

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

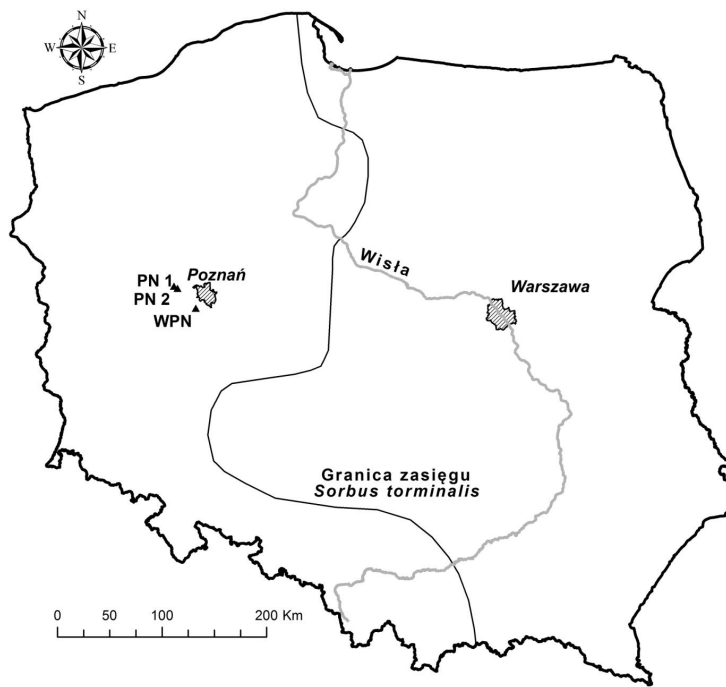
Przedmiotem badań były 63 drzewa *Sorbus torminalis* L. rosnące w rezerwach, Jakubowo, Bytyńskie Brzęki i Brzęki przy Starej Gajówce, w gminie Kaźmierz, na terenie Nadleśnictwa Pniewy oraz w Wielkopolskim Parku Narodowym (ryc. 1, tab. 1). Wszystkie badane stanowiska położone są na Pojezierzu Poznańskim, 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 / Forest Subdistrict	Współrzędne geograficzne Geographic coordinates		Siedlisko Habitat	Wysokość m n.p.m. Altitude a.s.l. [m]	Liczba nawierconych drzew No. of trees	Liczba prób No. of samples	Liczba zmierzonych słoików 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 słoików rocznego przyrostu. W czasie pomiaru szerokości słoików napotkano wiele trudności, m.in. w identyfikacji granic przyrostu rocznego (szczególnie w obrębie bardzo jasnej warstwy bielastej) i bardzo dużej liczby słoików wypadających. W celu podkreślenia granic słoików w próby wcierano kredę piszącą, a pomiar wykonywano pod „filtrem wodnym” (tzn. nakładano na próbę warstwę wody), większość prób ze słoikami wypadającymi (powyżej 4) eliminowano z dalszej analizy. Duża liczba słoików 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

