

EWA DRAGAŃSKA, ZBIGNIEW SZWEJKOWSKI, IWONA CYMES, MONIKA PANFIL

Charakterystyka leśnego okresu wegetacyjnego w Polsce na podstawie wybranego scenariusza zmian klimatu

Characteristics of the forest growing season in Poland on the basis of selected scenario of climate changes

ABSTRACT

Dragańska E., Szwejkowski Z., Cymes I., Panfil M. 2017. Charakterystyka leśnego okresu wegetacyjnego w Polsce na podstawie wybranego scenariusza zmian klimatu. Sylwan 161 (4): 303-311.

The paper presents comparative characteristics of the length as well as start and end dates of the forest vegetation period (FVP) in the years 1981-2010 determined on the basis of the average daily air temperature and data generated for the conditions of two-fold higher CO₂ concentration. To simulate meteorological data for that conditions, we applied the WGENK data generator, considering assumptions of GISS Model E scenario of climate change. The results showed that the average start date of FVP in Poland in the period of 1981-2010 was April 25th, while the average end date of FVP was October 10th. The average length of FVP for Poland equalled 165 days. It was discovered that, on average, the FVP start accelerated by 8 days per 30 years and the FVP end was slightly delayed by 3 days per 30 years. During the analyzed period, the FVP in Poland extended by 10 days on average. According to the applied scenario of the climate change, the trend indicates a possible increase in the FVP by 30 days when compared to the present state. The FVP may start 2-3 weeks earlier and finish 1-2 weeks later than presently. The generated data pointed at April 9th as the average date of the FVP start and October 24th as the date of its end.

KEY WORDS

forest vegetation period, climate changes

ADDRESSES

Ewa Dragańska – e-mail: ewad@uwm.edu.pl

Zbigniew Szwejkowski – e-mail: szwzbig@uwm.edu.pl

Iwona Cymes – e-mail: iwona.cymes@uwm.edu.pl

Monika Panfil – e-mail: monika.panfil@uwm.edu.pl

Katedra Gospodarki Wodnej, Klimatologii i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie; Plac Łódzki 1, 10-720 Olsztyn

Wstęp

Postępujący proces globalnych zmian klimatycznych budzi zrozumiąły niepokój i pozostaje wyzwaniem naukowym, politycznym i praktycznym w kontekście możliwości przystosowania do nowych warunków, a także przeciwdziałania zmianom niekorzystnym dla środowiska [Christensen i in. 2007; Ruosteenoja i in. 2007; Żmudzka 2009; Paris... 2015].

Lasy odgrywają szczególną rolę w procesie zapobiegania zmianom klimatycznym, gdyż w znaczącym stopniu ograniczają wzrost stężenia CO₂ w atmosferze. Ekosystem leśny jest bardzo

wrażliwy na warunki klimatyczne, a także na ich zmiany, które mogą prowadzić do zwiększenia częstości i intensywności występowania w lasach zagrożeń abiotycznych i biotycznych. Problematyka wpływu zmian klimatu na ekosystemy leśne i na gospodarkę leśną oraz ich adaptacja do nowych warunków jest bardzo złożona [Rykowski 2006; Chmura i in. 2010; Jaworski, Hilszczański 2013; Zajączkowski i in. 2013]. Projekcje przyszłych warunków klimatycznych w oparciu o różne scenariusze, choć obciążone dużym stopniem niepewności, ułatwiają opracowywanie strategii adaptacyjnych do nowej sytuacji [Rykowski 2006; Chmura i in. 2010].

Jedną z podstawowych charakterystyk klimatu obszaru leśnego jest leśny okres wegetacyjny (LOW), który definiuje się jako okres roku obejmujący czas trwałego występowania średniej temperatury dobowej na poziomie 10°C i wyższym [Chojnacka-Ożga 1999; Durło i in. 2004; Durło 2010, 2011]. Jego długość w każdych warunkach klimatycznych jest zmienna z roku na rok, a postępujące globalne ocieplenie może go znacznie wydłużyć.

Celem pracy było dokonanie charakterystyki porównawczej dat rozpoczęcia i zakończenia oraz długości leśnego okresu wegetacyjnego wyznaczonych na podstawie przebiegu średniej dobowej temperatury powietrza w latach 1981-2010 oraz danych generowanych uwzględniających przyjęte założenia zmian klimatu. Hipoteza badawcza zakładała, że w analizowanym wieloletnim nastąpiło wydłużenie czasu trwania leśnego okresu wegetacyjnego, a przewidywany wzrost temperatury powietrza spowoduje dalsze zmiany długości oraz terminów rozpoczęcia i zakończenia tego okresu.

