

Bluszcz, Andrzej / Adamiec, Grzegorz

Termoluminescencyjne datowanie neolitycznej ceramiki z terenu Małopolski : okolice Kazimierzy Wielkiej

Światowit 39, 157-181

1994

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

TERMOLUMINESCENCYJNE DATOWANIE NEOLITYCZNEJ CERAMIKI Z TERENU MAŁOPOLSKI (OKOLICE KAZIMIERZY WIELKIEJ)

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki datowania 37 fragmentów ceramiki neolitycznej. Datowania zostały wykonane techniką drobnodziarnistej frakcji poliminerальной, a uzyskane rezultaty zawierają się w przedziale od 2700 do 5700 lat BP. W czasie pomiarów stwierdzono występowanie, w pewnej liczbie fragmentów, zjawiska wydłużonej nieliniowości w zakresie małych dawek. Rozszerzenie programu badań pozwoliło na zmianę ustalonej procedury datowania i dostosowanie jej do nietypowych własności próbek ceramiki. W artykule dyskutuje się możliwość datowania próbek ceramiki pochodzących ze zbiorów archiwalnych lub badań powierzchniowych w celach wstępnego ustalenia chronologii stanowisk archeologicznych. Przedstawiono również w przystępny sposób zasady wykorzystania zjawiska termoluminescencji do datowania ceramiki.

WSTĘP

Datowanie termoluminescencyjne jest możliwe dzięki obecności w ceramice ziaren mineralnych kwarcu i skaleni oraz śladowych ilości atomów pierwiastków promieniotwórczych zawartych w ceramice i jej otoczeniu. Ziarna minerałów mają zdolność do magazynowania części energii promieniowania emitowanego przez pierwiastki promieniotwórcze. Z dużą dokładnością można przyjąć, że intensywność tego naturalnego promieniowania jest stała w czasie i energia po-

chłonięta w ziarnach wzrasta w stałym tempie, o jednakowe ilości każdego roku. Można to przedstawić matematycznie następującym równaniem:

$$\frac{\text{Energia pochłonięta przez ziarna}}{\text{Wiek w latach}} = \frac{\text{Energia pochłanianą w ciągu roku}}{\text{ceramiki}} \quad (1)$$

które po przekształceniu pozwala wyznaczyć wiek ceramiki

$$\text{Wiek} = \frac{\text{Energia pochłonięta przez ziarna}}{\text{Energia pochłanianą w ciągu roku}} \quad (2)$$

W praktyce, zamiast energii pochłoniętej i energii pochłanianej w jednostkowym przedziale czasu, używa się równoważnych pojęć dawki pochłoniętej promieniowania i dawki rocznej (właściwie mocy dawki) i równanie (2) można zapisać następująco:

$$\text{Wiek} = \frac{\text{Dawka pochłonięta}}{\text{Dawka roczna}} \quad (3)$$

WYZNACZANIE DAWKI POCHŁONIĘTEJ

Do wyznaczenia dawki promieniowania pochłoniętej przez ziarna kwarcu lub skaleni w ceramice wykorzystuje się zjawisko termoluminescencji. W czasie podgrzewania ziaren minerałów od temperatury pokojowej do temperatury około 500°C pochłonięta energia jest uwalniana, czemu towarzyszy charakterystyczne świecenie nazywane termoluminescencją (TL), którego przykład znajduje się na rycinach 3 i 4 (termoluminescencja jest czymś innym od termicznego świecenia rozżarzonych ciał). Dzieje się tak tylko wówczas, gdy przed podgrzewaniem ziarna pochłonięły pewną dawkę promieniowania oraz gdy między pochłonięciem dawki a tym podgrzewaniem nie były poddawane działaniu wysokich temperatur. Podgrzewanie do wysokich temperatur jednorazowo uwalnia zgromadzoną w ziarnach energię i sprawia, że bezpośrednio po nim ziarna nie wykazują termoluminescencji. Można ją obserwować ponownie dopiero po napromieniowaniu ziaren kolejną dawką.

W świetle tych faktów widać, jaką rolę w metodzie datowania termoluminescencyjnego odgrywa wypalanie ceramiki. Powoduje ono, że ziarna „zapominają” pochłoniętą wcześniej dawkę promieniowania i w momencie odnalezienia fragmentu ceramiki zawierają dawkę

pochłoniętą od chwili wypalenia, niosącą (porównaj równanie 3) informację o wieku ceramiki.

Wartość pochłoniętej dawki promieniowania określa się na podstawie laboratoryjnego pomiaru intensywności termoluminescencji ziaren mineralnych wypreparowanych z datowanego fragmentu ceramiki. Termoluminescencja, jaką ziarna kwarcu lub skalenia emitują w czasie podgrzewania, jest proporcjonalna do wartości dawki promieniowania pochłoniętej od chwili wypalenia ceramiki. W warunkach laboratoryjnych dawkę pochłoniętą wyznacza się następująco. Wypreparowane z ceramiki ziarna dzieli się na kilka porcji. Napromieniowuje się je następnie różnymi dawkami promieniowania β lub γ , pozostawiając jedną z porcji z nienaruszoną dawką naturalną. Kolejnym krokiem jest pomiar intensywności TL ziaren z poszczególnych porcji. Na wykresie zależności intensywności TL od dawki laboratoryjnej promieniowania β lub γ punkty pomiarowe układają się na linii prostej, tak jak pokazano na rysunkach od 7 do 9. Odcinek osi dawek od punktu 0 do punktu wyznaczonego przez przedłużenie linii dopasowanej do punktów pomiarowych wyznacza wartość dawki archeologicznej, pochłoniętej przez ziarna w ceramice.

WYZNACZANIE DAWKI ROCZNEJ

Dawka roczna jest dawką naturalnego promieniowania pochłanianą w ciągu roku przez ziarna zawarte w ceramice. Naturalne izotopy promieniotwórcze znajdujące się w samej ceramice oraz w otaczającej ją glebie emitują trzy rodzaje promieniowania: α , β i γ . Różnią się one zasięgiem oraz skutecznością w powiększaniu energii gromadzonej w ziarnach. Największy zasięg, wynoszący średnio 30 cm, ma promieniowanie γ . Promieniowanie β ma zasięg znacznie mniejszy, około 2 mm, a skuteczność promieniowania β i γ jest jednakowa i przyjmowana umownie za równą 1. Najmniejszy zasięg ma promieniowanie α – jest on rzędu kilkudziesięciu mikrometrów (kilku setnych części milimetra). Jednocześnie promieniowanie α ma skuteczność znacznie mniejszą od skuteczności promieniowania β i γ . W ziarnach różnych minerałów wynosi ona od 50 do zaledwie kilku procent skuteczności promieniowania beta i gamma.

Wartość dawki rocznej wyznacza się na podstawie mierzonych, oddzielnie w glebie, ceramice i w samych ziarnach, koncentracji izotopów promieniotwórczych. W typowych przypadkach fragmenty

ceramiki są z jednej strony na tyle małe, że dawka promieniowania α jaką pochłaniają ziarna pochodzi od izotopów zawartych w glebie, z drugiej zaś strony są na tyle duże, że ziarna znajdujące się w wewnętrznej części skorupy pochłaniają dawkę promieniowania β pochodzącą od izotopów zawartych w ceramice. Z uwagi na bardzo krótki zasięg promieniowania α , dawka tego promieniowania pochodzi zawsze od izotopów zawartych w ceramice i w ziarnach.

Przy wyznaczaniu wartości dawki rocznej ważne jest jeszcze uwzględnienie obecności wody w porach gleby i ceramiki. Woda osłabia promieniowanie i im większa jest wilgotność gleby i ceramiki, tym mniejszą dawkę pochłaniają ziarna. Uwzględnia się również dawkę przenikliwego promieniowania kosmicznego.

TECHNIKI POMIAROWE W METODZIE DATOWANIA TL

W praktyce stosowania metody TL wykorzystuje się dwie podstawowe techniki pomiarowe nazywane techniką drobnodziarnistą i techniką grubodziarnistą. Nazwy pochodzą od rozmiarów ziaren ekstrahowanych z ceramiki. W pierwszym przypadku z fragmentu skorupy wydziela się polimineralne ziarna o rozmiarach 2–8 mikrometrów. W drugim natomiast ziarna kwarcu o rozmiarach 80–120 mikrometrów. Ziarna kwarcu nie zawierają izotopów promieniotwórczych i mają rozmiary większe od zasięgu promieni α . Dlatego wewnętrzna część tych ziaren nie pochłania w ogóle dawki promieniowania α . Zewnętrzną część tych ziaren usuwa się przy pomocy kwasu fluorowodorowego (HF). Po tym zabiegu udział dawki promieniowania α w tworzeniu TL grubych ziaren jest pomijalnie mały i dawkę roczną można zapisać wzorem:

$$d_q = d_{\text{gleba}}^{\beta} + d_{\text{ceramika}}^{\beta} + d^{\mu}, \quad (4)$$

gdzie d^{μ} oznacza dawkę roczną promieniowania kosmicznego.

