

Wpłynęło 28.10.2011 r.  
Zrecenzowano 17.01.2012 r.  
Zaakceptowano 10.02.2012 r.

A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

# WPŁYW PROGNOZOWANYCH WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH NA STABILNOŚĆ DRZEWOSTANÓW ŚWIERKOWYCH W BESKIDZIE ŚLĄSKIM

**Grzegorz B. DURŁO** <sup>ABCDEF</sup>

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Ochrony Lasu i Klimatologii Leśnej

## Streszczenie

W pracy przedstawiono parametry, określające możliwości adaptacji drzewostanów świerkowych do bieżących i prognozowanych warunków klimatycznych na obszarze leśnego kompleksu promocyjnego – Lasy Beskidu Śląskiego. W tym celu wykorzystano dane historyczne z wielolecia 1951–2010 oraz ciąg danych meteorologicznych, wygenerowanych za pomocą modelu WGEN\_K [KUCHAR 2005; RICHARDSON, WRIGHT 1984] o horyzoncie czasowym 100 lat. Obliczenia przeprowadzono na podstawie dwóch scenariuszy stężenia CO<sub>2</sub> – 130% i 200%, korzystając z modelu klimatycznego GISS\_E [SMITH, PITTS 1997]. Opisano związek przyrostu miąższości świerka i produkcji biomasy z warunkami klimatycznymi. Na podstawie uzyskanych wyników sporządzono diagramy produktywności siedlisk dla świerka, zgodnie z normą klimatyczną 1951–2000 oraz według zaproponowanych scenariuszy na 2100 r.

*Słowa kluczowe:* Beskid Śląski, biomasa, klimat, przyrost, świerk

## WSTĘP

W ostatnich kilkunastu latach na obszarze Karpat Zachodnich zarysowały się pewne modyfikacje w rozkładzie niektórych parametrów klimatycznych, czego dowodem są różnice między bieżącymi wskaźnikami, a normą klimatyczną drugiej połowy XX w. Zmiany te wydają się na tyle istotne, że w dalszej perspektywie mogą wpłynąć na skład gatunkowy ekosystemów leśnych oraz warunki produkcji w zachodnio-karpacciej strefie regla dolnego [ALBERT, SCHMIDT 2010; BÜNTGEN

**Adres do korespondencji:** dr inż. G. Durło, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, Wydział Leśny, Katedra Ochrony Lasu i Klimatologii Leśnej, al. 29 listopada 46, 31-425 Kraków; tel. +48 12 662-51-42, e-mail: rldurlo@cyf-kr.edu.pl

i in. 2007; DUBROVSKY i in. 2005; DURŁO 2007; 2010; 2011; ĎURSKÝ i in. 2006; FELIKSIK, DURŁO 2004; MIGAŁA 2005; SOCHA 2010a]. Obserwowany od połowy lat 90. XX w. proces zamierania świerczyn beskidzkich dowodzi, że prawdopodobnie zmiany siedliskowe następują znacznie szybciej niż pokoleniowa wymiana drzew. Leśnicy upatrują przyczyn tego stanu zarówno w oddziaływaniu czynników abiotycznych, jak i biotycznych, również szkodliwych substancji pochodzenia antropogenicznego. Jeden ze scenariuszy zakłada, że na skutek działalności człowieka, w ciągu kolejnych 50 lat, nastąpi podwojenie koncentracji CO<sub>2</sub> w atmosferze, co będzie skutkowało znaczącym wzrostem średniej rocznej temperatury powietrza oraz zmianami w rozkładzie sezonowym opadów atmosferycznych [ALBERT, SCHMIDT 2010; ANDREASSEN i in. 2006; SOLOMON i in. 2007]. Klimat stanowi jeden z podstawowych czynników kształtujących warunki wzrostu i rozwoju drzewostanów w górach, dlatego należy spodziewać się, że w kolejnym latach może dojść do destabilizacji zbiorowisk leśnych i niekorzystnych zmian w systemie ich funkcjonowania [BALON 2007; DURŁO 2007; 2011; MÄKINEN i in. 2002; MIGAŁA 2005; SAAVA i in. 2006]. Przeciwnego zdania są autorzy opracowań dotyczących regionu Skandynawii, Niemiec i Kanady. Ich zdaniem, obserwowane w ostatnim czasie zmiany warunków siedliskowych następują łagodnie, stopniowo oraz bez znacznych wahań, co na przestrzeni kilkudziesięciu lat ma przyczynić się do zwiększenia potencjalnej produktywności siedlisk, na których występuje świerk [ALBERT, SCHMIDT 2010; ĎURSKÝ i in. 2006; FRIES i in. 2000]. Jednak alarmujące sygnały z różnych rejonów występowania świerka strefy karpackiej poddają w wątpliwość rezultaty powyższych opracowań. Z uwagi na wyjątkowo duże znaczenie gospodarcze świerka w lasach centralnej i zachodniej Europy, istnieje pilna potrzeba oceny możliwości poprawy jego wzrostu w terenach górskich, oraz celowości wprowadzania świerka, jako dominującego gatunku lasotwórczego w odnowieniach. Celem pracy było określenie możliwości produkcyjnych świerka pospolitego w Beskidzie Śląskim i diagnoza potencjalnych zagrożeń ze strony czynników abiotycznych w kontekście stabilności ekosystemów leśnych na badanym obszarze. W pracy podjęto również próbę zweryfikowania hipotezy o poprawie warunków wzrostu drzew i zwiększeniu produktywności siedlisk na tle prognozowanych zmian temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Europie.