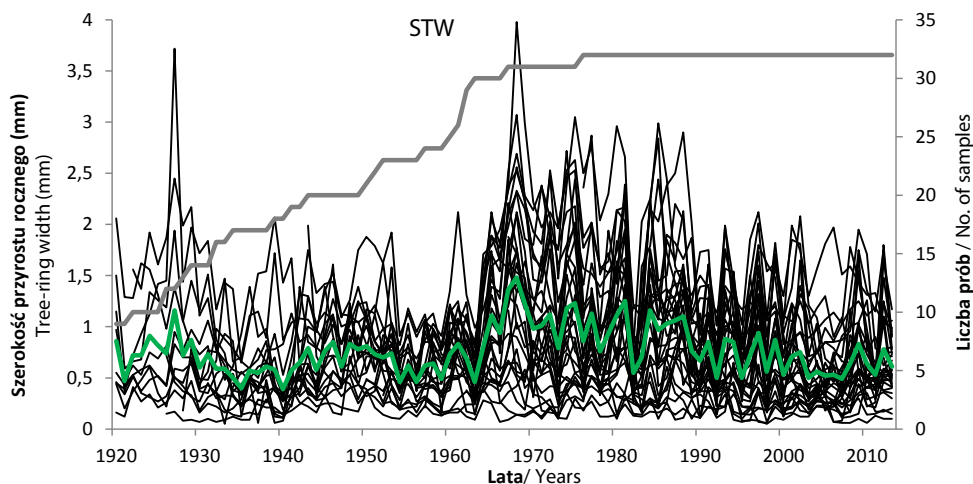
3.1. Chronologia

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



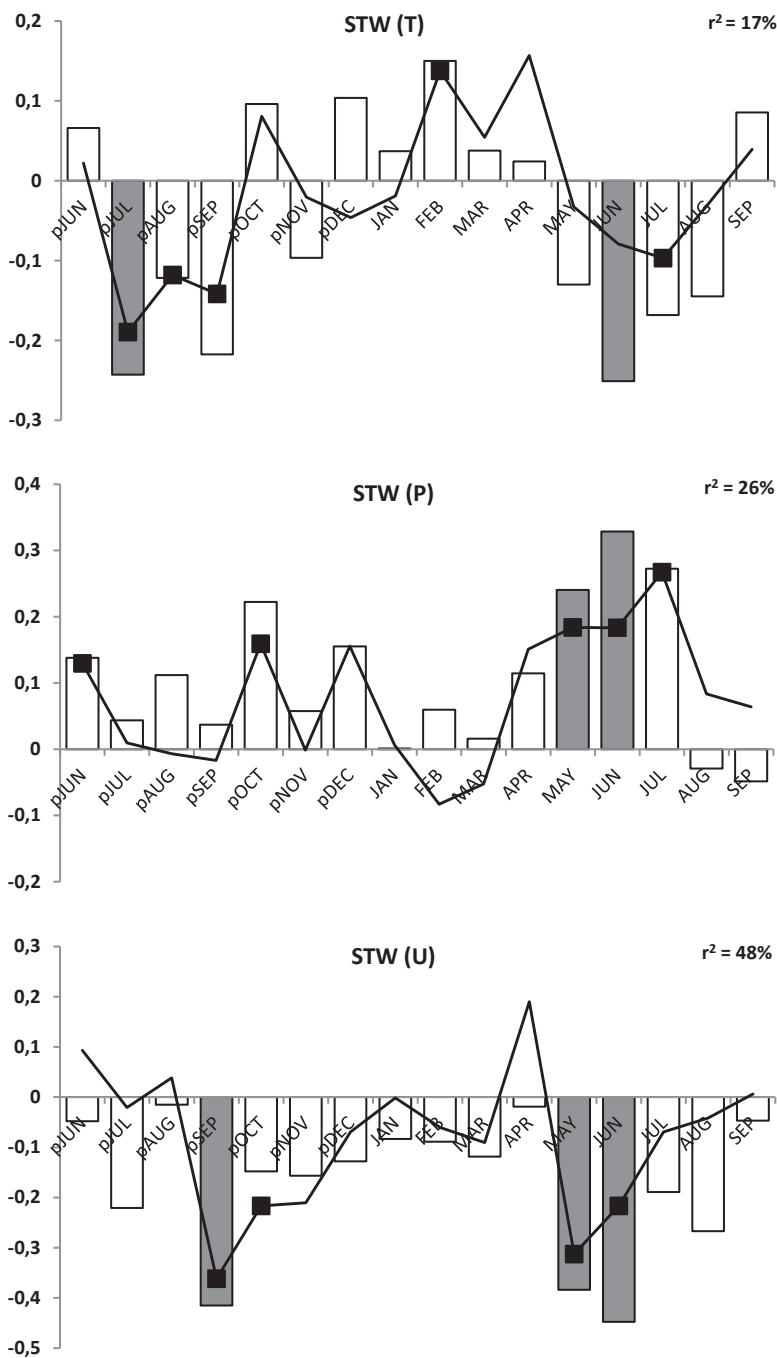
Rycina 2. Zestawienie krzywych dendrochronologicznych (linie czarne) wchodzących w skład chronologii regionalnej jarzębu dla obszaru Wielkopolski – STW (linia zielona), liczba prób wchodząca w skład chronologii (linia szara)