Drobnymi ziarnami nie traktuje się kwasem, a ich rozmiary są na tyle małe, że pochłaniają całą dawkę α . Należy uwzględnić tylko zmniejszoną skuteczność promieniowania α . Wartość dawki rocznej dla drobnych ziaren dana jest zatem wzorem:

$$d_f = d_{\text{gleba}}^{\beta} + d_{\text{ceramika}}^{\beta} + k^{\alpha} \cdot d_{\text{ceramika}}^{\alpha} + d^{\mu} \quad (5)$$

W większości przypadków dawka roczna nie ulega zmianom w okresie zalegania ceramiki i związek między wiekiem TL (T_{TL}), dawką archeologiczną AD i dawką roczną d można zapisać równaniem:

$$AD = T_{TL} \cdot d, \quad (6)$$

które w przypadku techniki gruboziarnistej przekształca się w:

$$AD_q = T_{TL} \cdot (d_{gleba}^{\beta} + d_{ceramika}^{\beta} + d^{\mu})_{roman}, \quad (7)$$

natomiast w przypadku techniki drobnoziarnistej w:

$$AD_f = T_{TL} \cdot (d_{gleba}^{\beta} + d_{ceramika}^{\beta} + k^{\alpha} \cdot d^{\alpha} + d^{\mu}) \quad (8)$$

Warto w tym miejscu wspomnieć o jeszcze jednej technice umożliwiającej stwierdzenie autentyczności ceramiki pochodzącej np. ze zbiorów muzealnych. W takim przypadku nie może być już ustalona dawka promieniowania γ i żadna z obu przedstawionych technik nie da odpowiedzi na pytanie o wiek ceramiki. Można jednak zastosować obie razem i jeżeli odejmiemy stronami równania (8) i (7), to

$$AD_f - AD_q = T_{TL} \cdot k^{\alpha} \cdot d^{\alpha} \quad (9)$$

i do wyznaczenia wieku nie jest potrzebna znajomość $d\gamma$. Nie jest to jednak technika na tyle precyzyjna, by można ją było stosować do datowania.

OPIS DATOWANYCH PRÓBEK

Datowaniu podlegały próbki neolitycznej ceramiki pucharów lejkowatych, wydobytej w okolicy Kazimierzy Wielkiej, a przekazanej przez dr. Krzysztofa Tunię z Instytutu Archeologii i Etnologii Polskiej Akademii Nauk w Krakowie.

Część próbek została wydobyta w roku 1993 (te próbki zabezpieczono przed utratą wilgotności), inne pochodziły ze zbiorów z lat poprzednich.

Wszystkie próbki miały postać fragmentów o grubości około 1 cm i średnicy 3–10 cm.

Próbki gleby do pomiarów spektrometrii gamma pobrano w sezonie wykopaliskowym 1993 przez autorów niniejszej pracy. Próbki te pochodziły zarówno z miejsc, gdzie aktualnie odbywały się prace wykopaliskowe, jak i z miejsc, gdzie wykopaliska miały miejsce w latach poprzednich, a wskazanych przez dr. Tunię.

W tabeli 1 przedstawiono zestawienie próbek ceramiki.

Zestawienie datowanych próbek ceramiki

Lp.	Symbol próbki	Stanowisko	Wykop	Obiekt	Warstwa [cm]
1	2	3	4	5	6
1	KW1	Słonowice „G”	6	OA	125–150
2	KW2	Słonowice „G”	12	OA	40–65
3	KW3	Słonowice „G”	12	OA	65–90
4	KW4	Słonowice 4	1	13	55–80
5	KW5	Słonowice 4	1	13	80–105
6	KW6	Słonowice 4	1	13	155–180
7	KW7	Słonowice 4	1	13	180–205
8	KW8	Słonowice 4	1	17	155–180
9	KW9	Słonowice 4	1	17	30–55
10	KW11	Słonowice 4	1	17	90–105
11	KW12	Słonowice 4	1	17	105–130
12	KW13	Słonowice 4	1	17	30–55
13	Kw14	Słonowice 4	1	18	30–55
14	KW15	Słonowice 4	1	20	30–55
15	KW16	Słonowice 4	1	20	55–80
16	KW17	Słonowice 4	1	20	80–105
17	KW18	Słonowice 4	1	20	105–130
18	KW19	Bronocice	C2	53	35–55
19	KW20	Bronocice	A1	42	70–90
20	KW21	Bronocice	A3	7	110–130
21	KW22	Bronocice	A1	101	90–110
22	KW23	Bronocice	A1	1	140–160
23	KW24	Bronocice	A1	68	110–130
24	KW26	Bronocice	B1	70	70–90
25	KW27	Bronocice	A5	1	90–110
26	KW28	Bronocice	B8	2	80–100
27	KW29	Kobylniki		9	–
28	KW30	Zawarża		18	160–180
29	KW31	Zawarża		57	140–160
30	KW32	Niedźwiedz		53	–
31	KW33	Niedźwiedz		62	–
32	KW34	Niedźwiedz		71	–

1	2	3	4	5	6
33	KW35	Giebułtów		2	-
34	KW36	Giebułtów		6	-
35	KW37	Słonowice 4	1	1	-
36	KW38	Słonowice 4	1	7	-
37	KW39	Słonowice 4	1	7	-

POMIARY TOWARZYSZĄCE

Jak już wspomniano, do określenia wieku metodą TL konieczne jest wyznaczenie dawki pochłoniętej oraz wykonanie pomiarów pozwalających określić moc dawki. Kolejno zostaną opisane metody zastosowane w celu określenia mocy dawki.

POMIAR AKTYWNOŚCI GAMMA OTOCZENIA

Do określenia aktywności gamma otoczenia wykorzystano metodę spektrometrii gamma. Do pomiarów użyto spektrometru z kryształem scyntylacyjnym NaI : Tl, znajdującego się w laboratorium C w Gliwicach. Dla niektórych próbek gleby pomiary zostały przeprowadzone także na spektrometrze wysokiej rozdzielczości z kryształem germanowym w Research Laboratory for Archaeology and the History of Art w Oksfordzie.

Istotną informacją, jaką można otrzymać stosując spektrometr gamma wysokiej rozdzielczości, jest stwierdzenie równowagi promieniotwórczej w łańcuchach rozpadów. W przypadku wszystkich próbek gleby, których aktywności właściwe były określane za pomocą spektrometru wysokiej rozdzielczości, zachowana jest równowaga promieniotwórcza.

OKREŚLENIE ZAWARTOŚCI POTASU W PRÓBCE

Promieniotwórczy izotop potasu ^{40}K stanowi stały ułamek naturalnie występującego potasu. Ilościowa analiza chemiczna pozwala na określenie zawartości potasu w próbce, a zatem także jego aktywności, a tym samym na określenie mocy dawki promieniowania β od niego pochodzącego. W badaniach tutaj prezentowanych wykorzystano fotospektrometrię płomieniową.

OKREŚLENIE AKTYWNOŚCI PRÓBKII METODĄ ZLICZANIA CZĄSTEK α

W celu określenia aktywności próbki stosuje się zliczanie cząstek α . Małą ilość sproszkowanej ceramiki umieszcza się na plastikowym krążku pokrytym cienką warstwą siarczku cynku. Cząstki emitowane w czasie rozpadów jąder promieniotwórczych zawartych w próbce wywołują w siarczku cynku scyntyłacje, czyli słabe błyski światła. Scyntyłacje są rejestrowane przez fotopowielacz (bardzo czuły detektor światła). Ilość scyntyłacji na jednostkę czasu określa dość dokładnie aktywność próbki.

POMIAR WILGOTNOŚCI CERAMIKI I GLEBY

Ważnym czynnikiem wpływającym na moc dawki jest wilgotność, i to zarówno ceramiki, jak i otoczenia (im większa wilgotność, tym większa część promieniowania jest pochłaniana przez wodę). Nieznajomość wilgotności, w okresie kiedy próbka znajdowała się w glebie, jest źródłem największego błędu w datowaniu metodami luminescencyjnymi.

W celu oszacowania wilgotności próbki, w czasie kiedy znajdowała się w glebie, dokonuje się pomiaru wilgotności nasycenia, tzn. maksymalnej wilgotności jaką mogła mieć ceramika. Następnie przyjmuje się do obliczeń wilgotność równą 75 procent wilgotności nasycenia z niepewnością równą 25 procent wilgotności nasycenia.

Pomiar wilgotności nasycenia wykonuje się w ten sposób, że fragment ceramiki zostaje zanurzony w wodzie na tak długo, dopóki jego masa przestanie wzrastać. Po zważeniu ceramika zostaje umieszczona w suszarce w temperaturze 50°C na tak długo, aż jej masa przestaje maleć.

Ponadto w celu sprawdzenia, czy przyjęcie do obliczeń wilgotności równej 75 ± 25 procent jest poprawne, próbki ceramiki są pobierane w taki sposób, aby zabezpieczyć je przed utratą wody, co pozwala nam wyznaczyć „naturalną” wilgotność ceramiki.

W przypadku wilgotności otoczenia sytuacja jest nieco bardziej skomplikowana. Wynika to z faktu, że trudno jest przeprowadzić pomiar wilgotności nasycenia. Tego typu pomiary dają zazwyczaj bardzo duże wartości wilgotności.

PREPAROWANIE PRÓBKII

Datowanie z wykorzystaniem drobnoziarnistej frakcji poliminerальной wymaga wyekstrahowania z fragmentu ceramiki ziaren o średnicy $2-8 \mu\text{m}$.

