

NORBERT SZYMAŃSKI, SŁAWOMIR WILCZYŃSKI

## Wrażliwość drzew modrzewia europejskiego na warunki siedliskowe powierzchni doświadczalnych w Siemianicach, Bliżynie i Krynicy\*

Sensitivity of European larch trees to habitat conditions in the provenance trials in Siemianice, Bliżyn and Krynica

### ABSTRACT

Szymański N., Wilczyński S. 2021. Wrażliwość drzew modrzewia europejskiego na warunki siedliskowe powierzchni doświadczalnych w Siemianicach, Bliżynie i Krynicy. Sylwan 165 (4): 324-335. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2021027>.

The aim of the study was to assess the sensitivity of European larch trees of 20 Polish provenances to thermal and pluvial conditions prevailing at three provenance trials located in Wielkopolska Lowland (Siemianice, 170 m a.s.l.), Kielecka Upland (Bliżyn, 305 m a.s.l.) and Beskid Sądecki Mountains (Krynica, 790 m a.s.l.) (fig. 1), which differed in terms of soil and climatic conditions (fig. 2). For each of 1200 trees (20 trees × 20 provenances × 3 trials), chronology of annual sensitivity values was developed for 1971-2015 period. Correlation analysis for monthly values of air temperature and precipitation with the tree chronologies and with the first two components, distinguished in principal component analysis of the tree chronologies, was performed. In case of the each provenance trial, we found very strong differentiation in the direction and the strength of the correlation of larch radial increment with individual climatic parameters (fig. 3). This differentiation is the highest in Siemianice, while the lowest in Krynica. The grouping of the chronologies according to the location of provenance trial and not their origin (fig. 4) was caused by the dominant role of local climate, additionally modelled by the soil and orographic conditions. The majority of larch trees, regardless of their origin and site, reacted positively, increasing the radial growth, to high temperature in February and March (fig. 3). The larches in Siemianice also reacted positively to high temperature in April and to low temperature in June as well as to high precipitation in February and June (fig. 3A). The larches in Bliżyn responded positively to high precipitation in the previous November, February and June as well as to low temperature in July and September of the year of the tree-ring formation (fig. 3B). The larches in Krynica reacted positively to low temperature in the previous October, July and September of the current year, and to high precipitation in the previous November and July (fig. 3C). Radial increment chronologies of individuals are a valuable source of information about differentiation of sensitivity of trees to climatic factor. Great between-tree differentiation of sensitivity to individual climatic elements allows select the trees, which are the least sensitive to unfavourable, for their growth, changes of climatic conditions prevailing in a given region.

### KEY WORDS

*Larix decidua*, tree-ring width, radial increment, dendroclimatology

\*Praca powstała w wyniku realizacji projektu badawczego o nr 2015/19/N/NZ9/00625 finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

**ADDRESSES**

Norbert Szymański <sup>(1)</sup> – e-mail: norbert.szymanski@urk.edu.pl

Sławomir Wilczyński <sup>(2)</sup> – e-mail: slawomir.wilczynski@urk.edu.pl

<sup>(1)</sup> Katedra Ekologii i Hodowli Lasu, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

<sup>(2)</sup> Katedra Ochrony Ekosystemów Leśnych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

**Wstęp**

Prognozowane zmiany warunków klimatycznych na terenie Europy mogą charakteryzować się głównie coraz cieplejszymi sezonami zimowym oraz letnim [Climate... 2014]. Na obszarze Polski proces wyraźnego ocieplania się i skracania sezonu zimowego obserwuje się od połowy lat 70. ubiegłego wieku [Duruł i in. 2004; Chojnacka-Ożga, Ożga 2015; Wilczyński 2020]. Z uwagi na zmieniający się klimat wybór materiału sadzeniowego najbardziej odpornego na niesprzyjające warunki meteorologiczne może zmniejszyć ryzyko hodowlane [Sabor 2006; Fonder i in. 2007; Bolte i in. 2010]. Sadzonki drzew przeniesione do innych warunków siedliskowych powinny charakteryzować się nie tylko zdolnością do przeżycia, ale także dobrym przyrostem drewna w kolejnych fazach rozwojowych [Landis 1995].

Jedną z miar vitalności drzew jest szerokość słoja [Fritts 1976], która zależy między innymi od długości okresu wegetacji. Osobniki tego samego gatunku w jednym drzewostanie mogą wykazywać zróżnicowanie terminu inicjacji, zakończenia oraz czasu trwania aktywności kambium waskularnego, co skutkuje zmiennością wielkości przyrostu drewna [Bogaciński i in. 1988; Zajązkowski i in. 1988; Kraus i in. 2016]. Badając klimatyczne przyczyny corocznej zmienności wielkości przyrostów drewna, wykorzystuje się zazwyczaj średnią chronologię opisującą przeciętny rytm przyrostowy populacji drzew [Fritts 1976], przez co tracona jest informacja o zmienności międzyosobniczej tych relacji. Zatem wiedza o zmienności międzyosobniczej i międzypochodzeniowej modrzewia europejskiego w zakresie wrażliwości na czynnik klimatyczny, wynikająca z przenoszenia potomstwa pojedynczych osobników lub populacji do innego układu warunków środowiskowych, daje asumpt do kontynuowania już wcześniej zapoczątkowanych badań nad tym gatunkiem [Szeligowski 2001; Wilczyński, Kulej 2013; Szymański, Wilczyński 2016; Wilczyński i in. 2016]. Szymański i Wilczyński [2021] badali zróżnicowanie wrażliwości na czynnik klimatyczny tych samych pochodzeń modrzewia na poszczególnych powierzchniach i pomiędzy nimi. Analizowano jednak przeciętny rytm przyrostowy każdego pochodzenia reprezentowany przez średnią chronologię, przez co wyeliminowana została zmienność międzyosobnicza. Prezentowane badania stanowią kontynuację tych analiz, przy czym wykorzystano osobnicze chronologie przyrostów radialnych reprezentujące rytm przyrostowy poszczególnych drzew.

Celem niniejszej pracy jest określenie wrażliwości drzew modrzewia europejskiego na warunki termiczno-pluwalne panujące na powierzchniach doświadczalnych położonych na obszarze nizinym (Siemianice), wyżynnym (Bliżyn) oraz górskim (Krynica). Za miarę wrażliwości przyjęto wielkość przyrostów radialnych tworzonych przez poszczególne osobniki.

