

Wpływ występowania drewna kompresyjnego na dekoncentryczność szerokości przyrostów i sygnał klimatyczny w świerku pospolitym z regla dolnego w Tatrach Zachodnich

Karolina Janecka, Ryszard J. Kaczka

Abstrakt. Drewno kompresyjne charakteryzuje się m.in. okrągłym kształtem komórek ksylemu oraz przestrzeniami międzykomórkowymi. W dendroklimatologii uznawane jest za element zakłócający sygnał klimatyczny. Celem badań było określenie wpływu drewna kompresyjnego na: i) występowanie dekoncentryczności przyrostów rocznych świerka pospolitego, oraz ii) zapis temperatury w słojach drewna wtórnego. Do badań wykorzystano 7 krążków ze świerków pospolitych z Tatr Zachodnich. Dla każdego krążka wyznaczono 18 promieni, na których zmierzono szerokości przyrostów oraz makroskopowo określono występowanie drewna kompresyjnego. W oparciu o badane promienie zbudowano cztery chronologie reprezentujące różne kierunki względem stoku oraz dwie związane z ilością drewna kompresyjnego. Badania wykazały silny wpływ występowania drewna kompresyjnego na dekoncentryczność słoików. Stwierdzono, że w zależności od ilości drewna kompresyjnego oraz kierunku zbudowane chronologie korelują w różny sposób z temperaturą. Najwyższe wartości korelacji uzyskano porównując chronologię odstokową oraz zbudowaną z promieni zawierających drewno kompresyjne z temperaturą kwietnia ($r=0,46$), natomiast najniższy wynik otrzymano dla chronologii zbudowanych z promieni pozbawionych drewna kompresyjnego.

Słowa kluczowe: Tatry, świerk pospolity, drewno kompresyjne, badania dendroklimatologiczne, dekoncentryczność przyrostów

Abstract. Influence of compression wood on growth eccentricity and climatic signal in Norway spruce growing in the montane zone in the Western Tatra Mts. Compression wood is characterized by rounded tracheids and intercellular spaces. In dendroclimatology it is considered as a factor altering climatic signal. The aim of the study was: i) describing the influence of compression wood on eccentricity of Norway spruce tree rings, ii) analysis the influence of studied wood on temperature signal in tree rings. Seven discs were collected from Norway spruce growing in the Western Tatras. On each disc 18 radii were defined and ring widths were measured as well as the occurrence of compression wood was determined. Based on the radii, four chronologies representing different directions towards the slope and two related to presence of compression wood amount were established. The analysis showed strong influence of compression wood on occurrence of eccentricity. Depending on the compression wood occurrence and direction, chronologies correlated differently with temperature. The highest correlations were obtained for downslope chronology

and that built with radii containing compression wood with April temperature ($r=0,46$), whereas the lowest for the chronology built with radii without compression wood.

Key words: Tatras, Norway spruce, compression wood, dendroclimatology research, eccentricity growth

Wstęp

Drewno kompresyjne jest typową dla roślin iglastych, w tym drzew i krzewów, odmianą drewna reakcyjnego. Wytwarzane jest w pniach i gałęziach drzew poddanych stresowi mechanicznemu, tj. wiatr, napór mas śniegu, procesy stokowe (Pillow i Luxford 1937, Timell 1986). Działające czynniki powodują wygięcie pnia i gałęzi, co powoduje reakcję wewnętrzną w postaci produkcji drewna kompresyjnego po stronie przeciwnej do działającego czynnika stresogennego. Drewno to spełnia dwie funkcje, stanowi podparcie dla wygiętego drzewa oraz wywiera ciśnienie dynamiczne. Jego wysoka elastyczność oraz sprężystość chroni drzewo przed złamaniem i ułatwia przywrócenie jego pierwotnej, pionowej pozycji (Timell 1986). Obecności drewna kompresyjnego może towarzyszyć dekoncentryczność przyrostów (Westing 1965, Plomion i in. 2001, Šilhán 2016). Drewno kompresyjne powstaje również w korzeniach, ale mechanizm jego formowania i funkcjonowanie są inne (Timell 1986). Mimo że badania nad drewnem kompresyjnym trwają od ponad 150 lat (np. Sanio 1860), w dalszym ciągu wiedza na jego temat pozostaje niepełna. Oprócz mechanicznych funkcji, jakie ono spełnia, charakteryzuje się określonymi cechami anatomicznymi, na podstawie których może być definiowane i identyfikowane. Wśród nich wyróżnia się okrągły kształt komórek ksylemu, przestrzenie międzykomórkowe (ang. intercellular spaces), grubszą ścianę komórkową, brak warstwy S_3 oraz obecność spiralnie ułożonych mikrofibryli we wtórnej ścianie komórkowej (Scurfield 1973, Timell 1986, Singh i Donaldson 1999). Ponadto rozważając chemiczne komponenty drewna kompresyjnego, charakteryzuje się ono zwiększoną zawartością ligniny (do 10%), zmniejszoną zawartością celulozy (do 10%) oraz mannanu, będącego polisacharydem (do 5%) (Altaner i in. 2009). Drewno kompresyjne najczęściej klasyfikowane jest pod względem intensywności występowania poszczególnych cech. Ogólnie przyjęty i najczęściej stosowany podział dzieli drewno kompresyjne na intensywne, umiarkowane oraz słabe (ang. severe, mild, light) (Pillow 1941). Najsilniejsza postać omawianego drewna może zostać łatwo zidentyfikowana w przekroju poprzecznym pnia, korzenia lub gałęzi, w oparciu o ciemniejsze, brunatne zabarwienie ksylemu oraz relatywnie szersze drewno późne po stronie przeciwnej do działającego czynnika stresogennego. Trudno określić wyraźną granicę między drewnem normalnym a kompresyjnym, najczęściej przejście z jednego typu drewna do drugiego ma charakter płynny. Powierzchnia, jaką drewno kompresyjne zajmuje w obrębie przyrostu również jest zróżnicowana. Może obejmować całą szerokość słoja, skupiać się wyłącznie w obrębie drewna późnego lub wczesnego.