Materiał i metody

W opracowaniu wykorzystano dane dotyczące wartości średniej dobowej temperatury powietrza z okresu 1981-2010 pochodzące ze stacji IMGW-PIB, które reprezentowały sześć krain przyrodniczo-leśnych (ryc. 1).

W celu predykcji przyszłych warunków klimatycznych stosowanych jest wiele modeli określających scenariusze zmian klimatu, które oparte są zazwyczaj na symulacjach globalnych modeli klimatycznych (GMS) w odniesieniu do scenariuszy emisji SRES opisujących różną przyszłość społeczno-gospodarczą [Christensen, Christensen 2007; Christensen i in. 2007; Ruosteenoja i in. 2007].

Określając potencjalne zmiany klimatu, przyjęto w niniejszej pracy scenariusz GISS model E dla Europy Centralnej, zakładający wzrost temperatury powietrza o 2,8°C w skali roku, 3,2°C



Ryc. 1.

Lokalizacja stacji IMGW-PIB uwzględnionych w opracowaniu na tle krain przyrodniczo-leśnych

Location of the IMGW-PIB meteorostations included in the study and nature-forest regions

w okresie zimowym i o 2°C w okresie letnim oraz wzrost sumy rocznej opadów wynoszący 10%, przy zachowaniu dotychczasowego poziomu w okresie letnim. Założenia przyjętego scenariusza uwzględniają warunki podwojenia koncentracji CO₂ w atmosferze [Christensen i in. 2007; Ruosteenoja i in. 2007; The Fourth... 2007; Kuchar 2009].

W celu uzyskania symulowanych danych meteorologicznych określających przyszłe warunki pogodowe wykorzystano generator danych WGENK [Kuchar 2005]. W zastosowanym modelu generowanie danych polega na tworzeniu ciągów obserwacji dobowych promieniowania całkowitego, temperatury minimalnej i maksymalnej oraz opadów zgodnych z charakterystyką klimatyczną określonego miejsca. Dla każdej z analizowanych stacji wygenerowano 300 jednakowo prawdopodobnych wariantów ciągów pogodowych w układzie rocznym, spełniających założenia przyjętego scenariusza zmian klimatu. Wygenerowanie tak dużej liczby układów pogodowych pozwoliło na określenie możliwego zakresu (wartości skrajne) i różnorodności przyszłych warunków klimatycznych. Średnie wartości wyznaczone ze zbioru danych generowanych prezentują przeciętne tło przyszłych warunków pogodowych [Kuchar 2005, 2009].

Na podstawie danych z lat 1981-2010 oraz danych generowanych ustalono średnie oraz skrajne daty rozpoczęcia i zakończenia oraz długości leśnego okresu wegetacyjnego dla każdej z analizowanych stacji. W tym celu wykorzystano metodę określania sezonów klimatycznych na podstawie przebiegu średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza [Kossowska-Cezak i in. 2000]. Przejście średniej dobowej temperatury przez próg 10°C umożliwiło wyznaczenie dat początku (x_1) i końca (x_2) leśnego okresu wegetacyjnego, przy uwzględnieniu zależności:

$$x_1 = (t_p - t_1) / (t_2 - t_1) \cdot 30$$

$$x_2 = (t_1 - t_p) / (t_1 - t_2) \cdot 30$$

gdzie:

t_p – temperatura progu termicznego,

t_1 – średnia temperatura w miesiącu poprzedzającym przejście temperatury przez próg termiczny,

t_2 – średnia temperatura w miesiącu następującym po przejściu temperatury przez próg termiczny,

x_1, x_2 – liczba dni upływających od połowy miesiąca poprzedzającego przejście średniej temperatury przez próg termiczny.

Dla terminów rozpoczęcia, zakończenia i długości leśnego okresu wegetacyjnego w latach 1981-2010 wyznaczono trend liniowy, który posłużył do określenia kierunku i tempa zmian badanych charakterystyk. Istotność współczynnika kierunkowego trendu oceniono testem t-Studenta.

