

KRZYSZTOF BĘDKOWSKI

Dynamika wiosennych zjawisk fenologicznych w drzewostanie dębu bezszypułkowego (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.)

Dynamics of the spring phenological phenomena in the sessile oak
(*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) stand

ABSTRACT

Będkowski K. 2018. Dynamika wiosennych zjawisk fenologicznych w drzewostanie dębu bezszypułkowego (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.). Sylwan 162 (12): 998-1006.

Numerous studies show that in the pedunculate and sessile oaks there are two forms that differ in terms of the spring development of leaves – one can distinguish early and late variants. Acceleration of leaves development gives the particular tree a chance to gain advantage over others, as well as enables to avoid herbivory caused by insects. However, it is fraught with the risk of damage caused by the late frosts. In turn, trees that develop leaves later can avoid losses, but they have to face the shortened growing season. The article presents the results of repeated observations of the spring development of sessile oak trees in about 90-year old stand in central Poland (19.920365° E, 51.837381° N). The trees were observed every week and classified into one of six classes of leaves development – from the absence of bud burst symptoms to the fully-developed leaf. It was found that over time, the share of trees was gradually increasing at higher and higher stages of development, while at the end of the observation period the rate of development of trees was very high. Importantly, at each stage of development, the trees emerged, which proceeded to much faster development than previously, and their share was increasing over time, as shown in the elaborated model of stand development.

KEY WORDS

sessile oak, spring phenology

ADDRESSES

Krzysztof Będkowski – e-mail: krzysztof.bedkowski@geo.uni.lodz.pl

Zakład Geoinformacji, Uniwersytet Łódzki; ul. S. Kopcińskiego 31, 90-142 Łódź

Wstęp

Zróżnicowanie tempa rozwoju poszczególnych drzew w ciągu okresu wegetacyjnego, objawiające się znacznymi niekiedy różnicami dat rozpoczęcia rozwoju aparatu asymilacyjnego wiosną, zakwitania lub owocowania, a na końcu sezonu wegetacyjnego także pojawiania się zmian barw i ubytku liści, jest zjawiskiem występującym u wielu gatunków drzew i krzewów. Do grupy tej należą także nasze dęby – szypułkowy (*Quercus robur* L.) oraz bezszypułkowy (*Q. petraea* [Matt.] Liebl.) – będące ważnymi gatunkami lasotwórczymi [Andrzejczyk 2009]. Na podstawie obserwacji wiosennych wskazuje się na współwystępowanie u nich dwóch form – wczesnej i później, u których różnice rozwoju mogą niekiedy sięgać nawet kilku tygodni.

Mimo iż zjawiska fenologiczne są od dawna przedmiotem licznych badań naukowych, nie do końca wyjaśniono, jakie są przyczyny różnic rozwoju obserwowanych między poszczególnymi egzemplarzami drzew danego gatunku, niekiedy nawet rosnącymi blisko siebie [Adamowski 2008]. Nierówne tempo rozwoju może wynikać z przestrzennego zróżnicowania jakości siedliska, drobnych różnic mikroklimatu lub zwarcia drzew, zajmowanego stanowiska na obrzeżach lub wewnątrz drzewostanu [Trąba i in. 2012], a także np. opanowania drzew przez grzyby lub owady [Włoczewski 1953]. Niektórzy autorzy wskazują, że wczesne lub późne pędzenie wiosenne może mieć podłoże genetyczne [Hernik 1973; Howe i in. 2003; Ueno i in. 2011], co daje szansę na powodzenie ewentualnej hodowli selekcyjnej [Franjic i in. 2011]. Wyniki badań nad zakwitaniem uzyskane przez Bacilieriego i Ducouso [1995] wskazują jednak, że terminy pojawu tej cechy fenologicznej nie są stałe dla danego egzemplarza drzewa – w dwóch kolejnych latach u dębu bezszypułkowego 40% drzew zaliczono bowiem do tej samej klasy, 46% przesunęło się do klasy sąsiedniej, a pozostałe drzewa zmieniły swój charakter z wcześniej kwitnących na kwitnące później lub odwrotnie. Dla współwystępującego w badanym drzewostanie dębu szypułkowego liczby te wynosiły odpowiednio 49, 45 i 6%. Podany przykład sugeruje, że inne cechy fenologiczne też mogą ulegać dużej zmienności czasowej.

