

Krąpiec, Marek / Ważny, Tomasz

Dendrochronologia : podstawy metodyczne i stan zastosowania badań w Polsce

Światowit 39, 193-214

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.

*Katedra Stratygrafii i Geologii Regionalnej AGH**30–059 Kraków, Al. Mickiewicza 30***Tomasz Ważny***Wydział Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki ASP**00–379 Warszawa, Wybrzeże Kościuszkowskie 37*

DENDROCHRONOLOGIA: PODSTAWY METODYCZNE I STAN ZAAWANSOWANIA BADAŃ W POLSCE

Streszczenie

Dendrochronologia stała się w ostatnich latach jedną z podstawowych metod datowania bezwzględne. Dzięki dużej precyzji coraz szerzej jest ona wykorzystywana w archeologii. W artykule omówiono podstawy, możliwości i ograniczenia dendrochronologii oraz aktualny stan badań w tej dziedzinie w Polsce. Na czterech przykładach: zabudowy parceli przy ul. Kowalskiej 12 na Starym Mieście w Elblągu, przyczółka mostu gnieźnieńskiego na Ostrowie Lednickim, studni z Placu Dominikańskiego we Wrocławiu oraz wraku łodzi z Kołobrzegu zostały przedstawione praktyczne zastosowania analizy dendrochronologicznej w archeologii.

WSTĘP

Dendrochronologia jest jedną z najdokładniejszych metod określania wieku bezwzględne opartą na analizie szerokości przyrostów rocznych drzew. Umożliwia ona określenie roku kalendarzowego ścięcia drzewa, a niekiedy również sezonu. Dendrochronologia wyróżnia się spośród pozostałych metod nie tylko niezwykłą dokładnością, ale również niską ceną oznaczeń. Koszt kilku analiz dendrochronologicznych odpowiada cenie jednego oznaczenia radiowęglowego.

„Ojcem” dendrochronologii jest amerykański astronom A. Douglass, który na początku XX wieku analizował zagadnienie związku między aktywnością Słońca a jego odzwierciedleniem w zjawiskach klimatycznych. Próby korelacji sekwencji przyrostów rocznych z aktywnością słoneczną zakończyły się niepowodzeniem, natomiast Douglass ustalił, że drzewa rosnące w podobnych warunkach klimatycznych wykazują duże podobieństwo przyrostów rocznych. Badania Douglass'a, a szczególnie możliwość przyporządkowania słojom drzew konkretnych lat kalendarzowych, zwróciły uwagę archeologów i zaowocowały pierwszymi datowaniami bezwzględными prehistorycznych osad indiańskich (Douglass 1971).

Prace nad podstawami europejskiej dendrochronologii podjął w końcu lat trzydziestych niemiecki botanik Bruno Huber. Panujące w Europie warunki klimatyczne i brak wiekowych drzew wymagały opracowania odmiennej niż w USA metodyki badań (Huber 1941, 1943).

W Polsce metodę dendrochronologiczną znano już przed wojną, czego dowodem było wysłanie prób drewna z Biskupina do Instytutu Geochronologii w Sztokholmie w celu bezwzględnego datowania. Po II wojnie światowej pojawiły się pierwsze publikacje dotyczące wpływu czynników klimatycznych na przyrosty drzew (Zinkiewicz 1946, Ermich 1953). Stworzyły one podstawę do rozwoju dendroklimatologii w Polsce. Badania tego typu rozwijali Bednarz (1976) i Feliksik (1972). Kilkakrotnie podejmowano również próby datowania drewna pochodzącego z wykopalisk archeologicznych (Gorczyński i in. 1965, Dąbrowski, Ciuk 1972, Dąbrowski i in. 1975). Badania te nie doprowadziły jednak do opracowania bezwzględnie datowanych skal.

Intensyfikacja badań dendrochronologicznych nastąpiła w latach osiemdziesiątych. Powstały wówczas nowe laboratoria dendrochronologiczne w: Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (Krapiec 1989), Akademii Sztuk Pięknych w Warszawie (Ważny 1986), Politechnice Śląskiej w Gliwicach (Goslar 1987) i Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu (Zielski 1989). Prowadzone w ostatnich latach badania pozwoliły na opracowanie podstaw dendrochronologii w Polsce i zdefiniowanie długoletnich skal standardowych (Krapiec 1992, Ważny 1990). Przyniosły one również liczne datowania bezwzględne,

BIOLOGICZNE PODSTAWY DENDROCHRONOLOGII

Dendrochronologia jest oparta na analizie przyrostów rocznych drewna. Drzewa rosnące w strefie klimatu umiarkowanego wytwarzają każdego roku nową warstwę tkanki drzewnej. Jest ona widoczna na przekroju poprzecznym w postaci charakterystycznego pierścienia nazywanego również słojem. Wszystkie słoje układają się koncentrycznie wokół rdzenia będącego osią fizjologiczną pnia drzewa. Proces odkładania drewna zamiera na okres zimowej przerwy wegetacyjnej. W następnym roku powstaje kolejny słoje.

Szerokość i struktura przyrostu rocznego zależy od zespołu czynników, spośród których największe znaczenie mają czynniki klimatyczne. Szczególnie wyraźna jest zależność od temperatury i opadów. Znaczny wpływ może wywierać również działalność człowieka czy też organizmów pasożytujących na drzewach. Podczas życia drzewa powstaje w ten sposób widoczna w drewnie sekwencja następujących po sobie szerszych i węższych słoje będących zapisem warunków wzrostu drzewa. Odczytanie tego zapisu pozwala określić, kiedy drzewo ścięto i w jakich warunkach ono rosło.

Struktura przyrostów rocznych zależy od gatunku drewna. Największe różnice zachodzą pomiędzy gatunkami iglastymi i młodszyimi od nich ewolucyjnie gatunkami liściastymi. W większości gatunków drewna wewnątrz przyrostu rocznego można wyodrębnić powstającą na wiosnę warstwę drewna wczesnego i powstającą w lecie warstwę drewna późnego.

W drewnie iglastym pojedynczy przyrost roczny tworzy jasna strefa drewna wczesnego o cienkich ścianach komórkowych oraz ciemne drewno późne, utworzone przez grubościenne komórki nadające drewnu dużą wytrzymałość mechaniczną. Słoje są z reguły czytelne i dobrze widoczne. W materiale archeologicznym pochodzącym z terenów Polski spośród gatunków iglastych najczęściej występuje drewno sosnowe, które w korzystnych warunkach potrafi przetrwać nawet kilka tysięcy lat, zachowując przy tym czytelne słoje.

Gatunki liściaste można podzielić na gatunki o drewnie pierścieniowo-naczyniowym i rozpierchło-naczyniowym. Różnią się one pomiędzy sobą rozmieszczeniem i rozmiarami elementów przewodzących wodę, czyli naczyń. W drewnie pierścieniowo-naczyniowym na wiosnę powstają duże naczynia tworzące wyraźny, widoczny gołym

okiem pierścieni. Naczynia w drewnie późnym mają znacznie mniejsze rozmiary i nie można ich zobaczyć bez pomocy lupy. Do gatunków pierścieniowo-naczyniowych należą m.in. dąb, jesion i wiąz. Spośród wszystkich gatunków właśnie drewno dębowe było najczęściej stosowane w konstrukcjach drewnianych. Jest ono łatwe do rozpoznania dzięki ciemnemu, a często wręcz czarnemu zabarwieniu, jakiego nabiera w wodzie czy wilgotnym gruncie, oraz widocznym na wszystkich przekrojach dużym promieniom drzewnym. Przebiegają one w poprzek pnia i można je obserwować w postaci jasnych linii na przekroju poprzecznym i czarnych kresek lub pasów na innych przekrojach. Drewno rozpierzchło-naczyniowe ma naczynia rozrzucone równomiernie wewnątrz przyrostu rocznego. Słoje są zwykle trudne do zaobserwowania, zwłaszcza w drewnie pochodzącym z wykopalisk archeologicznych. Gatunkami najczęściej spotykanymi w materiale archeologicznym są olcha i buk.

Do badań dendrochronologicznych najbardziej są przydatne gatunki liściaste pierścieniowo-naczyniowe, a zwłaszcza dąb – ze względu na dużą naturalną trwałość. Duże naczynia drewna wczesnego tracą szybko zdolność przewodzenia wody i każdego roku musi powstać nowa warstwa naczyń, aby zapewnić przewodzenie wody do korony drzewa. Liczba słoików zawsze odpowiada liczbie lat. Gatunki iglaste oraz liściaste rozpierzchło-naczyniowe charakteryzuje dużo większa nieregularność przyrostów i występowanie pod wpływem ekstremalnych warunków wzrostu anomalii przyrostowych. Są one źródłem wielu problemów przy określaniu wieku drewna.