W dendrogeomorfologii drewno reakcyjne stanowi często wykorzystywany nośnik informacji, np. o częstotliwości oraz intensywności powodzi (Ruiz-Villanueva et al. 2010), ruchach masowych, takich jak sływy gruzowe (Gärtner i Stoffel 2002), osuwiska (Bollschweiler i in. 2007, Šilhán 2016), czy lawiny śnieżne (Corona i in. 2012). W badaniach dendroklimatologicznych uznawane jest ono za czynnik zacierający sygnał (Schweingruber 2007, Janecka i in.

2016). Zgodnie z ogólnie przyjętą metodyką badań dendroklimatologicznych (Schweingruber 2007), w przypadku pobierania prób z drzew podlegających stresowi mechanicznemu należy unikać drewna kompresyjnego. W trakcie badania drzew rosnących na stoku, odwierty pobierane są z kierunku równoległego do przebiegu poziomic. Brak jest systematycznych badań nad wpływem drewna kompresyjnego na sygnał klimatyczny w różnych parametrach przyrostu rocznego, tradycyjnie używanych w dendroklimatologii. Jedynie studium przypadku przeprowadzone przez Luckmana i Kearneya (1986) oraz Luckmana i Graya (1990) dotyczyło wpływu drewna kompresyjnego na parametry przyrostów, takie jak szerokość słoja, gęstość drewna późnego i kompozycja izotopów stabilnych tlenu. Esper i in. (2008) badając sygnał klimatyczny w różnowiekowych limbach rosnących w dolinie Engadin w Alpach Szwajcarskich wspominają o występowaniu silnego sygnału w próbach zawierających drewno kompresyjne.

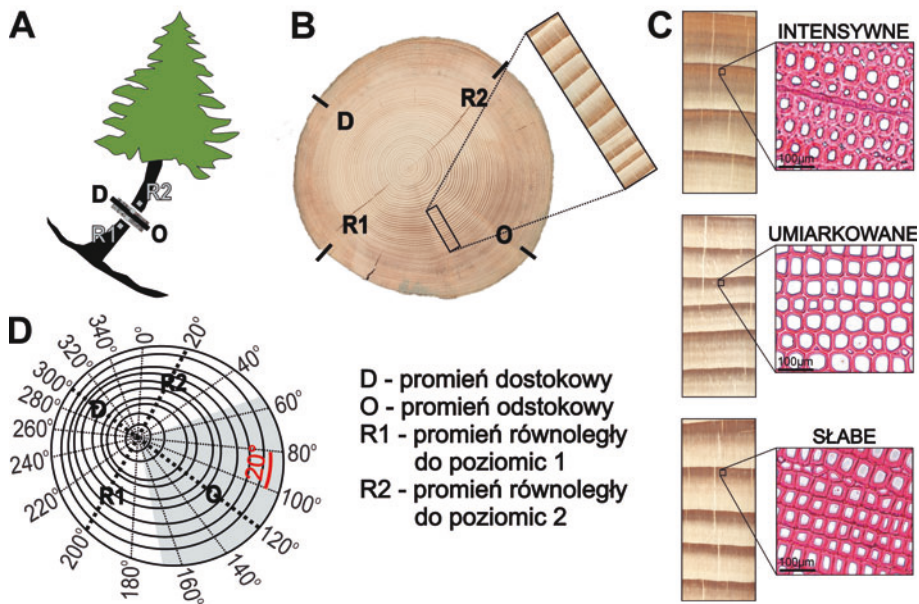
Celem badań było określenie wpływu drewna kompresyjnego na: i) występowanie dekoncentryczności przyrostów rocznych świerka pospolitego oraz ii) zapis temperatury w słojach drewna wtórnego.

Teren badań

Badania przeprowadzono w Dolinie Kościeliskiej w Tatrach Zachodnich. Stanowisko badawcze zlokalizowane było w reglu dolnym, na wysokości 1000 m n.p.m., na stoku o nachyleniu ok. 20° oraz zachodniej ekspozycji (49°15'N 19°52'E). Obszar ten w większości porośnięty jest lasem iglastym przekształconym w wyniku działalności człowieka, w którym dominuje świerk pospolity (*Picea abies* L. Karst). Podłoże zbudowane jest głównie z wapieni i doloomitów (Bac-Moszaszwili i in. 1979). Występują tu gleby brunatne właściwe typowe i wylugowane oraz towarzyszące im rędziny brunatne i gleby brunatne kwaśne (Skiba 2002). Roczna suma opadów u podnóża Tatr (Zakopane, 844 m n.p.m.) wynosi ok. 1100 mm, a na wysokości 1000 m n.p.m. w Dolinie Chochołowskiej (Niedźwiedz 1992) około 1200 mm. Średnia roczna temperatura powietrza (1931-1960) na wysokości 1000 m n.p.m. wynosi ok. 3,6°C. Najcieplejszymi miesiącami są lipiec (14,8°C) oraz sierpień (13,8°C).

Materiały i metody

Obiektem badań było 7 świerków pospolitych (*Picea abies* L. Karst), z których pobrano kłążki na wysokości pierśnicy (Ryc. 1A). Pobrany materiał badawczy pochodził z drzew przewróconych przez wiatr, który w grudniu 2013 roku poczynił duże zniszczenia w reglu dolnym Tatr Zachodnich. Każdy z kłążków charakteryzował się występowaniem drewna kompresyjnego możliwym do makroskopowego rozpoznania. (Ryc. 1B). Materiał badawczy został wysuszony oraz wyszlifowany papierem ściernym o granulacji od 60 do 1200. Następnie kłążki w całości zostały zeskanowane w rozdzielczości 1200 dpi. Badane drewno kompresyjne zaklasyfikowano do powszechnie stosowanych trzech klas intensywności (Ryc. 1C) (Pillow 1941, Donaldson i in. 1999, Donaldson 2001, Donaldson i in. 2010). W celu dokładnego określenia przestrzennego zróżnicowania występowania drewna kompresyjnego, dla każdego kłążka wyznaczono 18 promieni (co 20°) (Ryc. 1D).



