

DENDROCHRONOLOGIA I JEJ ZASTOSOWANIE W KONTEKŚCIE ANALIZ PRZYRODNICZYCH

Rafał Sobczak✉, Cezary Beker, Roman Jaszczak, Mieczysław Turski

Katedra Urządzania Lasu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznań

ABSTRAKT

Celem pracy było przedstawienie możliwości wykorzystania dendrochronologii w badaniach interdyscyplinarnych. Zaprezentowano jej rys historyczny, metodykę badań i zastosowania w geologii, archeologii czy klimatologii. Przytoczono wyniki przykładowych analiz przyrostowych związanych z wpływem czynników biotycznych, abiotycznych i antropogenicznych. Wskazano na znaczenie dendrochronologii w edukacji przyrodniczej i ochronie przyrody. Szerokie jej zastosowanie, w połączeniu z rozwojem techniki, może dać wymierne korzyści w interpretacji zjawisk przyrodniczych.

Słowa kluczowe: dendrochronologia, archeologia, geologia, klimatologia, analiza przyrostowa

WSTĘP

Niewątpliwie w świecie nauki wzbudza coraz więcej uwagi znaczenie analiz przyrodniczych w celu rekonstrukcji oraz modelowania przyszłych zdarzeń i można się spodziewać, że zainteresowanie tą formą zdobywania danych będzie rosło, zważywszy na dokładność otrzymywanych informacji. Wiedza uzyskana o chronologiach zdarzeń w naturze, ich wpływie na życie człowieka i otaczające go środowisko jest motorem napędowym analiz przyrodniczych. Dendrochronologia jest jedną z gałęzi dendrologii, służących zdobywaniu informacji do inwentaryzacji i monitoringu przyrodniczego poprzez interpretację słoików rocznych drewna.

Dendrochronologia to dział nauki i metoda datowania wieku zjawisk przyrodniczych, zawierających drewno budowli z różnych epok historycznych i znalezisk archeologicznych, opierająca się na analizie przyrostów rocznych (słoików drewna), których szerokość zależy od warunków pogodowych (Zielski i Krąpiec,

2004). Uważa się ją za jedną z dokładniejszych metod ustalania wieku na podstawie obserwacji szerokości słoików rocznych drzew. To dzięki biologicznym właściwościom drewna, będącego efektem podziału kambium, istnieje możliwość ustalenia dokładnej daty drzewa czy warunków klimatycznych oddziałujących na dane drzewo (Krąpiec i Ważny, 1994). Dziś dendrochronologia znajduje zastosowanie w geologii, archeologii czy klimatologii. Dzięki dendrochronologii w dokładny sposób można poznać dzieje starych grodów, lokalną historię, czy też na przykład prześledzić rozwój górnictwa na danym obszarze (Szychowska-Krąpiec, 2006).

Celem pracy jest przybliżenie możliwości wykorzystania dendrochronologii do zrozumienia przyrody i poznania historii oraz zapoznanie z dorobkiem tej gałęzi dendrologii na podstawie wybranych prac badaczy zarówno polskich, jak i zagranicznych.

✉sobczakrafau@interia.pl

ZARYS HISTORYCZNY DENDROCHRONOLOGII

Początki dendrochronologii przypadają na lata życia amerykańskiego astronoma Andrewa Ellicotta Douglasa (XX wiek). Pracując nad zagadnieniem określenia wpływu aktywności słońca na zjawiska klimatyczne, zaobserwował on podobieństwo w przyrostach rocznych drzew rosnących w podobnych warunkach siedliskowych. Jego spostrzeżenie dało początek datowaniu obiektów, które rozwinęło się pod wpływem szczególnego zainteresowania metodą ze strony archeologów (Douglas 1971 za Krapiec i Ważny, 1994). Podwaliny pod europejską dendrochronologię dał niemiecki botanik Bruno Huber. W Polsce tę część dendrologii znano już przed II wojną światową, jednakże dopiero po jej zakończeniu pojawiły się prace Zimkiewicza [1946] oraz Ermicha [1953]. Wspomniani autorzy są prekursorami dendroklimatologii w Polsce (Krapiec i Ważny, 1994). Dynamiczny rozwój dendrochronologii przypada jednak na lata osiemdziesiąte XX wieku, co wiąże się z powstaniem pracowni dendrochronologicznych: na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu, Politechnice Śląskiej w Gliwicach, Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie i Akademii Sztuk Pięknych w Warszawie. Prowadzone w tych ośrodkach badania pozwoliły na zdefiniowanie długoletnich skal standardowych (Krapiec i Ważny, 1994).