Najważniejszymi anomaliami przyrostowymi z punktu widzenia klasycznej dendrochronologii jako metody datowania są tzw. wypadające (brakujące) słoje oraz przyrosty podwójne (fałszywe). Z wypadającymi słojami mamy do czynienia, gdy drzewo podczas okresu wegetacyjnego wytworzyło nowy przyrost tylko na części obwodu pnia lub nie wytworzyło go w ogóle. W ekstremalnie złych warunkach, np. długotrwałego deficytu wodnego, brak przyrostów może wystąpić przez kilka następujących po sobie lat. Podwójne przyrosty są z kolei m.in. rezultatem zmian gęstości drewna wewnątrz słoja, powodujących w szczególnych przypadkach powstawanie fałszywej granicy słoja. Obydwie anomalie są możliwe do wyeliminowania tylko w przypadku dysponowania większą liczbą próbek drewna. Szczegółowe omówienie zakłóceń normalnego rytmu przyrostowego przedstawił Schweingruber (1993).

Dominujący wpływ czynników klimatycznych na formowanie się przyrostów rocznych powoduje podobne reakcje prawie wszystkich drzew danego gatunku na określonym obszarze. Rozmiary tego obszaru zależą m.in. od ukształtowania terenu i gatunku drzew. Na terenie Polski i Niżu Europejskiego stwierdzono silny „sygnał dendrochronologiczny” dębów w kierunku równoleżnikowym, a więc zgodnie z reliefem terenu (Ważny, Eckstein 1991). Umożliwia to porównywanie np. polskich dębów z niemieckimi. Bardzo ograniczony natomiast jest obszar zgodności przyrostów sosen.

Podobieństwo reakcji dotyczy tylko drzew jednego gatunku. Wprawdzie pewne zbieżności występują w strukturze powstałych w tym samym czasie przyrostów drzew takich gatunków jak dąb i buk czy dąb i jesion, ale nie przynoszą rezultatów porównania tak odmiennych gatunków jak dąb i sosna. Wynika stąd konieczność odrębnego opracowywania drewna należącego do poszczególnych gatunków.

METODYKA BADAŃ

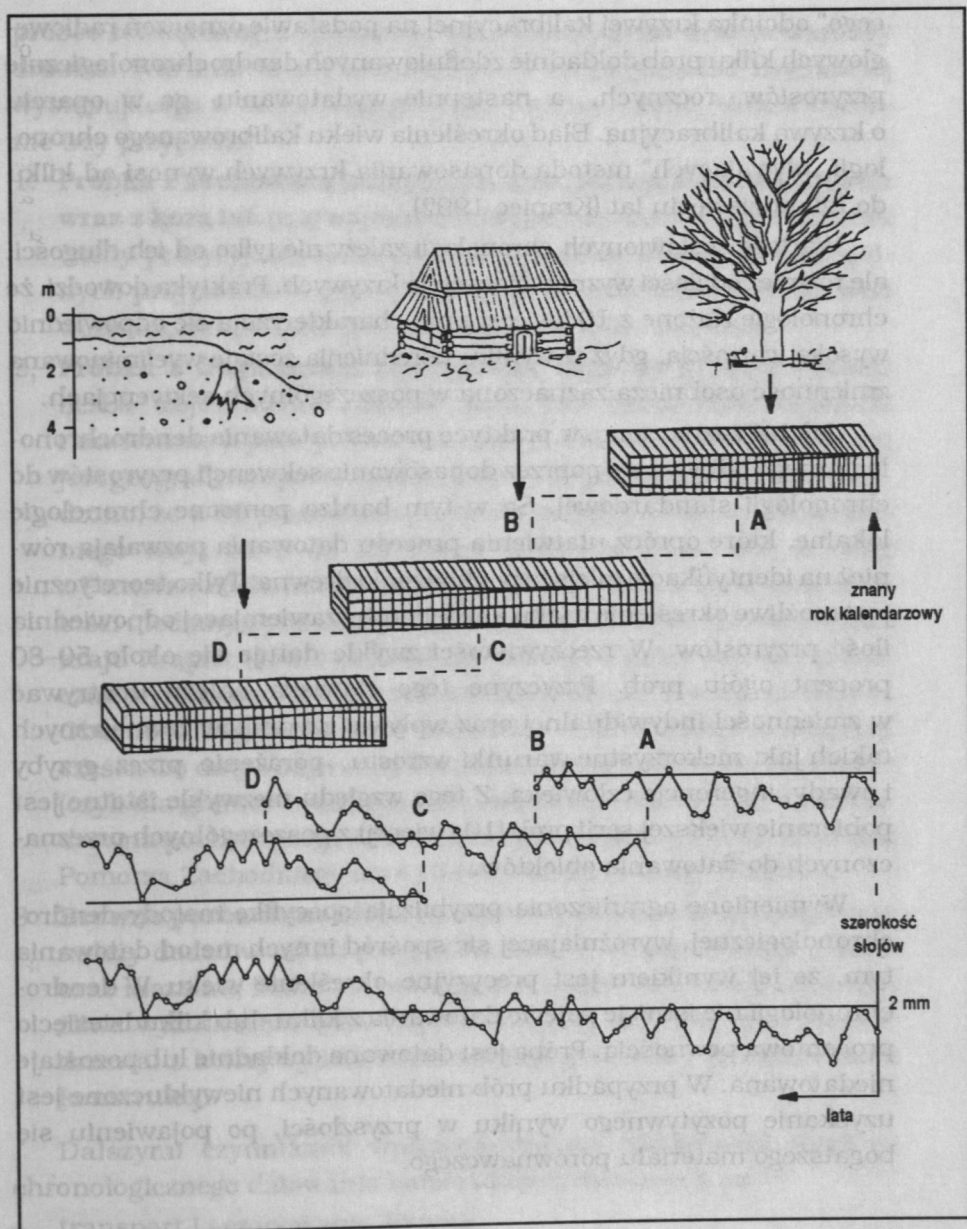
Przedmiotem badań dendrochronologicznych są próby drewna pochodzące z drzew rosnących, elementów konstrukcyjnych budynków, wykopalisk archeologicznych, zabytków sztuki oraz subfosylowych pni drzew z osadów aluwialnych. Próby drewna przeznaczone do analizy dendrochronologicznej powinny spełniać pewne warunki. Do najważniejszych należą: czytelna struktura słoży i odpowiednia ilość przyrostów rocznych (przynajmniej 50). Ze względu na dokładność datowania istotne jest występowanie dobrze zachowanych zewnętrznych przyrostów. Najlepsze próby do badań stanowią poprzeczne wycinki z pni, belek i dranic w postaci plastrów o grubości kilku centymetrów. Tam gdzie jest to konieczne, próby są pobierane w postaci wywierć (rdzeni) przy pomocy specjalnych wiertel napędzanych wiertarką elektryczną lub ręcznych świderów przyrostowych. Kolejnym etapem analizy (po odpowiednim przygotowaniu prób, tzn. ścięciu kilkumilimetrowej warstwy drewna, tak aby wyraźnie widoczne były granice między słożami) są pomiary szerokości słoży. Szerokość słoży jest mierzona z dokładnością 0,01 mm na specjalnych aparatach pomiarowych. Nowoczesne urządzenia tego typu są połączone z komputerami, co umożliwia automatyczny zapis pomie-

zonych wartości w pamięci komputera. Korelację sekwencji dendrochronologicznych, czyli wyszukiwanie fragmentów drewna, pochodzących z tego samego okresu, przeprowadza się przy pomocy programów komputerowych. Należy jednak zaznaczyć, że komputer wskazuje tylko alternatywne pozycje najlepszego dopasowania, natomiast właściwą decyzję podejmuje wykonujący analizę, po wizualnym porównaniu dendrogramów. Możliwość pewnej korelacji krzywych wymaga odpowiednio długiego okresu nakładania się analizowanych sekwencji. Praktyka wskazuje, iż powinien on wynosić co najmniej 50 lat. Poprawne wykonanie ostatnich etapów analizy (tj. pomiar i korelację) jest w stanie wykonać jedynie specjalista o dużym doświadczeniu.