Wyniki

W latach 1981-2010 na przeważającym obszarze kraju leśny okres wegetacyjny rozpoczynał się przeciętnie w drugiej połowie kwietnia, natomiast w regionie północno-wschodnim w pierwszych dniach maja (tab. 1). Średnie daty rozpoczęcia wahały się między 19 IV w Opolu a 2 V w Suwałkach. Najwcześniejsze daty rozpoczęcia leśnego okresu wegetacyjnego (LOW) zanotowano we wszystkich analizowanych stacjach w roku 2000 i było to między 4 IV w Opolu i Zielonej Górze a 11 IV w Białymstoku, Chojnicach, Resku i Suwałkach. Najpóźniejsze daty rozpoczęcia okresu wegetacji mieściły się w granicach od 5 do 25 V. Różnice między skrajnymi datami rozpoczęcia leśnego okresu wegetacyjnego były zróżnicowane w zależności od stacji i wahały się od 28 dni w Terespolu do 45 dni w Chojnicach. Przeciętna różnica wyniosła 36 dni. Średnie daty zakończenia leśnego okresu wegetacyjnego w analizowanym wieloleciu wahały się między 26 IX na

Tabela 1.

Średnia (śr), najpóźniejsza (np) i najwcześniejsza (nw) data rozpoczęcia (P) i zakończenia (Z) leśnego okresu wegetacyjnego w latach 1981-2010

Average (śr), the latest (np) and the earliest (nw) date of start (P) and completion (Z) of the forest vegetation period in the years 1981-2010

	Pśr	Pnp	Pnw	Zśr	Znp	Znw
Białystok	29 IV	11 V	11 IV	30 IX	16 X	12 IX
Chojnice	30 IV	25 V	11 IV	3 X	21 X	20 IX
Kalisz	22 IV	16 V	5 IV	10 X	28 X	28 IX
Kielce	26 IV	15 V	9 IV	3 X	23 X	14 IX
Kraków	22 IV	10 V	6 IV	8 X	28 X	24 IX
Leszno	23 IV	10 V	6 IV	9 X	25 X	28 IX
Lublin	25 IV	12 V	8 IV	3 X	21 X	14 IX
Łódź	24 IV	15 V	5 IV	7 X	25 X	25 IX
Olsztyn	1 V	20 V	10 IV	4 X	20 X	16 IX
Opole	19 IV	10 V	4 IV	15 X	3 XI	1 X
Poznań	22 IV	16 V	6 IV	9 X	26 X	29 IX
Resko	29 IV	20 V	11 IV	6 X	23 X	18 IX
Suwałki	2 V	15 V	11 IV	26 IX	11 X	8 IX
Tarnów	20 IV	6 V	6 IV	11 X	2 XI	24 IX
Terespol	23 IV	5 V	7 IV	3 X	19 X	20 IX
Toruń	25 IV	17 V	6 IV	7 X	26 X	25 IX
Warszawa	22 IV	7 V	6 IV	7 X	23 X	26 IX
Wrocław	21 IV	12 V	5 IV	11 X	28 X	29 IX
Zielona Góra	22 IV	17 V	4 IV	10 X	26 X	28 IX

północnym wschodzie kraju (Suwałki) a 15 X na południowym zachodzie (Opole). Najpóźniejsze daty zakończenia okresu wegetacji odnotowano w roku 2000 i przypadały one w większości stacji na drugą połowę października, z wyjątkiem Opola i Tarnowa, gdzie okres ten zakończył się w pierwszych dniach listopada. Najwcześniejsze terminy zakończenia LOW zawierały się między 8 IX na północnym wschodzie (Suwałki) a 1 X na południowym zachodzie (Opole) (tab. 1). Odchylenie standardowe terminów rozpoczęcia i zakończenia wegetacji leśnej w analizowanym trzydziestolecu utrzymywało się we wszystkich stacjach na porównywalnym poziomie i wynosiło odpowiednio 8 i 9 dni.

We wszystkich analizowanych stacjach odnotowano tendencję do wcześniejszego rozpoczęcia okresu wegetacji w lesie – przeciętnie 8 dni/30 lat (w zależności od stacji było to od 2 do 14 dni/30 lat) (tab. 2). W większości lokalizacji nastąpiło też opóźnienie terminów zakończenia wegetacji o średnio 3 dni/30 lat, choć w Białymstoku było to aż 10 dni/30 lat. W 6 na 19 analizowanych stacji odnotowano tendencję do wcześniejszego zakończenia wegetacji i były to przesunięcia na poziomie 2 dni/30 lat. Wcześniejsze rozpoczęcie i późniejsze zakończenie spowodowało, że w latach 1981-2010 czas trwania leśnego okresu wegetacyjnego w Polsce wydłużył się średnio o 10 dni, przy dużym zróżnicowaniu w analizowanych stacjach, które wynosiło od 2 dni w Opolu do 16 w Zielonej Górze (tab. 2). Wyznaczone równania trendu określają kierunek i zakres zmian wskaźników charakteryzujących leśny okres wegetacyjny, jednak niskie wartości współczynnika determinacji wskazują na niską przydatność predykcyjną tych modeli.