PODSTAWY METODYKI BADAŃ DENDROCHRONOLOGICZNYCH

Dendrochronologia, jak wynika z definicji, to gałąź dendrologii zajmująca się analizą przyrostów rocznych drzewa. Jednym z celów tej metody jest skorelowanie lat kalendarzowych z przyrostami rocznymi (datowanie bezwzględne). Przyrosty roczne są w każdym roku kalendarzowym wytworem tkanki twórczej (kambium). Szerokość słoja jest wypadkową siedliska, czynników abiotycznych, biotycznych, antropogenicznych, uwarunkowań genetycznych i pozycji biosocjalnej w drzewostanie, a same słoje są odkładane wokół osi drzewa, którą jest rdzeń. Każde drzewo ma swój charakterystyczny układ, który kryje informacje o warunkach klimatycznych (Nöjd i in., 2017). Uwzględniając parametry klimatyczne (termiczne i pluwialne), w analizie tego układu pomocne są wyizolowane lata

wskaźnikowe charakteryzujące się pozytywną lub negatywną reakcją przyrostową. Zielski i Krapiec (2004) porównują ten układ do kodu kreskowego używanego między innymi w handlu.

U gatunków iglastych wyróżnia się drewno o cienkich ściankach komórkowych – drewno wczesne oraz drewno o grubych ścianach komórkowych – drewno późne. U gatunków liściastych występuje podział ze względu na rozmieszczenie i rozmiar elementów przewodzących. W ten sposób wyróżniono gatunki pierścieniowo-naczyniowe i rozpierchło-naczyniowe. W badaniach dendrochronologicznych najbardziej przydatne ze względu na budowę są gatunki pierścieniowo-naczyniowe. W stosunku do nich gatunki rozpierchło-naczyniowe cechują się znacznie większą nieregularnością przyrostów oraz częstszymi aberracjami przyrostu. Najpoważniejszymi nieprawidłowościami utrudniającymi datowanie są brakujące słoje lub przeciwnie – podwójne słoje, określane fałszywymi. Znikające słoje i anomalie drewna wykazano między innymi w badaniach Koprowskiego i in. (2011), w których za pomocą metod datowania dendrochronologicznego udało się ustalić przyczynę oraz miesiąc i rok wystąpienia mrozu, który spowodował deformacje pni sosen. Innymi skrajnymi anomaliami zapisanymi w słojach drewna są trzęsienia ziemi. Ruchy tektoniczne w Polsce charakteryzują się małą magnitudą, więc dość dobrze zauważa się reakcję drzew na to wydarzenie, co tym samym umożliwia datowanie podobnych zdarzeń z przeszłości (Michałowicz i in., 2014). Niegdyś drzewa żywicowano, taki zabieg także „miał odbicie” w wielkości przyrostów słoje rocznych (Szychowska-Krapiec, 1996).