Badany fragment ceramiki był dokładnie oczyszczany z wszelkich pozostałości gleby. Następnie usunięto krawędzie oraz zewnętrzną warstwę ceramiki o grubości 2–3 mm z powierzchni próbki. Ta operacja ma na celu usunięcie tej części, dla której dawka promieniowania β z zewnątrz jest nie do pominięcia.

Bardzo istotną częścią procedury jest rozdrobnienie próbki. Operację tę wykonano bardzo delikatnie, tak aby nie skruszyć ziaren mineralnych o większych średnicach. Po częściowym skruszeniu próbki była ona przesiewana przez sito 500 μm . Z pozostałością postępowano podobnie, cały czas pamiętając, aby nie przykładać zbyt dużej siły.

W przypadku datowania termoluminescencyjnego kalcyty bardzo często bywają źródłem „fałszywego” sygnału, powodując np. niepowtarzalność krzywych jarzenia i dlatego należy je usunąć. W tym celu ceramikę rozpraszano w kwasie octowym i pozostawiano na kilka godzin. Następnie kwas był dokładnie wypłukiwany.

Separacja ziaren o żądanej granulacji była uzyskiwana dzięki różnej szybkości opadania ziaren o różnych średnicach. Najpierw pozwolono opaść na dno próbówki dużym ziarnom; pozostała zawiesina była dekantowana, po czym pozwolano na opadnięcie pożądanego frakcji. W tym celu skruszoną próbkę rozpraszano w acetonie. Probówki były wstrząsane i pozostawiane na 2 minuty. Zawiesina była dekantowana do wcześniej przygotowanych probówek i pozostawiana na 20 minut. Po tym czasie zawiesina z nad opadłych ziaren była wylewana (jako zawierająca ziarna o zbyt małych średnicach). Osadłe ziarna miały średnicę 2–8 μm .

Do pomiarów, ziarna minerałów były osadzane na dyskach aluminiowych o średnicy 10 mm. Ziarna osadzano z zawiesiny. Po rozproszeniu w odpowiedniej ilości acetonu, dodawano do małych, płaskodennych probówek z dyskiem umieszczonym na dnie. Probówki były bardzo delikatnie umieszczane w suszarce w temperaturze 50°C i pozostawiane do wyparowania całego acetonu. Uzyskana na dyskach aluminiowych warstwa powinna być równomierna i niezbyt gruba, co też obserwowano dla większości próbek (o jakości uzyskanych dysków świadczy mały rozrzut krzywych jarzenia).

METODYKA POMIARÓW

Wszystkie pomiary termoluminescencyjne zostały przeprowadzone w Research Laboratory for Archaeology and the History for Art w Oksfordzie. Do pomiarów zostały wykorzystane zautomatyzowane

zestawy pomiarowe wyposażone w zintegrowane źródła promieniowania β (^{90}Sr), a w przypadku jednego zestawu także α (^{241}Am). Zestawy te umożliwiają w jednym cyklu pomiar TL z 24 dysków. Dla każdej próbki zostało zatem przygotowanych 30 dysków (6 dysków do wykorzystania w teście atermicznego zaniku, a także jako rezerwa np. na wypadek upuszczenia dysku).

Zdecydowano się na następujący podział dysków:

- **6 dysków** do pomiaru „naturalnej” termoluminescencji,
- **10 dysków** do pomiaru termoluminescencji z addytywnymi dawkami β ,
- **8 dysków** do pomiaru termoluminescencji z addytywnymi dawkami α .

W wyniku wstępnych naświetlań i porównań TL dysków „naturalnych” i napromieniowanych addytywnymi dawkami β zdecydowano się na następujące wartości dawek addytywnych:

- 15, 30, 45, 60, 75 Gy promieniowania β (po dwa dyski),
- 150, 300, 450, 600 Gy promieniowania α (także po dwa dyski).

Wartości dawek α są 10-krotnie większe aniżeli β ze względu na niższą efektywność promieniowania α (około 0,1).

Następnie zastosowano wygrzewanie wstępne napromieniowanych dysków w temperaturze 150°C przez 60 s, aby wyeliminować termicznie nietrwałą część sygnału. Tak przygotowane próbki przed pomiarem były przechowywane przez co najmniej tydzień w lekko podwyższonej temperaturze.

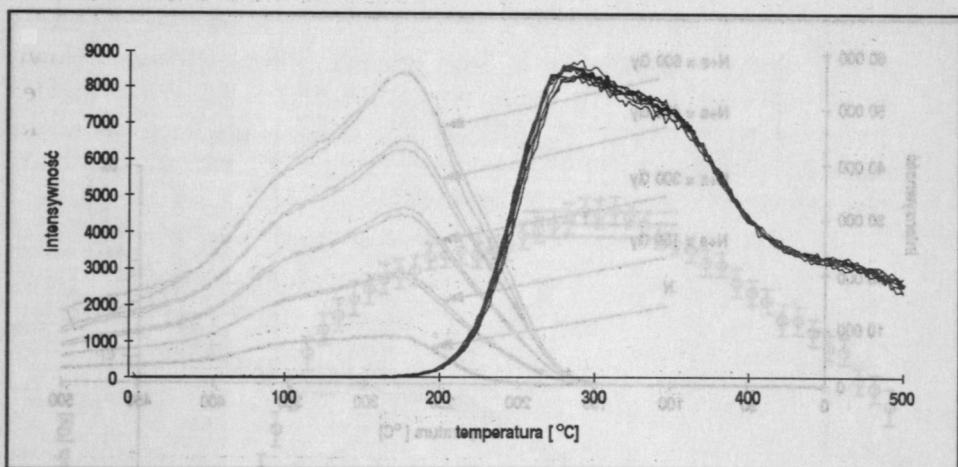
Do drugiego grzania wykorzystano dyski, które nie były napromieniowane dodatkowymi dawkami. Zdecydowano się na następujące dawki β :

- 5, 10, 15, 20, 25, 30 Gy (po jednym dysku).

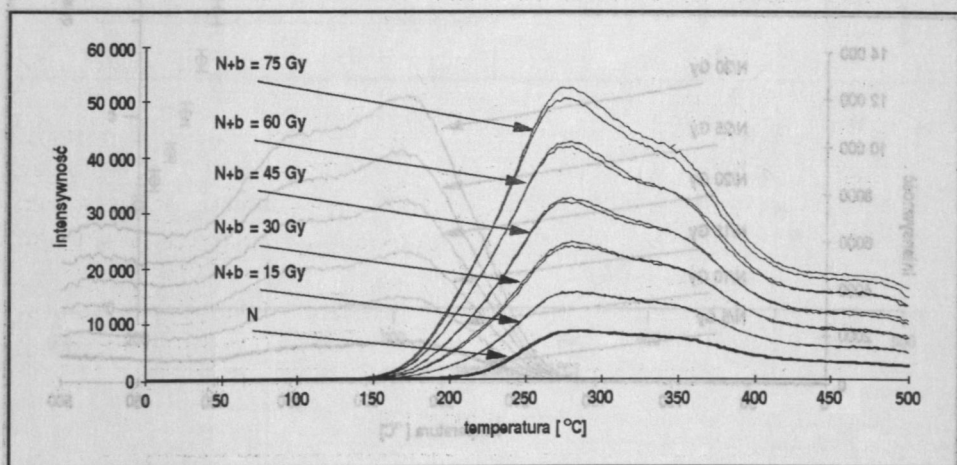
Również w tym przypadku zastosowano wygrzewanie wstępne przed pomiarem.

W celu rejestracji termoluminescencji próbki były podgrzewane do temperatury 500°C z prędkością 5°s^{-1} . Przed rozpoczęciem pomiarów powietrze z komory pomiarowej zostało odpompowane, natomiast w czasie pomiarów komora była przyplukiwana azotem w ilości 1 l/min.

W dalszej części tekstu przedstawiono przykładowe krzywe jarzenia, wykresy plateau dawki archeologicznej β i dawki równoważnej α oraz krzywe wzrostu.