Ryc. 1. Schemat pochylonego drzewa z zaznaczonymi czterema głównymi kierunkami względem stoku (A), przykład badanego krążka z drewnem kompresyjnym (B), trzy klasy intensywności drewna kompresyjnego (C), strategia pomiaru szerokości przyrostów oraz analizy występowania drewna kompresyjnego (D)
Fig. 1. The scheme of tilted tree with marked four main directions in regard to the slope exposure (A), the example of studied disc with compression wood (B), three classes of compression wood intensity (C), the strategy of tree-ring width measurements and analysis of compression wood (D)

Na podstawie skanów, w programie CooRecorder 8.0 (Larsson 2013) dla każdego promienia zmierzono szerokości przyrostów rocznych. Jakość oraz synchroniczność pomiarów została sprawdzona wizualnie w programie CDendro 8.0 (Larsson 2013) oraz statystycznie w programie Cofecha (Holmes 1983). W oparciu o badanie makroskopowe, dla wszystkich przyrostów rocznych określono występowanie drewna kompresyjnego. Procedura identyfikacji badanego drewna polegała na śledzeniu wyglądu danego przyrostu na całym obwodzie krążka. Za przyrost normalny, „niekompresyjny”, uznawano ten, który charakteryzował się relatywnie wąskim drewnem późnym, niezmienionym kolorem, zarówno drewna późnego, jak i wczesnego oraz podobną szerokością na całym obwodzie. W przypadku wątpliwości wyniki weryfikowano obserwując obraz drewna wtórnego pod mikroskopem stereoskopowym. Tak przeprowadzona analiza pozwoliła obliczyć dla każdego promienia sumę szerokości przyrostów z drewnem kompresyjnym, a następnie procentowy stosunek szerokości tych przyrostów do sumy szerokości wszystkich słoików. W celu określenia stopnia dekoncentryczności szerokości przyrostów (IDE) obliczono stosunek długości badanego promienia do średniej długości promienia dla wszystkich badanych promieni danego krążka. Takie rozwiązanie ma przewagę nad stosowaniem klasycznych współczynników dekon-

centryczności (Alestalo 1971, Braam i in. 1987, Schweingruber 1996, Rozas 2003), w postaci sprowadzania wszystkich wyników do wspólnego mianownika (średnia długość wszystkich 18 promieni). Użyto następującej formuły do obliczenia indeksu dekoncentryczności:

$$IDE = \frac{\text{suma szerokości przyrostów}}{\text{średnia długość promienia}}$$

Do dalszych analiz dla każdego drzewa wybrano po trzy promienie reprezentujące następujące kierunki: część pnia, gdzie występuje drewno kompresyjne, część przeciwną do niego oraz dwa równoległe do przebiegu poziomicy, które teoretycznie powinny być wolne od drewna kompresyjnego. Następnie skonstruowano odpowiadające im chronologie szerokości przyrostów. Każda chronologia powstała na podstawie 21 serii pomiarowych (7 drzew x 3 promienie). Wszystkie one zostały zindeksowane przy użyciu programu Arstan (Cook 1985). Do analiz dendroklimatycznych wykorzystano chronologie rezydualne, ze względu na ich lepsze właściwości związane z zapisem sygnału klimatycznego o zmienności krótkookresowej.

Dodatkowo wyselekcjonowano dla każdego drzewa po cztery promienie, gdzie występowanie drewna kompresyjnego było najsilniejsze oraz cztery takie, w których badanego drewna nie było, bądź jego występowanie nie przekraczało 4%. Ich dobór nie był związany z usytuowaniem w obrębie krążka, ale jedynie intensywnością występowania badanej cechy. Na ich podstawie zbudowano chronologie zawierające promienie: a) z możliwie największą ilością drewna kompresyjnego, b) pozbawione drewna kompresyjnego.

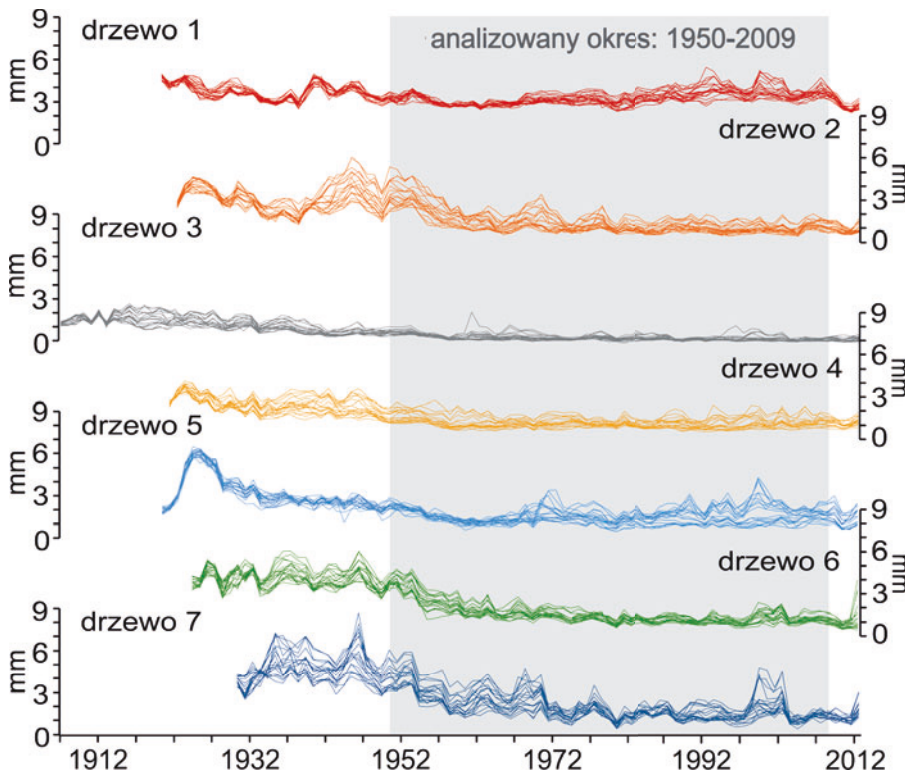
Analizy klimatyczne zostały przeprowadzone w oparciu o dane pomiarowe (średnia miesięczna temperatura powietrza) pochodzące ze stacji Zakopane i wykonane przy użyciu programu DendroCorr (Hulst i in. 2016). Wcześniejsze analizy (Janecka i in. 2016) udowodniły, że opady nie wpływają istotnie na wzrost badanych drzew. Ze względu na zróżnicowany wiek badanych drzew (83 lata – 107 lat), analizy porównawcze przeprowadzono dla okresu 1950-2009.