**Teren badań**

Na doświadczalnych powierzchniach proveniencyjnych w Siemianicach (SI, 170 m n.p.m.), Bliżynie (BL, 305 m n.p.m.) oraz w Krynicy (KR, 790 m n.p.m.) posadzono w 1967 roku sadzonki modrzewia europejskiego 20 polskich proveniencji pochodzących z różnych regionów klimatycznych Polski (ryc. 1). W SI i BL zastosowano więźbę 2,0 × 2,0 m, a w KR 1,8 × 1,8 m [Szymański,



Ryc. 1.

Położenie drzewostanów matecznych (białe punkty) oraz powierzchni doświadczalnych w Siemianicach (SI), Bliżynie (BL) i Krynicy (KR)

Location of the seed source stands (white dots) and the provenance trials in Siemianice (SI), Bliżyn (BL) and Krynica (KR)

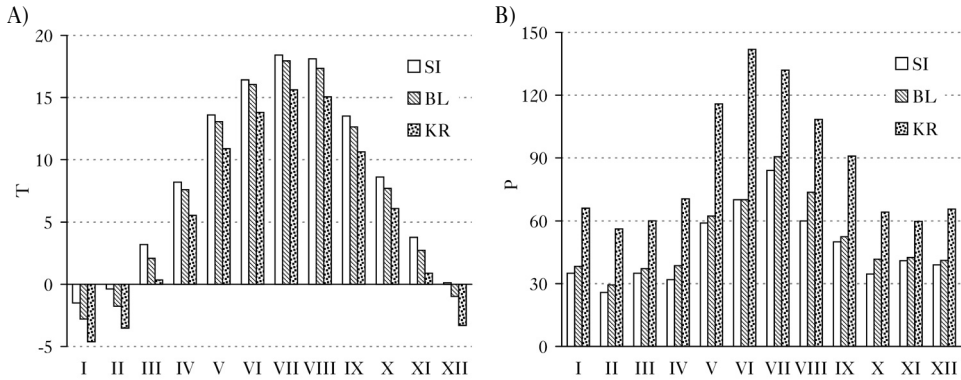
Wilczyński 2021]. Powierzchnia w Siemianicach położona w terenie nizinnym charakteryzowała się klimatem najcieplejszym oraz najbardziej suchym. Średnia roczna temperatura ( $T_r$ ) oraz roczna suma opadów ( $Pr$ ) dla okresu 1970-2015 wyniosły tam odpowiednio  $8,5^\circ\text{C}$  i  $565$  mm. Powierzchnia w Krynicy, położona w piętrze regla dolnego, cechowała się przeciętnie najzimniejszym ( $T_r=5,6^\circ\text{C}$ ) i najbardziej obfitującym w opady ( $Pr=1032$  mm) klimatem. W Bliżynie (teren wyżynny)  $T_r=7,6^\circ\text{C}$ , a  $Pr=618$  mm. Średnia roczna amplituda temperatury powietrza w badanym wieloleciu wskazuje, że klimat Bliżyna ( $20,7^\circ\text{C}$ ) był bardziej kontynentalny niż w Siemianicach ( $19,9^\circ\text{C}$ ) i Krynicy ( $20,2^\circ\text{C}$ ). Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza były najwyższe na powierzchni w Siemianicach, a najniższe w Krynicy (ryc. 2A). Miesięczne sumy opadów w ciągu roku były najniższe w SI, a najwyższe w KR (ryc. 2B). Średnia wieloletnia temperatura powietrza w styczniu ( $TI$ ) oraz lipcu ( $TVII$ ) była najniższa na powierzchni w Krynicy ( $TI=-4,6^\circ\text{C}$  i  $TVII=15,6^\circ\text{C}$ ), a najwyższa w Siemianicach ( $TI=-1,5^\circ\text{C}$  i  $TVII=18,4^\circ\text{C}$ ) (ryc. 2A). Dla Bliżyna wyniosły one odpowiednio  $TI=-2,8^\circ\text{C}$  i  $TVII=17,9^\circ\text{C}$ .

Powierzchnie doświadczalne różnią się nie tylko warunkami klimatycznymi, ale także glebowymi. Na powierzchni w Siemianicach występuje gleba biellicowa właściwa wytworzona z piasku luźnego, w Bliżynie gleba biellicowo-glejowa właściwa wytworzona z gliny ilastej (z wkładką ilastą na głębokości 80-100 cm), natomiast w Krynicy gleba brunatna właściwa wytworzona z gliny pylasto-ilastej, silnie szkieletowa [Szymański, Wilczyński 2021].

## Material i metody

Z pni 20 modrzewi każdej z 20 proveniencji pobrano świdrem Presslera na wysokości  $1,3$  m po 2 wywierty wzdłuż osi wschód-zachód. Oszlifowano je i zeskanowano skanerem optycznym z rozdzielczością 2400 dpi. Szerokość słoików rocznych pomierzono, używając programów komputerowych CooRecorder i CDendro 7.8. Za pomocą programu COFECHA sprawdzono poprawność datowania słoików [Holmes 1986]. Następnie dla każdego drzewa w każdym roku uśredniono wartości szerokości słoików dwóch wywiertów, tworząc w ten sposób osobnicze chronologie szerokości słoików. Łącznie skonstruowano 1200 chronologii osobniczych ( $20$  drzew  $\times$   $20$  proveniencji  $\times$   $3$  powierzchnie) obejmujących wspólny dla wszystkich drzew okres 1970-2015. W dalszej kolejności przeprowadzono indeksację chronologii szerokości słoików, obliczając w każdym roku indeks przystosowy, czyli tzw. czułość roczną ( $c_i$ ) według formuły [Fritts 1976]:

$$c_i = 2 \cdot (x_i - x_{i-1}) / (x_i + x_{i-1})$$



Ryc. 2.

Średnia miesięczna temperatura powietrza (T [°C]) i miesięczna suma opadów atmosferycznych (P [mm]) na powierzchniach doświadczalnych w Siemianicach (SI), Bliżynie (BL) i Krynicy (KR) za okres 1970-2015  
 Mean monthly air temperature (T [°C]) and monthly sum of precipitation (P [mm]) for the provenance trials in Siemianice (SI), Bliżyn (BL) and Krynica (KR) for the period 1970-2015

gdzie:

$x_i$  – szerokość słoja w roku  $i$ ,

$x_{i-1}$  – szerokość słoja w roku poprzednim.

W ten sposób zredukowano średnio- i długookresową zmienność szerokości słoików oraz uwypuklono ich zmienność, która kształtowana jest głównie przez zmieniające się z roku na rok warunki meteorologiczne [Fritts 1976]. Odmienne warunki glebowe panujące na powierzchniach doświadczalnych mogły modyfikować relacje klimat-przyrost rosnących na nich modrzewi.