Szansa datowania sekwencji przyrostów rocznych znacznie wzrasta, gdy zamiast pojedynczych krzywych porównujemy skonstruowane na ich podstawie skale dendrochronologiczne (tzw. chronologie). Tworzy się je poprzez uśrednienie jednowiekowych przyrostów. Do ustalenia kalendarzowego roku zakończenia wzrostu drzewa jest konieczne posiadanie absolutnej skali dendrochronologicznej (tzw. standardu dendrochronologicznego lub chronologii standardowej). Standard konstruuje się stosując tzw. metodę pomostową, poprzez nakładanie coraz starszych sekwencji dendrochronologicznych, począwszy od przyrostów drzew rosnących współcześnie (rycina 1). W warunkach europejskich, gdzie wiek drzew rzadko przekracza 200–300 lat, opracowanie kilkutyśiecznej chronologii standardowej jest wynikiem kilkuletnich żmudnych badań. Z tej też przyczyny począwszy od lat 80. nie są one publikowane, a bezpośrednia wymiana danych odbywa się pomiędzy współpracującymi laboratoriami.

Należy zaznaczyć, że różnice w reakcji na zmienne warunki klimatyczne różnych gatunków drzew determinują konieczność konstrukcji oddzielnych standardów dla każdego taksonu. Powstałe w ten sposób chronologie mają ograniczony geograficzny zasięg stosowalności i pozwalają datować drewno z obszaru spójnego klimatycznie.

Skale dendrochronologiczne nie wydatowane względem chronologii absolutnej noszą nazwę skal względnych lub „pływających”. Również one przedstawiają dużą wartość, gdyż umożliwiają względne datowanie drewna. W umiejscowieniu chronologii „pływających” na skali czasu są pomocne oznaczenia radiowęglowe. Precyzyjne datowanie skal względnych umożliwia metoda dopasowania krzywych – „curve fitting” (Pearson 1986). Polega ona na wyznaczeniu „pływają-



Ryc. 1. Ilustracja zasady konstrukcji chronologii standardowej „metodą pomostową”

cego” odcinka krzywej kalibracyjnej na podstawie oznaczeń radiowęglowych kilku prób dokładnie zdefiniowanych dendrochronologicznie przyrostów rocznych, a następnie wydatowaniu go w oparciu o krzywą kalibracyjną. Błąd określenia wieku kalibrowanego chronologii „pływających” metodą dopasowania krzywych wynosi od kilku do kilkudziesięciu lat (Krapiec 1992).

Wartość zestawionych chronologii zależy nie tylko od ich długości, ale również od ilości wyznaczających je krzywych. Praktyka dowodzi, że chronologie złożone z 10 i więcej prób charakteryzują się odpowiednio wysoką wartością, gdyż w wyniku uśrednienia zostaje wyeliminowana zmienność osobnicza zaznaczona w poszczególnych sekwencjach.

Jak już zaznaczono, w praktyce proces datowania dendrochronologicznego odbywa się poprzez dopasowanie sekwencji przyrostów do chronologii standardowej. Są w tym bardzo pomocne chronologie lokalne, które oprócz ułatwienia procesu datowania pozwalają również na identyfikację miejsca pochodzenia drewna. Tylko teoretycznie jest możliwe określenie wieku każdej próby zawierającej odpowiednią ilość przyrostów. W rzeczywistości zwykle datuje się około 50–80 procent ogółu prób. Przyczynę tego zjawiska należy upatrywać w zmienności indywidualnej oraz wpływie czynników zewnętrznych takich jak: niekorzystne warunki wzrostu, porażenie przez grzyby i owady, ingerencję człowieka. Z tego względu niezwykle istotne jest pobieranie większej serii prób (10 i więcej) z poszczególnych przeznaczonych do datowania obiektów.

Wymienione ograniczenia przybliżają specyfikę metody dendrochronologicznej, wyróżniającej się spośród innych metod datowania tym, że jej wynikiem jest precyzyjne określenie wieku. W dendrochronologii nie istnieje pojęcie datowania z kilku- lub kilkudziesięciu procentową pewnością. Próba jest datowana dokładnie lub pozostaje niedatowana. W przypadku prób niedatowanych niewykluczone jest uzyskanie pozytywnego wyniku w przyszłości, po pojawieniu się bogatszego materiału porównawczego.

DOKŁADNOŚĆ DATOWANIA

Dendrochronologia jest bez wątpliwości najdokładniejszą metodą określania wieku, ale możliwość uzyskania wysokiej precyzji podlega pewnym warunkom. Są one związane ze stanem zachowania na

próbce zewnętrznej, najmłodszej wytworzonej przez drzewo warstwy drewna. Warunki te zostaną omówione na przykładzie najczęściej występującego w archeologii gatunku drewna – dębu. Można wyróżnić trzy przypadki:

1. **Próbka z zachowaną kompletną, zewnętrzną warstwą drewna wraz z korą lub przynajmniej miazgą;** najmłodszy słoń wyznacza wtedy precyzyjnie rok kalendarzowy ścięcia drzewa. W szczególnych przypadkach, gdy drzewo zdążyło wytworzyć tylko drewno wczesne, datę ścięcia można zawęzić do kilku miesięcy.
2. **Próbka z fragmentem zewnętrznej warstwy drewna – biału;** liczba słoń biału w drewnie dębu jest genetycznie ustalona i zawiera się w pewnych określonych granicach, przy czym istotne jest geograficzne pochodzenie drewna. W północnej Polsce stwierdzono, że w 90 procentach przypadków dęby z Pomorza Wschodniego mają od 9 do 23 słoń biału (mediana – 15), a dęby z Pomorza Zachodniego od 10 do 26 przyrostów biału przy wartości mediany wynoszącej 17 (Ważny 1990). W południowej części kraju Krąpiec (1993) uzyskał dla Dolnego Śląska wartości graniczne wynoszące 7 i 22 przy wartości mediany równej 13 słoń. Obecność fragmentu biału umożliwia rekonstrukcję brakującej części. Do daty otrzymanej dla najmłodszego przyrostu twardzieli (czyli dla granicy twardzieli z białem) dodaje się 15 (+8/-6) lat dla drewna pochodzącego z Pomorza Wschodniego, 17 (+9/-7) lat dla Pomorza Zachodniego oraz 13 (+9/-6) dla Dolnego Śląska.
3. **Drewno pozbawione biału;** do ostatniego zachowanego przyrostu należy dodać w takim przypadku całą brakującą warstwę biału oraz nieznaną liczbę „x” brakujących słoń twardzieli. Jest możliwe wyznaczenie tylko najwcześniejszej możliwej daty ścięcia drzewa, z której wynika najwcześniejszy możliwy rok powstania konstrukcji.

Dalszymi czynnikami wpływającymi na dokładność dendrochronologicznego datowania konstrukcji drewnianych są:

- transport i sezonowanie drewna,
- powtórne użycie elementu,
- remont, naprawa lub uzupełnienie konstrukcji.

Transport drewna na większe odległości rozpoczął się na ziemiach polskich na szerszą skalę dopiero w XIII wieku (Ważny, Eckstein 1987a). Jego głównym celem była Europa Zachodnia. Ze względu na

koszty korzystano praktycznie tylko z dróg wodnych. Ponieważ okres transportu i sezonowania drewna nie przekraczał z reguły kilku miesięcy, w dendrochronologii przyjmuje się datę powstania konstrukcji zgodną z datą ścięcia drzewa.

Problem powtórnego użycia drewna lub późniejszych uzupełnień jest możliwy do rozwiązania pod warunkiem przebadania większej serii próbek. Rozrzut wyników w skali czasu pozwala bez trudu wychwycić tego rodzaju przypadki.