## MATERIAL I METODY BADAŃ

Obiektem badań był obszar Beskidu Śląskiego o powierzchni około 700 km<sup>2</sup>, który w prawie 60% pokrywają lasy. Większość z nich to drzewostany świerkowe obejmujące swym zasięgiem piętro regla dolnego i górnego, w przedziale wysokości od 400 do 1200 m n.p.m [WILCZEK 1995]. Pozostałe obszary zajmują zbiorowiska naturalnej buczyny storczykowej (*Cephalanthero-Fagenion*), łągów jesionowych (*Carici remotae-Fraxinetum*), jaworzyny górskiej (*Lunario-Aceretum*), boru

jadłowo-świerkowego (*Abieti-Piceetum montanum*), a w wyższych położeniach kwaśne buczyny (*Luzulo luzuloidis-Fagetum*) [BARAŃSKI 2007]. Beskid Śląski należy do karpackiej strefy klimatycznej, położonej w obszarze klimatu umiarkowanego, kształtowanego przede wszystkim przez masy powietrza polarno-morskiego, napływające z kierunku zachodniego i północno-zachodniego. Zgodnie z klasyfikacją ROMERA [1962], omawiany obszar należy do regionu klimatycznego gór, krainy Beskidu Śląskiego i Zachodniego F7, dziedziny Beskidu Śląskiego F71.

Do opracowania charakterystyki klimatu wykorzystano dane pochodzące z 25 stacji i posterunków meteorologicznych z lat 1951–2010, zlokalizowanych w pełnym zakresie wysokości na obszarze Beskidu Śląskiego (tab. 1). Materiałem wyjściowym były: dzienniki spostrzeżeń opadowych, dzienniki obserwatora, miesięczne wykazy spostrzeżeń oraz roczniki meteorologiczne i opadowe, które uzyskano w archiwum Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie oraz Górnośląskiego Centrum Hydrologiczno-Meteorologicznego w Katowicach.

Uzupełnieniem były zbiory elektronicznych baz danych: Global Climate Observing System, International Centre for Theoretical Physics oraz National Oceanic and Atmospheric Administration z lat 1948–2010 [DURLO 2011]. Analizę klimatologiczną prowadzono w kilku aspektach. Pierwszy z nich dotyczył danych archiwalnych, historycznych zapisów o przebiegu i rozkładzie warunków meteorologicznych na badanym obszarze. Drugi aspekt dotyczył analizy warunków klimatycznych dwóch ostatnich dekad, a w zasadzie okresu po 1988 r. uznanym jako rok bazowy prognozy stężenia CO<sub>2</sub> [Rozporządzenie RM... 1996]. Ostatni aspekt był związany z modelowaniem warunków klimatycznych na podstawie scenariuszy klimatycznych na przyszłość. Serie danych poszczególnych elementów meteorologicznych generowano za pomocą generatora WGENK [KUCCHAR 2005; RICHARDSON 1985; RICHARDSON, WRIGHT 1984]. W trakcie procedury obliczeniowej zaproponowano dwa warianty prognozy stężenia CO<sub>2</sub>: w pierwszym przypadku przyjęto założenie o podwojeniu jego stężenia do 2050 r. (GISS\_E), w drugim wariantcie – 130-procentowe zwiększenie stężenia w tym samym okresie (GISS\_E\_WC) [DURLO 2011]. Analizę statystyczną wyników przeprowadzono z użyciem pakietu Statistica 9.0. Stabilności drzewostanów świerkowych oparto na ocenie dwóch parametrów: potencjalnym, bieżącym przyroście PTP (m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) oraz na sumarycznej produkcji biomasy BEF (Mg·ha<sup>-1</sup>) [LEHTONEN i in. 2004; PRETZSCH 2009; SOCHA, DURLO 2011]. W modelowaniu posłużono się danymi biometrycznymi, pochodzącymi z 350 powierzchni badawczych, rozlokowanych w drzewostanach świerkowych III do VI klasy wieku, w obrębie czterech nadleśnictw: Ustronia, Wisły, Węgierskiej Górki oraz Bielska-Białej [SOCHA 2010a, b]. Do opisanego zależności między przyrostem bieżącym drzewostanu i produkcji biomasy, a parametrami klimatycznymi wykorzystano iloczyn dwóch jednomodalnych funkcji dawki [SOCHA 2010a, b; THOMASIUŠ 1990].

**Tabela 1.** Charakterystyka stacji meteorologicznych na obszarze badań**Table 1.** Characteristic of meteorological station in the study area

Lokalizacja Location	Wysokość m n.p.m. Altitude m a.s.l	Współrzędne geograficzne Geographical coordinates	Forma terenu Landform
Skrzyczne	1240	49°41' N 19°02' E	wypukła convex
Klimczok	1010	49°44' N 19°00' E	wypukła convex
Czantoria	852	49°41' N 18°49' E	wypukła convex
Młoda Góra	820	49°35' N 18°52' E	wypukła convex
Istebna Kubalonka	780	49°36' N 18°54' E	wypukła convex
Istebna Stecówka	750	49°35' N 18°57' E	wypukła convex
Koniaków	740	49°33' N 18°58' E	wypukła convex
Zwardoń	690	49°30' N 18°59' E	wypukła convex
Wisła Malinka	685	49°39' N 18°59' E	wypukła convex
Jaworzynka	675	49°32' N 18°55' E	wypukła convex
Ustroń Równica	650	49°43' N 18°51' E	wypukła convex
Istebna Zaolzie	580	49°34' N 18°56' E	wklęsła concave
Lipowa	530	49°40' N 19°05' E	wklęsła concave
Szczyrk	520	49°43' N 19°02' E	wklęsła concave
Wisła Głębcze	480	49°38' N 18°53' E	wklęsła concave
Milówka	445	49°34' N 19°05' E	wklęsła concave
Wisła Centrum	430	49°39' N 18°52' E	wklęsła concave
Brenna Leśnica	420	49°43' N 18°54' E	wklęsła concave
Ustroń Centrum	410	49°43' N 18°49' E	wklęsła concave
Bielsko Biała	398	49°48' N 19°00' E	wklęsła concave
Wapienica	390	49°48' N 18°59' E	wklęsła concave
Nowy Dwór	380	49°39' N 19°10' E	wklęsła concave
Brenna	350	49°45' N 18°52' E	wklęsła concave
Goleszów	350	49°44' N 18°45' E	wklęsła concave
Górki Wielkie	325	49°46' N 18°51' E	wklęsła concave