W celu określenia wpływu warunków termiczno-pluwialnych na wielkość przyrostu radialnego modrzewi obliczono współczynniki korelacji liniowej Pearsona pomiędzy wartościami indeksowanych chronologii osobniczych na każdej powierzchni doświadczalnej a średnią miesięczną temperaturą powietrza oraz miesięcznymi sumami opadów atmosferycznych z lat 1971-2015. Uwzględniono miesiące od września roku poprzedzającego przyrost do września roku formowania słoja. Następnie dla poszczególnych miesięcy obliczono wartości średnie współczynnika korelacji, podwójne odchylenie standardowe oraz wartości maksymalne i minimalne. Dodatkowo w celu porównania skorelowano wartości średniej chronologii wszystkich modrzewi z danej powierzchni doświadczalnej z wyżej wymienionymi parametrami klimatycznymi.

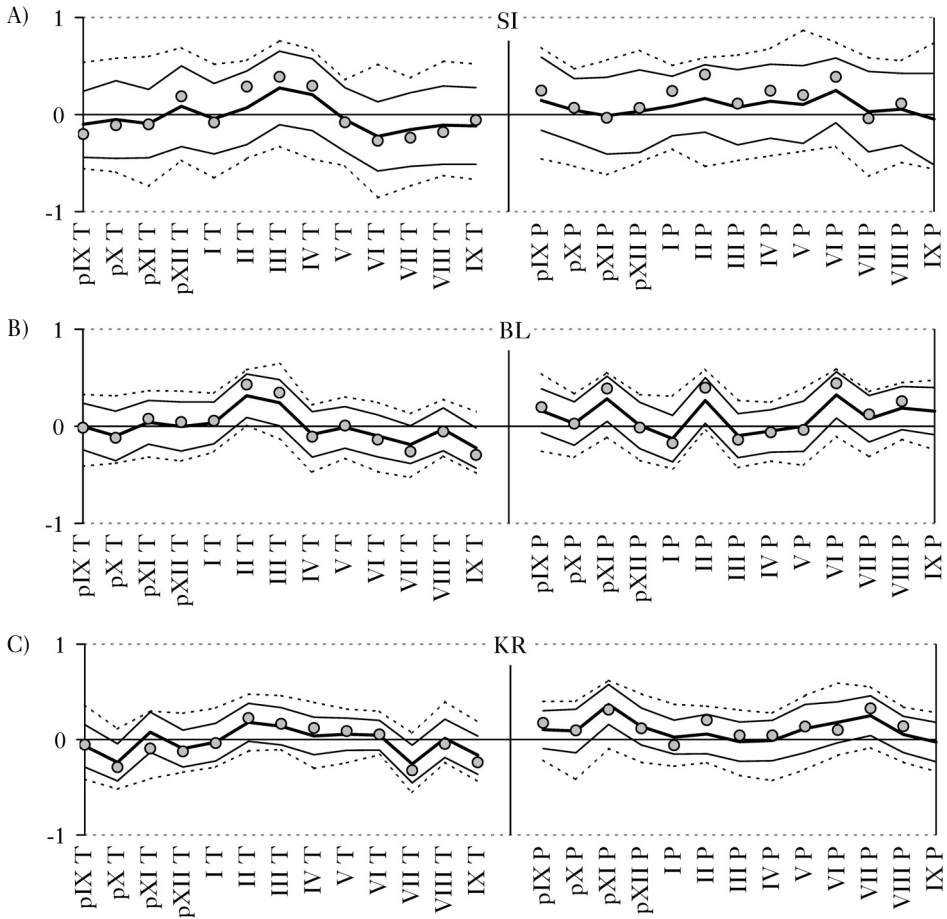
Wspólne cechy corocznej zmienności wielkości przyrostów radialnych modrzewi oraz ich klimatyczne przyczyny zidentyfikowano, wykorzystując analizę głównych składowych (PCA), w której zmiennymi były osobnicze chronologie indeksowane. Analizowano chronologie osobnicze modrzewi kolejno dla dwóch powierzchni (każdorazowo 800 chronologii), aby na wstępie zredukować ich liczbę i przez to silniej uwypuklić ewentualne różnice – pomiędzy powierzchniami albo pochodzeniami. W trakcie analizy składowej osobnicze chronologie indeksowane zostały przekształcone w nowy zestaw zmiennych, tzw. główne składowe. Na podstawie wykresu osypiska do dalszych analiz włączano dwie pierwsze główne składowe (PC1 i PC2), opisujące największy procent zmienności chronologii. Pierwsza składowa uwypuklała wspólne cechy wszystkich analizowanych chronologii, natomiast kolejne – wspólne cechy dla pewnych grup chronologii. Na podstawie położenia chronologii względem ładunków czynnikowych (współczynników korelacji chronologii z obiema głównymi składowymi) wyróżniono grupy chronologii modrzewi.

W celu identyfikacji elementów klimatycznych opisywanych przez obie główne składowe skorelowano ich wartości z lat 1971-2015 ze średnią miesięczną temperaturą powietrza oraz miesięcznymi sumami opadów atmosferycznych. W analizach tych uwzględniono okres od września roku poprzedzającego przyrost do września roku formowania słoja oraz wzięto pod uwagę wyłącznie te miesiące, dla których co najmniej raz wystąpiła istotna ( $p \leq 0,05$ ) wartość współczynnika korelacji. Należy podkreślić, że analizę składowych głównych wykorzystywano z powodzeniem w wielu badaniach dendroklimatycznych [Mazza i in. 2014; Chhin i in. 2018; Zhang i in. 2020]. Dane klimatyczne wykorzystane w analizach pochodziły ze stacji meteorologicznych w Siemianicach, Bartkowie, Kielcach (IMGW) oraz w Krynicy-Zdroju.