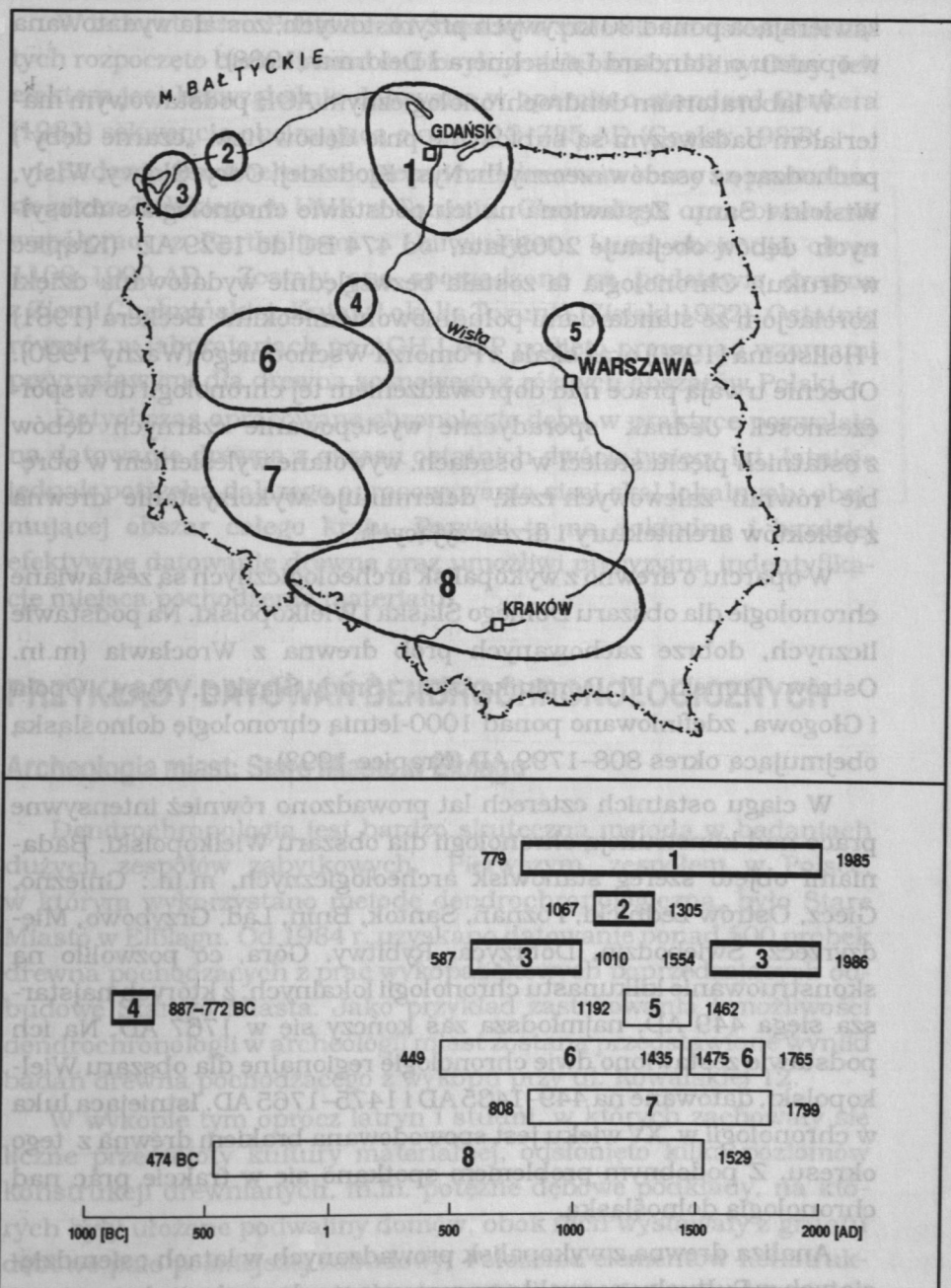
SKALE DENDROCHRONOLOGICZNE DĘBU W POLSCE

W Polsce podobnie jak w pozostałych krajach Europy podstawowym materiałem wykorzystywanym do konstrukcji długich chronologii standardowych jest drewno dębu. Podjęte w latach 80. badania nad rosnącymi dębami wykazały, że dla obszaru Polski jest niezbędne wyznaczenie co najmniej dwóch chronologii standardowych, oddzielnie dla północnych i południowych regionów kraju (Ważny, Eckstein 1991). Ustalenia te zostały również potwierdzone na materiale subfosalnym (Krąpiec 1992). Opracowane dotychczas w Polsce chronologie drewna dębu przedstawiono na rycinie 2.

Pierwszą wieloletnią chronologię opracowaną w Polsce zestawiono w laboratoriach ASP w Warszawie i Uniwersytetu w Hamburgu dla drewna dębu z Pomorza Wschodniego (Ważny 1990). Została ona skonstruowana w oparciu o: próbki z drzew rosnących, materiał badawczy pochodzący z zabytków architektury (m.in.: z katedry w Gdańsku-Oliwie, kościołów w Kartuzach, Kwidzynie i Żarnowcu) oraz drewno archeologiczne z wykopalisk prowadzonych na terenie Starego Miasta w Elblągu. Obecnie chronologia standardowa Pomorza Wschodniego obejmuje lata 779–1985 AD.

W końcowej fazie znajdują się prace nad chronologią Pomorza Zachodniego. Wzorzec ten jest oparty na chronologiach lokalnych opracowanych dla: Wolina na podstawie drewna archeologicznego – 587–1010 AD (Ważny, Eckstein 1987b), średniowiecznego drewna ze stanowisk archeologicznych w Kołobrzegu – 1067–1305 AD i Szczecinie oraz 450 dębów rosnących na wyspie Wolin.

Najstarszą bezwzględnie datowaną chronologią w Polsce jest skala opracowana dla drewna z osady kultury łużyckiej w Biskupinie. Reprezentuje ona okres 887–722 BC (Ważny 1993). Chronologia ta,



Ryc. 2. Bezwzględnie datowane chronologie dębu z obszaru Polski: 1 – Pomorze Wschodnie; 2 – Kołobrzeg; 3 – Wolin; 4 – Biskupin; 5 – Pułtusk; 6 – Wielkopolska; 7 – Dolny Śląsk; 8 – Południowopolska chronologia „czarnych dębów” [opracowali: T. Ważny (1–4), M. Krapiec (5–8)]

zawierająca ponad 30 krzywych przyrostowych, została wydatowana w oparciu o standard Leuschnera i Delorma (1988).

W laboratorium dendrochronologicznym AGH podstawowym materiałem badawczym są subfosylne pnie dębów (tzw. „czarne dęby”) pochodzące z osadów rzecznych: Nysy Kłodzkiej, Odry, Skawy, Wisły, Wisłoki i Sanu. Zestawiona na ich podstawie chronologia subfosylnych dębów obejmuje 2003 lata, od 474 BC do 1529 AD (Krąpiec w druku). Chronologia ta została bezwzględnie wydatowana dzięki korelacjom ze standardami południowoniemieckimi: Beckera (1981) i Hollsteina (1980) oraz skalą z Pomorza Wschodniego (Ważny 1990). Obecnie trwają prace nad doprowadzeniem tej chronologii do współczesności. Jednak sporadyczne występowanie czarnych dębów z ostatnich pięciu stuleci w osadach, wywołane wylesieniem w obrębie równin zalewowych rzek, determinuje wykorzystanie drewna z obiektów architektury i drzew żyjących.

W oparciu o drewno z wykopalisk archeologicznych są zestawiane chronologie dla obszaru Dolnego Śląska i Wielkopolski. Na podstawie licznych, dobrze zachowanych prób drewna z Wrocławia (m.in. Ostrów Tumski, Pl. Dominikański), Środy Śląskiej, Nysy, Opola i Głogowa, zdefiniowano ponad 1000-letnią chronologię dolnośląską obejmującą okres 808–1799 AD (Krąpiec 1993).

W ciągu ostatnich czterech lat prowadzono również intensywne prace nad konstrukcją chronologii dla obszaru Wielkopolski. Badaniami objęto szereg stanowisk archeologicznych, m.in.: Gniezno, Giecz, Ostrów Lednicki, Poznań, Santok, Bnin, Łąd, Grzybowo, Międzyrzecz, Świebodzin, Dobrzyca, Rybitwy, Góra, co pozwoliło na skonstruowanie kilkunastu chronologii lokalnych, z których najstarsza sięga 449 AD, najmłodsza zaś kończy się w 1767 AD. Na ich podstawie zestawiono dwie chronologie regionalne dla obszaru Wielkopolski, datowane na 449–1435 AD i 1475–1765 AD. Istniejąca luka w chronologii w XV wieku jest spowodowana brakiem drewna z tego okresu. Z podobnym problemem spotkano się w trakcie prac nad chronologią dolnośląską.

Analiza drewna z wykopalisk prowadzonych w latach osiemdziesiątych w Pułtusku pozwoliła na zestawienie chronologii obejmującej okres 1192–1462 AD (Krąpiec 1992). Chronologia ta nie ma charakteru wzorca lokalnego, ponieważ obok materiału miejscowego zawiera również drewno sprowadzane z dalszych okolic dorzecza Narwi.