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

## WYNIKI BADAŃ

Średnia roczna temperatura powietrza w Beskidzie Śląskim, wyznaczona na podstawie danych z 25 stacji i posterunków meteorologicznych, wynosi 6,3°C, z odchyleniem 0,7°C. W analizowanym wieloleciu średnia roczna temperatura powietrza wykazała niewielki trend wzrostowy o współczynniku kierunkowym +0,014, co daje podstawę, by przypuszczać, że temperatura powietrza wzrosła o 0,69°C w ciągu 50 lat. Modyfikacji uległy również granice pięter klimatycznych. Obszar piętra chłodnego zmniejszył się o ok. 0,5%, tj. 3,1 km<sup>2</sup> i obejmuje jedynie

część wierzchowinową masywu Skrzycznego i Baraniej Góry w paśmie Wiślańskim. Kluczowe dla vegetacji świerka piętro umiarkowanie chłodne, rozciąga się obecnie w przedziale wysokości 690–1050 m n.p.m. i obejmuje 324 km<sup>2</sup>, co stanowi 48,5% badanego obszaru. W porównaniu z latami ubiegłymi zasięg tej strefy zwiększył się o ok. 80–100 m w układzie pionowym. Pozostała część regionu to strefa piętra umiarkowanie ciepłego, obejmująca obszar ok. 330 km<sup>2</sup>. Wariant scenariusza GISS\_E na podwojenie stężenia CO<sub>2</sub>, przedstawia bardzo niekorzystną sytuację, w której na obszarze Beskidu Śląskiego zaniknie piętro chłodne oraz niemal całkowicie umiarkowanie chłodne. U podnóży masywu, w rejonie szerokich den dolin otwierających się w stronę pogórza, pojawiłaby się strefa, w której średnia roczna temperatura powietrza może wynieść nawet 10,5–11,0°C. Średnia roczna suma opadu atmosferycznego w Beskidzie Śląskim wynosi 1200 mm, z odchyleniem 160 mm. Najbardziej obfity w opady jest lipiec, najmniej opadów jest w lutym i marcu. Strefa najwyższych opadów obejmuje wierzchowinowe i szczytowe partie pasma Wiślańskiego. Najmniej opadów jest w południowo-wschodniej części masywu w okolicach Rajczy, Węgierskiej Górki i Miłówki. Przeciętny stosunek sumy opadów lata do zimy wynosi 1,61, a wskaźnik nierównomierności ok. 45%, z odchyleniem 3,2%. Analiza prognozowanych warunków pluwialnych na obszarze Beskidu Śląskiego wskazuje, że dotychczasowy poziom sumy rocznej opadu w porównaniu z danymi z drugiej połowy XX w. zostanie utrzymany. Gorzej prezentują się wskaźniki opadu dla lata i okresu wegetacyjnego (tab. 2). Obecnie są one o 8% niższe w porównaniu z danymi z lat 60. i 70. ubiegłego stulecia. Prognoza wykonana za pomocą modelu GISS w pierwszym przypadku (2×CO<sub>2</sub>), daje wynik o 12% niższy, a w drugim (1,3×CO<sub>2</sub>) – o blisko 9%. Rezultaty te nie są optymistyczne, jeśli weźmie się pod uwagę wymagania świerka rosnącego w tej strefie klimatycznej. Analiza danych wieloletnich wskazuje, że minimalna suma opadów w ciepłej porze roku, zapewniająca korzystne warunki vegetacji świerczyn dolnoreglowych, powinna utrzymywać się na poziomie co najmniej 750 mm. Jeszcze bardziej niepokojąco wygląda iloraz opadów okresu letniego w stosunku do półroczia zimnego. Obecnie utrzymuje się on poziomie ok. 1,4, jednak dalszy wzrost mógłby przyczynić się do zaburzenia gospodarki wodnej ekosystemów leśnych w tej części Beskidów Zachodnich. Prognoza oparta na wariancie GISS\_E nie pozostawia w tym względzie żadnych wątpliwości (tab. 1). Realizacja scenariusza zmian klimatu, zakładająca podwojenie stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze, której skutkiem byłby wzrost temperatury do poziomu ok. 8,9°C oraz zmniejszenie sumy opadu w okresie letnim o ok. 12%, miałyby znaczący wpływ na pogorszenie warunków produkcyjnych siedlisk w reglu dolnym Beskidu Śląskiego.

