest bezpośrednio datowane przez ^{14}C , trzeba dysponować krzywą zależności wieku od głębokości.

W programie *POLPAL-Wiek* głębokość odkładana jest na osi pionowej, gdzie głębokość 0 jest u góry. Czas odkładany jest na osi poziomej, starsze próbki po prawej stronie (ryc. 1). W rezultacie, krzywa głębokość-wiek biegnie, mniej więcej od lewego-górnego rogu w prawo, w dół. Jeżeli krzywa pokrywa cały zakres głębokości profilu to wydutować można każde spektrum, gdyż każdej głębokości odpowiada jakiś wiek. Zwrócić tu trzeba uwagę na to, że krzywa głębokość-wiek jest matematycznie funkcją $\text{wiek} = f(\text{głębokość})$, jako że o ile sensowna (choć skrajna) jest sytuacja, że dwie różne głębokości mają ten sam wiek, to dwa różne wieki dla jednej głębokości nie mają żadnego sensu.

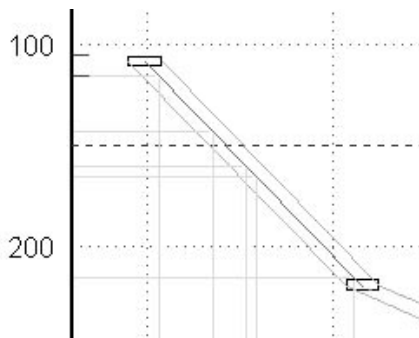
INTERPOLACJA

Mając dwie daty, można połączyć je na wykresie głębokość-wiek linią prostą. Wtedy wydutować można wszystkie spektra mieszczące się w profilu między tymi datami ^{14}C (ryc. 3).

Zasadnicze dla precyzji takiego datowania spektrów jest pytanie o stałość tempa sedymentacji. Jeśli można przyjąć, że szybkość przyrastania osadu na rozważanym odcinku profilu jest stała, to interpolacyjna metoda datowania jest najlepsza.

Oczywiście nie należy zapominać o błędach statystycznych dat ^{14}C . Program *POLPAL-Wiek* rysuje pas błędu zamiast pojedynczej linii. Są to dwie linie, jedna pociągnięta pomiędzy lewymi (młodszyimi) granicami dat ($T-\sigma$), a druga między prawymi ($T+\sigma$). Tak rysowany pas jest dość dobrym przybliżeniem rzeczywistej sytuacji statystycznej (ryc. 2). Wynika to z faktu występowania tu dwóch opozycyjnych czynników. Po pierwsze, statystyki, w środku pomiędzy datami błąd jest najmniejszy; po drugie, ze względów przyrodniczych, a konkretnie z niepewności tempa sedymentacji wynika, że w miejscu najbardziej oddalonym od obu dat błąd będzie największy.

Jeżeli są tylko dwie daty, to o ewentualnej zmienności tempa sedymentacji (w danej części profilu) można wnosić jedynie na podstawie litologii osadu.



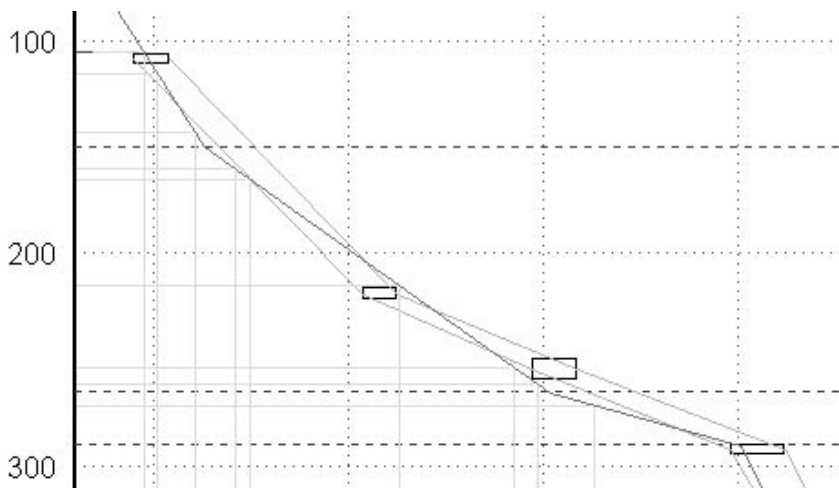
Ryc. 3. Interpolacja pomiędzy dwoma datami ^{14}C umożliwiającą wydatowanie każdego spektrum znajdującego się pomiędzy tymi datami. Datowanie realizowane jest poprzez zaznaczoną w postaci ciągłej linii funkcję wiążącą głębokość (oś pionowa) z wiekiem (oś pozioma).