Pobrane próby drewna są podstawą wnioskowania o wieku: budowli, konstrukcji, kawałka drewna, czy też części z drzewa. Każda próba, która będzie użyta w datowaniu powinna się cechować minimalną liczbą słoików – 50 (z wyjątkiem drewna dębowego z 30 pierścieniami) oraz przejrzystością struktury drewna. Analiza prób polega na obserwacji zmiany szerokości słoików rocznych, które rejestruje się na sporządzonym dendrogramie. Używając specjalnej aparatury i specjalistycznego oprogramowania komputerowego. mierzy szerokość słoików. Za narzędzie do datowania drewna może posłużyć chronologia standardowa, którą tworzy się przez uśrednienie przyrostów jednowiekowych. Uzyskujemy w ten sposób rozkład możliwie

najdłuższy, konstruowany za pomocą skorelowania coraz to starszych sekwencji, począwszy od przyrostu drzew rosnących współcześnie (metoda pomostowa). Metoda polega na nakładaniu skal dendrochronologicznych. Ze względu na lokalny klimat konstruuje się inne standardy dla każdego taksonu.

Ponadto w datowaniu można używać metody opierającej się na określaniu stosunku radioaktywnego izotopu węgla ^{14}C do izotopu stabilnego ^{12}C . Ta metoda jest także znana jako datowanie radiowęglowe. To własność tego pierwszego wymienionego izotopu pozwala datować przedmioty: *jest [on] stale produkowany w górnych warstwach atmosfery dzięki promieniowaniu kosmicznemu i występuje głównie w postaci dwutlenku węgla. Wszystkie żyjące organizmy asymilują węgiel otrzymywany przez fotosyntezę i łańcuch pokarmowy, w tym nieznaczne ilości izotopu ^{14}C . W związku z tym przez cały okres życia proporcja $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ jest stała i taka sama, jak w atmosferze. Śmierć organizmu przerywa absorpcję węgla ^{14}C ; rozpoczyna się zmniejszanie jego ilości, spowodowane rozpadem promieniotwórczym* (Dulinicz i Ważny, 2004).

Dulinicz i Ważny (2004) wskazują też na możliwości datowania badanego materiału za pomocą pomiaru emisji cząstek beta. Związane to jest z czasem połowicznego rozpadu ^{14}C , który wynosi 5730 beta/min/g. Dalsze określenie wieku za pomocą metody radiowęglowej jest możliwe za pomocą krzywej kalibracyjnej (pomiar koncentracji ^{14}C w słojach rocznych). Wspomniani autorzy szacują dokładność określania wieku za pomocą tej metody w zależności od wieku badanego materiału. A samo oszacowanie można przeprowadzić z dokładnością $\pm 10\text{--}50$ lat. Istotę badań dendrochronologicznych omówili wnikliwie Krąpiec i Ważny (1994) oraz Zielski i Krąpiec (2004).

PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA BADAŃ DENDROCHRONOLOGICZNYCH

Dendrochronologia należy do badań interdyscyplinarnych, a jej zastosowanie jest różnorakie. Dzięki niej możemy odtworzyć obraz przeszłych zdarzeń związanych z czynnikami: abiotycznymi, biotycznymi i antropogenicznymi. Poniżej przedstawiono przykłady badań i zastosowań dendrochronologii.

Podjmując analizę słoików rocznych drewna, mamy możliwość odtwarzania i rekonstruowania wszelkiego

rodzaju zaburzeń ekosystemów, takich jak: gradacje owadów (Beker, 1995; 1996; Okoński i in., 2014), powodzie (Pohl i in., 2006) czy lawiny kształtujące niekiedy górną granicę lasu (Laska i Kaczka, 2010). Badania dendrochronologiczne mogą pomóc w określeniu momentu, w którym czynnik patogeniczny zaatakował drzewo. Dobrym tego przykładem są prace przeprowadzone przez Kowalskiego i Bednarza (2012) na jesionie wyniosłym w Nadleśnictwie Białowieża. Powodem śmiertelności drzew okazała się infekcja *Chalara fraxinea*. Badania prowadzono na drzewach, których aparat asymilacyjny był zredukowany do 60%. Dzięki analizom dendrochronologicznym udało się ustalić powiązanie między zmniejszeniem się przyrostu radialnego a pojawieniem się na terenie Polski czynnika chorobotwórczego, który jest uważany za główną przyczynę pomoru jesionów.