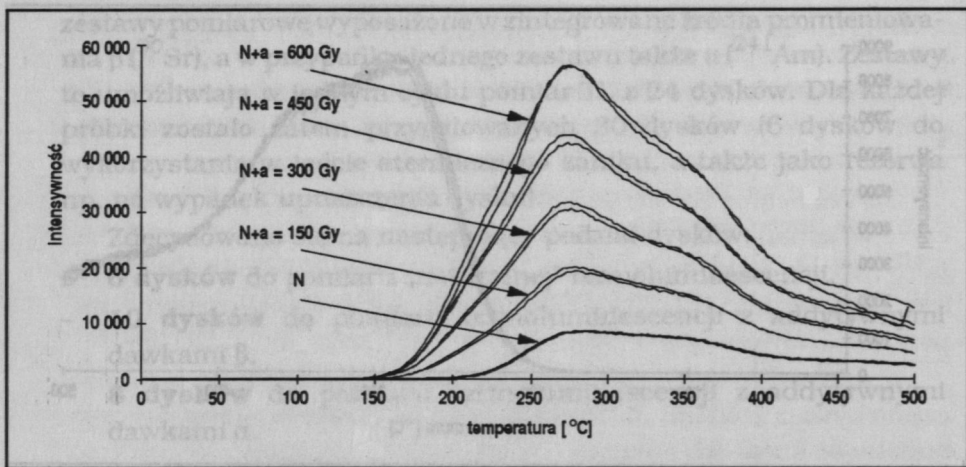


Ryc. 1. Naturalne krzywe jarzenia dla próbki KW25

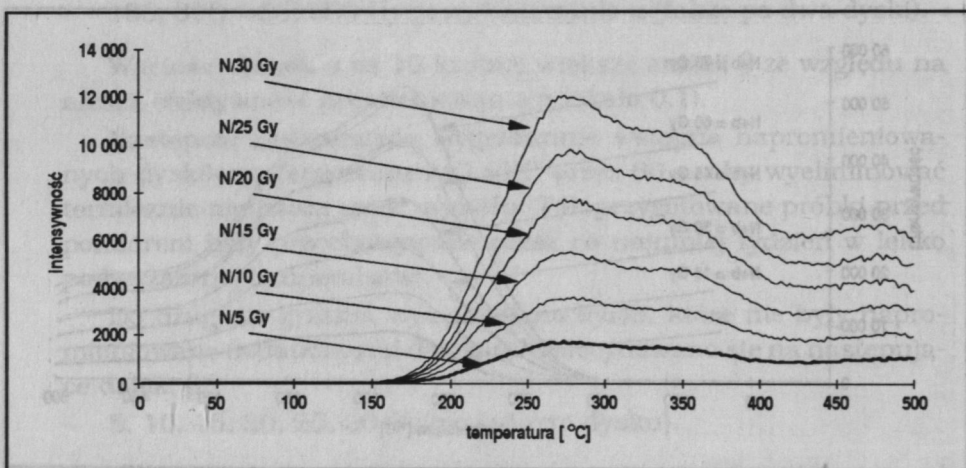


Ryc. 2. Krzywe jarzenia dla próbki KW25 napromieniowanej w laboratorium addytywnymi dawkami promieniowania β

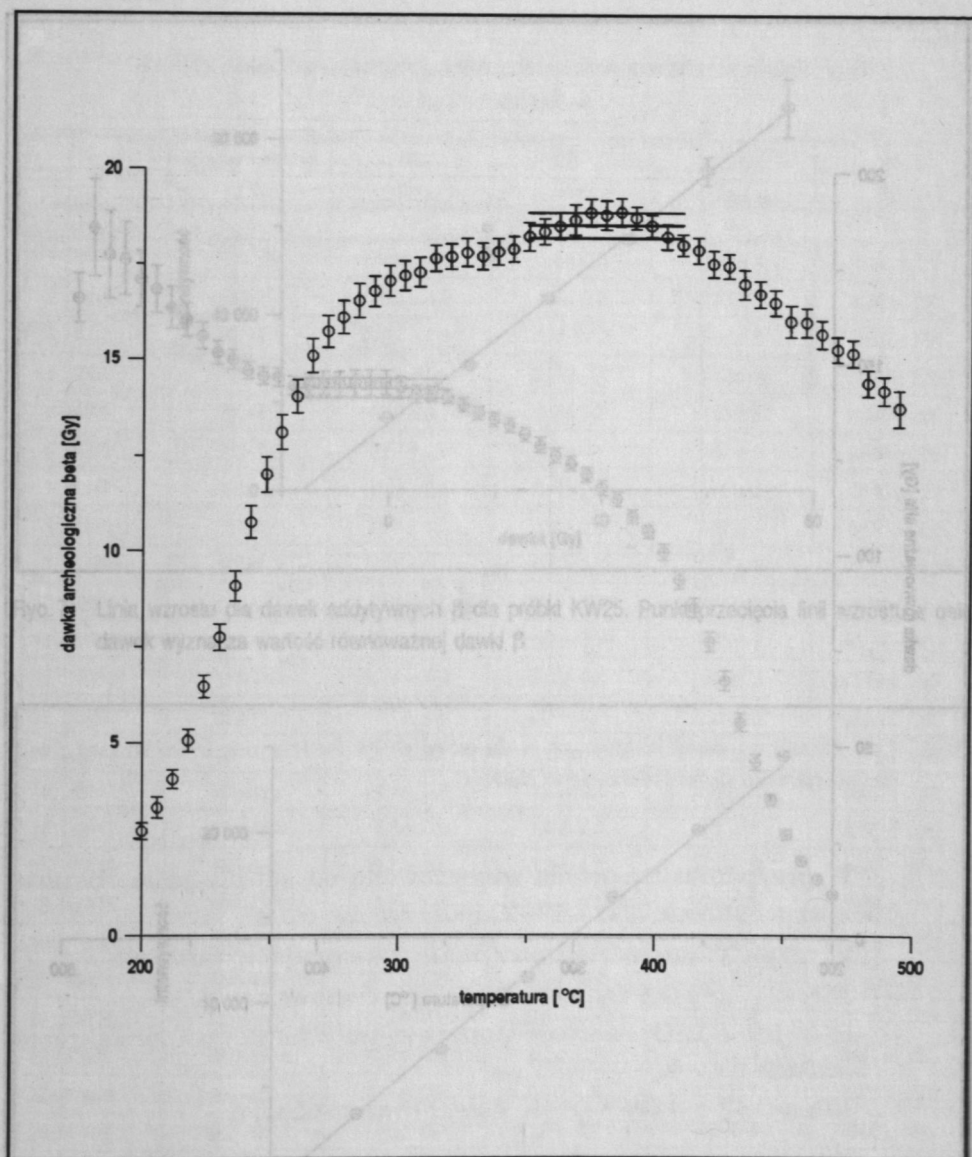
Ryc. 3. Test pleksu czujki archeologicznej dla próbek KW25 napromieniowanej addytywnymi dawkami β . Poniżej wykres zaznaczono obszar odwołania w trybie jarzenia, wartość dawki archeologicznej oraz jej odchylenia standardowego.



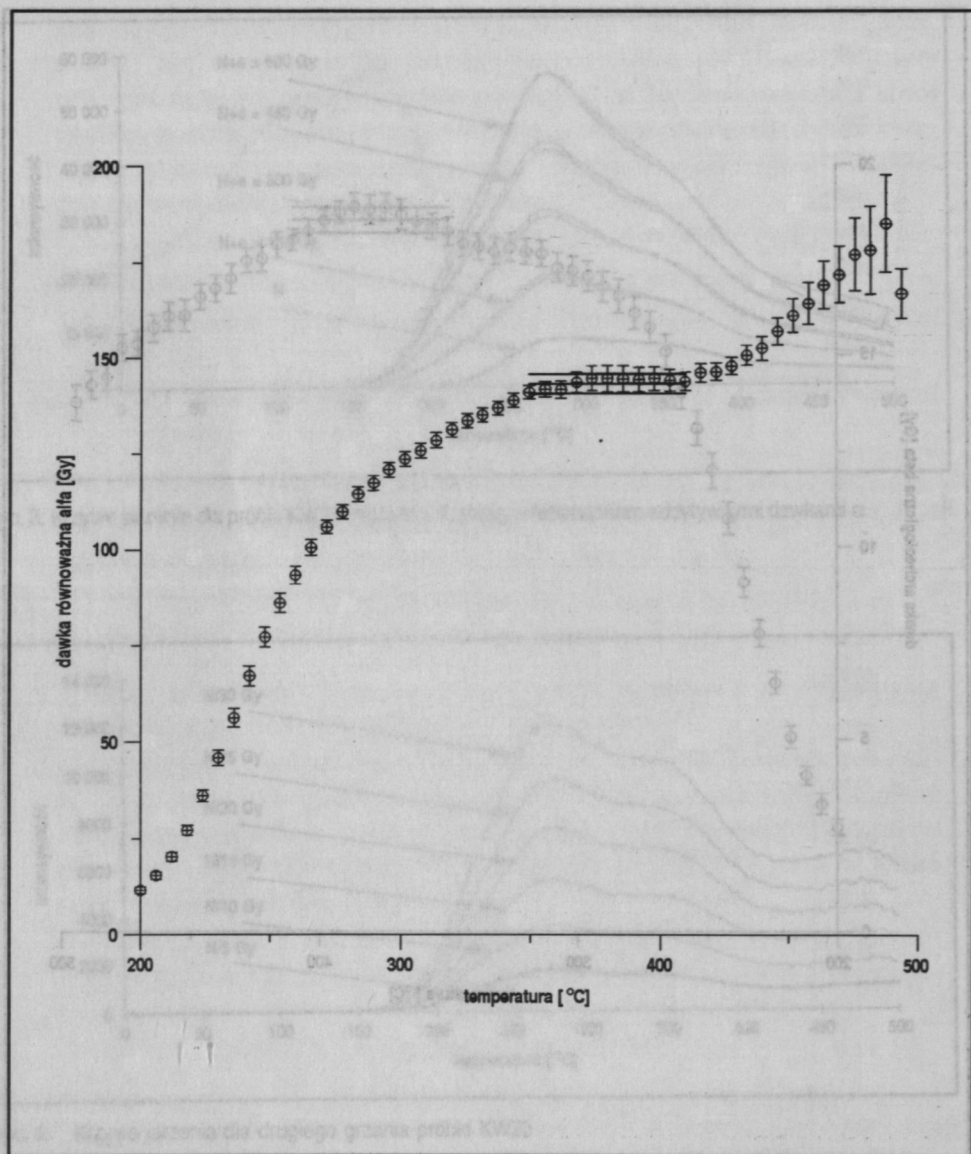
Ryc. 3. Krzywe jarzenia dla próbki KW25 napromieniowanej w laboratorium addytywnymi dawkami α



