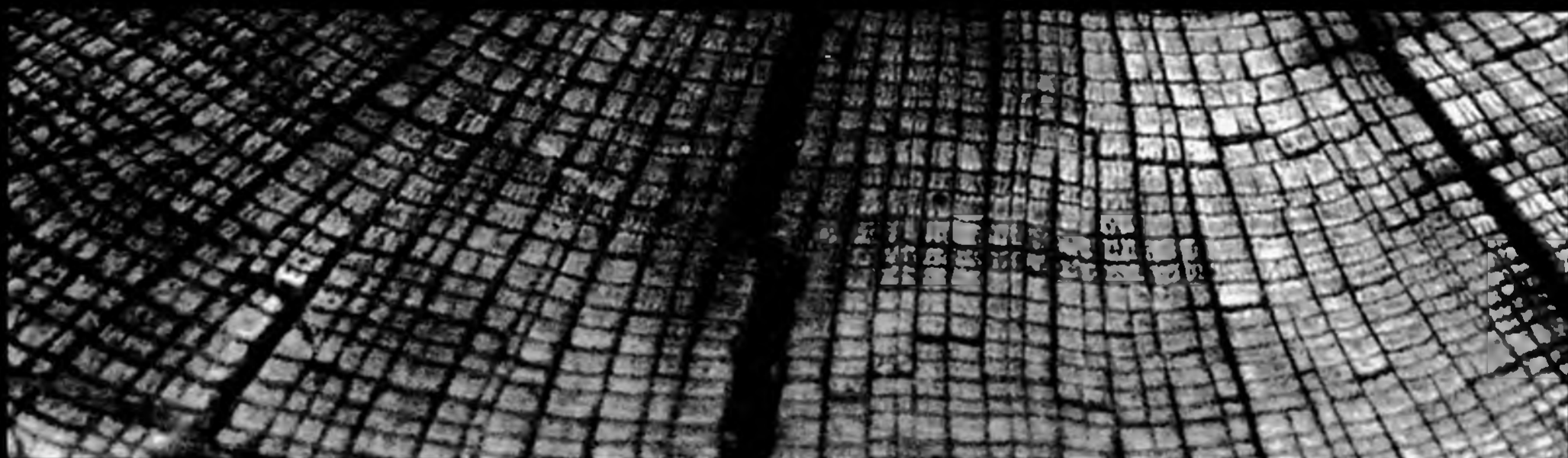




TOMASZ WAŻNY



# DENDROCHRONOLOGIA OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH W POLSCE



MUZEUM ARCHEOLOGICZNE W GDAŃSKU

Tomasz Ważny

DENDROCHRONOLOGIA  
OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH  
W POLSCE

Muzeum Archeologiczne w Gdańsku  
Gdańsk 2001

Recenzenci: prof. dr hab. Wojciech Kurpik  
prof. dr hab. Mieczysław Matejak

Redaktor: Henryk Paner

Redakcja techniczna: Barbara Gostyńska, Joanna Ossowska

Skład i tłumaczenie na język angielski: Barbara Gostyńska

Projekt okładki: Jerzy Kamrowski

ISBN: 83-85824-31-6

© Tomasz Ważny, Muzeum Archeologiczne w Gdańsku 2001

Druk: Drukarnia WDP „Bernardinum” w Pelplinie

# SPIS TREŚCI

1:	WSTĘP .....	5
2:	CEL BADAŃ .....	9
3:	BIOLOGICZNE PODSTAWY DENDROCHRONOLOGII .....	11
4:	METODYCZNE PODSTAWY DATOWANIA .....	23
5:	CHRONOLOGIE STANDARDOWE .....	29
6:	DOKŁADNOŚĆ DATOWANIA .....	35
7:	OKREŚLANIE POCHODZENIA DREWNA .....	38
8:	DATOWANIE DREWNA ARCHEOLOGICZNEGO .....	45
9:	DENDROCHRONOLOGICZNE DATOWANIE ZABYTKÓW SZKUTNICTWA .....	61
10:	DATOWANIE ZABYTKÓW ARCHITEKTURY .....	75
11:	DATOWANIE DZIEŁ SZTUKI .....	87
12:	DATOWANIE OPRAW RĘKOPISÓW, INKUNABUŁÓW I STARODRUKÓW .....	102
13:	DATOWANIE INSTRUMENTÓW MUZYCZNYCH .....	107
14:	DATOWANIE ZABYTKOWYCH MEBLI .....	111
15:	PODSUMOWANIE .....	114
	SUMMARY .....	119
	LITERATURA .....	124

## I: WSTĘP

Dendrochronologia jest to nauka o datowaniu przyrostów rocznych drewna. Jest ona dziedziną interdyscyplinarną wywodzącą się z biologii drewna. Analiza precyzyjnie wydatowanych warstw przyrostowych drewna znalazła zastosowanie m.in. w naukach historycznych: w archeologii (m.in. Eckstein 1969, Baillie 1982), historii architektury (m.in. Hollstein 1980, Wrobel i in. 1993, Schmidt i in. 1990), historii sztuki (m.in. Bauch 1979, Klein 1989). Dalszymi dyscyplinami, w których dendrochronologia pełni bardzo istotną rolę są: klimatologia (m.in. Bitwinkas 1974, Fritts 1976), ekologia (m.in. Schweingruber 1993a), geomorfologia (m.in. Becker 1979), hydrologia (m.in. Yanosky i Cleaveland 1998), glaciologia (m.in. Luckman 1996), wulkanologia (m.in. Briffa i in. 1998) i in. Geograficznie dendrochronologia była początkowo ograniczona tylko do strefy klimatu umiarkowanego, czyli do regionów, w których drzewa mają okres zimowej przerwy wegetacyjnej. Obecnie jednak dendrochronologia znalazła zastosowanie praktycznie na całej kuli ziemskiej, od bezdrzewnej strefy arktycznej (Bartholin i Hjort, 1987, Eggertson 1994) po strefę równikową o klimacie tropikalnym z roślinnością wiecznie zieloną (np. Worbes, 1988, 1992, Pumijunmong, 1995).

Roczne przyrosty drewna powstające podczas okresu wegetacyjnego drzewa stanowią odzwierciedlenie warunków jego życia. Spośród wielu czynników wpływających na przebieg przyrostów drzew dominują czynniki o zasięgu regionalnym, czy nawet ponadregionalnym, a zwłaszcza klimat. Mniejsze znaczenie mają zwykle inne warunki siedliskowe oraz indywidualne cechy drzew, z których pochodziło drewno. Dzięki temu u drzew jednego gatunku rosnących na określonym obszarze geograficznym występuje duże podobieństwo powstałych równocześnie sekwencji przyrostów rocznych. Prawidłowość ta umożliwia stwierdzenie, czy porównywane ze sobą próbki drewna pochodzą z drzew rosnących w tym samym czasie. Dzięki zastosowaniu podanych powyżej zależności stało się możliwe zastosowanie analizy przyrostów rocznych do określania wieku drewna.

Początki metody dendrochronologicznej sięgają przełomu XIX i XX wieku. A.E. Douglass w 1904 r. przeprowadził pierwsze badania na sosnach rosnących



w okolicach Flagstaff w Arizonie. Opracowana została pierwsza chronologia przyrostowa pozwalająca na ustalenie zależności przyrostów radialnych drzew od niektórych czynników klimatycznych. Badania Douglassa, a w szczególności możliwość przyporządkowania słojom drzew konkretnych lat kalendarzowych, zwróciły na siebie uwagę archeologów, którzy nadesłali mu próbki drewna z leżących w stanie Nowy Meksyk ruin prekolumbijskiego miasta Aztec oraz puebla Bonito. W 1929 r. chronologia Douglassa sięgała już do około 700 r. p.n.e., co pozwoliło na dokładne określenie wieku około 40 prehistorycznych osad kultury Anasazi (Douglass 1935). Rezultatem dalszej pracy Douglassa i jego współpracowników (od 1937 r. w ramach utworzonego na Uniwersytecie Arizony w Tucson Laboratorium Badania Przyrostów Rocznych) było datowanie do 1976 r. w południowo-zachodniej części USA ponad 20 000 drewnianych elementów z 1320 stanowisk (Robinson 1976).

Prace nad podstawami europejskiej dendrochronologii podjął w końcu lat trzydziestych niemiecki botanik Bruno Huber. Panujące w Europie warunki klimatyczne oraz brak starych, wiekowych drzew wymagały opracowania odmiennych niż w USA założeń metodycznych badań (Huber 1941, 1943). Autor ten równolegle analizował strukturę przyrostów rosnących drzew jak i drewna archeologicznego, m.in. pochodzącego z wykopalisk prowadzonych u ujścia Odry na wyspie Wolin. Brak skal dendrochronologicznych sięgających do wczesnego średniowiecza niestety uniemożliwił Huberowi i jego współpracownikom wydatowanie dębowych konstrukcji z Wolina. Dendrochronologiczna metoda datowania obiektów zabytkowych rozwinęła się w Europie w pełni dopiero w okresie powojennym. Obecnie jest to jedna z podstawowych metod, szeroko stosowana w badaniach zabytkowej architektury, dzieł sztuki na podłożach drewnianych i w archeologii.

Przeprowadzenie analizy dendrochronologicznej związane jest z posiadaniem materiałów porównawczych w postaci chronologii przyrostowych opracowywanych odrębnie dla każdego gatunku drewna i regionu geograficznego. Bez nich nawet najlepiej wyposażone laboratorium nie uzyska wyników w postaci absolutnych datowań zabytkowego materiału. Chronologie są rezultatem wieloletniej, żmudnej pracy, i z tego powodu bywają tylko sporadycznie publikowane. Jedyną możliwość zebrania materiałów porównawczych daje ścisła współpraca i wymiana danych pomiędzy opracowującymi je laboratoriami.

Dla Europy opracowano kilkaset chronologii standardowych, które obejmują różne okresy historyczne. Najdłuższa chronologia została zestawiona dla drewna dębu

z centralnej Europy i sięga do 8480 r. p.n.e. (Spurk i in. 1998). Wyznacza ona aktualny zasięg czasowy metody dendrochronologicznej. Chronologie przyrostowe opracowano dotychczas dla następujących europejskich gatunków drewna: dąb, sosna (także limba), świerk, jodła, modrzew oraz buk. Do ich skonstruowania posłużył materiał porównawczy z setek obiektów zabytkowych, tysiące rosnących drzew i pni subfosalnych dębów, dziesiątków wykopów archeologicznych. Chronologie te służą jako wzorzec do określania wieku innych zabytków. Uzupełnieniem dla nich są liczne regionalne chronologie przyrostowe, dzięki którym możliwe staje się także ustalenie pochodzenia użytego do budowy drewna.

W Polsce metoda dendrochronologiczna została doceniona już przed II wojną światową, czego dowodem było wysłanie próbek drewna z Biskupina w 1938 r. do Instytutu Geochronologii w Sztokholmie w celu ich bezwzględne datowania. Wyniki opublikowane przez E.H. de Geer w 1956 r. zbliżone są do okresu funkcjonowania grodu łużyckiego w Biskupinie, ale w świetle najnowszych ustaleń oraz postępu metodologii nie mogą być zaakceptowane. Europejska dendrochronologia zaczynała się wtedy dopiero rozwijać i krzywe przyrostowe próbek biskupińskich porównywane były m.in. z przyrostami kalifornijskich sekwoi. Po II wojnie światowej pojawiły się pierwsze publikacje dotyczące wpływu czynników klimatycznych na przyrosty drzew (Zinkiewicz 1946, Ermich 1953, 1955, 1960). Stworzyły one podstawę do rozwoju dendroklimatologii w Polsce (Bednarz 1976, 1981, Feliksik 1972). Kilkakrotnie podejmowano również próby datowania drewna pochodzącego z wykopalisk archeologicznych (Gorczyński i in. 1965, Dąbrowski i Ciuk, 1972, Dąbrowski i in. 1975). Badania te nie doprowadziły jednak do opracowania bezwzględnie datowanych skal nieodzownych dla obiektywnego ustalania wieku drewna.

Polska była przez długie lata uważana z różnych przyczyn za teren nie sprzyjający rozwojowi dendrochronologii jako metody datowania drewna. Szczególnie zaważył na tym pewien konserwatyzm przedstawicieli nauk leśnych prowadzących analizy przyrostowe głównie pod kątem obliczania przyrostu masy drewna na pniu oraz obiegowy pogląd o braku zachowanych starszych konstrukcji na wielokrotnie spustoszonych przez wojny ziemiach polskich. W latach 1985–89 powstała pierwsza chronologia standardowa dla obszaru Polski, opracowana dla drewna dębu z Pomorza Wschodniego i obejmująca okres ostatniego tysiąclecia (Eckstein i in. 1986, Ważny 1990). W zasięgu tego wzorca leży cała północna część kraju. Uzupełniają ją chronologie regionalne, z których najstarsza sięga do 900 r. p.n.e. Dalsze wieloletnie wzorce przyrostowe opracowali: Zielski (1990, 1992) dla

drewna sosny z dorzecza Wisły (obszar dolnej Wisły, Drwęcy i Narwi) oraz Krąpiec dla drewna dębu z południowej części kraju oraz z Wielkopolski (Krąpiec 1992, 1996). W opracowaniu znajduje się chronologia drewna jodły przygotowywana w celu umożliwienia datowania ikon i zabytkowych budowli w Karpatach (Ważny i Kosiorek 1999). Lata 80. można określić jako okres tworzenia podstaw polskiej dendrochronologii, natomiast ostatnia dekada XX wieku jest okresem jej rozkwitu — zarówno dendroklimatologii i dendroekologii (m.in. Feliksik 1990, Bednarz i in. 1992, Ufnalski 1996), jak i klasycznej dendrochronologii zajmującej się ustalaniem wieku (m.in. Krąpiec 1998, Ważny 1998, Zielski 1997).



## 2: CEL BADAŃ

Współczesne nauki historyczne przywiązują ogromne znaczenie do prawidłowego i wiarygodnego datowania rozważanych zdarzeń, zjawisk i obiektów. Wśród różnych metod stosowanych w tym celu — pośrednich lub bezpośrednich — na pierwsze miejsce pod względem dokładności wysunęła się metoda dendrochronologiczna. Znajduje ona zastosowanie w różnych dziedzinach nauk historycznych, a w szczególności w archeologii, historii sztuki i architektury, a także w konserwacji zabytków. Metoda ta pozwala na dokładne określenie wieku obiektów, uwiarygodnienie lub zakwestionowanie ich autorstwa i autentyczności, a wyniki te mają ogromne znaczenie dla dalszych losów badanych obiektów.

Celem niniejszego opracowania jest krytyczne omówienie stanu badań dendrochronologicznych w Polsce w szeroko pojętej ochronie zabytków, w oparciu o doświadczenia założonego przez autora Laboratorium Dendrochronologii Wydziału Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki Akademii Sztuk Pięknych w Warszawie. Przedstawiono specyfikę metod datowania obiektów zabytkowych archeologii klasycznej i podwodnej, sztuknictwa, architektury świeckiej i sakralnej, dzieł sztuki (podłoża obrazów, rzeźby), opraw zabytków piśmiennictwa, mebli i instrumentów muzycznych. Omówiono także specyficzne procedury oraz trudności w uzyskaniu wiarygodnych, obiektywnych wyników. Analiza przeprowadzona została w oparciu o przykłady datowania wybranych ważniejszych obiektów będących przedmiotem studiów autora oraz uzupełniona wykazem dotychczas datowanych obiektów wraz z uzyskanymi wynikami.

Praca zawiera również doświadczenia z wieloletniej współpracy z nauczycielem i „mistrzem” autora, którym jest prof. dr Dieter Eckstein z Instytutu Biologii Drewna Uniwersytetu w Hamburgu. Zabytki sztuknictwa badane były we współpracy z Centralnym Muzeum Morskim w Gdańsku, Muzeum Narodowym w Szczecinie oraz Muzeum Narodowym w Kopenhadze. Zagadnienie proveniencji drewna opracowywane było we współpracy z dr Nielsem Bonde z Muzeum Narodowego w Kopenhadze. Warte podkreślenia są także doświadczenia autora z udziału w ekspedycjach do Nepalu przeprowadzonych wspólnie z dr Burghartem Schmidtem

z Institut für Ur- und Frühgeschichte Uniwersytetu w Kolonii. Dendrochronologia jest dziedziną, w której ze względu na jej interdyscyplinarny charakter ścisła współpraca międzynarodowa oraz realizowanie wspólnych projektów badawczych nabierają szczególnego znaczenia.

### 3: BIOLOGICZNE PODSTAWY DENDROCHRONOLOGII

Przedmiotem analizy w dendrochronologii są przyrosty roczne drewna. Drzewa rosnące w strefie klimatu umiarkowanego wytwarzają każdego roku nową warstwę tkanki drzewnej. Przyrost drzew następuje w wyniku złożonego procesu podziału, wzrostu i różnicowania się komórek kambium. Odkładające się warstwy drewna widoczne są na przekroju poprzecznym w postaci charakterystycznego pierścienia nazywanego także słojem. Wszystkie słoje układają się koncentrycznie wokół rdzenia będącego osią fizjologiczną pnia drzewa. Proces odkładania drewna rozpoczyna się w warunkach klimatycznych panujących w Polsce w kwietniu lub w pierwszej połowie maja, w zależności od gatunku i trwa do września lub pierwszych dni października (Ermich 1959), po czym następuje okres zimowej przerwy wegetacyjnej. W następnym roku powstaje mniej lub bardziej wyraźnie odgraniczony kolejny słój. Drzewa ze strefy tropikalnej podlegają również cyklom aktywności kambialnej, ale strefy przyrostowe nie zawsze powstają w rocznym rytmie. Tylko niektóre gatunki wytwarzają wyraźne roczne pierścienie przyrostowe.

Struktura i szerokość rocznego przyrostu zależą od zespołu czynników, spośród których największe znaczenie mają czynniki klimatyczne. Szczególnie wyraźnie zaznacza się zależność od temperatury i opadów. Znaczący 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 słoików będących zapisem warunków wzrostu drzewa. Odczytanie tego zapisu pozwala określić, kiedy drzewo ścięto i w jakich warunkach ono rosło.

Budowa 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 oraz 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

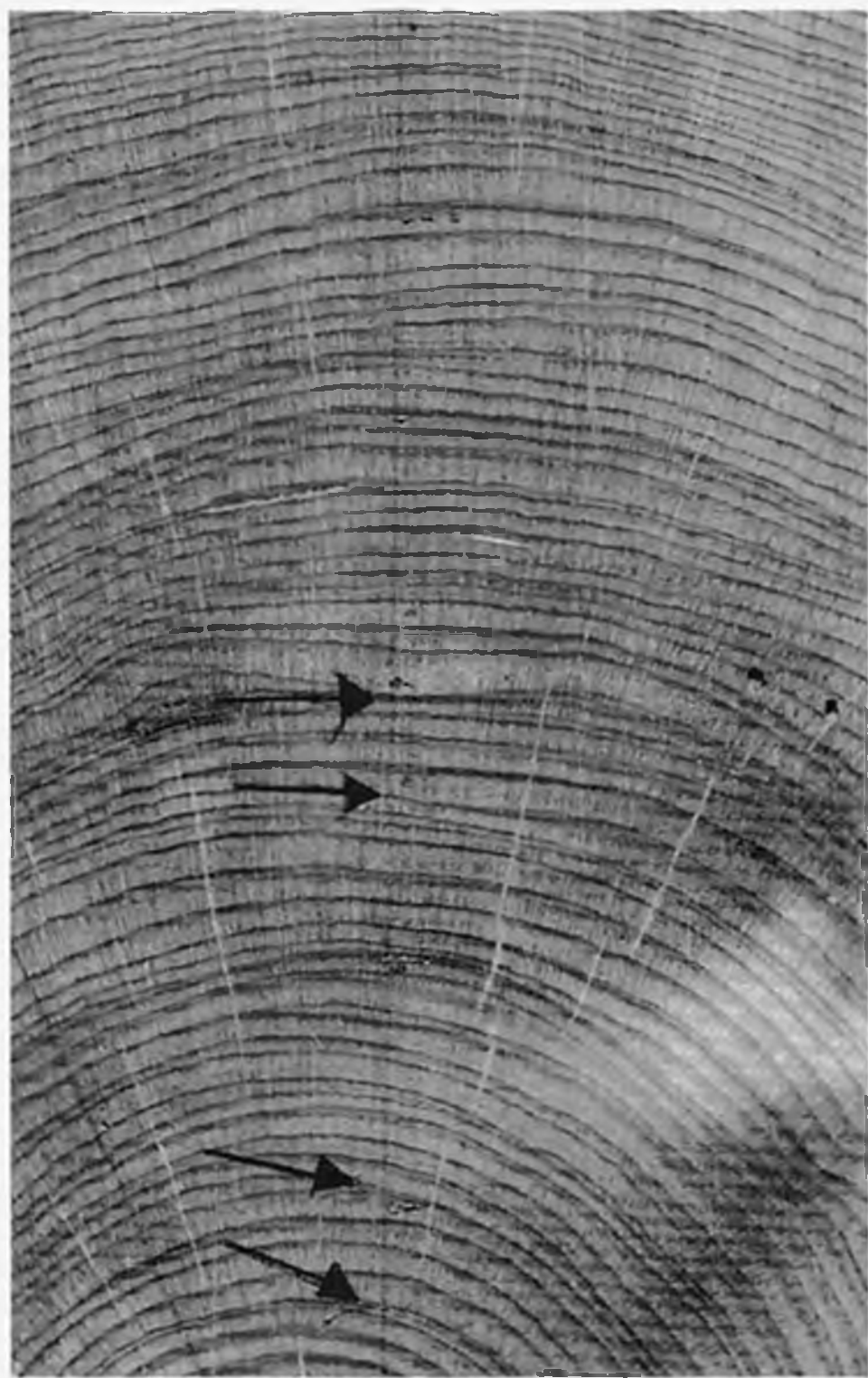
przez grubościennie komórki nadające drewnu dużą wytrzymałość mechaniczną. Słoje są z reguły dobrze widoczne i czytelne. Spośród wszystkich gatunków drewna użytkowego w Polsce najszerzej było stosowane drewno sosnowe. W korzystnych warunkach potrafi ono przetrwać nawet kilka tysięcy lat, zachowując przy 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 pierścień. Naczynia w drewnie późnym mają znacznie mniejsze rozmiary i nie można ich zobaczyć bez pomocy lupy. Do gatunków pierścieniowo-naczyniowych należą m.in. jesion i dąb. Drewno rozpierchło-naczyniowe ma naczynia rozmieszczone równomiernie wewnątrz przyrostu rocznego. Słoje są zwykle trudne do zaobserwowania, zwłaszcza w drewnie pochodzącym z wykopalisk archeologicznych. Spośród gatunków rozpierchło-naczyniowych największe znaczenie użytkowe miało drewno olchy jako materiał konstrukcyjny oraz drewno lipy jako materiał dla warsztatów artystycznych.

Naturalny rytm przyrostowy drzew może ulegać pewnym zakłóceniom i pod wpływem ekstremalnych warunków wzrostu w drewnie pojawiają się anomalie przyrostowe. Są one źródłem wielu problemów przy określaniu wieku drewna. Najważniejszymi anomaliami przyrostowymi z punktu widzenia dendrochronologii jako metody datowania są tzw. wypadające (brakujące) słoje oraz przyrosty podwójne. Z wypadającymi słojami mamy do czynienia, gdy drzewo podczas okresu wegetacyjnego wytworzyło nowy przyrost tylko na części obwodu lub nie wytworzyło go w ogóle. W pierwszym przypadku granice dwóch lub większej ilości słoików schodzą się tworząc charakterystyczny „klin” (rys. 1). W skrajnie złych warunkach, np. długotrwałego stresu wodnego, brak przyrostów może wystąpić przez kilka następujących po sobie lat. Najbardziej narażone na wystąpienie tej anomalii jest drewno pochodzące z dolnej części pnia. Podwójne przyrosty są z kolei rezultatem powstania podczas okresu wegetacyjnego dodatkowej granicy przyrostu. Kaennel i Schweingruber (1995) wyróżniają fałszywe słoje będące nie do odróżnienia od naturalnej granicy przyrostowej oraz wahania gęstości drewna wewnątrz słoja w formie stycznego pasa komórek o innym kształcie, wielkości i grubości ścian komórkowych. Wahania gęstości są możliwe do rozpoznania pod mikroskopem dzięki niewyraźnej i mało kontrastowej granicy tej strefy. Podwójny przyrost może być wynikiem wyjątkowo niekorzystnych warunków klimatycznych

imitujących koniec okresu wegetacyjnego lub rezultatem działania czynników powodujących utratę części aparatu asymilacyjnego drzewa np. ataku owadów czy gwałtownych przymrozków wiosennych. Powrót normalnych warunków przywraca wytwarzanie normalnej tkanki drzewnej. Skutki obydwu anomalii są możliwe do wyeliminowania w przypadku dysponowania większą liczbą próbek drewna poprzez porównywanie i synchronizację fragmentów sekwencji przyrostowych.

Oprócz anomalii przyrostowych na strukturę przyrostów rocznych mogą wpłynąć liczne nieprawidłowości budowy anatomicznej drewna. Należą do nich m.in. drobne naczynia drewna wczesnego lub luki w pierścieniu naczyń u gatunków pierścieniowo-naczyniowych czy ekstremalnie wąskie lub szerokie drewno późne u gatunków iglastych. Szczegółowe omówienie zakłóceń rytmu przyrostowego przedstawił m.in. Schweingruber (1993a), a Leuschner i Schweingruber (1996) proponowali klasyfikację możliwych odstępstw od normalnej budowy anatomicznej dla drewna dębu i sosny. Rejestracja tych nieregularności powodowanych przez nietypowe zjawiska klimatyczne, uszkodzenia kambium lub owady powinna pomóc w uzyskaniu licznych cennych klimatycznych i ekofizjologicznych informacji.



Rys. 1. Zanikające przyrosty roczne w drewnie jałowca wirginijskiego (*Juniperus virginiana* L.)

Owady atakujące koronę drzewa powodują także cykliczne powstawanie charakterystycznych, wąskich przyrostów rocznych. Sprawcą tego rodzaju zakłóceń w normalnym rytmie przyrostowym dębów może być chrabąszcz majowy (*Melolontha melolontha* i *Melolontha hippocastani*). Powodował on defoliację koron drzew całych kompleksów leśnych. Czteroletnia gradacja chrabąszczy majowych zaznaczyła się wyraźnie w licznych sekwencjach przyrostowych dębów w Danii i północnych Niemczech (Christensen 1987). Podobne czteroletnie cykle gwałtownego spadku szerokości przyrostów rocznych były obserwowane przez autora w próbkach drewna pobranych z dębów rosnących w okolicach Koszalina (Ważny 1990), średniowiecznym drewnie z Lublina,



a także w materiale archeologicznym pochodzącym z Biskupina i wydatowanym na VIII w. p.n.e. (Ważny 1994).

Innego rodzaju zakłócenia przyrostów o cyklicznym charakterze mogą być spowodowane przez człowieka poprzez regularnie powtarzane zabiegi, których efektem była redukcja aparatu asymilacyjnego drzewa. Rezultatem może być nawet nieprzydatność takiego drewna do analizy dendrochronologicznej. Problem ten wystąpił m.in. podczas badań drewna w Anglii, gdzie drewno budowlane często pochodziło z lasów, w które już od XII wieku były zagospodarowane (Hibberd i in. 1993).

Drzewa należące do jednego gatunku reagują podobnie na warunki otoczenia. Według modelu Cooka (1985, 1990) szerokości przyrostów rocznych  $R$  drzew z jednego zbiorowiska leśnego kształtuje pięć podstawowych części składowych:

$$R_t = A_t + C_t + dD1_t + dD2_t + E_t$$

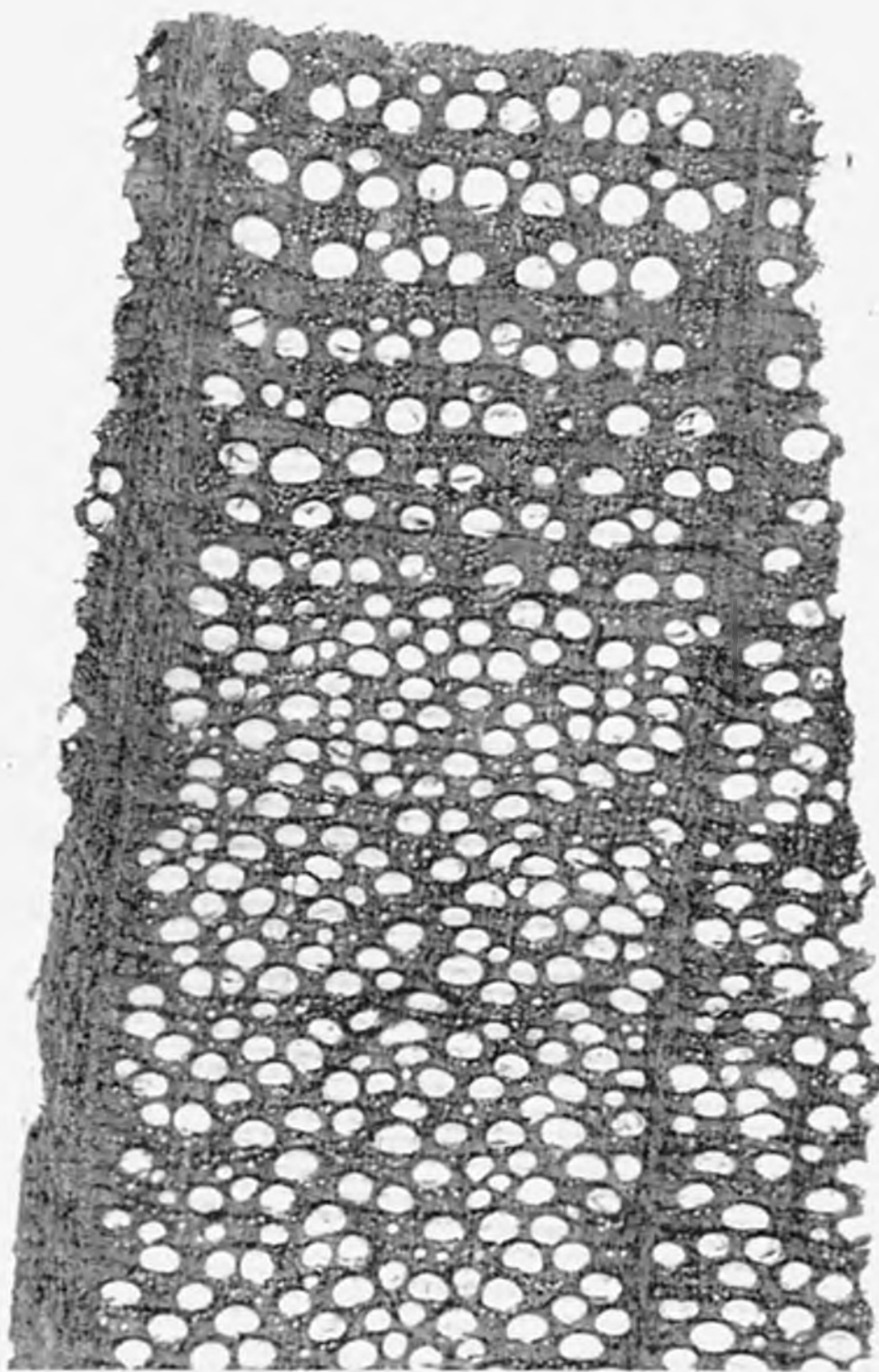
przy czym  $A$  — jest to trend wiekowy znajdujący odbicie w szerokości słoików i wynikający z coraz większej średnicy pnia drzewa,  $C$  jest składnikiem klimatycznym,  $D1$  — impulsem zakłócającym przyrosty pojedynczych drzew zbiorowiska leśnego (np. mechaniczne uszkodzenie pnia),  $D2$  — impulsem zakłócającym przyrosty drzew należących do całego zbiorowiska leśnego (np. atak owadów, zmiana poziomu wód gruntowych),  $E$  — składnikiem niewiadomym (niewyjaśnionym).  $t$  — oznacza czas,  $d$  jest binarnym wskaźnikiem obecności ( $d = 1$ ) lub braku ( $d = 0$ ) danego składnika. Składnik  $D2$  jest bardzo istotny dla dendroekologii, natomiast z punktu widzenia dendrochronologii jako metody datowania wszystkie składniki poza  $C$  są składnikami zakłócającymi i obniżającymi przydatność drewna do badań. Przy przewadze składników zakłócających ustalenie wieku drewna staje się niemożliwe. Prawdopodobieństwo występowania anomalii przyrostowych oraz intensywność działania czynników zakłócających normalny rytm przyrostowy są zależne od gatunku drewna. Różna jest podatność poszczególnych gatunków na ich wpływ i w związku z tym różna przydatność dla dendrochronologii.

Podstawowym gatunkiem drewna w europejskiej, w tym i w polskiej dendrochronologii jest dąb (*Quercus sp.*). Ze względu na wysoką wytrzymałość oraz dużą naturalną trwałość, w konstrukcjach budowlanych najczęściej stosowano właśnie drewno dębowe — zarówno w okresie prehistorycznym, jak i nowożytnym. Dzięki budowie pierścieniowo-naczyniowej oraz bardzo szerokim, widocznym na wszystkich przekrojach promieniom drzewnym, gatunek ten jest stosunkowo łatwy do

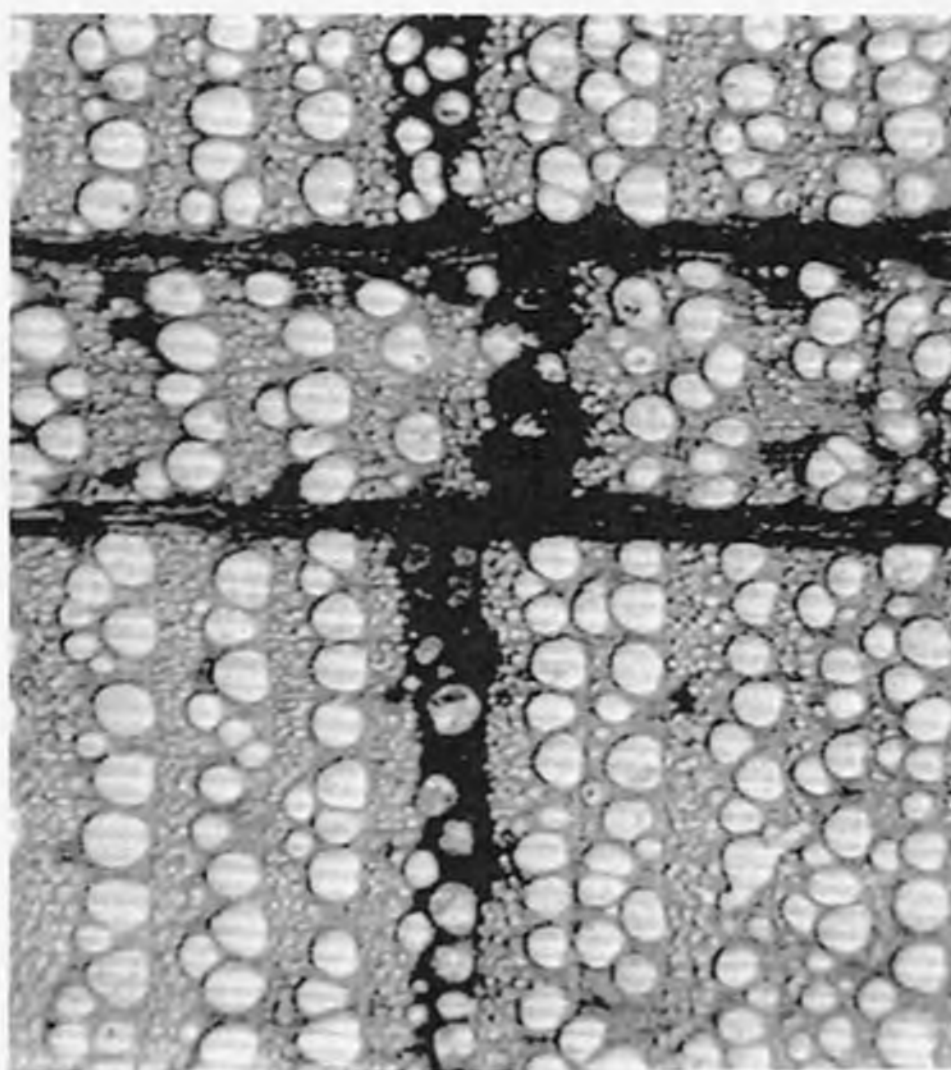
rozpoznania w każdych warunkach. W wodzie lub w wilgotnym gruncie twardzielowe drewno dębowe nabiera charakterystycznego ciemnego, a czasami wręcz czarnego zabarwienia. Jaśniejszy kolor zachowuje strefa bielu, która pomimo niskiej naturalnej trwałości pozostaje często w całości zachowana. Obecność warstwy bielu decyduje o dokładności datowania drewna dębowego.

Dęby rosną na ogół bardzo regularnie i liczba słoików zawsze odpowiada liczbie lat. Powstające na wiosnę duże naczynia drewna wczesnego szybko tracą zdolność przewodzenia wody i każdego roku musi powstać nowa warstwa naczyń, aby zapewnić przewodzenie wody do korony drzewa. Analizę przyrostów rocznych drewna dębowego może utrudnić warstwa drewna z ekstremalnie wąskimi słoikami, które praktycznie pozbawione są drewna późnego (rys. 2). Granica przyrostów może stać się wówczas całkowicie nieczytelna. Należy zwrócić uwagę także na występowanie przesunięć słoików po obu stronach szerokich promieni drzewnych (rys. 3). Przesunięcie może wynosić nawet do dwóch lat i stać się przyczyną błędów pomiarowych.

Drewno rosnących w Polsce gatunków dębu — dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) i dębu bezszypułkowego (*Quercus petraea* Liebl.) — nie jest rozróżniane ze względu na prawie identyczną budowę



Rys. 2. Silna redukcja przyrostów radialnych dębu (*Quercus* sp.) z Pruszcza Gdańskiego w latach 1320–1340 i następująca po niej regeneracja. Granice niektórych słoików są niemożliwe do rozróżnienia



Rys. 3. Przesunięcie granicy przyrostów rocznych o jeden rok po obu stronach szerokiego promienia drzewnego w drewnie dębu (*Quercus* sp.)

anatomiczną. Drobne różnice w rozmieszczeniu naczyń drewna wczesnego nie są wystarczające do identyfikacji gatunku dębu. Trzeci występujący w Polsce gatunek — dąb omszony (*Quercus pubescens* Willd.) rośnie tylko na jednym stanowisku i nie ma znaczenia gospodarczego. Liczne chronologie porównawcze opracowane dla drewna dębu umożliwiają datowanie drewna tego gatunku na większej części kontynentu europejskiego. Udział wydatowanych próbek w materiale badawczym jest zwykle wysoki i przekracza 80% dla większości obiektów.

Z pozostałych rodzimych gatunków liściastych pierścieniowo-naczyniowych w materiale historycznym z terenów Polski występują: jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior* L.) oraz wiąz (*Ulmus* sp.). Podobnie jak dąb mają one bardzo wyraźne i powstające każdego roku przyrosty roczne. Drewno jesionu i wiazu było używane sporadycznie w konstrukcjach budowlanych; ich stosowanie wiąże się prawdopodobnie z okresami niedoboru drewna dębowego. Podobne obserwacje poczynili Wrobel i in. (1993) analizując substancję zabytkową w Lubece. Niewielka ilość materiału porównawczego wyklucza na razie możliwość opracowania chronologii porównawczych dla tych gatunków. Datowanie drewna jest czasami możliwe przy zastosowaniu chronologii dębu, lecz udział próbek, dla których uzyskano pozytywne rezultaty jest niewielki.

Często spotykanym gatunkiem drewna w materiale archeologicznym z wilgotnych stanowisk w północnej Polsce jest olcha. Obydwa rosnące w Polsce gatunki — olcha czarna (*Alnus glutinosa* Gaertn.) oraz olcha szara (*Alnus incana* Willd.) — masowo występują w dolinach rzek oraz na terenach zalewowych i były stosowane jako materiał konstrukcyjny na równi z drewnem dębowym. W składzie gatunkowym konstrukcji ze wczesnośredniowiecznego Gdańska stwierdzono np. 19% udział drewna olchy (Barnycz-Gupieniec 1963). W wodzie drewno olchy wykazuje dużą naturalną trwałość, dzięki czemu jest w stanie przetrwać w dobrym stanie przez setki lat. Występowanie olchy w dużych ilościach w niektórych poziomach konstrukcyjnych wiąże się z brakiem drewna dębowego, które olcha zastępowała i w związku z tym olcha może być wówczas jedynym wyznacznikiem chronologicznym. Bardzo istotny staje się w takich przypadkach problem datowania drewna olchy. Badania dendrochronologiczne olchy były dotychczas kilkakrotnie podejmowane (Huber i Merz 1962, Elling 1966, Groves i Hillam 1988). Relatywnie krótki okres życia olchy rzadko przekraczający 60 lat uniemożliwia skonstruowanie wieloletniej chronologii i nakazuje poszukiwanie innych rozwiązań, z których najlepszym wydaje się być porównywanie z chronologiami innych gatunków drewna.



Dotychczasowe wyniki badań wskazują na możliwość korelacji drewna olchy z chronologiami drewna dębu (Groves i Hillam 1988), jednak nie uzyskano jeszcze absolutnych datowań historycznego materiału za wyjątkiem pali z osady Hornstaad zbudowanej pod koniec III tysiąclecia p.n.e. na brzegu Jeziora Bodeńskiego (Billamboz 1992). Podstawową trudnością są liczne wypadające słoje oraz bardzo nieregularny wzrost, co może być wynikiem zarówno ekstremalnych warunków środowiskowych na terenach okresowo zalewanych, jak i rezultatem konkurencji pomiędzy drzewami. Spośród przebadanych przez autora ponad 100 próbek drewna olchy reprezentujących okres średniowieczny z Gdańska i Szczecina, sporadycznie udawało się zsynchronizować pojedyncze sekwencje przyrostowe. Tylko w jednym przypadku (drewno z Podzamcza w Szczecinie) relatywnie wydatowano pięć próbek drewna olchy i zestawiono chronologię obejmującą 91 lat. Próba absolutnego datowania tej chronologii nie przyniosła jednak pozytywnego rezultatu. Badania drewna olchy i próby jego datowania będą kontynuowane na wyselekcjonowanych próbkach zawierających ponad 50 regularnych przyrostów rocznych. Największą szansę uniknięcia problemów z brakującymi przyrostami daje drewno pochodzące z dominujących drzew (Elling 1966) i w tym kierunku powinna przebiegać selekcja materiału badawczego.

Podobne problemy występują podczas badań dendrochronologicznych drewna lipy (*Tilia sp.*) oraz topoli (*Populus sp.*) — gatunków bardzo ważnych ze względu na występowanie w dziełach sztuki. Lipy osiągają wprawdzie wiek przekraczający 200 lat, co jest okolicznością sprzyjającą analizie dendrochronologicznej, ale drewno zastosowane w dziełach sztuki pochodziło najczęściej z szybko rosnących drzew i liczba zachowanych przyrostów rocznych jest znacznie mniejsza. Strukturę przyrostów rocznych charakteryzuje bardzo duża nieregularność oraz często występujące anomalie przyrostowe. W 1997 r. przeprowadzono badania zabytkowego drzewostanu lipowego parku w Wolborzu, których celem było m.in. określenie wieku drzewostanu oraz rozpoznanie przydatności lipy w dendrochronologii (Ważny 1997). Podczas porównywania serii przyrostowych 200-letnich lip podstawową trudność sprawiała synchronizacja krzywych przyrostowych reprezentujących to samo drzewo. Próba opracowania chronologii zakończyła się niepowodzeniem ze względu na zbyt indywidualne reakcje drzew pomimo tego, że tworzyły one prawie jednowiekowy drzewostan. Opracowanie chronologii lipy wydaje się być mało prawdopodobne, ale możliwe może okazać się datowanie drewna lipy metodą synchronizacji międzygatunkowej. Problem ten wymaga dalszego opracowania.

Niewielką nadzieję rokują próby dendrochronologicznego datowania drewna topoli (*Populus sp.*). Drewno tego gatunku cechuje bardzo szybki przyrost na grubość i wysokość co powoduje, że przyrosty roczne często osiągają szerokość przekraczającą 15 mm. Z badań Kleina i Bauch (1985) wynika, że deski topolowe używane w malarstwie rzadko mają ponad 30 przyrostów. Podobne wyniki uzyskałem badając podłoża obrazów reprezentujących malarstwo weneckie. Krótkie serie przyrostowe, jakie są możliwe do uzyskania, poddają w wątpliwość przydatność tego gatunku w dendrochronologii.

Spośród europejskich gatunków rozpięchło-naczyniowych największą przydatność dla dendrochronologii wykazuje drewno buka pospolitego (*Fagus silvatica* L.). Wprawdzie struktura przyrostów rocznych może być obarczona wadami typowymi dla tej grupy w postaci brakujących słoików czy trudności w identyfikacji granicy niektórych przyrostów, lecz wady te występują znacznie rzadziej niż w drewnie omówionych wcześniej gatunków. Na przekroju poprzecznym słoiki są dość wyraźnie zaznaczone, a ich ilość na jednej próbce przekracza nieraz 200. Drewno bukowe było dość rzadko wykorzystywane jako materiał konstrukcyjny, ale znajdowało zastosowanie w wyrobach o różnym przeznaczeniu i używane było m.in. jako klepki beczek oraz poszycia łodzi, drewniane okładziny rękopisów i starodruków czy też podłoża obrazów.

Datowanie drewna bukowego jest możliwe metodą korelacji z chronologiami drewna dębu. Nie dotyczy to jednak pojedynczych sekwencji przyrostowych, lecz zestawionych z nich średnich krzywych przyrostowych. Posługując się tą metodą Hollstein (1973) określił wiek studni z Römerberg we Frankfurcie nad Menem, a Klein i Bauch (1983) wydatowali serię obrazów Cranacha powstałych na deskach bukowych. Powoli rosnąca ilość absolutnie datowanych serii przyrostowych drewna tego gatunku stwarza nadzieję na opracowanie pierwszych wieloletnich chronologii. Najdalej zaawansowane są prace prowadzone przez Uniwersytet w Sheffield. Opracowywana tam chronologia buka Anglii i Walii obejmuje już prawie 500 lat i pozwoliła m.in. na wydatowanie klepek poszycia średniowiecznej łodzi z Magor Pill (Tyers 1998). W Polsce również prowadzone są przez autora pomiary przyrostów rocznych drewna bukowego sporadycznie pojawiającego się w materiale archeologicznym. Z zebranych dotychczas doświadczeń wynika, że datowanie drewna konstrukcyjnego oraz klepek i beczek bukowych będzie możliwe po zgromadzeniu bogatszego materiału porównawczego. Drewno to pochodzi z reguły z dość regularnie rosnących drzew dominujących. Inną strukturę przyrostów rocznych obserwowano natomiast w materiale archeologicznym zachowanym w postaci



węgli drzewnych. Drewno pochodziło w tym przypadku zwykle ze zdominowanych przez większe drzewa odrostów oraz gałęzi i pomimo licznych zachowanych słoików miało ograniczoną przydatność do analizy dendrochronologicznej.

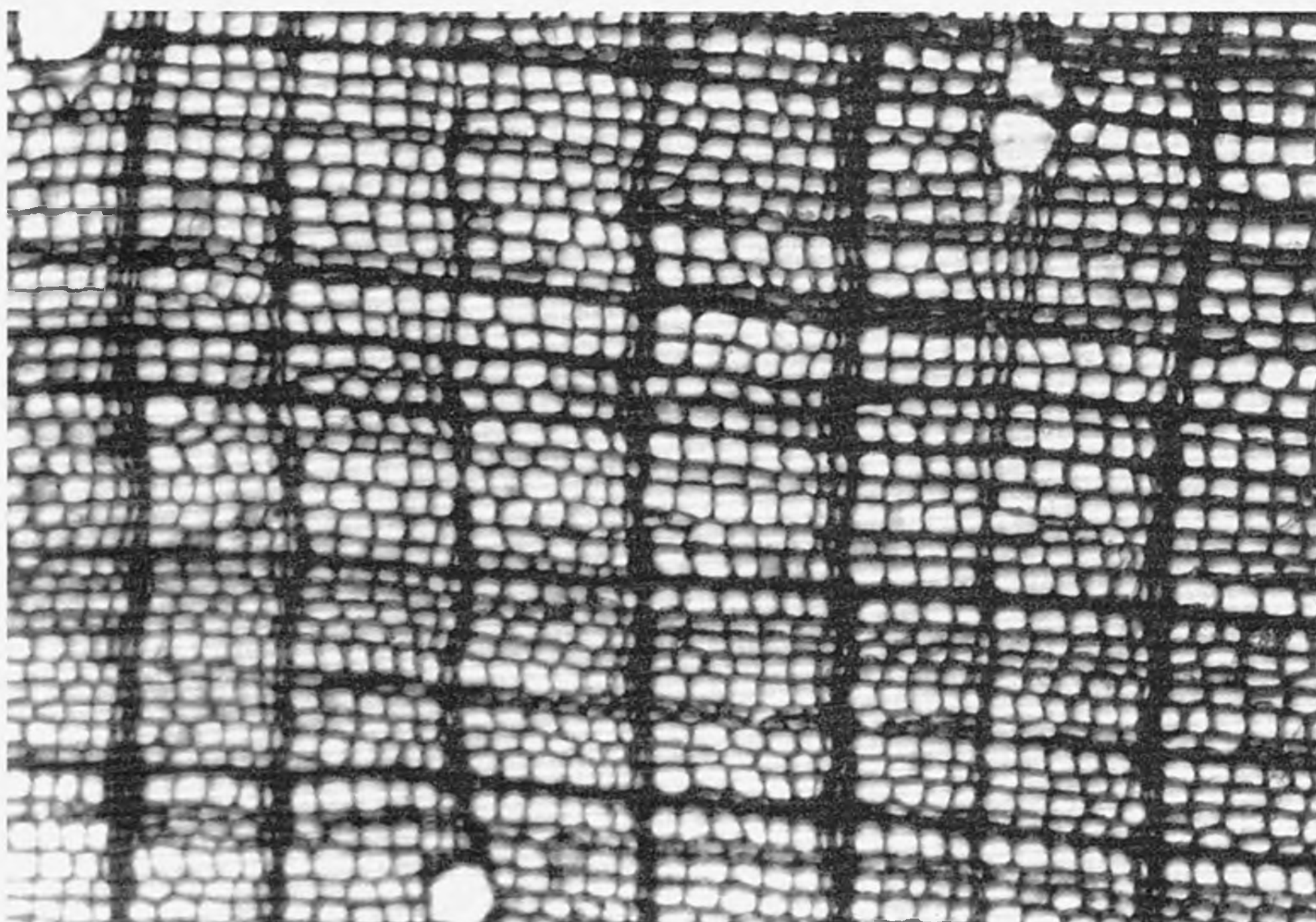
Do najlepiej opracowanych w dendrochronologii gatunków drewna należą oprócz dębu gatunki iglaste, a zwłaszcza sosna, jodła i świerk. Wyraźne i łatwe do pomiaru przyrosty roczne, stosowanie drewna iglastego jako budulca we wszystkich epokach historycznych oraz rosnące znaczenie zwłaszcza drewna sosny jako nośnika informacji klimatycznych i ekologicznych doprowadziły do opracowania licznych wieloletnich chronologii. W odróżnieniu jednak od dębu, którego przydatność w dendrochronologii jest nie do podważenia na całym obszarze występowania tego gatunku, przydatność gatunków iglastych jest bardzo zróżnicowana pod względem terytorialnym.

Z punktu widzenia klasycznej dendrochronologii, której celem jest datowanie drewna, najlepszym gatunkiem iglastym jest jodła pospolita (*Abies alba* Mill.). Drzewa należące do tego gatunku reagują wyjątkowo zgodnie na warunki otoczenia i w związku z tym przebieg krzywych przyrostowych drewna jodły jest bardzo podobny. Umożliwia to porównywanie i synchronizację nawet krótkich serii przyrostowych. Problemy z anomaliami przyrostowymi rejestrowane były dość rzadko. Jodła pospolita występuje przeważnie na wyżynnych i górskich terenach Europy Środkowej oraz Południowej. W latach 60. w południowych Niemczech opracowana została pierwsza wieloletnia chronologia jodły sięgająca do 820 r. (Becker i Giertz-Siebenlist 1970). Chronologia ta ma ogromny zasięg — wykazuje wysoką zgodność z przyrostami jodeł zarówno w Apeninach czy Wogezach, jak i w Beskidach (Becker 1991). Zastosowano ją m.in. do datowania zabytkowych budynków oraz drewna archeologicznego w Czechach i Morawach (J. Kyncl i T. Kyncl 1996). Obecnie południowo-niemiecką chronologię jodły uzupełniają liczne regionalne chronologie, m.in. Słowenii (Levanic i Cufar 1995), Szwajcarii (Hurni i Orcel 1996) oraz pd. Polski (Feliśnik 1990, Alexandrowicz i in. 1997, Ważny i Kosiorek 1999). Udział wydатовanych próbek sięga w Szwajcarii do 86% (Hurni i in. 1991), podobne rezultaty osiągnięto podczas badań ikon karpackich z południowej Polski.

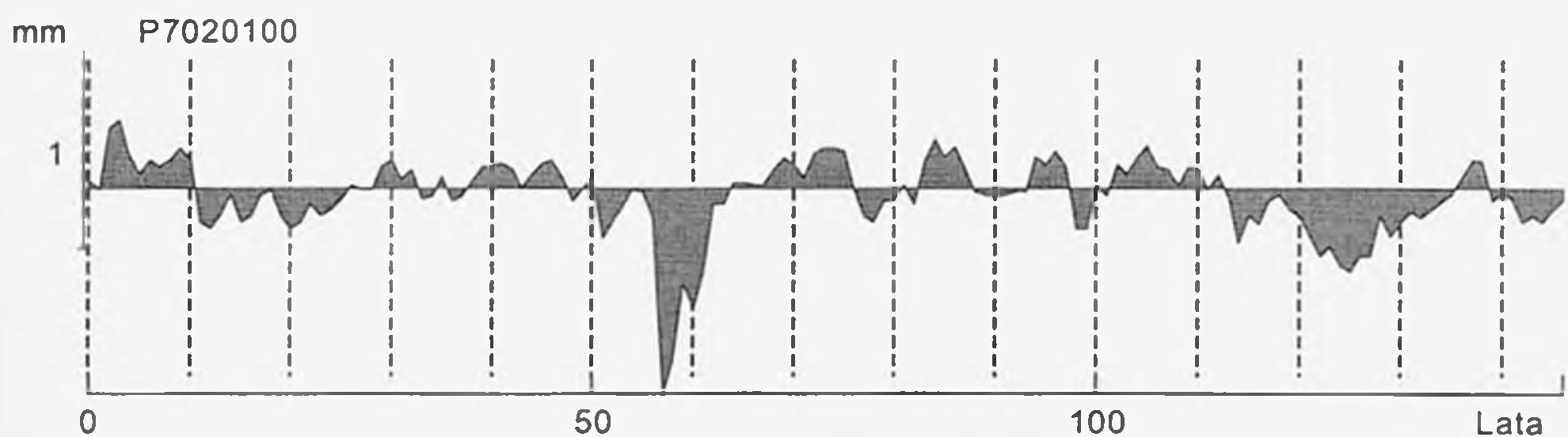
Największy zasięg naturalnego występowania w Europie ma spośród wszystkich gatunków sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.). Występowanie sosny zwyczajnej charakteryzuje bardzo szeroka amplituda ekologiczna i w Polsce czynnikiem limitującym jest praktycznie wysokość n.p.m. W dendrochronologii sosna wykazała

największą przydatność na Płw. Skandynawskim, a więc na terenach zbliżonych do północnej granicy lasów. Czynnikiem limitującym przyrosty roczne sosny na tym obszarze są temperatury okresu wegetacyjnego i w związku z tym zarówno rosnące drzewa, jak i drewno historyczne oraz subfosylne są znakomitym materiałem do rekonstrukcji klimatu w przeszłości (Briffa i in. 1990, Zetterberg i in. 1994, Eronen i Zetterberg 1996). Drewno skandynawskich sosen charakteryzują wąskie i równomiernie rozmieszczone słoje, co pozwoliło na opracowanie bogatego zestawu chronologii do datowania tego podstawowego na tamtym obszarze materiału budowlanego (Bartholin 1987).