Na podstawie badań dendrochronologicznych, w połączeniu z klimatologią, jesteśmy w stanie odpowiedzieć na pytanie jak poszczególne miesiące i warunki panujące w tym okresie wpływają na przyrost (Baraniak i in., 2014). Tym samym w wyniku analiz dendrochronologicznych możemy ustalić oddziaływanie temperatury i warunków pluwialnych na bieżący roczny przyrost piersnicy między innymi sosny zwyczajnej, gatunku tak ważnego w Polsce (Beker, 1995; 1996; 1999). W kraju wyodrębniono dziewięć regionów dendroklimatycznych. W dużej mierze łączy się je z regionami klimatycznymi. W ich obrębie stwierdzono podobny rytm zmian wielkości przyrostu radialnego sosny (Wilczyński i in., 2001). Cedro (2001) w badaniach nad sosną dowodzi, iż chłodna zima i zimna wiosna mają ogromny wpływ na szerokość jej słoja oraz roczną dynamikę wzrostu. Przeciwnie oddziałują opady w czerwcu i lipcu oraz lutym w roku poprzedzającym przyrost. W badaniach prowadzonych w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym SGGW w Rogowie stwierdzono, iż największe znaczenie w kontekście przyrostu sosny ma temperatura lutego oraz marca – to okres i ciepłota determinujące dalszy wzrost. W mniejszym stopniu rzutują na wzrost opady atmosferyczne, ale bardzo pozytywne działanie mają obfite deszcze w maju, czerwcu i lipcu. Warto wspomnieć, że Tulik i Bijak (2016) nie wykazali decydującego wpływu suszy na zamieranie dębu szypułkowego w Polsce. Badano także modrzew. Mimo jego mrozoodporności, do jego wzrostu istotny jest

brak przymrozków w okresie marca. Tę wiedzę można więc wykorzystywać w szkółkarstwie, w masowej produkcji materiału sadzeniowego.

Badania Bijaka (2013) dowodzą, że największe znaczenie dla dynamiki wzrostu ma temperatura okresu zimy i przedwiośnia – oczywiście z pewnymi wyjątkami, natomiast w mniejszym stopniu na przyrost wpływają opady atmosferyczne. Ponadto dzięki badaniom ekologii gatunku można byłoby docenić w gospodarstwie leśnym inne gatunki, np. choinę zachodnią, dla której istotne znaczenie mają temperatury stycznia i lutego oraz opady w lipcu i lutym (Koprowski, 2008). Inne prace, dotyczące lipy, ukazują istotność warunków klimatycznych panujących w lecie i jesieni poprzedzającej przyrost. Zaobserwowano pozytywny wpływ niskiej temperatury w grudniu i lutym. Dzięki takim obserwacjom można stwierdzić przynależność lipy do gatunków, dla których znacznie ma hartowanie. Badania tego typu są uzupełnieniem studiów nad ekologią gatunków. Na podstawie analizy słoju rocznych istnieje możliwość korzystniejszego dostosowania składów gatunkowych do wymagań siedliskowych. Niewątpliwie w czasach szczególnego ukierunkowania na działania z zakresu ochrony przyrody najlepszą rekomendacją poprawy jakości środowiska, w którym żyjemy są efekty pracy leśników i specjalistów zajmujących się tym zagadnieniem. Dobrym odniesieniem są drzewa pomnikowe, dzięki którym można popularyzować wiedzę przyrodniczą oraz zagadnienia związane z ochroną przyrody i środowiska naturalnego. Za pomocą metod datowania dendrochronologicznego można zwiększyć zakres ochrony o drzewa, które nie mają znacznych rozmiarów, natomiast są już osobnikami wiekowymi. Tym sposobem można by objąć ochroną pomnikową te gatunki, które rzadko osiągają duże wymiary i są gatunkami pospolitymi. I przeciwnie, można uniknąć sytuacji, w których, w sprzyjających warunkach siedliskowych, młode egzemplarze, np. dęby, osiągają znaczne rozmiary, ale nie są wiekowe. Przykładem są dęby rosnące w Mikołajkach przy placu 1 Maja (Kasprzak, 2011; Szychowska-Krąpiec, 1996).