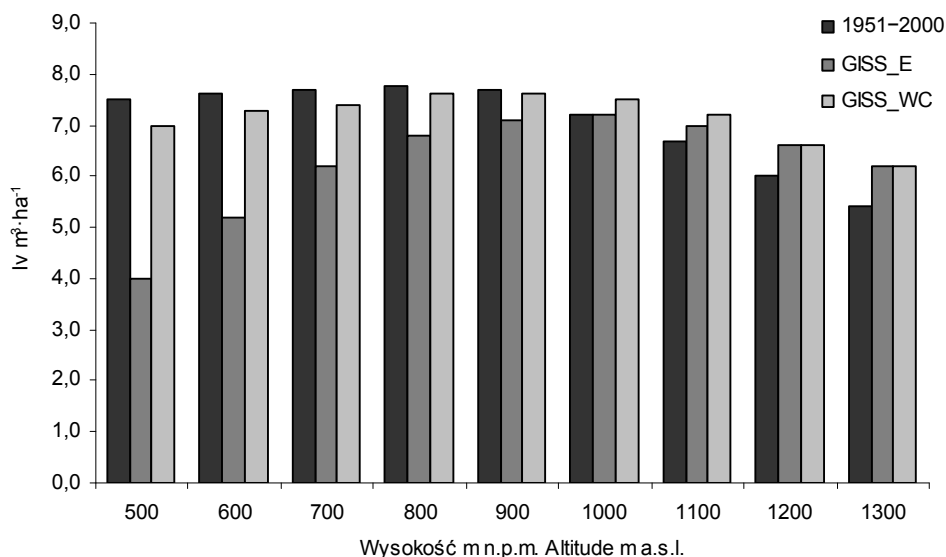
W tej sytuacji, potencjalny bieżący przyrost roczny miąższości drzewostanu świerkowego w wieku 100 lat  $I_v$  wyniósłby przeciętnie ok. 4,0 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, z odchyleniem 1,2 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> podczas gdy obecny przyrost to 7,6 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, co stanowi redukcję o blisko 50% (rys. 1). Przyrost przeciętny roczny  $I_{vr}$  do wysokości 800 m n.p.m. nie osiągnąłby nawet poziomu 4 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, gdy obecny wynosi 14 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> (rys. 2).

**Tabela 2.** Wskaźniki klimatyczne w różnych okresach wraz z prognozami opartymi na scenariuszu klimatycznym GISS\_E ( $2\times\text{CO}_2$ ) oraz GISS\_E\_WC ( $1,3\times\text{CO}_2$ ) do 2100 r.

**Table 2.** The climate indices for different periods and prognoses based on GISS\_E ( $2\times\text{CO}_2$ ) and GISS\_E\_WC ( $1,3\times\text{CO}_2$ ) scenarios by 2100

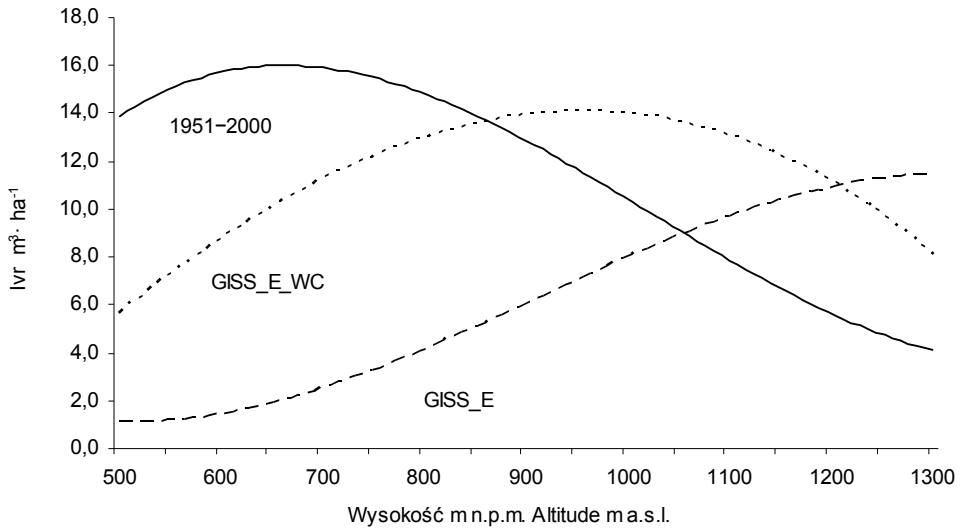
Wskaźniki Indices	1951 –1980	1981 –2000	GISS_E	GISS_E _WC
Średnia roczna temperatura powietrza, °C Mean annual temperature, °C	5,5	6,2	8,9	6,9
Średnia temperatura okresu IV–X, °C Mean temperature of the period April–October, °C	10,5	11,4	14,4	12,4
Średnia roczna maksymalna temperatura, °C Mean annual maximum temperature, °C	9,0	9,3	12,6	10,4
Średnia roczna minimalna temperatura, °C Mean annual minimum temperature, °C	2,3	2,5	5,4	3,4
Średnia roczna suma opadu, mm Mean annual sum of precipitation, mm	1311	1281	1303	1308
Średnia suma opadu w okresie IV–X, mm Mean sum of precipitation in the period April–October, mm	874	800	768	796
Stosunek sumy opadów lata do zimy Ratio of precipitation summer to winter	1,66	1,39	1,20	1,39

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.



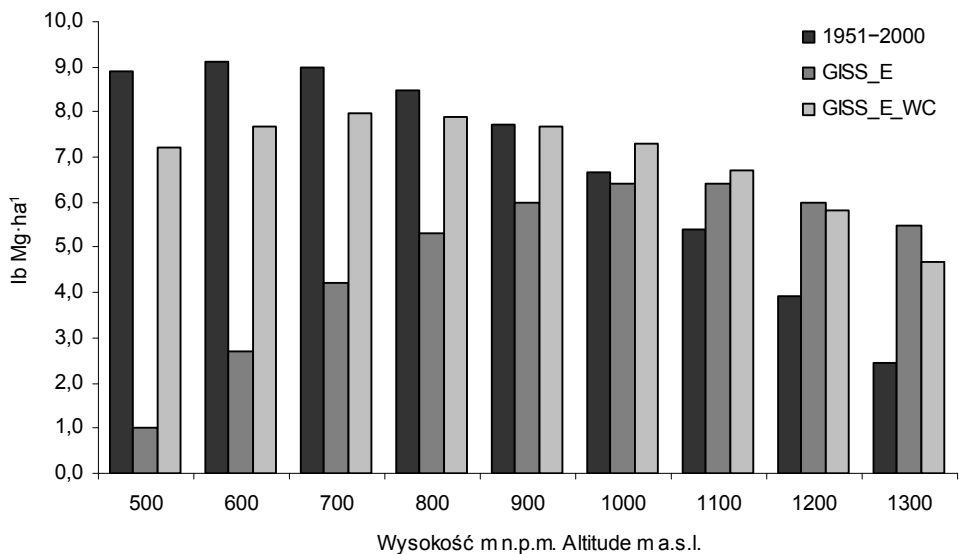
Rys. 1. Potencjalny sumaryczny przyrost  $I_v$  w wieku 100 lat drzewostanów świerkowych w Beskidzie Śląskim; źródło: opracowanie własne na podstawie: SOCHA [2010a]

