

ARKADIUSZ BRUCHWALD, ELŻBIETA DMYTERKO, MARCIN MIONSKOWSKI,
PIOTR WRZESIŃSKI

Dynamika procesu zamierania drzew w Sudetach w latach 2002-2018*

Dynamics of tree mortality in the Sudety Mts. in years 2002-2018

ABSTRACT

Bruchwald A., Dmyterko E., Mionskowski M., Wrześniński P. 2019. Dynamika procesu zamierania drzew w Sudetach w latach 2002-2018. Sylwan 163 (12): 969-979. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2019116>.

The aim of the study was to present two issues concerning forests in the Sudety Mts. (SW Poland): 1) the process of tree mortality in individual years in the period between 2002 and 2018, as well as 2) the analysis of the radial growth of the main tree species (i.e. spruce, larch, beech, fir and Douglas fir). The intensity of the process of tree mortality is evidenced by the volume of wind-broken or wind-fallen trees and deadwood. The record volume of post-hurricane wood was harvested after the hurricane 'Cyril' (January 2007). The volume of wood removed in 2007-2008 amounted to 1.4 million m³. Quite a high share of wind-broken and wind-fallen trees in the volume of harvested wood raw material concerned the years 2002, 2003, 2006, 2008 and 2018. In the latter year, the damage was caused by the hurricane 'Grzegorz'. The record removal of deadwood occurred in 2016 following an exceptionally severe drought in the 2015 growing season. The high volume of deadwood in 2017 and 2018 was augmented by quite a high volume of wind-broken and wind-fallen trees. Spruce and larch showed the strongest response to severe drought in 2015 by lowering the increment in diameter and producing a narrow layer of latewood, while the response of beech and Douglas fir was the slightest. No such response was found in fir. The main tree species in the Sudetes is spruce, which quickly disappears from this area. It is necessary to look for such species of trees that might replace spruce, i.e. species more suitable to changing climatic conditions, such as beech, oak, ash, sycamore, pine and larch – but also fir and Douglas fir. The latter two species show a high tolerance to changing climatic conditions, and a high potential in the production of wood.

KEY WORDS

damage caused by drought and wind, volume of deadwood, wind-broken and wind-fallen trees, radial growth

ADDRESSES

Arkadiusz Bruchwald ⁽¹⁾ – e-mail: A.Bruchwald@ibles.waw.pl
Elżbieta Dmyterko ⁽¹⁾ – e-mail: E.Dmyterko@ibles.waw.pl
Marcin Mionskowski ⁽¹⁾ – e-mail: M.Mionskowski@ibles.waw.pl
Piotr Wrześniński ⁽²⁾ – e-mail: P.Wrzesinski@ibles.waw.pl

⁽¹⁾ Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

⁽²⁾ Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

*Praca powstała w ramach projektu „Model składu gatunkowego drzewostanu Karpat i Sudetów”, finansowanego z Funduszu Badań Własnych IBL.

Wstęp

W wielu krajach Europy, w tym również w Polsce, obserwuje się wzrost zamierania lasów przypisywany zmianom klimatu [Allen i in. 2010]. Proces ten będzie się nasilał, a niektóre gatunki drzew mogą zniknąć z ekosystemów leśnych [Steinkamp, Hickler 2015]. Śledzenie zmian klimatu i ich wpływu na las staje się problemem pilnym i niezwykle istotnym.

Lasy w Sudetach należą do najbardziej zagrożonych w Polsce, co wynika z tworzących je starych świerczyn, o niskiej odporności na postępujące zmiany klimatyczne [Lévesque i in. 2013]. Największy wpływ na stan tych lasów wywierają czynniki abiotyczne, a wśród nich silne wiatry oraz intensywne susze, szczególnie w sezonie wegetacyjnym [Dmyterko, Bruchwald 2019c]. Osłabione drzewa są atakowane przez owady, zwłaszcza kornika drukarza (*Ips typographus*), który przyspiesza proces zamierania drzew i powoduje rozpad drzewostanów świerkowych. Zamierają również inne gatunki drzew: spośród iglastych sosna i modrzew, a wśród liściastych dąb, brzoza, jesion i buk.

Celem pracy jest prezentacja dwóch problemów dotyczących lasów w Sudetach: 1) procesu śmiertelności drzew w poszczególnych latach okresu 2002-2018 oraz 2) kształtowania się z wiekiem przyrostu radialnego lasotwórczych gatunków drzew: świerka, modrzewia, buka oraz gatunków drzew o bardzo małym obecnie udziale, tj. jodły i dąglezji.

Materiał i metody

Obszar badań obejmuje dwie krainy przyrodniczo-leśne: całą Krainę Sudecką (VII) i południową część Krainy Śląskiej (V), głównie z zachodnią częścią Dzielnicy Śląskiej (V.3), a na jej obszarze m.in. z Mezonegiem Przedgórze Sudeckiego (V.3.a) oraz z południowymi fragmentami dzielnic: Wrocławskiej (V.2) i Równiny Dolnośląskiej (V.1) [Trampler i in. 1990].

Lasy obszaru badań – określane w pracy jako lasy Sudetów – administrowane są przez 18 nadleśnictw Regionalnej Dyrekcji LP we Wrocławiu (tab. 1). Obejmują one nadleśnictwa położone w południowo-zachodniej części Polski, z dominacją górskich i wyżynnych typów siedliskowych lasu, czyli przeważnie tereny polskich Sudetów i Przedgórze Sudeckiego [Kondracki 2002]. Wybrane dane charakteryzujące nadleśnictwa obszaru badań (m.in. powierzchnia) opublikowano w pracy Dmyterko i Bruchwalda [2019c], natomiast udział w nich lasotwórczych gatunków drzew przedstawiono w tabeli 1.