W ochronie środowiska dendrochronologia także pozostaje nauką wciąż niedocenioną. Dzięki analizie przyrostu radialnego można określić stopień postępu rewitalizacji terenów objętych wcześniej emisjami przemysłowymi. Polepszające się warunki

atmosferyczne skutkują zwiększonym przyrostem radialnym drzew. Dendrochronologia stwarza możliwości monitoringu biologicznego, np. w drzewostanach mieszanych rosnących na terenach o dużym wpływie przemysłu, dzięki analizie ekologii gatunków i odporności na zanieczyszczenia. Ostatnimi czasy w Polsce dyskutowane jest szeroko zagadnienie smogu. Rutkiewicz i in. (2016), badając słoje roczne świerków w Zakopanem, stwierdzili zmniejszone ich przyrosty jako reakcje na zanieczyszczenia powietrza. Zauważyli oni dwa okresy, które odbiły się negatywnie na przyrostach rocznych. Pierwszy przypada na lata siedemdziesiąte XX wieku, a drugi trwa po dziś dzień, począwszy od 2007 roku. Wymienieni autorzy stwierdzili w badaniach przyczynę redukcji przyrostów, wskazując na emisje zanieczyszczeń. Wykazali korelację między podwyższoną zawartością pyłu w atmosferze a zwiększoną zachorowalnością na raka płuc. Dowiedli więc wartościowej, ostrzegawczej funkcji słoju. Nie tylko pełnią one rolę wskaźnikową, ale z kilkuletnim wyprzedzeniem mogą prognozować możliwe pogorszenie się warunków, a tym samym wystąpienie zagrożenia dla zdrowia i życia człowieka (Malik i in., 2012). Na układzie słoju „odciska się” nie tylko zanieczyszczenie środowiska naturalnego, wzrost liczby ludności, ale niekiedy także niebezpieczne zbliżanie się osiedli ludzkich do stromych zboczy gór czy wzniesień. Czy pamiętamy, że budownictwo komunikacyjne czy użytkowe w sąsiedztwie ruchomych stoków może doprowadzić do katastrofy (Krzyk i in., 2010). Remisz (2012), w badaniach wzniesień Ostrzycy i Kalwarii na Pogórzu Kaczawskim, dowodzi o możliwości stwierdzenia aktywności zboczy i stoków. Aktywność można odczytać na podstawie zranień drzew, czy też złomów i wywrotów, ale także anomalii słoju rocznych. Anormalność bowiem przejawia się w ich asymetryczności. Łącząc obserwacje słoju z klimatologią, można zdiagnozować obfite deszcze w przeszłości jako przyczyny aktywności osuwisk. Analiza dendrochronologiczna, w połączeniu z innymi metodami, daje możliwość oceny aktywności geomorfologicznej i uzyskania pełnego obrazu zagrożenia osuwania się zboczy.

Słoje roczne, niczym archiwum, przechowują informacje o działaniu emisji przemysłowych na ich przyrost. Sensuła i in. (2015), na podstawie kompleksowej analizy czynników wpływających na wzrost

sosny zwyczajnej w zasięgu oddziaływania Huty Katowice, ustalili zmniejszenie przyrostu szerokości sło-
jów rocznych w latach 1960–1980. Wertz i Wilczyński
(2012) stwierdzili zdecydowanie większą podatność
na zanieczyszczenia przemysłowe jodły pospolitej
w porównaniu z dużo mniej wrażliwym modrzewiem
europejskim. Ferretti i in. (2002) wskazują
w tym aspekcie na częste trudności interpretacyjne ze
względu na brak danych referencyjnych i nieprawidłowe
analizy statystyczne. Dodatkowo poznanie tak
ważnych zagadnień umożliwi analizę długotermino-
wej dynamiki ekosystemów w relacji do występujących
i rozciągniętych w czasie zaburzeń naturalnych.
W dobie tak wielu dyskusji o zmianach klimatu także
dendrochronologia, w połączeniu z innymi źródłami
wiedzy, może posłużyć jako narzędzie do zdobywania
informacji o zmianach, które się już dokonały, ale tak-
że pozwoli modelować przyszłe zdarzenia zachodzące
w klimacie (Treydte i in., 2009).

