

Wpływ warunków klimatycznych na szerokość przyrostu rocznego jarzębu brekinii (*Sorbus torminalis* L.) w Wielkopolsce*

The influence of climatic conditions on the tree-ring width of wild service trees (*Sorbus torminalis* L.) in Wielkopolska

Anna Cedro

Uniwersytet Szczeciński, Wydział Nauk o Ziemi, Zakład Klimatologii i Meteorologii Morskiej, Al. Mickiewicza 16, 70-383 Szczecin

Tel. + 48 91 4442529, e-mail: anna.cedro@univ.szczecin.pl

Abstract. The wild service tree (*Sorbus torminalis* L.) is a very rare tree species in Poland, which also represents the north-eastern border of its natural range. The majority of this species' stands is found in Wielkopolska. This study was aimed at examining the relationships between growth and climate for trees of the species *Sorbus torminalis* L. growing in the Wielkopolski National Park and the forest district Pniewy (Wielkopolska). Samples for the analysis were taken from 63 trees. However, taking into account the missing growth rings and difficult identification of the tree-ring borders in sapwood, only ca. 30% of the samples could be synchronized and dated accurately. Applying classic methods of dendrochronological dating, a 94-year STW chronology was constructed, spanning the years 1920–2013. The chronology, in turn, was used as a basis for dendroclimatological analyses including correlation, response function and pointer years. Climatic data used in the analyses came from the meteorological station in Poznań; providing air temperature and precipitation for a period of 66 years (1948–2013) and 48 years of insolation data (1966–2013). Insolation had the highest negative and precipitation the highest positive impact on the annual growth in May and June. Positive pointer years could be linked to humid months with low insolation during the growth season, while negative pointer years are characterized by deficient precipitation, a large number of sunny hours and high air temperatures in the summer months.

Keywords: dendroclimatology, *Sorbus torminalis* L., Poland

*Tezy zawarte w niniejszym artykule zostały zaprezentowane na II Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej pt. „Klimatyczne uwarunkowania życia lasu”, zorganizowanej przez SGGW – Wydział Leśny, w Rogowie w dniach 16–17 czerwca 2015 r.

1. Wstęp

Jarząb brekinia (*Sorbus torminalis* L.) jest gatunkiem szeroko rozpowszechnionym w Europie: od północnej Afryki, poprzez Hiszpanię, Anglię do południowej Szwecji oraz od europejskich wybrzeży Atlantyku po północny Iran (Roper 1993; Mitchell 1996; Paganova 2007). Jarząb najczęściej występuje pojedynczo lub w małych izolowanych grupach drzew (Demesure-Musch, Oddou-Muratorio 2004; Pyttel et al. 2013; Rasmussen, Kollmann 2004).

Jarząb brekinia jest jednym z najrzadszych drzew liściastych w Polsce, rośnie jedynie na 84 naturalnych stanowiskach, a liczbę drzew szacuje się na około 3500 okazów, bez podrostu i siewek (Bednorz 2004, 2010). Gatunek ten osiąga północno-wschodnią granicę zasięgu. Występuje głównie w zachodniej części Polski, a najwięcej stanowisk znajduje

się na terenie Wielkopolski (Zajac M., Zajac A. 1997, 2001; Bednorz 2000; Bednorz, Jarosz 2000; Handkiewicz 2002; Szeszycki 2008). Uważany jest za drzewo ciepłolubne i odporne na suszę (Bednorz 2007, 2010; Szeszycki 2008). Celem pracy było zbadanie zależności 'przyrost – klimat' drzew *Sorbus torminalis* L. występujących na terenie Wielkopolski.