Wczesny rozwój wydłuża okres wegetacji, a więc pozwala na uzyskanie przewagi nad pozostałymi drzewami. Polgar i Primack [2011] wykazali większy przyrost masy u drzew o dłuższej wegetacji. Zwiększa się jednak ryzyko uszkodzeń powodowanych przez przymrozki [Chmura 2002; Utkina, Rubtsov 2017]. Zmiany terminów faz fenologicznych, szczególnie rozwoju aparatu asymilacyjnego oraz kwitnienia i owocowania, mogą także znacząco wpływać na populacje owadów i innych zwierząt, które dla swojego rozwoju potrzebują odpowiedniej bazy pokarmowej. Brak liści w fazie wylęgania się larw owadów liściożernych powoduje ich wymieranie, natomiast liście w znacznym stopniu rozwinięte mogą być dla nich trujące [Csóka 1993; Mopper, Simberloff 1995; Visser, Holleman 2001; Waddell i in. 2001; Sun i in. 2006; Polgar, Primack 2011; Bobinac i in. 2012].

Różnice rozwoju fenologicznego obserwowane są także między poszczególnymi gatunkami i populacjami. Amerykańskie i europejskie gatunki drzew rozwijają aparat asymilacyjny w ustalonej kolejności, powtarzającej się w kolejnych sezonach [Lechowicz 1984]. W licznych doświadczeniach proveniencyjnych wykazano, że daty rozwoju liści, zmiany ich barwy jesienią, zamierania oraz opadania, a także utrzymywanie się martwych liści na drzewach w okresie zimowym mają związek z długością i szerokością geograficzną położenia danej populacji oraz wysokością nad poziomem morza [Schlarbaum, Bagley 1981; Ducouso i in. 1996; Kadomatsu 1997; Fenner 1998; Davi i in. 2011].

Polskie proveniencje dębów określane są jako znacznie zróżnicowane pod względem udatności i wzrostu oraz cech fenologicznych [Fijałkowski 1968; Barzdajn 2000]. Hernik [1973] i Fober [1994] cytują prace, z których wynikają odmienne wnioski co do znaczenia terminów wiosennego pędzenia dla wzrostu drzew. Proveniencje uważane za późno pędzące charakteryzowały się według jednych autorów wyższym wzrostem i produktywnością, inni dostrzegali natomiast lepszy wzrost form wcześniej pędzących. Utkina i Rubtsov [2017] na podstawie licznych prac rosyjskich wskazują, że późna forma dębu bezszypułkowego ma drewno lepszej jakości.

Należy jeszcze wspomnieć, że dwa gatunki dębu – bezszypułkowy i szypułkowy – mimo iż różnią się pod względem cech biologicznych i wymagań siedliskowych [Markowski 1993], to występują często w tych samych drzewostanach [Boratyński 1994; Ducouso i in. 1996; Boratyński i in. 1997; Boratyński, Sztajnborn 2001] i tworzą mieszańce, których udział w drzewostanie

jest jednak na ogół nieduży. Nie wiadomo, jak zjawiska fenologiczne związane z rozwojem liści przebiegają u mieszańców i jak wpływają na obraz stanu całego drzewostanu.

Celem badań przedstawionych w niniejszej pracy jest analiza przebiegu wiosennego rozwoju pojedynczych drzew oraz drzewostanu dębu bezszypułkowego. Poszukiwano odpowiedzi na pytania dotyczące udziału i tempa dalszego rozwoju drzew rozpoczynających rozwój w różnych momentach sezonu wegetacyjnego, ze szczególnym uwzględnieniem drzew wcześniej i późno pędzących.

Material i metody

Do badań nad dynamiką rozwoju aparatu asymilacyjnego drzew wybrano około 90-letni drzewostan dębu bezszypułkowego, o powierzchni 7,49 ha, położony na terenie administrowanym przez Leśny Zakład Doświadczalny w Rogowie – terenowy ośrodek badawczy Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie (19,920365° E, 51,837381° N).