W laboratorium Politechniki Śląskiej w połowie lat osiemdziesiątych rozpoczęto badania nad subfossylnymi dębami z doliny Odry. Ich efektem jest bezwzględnie datowana w oparciu o standard Beckera (1981) sekwencja obejmująca okres 413–735 AD (Goslar 1987).

Badania dendrochronologiczne nad drewnem sosny są prowadzone przez Zielskiego w UMK w Toruniu. Chronologie opracowane we współpracy z Bartholinem z Uniwersytetu Lund obejmują okres 1106–1990 AD. Zostały one sporządzone na podstawie drewna z Ziemi Chełmińskiej, Kujaw i okolic Torunia (Zielski 1992). Ostatnio również w laboratoriach na AGH i ASP podjęto prace nad wzorcami przyrostowymi dla drewna sosnowego z różnych obszarów Polski.

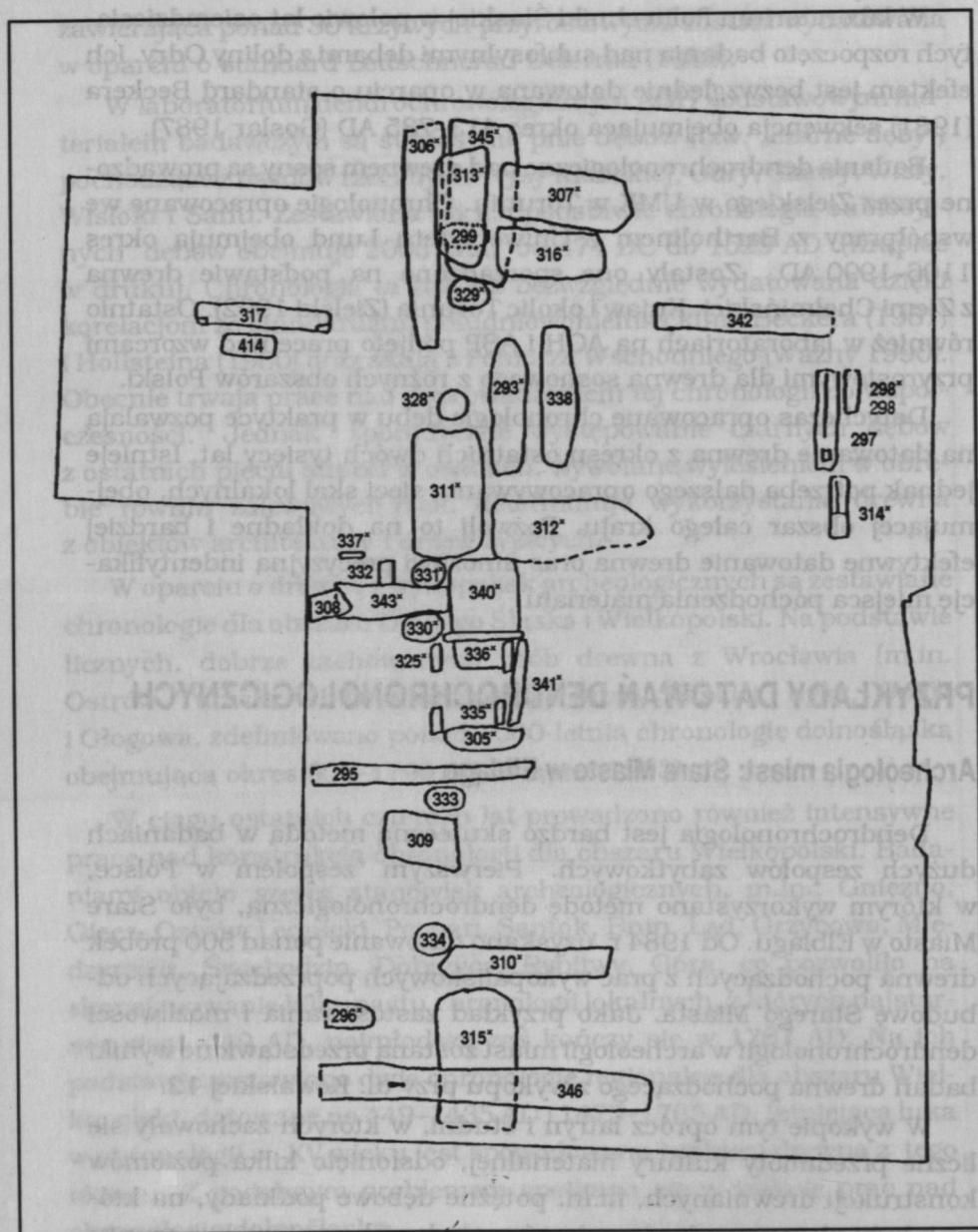
Dotychczas opracowane chronologie dębu w praktyce pozwalają na datowanie drewna z okresu ostatnich dwóch tysięcy lat. Istnieje jednak potrzeba dalszego opracowywania sieci skal lokalnych, obejmującej obszar całego kraju. Pozwoli to na dokładne i bardziej efektywne datowanie drewna oraz umożliwi precyzyjną identyfikację miejsca pochodzenia materiału.

PRZYKŁADY DATOWAŃ DENDROCHRONOLOGICZNYCH

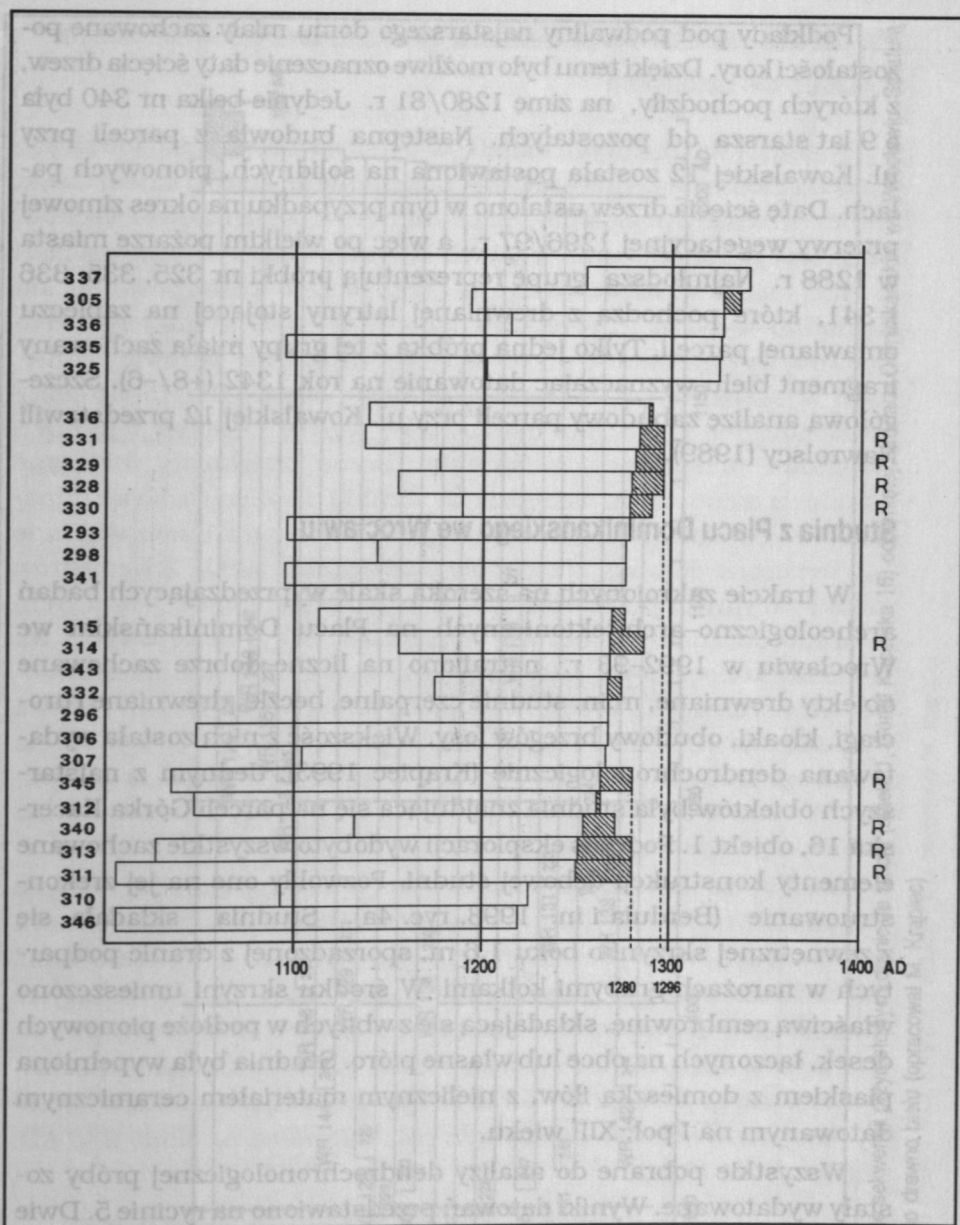
Archeologia miast: Stare Miasto w Elblągu

Dendrochronologia jest bardzo skuteczną metodą w badaniach dużych zespołów zabytkowych. Pierwszym zespołem w Polsce, w którym wykorzystano metodę dendrochronologiczną, było Stare Miasto w Elblągu. Od 1984 r. uzyskano datowanie ponad 500 próbek drewna pochodzących z prac wykopaliskowych poprzedzających odbudowę Starego Miasta. Jako przykład zastosowania i możliwości dendrochronologii w archeologii miast zostaną przedstawione wyniki badań drewna pochodzącego z wykopu przy ul. Kowalskiej 12.