System Informatyczny Lasów Państwowych (SILP) zawiera szczegółowe informacje o każdym wydzieleniu drzewostanowym, w tym o miąższości pozyskanego surowca drzewnego, z podziałem na drzewa żywe, posusz oraz złomy i wywroty. Na podstawie tych danych przedstawiono udział poszczególnych grup drzew w latach 2002-2018. W celach porównawczych zaprezentowano również miąższość posuzu pozyskanego w latach 2004-2018 w lasach Beskidu Śląskiego i Żywieckiego w nadleśnictwach: Węgierska Górka, Ustroń, Wisła, Ujsoły, Jeleśnia i Sucha.

W trzech nadleśnictwach obszaru badań – Bardo Śląskie, Jugów i Świdnica – wytypowano 8 drzewostanów świerkowych, 2 jodłowe i po 3 modrzewiowe, bukowe i dąglezjowe, a w nich po 10 drzew próbnych reprezentujących każdy badany drzewostan. Drzewostany świerkowe stanowią rozpadające się świerczyny, w których większość drzew suchych usunięto, a wywierty pozyskano z drzew jeszcze żywych. Wybrane do badań modrzewie pochodziły z kilkunastu kęp znajdujących się w rozpadających się drzewostanach świerkowych. Powierzchniowy udział jodły w Sudetach wynosi tylko 1,5%, a udział dąglezji jest jeszcze mniejszy (0,15%). Drzewa próbne wybrano z ponad 100-letnich, litych jedlin oraz z ponad 100-letnich drzewostanów dąglezjowych.

Tabela 1.

Udział powierzchniowy [%] gatunków drzew w lasach Sudetów w 2018 roku
 Areal share [%] of tree species in the forests of the Sudety Mts. in 2018

	Św	So	Md	Db	Bk	OI	Brz
Bardo Śląskie	33,1	7,0	6,6	11,8	22,6	1,7	2,2
Henryków	11,9	9,3	5,7	29,2	10,8	4,8	5,7
Bystrzyca Kłodzka	73,0	2,8	5,4	1,7	8,1	0,67	2,9
Zdroje	67,5	7,7	7,2	0,8	9,9	0,7	2,1
Jawor	26,5	3,2	4,9	35,1	8,1	2,3	4,6
Jugów	56,9	3,3	6,5	4,0	20,0	0,7	2,6
Kamienna Góra	71,7	2,7	7,1	0,6	6,9	1,9	3,8
Lwówek Śląski	27,7	17,6	4,7	18,3	7,1	3,4	11,6
Międzyzlesie	74,5	1,0	3,0	0,5	12,7	0,7	1,5
Miękinia	8,6	19,3	2,6	24,9	5,7	9,1	4,5
Pieńsk	7,5	41,5	3,1	10,0	2,8	7,4	19,1
Lądek-Zdrój	77,0	0,4	4,1	0,1	11,1	0,8	2,1
Szklarska Poręba	73,5	1,5	8,5	1,0	5,4	0,5	6,1
Śnieżka	63,8	2,9	9,4	3,1	7,5	1,4	7,3
Świdnica	31,3	4,3	6,5	20,0	17,0	2,4	4,4
Świeradów	53,7	7,1	9,0	6,7	4,3	1,9	9,7
Wałbrzych	57,9	1,9	5,2	4,8	17,9	1,0	4,1
Złotoryja	18,4	30,6	2,3	18,8	5,6	4,1	8,5
Razem	46,4	9,2	5,5	10,6	10,2	2,5	5,7
In total							

Św – spruce, So – pine, Md – larch, Db – oak, Bk – beech, OI – alder, Brz – birch

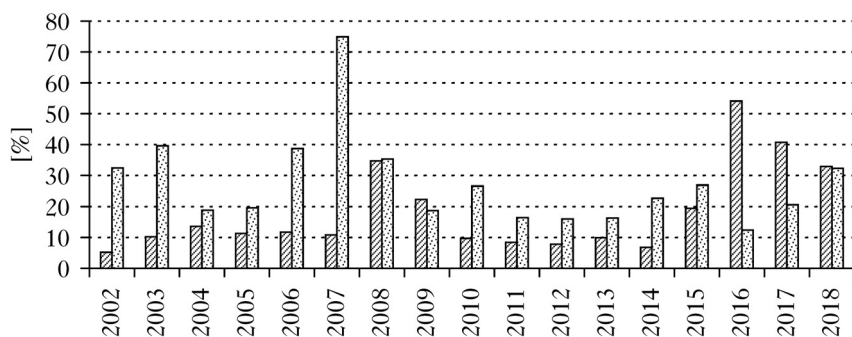
Z drzew próbnych należących do I lub II klasy biosocjalnej według Krafta pobrano z przekroju pierśnicowego wywierty dordzeniowe. Poddano je standardowej procedurze szlifowania i skanowania w rozdzielczości 1200 dpi. Szerokość przyrostów rocznych mierzono z zaokrągleniem do 0,01 mm, wykorzystując program CooRecorder 9.0, natomiast poprawność datowania sprawdzono programami CDendro 9.0.1 i COFECHA. Z uzyskanych danych utworzono dla każdego z badanych drzewostanów chronologie rzeczywiste.

Wyniki

Pozyskanie surowca drzewnego z lasów sudeckich kształtowało się od 530 tys. m³ w 2005 roku do 1820 tys. m³ w 2018 roku. Wysokie pozyskanie stwierdzono w latach 2007-2008 i 2015-2018. Tak duże zróżnicowanie pozyskanej miąższości drzew w lasach tego obszaru wynika głównie ze zmienności typów siedliskowych lasu oraz zmienności ich struktury gatunkowej i wiekowej.

W 2007 roku pozyskano rekordową miąższość złomów i wywrotów po wystąpieniu huraganu „Cyryl” (styczeń 2007 roku). W łącznym pozyskaniu tego roku udział miąższości drewna pokłeskowego stanowił aż 75% (ryc. 1). Dość wysoki udział złomów i wywrotów w miąższości pozyskanego surowca drzewnego stwierdzono w latach 2002, 2003, 2006, 2008 i 2018 (w ostatnim roku szkody spowodował huragan „Grzegorz”).