2. Materiał i metody

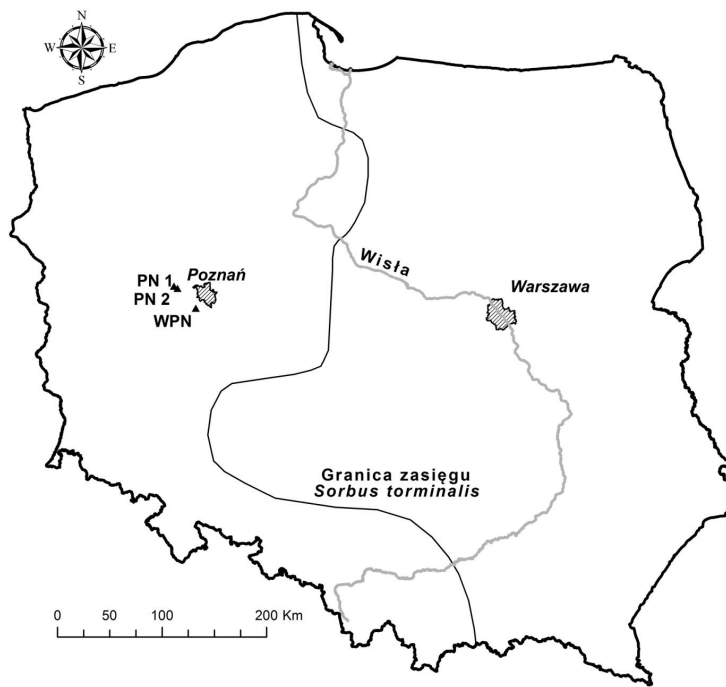
Przedmiotem badań były 63 drzewa *Sorbus torminalis* L. rosnące w rezerwach, Jakubowo, Bytyńskie Brzęki i Brzęki przy Starej Gajówce, w gminie Kaźmierz, na terenie Nadleśnictwa Pniewy oraz w Wielkopolskim Parku Narodowym (ryc. 1, tab. 1). Wszystkie badane stanowiska położone są na Pojezierzu Poznańskim, na wysokości 90–100 m n.p.m., na siedlisku lasu świeżego (Plan ochrony...

Wpłynęło: 25.11.2015 r., recenzowano: 29.01.2016 r., zaakceptowano: 3.02.2016 r.

Tabela 1. Wykaz i podstawowe informacje o powierzchniach badawczych

Table 1. List and basic information on study areas

Nr No.	Kod Lab. code	Nadleśnictwo Forest District	Rezerwat / Leśnictwo Reserve / For- est Subdistrict	Współrzędne geograficzne Geographic coordinates		Siedlisko Habitat	Wysokość m n.p.m. Altitude a.s.l. [m]	Liczba na- wierconych drzew No. of trees	Liczba prób No. of samples	Liczba zmiierzonych słojów No. of tree-rings
				φ (N)	λ (E)					
1	PN1	Pniewy	Rez. Jakubowo, Rez. Bytyńskie Brzęki	52°27'	16°31'	Lśw	100	24	45	2 789
2	PN2	Pniewy	Rez. Brzęki przy Starej Gajówce, Gmina Kaźmierz	52°28'	16°28'	Lśw	100	15	18	1 941
3	WPN	Wielkopolski Park Narodowy	Jeziory, Osowa Góra	52°17'	16°47'	Lśw	90	24	46	3 398
Razem Total								63	109	8 128

**Rycina 1. Lokalizacja powierzchni badawczych**
Figure 1. Location of study plots

1998, 1998, 2008). Próby pobierano na wysokości 1,3 m od poziomu gruntu, w miarę możliwości przewiercając drzewa „na wylot” i uzyskując po dwie próby z drzewa¹. Miejsce po nawierceniu zabezpieczano Lac-Balsamem i drewnianymi kołkami o takiej samej średnicy co wiertło. Próby po

¹ Na pobór prób uzyskano wymagane pozwolenia od: Generalnej Dyrekcji Lasów Państwowych, Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Poznaniu, Przewodniczącego Rady Gminy w Kaźmierzu, Dyrektora Wielkopolskiego Parku Narodowego i Ministra Środowiska.

przewiezieniu do laboratorium były wklejane w listewki, suszone i ścinane nożem w celu uzyskania czytelnego obrazu słojów rocznego przyrostu. W czasie pomiaru szerokości słojów napotkano wiele trudności, m.in. w identyfikacji granic przyrostu rocznego (szczególnie w obrębie bardzo jasnej warstwy bielastej) i bardzo dużej liczby słojów wypadających. W celu podkreślenia granic słojów w próby wcierano kredę piszącą, a pomiar wykonywano pod „filtrem wodnym” (tzn. nakładano na próbę warstwę wody), większość prób ze słojami wypadającymi (powyżej 4) eliminowano z dalszej analizy. Duża liczba słojów wypadających była

