

PRACE GEOGRAFICZNE

zeszyt 170, 2023, 83–97

doi: 10.4467/20833113PG.23.003.17491

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ

Komisja Geograficzna, Polska Akademia Umiejętności

Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego

CHARAKTERYSTYKA OKRESU WEGETACYJNEGO W LASACH DOŚWIADCZALNYCH SGGW W ROGOWIE W LATACH 1951–2020

Longina Chojnacka-Ożga , *Wojciech Ożga*

Characteristics of the growing season in the Experimental Forests of the Warsaw University of Life Sciences in Rogów in the years 1951–2020

Abstract: The growing season length indices derived from air temperature are frequently used in climate monitoring applications as well as to predict the response of forest ecosystems to climate change. The indicator most widely used in the studies of forest ecosystems is the length of the thermal growing season (temp $\geq 5^{\circ}\text{C}$), less commonly the parameters of the forest growing season (temp $\geq 10^{\circ}\text{C}$). However, only a few studies used long-term series of temperature measurements in the forest. In this article, we determined the temporal changes in the parameters of the thermal (TGS) and forest (FGS) growing season in the Experimental Forests of the Warsaw University of Life Sciences in Rogów ($51^{\circ}40'\text{N}$, $19^{\circ}55'\text{E}$, $h = 194\text{ m MSL}$) in the years 1951–2020. The analysis is based on the dataset (daily mean air temperature) obtained from a meteorological station located near the forest complex and from a forest under-canopy station located in a more than 120-year-old fresh mixed forest. The results show a significant extension of the growing season in 1951–2020, the TGS lasted on average 2.8 days/10 years, and the FGS 2.4 days/10 years. The extension of the TGS and FGS was a consequence of both its earlier start and later end. The start of the TGS was characterized by a statistically significant negative trend (1.3 days/10 years), and most changes were characteristic for the last three decades (4.4 days/10 years). The last 30 years were also characterized by a statistically significant trend towards the later end of the TGS. The TGS in 1991–2020 was longer than in 1951–1980 and 1971–2000 by 9 days, while in 1981–2010

by 5 days. Changes in the length of the TGS resulted primarily from its earlier beginning: in the multi-year period 1991–2020, the TGS started 7 days earlier than in 1951–1980. In the case of the FGS, these changes were weaker, although there was a statistically significant negative trend in the start dates and a positive trend in the FGS length. The FGS started almost a month later than the TGS (average on April 28) and ended 4 weeks earlier (average on October 5) and lasted 160 days. TGS in the forest was shorter than outside the forest by 3 days, and FGS by 1 day. The acceleration of the beginning of TGS during the last three decades was faster than the beginning of the frost-free period, indicating a possible increase in vegetation exposure to spring frost. This may pose a threat to the development of plants in the first phase of vegetation.

Keywords: thermal growing season, forest growing season, forest climate, spring frost

Zarys treści: Wskaźniki długości sezonu wegetacyjnego wyznaczane na podstawie temperatury powietrza są często wykorzystywane w aplikacjach do monitorowania klimatu, a także do przewidywania reakcji ekosystemów leśnych na zmiany klimatu. Najczęściej stosowanym wskaźnikiem w badaniach ekosystemów leśnych jest długość termicznego okresu wegetacyjnego (średnia dobowa temperatura $>5^{\circ}\text{C}$), rzadziej parametry leśnego okresu wegetacyjnego (średnia dobowa temperatura $>10^{\circ}\text{C}$). Niewiele jest jednak badań, w których analizy przeprowadzono na podstawie wieloletnich serii pomiarów temperatury powietrza w lesie. W niniejszej pracy określono czasowe zmiany parametrów sezonu wegetacyjnego termicznego (TGS) i leśnego (FGS) w Lasach Doświadczalnych SGGW w Rogowie ($51^{\circ}40'\text{N}$, $19^{\circ}55'\text{E}$, $h = 194\text{ m MSL}$) w latach 1951–2020. Analizę oparto na zbiorze danych (średnia dobowa temperatura powietrza) uzyskanych ze stacji meteorologicznej zlokalizowanej w pobliżu kompleksu leśnego oraz z leśnej stacji podokapowej zlokalizowanej w ponad 120-letnim lesie mieszanym świeżym. Wyniki wskazują na znaczne wydłużenie sezonu wegetacyjnego w latach 1951–2020, tempo zmian TGS wynosiło 2,8 dnia/10 lat, a FGS 2,4 dnia/10 lat. Wydłużenie TGS i FGS było konsekwencją zarówno jego wcześniejszego rozpoczynania, jak i późniejszego zakończenia. Daty początku TGS charakteryzowały się istotnym statystycznie trendem ujemnym (1,3 dnia/10 lat), największe zmiany były charakterystyczne przede wszystkim dla ostatniego 30-lecia (4,4 dnia/10 lat). Ostatnie 30-lecie charakteryzowało się także istotnym statystycznie trendem dodatnim końca TGS. TGS w latach 1991–2020 był dłuższy o 9 dni w porównaniu do wielolecia 1951–1980 oraz 1971–2000, a w porównaniu do lat 1981–2010 dłuższy o 5 dni. Zmiany długości TGS wynikały przede wszystkim z coraz wcześniejszego jego początku: w wieloleciu 1991–2020 TGS rozpoczynał się średnio o 7 dni wcześniej niż w wieloleciu 1951–1980. W przypadku FGS zmiany te były słabsze, chociaż zaznaczył się istotnie statystyczny trend ujemny dat początku oraz dodatni długości FGS. FGS rozpoczynał się prawie miesiąc później niż TGS (średnio 28 kwietnia), kończył się cztery tygodnie wcześniej (średnio 5 października) i trwał 160 dni. TGS w lesie był krótszy niż poza lasem o 3 dni, natomiast FGS o 1 dzień. Przyspieszenie dat początku TGS w ciągu ostatnich trzech dekad było szybsze niż przyspieszenie dat początku okresu bezprzymrozkowego, co wskazuje na możliwy wzrost ekspozycji roślinności na przymrozki. Może to stanowić zagrożenie dla rozwoju roślin w pierwszej fazie wegetacji.