Rekordowe pozyskanie posuszu, wynoszące 723 tys. m³ (tab. 2), wystąpiło w 2016 roku po wyjątkowo intensywnej suszy w sezonie wegetacyjnym 2015 roku. Charakteryzował się on niespotykaniem niskim klimatycznym bilansem wodnym w okresie od kwietnia do września, wynoszącym łącznie –130 mm i niższym o 59% od średniej z lat 1981-2018 [Durło 2019]. Ujemny klimatyczny bilans wodny stwierdzono również w sezonach wegetacyjnych lat 1992-1995 i 2002-2007,



Ryc. 1.

Udział [%] miąższości posuszu (ciemny) oraz złomów i wywrotów (jasny) w pozyskanym surowcu drzewnym w lasach Sudetów

Share [%] of deadwood (dark), and wind-broken or wind-fallen trees (light) volume in timber harvested in forests of the Sudety Mts.

Tabela 2.

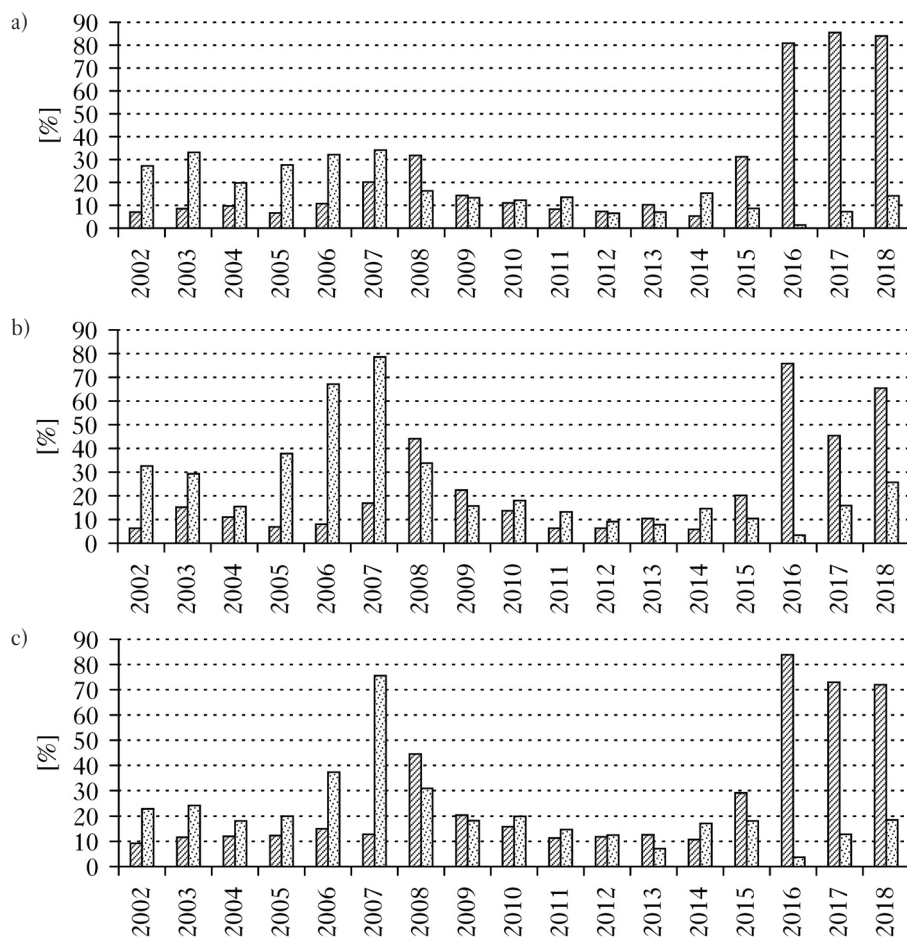
Pozyskanie posuszu [tys. m³] w lasach Sudetów

Deadwood harvest [$\times 1000$ m³] in the forests of the Sudety Mts.

	2015	2016	2017	2018	Razem In total
Bardo Śląskie	15	74	89	90	268
Henryków	7	31	38	51	127
Lądek-Zdrój	13	34	29	42	118
Międzylesie	8	21	28	14	71
Bystrzyca Kłodzka	11	38	18	16	83
Zdroje	5	9	7	13	34
Jugów	12	49	31	47	139
Wałbrzych	17	41	15	20	93
Świdnica	28	87	83	110	308
Miękinia	12	43	39	54	148
Jawor	8	95	67	39	209
Kamienna Góra	19	55	24	28	126
Śnieżka	12	18	8	8	46
Złotoryja	20	52	16	14	102
Szklarska Poręba	3	6	3	4	16
Lwówek Śląski	24	38	8	17	87
Świeradów	8	22	12	25	67
Pieńsk	3	10	3	8	24
Razem In total	225	723	518	600	2066

jednak susze te nie wpłynęły aż tak wyraźnie na wzrost drzew. Pozyskanie posuszu oraz złomów i wywrotów związane z suszą 2015 roku realizowano również w latach 2017-2018.

W poszczególnych nadleśnictwach stwierdzono bardzo zmienną strukturę pozyskania (ryc. 2). W Nadleśnictwie Bardo Śląskie w latach 2002-2008 pozyskanie posuszu oraz złomów i wywrotów kształtowało się na poziomie 30-50% pozyskanej miąższości surowca drzewnego, po czym w latach 2009-2014 zmalało do 10-30%. W latach 2016-2018 pozyskanie posuszu przekroczyło aż 80% pozyskanej miąższości. W Nadleśnictwie Jugów lata 2002-2008, a zwłaszcza 2007 rok, charakte-



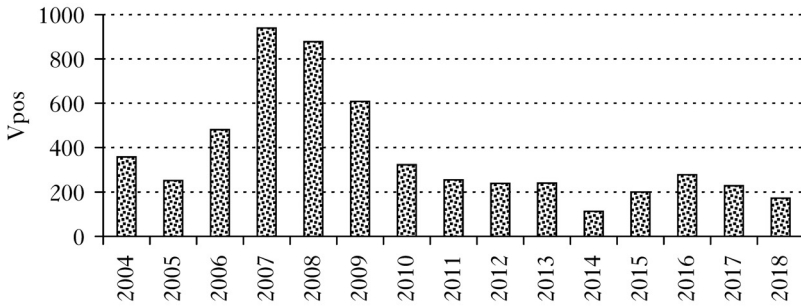
Ryc. 2.