Na podstawie wiedzy o wrażliwości sło-
jów rocznych na zmieniającą się temperaturę w konkretnych
miesiącach podejmuje się próby odtworzenia prze-
biegu temperatury w ciągu setek lat. Takie informacje
uzyskano, badając roczne przyrosty świerka (Young-
blut i Luckman, 2008). Ukierunkowanie badań den-
drochronologicznych zależy od potrzeb ich benefi-
cjentów. Na przykład indyjscy badacze skupili się na
prześledzeniu zapisu w słojach rocznych dwóch lo-
kalnych taksonów w celu określenia zmienności mon-
sunów. W wyniku tych badań, na podstawie sło-
jów 100–120-letnich drzew, udało się odtworzyć przebieg
wiatrów, dzięki czemu badacze zakładają możliwość
przewidywania ukształtowania się klimatu regionu
centralnych Indii (Shah i in., 2007).

Dendrochronologia jest metodą badawczą o szer-
okim zastosowaniu. Oprócz wymienionych zasto-
sowań, Koprowski (2008), za pomocą analizy przy-
rostów rocznych i porównania cech biometrycznych
szyszek, był w stanie określić, w jaki sposób spro-
wadzone na teren Pomorza świerki zaadaptowały się
do warunków lokalnych. Dzięki tego typu badaniom
istnieje możliwość określenia proveniencji lokalnej
populacji osobniczej.

Niewątpliwie coraz większe znaczenie zyskuje
edukacja przyrodnicza. Analizę sło-
jów rocznych także można wykorzystać z powodzeniem w kształce-
niu społeczeństwa. Warto byłoby jednak zerwać ze

stereotypowym schematem liczenia sło-
jów na ściętym pniu. W popularyzacji wiedzy można wykorzystać
pobieranie próbek świdrem Presslera oraz analizę ma-
teriału badawczego, w zależności od wieku i stopnia
zainteresowania odbiorców (Chojnacka-Ożga i Ożga,
2015).

Wszystkie przytoczone przykłady obrazują jak
bardzo wszechstronną i interdyscyplinarną metodą ba-
dawczą jest dendrochronologia. Szerokie jej zasto-
sowanie, w połączeniu z rozwojem techniki, może przy-
nieść wymierne korzyści w postaci lepszego poznania
historii czy działania sił przyrody, ale też pozwoli mo-
delować kierunek zmian klimatu. Dendrochronologia
jest także przydatnym narzędziem w szacowaniu bio-
masy (Worbes i Raschke, 2012).