Wyniki i dyskusja

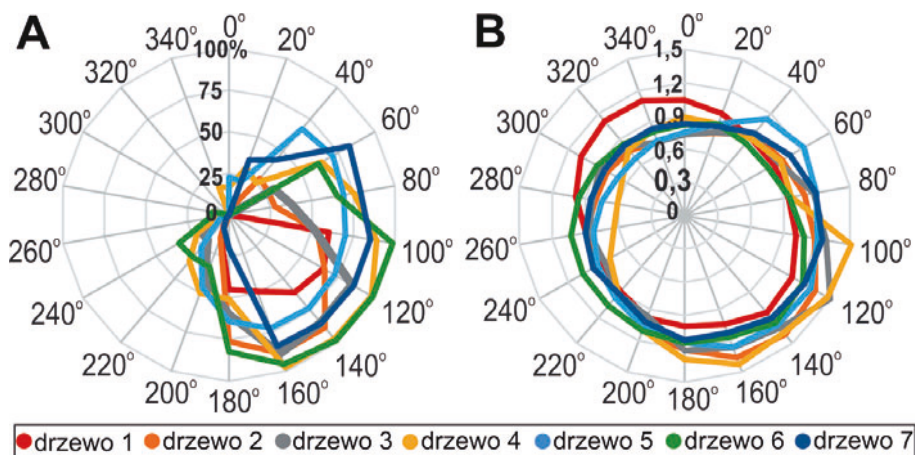
Poddane analizie łącznie 126 promieni wykazało zróżnicowane szerokości przyrostów w obrębie poszczególnych drzew (Ryc. 2). W badanym 60-letnim okresie, największe zróżnicowanie szerokości słoży stwierdzono dla drzewa numer 7 (średnia szerokość przyrostów = 2,01 mm, odchylenie standardowe = 0,97), natomiast najmniejsze dla drzewa numer 3 (średnia szerokość przyrostów = 0,31 mm, odchylenie standardowe = 0,16).

Makroskopowe badanie drewna pozwoliło na zidentyfikowanie drewna kompresyjnego na różnej ilości promieni, od 6 (drzewo numer 1) do 14 (drzewo numer 4 i 5) (odpowiednio 33% do 77%). Na 77 promieniach zawierających drewno kompresyjne (4620 przyrostów) 46% stanowią słoże, w których badane drewno obejmuje wyłącznie drewno późne, natomiast zaledwie 1% słoży reprezentowane jest przez drewno kompresyjne obejmujące zarówno drewno późne, jak i wczesne (57 przyrostów). Wynik ten byłby wyższy, gdyby włączyć do analiz drewno o charakterze wyraźnie juwenilnym. Ilość drewna kompresyjnego, a co się z tym wiąże także i długość promienia, w którym ono wystę-

puje, na poszczególnych kierunkach są zmienne. Najwięcej drewna kompresyjnego zanotowano na promieniach od strony odstokowej, najmniej lub zupełny brak – od strony przeciwnej (Ryc. 3A). Największą ilość słoików oraz największy udział drewna kompresyjnego w długości promienia odnotowano w obrębie trzech promieni drzewa numer 6. Na wszystkich trzech promieniach, w 58 na 60 przyrostów (97%) występuje drewno kompresyjne, jednak pomimo, że jest to jedno i to samo drzewo, sumy szerokości przyrostów są zróżnicowane (99,5 mm na 101 mm – 99%, 112 mm na 114 mm – 98% oraz 116 mm na 117 mm – 99%) (Ryc. 3A). Zróżnicowana suma wynika z różnej intensywności badanego drewna w obrębie słoików, która wpływa na ich szerokość. Każde drzewo oraz promień cechują się różną ilością przyrostów, jak i sumą szerokości słoików zawierających drewno kompresyjne (Ryc. 3A). Zmienność ta sugeruje, że działający czynnik stresogenny w różnym stopniu wpłynął na drzewa rosnące na stoku, powodując różną ich reakcję. Analiza dekoncentryczności szerokości przyrostów na całym obwodzie pokazuje podobną dekoncentryczność dla drzew numer 2, 3, 5, 6, 7. Największą dekoncentryczność prezentuje drzewo numer 4, natomiast najmniejszą drzewo numer 1 (Ryc. 3B).