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

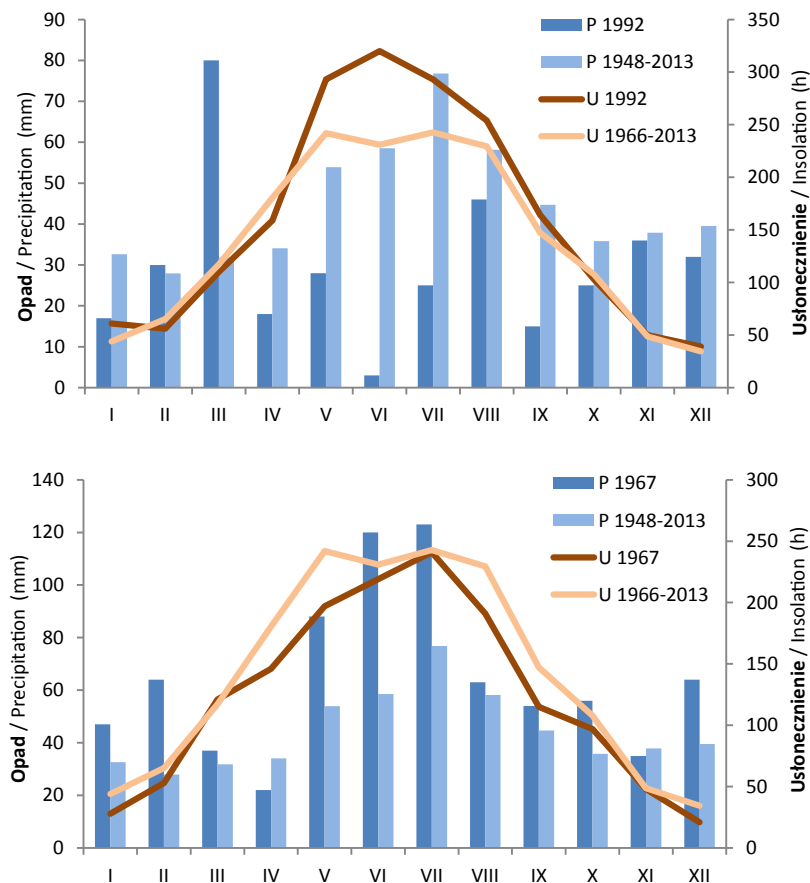
mała liczba godzin ze słońcem w tym okresie, wysokie opady i niższa od wartości średniej temperatura powietrza sprzyjały powstawaniu szerokich przyrostów rocznych.

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).

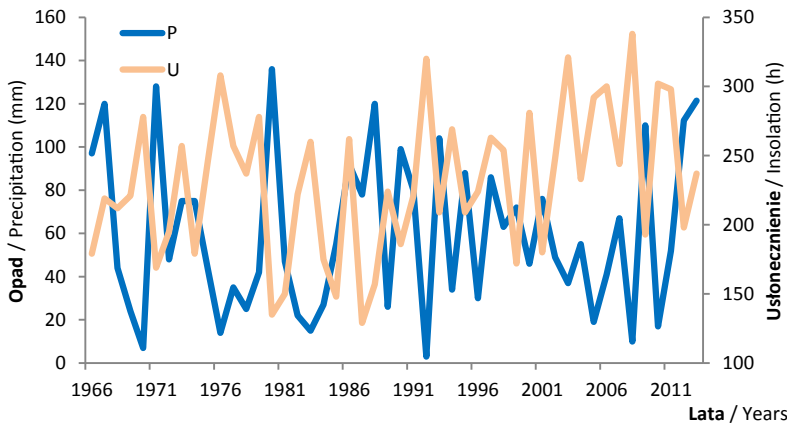
4. Dyskusja i podsumowanie

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 jarząg 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. Jarząg brekinia *Sorbus torminalis* (L.) Crantz w Polsce. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Bednorz L., Jarosz Z. 2000. Jarząg 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.

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

Anna Cedro

University of Szczecin, Faculty of Geoscience, Climatology and Marine Meteorology Unit, Al. Mickiewicza 16, 70–383 Szczecin, Poland

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, where it reaches 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 the growth and climate for trees of the species *Sorbus torminalis* L. growing in the Wielkopolska National Park and the Pniewy forest district (Wielkopolska). The samples for the analysis were taken from 63 trees. However, taking into account the missing growth rings and the difficult identification of the tree ring borders in sapwood, only ca. 30% of the samples could be synchronised and dated accurately. Applying the classic methods of dendrochronological dating, a 94-year STW chronology was constructed, spanning the years of 1920–2013. The chronology, in turn, was used as a basis for dendroclimatological analyses, including correlation, response function, and pointer years. The 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 impact and precipitation had 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 growing season, while negative pointer years are characterised by deficient precipitation, a large number of sunny hours, and high air temperatures in the summer months.