powodem niemożności wydatowania około 70% ciągów pomiarowych, pomimo znanej daty poboru próby. Szerokość przyrostu rocznego drzew mierzono z dokładnością do 0,01 mm przy wykorzystaniu binokularu, ruchomego stolika pomiarowego połączonego z licznikiem i oprogramowaniem Dendrometer (Mindur 2000). W sumie zmierzono 8128 słoży przyrostu rocznego (tab. 1). Następnie stosując klasyczne metody datowania (cross-dating method), współczynniki korelacji r , wartość t-testu Studenta ustalono chronologię. Poprawność chronologii testowano w programie Cofecha (Holmes 1983, 1994). Indeksacji i eliminacji trendu wiekowego dokonano według standardowych procedur w programie Arstan (Cook, Holmes 1886; Cook, Kairiukstis 1990). Obliczono także wskaźnik Exposed Population Signal (EPS), opisujący reprezentatywność badanych ciągów pomiarowych w charakterystyce zmienności reakcji badanej populacji (Wigley et al. 1984). Zestawiona chronologia była podstawą analiz dendroklimatologicznych: analizy korelacji i funkcji odpowiedzi oraz analizy lat wskaźnikowych, do których wykorzystano dane z najbliższej stacji meteorologicznej w Poznaniu, zlokalizowanej od około 15 do około 30 km od badanych powierzchni (dla temperatury powietrza i opadów atmosferycznych wykorzystując dane z 66 lat, tj.

1948–2013, a dla insolacji z 48 lat, tj. 1966–2013). Analizę korelacji i funkcji odpowiedzi wykonano przy wykorzystaniu programu Respo z pakietu DPL (Holmes 1983, 1994), przeprowadzając je w okresie 16 miesięcy od czerwca roku poprzedzającego przyrost (pJUN) do września aktualnego roku wegetacji (SEP). Lata wskaźnikowe (+, pozytywne cechujące się wzrostem szerokości przyrostu rocznego i -, negatywne charakteryzujące się spadkiem szerokości słoja) (Meyer 1997–1998) obliczono przy wykorzystaniu programu TCS (Walanus 2002) z minimum 10 drzew, przy minimalnym progu zgodności wynoszącym 90%.

3. Wyniki

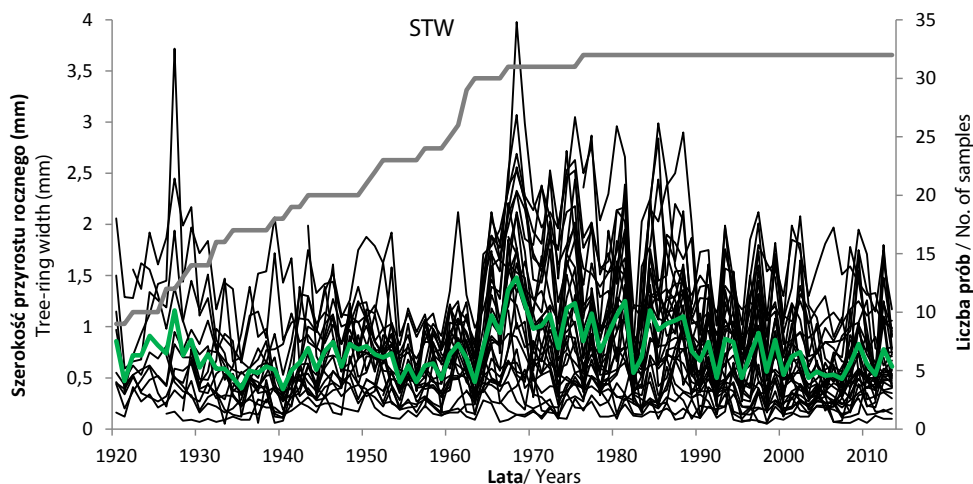
3.1. Chronologia

Chronologia o sygnaturze STW (*Sorbus torminalis* Wielkopolska) powstała poprzez uśrednienie 32 indywidualnych krzywych przyrostowych, liczy 94 lata w okresie 1920–2013 (ryc. 2, tab. 2). Średnia szerokość słoja badanych drzew wynosiła 0,77 mm, wahając się od 0,05 do 3,98 mm. Wskaźnik EPS na poziomie 0,90 osiągał wartość powyżej minimalnego progu wskazanego przez Wigleya i in. (1984).

Tabela 2. Dane statystyczne dla chronologii regionalnej STW (rzeczywistej i indeksowanej)

Table 2. Statistics for regional chronology STW (measured and indexed)

Kod Lab. code	Długość No. of years	Lata Time span	Liczba prób No. of samples	Średnia szerokość słoja [mm] Mean width tree -ring [mm]	Chronologia rzeczywista Measured chronology			Chronologia indeksowana Residual chronology		
					STD	ACI	MS	STD	ACI	MS
STW	94	1920–2013	32	0,77	0,461	0,649	0,357	0,200	-0,028	0,245