Udział [%] miąższości posuszu (ciemny) oraz złomów i wywrotów (jasny) w pozyskanym surowcu drzewnym w lasach nadleśnictw Bardo Śląskie (a), Jugów (b) i Świdnica (c)

Share [%] of deadwood (dark), and wind-broken or wind-fallen trees (light) volume in the timber harvested in Bardo Śląskie (a), Jugów (b) and Świdnica (c) forest districts

ryzowały się wysokim pozyskaniem drewna pokłękowego. W ostatnich 3 latach (2016-2018) w pozyskaniu dominował posusz, który w 2018 roku stanowił łącznie z drewnem pokłękowym 90% pozyskanego surowca drzewnego. Bardzo wysokie pozyskanie posuszu w latach 2016-2018 stwierdzono także w Nadleśnictwie Świdnica: udział tego pozyskania łącznie z drewnem pokłękowym przekraczał 80% miąższości pozyskanego surowca drzewnego. W nadleśnictwie tym duże szkody w lasach wystąpiły w 2007 roku, po huraganie „Cyryl”.

Proces zamierania drzew, głównie świerka, miał miejsce wcześniej w lasach Beskidu Śląskiego i Żywieckiego, a zintensyfikowała go susza w sezonie wegetacyjnym 2006 roku, dla którego klimatyczny bilans wodny wyniósł -104 mm [Durło 2007; Dmyterko, Bruchwald 2018; Dmyterko i in. 2019]. W sześciu nadleśnictwach Beskidów Zachodnich pozyskano w 2006 roku 480 tys. m^3 [Bruchwald, Dmyterko 2010b] surowca drzewnego pochodzącego z posuszu, a w 2007 roku – aż 940 tys. m^3 takiego drewna. Po tej suszy nastąpiło tam spotęgowanie rozpadu drzewostanów świerkowych (ryc. 3).



Ryc. 3.

Miąższość posuzu (V_{pos} [m³/ha]) pozyskanego w nadleśnictwach Beskidu Śląskiego i Żywieckiego
Volume (V_{pos} [m³/ha]) of deadwood removed in the forest districts of the Beskid Śląski and Beskid Żywiecki Mts.

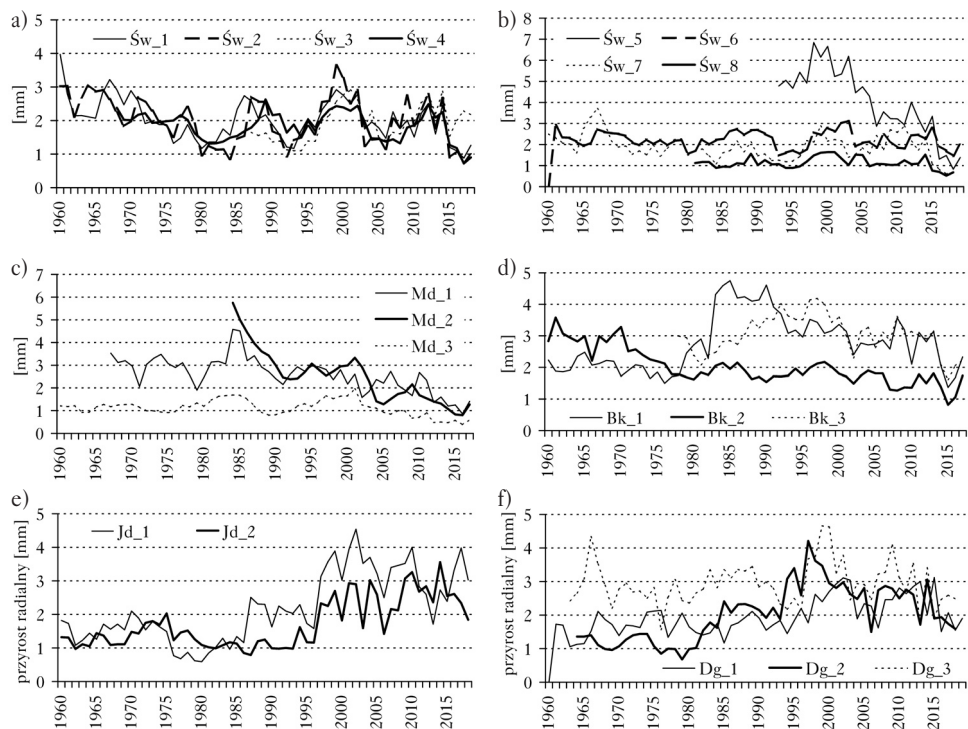
Przyrost radialny świerków w Sudetach zmalał począwszy od 1960 roku z wartości 2,5 mm do 1,5 mm w 1983 roku (ryc. 4a, b). Dalszy przebieg z wiekiem przyrostu radialnego wahał się od 1,0 do 2,5 mm, po czym w 2015 roku nastąpił jego spadek do niskich wartości, na niektórych powierzchniach poniżej 1 mm. Uwagę zwraca intensywny spadek przyrostu w najmłodszym drzewostanie świerkowym (powierzchnia 5): z około 7 mm w 1998 roku do 1 mm w ostatnich trzech latach. Modrzewie pochodzące z kilkunastu kęp znajdujących się w rozpadających się świerczynach miały bardzo krótkie korony – poniżej $\frac{1}{4}$ długości strzały, co wyjaśnia stosunkowo małe wartości przyrostów radialnych. W ostatnich latach przyrosty grubości były bardzo małe, być może z powodu suszy w sezonie wegetacyjnym 2015 roku (ryc. 4c). Przyrosty radialne w litych drzewostanach bukowych przez wiele lat kształtowały się na dość wysokim poziomie (ryc. 4d). Wyraźny spadek wartości przyrostów stwierdzono u wszystkich drzew w 2015 roku, co koreluje z suszą w sezonie wegetacyjnym 2015 roku. Przyrosty radialne ponad 100-letnich jodeł pochodzących z litych drzewostanów jodłowych wynosiły w latach 1960-1997 około 1,5 mm (ryc. 4e), następnie wzrosły średnio do 2,5-3,0 mm i charakteryzowały się dużą zmiennością. Nie stwierdzono wyraźnej reakcji przyrostowej jodły na suszę w sezonie wegetacyjnym 2015 roku. Do 1995 roku przyrosty radialne ponad 100-letnich dągli kształtowały się na dwóch powierzchniach na poziomie 1-2 mm, na trzeciej 2,5-3,0 mm, wykazując do roku 2000 lekką tendencję wzrostową, a następnie spadkową (ryc. 4f). W ostatnich czterech latach przyrost na dwóch powierzchniach obniżył się do 1,5 mm, na co mogła wpłynąć susza w sezonie wegetacyjnym 2015 roku.