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

*The theses included in this article were presented at the II National Scientific Conference entitled 'The effect of climatic conditions on the life of the forest', organised by the Faculty of Forestry, Warsaw University of Life Sciences – SGGW in Rogów, Poland on 16–17 June 2015.

1. Introduction

The wild service tree (*Sorbus torminalis* L.) is a widespread species in Europe, from North Africa through Spain, England to southern Sweden, and from the European shores of the Atlantic to northern Iran (Roper, 1993; Mitchell, 1996; Paganova 2007). The wild service tree usually occurs singly or in small isolated groups (Demesure–Musch, Oddou–Muratorio 2004; Pyttel et al. 2013; Rasmussen, Kollmann 2004).

The wild service tree is one of the rarest deciduous trees in Poland, growing in only 84 natural sites, with its num-

bers estimated at about 3,500 specimens, with no saplings or seedlings (Bednorz 2004, 2010). The species reaches the north-eastern border of its range here, occurring mainly in the western part of Poland, with the greatest number of sites found in the Wielkopolska region (Zajac M., Zajac A. 1997, 2001; Bednorz 2000; Bednorz, Jarosz 2000; Handkiewicz 2002; Szeszycki 2008). It is known as a thermophilic and drought-resistant tree (Bednorz 2007, 2010; Szeszycki 2008). The aim of this study was to investigate the relationship between growth–climate of the *Sorbus torminalis* L. trees occurring in Wielkopolska.

Submitted: 25.11.2015, reviewed: 29.01.2016, accepted after revision: 3.02.2016.

Table 1. List and basic information on study areas

No.	Lab. code	Forest District	Reserve / Forest Subdistrict	Geographic coordinates		Habitat	Altitude a.s.l. [m]	No. of trees	No. of samples	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
Total								63	109	8 128

**Figure 1.** Location of study plots

2. Materials and methods

The study subjects were 63 *Sorbus torminalis* L. trees growing in the reserves of Jakubowo, Bytyńskie Brzęki, and Brzęki near Stara Gajówka, in Kaźmierz Township, the Pniewy Forest District and the Wielkopolska National Park (Fig. 1, Table 1). All study plots are located in the Poznań Lakeland, at a height of 90–100 m above the sea level, in fresh forest habitat (Protection Plan ... 1998, 1998, 2008). The samples were taken at 1.3 m above the ground

level, if possible, drilling through the tree and obtaining two samples per tree.¹ The drilled sites were secured with Lac Balsam and wooden pegs of the same diameter as the

¹Permission was required from the following institutions to collect the samples: The State Forests National Forest Holding, Regional Directorate for Environmental Protection in Poznań, Chairperson of the Township Council of Kaźmierz, Director of the Wielkopolska National Park and Minister of the Environment.

drill bit. After transporting the samples to the laboratory, they were glued to wooden core mounts, dried and sliced with a knife in order to obtain a clear picture of the annual growth from the tree rings. Many difficulties were encountered while measuring the width of the rings, such as, for example, identifying the boundaries of the annual growth (especially in the very light sapwood layer) and having a very large number of rings falling off. In order to better delineate the ring boundaries, the sample was rubbed with writing chalk and the measurements were taken under a 'water filter' (i.e., a layer of water was placed on the sample). Most of the samples where the rings had fallen off (more than four rings) were eliminated from further analysis. The large number of samples with missing rings was the reason for the inability to date about 70% of the measurement sequences, despite knowing the date of sampling. The width of the annual growth of trees was measured with an accuracy of 0.01 mm using a stereo microscope, a moveable measuring table connected to a meter and Dendrometer software (Mindur 2000).