Poważne problemy z datowaniem sosny występują natomiast na obszarze Niżu Europejskiego, w tym w Polsce. Przyrosty roczne drzew cechuje małe podobieństwo, co świadczy o dużym indywidualizmie reakcji drzew na warunki otoczenia oraz ograniczony przy tym wpływ czynników klimatycznych. Zestawienie wieloletniej chronologii sosny jest w tych warunkach wyjątkowo trudnym zadaniem, dlatego dla terenu Polski powstała dotychczas tylko jedna odpowiadająca tym warunkom chronologia POLSKANE opracowana przez Zielskiego (1990, 1992, 1997) i obejmująca lata 1168–1994 AD. Odbija się to niekorzystnie na uzyskiwa-



**Rys. 4.** Przyrosty roczne drewna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z drewnem późnym zredukowanym do szerokości jednej do trzech komórek. Osłabiona aktywność kambialna w drugiej części sezonu wegetacyjnego



**Rys. 5.** Wykres przyrostowy drewna sosny stanowiącego podłoże XVII-wiecznego kasetonu z kościoła Św. Jana Chrzciciela w Lubawie. Powtarzający się okres znacznej redukcji szerokości przyrostów, uniemożliwiający datowanie drewna pomimo 146 zachowanych słoje

nych rezultatach — w analizowanym przez autora w latach 1995–98 materiale archeologicznym z terenów Pomorza (głównie z Gdańska i Elbląga) udział wydutowanych próbek drewna sosny wynosił tylko około 30%. Szczególnie trudnym okresem, dla którego jedynie sporadycznie udaje się określić wiek drewna, są lata 1500–1650. Krzywe przyrostowe obiektów z drewna sosny powstałych w XVII w. charakteryzują okresy długotrwałych, głębokich załamań, podczas których przyrosty drzew były przez kilka lub kilkanaście lat zredukowane do szerokości poniżej 0,5 mm (rys. 4 i 5). Tego rodzaju okresy powtarzają się często w materiale pochodzącym z ponad 100-letnich drzew i bardzo ograniczają przydatność drewna do badań, gdyż słoje powstające po gwałtownym szoku nie odzwierciedlają rytmu przyrostowego normalnie rosnących drzew. Bardzo prawdopodobne jest również wystąpienie wypadających słoje. Wprawdzie podczas analizy fragmenty krzywych z głęboką depresją przyrostową mogą zostać wyeliminowane, ale pozostałe fragmenty będą zbyt krótkie, aby uzyskać datowanie. Przyczynę okresów załamań przyrostów sosen w omawianym okresie należy zapewne upatrywać w kulminacji „małej epoki lodowej” z ekstremalnie niskimi temperaturami miesięcy zimowych. Diagramy relacji pomiędzy przyrostami radialnymi drzew a wybranymi czynnikami klimatycznymi zestawione przez Zielskiego (1997) dla sosen z Polski oraz przez von Lührte (1991) dla sosen z Berlina wyraźnie wskazują na duży wpływ temperatur miesięcy zimowych na przyrosty z następującego po nich okresu wegetacyjnego. Również Oleksyn i in. (1993) zwrócili uwagę na istotną korelację przyrostów sosny zwyczajnej z temperaturami zimowymi w Polsce. Problemy z określaniem wieku drewna sosny z XVII w. dotyczą nie tylko Polski — także w Szwecji tylko nieliczne próbki pochodzące z Gotlandii oraz z okolic Sztokholmu z tego okresu pozwalają się wydutować (Bartholin 1998, inf. ustna).

Trzecim podstawowym w Europie Środkowej gatunkiem drewna jest świerk pospolity (*Picea abies* Karst.). Drewno świerkowe uchodzi za dość trudny materiał



do analizy dendrochronologicznej, pomimo tego w krajach alpejskich zestawiono liczne chronologie dla potrzeb datowania. W Polsce opracowano tylko chronologię świerka na podstawie rosnących drzew sięgającą do 1766 r. (Feliksik 1972). Podejmowane przez autora próby określenia wieku obrazów reprezentujących późnogotyckie malarstwo śląskie i malowanych na deskach świerkowych nie przyniosły rezultatów. Udało się natomiast datowanie drewna świerkowego z instrumentów muzycznych, co przedstawione jest w rozdziale 13. Drewno użyte w obrazach charakteryzowały szerokie i nieregularne pierścienie przyrostowe, podczas gdy do budowy instrumentów muzycznych zastosowane było starannie dobrane drewno z powoli i regularnie rosnących drzew. Prawdopodobieństwo uzyskania pozytywnego wyniku datowania dendrochronologicznego jest więc ściśle związane z jakością drewna.

Przydatność drewna modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) do badań dendrochronologicznych w Polsce jest trudna do oceny ze względu na niewystarczające doświadczenie z pracy nad obiektami z tego gatunku drewna. Drewno modrzewiowe występuje rzadko w obiektach zabytkowych. Obecne w potocznym języku modrzewiowe dworki i kościoły budowane były zwykle z drewna innego iglastego gatunku. Chronologie modrzewia opracowano jedynie w krajach alpejskich, udział wydatowanych próbek jest jednak znacznie niższy od pozostałych gatunków iglastych.

## 4: METODYCZNE PODSTAWY DATOWANIA

Dendrochronologiczna metoda datowania polega na przyporządkowaniu przyrostom rocznym, stanowiącym w drewnie zapis warunków życia drzewa, odpowiadających im lat kalendarzowych ich powstania. Cel ten osiąga się, porównując sekwencje przyrostów rocznych przedstawionych w postaci wykresów przyrostowych ze skalami (wzorcami) dendrochronologicznymi nazywanymi chronologiami standardowymi. Przy zachowaniu pewnego minimum długości wykresu przyrostowego, może on tylko w jednym położeniu wykazywać duże podobieństwo do skali. Znalezienie takiego położenia nazywanego położeniem synchronicznym jest warunkiem określenia wieku drewna.

Do badań dendrochronologicznych kwalifikują się próbki zawierające przynajmniej 50 przyrostów rocznych. Jedynie w przypadku drewna dębowego można analizować próbki mające ponad 30 słoików. Prawdopodobieństwo synchronizacji rośnie wraz z długością porównywanych sekwencji, należy więc przy pobieraniu próbek dążyć do uzyskania maksymalnej liczby dostępnych przyrostów rocznych.

Przedmiotem analizy są najczęściej szerokości przyrostów rocznych drewna pomierzone z dokładnością 0,1 lub 0,01 mm. Warunkiem przystąpienia do pomiarów są czytelne i wyraźnie rozpoznawalne granice wszystkich słoików. Pominięcie chociaż jednego przyrostu lub zarejestrowanie nieistniejącego słoika oznacza, że powstaje sztuczna sekwencja przyrostowa i tylko jej fragment może pasować do wzorca. Obniża to znacznie szansę wydatowania drewna. Należy w związku z tym badaną próbkę bardzo starannie przygotować do pomiaru i wyznaczyć promień (ścieżkę pomiarową), wzdłuż którego będą mierzone szerokości słoików.

Metoda pobrania i przygotowania próbek do badań oraz wybór techniki pomiaru zależą od typu obiektu, dostępu do drewna, stanu zachowania oraz przynależności gatunkowej drewna. Ze względu na specyfikę poszczególnych typów obiektów zabytkowych i konieczność indywidualnego podejścia w każdym przypadku, metody oraz możliwości pobierania próbek będą omówione oddzielnie dla każdego typu. Uogólnić tylko można, że wskazane jest wybieranie do analizy drewna

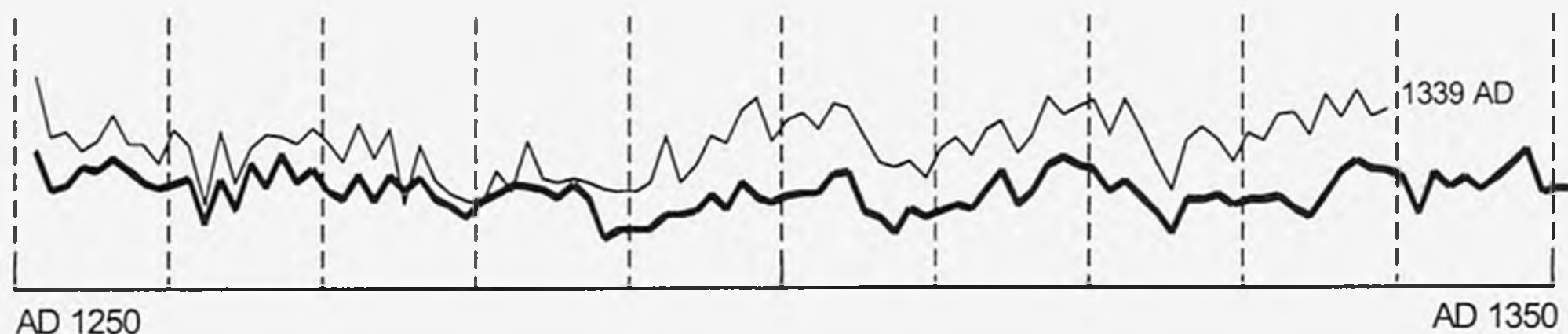


pozbawionego wad, o regularnym i nie zakłóconym przebiegu przyrostów rocznych. Dla gatunków drewna z możliwością wystąpienia podwójnych lub brakujących słoików korzystny jest pomiar dwóch przeciwległych promieni. Umożliwi to ujawnienie i wyeliminowanie tych zakłóceń przyrostów. Wskazane jest oddzielne zanotowanie każdej zaobserwowanej w trakcie pomiarów anomalii przyrostowej. Jest ona zapisanym przez drzewo przekazem o ważnym wydarzeniu w życiu drzewa, np. o gwałtownych przymrozkach wiosennych. Zestawienie tych informacji może posłużyć do rekonstrukcji zmian środowiskowych.

Pomiar szerokości przyrostów rocznych wykonuje się na specjalnym aparacie pomiarowym połączonym z komputerem. Składa się on z mikroskopu stereoskopowego wyposażonego w okular z pajęczą nitką oraz przesuwne stolika. Stolik z umieszczoną na nim próbką ustawiany jest w położeniu, w którym nitka okularu mikroskopu pokrywa się z granicą słoika i przesuwany do granicy następnego przyrostu. Długość odcinka, o który przesunięty został stolik, jest rejestrowana przez komputer. Pomiar oraz analiza szerokości przyrostów rocznych wymagają specjalistycznego oprogramowania. Dokładność pomiaru aktualnie produkowanych aparatów wynosi 0,01 lub 0,001 mm. Do datowania drewna wystarczająca jest dokładność 0,01 mm. W szczególnych przypadkach pomiary wykonywane są za pomocą lupy pomiarowej z dokładnością 0,1 mm.

Miejsca, w których słoje uległy daleko posuniętemu zniekształceniu, nie powinny być mierzone, wystarczające jest zanotowanie tylko liczby istniejących przyrostów i uwzględnienie tej informacji podczas interpretacji wyników. Zniekształcenia występują najczęściej w przyobwodowej części drewna. Nie powinno się również wykonywać pomiarów wątpliwych przyrostów.

Wyniki pomiarów szerokości słoików analizowane są w postaci wykresów przyrostowych obrazujących dynamikę przyrostów pojedynczego drzewa. Wykresy kreśli się w skali półlogarytmicznej w celu uwypuklenia lat niekorzystnych w rozwoju



Rys. 6. Synchronizacja krzywej przyrostowej badanej próbki drewna z chronologią (linia pogrubiona). Najmłodszy zachowany przyrost powstał w 1339 r.

drzewa i zmniejszenia wpływu lat z gwałtownym wzrostem szerokości przyrostów, który powodowany był zwykle przez czynniki nie mające związku z warunkami klimatycznymi (np. zabiegi pielęgnacyjne w lesie) lub był wynikiem regeneracji drzewa po stresie. Wykresy porównywane są pomiędzy sobą na stole podświetlanym w celu znalezienia synchronicznego położenia krzywych, tzn. położenia, w którym mają one zbliżony przebieg i częściowo pokrywają się (rys. 6). Należy przy tym podkreślić, że wykresy obrazujące przyrosty różnych drzew nigdy nie pokrywają się dokładnie i nawet pomiędzy różnymi promieniami z jednego drzewa występują różnice przebiegu krzywych przyrostowych.

Korelację wykresów znacznie ułatwia i przyspiesza zastosowanie komputera odnajdującego synchroniczne położenie krzywych i podającego wyniki obliczeń statystycznych zgodności ich przebiegu. Wyniki podawane przez komputer powinny być traktowane jednak tylko jako wskazówki i za każdym razem porównywane oraz weryfikowane na podświetlanym stole. Nawet najlepsze oprogramowanie nie jest w stanie zastąpić rozdzielczości oka ludzkiego połączonej ze zdolnością analizowania informacji wynikających z przebiegu wykresów przez doświadczonego dendrochronologa.

Zdecydowana większość specjalistycznego oprogramowania dla dendrochronologii opiera się na obliczeniach dwóch parametrów statystycznych: wartości „t” Studenta wyrażającej współczynnik korelacji dwóch serii przyrostowych oraz współczynnika zgodności przebiegu wykresów przyrostowych „GL” („Gleichläufigkeit” wg Ecksteina i Bauchera, 1969). Wartość „t” została zastosowana w dendrochronologii przez Baillie i Pilchera (1973) i pomimo wprowadzenia przez następne lata wielu modyfikacji różniących się sposobem obliczania tej wartości (m.in. Munro 1984), do dzisiaj pozostaje podstawą. W praktyce wartość  $t > 4$  oznacza duże prawdopodobieństwo prawidłowego datowania, wartości „t” przekraczające 10 wskazują ekstremalnie wysoką korelację sugerującą przy pojedynczych próbkach, że pochodzą one z tego samego drzewa. Z testów porównawczych oprogramowania dla dendrochronologii przeprowadzonych przez Sandera i Levanica (1996) wynika, że jeden program może wskazywać położenie synchroniczne o wartości „t” przekraczającej założony poziom akceptacji ( $t > 4$ ), podczas gdy inny program tego położenia nie rejestruje. Podobne różnice można zaobserwować w przypadku pojawiania się przypadkowych wysokich wartości „t” ( $t > 6$ ) w położeniach nie potwierdzonych przez porównanie wizualne wykresów przyrostowych na stole podświetlanym (Ważny 2000). W dendrochronologii opieranie się wyłącznie na obliczeniach statystycznych może łatwo doprowadzić do fałszywych wniosków

i w dobie powszechnej fascynacji możliwościami współczesnych technik obliczeniowych należy ten fakt wielokrotnie podkreślać.

Drugi z wymienionych parametrów statystycznych - współczynnik zgodności „GL” jest bardzo pomocny przy opracowywaniu „trudnego” materiału, o dużej zmienności wartości charakteryzujących pierścienie przyrostowe. Istotna korelacja zachodzi przy wartościach tego współczynnika przekraczających 60–65%, w zależności od długości porównywanych serii.

Sekwencje przyrostów rocznych pochodzące z jednej konstrukcji, budynku lub stanowiska archeologicznego grupowane są wg ich podobieństwa. Udana synchronizacja niedatowanej krzywej przyrostowej z datowaną prowadzi do ustalenia absolutnego (bezwzględnego) datowania. Krzywe o podobnym przebiegu zestawiane są w średnią reprezentującą dany obiekt lub stanowisko. Eliminuje się w ten sposób indywidualne reakcje drzew, z których pochodzi drewno, a podkreśla reakcje grupowe. W badaniach dużych zbiorów danych znajduje zastosowanie analiza skupień (Leuschner i Riemer 1989).

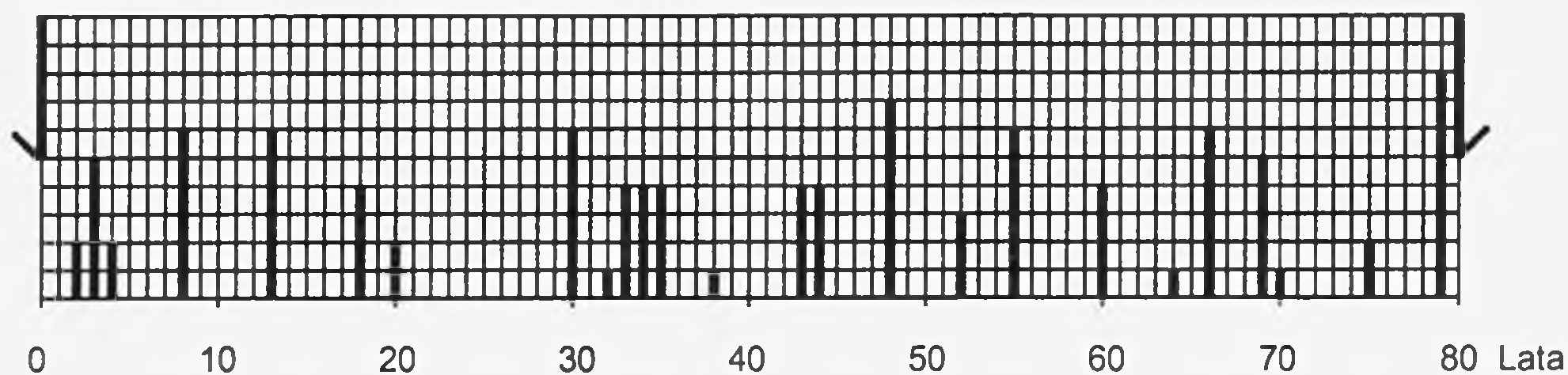
Najszerzej stosowanymi w Europie pakietami oprogramowania dla dendrochronologii są CATRAS (Aniol 1983) oraz TSAP (Rinn 1997). Obydwa pakiety zapewniają wszystkie podstawowe funkcje niezbędne przy datowaniu drewna, a TSAP ponadto daje możliwość standardyzacji sekwencji przyrostowych w celu eliminacji z nich wszystkich nieklimatycznych komponentów, takich jak np. trend wiekowy. Weryfikację prawidłowości datowań oraz składu chronologii pozwala przeprowadzić program COFECHA (Holmes 1983, 1986) zawarty w pakiecie programowym „Dendrochronology Program Library” dostępnym przez International Tree-Ring Data Bank. COFECHA oblicza korelacje pomiędzy wszystkimi podanymi sekwencjami przyrostowymi, które oczyszczone zostały z niepożądanych komponentów, a zestawioną z nich chronologią. Program wskazuje wszystkie nieprawidłowo naniesione datowania oraz możliwe błędy w sprawdzanych danych. Sekwencje wskazane przez program są ponownie sprawdzane na podświetlanym stole wg podanych sugestii i w przypadku ich potwierdzenia korygowane. Przedstawione programy stosowane są w codziennej praktyce Laboratorium Dendrochronologii ASP w Warszawie i większość podanych rezultatów została uzyskana przy ich pomocy. W badaniach wraków łodzi zastosowano program „DENDRO for WINDOWS” (Tyers 1997) udostępniony przez Oddział Badań Muzeum Narodowego w Kopenhadze do prac wykonywanych przez autora w miejscowym laboratorium dendrochronologii.

Najpewniejszym testem prawidłowości uzyskanych datowań jest powtarzalność wyników, co umożliwia jednoczesna analiza całej grupy próbek pochodzących z tego samego czasu. Krzywe przyrostowe charakteryzujące te próbki weryfikują się wzajemnie wg zasady, że jeżeli krzywa C porównywana jest z pokrywającymi się sekwencjami A i B, to powinna pasować zarówno do A, jak i do B (Hillam 1998). Każda następna krzywa wydatowana za pomocą sekwencji A, B i C potwierdza dodatkowo otrzymane rezultaty. Dlatego też w celu zapewnienia wystarczającej powtarzalności wyników liczba próbek reprezentujących jeden obiekt (konstrukcję) nie powinna być w miarę możliwości mniejsza od pięciu. Planując strategię pobierania próbek powinno się przy tym uwzględnić fakt, że nie każda próbka pozwala się wydatować.

Oprócz szerokości przyrostów rocznych przedmiotem analizy dendrochronologicznej mogą być również inne parametry charakteryzujące strefy przyrostowe drewna. Metoda radiodenzytometrii pozwala uzyskać rozkład gęstości drewna wewnątrz przyrostów. Osiąga się to poprzez prześwietlenie próbki drewna promieniami Rtg, a następnie pomiarze przenikalności światła przez radiogram. Z wykresów gęstości drewna dla każdego słoja można odczytać maksymalną i minimalną gęstość drewna wczesnego i późnego oraz szerokość warstwy drewna wczesnego i późnego. Największą zależność od warunków klimatycznych wykazuje gęstość drewna późnego (Schweingruber 1983, Schweingruber i in. 1987). Radiodenzytometria stosowana jest przede wszystkim w badaniach drewna iglastego i wykorzystywana w dendroklimatologii oraz dendroekologii. Zastosowanie tej metody do datowania drewna ograniczają koszty aparatury, konieczność precyzyjnego przygotowania próbek oraz duży wpływ na pomiary stref drewna rozłożonego przez mikroorganizmy lub uszkodzonego przez owady.

Dla specyficznych warunków klimatycznych pd.-zach. części USA Douglass opracował uproszczoną metodę diagramów słupkowych (*skeleton-plot*), na których uwzględnione są tylko minima przyrostowe. W suchym i ciepłym klimacie, który tam panuje, proces wzrostu ograniczony jest tylko przez jeden czynnik — opady. Drzewa wykazują dzięki temu bardzo dużą zgodność zmian przyrostowych. Na diagram nanoszone są tylko największe przyrosty w postaci pionowych słupków o długości wyrażonej w 10-stopniowej skali, w zależności od intensywności spadku szerokości słoików (rys. 7). Do sporządzenia diagramów na podstawie próbek drewna oraz ich synchronizacji wystarcza zwykły papier milimetrowy, lupa oraz ołówek, a analiza może być przeprowadzona w warunkach terenowych. W Europie w badaniach dendroekologicznych wykorzystywana jest modyfikacja tej metody,





**Rys. 7.** Diagram słupkowy próbki drewna sosny ościstej (*Pinus longaeva* D.K. Bailey) z Gór Białych w Kalifornii. Najmłodszy zachowany przyrost roczny powstał w 3084 r. p.n.e. Wysokość słupków wyrażona w skali od 0 do 10 odpowiada wielkości spadku szerokości przyrostu rocznego w odniesieniu do roku poprzedzającego

w której uwzględnianymi parametrami są lata wskaźnikowe oraz okresy długotrwałych zmian przyrostowych. Szczegóły europejskiego wariantu metody diagramów słupkowych wraz z definicjami wszystkich uwzględnianych parametrów przedstawili Schweingruber i in. (1990).

Dalszymi parametrami charakteryzującymi przyrosty roczne są m.in. powierzchnia przewodząca naczyń drewna liściastego rejestrowana metodą komputerowej analizy obrazu (m.in. Sass i Eckstein 1992) oraz zawartość stabilnych izotopów  $^{13}\text{C}$  oraz  $^{16}\text{O}$  (m.in. Switsur i in. 1996). Do datowania drewna metody te nie są stosowane.

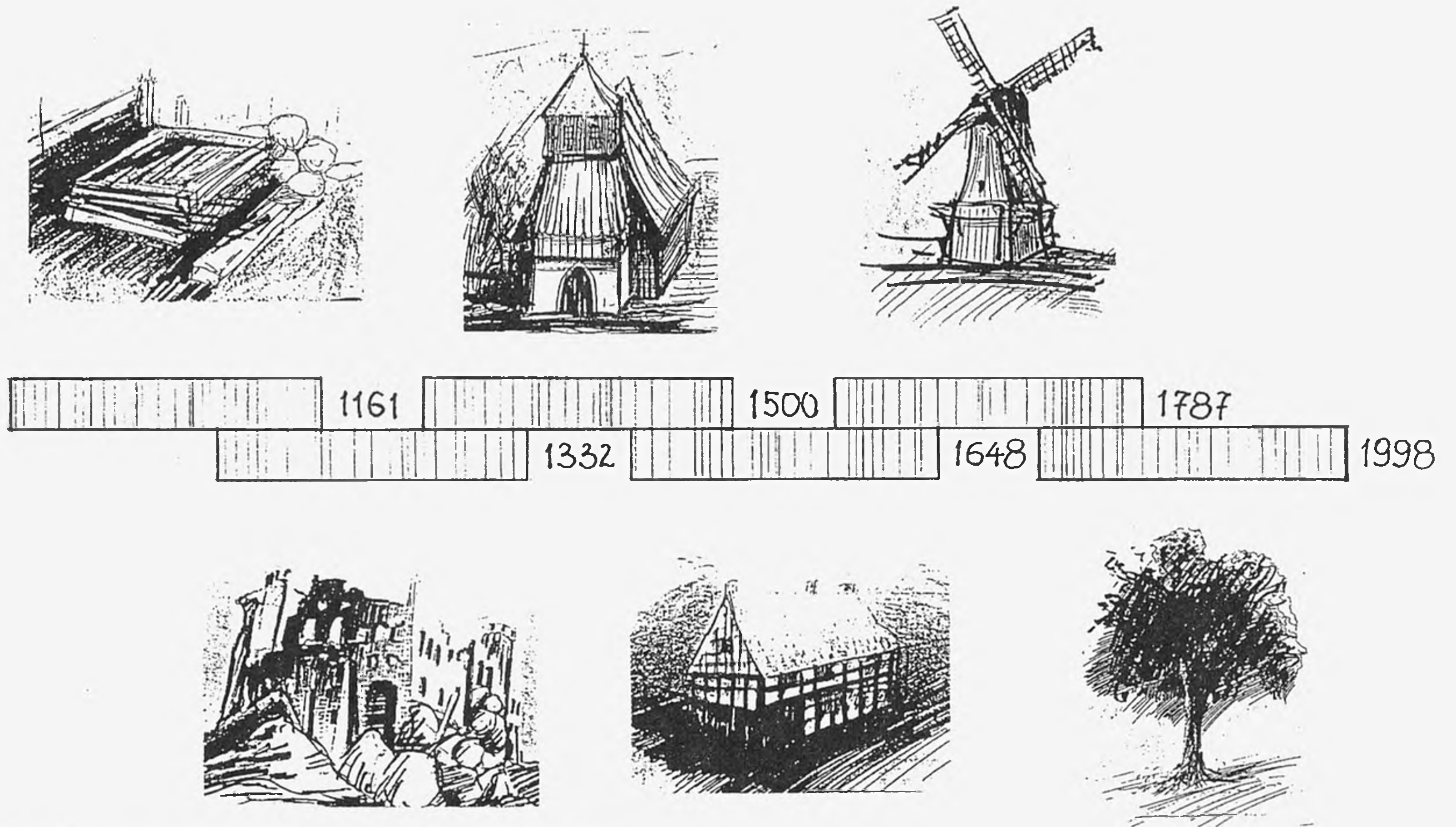


## 5: CHRONOLOGIE STANDARDOWE

Podstawą do zastosowania dendrochronologii są wzorce przyrostowe-chronologie standardowe. Wzorce te mają ograniczony zasięg terytorialny i dotyczą zwykle tylko jednego gatunku drewna ze względu na zbyt duże różnice w reakcjach poszczególnych gatunków botanicznych na warunki otoczenia. Dlatego też przystępując do datowania drewna konieczne jest opracowanie lub dysponowanie zestawem chronologii dla podstawowych gatunków drewna. Gęsta sieć chronologii pozwala także na ustalenie pochodzenia drewna, co ma ogromne znaczenie w badaniach zabytków ruchomych oraz wraków statków i łodzi. Przygotowanie jednego kilkusetletniego wzorca jest w warunkach europejskich bardzo pracochłonne i zajmuje kilka lat.

Chronologia powstaje poprzez uśrednianie wartości charakteryzujących przyrosty roczne (np. szerokości słoików) wyselekcjonowanej grupy próbek reprezentatywnych dla określonego regionu. Stanowi ona rekonstrukcję przeciętnego, kilkusetletniego drzewa rosnącego na danym terenie. Najbardziej do tego celu nadają się drzewa rosnące w Ameryce Północnej — sekwoje (*Sequoia gigantea* (Lindl.) Decne) osiągające wiek do 3000 lat oraz sosny ościste (*Pinus longaeva* D.K. Bailey), które osiągają wiek do 4600 lat (Schweingruber, 1993b). Ponieważ drzewa rosnące w Europie rzadko osiągają 400 lat, dlatego dla celów datowania drewna stało się konieczne odtworzenie sekwencji przyrostów rocznych w minionych stuleciach. Metodą wzajemnego nakładania na siebie serii przyrostów coraz starszych próbek drewna możliwe jest przedłużenie zapisu przyrostów najstarszych drzew do czasów prehistorycznych. Ogólna zasada tej metody nazywanej metodą pomostową przedstawiona została na rysunku 8. W celu opracowania 1000-letniej chronologii konieczne jest zebranie próbek drewna reprezentującego praktycznie wszystkie stulecia. Zadanie to jest bardzo trudne do wykonania, ze względu występowanie okresów obniżonej aktywności budowlanej i brakiem drewna pochodzącego z tych okresów. Chronologia reprezentująca niewielki i ściśle określony obszar jest przydatna także do określania pochodzenia drewna.

Parametrami charakteryzującymi chronologie są: przedział czasowy, który reprezentują, gatunek drewna, którego dotyczą oraz zasięg terytorialny. Te informacje



Rys. 8. Schemat budowy wieloletniej chronologii metodą pomostową

pozwalają wybrać zestaw chronologii, które zostaną zastosowane do analizy dendrochronologicznej opracowywanego materiału badawczego. O ile pierwsze dwa parametry są ściśle określone, to zasięg terytorialny chronologii można określić tylko w przybliżeniu i nie jest możliwe dokładne wyznaczenie granicy obowiązywania danej chronologii.

Szczegółowe badania zasięgu chronologii przeprowadzono po opracowaniu tysiącletniej chronologii dębu Pomorza Wschodniego (Ważny 1990, Ważny i Eckstein 1991). Poprzez porównanie z europejskimi chronologiami dębu stwierdzono występowanie wysokiej korelacji na odległość około 400 km w kierunku równoleżnikowym, natomiast zasięg w kierunku południkowym był znacznie mniejszy. Geograficzny zasięg chronologii ulega pewnym zmianom w czasie. W przypadku chronologii Pomorza Wschodniego wykazywała ona największy zasięg w XII, XIII i XVII w., podczas gdy w XIV i XVI w. występowała najniższa korelacja z chronologiami sąsiednich krajów. Korelacja pomiędzy chronologiami bardziej odległych terenów jest przede wszystkim odzwierciedleniem czynników klimatycznych o ponadregionalnym zasięgu i między innymi w ten sposób zaznaczyły się turbulencje klimatyczne związane z „małą epoką lodową”. Jest to jednak zbyt mało precyzyjna informacja, aby możliwe było odczytanie konkretnych symptomów zmian klimatycznych. Ponadto nie są one jedynym czynnikiem wpływającym na zasięgi chronologii. Korelacja pomiędzy chronologiami zależy również m.in. od długości i składu chronologii, liczby pojedynczych serii przyrostowych tworzących chronologię oraz od pochodzenia drewna.

W praktyce chronologia dębu Pomorza Wschodniego stanowi podstawę do datowania drewna dębowego na obszarze całego Pomorza, Kujaw, Pojezierza Mazurskiego, stosowana była także w badaniach drewna z Mazowsza i Podlasia. Uzupełnia ją zestaw lokalnych chronologii, których wykaz zawiera tabela 1. Wraz z chronologiami otrzymanymi drogą wymiany ze współpracującymi laboratoriami umożliwiają one datowanie drewna nie tylko z całej Polski, ale i z większej części kontynentu europejskiego. W celu zwiększenia udziału wydатовanych próbek oraz uzyskania pełnych informacji o pochodzeniu drewna konieczne jest opracowanie gęstej sieci chronologii porównawczych dla najważniejszych gatunków drewna. Prace nad siecią chronologii dębu dla Polski można uznać za zaawansowane w odniesieniu do ostatniego tysiąclecia. Dla okresu wczesnośredniowiecznego i poprzedzających go epok historycznych znajdują się one ciągle w fazie wstępnej. Podobnie należy ocenić zaawansowanie badań dendrochronologicznych innych gatunków drewna.

Tab. 1. Wykaz chronologii opracowanych w Laboratorium Dendrochronologii ASP w Warszawie

Nazwa chronologii	Okres	Liczba próbek	Rodzaj materiału	Gatunek drewna
Bielsk Podlaski	1262–1503 AD	5	archeol.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Biskupin	887–722 BC	24	archeol.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Bocheń	708–826 AD	12	archeol.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Brańsk	1247–1427 AD	9	archeol.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Bukowo	1242–1423 AD	6	archit.	sosna ( <i>Pinus sylw.</i> )
Bydgoszcz	867–1051 AD	18	archeol., węgiel drzewny	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Charbrowo <sup>1)</sup>	963–1169 AD	15	wrak łodzi	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Czarnowsko 1 <sup>1)</sup>	915–1161 AD	7	wrak łodzi	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Darłowo	1477–1670 AD	5	archit.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Dąbrówno	1079–1349 AD	10	archeol.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Elbląg standard	980–1347 AD	74	archeol.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Elbląg II	917–1286 AD	22	archeol.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Gdańsk Dwór Artusa	1404–1553 AD	13	archeol., drewno import.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Gdańsk pl. Heweliusza	1062–1246 AD	10	archeol., drewno import.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Gdańsk Matemblewo	1662–1995 AD	19	drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Gdańsk ul. Powroźnicza	1190–1333 AD	11	archeol., drewno import.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Gdańsk Oliwa <sup>2)</sup>	1375–1599 AD	12	archit.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Gdańsk Ratusz	746–921 AD	7	archeol.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Gdańsk Św. Mikołaj <sup>2)</sup>	1121–1398 AD	6	archit.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Gdańsk Wyspa Spichrzów	1242–1447 AD	10	archeol., drewno import.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Gdańsk Zatoka "Miedziowiec" <sup>1)</sup>	1010–1396 AD	10	wrak statku	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
	1103–1403 AD	23	ładunek statku	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
GDAŃSK-POMERANIA	996–1995 AD	200	archeol., archit., drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Gdynia Kolibki	1781–1983 AD	8	drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Goldap	1871–1986 AD	20	drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Goręczyno <sup>2)</sup>	1636–1731 AD	5	archit.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Hajnówka	1720–1995 AD	19	drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Jeziemik	1150–1334 AD	12	archit.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Karpaty <sup>3)</sup>	1406–1746 AD	36	ikony	jodła ( <i>Abies alba</i> )
Kartuzy <sup>2)</sup>	1548–1730 AD	12	archit.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
		10	archit.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Kołobrzeg	1084–1393 AD	131	archeol.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Kosobudy	1782–1988 AD	20	drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Krotoszyn	1836–1988 AD	15	drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
	1884–1988 AD	16	drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
	1865–1988 AD	15	drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )



Tab. 1. c.d.

Nazwa chronologii	Okres	Liczba próbek	Rodzaj materiału	Gatunek drewna
Krotoszyn	1895–1988 AD	10	drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Kraków/Dębina <sup>4)</sup>	1792–1985 AD	16	drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Kwidzyn	1343–1588 AD	6	archit.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Kwietniewo	1439–1639 AD	8	archit.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Malbork	1166–1340 AD	6	histor.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Osinów	422–801 AD	6	subfossylne pnie	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
POLSKA CENTRALNA	593–965 AD	37	archeol.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Pomorska Wieś <sup>2)</sup>	1666–1764 AD	7	archit.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Poznań/Osowa Góra	1830–1995 AD	17	drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Przeźmark <sup>2)</sup>	1140–1390 AD	10	archit.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Puck kościół <sup>2)</sup>	1111–1408 AD	7	archit.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Puck port	725–937 AD	15	archeol.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Rusiec	1174–1447 AD	23	archeol.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Sopot	1778–1984 AD	10	drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
	1781–1990 AD	16	drzewa	sosna ( <i>Pinus sylv.</i> )
Starzyno <sup>2)</sup>	1463–1648 AD	16	archit.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Suwałki/Krzywe	1861–1996 AD	17	drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Sypniewo	656–1028 AD	21	archeol.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Szczecin	952–1272 AD	74	archeol.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
	1626–1818 AD	21	archeol.	sosna ( <i>Pinus sylv.</i> )
	591–886 AD	7	wrak łodzi	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Święck Strumiany	743–965 AD	11	archeol.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Święty Gaj	199 BC–186 AD	36	archeol.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Tamowo Pałuckie	1186–1397 AD	20	archit.	sosna ( <i>Pinus sylv.</i> )
	1562–1628 AD	7	archit.	sosna ( <i>Pinus sylv.</i> )
Toruń	1713–1994 AD	19	drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Warszawa Bielany	1690–1994 AD	19	drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Wola Szydłowska	593–900 AD	20	archeol.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Wolin <sup>2)</sup>	578–1010 AD	27	archeol.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
	1554–1994 AD	19	drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Wrocław/Skarszyn	1727–1995 AD	20	drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Zielona Góra/Zatonie	1774–1995 AD	19	drzewa	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )
Żamowiec <sup>2)</sup>	1600–1750 AD	8	archit.	dąb ( <i>Quercus sp.</i> )

<sup>1)</sup>chronologie opracowywane z dr N. Bonde (Kopenhaga)

<sup>2)</sup>chronologie opracowywane z prof. D. Ecksteinem (Hamburg)

<sup>3)</sup>chronologia opracowana z A. Kosiorek (Warszawa)

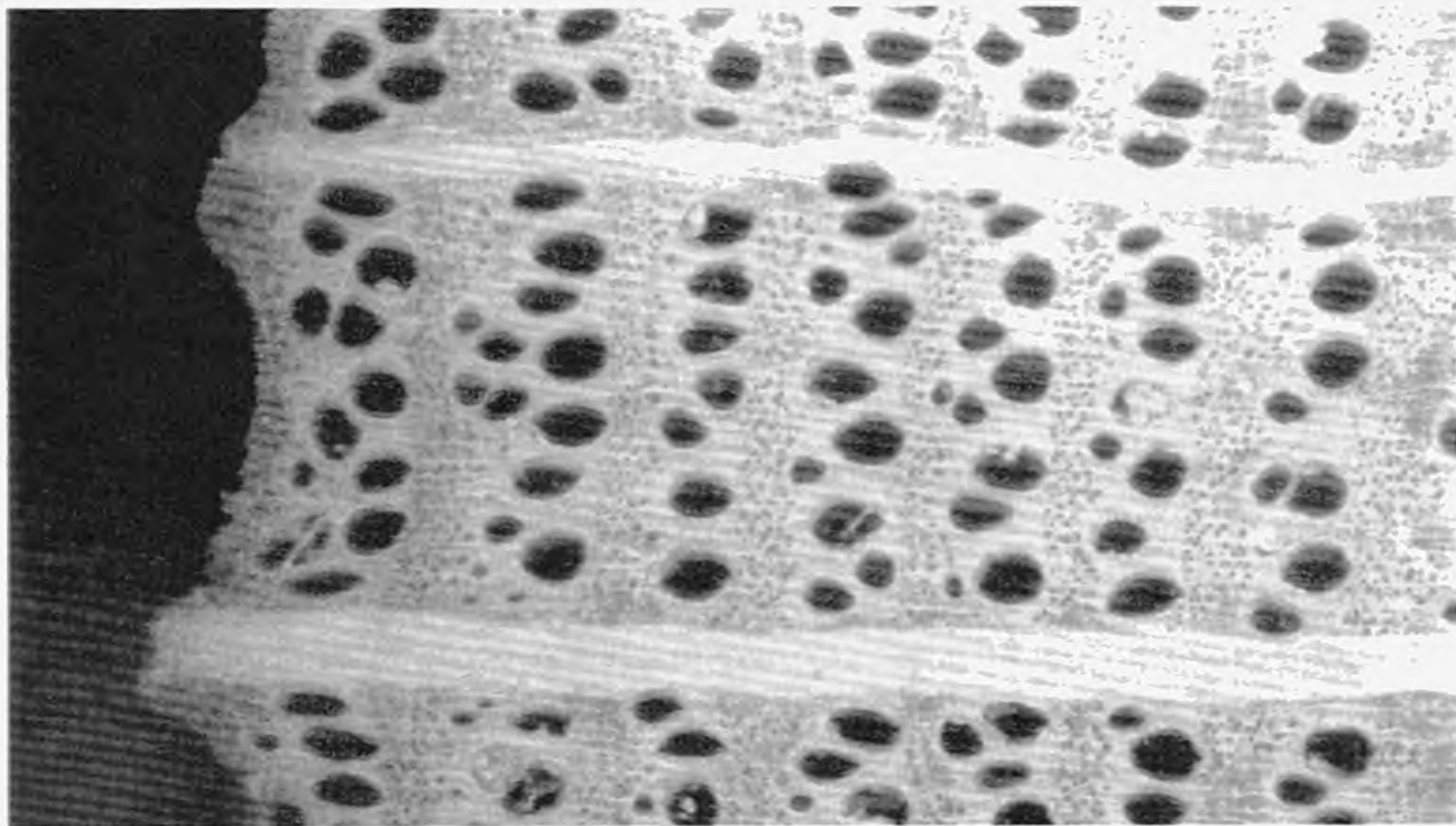
<sup>4)</sup>chronologia opracowana na podstawie sekwencji przyrostowych udostępnionych przez dr Z. Bednarza (Kraków)

Chronologie standardowe są chronologiami bezwzględnymi, czyli każdy element chronologii (przyrost roczny) jest bezwzględnie wydatowany z latami kalendarzowych. Oprócz nich opracowywane są chronologie, których synchronizacja z istniejącymi chronologiami bezwzględnymi jest niemożliwa. Na umiejscowienie takiej chronologii w czasie pozwalają inne metody określania wieku, a najczęściej stosowana jest metoda radiowęglowa. Ze względu na mniejszą dokładność metody  $^{14}\text{C}$  wynoszącą najwyżej kilkadziesiąt lat chronologie te nazywane są „pływającymi”, gdyż ich położenie w skali czasu jest określone z dokładnością do kilkudziesięciu lat. Większą precyzję datowania pływającej chronologii zapewnia metoda „wiggle-matching” — dopasowanie dat radiowęglowych wykonanych dla serii próbek drewna powstałego w niewielkich odstępach czasu do krzywej kalibracyjnej. Kombinacja precyzyjnego datowania radiowęglowego (wiggle-matching) oraz korelacji wyznacznikowych lat charakterystycznych pozwoliła na absolutne datowanie pływającej chronologii wschodniej części rejonu śródziemnomorskiego, która obejmuje lata 2220–718 p.n.e. (Kuniholm i in. 1996). Jako wyznacznik posłużyła globalna anomalia klimatyczna 1628/27 r. p.n.e. zarejestrowana w przyrostach rocznych drzew półkuli północnej i będąca wg Baillie (1995) skutkiem gigantycznej erupcji wulkanicznej na greckiej wyspie Thera. Ten sposób absolutnego datowania pływającej chronologii nie rozwiał jednak wątpliwości dotyczących prawidłowości postępowania, zwłaszcza że akceptacja lokalizacji w czasie chronologii Kuniholma przyniosłaby daleko idące zmiany w historii Bliskiego Wschodu i starożytnego Egiptu (Renfrew 1996). Wydaje się, że jedynie przedłużenie tej chronologii i jej synchronizacja z chronologią bezwzględną, a więc posłużenie się klasycznymi metodami dendrochronologii, zostałoby zaakceptowane bez zastrzeżeń.

## 6: DOKŁADNOŚĆ DATOWANIA

Dendrochronologia jest najdokładniejszą metodą datowania, ale uzyskanie wysokiej precyzji wymaga odpowiedniej interpretacji wyników. Najmłodszy zachowany na próbce przyrost roczny nie zawsze wyznacza datę ścięcia drzewa, a z kolei data ścięcia nie musi być jednoznaczna z powstaniem badanego obiektu. Ze względu na stan zachowania zewnętrznej, czyli najmłodszej warstwy drewna wyróżniamy trzy przypadki wymagające szczegółowego omówienia:

1. Próbkę ma zachowaną kompletną zewnętrzną warstwę drewna wraz z korą lub przynajmniej miazgą (rys. 9). Słój podkorowy wyznacza wówczas precyzyjnie rok kalendarzowy ścięcia drzewa. Jeżeli drzewo zdążyło wytworzyć tylko drewno wczesne, datę ścięcia można zawęzić do późnej wiosny lub pierwszych tygodni lata, początki formowania się nowego słoja oznaczają ścinę przeprowadzoną wczesną wiosną. Kompletne drewno późne wskazuje, że drzewo ścięto podczas przerwy wegetacyjnej — późną jesienią lub zimą.



**Rys. 9.** Drewno dębowe z ładunku „Miedziowca” (statku zatopionego w Zatoce Gdańskiej). Fragment strefy bielu z zachowanym słojem podkorowym, który umożliwił precyzyjne określenie daty ścięcia drzewa na jesień 1405 r. lub zimę 1405/1406 r.

2. Brak słoja podkorowego, ale próbka ma zachowany fragment bielu. Drewno dębowe pozwala na odtworzenie brakującej warstwy bielu i zawężenie daty ścięcia drzewa do kilku lub kilkunastu lat. Liczba słojów bielu jest w drewnie dębu genetycznie ustalona i zawiera się w pewnych ściśle określonych granicach. Istotne jest przy tym geograficzne pochodzenie drewna. W Polsce stwierdzono, że w 90% przypadków dęby z Pomorza Wschodniego oraz środkowej i wschodniej części kraju mają od 9 do 23 słojów bielu przy wartości mediany wynoszącej 15, a dęby z Pomorza Zachodniego od 10 do 26 przyrostów bielu przy wartości mediany 17. W południowej części Polski Krąpiec (1993) uzyskał dla Dolnego Śląska wartości graniczne wynoszące 7 i 22 przy wartości mediany równej 13 słojów. W Europie zauważalna jest wyraźna tendencja wzrostowa dotycząca udziału bielu przy posuwaniu się w kierunku zachodnim. W drewnie pochodzącym z substancji zabytkowej Lubeki liczba słojów bielu wynosi od 10 do 33 (Wrobel i in. 1993), w zachodniej części Niemiec od 9 do 33 (Hollstein 1980), podczas gdy w Anglii uwzględnia się od 10 do 55 przyrostów bielu (Hillam i in. 1987). Regionalna zmienność szerokości strefy bielu powinna być uwzględniana przy ostatecznym opracowywaniu wyników datowania drewna dębowego. Statystyka bielu dotyczy drzew dojrzałych, ponad 100-letnich. W tej klasie wiekowej nie występuje zauważalna zależność szerokości strefy bielu od wieku drzewa (Baillie 1982, Ważny 1990). Podane przedziały uwzględniają zmienność wynikającą z części pnia, z której pochodzi drewno, pozycji drzewa w kompleksie leśnym czy też warunków siedliskowych.

Obecność fragmentu bielu umożliwia rekonstrukcję brakującej części. Do daty otrzymanej dla granicy twardzieli z białem dodaje się  $15^{+8}_{-6}$  lat dla drewna pochodzącego z Pomorza Wschodniego, Mazowsza i Podlasia,  $17^{+9}_{-7}$  lat dla Pomorza Zachodniego oraz  $13^{+9}_{-6}$  lat dla Dolnego Śląska (Krąpiec i Ważny 1994).

Dla innych twardzielowych gatunków drewna nie zauważono podobnych zależności. Zielski (1993, 1997) badał drewno sosny pod kątem uściślenia datowania na podstawie statystyki bielu. Duża zmienność szerokości strefy bielu w granicach od 20 do ponad 90 słojów oraz nieregularny, falisty przebieg granicy pomiędzy białem a twardzielą sprawiają, że rejestracja bielu nie ma znaczenia przy określaniu wieku drewna. Podobnie jest z drewnem świerkowym, w którym zauważono znaczne różnice ilości słojów bielu nawet w drewnie pochodzącym z drzew tej samej klasy wiekowej (Klein 1996).

3. Drewno pozbawione jest bielu. W tym przypadku do ostatniego zachowanego przyrostu należy dodać całą brakującą warstwę bielu oraz nieznaną liczbę „x”



brakujących słoików twardzieli. Pozwala to na wyznaczenie tylko *terminus post quem* — najwcześniejszej możliwej daty ścięcia drzewa, z której wynika najwcześniejsza możliwa data powstania obiektu. Zakładając, że próbka drewna pochodząca z Pomorza Wschodniego pozbawiona jest bielu i została wydатовana na 1330 rok, podawana jest następująca data ścięcia drzewa: 1345<sup>+x</sup>/<sub>6</sub>. Rok 1345 otrzymujemy poprzez dodanie do daty powstania najmłodszego zachowanego słoika mediany wynoszącej 15 przyrostów bielu, najwcześniejszą możliwą datą ścięcia drzewa jest w tym przypadku 1339 rok. W niektórych opracowaniach historycznych mylnie interpretuje się rok 1345 jako datowanie powstania obiektu, tymczasem jest to tylko najwcześniejsza prawdopodobna data ścięcia drzewa. Liczba „x” brakujących słoików twardzieli zwykle bywa trudna do sprecyzowania.

Wyznaczając datę powstania obiektu opieramy się na ustalonej dacie ścięcia drzewa i uwzględniając dalsze czynniki, do których należą: transport i sezonowanie drewna, możliwość powtórnego użycia drewna oraz możliwość remontu, naprawy lub uzupełnienia wcześniej powstałej konstrukcji. Szczegółowe informacje dotyczące interpretacji datowań zostaną omówione oddzielnie dla każdego rodzaju obiektu.

## 7: OKREŚLANIE POCHODZENIA DREWNA

Analiza dendrochronologiczna pozwala nie tylko na precyzyjne ustalenie wieku drewna, ale również i na określenie jego pochodzenia. Udana synchronizacja sekwencji przyrostowych badanego drewna z regionalnymi chronologiami i analiza stopnia podobieństwa to tych chronologii pozwala dość dokładnie ustalić geograficzny region, w którym rosły drzewa dostarczające surowca drzewnego. Rejon pochodzenia drewna wskazują chronologie, dla których uzyskano najwyższe współczynniki korelacji.

Ustalenie pochodzenia drewna jest szczególnie istotne w badaniach zabytków ruchomych (obrazy, rzeźby) oraz przedmiotów codziennego użytku takich jak meble czy drewniane beczki. Wysokie wymagania jakościowe nakazywały stosowanie starannie wyselekcjonowanego drewna, które było niejednokrotnie sprowadzane z odległych terenów. Również podczas badań wraków łodzi i statków pojawia się zawsze pytanie o pochodzenie obiektu oraz użytego do budowy drewna. W przeszłości w wielu państwach Europy powstało ogromne zapotrzebowanie na drewno do budowy statków i instalacji portowych. Jak podaje Olechnowicz (1960), w XVII wieku do budowy średniej wielkości statku potrzebowano około 4000 „dobrze wyrośniętych” dębów. A żywot takiego statku wskutek wielu wojen oraz trudnych warunków eksploatacji był często krótki. Liczne wątpliwości pojawiają się także podczas badań konstrukcji budowlanych. W okresie średniowiecznym oraz na początku ery nowożytnej na placach budowy stosowano z reguły materiały budowlane lokalnego pochodzenia, aby obniżyć koszty transportu i uniknąć związanych z tym technicznych problemów. Później jednak na terenach ubogich w lasy i wysokojakościowe drewno rozpoczęto sprowadzanie surowca drzewnego. Największe prawdopodobieństwo napotkania drewna obcego pochodzenia występuje przede wszystkim w dużych miastach portowych oraz w miejscowościach położonych nad spławnymi rzekami. Wynika to z wielokrotnie niższych kosztów transportu drogami wodnymi od transportu lądowego.

Problematyka dendrochronologicznego określania pochodzenia drewna nabrała szczególnego znaczenia po rozwiązaniu poważnych trudności związanych

z datowaniem dzieł sztuki pochodzących z Europy Zachodniej. Badania dendrochronologiczne dzieł sztuki na podłożach drewnianych rozpoczęto pod koniec lat 60. (Bauch i Eckstein 1970). Na podstawie datowanych sekwencji przyrostowych podłoży obrazów słynnych mistrzów holenderskich i flamandzkich opracowane zostały pierwsze wzorce przyrostowe do datowania obrazów niderlandzkich, przy czym od razu silnie zaznaczył się problem pochodzenia drewna. Chronologie można było podzielić na dwie grupy, przy czym niemożliwa była synchronizacja sekwencji przyrostowych należących do różnych grup. Pierwsza grupa — tzw. typ „I” lub typ „H” — reprezentowała drewno lokalne i była absolutnie datowana, podczas gdy druga grupa — tzw. typ „II” lub „A” — nie miała pewnego powiązania z istniejącymi wówczas absolutnie datowanymi chronologiami i były to tzw. „chronologie pływające”. Chronologie reprezentujące drugą grupę obejmowały tylko lata okres pomiędzy XII i XVII w., po 1650 r. drewno o tym wzorcu przyrostowym w dziełach sztuki nie występowało. Przez lata 70. i wczesne 80. trwały poszukiwania regionu leśnego, z którego mogło pochodzić to drewno. Jednocześnie narastały wątpliwości nad wiarygodnością dendrochronologicznego datowania dzieł sztuki (Baillie 1984). Analogiczny problem wystąpił po drugiej stronie kanału La Manche podczas badań malarstwa angielskiego, gdzie również wystąpiło drewno o wzorcu przyrostowym typu „II” (Fletcher 1977).

W 1985 r. Baillie wskazał na rejon Morza Bałtyckiego jako na przypuszczalne źródło drewna zastosowanego w dziełach sztuki (Baillie i in. 1985). Równolegle autor niniejszego opracowania rozpoczął wraz z zespołem Instytutu Biologii Drewna Uniwersytetu w Hamburgu prace nad pierwszą wieloletnią chronologią dębu dla południowego wybrzeża Bałtyku. Chronologia ta nazwana od regionu pochodzenia materiału badawczego „GDAŃSK-POMERANIA” przyniosła ostateczne rozwiązanie problemu i dzięki niej „pływające chronologie” typu „II” zostały na stałe zakotwiczone w skali czasu (Eckstein, Ważny i in. 1986, Ważny 1990). Kontrowersje związane z dendrochronologicznym ustaleniem wieku dzieł sztuki mistrzów tej miary, co Rubens, Rembrandt, Wouverman, van Eyck zostały definitywnie wyjaśnione, dokonano przy tym nieznacznej korekty wcześniej wykonanych datowań.