## Wyniki

Na wszystkich powierzchniach występuje bardzo silne zróżnicowanie kierunku i siły korelacji wielkości przyrostów radialnych modrzewi z poszczególnymi parametrami klimatycznymi. Najsilniejsze zróżnicowanie stwierdzono w Siemianicach, najmniejsze zaś w Krynicy (ryc. 3). Wartości współczynników korelacji wskazują, że wielkość przyrostu radialnego większości modrzewi z Siemianic dodatnio koreluje z średnią temperaturą marca i kwietnia oraz ujemnie z temperaturą lata, szczególnie czerwca, a także dodatnio z sumą opadów lutego i czerwca roku formowania słoja (ryc. 3A). Na powierzchni w Bliżynie pozytywny wpływ na przyrost większości modrzewi miała wysoka temperatura lutego i marca oraz niska temperatura lipca i września roku odkładania słoja, a także wysokie opady listopada poprzedniego roku oraz lutego, czerwca i sierpnia w roku formowania słoja (ryc. 3B). Z kolei w Krynicy dodatni wpływ na przyrost większości modrzewi miała niska temperatura października poprzedniego roku, lipca i września roku formowania słoja oraz wysoka temperatura lutego, a także wysokie opady listopada poprzedniego roku oraz lipca roku formowania słoja (ryc. 3C). Wartości współczynników korelacji powyższych parametrów klimatycznych i średniej chronologii wszystkich modrzewi rosnących na danej powierzchni są wyraźnie wyższe niż wartości średnie współczynników korelacji 400 chronologii osobniczych z tymi parametrami (ryc. 3).

Stosunkowo duży rozrzut chronologii osobniczych – zarówno względem PC1, jak i PC2 (ryc. 4) – świadczy o zróżnicowaniu przebiegu wielkości przyrostu radialnego w badanym okresie wśród badanych drzew. Jednak w każdym przypadku chronologie tworzą dwie grupy związane z powierzchnią doświadczalną, na której rosy. Wyniki te korespondują z wynikami zamieszczonymi na rycinie 3, ukazującej silne zróżnicowanie relacji klimat-przyrost wśród badanych modrzewi na każdej powierzchni. Analiza głównych składowych osobniczych chronologii modrzewi z SI i BL wykazała, że czynnikiem mającym podobny wpływ na zmienność ich chronologii były elementy klimatyczne opisywane przez PC1, która wyjaśniała 35% wspólnej zmienności chronologii. Wszystkie chronologie korelowały z nią dodatnio, przy czym modrzewie z BL przeciętnie nieco silniej (ryc. 4A). Okazało się, że PC1 korelowała istotnie ( $p < 0,05$ ) dodatnio ze średnią temperaturą lutego i marca oraz sumą opadów lutego i czerwca roku formowania słoja, a także z opadami listopada poprzedniego roku i sierpnia roku formowania słoja – lecz tylko dla danych klimatycznych z BL (ryc. 5A). Zatem związki klimat-przyrost ujawnione w wyniku analizy PC1 były bardzo podobne do przedstawionych na rycinie 3A,B dla obu powierzchni. Dodatkowo analiza korelacji PC1 z parametrami klimatycznymi wykazała, że zmienność wielkości przyrostów modrzewi z BL była silniej związana ze zmiennością opadów poprzedniego listopada oraz bieżącego sierpnia, niż miało to miejsce w przypadku modrzewi z SI (ryc. 5A). Czynnikiem różnicującym coroczny rytm przyrostowy modrzewi na obu powierzchniach były elementy klimatyczne opisywane przez drugą składową, która wyjaśniała 16% zmienności chronologii.



Ryc. 3.

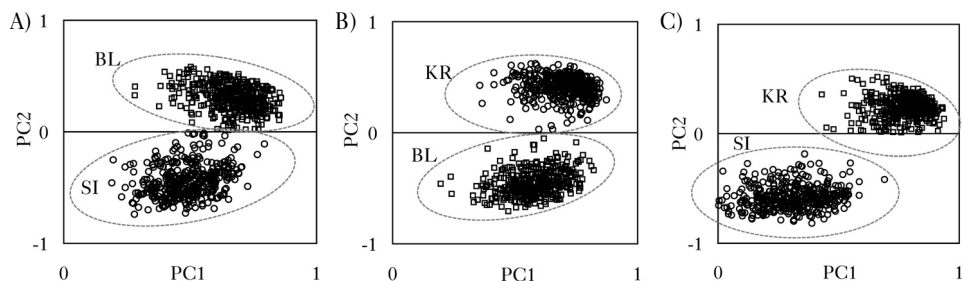
Średnie (pogrubione linie), maksymalne i minimalne (przerywane linie) współczynniki korelacji średniej miesięcznej temperatury powietrza (T) i miesięcznej sumy opadów atmosferycznych (P) z indeksowanymi chronologiami osobniczymi wraz z przedziałem dwóch odchyłeń standardowych od średniej (cienkie linie) dla modrzewi w Siemianicach (SI), Bliżynie (BL) i Krynicy (KR)

Mean (bold lines), maximal and minimal (dashed lines) correlation coefficients for mean monthly air temperature (T) or monthly sum of precipitation (P) and indexed chronologies, with two standard deviation range from the mean (narrow lines) for larch trees in Siemianice (SI), Bliżyn (BL) and Krynica (KR)

szare punkty – wartości dla średniej chronologii z danej powierzchni  
grey dots – values for mean chronologies for a given provenance trial

Względem PC2 chronologie modrzewi z SI i BL tworzyły oddzielne grupy. Chronologie modrzewi z SI korelowały z PC2 ujemnie, natomiast z modrzewiem z BL dodatnio (ryc. 4A). Stwierdzono przy tym, że PC2 korelowała istotnie ( $p < 0,05$ ) ujemnie ze średnią temperaturą kwietnia (ryc. 5A). Koresponduje to z wynikami przedstawionymi na rycinie 3A,B, które wskazują, że związek między temperaturą kwietnia i szerokością słoju modrzewi z SI był w większości przypadków pozytywny, natomiast negatywny na powierzchni w BL (ryc. 3A,B i 5A).

W przypadku powierzchni BL i KR czynnikiem integrującym chronologie modrzewi była składowa pierwsza (ryc. 4B), która wyjaśniała 41% zmienności chronologii. Stwierdzono, że PC1 korelowała istotnie ( $p < 0,05$ ) dodatnio ze średnią temperaturą lutego i marca oraz ujemnie ze średnią



Ryc. 4.