Fig. 1. Potential total increment  $I_v$  at the age of 100 years of spruce forest stands in the Beskid Śląski; source: own elaboration acc. to SOCHA [2010a]



Rys. 2. Potencjalny bieżący przyrost roczny  $I_{vr}$  dla drzewostanów świerkowych w Beskidzie Śląskim; źródło: opracowanie własne na podstawie: SOCHA [2010a]

Fig. 2. Potential current annual increment  $I_{vr}$  for spruce forest stands in the Beskid Śląski Mts.; source: own elaboration acc. to SOCHA [2010a]



Rys. 3. Potencjalny roczny przyrost biomasy w drzewostanach świerkowych, w Beskidzie Śląskim; źródło: opracowanie własne na podstawie: SOCHA, DURLO [2012]

Fig. 3. Potential annual biomass increment in spruce forest stands in the Beskid Śląski Mts.; source: own elaboration acc. to SOCHA, DURLO [2012]

W przypadku drugiej wersji scenariusza ( $1,3 \times \text{CO}_2$ ), wzrost temperatury do poziomu  $6,9^\circ\text{C}$  oraz zmniejszenie sumy opadu w okresie lata o ok. 8% spowodowałyby stosunkowo niewielkie zmniejszenie bieżącego przyrostu rocznego w strefie regla dolnego, na poziomie  $1,1 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  (15%). Natomiast powyżej wysokości 850–900 m nastąpiłaby poprawa przyrostu o ok.  $1,0 \text{ m}^3$ , co wydaje się zrozumiałe, zważywszy na prognozę korzystniejszych warunków temperaturowych do wzrostu i wegetacji roślin. W przypadku przyrostu biomasy różnice między wskaźnikami również są bardzo wyraźne. Szacuje się, że obecnie w reglu dolnym przyrost biomasy wynosi ok.  $8 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , z odchyleniem  $1,0 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , podczas gdy w wariancie GISS\_E byłoby to zaledwie  $4,5 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , z odchyleniem 0,9, co stanowi redukcję o ponad 40% (rys. 3). Przyrost biomasy do wysokości 800 m dyskwalifikuje świerk jako gatunek dominujący w drzewostanach tej strefy wysokościowej. W przypadku drugiej wersji scenariusza ( $1,3 \times \text{CO}_2$ ), zmiana parametrów klimatycznych spowodowałaby zmniejszenie przyrostu rocznego biomasy o  $0,5 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (5%). Powyżej 1000 m nastąpiłaby poprawa przyrostu o blisko  $2,0 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Można sądzić, że wynik ten jest skutkiem wyższej temperatury w okresie wegetacyjnym (tab. 2).

Wyniki te wskazują, że w umiarkowanie ciepłym piętrze Beskidu Śląskiego, do wysokości ok. 700 m n.p.m., znacznie pogorszą się warunki produkcji surowca drzewnego. Dotyczy to zarówno przyrostu objętościowego, jak i produkcji biomasy. Niezależnie od obserwowanych trendów temperatury odnośnie do powietrza czy sumy opadu, należy liczyć się z koniecznością przeprowadzenia pilnej przebudowy litych świerczyn, prognoza warunków nie gwarantuje bowiem ich stabilności i prawidłowego rozwoju. Dodatkowe zagrożenia wynikają ze zmniejszającej się z roku na rok sumy opadów w okresie wegetacyjnym (tab. 1). W każdym z przyjętych scenariuszy wskaźnik ten osiąga wartości zbliżone do niezbędnego minimum (800 mm), wymaganego do prawidłowego wzrostu i rozwoju świerka w górach.

## DYSKUSJA WYNIKÓW

Analiza warunków klimatycznych na obszarze Beskidu Śląskiego wskazuje na wzrost średniej rocznej temperatury w stosunku do danych z drugiej połowy XX w. Najwyraźniej wzrost ten jest zauważalny w przypadku średniej okresu letniego. Niepokojąco prezentują się wskaźniki wyznaczone na podstawie scenariusza GISS\_E ( $2 \times \text{CO}_2$ ) [SMITH, PITTS 1997], zakładają one bowiem dalszą tendencję wzrostową na poziomie  $0,32^\circ\text{C}$  w ciągu dziesięciolecia. Z kolei analiza warunków pluwialnych wskazuje na utrzymanie dotychczasowego poziomu sumy rocznej opadu w stosunku do danych archiwalnych. Kilka niskich wskaźników z okresu 1991–2008 wpłynęło wprawdzie na nieco niższą sumę wieloletnią, jednak opady z 2009 i 2010 r. zrównoważą ten rozkład w kontekście ostatniego dziesięciolecia. Znacznie gorsze są wskaźniki opadów w okresie letnim i w okresie wegetacji. Obecnie jest to 8-procentowy spadek w porównaniu z danymi z lat 60. i 70. ubie-



głego stulecia. Prognoza oparta na założeniu o podwojeniu stężenia CO<sub>2</sub> daje wynik o 12% niższy, w drugim wariantcie (1,3×CO<sub>2</sub>) o blisko 9%. Rezultaty te nie są optymistyczne, jeśli weźmiemy pod uwagę wymagania świerka w tej strefie klimatycznej. Analiza danych wieloletnich wskazuje, że minimalna suma opadów w cieplej porze roku, zapewniająca korzystne warunki wegetacji świerczyni dolnoregłowych, nie powinna być niższa aniżeli 700–750 mm.