Wygenerowane dane, uwzględniające założenia przyjętego scenariusza zmian klimatu, pokazują, że w przyszłości leśny okres wegetacyjny może rozpoczynać się już na początku marca, a więc niemal o miesiąc wcześniej w stosunku do zanotowanych dotychczas najwcześniejszych

Tabela 2.

Współczynnik kierunkowy (a) i współczynnik determinacji (R^2) trendu liniowego dla początku, zakończenia i długości leśnego okresu wegetacyjnego w latach 1981-2010

Slope (a) and coefficients of determination (R^2) of the linear trend for the beginning, end and length of forest vegetation period in the years 1981-2010

	Początek Start		Koniec End		Długość Length	
	a	R^2	a	R^2	a	R^2
Białystok	-0,053	0,005	0,320	0,105	0,373	0,078
Chojnice	-0,237	0,059	0,129	0,020	0,365	0,066
Kalisz	-0,377*	0,176	0,004	0,001	0,381	0,084
Kielce	-0,276	0,108	0,086	0,007	0,361	0,069
Kraków	-0,312*	0,137	-0,023	0,001	0,288	0,045
Leszno	-0,355*	0,154	-0,046	0,002	0,316	0,057
Lublin	-0,293*	0,140	0,145	0,022	0,437	0,111
Łódź	-0,317*	0,136	0,020	0,020	0,337	0,065
Olsztyn	-0,166	0,040	0,160	0,021	0,379	0,062
Opole	-0,227	0,073	-0,143	0,023	0,077	0,002
Poznań	-0,385*	0,177	0,025	0,001	0,456	0,088
Resko	-0,253	0,068	-0,093	0,008	0,245	0,021
Suwałki	-0,112	0,020	0,149	0,027	0,261	0,071
Tarnów	-0,268	0,100	-0,080	0,018	0,187	0,017
Terespol	-0,223	0,090	0,099	0,013	0,322	0,067
Toruń	-0,228	0,074	0,031	0,011	0,259	0,037
Warszawa	-0,316*	0,170	0,107	0,147	0,423	0,109
Wrocław	-0,450*	0,251	-0,024	0,004	0,425	0,108
Zielona Góra	-0,474*	0,236	0,073	0,064	0,547	0,153

*istotne na poziomie $\alpha=0,05$; significant for $\alpha=0,05$

terminów jego rozpoczęcia. Najpóźniejsze symulowane daty początku tego okresu są średnio o 16 dni wcześniejsze niż notowane w latach 1981-2010. W symulowanej przyszłości możliwe najpóźniejsze daty zakończenia leśnego okresu wegetacyjnego mogą kształtować się między 3 XI w Suwałkach a nawet 4 XII w Lesznie, co oznacza, że są to terminy o średnio 25 dni późniejsze niż występujące w okresie 1981-2010 (tab. 3). Najwcześniejsze wygenerowane daty zakończenia tego okresu, w zależności od stacji, przypadają na ostatnie dni września lub pierwszą dekadę października.

Analiza średnich i skrajnych długości leśnego okresu wegetacyjnego w latach 1981-2010 wskazuje na znaczne zróżnicowanie przestrzenne. Średnia długość tego okresu dla obszaru Polski wynosiła 165 dni przy odchyleniu standardowym 12 dni. Średnio LOW trwał najdłużej na południowym zachodzie – w Opolu 179 dni, a najkrócej na północnym wschodzie kraju – w Suwałkach 146 dni, co daje różnicę miesiąca między tymi lokalizacjami. Maksymalna długość tego okresu, odnotowana we wszystkich analizowanych stacjach w 2000 roku, wahała się od 161 dni w Suwałkach do 213 w Opolu. Minimalne wartości tej charakterystyki zawierały się między 131 dniami w Chojnicach, Resku i Suwałkach a 153 dniami w Tarnowie (ryc. 2).

Założony w przyjętym scenariuszu zmian wzrost temperatury powietrza przełożył się na wcześniejsze terminy rozpoczęcia i późniejsze zakończenia leśnego okresu wegetacyjnego w przyszłości, a tym samym i na jego długość. Wyznaczone na podstawie danych generowanych skrajne długości leśnego okresu wegetacyjnego mogą kształtować się w przypadku maksymalnych wartości między 205 dniami w Suwałkach a 259 w Opolu, w przypadku wartości minimal-

Tabela 3.