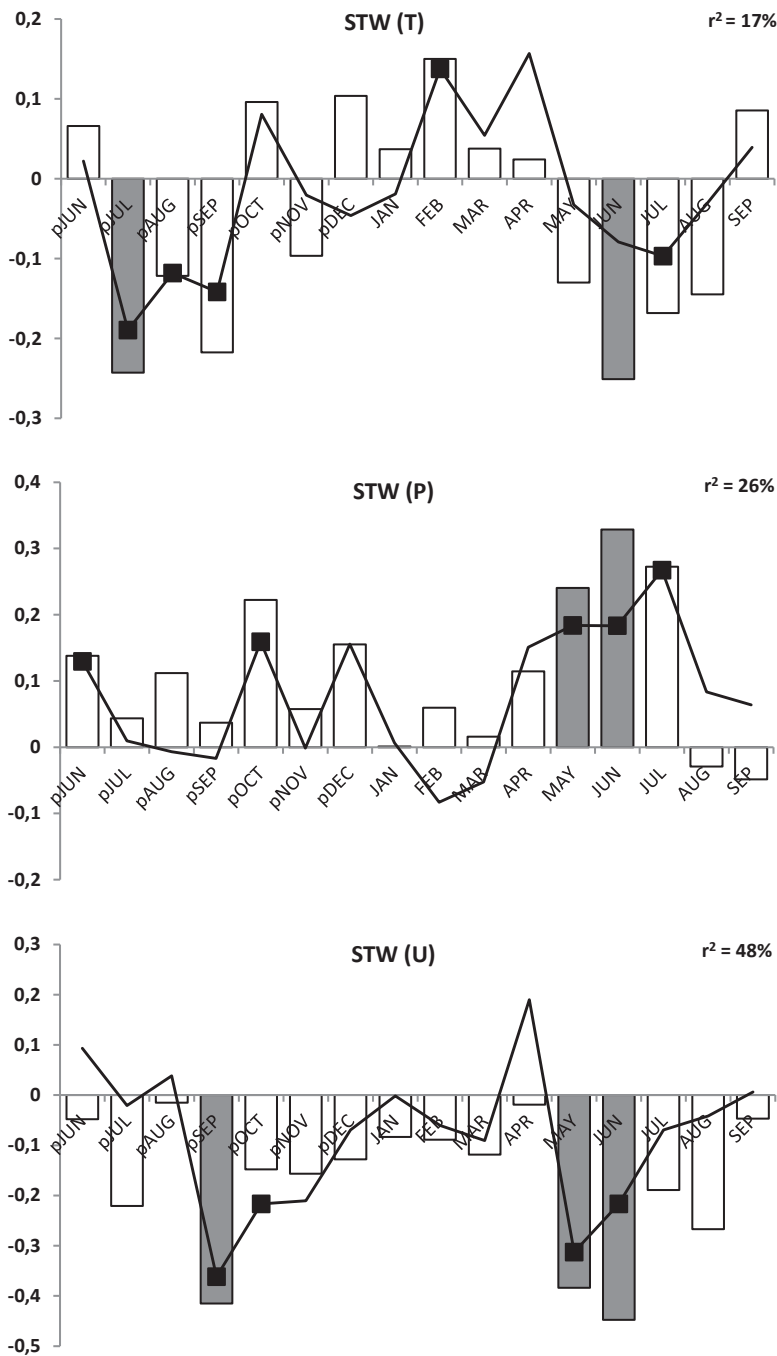
Rycina 2. Zestawienie krzywych dendrochronologicznych (linie czarne) wchodzących w skład chronologii regionalnej jarzębu dla obszaru Wielkopolski – STW (linia zielona), liczba prób wchodząca w skład chronologii (linia szara)

Figure 2. Dendrochronological curves (thin, black lines) making up regional wild service tree chronology for Wielkopolska – STW (green line); number of samples in regional chronology (grey line)

3.2. Analizy dendroklimatologiczne

Analiza korelacji i funkcji odpowiedzi wskazała na niewielką rolę przebiegu temperatury powietrza w procesie kształtowania się przyrostu rocznego (ryc. 3). Wśród obliczonych wskaźników dominowały wartości ujemne, które osiągały istotność statystyczną w lipcu, sierpniu i we wrześniu roku poprzedzającego przyrost oraz w czerwcu i lipcu bieżącego roku wegetacji. Tylko w lutym odnotowano dodatnią wartość współczynnika regresji. Silniejsze związki statystyczne stwierdzono w analizie ‘przyrost – opad’, dominowały dodatnie wartości obliczonych wskaźników, a wartości istotne statystycznie występowały w czerwcu i październiku po-