A total of 8,128 rings of annual growth were measured (Table 1). Next, the chronology was established using the classic methods of dating (cross-dating method), the coefficients of correlation r , and the value of the Student's t -test. The correctness of this chronology was tested with

the Cofecha program (Holmes 1983, 1994). Indexing and eliminating the age trend were performed according to the standard procedures in the Arstan program (Cook, Holmes 1986 Cook, Kairiukstis 1990). We also calculated the Expressed Population Signal (EPS), describing the representativeness of the studied measurement sequences given the characteristic variability of the response of the study population (Wigley et al. 1984). The juxtaposed chronology was the basis of the dendroclimatological analyses: the analyses of the correlation and response function, as well as analyses of pointer years, for which data was used from the nearest meteorological station in Poznań, located about 15 to 30 km from the study plots (66 years of data, i.e., 1948–2013, were used for air temperature and precipitation, 48 years of data, i.e., 1966–2013, were used for insolation). The correlation analysis and response function were conducted using the RESPO program in the DPL package (Holmes 1983, 1994) within 16 months from June of the year preceding growth (pJUN) to September of the actual year of growth (SEP). Pointer years (+ positive, characterised by an increase in the width of annual growth and – negative, characterised by a decrease in the width of the tree ring) (Meyer 1997–1998) were calculated using the TCS program (Walanus 2002) with a minimum of 10 trees, with a minimum threshold of 90% compliance.

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

Lab. code	No. of years	Time span	No. of samples	Mean width tree-ring [mm]	Measured chronology			Residual chronology		
					<i>STD</i>	<i>ACI</i>	<i>MS</i>	<i>STD</i>	<i>ACI</i>	<i>MS</i>
STW	94	1920–2013	32	0.77	0.461	0.649	0.357	0.200	-0.028	0.245

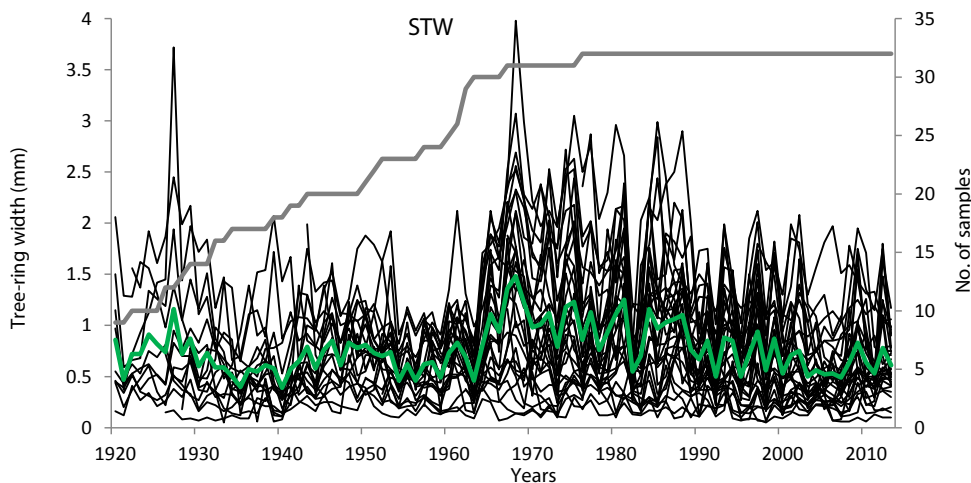


Figure 2. Dendrochronological curves (thin, black lines) making up regional wild service tree chronology for Wielkopolska – STW (green line); number of samples in regional chronology (grey line)

3. Results

3.1. Chronology

The chronology for the STW (*Sorbus torminalis* Wielkopolska) signature was established by averaging 32 individual growth curves, for 94 years from 1920–2013 (Fig. 2, Table 2). The mean width of the tree rings of the studied trees was 0.77 mm, ranging from 0.05 to 3.98 mm. An EPS

indicator of 0.90 was the value determined to be above the minimum threshold as indicated by Wigley et al. (1984).

3.2. Dendroclimatological analyses

The correlation analysis and response function indicated that the changes in the air temperature played only a small role in affecting the annual growth (Fig. 3). Negative values dominated among the calculated indicators, which reached