Średnia (śr), najpóźniejsza (np) i najwcześniejsza (nw) data rozpoczęcia (P) i zakończenia (Z) leśnego okresu wegetacyjnego dla warunków $2\times\text{CO}_2$

Average (śr), the latest (np) and the earliest (nw) date of start (P) and completion (Z) of the forest vegetation period for the $2\times\text{CO}_2$ conditions

	Pśr	Pnp	Pnw	Zśr	Znp	Znw
Białystok	14 IV	2 V	27 III	18 X	10 XI	29 IX
Chojnice	14 IV	29 IV	1 III	20 X	9 XI	2 X
Kalisz	4 IV	16 IV	5 III	26 X	17 XI	8 X
Kielce	10 IV	26 IV	13 III	21 X	15 XI	29 IX
Kraków	6 IV	24 IV	8 III	27 X	21 XI	6 X
Leszno	6 IV	25 IV	7 III	27 X	4 XII	7 X
Lublin	10 IV	26 IV	14 III	22 X	23 XI	30 IX
Łódź	8 IV	27 IV	7 III	24 X	12 XI	2 X
Olsztyn	14 IV	2 V	22 III	19 X	9 XI	30 IX
Opole	3 IV	24 IV	9 III	29 X	22 XI	8 X
Poznań	5 IV	25 IV	10 III	26 X	24 XI	2 X
Resko	9 IV	30 IV	4 III	26 X	23 XI	7 X
Suwałki	16 IV	10 V	30 III	15 X	3 XI	29 IX
Tarnów	9 IV	30 IV	2 III	30 X	23 XI	7 X
Terespol	8 IV	25 IV	9 III	21 X	21 XI	1 X
Toruń	8 IV	30 IV	12 III	24 X	20 XI	5 X
Warszawa	8 IV	26 IV	15 III	23 X	17 XI	2 X
Wrocław	5 IV	25 IV	2 III	27 X	17 XI	8 X
Zielona Góra	2 IV	14 IV	6 III	26 X	16 XI	7 X

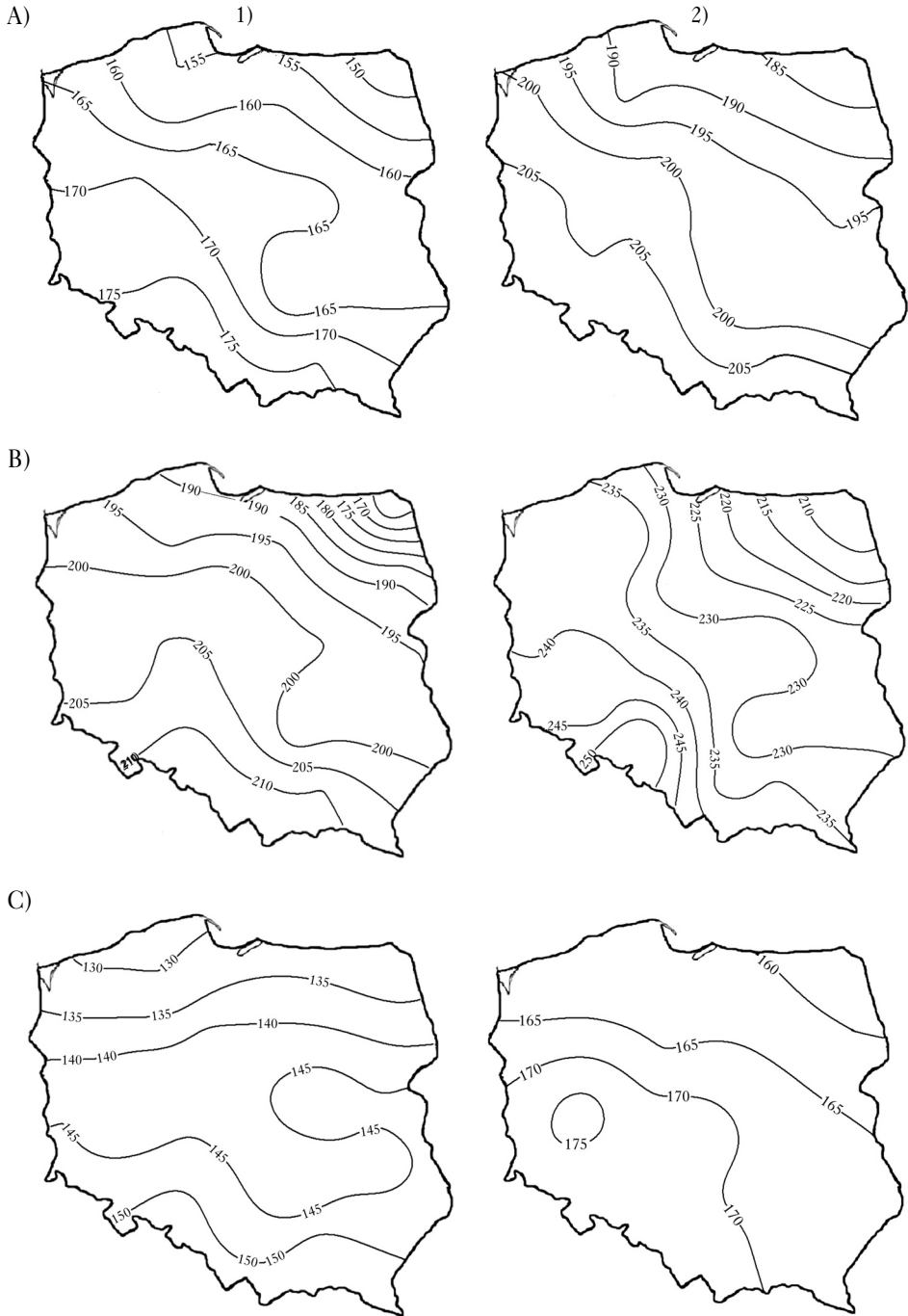
nych między 156 w Suwałkach a 179 dniami w Tarnowie. Średnie wartości skrajne dla obszaru kraju mogą wynosić odpowiednio 233 i 168 dni (ryc. 2).