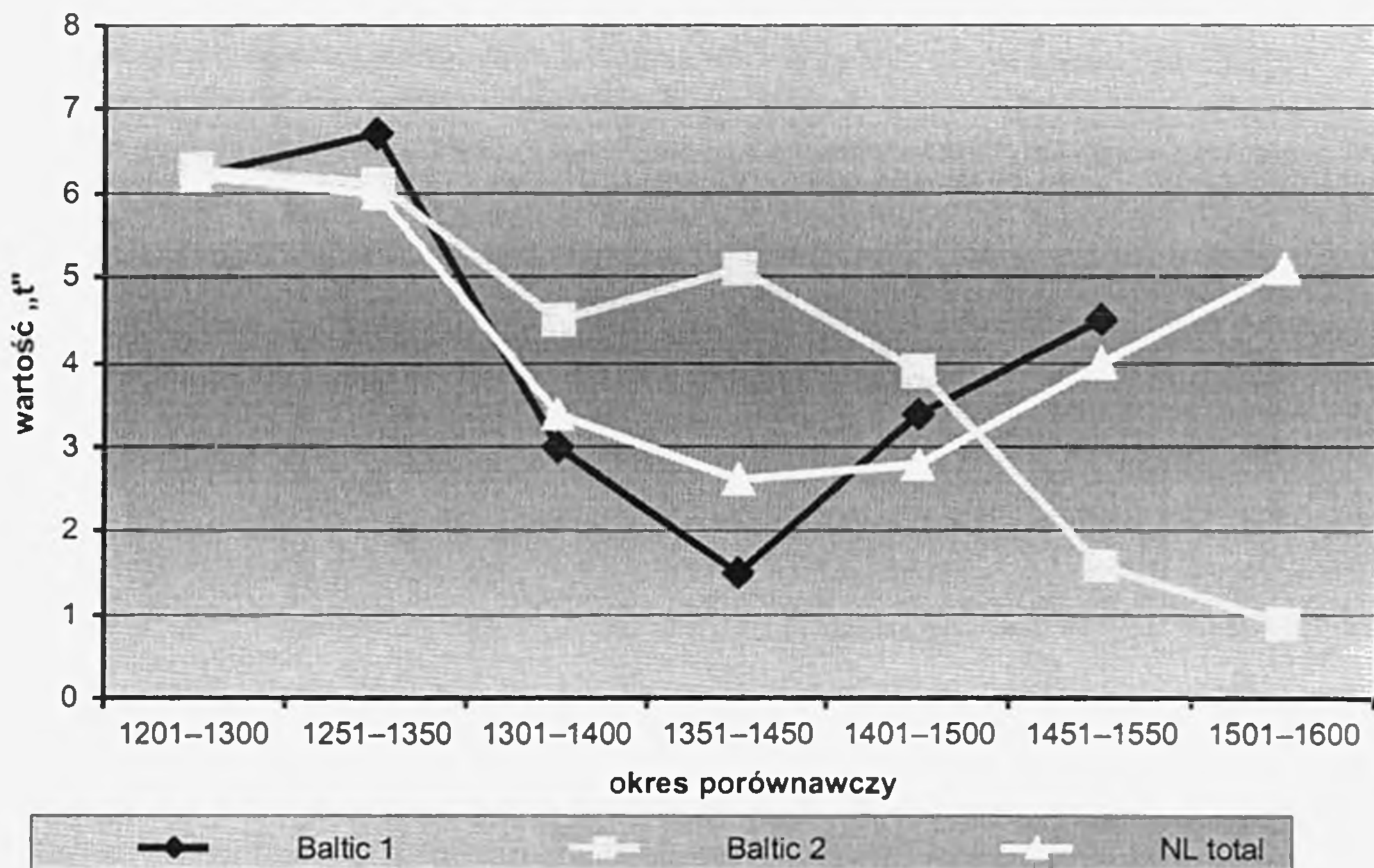
Uzasadnienie otrzymanych rezultatów można znaleźć w zachowanych dokumentach i materiałach źródłowych dotyczących handlu drewnem pomiędzy krajami nadbałtyckimi a zachodnią Europą. Szczególne znaczenie w eksporcie drewna ze strefy bałtyckiej miał Gdańsk. Miasto to przez ponad 300 lat wysyłało ogromne ilości wysokogatunkowego drewna dębowego w ramach Związku Miast Hanzeatyckich. Szczegółowe dane dotyczące handlu drewnem zawierają księgi celne

rejestrujące statki przepływające przez cieśninę Sund i ich ładunek (Bang 1933). Według nich w II połowie XVI wieku do 85% statków transportujących do Europy Zachodniej wańczos — sortyment drewna o szczególnie wysokiej jakości — podawało Gdańsk jako port wyjścia (Ważny 1992, Bonde i in. 1997). Odbiorcami drewna były przede wszystkim miasta holenderskie i angielskie. Dendrochronologiczna analiza pochodzenia drewna pozwoliła na stwierdzenie występowania drewna ze strefy bałtyckiej w dziełach sztuki oraz w licznych budynkach i stanowiskach archeologicznych w Anglii, Szkocji, Francji, Holandii, Belgii, Danii oraz w Niemczech. Drewno z Pomorza Gdańskiego zastosowano m.in. w takich obiektach, jak: katedry w Ely i Yorku (Simpson i Litton 1996), zamek Vincennes w Paryżu (Pousset 1996, niepubl.) czy katedra w Helsingør w Danii (Bonde 1989). Materiały źródłowe z informacjami o eksporcie gdańskiego drewna dębowego do Hiszpanii i Portugalii pozwalają przypuszczać, że również na Półwyspie Iberyjskim chronologia „GDAŃSK-POMERANIA” może znaleźć zastosowanie przy ustalaniu wieku oraz pochodzenia drewna.

Gdańska chronologia dębu rozwiązała problem datowania drewna „bałtyckiego”, ale nie dała pełnej odpowiedzi na pytanie o pochodzenie drewna. Chronologia ta ma wprowadzić zastosowanie do datowania drewna w całej północnej części Polski, ale reprezentuje tylko drewno z Pomorza Wschodniego. Do chwili obecnej opracowano kilkanaście chronologii dla drewna dębowego ze strefy nadbałtyckiej występującego w obiektach zabytkowych w Europie Zachodniej. M.in. Hillam i Tyers (1995) zestawili na podstawie wyników badań dębowych podłoży obrazów angielskich dwie chronologie — „BALTIC 1” obejmującą lata 1156–1597 oraz „BALTIC 2” obejmującą lata 1257–1615, a Bauch, Eckstein i Klein niepublikowaną chronologię „NL total”. Gdy porównamy te chronologie z gdańskim wzorcem stosując nakładające się 100-letnie okresy porównawcze (rys. 10), zaobserwujemy wysokie podobieństwo wyrażone wysokimi wartościami „t” dla XIII i XIV wieku, a następnie wartości te gwałtownie maleją. Wynika z tego, że początkowo eksportowane było drewno z okolic Gdańska, po czym zaznaczył się rosnący udział sekwencji przyrostowych drewna pochodzącego z terenów bardziej odległych od Pomorza Wschodniego w składzie chronologii „bałtyckich”.

Jednocześnie w Polsce podczas badań obrazów reprezentujących malarstwo gdańskie pojawił się inny problem — XVI i XVII-wieczne obrazy z Gdańska zostały wydatowane za pomocą zachodnio-europejskich chronologii opracowanych dla drewna „bałtyckiego”, ale nie za pomocą chronologii gdańskiej. Zarówno przedstawione w tabeli 2 niskie współczynniki korelacji, jak i niewielkie podobieństwo





Rys. 10. Porównanie chronologii GDAŃSK-POMERANIA z zachodnioeuropejskimi chronologiami drewna pochodzenia bałtyckiego

krzywych przyrostowych podłoży gdańskich obrazów do chronologii „GDAŃSK-POMERANIA” wskazują, że drewno użyte w gdańskich warsztatach artystycznych wcale nie pochodziło z miejscowych lasów, lecz z tego samego źródła co deski zastosowane do serii portretów Tudorów, czy też deski, na których malował Rubens. Wartości „t” otrzymane przy porównaniu z chronologiami „BALTIC 1”, „BALTIC 2” oraz „NL total” były wyjątkowo wysokie. Również w materiale archeologicznym z Gdańska oprócz drewna lokalnego spotykane jest drewno dębowe datowane w ten sam sposób. Jakie mogą być przyczyny tych niezgodności? Częściową odpowiedź na to pytanie znajdujemy w materiałach źródłowych (szczegółowe omówienie przedstawili Ważny i Eckstein (1987)).

Głównym centrum handlu drewnem na Morzu Bałtyckim był Gdańsk. Miasto to położone jest u ujścia Wisły, całe dorzecze tej rzeki było w związku z tym potencjalnym źródłem drewna wysyłanego do Europy Zachodniej. Liczne przekazy historyczne informują o spławie drewna Wisłą (Ważny i Eckstein, 1987). Drogi wodne łączą Gdańsk z Zalewem Wiślanym, na którego północno-wschodnim końcu leży Królewiec i znajduje się ujście Pregoly — kolejnej spławnej rzeki. Cytowane już duńskie księgi celne wskazują, że punkt ciężkości obrotów drewnem przesunął się z czasem w kierunku wschodnim. Po 1595 r. udział Gdańska w eksporcie drewna bałtyckiego tylko w niektórych latach przekraczał 30%, natomiast znacząco wzrósł

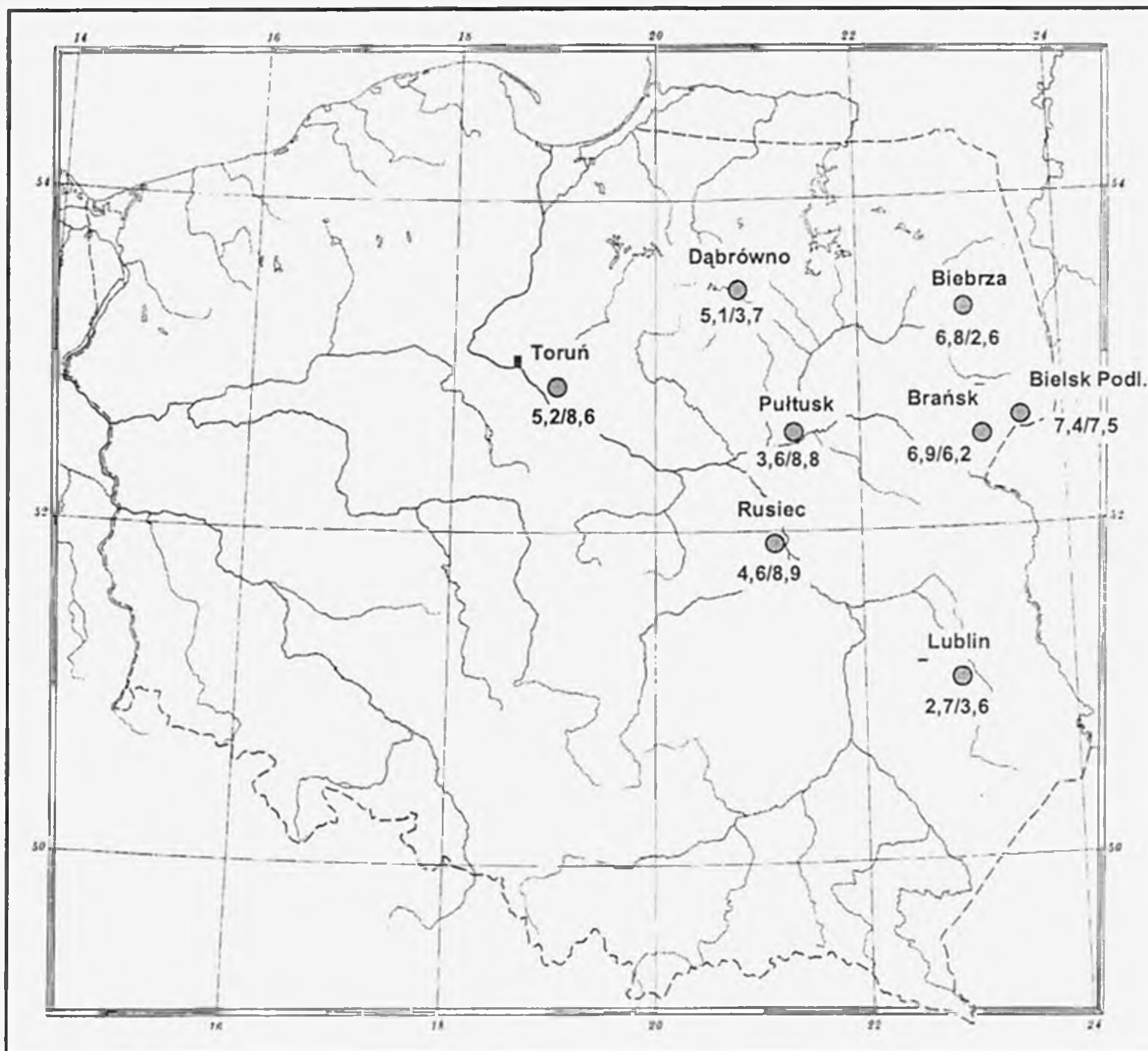
**Tab. 2.** Porównanie przyrostów rocznych wybranych dzieł sztuki z Gdańska z chronologiami „bałtyckimi”. Najwyższe wartości „t” uzyskane dla poszczególnych obiektów zostały podkreślone.

	Datowanie przyrostów rocznych	Gdańsk- Pomerania	Wartości „t”*		
			Baltic 1	Baltic 2	NL total
1. Ołtarz Ferberów — predella	1205–1433	4,7	9,9	4,8	<u>10,9</u>
2. Ołtarz Ferberów — prawe skrzydło	1268–1457	5,7	2,2	<u>8,0</u>	3,1
3. Ołtarz Ferberów — centralna tablica	1287–1456	3,3	4,5	<u>5,9</u>	5,4
4. Ukazanie Chrystusa	1228–1473	2,5	<u>8,3</u>	1,2	6,1
5. Św. Helena	1198–1450	3,3	7,2	4,5	<u>8,8</u>
6. kościół Św. Katarzyny — chrzcielnica	1343–1570	2,2	1,9	<u>11,1</u>	3,4
7. B. Millwitz — „Pożar Gdańska”	1358–1585	3,5	5,5	5,6	<u>6,8</u>

\*Wartość „t” wyraża współczynnik korelacji porównywanych serii przyrostowych

udział portów w Królewcu i Kurlandii (Bonde i in. 1997). W związku z tym teren, z którego pozyskiwano surowiec drzewny dla krajów zachodnio-europejskich rozszerzył się z Pomorza Wschodniego na obszar setek tysięcy km<sup>2</sup>. Jediną możliwością uzyskania dokładnej odpowiedzi na coraz częstsze pytania o pochodzenie drewna bałtyckiego zastosowanego w licznych obiektach zabytkowych w Europie jest opracowanie gęstej sieci lokalnych chronologii dębu pokrywających ogromny obszar dorzecza Wisły, Pregoly, Niemna i przypuszczalnie także Dźwiny. Badania powinny uwzględnić również dorzecze Odry, jakkolwiek w świetle dotychczas zebranych doświadczeń wydaje się, że znaczenie tej rzeki jako źródła drewna dla Europy Zachodniej było mniejsze.

W latach 90. powstały pierwsze lokalne chronologie dębu dla dorzecza Wisły. Na mapie Polski (rys. 11) zaznaczono położenie tych chronologii wraz z wartościami ich korelacji z angielskimi chronologiami „BALTIC 1” i „BALTIC 2”. Bardzo wyraźną wskazówką są wysokie wartości „t” uzyskane dla chronologii Brańska (okres porównawczy 1247–1427 AD) i Bielska Podlaskiego (1264–1503 AD). Potwierdzają one, że poszukiwania źródeł pochodzenia drewna „bałtyckiego” przebiegają we właściwym kierunku. Dodatkowym potwierdzeniem stało się datowanie dębowej dłubanki wydobytej z koryta Biebrzy, której drewno miało zachowane przyrosty roczne powstałe w latach 1336–1556. Wiek tej dłubanki określony został m.in. przy pomocy chronologii „BALTIC 1” opracowanej przecież



**Rys. 11.** Stopień skorelowania lokalnych chronologii dębu dorzecza Wisły z chronologiami „BALTIC 1” i „BALTIC 2” wyrażony wartościami „t”. Chronologia Torunia opracowana została przez Zielskiego (nie publ.), autorem chronologii Pułtuska jest Krapiec (1993)

w Anglii dla miejscowych obiektów zabytkowych. Zasięg łodzi o długości 4,5 m i niewielkiej wyporności był z pewnością lokalny i drewno pochodziło z miejscowych lasów.

Praca nad określaniem pochodzenia powinna być kontynuowana dla innych gatunków drewna będących w przeszłości przedmiotem wymiany handlowej, a w szczególności dla drewna sosny. Szczególnie duże znaczenie do badań drewna obcego pochodzenia przywiązuje się na Wyspach Brytyjskich, gdzie zainicjowano projekt, którego celem jest datowanie i określenie pochodzenia importowanego drewna sosny w Anglii (Groves 1997).

Możliwości identyfikacji i ustalenia pochodzenia materiałów transportowanych na duże odległości, jakie daje dendrochronologia, mają wielkie znaczenie dla nauk

historycznych. Dendrochronologia pozwala zweryfikować i uzupełnić archiwalne dokumenty dotyczące handlu drewnem, eksploatacji lasów i stosunków ekonomicznych w przeszłości. Uzupełniając zapisy historyczne, wyniki datowań dendrochronologicznych uzmysłowiły nam ogromne rozmiary i zasięg wymiany towarowej. Określenie pochodzenia drewna jest także niezbędne z punktu widzenia dendroklimatologii. Do rekonstrukcji czynników klimatycznych wykorzystuje się sekwencje przyrostowe pochodzące z historycznego drewna. W celu otrzymania wiarygodnych ekologicznych informacji z przeszłości konieczne jest wyselekcjonowanie lokalnego drewna jako źródła danych o warunkach panujących w dawnych lasach i zarejestrowanych przez drzewa w przyrostach rocznych. To stosunkowo nowe zastosowanie dendrochronologii, które zostało przedstawione powyżej, jest rezultatem bliskiej współpracy kilku laboratoriów europejskich, w tym Laboratorium Dendrochronologii ASP w Warszawie. Podkreśleniem znaczenia możliwości ustalenia pochodzenia drewna stało się wyodrębnienie nowej gałęzi dendrochronologii funkcjonującej w literaturze dendrochronologicznej pod nazwą „dendroprovenancing” (Bonde 1997, Hillam 1998). Dotychczasowe europejskie doświadczenia w tej dziedzinie powinny znaleźć zastosowanie również w innych częściach świata.



## 8: DATOWANIE DREWNA ARCHEOLOGICZNEGO

Rozwój dendrochronologii nastąpił głównie z inspiracji archeologów. Do dzisiaj podstawowym zastosowaniem dendrochronologii jest określanie wieku drewna archeologicznego, a z kolei dla archeologów jest to najdokładniejsza i w związku z tym podstawowa metoda datowania bezwzględnego. Wyniki badań dendrochronologicznych pozwalają archeologom na określenie wieku drewna w sytuacjach, gdy zawodzą klasyczne metody stratygrafii i są bez porównania dokładniejsze i bardziej pewne od takich wyznaczników czasu jak style ceramiki czy typologia zabytków ruchomych. Należy przy tym podkreślić, że analiza dendrochronologiczna jest w pełni obiektywna i niezależna. Datowania poszczególnych drewnianych elementów konstrukcyjnych pozwalają na odtworzenie historii budowy i użytkowania całego obiektu czy też zespołu zabytkowego. W większej skali terytorialnej wyniki badań dendrochronologicznych umożliwiają nawet dokładne ustalenie historii osadnictwa i aktywności człowieka na analizowanym obszarze (np. Dean 1996) i powiązanie tego z globalnymi zmianami klimatycznymi (Dean 1994).

Pierwszym zadaniem dendrochronologa przy określaniu wieku drewna jest uzyskanie odpowiednich próbek do analizy. Powinny one spełniać kilka warunków, z których podstawowym jest uzyskanie w miarę możliwości kompletnej sekwencji przyrostów rocznych, tzn. od kory do rdzenia. Gdy jakość materiału na to nie pozwala, szczególną uwagę należy zwrócić na zewnętrzną warstwę drewna, gdyż decyduje ona o dokładności datowania. Szansa uzyskania pozytywnego wyniku rośnie wraz z liczbą zachowanych słoików. Bardzo istotna jest w związku z tym struktura przyrostów rocznych. Przy drewnie wąskosłoiстым już 2-cm fragment drewna z 60 słoikami może dać pozytywny rezultat, podczas gdy masywny pał o średnicy 40 cm może mieć tylko 30 bardzo szerokich przyrostów i nie zakwalifikować się w ogóle do badań. Granice przyrostów powinny być ponadto pozbawione zakłóceń wynikających z wad drewna w postaci sęków, zawojów, zakorków itp. Minimalna liczba czytelnych słoików powinna wynosić 31 w przypadku drewna dębu oraz 50 dla pozostałych gatunków drewna. Datowanie próbek dębowych zawierających 31 do 50 przyrostów bywa możliwe jedynie w przypadku analizy większej liczby próbek pobranych z jednej struktury (konstrukcji).

Najlepszą próbką do badań jest wyrzynek z kompletnym przekrojem poprzecznym drewna, pozwalający na wybór optymalnego promienia do rejestracji szerokości przyrostów. Do analizy próbek drewna dębu wystarcza zwykle jeden promień, inne gatunki drewna — iglaste i liściaste rozpięzchło-naczyniowe — wymagają w miarę możliwości dwóch promieni, ze względu na częste występowanie opisanych wcześniej anomalii przyrostowych. Wyrzynek powinien mieć grubość 20–50 mm. Do pobierania próbek wybiera się zwykle miejsca z zachowanym białym i o największym przekroju. Ilość próbek z jednej konstrukcji powinna wynosić przynajmniej od 5 do 10. Jest to bardzo istotne ze względu na późniejszą interpretację datowań. Określenie wieku pojedynczej próbki nie pozwala jeszcze na przeniesienie tej daty na całą konstrukcję. Dopiero analiza serii próbek pochodzących z jednej konstrukcji daje wyniki pozwalające na jednoznaczną interpretację. Powtarzające się daty określają datę ścięcia drzew użytych do budowy, a w konsekwencji powstania konstrukcji. Gdy pojawią się pojedyncze wyniki odbiegające od pozostałych, można je interpretować jako naprawę lub uzupełnienie konstrukcji, powtórne użycie drewna lub zastosowanie drewna pochodzącego z przyrdzeniowej części pnia.

W praktyce szczególnie często pomijana lub niedoceniana jest możliwość stosowania drewna rozbiórkowego. Tymczasem zdarzało się, że cały fragment konstrukcji był budowany z takiego powtórnie lub nawet wielokrotnie użytego materiału. Pomimo pozornej obfitości surowca na ziemiach polskich, drewno zawsze było cennym i kosztownym materiałem. Przykładem powtórnego zastosowania drewna są duże fragmenty poszycia rozebranych łodzi znajdowane w warstwach osadniczych Wolina, Szczecina i Kamienia Pomorskiego (Filipowiak 1996). Drewno pochodzące z przyrdzeniowej części pnia może dać wynik datowania do 100 lat starszy od rzeczywistego. Dotyczy to elementów o małych przekrojach w rodzaju kołków oraz węgli drzewnych, w których zewnętrzna warstwa mogła ulec całkowitemu spaleniowi i destrukcji. Staranna selekcja próbek oraz rozsądna interpretacja datowań pozwalają na uniknięcie tych pułapek podważających rzetelność i precyzję datowania.

Doskonałymi próbkami do analizy dendrochronologicznej są dranice. Wykonywano je poprzez rozwarstwienie klinami pni świeżo ściętych drzew. Najczęściej były to pnie dębowe, które dzięki bardzo szerokim promieniom drzewnym łatwo można było rozłupać w kierunku promieniowym. Uzyskane w ten sposób klepki zawierają pomimo niewielkiej grubości dużo przyrostów rocznych, gdyż najlepsze do tego celu było wąskosłoiste drewno dębowe o regularnych przyrostach. Tego rodzaju drewno stosowane było m.in. jako szalunek studni, klepki służyły również

do produkcji beczek, które często wykorzystywano wtórnie m.in. przy budowie urządzeń kanalizacyjnych.

Próbki drewna powinny być po wydobyciu z ziemi lub z wody przechowywane w warunkach zabezpieczających przed deformacją oraz przed rozkładem przez mikroorganizmy. Najlepszym rozwiązaniem jest zamrażanie drewna, przechowywanie w wodzie (pod warunkiem zapewnienia wymiany wody) lub przechowywanie w szczelnie zamkniętych workach foliowych. Zachowanie wysokiej wilgotności drewna uniemożliwi rozkład destrukcyjny przez grzyby, które są organizmami aerobowymi i w warunkach beztlenowych nie mogą się rozwijać. Drewno suche z kolei należy przechowywać w stanie tej samej wilgotności.

Konserwacja mokrego drewna archeologicznego nie uniemożliwia pobierania próbek do analizy dendrochronologicznej. W zależności od użytego impregnatu i stanu zachowania drewna może być jednak utrudnione otrzymanie czytelnej powierzchni drewna do pomiaru przyrostów rocznych. W przypadku najczęściej stosowanego glikolu polietylenowego (PEG) żywica może do tego stopnia wypełnić naczynia drewna wczesnego, że stają się one nierozróżnialne (Morgan i in., 1981). Ponieważ do konserwacji stosowane są zwykle żywice odwracalne, możliwe jest oczyszczenie powierzchni przy pomocy rozpuszczalników organicznych. Dla drewna zaimpregnowanego PEG wystarczy potraktowanie powierzchni przekroju poprzecznego drewna gorącą wodą, żeby uzyskać czytelny rysunek drewna nie obniżając przy tym jego wytrzymałości.

Możliwości dendrochronologii w archeologii zostały wykorzystane w przeprowadzonych przez autora badaniach licznych stanowisk archeologicznych. W tabeli 3 przedstawiono wykaz tych stanowisk, a ich lokalizację ilustruje mapa na rys. 12. Jednym z najważniejszych i najciekawszych obiektów archeologicznych poddanych analizie dendrochronologicznej była osada w Biskupinie. Gród biskupiński jest pod wieloma względami wyjątkowy w polskiej archeologii — świetnie zachowana w wilgotnym gruncie drewniana osada świadczy o wysokim poziomie technicznym i organizacyjnym nieznanego ludu należącego do kultury łużyckiej. Przykład ten jest także interesujący z innego względu — nastąpiło zderzenie koncepcji wypracowanych metodami archeologii porównawczej z rezultatami uzyskanymi całkowicie niezależnymi metodami przyrodniczymi.

Konstrukcje drewniane należące do osady kultury łużyckiej z okresu brązu odkryto w 1933 r. na niewielkim półwyspie Jeziora Biskupińskiego na Pałukach (północno-

Tab. 3. Wykaz stanowisk archeologicznych objętych badaniami dendrochronologicznymi

Nazwa stanowiska	Ilość próbek	Datowanie	Gatunek drewna
Bielsk Podlaski	9	1477, 1490, 1503	dąb
Biskupin	71	747–722 r. p.n.e.	dąb
Bnin	4	ok. 971 i 983	dąb
Bocheń	17	827 i ok. 841	dąb
Brańsk	35	1395 <sup>*8</sup> / <sub>.6</sub> –1442; 1754–1756	dąb, sosna
Bydgoszcz	31	1037–1053; 1418 <sup>*x</sup> / <sub>.6</sub>	dąb
Czarny Las / Szestno	50	niedatowane	dąb (zwęglony)
Dawidgródek	16	niedatowane	dąb
Dąbrówno	10	1337–1351	dąb
Dobre Miasto	2	1727	dąb
Dzierżążnia	8	niedatowane	dąb
Elbląg	1800	XIII–XVII w.	dąb, sosna, jesion
Gdańsk	800	X–XIX w.	dąb, sosna
Grzybowo	4	794 <sup>*x</sup> / <sub>.6</sub> –812 <sup>*x</sup> / <sub>.6</sub>	dąb
Kołobrzeg	350	X–XVII w.	dąb, sosna
Kraków – Wawel	8	niedatowane	dąb (zwęglony)
Kwietniewo	5	niedatowane	dąb, wiaz
Lublin	43	od 1330 <sup>*x</sup> / <sub>.6</sub> do ok. 1425	dąb, sosna
Łodygowo	3	1313–1324 <sup>*x</sup> / <sub>.6</sub>	dąb
Malbork – Zamek	6	1335 <sup>*x</sup> / <sub>.6</sub>	dąb
Nowiec	63	niedatowane	dąb
Nowy Dwór (gm. Lidzbark Welski)	3	1247, 1252	dąb
Ostrowite	8	1280	dąb
Ostróda	10	1320, 1333–4, 1608	dąb, sosna
Płock	14	1344, 1364	dąb
Podeblocie	3	niedatowane	dąb, sosna (węgiel)
Puck – zamek	30	1276 <sup>*x</sup> / <sub>.6</sub> –1389 <sup>*x</sup> / <sub>.6</sub> ; 1568	dąb, sosna
– rynek	24	1276 <sup>*x</sup> / <sub>.6</sub> –1389 <sup>*8</sup> / <sub>.6</sub>	dąb, sosna
– port	120	913–1344	dąb
Raciąż	14	ok. 909 r.	dąb
Rajgród	5	niedatowane	sosna

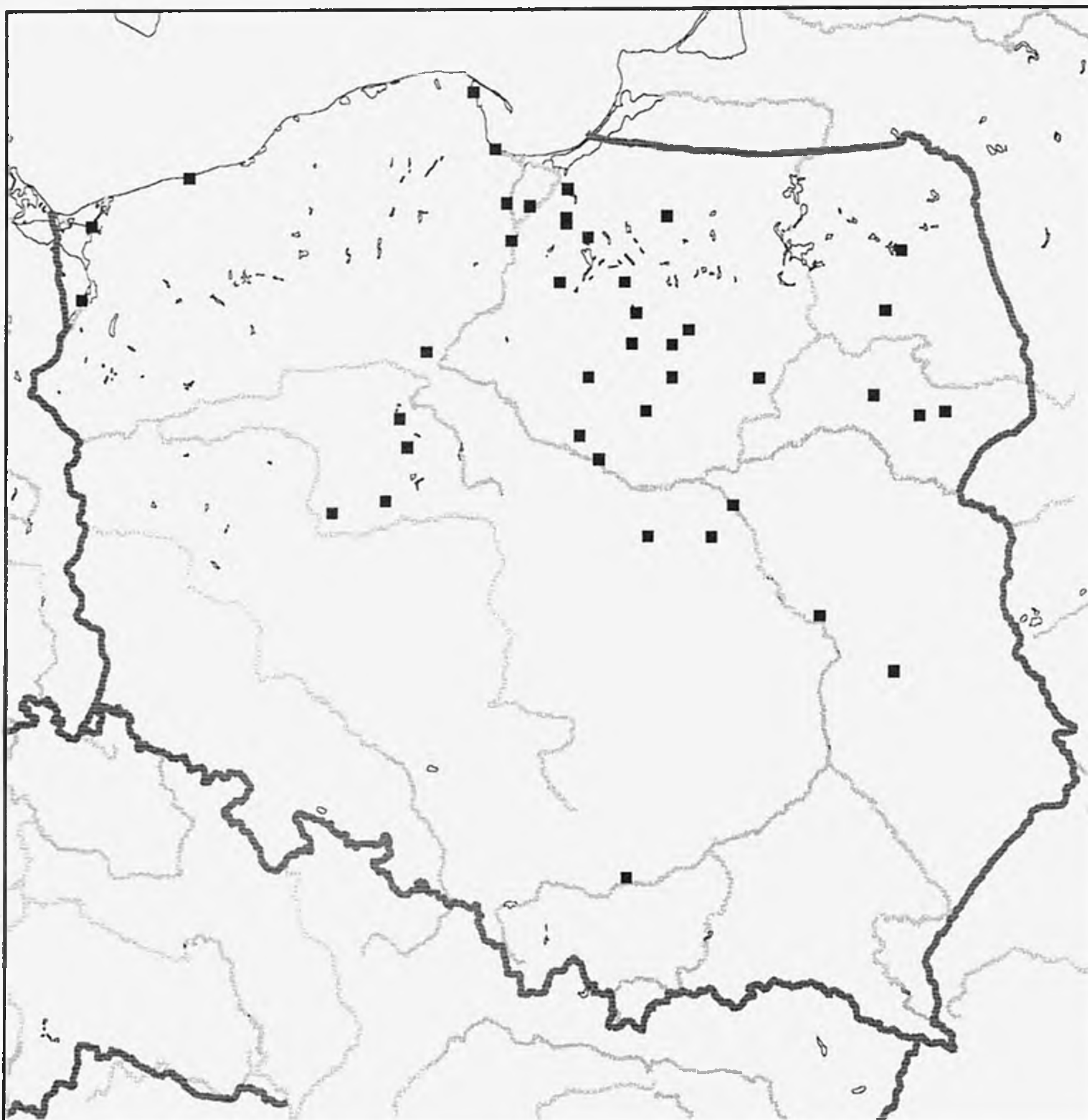


Tab. 3. c.d.

Nazwa stanowiska	Ilość próbek	Datowanie	Gatunek drewna
Rusiec	32	1460–1470	dąb
Skrwilno	20	niedatowane	dąb, jesion, sosna
Sokolniki Małe	6	niedatowane	dąb
Sypniewo – gród	10	897 <sup>*8</sup> /.6–907	dąb
– studnia 1	11	ok. 915	dąb
– studnia 2	10	1028/29	dąb
Szczecin	350	987–1818	dąb, sosna
Święck Strumiany	12	914–967	dąb
Święty Gaj	160	I w. p.n.e. –II w. n.e.	dąb
Tczew	6	ok. 1330–1346	dąb
Trzemeszno	11	1369–1633 <sup>*x</sup> /.6	dąb
Warszawa, Zamek Królewski	6 10 (tylko 1 datowana)	1592–1596 po 1763	dąb sosna
Warszawa Bródno	5	niedatowane	dąb
Wola Szydłowska	50	714 <sup>*x</sup> /.6–911	dąb
Wolin	200	838–1010	dąb
Zalewo	13	1318–ok. 1472	dąb

zachodnia Polska). W ciągu 60 lat Biskupin był miejscem intensywnych badań interdyscyplinarnych i stanowiskiem, na którym wychowało się kilka pokoleń polskich archeologów. Przez ten czas odsłonięto i przebadano prawie 75% grodu, wydobyto i opracowano tysiące zabytków kultury materialnej. Pomimo tego przez cały ten okres pozostawało niewyjaśnioną zagadką: kiedy osadę zbudowano, jak długo funkcjonowała, kiedy i dlaczego została opuszczona. Na podstawie analizy ceramiki i wyrobów metalowych archeolodzy umiejscawiali Biskupin w połowie I tysiąclecia p.n.e. — pomiędzy 550 a 400 r. p.n.e. W ostatnich latach coraz częściej jednak pojawiały się opinie o konieczności cofnięcia czasu powstania osady (Mikłaszewska-Balcer 1991, Śmigielski 1991). Klasyczne metody archeologiczne nie pozwoliły na pełne wyjaśnienie tego problemu. Nadzieję stworzyły natomiast metody wywodzące się z nauk przyrodniczych i ścisłych: dendrochronologia oraz metoda radiowęglowa.

Pierwsze próby dokładnego wyznaczenia wieku znaleziska podjęto jeszcze przed II wojną światową. Próbki drewna wysłane zostały do Instytutu Geochronologii



Rys. 12. Lokalizacja stanowisk archeologicznych przebadanych przez Laboratorium Dendrochronologii ASP w Warszawie

w Sztokholmie. W 1956 r. opublikowane zostały pojedyncze rezultaty otrzymane metodą porównań z nielicznymi istniejącymi wówczas wzorcami, m.in. z chronologiami norweskich sosen i amerykańskich sekwoi (de Geer 1956). Z dzisiejszego punktu widzenia wyników tych nie można zaakceptować — porównywane były różne gatunki drewna rosnące w całkowicie odmiennych warunkach klimatycznych. Kolejną próbą rozwiązania zagadki biskupińskiej było wysłanie próbek do laboratoriów dendrochronologicznych w Neuchatel i Wiedniu w latach 80. Analizy wykonane w tych laboratoriach nie przyniosły rezultatów.

Dużo światła na problem wydatowania grodu rzuciły analizy radiowęglowe. Pierwsze opublikowane wyniki (Pazdur i in. 1991) lokowały Biskupin pomiędzy

880 a 700 r. p.n.e. Wyniki te oceniono jednak jako niejednoznaczne, a późniejsze daty  $^{14}\text{C}$  rozrzucone na przestrzeni kilkuset lat zaciemniły ten obraz. Trudną do pokonania przeszkodą stały się zakłócenia zawartości izotopu węgla  $^{14}\text{C}$  w atmosferze w okresie halsztackim i wynikający z tego specyficzny przebieg krzywej kalibracyjnej.

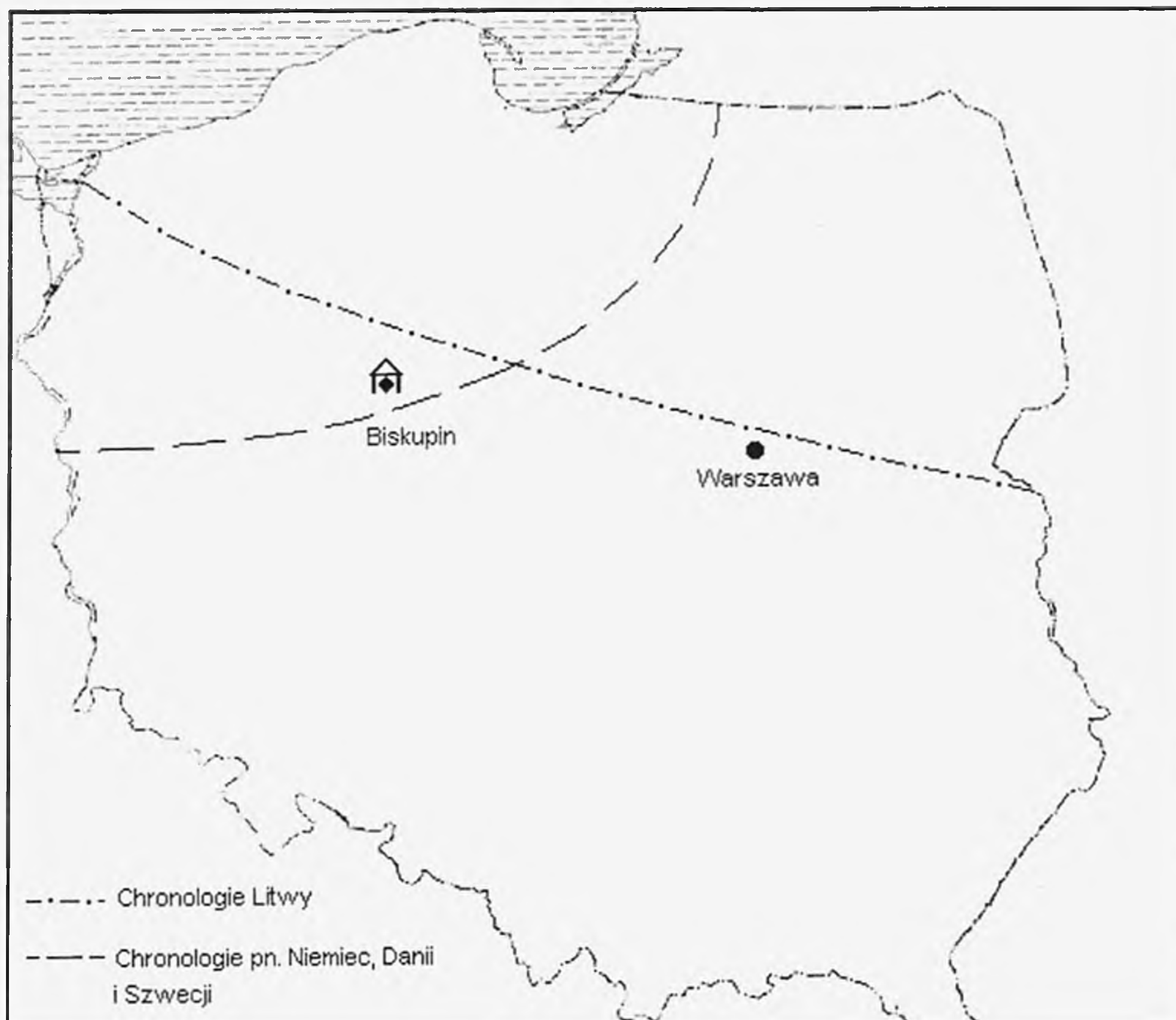
W 1991 r. systematyczne badania dendrochronologiczne drewna z Biskupina podjęte zostały przez autora w ramach działalności pracowni dendrochronologicznej Wydziału Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki Akademii Sztuk Pięknych w Warszawie we współpracy z Państwowym Muzeum Archeologicznym w Warszawie. Zasadniczym celem projektu było:

- rozpoznanie przydatności drewna archeologicznego z Biskupina dla dendrochronologii oraz możliwości pobierania próbek w aktualnych warunkach;
- relatywne datowanie konstrukcji, określenie okresu budowy i rozbudowy osady;
- wyselekcjonowanie spośród relatywnie wydатовanych krzywych przyrostowych grup o najwyższej zgodności przebiegu
- opracowanie „pływających” chronologii drewna dębu z Biskupina;
- absolutne datowanie osady w oparciu o istniejące europejskie chronologie standardowe lub poprzez przedłużenie w przeszłość polskich chronologii.

Do badań dendrochronologicznych wyselekcjonowano 71 dębowych elementów należących do konstrukcji wału i fundamentów chat w wykopie północno-wschodnim oraz bramy, ulicy poprzecznej i falochronu z zach. części półwyspu biskupińskiego. Przy wyborze kierowano się rozmiarami elementów oraz ocenianą na miejscu słoistością drewna. Zamierzeniem było uzyskanie jak najdłuższych sekwencji przyrostów rocznych. Stwierdzono bardzo zły stan techniczny i deformację drewna elementów znajdujących się ponad powierzchnią wody lub gruntu. Liczne pęknięcia i deformacja poważnie ograniczały lub wykluczały ich przydatność do badań dendrochronologicznych. Dobrze zachowane okazały się być natomiast tkwiące w gruncie fragmenty pionowych słupów oraz skośnie wbitych pali falochronu.

Z wyselekcjonowanych elementów pobrano próbki, na których pomierzone zostały szerokości przyrostów rocznych drewna. Rezultaty pomiarów oraz wykonane na podstawie nich wykresy przyrostowe przyniosły następujące spostrzeżenia:

- mieszkańcy Biskupina ścinali dęby o średnicy do 25 cm, których wiek rzadko przekraczał 100 lat. Najdłuższa sekwencja przyrostowa liczyła 142 lata.



Rys. 13. Zasięg chronologii dębu krajów sąsiednich na terenie Polski

- rytm przyrostów ulegał dużym zmianom, zaznaczyły się wyraźne wpływy silnych czynników zewnętrznych na aktywność kambialną drzew.
- uzyskane krótkie krzywe przyrostowe o bardzo niespokojnym (sensytywnym) przebiegu zapowiadały poważne trudności przy analizie porównawczej.
- aż 30 próbek miało zachowany w całości biel ze słojem podkorowym, co stwarzało szansę określenia wieku drewna z dokładnością 1 roku.

Korelacja wszystkich sekwencji przyrostowych przyniosła pomimo ich niekorzystnych właściwości liczne rezultaty. Stwierdzono bardzo podobny przebieg krzywych przyrostowych, dzięki czemu 60 spośród analizowanych 71 próbek można było relatywnie wydatować. Zaskakująco mały był rozrzut badanych elementów w czasie. Z przeglądu rezultatów dotyczących chronologii osady biskupińskiej opracowanego przez Mikłaszewską-Balcer (1991) wynika, że okres istnienia osady oceniano na 50 do 120 lat. Tymczasem pomiędzy datą ścięcia najmłodszego i najstarszego z badanych elementów upłynęło tylko około 25 lat.



Można to co prawda uzasadniać zbyt małą serią pobranych próbek, ale pochodziły one jednak z różnych konstrukcji i miejsc.

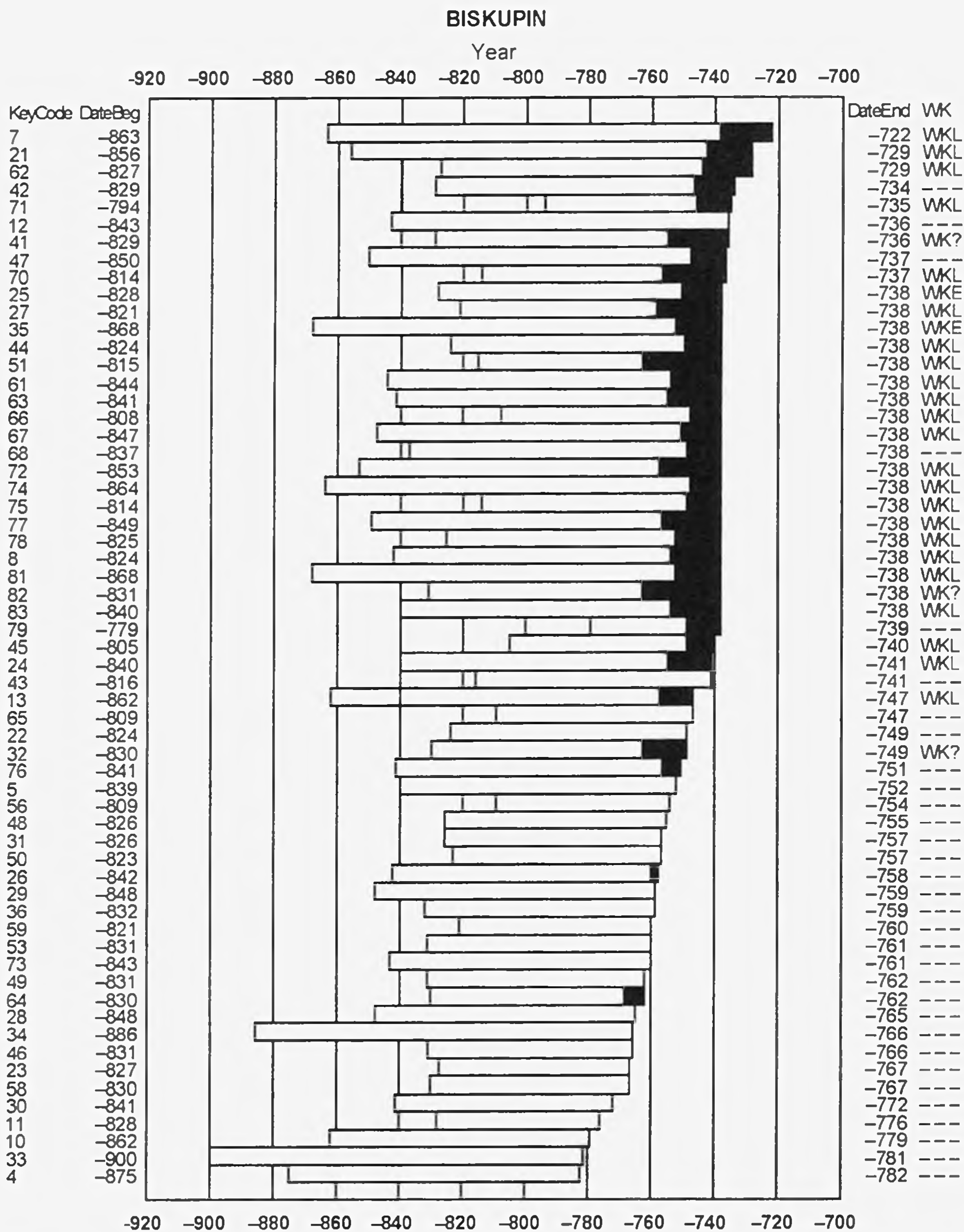
Grupy wykresów przyrostowych o największym podobieństwie przebiegu posłużyły do zestawienia średnich krzywych przyrostowych. Następnie opracowano wspólną chronologię drewna dębu z Biskupina zestawioną z 24 pojedynczych sekwencji przyrostowych. Chronologia ta obejmowała 166 lat. Tego rodzaju chronologia reprezentowała już całe stanowisko i kompleks leśny, z którego pochodził materiał budowlany. Dzięki temu można było próbować zsynchronizować ją z wzorcami przyrostowymi sąsiednich regionów. Jak stwierdzono porównując chronologie standardowe Polski i krajów sąsiednich (Ważny 1990), obejmują one w niektórych okresach bardzo szeroki zasięg terytorialny (rys. 13).

Najbliższe Polsce chronologie drewna dębu obejmujące II połowę I tysiąclecia p.n.e. opracowane zostały przez Uniwersytet w Getyndze dla terenów Dolnej Saksonii (Leuschner, Delorme 1988). Dzięki uprzejmości dr H. H. Leuschnera udostępnione zostały one do badań dendrochronologicznych drewna z Biskupina. Synchronizacja biskupińskich średnich sekwencji przyrostowych z getyndzkimi wzorcami zakończyła się pełnym sukcesem. Zarówno optyczne podobieństwo wykresów przyrostowych jak i parametry statystyczne analizy porównawczej dały jednoznaczny wynik — absolutne datowanie (Ważny 1993).

Chronologia Biskupina objęła lata 887–722 BC. Badane drewniane elementy pochodziły z drzew ściętych w latach 747–722 BC, przy czym zdecydowana większość próbek z kompletnie zachowanym bielem pochodziła ze ścinki zimowej 738/737 BC. Dotyczyło to zwłaszcza elementów z wykopu północno-wschodniego pochodzących z konstrukcji wału i fundamentów chat. Położenie sekwencji pomierzonych przyrostów rocznych w skali czasu przedstawia diagram na rysunku 14. Fragmenty belek oznaczone czarnym kolorem obrazują lata, w których powstały pomierzone przyrosty twardzieli, fragmenty zaznaczone białym kolorem — zachowane fragmenty bielu. Rozkład wyników próbek wydatowanych z dokładnością do jednego roku przedstawia się następująco:

- przed 738 r. p.n.e. — 18 %
- 738–737 r. p.n.e. — 71 %
- 737–722 r. p.n.e. — 11 %

Uzyskane rezultaty przedstawić można na przykładzie zachodniej części falochronu, który po odsłonięciu znajduje się obecnie ponad powierzchnią gruntu.



**Rys. 14.** Datowanie serii przyrostowych próbek drewna z Biskupina. Belki oznaczają lata, w których powstały zachowane na próbkach przyrosty roczne, drewno bielu oznaczono czarnym kolorem, symbolem „WKL” zachowany kompletny słoj podkorowy, symbolem „WKE” — zachowany słoj podkorowy z wykształconym tylko drewnem wczesnym

Z falochronu pobrano 16 próbek o numerach od 21 do 36; wszystkie z nich udało się wydatować, z tego cztery z dokładnością do jednego roku. Pale nr 25 i 35 pochodzą z drzew ściętych w trakcie okresu wegetacyjnego 738 r. p.n.e., a więc na kilka miesięcy przed okresem największej aktywności budowlanej mieszkańców

Biskupina. Najmłodsze pale o nr 21 i 22 stoją w sąsiedztwie bramy, z której pochodzą zarówno najstarsze jak i najmłodsze dotychczas datowane elementy konstrukcyjne z Biskupina. Około 20 lat od nich starszy jest pal nr 32 wydatowany na 747+/-2 r. p.n.e., z tego samego czasu pochodzi przypuszczalnie pal nr 33. Rezultaty te wskazują na ciągle uzupełnianie i wzmacnianie konstrukcji pełniącej rolę falochronu, jakkolwiek jej zasadnicza część powstała również około 738–737 r. p.n.e.

Problem ustalenia wieku osady biskupińskiej został w ten sposób rozwiązany. Rezultaty dendrochronologicznego datowania były o około 100–250 lat starsze od wieku Biskupina wyznaczonego klasycznymi metodami archeologicznymi. Różnica była znaczna i wskazywała na konieczność dokonania pewnej korekty dotychczasowych ustaleń dotyczących chronologii okresu halsztackiego oraz miejsca Biskupina w tej chronologii (Ważny i in. 1994). Spotkało się to z pewnymi zastrzeżeniami części środowiska archeologicznego i było przedmiotem burzliwych dyskusji.

Autorzy niektórych publikacji (m.in. Pazdur i in. 1991) powoływali się na datowania dendrochronologiczne stanowisk takich jak Hallstatt czy Magdalenenberg/Villingen, będących punktem odniesienia dla Biskupina. Publikowali je m.in. Hollstein (1980), Spindler (1981). Wyniki te obarczone są jednak błędem +71 lat, tzn. są w rzeczywistości o 71 lat starsze. Jaka była geneza tego błędu? Wielokrotnie podkreśla się przecież, że datowania dendrochronologiczne są pewne i nie podlegają dyskusji. Wymaga to bliższego wyjaśnienia, ponieważ niedostateczna wiedza na ten temat może stać się jeszcze w przyszłości przyczyną błędnych interpretacji.

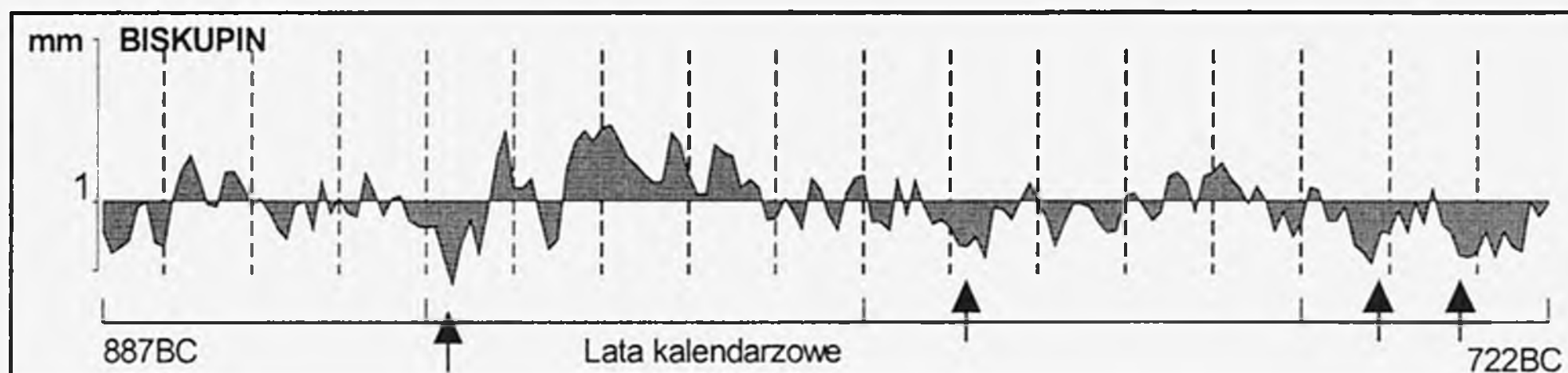
W lecie 1982 r. nastąpiła wymiana danych pomiędzy laboratoriami niemieckimi i laboratorium dendrochronologicznym Queen's University w Belfaście. Przedmiotem wymiany były absolutnie chronologie dębu północnych i środkowych Niemiec opracowane przez Beckera i Schmidta (1982) oraz chronologie Irlandii („pływające” dla okresu p.n.e., opracowywane przez Baillie (1992, 1993). Stwierdzono wysoką wizualną zgodność obydwu zestawów chronologii dla II tysiąclecia p.n.e., ale zaznaczyły się różnice między absolutnym datowaniem pływającej chronologii Irlandii GB2 za pomocą miejscowego materiału porównawczego oraz przy użyciu niemieckich wzorców. Datowanie chronologii irlandzkiej określone przez Baillie jako próbne dało wynik 229 r. p.n.e. dla początku tej chronologii, zastosowanie chronologii niemieckich przyniosło rezultat 158 r. p.n.e. (Baillie 1983). Sugestie Baillie potwierdzone były przez datowanie radiowęglowe metodą „wiggle-matching” 220+/-20 BC.

Dyskusyjnym fragmentem niemieckiej chronologii było VI stulecie p.n.e. ze względu na bardzo szczupły materiał porównawczy z tego okresu — brak zarówno subfosyl-nych dębów, jak i drewna archeologicznego. Dwie prawie nie zachodzące na siebie części chronologii — jedna kończąca się w 546 r. p.n.e., druga zaczynająca się w 540 r. p.n.e. — zostały błędnie połączone pojedynczym ogniwem, jakie stanowiła sekwencja przyrostowa stanowiska Kirnsulzbach. Dało to w rezultacie błąd wynoszący +71 lat. Pierwszą część chronologii reprezentują stanowiska archeologiczne Thiele, Bad Nauheim i młodsze datowane prawidłowo. Druga część zawierająca Villingen, Hallstatt i starsze stanowiska jest obarczona błędem (Spindler 1981).

Baillie (1983) napisał: „jest oczywiste, że krytyczna nakładka rozciąga się pomiędzy 443 i 546 r. p.n.e. i wydaje się, że datowanie całego niemieckiego prehistorycznego kompleksu do 500 r. p.n.e. zależy od tego krytycznego ogniwa”.

Becker (1983) w tym samym czasie zauważył, że jedynym niedostatecznie pokrytym fragmentem południowo-niemieckiej chronologii jest okres 600–400 BC. Zwrócił przy tym uwagę na 70-letnią różnicę pomiędzy tą chronologią, a kalibrowanymi datami  $^{14}\text{C}$ . Ostateczne stanowisko w tej sprawie przedstawione zostało w *Nature* przez Pilchera, Baillie, Schmidta i Beckera (1984). Ustalono, że chronologia niemiecka powinna zostać przerwana w 550 r. p.n.e., a odcinek sprzed tej daty przesunięty w przeszłość o 71 lat.

Konsekwencją przedstawionej sytuacji była konieczność korekty dendrochronologicznych datowań uzyskanych przed 1983 r. dla środkowo- i zachodnioeuropejskich stanowisk archeologicznych sprzed 450–500 r. p.n.e. Autorów błędu usprawiedliwia fakt, że była to pierwsza absolutna chronologia dębu sięgająca tak daleko w przeszłość i nie mieli oni do dyspozycji wystarczających materiałów porównawczych. Nowa, poprawiona wersja chronologii dębu obejmującej okres halszacki przedstawiona została przez następców Beckera w drugiej połowie lat 90. (Spurk i in. 1998). Jednocześnie opublikowano ostateczne wyniki dla Willingen,



Rys. 15. Przebieg krzywej przyrostowej reprezentującej drewno z Biskupina. Okresy redukcji przyrostów zaznaczono strzałkami



Kirnsulzbach, nie datowanego dotychczas stanowiska Wehringen oraz innych wraz ze schematem chronologii okresu halsztackiego zachodniej części Przedgórza Alpejskiego (Friedrich i Hennig 1995).

Przedstawione rezultaty potwierdzają wraz z datowaniem Biskupina przesunięcie w przeszłość tak ważnego fragmentu pradziejów środkowej Europy, jakim był przełom okresu brązu i żelaza.