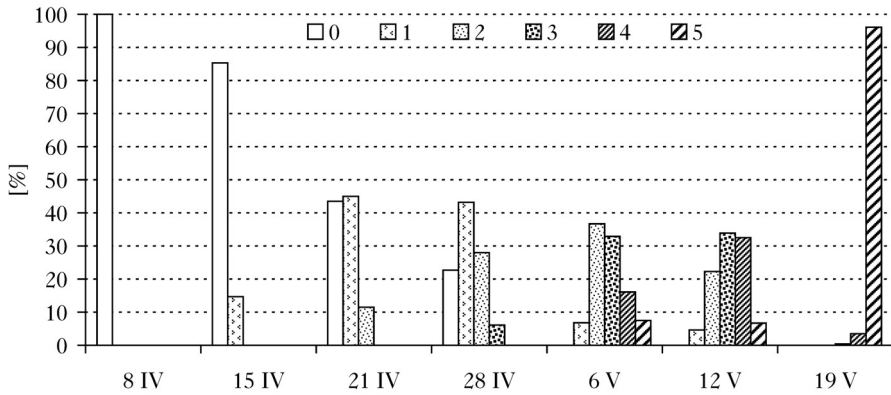
Drzewostan składa się w I piętrze z dębu i pojedynczych sosen (10%), zwarcie jest pełne, miejscami umiarkowane. W II piętrze występują jodła i grab, a w obfitym podszyciu dominuje leszczyna. Pierśnica dębów mieści się w zakresie 19,3-56,0 cm, średnio 35,2 cm, wysokość dochodzi do około 30 m. Teren, z lekkim nachyleniem w kierunku północno-zachodnim, nie wykazuje istotnego zróżnicowania wysokościowego.

Wybrane do badań drzewa (n=273) tworzą trzy zwarte skupiska, o nieregularnych kształtach granic. Drzewa trwale oznaczono, aby umożliwić ich jednoznaczny identyfikację. Obserwacje rozwoju aparatu asymilacyjnego prowadzono w okresie od 8 kwietnia do 28 sierpnia 2016 roku, początkowo w odstępach jednego tygodnia (do 19 maja), następnie 2 i 27 lipca oraz 28 sierpnia. Każde drzewo było klasyfikowane do jednego z sześciu stopni rozwoju: 0 – brak objawów, 1 – nabrzmiałe i pękające pąki, 2 – wysuwające się liście, 3 – liście widoczne w całości, 4 – liście powiększone, 5 – liście w pełni ukształtowane. Ocena dotyczyła górnej połowy koron drzew, a przy obserwacjach korzystano z lornetki. Obserwator (stale ten sam) nie miał wglądu do wyników uzyskanych w poprzednich terminach. Otrzymane dane umożliwiają prześledzenie rozwoju drzew oraz poznanie ich rozkładów według stopni rozwoju w poszczególnych terminach obserwacji.