Średnia roczna temperatura powietrza w Beskidzie Śląskim, w ciągu ostatnich 50 lat wykazała kierunkową dodatnią zmianę (0,69°C) jednak ocena tego modelu nie była statystycznie istotna. Zakładając, mimo to, że współczynnik kierunkowy utrzymałby podobny poziom do 2050 r., należy spodziewać się przeciętnej rocznej temperatury powietrza w Beskidzie Śląskim na poziomie 7,2°C, z odchyleniem 0,9°C. Podobne wnioski prezentuje MIGAŁA [2005] na podstawie przyjętej przez siebie „hipotezy minimum” dla Karpat Zachodnich. Analizując serie danych o stężeniu CO<sub>2</sub> w rejonie Europy Centralnej i Karpat Zachodnich, trudno zaakceptować prognozy zamieszczone w pierwszych trzech raportach IPCC z 1990, 1995 oraz 2001 r. [SMITH, PITTS 1997]. Choć należy przyznać, że autorzy kolejnych opracowań modyfikują pierwotne założenia, czego przykładem jest proponowany w czwartej syntezie IPCC wariant uśredniony z 6 modeli klimatycznych. Podano w nim, że zakres zmiany temperatury powietrza na poziomie od 1,1°C do 2,8°C w 2050 r. jest wielce prawdopodobny. Już w latach 90. ubiegłego stulecia zwracano uwagę na znacznie przeszacowane prognozy, czego dowodem są dobrze udokumentowane ciągi pomiarowe stężenia CO<sub>2</sub> z terenu zachodnich Niemiec [LEVIN i in. 1995]. Ostatnie doniesienia naukowców z Europejskiego Instytutu ds. Energii i Klimatu ewidentnie wskazują na konieczność zrewidowania dotychczasowych poglądów o prognozowanym zwiększeniu średniej rocznej temperatury powietrza [LINK, LÜDECKE 2011]. Wyniki uzyskane w niniejszym opracowaniu są zatem zbliżone do dolnej granicy optymistycznego scenariusza, prezentowanego w ostatnim raporcie IPCC [SOLOMON i in. 2007]. Nie powinno to spowodować gwałtownych zmian w ekosystemach roślinnych tego regionu na przestrzeni kolejnych dekad. Odmienne przedstawia się sytuacja, jeśli uwzględnimy parametry prognozy zaproponowane w III syntezie IPCC [MCCARTHY i in. 2001]. Uzyskane wskaźniki sygnalizują dość radykalne zmiany w systemie klimatycznym tego obszaru. Zmiany te mogą wyraźnie zaburzyć dotychczasowy układ fitoklimatyczny. Warunki te mogą okazać się nieodpowiednie dla wegetacji świerka do wysokości 800 m n.p.m., czego dowodem są wyniki modelowania przyrostu miąższości i produkcji biomasy. Może to znacznie ograniczyć możliwości adaptacji istniejących drzewostanów świerkowych, nie tylko z uwagi na obserwowane tempo zmian, ale również ze względu na wymagania biologiczne gatunku i jego cechy osobnicze [DURŁO 2011; SOCHA 2010a; SOCHA, DURŁO 2012].

Jeśli chodzi o klimat pluwialny różnice uwidaczniają się podczas rozpatrywania sumy opadu w okresach kwartalnych. Wskaźniki obecnego klimatu różnią się od danych historycznych. Dostrzegalne jest przede wszystkim zmniejszenie sumy

opadów w lecie na korzyść opadu w okresie zimowym. W wariancie  $1,3 \times \text{CO}_2$  wskaźnik, prezentujący stosunek opadu lata do zimy, pozostanie na niezmiennym poziomie, tj. 1,39, a w przypadku wzrostu opadów zimą o 15% ( $2 \times \text{CO}_2$ ), należy spodziewać się obniżenia powyższego ilorazu do poziomu 1,2. Wynik ten wskazuje, że aby zaspokoić wymagania świerka, jeśli chodzi o opad, zabraknie ok. 20% wody. Realizacja takiego trendu jest jednak mało prawdopodobna. Biorąc pod uwagę wyniki przeprowadzonej analizy oraz rezultaty modelowania prawdopodobnych zmian w przyszłości, wydaje się, że scenariusz zakładający wzrost średniej rocznej temperatury powietrza na poziomie  $1,1^\circ\text{C}$  i zwiększenie opadów zimą na poziomie 5–6%, w warunkach nieznacznego zmniejszenia sumy opadów w lipcu i sierpniu, jest możliwy do zaakceptowania. Reasumując, warto zwrócić uwagę, że zarówno aktualne, jak i prognozowane warunki klimatyczne nie są optymalne jeśli chodzi o funkcjonowanie drzewostanów świerkowych w Beskidzie Śląskim. Gdyby sprawdził się scenariusz, zaproponowany w III raporcie IPCC, oznaczałoby to zagrożenie trwałości lasów na przeważającym obszarze Karpat Zachodnich. Obszar występowania świerka skurczyłby się o ok. 80% w stosunku do obecnego stanu. Ta sytuacja oraz prognozowana w wariancie łagodniejszym (GISS\_E\_WC) daje uzasadnione podstawy, by sądzić, że możliwa jest hodowla tego gatunku po uwzględnieniu jednak pewnych zmian w sposobie zagospodarowania. Zmiany dotyczyłyby głównie zrezygnowania z litych drzewostanów świerkowych w strefie regla dolnego, przesunięcia granicy ich dolnego zasięgu do wysokości 700 m, wprowadzenia (w podobnym udziale) świerka razem z gatunkami towarzyszącymi.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że postawiona na wstępie hipoteza nie została potwierdzona. Obserwowane w ostatnich latach procesy zamierania drzewostanów świerkowych w Beskidach Zachodnich oraz prognoza zmniejszenia produkcji jednoznacznie wskazują, że dotychczasowy kierunek gospodarowania lasami górskimi należy zmodyfikować. Do zapewnienia stabilności istniejących i odnawianych drzewostanów w strefie regla dolnego, będzie konieczne ograniczenie roli świerka do rangi gatunku domieszkowego, w uzasadnionych przypadkach jego udział nie powinien być większy niż 30%. Prognozowana poprawa warunków wzrostu świerka powyżej 1100–1200 m, szczególnie na obszarze sąsiadującym z Beskidem Śląskim w masywie Pilska, Romanki czy Lipowskiej, pozwala sądzić, że w tej strefie jest możliwe utrzymanie świerczyn i produkcja cennego surowca.