Słowa kluczowe: termiczny okres wegetacyjny, leśny okres wegetacyjny, klimat lasu, przymrozki

Wstęp

Termiczny okres wegetacyjny (TGS, *thermal growing season*) wyznaczany jest na podstawie różnych kryteriów, najczęściej na podstawie średnich dobowych wartości temperatury powietrza lub dat ostatniego (wiosennego) oraz pierwszego (jesiennego) dnia przymrozkowego (Frich i in. 2002; Menzel i in. 2003; Walther, Linderholm 2006; Cui i in. 2017). Brak jednak uniwersalnej definicji termicznego okresu wegetacyjnego (Linderholm 2006). W polskiej literaturze jest on definiowany jako okres z ustaloną średnią dobową temperaturą powietrza równą lub wyższą niż 5,0°C (Huculak, Makowiec 1977; Niedźwiedź 2003; Linderholm i in. 2008; Węgrzyn 2008; Żmudzka 2012; Krużel i in. 2015; Tomczyk, Szyga-Pluta 2016; Chojnacka-Oźga, Oźga 2018). Najczęściej jest on wykorzystywany jako wskaźnik fitoklimatyczny do oceny warunków produkcyjnych rolnictwa (Żmudzka 2004; Szwejkowski i in. 2008), nieco rzadziej jako parametr opisujący współczesną zmianę klimatu (Nieróbca i in. 2013; Tomczyk, Szyga-Pluta 2016). Zmiany dat początku i końca oraz długości termicznego okresu wegetacyjnego na obszarze Polski w ostatnich dekadach wpisują się w ogólny trend zmian okresu wegetacyjnego w Europie (Menzel i in. 2003; Linderholm 2006; Linderholm i in. 2008; Skrynyk i in. 2014; Cornes i in. 2019). Zmiany parametrów TGS w Polsce – opisywane jako tendencja lub trend – były stwierdzone w badaniach obejmujących zasięgiem cały kraj bądź wybrany region (Bartoszek, Banasiewicz 2007; Nieróbca i in. 2013; Krużel i in. 2015; Tylkowski 2015; Tomczyk, Szyga-Pluta 2016; Chojnacka-Oźga, Oźga 2018; Zajac, Chojnacka-Oźga 2021). W niektórych opracowaniach charakteryzowano także leśny okres wegetacyjny (FGS), rozumiany jako czas w ciągu roku, gdy średnia dobową temperatura powietrza jest równa lub wyższa niż 10,0°C (Chojnacka-Oźga 1999; Durło 2010; Dragańska i in. 2017). Określenie dat początku i końca TGS i FGS było także elementem opracowań dotyczących termicznych pór roku (Piotrowicz 2000; Kossowska-Cezak 2005; Skowera, Kopec 2008; Szyga-Pluta 2011, Tylkowski 2013). W niektórych opracowaniach dotyczących wyznaczania dat początku i końca TGS oraz pór roku porównywano metody stosowane w tego typu badaniach (Bartoszek i in. 2012; Kępińska-Kasprzak, Mager 2015). Autorzy stwierdzili między innymi, że do określenia średnich wieloletnich dat początku i końca TGS można stosować zamiennie metodę Gumińskiego oraz Huculaka i Makowca, natomiast w kontekście analiz prowadzonych dla konkretnego roku wskazany jest stosowanie metody Huculaka i Makowca (Huculak, Makowiec 1977).

Celem opracowania jest określenie czasowych zmian parametrów termicznego (TGS) oraz leśnego (FGS) okresu wegetacyjnego w Lasach Doświadczalnych SGGW w Rogowie w latach 1951–2020. Celem aplikacyjnym jest charakterystyka zmian parametrów TGS i FGS na leśnej stacji podokapowej w latach 1961–1990.

Obszar badań i metoda

W badaniach wykorzystano dane z pomiarów meteorologicznych prowadzonych w Lasach Doświadczalnych SGGW w Rogowie k. Łodzi. Materiał badawczy stanowiły średnie dobowe wartości temperatury powietrza obliczone i zestawione w dziennikach klimatologicznych i miesięcznych wykazach spostrzeżeń meteorologicznych zarchiwizowanych w Instytucie Nauk Leśnych SGGW w Warszawie. Analizie poddano ciągi danych z lat 1951–2020 zebrane na stacji meteorologicznej położonej w terenie otwartym (51°40'N, 19°55'E, h = 194 m n.p.m.), natomiast dodatkowo wykorzystano dane z lat 1961–1990 z leśnej stacji podokapowej położonej w ponad 120 letnim lesie mieszanym świeżym w Arboretum. Homogeniczność serii sprawdzono przy użyciu programu MASH (Multiply Analysis of Series for Homogenization) (Szetimrey 1999). Do wyznaczenia dat początku i końca TGS i FGS zastosowano metodę zaproponowaną przez Huculaka i Makowca (1977). W metodzie tej początek TGS w danym roku stanowi najwcześniejszy spośród dni o średniej dobowej temperaturze powietrza wyższej lub równej 5,0°C, dający początek takim skumulowanym szeregom odchyień średniej temperatury dobowej od 5,0°C, które aż do końca pierwszego półrocza nie osiągają wartości ujemnych. Analogicznie wyznaczono początek FGS, przyjmując próg średniej dobowej temperatury powietrza 10,0°C. Koniec okresu stanowi w danym roku dzień poprzedzający dobę z średnią temperaturą niższą niż 5,0 lub 10,0°C (najwcześniejszy po rozpoczęciu TGS lub FGS), dający początek takim skumulowanym szeregom odchyień średniej temperatury dobowej od progowej wartości temperatury, które aż do końca roku nie osiągają wartości dodatnich (Huculak, Makowiec 1977). Metoda ta pozwala na wyznaczenie dat początku i końca TGS i FGS w każdym roku, eliminuje dowolność interpretacji oraz cechuje się dużą korelacją z obserwacjami fenologicznymi (Makowiec 1982). Istotność statystyczną trendu zmian wyznaczonych parametrów i charakterystyk określono za pomocą nieparametrycznego testu Manna-Kendalla ($p < 0,05$) (Salmi i n. 2002). Klasyfikując długość TGS w poszczególnych latach, jako krótki uznano okres wegetacyjny różniący się od średniego TGS z wielolecia od -1 do -2 odchyień standardowych (SD), anomalnie krótki – o więcej niż -2 SD, długi – różniący się od średniego od $+1$ do $+2$ SD, anomalnie długi – o ponad $+2$ SD (Węgrzyn 2008). W celu scharakteryzowania warunków termicznych i opadowych podczas okresu wegetacyjnego wyznaczono:

- daty ostatnich (wiosennych) i pierwszych (jesiennych) dni przymrozkowych, uznając za przymrozkowy dzień, w którym $t_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$, natomiast $t_{\max} > 0^{\circ}\text{C}$ (Niedźwiedz 2003);
- średnie wartości temperatury powietrza miesięcy okresu wegetacyjnego (IV–X) (Ziarnicka-Wojtaszek i in. 2015);
- sumy temperatur efektywnych obliczone w każdym roku analizowanego wielo-

- lecia na podstawie średnich dobowych wartości temperatury powietrza w TGS (Żmudzka 2012);
- sumy opadów atmosferycznych w miesiącach okresu wegetacyjnego (IV–X).

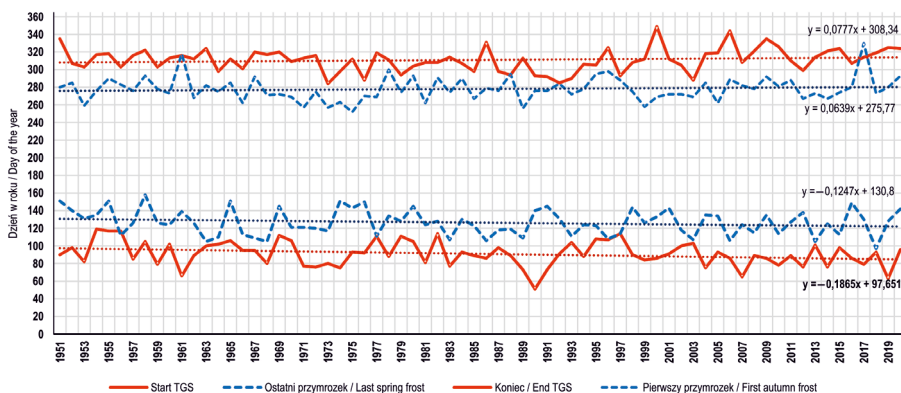
Wyniki

Termiczny i leśny okres wegetacyjny

Termiczny okres wegetacyjny w Rogowie rozpoczynał się średnio 30 marca (skrajne daty: 20.02.1990 oraz 27.04.1955), a kończył 7 listopada (skrajne daty: 11.10.1973 i 1992 oraz 14.12.2000). Tendencja zmian dat początku i końca TGS w latach 1951–2020 była większa niż zmian dat ostatniego i pierwszego przymrozku (ryc. 1).

Najkrótszy TGS wystąpił w roku 1997 (179 dni), natomiast najdłuższy w roku 2000 (263 dni). Średnio trwał on 220 dni (ryc. 2).

Przyjmując klasyfikację długości TGS zaproponowaną przez Węgrzyn (2008), stwierdzono, że okresy długie i anomalnie długie występowały częściej, szczególnie w ostatnich dwóch dekadach, niż okresy krótkie i anomalnie krótkie (tab. 1).

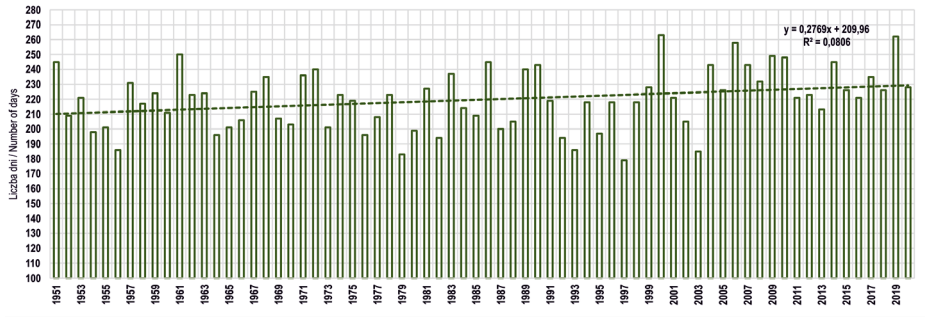


Ryc. 1. Dаты początku i końca termicznego okresu wegetacyjnego (TGS) oraz ostatnich i pierwszych przymrozków w Rogowie w latach 1951–2020 (równanie z pogrubioną czcionką oznacza zmiany istotne statystycznie)

Fig. 1. Dates of the start and end of the thermal growing season (TGS) and the last and first frosts in Rogów in the years 1951–2020 (statistically significant changes marked in bold)

Źródło: opracowanie własne.

Source: own work.



Ryc. 2. Długość termicznego okresu wegetacyjnego (TGS) w Rogowie w latach 1951–2020
 Fig. 2. Duration of the thermal growing season (TGS) in Rogów in the years 1951–2020
 Źródło: opracowanie własne.