Położenie osobniczych chronologii indeksowanych modrzewi z Siemianic (SI), Bliżyna (BL) i Krynicy (KR) względem ładunków PC1 i PC2

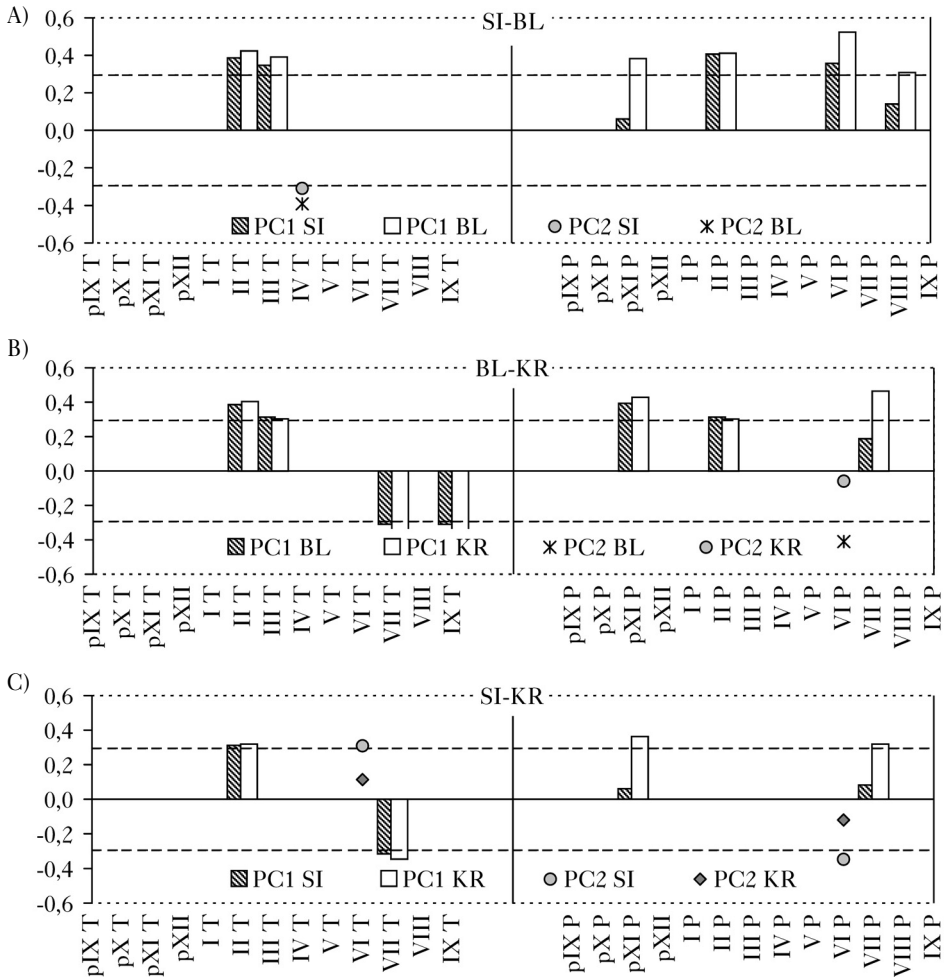
Positions of indexed tree chronologies from the provenance trial in Siemianice (SI), Bliżyn (BL) and Krynica (KR) in relation to the loadings of PC1 and PC2

temperaturą lipca i września roku formowania słoja, dodatkowo z sumą opadów listopada poprzedniego roku oraz lutego, a także lipca roku formowania słoja – lecz jedynie w przypadku uwzględnienia danych klimatycznych z KR (ryc. 5B). Wynika stąd, że modrzewie na obu powierzchniach podobnie reagowały na powyższe elementy klimatyczne, jednak wielkość przyrostu modrzewi z KR była zdecydowanie silniej ( $p < 0,05$ ) dodatkowo związana z ilością opadów występującą w lipcu (ryc. 5B). Chronologie modrzewi z BL oraz z KR tworzyły oddzielne grupy względem PC2 (ryc. 4B), która wyjaśniała 20% zmienności chronologii. Okazało się, że korelowała ona istotnie ( $p < 0,05$ ) ujemnie z sumą opadów czerwca roku formowania słoja jedynie w przypadku danych klimatycznych z BL (ryc. 5B). Powyższe wyniki korespondują z wynikami przedstawionym na rycinie 3B,C, na której widać, że kierunek korelacji przyrostu modrzewi z BL i KR z opadami czerwca był ten sam, lecz różna była jej siła. Modrzewie na powierzchni w BL silniej reagowały na niedobry opadów w tym miesiącu, redukując przyrost (ryc. 3B,C i 5B).

Z ryciny 4C wynika, że chronologie modrzewi z KR zdecydowanie silniej korelowały z PC1 niż chronologie z SI, przy czym składowa ta wyjaśniała 35% zmienności chronologii modrzewi z obu powierzchni. PC1 istotnie ( $p < 0,05$ ) dodatnio korelowała ze średnią temperaturą lutego oraz ujemnie ze średnią temperaturą lipca, a także dodatkowo z sumą opadów listopada roku poprzedniego i lipca roku formowania słoja, lecz tylko dla danych klimatycznych z KR (ryc. 5C). Modrzewie na obu powierzchniach pozytywnie reagowały na wysoką temperaturę w lutym i niską w lipcu, zwiększając przyrost. Z kolei wielkość przyrostu drewna modrzewi z KR była zdecydowanie silniej pozytywnie związana z wielkością opadów występującą w listopadzie poprzedniego roku oraz w lipcu roku formowania słoja (ryc. 5C). Wyniki te tłumaczą zróżnicowanie siły korelacji chronologii modrzewi z SI i KR z PC1 (ryc. 4C). Chronologie modrzewi z powierzchni SI i KR tworzą dwa skupienia względem ładunków PC2, która wyjaśnia 21% ich zmienności. Okazało się, że PC2 korelowała ( $p < 0,05$ ) dodatnio ze średnią temperaturą czerwca roku formowania słoja, zaś ujemnie z sumą opadów tego miesiąca (ryc. 5C). Wynika stąd, że modrzewie z SI zdecydowanie silniej reagowały, zwiększając przyrost, gdy czerwiec był chłodny i obfitywał w opady (ryc. 3A,C).

## Dyskusja

Znane są badania dendroklimatyczne wykorzystujące w ocenie relacji klimat-przyrost chronologie osobnicze [Ritters 1990; Tardif i in. 2003; Carrer, Urbinati 2004; Wilmking i in. 2005; Wilczyński, Szymański 2015; Wilczyński i in. 2016]. W wyniku przypadkowych zdarzeń oraz indywidualnych cech drzewa reakcje na presję poszczególnych elementów klimatycznych są często odmienne.



Ryc. 5.