przedniego roku oraz w maju, czerwcu i lipcu aktualnego roku. Najwyższe wartości korelacji i regresji uzyskano dla usłonecznienia (liczba godzin ze słońcem), tak jak w przypadku temperatury występowały wartości ujemne we wrześniu i październiku roku ubiegłego oraz w maju i czerwcu bieżącego roku wegetacji. Najwyższy współczynnik determinacji obliczony został dla usłonecznienia (48%), niższy dla opadów atmosferycznych (26%), najniższy na poziomie 17% dla temperatury powietrza (ryc. 3). Podsumowując wyniki analizy korelacji i regresji, należy stwierdzić, że na szerokość przyrostu rocznego jarzębu brekinii w Wielkopolsce największy wpływ miały warunki meteorologiczne w okresie maj–lipiec, z najsilniejszymi zależnościami w czerwcu, tj.



Rycina 3. Wyniki analizy korelacji i funkcji odpowiedzi chronologii STW i temperatury powietrza (T), opadów atmosferycznych (P) oraz usłonecznienia (U); współczynniki korelacji prostej – słupki, współczynniki regresji wielokrotnej – linia ciągła; wartości istotne statystycznie przy $\alpha=0,05$ – czarne kwadraty i szare słupki, p – poprzedni rok

Figure 3. Results of correlation and response function analyses for STW chronology and air temperature (T) and precipitation (P) and insolation (U); bars denote correlation coefficients; line represents response function; significant values ($\alpha=0.05$) marked as black squares and gray bars; p – previous year

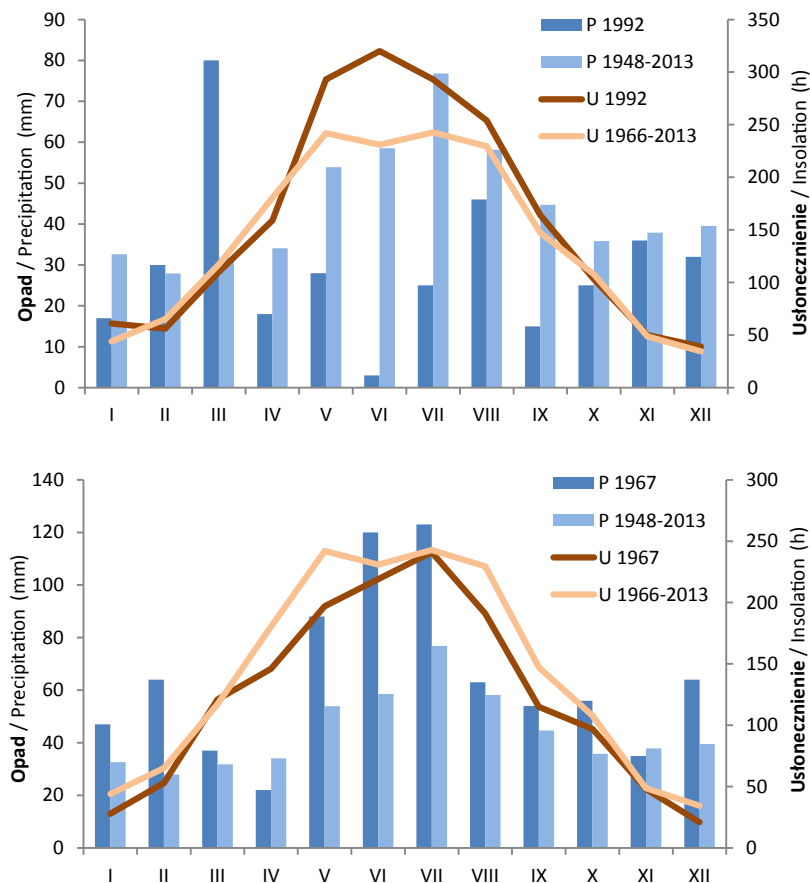
mała liczba godzin ze słońcem w tym okresie, wysokie opady i niższa od wartości średniej temperatura powietrza sprzyjały powstawaniu szerokich przyrostów rocznych.