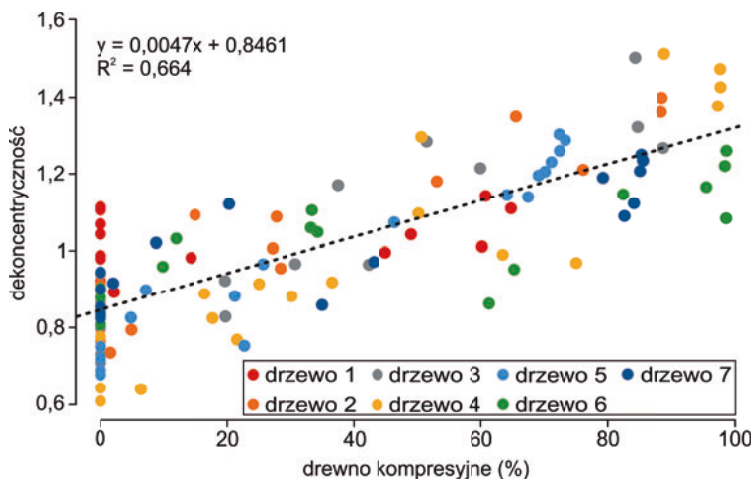
Ryc. 2. Szerokość przyrostów rocznych dla 126 badanych promieni
 Fig. 2. Ring width for 126 analysed radii



Ryc. 3. Ilość oraz przestrzenne rozmieszczenie drewna kompresyjnego (A) oraz dekoncentryczności szerokości przyrostów (B)
 Fig. 3. Amount and spatial distribution of compression wood (A) and eccentricity of ring widths (B)

Występowanie drewna kompresyjnego silnie wiąże się z występowaniem dekoncentryczności szerokości przyrostów ($r=0,664$) (Ryc. 4). Wynik ten jest zgodny z obserwacjami Dunczera i Spieckera (2008), Timella (1986), czy Plomiona i in. (2001), którzy twierdzą, iż występowanie drewna kompresyjnego często stymuluje dekoncentryczność słoju. O braku tej zależności donoszą Fisher i Marler (2006) w swoich badaniach nad *Cycas micronesia*. Opisując mechanizm niesymetrycznego powstawania drewna kompresyjnego Wilson i Archer (1977) sugerują, iż zróżnicowane rozmieszczenie cytokin, jak i giberelin w pniach drzew, czyli hormonów stymulujących bądź hamujących różne procesy zachodzące m.in w pędach roślin, odpowiedzialne są za występowanie dekoncentryczności przyrostów związanej z obecnością drewna reakcyjnego. Ponadto twierdzą, że rozmieszczenie auksyn lub innych regulatorów nie jest stałe (na obwodzie i różnych wysokościach) w pochylonych pniach drzew. Obecność drewna kompresyjnego oraz dekoncentryczności nie muszą występować jednocześnie. Takie obserwacje poczynił m.in. Šilhán (2016) rekonstruując przy użyciu metody dendrogeomorfologicznej aktywność osuwiska w Górach Orlickich na terenie Czech. Stwierdził, że możliwość wyprodukowania przez drzewo drewna kompresyjnego oraz występowanie dekoncentryczności przyrostów wiąże się głównie ze stopniem pochylenia drzewa. Oznacza to, iż oba zjawiska nie muszą występować jednocześnie.

W badanych drzewach zależność występowania drewna kompresyjnego i dekoncentryczności szerokości przyrostów również jest zmienna (od $r=0,47$ dla drzewa numer 1 do $r=0,92$ dla drzewa numer 4). Jednak sumaryczna relacja jest silna, co może sugerować, że stwierdzenie Wilsona i Archera (1977) dotyczące cytokinin oraz giberelin może tłumaczyć współwystępowanie badanych cech.



Ryc. 4. Zależność między występowaniem drewna kompresyjnego a dekoncentrycznością szerokości przyrostów

Fig. 4. The relationship between the occurrence of compression wood and eccentricity of ring widths

Zbudowane chronologie szerokości przyrostów dla okresu 1950-2009 wykazują podobny przebieg zmian krótkookresowych (Ryc. 5). W każdej z chronologii zaznaczają się okresy występowania wyjątkowo wąskich (1913, 1956-1966, 1980, 2010-2011) oraz wyjątkowo szerokich (1945-1947, 1999-2002) słoików. Średnia wartość współczynnika korelacji Pearsona między 4 chronologiami kierunkowymi wynosi 0,84. Najwyższą wartość korelacji ($r=0,94$) otrzymano dla chronologii zbudowanych z 21 promieni niezawierających drewna kompresyjnego (B) oraz równoległej do poziomicy (numer 1 – C). Najniższą wartość ($r=0,74$) uzyskano dla chronologii zbudowanych z 21 promieni zawierających drewno kompresyjne (A) oraz wolnej od drewna kompresyjnego (B). Niska wartość korelacji między dwiema ostatnimi chronologiami wynika z niejednorodnego rozmieszczenia biomasy po odstokowej oraz dostokowej stronie pnia. Zróżnicowana szerokość słoików po obu stronach pnia wynika więc z różnej ilości komórek ksylemu, jak również grubości ściany komórkowej. Produkcja szerszych przyrostów po stronie odstokowej odbywa się kosztem pnia, zasobów, głównie węglowodanów, które nie mogą być inwestowane w przyrost radialny w pozostałej części pnia (Timell 1986).