Fig. 3. Interpolation between ^{14}C dates makes it possible to assign an age to each spectrum between the dates. It is effected by the solid horizontal line visible here, which connects the point on the vertical axis (pollen spectrum) with the appropriate point of the depth-age curve from which it goes vertically down to the age axis, thereby indicating the age of the spectrum.

Jeżeli są jakieś dane na ten temat, np. w środku odcinka jest zmiana osadu z torfu na szybko przyrastającą gytię (Bińka i in. 1988), to fakt ten należy uwzględnić. Zaproponować tutaj można następujące postępowanie. Ponieważ zwykle trudno jest ilościowo ocenić tempo sedymentacji, należy skorzystać z intuicji autora diagramu lub innej osoby znającej stanowisko i dysponującej jego opisem. Program *POLPAL-Wiek* umieszcza na wykresie daty ^{14}C (z pasami błędów od daty do daty) i poziomy zmian osadu. Mając na ekranie komputera taki obraz, klikając myszą, tworzy się ręcznie linię łamaną, od daty do granicy litologicznej, a następnie dalej do drugiej daty (ryc. 4). Stopień odchylenia linii łamanej od prostego odcinka łączącego dwie daty należy właśnie do decyzji autora. Oczywiście linię łamaną można prowadzić w bardziej skomplikowany sposób, np. uwzględniając ciągłą zmianę coraz bardziej skompaktowanego osadu.

EKSTRAPOLACJA

Mając tylko dwie daty, połączone linią prostą, a nawet łamaną, można przedłużyć linię w lewo w górę i w dół w prawo, tak, by zakresem krzywej głębokość–wiek objąć więcej spektrów. Jest to działanie statystycznie uprawnione, lecz tym razem oba czynniki, statystyczny i przyrodniczy, działają na niekorzyść takiego datowania. Dokładność krzywej (i co za tym idzie datowania spektrów) będzie szybko malała w miarę oddalania się „na zewnątrz” od dat ^{14}C . Ścisła statystyczna ocena błędów nie ma tu większego sensu wobec przyrodniczej (nieoszacowanej) niepewności samych dat i niepewnej stabilności tempa sedymentacji. Program



Ryc. 4. Ręcznie (subiektywnie) wykreślana liniowa zależność głębokość–wiek z wykorzystaniem granic litologii.

Fig. 4. A subjective age determination, using hand plotted depth–age relation with lithological boundaries taken into account.

POLPAL-Wiek oferuje dość łatwe wykonanie ekstrapolacji przy zastosowaniu wielomianowego (w tym liniowego) modelu matematycznego jak i zaproponowanej wyżej metody „ręcznej”. Ekstrapolacja powinna jednak być stosowana z dużą ostrożnością.

WIĘCEJ NIŻ DWIE DATY W PROFILU

Omówione w dwóch powyższych punktach postępowanie, gdy w profilu są tylko dwie daty ^{14}C (lub inne „bezwzględne”), stosuje się także do sytuacji posiadania większej liczby dat w profilu. Oczywiście, ze wszech miar lepiej jest mieć więcej dat. Nie tylko dokładniejsze jest wtedy datowanie całego profilu, ale możliwe staje się także zweryfikowanie hipotezy o szybkości przyrastania osadu, lub odwrotnie, zweryfikowanie (sfalsyfikowanie) daty.