Analizując przyrosty radialne drzew próbnych, stwierdzono, że u większości świerków, a także u modrzewia i dągli, słoje powstały w 2015 roku różniły się od pozostałych bardzo wąską warstwą drewna późnego (ryc. 5). Na podstawie tego można wnioskować, że u tych gatunków susza przyczyniła się do skrócenia okresu podziału kambium i wytworzenia wąskiego słoja, o bardzo wąskiej warstwie drewna późnego.

Dyskusja

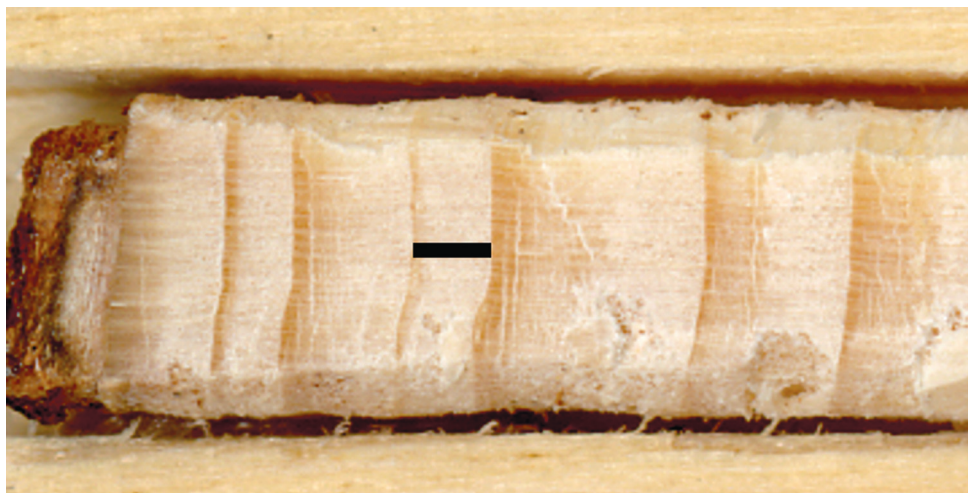
Silne wiatry i intensywne susze, których częstotliwość wzrasta w wyniku zmian klimatu, są najczęściej przyczyną dużych szkód w lasach Polski. Wielkość tych szkód zależy nie tylko od prędkości wiatru, ale również od stabilności lasu (obiektu), na który oddziałuje wiatr.

Z analiz przeprowadzonych modelem ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr wynika, że odporność lasu na wiatr, mierzona udziałem powierzchni drzewostanów uszkodzonych przez ten czynnik, zależy w największym stopniu od następujących cech [Bruchwald, Dmyterko 2010a; Bruchwald i in. 2018]:



Ryc. 4.

Przyrost radialny świerka 1 (a), świerka 2 (b), modrzewia (c), buka (d), jodły (e) i dąglezi (f)
 Radial increment of spruce 1 (a), spruce 2 (b), larch (c), beech (d), silver (e) and Douglas fir (f)



Ryc. 5.

Stoje roczne świerka (kreską oznaczono słoń odłożony w 2015 roku)
 Annual rings of spruce (arrow marks tree-ring formed in 2015)

- 1) średniej wysokości drzewostanu – w drzewostanach wysokich występują większe szkody;
- 2) składu gatunkowego drzewostanu – drzewostany utworzone z gatunków iglastych (poza modrzewiem), a zwłaszcza świerczyny, są bardziej uszkodzane przez wiatr;
- 3) występowania luk, w tym również stosowania rębni gniazdowej [Łukaszewicz i in. 2014, 2015] – luki zwiększają ryzyko uszkodzenia drzewostanu;
- 4) położenia w terenie górskim – im większa wysokość n.p.m., tym większe prawdopodobieństwo uszkodzenia.

W Sudetach drzewostany świerkowe zajmują około 50% powierzchni, co wpływa na duże zagrożenie tamtych lasów. Świadczą o tym również wysokie wartości miernika zagrożenia lasów M_s , klasyfikujące niektóre nadleśnictwa Sudetów do grupy najwyższego stopnia zagrożenia w Polsce [Dmyterko, Bruchwald 2019c].

O niskiej odporności drzewostanów świerkowych na wiatr świadczą skutki międzykontynentalnego huraganu „Cyryl”, który w styczniu 2007 roku przeszedł przez lasy Sudetów. Usunięcie szkód trwało 2 lata. W 2007 roku pozyskano 1,2 mln m³ złomów, wywrotów i posuszu, a w 2008 roku 740 tys. m³ – łącznie prawie 2 mln m³ surowca drzewnego. Las po huraganie charakteryzował się wieloma lukami różnej wielkości, a tym samym był mniej odporny na kolejne wiatry, również o mniejszej prędkości.

Silny wiatr fenowy wystąpił w 2016 roku, przechodząc przez Nadleśnictwo Międzyzlesie, gdzie przez kolejne 3 lata pozyskano blisko 250 tys. m³ złomów, wywrotów i posuszu [Ciesielski i in. 2016]. Skutki tego wiatru świadczą również o niskiej odporności drzewostanów świerkowych na niszczyielską działalność tego czynnika.