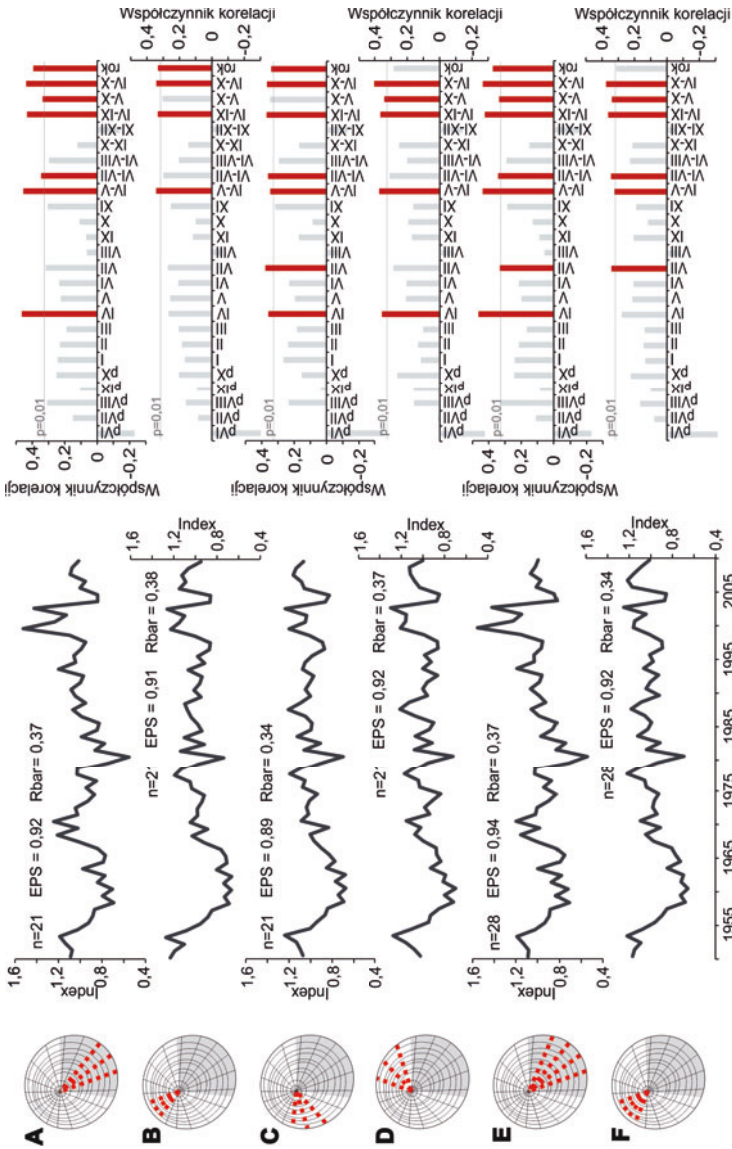
Stwierdzono zróżnicowany sygnał klimatyczny zapisany w przyrostach rocznych występujących w różnych częściach pnia badanych świerków (Ryc. 5). Wszystkie chronologie wykazują istotne statystycznie ($p<0,01$), pozytywne korelacje z temperaturą powietrza (Ryc. 5). Najwyższe wartości korelacji ($r=0,46$) otrzymano dla chronologii zawierających drewno kompresyjne (zbudowanych z 21 oraz 28 promieni) i temperatury powietrza w kwietniu w roku powstawania przyrostu. Podobnie wysokie wartości korelacji dla obu tych chronologii otrzymano dla okresu kwiecień-maj ($r=0,45$ i $r=0,43$) oraz dla całego sezonu wegetacyjnego kwiecień-październik ($r=0,44$ i $r=0,43$). Otrzymany wynik sugeruje, iż produkcja drewna kompresyjnego wymaga sprzyjających warunków atmosferycznych podczas całego sezonu wegetacyjnego, ze szczególnym uwzględnieniem temperatury powietrza w okresie wiosennym. Według Timella (1986) stres związany z kompresją następującą po jednej stronie pnia, mobilizuje produkcję hormo-

nów (m.in. auksyny), które stymulują formowanie komórek ksylemu o specyficznych cechach fizycznych oraz chemicznych. Najslabszy i niejednorodny sygnał klimatyczny otrzymano dla chronologii zbudowanych z 21 oraz 28 promieni niezawierających drewna kompresyjnego (temperatura powietrza w okresach kwiecień-maj: $r=0,34$ oraz kwiecień-październik: $r=0,37$). Chronologie zbudowane z promieni najczęściej wykorzystywanych w badaniach dendroklimatycznych prowadzonych na stokach górskich, tj. chronologie równoległe do poziomic (1 i 2 na Ryc. 1) wykazały natomiast odmienny sygnał klimatyczny. Najwyższe wartości współczynnika korelacji dla chronologii numer 1 zbudowanej z promieni równoległych do poziomic uzyskano w przypadku temperatury powietrza w lipcu ($r=0,38$), natomiast dla chronologii numer 2 dla okresu kwiecień-październik ($r=0,4$). Niejednorodny zapis klimatyczny wynika z faktu, iż niektóre promienie wchodzące w skład chronologii reprezentujących kierunki równoległe do poziomic (numer 1 i 2) zawierają pewną ilość drewna kompresyjnego. Niejednorodność ta może być związana ze stopniem pochylenia drzewa, o którym wspomina Šilhán (2016). Im kąt nachylenia drzewa jest większy, tym jego reakcja na bodziec jest silniejsza, zatem produkcja drewna kompresyjnego jest intensywniejsza. Otrzymane wyniki poddają w wątpliwość pogląd, że pobór odwiertów równoległe do przebiegu poziomic, gwarantuje uzyskanie prób niezawierających drewna kompresyjnego. Zarówno z analiz rozmieszczenia drewna kompresyjnego w obrębie krążków, jak również z analiz dendroklimatycznych wynika, iż rutynowo przeprowadzany pobór prób z drzew rosnących w obszarach górskich nie gwarantuje uniknięcia uzyskania odwiertów zupełnie wolnych od drewna kompresyjnego, a co za tym idzie uzyskanie klarownej relacji klimat-szerokość przyrostu. Charakter i siła sygnału klimatycznego rejestrowanego w przyrostach świerków rosnących w Tatrach były badane przez m.in. Savvě i in. (2006), Büntgena i in. (2007) czy Czajkę i Kaczkę (2011), jednakże wyniki ich badań sugerują, iż świerki rosnące na wysokości ~1000 m n.p.m. są wrażliwe na temperaturę okresu czerwiec-lipiec roku, w którym został wykształcony przyrost. Odmienność uzyskanych wyników może być związana z wieloma czynnikami, m.in. ilością prób wykorzystanych do analiz, lokalizacją terenu badań, ale przede wszystkim silną obecnością drewna kompresyjnego. Esper i in. (2008) badając różnowiekowe limby w Alpach Szwajcarskich, zauważyli zaburzony sygnał klimatyczny w młodych drzewach zawierających drewno kompresyjne. Luckman i Gray (1990) w badaniach *Picea engelmanni* zawierającego drewno kompresyjne, zauważyli zróżnicowane wartości nie tylko szerokości słoików, ale również gęstości drewna późnego oraz zawartości izotopów stabilnych tlenu dla strony odstokowej oraz dostokowej pnia. Nie przeprowadzając analiz dendroklimatycznych zasugerowali, iż drewno kompresyjne może maskować właściwy sygnał klimatyczny w przyrostach rocznych.