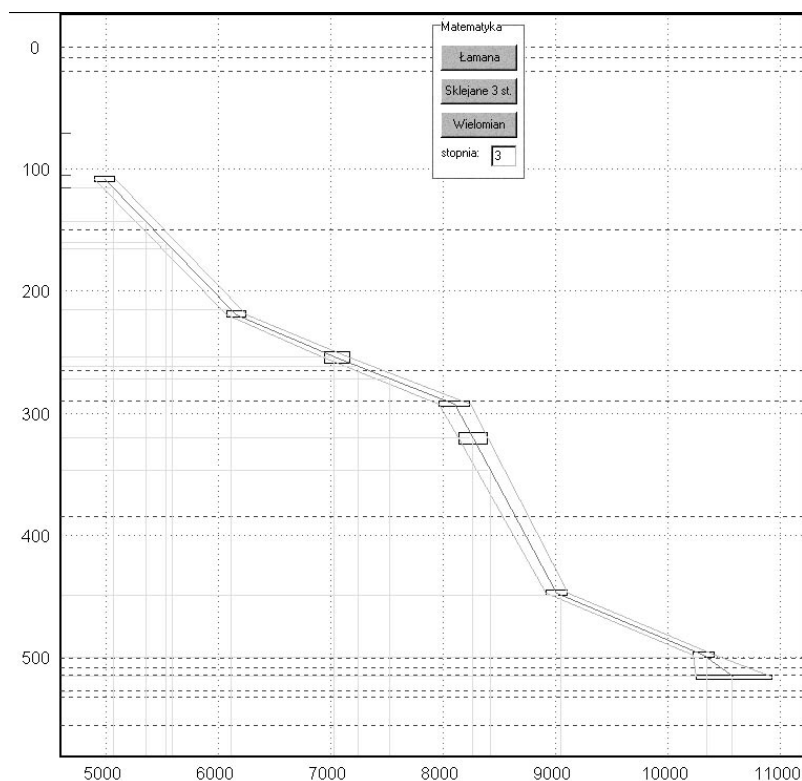
Jeżeli zachodzi typowa sytuacja, to znaczy datowane są granice litologiczne, to najprostsza interpolacja liniowa, prowadzona od daty do daty, może być bardzo dobrym rozwiązaniem. Ponadto, jeśli trzy skrajne daty (najmłodsze lub najstarsze) układają się mniej więcej na prostej, to większe zaufanie można mieć także do ekstrapolacji (w rozsądnych granicach). Oczywiście dobrze jest uwzględnić dodatkową informację w postaci danych o litologii. Uwzględnienie litologii umożliwia zaproponowana „ręczna” metoda bazująca w pewnym stopniu na subiektywnej intuicji.

MODELE MATEMATYCZNE

Istnienie jednoznacznej funkcyjnej zależności wieku od głębokości skłania do zaproponowania matematycznych modeli tej zależności. Modele takie mają sens jako pewna odpowiedź zaproponowana przez obiektywny algorytm. Wybrać można jeden z kilku modeli i zastosować go bezpośrednio do datowania spektrów. Wydaje się jednak, że wobec złożoności przyrodniczej sytuacji, niejednorodności profilu, niepewności dat, lepiej jest „nauczyć się” czegoś z modeli, a następnie samodzielnie, ręcznie poprowadzić krzywą głębokość–wiek.

Program *POLPAL-Wiek* oferuje trzy obiektywne modele matematyczne krzywej głębokość–wiek.