Okres powstania i rozwoju osady biskupińskiej był nie tylko ważnym i burzliwym okresem w rozwoju społecznym Europy ale i okresem dużych zmian klimatycznych. Obydwa te aspekty są zresztą ściśle związane ze sobą. Przebieg chronologii dębu opracowanej dla Biskupina, jak i właściwości poszczególnych sekwencji przyrostowych wykazują okresy głębokich i długoterminowych redukcji przyrostów drzew (rys. 15). Odpowiadają one dokładnie wynikom badań Leuschnera (1992) przeprowadzonych na dębach pochodzących z torfowisk Dolnej Saksonii. Drzewa tam rosnące charakteryzowała długoterminowa redukcja przyrostów rocznych w latach 855–835 BC, a następnie w następujących po sobie w krótkim odstępie czasu okresach 735–715 BC oraz 705–685 BC. Z kolei na torfowiskach wybrzeża Morza Północnego zaobserwowano, że około 850 r. p.n.e. oraz około 700 r. p.n.e. nastąpiła zmiana generacji rosnących tam dębów — starsze drzewa obumarły, a w krótki czas po tym wykiełkowały nowe drzewka. Leuschner (1992) interpretuje to zjawisko w następujący sposób: zamieranie dębów nastąpiło w wilgotnym okresie i zachodziło szczególnie na obszarach depresyjnych torfowisk. Brak drzew dominujących stworzył z kolei dogodne warunki do wykiełkowania nowej generacji dębów.

Na zmianę klimatu na początku VIII w. p.n.e. w kierunku klimatu wilgotnego wskazują również wyniki badań dendrochronologicznych Schmidta (1992) nad określeniem wieku drewnianych pomostów zbudowanych na podmokłych terenach północno-zachodnich Niemiec. Liczne pomosty powstały w latach 717–713 p.n.e, zwracała przy tym uwagę ich solidna budowa. Drewno było zachowane w bardzo dobrym stanie, co wskazuje na to, że po krótkim okresie użytkowania znalazło się w warstwie przesyconej wodą, dopóki pomostów nie pokrył torf.

Szczegółowe badania zmian klimatycznych w I tysiącleciu p.n.e. na podstawie regionalnych chronologii dębu podjął Friedrich (1996, 1997). Pierwsze wyniki pozwoliły ustalić, że największa zmiana nastąpiła około 840–800 r. p.n.e. Poprzez analogie do reakcji współcześnie rosnących dębów ten autor przypuszcza, że klimat

zmienił się z ciepłego i suchego przed 840 r. p.n.e. na chłodny i wilgotny po 800 r. pne. Również przebieg krzywej kalibracyjnej C14 wskazuje na silną zmianę aktywności Słońca w tym okresie (maksimum ok. 750 r. p.n.e.).

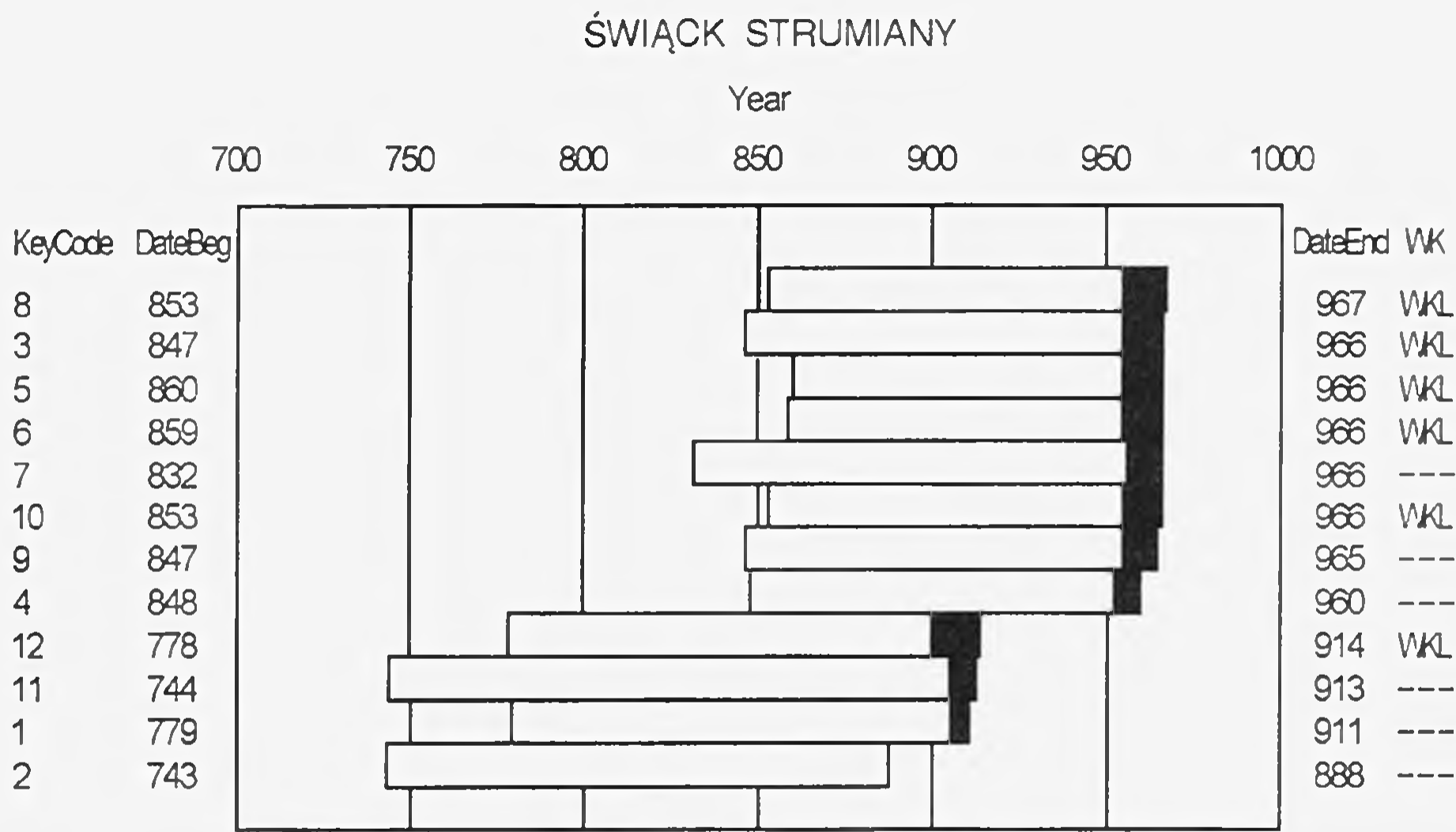
Główną przyczynę upadku grodu biskupińskiego upatruje się we wzroście poziomu lustra wody w jeziorze Biskupińskim do poziomu uniemożliwiającego dalsze zasiedlenie (Niewiarowski i in. 1992). Przekroczenie poziomu 79 m n.p.m. powinno spowodować zalanie prawie całego półwyspu. Jak wynika z badań nad wahaniami poziomu wód Jeziora Biskupińskiego, w momencie powstawania budynków i ulic poziom wody nie mógł być wyższy, niż 77,5 m n.p.m. (Niewiarowski 1995). Następnie gwałtowny przybór wody podniósł poziom jeziora o 2 m. Ponieważ na wahania poziomu wody jeziora wpływały głównie czynniki klimatyczne, potwierdzałoby to spostrzeżenia, że gwałtowna zmiana klimatu na wilgotny i chłodny, która musiała pociągnąć za sobą przybór wody w jeziorze, nastąpiła wcześniej i miała miejsce w VIII w. p.n.e. Rozszerzenie chronologii biskupińskiej powinno dostarczyć dalszych informacji o okresie halsztackim będącym jeszcze słabo poznanym epizodem w historii Europy.

Na największą skalę badania dendrochronologiczne prowadzone są przy okazji badań archeologicznych dużych zespołów miejskich jak np. Gdańsk, Elbląg, Kołobrzeg czy Szczecin. Rozwój dendrochronologii w północnej Polsce był ściśle związany z charakterem i zakresem prac wykopaliskowych w tych miastach. Szczególnie bogatego materiału dostarczyły badania szerokopłaszczyznowe prowadzone przez Muzeum Archeologiczne w Gdańsku, terenowe oddziały P.P. Pracownie Konserwacji Zabytków w Elblągu i Szczecinie oraz Stacje Archeologiczne Instytutu Historii Kultury Materialnej PAN w Gdańsku, Szczecinie i Kołobrzegu i kontynuowane przez firmy powstałe w wyniku przekształceń niektórych z wymienionych instytucji.

Pod względem ilości przebadanych konstrukcji najszerszy zakres miały badania dendrochronologiczne drewna z Gdańska. Na terenie Starego Miasta m.in. wydawano na połowę XIV w. konstrukcje drewniane z Wielkiego Młyna, a na II połowę XII w. ustalono wiek pozostałości zabudowy z Podwała Staromiejskiego. Wśród licznych rezultatów uzyskanych dla zabudowy Głównego Miasta przeważają daty z XIV wieku. Dwa obiekty z Głównego Miasta — beczka z ul. Powroźniczej wydawana na lata 1348–58 oraz beczka z zaplecza Dworu Artusa, której wiek ustalono na 1580–85 r. reprezentują dość często spotykane w Gdańsku drewno obcego pochodzenia. Analiza dendrochronologiczna pozwoliła ustalić, że obydwie beczki

odbyły daleką podróż z zachodniej części Niemiec, zanim nie zostały wtórnie użyte w mieście nad Motławą. Najstarsze daty uzyskano dla konstrukcji odkrytej przez Zbierskiego w podziemiach Ratusza Głównomiejskiego. Konstrukcja ta, będąca przypuszczalnie pozostałością wału obronnego (Zbierski 1978), została wybudowana w tym miejscu około 932 r., a więc ponad 60 lat przed pojawieniem się pierwszej wzmianki o Gdańsku. Rezultat ten dokumentuje, że historia miasta jest znacznie dłuższa, niż obchodzone w 1997 r. 1000 lat.

Szczególne znaczenie mają analizy dendrochronologiczne drewna pochodzącego z badań archeologicznych prowadzonych na Wyspie Spichrzów. Spośród stojących tam w niektórych okresach ponad 300 spichlerzy II wojnę światową przetrwał tylko jeden. Poprzedzające inwestycje budowlane prace wykopaliskowe stworzyły okazję do przebadania znajdujących się pod warstwą gruzu pozostałości dawnej zabudowy Wyspy. Niestety prowadzone głównie w XIX wieku gruntowne przebudowy zatarły granice pomiędzy poziomami i często tylko analiza przyrostów rocznych zachowanego drewna pozwala na odtworzenie chronologii zabudowy. Przebadane dotychczas pozostałości ponad 20 spichlerzy przyniosły liczne datowania z XIV i XV wieku. Brak późniejszych rezultatów można tłumaczyć zarówno brakiem drewna, jak i opisanymi wcześniej trudnościami z badaniami dendrochronologicznymi przeważającego na Wyspie drewna sosny. Wyniki prowadzonych w Gdańsku badań archeologicznych wraz z interpretacją analiz dendrochronologicznych wykonanych przez autora szczegółowo przedstawił Paner (1997).



**Rys. 16.** Datowanie serii przyrostowych próbek drewna ze Świąćka Strumianego. Belki oznaczają lata, w których powstały zachowane na próbkach przyrosty roczne, drewno bielu oznaczono czarnym kolorem, symbolem „WKL” zachowany kompletny słój podkorowy

Równie duże znaczenie, co rezultaty badań dużych zespołów miejskich mogą mieć wyniki uzyskane dla pojedynczych obiektów — pomostów, studni, nabrzeży portowych itp. Jednym z ciekawszych obiektów jest studnia odkryta w latach 1965–66 podczas prac wykopaliskowych prowadzonych w średniowiecznym grodzisku Święck Strumiany. Studnia o konstrukcji skrzyniowej składała się z trzech części, z których górna część była spalona. Po wydobyciu drewno zostało poddane konserwacji w Muzeum Okręgowym w Białymstoku. Do badań dendrochronologicznych elementy konstrukcyjne studni przekazano w 1995 r. Pobrano 11 próbek, z których wszystkie pozwoliły się wydatować. Na podstawie rezultatów przedstawionych w postaci diagramu belkowego na rysunku 16 można wyraźnie wyróżnić dwie fazy budowy. Cztery starsze elementy pochodziły z drzew ściętych w roku 914+/-1. Wprawdzie jedna próbka miała zachowany biel ze słojem podkorowym, ale strefa bielu była silnie zdeformowana i nie wszystkie słoje były czytelne. Po 50 latach studnia została rozbudowana. Elementy konstrukcyjne z tej części studni pochodziły z dębów ściętych w okresie jesienno-zimowym 966/67 i 967/68 r. Wyraźnie różniły się one od starszego drewna — promieniowo łupane i na 3 cm grube dranice służyły jako szalunek podczas gdy elementy z 914 r. tworzyły przypuszczalnie obramowanie konstrukcji skrzyniowej. Wyniki uzyskane dla studni ze Święcka Strumianego znakomicie korespondują z rezultatami badań dendrochronologicznych grodów północno-mazowieckich, które zostały wydatowane na przełom IX i X w. oraz początek X wieku (Ważny 1998).



## 9: DENDROCHRONOLOGICZNE DATOWANIE ZABYTKÓW SZKUTNICTWA

Osobnego omówienia wymaga dendrochronologiczne datowanie zabytków szkutnictwa. Eksploracja wraków łodzi, statków i okrętów jest co prawda ściśle związana z archeologią, a zwłaszcza z archeologią podwodną, ale konstrukcje pływające są tak odrębnym i specyficznym elementem kultury materialnej, że wymagają innego podejścia i metodyki ze strony dendrochronologa.

Podstawowymi problemami przy określaniu wieku konstrukcji pływających najczęściej są:

- nieznane pochodzenie drewna użytego do budowy;
- brak informacji o miejscu powstania jednostki.

Badany wrak może spoczywać w odległości setek kilometrów od stoczni czy warsztatu, w którym powstał. Rozwijająca się w ostatnich latach dzięki intensywnej współpracy europejskich laboratoriów sieć chronologii porównawczych pozwoliła przełamać trudności związane z datowaniem obiektów ruchomych, takich jak środki transportu wodnego. Dowodzą tego dotychczasowe opracowania dotyczące dendrochronologicznego datowania statków i okrętów (m.in. Adams i in. 1990, Bonde i Christensen 1993, Bonde i Jensen 1995, Bridge i Dobbs 1996, Tyers 1994, 1996). Szczególnie trudnymi obiektami w kategorii środków transportu wodnego są dłubanki. Z terenów Europy znane są tylko nieliczne przykłady badań dendrochronologicznych tego rodzaju obiektów pływających (m.in. Hollstein 1969, Egger 1976, Hillam 1987).

Dłubanki są jednymi z najstarszych środków transportu wodnego. Stosowane były w Europie od mezolitu prawie aż do czasów nam współczesnych, a najstarsze polskie łodzie tego typu pochodzą z okresu neolitu (Szymczak 1996). Do czasu rozwinięcia sieci tartaków i rozpoczęcia produkcji na szerszą skalę były one podstawowym środkiem pływającym na ziemiach polskich (Litwin 1995). Dłubanki wykonywane były z pojedynczego pnia drzewa. Prostota konstrukcji powodowała, że możliwości ich ewolucji były bardzo ograniczone. Różnice pomiędzy dłubanką z okresu rzymskiego a wykonaną przy pomocy najprostszych narzędzi jej nowo-

żytną wersją są więc nieznaczne i analiza typologiczno-porównawcza nie może stanowić podstawy do określania ich wieku (Smolarek 1972, Szymczak 1998). Wiek znaleziska może wynikać jeszcze z kontekstu, w jakim ono występuje, ale przy braku wyznaczników wieku w otoczeniu łodzi na jej wydatowanie pozwalają jedynie dwie metody: radiowęglowa i dendrochronologiczna.

Dłubankę formowano z pnia drzewa na dwa sposoby: wykorzystując cały pień lub stosując połowę pnia rozszczepionego wzdłużnie (McGrail i Denford 1982). Podstawowymi gatunkami drewna stosowanymi w tym celu były dąb i sosna, znacznie rzadziej spotykane są łodzie z drewna jodły, olchy, wierzby, topoli i jesionu. Proces formowania łodzi jednopiennych oraz ich zróżnicowanie typologiczne szczegółowo przedstawił Ossowski (1999). Pień drażony był poprzez wybieranie przyrdzeniowej warstwy drewna, natomiast bez większych zmian i obróbki pozostawała zwykle w śródkręciu zewnętrzna, przyobwodowa część pnia, za wyjątkiem dna łodzi. W związku z tym na części kadłuba może być zachowana nawet strefa bielu wraz ze słojem podkorowym wyznaczającym wiek z dokładnością do jednego roku. Wysychanie drewna po wydobyciu łodzi, transport i konserwacja powodowały często utratę tej tak istotnej w dendrochronologii warstwy. Niekiedy śródkręcie miało kształt prostokątny — biel był wówczas usuwany podczas obróbki kadłuba. Większe zmiany następowały w partii dziobu i rufy, którym toporami nadawano kształty w kilkunastu różnych wariantach.

Brak zewnętrznej części pnia ogranicza bardzo ilość zachowanych przyrostów rocznych. Grubość kadłuba zredukowana jest zwykle do 5–8 cm, co zmniejsza szansę datowania. Okolicznością sprzyjającą jest fakt, że do budowy dłubanki wybierano i ścinano drzewo o dużej średnicy, smukłym pniu oraz o regularnej budowie. Warunki te spełniały powoli i regularnie rosnące w dawnych puszcach ponad 200-letnie dęby. Wąskie przyrosty roczne bardzo ułatwiały obróbkę drewna, za najlepsze pod tym względem uchodzi właśnie wąskosłoiste drewno dębowe. Dlatego też, pomimo braku wewnętrznej części pnia, liczba dostępnych do analizy słoików może być wystarczająca do datowania dendrochronologicznego. Niektóre dłubanki mają ponadto fragmenty z zachowanym pełnym przekrojem pnia w postaci np. grodzi lub progów czy też prostej rufy.

Ograniczeniem w zastosowaniu metody dendrochronologicznej do datowania tego typu jednostek pływających są możliwości pobierania próbek. W przypadku dłubanek mamy do dyspozycji następujące możliwości:

- bezpośredni pomiar na obiekcie;

- wykonanie wywiertów;
- wycięcie próbki.

Bezpośredni pomiar szerokości przyrostów rocznych na obiekcie jest możliwy do wykonania przy pomocy lupy pomiarowej. Ślady pomiaru pozostają praktycznie niewidoczne, ale dostęp do przekroju poprzecznego drewna jest w przypadku dłubanek bardzo ograniczony i pozwala na uzyskanie jedynie krótkiej, kilkudziesięcioletniej sekwencji przyrostowej. Bardzo to zmniejsza szansę określenia wieku drewna, która jest tym większa, im dłuższa jest analizowana sekwencja wartości liczbowych. Dalszym czynnikiem ograniczającym jest dokładność pomiaru wynosząca w przypadku lupy 0,1 mm. dlatego też pomimo nieniszczącego charakteru pomiaru, należy stosować ten sposób tylko w ostateczności.

Przy drugim sposobie — pobieraniu próbek w postaci wywiertów — stosuje się świdry przyrostowe Presslera, które normalnie używane są do pobierania próbek z rosnących drzew. Po wyciągnięciu wiertła pozostaje niewielki i łatwy do zamaskowania otwór o średnicy ok. 4 mm. Próbki można pobierać tym sposobem w kilku wybranych miejscach. Jeżeli drewno zachowane było w dobrym stanie, można uzyskać wywiert z fragmentem przekroju poprzecznego drewna. Wywierty mierzy się następnie na specjalistycznym aparacie pomiarowym, który umożliwia pomiar szerokości przyrostów rocznych drewna z dokładnością 0,01 mm. Wadą metody jest brak ciągłości wywiertów w strefie drewna rozłożonego. Z tego też względu wywierty nie zawierają strefy bielu decydującej o dokładności datowania. Dlatego ten sposób pobierania próbek powinien tylko uzupełniać inne metody. W przypadku badań obiektów po konserwacji, możliwe jest zastosowanie specjalistycznych wiertel używanych normalnie do pobierania próbek z drewnianych konstrukcji budowlanych. Ostateczny dobór wiertła jest zależny od stanu zachowania drewna oraz od użytego do konserwacji mokrego drewna impregnatu.

Trzecia metoda — wycinanie próbki — jest najkorzystniejsza z punktu widzenia dendrochronologii, ale i najbardziej kontrowersyjna patrząc z pozycji konserwatora. Polega ona na wycięciu z kadłuba paska drewna o szerokości 2–3 cm przy pomocy pił. Uzyskana w ten sposób próbka zawiera wszystkie zachowane w materiale łodzi przyrosty roczne drewna, które można dokładnie pomierzyć na aparacie przyrostowym. Po wykonaniu pomiaru można próbkę z powrotem wkleić w pozostałą szczelinę, a ewentualne ubytki uzupełnić kitem. Szczelina pozostała po pobraniu próbek może też pozostać jako świadectwo badań. To rozwiązanie wybrano m.in. podczas badań dendrochronologicznych łodzi Wikingów z Roskilde

prowadzonych przez laboratorium dendrochronologiczne Muzeum Narodowego w Kopenhadze (Bonde i Crumlin-Pedersen 1990). Podczas pobierania próbek powstały wyraźne ubytki, które wynagradzają jednak rezultaty badań — data i miejsce powstania łodzi.

Dalsze problemy związane z badaniami dendrochronologicznymi dłubanek mogą wystąpić podczas analizy wyników pomiarów. Dłubanki wykonane były z pojedynczego pnia. Sekwencja pomierzonych przyrostów rocznych reprezentuje więc tylko jedno drzewo — jest to odpowiednik pojedynczej próbki w badaniach drewna pochodzącego z wykopalisk archeologicznych. Tymczasem prawdopodobieństwo dendrochronologicznego datowania drewna rośnie wraz z ilością próbek reprezentujących badany obiekt. Budowa drewna pojedynczej próbki jest obarczona wieloma indywidualnymi reakcjami drzewa na warunki otoczenia nie związane z klimatem i mające lokalny charakter, jak np. atak owadów, warunki glebowe, czynniki antropogenne. Bogatszy materiał badawczy pozwala na wyeliminowanie tych czynników zakłócających i uwypuklenie czynników klimatycznych, na które drzewa tego samego gatunku reagują podobnie.

Prowadzone przez autora w Polsce badania dendrochronologiczne jednostek pływających objęły analizę kilkadziesiątu dłubanek. Pochodziły one z różnych regionów geograficznych i okresów historycznych. Najstarsze z dotychczas wydatowanych członów pochodziło z Lewina Brzeskiego (woj. opolskie).

Łódź została odkryta w 1991 r. w żwirowni w Lewinie Brzeskim. Jej wymiary wynosiły: długość — 12,35 m, szerokość — do 106 cm. Ze względu na rozmiary i pełnione przypuszczalnie funkcje nazwano ją „barką”. Dokładny opis znaleziska przedstawił Krawczyk i in. (1996). W latach 1991–96 wykonano konserwację łodzi w Oddziale Państwowego Muzeum Archeologicznego w Biskupinie. Podczas prac związanych z zabezpieczeniem i konserwacją dłubanki, które szczegółowo opisał Babiński (1997), powstała możliwość pobrania próbek do badań dendrochronologicznych. Pomiary próbek wykonano na miejscu, w Biskupinie, na przenośnej aparaturze Laboratorium Dendrochronologii ASP w Warszawie. Pomierzono ogółem 217 przyrostów rocznych drewna, w tym zachowany w całości biel. Przy pomocy zestawu niemieckich chronologii standardowych możliwe było ustalenie, że badane przyrosty roczne powstały w latach 155–371 n.e. Całkowicie zachowany biel z najmłodszym wytworzonym przez drzewo podkorowym słojem pozwoliły stwierdzić, że łódź została wydrążona z pnia drzewa ściętego późną jesienią 371 r. lub zimą 371/372 r. Rok 372 n.e. jest więc zapewne



datą powstania barki, jako że drewno dębowe najłatwiej poddaje się obróbce w stanie świeżym.

Niezależnie od analizy dendrochronologicznej Laboratorium  $^{14}\text{C}$  Instytutu Fizyki politechniki Śląskiej w Gliwicach wykonało datowanie metodą radiowęglową (Goslar i Krąpiec 1996). Wynika z niego, że wiek kalendarzowy barki leży z 95% prawdopodobieństwem w przedziale 340–560 AD. Rzeczywisty rok ścięcia drzewa wyznaczony metodą dendrochronologiczną mieści się w podanym przedziale w pobliżu jego dolnej granicy.

W 1996 r. w korycie rzeki Biebrzy koło wsi Dwugły w gm. Suchowola natrafiono na czółno wydrążone z pojedynczego pnia dębowego. Prace związane z wydobyciem, konserwacją oraz analizą znaleziska podjął Dział Archeologii Muzeum Okręgowego w Białymstoku. Wydobyta łódź miała lekko uszkodzony dziób i następujące wymiary: zachowana długość — 4,75 m, szerokość — 0,70 m. Dokładne ustalenie wieku czółna było możliwe tylko przy zastosowaniu metody dendrochronologicznej.

Próbki drewna z dłubanki umożliwiły pomiar 227 przyrostów rocznych drewna. Zły stan zachowania zewnętrznej warstwy drewna — bielu — nie pozwoliły na jej uwzględnienie w analizie poza zarejestrowaniem granicy bielu i twardzieli. Synchronizacja sekwencji pomierzonych przyrostów rocznych z zestawem chronologii porównawczych drewna dębu z terenów Polski przyniosła jednoznaczny rezultat. Analizowane przyrosty powstały w latach 1336–1562 AD. Dodając brakującą strefę bielu możemy stwierdzić, że drzewo, z którego pnia została wydrążona łódź, ścięto około 1577 r. Dokładność datowania wynosi w przypadku drewna dębowego z niekompletnym bielem  $+8/-6$  lat, co wynika ze statystyki bielu opracowanej dla polskich dębów (Ważny 1990). Niestety niemożliwy do ustalenia był okres użytkowania dłubanki.

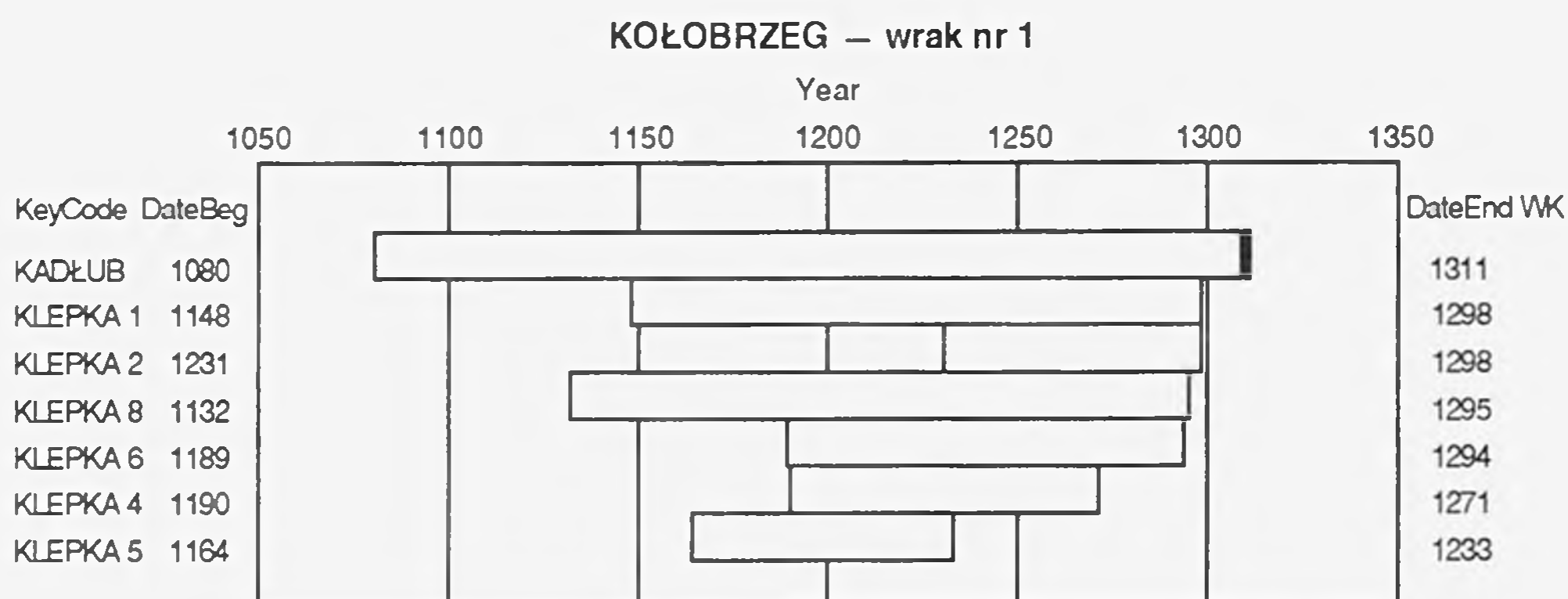
Konstrukcja dłubanki ulegała pewnym modyfikacjom. Kadłub o rozmiarach ograniczonych rozmiarami pnia drzewa powiększano poprzez przybijanie do burt na zakładkę kilku pasów klepek. Podwyższone burty wzmacniano dodatkowo wręgami (Litwin 1995). Przykładem łodzi o mieszanej, dłubankowo-klepkowej konstrukcji jest łódź z Kołobrzegu.

Wrak kołobrzesckiej łodzi znaleziony został w 1992 r. wśród pozostałości średniowiecznej zabudowy na terenie Starego Miasta. Zachowana długość łodzi

przekraczała 7 m przy szerokości powyżej 1,20 m. Badania znaleziska prowadzone były przez Instytut Archeologii i Etnologii PAN, Zespół Badawczy w Kołobrzegu, pod kierunkiem dr Mariana Rębkowskiego. Jak wynika z badań, na terenie tym znajdowało się pierwotnie rozlewisko Parsęty, a dopiero najwcześniej w połowie XIV w. nadbrzeżny rejon włączono w obszar miasta. Łódź prawdopodobnie została zatopiona lub zdeponowana, a nastąpiło to wg pozostałości ceramiki najwcześniej w latach 40. lub 50. XIV wieku.

Kadłub łodzi wykonany został z potężnego, wydrążonego pnia dębowego, na który nadbito 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. W pobliżu miejsca znalezienia znajdowały się młyny, a przy wraku znaleziono duże ilości nadpalonego ziarna. Odpowiedzi na postawione pytania dostarczyła analiza dendrochronologiczna.

Do datowania pobrano 8 próbek drewna z kadłuba oraz z klepek poszycia. Dla wszystkich próbek oprócz jednej uzyskano wyniki. Położenie wydatowanych sekwencji przyrostowych w skali czasu przedstawiono na diagramie (rys. 17). Każda belka na diagramie obrazuje, w których latach powstały zachowane przyrosty roczne. Z rozkładu dat wynika, że łódź powstała od razu jako podwyższona dłubanka. Najmłodszą datę uzyskano dla kadłuba, który miał zachowaną przyobwodową warstwę drewna z 3 słojami bielu. Pozostałe na kadłubie słoje bielu wyznaczyły datę ścięcia drzewa na „około 1325 r.” z tolerancją +9/-7 lat. Spośród klepek trzy wydatowano na „około lub po 1315 r.”, jedną na rok 1311 (+x/-7), dwie pozostałe wykonane były z wewnętrznej części pnia.



**Rys. 17.** Datowanie serii przyrostowych próbek drewna łodzi z Kołobrzegu. Belki oznaczają lata, w których powstały zachowane na próbkach przyrosty roczne, drewno bielu oznaczono czarnym kolorem.

Pomiędzy datami dendrochronologicznymi a datowaniem uzyskanym metodami archeologicznymi wystąpiła różnica, którą Rębkowski (1994, inf. ustna) tłumaczy wieloletnią eksploatacją łodzi. Nosi ona wyraźne ślady napraw i wieloletniej eksploatacji. Dzięki zaistniałej różnicy można w przybliżeniu określić okres eksploatacji łodzi. Wynika z niej, że kołobrzaska dłubanka służyła przez przynajmniej 20 lat do transportu towarów.

Dalszy postęp w skutnictwie wyrażał się w zastąpieniu dłubanki łodzią zbudowaną całkowicie z klepek. W strefie skandynawsko-słowiańskiej dominowały łodzie o klepkach poszycia układanych „na zakładkę”, tzn. o klepkach zachodzących na siebie podobnie jak dachówki krawędziami (Smolarek 1972). Za najstarszą łódź klepkową uchodzi łódź odkryta w Hjörtspring w Danii datowana metodą radiowęglową na III w. p.n.e. Wykonanie klepek z drewna lipowego uniemożliwiło analizę dendrochronologiczną. Klepki późniejszych łodzi wykonywane były głównie z drewna dębowego poprzez promieniowe rozszczepienie pnia. Wzrost stopnia złożoności konstrukcji skutniczych daje znacznie większe możliwości badań dendrochronologicznych i interpretacji ich wyników. Bardzo duże znaczenie ma możliwość właściwej selekcji oraz wyboru próbek do badań. Dendrochronologia może pozwolić na uzyskanie następujących informacji o łodzi lub statku: data budowy jednostki, jej pochodzenie, rodzaj materiału użytego do budowy (wiek ściętych drzew, typ lasu), rozpoznanie i datowanie napraw, określenie okresu użytkowania łodzi.

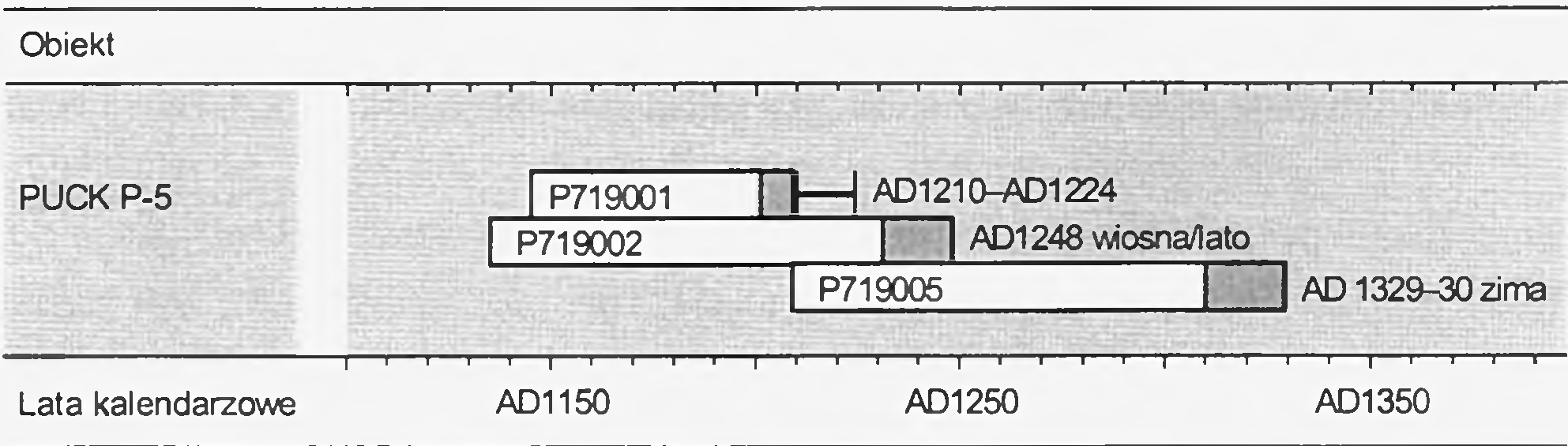
Szkielet konstrukcji łodzi stanowi stępka i wręgi. Te właśnie elementy powinny dać pełną informację o budowie jednostki. Ponieważ były one jednak poddawane starannej obróbce i profilowane, ich przydatność do analizy dendrochronologicznej jest ograniczona. Na wręgi wybierano ponadto część drzewa o szczególnym wygięciu i struktura przyrostów rocznych jest w związku z tym zakłócona. Najbardziej przydatne do badań są klepki poszycia mające zachowany niejednokrotnie biel. Analiza większej ilości klepek może pomóc odtworzyć całą historię jednostki pływającej — historię powstania i eksploatacji. Ładunek i wyposażenie z kolei pozwalają często na ustalenie daty zatonięcia jednostki.

W wodach u południowych wybrzeży Morza Bałtyckiego spoczywają setki wraków łodzi, statków i okrętów reprezentujących całą historię żeglugi bałtyckiej — od jednostek sprzed setek lat po ofiary współczesnych katastrof morskich. Ze względu na trudności techniczne oraz wysokie koszty tylko niektóre z nich stają się obiektem badań naukowych, a nieliczne są wydobywane na powierzchnię i poddawane

konserwacji. Należą do nich wraki kilku łodzi odkryte podczas eksploracji wczesnośredniowiecznego portu znajdującego się w wodach Zatoki Puckiej. Port wraz z towarzyszącą mu osadą, który zbudowany został przypuszczalnie na linii brzegowej, położony jest obecnie w odległości ponad 100 m od brzegu na głębokości 1,5 do 2,5 m. Pięć wraków łodzi wraz z luźnymi elementami skutniczymi podkreśla portową funkcję stanowiska (Stępień 1998). Na podstawie analizy konstrukcji łodzie zostały wydatowane na okres od IX do XIII wieku.

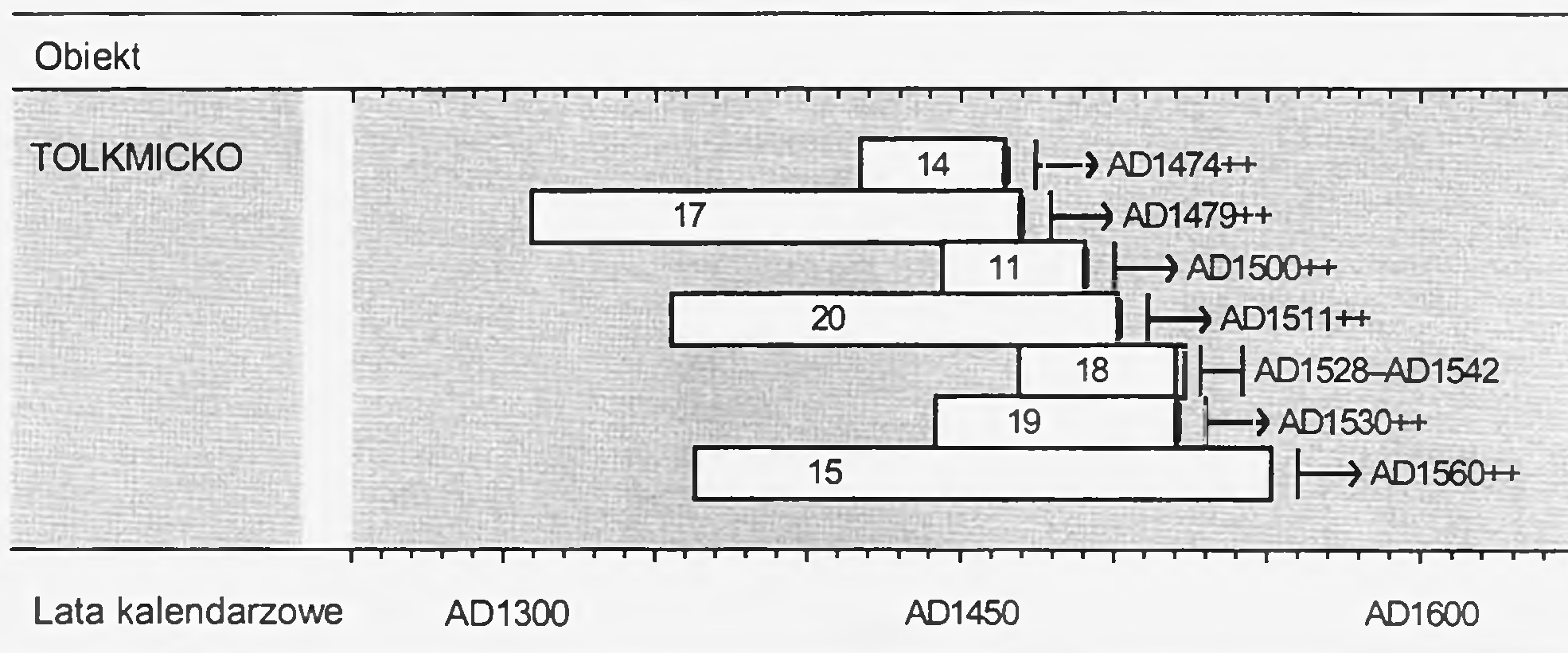
Jako pierwszy poddano badaniom dendrochronologicznym wrak P-5. Długość łodzi wynosiła około 15 m, a szerokość 3,10 m. Do analizy przyrostów rocznych pobrano siedem próbek, z których trzy pozwoliły się wydatować. Rezultaty przedstawione zostały w postaci diagramu belkowego na rys.18. Wszystkie wydatowane elementy poszycia miały zachowany biel, w tym dwie biel wraz ze słojem podkorowym. Uzyskane zostały w ten sposób precyzyjne daty określające datę ścięcia drzew, z których pochodziły badane klepki poszycia. Zaskakujący jest duży rozrzut wyników — od ok. 1216 r. do 1329 r. — wskazujący na eksploatację łodzi przez co najmniej 115 lat. Gdy porównamy ten rezultat z rezultatami wczesnośredniowiecznych jednostek pływających z Morza Bałtyckiego i Północnego okazuje się, że statki i łodzie użytkowano niejednokrotnie do 100 lat (Bonde 1994). Całkowicie potwierdza tę hipotezę Filipowiak (1996) zwracając uwagę na możliwość użytkowania jednej jednostki pływającej nawet przez trzy pokolenia.

W 1971 r. na łąkach nad Zalewem Wiślanym koło Tolkmicka odkryto wraki pięciu łodzi. Jeden z wraków oznaczony nr I został wydobyty przez Centralne Muzeum Morskie w Gdańsku i poddany zabiegom konserwatorskim. Opis budowy jednostki przedstawił Smolarek (1983), o jej rozmiarach świadczy stępka mająca długość około 12 m. Powstanie łodzi tolkmickiej zostało określone metodą radiowęglową na okres pomiędzy 1470 a 1630 r., podjęta w dziesięć lat później analiza dendrochronologiczna miała sprecyzować jej wiek. Do badań pobrano próbki z 11 kon-



Rys.18. Położenie serii przyrostowych próbek drewna łodzi P-5 z Pucka w skali czasu



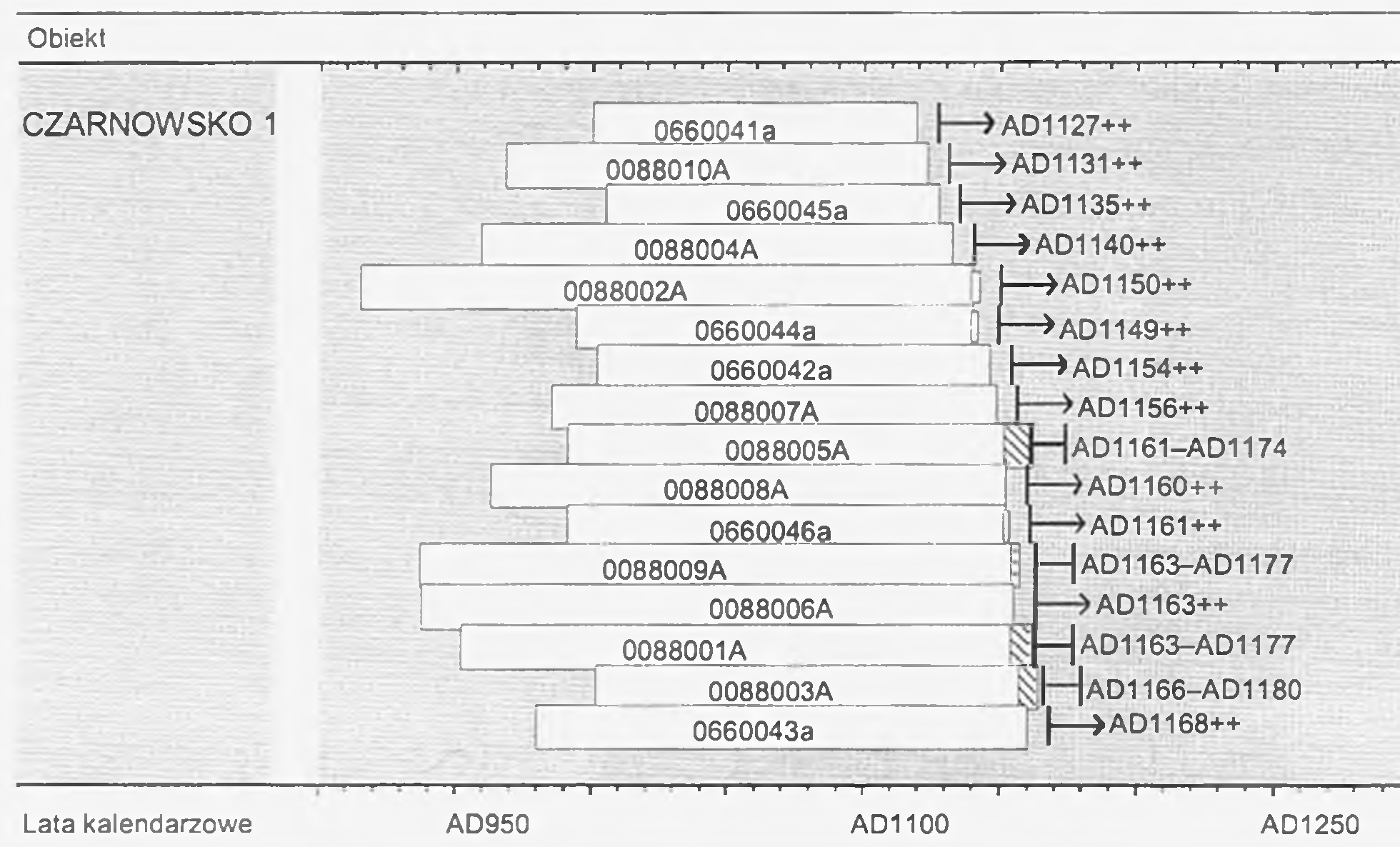


Rys.19. Położenie serii przyrostowych próbek drewna łodzi z Tolkmicka w skali czasu

serwowanych klepek poszycia, spośród których 7 próbek zostało wydatowanych. Rezultaty datowania przedstawione zostały na diagramie na rysunku 19. Interpretacja uzyskanych wyników była utrudniona ze względu na zróżnicowaną jakość drewna oraz brak bielu za wyjątkiem jednej próbki. Część klepek poszycia kadłuba wykonano z drewna szerokosłoiowego, o nierównomiernym usłojeniu. Klepki wycięte były stycznie lub w kierunku promieniowo-stycznym, drewno było dość niestarannie dobrane. Najwcześniejszą datę powstania łodzi można na podstawie rozkładu wyników określić na początek XVI w., na około 1535 r. ustalono wiek elementu konstrukcyjnego z zachowanym fragmentem bielu, a po 1560 r. powstał najmłodszy wydatowany fragment wraka Tolkmicko I. Dokładniejsze ustalenia powinno przynieść zestawienie dat dendrochronologicznych z funkcjami pełnionymi przez badane elementy.

XII-wieczne szkutnictwo reprezentują dwa statki odkryte nad Jeziorem Łebsko oznaczone jako CZARNOWSKO 1 oraz CHARBRÓW 1. Obydwie jednostki o długości 13,20 — 13,80 m i płaskim dnie zostały sklasyfikowane jako jednostki handlowe (Smolarek 1972, Crumlin-Pedersen, 1997).

Z łodzi CZARNOWSKO 1 przebadano łącznie 16 próbek drewna, z których dziesięć pobrano w 1998 r. (seria „0088”), a sześć w 1986 r. (seria „066004”). Wszystkie próbki zostały wydatowane, przy czym cztery z nich miały zachowany fragment bielu. Z wydatowanych serii przyrostowych zestawiono średnią serię zawierającą 249 przyrostów rocznych i obejmującą okres 915–1163 AD. Datę ścięcia drzew, z których pochodziło drewno ustalono na lata 1168–1174. Ten rezultat wskazuje jednocześnie na datę budowy statku. Położenie wydatowanych serii przyrostowych w skali czasu przedstawiono na diagramie na rys. 20.



Rys. 20. Położenie serii przyrostowych próbek drewna łodzi CZARNOWSKO 1 w skali czasu

Materiał badawczy pobrany z łodzi CZARNOWSKO 1 był bardzo jednorodny pod względem przebiegu krzywych przyrostowych. Podjęto próbę ustalenia pochodzenia drewna i miejsca budowy statku. Porównując średnią sekwencję przyrostową reprezentującą badaną jednostkę z chronologiami standardowymi północnej Europy uzyskano najwyższą korelację dla chronologii „SCHLESWIG-HOLSTEIN” (Eckstein, niepubl.) oraz „WEST DANMARK” (Bonde, niepubl.). Stwierdzono także wysokie wizualne podobieństwo krzywych przyrostowych z chronologią szczecińską opracowaną na podstawie drewna z zabudowy średniowiecznego miasta. Najwyższą wartość „t” wynoszącą 5,21 uzyskano jednak porównując średnie sekwencje przyrostowe obydwu łodzi znad Jeziora Łebsko. Żadna z otrzymanych wartości nie była na tyle wysoka, żeby możliwe było określenie pochodzenia drewna.

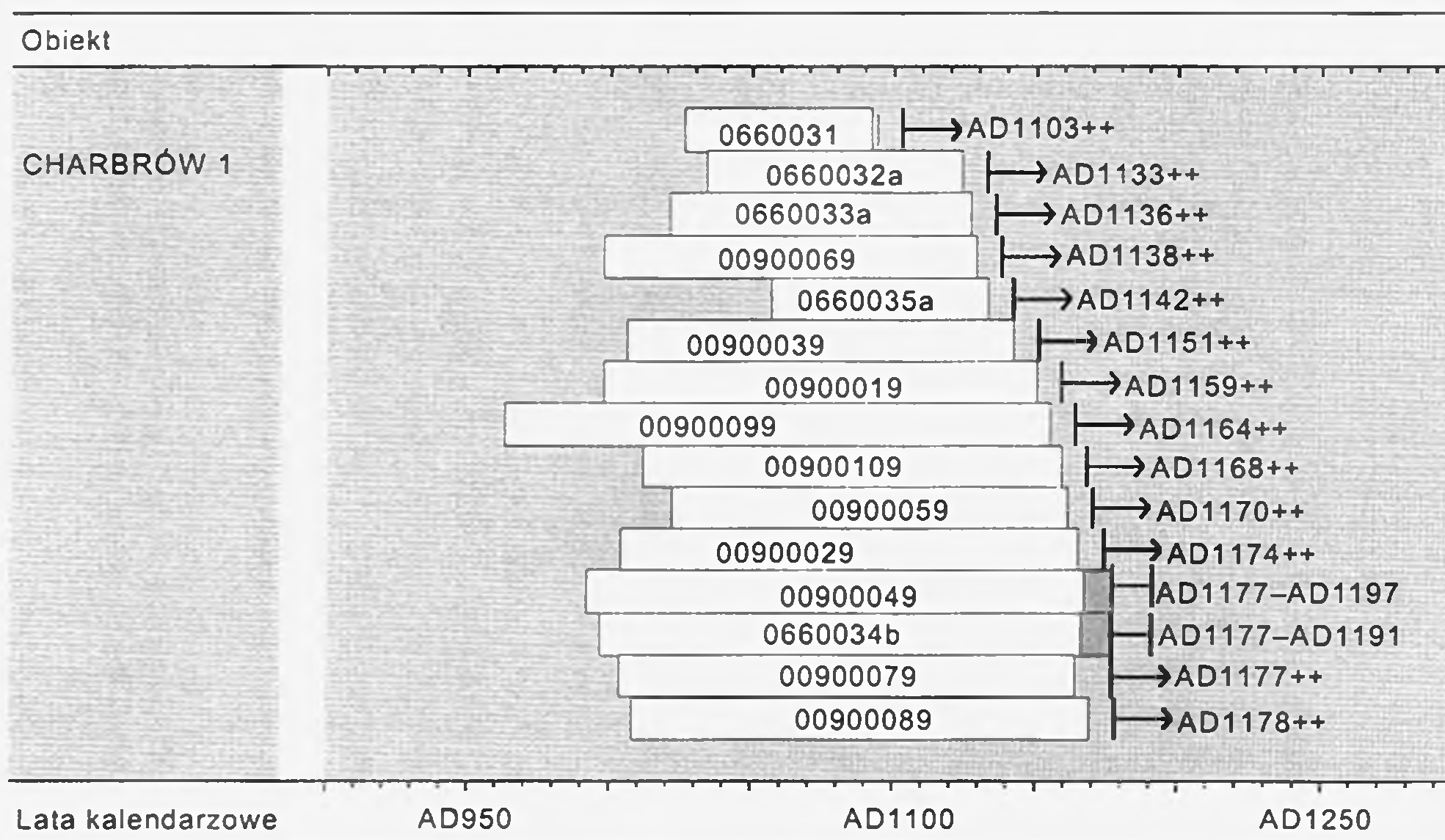
Znacznie trudniejsze było ustalenie wieku łodzi CHARBRÓW 1. Do badań pobrano 15 próbek drewna, z których dziesięć pobrano w 1998 r. (seria „0090”), a pięć w 1986 r. (seria „066003”). Analiza porównawcza serii przyrostowych pozwoliła podzielić badane drewno na dwie grupy bardzo różniące się pomiędzy sobą pod względem przebiegu krzywych przyrostowych (tab. 4). Wskazywało to na pochodzenie drewna z dwóch różnych kompleksów leśnych. Obydwie grupy posłużyły do opracowania średnich, z których jedna o symbolu 0090002M obejmowała 181 lat, a druga o numerze 0090003M obejmowała 207 lat. Pomiedzy średnimi nie występowało żadne istotne podobieństwo. Porównanie średnich sekwencji przyrostowych

Tab. 4. Porównanie serii przyrostowych próbek drewna z łodzi CHARBROWO wg wartości "t". Wartości t ≥ 5 zostały wyróżnione tłustym drukiem. Serie o najwyższym podobieństwie zgrupowano na wyróżnionych polach. Tworzą one średnie o nr podanych w pierwszym wierszu. – = wartość t<2,5

Nr średniej			0090003M										0090002M				
Nr próbki			0660031a	0660033a	0660032a	00900039	00900109	00900059	00900069	00900019	00900089	00900099	00900079	00900029	00900049	0660034a	0660035a
	początek serii	serii koniec	AD1026 AD1092	AD1021 AD1127	AD1034 AD1124	AD1006 AD1142	AD1012 AD1159	AD1022 AD1161	AD998 AD1129	AD998 AD1150	AD1008 AD1169	AD963 AD1155	AD1008 AD1168	AD1004 AD1165	AD992 AD1172	AD997 AD1177	AD1057 AD1133
0660031a	AD1026	AD1092	–	2,62	4,46	3,93	3,89	4,03	3,10	3,39	3,05	–	2,71	–	–	–	–
0660033a	AD1021	AD1127	2,62	–	8,56	9,82	–	4,64	4,94	4,76	5,54	4,38	–	2,88	–	–	2,79
0660032a	AD1034	AD1124	4,46	8,56	–	15,88	5,64	4,85	5,45	4,64	4,72	2,86	–	2,68	–	–	–
00900039	AD1006	AD1142	3,93	9,82	15,88	–	6,49	5,78	4,58	4,95	5,81	3,51	–	3,83	3,35	3,70	–
00900109	AD1012	AD1159	3,89	–	5,64	6,49	–	10,16	7,68	6,01	7,09	3,45	–	3,76	3,85	–	–
00900059	AD1022	AD1161	4,03	4,64	4,85	5,78	10,16	–	11,31	9,08	9,81	3,81	–	3,23	3,45	2,79	3,09
00900069	AD998	AD1129	3,10	4,94	5,45	4,58	7,68	11,31	–	9,84	7,57	4,49	–	3,92	3,24	2,56	4,03
00900019	AD998	AD1150	3,39	4,76	4,64	4,95	6,01	9,08	9,84	–	12,80	5,81	–	3,34	3,59	–	–
00900089	AD1008	AD1169	3,05	5,54	4,72	5,81	7,09	9,81	7,57	12,80	–	5,51	2,71	–	–	–	3,20
00900099	AD963	AD1155	–	4,38	2,86	3,51	3,45	3,81	4,49	5,81	5,51	–	–	–	–	–	2,55
00900079	AD1008	AD1168	2,71	–	–	–	–	–	–	–	2,71	–	–	7,30	5,39	5,06	4,06
00900029	AD1004	AD1165	–	2,88	2,68	3,83	3,76	3,23	3,92	3,34	–	–	7,30	–	7,03	5,72	5,87
00900049	AD992	AD1172	–	–	–	3,35	3,85	3,45	3,24	3,59	–	–	5,39	7,03	–	12,70	4,51
0660034a	AD997	AD1177	–	–	–	3,70	–	2,79	2,56	–	–	–	5,06	5,72	12,70	–	4,41
0660035a	AD1057	AD1133	–	2,79	–	–	–	3,09	4,03	–	3,20	2,55	4,06	5,87	4,51	4,41	–

Uwagi: Próbki o nr 00900039 oraz 06600032a pochodzą z jednego drzewa. Również jedno drzewo reprezentują próbki nr 00900049 oraz 0660034a



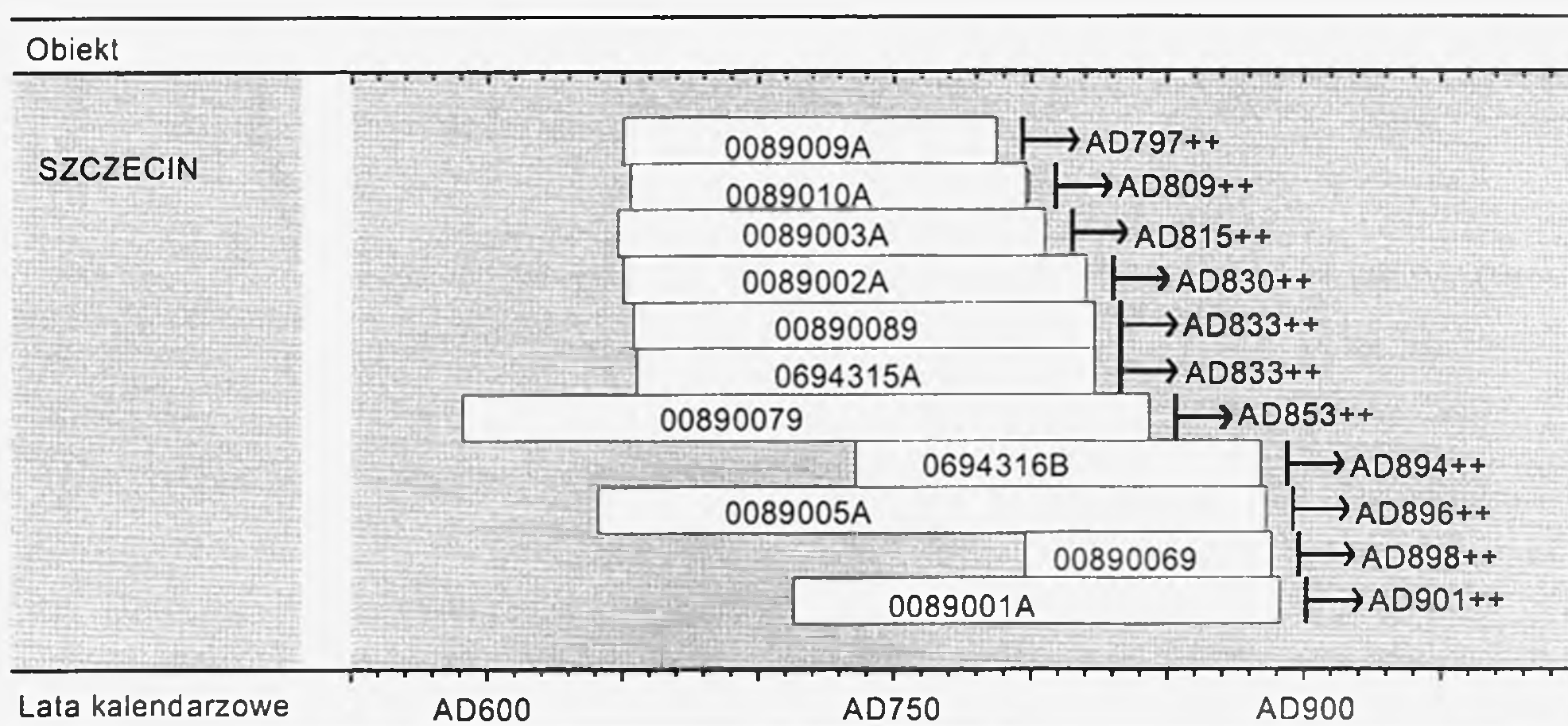


Rys. 21. Położenie serii przyrostowych próbek drewna łodzi CHARBRÓW 1 w skali czasu

reprezentujących badany statek z chronologiami dębu północnej Europy przyniosło absolutne datowanie krzywej 0090002M na lata 992–1172 AD, a krzywej 0090003M na okres 963–1169 AD. Dzięki temu możliwe było określenie wieku wszystkich 15 próbek. Wyniki datowania przedstawione zostały w postaci diagramu na rysunku 21. Rozkład wyników oraz dwie próbki z zachowanym fragmentem biału pozwalają ustalić budowę łodzi charbrowskiej na lata 1177–1191. Nierozwiązana pozostaje kwestia pochodzenia drewna użytego do budowy jednostki. Najwyższe wartości „t” uzyskano porównując krzywą 0090003M z chronologią elbląską, a krzywą 0090002M z chronologiami reprezentującymi drewno ze środkowej Szwecji (Bartholin, niepubl.) oraz drewno ze Szczecina. Nie było to jednak na tyle istotne podobieństwo, aby można było wyciągać wnioski dotyczące pochodzenia drewna.