Niewątpliwie chcąc dokładnie określić wpływ występowania drewna kompresyjnego na charakter oraz siłę sygnału klimatycznego zapisanego w słojach drzew, należałoby poddać analizie różne gatunki drzew iglastych o zróżnicowanym wieku, stopniu pochylenia, jak również rosnące na stokach o różnym nachyleniu, czy intensywności np. procesów stokowych.

Wnioski

- Obecność drewna kompresyjnego wpływa na dekoncentryczność szerokości przyrostów. Analizy wykazały, iż związek ten jest zmienny w obrębie badanych osobników, ale zależność ta jest silna ($r=0,664$).



Ryc. 5. Sześć chronologii standardowych zbudowanych z: 21 promieni z drzewem kompresyjnym (A), 21 promieni bez drewna kompresyjnego (B), 21 promieni równoległych do poziomu (numer 1 - C i numer 2 - D), 28 promieni z największą ilością drewna kompresyjnego (E), 28 promieni bez drewna kompresyjnego (F) oraz wyniki korelacji z temperaturą powietrza dla każdej chronologii rezidualnej
Fig. 5. Six standard chronologies built by: 21 radii with compression wood (A), 21 radii without compression wood (B), 21 parallel to the contour lines (number 1 - C and number 2 D), 28 radii with the highest amount of compression wood (E), 28 radii without compression wood (F) and the correlation coefficient results between all residual chronologies and temperature

- Zbudowane chronologie szerokości przyrostów wykazały niejednorodny pod względem siły oraz sezonowości sygnał klimatyczny. Różnorodność ta wynika z dekoncentryczności szerokości przyrostów związanej z wystąpieniem drewna kompresyjnego.
- Najsilniejszy sygnał odnotowano dla obu chronologii zbudowanych z promieni zawierających drewno kompresyjne ($r=0,46$ dla temperatury kwietnia), dla okresu kwiecień-maj ($r=0,45$ i $r=0,43$) oraz dla całego sezonu wegetacyjnego kwiecień-październik ($r=0,44$ i $r=0,43$). Uzyskane wyniki różnią się od prezentowanych w literaturze dendroklimatologicznej (temperatura czerwiec-lipiec), różnica ta jest związana z obecności drewna kompresyjnego w badanych drzewach.
- Najślabszy sygnał klimatyczny zarejestrowały promienie pozbawione drewna kompresyjnego. Promienie najczęściej wykorzystywane w badaniach dendroklimatologicznych, tj. pobierane równoległe do przebiegu poziomicy (numer 1 i 2), wykazały stosunkowo słaby i wyraźnie niejednorodny zapis sygnału klimatycznego (lipiec: $r=0,38$ oraz kwiecień-październik: $r=0,4$). Zróżnicowany zapis sygnału klimatycznego wynika m.in. z obecności drewna kompresyjnego w niektórych promieniach budujących te chronologie.

Podziękowania

Badania zostały sfinansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji DEC-2013/11/B/ST10/04764 w ramach projektu "Zastosowanie analiz intensywności odbicia światła niebieskiego jako nowego źródła danych w dendrochronologicznych badaniach zmian klimatu Europy".

Literatura

- Alestalo J. 1971. Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. *Fennia*, 105: 1-140.
- Altaner C. M., Tokareva E. N., Wong J. C., Hapca A. I., McLean J. P., Jarvis M. C. 2009. Measuring compression wood severity in spruce. *Wood Science and Technology*, 43(3-4): 279-290.
- Bac-Moszaszwili M., Burchardt J., Głazek J., Iwanow A., Jaroszewski W., Kotański Z., Lefeld J., Mastella L., Ozimkowski W., Roniewicz P., Skupiński A., Westwalewicz-Mogilska E. 1979. Mapa Geologiczna Tatr Polskich, 1:30 0000. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, Poland.
- Bollschweiler, M., Stoffel, M., Ehmisch, M., Monbaron, M. 2007. Reconstructing spatio-temporal patterns of debris-flow activity using dendrogeomorphological methods. *Geomorphology*, 87(4): 337-351.
- Braam R. R., Weiss E. E. J., Burrough P. A. 1987. Dendrogeomorphological analysis of mass movement a technical note on the research method, *Catena*, 14(6): 585-589.
- Büntgen U., Frank D.C., Kaczka R.J., 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*, 27(5): 689-702.
- Cook E.R. 1985. A time series analysis approach to tree-ring standardization. Ph.D. Thesis, University of Arizona, Tucson, 171 pp.
- Corona C., Saez J. L., Stoffel M., Bonnefoy M., Richard D., Astrade L., Berger F. 2012. How much of the real avalanche activity can be captured with tree rings? An evaluation of classic dendrogeomorphic approaches and comparison with historical archives. *Cold Regions Science and Technology*, (74): 31-42.
- Czajka B., Kaczka R.J. 2011. Altitudinal gradient of the growth-climate response in Western Carpathian. Cherubini, P. (red.): Eurodendro Conference. Program and book of abstracts. September 19 to September 23, 2011. Engelberg, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and landscape Research WSL. 130pp.