ŁAMANA (ryc. 5). Jest to omówiona już wyżej metoda interpolacji liniowej polegająca na łączeniu odcinkami prostej kolejnych dat ^{14}C . Wadą tej metody są

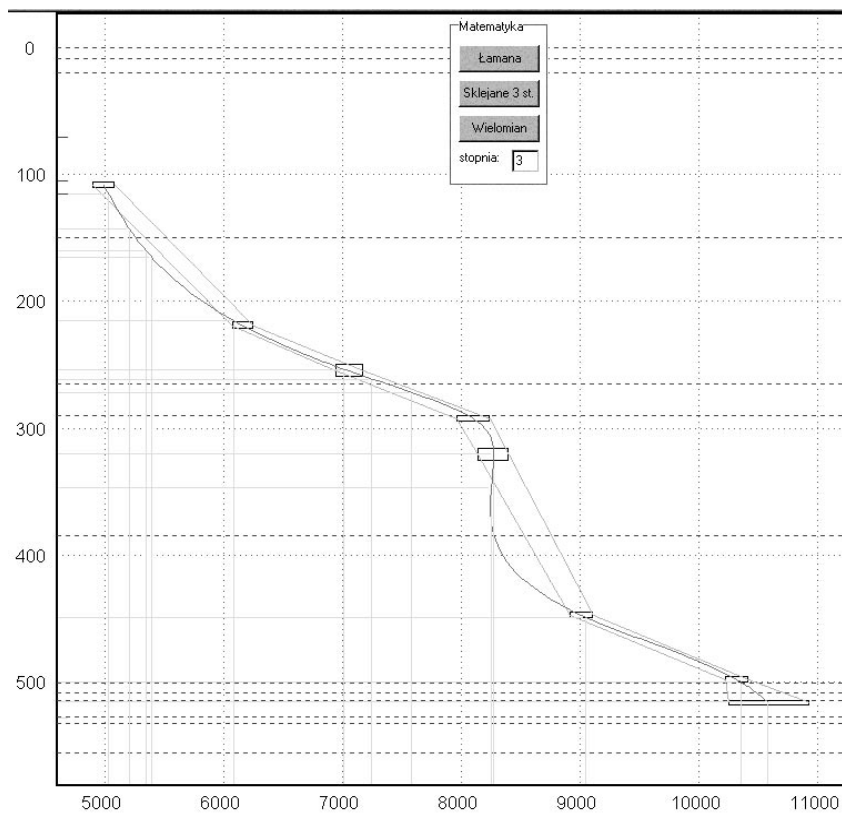


Ryc. 5. Wyznaczanie wieku spektrów na bazie interpolacji liniowej (linią łamaną).

Fig. 5. Spectra age assignment using linear interpolation (broken line).

załamania krzywej w punktach dat, które to załamania niekoniecznie muszą mieć jakieś uzasadnienie w nagłym skoku tempa sedymentacji.

FUNKCJE SKLEJANE 3-GO STOPNIA (QUBIC SPLINES) (ryc. 6). Jest to pewne uogólnienie metody pierwszej, wygładzające załamania obecne na krzywej łamanej. Funkcje (wielomiany trzeciego stopnia) rysowane są od daty do daty i mają „obowiązek” gładkiego sklejanego się na datach. Stąd powstaje jedna linia, złożona z kilku odcinków, łączących się „gładko” na datach. Ta metoda ma jednak tendencję do niezachowywania monotoniczności zależności głębokość–wiek, tzn. mogą zdarzać się odcinki inwersji, gdzie głębsze spektra są młodsze, nawet przy braku inwersji w datach. Metoda ta daje bardzo obiecująco wyglądającą funkcję