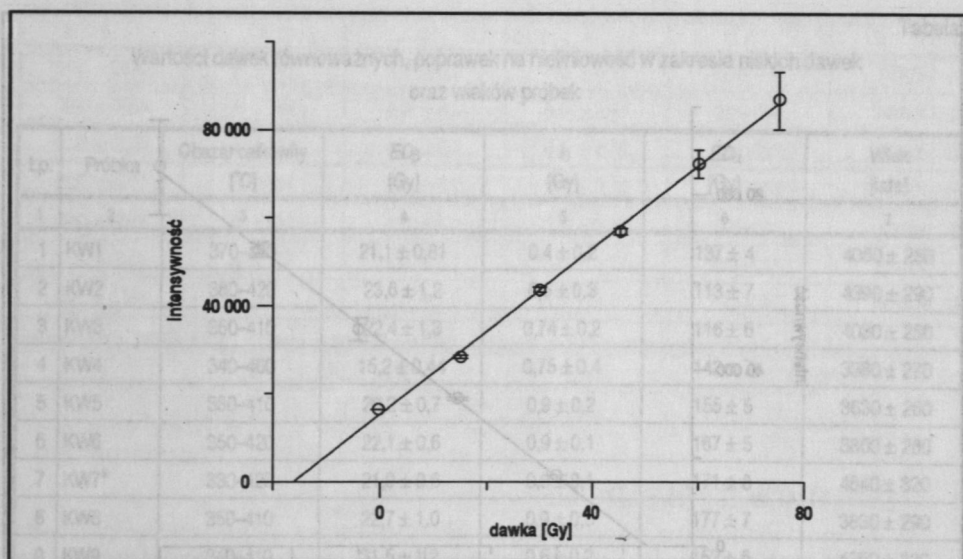
Ryc. 4. Krzywe jarzenia dla drugiego grzania próbki KW25



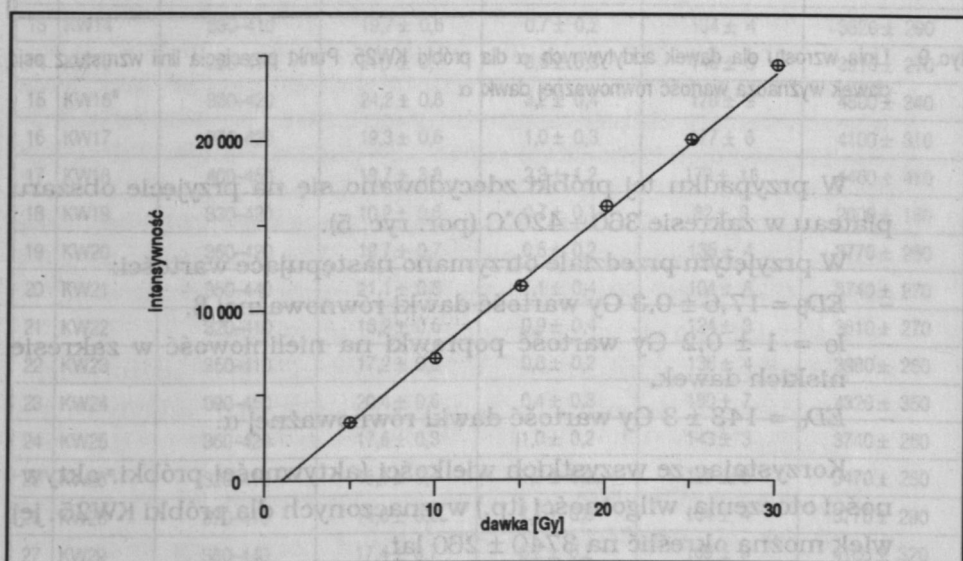
Ryc. 5. Test plateau dawki archeologicznej dla próbki KW25 napromieniowanej addytywnymi dawkami β . Poziomymi liniami zaznaczono obszar całkowania krzywych jarzenia, wartość dawki archeologicznej oraz jej odchylenia standardowego



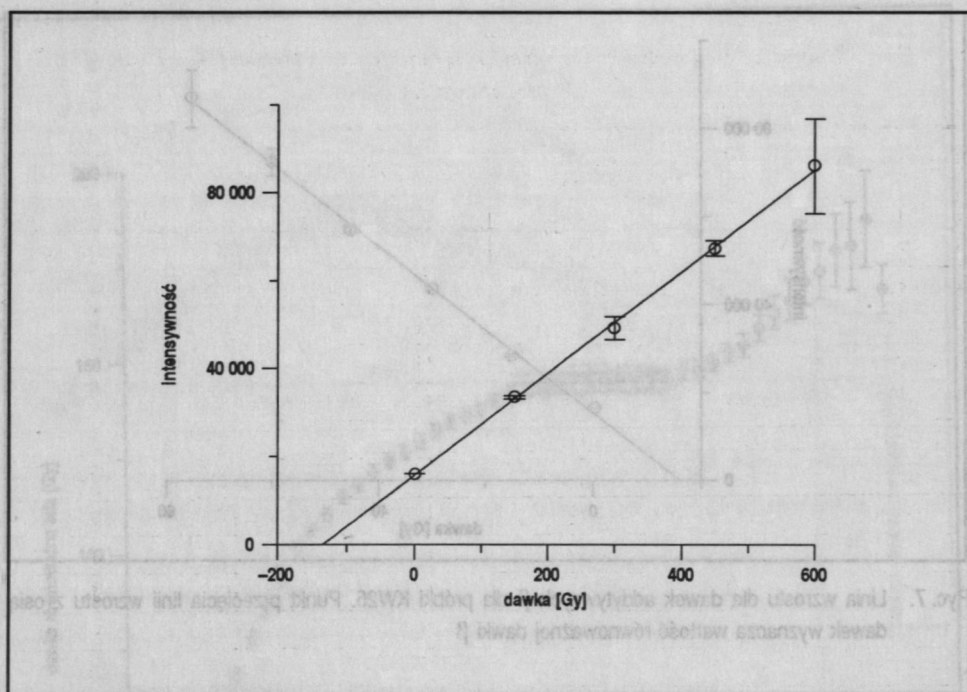
Ryc. 6. Test plateau dawki równoważnej promieniowania α dla próbki KW25 napromieniowanej addytywnymi dawkami α . Poziomymi liniami zaznaczono obszar całkowania krzywych jarzenia, wartość dawki równoważnej α oraz jej odchylenia standardowego



Ryc. 7. Linia wzrostu dla dawek addytywnych β dla próbki KW25. Punkt przecięcia linii wzrostu z osią dawek wyznacza wartość równoważnej dawki β



Ryc. 8. Linia wzrostu dla drugiego grzania dla próbki KW25 napromieniowanej dawkami β . Punkt przecięcia linii drugiego wzrostu z osią dawek wyznacza wartość poprawki na nieliniowość w zakresie niskich dawek



Ryc. 9. Linia wzrostu dla dawek addytywnych α dla próbki KW25. Punkt przecięcia linii wzrostu z osią dawek wyznacza wartość równoważnej dawki α

W przypadku tej próbki zdecydowano się na przyjęcie obszaru plateau w zakresie $360 \div 420^\circ\text{C}$ (por. ryc. 5).

W przyjętym przedziale otrzymano następujące wartości:

- $ED_\beta = 17,6 \pm 0,3$ Gy wartość dawki równoważnej β ,
- $I_0 = 1 \pm 0,2$ Gy wartość poprawki na nieliniowość w zakresie niskich dawek,
- $ED_\alpha = 143 \pm 3$ Gy wartość dawki równoważnej α .

Korzystając ze wszystkich wielkości (aktywności próbki, aktywności otoczenia, wilgotności itp.) wyznaczonych dla próbki KW25, jej wiek można określić na 3740 ± 260 lat.

WYNIKI POMIARÓW

W tabeli 2 przedstawiono wartości dawek równoważnych β oraz 172α wieków próbek uzyskanych z przeprowadzonych pomiarów.