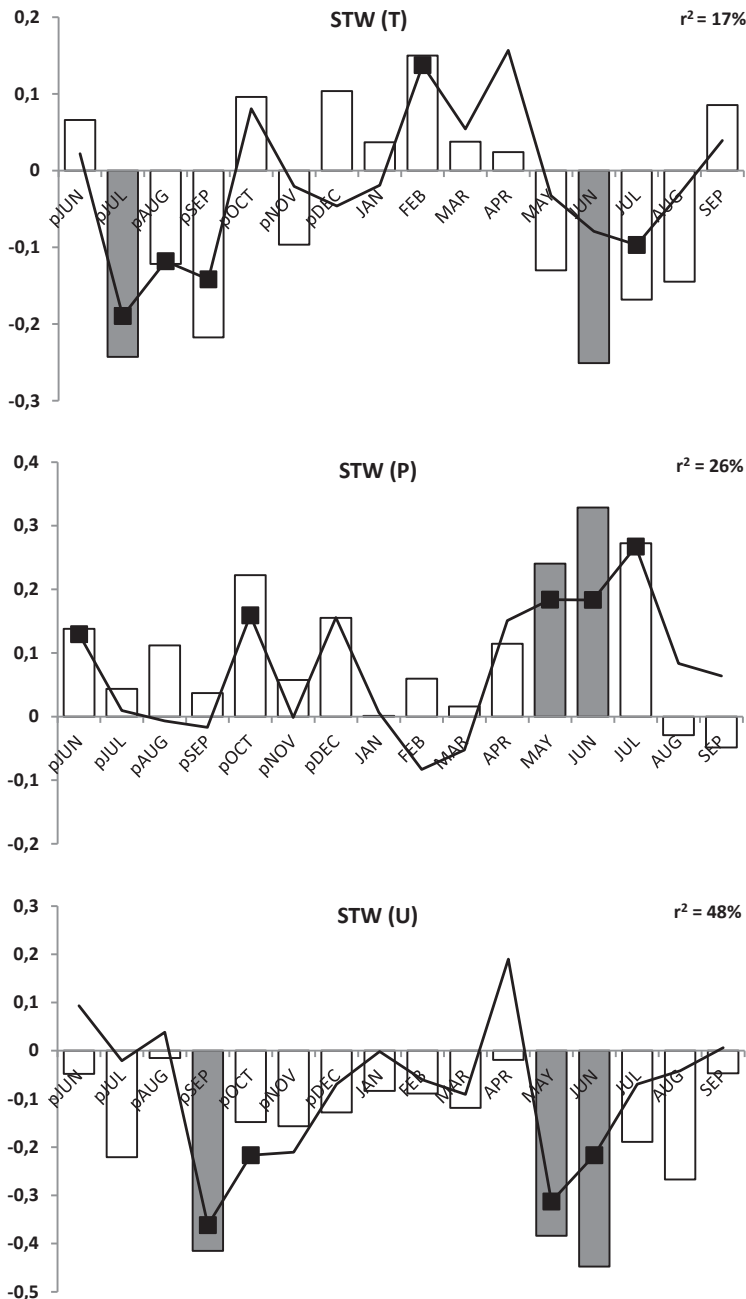


Figure 3. Results of correlation and response function analyses for STW chronology and air temperature (*T*) and precipitation (*P*) and insolation (*U*); bars denote correlation coefficients; line represents response function; significant values ($\alpha = 0.05$) marked as black squares and gray bars;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

statistical significance in July, August, and September of the year preceding the increase, and in June and July of the actual year of growth. A positive value for the regression coefficient was reported only for February. Stronger statistical relationships were found in the analysis of ‘growth–precipitation’. The positive values of the calculated indicators dominated, and statistically significant values occurred in June and October of the previous year, as well as in May, June, and July of the actual year of growth. The highest values of correlation and regression were obtained for insolation (number of hours of sunshine). As in the case of temperature, the negative values occurred for September and October of the previous year, as well as for May and June of the actual year of growth. The highest coefficient of determination was calculated for insolation (48%); it was lower for precipitation (26%), and lowest, at 17%, for air temperature (Fig. 3). In summarising the results of the correlation and regression analyses, it is clear that the increment of the annual growth of wild service trees in Wielkopolska was mainly influenced by the weather conditions during the period of May–July, with the strongest relationships in June, that is, a small number of hours of insolation during this period, high rainfall, and lower than the mean air temperature are conducive to the formation of wide annual growth increments.

27 pointer years were calculated for the STW chronology, including 11 positive years (1955, 1957, 1960, 1964, 1967, 1974, 1977, 1984, 1993, 1999, and 2001) and 16 negative years (1928, 1930, 1944, 1947, 1954, 1956, 1959, 1966, 1973, 1976, 1978, 1992, 1995, 1998, 2000, and 2003). The analysis of the weather conditions for the designated pointer years allowed us to associate the positive pointer years with periods/years of higher than normal precipitation, especially with heavy rainfall during summer and a small number of insolation hours in the summer months. The negative pointer years were those with deficient rainfall in summer, often with high temperatures and insolation during these months. Examples of pointer years could be 1967 (a positive year) and 1992 (a negative year) (Fig. 4). The annual rainfall in 1967 in Poznań was 773 mm, the highest on record for the period of 1948–2013. The total precipitation in almost all months was above normal; however, the summer months had particularly high amounts of rainfall. The total annual hours of insolation that year was 1,477, which was well below the mean multi-year value, and the number of insolation hours in summer was also below average. In 1992, the annual amount of precipitation in Poznań was only 355 mm (which had a multi-year mean of 532 mm), with rainfall continuing to be below normal during all of the months of the growing season (June was especially dry, with only 3 mm of