Istotne ( $p < 0,05$ ) współczynniki korelacji między PC1 i PC2 a średnią miesięczną temperaturą powietrza (T) i miesięczną sumą opadów atmosferycznych (P) Siemianic (SI), Bliżyna (BL) i Krynicy (KR)

Significant ( $p < 0,05$ ) correlation coefficients between PC1, PC2 and mean monthly air temperature (T) and monthly sum of precipitation (P) in Siemianice (SI), Bliżyn (BL) and Krynica (KR)

wartości krytyczne przy  $\alpha = 0,05$  – przerywane linie  
 critic values for  $\alpha = 0,05$  – dashed lines

Analizy oparte na chronologiach osobniczych pozwalają zatem ujawnić te różnice. Na przykład w badaniach prowadzonych na Alasce nad świerkiem rosnącym przy północnej granicy lasu zauważono przeciwstawne reakcje przyrostowe sąsiadujących ze sobą drzew [Wilmking i in. 2005]. Także Fang i in. [2012] stwierdzili tylko u niektórych świerków badanej przez nich populacji mniejszą wrażliwość na suszę.

W niniejszych badaniach przeanalizowano osobnicze chronologie, które obrazują coroczne zmiany wielkości przyrostów radialnych 1200 osobników modrzewia europejskiego 20 polskich pochodzeń rosnących na trzech powierzchniach doświadczalnych położonych w różnych regionach klimatycznych. Stwierdzono wysoką zgodność wyników analizy korelacji wybranych



parametrów klimatycznych z chronologiami drzew oraz z wartościami wyodrębnionych dwóch pierwszych głównych składowych. Analiza korelacji składowych głównych z parametrami klimatycznymi wskazała bezpośrednio na elementy klimatyczne, które miały podobny wpływ na zmienność wielkości przyrostów radialnych badanych modrzewi, a także na elementy, które miały wpływ różnicujący.

Modrzewie rosnące na każdej z trzech powierzchni wykazywały specyficzny rytm przyrostowy, kształtowany przez panujące na nich warunki klimatyczne. Elementy klimatyczne, na które modrzewie reagowały odmiennie w zależności od miejsca wzrostu, zostały opisane głównie przez drugą główną składową, ale także przez składową pierwszą. Należy podkreślić, że na pewne elementy klimatyczne, opisane wyłącznie przez pierwszą składową, osobniki wszystkich proveniencji reagowały podobnie, niezależnie od powierzchni doświadczalnej. Istotnym czynnikiem kształtującym wielkość przyrostów radialnych modrzewi na trzech powierzchniach była długość okresu wegetacyjnego modelowana przez temperaturę lutego lub marca. Im temperatura w tych miesiącach była wyższa, tym modrzewie wytwarzały szersze słoje, bowiem im wcześniej inicjowane są procesy fizjologiczne i biochemiczne w drzewach, tym szybciej ich kambium zaczyna się dzielić [Rötzer i in. 2004; Rossi i in. 2008; Begum i in. 2013].

Interesujące informacje uzyskano, porównując ze sobą reakcje przyrostowe modrzewi kolejno z dwóch powierzchni. Modrzewie w Siemianicach oraz Bliżynie podobnie i pozytywnie reagowały na wysokie opady w lutym, które zasilają glebę w wodę niezbędną drzewom na początku okresu wegetacyjnego. Modrzewie w Bliżynie silniej reagowały, redukując przyrost radialny, na niedobory opadów w czerwcu, sierpniu oraz w poprzednim listopadzie, pomimo że powierzchnia ta cechowała się przeciętnie wyższymi opadami. Przyczyną mogła być tam płytko położona w glebie zwięzła warstwa gliniasto-ilasta, która utrudniała opadom wsiąkanie w głąb gruntu. W konsekwencji łatwo dochodziło do jego przesuszenia, na co wskazywał już wcześniej Kocięcki [1977]. Obfite opady występujące w czerwcu poprawiały bilans wodny w tym ciepłym miesiącu, kiedy modrzewie silnie transpirują oraz prowadzą fotosyntezę, tworząc komórki drewna wczesnego i odkładając istotną część warstwy drewna [Moser i in. 2009]. Wysokie opady w sierpniu (drugim najgorętszym miesiącu roku), na niedobór których szczególnie wrażliwe były modrzewie na powierzchni w Bliżynie, zapobiegały obniżaniu się poziomu wód gruntowych spowodowanemu silną letnią ewapotranspiracją. Jednak jak wykazali Oleksyn i Fritts [1991], zbyt wysokie opady w sierpniu mogą niekiedy powodować u modrzewia wcześniejsze zakończenie przyrostu radialnego. Okazuje się, że pod wpływem wysokiego ciśnienia wody wywieranego na ścianę komórkową następuje odkształcenie się komórek kambium, a w konsekwencji ich wzmożony wzrost [Jones 1998; Major, Johnsen 2001]. Istotny wpływ opadów występujących w listopadzie na wielkość przyrostu modrzewi w następnym roku można tłumaczyć tym, że w sytuacji, gdy gleba w jesieni jest zasobna w wodę, drzewa mogą kontynuować rozbudowę systemu korzeniowego [Hoffmann, Lyr 1973], zabezpiecza ona również zimową transpirację oraz zwiększa odporność drzew na mrozy zimowe [Jaworski 2011]. Potwierdzają to także badania Levesque i in. [2013], z których wynika, że modrzewie aktywnie wykorzystują zapasy wody zgromadzone w glebie jesienią i zimą. Modrzewie rosnące w Siemianicach oraz w Bliżynie różniły się też reakcją przyrostową na temperaturę powietrza panującą w kwietniu. W Siemianicach zwiększały one szerokość słoików, gdy kwiecień był ciepły, natomiast w Bliżynie w takich warunkach redukowały przyrost. Na powierzchni w Bliżynie wysoka temperatura kwietnia mogła doprowadzać do niedoborów wody w glebie w tym niewralgicznym dla aktywności kambium okresie.

Interesujące informacje uzyskano także, porównując modrzewie z Bliżyna i Krynicy. Okazało się, że wysoka temperatura powietrza w lipcu i we wrześniu roku formowania słoja niekorzystnie wpływała na aktywność przyrostową modrzewi na obu powierzchniach, czego nie zaobserwowano

w Siemianicach. Prawdopodobnie wyższa temperatura powietrza wpływała na wzrost ewapotranspiracji, co przy małej ilości opadów zwiększało deficyt wody w glebie i powodowało zakłócenia procesów fizjologicznych drzew. Dodatkowo modrzewie w Bliżynie, w porównaniu z tymi w Krynicy, cechowały się wysoką wrażliwością na niedobory wody w czerwcu. Wyraźny korzystny wpływ na przyrost modrzewi w Krynicy wysokich opadów w lipcu, najcieplejszym miesiącu w roku, odróżnia je od modrzewi z dwóch pozostałych powierzchni. Wpływ na to mogła mieć kamienista, przepuszczalna gleba oraz silnie pochyły stok o wystawie południowo-wschodniej i zachodniej powierzchni w Krynicy. Silne nasłonecznienie drzew w lipcu oraz ciepły i suchy wiatr wiejący w ciągu dnia od dna doliny, odczuwalny w trakcie badań terenowych, zwiększały transpirację modrzewi, co mogło zwiększać niedobory wody w glebie. Pozytywny wpływ na wielkość przyrostu radialnego drzew na powierzchni w Krynicy miała także niska temperatura w październiku roku poprzedzającego formowanie słoja, czego nie zaobserwowano w Bliżynie i Siemianicach. Mogła ona sprzyjać wcześniejszemu procesowi drewnienia pędów modrzewi. W konsekwencji drzewa mogły w lepszej kondycji przetrwać zwykle mroźną zimę panującą w górach.