Susza jest głównym czynnikiem środowiskowym ograniczającym wzrost wielu gatunków drzew i obniżającym produktywność drzewostanów [Lambers i in. 2008; Martin-Benito i in. 2008; Speer i in. 2009; Pretzsch i in. 2013]. Najmniej odporne na suszę, ale również wiatr, zwłaszcza na obszarach górskich, są drzewostany świerkowe. W osłabionych świerczynach pojawiają się często ogniska korników, co przyspiesza proces zamierania drzew i w konsekwencji rozpad drzewostanów [Kaiser i in. 2013; Williams i in. 2013].

Pod wpływem suszy tworzy się w przewodzących wodę naczyniach i cewkach rośliny strefa wypełniona pęcherzykami powietrza, uniemożliwiająca transport wody i asymilatów [Zimmermann, Brown 1981]. Procesowi tworzenia tych pęcherzyków, zwanemu kawitacją [Boisvenue, Running 2006; Adam i in. 2017], sprzyja wysoka temperatura powietrza, a proces tworzenia zatorów powietrznych, zwany embolią [Roloff 2010] lub embolizmem [Martin-Benito i in. 2017; Rosner 2017], prowadzi do śmierci rośliny. Liczni autorzy uważają, że odporność na kawitację jest kluczową cechą drzew przy zapobieganiu stresowi związanemu z suszą [Jacobsen i in. 2007; Choat i in. 2012; Cochard, Delzon 2013].

Wzrost drzew, szczególnie świerka, był modyfikowany w bardzo dużym stopniu przez intensywną suszę, która w Sudetach wystąpiła w sezonie wegetacyjnym 2015 roku. Charakteryzowała się ona najwyższym deficytem wodnym (określonym wartością klimatycznego bilansu wodnego) od ponad 30 lat [Durło 2019]. W roku 2015 i następnych trzech latach na obszarze badań pozyskano 2,1 mln m³ posuszu. Zachodzi obawa, że intensywny proces wydzielania się drzew w Sudetach będzie postępował nadal, podobnie jak to miało i ma miejsce w Beskidach Zachodnich [Bruchwald, Dmyterko 2010b; Szabla 2017; Dmyterko, Bruchwald 2018; Dmyterko i in. 2019].

Badania nad wzrostem radialnym różnych gatunków drzew w obszarach górskich, zwłaszcza w Karpatach, prowadzone są od wielu lat [Ermich 1963; Feliksik, Wilczyński 2000, 2003;

Wilczyński i in. 2004; Czajka 2012]. Stwierdzono w nich silną reakcję przyrostową świerka na zmiany warunków pluwialnych, a w wyższych partiach gór również na zmiany warunków termicznych. Jednocześnie wykazano tam niezadowolający stan drzewostanów świerkowych, a także bukowych [Szabla 2009, 2017; Bruchwald, Dmyterko 2010b; Dmyterko 2017; Dmyterko, Bruchwald 2018, 2019a, b; Dmyterko i in. 2019]. Zjawiskiem pozytywnym w Sudetach był wzrost udziału świerków, jodeł i modrzewi o dodatniej reakcji przyrostowej w latach 1995-2009 [Korzybski i in. 2013].

Reakcją drzew na intensywną suszę jest wytworzenie węższego słoja rocznego w roku wystąpienia suszy oraz w następnych latach. Słój taki charakteryzuje się również małym udziałem drewna późnego, z czego można wnioskować o wcześniejszym zakończeniu aktywności kambialnej drzewa. Potwierdzają to także badania nad reakcją sosny na suszę, u której stwierdzono zakończenie podziału komórek kambialnych już na początku sierpnia, podczas gdy w przeciętnych warunkach wzrostu drzew podział takich komórek trwa przez cały sierpień [Zajączkowski i in. 1988].

Dalszy wzrost drzew na obszarze badań będzie zależał od warunków pogodowych w następnych latach. Gdy będą one zbliżone do przeciętnych lub będą korzystniejsze dla wzrostu drzew (np. ciepłe i dostatecznie wilgotne miesiące), wówczas przynajmniej część drzew może odbudować aparat asymilacyjny i powrócić do normalnego wzrostu. Gdy warunki pogodowe nie będą sprzyjały wzrostowi drzew, proces ich wypadania będzie nadal intensywny i może trwać wiele lat, zwłaszcza gdy dotyczy to tak wrażliwego na niedobór wody gatunku drzewa, jakim jest świerk. Z badań przeprowadzonych w masywie górskim Schwarzwald w południowo-zachodnich Niemczech wynika, że jodła pospolita i daglezwia są bardziej odporne na ekstremalne susze niż świerk [Vitali i in. 2017], co potwierdzają też niniejsze badania. Można zatem przypuszczać, że zwiększenie udziału obu tych gatunków drzew w lasach Sudetów w warunkach prognozowanych zmian klimatu przyczyni się do zachowania lasu na tym terenie.

Wnioski

- ✚ W Sudetach zachodzi intensywny proces zamierania drzew, głównie świerka, podstawowego gatunku lasotwórczego tych terenów. Bezpośrednią przyczyną zjawiska jest długotrwała susza sezonu wegetacyjnego 2015 roku, która spotęgowała ten proces w drzewostanach osłabionych wcześniej przez wiatr i susze oraz czynniki biotyczne.
- ✚ O intensywności zamierania drzew na obszarze badań świadczy duża ilość pozyskanego posuszu – jego miąższość w latach 2015-2018 wyniosła 2,1 mln m³.
- ✚ U drzew zachodzi związek między ilością dostępnej dla nich wody w glebie i powietrzu a stanem korony i szerokością wytwarzanych słoików rocznych, w tym również szerokością warstwy drewna późnego. W warunkach ekstremalnych, jakie występują podczas intensywnej suszy, drzewa zrzucają wcześniej aparat asymilacyjny i kończą wzrost na grubość. Rozpoczyna to proces usychania drzew, mogący trwać wiele lat. Taki proces został zapoczątkowany w Sudetach suszą w sezonie wegetacyjnym 2015 roku.
- ✚ Z powodu ustępowania świerka należy poszukiwać innych gatunków drzew, mogących go na niektórych siedliskach zastąpić – lepiej dostosowanych do zmieniających się warunków klimatycznych.
- ✚ Jednym z celów planowania składu gatunkowego jest rozproszenie ryzyka hodowlanego związanego z utrzymaniem drzewostanu. Oznacza to zwiększenie udziału w lasach Sudetów wielu gatunków drzew, m.in. jodły i daglezwii, które wykazują dużą tolerancję na zmieniające się warunki klimatyczne. Ich zaletą są również wysokie możliwości w zakresie produkcji surowca drzewnego.