Source: own work.

Tab. 1. Lata, w których wystąpiły krótkie i anomalnie krótkie oraz długie i anomalnie długie termiczne okresy wegetacyjne w Rogowie w latach 1951–2020

Table 1. Years with short and anomalously short, as well as long and anomalously long thermal growing seasons in Rogów in the years 1951–2020

Typ TGS / Type of TGS	Rok / Year
Anomalnie krótki / Anomalously short	1997
Krótki / Short	1954, 1956, 1964, 1979, 1980, 1982, 1987, 1992, 1993, 1995, 2003
Długi / Long	1951, 1961, 1972, 1986, 1898, 1990, 2004, 2006, 2007, 2009, 2010, 2014
Anomalnie długi / Anomalously long	2000, 2019

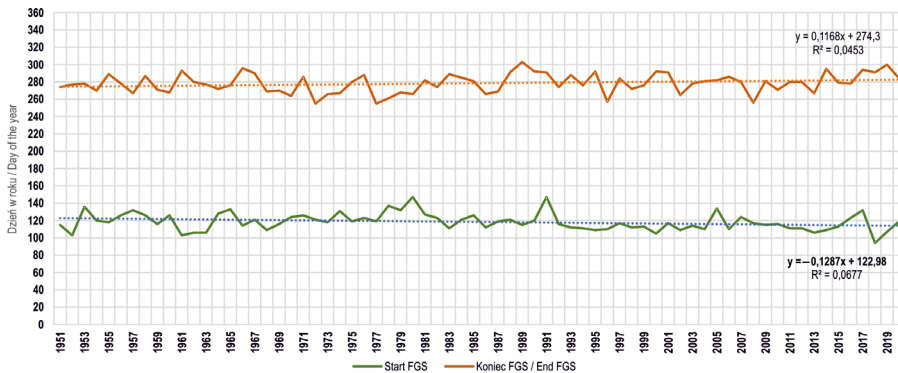
Źródło: opracowanie własne.

Source: own work.

Leśny okres wegetacyjny (FGS) rozpoczynał się przeciętnie 28 kwietnia, a kończył 5 października. Skrajne daty początku FGS wystąpiły 4 kwietnia 2018 r. i 27 maja 1991 r., natomiast końca 11 września 1972 r. i 12 września 1977 r. oraz 30 października 1989 r. i 27 października 2019 r. (ryc. 3).

Leśny okres wegetacyjny trwał średnio 160 dni, najkrótszy (119 dni) wystąpił w roku 1980, natomiast najdłuższy (197 dni) w roku 2018 (ryc. 4).

W latach 1951–2020 zaznaczył się istotny statystycznie trend do coraz wcześniejszego rozpoczynania się TGS (średnio o 1,9 dnia/10 lat) oraz jego wydłużania (średnio

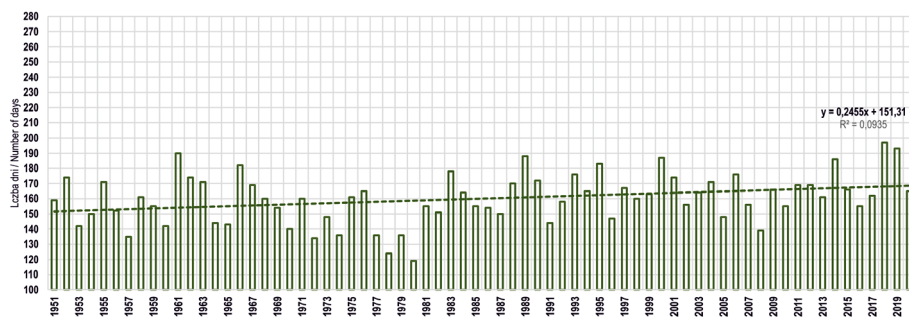


Ryc. 3. Dаты początku i końca leśnego okresu wegetacyjnego (FGS) w Rogowie w latach 1951–2020 (równanie z pogrubioną czcionką oznacza zmiany istotne statystycznie)

Fig. 3. Dates of the start and end of the forest growing season (FGS) in Rogów in the years 1951–2020 (statistically significant changes marked in bold)

Źródło: opracowanie własne.

Source: own work.



Ryc. 4. Długość leśnego okresu wegetacyjnego (FGS) w Rogowie w latach 1951–2020

Fig. 4. Duration of the forest growing season (FGS) in Rogów in the years 1951–2020

Źródło: opracowanie własne.

Source: own work.

o 2,8 dnia/10 lat). Data końca TGS wykazała nieistotną statystycznie tendencję dodatnią (ryc. 1, 2). Podobne tendencje zmian wystąpiły w przypadku dat początku i końca oraz długości leśnego okresu wegetacyjnego: daty początku i długość FGS wykazały nieco słabszy trend niż w przypadku TGS, natomiast daty końca FGS nieco większą

w porównaniu z TGS tendencję zmian (ryc. 3, 4). Analizując zmiany długości TGS w poszczególnych okresach 30-letnich, wskazać należy, że istotny dodatni trend wystąpił w latach 1981–2010 oraz 1991–2020. W przypadku FGS istotny trend ujemny stwierdzono w latach 1951–1980, natomiast dodatni w latach 1971–2000 (tab. 2).

Średnia temperatura w TGS wynosiła 13,2°C (tab. 3) i wykazywała istotny statystycznie trend dodatni (0,28°C/10 lat). Suma opadów w TGS wynosiła 408,5 mm (tab. 3), co stanowiło 69,2% rocznej sumy opadów. Opady atmosferyczne w TGS charakteryzowały się nieistotną statystycznie tendencją ujemną (6,8 mm/10 lat).