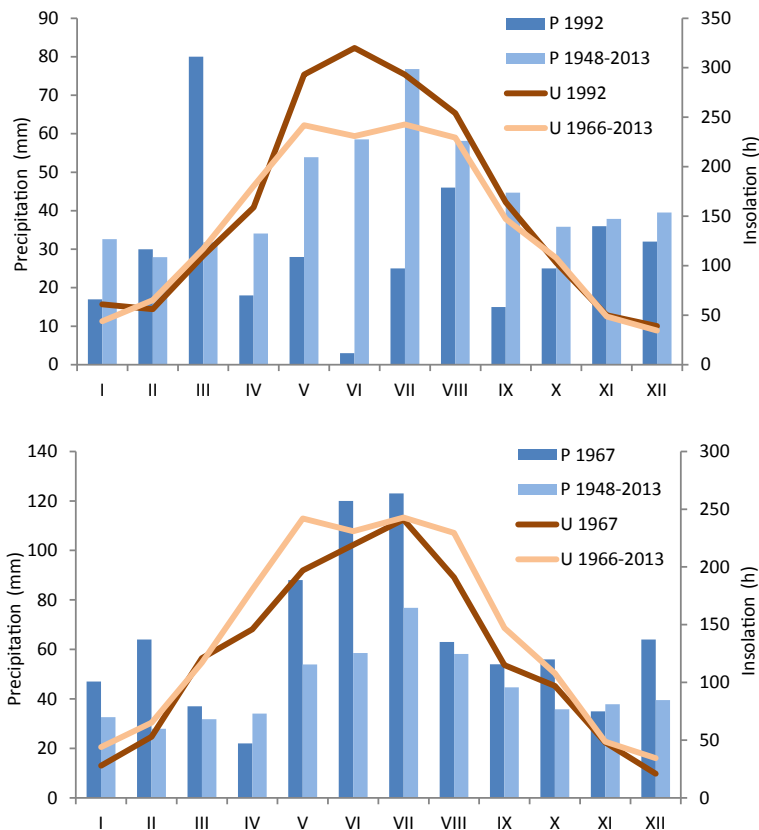


Figure 4. Monthly sum of precipitation (*P*) and monthly insolation (*U*) in positive pointer year (1967), compared with mean values for 1966–2013 in Poznań

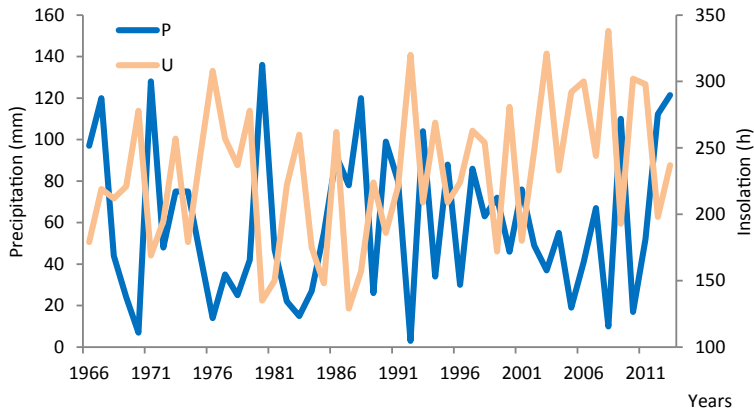


Figure 5. Monthly sum of precipitation (P) and monthly insolation (U) in time interval 1966–2013 from Poznań for June

precipitation). Insolation that year amounted to 1,902 hours, with the mean for the period of 1966–2013 at 1,690 hours. The number of insolation hours was particularly high in the months of May–August, with one of the highest recorded values over a period of many years occurring in June (320 hours). In addition, the summer months were characterised by high air temperatures (with means exceeding 20 °C in July and August).