Starsza od łodzi znad jeziora Łebsko była łódź ze Szczecina będąca jednostką używaną prawdopodobnie do rybołówstwa. Pierwsze próbki pobrane m.in. z klepki poszycia burty oraz z deski pochodzącej z reperacji poszycia (seria „069431”) przyniosły dwa datowania: 841(+x/-7) oraz 903(+x/-7). W 1998 r. pobrano dalszych dziesięć próbek (seria „0089”), z których dziewięć zostało wydатовanych. Zestawienie wszystkich rezultatów datowania ilustruje diagram belkowy na rysunku 22. Pomimo tego, że wszystkie próbki pozbawione były biału, wyraźnie można rozdzielić drewno z poszycia łodzi oraz z późniejszej naprawy. Datę budowy łodzi szczecińskiej na okres „po 853 r.” (860+x/-7) wyznacza próbka nr 00890079 pochodząca z tego samego drzewa, co elementy konstrukcyjne





Rys. 22. Położenie serii przyrostowych próbek drewna łodzi ze Szczecina w skali czasu

o numerze 00890089 oraz 0694315A. Naprawa jednostki przeprowadzona została po roku 901 ( $908+x/-7$ ). Z rozmieszczenia rezultatów w skali czasu wynika, że ostateczne daty budowy i naprawy łodzi odbiegają najwyżej o kilka lat od podanych w nawiasach dat wynikających ze statystyki bielu.

Serie przyrostowe siedmiu próbek wykorzystano do zestawienia średniej obejmującej lata 591–886 AD. Porównując średnią z chronologiami standardowymi północnej Europy uzyskano najwyższą korelację z chronologiami „SCHLESWIG-HOLSTEIN” (Eckstein, niepubl.), „SOUTH JUTLAND” (Bonde, niepubl.) oraz z chronologiami południowej Szwecji (Bartholin, niepubl.). Uzyskanie pełnej i precyzyjnej informacji dotyczącej pochodzenia drewna będzie możliwe jednak dopiero po opracowaniu dalszych chronologii dla południowego wybrzeża Morza Bałtyckiego.

Wykaz najważniejszych wydatowanych jednostek pływających przedstawiono w tabeli 5.

W latach 1998–1999 wykonano badania dendrochronologiczne trzech łodzi odkrytych w 1993 roku w Gdańsku Oruni. Należą one do jednostek o długości ponad 9 m, z klepkami łączonymi na zakładkę, wypełnieniem szczelin poszycia mchem i o przekroju stępki w kształcie litery „T” (Crumlin-Pedersen 1997). Łodzie przechowywane są i eksponowane w Muzeum Archeologicznym w Gdańsku.

Analizą próbek pobranych z łodzi oznaczonej jako ORUNIA 1 i sklasyfikowanej jako niewielka przybrzeżna jednostka wojenna wykonano w Muzeum Narodowym

Tab. 5. Wykaz najważniejszych jednostek pływających poddanych badaniom dendrochronologicznym

Nazwa jednostki	Datowanie dendrochronologiczne
BIEBRZA	ok. 1577 r.
CHARBRÓW 1	pomiędzy 1177 i 1191 r.
CZARNOWSKO 1	pomiędzy 1168 i 1174 r.
KAMIEŃ POMORSKI	około lub po 1152 r.
KOŁOBRZEG	ok. 1325 r.
LEWIN BRZESKI	371/372 r.
ORUNIA 2	I połowa XI w.
ORUNIA 3	lata 80. XII w.
MIEDZIOWIEC* – kadłub – ładunek	1398/99 r. pomiędzy 1405 i 1408 r.
PUCK P-5	lata 1216–1329
TOLKMICKO 1	od ok. 1535 r. do okresu po 1560 r.
SZCZECIN – budowa – naprawa	po 853 r. po 901 r.

\* Badania zostały wykonane wspólnie z dr Nielsem Bonde z Muzeum Narodowego w Kopenhadze. Druga z podanych dat wyznacza datę zatonięcia jednostki

w Kopenhadze (Ważny i in. 1999). Niestety pomimo przebadania 20 próbek oraz opracowania chronologii reprezentującej obiekt i obejmującej 145 lat, nie uzyskano absolutnego datowania. Ciekawe rezultaty przyniosła natomiast analiza dendrochronologiczna blisko 30 próbek pobranych z łodzi ORUNIA 2 i ORUNIA 3. Jedna z nich została wykonana z lokalnego drewna w I połowie XI wieku. Do budowy użyto doskonałego jakościowo drewna o słoistości około 1 mm. Druga jednostka powstała znacznie później — w latach 80. XII wieku. Próba ustalenia pochodzenia drewna wskazuje na północne Niemcy.

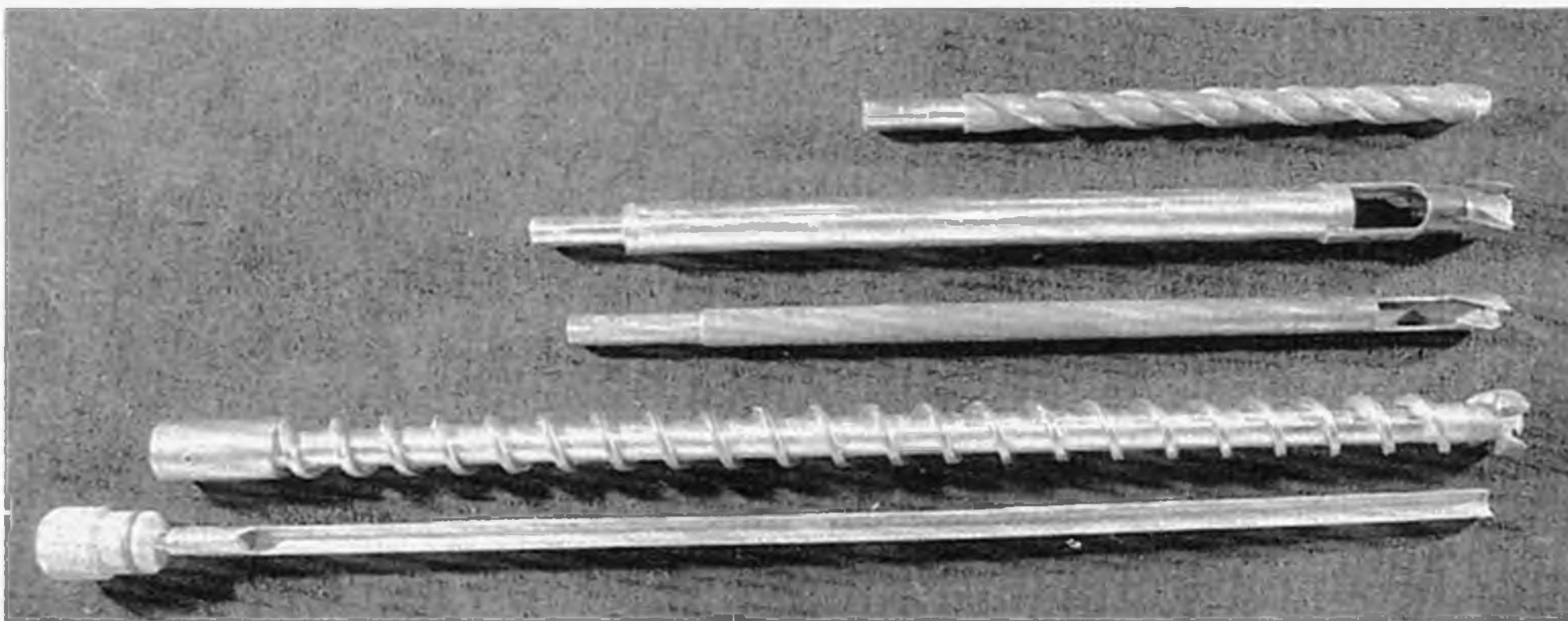
## 10: DATOWANIE ZABYTKÓW ARCHITEKTURY

Historia architektury jest dziedziną zależną od datowania substancji zabytkowej będącej przedmiotem badań. Istnieją liczne możliwości ustalenia wieku budowli na podstawie materiałów archiwalnych zawierających najważniejsze daty z jej historii, rachunki budowlane, umowy, świadectwa itp. Brakujące dokumenty uzupełnić może analiza stylistyczna konstrukcji oraz detali architektonicznych oraz prześledzenie ich ewolucji. Z pomocą przychodzą także pozostawiane przez dawnych cieśli znaki montażowe oraz gmerki. Uzyskane w ten sposób dane są zwykle jednak niekompletne, a niektóre informacje bywają mylne i kierujące w fałszywym kierunku. Dendrochronologia pozostaje często jedyną metodą pozwalającą na odtworzenie historii budowli. Świadczą o tym liczne opracowania z historii architektury opierające się na analizie dendrochronologicznej (m.in. Eckstein i in. 1972, Hollstein 1980, Schmidt i in. 1990, Simpson i Litton 1996, Cramer i Eissing 1996, Wrobel i in. 1993). Wyniki datowań zabytków architektury z Wysp Brytyjskich publikowane są w roczniku *Vernacular Architecture*.

Inicjatywa badań dendrochronologicznych zabytków architektury powinna wyjść ze strony historyków architektury. Materiał badawczy pozyskuje się po ustaleniu zakresu przewidzianych prac wynikającego z celu badań. Pobieranie próbek do analizy dendrochronologicznej wykonuje się kilkoma sposobami. Najlepsze próbki można uzyskać poprzez odcięcie fragmentu belki w postaci plastra z pełnym przekrojem poprzecznym. Pozwala to na wybór optymalnych promieni do pomiaru szerokości przyrostów rocznych. Ten sposób pozyskiwania próbek jest możliwy do zastosowania zwykle tylko przy okazji prac remontowych połączonych z wymianą fragmentów konstrukcji. Najczęściej próbki pobierane są przy pomocy specjalnych cylindrycznych wiertel do suchego drewna. Ze względu na duży opór napędzane są one wiertarką elektryczną z płynną regulacją obrotów. Uzyskiwane wywierty mogą sięgać aż do rdzenia belki. Powstały otwór przy rozsądnym wyborze miejsca pobrania próbki nie osłabia wytrzymałości belki, a gdy względy estetyczne nie pozwalają na jego pozostawienie, pozwala łatwo się zamaskować.

W trakcie badań zabytków architektury zastosowano kilka typów wiertel, które zostały przedstawione na rysunku 23. Próbki drewna dębowego pobierano zwykle





**Rys. 23.** Specjalistyczne wiertła do pobierania próbek drewna do analizy dendrochronologicznej (Fot. R. Stasiuk)

przy zastosowaniu wiertel typu hamburskiego produkcji niemieckiej, o dwóch różnych średnicach. Wiertło większe pozwala uzyskać wywierty o średnicy 13 mm i stosowane było do belek z zachowanym bielem. Wprawdzie pozostawia ono otwór o średnicy 25 mm, ale próbki mają na ogół zachowany w całości biel. Wiertło mniejsze daje wywierty o średnicy 9,5 mm, biel ulega przy tym zwykle uszkodzeniu. Zaletą tego typu wiertła jest mniejszy otwór w belce oraz znacznie mniejszy opór drewna podczas pracy narzędzia. Do drewna dębowego stosowane było również inne wiertło produkcji niemieckiej — typu berlińskiego. Podstawowe parametry, tzn. średnica próbki i pozostałego w belce otworu zbliżone są do większych wiertel typu hamburskiego. Wiertła te są znacznie tańsze od wiertel hamburskich, ich wadą jest natomiast konieczność częstego ostrzenia. Zastosowany rodzaj stali pozwala jednak na ostrzenie zwykłą ostrzałką do pił łańcuchowych. Trzeci typ wiertła — produkcji szwedzkiej (typ Lund) nadaje się do stosowania zarówno w twardym drewnie iglastym, jak i w drewnie liściastym. Pracę ułatwia zewnętrzna spirala służąca do odprowadzania wiórów. W drewnie uszkodzonym przez owady uzyskanie długiego wywiertu jest jednak bardzo utrudnione. W drewnie iglastym, które w konstrukcjach budowlanych w Polsce jest zwykle porażone przez spuszczela (*Hylotrupes bajulus*), najbardziej sprawdziło się szwajcarskie wiertło firmy Rurico. Jediną jego wadą jest pozostający w belce otwór o średnicy 25 mm, w związku z czym nie nadaje się ono do elementów o małych przekrojach. Decyzję o wyborze typu wiertła podejmuje się dopiero po wstępnych oględzinach drewna.

W badaniach dendrochronologicznych stojących konstrukcji drewnianych bardzo duże znaczenie ma wybór miejsca pobrania próbek. Strategię pobierania próbek sformułował zwięźle Tisje (1991) i ponieważ całkowicie odpowiada ona stosowanym przeze autora zasadom, przytacza się je z niewielkimi tylko uzupełnieniami:



- rozpoznanie możliwości pobierania próbek w zależności od rodzaju i stanu konstrukcji budowlanej oraz wybór kluczowych elementów konstrukcyjnych;
- ustalenie miejsc z zachowanym słojem podkorowym;
- sprawdzenie możliwości uzyskania wystarczającej ilości przyrostów rocznych;
- wybór miejsc ze zdrowym drewnem zapewniającym uzyskanie wywiertu w całości;
- ominięcie pęknięć belki;
- uniknięcie sęków oraz zawojów;
- uwzględnienie połączeń kołkowych oraz innego rodzaju złącz;
- uniknięcie gwoździ i innych elementów metalowych, które mogą nieodwracalnie zniszczyć kosztowne wiertło;
- rozpoznanie powtórnie zastosowanego drewna oraz napraw;
- unikanie nawiercania elementów silnie obciążonych statycznie.

Ilość pobieranych próbek powinna być zredukowana do minimum, ale z drugiej strony powinna zapewniać uzyskanie jednoznacznego rezultatu, potwierdzonego dodatkowo przez wzajemną korelację sekwencji przyrostowych tych próbek pomiędzy sobą. Jako optymalną liczbę próbek z konstrukcji pochodzącej z jednej fazy budowy przyjmuje się od 10 do 15. Nie zawsze warunki pozwalają na uzyskanie wymaganego materiału badawczego. W przeprowadzonych badaniach liczba próbek pobieranych z jednego budynku wynosiła od 6 do 40 w zależności od stopnia złożoności konstrukcji, liczny spodziewanych faz budowy oraz technicznych możliwości pobierania próbek. Najlepszy materiał badawczy do analizy przyrostów rocznych drewna występował w obiektach średniowiecznych. Próbki dębu pochodzące z tego okresu reprezentowały wąskosłoiste drewno i większość z nich miała ponad 150, a czasami nawet ponad 250 słoików. W późniejszych budowlach drewno dębowe było rzadziej stosowane dla celów konstrukcyjnych. Pierwotne puszcze o zwartych drzewostanach zostały silnie przetrzebione, a wysokogatunkowe drewno dębowe było w dużych ilościach eksportowane. Materiał z XVI–XIX wieku charakteryzują małe przekroje oraz szerokie przyrosty roczne, co utrudniało ustalenie wieku drewna. Wykaz wydatowanych zabytków architektury przedstawiono w tabeli 6.

Jednym z najciekawszych i najładniejszych spośród przebadanych budynków był dom podcieniowy stojący na przedmieściach Gdańska w dzielnicy Lipce. Wiejski dom podcieniowy o konstrukcji szkieletowej jest typowym zjawiskiem w krajobrazie Żuław. Kloeppel (1924) wyróżnił trzy zasadnicze typy w ewolucji żuławskich domów podcieniowych: dom z podcieniem szczytowym, dom z podcieniem

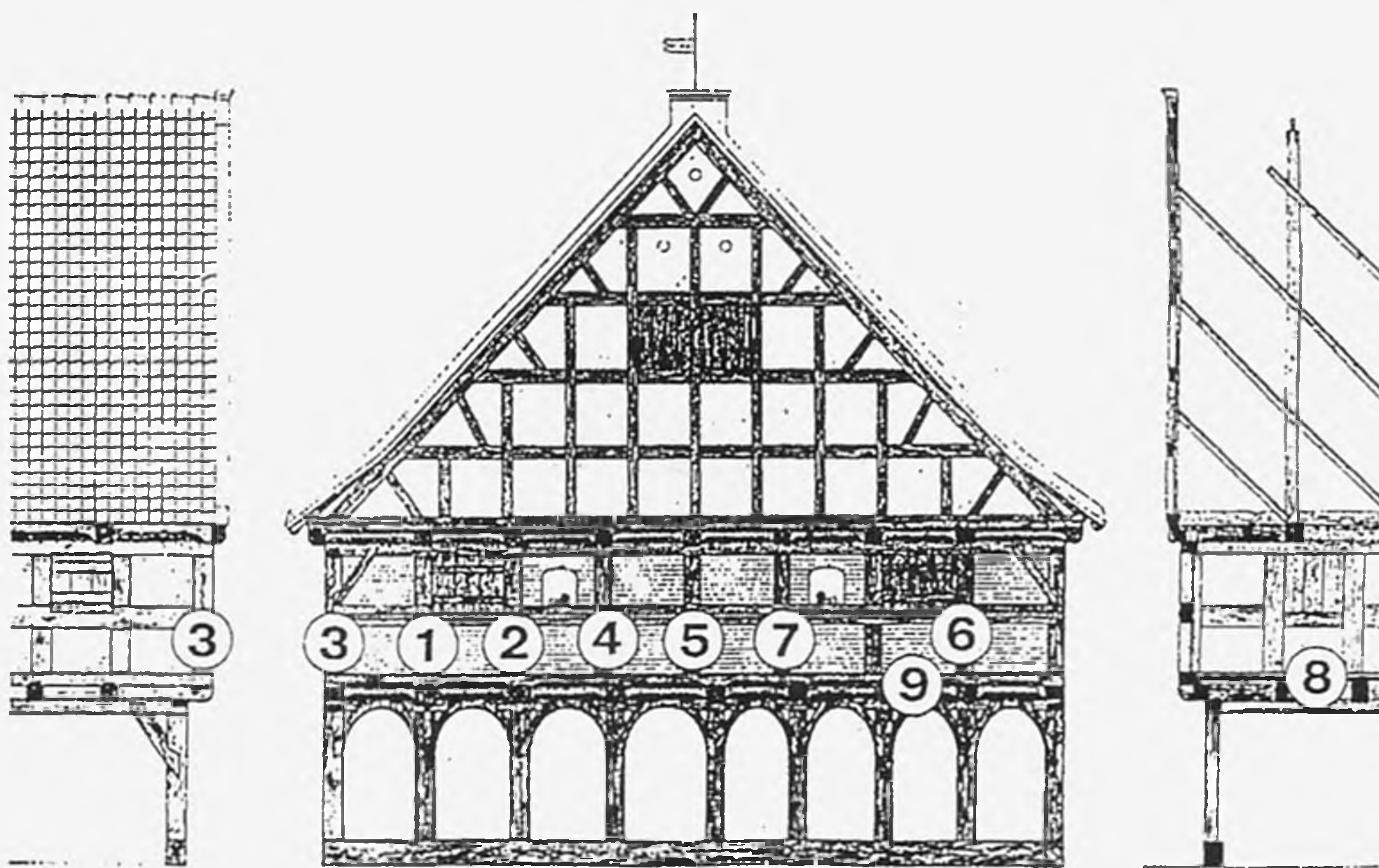
**Tab. 6.** Wykaz najważniejszych zabytków architektury poddanych badaniom dendrochronologicznym i wynik ich datowania

Lp.	Lokalizacja	Rodzaj obiektu	Rodzaj konstrukcji	Badane konstrukcje	Datowanie drewna
1	Błudowo	kościół	mur./drewniana	wieża	1504/05
2	Bukowo	kościół	murowana	wieżba dachowa	1415–24
3	Darłowo	kościół św. Gertrudy	murowana	wieżba dachowa	1586–87 1670–71
4	Gdańsk	kościół św. Mikołaja	murowana	wieża	1398/99
5	Gdańsk-Lipce	budynek mieszkalny	szkieletowa	ściany	1571/72
6	Gdańsk-Oliwa	kościół katedralny	murowana	wieżba dachowa sygnaturki	1600 1595/96 1599/1600 1635/36
7	Goręczyno	kościół	murowana	wieża	1732/33
8	Kartuzy	kościół	murowana szkieletowa	wieżba dachowa wieża	1730/31 1732/33
9	Kmiecin	kościół	mur./drewniana	wieża/ soboty	1884 + x
10	Kwidzyn	kościół katedralny	murowana	wieża	1503–08
11	Kwietniewo	kościół	mur./drewniana	wieża	1642/43
12	Luzino	budynek mieszkalny	szkieletowa	ściany	1720–25
13	Mechowo	kościół	szkieletowa	wieża	1741/42
14	Nadole	budynek mieszkalny	szkieletowa	ściany	1846/47
15	Pomorska Wieś	kościół	mur./drewniana	wieża	1764/65
16	Pruszcz Gdański	kościół	murowana	wieża	1431/32
17	Przezmark	kościół	murowana	wieża	1389–91
18	Puck	kościół	murowana	wieża	1409/10
19	Starzyno	kościół	murowana	wieżba dachowa wieża	1647/48 1648/49
20	Tamowo Pałuckie	kościół	drewniana	ściany wieźba dachowa wieża	1373/74 1628/29, 1615/16 1639, 1833
21	Żamowiec	kościół	murowana	wieża	1750/51
22	Żukowo	kościół św. Jana	szkieletowa	wieża	1686/87 1854/55

szczytowym i bocznym skrzydłem oraz dom z podcieniem w bocznym skrzydle. Budynek z Lipców reprezentuje najstarszy typ — dom ustawiony prostopadłe do traktu, z podcieniem opartym na dziewięciu słupach. Jest on przy tym prawdopodobnie najstarszym zachowanym wiejskim budynkiem mieszkalnym na tym terenie, dlatego bardzo istotne było ustalenie daty jego powstania.

Pomiędzy omawianym budynkiem, a pierwszymi przedstawicielami II typu powstałymi pod koniec XVII wieku występują duże różnice stylistyczne. Późniejsze domy otrzymywały często bogate barokowe wykończenie wnętrza (bezmyślnie niszczone po II wojnie światowej jako dobro niemieckie), a także bogate wykończenie architektoniczne szczytu. Kloeppel (1924) umieszcza na tej podstawie datę budowy około 1600 roku. Stankiewicz (1956/57) przypuszcza, że budynek mógł powstać jeszcze w XVII wieku. Analiza przyrostów rocznych drewnianej konstrukcji domu stwarzała okazję do weryfikacji tych hipotez.

Do badań pobrano dziewięć próbek z dębowych belek oraz słupów drewnianego szkieletu budynku. Pominięto przy tym masywne dębowe słupy podcienia. Pozornie nadają się one najlepiej do badań ze względu na swe rozmiary. Ponieważ jednak zostały wyprofilowane, usunięto przy tym zewnętrzną warstwę drewna z nieznaną ilością słoików. Lokalizację miejsca pobrania próbek zaznaczono na rysunku 24. Ogółem udało się wydatować osiem próbek, trzy spośród nich miały

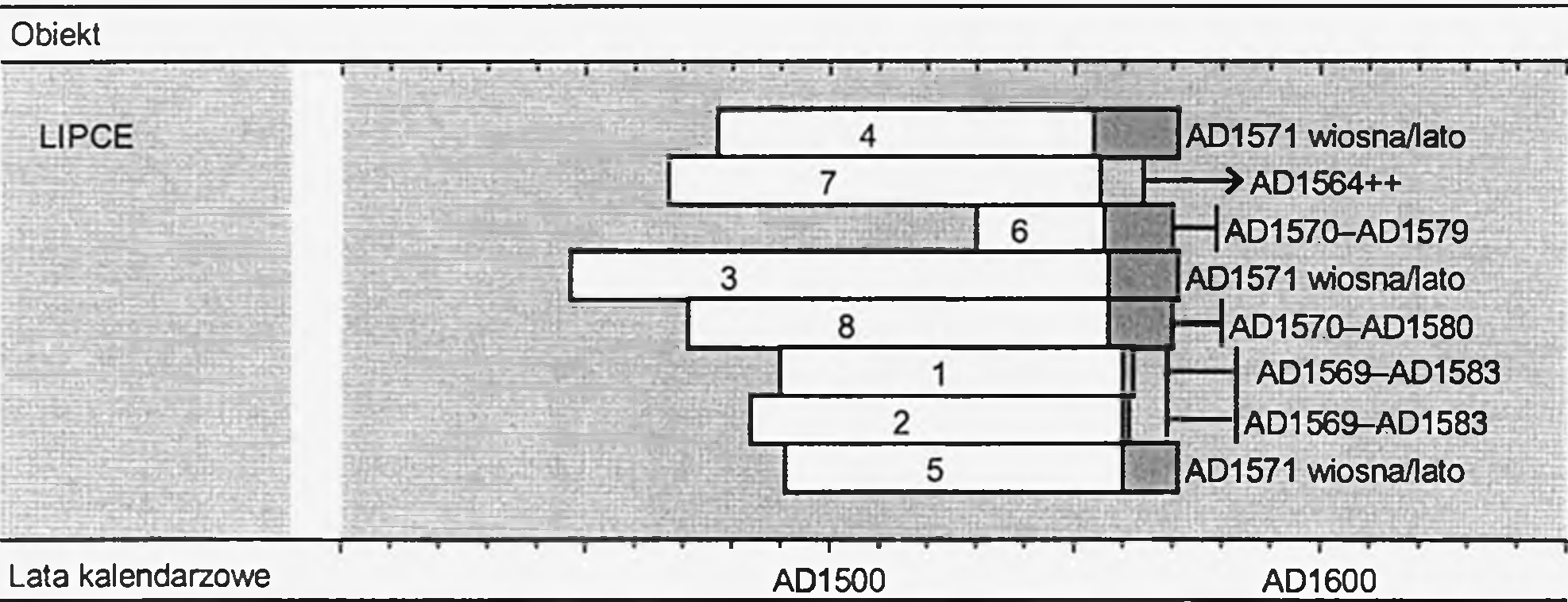


Rys. 24. Dom podcieniowy w Gdańsku-Lipcach z zaznaczeniem miejsc pobrania próbek do określenia wieku drewna

zachowany słoć podkorowy z wykształconą warstwą tylko drewna wczesnego. Położenie analizowanych sekwencji przyrostów rocznych w skali czasu ilustruje diagram na rysunku 25. Wszystkie datowane elementy konstrukcyjne pochodzą jednoznacznie z tego samego czasu. Drzewa użyte do budowy ścięto w 1571 r., brak drewna późnego w najmłodszych przyrostach oznacza ścinę wiosenną, tzn. pomiędzy majem a lipcem 1571 r. Zastosowanie drewna było możliwe jeszcze w tym samym roku, jednak bardziej prawdopodobna wydaje się budowa domu w 1572 roku. Budulec pochodził prawdopodobnie z odległego o kilkaset metrów lasu. Uzyskany wynik jest wcześniejszy od dotychczas zakładanych i potwierdził, że dom w Gdańsku Lipcach jest jednym z najstarszych reprezentantów architektury wiejskiej północnej Polski.

Daty będące rezultatem analizy przyrostów rocznych odnoszą się do ścinki drzew i wymagają dalszej interpretacji w celu odtworzenia historii obiektu. Przyczyną rozbieżności pomiędzy datami ścinki a budowy może być sezonowanie drewna, powtórne użycie tych samych elementów budowlanych oraz prace budowlane połączone z wymianą fragmentów konstrukcji. Problem sezonowania drewna wyjaśniły badania prowadzone w Niemczech (Eckstein i in. 1972). Dzięki dendrochronologicznym badaniom licznych budowli posiadających dokładną dokumentację z datami okazało się, że do budowy używano z reguły świeżego drewna. Przyjmuje się w związku z tym, że data ścięcia drzewa wyznacza również datę powstania konstrukcji. Potwierdzeniem tej zależności jest więźba dachowa i drewniana konstrukcja wieży kościoła w Kartuzach.

Wieża i dach kościoła klasztornego w Kartuzach poddane zostały w latach 1731–33 gruntownej przebudowie. Z dnia 10 kwietnia 1731 r. pochodzi dokument zlecający pokrycie dachu blachą miedzianą (Heise 1884). Prace nad nowym dachem rozpo-



Rys. 25. Położenie serii przyrostowych próbek drewna domu w Gdańsku-Lipcach w skali czasu



częło wbudowanie nowych murlat. Z analizy przyrostów rocznych wynika, że dęby, z których wycięto murlaty, ścięte zostały zimą 1730/31 r., a więc bezpośrednio przed założeniem. Z kolei belki konstrukcji szkieletowej wieży wykonano z drzew ściętych zimą 1732/33 r. Prace przy wieży kończyły przebudowę kościoła. Całkowite zakończenie prac nastąpiło wg listy płac w 1733 r. (Heise 1884). Z zestawienia tych dat wynika, że drewno było sezonowane najwyżej przez kilka miesięcy.

Przypadek wtórnego użycia drewna zaobserwowano w kościele p.w. Archaniola Michała w Starzynie. Dzisiejszy murowany kościół został wybudowany w latach 1648–49. Drewno użyte do budowy więźby dachowej i stropu pochodzi z drzew ściętych zimą 1647/48 r., a drewno w wieży wydatowane zostało na rok 1648/49. Wyjątek stanowią przypustnice o wyraźnych śladach pierwotnego użycia w innej konstrukcji (rys. 26). Analiza przyrostów rocznych przyniosła zaskakujący rezultat — drewno pochodziło ze ścinki zimowej 1374/75 r. Należy przypuszczać, że jest to pozostałość stojącego w tym miejscu wcześniej drewnianego kościoła, o którym istnieje wzmianka z 1583 r. (Chrzanowski i in. 1989). Tego rodzaju przypadki wtórnego zastosowania drewna można wychwycić wykonując dokładne oględziny elementów wytypowanych do badań w poszukiwaniu śladów innego pierwotnie zastosowania.

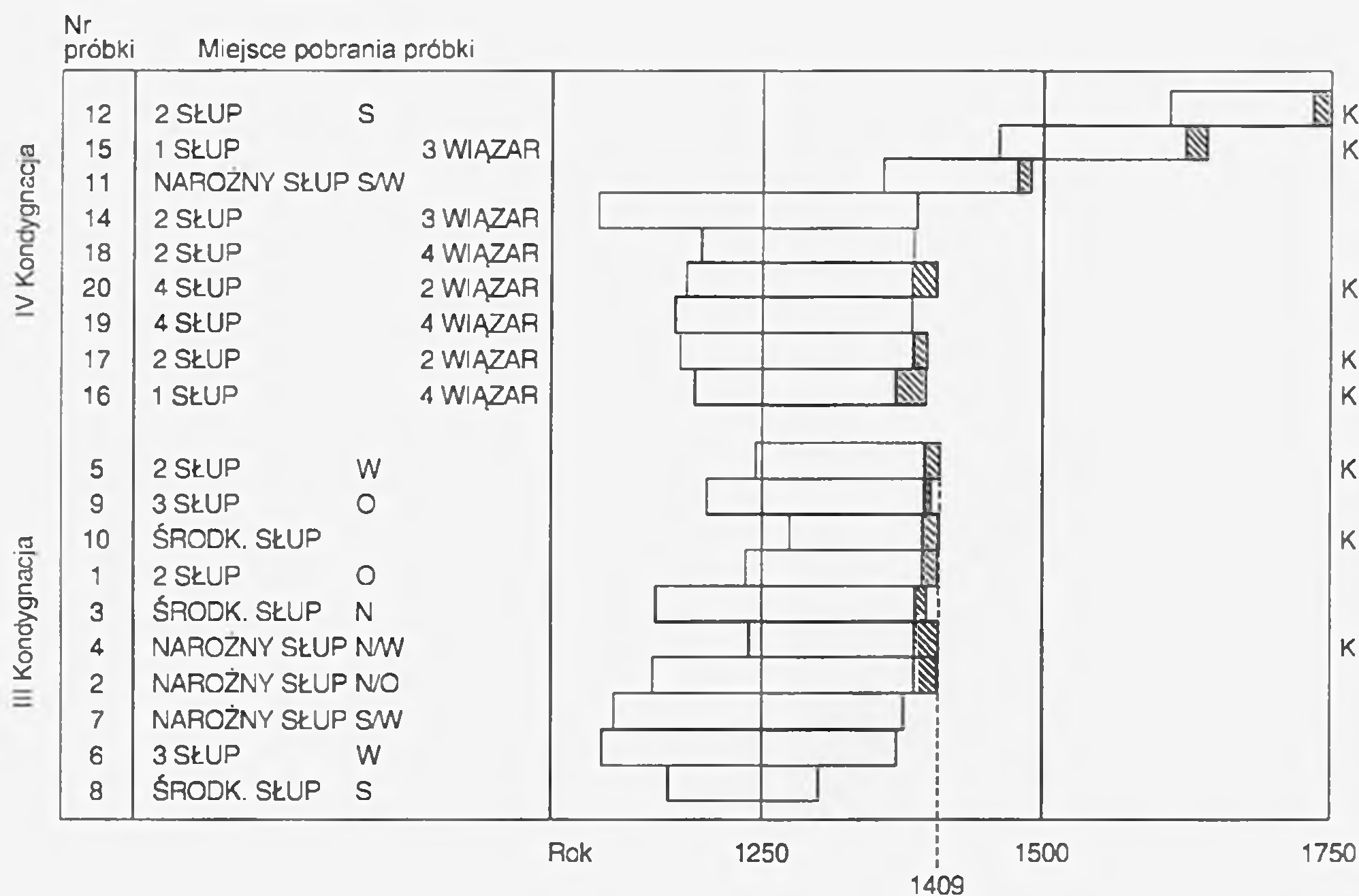
Duże różnice pomiędzy wynikami analizy dendrochronologicznej a datą budowy mogą wystąpić także przy drewnie pochodzącym z napraw i prac remontowych. Ten przypadek wystąpił m.in. w konstrukcji wieży gotyckiego kościoła św. Piotra i Pawła w Pucku. Pierwsza udokumentowana wzmianka o kościele puckim pochodzi z 1283 r. i wg Śliwińskiego (1998) dotyczy kościoła św. Piotra i Pawła,



**Rys. 26.** XIV-wieczny element konstrukcji wtórnie zastosowany w XVII-wiecznym kościele w Starzynie

w którego bryle odkryto fragmenty pochodzące sprzed XIV wieku. Budowę dzisiejszej budowli rozpoczęto prawdopodobnie pod koniec XIV w., gdy Wielki Mistrz Zakonu Krzyżackiego Konrad Zöllner von Rottenstein podarował parafię Puck zakonowi cysterek z Żarnowca (Domańska 1985). Przypuszczalnie wtedy powstała wschodnia wieża i prezbiterium. Dalsze prace budowlane trwały do końca XV w., z przerwami spowodowanymi działaniami wojennymi. Heise (1884) wspomina o dokumencie z 1496 r. ze wzmiankami o większych pracach remontowych. Architektoniczna forma kościoła oraz wyposażenie wnętrza były jeszcze uzupełniane, wielokrotnie przystępowano do prac remontowych więzby dachowej.

Dzisiejszy kościół św. Piotra i Pawła w Pucku tworzy dwuprzęsłowe prezbiterium oraz trzynawowa hala o pięciu przęsłach, do której przylega od strony zachodniej wieża z dwoma kaplicami po bokach. Wewnątrz wieży znajduje się drewniana konstrukcja zbudowana w całości z dębowych belek i ta właśnie konstrukcja była przedmiotem zainteresowania. Próbkę do badań dendrochronologicznych pobrano z 20 słupów oraz belek III i IV kondygnacji. Na jednym ze słupów zachował się gmerk z datą i inicjałami „OF 1890”. Wszystkie próbki za wyjątkiem jednej dało się wydatować. Położenie sekwencji przyrostów rocznych w skali czasu ilustruje diagram na rysunku 27.



**Rysunek 27.** Datowanie serii przyrostowych próbek drewna kościoła w Pucku. Belki oznaczają lata, w których powstały zachowane na próbkach przyrosty roczne, zakreskowane fragmenty belek oznaczają drewno bielu, symbol „K” — zachowany kompletny słój podkorowy

Otrzymane rezultaty podają jednoznaczną informację dotyczącą powstania konstrukcji III kondygnacji. Próbkę z zachowanym kompletnym białem wyznaczają datę ścięcia drzew użytych do budowy na zimę 1408/09 i wiosnę 1409 roku. Trudniejsze do interpretacji są wyniki otrzymane dla belek z IV piętra. Trzy próbki wydатовane z dokładnością jednego roku określają okres jesienno-zimowy 1395/96, 1396/97 i 1404/05 jako daty ścinki. Ostatnia data dotyczy słupa ze wspomnianym wcześniej gmerkiem. Trzy dalsze, pozbawione biału próbki mogą pochodzić z tego samego okresu, co drewno z III, jak i z IV kondygnacji. Przypuszczać należy, że przy budowie IV piętra użyto materiału pochodzącego z wcześniejszej ścinki, mogła to być również pozostałość drewna spalwanego wówczas w dużych ilościach z Puszczy Darżlubskiej do Gdańska.

Heise (1884) i Domańska (1985) przyjmują, że wieżę postawiono w dwóch etapach: najpierw powstała dolna część, a następnie podczas rozbudowy kościoła z jednawowego na trzynawowy wieżę podwyższono. Domańska umieszcza pierwszą fazę budowy w końcu XIV w., a podwyższenie wieży po 1400 roku. Według Heise (1884) pierwszy okres budowy nastąpił w XIII w., a górna część wieży z fryzem arkadowym miała powstać w XIV wieku. Dodatkową informację można znaleźć na gotyckim dzwonie, który został odlany około 1400 roku. Przebadane belki pochodzące przypuszczalnie z drugiej fazy budowy wieży datują ją na 1409 rok. Trzy najmłodsze słupy datowane na lata 1496, 1641 oraz 1750 pochodzą bez wątpliwości z prac naprawczych prowadzonych w tych latach. Data „1890” z gmerku nie miała związku z drewnianą konstrukcją wieży kościoła w Pucku.

Jednym z najważniejszych zabytków architektury będącym przedmiotem badań dendrochronologicznych była katedra w Gdańsku-Oliwie. Klasztor i katedra w Oliwie założone zostały przez duńskich cystersów, którzy przybyli tutaj w 1186 r. z Kołacza na Pomorzu Zachodnim. Dwa lata później otrzymali oni z rąk księcia gdańskiego Sambora I dokument fundacyjny. Początkowo w Oliwie powstało niewielkie murowane oratorium, następnie w kilku etapach wznoszono zespół klasztorny. Rozbudowa powiązana była z odbudową po najazdach pruskich. W latach 1235/39 powstała, jak podaje Hirsch (1850), bazylika z nawą poprzeczną, wąskimi nawami bocznymi i półokrągłą lub wieloboczną apsydą. Nawa główna otrzymała drewnianą konstrukcję dachową, a nawy boczne sklepienia. W 1350 r. kościół i klasztor spłonęły. Po pożarze obiekt został ponownie odbudowany i rozbudowany do dzisiejszych rozmiarów (Klemp 1987).

Katedra oliwska jest trzynawową bazyliką z nawą poprzeczną i prezbiterium z wielobocznym obejściem. Budowla ma długość 107 m. Front (rys. 28), fasada



i miedziany dach pochodzą z XVIII wieku. Badania dendrochronologiczne objęły drewnianą konstrukcję dachową, z której pobrano 40 próbek drewna dębu. Wiek elementów konstrukcyjnych był wobec wielokrotnych pożarów i remontów trudny do określenia. Jako najwcześniejszą możliwą datę można było przyjąć ostatnią ćwiartkę XVI wieku. W 1577 r. po uznaniu przez cystersów Stefana Batorego jako króla Polski, kościół i klasztor w Oliwie zostały zniszczone przez mieszkańców Gdańska, znajdujących się wówczas w konflikcie z Batorym. Uzyskane w wyniku

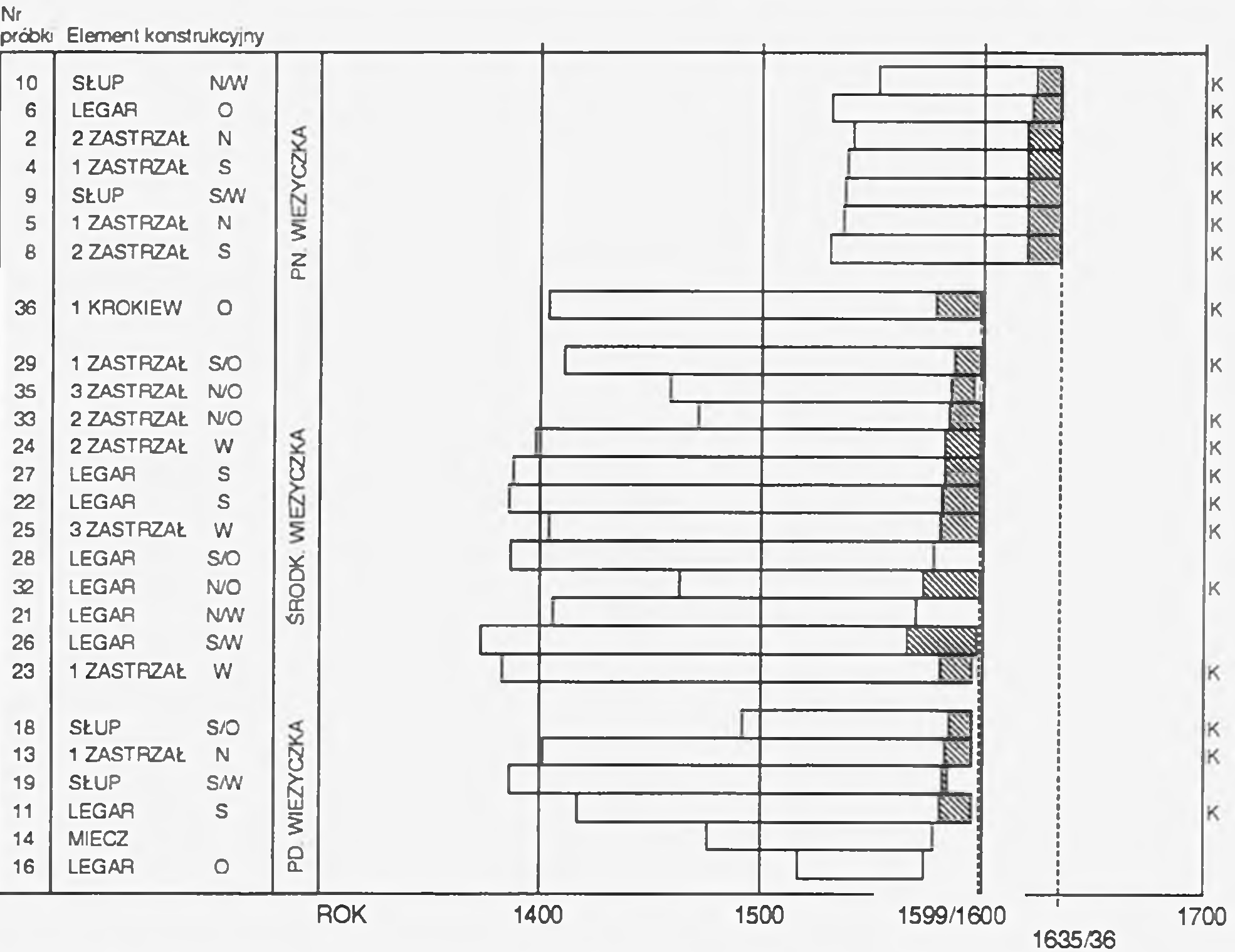


Rysunek 28. Katedra w Gdańsku-Oliwie — widok od strony zachodniej



ustaleń pokojowych z Gdańska odszkodowania oraz królewskie dary pozwoliły w rok później na rozpoczęcie prac restauracyjnych. W latach 1579–80 pokryto dachem korpus nawowy kościoła, a w 1581 r. także obejście prezbiterium, które dotychczas miało jedynie prowizoryczną strzechę (Hirsch 1850). W 1582 r. zakończono prace przy sklepieniach. Materiał do badań dendrochronologicznych pochodził głównie z podstawy wieżyczki na skrzyżowaniu nawy głównej i transeptu oraz z dwóch sygnaturek nad transeptem. Pięć dalszych próbek pobrano z dębowych krokwi nad prezbiterium. Ogółem udało się określić wiek 26 próbek z 40. Wyniki datowania ilustruje diagram na rysunku 29.

Dwie spośród badanych czterech konstrukcji powstały w niewielkim odstępie czasu. Podstawa południowej sygnaturki zbudowana została z dębów ściętych na przełomie 1595 i 1596 roku. O cztery lata młodsze są elementy wieżyczki na skrzyżowaniu nawy głównej i poprzecznej — ścinka drzew nastąpiła zimą 1599/1600 roku. Jedna z belek tej konstrukcji o nr 23 pochodzi jednak ze ścinki 1595/96 r. Datowanie dendrochronologiczne jest częściowo zgodne z informacjami źródłowymi. Na ich podstawie Hirsch (1850) podaje, że stara wieża kościelna, która



**Rysunek 29.** Datowanie serii przyrostowych próbek drewna z katedry w Gdańsku-Oliwie. Belki oznaczają lata, w których powstały zachowane na próbkach przyrosty roczne, zakreskowane fragmenty belek oznaczają drewno bielu, symbol „K” — zachowany kompletny słoć podkorowy

przetrwała zniszczenia 1577 roku, została w 1599 r. rozebrana. W jej miejsce postawiono w 1601 roku nową wieżyczkę pokrytą blachą miedzianą. Heise (1885) przyjmuje, że w tym samym roku zbudowano także obydwie boczne sygnaturki. Tego już badania dendrochronologiczne jednak nie potwierdzają.

Jako ostatnia powstała bez wątpliwości północna wieżyczka. Drewno potrzebne do jej postawienia pozyskane zostało dopiero zimą 1635/36 r. Heise (1885) wspomina o wzmożonej aktywności budowlanej konwentu cystersów w 1636 r. Przeprowadzono wówczas rozbudowę prezbiterium, wykończono kaplice i zbudowano schody do dormitorium. W ramach tych prac kościół otrzymał prawdopodobnie brakującą sygnaturkę. Data „1823” widoczna na chorągiewce uwiecznia przypuszczalnie remont hełmu. Te stopniowo prowadzone na dachu katedry prace pozwalają sądzić, że południowa sygnaturka powstała już w 1596 roku, a bez wątpliwości w latach 1596–1600, tzn. zanim rozpoczęto budowę środkowej wieżyczki. Jedna z niewykorzystanych wówczas belek (nr 23) zastosowana została w podstawie wieżyczki środkowej.

Z pięciu dębowych krokwi dachu nad prezbiterium tylko jedną udało się wydatować. Pochodzi ona z przełomu 1599 i 1600 roku. Pozostałe krokwie wykonane zostały z drewna sosnowego. To pojedyncze datowanie nie jest wystarczające do ustalenia czasu powstania całej konstrukcji. Zaskakująco zła była jakość belek, które zastosowano bez okorowania i usunięcia części bielastej. Sprawiają one wrażenie uzupełnienia, czego jednak na razie nie można potwierdzić przy zastosowaniu metody dendrochronologicznej. Planowane badania dendrochronologiczne drewna sosny powinny dostarczyć uzupełniających wyników.

Podsumowując doświadczenia zebrane podczas badań dendrochronologicznych budynków należy podkreślić, że analiza przyrostów rocznych jest w odniesieniu do architektury nie tylko najdokładniejszą metodą datowania, ale i jedyną obiektywną, czego nie można powiedzieć np. o analizie stylistycznej. Historycy architektury opierają się ponadto niejednokrotnie na tzw. gmerkach, czyli inskrypcjach umieszczanych na belkach. Gmerki stanowią z pewnością cenne źródło informacji, ale niekoniecznie dotyczących powstania konstrukcji, na której występują. Zaobserwowane różnice pomiędzy zamieszczonymi na belkach datami, a wynikami datowania sięgały do ponad 400 lat. Jedynym ograniczeniem zastosowania dendrochronologii w badaniach zabytkowej architektury jest tylko konieczność występowania drewna o wystarczających rozmiarach.

## II: DATOWANIE DZIEŁ SZTUKI

Określenie wieku dzieła sztuki (malarstwa na drewnie i rzeźby) jest zadaniem szczególnie złożonym i trudnym ze względu na:

- zwięzłość formy wypowiedzi artystycznej,
- wieloznaczność symboliki,
- wielokrotne powtarzanie tych samych motywów przez setki lat.

Coraz większą pomocą dla historyków sztuki są nowoczesne i stale udoskonalane metody badawcze takie jak np. analiza w podczerwieni, ultrafiolecie i promieniach Rtg, analiza pigmentów, metody spektroskopowe czy tomografia komputerowa. Obok nich rośnie znaczenie dendrochronologii, która pozwala w wielu przypadkach rozstrzygnąć problemy nierozwiązywalne dla historyków sztuki.

Badania dendrochronologiczne dzieł sztuki zostały zainicjowane w 1969 r. przez Instytut Biologii Drewna Uniwersytetu w Hamburgu (Bauch i Eckstein 1970). Przedmiotem badań były w pierwszej kolejności dzieła mistrzów niderlandzkich i niemieckich (m.in. Eckstein i Bauch 1974, Bauch i in. 1978), oraz angielskich (m.in. Fletcher 1976, 1980). Po rozstrzygnięciu problemów związanych z absolutnym datowaniem chronologii opracowanych do datowania malarstwa oraz pochodzeniem drewna (Eckstein, Ważny i in. 1986), obecnie kilka europejskich laboratoriów prowadzi systematyczne badania dendrochronologiczne europejskich dzieł sztuki — m.in. Klein (1982, 1989), Bonde i in. (1992), Klein i Ważny (1992), Lavier i Lambert (1996).

Drewno było przez stulecia podstawowym materiałem, z którego wykonywano dzieła sztuki. Dotyczy to nie tylko drewnianych rzeźb i ornamentów, ale i obrazów. Do połowy XVI wieku obrazy malowano praktycznie wyłącznie na drewnianych podłożach. Tworzyły je pojedyncze deski lub tablice o większych rozmiarach powstałe z kilku, a czasami nawet kilkunastu klejonych na styk desek. Dopiero od 1610 r. coraz większe znaczenie zdobywają podłoża płócienne, a od połowy XVII wieku zaczynają one wypierać drewno (Bauch 1979). Zmiany te wiążą się przede wszystkim z rosnącymi cenami i kosztami transportu drewna oraz deficytem wysokogatunkowego drewna dębowego na rynkach europejskich. Ogromne

zapotrzebowanie na drewno do budowy jednostek pływających i rozbudowy flot mocarstw europejskich spowodowało znaczne przetrzebieenie lasów w Europie. Szczególnie dotkliwy stał się niedostatek drewna dębowego będącego podstawowym materiałem w szkutnictwie.

W procesie tworzenia dzieł sztuki wykorzystywano różne gatunki drewna. Kierowano się przy tym kilkoma kryteriami, z których najważniejszym było kryterium ekonomiczne. W praktyce sprowadzało się to do wybierania drewna dostępnego w najbliższej okolicy. Na dalszych miejscach znajdowały się właściwości drewna, czy też upodobania poszczególnych szkół artystycznych.

Produkcja podobrazí prowadzona była w niektórych krajach przez wyspecjalizowane warsztaty i podlegała ścisłym regulacjom. W Antwerpii w 1470 r. Gildia Św. Łukasza wprowadziła surowe przepisy mające na celu zabezpieczenie jakości podobrazí. Gotowe podobrazia należało przedstawić urzędnikowi przed odbiorem. Jeżeli były bez zarzutu, na odwrocie wypalane były znaki jakościowe — dłonie pochodzące z herbu Antwerpii. Producent podobrazia również pozostawiał na odwrocie swój monogram lub znak warsztatowy (Nikolaus 1982). Po namalowaniu obrazu przez artystę następowała ponowna kontrola. Jeżeli wynik był pozytywny, wypalano kolejny znak pochodzący również z herbu miasta — antwerpski zamek. Poza wymienionymi typami znaków na odwrocie obrazów można znaleźć jeszcze znaki handlarzy drewnem, znaki kolekcjonerskie (własnościowe) oraz niekiedy znaki dekanalne informujące o dacie produkcji. Pełne omówienie znaków spotykanych na drewnianych podobrazíach wraz z próbą ich skatalogowania przedstawiła Schuster-Gawłowska (1992).