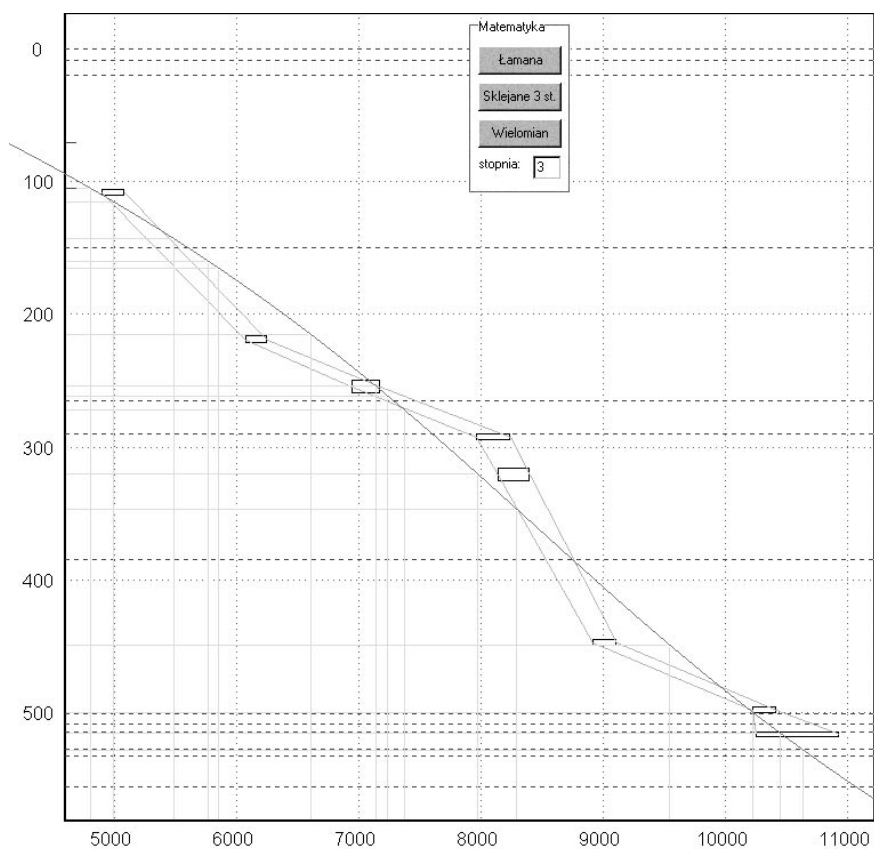


Ryc. 6. Wyznaczanie wieku spektrów na bazie interpolacji funkcjami sklejanymi. Przy głębokościach 320–380 otrzymano tu odwrotną zależność wieku od głębokości (głębsze próbki są młodsze).

Fig. 6. Spectra age assignment from qubic spline interpolation. A negative gradient is obtained here for the depth span 320–380.

głębokość–wiek, która jednak raczej rzadko nadaje się do bezpośredniego wykorzystania. Funkcje sklejane, podobnie jak łamana, nie dają ekstrapolacji.

WIELOMIANY (DOWOLNEGO STOPNIA) w tym LINIA PROSTA. Metoda wielomianów to rysowanie jednej linii jako krzywej zależnej od wszystkich dat, od pierwszej do ostatniej, a nie jak w *cubic splines* między sąsiadującymi datami (ryc. 7). Linia prosta, czyli wielomian stopnia 1 jest najprostszym modelem matematycznym. Może bardzo dobrze symulować rzeczywistość w przypadku bardzo jednorodnego osadu. Jeśli stabilność tempa sedymentacji jest ewidentna, można nawet zignorować pewne niezgodności dat z modelem liniowym, który uwzględni wszystkie daty w sposób statystycznie optymalny.



Ryc. 7. Wyznaczanie wieku spektrów na bazie wielomianu trzeciego stopnia.

Fig. 7. Spectra age assignment using a third order polynomial approximation.

Wielomiany wyższych stopni pozwalają uwzględnić gładką (nie skokową) zmienność tempa sedymentacji. Warto pamiętać, że stopień wielomianu zawsze musi być o jeden mniejszy od liczby dat. Taki wielomian, np. stopnia 3. przy czterech datach będzie przechodził dokładnie przez wszystkie cztery daty, co jednak wcale nie jest zaletą, gdyż nie oznacza bynajmniej idealnego datowania odcinków między datami. W zastosowanej aproksymacji wielomianowej nie uwzględnia się wag, które wynikałyby np. z faktu, że niektóre daty ^{14}C są dokładniejsze od innych i jako takie powinny mieć obiektywnie większy wpływ na krzywą wielomianową (Łomnicki 1995).