Tab. 2. Trend (liczba dni/10 lat) parametrów termicznego (TGS) i leśnego (FGS) okresu wegetacyjnego w Rogowie w okresach 30-letnich (pogrubioną czcionką zaznaczono zmiany istotne statystycznie)

Table 2. Tendency (days/10 years) of thermal (TGS) and forest (FGS) parameters of the growing season in Rogów in 30-year periods (statistically significant changes marked in bold)

Lata / Years	TGS start	TGS koniec / end	TGS długość / duration	FGS start	FGS koniec / end	FGS długość / duration
1951–1980	-2,3	-3,8	-2,5	3,8	-4,0	-8,6
1961–1990	-3,0	-4,4	0,0	2,5	1,4	-2,2
1971–2000	2,2	-0,4	-0,5	-6,1	4,8	9,6
1981–2010	-1,2	7,5	10,0	-2,4	-2,5	0,0
1991–2020	-4,4	8,3	11,4	-0,6	1,9	3,3

Źródło: opracowanie własne.

Source: own work.

Tab. 3. Temperatura [°C] i opady atmosferyczne [mm] w termicznym okresie wegetacyjnym w Rogowie w latach 1951–2020

Table 3. Temperature [°C] and precipitation [mm] in the thermal growing season in Rogów in the years 1951–2020

Okres Years	Temperatura / Temperature			Opady / Precipitation		
	Średnia Average	Najniższa Lowest value	Najwyższa Highest value	Średnia Mean	Najniższe Lowest value	Najwyższe Highest value
1951–2020	13,2	11,4 (1980)	15,9 (1963, 1983, 2018)	408,5	183,0 (2012)	650,7 (1960)
1991–2020	13,9	12,6 (1991)	15,9 (2018)	390,8	183,0 (2012)	569,0 (2017)

Źródło: opracowanie własne.

Source: own work.

Termiczny i leśny okres wegetacyjny w lesie

Średnia data początku termicznego okresu wegetacyjnego w lesie przypadała o 4 dni później niż poza lasem (tab. 4). W niektórych latach wielolecia 1961–1990 początek TGS w lesie przypadał o 2–3 dni wcześniej niż poza lasem (1970, 1973, 1987), częściej jednak TGS w lesie rozpoczynał się później niż w terenie otwartym: o mniej niż 7 dni w latach 1962, 1981, 1989 oraz o ponad 7 dni w latach 1961, 1982, 1983 i 1990. Koniec TGS w lesie i poza lasem wystąpił średnio 1 listopada, jedynie w 5 latach (1977, 1984, 1985, 1986, 1990) wielolecia 1961–1990, daty końca TGS w lesie i poza lasem różniły się od siebie o $\pm 2-3$ dni.

Termiczny okres wegetacyjny w lesie trwał średnio o 3 dni krócej niż poza lasem (tab. 4). TGS jedynie w latach 1973 i 1987 był dłuższy w lesie niż poza lasem (odpowiednio o 3 i 5 dni). W latach 1962, 1977, 1982, 1984 i 1985 TGS w lesie był krótszy niż poza lasem o 2–7 dni, natomiast w latach 1961, 1983 i 1986 o ponad 7 dni.

Średni początek leśnego okresu wegetacyjnego w lesie i poza lasem przypadał w tym samym dniu (tab. 4), w poszczególnych latach wielolecia 1961–1990 w 7 przypadkach daty te odbiegały od siebie o ± 1 dzień. Koniec FGS w lesie wystąpił później niż poza lasem w latach 1961, 1973, 1977, 1982 (o 2–7 dni), natomiast wcześniej w latach 1963, 1975, 1987 (o 1–7 dni), 1962, 1964, 1983 (o ponad 7 dni). Leśny okres wegetacyjny na stacji podokapowej był średnio krótszy niż poza lasem o 1 dzień (w latach 1961, 1973, 1977, 1982 był w lesie nieco dłuższy, natomiast w latach 1962, 1963, 1964, 1965, 1967, 1983 krótszy).

Średnia temperatura powietrza w TGS w lesie była niższa niż poza lasem o $0,2^{\circ}\text{C}$, natomiast suma temperatur efektywnych ($t > 5^{\circ}\text{C}$) w lesie stanowiła 95,4% sumy temperatur efektywnych poza lasem (tab. 5).

Tab. 4. Średnie daty początku i końca oraz długość termicznego (TGS) i leśnego (FGS) okresu wegetacyjnego w lesie i poza lasem w Rogowie w latach 1961–1990

Tab. 4. Mean start and end dates and the length of the thermal (TGS) and forest (FGS) growing season in and outside the Rogów forest in the years 1961–1990

Charakterystyka Characteristics	TGS		FGS	
	Poza lasem Outside the forest	Las Forest	Poza lasem Outside the forest	Las Forest
Data początku / Start date	30.03	2.04	1.05	1.05
Data końca / End date	1.11	1.11	4.10	3.10
Długość / Duration	217	214	157	156

Źródło: opracowanie własne.

Source: own work.

Tab. 5. Warunki termiczne w TGS w lesie i poza lasem w Rogowie w latach 1961–1990
 Table 5. Thermal conditions in TGS in and outside the Rogów forest in the years 1961–1990

Obszar badań Research area	Temperatura / Temperature			Suma temperatur efektywnych Effective temperature sum
	Średnia Average	Najniższa Lowest value	Najwyższa Highest value	
Teren otwarty Open area	12,6	11,4 (1980)	13,8 (1963, 1983)	1713,8
Las Forest	12,4	11,1 (1980)	13,7 (1983)	1634,6

Źródło: opracowanie własne.

Source: own work.