Literatura

- Adam H. D., Zeppel M. J. B., Anderegg W. R. L., Hartmann H., Landhäusser S. M., Tissue D. T., Huxman T. E., Hudson P. J., Franz T. E., Allen C. D., Anderegg L. D. L., Barron-Gafford G. A., Beerling D. J., Breshears D. D., Brodrribb T. J., Bugmann H., Cobb R. C., Collins A. D., Dickman L. T., Duan H., Ewers B. E., Galiano L., Galvez D. A., Garcia-Forner N., Gaylord M. L., Germino M. J., Gessler A., Hacke U. G., Hakamada R., Hector A., Jenkins M. W., Kane J. M., Kolb T. E., Law D. J., Lewis J. D., Limousin J. M., Love D. M., Macalady A. K., Martínez-Vilalta J., Mencuccini M., Mitchell P. J., Muss J. D., O'Brien M. J., O'Grady A. P., Pangle R. E., Pinkard E. A., Piper F. I., Plaut J. A., Pockman W. T., Quirk J., Reinhardt K., Ripullone F., Ryan M. G., Sala A., Sevanto S., Sperry J. S., Vargas R., Vennetier M., Way D. A., Xu C., Yezpez E. A., McDowell N. G. 2017. A multi-species synthesis of physiological mechanisms in drought-induced tree mortality. *Nat. Ecol. Evol.* 1: 1285-1291. DOI: 10.1038/s41559-017-0248-x.
- Allen C. D., Macalady A. K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D. D., Hogg E. H., Gonzalez P., Fensham R., Zhang Z., Castro J., Demidova J., Lim J. H., Allard G., Running S. W., Semerci A., Cobb N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259: 660-684. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>.
- Boisvenue C., Running S. W. 2006. Impacts of climate change on natural forest productivity – evidence since the middle of the 20th century. *Global Change Biology* 12 (5): 862-882.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2010a. Metoda określenia ryzyka uszkodzenia drzewostanu. *Leś. Pr. Bad.* 2: 165-148.
- Bruchwald A., Dmyterko E. 2010b. Lasy Beskidu Śląskiego i Żywieckiego – zagrożenia, nadzieja. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Bruchwald A., Dmyterko E., Bałazy R. 2018. Risk model of tree stand damage by winds and its evaluation based on damage caused by cyclone 'Xaver'. *Forest Systems* 27 (2): e014. <https://doi.org/10.5424/ifs/2018272-11731>.
- Choat B., Jansen S., Brodrribb T. J., Cochard H., Delzon S., Bhaskar R., Bucci S. J., Feild T. S., Gleason S. M., Hacke U. G., Jacobsen A. L., Lens F., Maherali H., Martínez-Vilalta J., Mayr S., Mencuccini M., Mitchell P. J., Nardini A., Pittermann J., Pratt R. B., Sperry J. S., Westoby M., Wright I. J., Zanne A. E. 2012. Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature* 491: 752-755. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature11688>.
- Ciesielski M., Bałazy R., Hycza T., Bruchwald A., Dmyterko E. 2016. Szacowanie szkód spowodowanych przez wiatr w drzewostanach przy wykorzystaniu zobrażeń satelitarnych i danych Systemu Informatycznego Lasów Państwowych. *Sylwan* 160 (5): 371-377. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2015129>.
- Cochard H., Delzon S. 2013. Hydraulic failure and repair are not routine in trees. *Annals of Forest Science* 70: 659-661. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0317-5>.
- Czajka B. 2012. Wpływ wysokości nad poziomem morza na wrażliwość klimatyczną świerka pospolitego w masywie Babiej Góry. *Studia i Materiały CEPL* 30: 91-97.
- Dmyterko E. 2017. Stopień uszkodzenia drzewostanów bukowych Ziemi Kłodzkiej. *Sylwan* 161 (5): 430-439. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2017042>.
- Dmyterko E., Bruchwald A. 2018. Dynamika rozpadu drzewostanów świerkowych w Beskidzie Śląskim. *Sylwan* 162 (3): 189-199. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2017120>.
- Dmyterko E., Bruchwald A. 2019a. Zmiany zachodzące w lasach Beskidu Małego. *Sylwan* 163 (3): 237-247. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2018113>.
- Dmyterko E., Bruchwald A. 2019b. Zmiany zachodzące w lasach Ziemi Kłodzkiej w latach 2001-2017. *Sylwan* 163 (8): 675-684. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2019020>.
- Dmyterko E., Bruchwald A. 2019c. Zastosowanie modelu ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr do oceny procesu śmiertelności drzew w Sudetach w latach 2015-2017. *Sylwan* 163 (11): 903-912. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2019049>.
- Dmyterko E., Bruchwald A., Mionskowski M. 2019. Rozpad drzewostanów świerkowych w Beskidzie Żywieckim. *Sylwan* 163 (2): 130-140. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2018103>.
- Durło G. B. 2007. Klimatyczny bilans wodny okresów wegetacyjnych w Beskidach Zachodnich. *Acta Agrophysica* 19 (3): 553-562.
- Durło G. B. 2019. Klimatyczny bilans wodny na obszarze Parku Krajobrazowego Góry Opawskie. *Sylwan* 163 (10): 802-810. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2019050>.
- Ermich K. 1963. The inception and the end of the annual tree-ring formation in *Fagus sylvatica* L., *Abies alba* Mill., and *Picea excelsa* L. in Tatra Mountains. *Ekologia Polska* A 11 (13): 311-336.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2000. Dendroklimatological analysis of the Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from the Beskid Śląski Mountains. *Beskydy* 13: 161-170.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2003. Termiczne uwarunkowania przyrostu tkanki drzewnej świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) w reglu dolnym Beskidu Żywieckiego. *Acta Agraria et Silvestria Series Silvestris* 41:15-24.