PIŚMIENNICTWO

- Baraniak, J., Wilczyński, S., Krąpiec, M. (2014). Dendro-
chronologia lipy drobnolistnej (*Tilia cordata* Mill.)
z południowej Polski. *Stud. Mater. Cent. Eduk. Przyr.-
-Leśn.*, 16, 40/3, 74–80.
- Beker, C. (1995). Przyrost pierśnicy w drzewostanach so-
snowych młodszych klas wieku. *Sylvan*, 5, 61–70.
- Beker, C. (1996). Przyrost pierśnicowy w drzewostanach
sosnowych starszych klas wieku. *Sylvan*, 1, 81–91.
- Beker, C. (1999). Wpływ warunków meteorologicznych na
przyrost sosny. W: *Klimatyczne uwarunkowania życia
lasu* (s. 77–86). Kraków: PTL.
- Bijak, S. (2013). Sygnał klimatyczny w przyroście radial-
nym wybranych iglastych gatunków drzew w Leśnym
Zakładzie Doświadczalnym Rogów. *Leśn. Pr. Bad.*,
74(2), 101–110.
- Cedro, A. (2001). Dependence of radial growth of *Pinus sy-
lvestris* L. from Western Pomerania on the rainfall and
temperature conditions. *Geochronometria*, 20, 69–74.
- Chojnacka-Ożga, L., Ożga, W. (2015). Możliwości wyko-
rzystania dendrochronologii w edukacji przyrodniczej.
Stud. Mater. Cent. Eduk. Przyr.-Leśn., 17, 43/2, 16–23.
- Dulinicz, M., Ważny, T. (2004). Dendrochronologia w dato-
waniu mazowieckich grodzisk. *Rocz. Mazow.*, 16, 9–27.
- Ferretti, M., Innes, J. L., Jalkanen, R., Saurer, M., Schäffer,
J., Spiecker, H., Wilpert, K. (2002). Air pollution and
environmental chemistry – what role for tree-ring stud-
ies. *Dendrochronologia*, 20/1–2, 159–174.
- Kasprzak, K. (2011). Drzewa – pomniki przyrody i pamiątki
kultury. *Turyst. Kultur.*, 4, 17–38. Pobrano z: www.turystykakulturowa.org.