LITERATURA

- BIŃKA K., MADEYSKA T., MARCINIAK B., SZEROCZYŃSKA K., WIECKOWSKI K. 1988. Błędowo Lake (Central Poland): History of vegetation and lake development during the last 12.000 years. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Earth Sciences* **36**(2): 147–158.
- HUNTLEY B., BIRKS H. J. B. 1983. An atlas of past and present pollen maps for Europe: 0–13.000 years ago. Cambridge University Press, Cambridge.
- KONECKA-BETLEY K., CZĘPIŃSKA-KAMIŃSKA D., NALEPKA-PAPERZ D., WASYLIKOWA K. 1996. Przemiany środowiska Puszczy Kampinoskiej w późnym glacie i holocenie na przykładzie osadów organicznych torfowiska w Wilkowie (Polesie Stare). *Roczniki Gleboznawcze, Suppl.* **47**: 103–112.
- ŁOMNICKI A. 1995. Wprowadzenie do statystyki dla przyrodników. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- MADEYSKA T. 1992. Metody geochronologiczne oparte na zaniku pierwiastka promieniotwórczego: ^{14}C i inne. W: L. LINDNER (red.), *Czwartorzęd. Osady, metody badań, stratygrafia*. Polska Agencja Ekologiczna, Warszawa, ss. 405–414.
- NALEPKA D., WALANUS A. 1995. Arytmetyka w diagramach pyłkowych. *Wiadomości Botaniczne* **39**(1,2): 91–104.
- NALEPKA D., WALANUS A. 2003. Data processing in pollen analysis. *Acta Palaeobotanica* **43**(1): 125–134.
- PAZDUR A., GOSLAR T., MICHCZYŃSKI A., PAWLYTA J. 1999. Zastosowanie metody radiowęglowej do datowania osadów młodszego czwartorzędu. W: A. PAZDUR, A. BLUSZCZ, W. STANKOWSKI, L. STARKEL (red.), *Geochronologia górnego czwartorzędu Polski*. Wind – J. Wojewoda, Wrocław, ss. 17–42.
- PAZDUR M. 1995. Oznaczanie wieku osadów metodami izotopowymi. W: E. MYCIELSKA – DOWGIAŁŁO, J. RUTKOWSKI (red.), *Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników*. Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Państwowy Instytut Geologiczny, Komisja Litologii i Genezy Osadów Czwartorzędowych Komitetu Badań Czwartorzędu PAN, Warszawa, ss. 329–356.
- RAŁSKA-JASIEWICZOWA M. 1983. Isopollen maps for Poland: 0–11000 years BP. *New Phytologist* **94**: 133–175.

- SZAFER W. 1935. The significance of isopollen lines for the investigation of the geographical distribution of trees in the Post-Glacial period. *Bulletin de l'Academie des Sciences et des Lettres, Serie B*, **1**: 235–239.
- SZAFER W. 1949. Zarys ogólnej geografii roślin. Czytelnik, Warszawa.
- WALANUS A., NALEPKA D. 1996a. Program POLPAL – Palinologiczna Baza Danych. Instrukcja obsługi (1994). Instytut Botaniki im.W. Szafera Polskiej Akademii Nauk, Kraków.
- WALANUS A., NALEPKA D. 1996b. Synchronizacja profili palinologicznych w bazie danych POLPAL. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Matematyka–Fizyka* **79**, *Geochronometria* **13**: 215–226.
- WALANUS A., NALEPKA D. 1999. POLPAL. Program for counting pollen grains, diagrams plotting and numerical analysis. *Acta Palaeobotanica, Suppl.* **2**: 659–661.
- YOUNG R., WALANUS A., GOSLAR T., VAN GEEL B., RALSKA-JASIEWICZOWA M., WIJMSTRA T. A. 1997. Test of equal taxon – weight modification of Middelorp's pollen density dating on data from varved sediments of Lake Gościąż, Poland. W: R. YOUNG, *Time – series analysis and time-basis reconstruction in palaeoecology. Analyses of palaeoecological data from annually laminated sediments of Lake Gościąż, Poland*. Thesis Publisher, Amsterdam, ss. 79–116.