4. Discussion and summary

Insolation, that is, the number of hours during which the solar disk is not obscured by clouds, strongly affects all the environmental processes, including physical, chemical, and biological processes. Among others, it determines the course of the growing season, the efficiency of photosynthesis, and the generative reproduction of plants. In our climate zone, insolation depends primarily on the season, cloud cover, and air pollution. It is considered the most comprehensive factor of climate, reflecting thermal and precipitation conditions, as well as being a derivative of cloud cover (Kozmiński, Michalska 2005). However, this climatic factor is rarely used in dendroclimatological studies, although it is one of the dominant factors determining the formation of the annual growth rings of trees. In particular, the number of insolation hours in May and June strongly influences the width of the tree ring of the wild service tree. Insolation is a derivative of cloud cover, which is inseparably linked to the most important hydrometeor — precipitation. The higher the cloud cover, the greater the probability of precipitation, thus reducing insolation. Negative correlations are noted for precipitation and sunshine (Poznań meteorological station for the period of 196–2013), the lowest for the sum of the years (-0.20), higher for the sum of the individual months, including May at -0.38 and for June at -0.59 (Fig. 5). The results of these relationships are contradictory indicators of correlation and regression for precipitation and insolation in May and June. A greater number of

insolation hours also means increased air temperature, resulting in the negative values of correlation and regression for this climatic factor, which were observed in a similar period.

Sorbus torminalis trees are rarely the subject of dendrochronological analyses (Rasmussen 2007; Pyttel et al. 2011, 2013; Cedro 2014, 2015). In Germany and Denmark, analyses carried out in 15 locations on the basis of 75 trees indicate the dominant role of the previous summer's temperature, as well as the summer month thermals of the actual year of growth at some sites (negative correlation values dominate) in the process of shaping the annual growth increments (Rasmussen 2007). An analysis of diameter at breast height, height, and age of the wild service trees of south-western Germany (80 trees) showed extremely small height and thickness increments of these trees. According to the authors, this is the response of the trees to strong competition and their survival strategy in unfavourable conditions (Pyttel et al. 2011, 2013). At the same time, it was found that this species is highly shade-tolerant, able to survive, regenerate, and reproduce in the understory of a compact stand. Cedro (2014, 2015) confirms a growth–climate relationship for the sites in Poland, primarily for the year preceding the actual growing season (simple correlations for precipitation, negative indicator values for temperature) and also simple relationships for precipitation in the actual year of growth.

Currently, the wild service tree is very rare in Poland, has no economic significance and is not often the subject of dendrochronological studies. But, global warming is changing the living conditions of trees, and unless they manage to adapt to the pace of these changes, the limits of their range may shift in the coming decades. The current niche species will then gain importance, by extending their range and increasing their numbers. Therefore, more knowledge about the ecology of wild service trees, especially at the boundaries of its natural range where these trees have the greatest potential for adaptation, is extremely important in the face of increasing human pressure on natural habitats and climate change.

Conflict of interest

The author declares no potential conflicts of interest.

Acknowledgements and funding sources

This project was financed by the National Science Centre, decision number DEC-2011/03/B/ST10/06157.

References

- 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 Ojczystą* 56(1): 118–120.
- Cedro A. 2014. Comparison of growth – climate relationship in two of 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. Jarząb 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.) Crantz) 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.) Crantz) 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. Jarząb 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. (eds.) 1997. Atlas rozmieszczenia roślin naczyniowych chronionych w Polsce. Pracownia Chorologii Komputerowej Instytutu Botaniki Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 99 s.
- Zajac M., Zajac A. (eds.) 2001. Atlas rozmieszczenia roślin naczyniowych w Polsce. Pracownia Chorologii Komputerowej Instytutu Botaniki Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 99 s.

Source materials

- “Brzęki przy Starej Gajówce” Forest Reserve Protection Plan, from 01.01.1997 to 31.12.2016, Regional Directorate of State Forests in Poznań, 1998.
- The 20-year “Jakubowo” Forest Reserve Protection Plan, from 01.01.1997 to 31.12.2016, Regional Directorate of State Forests in Poznań, 1998.
- The 20-year Forest Reserve Protection Plan for “Bytyńskie Brzęki” located in the Pniewy Forest District for the period of 1 January 2009 to 31 December 2028. Regional Directorate of State Forests in Poznań, 2008.