Dla chronologii STW obliczono 27 lat wskaźnikowych, w tym 11 pozytywnych (1955, 1957, 1960, 1964, 1967, 1974, 1977, 1984, 1993, 1999 i 2001) i 16 lat negatywnych (1928, 1930, 1944, 1947, 1954, 1956, 1959, 1966, 1973, 1976, 1978, 1992, 1995, 1998, 2000 i 2003). Analiza warunków pogodowych w wyznaczonych latach wskaźnikowych pozwoliła powiązać pozytywne lata wskaźnikowe z okresami/latami o opadach powyżej normy, szczególnie z obfitymi opadami w okresie letnim oraz z niewielką liczbą godzin ze słońcem w miesiącach letnich. Negatywne lata wskaźnikowe to lata z niedoborem opadów w lecie, często z wysokimi temperaturami i usłonecznieniem w tych miesiącach. Przykładem lat wskaźnikowych mogą być lata 1967 (rok pozytywny) i 1992 (rok negatywny) (ryc. 4). Roczna suma opadów w 1967 roku w Poznaniu wynosiła 773 mm i była najwyższa z zanotowanych w okresie 1948–2013. Suma opadów prawie we wszystkich miesiącach była powyżej normy, jednak szczególnie miesiące letnie obfitowały w deszcz. Roczna suma godzin ze słońcem w tym roku wynosiła 1477, co było wartością dużo poniżej średniej dla wielolecia, także usłonecznienie w miesiącach letnich było poniżej wartości średnich. W roku 1992 roczna suma opadów atmosferycznych w Poznaniu wyniosła zaledwie 355 mm (przy średniej dla wielolecia 532 mm), a we wszystkich miesiącach okresu wegetacyjnego suma

opadów była poniżej normy (szczególnie suchy był czerwiec z opadem wynoszącym zaledwie 3 mm). Usłonecznienie w tym roku wyniosło 1902 godziny, przy średniej dla okresu 1966–2013 wynoszącej 1690 godzin. Liczba godzin ze słońcem była szczególnie duża w miesiącach maj–sierpień, z jedną z najwyższych notowanych wartości dla wielolecia w czerwcu (320 godzin). Dodatkowo miesiące letnie charakteryzowały się wysoką temperaturą powietrza (ze średnimi przekraczającymi 20°C w lipcu i sierpniu).

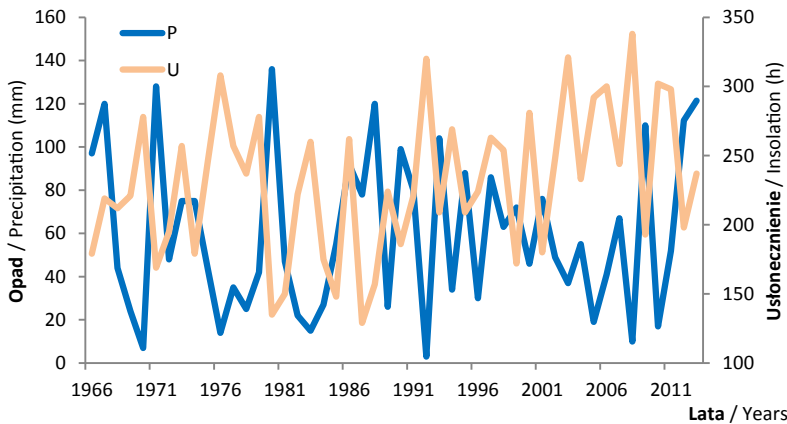
4. Dyskusja i podsumowanie

Usłonecznienie, czyli liczba godzin, podczas których tarcza słoneczna nie jest zasłonięta przez chmury, silnie wpływa na wszelkie procesy zachodzące w środowisku, w tym na procesy fizyczne, chemiczne i biologiczne. U roślin warunkuje m.in. przebieg wegetacji, efektywność fotosyntezy i procesy reprodukcji generatywnej. Usłonecznienie w naszej strefie klimatycznej zależy przede wszystkim od pory roku, zachmurzenia i zanieczyszczenia powietrza. Uznawane jest za najbardziej kompleksowy czynnik klimatu, odzwierciedlający warunki termiczne i opadowe oraz będące pochodną zachmurzenia (Koźmiński, Michalska 2005). Jednak w badaniach dendroklimatycznych ten czynnik klimatyczny jest rzadko wykorzystywany, chociaż jest on jednym z dominujących czynników warunkujących proces kształtowania się przyrostów rocznych drzew. Szczególnie liczba godzin ze



Rycina 4. Przebieg opadów atmosferycznych (*P*) i usłonecznienia (*U*) w pozytywnym roku wskaźnikowym (1967) i negatywnym roku wskaźnikowym (1992) w zestawieniu z przebiegiem średnich dla wielolecia dla stacji Poznań

Figure 4. Monthly sum of precipitation (*P*) and monthly insolation (*U*) in positive pointer year (1967), compared with mean values for 1966–2013 in Poznań



Rycina 5. Przebieg sum opadów i sum usłonecznienia w okresie 1966–2013 dla stacji Poznań w miesiącu czerwcu; P – opad, U – usłonecznienie