Wyniki

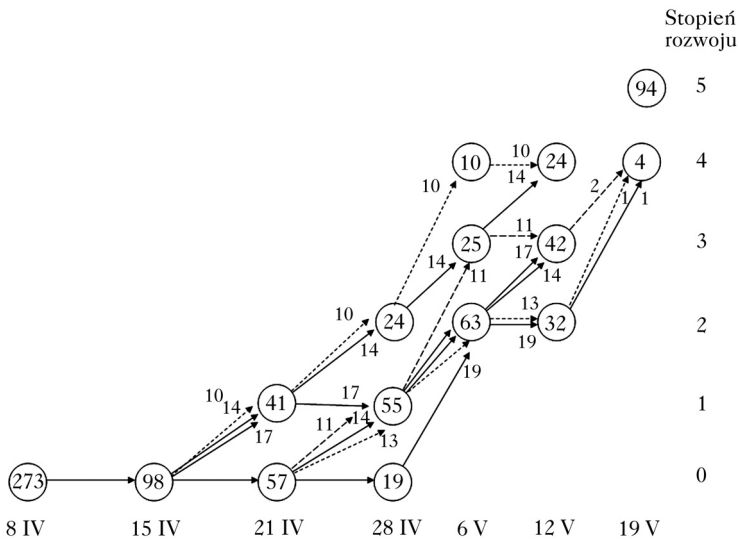
W kolejnych terminach obserwacji odnotowano różny udział drzew w poszczególnych stopniach rozwoju (ryc. 1). Początkowo, co jest oczywiste, dominowały drzewa nieprzejawiające objawów pędzenia, w kolejnych terminach drzewa przechodziły do wyższych stopni. Już 6 maja, a więc po upływie trzech tygodni od zaobserwowania nabrzmiewania i pęknięcia pąków u pierwszych drzew, nie było drzew pozostających w stanie uśpienia. Zróżnicowanie rozwoju drzew widoczne było wyraźnie jeszcze 12 maja, przy czym udział drzew mających w pełni ukształtowany aparat asymilacyjny (stopień 5) był jeszcze nieznaczny (6,7%). Sytuacja zmieniła się zasadniczo w ciągu jednego tygodnia, bowiem już 19 maja większość drzew (96,1%) osiągnęła pełnię rozwoju. Natomiast drzewa opóźnione w rozwoju (stopień 3 i 4) wyróżniały się na tle pozostałych mniejszymi liśćmi i rzadszym ulistnieniem. Obserwator zapisał, że są to drzewa prawdopodobnie zamierające, jednak 2 lipca zauważono, że wszystkie drzewa mają w pełni rozwinięty aparat asymilacyjny i nie wyróżniają się na tle pozostałych. Żadnych istotnych różnic wyglądu aparatu asymilacyjnego u tych drzew nie zauważono także 27 lipca i 28 sierpnia.

Zapisane dla każdego drzewa wyniki klasyfikacji obrazują ich indywidualne ścieżki rozwoju, od 0000113 u drzew długo nieprzejawiających objawów pędzenia, aż po 0124555 u drzew, które bardzo szybko osiągnęły pełnię rozwoju. Do 12 maja włącznie drzewa rozwijały się według



Ryc. 1.

Zmiany udziału drzew w poszczególnych stopniach rozwoju
Changes in the share of trees in particular degrees of development

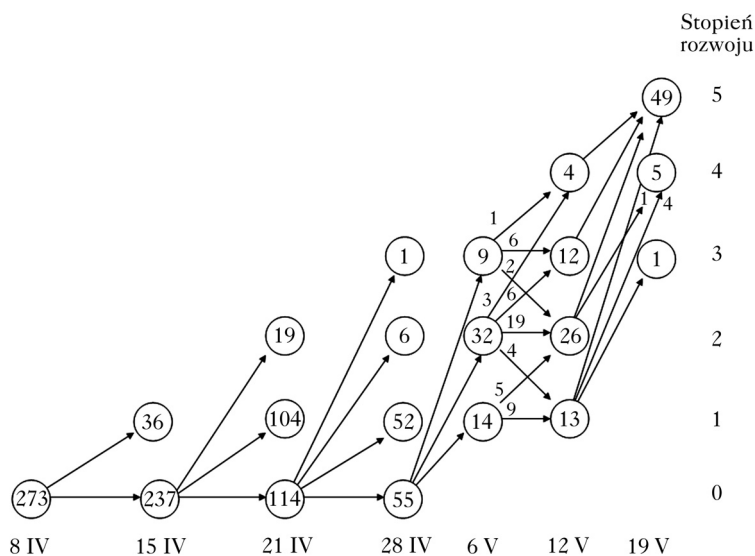


Ryc. 2.