Dyskusja i podsumowanie

Z dotychczasowych badań wynika, że w pierwszych dekadach XXI w. termiczny okres wegetacyjny w Polsce był dłuższy w stosunku do okresu 1961–1990. Nieróbca i in. (2013) wskazują, że do 2030 r., w zależności od przyjętego scenariusza klimatycznego, okres wegetacyjny będzie dłuższy o 10–17 dni niż w latach 1971–2000, a w perspektywie do 2050 r. o 22–30 dni. Wydłużenie okresu wegetacyjnego jest jednym z symptomów współczesnego wzrostu temperatury powietrza. Wzrost temperatury powietrza przekłada się na wzrost zasobów ciepła, przyspieszając lub opóźniając wystąpienie kolejnych fenofaz (wcześniejszy rozwój liści i kwitnienie wiosną, późniejsze opadanie liści jesienią) (Chmielewski, Rötzer 2001). Współczesnemu ociepleniu towarzyszy niedobór opadów w stosunku do parowania oraz zmieniony reżim opadów, co skutkuje pojawianiem się susz o zróżnicowanym stopniu nasilenia (Allen i in. 2015). Wcześniejsze badania dotyczące okresu wegetacyjnego wskazują na duże zróżnicowanie przestrzenne i czasowe zmian dat jego początku i końca na terenie Polski (Nieróbca i in. 2013; Krużel i in. 2015). Podobnie kierunki i natężenie zmian warunków termicznych i opadowych w okresie wegetacyjnym różniły się w poszczególnych regionach Polski (Wypych i in. 2017; Tomczyk, Szyga-Pluta 2019; Zając, Chojnacka-Ożga 2021). Uzyskane w niniejszym opracowaniu kierunek i tempo zmian zachodzących w przypadku parametrów TGS i FGS korespondują z wynikami uzyskanymi w skali kraju i wpisują się w ogólny trend zmian charakterystyk okresu wegetacyjnego w Europie (Linderholm i in. 2008). W latach 1951–2020 w Rogowie wystąpił wzrost długości TGS średnio o 2,8 dnia/10 lat oraz FGS o 2,4 dnia/10 lat. Wydłużenie TGS i FGS było konsekwencją zarówno jego wcześniejszego rozpoczynania, jak i późniejszego zakończenia. Początek TGS charakteryzował się istotnym statystycznie trendem ujemnym

(1,3 dnia/10 lat), największe zmiany były charakterystyczne przede wszystkim dla ostatniego 30-lecia (4,4 dnia/10 lat). Ostatnie 30-lecie charakteryzowało się także istotnym statystycznie trendem do coraz późniejszego zakończenia TGS. W całym okresie badawczym (1951–2020) zmiany parametrów FGS były słabsze niż TGS: zaznaczył się jednak istotny statystycznie trend ujemny dat początku oraz dodatni długości FGS. Uzyskane wyniki nawiązują do wcześniejszych badań prowadzonych na terenie Polski (Nieróbca i in. 2013; Skrynyk i in. 2014; Spinoni i in. 2015; Krużel i in. 2015; Sulikowska i in. 2016; Chojnacka-Oźga, Oźga 2018; Szyga-Pluta 2018; Tomczyk, Szyga-Pluta 2019; Zając, Chojnacka-Oźga 2021). Krużel i in. (2015) wskazali, że okres wegetacyjny w latach 1981–2010 był dłuższy o około 4 dni niż w latach 1971–2000. Nieróbca i in. (2013) stwierdzili, że przyrost długości okresu wegetacyjnego w latach 2001–2009 w stosunku do wielolecia 1971–2000 wynosił od 6 do 9 dni. W opracowaniu dotyczącym północno-wschodniej Polski (Chojnacka-Oźga, Oźga 2018) stwierdzono wydłużenie się TGS w latach 1951–2015 od 7 do 20 dni. W przytoczonych powyżej opracowaniach przyrost długości okresu wegetacyjnego był skutkiem coraz wcześniejszego początku (Bochenek i in. 2013) lub jego późniejszego zakończenia (Tomczyk, Szyga-Pluta 2019) albo, jak wynika z badań Krużel i in. (2015), zarówno wcześniejszego rozpoczynania, jak i późniejszego jego zakończenia. Rozbieżności występujące między poszczególnymi opracowaniami mogą wynikać z różnych metod wyznaczania dat początku i końca TGS, a także z różnych zakresów czasowych przyjmowanych w badaniach. W niniejszym badaniu stwierdzono wydłużenie się TGS w latach 1991–2020 w stosunku do lat 1951–1980 oraz 1971–2000 o 9 dni, natomiast w stosunku do wielolecia 1981–2010 o 5 dni. Zmiany długości TGS wynikały z coraz wcześniejszego jego początku: w wieloleciu 1951–1980 TGS rozpoczynał się o 7 dni później niż w wieloleciu 1991–2020. Przyspieszenie początku TGS było szybsze niż początku okresu bezprzymrozkowego. Stwierdzone w Rogowie tendencje zmian dat ostatniego i pierwszego przymrozku są zgodne co do kierunku z wynikami uzyskanymi przez Bielec-Bąkowską i Piotrowicz (2011) dla Łodzi, lecz wartości tych tendencji są mniejsze. Różnice między trendem dat początku i końca TGS oraz dat ostatniego i pierwszego dnia przymrozkowego mogą przyczynić się do powstawania niekorzystnych warunków dla rozwoju roślin, szczególnie w pierwszej fazie wegetacji. Liu i in. (2018) stwierdzili, że regiony o większym wzroście długości okresu wegetacyjnego mogą charakteryzować się coraz większą liczbą dni przymrozkowych pomimo zaznaczającego się współcześnie trendu do wzrostu temperatury powietrza. Jest to wyraźne szczególnie w okresie wiosennym (Liu i in. 2018).

W latach 1951–1980 TGS kończył się średnio o 5 dni później niż w latach 1971–2010, natomiast o 4 dni wcześniej niż w latach 1991–2020. Długość leśnego okresu wegetacyjnego (160 dni) w Lasach Doświadczalnych SGGW w Rogowie nie odbiegała od długości FGS uzyskanej przez Durlę (2010) dla niżej położonych

obszarów w Beskidzie Śląskim. Stwierdzono jednak większe o 2 dni odchylenie przeciętne czasu trwania FGS.