Wartości dawek równoważnych, poprawek na nieliniowość w zakresie niskich dawek
oraz wieków próbek

Lp.	Próbka	Obszar całkowity [°C]	ED_{β} [Gy]	δ [Gy]	ED_{α} [Gy]	Wiek [lata]
1	2	3	4	5	6	7
1	KW1	370-440	21,1 ± 0,81	0,4 ± 0,2	137 ± 4	4080 ± 280
2	KW2	360-420	23,6 ± 1,2	0,5 ± 0,3	113 ± 7	4390 ± 290
3	KW3	360-410	22,4 ± 1,3	0,74 ± 0,2	116 ± 6	4030 ± 250
4	KW4	340-400	15,2 ± 0,44	0,75 ± 0,4	142 ± 7	3380 ± 270
5	KW5	330-410	20,2 ± 0,7	0,9 ± 0,2	155 ± 5	3630 ± 260
6	KW6	350-420	22,1 ± 0,6	0,9 ± 0,1	167 ± 5	3800 ± 280
7	KW7 ^a	330-420	21,0 ± 0,6	0,9 ± 0,1	171 ± 8	4540 ± 320
8	KW8	350-410	22,7 ± 1,0	0,9 ± 0,3	177 ± 7	3830 ± 290
9	KW9	340-410	31,5 ± 1,2	0,6 ± 0,2	152 ± 6	4250 ± 320
10	KW11	350-410	22,1 ± 0,8	0,6 ± 0,2	188 ± 7	4060 ± 300
11	KW12	340-410	24,1 ± 0,6	1,0 ± 0,3	180 ± 7	4570 ± 340
12	KW13 ^a	360-430	20,7 ± 0,4	2,5 ± 0,5	173 ± 3	5240 ± 390
13	KW14	330-410	19,7 ± 0,6	0,7 ± 0,2	134 ± 4	3820 ± 290
14	KW15	360-410	21,7 ± 0,7	0,6 ± 0,3	140 ± 3	3910 ± 270
15	KW16 ^a	360-420	24,2 ± 0,8	3,2 ± 0,4	178 ± 9	4800 ± 340
16	KW17	370-430	19,3 ± 0,6	1,0 ± 0,3	177 ± 6	4100 ± 310
17	KW18	400-450	19,7 ± 3,8	2,3 ± 1,2	173 ± 18	4460 ± 410
18	KW19	330-420	10,2 ± 0,6	0,7 ± 0,1	82 ± 3	2000 ± 180
19	KW20	360-420	19,7 ± 0,7	0,5 ± 0,2	135 ± 4	3770 ± 250
20	KW21	350-440	21,1 ± 0,8	1,1 ± 0,4	104 ± 8	3740 ± 270
21	KW22	320-410	16,2 ± 0,6	0,9 ± 0,4	124 ± 3	3610 ± 270
22	KW23	350-410	17,2 ± 0,5	0,8 ± 0,2	136 ± 4	3980 ± 280
23	KW24	390-450	20,4 ± 0,6	0,4 ± 0,3	180 ± 7	4320 ± 350
24	KW25	360-420	17,6 ± 0,3	1,0 ± 0,2	143 ± 3	3740 ± 260
25	KW26 ^a	320-410	16,1 ± 0,4	1,2 ± 0,2	127 ± 6	3470 ± 250
26	KW28	370-410	14,6 ± 0,6	1,2 ± 0,3	134 ± 4	3770 ± 290
27	KW29	380-440	17,4 ± 0,7	0,2 ± 0,2	169 ± 9	4160 ± 320
28	KW30	330-430	15,1 ± 0,6	0,6 ± 0,2	112 ± 3	3520 ± 250
29	KW31	350-410	16,3 ± 0,6	0,5 ± 0,4	181 ± 8	4060 ± 310
30	KW32	340-410	17,4 ± 0,6	0,9 ± 0,2	126 ± 3	4370 ± 310

1	2	3	4	5	6	7
31	KW33	350-430	17,2 ± 0,6	0,8 ± 0,2	119 ± 6	4480 ± 310
32	KW34 ^a	360-420	18,5 ± 0,6	2,5 ± 0,4	189 ± 6	4330 ± 320
33	KW35	360-430	21,1 ± 0,6	1,0 ± 0,4	144 ± 8	4600 ± 310
34	KW36 ^a	340-410	21,9 ± 0,7	3,5 ± 0,6	143 ± 3	4830 ± 320
35	KW37	310-390	21,2 ± 2,0	1,3 ± 0,3	144 ± 5	3580 ± 260
36	KW38	320-430	22,4 ± 0,7	1,0 ± 0,3	152 ± 5	4070 ± 270
37	KW 39	360-420	23,5 ± 1,0	0,7 ± 0,2	153 ± 11	4310 ± 330

a – korekcja na nieliniowość w zakresie niskich dawek wyznaczona przy zastosowaniu dawek 15, 20, 25, 30, 35, 40 Gy zamiast 5, 10, 15, 20, 25, 30

DODATKOWE POMIARY

W trakcie analizy wyników pomiarów zaistniało podejrzenie, że nieliniowość w zakresie niskich dawek może występować w znacznie szerszym obszarze, aniżeli zazwyczaj jest to obserwowane, i w związku z tym wybrane dla określenia poprawki na nieliniowość wartości dawek są zbyt niskie. Hipoteza ta została wysunięta w wyniku zaobserwowania kilku cech krzywych wzrostu. Przede wszystkim, w niektórych wypadkach występowała znaczna różnica współczynników nachylenia prostych wzrostu dla pierwszego i drugiego grzania. Ponadto, w niektórych przypadkach odrzucenie pierwszego punktu z krzywej drugiego wzrostu powodowało znaczne zwiększenie wartości poprawki na nieliniowość. Mogło to oznaczać, że krzywa drugiego wzrostu nie jest linią prostą. Aby rozstrzygnąć czy rzeczywiście tak jest, spreparowano dużą część próbek po raz drugi, stosując jednakże inne wartości dawek.

Zdecydowano się na następujący podział dysków:

- **9 dysków** do pomiaru poziomu termoluminescencji „naturalnej”,
- **15 dysków** do pomiaru termoluminescencji z addytywnymi dawkami β .

Zastosowano następujące dawki promieniowania β :

- **10, 25, 40, 65, 80 Gy** (po trzy dyski).

Dziewięć dysków „naturalnych” wykorzystano do wyznaczenia poprawki na nieliniowość w zakresie niskich dawek w drugim grzaniu. Zastosowano następujące dawki:

- **10 Gy** (1 dysk),
- **15, 35, 50, 65 Gy** (po dwa dyski).

W tabeli 3 przedstawiono wartości dawek równoważnych β uzyskanych w wyniku analizy tych pomiarów. Ponieważ w czasie drugich pomiarów nie była wyznaczana wartość dawki równoważnej α , przyjęto więc jej wartość uzyskaną w czasie pierwszych pomiarów. Przedział całkowania zawsze był wybierany tak, aby maksymalnie pokrywał się z przedziałem wybranym przy pierwszych pomiarach. Zapewniono tym sposobem, iż efektywność promieniowania α była wyznaczona poprawnie.

W tabelach 4 i 5 przedstawiono wartości wieku z błędami uwzględniającymi niepewności przypadkowe oraz systematyczne. Do porównania próbek między sobą można pominąć błędy systematyczne oraz zmniejszyć wartość błędu wilgotności (próbki pochodzą z jednego rejonu).

Tabele 4 i 5 przedstawiają wartości wieku oraz błędu bez uwzględnienia niepewności systematycznych, a niepewności wilgotności zmniejszonej do połowy niepewności wilgotności uwzględnionej w przedstawionych wynikach.

TEST ZANIKU ATERMICZNEGO

Dla każdej próbki przygotowuje się co najmniej dwa dyski; zastosowanie większej liczby dysków pozwoliłoby (po uśrednieniu) na zwiększenie pewności co do obecności lub nie, atermicznego zaniku. Jeden dysk z każdej próbki jest naświetlany promieniowaniem β . (Jeśli są napromieniowywane dyski „naturalne”, dawka powinna być zbliżona lub większa od dawki naturalnej. Jeśli dyski zostaną wcześniej wygrzane, to stosowane dawki nie muszą być tak duże, szczególnie w przypadku starych próbek.)

Po pewnym okresie przechowywania (im dłuższy, tym lepszy), rejestrowana jest termoluminescencja próbki. W dalszej kolejności próbka jest naświetlana pewną dawką (można ją nazwać normalizującą) promieniowania β ; termoluminescencja jest rejestrowana bezwzględnie.

Te same operacje są powtarzane dla drugiego dysku – jednakże tym razem próbka po pierwszym napromieniowaniu nie jest przechowywana. (Stosowane w obu przypadkach dawki muszą być takie same.) Jeśli miałyby występować atermiczny zanik, to powinna być możliwa do zaobserwowania różnica pomiędzy znormalizowanymi krzywymi jażenia dla próbki przechowywanej i nieprzechowywanej.

Wartości dawek równoważnych, poprawek na nieliniowość w zakresie niskich dawek oraz wieków próbek uzyskanych w wyniku powtórnych pomiarów