Podstawowym gatunkiem drewna stosowanym w malarstwie północnoeuropejskim był dąb. Jak wynika z zestawienia gatunków drewna stosowanych w malarstwie tablicowym od XII do XVI wieku (Grosser 1974, wg Marette 1961), 100% obrazów powstałych w Holandii i Flandrii namalowano na podłożach dębowych. Z badań obrazów Rembrandta przeprowadzonych przez Instytut Biologii Drewna Uniwersytetu w Hamburgu wynika z kolei, że na 156 obrazów — 136 ma dębowe podobrazia (Bauch i Eckstein 1981). Pozostałych 20 obrazów powstało na drewnie należącym do różnych gatunków z mahoniem i cedrąłą włącznie. Godne uwagi jest przy tym, że żaden z tych obrazów nie był dziełem powstałym na zamówienie. Artysta wykorzystywał prawdopodobnie tanie odpady drewna dla własnych celów. Twarde drewno dębowe preferowano ponadto w Anglii, północnej części Niemiec, Danii, a także w północnej Polsce.



W południowej części kontynentu europejskiego artyści malowali z kolei na miękkim drewnie liściastym — we Włoszech 72% obrazów powstało na drewnie topoli, udział pozostałych gatunków nie przekracza 10% (Klein i Bauch 1985). W krajach alpejskich, gdzie panują lasy iglaste, używano w związku z tym drewna sosny, jodły, modrzewia, świerka i limby. W środkowej części Europy korzystano na ogół z miękkiego drewna liściastego takich gatunków, jak lipa i topola. Wyjątkowym przykładem szczególnych upodobań warsztatowych była szkoła Łukasza Cranacha, gdzie stosowano przede wszystkim drewno bukowe.

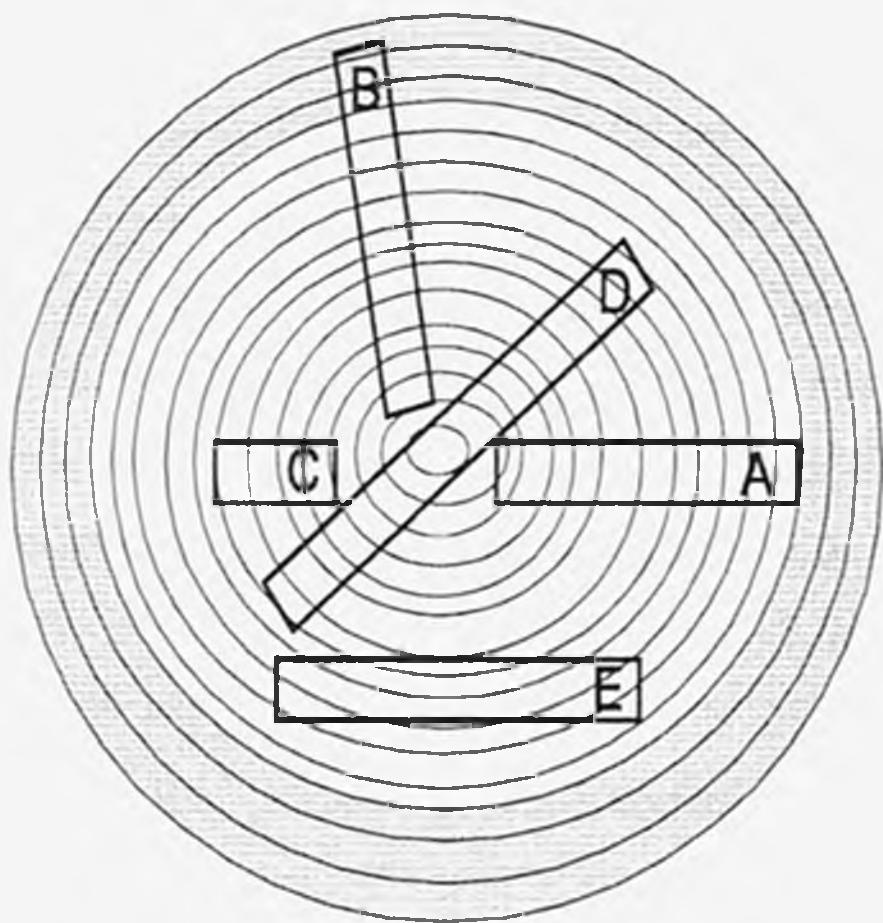
Rozkład gatunków drewna zastosowanych w malarstwie tablicowym z terenów Polski przedstawia się podobnie jak i w Europie Zachodniej. Ikony karpackie malowano głównie na drewnie jodły, spotykany jest także świerk, sosna, lipa i topola (Kosiorek i Ważny 1997), w Małopolsce natomiast dominowało drewno lipy (Sigmund 1968). W malarstwie gdańskim preferowano drewno dębowe.

Warsztaty artystyczne ulokowane w dużych miastach portowych lub w ich pobliżu zaopatrywały się w materiał na miejscowym targu drzewnym. Transport drewna drogą wodną był wielokrotnie tańszy od transportu drogą lądową.

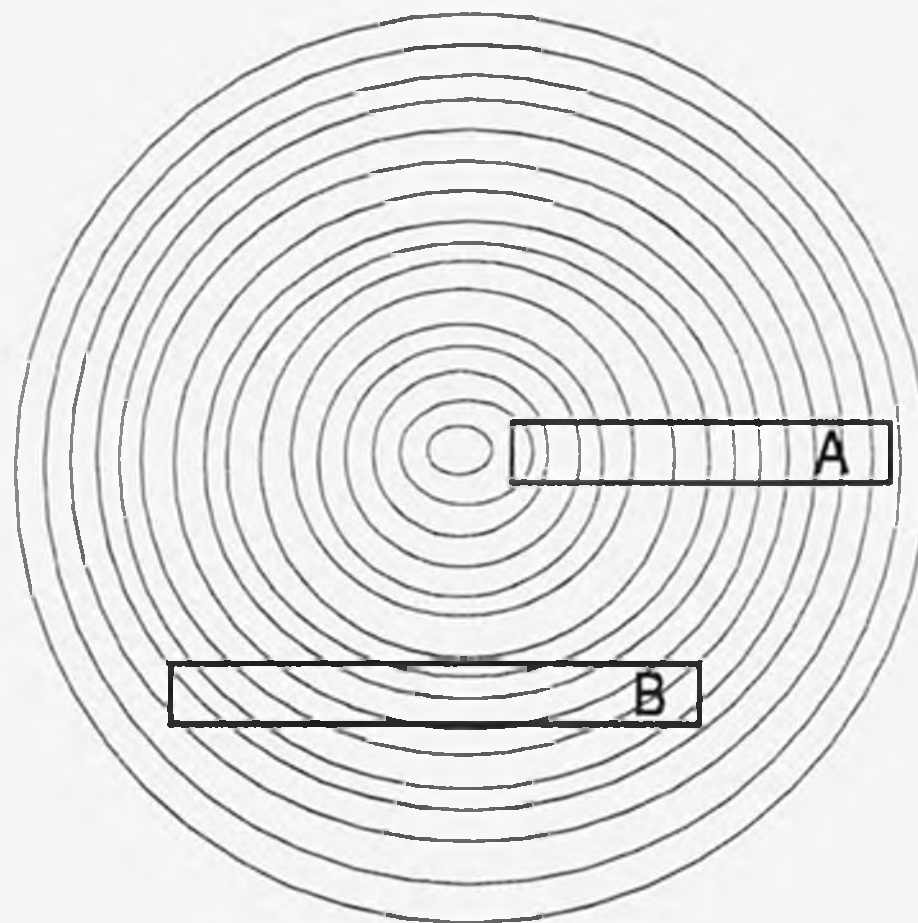
Ponieważ dendrochronologia dębu jest w Europie najlepiej opracowana, szerokie stosowanie drewna dębowego bardzo sprzyja zastosowaniu dendrochronologii w badaniach dzieł sztuki. Kolejnym czynnikiem sprzyjającym był sposób przygotowywania desek z drewna dębowego. Przepisy cechowe nakazywały stosowanie drewna pozbawionego sęków oraz innych wad, pozbawionego bielu i wyciętego dokładnie w kierunku promieniowym. Z badań obrazów Rembrandta (Bauch i Eckstein 1981) wynika, że rzeczywiście najczęściej występują deski promieniowe z odciętą częścią przyrdzeniową i wykorzystane aż do granicy strefy bielu i twardego (rys. 30, przypadek A). 30% desek zawiera jednak pozostałości bielu, które są zwykle uszkodzone przez owady (przypadek B). Oprócz tego wykorzystywano także deski małowymiarowe (C), zawierające rdzeń (D) lub styczne (E).

Dzięki stosowaniu desek promieniowych i drewna wąskosłoistego pochodzącego z regularnie rosnących drzew, na pojedynczej desce może być nawet do 300 przyrostów rocznych możliwych do pomierzenia.

W podobny sposób, jak podobrazia z drewna dębowego, wykonywano podłoża obrazów malowanych na deskach bukowych. Deski były wycinane zwykle w kierunku promieniowym (przypadek A, rys. 31), co zapewniało najlepszą



**Rys. 30.** Najczęściej stosowane sposoby wycinania desek dębowych przeznaczonych na podobrazia



**Rys. 31.** Sposoby wycinania desek bukowych przeznaczonych na podłoża obrazów

stabilizację kształtów i wymiarów podłoża. Do wyjątków należą deski styczne (przypadek B). Dokładne zachowanie kierunku promieniowego było szczególnie istotne w przypadku tego gatunku drewna, gdyż buk jest zaliczany do gatunków tzw. „silnie pracujących”, a więc zmieniających swoje rozmiary przy zmieniających się warunkach otoczenia.

Dzięki takiemu sposobowi przygotowania podobrazia oraz dzięki temu, że buk jest gatunkiem wolno rosnącym, zachowana jest zwykle duża ilość łatwych do pomierzenia przyrostów rocznych. Analizę dendrochronologiczną utrudniają stwierdzone sporadycznie występujące anomalie przyrostowe w postaci tzw. wypadających lub podwójnych słoików (Klein i Bauch 1983).

Tablice z drewna miękkich gatunków rozpierchło-naczyniowych, takich jak lipa czy topola, wykonywane były z desek o większej grubości wycinanych stycznie lub w kierunku pośrednim pomiędzy stycznym a promieniowym. Najczęstsze sposoby pozyskiwania drewna przedstawiono na rysunku 32.

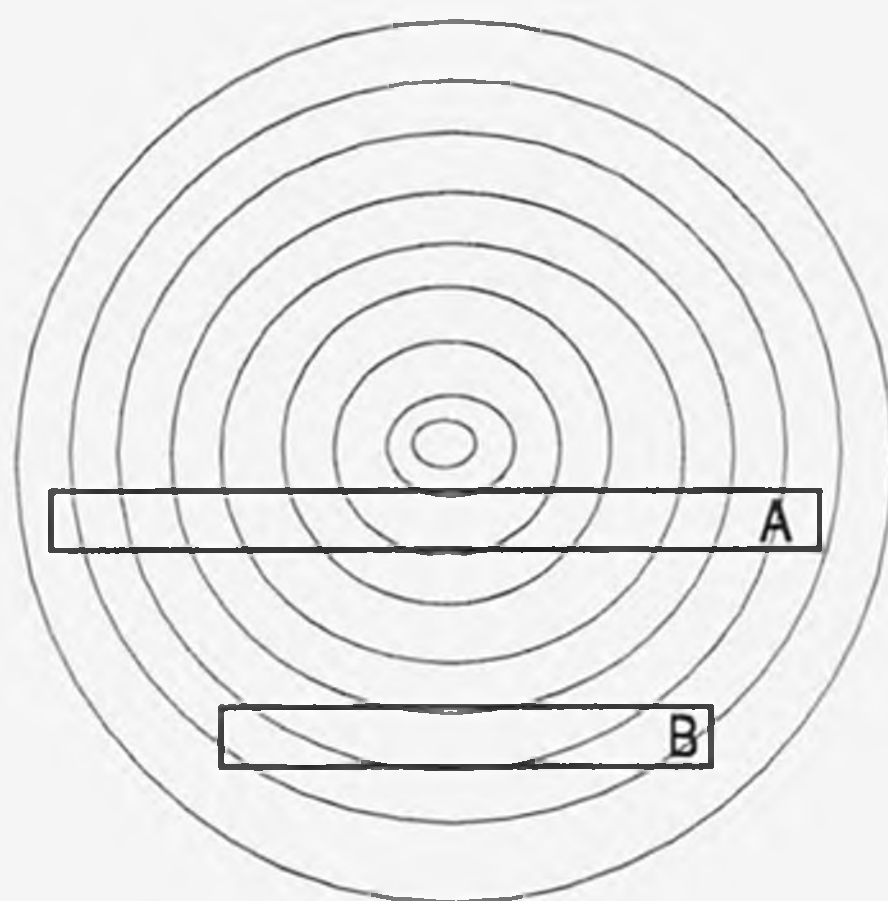
Przypadek „A” ilustruje sposób wycięcia deski obrazu Rembrandta przedstawiającego „Uczonego przy pulpicie” i pochodzącego ze zbiorów Zamku Królewskiego w Warszawie (Galeria Lanckorońskich). Obraz o szerokości 76 cm został namalowany na pojedynczej desce z drewna topoli. Deska została wycięta przez większą część pnia, z pominięciem rdzenia. Jej rozmiary wskazują na ścięcie drzewa o średnicy pnia wynoszącej około 90–100 cm. Ponieważ topola należy do gatunków szybko rosnących, liczba zachowanych przyrostów rocznych wynosiła tylko 55,

a wiek drzewa pomimo jego dużych rozmiarów można oszacować na 60 do 70 lat. Dendrochronologiczne datowanie takiego podłoża wobec braku chronologii porównawczych dla topoli i małej liczby przyrostów rocznych nie było możliwe.

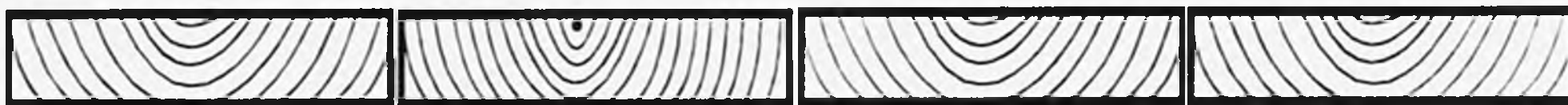
Przykład „B” przedstawia deskę styczną, bardzo często spotykaną w podobrazjach z drewna lipy czy topoli. Liczba przyrostów rocznych na tego rodzaju deskach rzadko przekraczała 30 pomimo znacznych często ich rozmiarów. Szybko rosnące lipy czy topole przyrastają na grubość nieraz ponad 1 cm rocznie, co bardzo ogranicza ich przydatność do analizy dendrochronologicznej. Drewno obydwu gatunków charakteryzują ponadto często występujące anomalie przyrostowe. Najrzadziej spotykane są deski promieniowe.

Podobne obserwacje dotyczące budowy technologicznej podobrazi z drewna topoli poczynili Klein i Bauch (1985) badając drewno obrazów włoskich powstałych pomiędzy XV a XVII w. Zwrócili oni uwagę przy tym na dużą grubość desek wynoszącą od 15 do 35 cm. W ten właśnie sposób starano się zapewnić stabilność wymiarową desek i zapewnić im wystarczającą wytrzymałość.

W zbliżony sposób, co drewno miękkich gatunków liściastych, wycinano deski z pni drzew iglastych. W tym przypadku zdecydowanie dominuje forma „A” — deski o układzie słoików promieniowo-stycznym. Linia cięcia przechodziła blisko rdzenia, co pozwalało wykorzystać prawie całą średnicą pnia drzewa. Z analizy 54 desek jodłowych ikon karpackich wynika, że 79% desek pozyskano w ten sposób, 13% desek ma styczny układ słoików, a tylko 8% desek wycięto promieniowo



**Rys. 32.** Podstawowe sposoby wycinania desek z drewna lipy oraz topoli przeznaczonych na podłoża obrazów



Rys. 33. Typowy układ słoików desek z drewna iglastego tworzących podłoże obrazu

(Kosiorek i Ważny 1997). Podobne obserwacje poczyniono w trakcie badań sosnowych tablic obrazów reprezentujących malarstwo śląskie. Typowe wieloczęściowe podobrazie z drewna iglastego przedstawiono na rysunku 33.

Liczba przyrostów rocznych na desce rzadko przekracza 100. Prawdopodobieństwo ustalenia wieku obrazu jest ściśle związane z przydatnością danego gatunku do dendrochronologii. O ile prawie wszystkie podobrazia z drewna jodły pozwalają się wydatować, to szansa uzyskania wyników dla pozostałych gatunków iglastych jest znacznie niższa.

W badaniach dzieł sztuki dopuszczalne jest stosowanie wyłącznie metod nieniszczących. Dlatego też niemożliwe jest użycie narzędzi stosowanych w dendrochronologii w innych przypadkach i pobieranie próbek do badań laboratoryjnych. Ponadto ze względu na dużą wartość obiektów i ich ograniczoną przydatność do transportu ze względu na rozmiary lub zły stan zachowania, pomiary przyrostów rocznych wykonywane są zwykle u właściciela obiektu. Najczęściej stosowaną metodą jest pomiar szerokości przyrostów rocznych bezpośrednio na obiekcie. Pomiary przyrostów rocznych wykonywane są za pomocą lupy pomiarowej z dokładnością 0,1 mm. Ingerencja dendrochronologa ogranicza się do oczyszczenia i ewentualnego wygładzenia krawędzi deski lub podstawy ewentualnie odwrocia rzeźby. Warunkiem wykonania pomiarów jest dostęp do przekroju poprzecznego drewna, co wymaga w przypadku badań malarstwa wyjęcia obrazu z ramy. Zabieg ten jest nie zawsze możliwy i wiąże się z ryzykiem zmiany naprężeń w drewnie, które następnie przenoszone są na mniej elastyczną warstwę malarską stanowiąc dla niej zagrożenie. Deski z drewna iglastego pozwalają na wykonywanie pomiarów również na powierzchni promieniowej. Czytelność przyrostów rocznych drewna dębowego jest natomiast na powierzchni promieniowej ograniczona i przy drewnie wąskosłoiстым konieczne staje się wykonanie płytkiego nacięcia w desce od strony odwrocia. Założenie parkietu uniemożliwia wykorzystanie odwrocia obrazu.

Próby zmodyfikowania metodyki pomiaru przyrostów rocznych drewna w dziełach sztuki nie przyniosły dotychczas zadowalających rezultatów. Jedną z bardzo obiecujących metod jest tomografia komputerowa. Stosowane w medycynie tomografy komputerowe pozwalają wprowadzić na uzyskanie pełnego przekroju poprze-



cznego, ale rozdzielczość obrazu jest ciągle niewystarczająca do wykonania precyzyjnych pomiarów szerokości przyrostów rocznych drewna wąskosłoiściego (Preuss i in. 1991, Klein i Vogel 1994). Porównanie pomiarów różnych gatunków drewna wykonanych tradycyjną metodą oraz na obrazie uzyskanym z tomografu wykazało liczne błędy pomiarowe przy metodzie tomograficznej (Młodożeniec 1994).

Rozwinięciem klasycznej metody pomiarów jest metoda zastosowana przez Laboratorium Chrono-Ekologii Uniwersytetu w Besancon we Francji (Lavier i Lambert 1996). Po przygotowaniu powierzchni przekroju poprzecznego przy zastosowaniu specjalnej techniki czyszczenia opartej na piaskowaniu, wykonywane są zdjęcia drewna. Pomiary szerokości przyrostów rocznych wykonywane są w laboratorium na aparacie pomiarowym zapewniającym większą precyzję niż lupa. Dalszą zaletą tej metody jest fotograficzna dokumentacja badanych przekrojów umożliwiającą wielokrotną analizę i powtórne pomiary. Jej wadą może być natomiast brak możliwości pełnego wyjaśnienia tych anomalii przyrostowych, na które zwraca się uwagę dopiero podczas pomiarów. Niezbędna jest w takich przypadkach bezpośrednia obserwacja drewna i ewentualne wykonanie preparatów mikroskopowych.

Analiza dendrochronologiczna obrazu powinna obejmować wszystkie dostępne deski podobrazia. Ponadto należy wykonać kontrolny pomiar najmłodszych słoików z drugiej strony każdej deski, gdyż przebieg wzdłużnej krawędzi deski (biegnącej wzdłuż włókien) może odbiegać od przebiegu granicy przyrostów. Różnica datowania obydwu stron tej samej deski dochodzi w niektórych przypadkach do kilkunastu lat. Dopiero zebranie wszystkich możliwych do uzyskania informacji i wyników badań drewna takich jak: gatunek drewna, sposób wycięcia desek, obecność lub brak bielu, stan zachowania drewna (w tym przebieg korytarzy larwalnych owadów) oraz datowanie drewna pozwala na wyciągnięcie wniosków dotyczących ostatecznego datowania dzieła sztuki na podstawie analizy dendrochronologicznej.

W odróżnieniu od wysokiej precyzji osiągananej przy określaniu wieku drewna archeologicznego i drewnianych konstrukcji zabytkowych budowli, datowania dzieł sztuki obciążone są zawsze dwoma niewiadomymi. Nieznane są: liczba słoików odciętych podczas przygotowywania podobrazia oraz okres sezonowania drewna. Pierwszą z wymienionych niewiadomych można próbować oszacować na podstawie gatunku drewna, sposobu wycięcia deski oraz ewentualnych pozostałości bielu. Otrzymujemy w ten sposób przybliżoną datę ścięcia drzewa. Bardziej złożony jest problem sezonowania drewna.

Ze względu na szczególne wymagania dotyczące stabilności kształtu podobraz, zastosowane do ich wytworzenia drewno powinno być starannie wysuszone. Według dawnych traktatów przygotowanie drewna było wieloletnim procesem, podczas którego należało między innymi wyciąć sęki i miejsca żywiczne a otwory starannie wypełnić kitem. Cennino Cennini (Slansky 1960) poleca wygotowanie drewna w wodzie. Można znaleźć również wzmianki o stosowaniu drewna z demontowanych statków. Dendrochronologia pozwoliła na określenie rzeczywistego czasu, który minął od ścięcia drzewa do powstania obrazu. Z badań sygnowanych obrazów malowanych na deskach dębowych w XVI i XVII wieku wynika, że transport i sezonowanie drewna zajmowały tylko od 2 do 8 lat, przy 5 latach jako wartości średniej (Bauch i Eckstein 1981, Klein 1986). Mówiąc o transporcie trzeba pamiętać, że drewno pokonywało nieraz znaczne odległości np. z puszczy na Pomorzu Gdańskim czy na Podlasiu do warsztatu w Antwerpii lub Amsterdamie. Większość obrazów reprezentujących malarstwo flamandzkie i holenderskie powstała przecież na drewnie pochodzącym z terenów Polski lub Litwy (Eckstein, Ważny i in. 1986). W XV wieku okres sezonowania drewna był dłuższy i wynosił najczęściej od 10 do 15 lat. Ustalenie tego okresu umożliwiły badania dendrochronologiczne malarstwa kolońskiego (Eckstein i Bauch 1974, Bauch i in. 1990).

Dla podłoży bukowych czas mijający od ścięcia drzewa do powstania obrazu wynosił od 2 do 7 lat (Klein i Bauch 1983), a więc pokrywa się z wynikami badań obrazów malowanych na dębie. Zaskakujące rezultaty przyniosły natomiast badania sygnowanych ikon karpackich namalowanych na deskach z jodły. Jedną z ikon, która miała deskę z zachowanym słojem podkorowym wydatowano na ten sam rok, co data powstania ikony (Ważny i Kosiorek 1998). Sezonowanie drewna było więc czasami ograniczone do okresu od kilku tygodni do najwyżej kilku miesięcy.

W pojedynczych przypadkach różnica pomiędzy datami uzyskanymi na podstawie analizy drewna, a przypuszczalną datą powstania obrazu może być bardzo duża i przekraczać 80 lat. Przyczyną może być użycie drewna ze strefy przyrzeniowej pnia starego drzewa. Inny powód może stanowić przemalowanie starszego obrazu, dlatego przy stwierdzeniu tak dużej różnicy zalecane jest wykonanie zdjęć Rtg.

W Laboratorium Dendrochronologii ASP w Warszawie wykonano badania dendrochronologiczne ponad 100 obiektów malarstwa i rzeźby na podłożach drewnianych. Wykaz najważniejszych z nich podaje tabela 7.

Tab. 7. Wykaz dzieł sztuki wydatowanych przez Laboratorium Dendrochronologii ASP w Warszawie

Lp.	Tytuł	Autor	Właściciel	Datowanie historyczne	Datowanie dendrochronologiczne (bez sezonowania drewna)
1	2	3	4	5	6
1.	Predella	malarz gdański	kościół w Helu	ok. 1500 r.	1485..1491....1499+x
2.	Naigrawanie	malarz gdański	kościół w Żarnowcu	nieznane	1595..1601....1609+x
3.	Palacze fajek	H.M. Sorgh	własność prywatna	nieznane	1668..1673....1678+x
4.	Wenus z Amorem	J. Massys	Muzeum U.J. Kraków	nieznane	1555..1561....1569+x
5.	Portret Mikołaja Kopernika	nieznany	Muzeum Okręgowe w Toruniu	przed lub po 1543 r.	1567..1573....1581+x
6.	Poliptyk Toruński	nieznany	Muzeum Narodowe w Warszawie	ok. 1390 r.	po 1340 r.
7.	Portret Elżbiety Valais	malarz niderlandzki	Zamek Królewski w Warszawie (depozyt)	nieznane	1589..1597....1605+x
8.	Bitwa Amazonek	P.P. Rubens (1577–1640)	Zamek Królewski w Warszawie	po 1620 r.	1606..1613....1621+x
9.	Gabinet sztuki Władysława Zygmunta Wazy	E. de la Hyre	Zamek Królewski w Warszawie	sygn. 1626	1619..1625....1633+x
10.	Odpoczynek Świętej Rodziny	Brueggel? van Bahlen?	Muzeum Diecezjalne w Katowicach	XVI/XVII w.	1606..1617....1623+x
11.	Madonna z Dzieciątkiem (rzeźba)	warsztat pomorski	Muzeum Narodowe w Szczecinie	koniec XIII w.	niedatowana 1286..1293....1302 (tło)
12.	Kiemasz Holenderski	Vinckeboons	Muzeum Narodowe w Szczecinie	1607 lub 1617	1602..1608....1615+x
13.	Matka Boska z Dzieciątkiem	nieznany	kościół w Myślenicach	poł. XVI w.	1609–1616
14.	Ołtarz Ferberów — Predella	malarz gdański	kościół Mariacki w Gdańsku	1481/83	1449..1454....1458+x
15.	Św. Jan Chrzciciel		kościół Mariacki w Gdańsku	1481–84	1467..1473....1481+x
16.	Św. Helena		kościół Mariacki w Gdańsku	1481–84	1459..1465....1473+x
17.	Chrystus Bolesny		kościół Mariacki w Gdańsku	ok. 1485 r.	1476..1478....1486
18.	Ukazanie Chrystusa	malarz gdański	kościół Mariacki w Gdańsku	ok. 1500 r.	1475..1481....1489

Tab. 7. c.d.

1	2	3	4	5	6
17.	Chrystus Bolesny		kościół Mariacki w Gdańsku	ok. 1485 r.	1476..1478....1486
18.	Ukazanie Chrystusa	malarz gdański	kościół Mariacki w Gdańsku	ok. 1500 r.	1475..1481....1489
19.	Portret Martina Soolmansa	Rembrandt (1606–1669)	Zamek Królewski w Warszawie	sygn. 1634	1628..1632....1640
20.	Zaśnięcie Najświętszej Marii Panny	malarz holenderski	własność prywatna	XVII w.	1723..1728....1733+x
21.	Bitwa pod Orszą	nieznany	Muzeum Narodowe w Warszawie	I poł. XVI w.	1523..1529....1537+x
22.	Wnętrze kuchni	D. Teniers Mł. (1610–1690)	Muzeum Narodowe w Poznaniu	XVII w.	1627..1633....1641+x
23.	Pejzaż	Rembrandt	własność prywatna	sygn. 1627	1497..1503....1511+x
24.	Św. Helena	P.P. Rubens (1577–1640)	depozyt Muzeum U.J. w Krakowie	ok. 1620 r.	1613..1619....1627
25.	Ukrzyżowanie	malarz niemiecki	Muzeum Narodowe w Warszawie	XVII w.	1619..1625....1633+x
26.	Sokrates i Ksantypa	malarz francuski	Zamek Królewski w Warszawie	koniec XVI w	1542..1547....1559+x
27.	Św. Jan Chrzciel	malarz niderlandzki	Zamek Królewski w Warszawie	1520–1530	1533..1538....1550+x
28.	Św. Katarzyna Aleksandryjska	malarz niderlandzki	Zamek Królewski w Warszawie	1600–1620	1598..1603....1610+x
29.	Uczta królewska (relief)	nieznany	Zamek Królewski w Warszawie	koniec XIV w.	1547..1552....1564+x
30.	Henryk VIII	H. Holbein Mł. (1498–1543)	Muzeum Narodowe w Warszawie	I poł. XVI w.	1847..1853....1859+x
31.	Martwa natura z rybami	malarz niderlandzki	Zamek Królewski w Warszawie	lata 30-te lub 40-te XVII w.	1634..1640....1648+x
32.	Krajobraz z księżycem	malarz niderlandzki	Zamek Królewski w Warszawie	II poł. XVII w.	1597..1603....1611+x
33.	Pokłon pasterzy	warsztat F. Franckena	Zamek Królewski w Warszawie	I ćw. XVII w.	1610..1616....1622+x
34.	Sprzedawca wódki	D. Teniers Mł. (1610–1690)	Zamek Królewski w Warszawie	lata 40-te XVII w.	1567..1573....1581+x



Tab. 7. c.d.

1	2	3	4	5	6
35.	Portret Stefana Batorego	nieznany	Zamek Królewski w Warszawie	sygn. 1585	1582..1588....1596
36.	Para sprzedawców wódki	D. Teniers Mł. (1610–1690)	Zamek Królewski w Warszawie	lata 70-te XVII w.	1667..1673....1679+x
37.	Jeździec z białym koniem	P. Wouwerman (1619–1668)	Zamek Królewski w Warszawie	przed 1668 r.	1641..1647....1655+x
38.	Ucieczka do Egiptu	malarz niderlandzki	Zamek Królewski w Warszawie	II poł. XVI w.	1550..1556....1562+x
39.	Przed karczmą	D. Teniers Mł. (1610–1690)	własność prywatna	przed 1690 r.	1656..1659....1684
40.	Pijacy	A. van Ostade	Zamek Królewski w Warszawie	nieznane	1646..1652....1660+x
41.	Salvator Mundi	malarz niemiecki?	Muzeum Archidiecezjalne Katowice	1620 lub 1626	1601..1606....1618+x
42.	Czterech Ewangelistów	P. Aertsen?	własność prywatna	nieznane	1558..1564....1572+x
43.	Rzeź niewiniątek	malarz niemiecki	Muzeum Archidiecezjalne Katowice	nieznane	po 1515 r.
44.	Chrystus wśród uczonych	nieznany	Zamek Królewski w Warszawie	nieznane	1626..1632....1640+x
45.	Święci Antoni i Paweł	malarz niemiecki	Muzeum Narodowe w Warszawie	nieznane	1499..1505....1513+x
46.	Zwiastowanie	malarz rudolfiński	Muzeum Narodowe w Warszawie	nieznane	1597..1603....1611+x
47.	Bitwa	nieznany	Muzeum Narodowe w Warszawie, Nieborów	sygn. 161_	1627..1633....1641+x
48.	Msza Św. Grzegorza	malarz koloński	Muzeum Narodowe w Warszawie	pocz. XVI w.	1505..1511....1519+x
49.	Walka Żydów w Amalekitami	prawdopodobnie Hans Jordans	Zamek Królewski na Wawelu	1600–1630	1601..1607....1615
50.	Zdjęcie z krzyża	malarz niderlandzki	własność prywatna	XVI lub XVII w.	1512..1518....1526+x
51.	Karol V	Lucas Cranach St (1472–1553)	Muzeum Narodowe w Poznaniu	przed 1553 r.	po 1524 r.
52.	Grosz czynszowy	malarz flandryjski	własność prywatna	I poł. XVII w.	1636..1642....1650+x
53.	Pejzaż ze skałami	A. Everdingen (1621–1675)	własność prywatna	przed 1675 r.	1648..1654....1662+x
54.	Wyjazd rodziny E.	Josse de Momper	Towarzystwo Przyjaciół Sztuk Pięknych w Krakowie	XVI/XVII w.	1608..1614....1622+x
55.	Pejzaż rajski	J. Brueghel Mł. (1611–1678)	własność prywatna	1620–1630	1613..1619....1625+x

Do interesujących wniosków prowadzi zestawienie wyników analizy dendrochronologicznej z wynikami badań historyków sztuki. Ciekawym przykładem ilustrującym, w jaki sposób dendrochronologia pomogła rozwikłać problem z dziedziny historii sztuki jest obraz pt. „Bitwa pod Orszą” pochodzący ze zbiorów Muzeum Narodowego w Warszawie.

Obraz o wymiarach 162 x 232 cm namalowany został na tablicy wykonanej z 13 pionowo łączonych desek z drewna dębowego przez nieznanego malarza. Przedstawia on bitwę pod Orszą stoczoną 8 września 1514 r. na brzegach Dniepru przez wojska polsko-litewskie z wojskami wielkiego księcia moskiewskiego, Wasyla III. Jak podaje Z. Żygulski jun. (1981), historia obrazu jest mało znana, pojawił się on w II połowie XIX w. w Muzeum Śląskich Starożytności we Wrocławiu. Niektórzy niemieccy historycy sztuki łączyli ten obraz z kręgiem Łukasza Cranacha Młodszego. Dyskusję wzbudził pewien szczegół obrazu — widoczne na pierwszym planie przetaczane przez most działo (rys. 34). Białostocki (1955) zwrócił uwagę na ogromne podobieństwo działa do ryciny Albrechta Dürera z 1518 roku. Z. Żygulski jun. (1981) zauważa w związku z tym trzy możliwości interpretacji tego podobieństwa:

a) autor obrazu posłużył się ryciną Dürera,

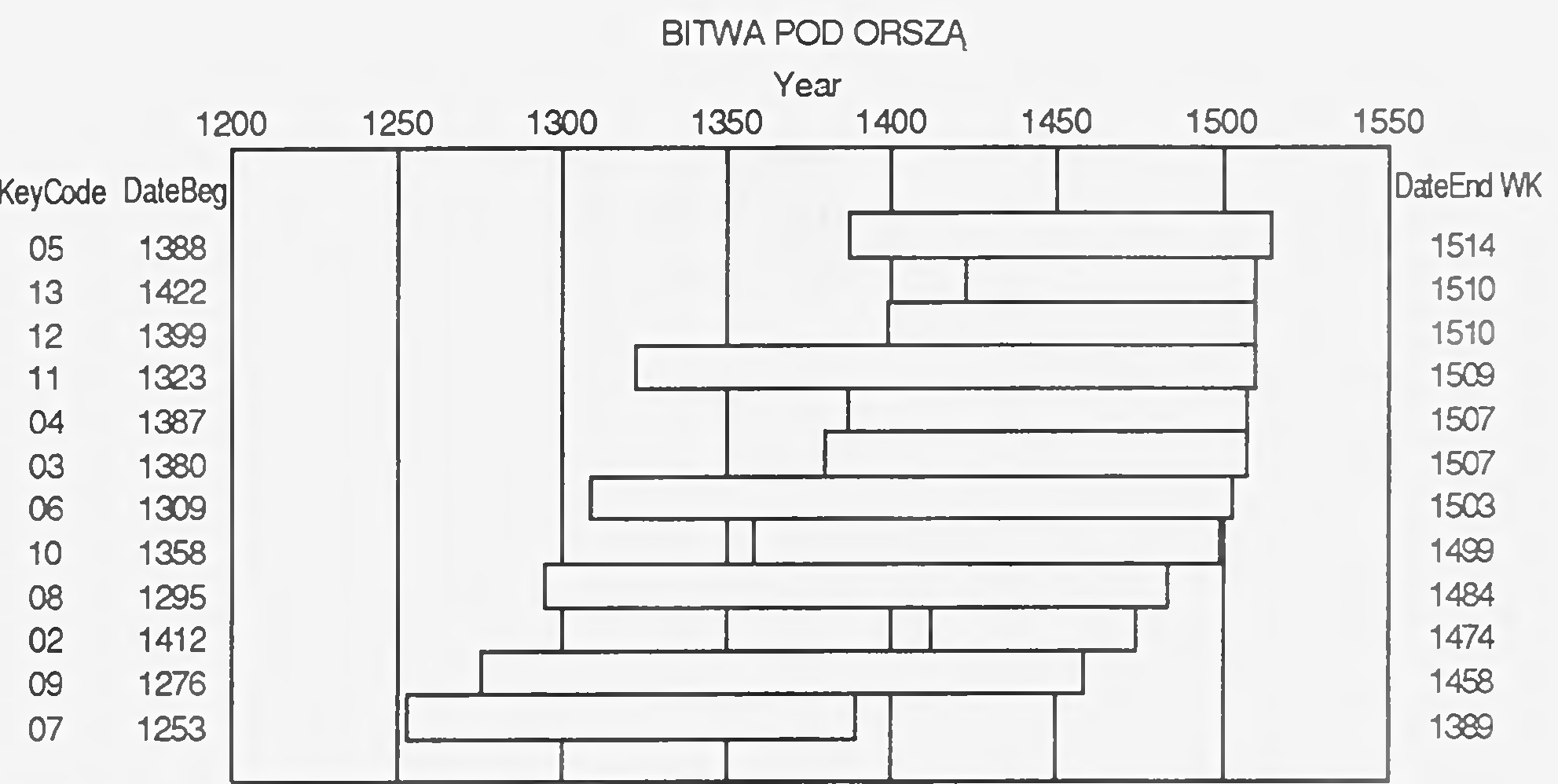


Rys. 34. Fragment obrazu *Bitwa pod Orszą* (fot. T. Żółtowska-Huszcza)

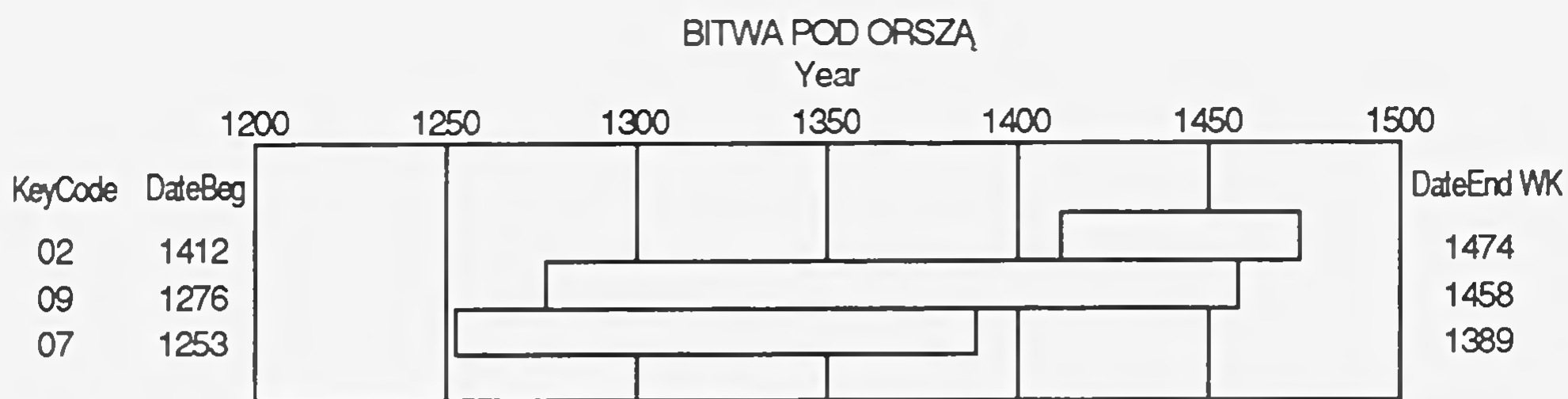
- b) Dürer mógł zobaczyć na cesarskim dworze obraz przywieziony przez Polaków na zjazd wiedeński w 1515 r.,
- c) obaj malarze korzystali z jakiegoś trzeciego, nieznanego nam źródła inspiracji.

Analizie dendrochronologicznej poddano wszystkie deski tworzące podobrazie, 12 spośród nich pozwoliło się wydatować. Wyniki synchronizacji pomierzonych sekwencji przyrostowych z chronologiami standardowymi przedstawione zostały na diagramie na rysunku 35. Ustalono, że drewno pochodziło z terenów Polski. Deski nr 3 i 10 wykonane były z pnia jednego drzewa, natomiast pozostałe pochodzą z różnych drzew. Na żadnej z desek nie zaobserwowano śladów bielu, który został odcięty w całości podczas ich przygotowywania. Najmłodszy zachowany przyrost pochodził z 1514 roku. Wobec braku bielu datę ścięcia drzewa można wyznaczyć na rok 1523..1529....1537 + x, przy czym „x” oznacza nieznaną brakującą liczbę słoików twardzieli. Uwzględniając minimalny okres sezonowania drewna wynoszący w XVI-wiecznym malarstwie 2 lata otrzymujemy **1525 rok** jako najwcześniejszy możliwy rok powstania obrazu, a najbardziej prawdopodobne jest postanie obrazu około lub po 1531 roku. Pięć innych desek o najmłodszych zachowanych słoikach powstałych w latach 1507–1510 potwierdza podane powyżej daty.

Dendrochronologiczne datowanie obrazu definitywnie rozstrzygnęło przedstawiony problem. Przy okazji należy podkreślić jeszcze raz konieczność pomiarów wszystkich dostępnych desek, co nie zawsze było akceptowane przez konserwatorów. Przy ewentualnym wytypowaniu do badań np. desek nr 2, 7 i 9 o najmłodszych zachowanych przyrostach z lat odpowiednio 1474, 1389 i 1458 (rys. 36) ostateczny



**Rys. 35.** Położenie sekwencji przyrostowych wszystkich wydatowanych desek obrazu „Bitwa pod Orszą” w skali czasu

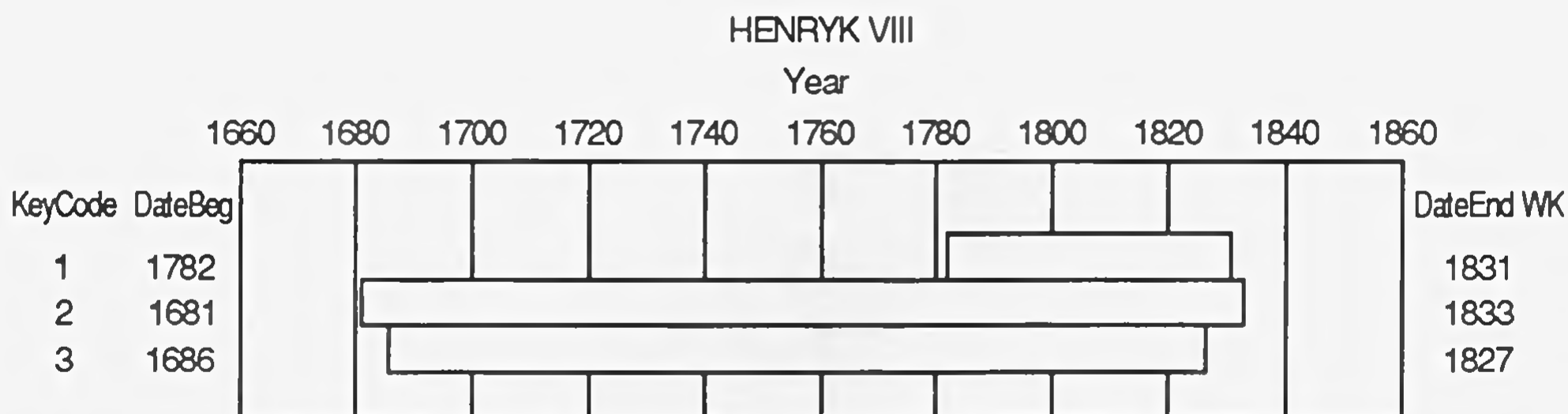


Rys. 36. Datowanie sekwencji przyrostowych wybranych desek obrazu „Bitwa pod Orszą”

wynik datowania byłby przesunięty w przeszłość o 40 lat. Każda deska jest cennym źródłem informacji o obrazie i powinna być uwzględniona.

Dendrochronologia pozwala nie tylko na obiektywne rozstrzyganie problemów z dziedziny historii sztuki, ale i na dokumentowanie ewidentnych fałszerstw dzieł sztuki. Przykładem mogą być badania portretu Henryka VIII sygnowanego przez Hansa Holbeina Młodszeżyjącego w latach (1498–1543), obrazu ze zbiorów Muzeum Narodowego w Warszawie. Podłoże obrazu stanowiła płyta z drewna dębowego wykonana w dość nietypowy sposób. Główną część płyty tworzyły trzy pionowo łączone deski obramowane dwoma pionowymi listwami. Od góry doklejono do nich trzy deseczki zwiększające wysokość płyty. Złącze ukryte było od strony odwrocia pod listwą parkietu. Pomierzone zostały przyrosty roczne trzech głównych desek podobrazia, których datowanie przyniosło zaskakujące rezultaty przedstawione na diagramie na rysunku 37. Ustalono, że wszystkie trzy główne deski zostały wykonane z pnia jednego drzewa, a drewno pochodziło z północno-zachodniej części Niemiec.

Najmłodszy zachowany przyrost roczny powstał w 1834 roku. Wobec braku zewnętrznej warstwy drewna — biału — odciętego w całości podczas przygotowywania podobrazia, datę ścięcia drzewa można umieścić w latach 1847..1853....1859 + x. Obraz powstał prawie 300 lat po śmierci Hansa Holbeina Młodszeży.



Rys. 37. Datowanie sekwencji przyrostowych desek obrazu „Portret Henryka VIII”. Belki oznaczają lata, w których powstały pomierzone przyrosty roczne.





Rys. 38. P.P. Rubens — *Św. Helena*

Inny był rezultat badań dendrochronologicznych obrazu „Św. Helena” (rys. 38, własność prywatna, przekazany w depozyt Muzeum Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie) uchodzącego przez długie lata za kopię wykonaną według Rubensa. Obraz poddany został we Włoszech specjalistycznym ekspertyzom, które stwierdzały autorstwo samego Pietera Paula Rubensa (1577–1640) i określały datę powstania dzieła na „około 1620 roku”. Analiza dendrochronologiczna dostarczyła dodatkowych argumentów przemawiających za autorstwem Rubensa. Badaniom poddano trzy dębowe deski tworzące podłoże obrazu. Udana synchronizacja serii przyrostowych z chronologiami dębu pozwoliła ustalić, że deski wykonano z drzew ściętych około 1619 roku. Drewno pochodziło z lasów dorzecza Wisły lub Niemna, a więc obraz powstał podobnie jak większość dzieł mistrzów malarstwa holenderskiego i flamandzkiego na drewnie dębowym sprowadzanym z portów nadbałtyckich. Uwzględniając transport drewna oraz jego sezonowanie otrzymujemy datę powstania obrazu: „około lub po 1621 roku”. Zwraca uwagę zgodność wyników otrzymanych całkowicie różnymi metodami — analizy stylistycznej i technologicznej warstwy malarskiej oraz analizy struktury anatomicznej podłoża.

## 12: DATOWANIE OPRAW RĘKOPISÓW, INKUNABUŁÓW I STARODRUKÓW

W dawnych rękopisach, inkunabułach i starodrukach drewno występuje w oprawach w postaci okładek obciągniętych najczęściej pergaminem lub skórą. W okresie średniowiecza okładziny wykonywano prawie wyłącznie z drewna, dopiero od XV w. drewno było stopniowo zastępowane przez inne materiały. Jeszcze do XVIII w. ciężkie księgi oprawiano z zastosowaniem drewnianych okładek (Wächter 1983). Podstawowym gatunkiem drewna stosowanym na oprawy był początkowo dąb. Drewno dębowe zastąpione zostało z czasem przez wiąz oraz buk, który stał się najczęściej stosowanym gatunkiem. Potwierdziły to w pełni badania gatunków drewna wykonane przez Lavier i Lamberta (1996), którzy stwierdzili masowe stosowanie drewna bukowego po XV w. Oryginalne dębowe okładziny często wymieniano ponadto podczas prac konserwatorskich na bukowe.

Deski okładek wycinane były w dokładnie w kierunku promieniowym i prawdopodobnie jeszcze prasowane, aby uzyskać idealną płaszczyznę. Grubość wynosiła z reguły od 0,6 do 1,0 cm, oprawy badane przez Lavier i in. (1992) miały okładziny o grubości do 1,3 cm. Oklejano je następnie pergaminem i obciągano skórą. Na drewnie widoczne są często ślady zapinek zamykających rękopis.

Dendrochronologiczna analiza drewnianych okładek możliwa jest praktycznie tylko podczas prac konserwatorskich — dostęp do drewna w stopniu umożliwiającym pomiar przyrostów rocznych można uzyskać po zdjęciu lub przynajmniej po odgięciu skóry pokrywającej deski. Technika pomiarów jest podobna do stosowanej podczas badań drewnianych podobraz w malarstwie. Ze względu na brak warstwy malarskiej absorbującej promienie Rtg można próbować wykonania zdjęć rentgenowskich, uzyskanie wystarczającej rozdzielczości zależy jednak od gatunku drewna i struktury przyrostów rocznych. Okładziny były tylko sporadycznie przedmiotem badań dendrochronologicznych. Autorami jedynej oddzielnej publikacji na ten temat są wspomniani Lavier i in. (1992), którzy podjęli badania rękopisów z biblioteki miejskiej w Autun. Wydatowane przez nich oprawy pochodziły z VIII–XII w., a uzyskane daty dendrochronologiczne w pełni zgadzały się z ewolucją pisma karolińskiego, która też stanowi podstawę do dokładnego datowania.

Pierwsze przebadane w Polsce okładziny należały do rękopisów ze zbiorów Biblioteki Narodowej w Warszawie (tab. 8). Jeden z nich zatytułowany „Apokalis, sermones...” powstał w 1414 r., zawierał 180 kart oprawionych w dębowe deski pokryte skórą (rys. 39), a miejsce powstania było nieznane. Rękopis pisany brązowym atramentem zawiera komentarz do apokalipsy wg Św. Jana oraz kazania i żywoty sławnych mężów. Podczas konserwacji oprawy zostały zrekonstruowane ze względu na zły stan zachowania. Dawne oprawy po oddzieleniu od bloku pozostały w niezmienionym stanie. Analiza dendrochronologiczna miała potwierdzić oryginalność opraw.

Na obydwu deskach okładzinowych o wymiarach 290 x 210 x 6 mm możliwe było pomierzenie odpowiednio 155 i 150 przyrostów rocznych. Nie stwierdzono obecności bielu, który został w całości odcięty podczas przygotowywania desek. Synchronizacja sekwencji przyrostowych z chronologiami standardowymi pozwoliła ustalić, że pomierzone przyrosty roczne powstały w następujących latach:

deska I — 1232–1386 AD

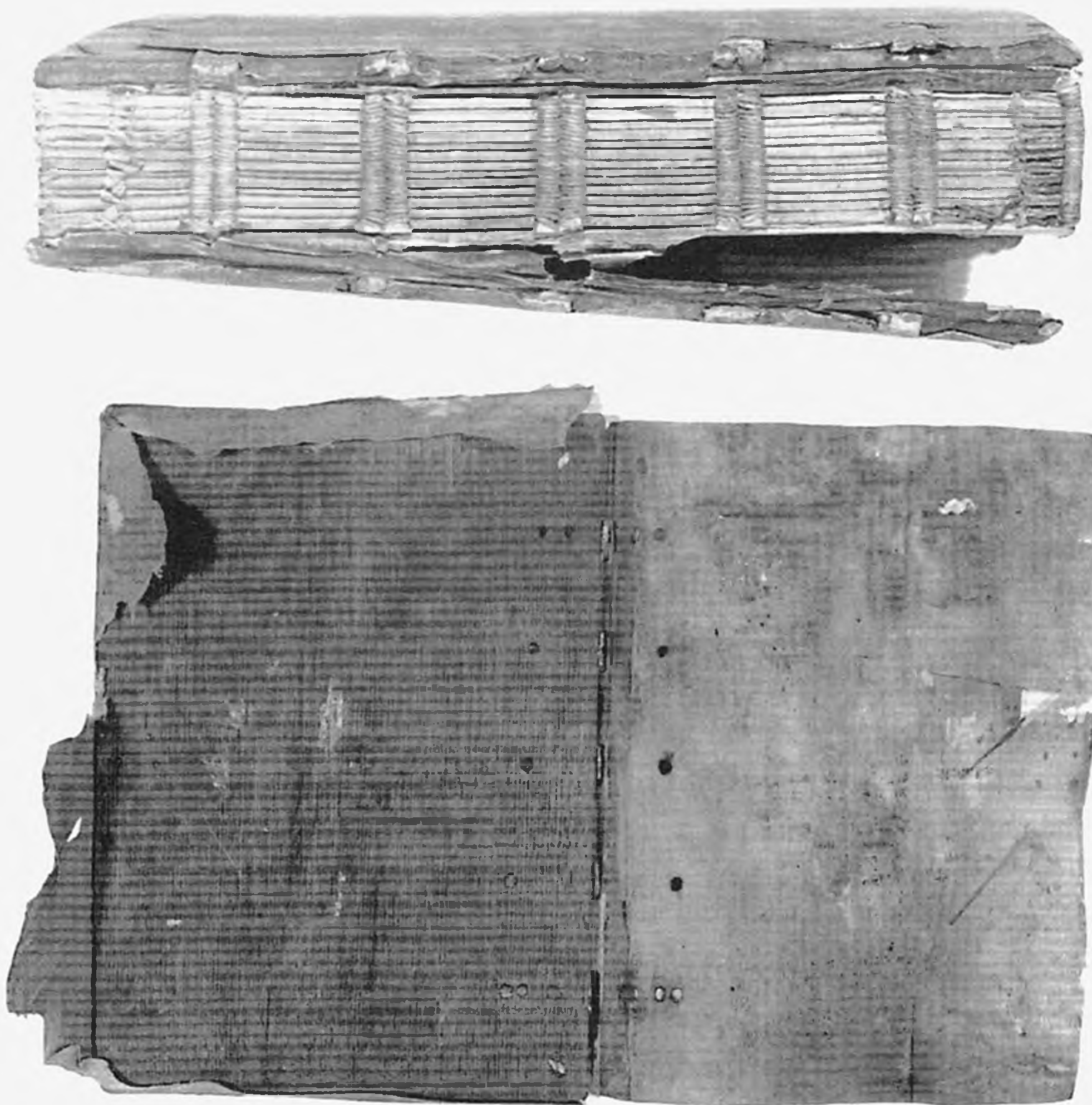
deska II — 1234–1383 AD

Drewno pochodziło najprawdopodobniej z dorzecza Wisły i był to pod względem struktury przyrostów rocznych ten sam typ drewna, co występujące w dziełach sztuki Europy Zachodniej importowane tzw. drewno pochodzenia bałtyckiego. Najmłodszy zachowany przyrost roczny pochodził z 1386 r. Poprzez dodanie brakującej warstwy bielu otrzymujemy następującą datę ścięcia drzewa, z którego wykonano deski: 1395..1401....1409 + x. „X” oznacza nieznaną liczbę brakujących słoików twardzieli. Uwzględniając minimalny okres transportu i sezonowania drewna wynoszący 2 lata otrzymujemy 1397 rok jako najwcześniejszą możliwą datę powstania oprawy. Bardziej prawdopodobny jest jednak 1403 r. jako najwcześniejszy możliwy rok. Znając dokładnie 1414 r. jako datę powstania książki otrzymaliśmy potwierdzenie oryginalności oprawy oraz dodatkową informację,

Tab. 8. Wykaz opraw ręk+opisów wydatowanych przez Laboratorium Dendrochronologii ASP w Warszawie

Tytuł rękopisu	Data powstania	Datowanie dendrochronologiczne (bez sezonowania drewna)
„Apokalis, sermones...”	1414 r.	1395..1401....1409 + x
„Marcin Polak i Christophorus de Barzies”	przed 1456 r.	1443..1449....1457
„Testamentum novum”	VIII/IX w.	1453..1458....1463 + x





Rys. 39. Widok drewnianych okładzin rękopisu *Apokalipsis, sermones...* (fot. R. Stasiuk)

że sezonowanie drewna nie przekraczało 10 lat. Zgadza się to w pełni z wynikami uzyskanymi dla dębowych podobraz z tego samego okresu.