Figure 5. Monthly sum of precipitation (*P*) and monthly insolation (*U*) in time interval 1966–2013 from Poznań for June

słońcem w maju i czerwcu silnie wpływa na szerokość słoja u jarzębu brekinii. Usłonecznienie jest pochodną zachmurzenia, z którym nierozdzielnie związany jest najważniejszy z hydrometeorów – opad atmosferyczny. Im większe zachmurzenie, tym większe prawdopodobieństwo wystąpienia opadu, a tym samym zmniejsza się usłonecznienie. Dla opadu i usłonecznienia (stacja Poznań, okres: 1966–2013) notuje się ujemne korelacje, najniższe dla sum rocznych (-0,20), wyższe dla sum z poszczególnych miesięcy, w tym dla maja -0,38 i dla czerwca -0,59 (ryc. 5). Wynikiem tych zależności są przeciwstawne wskaźniki korelacji i regresji dla opadów i usłonecznienia w maju oraz czerwcu. Większa liczba godzin ze słońcem to także wzrost temperatury powietrza, czego wynikiem są obserwowane w podobnym okresie ujemne wartości korelacji i regresji dla tego czynnika klimatycznego.

Drzewa *Sorbus torminalis* są bardzo rzadko obiektem analiz dendrochronologicznych (Rasmussen 2007; Pyttel et al. 2011, 2013; Cedro 2014, 2015). W Niemczech i Danii analizy przeprowadzone na 15 stanowiskach na podstawie 75 drzew wskazują na dominującą rolę temperatury poprzedniego okresu letniego, a także na niektórych stanowiskach termiki miesięcy letnich roku powstawania przyrostu (przeważają negatywne wartości korelacji) w procesie kształtowania się przyrostu rocznego (Rasmussen 2007). Analiza pierśnicy, wysokości i wieku jarzębów z południowo-zachodnich Niemiec (80 drzew) wykazała ekstremalnie małe przyrosty tych drzew na wysokość i grubość. Według autorów jest to reakcja drzew na silną konkurencję i strategia przetrwania w niesprzyjających warunkach (Pyttel et al. 2011, 2013). Jednocześnie stwierdzono dużą cieniozoność tego gatunku, możliwość przetrwania, regeneracji i reprodukcji drzew podkapowych w zwartym drzewostanie. Cedro (2014, 2015) dla stanowisk z Polski stwierdza zależności 'przyrost – klimat' głównie dla roku poprzedzającego aktualny sezon wzrostu (dla opadów korelacje proste, a dla temperatur ujemne wartości wskaźników) oraz dla bieżącego roku wegetacji dla opadów także zależności proste.

Obecnie jarząb brekinia jest drzewem bardzo rzadkim, nie ma znaczenia gospodarczego oraz nieczęsto jest obiektem badań dendrochronologicznych. Jednak ocieplenie klimatu zmienia warunki życia drzew i jeśli nie zdążą się one przy-

stosować do tempa tych zmian, granice ich zasięgu mogą ulec przesunięciom w najbliższych dziesięcioleciach. Obecnie niszowe gatunki mogą wtedy zyskać na znaczeniu, rozszerzyć swój zasięg występowania i zwiększyć liczebność. Dlatego poszerzanie wiedzy o ekologii jarzębu brekinii, szczególnie przy granicy jego naturalnego zasięgu, gdzie drzewa wykazują największe możliwości adaptacyjne, jest niezwykle istotne w czasie wzmoczonej antropopresji na naturalne siedliska i zmian klimatu.

Konflikt interesów

Autorka deklaruje brak potencjalnych konfliktów.

Podziękowania i źródła finansowania

Projekt sfinansowano ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2011/03/B/ST10/06157.

Literatura

- Bednorz L. 2000. Zmienność morfologiczna jarzębu brekinii (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz) w Wielkopolskim Parku Narodowym. *Rocznik Dendrologiczny* 48: 35–43.
- Bednorz L. 2004. Rozmieszczenie i zasoby *Sorbus torminalis* (Rosaceae: Maloideae) w Polsce. *Fragmenta Floristica et Geobotanica Polonica* 11: 105–121.
- Bednorz L. 2007. The wild service tree *Sorbus torminalis* (L.) Crantz in plant communities of Poland. *Dendrobiology* 57: 49–54.
- Bednorz L. 2010. Jarząb brekinia *Sorbus torminalis* (L.) Crantz w Polsce. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Bednorz L., Jarosz Z. 2000. Jarząb brekinia *Sorbus torminalis* w Wielkopolskim Parku Narodowym. *Chrońmy Przyrodę Ojczyznę* 56(1): 118–120.
- Cedro A. 2014. Comparison of growth – climate relationship in two the rarest trees in Poland: yew (*Taxus baccata* L.) and wild service tree (*Sorbus torminalis* L.). IV International Yew Workshop, Monestir de Poblet, 23–25.10.2014 r., Spain, 26.
- Cedro A. 2015. Growth-climate relationships of wild service trees (*Sorbus torminalis* L.) in Poland – preliminary results. TRACE 2015, Sevilla, Spain, 20–23.05.2015 r.