W wykopie tym oprócz latryn i studni, w których zachowały się liczne przedmioty kultury materialnej, odsłonięto kilka poziomów konstrukcji drewnianych, m.in. potężne dębowe podkłady, na których były ułożone podwaliny domów, obok nich wystawały z gruntu dębowe pale późniejszej zabudowy. Położenie elementów konstrukcyjnych, z których były pobierane próbki do badań, przedstawiono na rycinie 3. Analiza dendrochronologiczna pozwoliła na określenie ich wieku z dokładnością do 1 roku. Uzyskane wyniki ilustruje diagram na rycinie 4.



Ryc. 3. Lokalizacja badanych dendrochronologicznie próbek z wykopu przy ulicy Kowalskiej 12 w Elblągu. Bezwzględnie datowane próbki oznaczono krzyżykami (opracował T. Ważny)



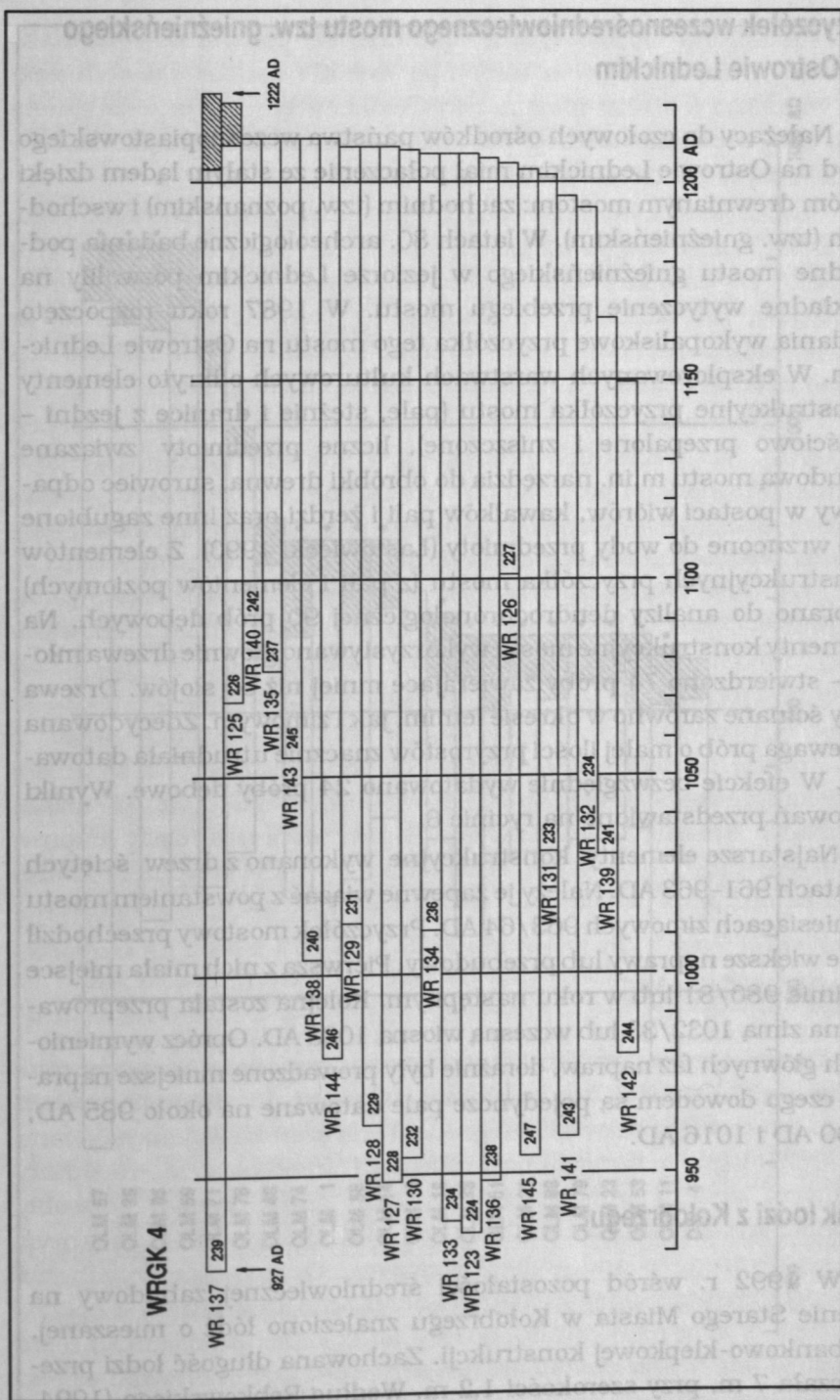
Ryc. 4. Datowanie sekwencji przyrostowych prób z ulicy Kowalskiej 12 w Elblągu. Literą R oznaczono próby z korą; szrafurą – drewno bieli (opracował T. Ważny)

Podkłady pod podwaliny najstarszego domu miały zachowane pozostałości kory. Dzięki temu było możliwe oznaczenie daty ściecia drzew, z których pochodziły, na zimę 1280/81 r. Jedynie belka nr 340 była o 9 lat starsza od pozostałych. Następna budowla z parceli przy ul. Kowalskiej 12 została postawiona na solidnych, pionowych palach. Datę ściecia drzew ustalono w tym przypadku na okres zimowej przerwy wegetacyjnej 1296/97 r., a więc po wielkim pożarze miasta w 1288 r. Najmłodszą grupę reprezentują próbki nr 325, 335, 336 i 341, które pochodzą z drewnianej latryny stojącej na zapleczu omawianej parceli. Tylko jedna próbka z tej grupy miała zachowany fragment bielu wyznaczając datowanie na rok 1342 (+8/-6). Szczegółową analizę zabudowy parceli przy ul. Kowalskiej 12 przedstawił Nawrołscy (1989).

Studnia z Placu Dominikańskiego we Wrocławiu

W trakcie zakrojonych na szeroką skalę wyprzedzających badań archeologiczno-architektonicznych na Placu Dominikańskim we Wrocławiu w 1992-93 r., natrafiono na liczne dobrze zachowane obiekty drewniane, m.in. studnie czerpalne, beczki, drewniane rurociagi, kloaki, obudowy brzegów fosy. Większość z nich została wydatowana dendrochronologicznie (Krapiec 1993). Jednym z najstarszych obiektów była studnia znajdująca się na parceli Górka Kacerska 16, obiekt 1. Podczas eksploracji wydobyto wszystkie zachowane elementy konstrukcji dębowej studni. Pozwoliły one na jej zrekonstruowanie (Berduła i in. 1993, ryc. 4a). Studnia składała się z zewnętrznej skrzyni o boku 1,6 m, sporządzonej z dranic podpartych w narożach grubymi kołkami. W środku skrzyni umieszczono właściwą cembrowinę, składającą się z wbitych w podłoże pionowych desek, łączonych na obce lub własne pióro. Studnia była wypełniona piaskiem z domieszką łów, z nielicznym materiałem ceramicznym datowanym na I poł. XIII wieku.

Wszystkie pobrane do analizy dendrochronologicznej próby zostały wydatowane. Wyniki datowań przedstawiono na rycinie 5. Dwie próby miały warstwę drewna bielu, w tym jedna z nich kompletnie zachowaną. Ostatni podkorowy słój w próbce WR137 zawierał drewno wczesne i późne, co wskazuje na tzw. „ścinkę zimową” 1222/3 roku. Biorąc pod uwagę, iż w obiektach studziennych nie ma potrzeby używania sezonowanego drewna, za najbardziej prawdopodobną datę budowy studni przyjęto - 1223 AD.