- Jacobsen A., Pratt B., Ewers F., Davis S. 2007. Cavitation resistance among 26 Chaparral species of Southern California. *Ecological Monographs* 77 (1): 99-115. DOI: <https://doi.org/10.1890/05-1879>.
- Kaiser K. E., Megllynn B. L., Emanuel R. E. 2013. Ecohydrology of an outbreak: mountain pine beetle impacts trees in drier landscape positions first. *Ecohydrology* 6: 444-454. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecc.1286>.
- Kondracki J. 2002. *Geografia regionalna Polski*. PWN, Warszawa.
- Korzybski D., Mionskowski M., Dmyterko E., Bruchwald A. 2013. Stopień uszkodzenia świerka, jodły i modrzewia w Sudetach Zachodnich. *Sylwan* 157 (2): 104-112. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2012035>.
- Lambers H., Chapin III F. S., Pons T. L. 2008. *Plant Physiological Ecology*. Springer Nature.
- Lévesque M., Saurer M., Siegwolf R., Eilmann B., Brang P., Bugmann H., Rigling A. 2013. Drought response of five conifer species under contrasting water availability suggests high vulnerability of Norway spruce and European larch. *Global Change Biology* 19 (10): 3184-3199. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12268>.
- Łukaszewicz J., Niemczyk M., Dmyterko E., Bruchwald A. 2014. Ryzyko wystąpienia szkód w lasach zagospodarowanych rębnią gniazdową. *Postępy Techniki w Leśnictwie* 127: 22-29.
- Łukaszewicz J., Niemczyk M., Dmyterko E., Bruchwald A. 2015. Ocena rębni gniazdowej na podstawie drzewostanów uszkodzonych w lasach nizinnych Polski. *Sylwan* 159 (1): 3-12. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2014077>.
- Martin-Benito D., Anchukaitis K. J., Evans M. N., del Río M., Beeckman H., Cañellas I. 2017. Effects of drought on xylem anatomy and water-use efficiency of two co-occurring pine species. *Forests* 8: 1-19. DOI: <https://doi.org/10.3390/f8090332>.
- Martin-Benito D., Cherubini P., del Río M., Cañellas I. 2008. Growth response to climate and drought in *Pinus nigra* Arn. trees of different crown classes. *Trees: Structure and Function* 22(3): 363-373. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-007-0191-6>.
- Pretzsch H., Schütze G., Uhl E. 2013. Resistance of European tree species to drought stress in mixed versus pure forests: evidence of stress release by inter-specific facilitation. *Plant Biology* 15: 483-495. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2012.00670.x>.
- Roloff A. 2010. *Bäume. Lexikon der praktischen Baumbiologie*. WILEY_VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Rosner S. 2017. Wood density as a proxy for vulnerability to cavitation: Size matters. *Journal of Plant Hydraulics* 4: 1-10. DOI: <https://doi.org/10.20870/jph.2017.e001>.
- Sperry J. S., Venturas M. D., Anderegg W. R. L., Mencuccini M., Mackay D. S., Wang Y., Love D. M. 2016. Predicting stomatal responses to the environment from the optimization of photosynthetic gain and hydraulic cost. *Plant, Cell and Environment* 40: 816-830. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.12852>.
- Steinkamp J., Hickler T. 2015. Is drought-induced forest dieback globally increasing? *Journal of Ecology* 103: 31-43. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12335>.
- Szabla K. 2009. Aktualny stan drzewostanów świerkowych w Beskidach i ich geneza. W: Starzyk J. [red.]. *Problem zamierania drzewostanów świerkowych w Beskidzie Śląskim i Żywieckim*. Oficyna Wydawniczo-Drukarska „Secesja”, Kraków. 13-43.
- Szabla K. 2017. Proces rozpadu drzewostanów świerkowych w Beskidzie Śląskim i Żywieckim w następstwie gradacji owadów kambiofagicznych i grzybów patogenicznych oraz sposób zagospodarowania tych drzewostanów w latach 2003-2015. *Postępy Techniki w Leśnictwie* 137: 23-31.
- Trampller T., Kliczkowska A., Dmyterko E., Sierpińska A. 1990. Regionalizacja przyrodniczo-leśna na podstawach ekologiczno-fizjograficznych. PWRiL, Warszawa.
- Vitali V., Büntgen U., Bausch J. 2017. Silver fir and Douglas fir are more tolerant to extreme droughts than Norway spruce in south-western Germany. *Global Change Biology* 23: 5108-5119. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.13774>.
- Wilczyński S., Feliksik E., Wertz B. 2004. Diversification of climatic requirements of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) in the upper forest zone. *EJPAU. Forestry* 7 (1).
- Williams A. P., Allen C. D., Macalady A. K., Griffin D., Woodhouse C. A., Meko D. M., Swetnam T. W., Rauscher S. A., Seager R., Grissino-Mayer H. D., Dean J. S., Cook E. R., Gangodagamage C., Cai M., McDowell N. G. 2013. Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. *Nature Climate Change* 3: 292-297.
- Zajączkowski S., Bogaciński B., Wodzicki T. J. 1988. Zmienność długości okresu aktywności kambium w sezonie a liczba produkowanych cewek w populacjach drzewiastych *Pinus sylvestris* L. *Sylwan* 132 (1): 27-40.
- Zimmermann M. H., Brown C. L. 1981. *Drzewa. Struktura i funkcje*. PWN, Warszawa.