Lp.	Próbka	Obszar całkowity [°C]	ED_{β} [Gy]	b [Gy]	Wiek [lata]	b^a [Gy]	Wiek [lata]
1	KW1	350–440	21,0 ± 0,8	2,3 ± 0,5	4430 ± 310	5,2 ± 2,8	4980 ± 630
2	KW2	320–410	20,6 ± 0,7	2,4 ± 0,5	4410 ± 300	3,9 ± 1,4	4690 ± 410
3	KW3	330–410	21,6 ± 0,8	2,2 ± 0,3	4200 ± 260	3,2 ± 1,9	4380 ± 430
4	KW4	340–400	18,4 ± 0,5	2,7 ± 0,7	4260 ± 330	1,2 ± 2,1	3950 ± 510
5	KW8	330–410	20,5 ± 0,7	2,5 ± 0,6	3820 ± 300	6,4 ± 3,0	4470 ± 590
6	KW11	320–400	23,4 ± 0,5	2,5 ± 0,5	4530 ± 380	6,8 ± 1,4	5280 ± 480
7	KW16	360–420	23,2 ± 1,2	2,3 ± 0,4	4520 ± 360	5,1 ± 1,0	5020 ± 430
8	KW18	400–450	23,0 ± 0,5	2,1 ± 0,2	4890 ± 360	2,4 ± 0,9	4950 ± 400
9	KW19	330–420	9,5 ± 0,8	2,7 ± 0,4	2280 ± 200	4,9 ± 1,9	2690 ± 410
10	KW21	350–440	19,1 ± 0,5	2,9 ± 0,5	3850 ± 280	7,8 ± 1,4	4710 ± 390
11	KW22	320–410	15,9 ± 0,5	2,9 ± 0,6	3990 ± 300	6,8 ± 1,2	4820 ± 400
12	KW23	350–410	16,2 ± 0,6	2,7 ± 0,4	4260 ± 300	7,0 ± 1,6	5230 ± 490
13	KW24	390–450	20,9 ± 0,3	1,9 ± 0,3	4710 ± 370	4,2 ± 1,0	5180 ± 450
14	KW26	320–410	16,0 ± 0,4	1,2 ± 0,2	3470 ± 250	6,9 ± 0,6	4620 ± 320
15	KW30	330–430	17,8 ± 0,7	2,5 ± 0,6	4310 ± 310	7,5 ± 1,8	5380 ± 510
16	KW32	320–410	16,8 ± 0,5	2,7 ± 0,5	4710 ± 340	5,2 ± 1,9	5320 ± 570
17	KW35	320–380	19,8 ± 1,5	2,5 ± 0,4	4730 ± 320	6,9 ± 0,9	5660 ± 390
18	KW36	340–410	20,9 ± 0,9	2,1 ± 0,6	4430 ± 310	6,9 ± 1,8	5360 ± 480
19	KW38	320–380	20,4 ± 0,6	2,0 ± 0,4	4020 ± 280	4,8 ± 1,1	4520 ± 350

^a b^a – wartość poprawki na nieliniowość w zakresie niskich dawek uzyskaną przy odrzuceniu punktów pomiarowych odpowiadających dawkom 10 i 20 Gy. Różnica wskazuje, czy zakres dawek, dla którego wyznaczono poprawkę na nieliniowość, obejmuje prostoliniową część krzywej wzrostu. Wydaje się, że jeśli różnica ta jest znacząca, tutaj podana wartość odpowiada rzeczywistej wartości poprawki na nieliniowość.

Wartości dawek równoważnych, poprawek na nieliniowość w zakresie niskich dawek oraz wieków próbek

Lp.	Próbka	Obszar całkowity [°C]	ED_{β} [Gy]	b [Gy]	ED_{α} [Gy]	Wiek ^p [lata]
1	2	3	4	5	6	7
1	KW1	370-440	21,1 ± 0,8	0,4 ± 0,2	137 ± 4	4080 ± 200
2	KW2	360-420	23,6 ± 1,2	0,5 ± 0,3	113 ± 7	4390 ± 210
3	KW3	360-410	22,4 ± 1,3	0,8 ± 0,2	116 ± 6	4030 ± 180
4	KW4	340-400	15,2 ± 0,5	0,8 ± 0,4	142 ± 7	3380 ± 220
5	KW5	330-410	20,2 ± 0,7	0,9 ± 0,2	155 ± 5	3630 ± 190
6	KW6	350-420	22,1 ± 0,6	0,9 ± 0,1	167 ± 5	3800 ± 200
7	KW7 ^a	330-420	21,0 ± 0,6	0,9 ± 0,1	171 ± 8	4540 ± 220
8	KW8	350-410	22,7 ± 1,0	0,9 ± 0,3	177 ± 7	3830 ± 210
9	KW9	340-410	31,5 ± 1,2	0,6 ± 0,2	152 ± 6	4250 ± 200
10	KW11	350-410	22,1 ± 0,8	0,6 ± 0,2	188 ± 7	4060 ± 210
11	KW12	340-410	24,1 ± 0,6	1,0 ± 0,3	180 ± 7	4570 ± 230
12	KW13 ^a	360-430	20,7 ± 0,4	2,5 ± 0,5	173 ± 3	5240 ± 320
13	KW14	330-410	19,7 ± 0,6	0,7 ± 0,2	134 ± 4	3820 ± 190
14	KW15	360-410	21,7 ± 0,7	0,6 ± 0,3	140 ± 3	3910 ± 190
15	KW16 ^a	360-420	24,2 ± 0,8	3,2 ± 0,4	178 ± 9	4800 ± 230
16	KW17	370-430	19,3 ± 0,6	1,0 ± 0,3	177 ± 6	4100 ± 240
17	KW18	400-450	19,7 ± 3,8	2,3 ± 1,2	173 ± 18	4460 ± 350
18	KW19	330-420	10,2 ± 0,6	0,7 ± 0,1	82 ± 3	2000 ± 160
19	KW20	360-420	19,7 ± 0,7	0,5 ± 0,2	135 ± 4	3770 ± 180
20	KW21	350-440	21,1 ± 0,8	1,1 ± 0,4	104 ± 8	3740 ± 190
21	KW22	320-410	16,2 ± 0,6	0,9 ± 0,4	124 ± 3	3610 ± 210
22	KW23	350-410	17,2 ± 0,5	0,8 ± 0,2	136 ± 4	3980 ± 210
23	KW24	390-450	20,4 ± 0,6	0,4 ± 0,3	180 ± 7	4320 ± 300
24	KW25	360-420	17,6 ± 0,3	1,0 ± 0,2	143 ± 3	3740 ± 190
25	KW26 ^a	320-410	16,1 ± 0,4	1,2 ± 0,2	127 ± 6	3470 ± 190
26	KW28	370-410	14,6 ± 0,6	1,2 ± 0,3	134 ± 4	3770 ± 230
27	KW29	380-440	17,4 ± 0,7	0,2 ± 0,2	169 ± 9	4160 ± 250
28	KW30	330-430	15,1 ± 0,6	0,6 ± 0,2	112 ± 3	3520 ± 200
29	KW31	350-410	16,3 ± 0,6	0,5 ± 0,4	181 ± 8	4060 ± 260
30	KW32	340-410	17,4 ± 0,6	0,9 ± 0,2	126 ± 3	4370 ± 220
31	KW33	350-430	17,2 ± 0,6	0,8 ± 0,2	119 ± 6	4480 ± 230
32	KW34 ^a	360-420	18,5 ± 0,6	2,5 ± 0,4	189 ± 6	4330 ± 230

1	2	3	4	5	6	7
33	KW35	360-430	21,1 ± 0,6	1,0 ± 0,4	144 ± 8	4600 ± 230
34	KW36 ^a	340-410	21,9 ± 0,7	3,5 ± 0,6	143 ± 3	4830 ± 230
35	KW37	310-390	21,2 ± 2,0	1,3 ± 0,3	144 ± 5	3580 ± 180
36	KW38	320-430	22,4 ± 0,7	1,0 ± 0,3	152 ± 5	4070 ± 190
37	KW39	360-420	23,5 ± 1,0	0,7 ± 0,2	153 ± 11	4310 ± 220

a – korekcja na nieliniowość w zakresie niskich dawek wyznaczona przy zastosowaniu dawek 15, 20, 25, 30, 35, 40 Gy zamiast 5, 10, 15, 20, 25, 30,

b – podane niepewności uwzględniają jedynie błędy przypadkowe.

Tabela 5

Wartości dawek równoważnych, poprawek na nieliniowość w zakresie niskich dawek oraz wieków próbek uzyskanych w wyniku powtórnych pomiarów

Lp.	Próbka	Obszar całkowity [°C]	ED_{β} [Gy]	b [Gy]	Wiek [lata]	b^a [Gy]	Wiek [lata]
1	KW1	350-440	21,0 ± 0,8	2,3 ± 0,5	4430 ± 220	5,2 ± 2,8	4980 ± 570
2	KW2	320-410	20,6 ± 0,7	2,4 ± 0,5	4410 ± 220	3,9 ± 1,4	4690 ± 340
3	KW3	330-410	21,6 ± 0,8	2,2 ± 0,3	4200 ± 180	3,2 ± 1,9	4380 ± 380
4	KW4	340-400	18,4 ± 0,5	2,7 ± 0,7	4260 ± 250	1,2 ± 2,1	3950 ± 470
5	KW8	330-410	20,5 ± 0,7	2,5 ± 0,6	3820 ± 220	6,4 ± 3,0	4470 ± 540
6	KW11	320-400	23,4 ± 0,5	2,5 ± 0,5	4530 ± 270	6,8 ± 1,4	5280 ± 360
7	KW16	360-420	23,2 ± 1,2	2,3 ± 0,4	4520 ± 280	5,1 ± 1,0	5020 ± 340
8	KW18	400-450	23,0 ± 0,5	2,1 ± 0,2	4890 ± 260	2,4 ± 0,9	4950 ± 320
9	KW19	330-420	9,5 ± 0,8	2,7 ± 0,4	2280 ± 180	4,9 ± 1,9	2690 ± 390
10	KW21	350-440	19,1 ± 0,5	2,9 ± 0,5	3850 ± 200	7,8 ± 1,4	4710 ± 320
11	KW22	320-410	15,9 ± 0,5	2,9 ± 0,6	3990 ± 230	6,8 ± 1,2	4820 ± 330
12	KW 23	350-410	16,2 ± 0,6	2,7 ± 0,4	4260 ± 230	7,0 ± 1,6	5230 ± 420
13	KW24	390-450	20,9 ± 0,3	1,9 ± 0,3	4710 ± 310	4,2 ± 1,0	5180 ± 380
14	KW26	320-410	16,0 ± 0,4	1,2 ± 0,2	3470 ± 220	6,9 ± 0,6	4620 ± 240
15	KW30	330-430	17,8 ± 0,7	2,5 ± 0,6	4310 ± 230	7,5 ± 1,8	5380 ± 440
16	KW32	320-410	16,8 ± 0,5	2,7 ± 0,5	4710 ± 250	5,2 ± 1,9	5320 ± 510
17	KW35	320-380	19,8 ± 1,5	2,5 ± 0,4	4730 ± 240	6,9 ± 0,9	5660 ± 310
18	KW36	340-410	20,9 ± 0,9	2,1 ± 0,6	4430 ± 220	6,9 ± 1,8	5360 ± 400
19	KW38	320-380	20,4 ± 0,6	2,0 ± 0,4	4020 ± 200	4,8 ± 1,1	4520 ± 270

^a b^a – wartość poprawki na nieliniowość w zakresie niskich dawek uzyskaną przy odrzuceniu punktów pomiarowych odpowiadających dawkom 10 i 20 Gy (patrz tabela 3).

b – niepewności uwzględniają jedynie błędy przypadkowe.