Ryc. 5. Datowanie sekwencji przyrostowych dranic ze studni (obiekt 1, Górka Kacerska 16) odsoniętej na Placu Dominikańskim we Wrocławiu. Szrafura oznaczono drewno bielu (opracował M. Krapięć)

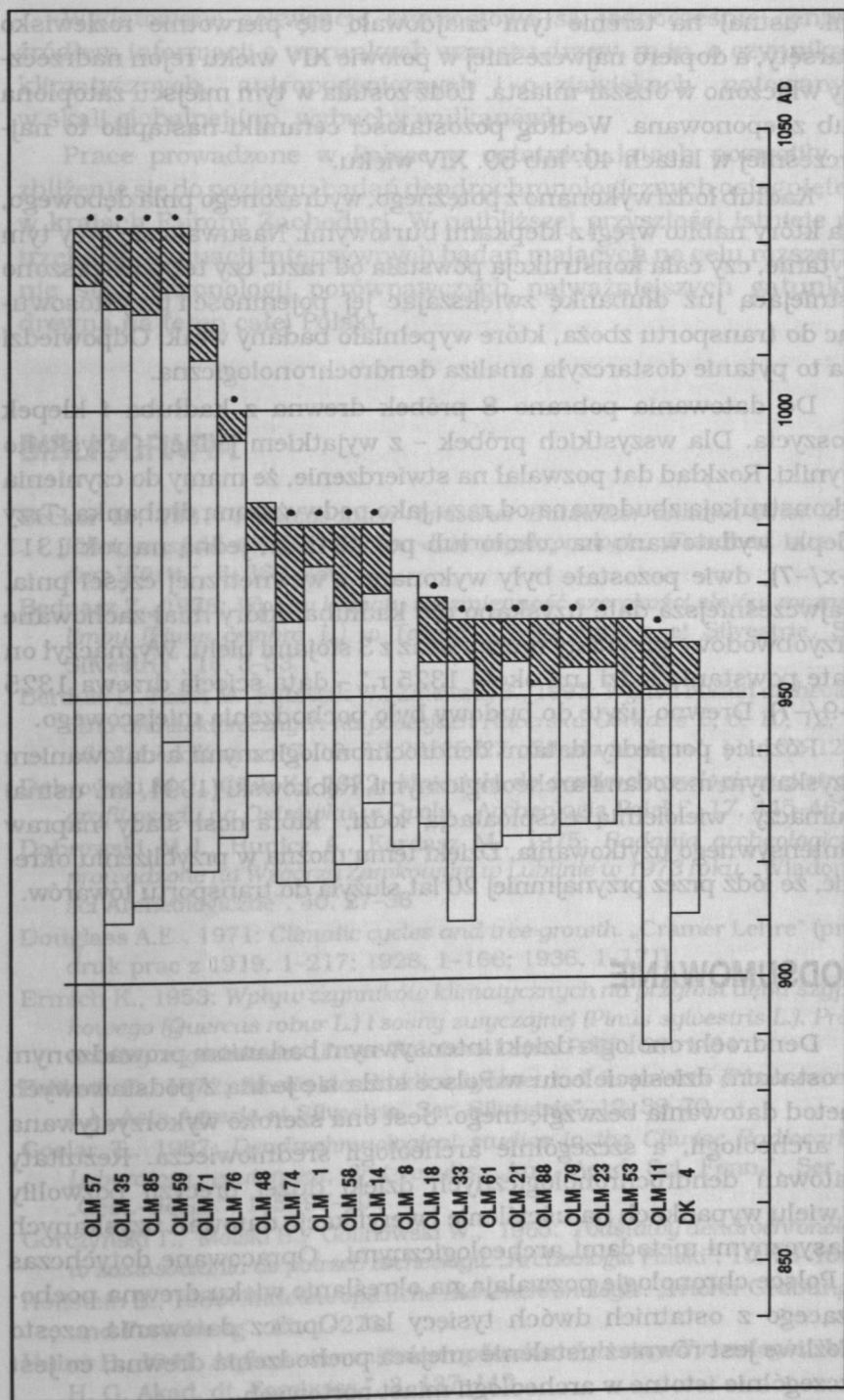
Przyczółek wczesnośredniowiecznego mostu tzw. gnieźnińskiego na Ostrowie Lednickim

Należący do czołowych ośrodków państwa wczesnopiastowskiego gród na Ostrowie Lednickim miał połączenie ze stałym ładem dzięki dwóm drewnianym mostom: zachodnim (tzw. poznańskim) i wschodnim (tzw. gnieźnińskim). W latach 80. archeologiczne badania podwodne mostu gnieźnińskiego w jeziorze Lednickim pozwoliły na dokładne wytyczenie przebiegu mostu. W 1987 roku rozpoczęto badania wykopaliskowe przyczółka tego mostu na Ostrowie Lednickim. W eksplorowanych warstwach kulturowych odkryto elementy konstrukcyjne przyczółka mostu (pale, stężnie i dranice z jezdni – częściowo przepalone i zniszczone), liczne przedmioty związane z budową mostu m.in. narzędzia do obróbki drewna, surowiec odpadowy w postaci wiórów, kawałków pali i żerdzi oraz inne zagubione lub wrzucone do wody przedmioty (Łastowiecki 1993). Z elementów konstrukcyjnych przyczółka mostu (z pali i elementów poziomych) pobrano do analizy dendrochronologicznej 90 prób dębowych. Na elementy konstrukcyjne mostu wykorzystywano głównie drzewa młode – stwierdzono 74 próby zawierające mniej niż 50 słojów. Drzewa były ścinane zarówno w okresie letnim, jak i zimowym. Zdecydowana przewaga prób o małej ilości przyrostów znacznie utrudniała datowanie. W efekcie bezwzględnie wydatowano 24 próby dębowe. Wyniki datowań przedstawiono na rycinie 6.

Najstarsze elementy konstrukcyjne wykonano z drzew ściętych w latach 961–963 AD. Należy je zapewne wiązać z powstaniem mostu w miesiącach zimowych 963/64 AD. Przyczółek mostowy przechodził dwie większe naprawy lub przebudowy. Pierwsza z nich miała miejsce w zimie 980/81 lub w roku następnym. Kolejna została przeprowadzona zimą 1032/33 lub wczesną wiosną 1033 AD. Oprócz wymienionych głównych faz napraw, doraźnie były prowadzone mniejsze naprawy, czego dowodem są pojedyncze pale datowane na około 985 AD, 1000 AD i 1016 AD.

Wrak łodzi z Kołobrzegu

W 1992 r. wśród pozostałości średniowiecznej zabudowy na terenie Starego Miasta w Kołobrzegu znaleziono łódź o mieszanej, dłubankowo-klepkowej konstrukcji. Zachowana długość łodzi przekraczała 7 m, przy szerokości 1,2 m. Według Rębkowskiego (1994,



Ryc. 6. Datowanie sekwencji przyrostowych prób elementów konstrukcyjnych przyczółka mostu „gnieźnielskiego” na Ostrowie Lednickim. Kropką oznaczono próby z korą; szrafurą – drewno bieli (opracował M. Krapiec)

inf. ustna) na terenie tym znajdowało się pierwotnie rozlewisko Parsęty, a dopiero najwcześniej w połowie XIV wieku rejon nadrzeczny włączono w obszar miasta. Łódź została w tym miejscu zatopiona lub zdeponowana. Według pozostałości ceramiki nastąpiło to najwcześniej w latach 40. lub 50. XIV wieku.

Kadłub łodzi wykonano z potężnego, wydrążonego pnia dębowego, na który nabito wręgi z klepkami burtowymi. Nasuwało się przy tym pytanie, czy cała konstrukcja powstała od razu, czy też powiększono istniejącą już dłubankę zwiększając jej pojemność i przystosowując do transportu zboża, które wypełniało badany wrak. Odpowiedzi na to pytanie dostarczyła analiza dendrochronologiczna.

Do datowania pobrano 8 próbek drewna z kadłuba i klepek poszycia. Dla wszystkich próbek – z wyjątkiem jednej – uzyskano wyniki. Rozkład dat pozwalał na stwierdzenie, że mamy do czynienia z konstrukcją zbudowaną od razu jako podwyższona dłubanka. Trzy klepki wydatowano na „około lub po” 1315 r., jedną na rok 1311 (+x/-7), dwie pozostałe były wykonane z wewnętrznej części pnia. Najwcześniejszą datę uzyskano dla kadłuba, który miał zachowane przyobwodowe przyrosty roczne wraz z 3 słojami bielu. Wyzaczył on datę powstania łodzi „na około 1325 r.” – data ścięcia drzewa 1325 (+9/-7). Drewno użyte do budowy było pochodzenia miejscowego.