Przy znajomości wrażliwości każdego osobnika na poszczególne elementy klimatyczne istnieje możliwość wybrania tych, u których zmiana w przyszłości danego elementu ma szansę korzystnie wpłynąć na ich przyrost, i pozyskania ich nasion. Na przykład nie dla wszystkich osobników testowanych w Siemianicach, Bliżynie oraz Krynicy wzrost temperatury i spadek ilości opadów w niektórych miesiącach sezonu letniego będzie niekorzystny. Podobnie coraz wyższa temperatura pod koniec zimy wypływała pozytywnie na przyrost większości modrzewi, lecz nie wszystkich. Wyniki te są zgodne z wcześniejszymi [Bogaciński i in. 1988, Zajączkowski i in. 1988], w których autorzy wskazują na istnienie bardzo silnego zróżnicowanie czasu trwania aktywności kambium wśród drzew w danym drzewostanie, który ma bezpośrednie przełożenie na wielkość tworzonych słoików. Należy podkreślić, że wrażliwość drzew na temperaturę powietrza i opady atmosferyczne może zmieniać się wraz z wiekiem drzew i zmianami warunków klimatycznych [Tardif i in. 2003; Carrer, Urbinati 2004; Mazza i in. 2014; Wilczyński, Szymański 2015], zatem kontynuowanie w przyszłości badań dla kolejnych faz rozwojowych wydaje się być konieczne.

## Wnioski

- ✦ Grupowanie chronologii przyrostów radialnych modrzewi zgodnie z powierzchnią doświadczalną, a nie ich pochodzeniem, spowodowane było dominującą rolą lokalnych warunków klimatycznych, dodatkowo modelowaną przez warunki glebowe i orograficzne.
- ✦ Modrzewie w Siemianicach redukowały wielkość przyrostu radialnego, gdy kwiecień był miesiącem chłodnym, a czerwiec ciepłym oraz gdy w lutym i czerwcu występowały niedobory opadów atmosferycznych. Modrzewie w Bliżynie zmniejszały przyrost radialny, gdy listopad poprzedniego roku oraz luty i czerwiec był suche, a także gdy lipiec i wrzesień roku formowania słoja były ciepłymi miesiącami. W Krynicy wysoka temperatura w październiku roku poprzedzającego przyrost oraz w lipcu i wrześniu, a także niskie opady w poprzednim listopadzie i lipcu roku formowania słoja niekorzystnie wpływały na przyrost rosnących tam modrzewi. Na każdej powierzchni modrzewie, niezależnie od pochodzenia, wykazywały podobną wrażliwość przyrostową, głównie na warunki termiczne przełomu zimy i wiosny, które decydowały o początku wegetacji, jednak te relacje nie dotyczyły wszystkich osobników.
- ✦ Osobnicze chronologie przyrostów radialnych stanowią cenne źródło informacji o zróżnicowaniu wrażliwości modrzewi na czynnik klimatyczny. Silne międzyosobnicze zróżnicowanie wrażliwości modrzewi na poszczególne elementy klimatyczne pozwala na wybór osobników, które są najmniej wrażliwe na niekorzystne dla ich wzrostu warunki klimatyczne panujące w danym regionie.

## Podziękowania

Dziękujemy pracownikom Katedry Hodowli Lasu na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu, LZD w Siemianicach, Instytutu Badawczego Leśnictwa oraz Katedry Ekologii i Hodowli Lasu na Uniwersytecie Rolniczym w Krakowie za udostępnienie powierzchni doświadczalnych do niniejszych badań.