Różnice między średnimi i skrajnymi wartościami długości leśnego okresu wegetacyjnego wyznaczonymi na podstawie danych z lat 1981-2010 i danych generowanych wskazują, że należy oczekiwać wydłużenia tego okresu przeciętnie o miesiąc (ryc. 3).

Dyskusja

Obserwowane dotychczas i zachodzące w różnym tempie zmiany klimatu w warunkach Polski dotyczą przede wszystkim tendencji wzrostowej temperatury powietrza, która charakteryzuje się przestrzennym i sezonowym zróżnicowaniem [Szwejkowski i in. 2009; Żmudzka 2009]. Konsekwencją wzrostu temperatury, a tym samym zwiększenia zasobów termicznych [Żmudzka 2012], są zmiany w przebiegu okresów ważnych z punktu widzenia wegetacji roślin. Z badań wynika, że odnotowane już wydłużenie czasu trwania okresu wegetacyjnego związane było przede wszystkim z przyspieszeniem terminów rozpoczęcia wegetacji [Żmudzka, Dobrowolska 2001; Szwejkowski i in. 2009; Żmudzka 2012; Nieróbca i in. 2013]. Podobnie kształtuje się sytuacja w odniesieniu do leśnego okresu wegetacyjnego [Chojnacka-Ożga 1999; Durło i in. 2004; Durło 2010; Żmudzka 2012; Chojnacka-Ożga, Ożga 2015].

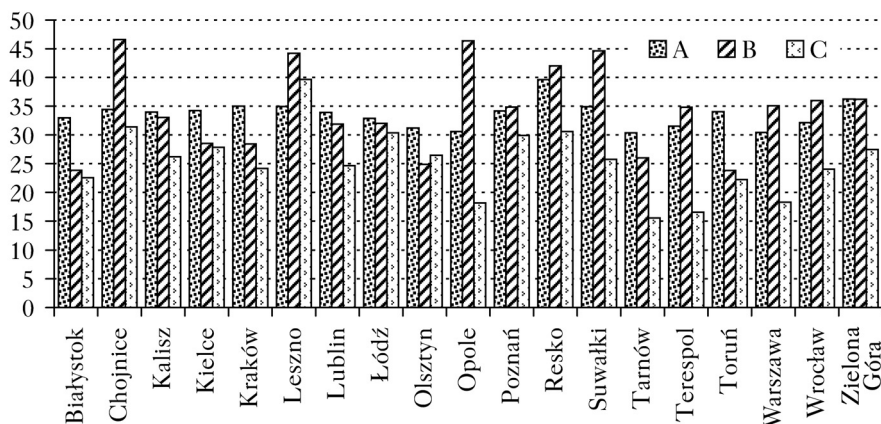
Jak wykazała predykcyjna część analizy, przyszłe zmiany klimatu w Polsce, zgodnie z przyjętymi założeniami, oznaczają wydłużenie czasu trwania leśnego okresu wegetacyjnego przeciętnie o 30 dni w stosunku do aktualnych wartości. Uzyskane wyniki pozostają zgodne z projekcją Nieróbcy i in. [2013] dotyczącą zmian długości okresu wegetacyjnego, która wskazuje na jego wydłużenie o średnio dwa tygodnie do 2030 roku i o miesiąc w perspektywie 2050 roku.