Siedem najczęściej występujących ścieżek opisujących rozwój 98 (36%) badanych drzew. Między 12 i 19 maja pokazano ścieżki tylko 4 drzew, pozostałe drzewa osiągnęły 5 stopień rozwoju
Seven the most common paths describing the development of 98 (36%) of the examined trees. Between May 12 and 19, paths for only 4 trees were shown, the remaining specimen reached the fifth stage of development

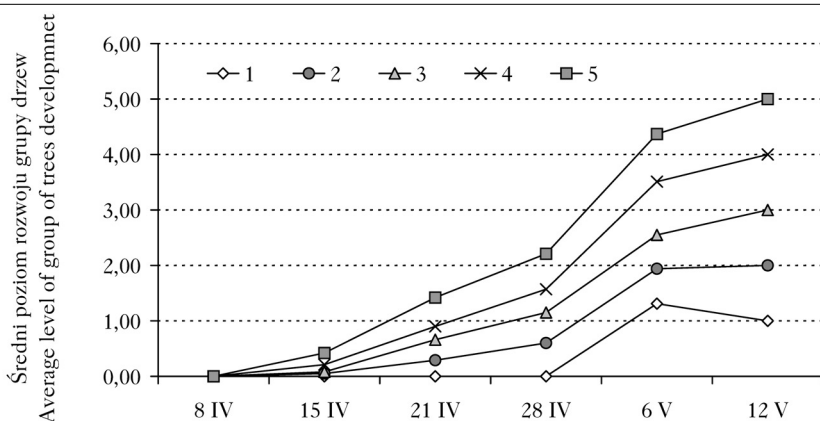
83 różnych ścieżek, w tym 7 ścieżek (ryc. 2) dotyczyło po 10-19 drzew (łącznie 98, tj. około 1/3 całego zbioru). Z pozostałych ścieżek 13 dotyczyło 3-9 drzew, a 63 ścieżki – jednego lub dwóch drzew.

Ponieważ na jednym rysunku nie można przedstawić w czytelny sposób ścieżek rozwoju dla wszystkich 273 badanych drzew, ograniczono się do zilustrowania ścieżek dla 55 drzew stosunkowo długo nieprzejawiających aktywności (ryc. 3). Rysunek ten dobrze oddaje specyficzne cechy rozwoju aparatu asymilacyjnego na początku sezonu wegetacyjnego także innych drzew. Dodatkowo dla poszczególnych terminów obserwacji przedstawiono średni stopień rozwoju obliczony oddzielnie dla grup drzew, które w dniu 12 maja osiągnęły odpowiednio 1, 2, 3, 4 bądź 5 stopień (ryc. 4).



Ryc. 3.

Ścieżki rozwoju 55 drzew, u których do 28 kwietnia nie zaobserwowano nabrzmiewania i pęknięcia pąków
 Paths of development of 55 trees, in which no budding and cracking of buds was observed until 28 April

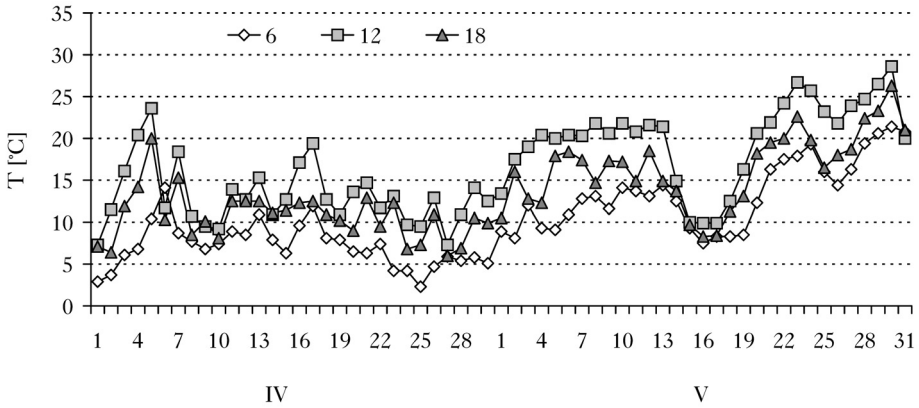


Ryc. 4.