- Cook E.R., Holmes R.L. 1986. Arstan. Guide for computer program Arstan. The University of Arizona, 50–65.
- Cook E.R., Kairiukstis A. 1992. Methods of dendrochronology. Kluwer Academic Publishers.
- Demesure-Musch B., Oddou-Muratorio S. 2004. EUFORGEN Technical guidelines for genetic conservation and use for wild service tree (*Sorbus torminalis*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, 1–6.
- Handkiewicz M. 2002. Jarzab brekinia w Wielkopolskim Parku Narodowym – fakty. *Morena* 9: 81–88.
- Holmes R.J. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69–78.
- Holmes R.J. 1994. Dendrochronology Program Library. Users Manual. University of Arizona, Tucson.
- Koźmiński Cz., Michalska B. 2005. Usłonecznienie w Polsce. Akademia Rolnicza w Szczecinie, Uniwersytet Szczeciński, ISBN 83-7317-026-X, 1–110.
- Meyer F.D. 1997–1998. Pointer years analysis in dendrochronology: a comparison of methods. *Dendrochronologia* 16-17: 193–204.
- Mindur B. 2000. Dendrometer 1,0. Kraków.
- Mitchell A. 1996. Alan Mitchell's Trees of Britain. Harper Collins Publishers.
- Paganova V. 2007. Ecology and distribution of *Sorbus torminalis* (L.) Crantz. in Slovakia. *Horticultural Science (Prague)* 34(4): 138–151.
- Pyttel P., Kunz J., Bauhus J. 2011. Age and growth of wild service tree (*Sorbus torminalis* (L.) Cranz) in former oak coppice forests in southwest Germany. *Tree Rings in Archeology, Climatology and Ecology* 9: 64–70.
- Pyttel P., Kunz J., Bauhus J. 2013. Growth, regeneration and shade tolerance of the Wild Service Tree (*Sorbus torminalis* (L.) Cranz) in aged oak coppice forests. *Trees* 27: 1609–1619.
- Rasmussen K.K. 2007. Dendroecological analysis of a rare sub-canopy tree: Effects of climate, latitude, habitat conditions and forest history. *Dendrochronologia* 25(1): 3–17.
- Rasmussen K.K., Kollmann J. 2004. Poor sexual reproduction on the distribution limit of the rare tree *Sorbus torminalis*. *Acta Oecologica* 25: 211–218.
- Roper P. 1993. The distribution of the Wild Service Tree, *Sorbus torminalis* (L.) Crantz, in the British Isles. *Watsonia* 19: 209–229.
- Szeszycki T. 2008. Jarzab brekinia – *Sorbus torminalis*, historia, hodowla, ochrona, przyszłość. Soft Vision: 1–138.
- Walanus A. 2002. Instrukcja obsługi programu TCS. Program TCS do obliczania lat wskaźnikowych. Kraków.
- Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. 1984. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23: 201–213.
- Zajac M., Zajac A. (red.) 1997. Atlas rozmieszczenia roślin naczyniowych chronionych w Polsce. Pracownia Chorologii Komputerowej Instytutu Botaniki Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 99 s.
- Zajac M., Zajac A. (red.) 2001. Atlas rozmieszczenia roślin naczyniowych w Polsce. Pracownia Chorologii Komputerowej Instytutu Botaniki Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 99 s.

Materiały źródłowe

- Plan Ochrony Rezerwatu Leśnego „Brzęki przy Starej Gajówce” na 20-lecie od 01.01.1997 r. do 31.12.2016 r. 1998. Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Poznaniu.
- Plan Ochrony Rezerwatu Leśnego „Jakubowo” na 20-lecie od 01.01.1997 r. do 31.12.2016 r. 1998. Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Poznaniu.
- Plan Ochrony Rezerwatu Przyrody „Bytyńskie Brzęki” położonego w Nadleśnictwie Pniewy sporządzony na okres od 1 stycznia 2009 r. do 31 grudnia 2028 r. 2008. Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Poznaniu.