## WNIOSKI

1. Scenariusz zakładający wzrost średniej rocznej temperatury powietrza w Beskidzie Śląskim na poziomie  $1,1^\circ\text{C}$  do 2050 r. oraz zwiększenie sumy opadów w okresie zimy na poziomie 5–6%, w warunkach nieznacznego obniżenia sumy opadów w lipcu i sierpniu, jest bardzo prawdopodobny i możliwy do zaakceptowania.

2. Produkcja surowca drzewnego, przyjmując założenie wzrostu stężenia CO<sub>2</sub> o 30% w strefie regla dolnego w Beskidzie Śląskim, jest możliwa, jednak z uwagi na modyfikacje wskaźników klimatycznych należy dążyć do wprowadzania świerka jedynie powyżej 700 m n.p.m.

3. Przyjęcie warunków zaproponowanych w modelu GISS\_E, zakładającym dwukrotny wzrost stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze, doprowadziłoby do destabilizacji drzewostanów świerkowych; ich dalsze utrzymywanie nie gwarantowałoby pożądanego efektu w postaci surowca wysokiej jakości.

4. Warunki klimatyczne, zapewniające prawidłowy wzrost i rozwój drzewostanów, w których dominującym gatunkiem jest świerk, występują obecnie w piętrze umiarkowanie chłodnym. Prognoza długoterminowa wskazuje, że jedynie powyżej 800 m n.p.m. będzie możliwe uzyskanie przyrostu na poziomie zbliżonym do tego z lat ubiegłych.

5. Zjawiska pogodowe o wyjątkowo nagłym charakterze i gwałtownym przebiegu, mogą doprowadzić do destabilizacji nawet prawidłowo uformowanego i należycie zagospodarowanego ekosystemu leśnego, niezależnie od jego położenia oraz warunków siedliskowych.

Badania finansowane w ramach Projektu MNISW o numerze NN 309160538.

## LITERATURA

- ALBERT M., SCHMIDT M. 2010. Climate-sensitive modelling of site-productivity relationships for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and common beech (*Fagus sylvatica* L.). *Forest Ecological Management*. Vol. 259 s. 739–749.
- ANDREASSEN K., SLBERG S., TVEITO O., LYSTAD S. 2006. Regional differences in climatic responses of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) growth in Norway. *Forest Ecological Management*. Vol. 222 s. 211–221.
- BALON J. 2007. Stabilność środowiska przyrodniczego Karpat Zachodnich powyżej górnej granicy lasu. Kraków. Wydaw. IGiP UJ ISBN 978-83-60560-17-4, ss. 262.
- BARAŃSKI M. 2007. Beskid Śląski. Pruszków. Wydaw. Rewasz. ISBN 83-7005-423-4 ss. 250.
- BÜNTGEN U., FRANK D., KACZKA R., VERSTEGE A., ZWIJACZ-KOZICA T., ESPER J. 2007. Growth responses to climate in a multi-species tree-ring network in the Western Carpathian Tatra Mountains, Poland and Slovakia. *Tree Physiology*. Vol. 27 s. 689–702.
- DUBROVSKY M., NEMESOWA I., KALVOVA J. 2005. Uncertainties in climate change scenarios for the Czech Republic. *Climate Research*. Vol. 29 s. 139–156.
- DURLO G. 2007. Klimatyczny bilans wodny okresów wegetacyjnych w Beskidach Zachodnich. *Acta Agrophysica*. Vol. 10. Iss. 3 s. 553–562.
- DURLO G. 2010. Leśny okres wegetacyjny na obszarze LKP Lasy Beskidu Śląskiego. *Sylwan*. Vol. 154. Iss. 8 s. 577–584.
- DURLO G. 2011. The possibility of adaptation of spruce forests in Beskid Śląski Mts. to changing climate conditions. *Prace Studia Geograficzne*. Vol. 47 s. 227–236.
- ĎURSKÝ J., ŠKVARENINA J., MINDÁŠ J., MIKOVÁ A. 2006. Regional analysis of climate change impact on Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) growth in Slovak mountain forests. *Journal Forest Science*. Vol. 52 s. 306–315.