Przebieg rozwoju grup drzew, które 12 maja zostały zaliczone do poszczególnych stopni rozwoju
 Course of development of groups of trees, which on May 12 were classified into the particular development stages

Dyskusja

Obserwowany w danym momencie stan rozwoju całego drzewostanu jest wypadkową indywidualnych ścieżek rozwoju poszczególnych drzew. W badanym drzewostanie wyraźną czołówkę stanowiła grupa licząca od około 7 do 15% drzew, które podejmowały ryzyko wczesnego rozwoju (ryc. 1). Tempo zmian nie zawsze było jednakowe, zwiększyło się np. między 21 kwietnia i 6 maja (ryc. 2-4). Liczne drzewa przeszły wówczas do wyższego o dwa poziomy stopnia rozwoju oraz było już drzew niewykazujących aktywności. Ma to wyraźny związek ze wzrostem temperatury powietrza (ryc. 5). Bardzo duże zmiany nastąpiły także między 12 i 19 maja, mimo iż wystąpił



Ryc. 5.

Temperatura powietrza w kwietniu i maju 2016 r. o godz. 6, 12 i 18 zmierzona na stacji meteorologicznej w Skierniewicach (odległość około 20 km)

Air temperature in April and May 2016 at 6, 12 and 18, measured at the meteorological station Skierniewice (distance approx. 20 km)

w tym okresie spadek temperatury powietrza. Większość drzew osiągnęła wtedy w przyjętej skali najwyższy poziom rozwoju liści. W bardzo krótkim czasie wyrównał się stan aparatu asymilacyjnego w całym drzewostanie, a liście były bardzo duże, choć jeszcze nie wszystkie osiągnęły swoje docelowe rozmiary. Wskazanie różnic rozwoju między większością drzew było bardzo trudne, chociaż na ich tle wyróżniała się nieliczna grupa drzew wyraźnie opóźnionych. Podobny przebieg rozwoju zaobserwowali w innym drzewostanie dębu bezszypułkowego Będkowski i Stereńczak [2013]. Na przełomie kwietnia i maja 2012 roku w czasie tygodnia wyrównał się i w pełni ukształtował aparat asymilacyjny większości drzew. Przyczyną gwałtownego przyspieszenia była wówczas utrzymująca się przez kilka dni temperatura powietrza dochodząca do około 30°C.

Na podstawie analizy indywidualnych ścieżek rozwoju można zauważyć, że na każdym etapie pojawiają się drzewa, które wykazują wyraźne przyspieszenie. Na przykład z grupy drzew pozostających długo w spoczynku (ryc. 3) wyłaniały się w każdym terminie obserwacji takie, które szybko przechodziły do wyższych stopni rozwoju. Drzewa te często wyprzedzały inne, nawet te, które wcześniej od nich rozpoczęły rozwój. A więc nie wszystkie drzewa utrzymywały się stale na niskich stopniach, na co mógł wskazywać dotychczasowy przebieg ich rozwoju. Podobny schemat różnicowania można zaobserwować także u drzew znajdujących się na innych etapach ścieżek rozwoju.

Dużą dynamikę zmian można zaobserwować u 19 drzew, które 6 maja osiągnęły najwyższy stopień rozwoju. Ich ścieżki wyodrębniły się 15, 21 i 28 kwietnia (były to odpowiednio 9, 8 i 2 drzewa), najszybsza była ścieżka rozwoju 0124555 (1 drzewo). Trudno natomiast wskazać dla tych drzew najczęściej występującą ścieżkę (początkowe sekwencje to 0123 lub 0122), ze względu na małą liczbę drzew w tej grupie, małe różnice liczby drzew pomiędzy poszczególnymi rozgałęzieniami, a także skomplikowany układ ścieżek w dalszych terminach obserwacji (np. przechodzenie drzew o dwa stopnie w górę).