Należy tutaj podkreślić, że oba dyski powinny być traktowane dokładnie tak samo, aby uniknąć przypadkowych zmian własności, co mogłoby spowodować powstanie różnic w krzywych jarzenia. Test taki przeprowadzono dla wszystkich datowanych próbek. Dla żadnej z nich nie stwierdzono istotnej różnicy pomiędzy krzywymi jarzenia, co pozwala z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że atermiczny zanik nie występował w żadnej z próbek.

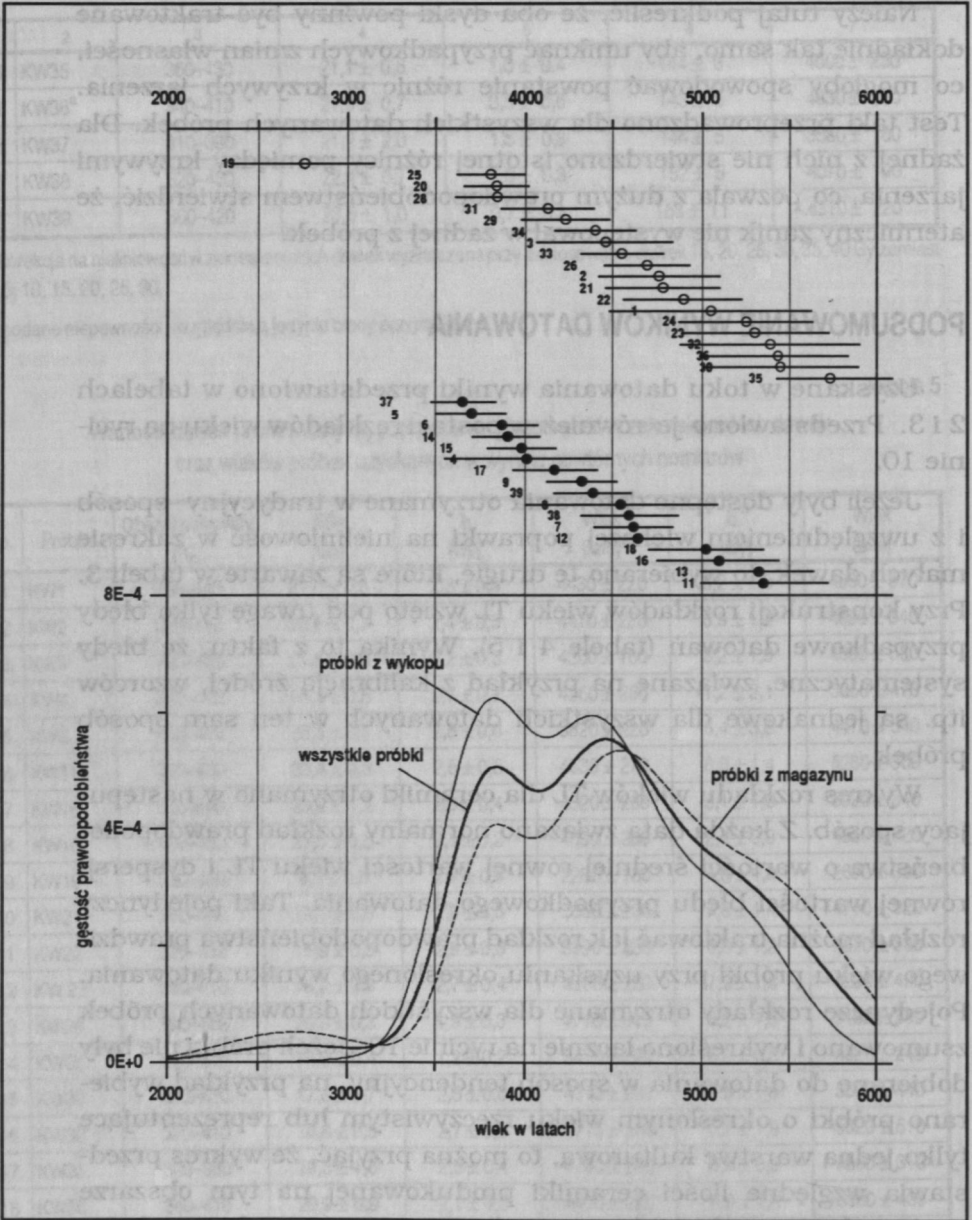
PODSUMOWANIE WYNIKÓW DATOWANIA

Uzyskane w toku datowania wyniki przedstawiono w tabelach 2 i 3. Przedstawiono je również w postaci rozkładów wieku na rycinie 10.

Jeżeli były dostępne datowania otrzymane w tradycyjny sposób i z uwzględnieniem większej poprawki na nieliniowość w zakresie małych dawek, to wybierano te drugie, które są zawarte w tabeli 3. Przy konstrukcji rozkładów wieku TL wzięto pod uwagę tylko błędy przypadkowe datowań (tabele 4 i 5). Wynika to z faktu, że błędy systematyczne, związane na przykład z kalibracją źródeł, wzorców itp. są jednakowe dla wszystkich datowanych w ten sam sposób próbek.

Wykres rozkładu wieków TL dla ceramiki otrzymano w następujący sposób. Z każdą datą związano normalny rozkład prawdopodobieństwa o wartości średniej równej wartości wieku TL i dyspersji równej wartości błędu przypadkowego datowania. Taki pojedynczy rozkład można traktować jak rozkład prawdopodobieństwa prawdziwego wieku próbki przy uzyskaniu określonego wyniku datowania. Pojedyncze rozkłady otrzymane dla wszystkich datowanych próbek zsumowano i wykreślono łącznie na rycinie 10. Jeżeli próbki nie były dobierane do datowania w sposób tendencyjny, na przykład wybierano próbki o określonym wieku rzeczywistym lub reprezentujące tylko jedną warstwę kulturową, to można przyjąć, że wykres przedstawia względne ilości ceramiki produkowanej na tym obszarze w różnych okresach. Widoczne są dwa zaznaczone maksima, które można interpretować jako okresy intensywniejszej działalności człowieka na tym terenie.

Drugą istotną cechą tego wykresu jest bardzo duże podobieństwo rozkładów narysowanych oddzielnie dla próbek pochodzących ze świeżych wykopalisk oraz ze zbiorów magazynowych. Chodzi tu



Ryc. 10. Sumaryczne rozkłady prawdopodobieństwa dla wszystkich próbek oraz osobno dla próbek z magazynu i z wykopu. W górnej części ryciny każdy punkt odpowiada jednej próbce, a poziome słupki oznaczają niepewności wieku. Górna sekwencja przedstawia próbki z magazynu, a dolna próbki z wykopu

przede wszystkim o odcinek czasu, któremu odpowiadają wyższe wartości prawdopodobieństwa i który dla obu zestawów jest niemal taki sam. Również maksima obu rozkładów wypadają dla bardzo zbliżonych wartości wieku. Różnice wysokości tych maksimów są mniej istotne, mogą być bowiem związane z różną liczbą tworzących je dat lub różną ich dokładnością. To podobieństwo rozkładów świadczy o realnej możliwości użycia ceramiki ze zbiorów z magazynów do datowania obiektów archeologicznych badanych w przeszłości. Istotnym warunkiem jest jednak dostęp do stanowisk i możliwość poboru próbek gleby oraz wykonania kontrolnych pomiarów mocy dawki gamma *in situ*.

Uzyskane wyniki stanowią również silną przesłankę świadcząca o możliwości wstępnego datowania metodą TL stanowisk archeologicznych bez potrzeby prowadzenia prac wykopaliskowych. Użycie fragmentów ceramiki pochodzącej z badań powierzchniowych, oczywiście przy spełnieniu podobnych warunków jak w przypadku ceramiki pochodzącej z magazynu, powinno być również możliwe i dać wstępne szacunki chronologiczne jako podstawę do planowania systematycznych wykopalisk. Datowanie próbek było możliwe dzięki uprzejmości oraz pomocy finansowej Research Laboratory for Archaeology and the History of Art Uniwersytetu w Oksfordzie, które w dużej części sfinansowało przeddyplomowy staż jednego z autorów (G.A.). Za tę pomoc serdecznie dziękujemy prof. Mike'owi Tite i Doreen Stoneham oraz całemu zespołowi laboratorium.