Różnicę pomiędzy datami dendrochronologicznymi a datowaniem uzyskanym metodami archeologicznymi, Rębkowski (1994, inf. ustna) tłumaczy wieloletnią eksploatacją łodzi, która nosi ślady napraw i intensywnego użytkowania. Dzięki temu można w przybliżeniu określić, że łódź przez przynajmniej 20 lat służyła do transportu towarów.

PODSUMOWANIE

Dendrochronologia dzięki intensywnym badaniom prowadzonym w ostatnim dziesięcioleciu w Polsce stała się jedną z podstawowych metod datowania bezwzględного. Jest ona szeroko wykorzystywana w archeologii, a szczególnie archeologii średniowiecza. Rezultaty datowań dendrochronologicznych dzięki dużej precyzji pozwoliły w wielu wypadkach na uściślenie i weryfikację datowań uzyskanych klasycznymi metodami archeologicznymi. Opracowane dotychczas w Polsce chronologie pozwalają na określanie wieku drewna pochodzącego z ostatnich dwóch tysięcy lat. Oprócz datowania często możliwe jest również ustalenie miejsca pochodzenia drewna, co jest szczególnie istotne w archeologii miast portowych.

Wydatowane sekwencje przyrostowe są jednocześnie cennym źródłem informacji o warunkach wzrostu drzew, m.in. o czynnikach klimatycznych, antropogenicznych i o zjawiskach notowanych w skali globalnej (np. wybuchy wulkanów).

Prace prowadzone w Polsce w ostatnich latach pozwoliły na zbliżenie się do poziomu badań dendrochronologicznych osiągniętego w krajach Europy Zachodniej. W najbliższej przyszłości istnieje potrzeba kontynuacji intensywnych badań mających na celu rozszerzenie sieci chronologii porównawczych najważniejszych gatunków drewna na teren całej Polski.

BIBLIOGRAFIA

- Becker B., 1981: *Fällungsdaten römischer Bauhölzer anhand einer 2350 jährigen süddeutschen Eichen-Jahrringchronologie*. „Fundber. aus Baden-Württ.”, 6, 369–386
- Bednarz Z., 1976: *Wpływ klimatu na zmienność szerokości stójów rocznych limby (Pinus cembra L.) w Tatrach*. „Acta Agraria et Silvestria. Ser. Silvestris”, 16, 3–33
- Berduła L., Karst M., Fabisiak W., Zalewski S., 1993: *Wyniki badań archeologiczno-architektonicznych na posesjach Kacerska Górka nr 6, 8, 10, 12, 14, 16 i Zaulek Koci nr 17, 19, 21, 23, 25, 27*. „Silesia Antiqua”, 11, 102–129
- Dąbrowski M.J., Ciuk K., 1972: *Materiały do dendrochronologicznej stratygrafii osady na Ostrówku w Opolu*. „Archeologia Polski”, 17, 445–462
- Dąbrowski M.J., Hunicz A., Kardasz M., 1975: *Badania archeologiczne prowadzone na Wzgórzu Zamkowym w Lublinie w 1973 roku*. „Wiadomości Archeologiczne”, 40, 27–36
- Douglass A.E., 1971: *Climatic cycles and tree-growth*. „Cramer Lehre” (przedruk prac z 1919, 1–217; 1928, 1–166; 1936, 1–171)
- Ermich K., 1953: *Wpływ czynników klimatycznych na przyrost dębu szypułkowego (Quercus robur L.) i sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.)*. Próba analizy zagadnienia. „Prace Rolniczo-Leśne PAU”, 68, 1–61
- Feliksik E., 1972: *Studia dendroklimatyczne nad świerkiem (Picea excelsa L.)*. „Acta Agraria et Silvestria. Ser. Silvestris”, 12, 39–70
- Goslar T., 1987: *Dendrochronological studies in the Gliwice Radiocarbon Laboratory, equipment, first results*. „Ann. Acad. Sci. Fenn.”, Ser. A, „Geol.-Geogr.”, 145, 97–104
- Gorczyński T., Molski B., Golinowski W., 1965: *Podstawy dendrochronologii w zastosowaniu do potrzeb archeologii*. „Archeologia Polski”, 10, 75–100
- Hollstein E., 1980: *Mitteleuropäische Eichenchronologie*. „Triester Grabungen und Forschung”, 11, 1–273
- Huber B., 1941: *Aufbau einer mitteleuropäischen Jahrring-Chronologie*. „Mitt. H. G. Akad. dt. Forstwiss.”, 3, 137–142

- Huber B., 1943: *Über die Sicherheit jahrringchronologischer Datierung*. „Holz als Roh- und Werkstoff”, 6, 263–268
- Krapiec M., 1989: *Wstępne wyniki badań dendrochronologicznych w okolicach Krakowa*. „Sprawozdania Komisji Naukowej PAN Oddział Kraków”, 31/1, 193–195
- Krapiec M., 1992: *Skale dendrochronologiczne późnego holocenu południowej i centralnej Polski*. „Kwartalnik AGH–Geologia”, 18/3, 37–119
- Krapiec M., 1993: *Analiza dendrochronologiczna drewna z Placu Dominikańskiego we Wrocławiu*. „Slavia Antiqua”, 35, 364–381
- Krapiec M., (w druku): *„Czarne dęby”: dendrochronologia i fazy akumulacji pni w dolinie Wisły*. Prace IGiPZ PAN
- Leuschner H.-H., Delorme A., 1988: *Tree-Ring work in Gttingen. Absolute oak chronologies back to 6255 B.C.* „PACT 22” – II.5, 123–132
- Łastowiecki M., 1993: *Sprawozdanie z badań wykopaliskowych przyzółtka wczesnośredniowiecznego mostu wschodniego (tzw. gnieźnieńskiego) na Ostrowie Lednickim, gm. Łubowo, woj. poznańskie, stanowisko 2*. „Wielkop. Spraw. Archeolog.”, 2, 133–155
- Nawrońska G., Nawroński T., 1989: *Badania Starego Miasta w Elblągu w roku 1985*. „Kwartalnik Historii Kultury Materialnej” 37/2, 251–289
- Pearson G.W., 1986: *Precise calendrical dating of known growth-period samples using a „curve fitting” technique*. „Radiocarbon”, 28, 2A, 292–299
- Schweingruber F.H., 1993: *Jahrringe und Umwelt. Dendrokologie*. „Birmensdorf: Eidgenoss. Forsch. anst. Wald Schnee Landsch.”, s. 231
- Ważny T., 1986: *Dendrochronologie in Nordpolen*. „Acta Interdisciplinaria Archaeologica”, 123–128
- Ważny T., 1990: *Aufbau und Anwendung der Dendrochronologie für Eichenholz in Polen*. „Diss. Univ. Hamburg”, s. 213, Hamburg
- Ważny T., 1993: *Dendrochronological dating of the Lusatian Culture settlement at Biskupin, Poland – first results*. „News WARP” 14, 3–5
- Ważny T., Eckstein D., 1987a: *Der Holzhandel von Danzig/Gdańsk – Geschichte, Umfang und Reichweite*. „Holz Roh- u. Werkstoff” 45, 509–513
- Ważny T., Eckstein D., 1987b: *Dendrochronologiczne datowanie wczesnośredniowiecznej słowiańskiej osady Wolin*. „Materiały Zachodniopomorskie” 33, 147–164
- Ważny T., Eckstein D., 1991: *The dendrochronological signal of oak (Quercus spp.) in Poland*. „Dendrochronologia” 9, 35–49
- Zielski A., 1989: *Tysiącletnia historia sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) na obszarze ziemi chełmińskiej i północnych Kujaw w świetle badań dendrochronologicznych*. „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej”, Ser. Mat.-Fiz., 61, 175–188
- Zielski A., 1992: *Long-term chronology of scots pine (Pinus sylvestris L.) in the northern part of Poland*. „Dendrochronologia” 10, 77–90
- Zinkiewicz W., 1946: *Badania nad wartością przyrostu rocznego drzew dla studiów nad wahaniami klimatycznymi*. „Ann. Univ. M. Curie-Skłodowska”, 6, 178–228