- Koprowski, M. (2008). Dendrochronologiczna analiza przyrostów rocznych świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karsten) poza naturalnym zasięgiem a cechy biometryczne szyszek. *Sylvan*, 3, 50–57.
- Koprowski, M., Zielski, A., Skowronek, T. (2011). Analiza przyrostów rocznych sosen (*Pinus sylvestris* L.) o nietypowej budowie strzały na terenie Nadleśnictwa Borne Sulinowo. *Sylvan*, 155(8), 555–562.
- Kowalski, F., Bednarz, B. (2012). Chronologie słoju rocznych jesionów wyniosłych (*Fraxinus excelsior* L.) z objawami defoliacji spowodowanej przez grzyb *Chalara fraxinea* w Nadleśnictwie Białowieża. *Episteme*, 15, 337–344.
- Krąpiec, M., Ważny, T. (1994). Dendrochronologia: podstawy metodyczne i stan zaawansowania badań w Polsce. *Światowit*, 39, 193–214.
- Krzyk, P., Maślanka, M., Kotuła, Ł. (2010). Problematyka osuwisk w planowaniu przestrzennym. *Probl. Rozw. Miast*, 4, 68–93.
- Laska, M., Kaczka, R. J. (2010). Dendrochronologiczna rekonstrukcja lawin w Tatrach Wysokich. W: *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a człowiek. T. 1. Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem* (s. 89–94). Zakopane.
- Malik, I., Danek, M., Marchwińska-Wyrwał, E., Danek, T., Wistuba, M., Krąpiec, M., Woskowicz-Ślęzak, B. (2012). Czasowe relacje pomiędzy redukcjami przyrostów rocznych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) oraz śmiertelnością niemowląt pod wpływem zanieczyszczeń atmosferycznych – przykład z województwa śląskiego. *Ochr. Środ. Zasob. Natur.*, 54, 248–260.
- Michałowicz, P., Malik, I., Wistuba, M. (2014). Dendrochronologiczny zapis niewielkich trzęsień ziemi występujących na Podhalu. *Stud. Mater. Cent. Eduk. Przyr.-Leśn.*, 16, 40/3, 203–210.
- Okoński, B., Miller, A. T., Czerniak, A., Grajewski, S., Duszynski, P. (2014). Oddziaływania gradacji brudnicy mniszki (*Lymantria monacha* L.) na przyrosty promieniowe sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Puszczy Noteckiej. *Stud. Mater. Cent. Eduk. Przyr.-Leśn.*, 16, 39/2B, 103–109.
- Nöjd, P., Korpela, M., Hari, P., Rannik, U., Sulkava, M., Hollmén, J., Mäkinen, H. (2017). Effects of precipitation and temperature on the growth variation of Scots pine – A case study at two extreme sites in Finland. *Dendrochronologia*, 46, 35–45.
- Pohl, K., Hadley, K., Arabas, K. (2006). Decoupling tree – ring signatures of climate variation, fire and insect outbreaks in Central Oregon. *Tree-Ring Res.*, 62(2), 37–50.
- Remisz, J. (2012). Morfogenetyka stoków usypiskowych Ostrzycy i Kalwarii k. Barda (Sudety). *Stud. Mater. Cent. Eduk. Przyr.-Leśn.*, 14, 1(30), 176–184.
- Rutkiewicz, P., Malik, I., Wistuba, M. (2016). Redukcje przyrostów rocznych świerka pospolitego na tle zmian zanieczyszczenia powietrza w relacji do liczby zachorowań ludzi – przykład z Zakopanego. *Stud. Mater. Cent. Eduk. Przyr.-Leśn.*, 18, 48/3, 194–200.
- Sensuła, B., Opała, M., Wilczyński, S., Pawełczyk, S. (2015). Long- and short-term incremental response of *Pinus sylvestris* L. from industrial area nearby steelworks in Silesian Upland, Poland. *Dendrochronologia*, 36, 1–12.
- Shah, S. K., Bhattacharyya, A., Chaudhary, V. (2007). Reconstruction of June-September precipitation based on tree-ring data of teak (*Tectona grandis* L.) from Hoshangabad, Madhya Pradesh, India. *Dendrochronologia*, 25, 57–64.
- Szychowska-Krąpiec, E. (1996). Dendrochronologiczna ocena wieku pomnikowych drzew w województwie Suwalskim. *Ochr. Przyr.*, 53, 155–163.
- Szychowska-Krąpiec, E. (2006). Analiza dendrochronologiczna drewna ze sztolni w Marcinkowie. *Pr. Nauk. Inst. Górn. Polit. Wroc.*, 117.
- Treydte, K., Frank, D. C., Saurer, M., Helle, G., Schleser, G. H., Esper, J. (2009). Impact of climate and CO₂ on a millenium-long tree-ring carbon isotope record. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 73, 4635–4647.
- Tulik, M., Bijak, S. (2016). Are climatic factors responsible for the process of oak decline in Poland? *Dendrochronologia*, 38, 18–25.
- Wertz, B., Wilczyński, S. (2012). Dendrochronologiczna ocena zmian przyrostu radialnego jodły (*Abies alba* Mill.) i modrzewia (*Larix decidua* Mill.) znajdujących się pod wpływem imisji. *Stud. Mater. Cent. Eduk. Przyr.-Leśn.*, 14, 1(30), 88–98.
- Wilczyński, S., Krąpiec, M., Szychowska-Krąpiec, E., Zielski, A. (2001). Regiony dendroklimatyczne sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce. *Sylvan*, 8, 53–61.
- Worbes, M., Raschke, N. (2012). Carbon allocation in Costa Rica dry forest derived from tree ring analysis. *Dendrochronologia*, 30, 231–238.
- Youngblut, D., Luckman, B. (2008). Maximum June-July temperatures in the southwest Yukon over the last 300 years reconstructed from tree rings. *Dendrochronology*, 25, 153–166.
- Zielski, A., Krąpiec, M. (2004). *Dendrochronologia*. Warszawa: Wyd. Nauk. PWN.

DENDROCHRONOLOGY AND ITS APPLICATION IN THE CONTEXT OF NATURAL ANALYSES

ABSTRACT

The aim of this paper was to present the possibility of using dendrochronology in an interdisciplinary research. A historical outline of this branch of dendrology, the methodology of dendrochronology and its application in geology, archeology and climatology are presented. The results of exemplary incremental analyses related to the influence of biotic, abiotic, and anthropogenic factors were cited. The importance of dendrochronology in nature education and nature conservation has been highlighted. Widespread use, coupled with the development of technology can give measurable benefits in the interpretation of natural phenomena.

Keywords: dendrochronology, archeology, geology, climatology, incremental analysis