## Literatura

- Begum S., Nakaba S., Yamagishi Y., Oribe Y., Funada R. 2013. Regulation of cambial activity in relation to environmental conditions: understanding the role of temperature in wood formation of trees. *Physiologia Plantarum* 147 (1): 46-54. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01663.x>.
- Bogaciński B., Zajączkowski S., Wodzicki T. J. 1988. Zmienność inicjacji i kończenia sezonowej aktywności kambium w populacjach drzewostanowych *Pinus sylvestris* L. *Sylvan* 132 (1): 17-26.
- Bolte A., Ammer Ch., Löff M., Nabuurs G.-J., Schall P., Spathelf P. 2010. Adaptive Forest Management: A Prerequisite for Sustainable Forestry in the Face of Climate Change. W: Spathelf P. [red.]. Sustainable Forest Management in a Changing World: a European Perspective. Springer, Dordrecht-Heidelberg-London-New York. 114-140.
- Carrer M., Urbinati C. 2004. Age-dependent tree-ring growth response to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*. *Ecology* 85: 730-740. DOI: <https://doi.org/10.1890/02-0478>.
- Chhin S., Zalesny R. S. Jr., Parker W. C., Brissette J. 2018. Dendroclimatic analysis of white pine (*Pinus strobus* L.) using long-term provenance test sites across eastern North America. *Forest Ecosystems* 5: 18. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40663-018-0136-0>.
- Chojnacka-Ożga L., Ożga W. 2015. Przestrzenna i czasowa zmienność długości meteorologicznego okresu wegetacyjnego w północno-wschodniej Polsce. W: Lorenc H., Ustrnul Z. [red.]. Klimat a społeczeństwo i gospodarka. PTG, IMiGW – PIB, Warszawa. 129-144.
- Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. 2014. Cambridge University Press, Cambridge-New York.
- Durło G., Wilczyński S., Feliksik E. 2004. Wieloletnia zmienność czasu trwania meteorologicznego okresu wegetacji na Kopciowej w Beskidzie Sudeckim. *Acta Agraria et Silvicultura ser. Silvestris* 42: 23-33.
- Fang K., Gou X., Chen F., Li Y., Zhang F., Kazmer M. 2012. Tree growth and its association with climate between individual tree-ring series at three mountain ranges in north central China. *Dendrochronologia* 30: 113-119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2011.04.003>.
- Fonder W., Matras J., Załęski A. 2007. Leśna baza nasienna w Polsce. CILP, Warszawa.
- Fritts H. C. 1976. Tree rings and climate. Academic, London.
- Hoffmann G., Lyr H. 1973. Charakterisierung des Wachstumsverhaltens von Pflanzen durch Wachstumsschemata. *Flora* 162: 81-98.
- Holmes R. L. 1986. Quality control of crossdating and measuring a user manual for program COFECHA. W: Holmes R. L., Adams R. K., Fritts H. C. [red.]. Tree-ring chronologies of Western North America: California, Eastern Oregon and Northern Great Basin. Chronology Series 6. University of Arizona, Tucson. 41-49.
- Jaworski A. 2011. Hodowla lasu. Tom III. Charakterystyka hodowlana drzew i krzewów leśnych. PWRiL, Warszawa.
- Jones H. 1998. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *Journal of Experimental Botany* 49: 387-398. DOI: [https://doi.org/10.1093/jxb/49.Special\\_Issue.387](https://doi.org/10.1093/jxb/49.Special_Issue.387).
- Kocięcki S. 1977. Badania nad wzrostem i formą modrzewia i przydatnością różnych pochodzeń w poszczególnych krainach przyrodniczo-leśnych. Dokumentacja IBL, Warszawa.
- Kraus C., Zang C., Menzel A. 2016. Elevational response in leaf and xylem phenology reveals different prolongation of growing period of common beech and Norway spruce under warming conditions in the Bavarian Alps. *European Journal of Forest Research* 135: 1011-1023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0990-7>.
- Landis T. 1995. The Container Tree Nursery Manual. Volume One. Nursery Planning, Development, and Management. U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- 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>.
- Major J. E., Johnsen K. H. 2001. Shoot water relations of mature black spruce families displaying a genotype × environment interaction in growth rate. III. Diurnal patterns as influenced by vapour pressure deficit and internal water status. *Tree Physiology* 21: 579-587. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/21.9.579>.
- Mazza G., Gallucci V., Manetti M. C., Urbinati C. 2014. Climate-growth relationships of silver fir (*Abies alba* Mill.) in marginal populations of Central Italy. *Dendrochronologia* 32: 181-190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2014.04.004>.

- Moser L., Fonti P., Büntgen U., Esper J., Luterbacher J., Franzen J., Frank D. 2009. Timing and duration of European larch growing season along altitudinal gradients in the Swiss Alps. *Tree Physiology* 30: 225-233. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpp108>.
- Oleksyn J., Fritts H. 1991. Influence of climatic factors upon tree-rings of *Larix decidua* and *L. decidua* × *L. kaempferi* from Puławy, Poland. *Trees – Structure and Function* 5: 75-82. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00227488>.
- Ritters K. H. 1990. Analysis of biweight site chronologies: relative weights of individual trees over time. *Tree-Ring Bulletin* 50: 11-19.
- Rossi S., Deslauriers A., Gričar J., Seo J.-W., Rathgeber C. B. K., Anfodillo T. 2008. Critical temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates. *Global Ecology and Biogeography* 17: 696-707. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2008.00417.x>.
- Rötzer T., Grote R., Pretzsch H. 2004. The timing of bud burst and its effect on tree growth. *International Journal of Biometeorology* 48: 109-118. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-003-0191-1>.
- Sabor J. 2006. Rola doświadczeń proveniencyjnych w poznaniu zmienności wewnątrzgatunkowej drzew leśnych oraz w ocenie wartości genetyczno-hodowlanej poszczególnych populacji cząstkowych. W: Sabor J. [red.]. *Elementy genetyki i hodowli selekcyjnej drzew leśnych*. CIPL, Warszawa. 99-114.
- Szeligowski H. 2001. Proveniencyjne różnice w odporności modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) na suszę. *Sylvan* 145 (6): 65-78.
- Szymański N., Wilczyński S. 2016. Wrażliwość wybranych pochodzeń modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) na warunki klimatyczne Wyżyny Kieleckiej (centralna Polska). *EPISTEME: Czasopismo Naukowo-Kulturalne* 30 (2): 149-160.
- Szymański N., Wilczyński S. 2021. Radial Growth Response of European Larch Provenances to Interannual Climate Variation in Poland. *Forests* 12: 334. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12030334>.
- Tardif J., Camarero J., Ribas M., Gutiérrez E. 2003. Spatiotemporal variability in tree growth in the central Pyrenees: climatic and site influences. *Ecological Monographs* 73: 241-257. DOI: [https://doi.org/10.1890/0012-9615\(2003\)073\[0241:SVITGI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9615(2003)073[0241:SVITGI]2.0.CO;2).
- Wilczyński S. 2020. Zapis zmian zachodzących w środowisku przez sosnę zwyczajną oraz sosnę Banksa. *Sylvan* 164 (7): 583-593. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2020040>.
- Wilczyński S. B., Kulej M. 2013. The influence of climate on the radial increment of larches of different provenances on the basis of the experiment in the Carpathian Mountains in Southern Poland. *European Journal of Forest Research* 132 (5-6): 919-929. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-013-0731-0>.
- Wilczyński S., Szymański N. 2015. Sygnał klimatyczny w seriach stojów świerków z regla dolnego oraz górnego w Tatrach. *Sylvan* 159 (12): 1008-1017. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2015054>.
- Wilczyński S., Szymański N., Olejnik M. 2016. Adaptacja wybranych pochodzeń modrzewia europejskiego do klimatu nizin centralnej Polski. *Sylvan* 160 (8): 656-665. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2016028>.
- Wilmking M., D'Arrigo R., Jacoby G., Juday G. 2005. Increased temperature sensitivity and divergent growth trends in circumpolar boreal forests. *Geophysical Research Letters* 32: L15715. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005GL023331>.
- Zajęzkowski S., Bogaciński B., Wodzicki T. J. 1988. Zmienność długości okresu aktywności kambium w sezonie a liczba produkowanych cewek w populacjach drzewostanowych *Pinus sylvestris* L. *Sylvan* 132 (1): 27-40.
- Zhang Z., Jin G., Feng Z., Sun L., Zhou Z., Zheng Y., Yuan Ch. 2020. Joint influence of genetic origin and climate on the growth of Masson pine (*Pinus massoniana* Lamb.) in China. *Scientific Reports* 10: 4653. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61597-9>.