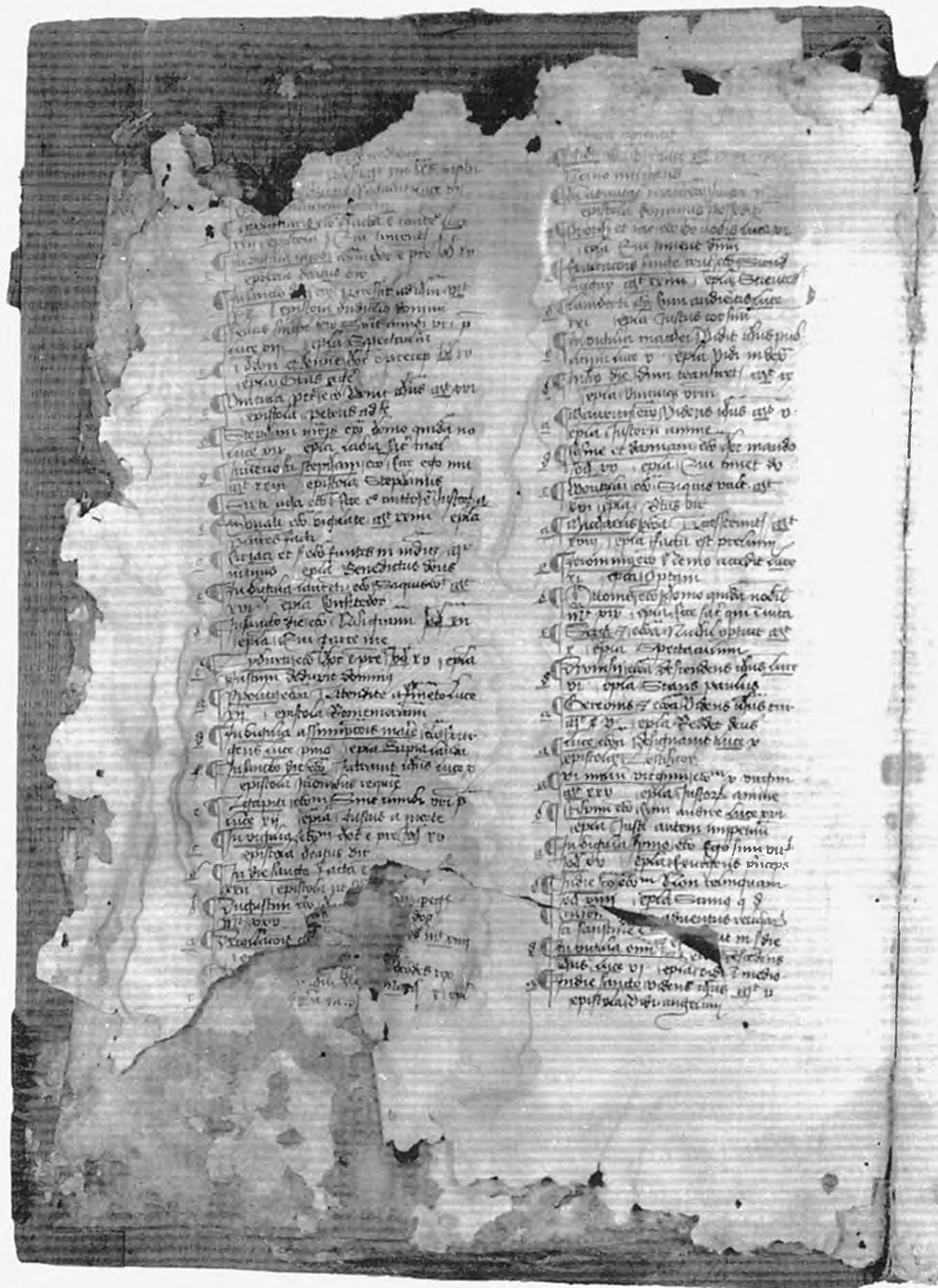
Druga z przebadanych ksiąg pt. „Marcin Polak i Christophorus de Barzies” była rękopisem składającym się z 206 kart papieru czerpanego, oprawionym w dębowe deski obciągnięte skórą (rys. 40). Data powstania wyznaczona została po analizie treści rękopisu na XV w., na okres przed 1456 r. Miejsce powstania był nieznane. Rękopis pisany brązowym i czerwonym atramentem zawiera m.in. kazania Marcina Polaka oraz traktat medyczny Krzysztofa z Brzezia(?). Podobnie jak w przypadku rękopisu „Apokalipsis...” oprawy zrekonstruowano ze względu na zły stan ich zachowania, a oryginalne oprawy po oddzieleniu od bloku zostały zachowane w niezmienionym stanie.



Na obydwu deskach okładzinowych o wymiarach 425 x 300 x 10 mm możliwe było pomierzenie odpowiednio 180 i 182 przyrostów rocznych. Deska nr II miała przy tym 4 zachowane słoje bielu. Synchronizacja sekwencji przyrostowych z chronologiami standardowymi pozwoliła ustalić, że pomierzone przyrosty roczne powstały w latach:

deska I — 1253–1432 AD

deska II — 1257–1438 AD



Rys. 40. Widok drewnianych okładzin rękopisu *Marcin Polak i Christophorus de Barzies* (fot. R. Stasiuk)

Drewno pochodziło najprawdopodobniej z terenów Ziemi Chełmińskiej lub północnego Mazowsza. Najmłodszy zachowany przyrost pochodził z 1438 roku. Poprzez dodanie brakujących przyrostów bielu otrzymujemy następującą datę ścięcia drzewa: 1443..1449....1457 rok. Uwzględniając minimalny okres transportu i sezonowania drewna wynoszący 2 lata otrzymujemy 1445 rok jako najwcześniejszą możliwą datę powstania okładzin, a najbardziej prawdopodobne jest powstanie opraw około 1451 roku. Tym samym otrzymano nie tylko potwierdzenie autentyczności opraw, ale i uściślenie datowania powstania rękopisu na lata 1451–1455.

Kolejny rękopis — Testamentum Novum — jest najstarszym kodeksem w zbiorach polskich. Powstał prawdopodobnie na przełomie VIII i IX wieku w opactwie benedyktynów w Trewirze, a po kasacji klasztoru trafił 1802 r. do Koblencji, skąd przekazany został około 1900 r. do Braniewa (Sobucki i in. 1998). W zbiorach Biblioteki Narodowej w Warszawie znajduje się od 1986 r. W trakcie prac konserwatorskich prowadzonych w 1998 r. odsłonięto dębowe okładziny, które na podstawie wstępnych oględzin okazały się być nieoryginalnymi. Analiza dendrochronologiczna drewna miała wyjaśnić ich wiek i pochodzenie.

Na obydwu deskach pomierzono odpowiednio 158 i 82 przyrosty roczne, przy czym w przypadku drugiej deski dalszy pomiar uniemożliwiała przyklejona do deski skóra. Nie stwierdzono obecności bielu, który został w całości odcięty podczas przygotowywania desek. Na podstawie porównania z europejskimi chronologiami standardowymi dębu ustalono, że deski powstały w latach:

deska I — 1281–1438 AD

deska II — 1357–1437 AD

Obydwie deski wykonano z jednego drzewa ściętego w zachodniej części Niemiec. Najmłodszy zachowany na nich przyrost roczny został wytworzony w 1438 r. Dodając brakującą warstwę bielu otrzymujemy następującą datę ścięcia drzewa, z którego pochodziły deski: 1453..1458....1463 + x. „X” oznacza nieznaną liczbę brakujących słoików twardzieli. Przy uwzględnieniu minimalnego okresu transportu i sezonowania drewna wynoszącego 2 lata otrzymujemy 1455 rok jako najwcześniejszy możliwy rok powstania oprawy.

Podane rezultaty obrazują możliwości zastosowania dendrochronologii podczas badań i konserwacji rękopisów, inkunabułów i starodruków. Możliwości te były dotychczas tylko w znikomym stopniu wykorzystane, o czym świadczy też bardzo niewielka ilość publikacji na ten temat.

## 13: DATOWANIE INSTRUMENTÓW MUZYCZNYCH

Budowa instrumentów muzycznych stawia wyjątkowe wymagania dotyczące jakości drewna i sposobów jego obróbki. Szczególne znaczenie ma drewno rezonansowe stosowane na korpusy rezonansowe instrumentów strunowych takich jak skrzypce, wiole, wiolonczele, gitary oraz na płyty rezonansowe instrumentów klawiszowych (m.in. klawikordów, pianin, fortepianów). Płyta rezonansowa instrumentu muzycznego przenosi i wzmacnia drgania strun. Uzyskany ton i częstotliwość dźwięku zależą w dużym stopniu od usłojenia drewna, duży wpływ ma także udział drewna późnego (Richter 1988). Jako materiał na instrumenty wymagane było wąskosłoiste drewno iglaste o regularnej strukturze przyrostów rocznych. Nieregularne usłojenie wykluczało zastosowanie drewna do tego celu. Badania anatomiczne drewna instrumentów smyczkowych wskazują jednak, że niektórzy włoscy lutnicy nawet tej miary, co Stradivarius czy Guarneri nie zawsze stosowali się do przedstawionych zasad (Klein i in. 1986, Klein 1996).

Podstawowym gatunkiem drewna używanym na płyty rezonansowe instrumentów klawiszowych oraz górne płyty rezonansowe instrumentów strunowych był świerk. Deseczki musiały być wycinane koniecznie promieniowo, co wynika z konieczności zachowania możliwie wysokiego i stałego modułu E (Richter 1988). Znacznie rzadziej było stosowane drewno jodły nadające się bardziej do instrumentów o niższych tonach. Gorszym materiałem na drewno rezonansowe jest drewno sosnowe, które może być stosowane jedynie wtedy, gdy nie są stawiane większe wymagania jakościowe. Spody i boczki korpusów rezonansowych instrumentów smyczkowych wykonywano z drewna jaworowego. Używanie do budowy instrumentów muzycznych wąskosłoistego drewna świerkowego pozwala na zastosowanie dendrochronologii do określania ich wieku i sprawdzania autentyczności. Na możliwości te zwracali uwagę Lottermoser i Meyer (1958), a pierwsze absolutne datowania przedstawili Corona (1980) i Schweingruber (1983). Systematyczne badania dendrochronologiczne instrumentów smyczkowych zostały podjęte w pierwszej połowie lat 80-tych przez Instytut Biologii Drewna Uniwersytetu w Hamburgu (Klein i in. 1984, 1986). Rezultatem tych prac są m.in. chronologie porównawcze dla drewna świerkowego pochodzącego z wyższych stanowisk



w Alpach oraz z kompleksów leśnych niżej położonych terenów Rudaw i Lasu Bawarskiego, a więc z tradycyjnych źródeł surowca do produkcji skrzypiec. Alpejskie chronologie pozwoliły na wydatowanie serii skrzypiec przypisywanych brytyjskim lutnikom (Topham i McCormick 1998) oraz instrumentów muzycznych szkoły kremońskiej (Topham i McCormick 2000).

Badania instrumentów muzycznych muszą być badaniami nieniszczącymi, pomiary szerokości przyrostów rocznych wykonuje się więc bezpośrednio na płycie rezonansowej. Dostępna jest jedynie powierzchnia promieniowa, ale na przekroju promieniowym drewna iglastego granice przyrostów są wyraźnie i ostro zaznaczone. W przypadku gdy warstwa lakieru pokrywającego powierzchnię płyty jest nieprzezroczysta, pomiary wykonuje się na zdjęciach Rtg. Duża różnica gęstości pomiędzy drewnem wczesnym a drewnem późnym zapewnia wystarczającą rozdzielczość obrazu.

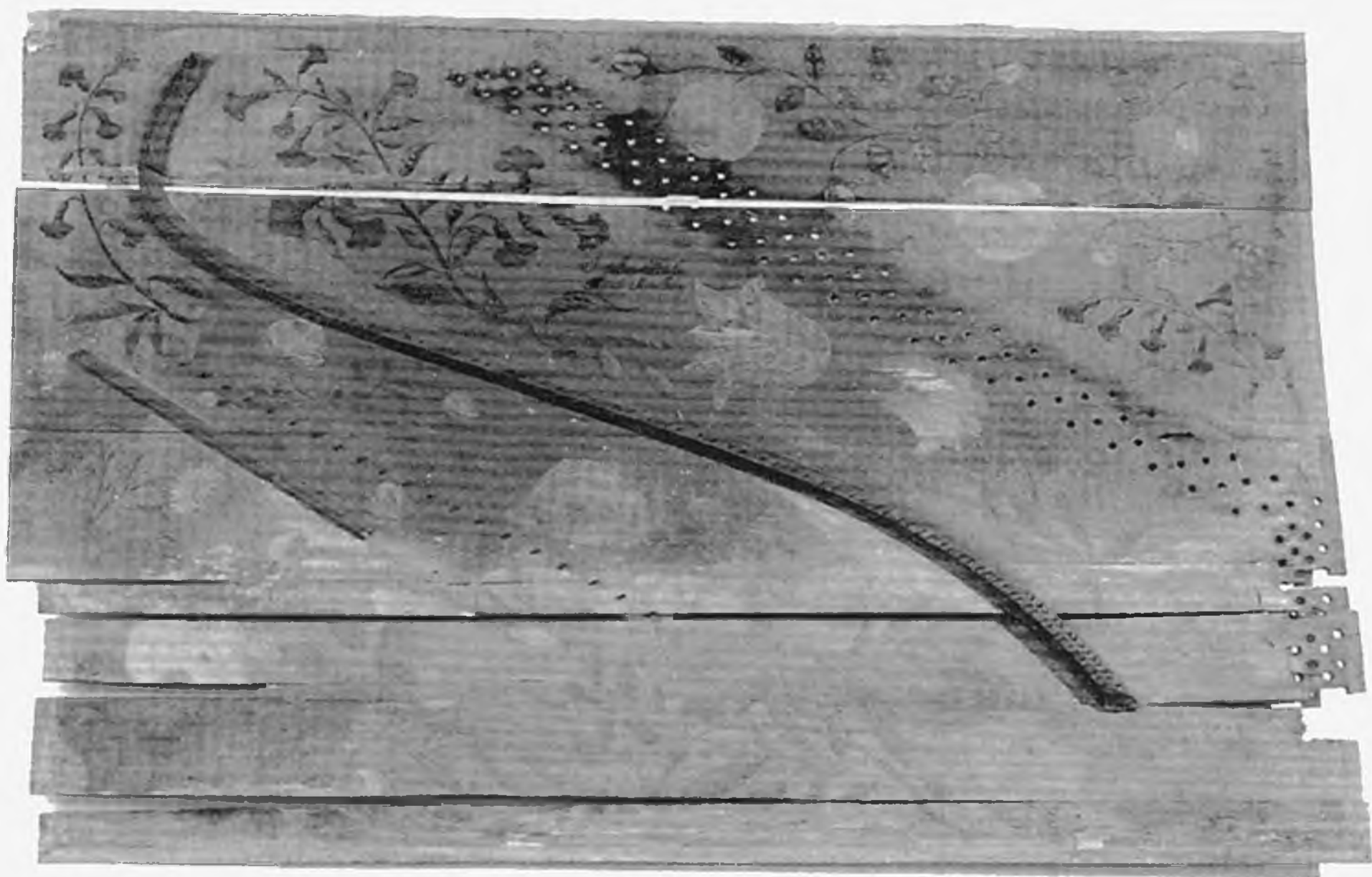
Podobnie jak w badaniach dzieł sztuki, rezultatem analizy dendrochronologicznej płyty rezonansowej instrumentu muzycznego jest data powstania najmłodszego zachowanego słoja. Niewiadomymi wartościami są: liczba brakujących zewnętrznych przyrostów oraz okres sezonowania drewna. Wysokie wymagania jakościowe stawiane materiałom do produkcji instrumentów muzycznych sugerowałyby stosowanie wyłącznie drewna twardzieli. Szerokość strefy bielu w drewnie świerkowym jest jednak bardzo zmienna i czasami przekracza nawet 60 słoików. Datowania dendrochronologiczne licznych instrumentów muzycznych o znanej dacie produkcji dowodzą, że wykorzystywano również drewno bielu (Klein i in. 1986). Guarneri używał do produkcji skrzypiec drewno z prawie całego przekroju poprzecznego pnia drzewa. Wynikający z obliczeń różnicy dat powstania instrumentu oraz najmłodszego zachowanego słoja okres sezonowania drewna był w niektórych przypadkach zredukowany do jednego roku (Klein 1997). Przy założeniu, że podczas dopasowywania płyt odcinano warstwę drewna o grubości od 2 do 3 mm, proces sezonowania materiału mógł trwać od jednego do dwudziestu lat (Klein 1996). Pomiedzy różnymi szkołami budowy instrumentów muzycznych mogą występować jednak pod tym względem pewne różnice.

Instrumenty smyczkowe mają wewnątrz korpusu rezonansowego karteczki rozpoznawcze zawierające informację o twórcy i roku produkcji instrumentu. Dane o autorstwie nie zawsze odpowiadają prawdzie, co można udowodnić na podstawie analizy dendrochronologicznej. Problem ten był przedmiotem badań wykonanych przez autora na skrzypcach zawierających wewnątrz korpusu karteczkę z tekstem: *Nicolaus*



*Amatus fecit in Cremona 16*. Obok karteczki została zamieszczona druga informacja: *Rudolf Schmidt Geigenbauer, Gleiwitz O.-S. Pfarrstraße Nr. 16*. Z powyższych danych wynikałoby, że skrzypce są dziełem Mikołaja Amati (1596–1684), członka słynnego kremońskiego rodu lutników Amati, i były poddane renowacji w warsztacie Rudolfa Schmidta z Gliwic. Stan powierzchni instrumentu i jego rozmiary umożliwiły zastosowanie mikroskopu stereoskopowego do pomiaru szerokości przyrostów rocznych.

Na obydwu częściach górnej płyty korpusu skrzypiec pomierzono po 87 przyrostów rocznych. Synchronizacja sekwencji przyrostowych pozwoliła ustalić, że obydwie części pochodzą z jednego drzewa, z tej samej części pnia i mają identyczny rysunek drewna, a więc powstały poprzez rozłupanie jednej deski. Krzywe przyrostowe porównano następnie z zestawem chronologii standardowych drewna świerkowego oraz z wykresami przyrostowymi wydatowanych instrumentów smyczkowych (materiał porównawczy udostępniony przez dr Kleina z Uniwersytetu w Hamburgu). W wyniku analizy porównawczej ustalono, że badane drewno pochodziło z Lasu Bawarskiego lub z Rudaw, a ścinka drzewa nastąpiła po 1868 roku. Z tego właśnie roku pochodził najmłodszy zachowany przyrost. Uwzględniając brakujące zewnętrzne słoje oraz najkrótszy okres sezonowania drewna otrzymujemy 1873 rok jako najwcześniejszy możliwy rok powstania skrzypiec. Instrument ten należy więc do licznej serii kopii skrzypiec słynnych lutników produkowanych

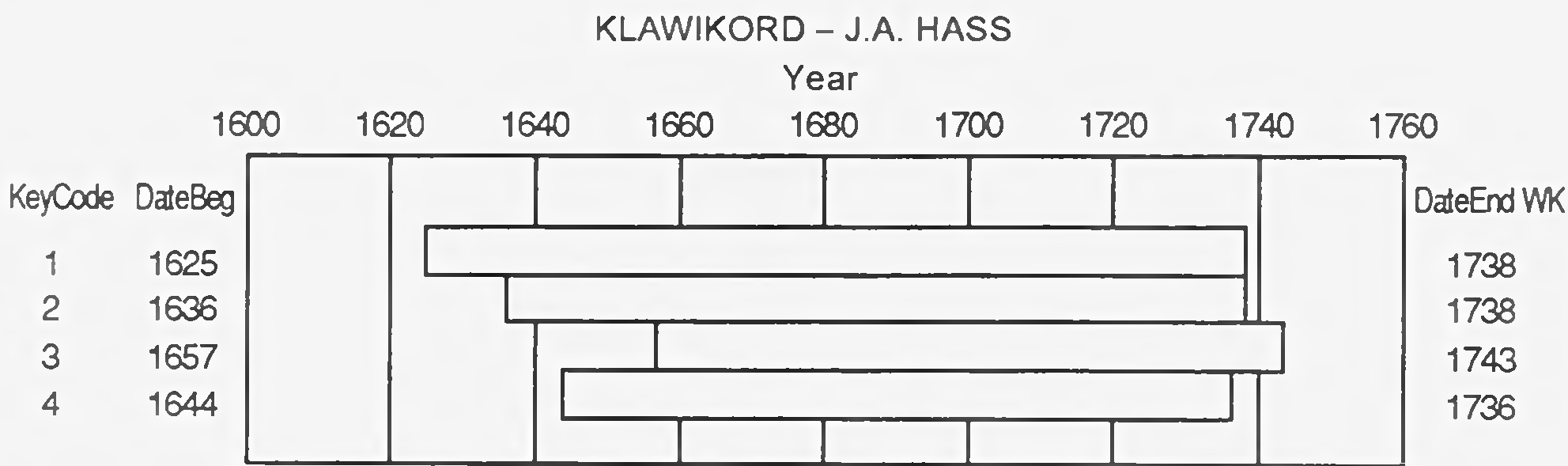


**Rys. 41.** Płyta rezonansowa klawikordu J.A. Hassa z 1754 r. Ze zbiorów Muzeum Narodowego w Poznaniu (fot. W. Grzesik)

w Niemczech w II połowie XIX w. oraz na początku XX w. Analogiczny przykład falsyfikatu skrzypiec Stradivariusa opisał Bednarz (1998).

Potwierdzenie autentyczności było również celem analizy dendrochronologicznej klawikordu pochodzącego ze zbiorów Muzeum Instrumentów Muzycznych w Poznaniu. Jak wynika z opracowania instrumentu wykonanego przez Knast (1998), w trakcie wstępnych prac konserwatorskich klawikordu nieznanego pochodzenia odsłonięto inskrypcję *J.A. Haß Hamb. Anno 1754*. Wskazywała ona na powstanie instrumentu w warsztacie renomowanego producenta instrumentów klawiszowych Johanna Adolfa Hassa z Hamburga. Klawikord był poddany gruntownej renowacji w 1870 r. w warsztacie C.Eggerta w Gdańsku, co dokumentuje wykonany ołówkiem zapis. Zastosowanie dendrochronologii miało pomóc w wyjaśnieniu, czy pokryta ornamentami płyta rezonansowa (rys. 41) pochodziła rzeczywiście z XVIII wieku, czy też była dziełem gdańskiego warsztatu z II połowy XIX wieku.

Płytę rezonansową tworzyły cztery deseczki wycięte dokładnie w kierunku promieniowym i wykonane z wąskosłoistego drewna świerkowego. Pomierzono na nich od 87 do 114 przyrostów rocznych, a wyniki pomiarów pozwoliły na zestawienie średniej sekwencji przyrostowej obejmującej 119 słoików. Dalsza analiza wykonana we współpracy z dr Kleinem z Uniwersytetu w Hamburgu pozwoliła na absolutne datowanie tej średniej na lata 1625–1743 AD, co oznacza, że najmłodszy zachowany przyrost roczny powstał w 1743 roku. Datowanie poszczególnych desek przedstawione zostało na rysunku 42. Przy okazji ustalono także pochodzenie drewna — płyta rezonansowa wykonana została z drewna alpejskich świerków. Uwzględnienie minimalnego, jednorocznego okresu sezonowania drewna daje 1744 rok jako najwcześniejszą możliwą datę powstania instrumentu. Wraz z wynikami innych badań potwierdza to autorstwo klawikordu, który należy do oryginalnych dzieł Johanna Adolfa Hassa.



Rys. 42. Datowanie sekwencji przyrostowych desek płyty rezonansowej klawikordu J.A. Hassa. Belki oznaczają lata, w których powstały zachowane przyrosty roczne

# 14: DATOWANIE ZABYTKOWYCH MEBLI

Możliwości dendrochronologii są stosunkowo rzadko wykorzystywane w badaniach zabytkowych mebli. Nieliczne publikowane rezultaty można znaleźć m.in. w artykułach Fletchera (1978), Ecksteina i in. (1979), Lavier i Lamberta (1996). Wobec istnienia licznych innych kryteriów identyfikacyjnych mebli, takich jak analiza wyglądu zewnętrznego, wymiarów oraz cech konstrukcji mebli, były one uznawane zwykle za wystarczające do określania wieku i pochodzenia drewna. Metoda dendrochronologiczna została oceniona jako metoda perspektywiczna, ale o ograniczonych możliwościach ze względu na konieczność demontażu mebli w celu umożliwienia pomiarów (Swaczyna 1992).

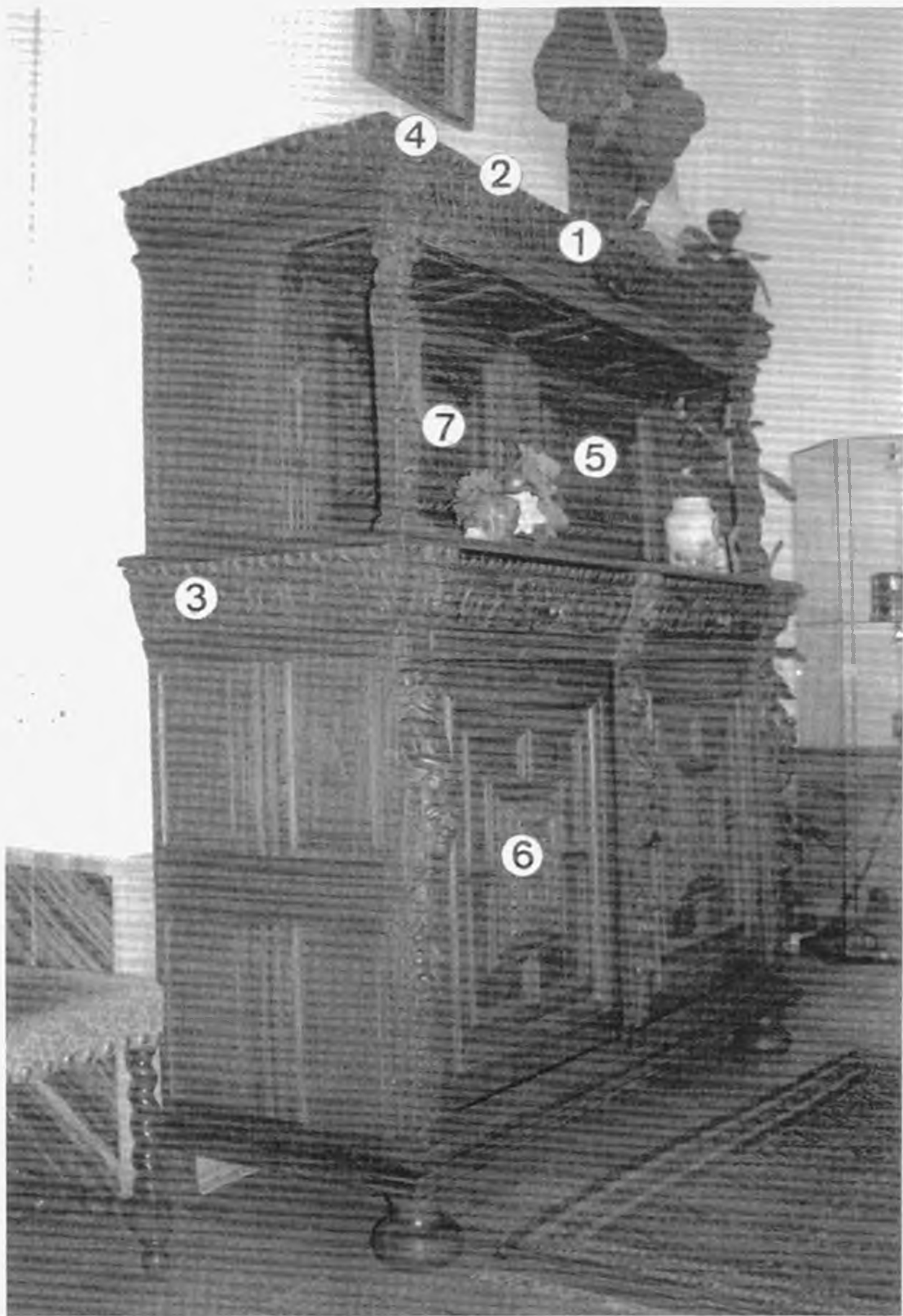
Już dzisiaj jednak w przypadkach spornych dendrochronologia pozwala dzięki obiektywizmowi analizy przyrostów rocznych drewna na dokładne datowanie mebli rozstrzygające problem. Jednym ze wspomnianych „spornych przypadków” był zabytkowy dębowy kredens, którego powstanie zostało ocenione przez rzeczoznawców jednego z domów aukcyjnych na XIX wiek, z czym całkowicie nie zgadzał się właściciel uważając mebel za znacznie starszy. Dokładne oględziny kredensu pozwoliły na wybranie miejsc do pomiaru szerokości przyrostów rocznych drewna. Pomiary zostały wykonane za pomocą specjalistycznej lupy na dostępnych w kilku miejscach płaszczyznach z przekrojem poprzecznym drewna oraz na płaszczyznach promieniowych drzwi mebla. W drewnie dębowym pomiar przyrostów rocznych na przekroju promieniowym jest możliwy, ale bardzo pracochłonny i ze względu na brak wyraźnej granicy słoików zachodzi prawdopodobieństwo wystąpienia błędów pomiarowych. Idealny stan zachowania powierzchni drewna umożliwił bezpośrednie pomiary na obiekcie bez konieczności oczyszczania ścieżki pomiarowej, a więc badania były całkowicie nieniszczące.

Analizie poddano łącznie siedem elementów kredensu, których położenie i oznaczenia przedstawiono na rysunku 43. Należały do nich: górna część nadstawki (nr 1, 2 i 4), boczna listwa dekoracyjna (nr 3), prawe drzwi nadstawki (nr 5), środkowa płyцина lewych drzwi komody (nr 6) oraz lewe drzwi nadstawki (nr 7). Porównanie uzyskanych serii przyrostowych z europejskimi chronologiami standardowymi



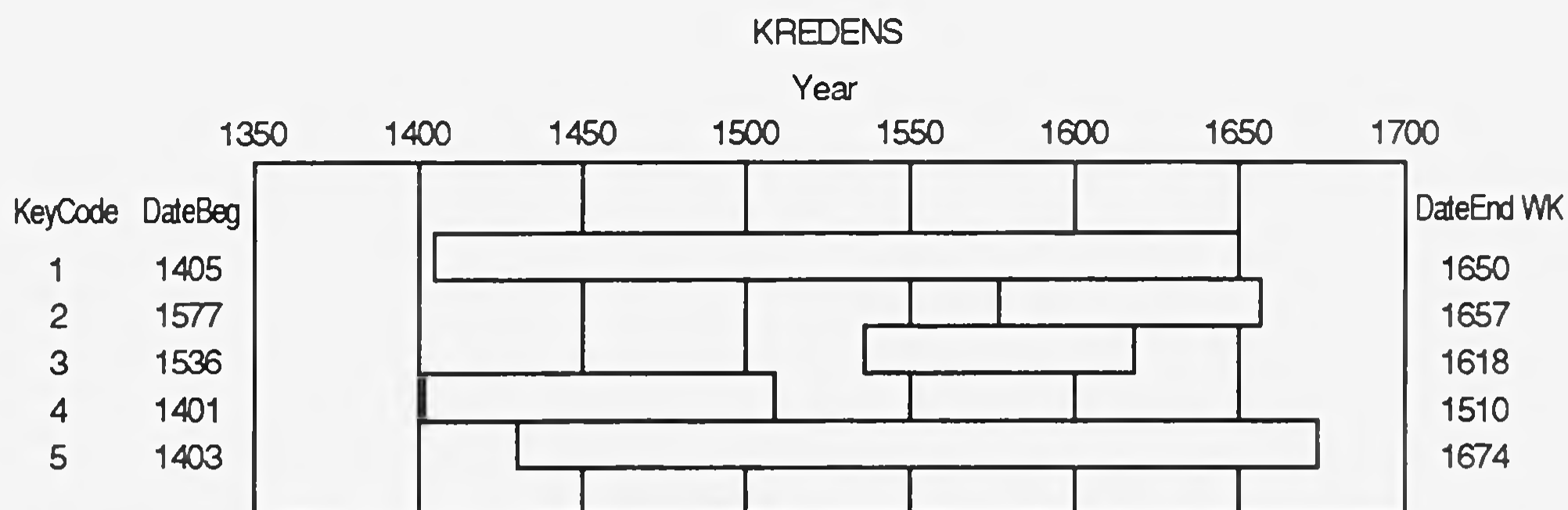
dębu przyniosło datowanie pięciu z siedmiu analizowanych fragmentów mebla. Wyniki przedstawione zostały w postaci diagramu na rysunku 44.

Drewno pochodziło z południowej części Niemiec. Najmłodszy zarejestrowany przyrost roczny powstał w 1674 roku. Wobec braku warstwy bielu oraz nieznanej liczby słoików twardzieli możliwe było tylko ustalenie najmłodszego roku powstania kredensu. Uwzględniając minimalny okres sezonowania drewna wynoszący 2 lata i dodając brakującą warstwę bielu (minimum 15 słoików) otrzymujemy rok 1691.



**Rys. 43.** Kredens z XVII/XVIII w. z zaznaczeniem położenia badanych elementów (fot. A. Helman)





Rys. 44. Położenie sekwencji przyrostowych kredensu w skali czasu

Liczba zarejestrowanych przyrostów rocznych wskazuje, że użyte było drewno z ponad 300-letnich dębów. Pozwala to przypuszczać, że liczba słoików bielu była bliższa maksimum wynoszącego dla drzew z tej części Europy 25 przyrostów. Z drugiej strony odcinając podczas przygotowywania desek warstwę bielu usunięto zapewne najwyżej kilka słoików twardzieli. Wynika z tego przełom XVII i XVIII wieku jako najbardziej prawdopodobna data powstania kredensu. Położenie przebadanych fragmentów mebla oraz wyniki ich datowania praktycznie wykluczyły celowe zastosowanie starego drewna do montażu kredensu.

## 15: PODSUMOWANIE

Przedstawione opracowanie stanowi podsumowanie wyników i doświadczeń osiemnastu lat pracy autora nad dendrochronologią oraz jej zastosowaniami. Pierwsze kroki stawiane w dendrochronologii pod koniec 1980 roku pod kierunkiem prof. dr Dietera Ecksteina z Instytutu Biologii Drewna Uniwersytetu w Hamburgu na materiale badawczym ze średniowiecznej zabudowy Lubeki oraz romańskiego kościoła w Borgholzhausen pozwoliły poznać możliwości tej dziedziny i jej ogromny potencjał wykorzystywany w Polsce tylko w znikomym stopniu. Postawienie wówczas jako nadrzędnego celu opracowania podstaw dendrochronologii do datowania drewna w naszym kraju doprowadziło m.in. do powstania pierwszej tysiącletniej chronologii dębu dla Pomorza Wschodniego oraz przyniosło datowania licznych obiektów zabytkowych i drewna archeologicznego (Ważny 1990).

Stworzenie podstaw stanowiło punkt wyjściowy do pracy nad pełnym wykorzystaniem dendrochronologii w datowaniu ocalałego dziedzictwa kulturowego Polski, a przede wszystkim jako metody dostarczającej informacji wypełniających luki w wiedzy o historii i prehistorii naszej części Europy. Będące przedmiotem analizy przyrosty roczne są przecież utrwalonym w drewnie biologicznym zapisem archiwalnym przeszłości, natomiast dendrochronolodzy stali się wg Baillie (1995) „pierwszymi ludźmi, którzy są w stanie obserwować różne aspekty przeszłości z roczną dokładnością”. Założeniem dalszych badań było więc umożliwienie odczytywania przeszłości poprzez opracowanie zestawu chronologii porównawczych umożliwiających datowanie drewna różnych gatunków, opracowanie metodyki badań dendrochronologicznych różnych rodzajów obiektów zabytkowych oraz drewna o różnym stanie zachowania, a ponadto praktyczne zastosowanie opracowanych podstaw. Zaprezentowane wyniki ilustrują, w jakim stopniu zostały zrealizowane przyjęte założenia.

Prace nad siecią chronologii porównawczych pozwoliły zestawić ponad 60 wzorców do datowania drewna obejmujących różne okresy historyczne. Osiągnięcie wystarczającej gęstości sieci chronologii jest jednak zadaniem na następnych kilkadziesiąt lat wobec jego ogromnej pracochłonności. Chronologie pozwoliły na

Tab. 9. Wykaz obiektów zabytkowych poddanych badaniom dendrochronologicznym

Rodzaj obiektów	Ilość wydatowanych obiektów	Okres
zabytki architektury	22	XIV–XIX w.
dzieła sztuki	55	XIV–XIX w.
drewno archeologiczne	ponad 40	VIII w. p.n.e. –XVIII w. n.e.
zabytki sztuknictwa	około 40	IV–XVI w.
oprawy książek	3	XIV–XV w.
instrumenty muzyczne	2	XVIII–XIX w.
meble	1	XVII/XVIII w.

określenie wieku licznych próbek z wielu obiektów zabytkowych — od zabytków architektury, sztuknictwa oraz drewno archeologiczne po dzieła sztuki, oprawy starych rękopisów i instrumenty muzyczne. Wykaz wydatowanych obiektów przedstawiono w tabeli 9. Rezultaty analiz są zestawiane i konfrontowane z danymi źródłowymi oraz materiałami archiwalnymi. Uzupełniają one i niejednokrotnie korygują zachowane przekazy historyczne. W przypadku zabytków ruchomych możliwe staje się rozpoznanie kopii dzieł znanych mistrzów, czego przykłady zostały opisane. Zwracają uwagę pierwsze udane datowania instrumentów muzycznych oraz opraw rękopisów, co wykonują tylko nieliczne laboratoria.

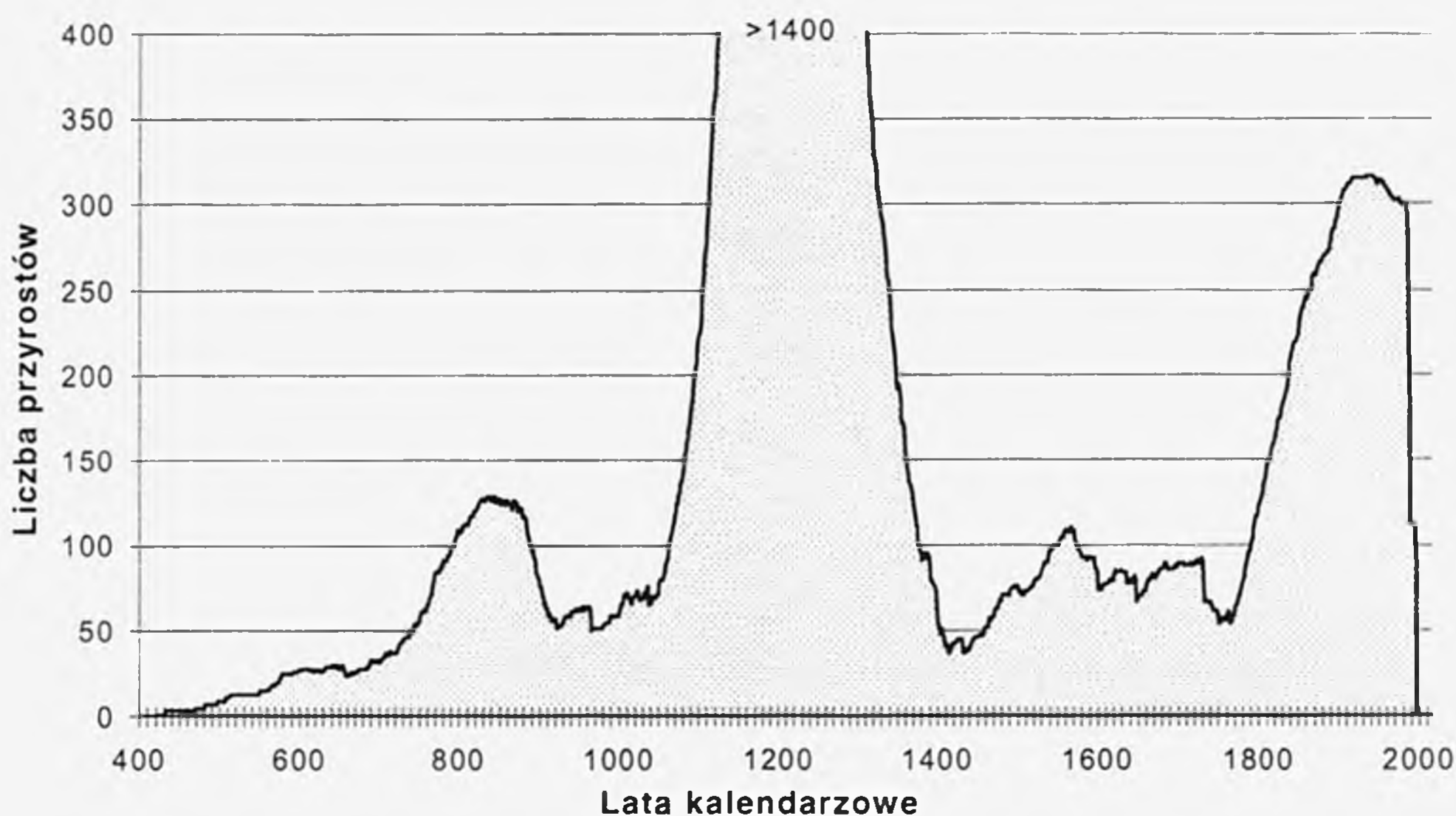
Uzyskane wyniki zostały przedstawione wraz z ich interpretacją, ponadto w oddzielnym rozdziale omówiono problem dokładności datowania. Ten właśnie punkt jest przyczyną najczęstszych nieporozumień w relacjach dendrochronolog-historyk sztuki, architekt czy archeolog. Osobne przedstawienie metodyki badań poszczególnych rodzajów obiektów zabytkowych wraz z rezultatami powinno wyjaśnić aktualne możliwości dendrochronologii oraz jej ograniczenia.

Wraz z pojawianiem się nowych chronologii rosną możliwości dendrochronologii jako metody określania pochodzenia drewna. To nowe zastosowanie dendrochronologii ma duże znaczenie praktycznie w każdej dziedzinie związanej z ochroną zabytków, a szczególnego znaczenia nabiera właśnie w Polsce, która była przez kilkaset lat głównym źródłem surowca drzewnego dla zachodniej Europy. Zastosowanie polskich wzorców do datowania drewna dębu przekracza dzięki temu granice naszego kraju — służą one do określania wieku drewnianych konstrukcji w Anglii i Szkocji, zamków we Francji, wraków statków w Danii i Holandii czy też

obrazów mistrzów flamandzkich i holenderskich w muzeach całego świata. „Dendroproweniencja” stała się nową gałęzią dendrochronologii, a jej powstanie jest rezultatem ścisłych kontaktów i współpracy laboratoriów w Kopenhadze, Lund, Warszawie, Getyndze, Kolonii, Hamburgu, Belfaście i Sheffield (Bonde 1997).

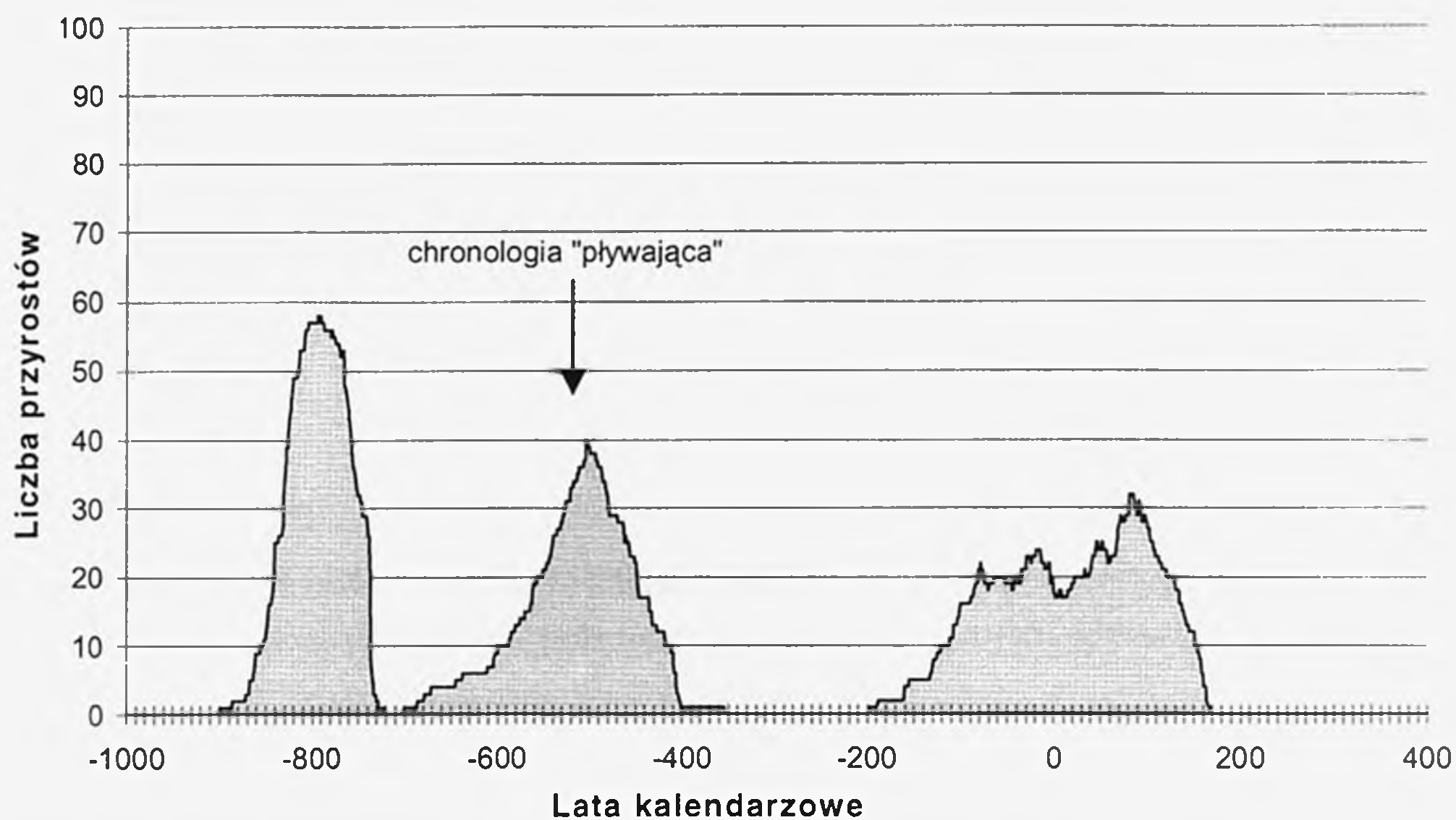
Prace nad rozszerzeniem możliwości dendrochronologii są kontynuowane, dotyczy to zwłaszcza dendrochronologii sosny. Większość rezultatów uzyskanych dla drewna tego gatunku dotyczy materiału z XIV i XV wieku, a ponadto z XVIII i XIX wieku. Otrzymano natomiast tylko pojedyncze datowania drewna z XVI–XVII wieku, czego główną przyczyną wydają się być czynniki klimatyczne związane z „małą epoką lodową”. Na podobne trudności napotkał w Polsce Zielski (1997), na co wskazuje słaby stopień pokrycia chronologii „POLSKANE” we wspomnianym okresie. Ze względu na ograniczony zasięg terytorialny, istniejące chronologie sosny obejmują tylko północną część Polski.

Okres objęty badaniami dendrochronologicznymi drewna dębu obejmował ostatnie 3000 lat. W opracowanych dotychczas chronologiach zaznaczył się brak ich ciągłości w okresie pomiędzy V i III wiekiem n.e. oraz pomiędzy III i VIII w. p.n.e. We współpracy z innymi laboratoriami trwają prace nad wypełnieniem luk. Pomimo ich istnienia datowanie drewna w tych okresach jest możliwe przy zastosowaniu chronologii niemieckich i duńskich, które sięgają do okresu prehistorycznego. Rozkład wydatowanych przyrostów rocznych w skali czasu przedstawiają diagramy na rysunkach 45 i 46.



Rys. 45. Rozkład wydatowanych przyrostów rocznych w skali czasu (lata 400–1998 AD)





Rys. 46. Rozkład wydatowanych przyrostów rocznych w skali czasu (lata 1000 BC–400 AD)

Okresem najlepiej opracowanym jest XIII i XIV wiek. Wiąże się to z jednej strony z dużą aktywnością budowlaną w tym okresie i powstawaniem licznych nowych miast, a z drugiej strony z intensywnymi badaniami archeologicznymi prowadzonymi w miastach, przynoszącymi dużą ilość materiału badawczego ze średnio-wieczna. W późniejszym okresie spadło zastosowanie drewna dębowego, które stało się obok zboża głównym towarem eksportowym. Znacząco wzrósł ponadto udział architektury murowanej. Zwraca uwagę brak w materiale badawczym z Polski śladów „czarnej śmierci” — epidemii, która w latach 1348–50 wyludniła Europę i spowodowała gwałtowny spadek aktywności budowlanej. W odróżnieniu od miast zachodnioeuropejskich w Polsce po 1350 r. w dalszym ciągu eksploatowano lasy dla celów budowlanych, co zaznaczyło się w niezmiennym udziale starych drzew w wydatowanym materiale. Drugim trudnym okresem w dendrochronologii dębu w Polsce jest XVIII w. Przyczyną było rzadkie stosowanie drewna dębowego, a w związku z tym bardzo skąpy materiał zabytkowy z II połowy XVIII w. oraz fakt, że dopiero wtedy zaczęły rosnać drzewa, z których pochodziły współcześnie pobierane próbki.

Okres I tysiąclecia p.n.e. powinien być w krótkim terminie wypełniony. Wspólnie z Instytutem Botaniki Uniwersytetu w Hohenheim trwają prace nad zakotwiczeniem „pływającej” chronologii dębu z połowy tego tysiąclecia. Niedostatecznie wykorzystany pozostaje ogromny rezerwuar materiału badawczego dla okresu halsztackiego w Biskupinie. Otrzymane dla drewna biskupińskiego datowania

pozwoili wprawdzie precyzyjnie ustalić, kiedy osada powstała i poznać fragment jej historii dokonując przy tym poważnej korekty dziejów okresu halsztackiego, ale w przyrostach rocznych drewna biskupińskiego zarejestrowane zostały również wyraźne sygnały zachodzących gwałtownych zmian klimatycznych. Wydarzenia historyczne oraz prehistoryczne coraz częściej są korelowane się z zapisanymi w słojach zjawiskami klimatycznymi (m.in. Baillie 1995). Wydatowany materiał badawczy pochodzący z obiektów zabytkowych zyskuje tym samym nowe znaczenie i zastosowanie.

Dendrochronolodzy dysponują najdokładniejszą obecnie metodą badania przeszłości. Jej zasięg w czasie obejmuje prawie cały okres holocenu (Spurk i in. 1998), zasięg terytorialny ograniczony jest tylko występowaniem drewna i obejmuje także rejony arktyczne (Eggertson 1994) oraz wysokogórskie (Schmidt, Ważny i in. 1998). Dendrochronologia stanowi obecnie poważny instrument badawczy dla historii i konserwacji dzieł sztuki, historii kultury materialnej, archeologii klasycznej i podwodnej oraz historii architektury. Na podstawie opisanych badań licznych obiektów zabytkowych, które przeprowadzone zostały w Laboratorium Dendrochronologii Wydziału Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki, przydatność metod dendrochronologicznych w określaniu wieku, uwiarygadnianiu lub kwestionowaniu autentyczności oraz autorstwa znalazła pełne potwierdzenie. Do przedstawicieli innych dziedzin, a zwłaszcza nauk historycznych należy teraz wykorzystanie postawionych im do dyspozycji nowych możliwości.

## SUMMARY

This publication presents a summary of the results and experiences of eighteen years' work in the field of dendrochronology. The author's first involvement in this science came in late 1980 whilst working on material from the medieval architecture of Lübeck and the Romanesque church in Borgholzhausen, under the supervision of Professor Dr Dieter Eckstein of the Institute of Wood Biology at the University of Hamburg. This research provided a good appreciation of the scope of dendrochronological analysis and its significant potential, making the author aware of how this potential was being overlooked in Poland. Subsequently, he made it his main aim to produce a detailed study on the principles of tree-ring dating in Poland. This resulted in the establishment of the first long-term chronology for oak from Eastern Pomerania, covering the last one thousand years, and in the dating of numerous historical monuments, works of art and timbers recovered from archaeological sites (Ważny 1990).

This fundamental research formed the basis for further work aimed at exploiting the full potential of dendrochronology in dating Poland's surviving cultural heritage and, moreover, in providing information to supplement existing knowledge about the history and prehistory of this part of Europe. Annual growth rings are, after all, a biological archive of the past recorded in timber, and dendrochronologists have become "the first people to be able to view aspects of the ancient past at annual resolution" (Baillie 1995). In order to decipher this encoded information further research was required. This was aimed at establishing a series of reference chronologies which would facilitate the dating of various species of timber, devising a methodology for dendrochronological analysis of different types of historical objects and timber in different states of preservation, as well as putting the principles of tree-ring analysis to practical use. The results presented here demonstrate to what extent these research aims have been achieved.

Work on constructing reference chronologies led to the compilation of over 60 reference sequences for dating timber, covering a broad range of historic periods. Achieving an adequate density for the chronological network will, however, take

**Table 1.** List of historic structures and artefacts subjected to dendrochronological analysis

Artefact type	No. of items dated	Period
architecture	22	14th–19th C.
work of art	55	14th–19th C.
archaeological timber	over 40	8th C. BC–18th C. AD
boat	<i>circa</i> 40	4th–16th C.
book cover	3	14th–15th C.
musical instrument	2	18th–19th C.
furniture	1	17th/18th C.

many more years, due to the labour-intensive nature of this work. The chronologies created have allowed numerous samples from a wide variety of historical objects and structures to be dated — from historic buildings, shipwrecks and archaeological timbers to works of art, manuscript bindings and musical instruments. A list of items dated is presented in Tab. 9. A compilation of analysis results has been put together and compared with source data and archival materials. These results supplement and often lead to the amendment of extant historic records. Tree-ring dating has made it possible to identify copies of works by famous masters, and examples of this are cited in the text. The first successful attempts at dating musical instruments and manuscript bindings are particularly noteworthy, as there are very few laboratories which undertake dating of this type.

Analysis results are presented with their interpretation, whilst the problem of dating accuracy is discussed in a separate chapter. This subject is the most common cause of misunderstandings between the dendrochronologist and the art historian, architect or archaeologist. A further chapter presenting the methods used for analysing different types of historical objects and the results achieved helps to illustrate the current scope and limitations of dendrochronology.

The creation of new chronologies increases dendrochronology’s potential as a means of identifying timber provenance. This new application of tree-ring analysis is of major significance to practically every discipline relating to the protection of historic sites, monuments and finds, particularly in Poland, which was western Europe’s main timber source for several hundred years. Therefore, master chronologies constructed in Poland for oak can also be used in many other coun-



tries — for dating timber buildings in England and Scotland, castles in France, shipwrecks in Denmark and Holland or paintings of the Flemish and Dutch masters housed in museums around the world. ‘Dendroprovenance’ has emerged as a new branch of dendrochronology, developed thanks to the close co-operation between laboratories in Copenhagen, Lund, Warsaw, Gottingen, Cologne, Hamburg, Belfast and Sheffield (Bonde 1997).

Work on extending the scope of dendrochronology is still ongoing, with particular reference to establishing a master series for pine. Most of the results obtained from the analysis of this species of timber come from 14th-, 15th-, 18th- and 19th-century materials. In contrast, very few dates have been extrapolated from samples of 16th- and 17-th century timbers. The main reason for this probably lies in the climatic disturbances associated with the ‘Little Ice Age’. Zielski (1997) has encountered similar difficulties in Poland, as is evidenced by the limited sample depth in the section of the ‘POLSKANE’ chronology for this period. The restricted geographical extent of pine chronologies in Poland means they cover only the north of the country.