- Donaldson L. A., Singh A. P., Yoshinaga A., Takabe K. 1999. Lignin distribution in mild compression wood of *Pinus radiata*. Canadian Journal of Botany, 77(1): 41-50.
- Donaldson L. A. 2001. Lignification and lignin topochemistry - an ultrastructural view. Phytochemistry, 57(6): 859-873.
- Donaldson L., Radotić K., Kalauzi A., Djikanović D., Jeremić M. 2010. Quantification of compression wood severity in tracheids of *Pinus radiata* D. Don using confocal fluorescence imaging and spectral deconvolution. Journal of structural biology, 169(1): 106-115.
- Duncker P., Spiecker H. 2008. Cross-sectional compression wood distribution and its relation to eccentric radial growth in *Picea abies* [L.] Karst. Dendrochronologia, 26(3): 195-202.
- Esper J., Niederer R., Bebi P., Frank D. 2008. Climate signal age effects—evidence from young and old trees in the Swiss Engadin. Forest Ecology and Management, 255(11): 3783-3789.
- Fisher J. B., Marler T. E. 2006. Eccentric growth but no compression wood in a horizontal stem of *Cycas micronesica* (Cycadales). IAWA Journal, 27(4): 382-377.
- Gärtner H., Stoffel M. 2002. Detailed mapping and dendrogeomorphological analysis of a debris-flow torrent in Switzerland. Interpraevent 2002 in the Pacific Rim, Congress Publication, 1: 199-207.
- Holmes R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurements. Tree-Ring Bulletin, (43): 69-78.
- Hulst A., Janecka K., Kaczka R.J. 2016. DendroCorr the simple and powerful software to calculate the growth/climate response. In: Hevia, A., Sanchez-Salguero, R., Linares, J. C., Olano, J. M., Camarero, J. J., Gutierrez, E., Helle, G., Gärtner, H. (Eds.) TRACE - Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology, Volume 14. Scientific Technical Report 16/04, GFZ German Research Centre for Geosciences 44-49. DOI: 10.2312/GFZ.b103-16042.
- Janecka K., Kaczka R.J., Gärtner H., Treydte K. 2016. The influence of compression wood on the strength of the climatic signal in tree rings of Norway spruce. In: Hevia, A., Sanchez-Salguero, R., Linares, J. C., Olano, J. M., Camarero, J. J., Gutierrez, E., Helle, G., Gärtner, H. (Eds.) TRACE - Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology, Volume 14. Scientific Technical Report 16/04, GFZ German Research Centre for Geosciences, 50-59. DOI: 10.2312/GFZ.b103-16042.
- Larsson L., 2013. CooRecorder and Cdendro programs of the CooRecorder/Cdendro package version 7.8.
- Luckman B.H., Kearney M.S. 1986. Reconstruction of Holocene changes in alpine vegetation and climate in the Maligne Range, Jasper National Park, Alberta. Quaternary Research, 26(2): 244-261.
- Luckman B., Gray J. 1990. Oxygen isotope ratios from tree rings containing compression wood. Quaternary Research, 33(1): 117-121.
- Niedzwiedz T. 1992. Climate of the Tatra Mountains. Mountain Research and Development 12(2): 131-146.
- Pillow M. Y., Luxford R. F. 1937. Structure, occurrence, and properties of compression wood. US Dept. Agr. Tech. Bull. 546: 1-32.
- Pillow M. Y. 1941. A new method of detecting compression wood. Journal of Forestry, 39(4): 385-387.
- Plomion C., Leprovost G., Stokes A. 2001. Wood formation in trees. Plant physiology, 127(4): 1513-1523.
- Rozas V. 2003. Tree age estimates in *Fagus sylvatica* and *Quercus robur*: testing previous and improved methods. Plant Ecology, 167(2): 193-212.
- Ruiz-Villanueva V., Díez-Herrero A., Stoffel M., Bollschweiler M., Bodoque J.M., Ballesteros J.A. 2010. Dendrogeomorphic analysis of flash floods in a small ungauged mountain catchment (Central Spain). Geomorphology, 118(3): 383-392.
- Sanio C. 1860. Einige Bemerkungen u'ber den Bau des Holzes. Bot Ztg 18:193-198, 201-204, 209-217.
- Savva Y., Oleksyn J., Reich P.B., Tjoelker M. G., Vaganov E.A., Modrzyński J. 2006. Interannual growth response of Norway spruce to climate along an altitudinal gradient in the Tatra Mountains, Poland. Trees, 20(6): 735-746.
- Schweingruber F.H. 1996: Tree Rings and Environment. Dendroecology. Swiss Federal Institute for Forests, Snow and Landscape Research, WSL/FNP Birmensdorf. Paul Haupt Publishers, Berne, Stuttgart, Vienna. 609 pp.
- Schweingruber F.H. 2007: Wood structure and environment. Springer Science & Business Media. 279 pp.
- Scurfield G. 1973. Reaction wood: its structure and function. Science, 179: 647-655.

- Singh A. P., Donaldson L. A. 1999. Ultrastructure of tracheid cell walls in radiata pine (*Pinus radiata*) mild compression wood. *Canadian journal of botany*, 77(1): 32-40.
- Skiba S. 2002. Mapa gleb Tatrzańskiego Parku Narodowego. *Przemiany Środowiska Przyrodniczego Tatr*: 21-26.
- Šilhán K. 2016. How different are the results acquired from mathematical and subjective methods in dendrogeomorphology? Insights from landslide movements. *Geomorphology*, 253: 189-198.
- Timell T.E. 1986. *Compression Wood in Gymnosperms*. Springer, Verlag, New York.
- Westing A. H. 1965. Formation and function of compression wood in gymnosperms. *The Botanical Review*, 31(3): 381-480.
- Wilson B.F. Archer R.R. 1977. Reaction wood: induction and mechanical action. *Annual Review Plant Physiology*, (28): 23-43.

Karolina Janecka*, **Ryszard J. Kaczka**
Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Nauk o Ziemi,
*karolinaejanecka@gmail.com