Stwierdzone zmiany wybranych charakterystyk TGS i FGS stanowią ważną wskazówkę dotyczącą zmian warunków funkcjonowania ekosystemów leśnych. Stwierdzone przez wielu autorów zróżnicowanie regionalne zmian tych elementów klimatycznych wskazuje na celowość wykonywania analiz nie tylko w skali kraju, ale także w skali regionalnej i lokalnej.

Literatura

- Allen C.D., Breshears D.D., McDowell N.G., 2015, *On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene*, *Ecosphere*, 6(8), 129, <https://doi.org/10.1890/ES15-00203.1>.
- Bartoszek K., Banasiewicz I., 2007, *Agrometeorologiczna charakterystyka okresu wegetacyjnego 2005 w rejonie Lublina na tle wielolecia 1951–2005*, *Acta Agrophysica*, 9(2), 275–283.
- Bartoszek K., Węgrzyn A., Kaszewski B.M., Siłuch M., 2012, *Porównanie wybranych metod wyznaczania dat początku i końca okresu wegetacyjnego na przykładzie Lubelszczyzny*, *Przegląd Geofizyczny*, 57(1), 123–134.
- Bielec-Bąkowska Z., Piotrowicz K., 2011, *Wieloletnia zmienność okresu bezprzymrozkowego w Polsce w latach 1951–2006*, *Prace i Studia Geograficzne*, 47, 77–86.
- Bochenek W., Dedo J., Marczewski W., 2013, *Zróżnicowanie długości i warunków termicznych okresu wegetacyjnego na obszarze Beskidów i Pogórzy w latach 2001–2011 na podstawie danych zgromadzonych w bazie GLDAS*, *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, 14, 79–85.
- Chmielewski F.-M., Rötzer T., 2001, *Response of tree phenology to climate change across Europe*, *Agricultural and Forest Meteorology*, 108, 101–112.
- Chojnacka-Ożga L., 1999, *Długość termicznego okresu wegetacyjnego w Lasach Doświadczalnych SGGW w latach 1926–1998*, [w:] Feliksik E. (red.), *Klimatyczne uwarunkowania życia lasu*, Wydawnictwa Polskiego Towarzystwa Leśnego, Warszawa, 127–133.
- Chojnacka-Ożga L., Ożga W., 2018, *Tendencje zmian długości termicznego okresu wegetacyjnego w północno-wschodniej Polsce*, *Sylvan*, 162(6), 479–489, <http://dx.doi.org/10.26202/sylvan.2018022>.
- Cornes R.C., van der Schrier G., Squintu A.A., 2019, *A reappraisal of the thermal growing season length across Europe*, *International Journal of Climatology*, 39, 1787–1795, <http://dx.doi.org/10.1002/joc.5913>.
- Cui L., Shi J., Ma Y., 2017, *A comparison of thermal growing season indices for the Northern China during 1961–2015*, *Advances in Meteorology* ID 6718729.
- Dragańska E., Szwejkowski Z., Cymes I., Panfil M., 2017, *Charakterystyka leśnego okresu wegetacyjnego w Polsce na podstawie wybranego scenariusza zmian klimatu*, *Sylvan*, 161(4), 303–311.
- Durlo G., 2010, *Leśny okres wegetacyjny na obszarze LKP Lasy Beskidu Śląskiego*, *Sylvan*, 154(8), 577–584.

- Frich P., Alexander L.V., Della-Marta P., Gleason B., Haylock M. Klein Tank A.M.G., Peterson T., 2002, *Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the 20th century*, Climate Research, 19, 193–212.
- Huculak W., Makowiec M., 1977, *Wyznaczanie meteorologicznego okresu wegetacyjnego na podstawie jednorocznych materiałów obserwacyjnych*, Zeszyty Naukowe SGGW-AR w Warszawie. Leśnictwo, 25, 65–72.
- Kępińska-Kasprzak M., Mager P., 2015, *Thermal growing season in Poland calculated by two different methods*, Annales of Warsaw University of Life Sciences-SGGW, Land Reclamation, 47(3), 261–273.
- Kossowska-Cezak U., 2005, *Zmiany termicznych pór roku w Warszawie w okresie 1933–2004*, Przegląd Geofizyczny, 50(3–4), 265–277.
- Krużel J., Ziernicka-Wojtaszek A., Borek Ł., Ostrowski K., 2015, *Zmiany czasu trwania meteorologicznego okresu wegetacyjnego w Polsce w latach 1971–2000 oraz 1981–2010*, Inżynieria Ekologiczna, 44, 47–52.
- Linderholm H. W., 2006, *Growing season changes in the last century*, Agricultural and Forest Meteorology, 137, 1–14, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.006>.
- Linderholm H.W., Walther A., Chen D., Moberg A., 2008, *Twentieth-century trends in the thermal growing-season in the Greater Baltic Area*, Climate Change, 87, 405–419.
- Liu Q., Piao S., Janssens I.A., Fu Y., Peng S., Lian X., Ciais P., Myneni R., Peñuelas J., Wang T., 2018, *Extension of the growing season increases vegetation exposure to frost*, Nature Communications, 9, 426, <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02690-y>.
- Makowiec M., 1982, *Beginning of the meteorological vegetation season and some vernal phenological events in the Rogów area*, Annals of Warsaw Agricultural University SGGW-AR. Forestry and Wood Technology, 29, 51–56.
- Menzel A., Jakobi G., Ahas R., Scheifinger H., Estrella N., 2003, *Variations of the climatological growing season (1951–2000) in Germany compared with other countries*, International Journal of Climatology, 23, 793–812.
- Niedźwiedz T. (red.), 2003, *Słownik meteorologiczny*, IMGW, Warszawa.
- Nieróbca A., Kozyra J., Mizak K., Wróblewska E., 2013, *Zmiana długości okresu wegetacyjnego w Polsce*, Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie, 13(2), 81–94.
- Piotrowicz K., 2000, *Zróżnicowanie termicznych pór roku w Krakowie*, Prace Geograficzne, 105, 111–124.
- Salmi T., 2002, *Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by the Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimates: The Excel Template Application MAKESENS*, Finnish Meteorological Institute.
- Skowera B., Kopec B., 2008, *Okresy termiczne w Polsce południowo-wschodniej (1971–2000)*, Acta Agrophysica, 12(2), 517–526.
- Skrynyk O., Nabyvanets Y., Savchenko V., 2014, *The growing season in Carpathian region during 1961-2010*, Conference: 14th EMS Annual Meeting & 10th European Conference on Applied Climatology (ECAC) at: Prague, Czech Republic, <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3824.7922>.