Ryc. 2.

Średnia (A), maksymalna (B) i minimalna (C) długość leśnego okresu wegetacyjnego w latach 1981-2010 (1) i dla warunków $2 \times \text{CO}_2$ (2)

Average (A), maximum (B) and (C) minimum length of the forest vegetation period in years 1981-2010 (1) and for the $2 \times \text{CO}_2$ conditions (2)



Ryc. 3.

Różnica [dni] między średnią (A), maksymalną (B) i minimalną (C) długością leśnego okresu wegetacyjnego wyznaczoną na podstawie danych generowanych i danych z lat 1981-2010

Difference [days] between average (A), maximum (B) and minimum (C) length of forest vegetation period designated on the basis of the generated data and the data from 1981-2010

Ze względu na złożoność i wielokierunkowość relacji między warunkami klimatycznymi a ekosystemem leśnym trudno przewidzieć reakcję lasów na zmiany klimatu. Badania w tym zakresie pokazują, że potencjalne reakcje należy rozpatrywać pod kątem zmian występowania współczesnych gatunków drzew lasotwórczych, zmian w strukturze lasu, jego produktywności oraz odporności na zagrożenia biotyczne i abiotyczne [Rykowski 2008; Lindner i in. 2010; Milad i in. 2011; Zajączkowski i in. 2013]. Niepewność dotycząca kierunku zmian środowiska oraz możliwego poziomu reakcji ekosystemów leśnych, jak i poszczególnych gatunków pozostaje dla gospodarki leśnej dużym wyzwaniem.

Wnioski

- ✦ W latach 1981-2010 średni termin rozpoczęcia leśnego okresu wegetacyjnego na obszarze Polski to 25 IV, zakończenia – 10 X, a jego średnia długość wyniosła 165 dni przy dużym zróżnicowaniu przestrzennym tych charakterystyk.
- ✦ Odnotowano tendencję do wcześniejszego rozpoczęcia leśnego okresu wegetacyjnego: przeciętnie 8 dni/30 lat, przy jednocześnie niewielkim opóźnieniu terminów zakończenia o średnio 3 dni/30 lat.
- ✦ Według przyjętego scenariusza zmian klimatu średnia długość leśnego okresu wegetacyjnego może ulec wydłużeniu o ponad 30 dni. Spodziewany najkrótszy okres wegetacyjny może liczyć niemal tyle dni, ile aktualnie wynosi jego średnia długość. W przyszłości średnia maksymalna długość leśnego okresu wegetacyjnego może wynosić 233 dni i byłoby to o 34 dni więcej niż obecnie. Według danych generowanych okres wegetacyjny w przyszłości może, w zależności od stacji, rozpoczynać się od 2 do 3 tygodni wcześniej niż obecnie i kończyć od tygodnia do dwóch później. Średnia data jego początku to 9 IV, a zakończenia – 24 X.

Literatura

- Chmura D. J., Howe G. T., Anderson P. D., St. Clair J. B. 2010. Przystosowanie drzew, lasów i leśnictwa do zmian klimatycznych. *Sylwan* 154 (9): 587-602.
- Chojnacka-Ożga L. 1999. Długość termicznego okresu wegetacyjnego w lasach doświadczalnych SGGW w Rogowie w latach 1926-1998. W: Feliksik E. [red.]. *Klimatyczne uwarunkowania życia lasu*. Wyd. PTL. 127-133.