- FELIKSIK E., DURLO G. 2004. Climatological characteristic of the area of the Carpathian Regional Gene Bank in the Wisła Forest District. *Dendrobiology*. Vol. 51 s. 43–51.
- FRIES A., LINDGREN D., YING C., RUOTSALAINEN S., LINDGREN K., ELFVING B., KARLMATS U. 2000. The effect of temperature on site index in western Canada and Scandinavia estimated from IUFRO *Pinus contorta* provenance experiments. *Canadian Journal Forest Research*. Vol. 30 s. 921–929.
- KUCHAR L. 2005. Zmodyfikowany model WGENK generowania dobowych danych meteorologicznych na potrzeby modelowania agrometeorologicznego. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*. Vol. 5. Z. specj. (14) s. 185–196.
- LEHTONEN A., MAKIPAA R., HEIKKINEN J., SIEVANEN R., LISKI J. 2004. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecological Management*. Vol. 188 s. 211–224.
- LEVIN I., GRAUL R., TREVITT N. 1995. Long term observations on atmospheric CO<sub>2</sub> and carbon isotopes at continental sites in Germany. *Tellus*. Vol. 47 s. 23–34.
- LINK R., LÜDECKE H.J. 2011. A new basic one-dimensional one-layer model obtains excellent agreement with the observed earth temperature. *International Journal Modern Physics*. Vol. 22 s. 449–455.
- MÄKINEN K., NÖJD P., KAHLE H., NEUMANN U., TVEITE B., MIELIKÄINEN K., ROHLE H., SPIECKER H. 2002. Radial growth variation of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) across latitudinal and altitudinal gradients in central and northern Europe. *Forest Ecological Management*. Vol. 171 s. 243–259.
- MCCARTHY J., CANZIANI O., LEARY N., DOKKEN D., WHITE K. 2001. Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge. University Press. ISBN: 97-80521015004 ss. 1042.
- MIGALA K. 2005. Piętra klimatyczne w górach Europy a problem zmian globalnych. Wydaw. UWroc. *Studia Geograficzne*. Vol. 78. ISBN 83-229-2586-7 ss. 150.
- PRETZSCH H. 2009. Forest dynamics, growth and yield. Berlin. Springer Verlag. ISBN 978-3-540-88306-7 ss. 664.
- RICHARDSON C. 1985. Weather simulation of daily climatic data for agronomic models. *Agronomy Journal*. Vol. 74 s. 510–514.
- RICHARDSON C., WRIGHT D. 1984. WGEN: A model for generating daily weather variables. *US Department of Agricultural. ARS*. Vol. 8 ss. 83.
- ROMER E. 1962. Wybór prac. T. II. Warszawa. PWN ss. 522.
- Rozporządzenie RM RP z dnia 16 czerwca 1994. Ramowa konwencja narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu. *Dziennik Ustaw nr 53 poz. 238*.
- SAAVA Y., OLEKSYN J., REICH P., TJOELKER M., VAGANOV E., MODRZYNSKI J. 2006. Interannual growth response of Norway spruce to climate along an altitudinal gradient in the Tatra Mountains, Poland. *Trees*. Vol. 20 s. 735–746.
- SMITH J., PITTS G. 1997. Regional climate change scenarios for vulnerability and adaptation assessments. *Climate Change*. Vol. 36. Iss. 1/2 s. 3–21.
- SOCHA J. 2010a. Metoda modelowania potencjalnych zdolności produkcyjnych świerka w górach. A method for modelling the potential productivity of Norway spruce in mountains. Habilitation thesis. Kraków. Department of Dendrometry, UR. ISSN 1899-3486 ss.107.
- SOCHA J. 2010b. Wskaźniki wzrostu świerka i prognoza zmian warunków siedliskowych dla tego gatunku w oparciu o różne scenariusze zmian klimatu. *Maszynopis. Raport z Grantu NFOŚ Nr BZ 637/KEK/2010*.
- SOCHA J., DURLO G. 2011. How will climate change impact Norway spruce growth in Central European mountains. *Agricultural and Forest Meteorology* (w druku).

- SOCHA J., DURŁO G. 2012. How will climate change impact carbon sequestration by Norway spruce stands in Western Beskidy. *Folia Forestalia Polonica* (w druku).
- SOLOMON S., QIN M., MANNING Z., CHEN M., MARQUIS K., TIGNOR A., MILLER H. 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge. University Press s. 93–127.
- THOMASIUŠ H. 1990. Dynamik natürlicher Waldgesellschaften im Osterzgebirge, ihre Modifikation durch Umweltveränderungen und deren Bedeutung für Rekonstruktionsmassnahmen. *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung*. Vol. 30 s. 161–176.
- WILCZEK Z. 1995. Zespoły leśne Beskidu Śląskiego i zachodniej części Beskidu Żywieckiego na tle zbiorowisk leśnych Karpat Zachodnich. Katowice. Wydaw. UŚ. ISBN 83-2260-596-X ss. 130.

Grzegorz B. DURŁO

### THE EFFECT OF PREDICTED CLIMATIC CONDITIONS ON THE STABILITY OF SPRUCE TREE STANDS IN THE BESKID ŚLĄSKI

**Key words:** *biomass productivity, climate change, forest growth, Norway spruce*

#### S u m m a r y

The paper presents parameters estimating possible adaptation of the spruce tree stands to present and predicted climatic conditions in the Beskid Śląski Mts. The data come from measurements made in the years 1951–2010 at 25 meteorological stations and posts situated in the Beskid Śląski region. The aim of this study was to evaluate the effect of climate variability on the stability of a spruce stand in lower subalpine forest zone of the Beskid Śląski. The work includes studies on the possibility of adaptation of spruce forest to present and future climate in the Western Beskids. The study used historical data and a series of meteorological data generated with the model WGEN\_K [KUCCHAR 2005] of a time range of 100 years. Calculation procedure based on two scenarios of CO<sub>2</sub> concentration increase of 130% and 200% by the year 2050. The relationship between productive potential and biomass production of spruce stands and climatic conditions was described. Doubling the CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere, and a rise of mean air temperature to 9°C, at reduced rainfall in the summer time clearly resulted in the deterioration of productive conditions in lower subalpine mountain zone of the Beskid Śląski.