Dendrochronological analysis of oak in Poland covers the last 3000 years. There are notable gaps in chronologies established so far for the periods between the 5th and 3rd centuries AD and between the 3rd and 8th centuries BC. Several

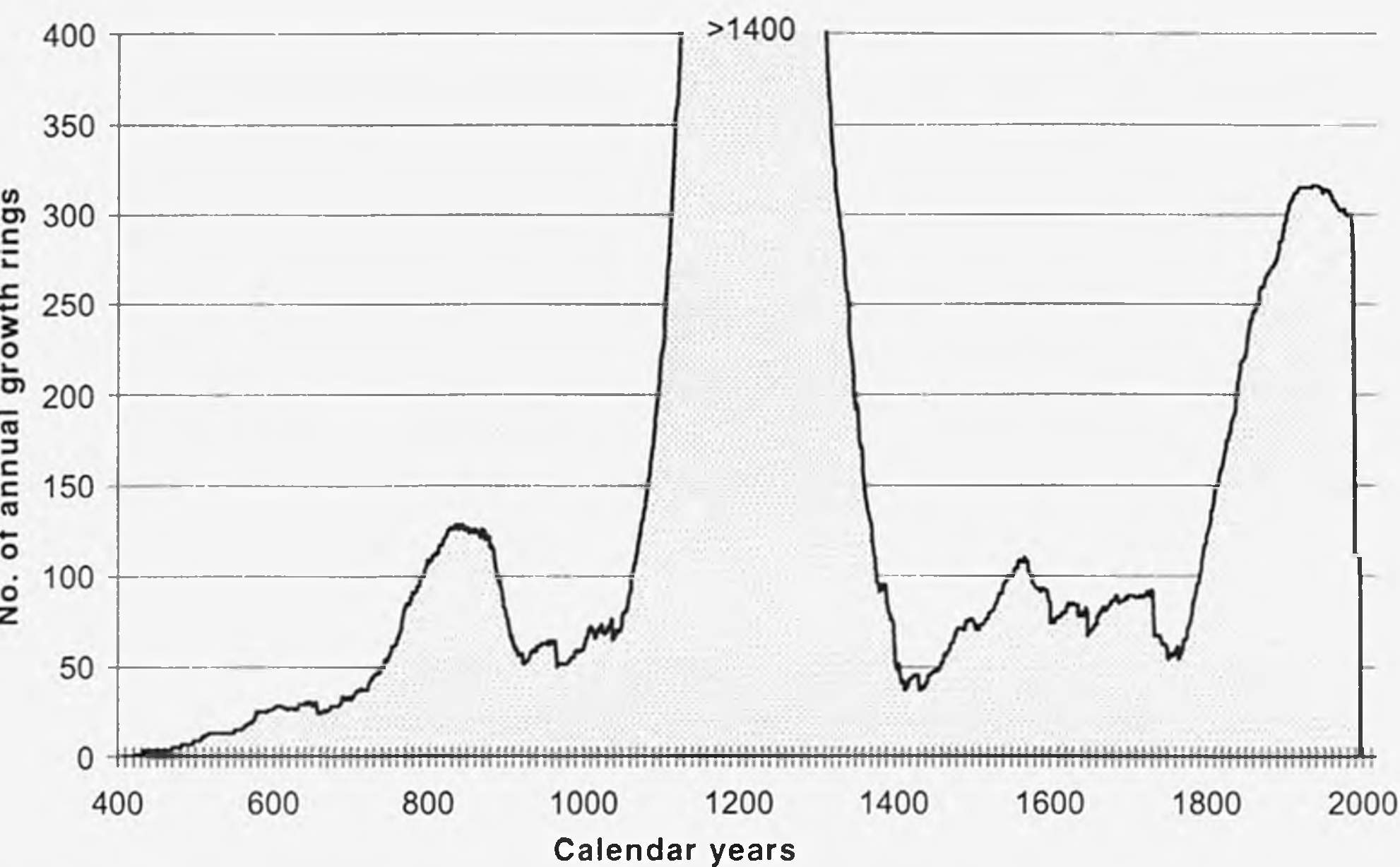


Fig. 45. Distribution of annual growth rings plotted against time (AD 400–1998)

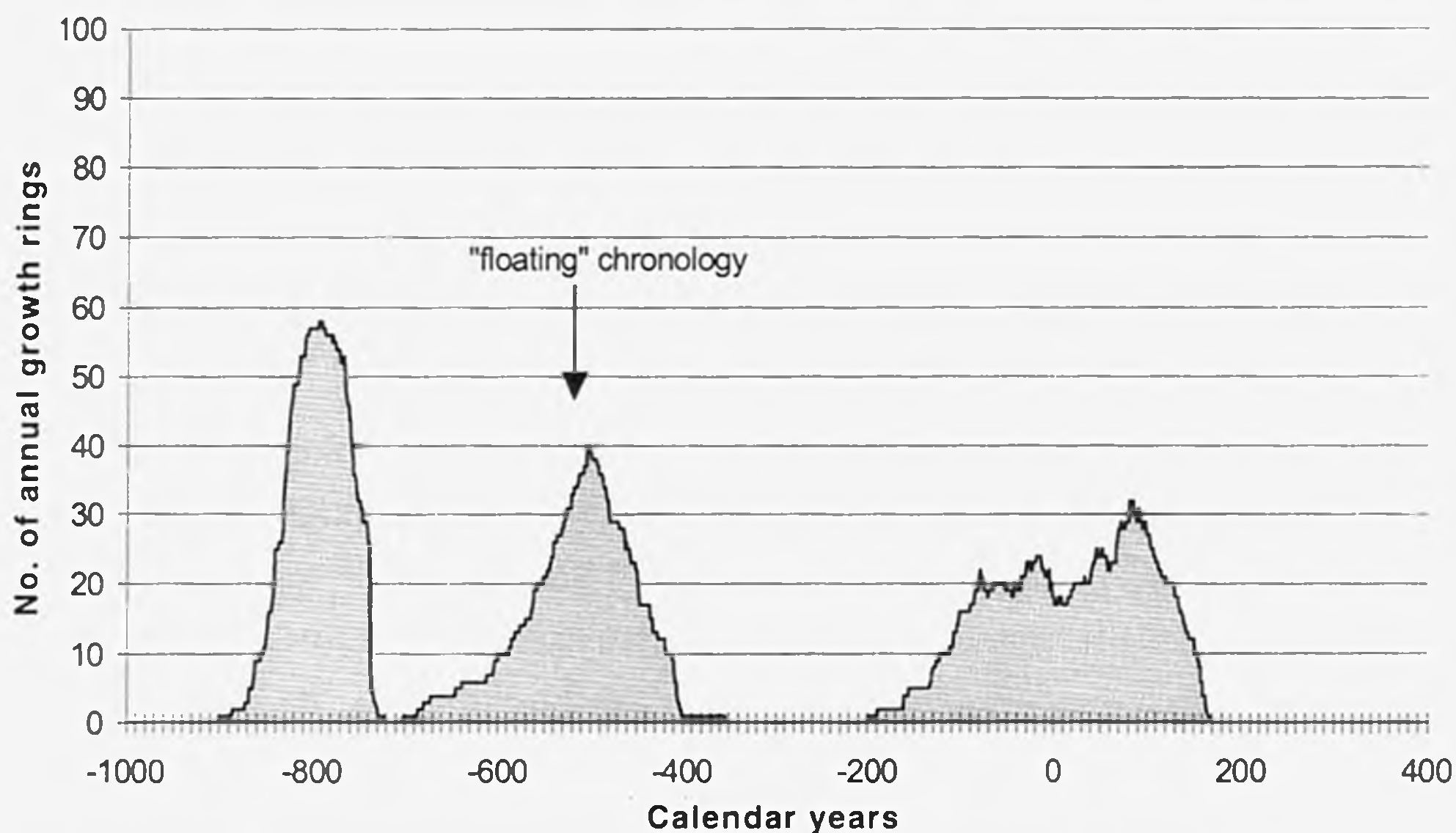


Fig. 46. Distribution of annual growth rings plotted against time (1000 BC – AD 400)

laboratories are working together to remedy this situation and fill in these gaps. Despite these problems, dating results for timber from this period can be established using German and Danish chronologies, which extend back into prehistory. The diagrams presented in Figs. 45 and 46 show the temporal distribution of dated annual tree-rings.

The best dendrochronologically documented era is the 13th–14th century. One of the reasons for this situation is that there was a building boom during this period as numerous new towns were founded. The second major cause is that large number of archaeological excavations are nowadays conducted in urban areas, which yield substantial amounts of medieval material suitable for dendrochronological analysis. Later periods witness a reduction in the use of oak timber, which, along with grain, became Poland's main commercial product. Masonry architecture also started to be far more widespread. There is a noticeable absence in the Polish archaeological record of evidence for the Black Death — an epidemic which significantly depleted the population of Europe from 1348 to 1350 and was responsible for a sharp decline in building activities. In contrast to western Europe, forest resources in Poland were still widely exploited for building materials after 1350, a fact evidenced by the unchanged proportion of timbers from old trees represented in the materials analysed. Another difficult period for the dendrochronology of oak in Poland is the 18th century. This is largely due to the fact that oak timbers were rarely used at that time, which in effect means that very little of this species

appears among building materials dating from the second half of the 18th century. The other factor responsible for these difficulties is that the oldest living trees from which dendrochronological samples are now taken only started to grow in the late 18th century.

A complete chronology for the first millennium BC should shortly be finalised. Work is currently being carried out in conjunction with the Institute of Botany at the University of Hohenheim to anchor the 'floating' oak chronology for the middle of this millennium. Full use has still not been made of the huge reserves of Hallstatt period material from Biskupin. The dating of Biskupin timber has made it possible to establish precisely when this settlement was built and learn a little of its history, whilst at the same time radically revising the history of the Hallstatt period. However, the annual growth rings of timbers from Biskupin have also recorded obvious evidence of abrupt climatic changes. It is becoming increasingly common to correlate historic and prehistoric events with the climatic events recorded in tree-ring data (e.g. Baillie 1995). In consequence, dendrochronologically dated artefacts have taken on a new significance.

Dendrochronologists have at their disposal the most accurate method currently available for dating the past. Tree-ring analysis has a dating range which covers virtually the whole of the Holocene period (Spurk *et al.* 1998), whilst its territorial range is limited only by the geographical distribution of trees and wood, which includes both Arctic (Eggertson 1994) and highland (Schmidt, Ważny *et al.* 1998) regions. Dendrochronology is nowadays an important research tool in the fields of history, art conservation, traditional and underwater archaeology and history of architecture. The results of analysis carried out at the Dendrochronological Laboratory of the Department of Art Conservation and Restoration at Warsaw's Academy of Fine Arts which are presented in this publication fully confirm the value of this analytical method for determining age, verifying or disputing the authenticity of works attributed to known artists or craftsmen. Now it is up to representatives from other branches of science, in particular from the historic sciences, to make maximum use of the new possibilities laid open before them.

# LITERATURA

- ADAMS, J., HOLK, van A.F.L., MAARLEVELD, T.J., 1990: Dreggers and Archaeology. Shipfinds from the Slutter. Alphen aan den Rijn: Ministerie van Welzijn, Volksgezondheid en cultuur.
- ALEXANDROWICZ, S.W., ALEXANDROWICZ, W.P., KRAPIEC, M., SZYCHOWSKA-KRAPIEC, E., 1997: Zmiany środowiska południowej Polski w okresie historycznym. *Geologia* t. 23, z. 4, 339–387.
- ANIOL, R.W., 1983: Tree-ring analyses using CATRAS. *Dendrochronologia* 1, 45–53.
- BABIŃSKI, L., 1997: Konserwacja czółna z Lewina Brzeskiego. *Ochrona Zabytków* (4), 328–334.
- BAILLIE, M.G.L., 1982: Tree ring dating and archaeology. London, Canberra: Croom Helm, 274.
- BAILLIE, M.G.L., 1983: Dendrochronology: the current situation. In: Ottaway, B. (ed.): *Archaeology, dendrochronology and the radiocarbon calibration curve*. Edinburgh: Univ. of Edinburgh, Dept. of Archaeology, 15–24.
- BAILLIE, M.G.L., 1984: Some thoughts on art-historical dendrochronology. *Journal of Archaeological Science* 11, 371–393.
- BAILLIE, M.G.L., 1995: *A slice through time: dendrochronology and precision dating*. London: B.T. Batsford Ltd., 176.
- BAILLIE, M.G.L., HILLAM, J., BRIFFA, K.R., BROWN, D.M., 1985: Re-dating the English art-historical tree-ring chronologies. *Nature* 315, 317–319.
- BAILLIE, M.G.L., PILCHER, J.R., 1973: A simple crossdating program for tree-ring research. *Tree-Ring Bull.* 33, 7–14.
- BANG, N.E., 1933: *Tabeller over skibsfart og varetransport gennem Oresund 1497–1660*. Kobenhavn, Leipzig.
- BARNYCZ-GUPIENIEC, R., 1974: Drewniane budownictwo mieszkalne w Gdańsku w X–XIII wieku. *Gdańsk Wczesnośredniowieczny*, VIII, Gdańsk: GTN; 227.
- BARTHOLIN, T.S., 1987: Dendrochronology in Sweden. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae*, Ser. A, III. *Geologica-Geographica* 145, 79–88.
- BARTHOLIN, T.S., HJORT, C., 1987: Dendrochronological studies of recent driftwood on Svalbard. In: KAIRIUKSTIS, L., BEDNARZ, Z., FELIKSIK, E., (eds.): *Methods of Dendrochronology. Proc. Task Force Meeting on „Methodology of Dendrochronology: East/West Approaches”*, Kraków, 1986. Warsaw, 207–219.



- BAUCH, J., 1979: Die Datierung kunsthistorischer Objekte mit Hilfe der Dendrochronologie. Allg. Forstzeitschr. 34, 1351–1354.
- BAUCH, J., ECKSTEIN, D., 1970: Dendrochronological dating of oak panels of Dutch seventeenth-century paintings. Studies in Conservation 15, 45–50.
- BAUCH, J., ECKSTEIN, D., 1981: Woodbiological investigations on panels of Rembrandt paintings. Wood Sci. Technol. 15, 251–263.
- BAUCH, J., ECKSTEIN, D., BRAUNER, G., 1978: Dendrochronologische Untersuchungen an Eichenholztafeln von Rubens-Gemälden. Jahrbuch der Berliner Museen 20, 209–221.
- BAUCH, J., ECKSTEIN, D., KLEIN, P., 1990: Dendrochronologische Untersuchungen an Gemäldetafeln des Wallraf-Richartz-Museums, Köln. In: ZEHNDER, F.G.: Katalog der altkölnner Malerei. Köln: Kataloge des Wallraf-Richartz-Museums 11, 667–683.
- BECKER, B., 1979: Dendrochronologie subfossiler Baumstämme aus Flußschottern, Hochmooren und Waldgrenzstandorten. Allg. Forstzeitschr. 34, 1360–1364.
- BECKER, B., 1983: The long term radiocarbon trend of the absolute German oak tree-ring chronology, 2800–800 BC. Radiocarbon 25, 197–203.
- BECKER, B., 1991: Dendrochronologische Datierung von Nadelhölzern (Tanne, Fichte, Kiefer) in Süddeutschland. W: Dendrochronologische Datierung von Nadelhölzern in der Hausforschung. Süddeutschland und angrenzende Gebiete. Großweil: Freundeskreis Freilichtmuseum Südbayern e.V. Schriftenreihe H. 10, 7–22.
- BECKER, B., GIERTZ-SIEBENLIST, V., 1970: Eine über 1100jährige mitteleuropäische Tannenchronologie. Flora 159, 310–346.
- BECKER, B., SCHMIDT, B., 1982: Verlängerung der mitteleuropäischen Eichenjahrring-Chronologie in das zweite vorchristliche Jahrtausend (bis 1462 v.Chr.) Archäologisches Korrespondenzblatt 12, 101–106.
- BEDNARZ, Z., 1976: Wpływ klimatu na zmienność szerokości słoików rocznych limby (*Pinus cembra* L.) w Tatrach. Acta Agraria et Silvestria, Series Silvestris, 16, 3–33.
- BEDNARZ, Z., 1981: Relationship of tree-ring widths in the Tatra Mountains to variations in monthly temperature and precipitation. Mitt. Forstl. Bundesvers.anst. Wien, 142, 367–389.
- BEDNARZ, Z., 1998: Przykład wykorzystania metod dendrochronologicznych do datowania obiektów sztuki lutniczej. Sylwan 142 (7), 89–97.
- BEDNARZ, Z., SZWAGRZYK, J., BODZIARCZYK, J., 1992: Dendrochronological interpretation of tree ring width variability in elm (*Ulmus laevis* Pall.) in the Mogilski Forest, Southern Poland. Dendrochronologia 10, 63–76.
- BIAŁOSTOCKI, J., 1955: Zagadka „Bitwy pod Orszą”. Biuletyn Historii Sztuki 1, 80–98.
- BILLAMBOZ, A., 1992: Tree-ring analysis from an archaeodendrological perspective. The structural timber from the South West German lake dwellings. In: BARTHOLIN, T.S., BERGLUND, B.E., ECKSTEIN, D., SCHWEINGRUBER, F.H. (eds.): Proc. Symposium „Tree Rings and Environment”, Lundqua Report 34, 34–40.

- BITVINSKAS, T.T., 1974: Dendroklimaticeskije issledowanija. (Dendroclimatic studies). Leningrad: Gidrometeoizdat, 172.
- BONDE, N., 1989: Dendrokronologiske dateringer pa Nationalmuseet 1988. In: Arkeologiske udgravninger i Danmark 1988. Kobenhavn: Nationalmuseet, 209–241.
- BONDE, N., 1994: De norske vikingskibsgaves alder. Et vellykket norsk-dansk forskningsprojekt — The dating of the Norwegian Viking Age ship burials. A succesful Norwegian-Danish research project. Nationalmuseets Arbejdsmark, 128–148.
- BONDE, N., 1997: Dendroprovenancing: count the rings, map the journey. A new branch of tree-ring studies. In: BOE, de G., VERHAEGHE, F. (eds.): Travel technology and organisation in medieval Europe. I.A.P. Rapporten 8, 53–55.
- BONDE, N., BARTHOLIN, T., CHRISTENSEN, K., DALY, A., ERIKSEN, O.H., 1992: Dendrokronologiske dateringsundersolger pa Nationalmeseet 1992. Arkaeologiske Udgravninger i Danmark, 305–321.
- BONDE, N., CHRISTENSEN, A.E., 1993: Dendrochronological dating of the Viking Age ship burials at Oseberg, Gokstad and Tune, Norway. Antiquity 67, 575–583.
- BONDE, N., CRUMLIN-PEDERSEN, O., 1990: The dating of Wreck 2, the Longship, from Skuldelev, Denmark. News WARP 7, 3–6.
- BONDE, N., JENSEN, J.S., 1995: The dating of a Hanseatic cog-find in Denmark. What coins and tree-rings can reveal in maritime archaeology. Shipshape, Roskilde, 103–122.
- BONDE, N., TYERS, I., WAŻNY, T., 1997: Where does the timber come from? Dendrochronological evidence of timber trade in Northern Europe 14th to 17th century. In: SINCLAIR, A., SLATER, E., GOWLETT, J. (eds.): Archaeological Science 1995, Oxford: Oxbow Books, 201–204.
- BRIDGE, M.C., DOBBS, C., 1996: Tree-ring studies of the Tudor warship Mary Rose. In: DEAN, J.S., MEKO, M.M., SWETMAN, T.W. (eds.): Tree rings, environment, and humanity. Tucson: Radiocarbon, 491–496.
- BRIFFA, K.R., BARTHOLIN, T.S., ECKSTEIN, D., JONES, P.D., KARLEN, W., SCHWEINGRUBER, F.H., ZETTERBERG, P., 1990: A 1400-year tree-ring record of summer temperatures in Fennoscandia. Nature 346, 434–439.
- BRIFFA, K.R., JONES, P.D., SCHWEINGRUBER, F.H., OSBORN, T.J., 1998: Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 years. Nature 393, 450–455.
- CHRISTENSEN, K., 1987: Tree-rings and insects: The influence of cockchafers on the development of growth rings in oak trees. In: JACOBY, G.C., HORNBECK, J.W., (eds.): Proc. Intern. Symp. on Ecol. Aspects of Tree-Ring Analysis, Palisades, 1986. New York, 142–154.
- CHYZANOWSKI, T., KORNECKI, M., ROL, B., STRZELECKA, J., (1989): Katalog Zabytków Sztuki w Polsce. T. V. Województwo gdańskie, z. 2. Puck, Żarnowiec i okolice. Warszawa: WAiF.

- COOK, E.R., 1985: A time-series analysis approach to tree-ring standardization. Diss. Univ. of Arizona, Tucson, 175 S.
- COOK, E.R., 1990: A conceptual linear aggregate model for tree-rings. In: COOK, E.R., KAIRIUKSTIS, L.A. (eds.): *Methods of dendrochronology: applications in the environmental science*. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 98–104.
- CORONA, E., 1980: *Richerche dendrochronologiche su due violini del XVIII secolo*. Italia For. e Mont 35, 112–115.
- CRAMER, J., EISSING, T., 1996: *Dächer in Thüringen*. Arbeitshefte des Thüringischen Landesamtes für Denkmalpflege 2, Bad Homburg, Leipzig: Verl. Ausbildung u. Wissen, 104.
- CRUMLIN-PEDERSEN, O., 1997: Viking-Age ships and shipbuilding in Hedeby/Haithabu and Schleswig. W: *Ships & Boats of the North*, Vol. 2. Schleswig, Roskilde.
- 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 r. *Wiad. Archeol.* 40, 27–36.
- de GEER, E.H., 1956: Planetary geochronology. W: *V<sup>e</sup> Congres International de Chronometrie, Proces-Verbaux et Memoires*, Vol. II, Besancon, 455–488.
- DEAN, J., 1994: The medieval warm period on the Southern Colorado Plateau. *Climatic Change* 26, 225–241.
- DEAN, J., 1996: Dendrochronology and the study of human behavior. In: DEAN, J.S., MEKO, M.M., SWETMAN, T.W. (eds.): *Tree rings, environment, and humanity*. Tucson: Radiocarbon, 491–496.
- DOMAŃSKA, H., 1977: *Żarnowiec*. Wrocław, Warszawa, Kraków, Gdańsk: Z.N. im. Ossolinskich, 114.
- DOMAŃSKA, H., 1985: *Puck*. Wrocław-Warszawa-Kraków-Gdańsk-Łódź: Z.N. im. Ossolinskich, 134.
- DOUGLASS, A.E., 1935: Dating Pueblo Bonito and other ruins of the Southwest. *Nat. Geogr. Soc.*, Pueblo Bonito Ser.1, 1–74.
- ECKSTEIN, D., 1969: *Entwicklung und Anwendung der Dendrochronologie zur Alterbestimmung der Siedlung Haithabu*. Diss. Univ. Hamburg, 113.
- ECKSTEIN, D., BAUCH, J., 1969: Ein Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. *Forstwiss. Centralbl.* 88, 230–250.
- ECKSTEIN, D., BAUCH, J., 1974: Dendrochronologie und Kunstgeschichte — dargestellt an Gemälden holländischer und alt-deutscher Malerei. *Mitt. Dtsch. Dendrol. Ges.* 67, 234–243.
- ECKSTEIN, D., MATHIEU, K., BAUCH, J., 1972: Jahrringanalyse und Baugeschichtsforschung. Aufbau einer Jahrringchronologie für die Vier- und Marschlande bei Hamburg. *Abh. Verh. naturwiss. Ver. Hamburg* 16, 73–100.

- ECKSTEIN, D., SCHWAB, F., ZIMMERMANN, W.H., 1979: Aufbau und Anwendung einer Jahrringchronologie im niedersächsischen Küstenraum. Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet 13, 99–121.
- ECKSTEIN, D., WAŻNY, T., BAUCH, J., KLEIN, P., 1986: New evidence for the dendrochronological dating of Netherlandish paintings. Nature 320, 465–466.
- EGGER, H., 1976: Dendrochronologische Analyse spätbronzezeitlicher aus dem Räume Jura-Südfuss. Helvetia Archaeologica 16, 118–122.
- EGGERTSON, O., 1994: Origin of the Arctic driftwood — a dendrochronological study. Lundqua Thesis 32, 13.
- ELLING, W., 1966: Untersuchungen über das Jahrringverhalten der Schwarzerle. Flora 156, 155–201.
- 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, Kraków, 61.
- ERMICH, K., 1955: Zależność przyrostu drzew w Tatrach od wahań klimatycznych. Acta Soc. Bot. Poloniae. 24, 245–273.
- ERMICH, K., 1959: Badania nad sezonowym przebiegiem przyrostu grubości pnia u *Pinus sylvestris* L., i *Quercus robur* L. Acta Soc. Bot. Poloniae 28, 15–63.
- ERMICH, K., 1960: Zagadnienie telekonekcji w dendrochronologii na przykładzie dębu bezszypułkowego w Bawarii i w Polsce. Rocznik Dendrologiczny PTB 14, 31–43.
- ERONEN, M., ZETTERBERG, P., 1996: Climatic changes in Northern Europe since Late Glacial Times, with special reference to dendrochronological studies in Northern Finnish Lapland. Geophysica 32 (1–2), 35–60.
- FELIKSIK, E., 1972: Studia dendroklimatologiczne nad świerkiem (*Picea excelsa* L.). (Dendroclimatic studies of spruce (*Picea excelsa* L.)). Acta Agr. et Silv., Ser. Silv. 12, 39–70.
- FELIKSIK, E., 1990: Badania dendroklimatologiczne dotyczące jodły (*Abies alba* Mill.) występującej na obszarze Polski. Zesz. Nauk. AR Kraków 151, 106.
- FILIPOWIAK, W., 1996: „Żywot” statku średniowiecznego. W: KURNATOWSKA, Z. (red.): Słowiańszczyzna w Europie, Vol. 2. Wrocław, 91–96.
- FLETCHER, J.M., 1976: A group of English royal portraits painted soon after 1513: a dendrochronological study. Studies in Conservation 21, 171–178.
- FLETCHER, J.M., 1977: Tree-ring chronologies for the 6th to 16th centuries for oaks of southern and eastern England. J. Arch. Sci. 4, 335–352.
- FLETCHER, J.M., 1978: Tree-ring analysis of panels, paintings and chests. In: FLETCHER, J.M. (ed.): Dendrochronology in Europe: principles, Interpretations and applications to archaeology and history. B.A.R. International Ser. 51, 303–306.
- FLETCHER, J.M., 1980: Tree ring dating of Tudor portraits. Proc. Royal Inst. of G.B. 52, 81–104.



- FRIEDRICH, M., 1996: Dendrochronologische und paläoökologische Untersuchungen über das letzte vorchristliche Jahrtausend des südlichen Mitteleuropas. Dipl. Inst. f. Botanik, Univ. Hohenheim, 90.
- FRIEDRICH, M., 1997: Dendroklimatologische Untersuchungen am Ende der Bronzezeit in Mitteleuropa. European Conference of Dendrochronology, Savonlinna, Finland.
- FRIEDRICH, M., HENNING, H., 1995: Dendrochronologische Untersuchung der Hölzer des hallstattzeitlichen Wagengrabes 8 aus Wehringen, Lkr. Augsburg und andere Absolutdaten zur Hallstattzeit. Bayerische Vorgeschichtsblätter 60, 289–300.
- FRITTS, H.C., 1976: Tree rings and climate. London, New York: Academic Press, 567.
- GORCZYŃSKI, T., MOLSKI, B., 1965: Dendrochronologia na usługach archeologii. Roczn. Dendr. PTB 19, 5–33.
- GOSLAR, T., KRAPIEC, M., 1996: Wyniki analiz dendrochronologicznych i radiozwęglowych pomostu i dłubanek z Lewina Brzeskiego. Śląskie Sprawozdania Archeologiczne 38, 195–201.
- GROSSER, D., 1974: Holzanatomische Untersuchungsverfahren an kunstgeschichtlichen, kulturgeschichtlichen und archäologischen Objekten. Maltechnik/Restauro 2, 68–86.
- GROVES, C., 1997: The dating and provenancing of imported conifer timbers in England: the initiation of a research project. In: SINCLAIR, A., SLATER, E., GOWLETT, J. (eds.): Archaeological Science 1995, Oxford: Oxbow Books, 201–204.
- GROVES, C., HILLAM, J., 1988: The potential of non-oak species for tree-ring dating in Britain. In: SLATER, E.A., TATE, J.O. (eds.): Science and Archaeology, Glasgow 1987. British Archaeol. Reports, British Series 196, 567–579.
- HEISE, J., 1884: Die Bau- und Kunstdenkmäler der Provinz Westpreussen. Bd. 1, H. 1, Die Kreise Carthaus, Berent und Neustadt. Danzig: A.W. Kafemann, 73.
- HEISE, J., 1885: Die Bau- und Kunstdenkmäler der Provinz Westpreussen. Bd. 1, H. 2, Der Landkreis Danzig. Danzig: A.W. Kafemann, 77–149.
- HIBBERD, H., GOODBURN, D., TYERS, I., 1993: A possible pollarded oak from the Thames Waterfront in London. News WARP 13, 12–16.
- HILLAM, J., 1987: The archaeology of the Hasholme logboat: the tree-ring dating. The Archaeological Journal 144, 79–84.
- HILLAM, J., 1998: Dendrochronology. Guidelines on producing and interpreting dendrochronological dates. London: English Heritage, 35.
- HILLAM, J., MORGAN, R.A., TYERS, I., 1987: Sapwood estimates and the dating of short ring sequences. In: WARD, R.G.W. (eds.): Application of tree-ring studies: current research in dendrochronology and related areas. BAR International Series 333, 141–155.
- HILLAM, J., TYERS, I., 1995: Reliability and repeatability in dendrochronological analysis: tests using the Fletcher archive of panel-painting data. Archaeometry 37 (2), 395–405.
- HIRSCH, T., 1850: Das Kloster Oliva. Danzig: E.Groening, 42.

- HOLLSTEIN, E., 1969: Dendrochronologische Untersuchung der Einbäume im Historischen Museum der Pfalz. Mitteilungen des Historischen Vereins der Pfalz 67, 191–204.
- HOLLSTEIN, E., 1973: Eine mittelalterliche Rotbuchenchronologie aus dem Gerechtigkeitsbrunnen auf dem Frankfurter Römer. Forstwiss. Centralblatt 92, 47–50.
- HOLLSTEIN, E., 1980: Mitteleuropäische Eichenchronologie. Trierer Grabungen und Forschungen 11. Mainz a.Rhein: Zabern Verl., 273.
- HOLMES, R.L., 1983: Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring Bull. 43, 69–78.
- HOLMES, R.L., 1986: Quality control of crossdating and measuring. A users manual for program COFECHA. In: HOLMES, R.L., ADAMS, R.K., FRITTS, H.C.(eds.): Tree-ring chronologies of western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin. Chronology Series VI. Tucson: Univ. of Arizona, 41–49.
- HUBER, B., 1941: Aufbau einer mitteleuropäischen Jahrringchronologie. Mitt. H.G. Akad. dt. Forstwiss. 3, 137–142.
- HUBER, B., 1943: Über die Sicherheit jahrringchronologischer Datierung. Holz Roh- u. Werkstoff 6, 263–268.
- HUBER, B., MERZ, W., 1962: Jahrringchronologische Untersuchungen zur Baugeschichte der urnenfeldzeitlichen Siedlung Zug-Sumpf. Germania 40, 44–56.
- HURNI, J.-P., ORCEL, A., ORCEL, CH., 1991: Die dendrochronologische Untersuchung von Nadelhölzern aus der Schweiz. In: Dendrochronologische Datierung von Nadelhölzern in der Hausforschung. Süddeutschland und angrenzende Gebiete. Großweil: Freundeskreis Freilichtmuseum Südbayern e.V. Schriftenreihe H. 10, 35–37.
- HURNI, J.-P., ORCEL, CH., 1996: Dendrochronological results on buildings in Switzerland: geographical aspects. In: DEAN, J.S., MEKO, M.M., SWETMAN, T.W. (eds.): Tree rings, environment, and humanity. Tucson: Radiocarbon, 533–542.
- KAENNEL, M., SCHWEINGRUBER, F.H., 1995: Multilingual glossary of dendrochronology. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 467.
- KLEIN, P., 1982: Grundlagen der Dendrochronologie und ihre Anwendung für kunstgeschichtliche Fragestellungen. Berliner Beiträge zur Archäometrie 7, 253–271.
- KLEIN, P., 1986: Age determinations based on dendrochronology. In: SCHUTE, van R., VEROUGSTRAETE-MARCQ, H. (eds.): Art history and laboratory. Scientific examination of easel paintings. PACT 13, Strasbourg, 225–237.
- KLEIN, P., 1989: Zum Forschungsstand der Dendrochronologie Europäischer Tafelmalerie. Restauratorenblätter 10, 35–47.
- KLEIN, P., 1996: Dendrochronology and violins. Newsletter of the British Violin Making Association (BVMA), Issue 4, 12–25.
- KLEIN, P., 1997: Jahrringanalytische Untersuchungen an Saiteninstrumenten. W: MARTIUS, K.: Leopold Widhalm und der Nürnberger Lauten- und Geigenbau im 18. Jahrhundert. Frankfurt: E.Bochinsky Verl., 104–106.

- KLEIN, P., BAUCH, J., 1983: Aufbau einer Jahrringchronologie für Buchenholz und ihre Anwendung für die Datierung von Gemälden. *Holzforschung* 37, 35–39.
- KLEIN, P., BAUCH, J., 1985: Analyses of wood from Italian Paintings with special reference to Raphael. In: SHEARMAN, J., HALL, M.B. (eds.): *The Princeton Raphael Symposium 1983 Science in the Service of Art History*. Princeton, New Jersey: Princeton Univ. Press, 85–91.
- KLEIN, P., MEHRINGER, H., BAUCH, J., 1984: Tree-ring chronology of spruce wood and its application in the dating of stringed instruments. *Preprints of ICOM, Committee for Conservation, 7th Triennial Meeting*, 84.1, 69–72.
- KLEIN, P., MEHRINGER, H., BAUCH, J., 1986: Dendrochronological and wood biological investigations on string instruments. *Holzforschung* 40 (4), 197–203.
- KLEIN, P., VOGEL, H., 1994: Computertomographie - eine Hilfe für Dendrochronologie und Holzartenbestimmung? 4th Intern. Congress on Non-Destructive Testing of Artistic and Cultural Objects, Berlin, 85–91.
- KLEIN, P., WAŻNY, T., 1991: Dendrochronological analyses of paintings of Gdańsk painters of the 15th to the 17th century. *Dendrochronologia* 9, 181–191.
- KLEMP, A., 1987: Katedra oliwska. Fundacja i nekropolia książąt gdańsko-pomorskich. Gdańsk: Zrzeszenie Kaszubsko-Pomorskie, 40.
- KLOEPPEL, O., 1924: Die bäuerliche Haus-, Hof- und Siedlungsanlage im Weichsel-Nogat-Delta. In: BERTRAM, H., LA BAUME, W., KLOEPPEL, O.: *Das Weichsel-Nogat-Delta*. Danzig: Danz. Verl.-Ges., 105–207.
- KNAST, A., 1998: The 1754 clavichord of J.A. Hass in the National Museum of Poznań, Poland. W: *De Clavicordio — Proceedings of the International Clavichord Symposium*, Magnano. Vigiliomo Biellese, 119–122.
- KOSIOREK, A., WAŻNY, T., 1997: Gatunki drewna stosowane w ikonach karpackich. *Ochrona Zabytków* 50 (3), 315–320.
- KRAWCZYK, M., MACEWICZ, K., SPYCHAŁA, K., 1996: Dwie łodzie i pomost z Lewina Brzeskiego w województwie opolskim. *Śląskie Sprawozdania Archeologiczne* 38, 181–193.
- KRAPIEC, M., 1992: Skale dendrochronologiczne późnego holocenu południowej i centralnej części 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., 1996: Subfossil oak chronology (474 BC–AD 1529) from Southern Poland. In: DEAN, J.S., MEKO, M.M., SWETMAN, T.W. (eds.): *Tree rings, environment, and humanity*. Tucson: Radiocarbon, 813–819.
- KRAPIEC, M., 1998: Dendrochronological dating of early medieval fortified settlements in Poland. In: HENNING, J., RUTTKAY, A.T. (eds.): *Frühmittelalterlicher Burgenbau in Mittel- und Osteuropa*. Bonn: Habelt, 257–266.
- KRAPIEC, M., WAŻNY, T., 1994: Dendrochronologia — podstawy teoretyczne i stan zaawansowania badań w Polsce. *Światowit* 39, 193–214.

- KUNIHOLM, P.I., KROMER, B., MANNING, S.W., NEWTON, M., LATINI, CH.E., BRUCE, M.J., 1996: Anatolian tree rings and the absolute chronology of the eastern Mediterranean, 2220–718 BC. *Nature* 381, 780–783.
- KYNCL, J., KYNCL, T., 1996: Dating of historical fir (*Abies alba*) wood in Bohemia and Moravia. *Dendrochronologia* 14, 237–240.
- LAVIER, C., LAMBERT, G., 1996: Dendrochronology and works of art. In: DEAN, J.S., MEKO, M.M., SWETMAN, T.W. (eds.): *Tree rings, environment, and humanity*. Tucson: Radiocarbon, 543–556.
- LAVIER, C., PERRAT, M.-J., REBOURG, A., 1992: La dendrochronologie et la livre medieval. W: *Les veines du temps. Lectures de bois en Bourgogne*, 412–434.
- LEUSCHNER, H.H., 1992: Subfossil trees. In: BARTHOLIN, T.S., BERGLUND, B.E., ECKSTEIN, D., SCHWEINGRUBER, F.H. (eds.): *Proc. Symposium „Tree Rings and Environment”*, Lundqua Report 34, 193–197.
- LEUSCHNER, H.H., DELORME, A., 1988: Tree-ring work in Göttingen. Absolute oak chronologies back to 6255 B.C. *PACT* 22 — II.5, 123–132.
- LEUSCHNER, H.H., RIEMER, T., 1989: Verfeinerte Regional- und Standortchronologien durch Clusteranalysen. *Nachrichten aus Niedersachsens Urgeschichte* 58, 281–290.
- LEUSCHNER, H.H., SCHWEINGRUBER, F.H., 1996: Dendroökologische Klassifizierung und Auswertung häufig auftretender intraannueller holzanatomischer Merkmale bei Eichen und Kiefern. *Dendrochronologia* 14, 273–285.
- LEVANIC, T., CUFAR, K., 1995: Three local silver fir (*Abies alba* Mill.) chronologies from the Dinaric phytogeographic region in Slovenia. *Dendrochronologia* 13, 127–134.
- LITWIN, J., 1995: Polskie szkutnictwo ludowe XX wieku. *Prace Centralnego Muzeum Morskiego w Gdańsku*, t. X, 376.
- LOTTERMOSER, W., MEYER, J., 1958: Über die Möglichkeit einer Dendrochronologie von altitalienischen Geigen. *Instrumentenbauzeitschrift* 12, 295–296.
- LUCKMAN, B.H., 1996: Dendroglaciology at Peyto Glacier, Alberta, Canada. In: DEAN, J.S., MEKO, M.M., SWETMAN, T.W. (eds.): *Tree rings, environment, and humanity*. Tucson: Radiocarbon, 679–688.
- LÜHRTE, von A., 1991: Dendroökologische Untersuchungen an Kiefern und Eichen in den stadtnahen Berliner Forsten. *Landschaftsentwicklung und Umweltforschung, Schriftenreihe des Fachbereichs der TU Berlin* 77. Berlin, 186.
- McGRAIL, S., DENFORD, G., 1982: Boatbuilding techniques, technological change and attribute analysis. In: McGRAIL, S. (ed.): *Woodworking techniques before A.D. 1500*. B.A.R. International Series 129, 25–72.
- MIKŁASZEWSKA-BALCER, R., 1991: Datowanie osiedla kultury łużyckiej w Biskupinie. W: Jaskanis, J. (red.): *Prahisteryczny gród w Biskupinie. Problematyka osiedli obronnych na początku epoki żelaza*. Warszawa: PWN, 107–113.
- MŁODOŻENIEC, J., 1994: Zastosowanie rentgenowskiej tomografii komputerowej w badaniach struktury drewna i drewnianej rzeźby polichromowanej. *Praca dypl. ASP w Warszawie*, 69.



- MORGAN, R.A., HILLAM, J., COLES, J.M., McGRAIL, S., 1981: Reconciling tree-ring sampling with conservation. *Antiquity* 40, 90–95.
- MUNRO, M.A.R., 1984: An improved algorithm for cross-dating tree-ring series. *Tree-Ring Bulletin* 44, 17–27.
- NICOLAUS, K., 1982: DuMont's Bild-Lexikon zur Gemäldebestimmung. Köln: DuMont, 245.
- NIEWIAROWSKI, W., 1995: Wahania poziomu wody w Jeziorze Biskupińskim i ich przyczyny. W: NIEWIAROWSKI, W., (red.): Zarys zmian środowiska geograficznego okolic Biskupina pod wpływem czynników naturalnych i antropogenicznych w późnym glacie i holocenie. Toruń: O.W. Turpress, 215–234.
- NIEWIAROWSKI, W., NORYSKIEWICZ, B., PIOTROWSKI, W., ZAJĄCZKOWSKI, 1992: Biskupin fortified settlement and its environment in the light of new environmental and archaeological studies. In: COLES, B., (ed.): The wetland revolution in prehistory. Proceedings of a conference held by The Prehistoric Society and WARP at the University of Exeter, April 1991. Exeter: 81–92.
- OLECHNOWITZ, K.F., 1960: Der Schiffbau der Hansischen Spätzeit. Eine Untersuchung zur Sozial- und Wirtschaftsgeschichte der Hanse. Weimar: H.Böhlaus, 210.
- OLEKSYN, J., FRITTS, H.C., HUGHES, M., 1993: Tree-ring analysis of different *Pinus sylvestris* provenances, *Quercus robur*, *Larix decidua* and *L. decidua* x *L. kaempferi* affected by air pollution. *Arboretum Kórnickie* 38, 87–111.
- OSSOWSKI, W., 1999: Studia nad łodziami jednopiennymi z obszaru Polski. Gdańsk: Marpress, 270.
- PANER, H., 1997: Z badań archeologicznych Gdańska. Historia i aktualności. *Rocznik Gdański* 57, z. 1, 7–36.
- PAZDUR, M.F., MIKŁASZEWSKA-BALCER, R., PIOTROWSKI, W., WĘGRZYNOWICZ, T., 1991: Chronologia bezwzględna osady w Biskupinie. W: Jaskanis, J. (red.): Prahisteryczny gród w Biskupinie. Problematyka osiedli obronnych na początku epoki żelaza. Warszawa: PWN, 115–125.
- PILCHER, J.R., BAILLIE, M.G.L., SCHMIDT, B., BECKER, B., 1984: A 7,272-year tree-ring chronology for western Europe. *Nature* 312, 150–152.
- PREUSS, P., CHRISTENSEN, K., PETERS, K., 1991: The use of computer-tomographical X-ray scanning in dendrochronology. *Norw. Arch. Rev.* 24 (2), 123–130.
- PUMIJUMNONG, N., 1995: Dendrochronologie mit Teak (*Tectona grandis* L.) in Nord-Thailand. Jahrringbildung — Chronologiennetz — Klimasignal. Diss. Univ. Hamburg, 104.
- RENFREW, C., 1996: Kings, tree rings and the Old World. *Nature* 381, 733–734.
- RICHTER, H.G., 1988: Holz als Rohstoff für den Musikinstrumentenbau. Edition Moeck Nr. 4043, Moeck Verlag, Celle, 44.
- RINN, F., 1996: TSAP — Time Series Analysis and Presentation. Version 3.0 reference manual. Heidelberg, 262.

- ROBINSON, W.J., 1976: Tree-ring dating and archaeology in the American Southwest. *Tree-Ring Bull.* 36, 9–18.
- SANDER, C., LEVANIC, T., 1996: Comparison of t-values calculated in different dendrochronological programmes. *Dendrochronologia* 14, 269–272.
- SASS, U., ECKSTEIN, D., 1992: The annual vessel area of beech as an ecological indicator. In: BARTHOLIN, T.S., BERGLUND, B.E., ECKSTEIN, D., SCHWEINGRUBER, F.H. (eds.): *Proc. Symposium „Tree Rings and Environment”*, Lundqua Report 34, 281–285.
- SCHMIDT, B., 1992: Hölzerne Moorwege als Untersuchungsobjekte für die Dendrochronologie. *Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland* 15, 147–159.
- SCHMIDT, B., KÖHREN-JANSEN, H., FRECKMANN, K., 1990: *Kleine Hausgeschichte der Mosellandschaft. Schriftenreihe zur Dendrochronologie und Bauforschung, Bd.1.* Köln: Reinland-Verlag GmbH, 336.
- SCHMIDT, B., WAŻNY, T., MALLA, K., HÖFS, E., KHALESİ, M., 1999: Site chronologies for historical dating in High Asia/Nepal. In: WIMMER, R., VETTER, R.E. (eds.): *Tree ring analysis: biological, methodological and environmental aspects.* Wallingford: CAB Intern., 205–211.
- SCHUSTER-GAWŁOWSKA, M., 1992: Znaki cechowe na odwrociach flamandzkich obrazów na drewnie. *Propozycja systematyki i dokumentacji.* Kraków: Wyd. Literackie, s. 200.
- SCHWEINGRUBER, F.H., 1983: *Der Jahrring. Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie.* Bern, Stuttgart: Verl. P.Haupt, 234.
- SCHWEINGRUBER, F.H., 1993a: *Jahrringe und Umwelt. Dendroökologie.* Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 474.
- SCHWEINGRUBER, F.H., 1993b: *Trees and wood in dendrochronology. Morphological, anatomical, and tree-ring analytical characteristics of trees frequently used in dendrochronology.* Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest: Springer Verl., 402.
- SCHWEINGRUBER, F.H., BRÄKER, O.U., SCHÄR, E., 1987: Temperature information from a European dendroclimatological sampling network. *Dendrochronologia* 5, 9–33.
- SCHWEINGRUBER, F.H., ECKSTEIN, D., SERRE-BACHET, F., BRÄKER, O.U., 1990: Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia* 8, 9–38.
- SIGMUND, M., 1968: Badania dendrologiczne drewna używanego w rzeźbach średniowiecznych na terenie Małopolski. *Ochrona Zabytków* 21, 28–33.
- SIMPSON, W.G., LITTON, C.D., 1996: Dendrochronology in cathedrals. In: TATTON-BROWN, T., MUNBY, J. (eds.): *The archaeology of cathedrals.* Oxford Univ. Comm. for Archaeol. 42, 183–209.
- SLANSKY, B., 1960: *Technologia malarstwa, t. 1.* Warszawa: PWN
- SMOLAREK, P., 1972: *Szkutnictwo Pomorza Gdańskiego we wczesnym średniowieczu.* W: CIEŚLAK, E. (red.): *Historia budownictwa okrętowego na Wybrzeżu Gdańskim.* Gdańsk: Wyd. Morskie, 9–68.

- SMOLAREK, P., 1983: Wraki spod Tolkmicka — nowe źródło do dziejów szkutnictwa. *Kwartalnik Historii Kultury Materialnej* 31 (2), 171–185.
- SOBUCKI, W., JARMIŃSKA, D., RAMS, D., 1998: Rękopiśmiennicze skarby Biblioteki Narodowej — badania technologiczne. *Ochrona Zabytków* 51 (2), 133–146.
- SPINDLER, K., 1981: Zur absoluten Chronologie der Hallstattkultur. *Die Hallstattkultur, Symposium Steyr 1980*, Linz, 47–64.
- SPURK, M., FRIEDRICH, M., HOFMAN, J., REMMELE, S., FRENZEL, B., LEUSCHNER, H.H., KROMER, B., 1998: Revisions and extensions of the Hohenheim oak and pine chronologies — new evidence about the timing of the younger Dryas/Preboreal-transition. *Radiocarbon* 40 (3).
- STANKIEWICZ, J., 1956: Zabytki architektury i budownictwa na Żuławach. *Rocznik Gdański* 15/16, 511–542.
- STĘPIEŃ, W., 1998: Wczesnośredniowieczny port w Pucku. W: GROTH, A. (red.): *Historia Pucka*. Gdańsk: Marpress, 36–54.
- SWACZYNA, I., 1992: Wybrane cechy konstrukcji jako kryterium identyfikacji mebli zabytkowych. Warszawa: Wyd. SGGW, 100.
- SWITSUR, V.R., WATERHOUSE, J.S., FIELD, E.M., CARTER, A.H.C., 1996: Climatic signals from stable isotopes in oak tree rings from East Anglia, Great Britain. In: DEAN, J.S., MEKO, M.M., SWETMAN, T.W. (eds.): *Tree rings, environment, and humanity*. Tucson: Radiocarbon, 637–645.
- SZYMCZAK, A., 1996: Łodzie dłubanki ze zbiorów szczecińskich. *Materiały Zachodniopomorskie* 42.
- SZYMCZAK, A., 1998: Łodzie-dłubanki z Pomorza. *Acta Archaeologica Pomorania* 1, 245–264.
- ŚLIWIŃSKI, B., 1998: Dzieje Pucka w świetle najstarszych źródeł pisanych (do 1308 r.). W: GROTH, A. (red.): *Historia Pucka*. Gdańsk: Marpress, 55–68.
- ŚMIGIELSKI, W., 1991: Grody kultury łużyckiej w Wielkopolsce. Wstęp do problematyki. W: Jaskanis, J. (red.): *Prahisteryczny gród w Biskupinie. Problematyka osiedli obronnych na początku epoki żelaza*. Warszawa: PWN, 23–35.
- TISJE, H., 1991: Holzbohrprobenentnahme zur dendrochronologischen Datierung. In: *Dendrochronologische Datierung von Nadelhölzern in der Hausforschung Süddeutschland und angrenzende Gebiete*. Großweil: Freundeskreis Freilichtmuseum Südbayern e.V. Schriftenreihe H. 10, 48–50.
- TOPHAM, J., McCORMICK, D., 1998: A dendrochronological investigation of British stringed instruments of the violin family. *Journal of Archaeological Science* 25, 1149–1157.
- TOPHAM, J., McCORMICK, D., 2000: A dendrochronological investigation of stringed instruments of the Cremonese School (1666–1757) including “The Messiah” violin attributed to Antonio Stradivari. *Journal of Archaeological Science* 27, 183–192.
- TYERS, I., 1994: Dendrochronology of Roman and early medieval ships. In: MARSDEN, P.: *Ships of the port of London: first to eleventh centuries AD*. English Heritage Arch. Rep. 3, 201–210.

- TYERS, I., 1996: Dendrochronology of shipping from London, twelfth to seventeenth centuries. In: MARSDEN, P.: Ships of the port of London: twelfth to seventeenth centuries AD. English Heritage Arch. Rep. 5, 185–198.
- TYERS, I., 1997: Dendro for Windows program guide. ARCUS Rep. 340.
- TYERS, I., 1998: Beech dendrochronology. W: NAYLING, N.: The Magor Pill medieval wreck. Council for British Archaeology Research Report 115, 123–128.
- UFNAŁSKI, K., 1996: Wpływ temperatury i opadów na przyrosty roczne dębu bezszypułkowego (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) w Wielkopolskim i Wolińskim Parku Narodowym. Morena — Prace i Materiały Wielkopolskiego Parku Narodowego, z. 4, 37–46.
- WAŻNY, T., 1990: Aufbau und Anwendung der Dendrochronologie für Eichenholz in Polen. Diss. Univ. Hamburg, 213.
- WAŻNY, T., 1992: Historical timber trade and its implications on dendrochronological dating. In: BARTHOLIN, T.S., BERGLUND, B.E., ECKSTEIN, D., SCHWEINGRUBER, F.H. (eds.): Proc. Symposium „Tree Rings and Environment”, Lundqua Report 34, 331–333.
- WAŻNY, T., 1993: Dendrochronological dating of the Lusatian culture settlement at Biskupin, Poland — first results. News WARP 14, 3–5.
- WAŻNY, T., 1994: Dendrochronology of Biskupin — absolute dating of the early iron-age settlement. Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Biological Sciences, vol. 42, No. 3, 283–289.
- WAŻNY, T., 1997: Analiza dendrochronologiczna drzewostanu z parku pałacowego w Wolborzu (woj. piotrkowskie). Niepubl. manuskrypt.
- WAŻNY, T., 1998: Badania dendrochronologiczne „pomostów” w Świętym Gaju i w Nowcu, woj. elbląskie. W: URBAŃCZYK, P. (red.): Adalberus. Wyniki programu badań interdyscyplinarnych. Warszawa: Inst. Archeol. i Etnol. PAN, 99–106.
- WAŻNY, T., 1998: Dendrochronologische Datierungen an frühmittelalterlichen Burgwällen in Nord-Masowien. In: DULINICZ, M., HENNING, J. (eds.): Frühgeschichtliche Burgen Masowiens. Ergebnisse der deutsch-polnischen Untersuchung. Frankfurt am Main, (im Druck).
- WAŻNY, T., 2000: Czy dendrochronologia jest wiarygodna? W: SAMSONOWICZ, H. (red.): Ziemia polska w X wieku i ich znaczenie w kształtowaniu się nowej mapy Europy. Kraków: Universitas, 399–404.
- WAŻNY, T., BONDE, N., DALY, A., 1999: Dendrochronological analysis of the shipwreck „Gdańsk Orunia 1”, Poland. Nationalmuseets Naturvidenskabelige Undersøgelser rapport nr. 44, 17.
- WAŻNY, T., ECKSTEIN, D., 1987: Der Holzhandel von Danzig/Gdansk — Geschichte, Umfang und Reichweite. Holz Roh- u. Werkstoff 45, 509–513.
- WAŻNY, T., ECKSTEIN, D., 1991: The dendrochronological signal of oak (*Quercus spp.*) in Poland. Dendrochronologia 9, 35–49.



- WAŻNY, T., KOSIOREK, A., 1998: Dendrochronological dating of Carpathian icons. European Conference of Dendrochronology, Kaunas, Lithuania.
- WAŻNY, T., PIOTROWSKI, W., ZAJĄCZKOWSKI, W., 1994: Biskupin i dendrochronologia. *Żnińskie Zeszyty Historyczne* 12, 4–14.
- WÄCHTER, W.W., 1983: Buchrestaurierung. Leipzig: VEB Fachbuchverlag, 242.
- WORBES, M., 1988: Variety in structure of annual growth zones in *Tabebuia barbata* (E. Mey) Sandw., Bignoniaceae, a tropical tree species from Central Amazonian inundation forest. *Dendrochronologia* 6, 71–89.
- WORBES, M., 1992: Occurrence of seasonal climate and tree-ring research in the tropics. In: BARTHOLIN, T.S., BERGLUND, B.E., ECKSTEIN, D., SCHWEINGRUBER, F.H. (eds.): Proc. Symposium „Tree Rings and Environment”, Lundqua Report 34, 338–342.
- WROBEL, S., HOLST, J.CHR., ECKSTEIN, D., 1993: Holz im Hausbau — Dendrochronologisch-bauhistorische Reihenuntersuchungen zum Hausbau des 13.–17. Jahrhunderts in Lübeck. In: HAMMEL-KIESOW, R., (eds.): Wege zur Erforschung städtischer Häuser und Höfe. Neumünster: K. Wachholtz Verl., 183–249.
- YANOSKY, T.M., CLEAVELAND, M.K. 1998: Tree rings in hydrological studies. In: Herschy, R.W., Fairbridge, R.W., (eds.): Encyclopedia of Hydrology and Water Resources. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 650–655.
- ZBIERSKI, A., 1978: Rozwój przestrzenny Gdańska w IX–XIII w. W: CIEŚLAK, E. (red.): Historia Gdańska, t. 1, Gdańsk: Wyd. Morskie, 71–125.
- ZETTERBERG, P., ERONEN, M., BRIFFA, K., 1994: Evidence on climatic variability and prehistoric human activities between 165 BC and AD 1400 derived from subfossil Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) found in a lake in Utsjoki, northernmost Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 66, 107–124.
- ZIELSKI, A., 1990: Tysiącletnia chronologia sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) na obszarze ziemi chełmińskiej i północnych Kujaw w świetle badań dendrochronologicznych. *Zesz. Nauk. Pol. Śl. Ser. Mat.-Fiz.* 61, 175–188.
- ZIELSKI, A., 1992: Long term chronology of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in northern part of Poland. *Dendrochronologia* 10, 77–90.
- ZIELSKI, A., 1993: Szerokość drewna bielastego u sosny (*Pinus sylvestris* L.) jako wskaźnik siedliskowy w badaniach dendrochronologicznych. *AUNC Biologia* 46, z. 86, 227–244.
- ZIELSKI, A., 1997: Uwarunkowania środowiskowe przyrostów radialnych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce Północnej na podstawie wielowiekowej chronologii. Toruń: Wyd. UMK, 127.
- ZINKIEWICZ, W., 1946: Badania nad wartoscia przyrostu rocznego drzew dla studiów nad wahaniami klimatycznymi. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Polonia*, Vol. I, 6, 178–228.
- ŻYGULSKI, Z. jun., 1981: Bitwa pod Orszą — struktura obrazu. *Rocznik Historii Sztuki* 12, 85–132.

Muzeum  
Archeologiczne  
w Gdańsku



ISBN 83-85824-31-6