- Chojnacka-Ożga L., Ożga W. 2015. Zmienność czasowa termicznego i leśnego okresu wegetacyjnego na obszarze Puszczy Białowieńskiej. 2. Ogólnopolska konferencja naukowa „Klimatyczne uwarunkowania życia lasu”. Rogów, 16-17.06.2015.
- Christensen J. H., Christensen O. B. 2007. A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Clim. Change* 81: 7-30.
- Christensen J. H., Hewitson B., Busuioc A., Chen A., Gao X., Held I., Jones R., Kolli R. K., Kwon W. T., Laprise R., Magana Reuda V., Mearns L., Menedez C. G., Raisanen J., Rinke A., Sarr A., Whetton P. 2007. Regional Climate Projections. W: Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M., Miller H. L. [red.]. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Durło G. 2010. Leśny okres wegetacyjny na obszarze LKP Lasy Beskidu Śląskiego, *Sylwan* 154 (8): 577-584.
- Durło G. 2011. The possibility of adaptation of spruce forests in Beskid Śląski Mts. to changing climate conditions. *Prace i Studia Geograficzne* 47: 227-236.
- Durło G., Feliksik E., Wilczyński S. 2004. Wieloletnia zmienność czasu trwania meteorologicznego okresu wegetacyjnego na Kopciowej w Beskidzie Sądeckim. *Acta Agraria et Silvestria, ser Silv.* 42: 23-34.
- Jaworski T., Hilszczański J. 2013. Wpływ zmian temperatury i wilgotności na cykle rozwojowe i znaczenie owadów w ekosystemach leśnych w związku z prawdopodobnymi zmianami klimatycznymi. *Leś. Pr. Bad.* 74 (4): 345-355. DOI: 10.2478/frp-2013-0033.
- Kossowska-Cezak U., Martyn D., Olszewski K., Kopacz-Lembowicz M. 2000. *Meteorologia i klimatologia. Pomiar, obserwacje, opracowania*. PWN, Warszawa.
- Kuchar L. 2005. Zmodyfikowany model WGENK generowania dobowych danych meteorologicznych na potrzeby modelowania agrometeorologicznego. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie* 5 (14): 185-196.
- Kuchar L. 2009. Validation test of WGENK Feather generator for Polish Lowland. W: *Szwejkowski Z.* [red.]. *Environmental aspects of climate changes*. UWM Olsztyn. 9-20.
- Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolstro M., Lexer M. J., Marchetti M. 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 259: 698-709. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.09.023.
- Milad M., Schaich H., Bürgi M., Konold W. 2011. Climate change and nature conservation in Central European forests: A review of consequences, concepts and challenges. *Forest Ecology and Management* 261: 829-843. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.10.038.
- Nieróbca A., Kozyra J., Mizak K., Wróblewska E. 2013. Zmiana długości okresu wegetacyjnego w Polsce. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie* 13 (2): 81-94.
- Paris Agreement COP 21. 2015. Outcomes of the UN climate change conference in Paris. http://unfccc.int/meetings/paris_nov_2015/meeting/8926.php
- Ruosteenoja K., Tuomenvirta H., Jylha K. 2007. GCM-based regional temperature and precipitation change estimates for Europe under four SRES scenarios applying a super-ensemble pattern-scaling methods. *Clim. Chang.* 81: 193-208.
- Rykowski K. 2006. O wpływie zmian klimatycznych na strukturę lasów i leśnictwo. W: Gutry-Korycka M., Kedziora A., Starkel L., Ryszkowski L. [red.]. *Długotrwałe przemiany krajobrazu Polski w wyniku zmian klimatu i użytkowania ziemi*. Poznań. Komitet Narodowy IGBP – Global Change. 109-120.
- Rykowski K. 2008. *Climate change, Forest, Forestry, Relationships*. CILP, Warszawa.
- Szwejkowski Z., Dragańska E., Suchecki S. 2009. *Agroclimat conditions in Poland in 1966-2000*. W: *Szwejkowski Z.* [red.]. *Environmental Aspects of Climate Changes*. UWM Olsztyn. 21.
- The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch10.html
- Zajączkowski J., Brzeziecki B., Perzanowski K., Kozak I. 2013. Wpływ potencjalnych zmian klimatycznych na zdolność konkurencyjną głównych gatunków drzew w Polsce. *Sylwan* 157 (4): 235-261.
- Żmudzka E. 2009. Współczesne zmiany klimatu Polski. *Acta Agrophysica* 13 (2): 555-568.
- Żmudzka E. 2012. Wieloletnie zmiany zasobów termicznych w okresie wegetacyjnym i aktywnego wzrostu roślin w Polsce. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie* 38: 377-389.
- Żmudzka E., Dobrowolska M. 2001. Termiczny okres wegetacyjny w Polsce – różnicowanie przestrzenne i zmienność czasowa. *Przegl. Nauk. SGGW. Wydz. Inż. i Kszt. Środ.* 21: 75-80.