- Spinoni J., Szalai S., Szentimrey T., Lakatos M., Bihari Z., Nagy A., Németh A., Kovács T., Mihic D., Dacic M., Petrovic P., Kržič A., Hiebl J., Auer I., Milkovic J., Štěpánek P., Zahradníček P., Kilar P., Limanówka D., Pyrc R., Cheval S., Birsan M.V., Dumitrescu A., Deak G., Matei M., Antolovic I., Nejedlík P., Štastný P., Kajaba P., Bochníček O., Galo D., Mikulová K., Nabyvanets Y., Skrynyk O., Krakovska S., Gnatiuk N., Tólasz R., Antofie T., Vogt J., 2015, *Climate of the Carpathian Region in 1961-2010: Climatologies and Trends of Ten Variables*, International Journal of Climatology, 35, 1322–1341, <http://dx.doi.org/10.1002/joc.4059>.
- Sulikowska A., Wypych A., Ustrnul Z., Czekierda D., 2016, *Zmienność zasobów termicznych w Polsce w aspekcie obserwowanych zmian klimatu*, Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus, 15(2), 127–139.
- Szentimrey T., 1999, *Multiply analysis of series for homogenization*, Budapest, World Climate Data and Monitoring Programme, 41.
- Szwejkowski Z., Dragańska E., Banaszkiewicz B., 2008, *Scenariusze warunków agroklimatycznych okolic Olsztyna w perspektywie spodziewanego globalnego ocieplenia w roku 2050*, Acta Agrophysica, 12(2), 543–552.
- Szyga-Pluta K., 2011, *Zmienność termicznych pór roku w Poznaniu*, Badania Fizjograficzne R. II Seria A – Geografia Fizyczna, 181–195. DOI: 10.2478/v10116-011-0013-9.
- Szyga-Pluta K., 2018, *Zmienność występowania susz w okresie wegetacyjnym w Polsce w latach 1966–2015*, Przegląd Geofizyczny, 1v2, 51–67.
- Tomczyk A., Szyga-Pluta K., 2016, *Okres wegetacyjny w Polsce w latach 1971–2010*, Przegląd Geograficzny, 88(1), 75–86.
- Tomczyk A., Szyga-Pluta K., 2019, *Variability of thermal and precipitation conditions in the growing season in Poland in the years 1966–2015*, Theoretical and Applied Climatology, 135, 1517–1530.
- Tylkowski J., 2013, *Charakterystyka rocznej temperatury powietrza, termicznych pór roku u sezonu wegetacyjnego w Dziwnowie*, Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 14, 127–134.
- Tylkowski J., 2015, *The Variability of Climatic Vegetative Seasons and Thermal Resources at the Polish Baltic Sea Coastline in the Context of Potential Composition of Coastal Forest Communities*, Baltic Forestry, 21(1), 73–82.
- Walther A., Linderholm H.W., 2006, *A comparison of growing season indices for the Greater Baltic Area*, International Journal of Biometeorology, 51(2), 107–118.
- Węgrzyn A., 2008, *Typowe i anomalne długości okresu wegetacyjnego na Lubelszczyźnie*, Acta Agrophysica, 12(2), 561–573.
- Wypych A., Sulikowska A., Ustrnul Z., Czekierda D., 2017, *Variability of growing degree days in Poland in response to ongoing climate changes in Europe*, International Journal Of Biometeorology, 61, 49–59, <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1190-3>.
- Zajac Ł., Chojnacka-Ożga L., 2021, *Zmienność warunków termiczno-opadowych okresu wegetacyjnego na obszarze RDLP Kraków w latach 1961–2020*, Sylwan, 165(9), 654–670, <http://dx.doi.org/10.26202/sylwan.2021063>.

- Ziernicka-Wojtaszek A., Zuśka Z., Krużel J., 2015, *Warunki termiczno-opadowe w okresie wegetacyjnym (1951–2010) na obszarze województwa podkarpackiego w świetle globalnego ocieplenia*, Acta Agrophysica, 22(3), 345–354.
- Żmudzka E., 2004, *Tło klimatyczne produkcji rolniczej w Polsce w drugiej połowie XX wieku*, Acta Agrophysica, 3(2), 399–408.
- Żmudzka E., 2012, *Wieloletnie zmiany zasobów termicznych w okresie wegetacyjnym i aktywnego wzrostu roślin w Polsce*, Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie, 12(2), 377–389.

Longina Chojnacka-Ożga
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Instytut Nauk Leśnych
Katedra Hodowli Lasu
ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa
longina_chojnacka_ozga@sggw.edu.pl
ORCID: 0000-0003-1357-4997

Wojciech Ożga
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Instytut Nauk Leśnych
Katedra Hodowli Lasu
ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa
wojciech_ozga@sggw.edu.pl
ORCID: 0000-0002-4576-5619