Bardziej wyraźne ścieżki tworzą drzewa później rozpoczynające rozwój. To przede wszystkim one znajdują się na siedmiu ścieżkach, które dotyczą 98 (36%) badanych drzew (ryc. 2). W ostatnim terminie obserwacji część tych drzew (6 z 55) została zakwalifikowana do klasy niższej

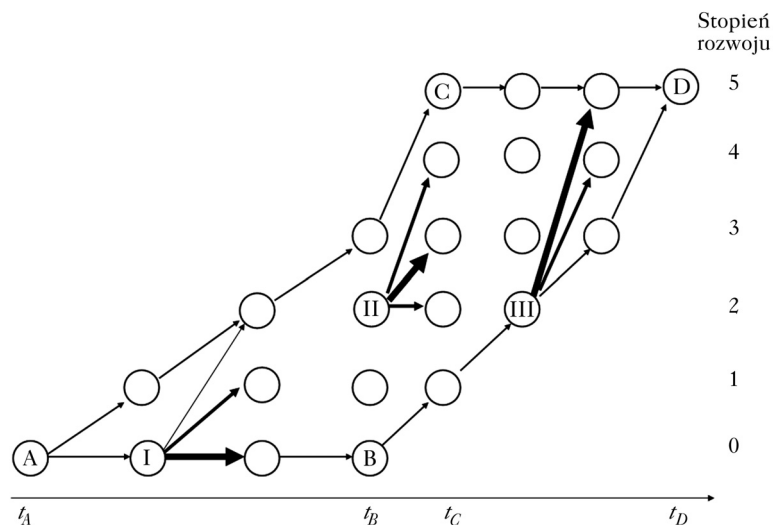
niż w terminie poprzedzającym. Wynik ten może być zarówno efektem przeszacowania stopnia rozwoju 12 maja lub jego niedoszacowania 19 maja. W całym zbiorze 5×273 obserwacji było tylko 27 (2%) wskazań niższego stopnia rozwoju niż w terminie poprzednim. Tylko u jednego drzewa błędny układ w sekwencji stopni rozwoju wystąpił dwukrotnie (010154).

Mimo iż niektóre drzewa wyprzedzały inne w rozwoju, to rozpatrywane w grupach (ryc. 4) nie wykazywały tendencji do zmiany porządku ustalonego na początku sezonu wegetacyjnego. Różnice między średnimi stopniami ich rozwoju systematycznie się zwiększały. Ścieżki najczęściej występujące (ryc. 3) w dużej części mają przebieg równoległy, utrzymywał się między nimi dystans 1 stopnia.

Podsumowanie

Drzewa rozpoczynające rozwój wegetacyjny w kolejnych terminach w większości utrzymywały swoją pozycję i tworzyły najliczniejsze ścieżki rozwoju. W każdym etapie występowały drzewa, które wyprzedzając pozostałe, podejmowały ryzyko wczesnego rozwoju, jednak najwyższy stopień najszybciej osiągały te drzewa, u których najwcześniej pojawiły się objawy pędzenia.

Rozwój drzewostanu można zamknąć w schemacie wieloboku (ryc. 6), który jest ograniczony ścieżkami najszybciej i najwolniej rozwijających się drzew. Kluczowe są okresy między punktami A i C oraz B i D, a także moment wystąpienia punktów B i C. W analizowanym drzewostanie $t_B < t_C$, choć zapewne może wystąpić także sytuacja odwrotna, co by wyraźnie świadczyło o istnieniu form wczesnej i późnej. Schemat dalszego rozwoju grup drzew, które w danym momencie występowały na określonym poziomie, przebiega prawdopodobnie tak, że (do pewnej daty, której w doświadczeniu nie określono) największa ich część pozostaje w tym samym stopniu, inna część wykazuje pewien rozwój, a kolejna rozwija się szybciej itd. W miarę upływu czasu więcej drzew z danej grupy podejmuje rozwój, a mniej jest tych, które pozostają w tym samym stopniu, aż na końcu, tj. blisko punktu D, to przyspieszenie jest największe.



Ryc. 6.

Proponowany model fenologicznego rozwoju drzewostanu

Proposed model of stand phenological development

Grubość strzałek kierunków rozwoju grup oznaczonych jako I, II i III wskazuje na udział drzew przechodzących do dalszych stopni

Thickness of the arrows of the groups' development directions, marked as I, II and III indicates the share of trees passing to further stages

Nie jest pewne, czy stosowane w fenologii skale rozwoju są liniowe, tj. czy przejście ze stopnia 2 na 3 oznacza podobny „przyrost rozwoju” co pomiędzy stopniami 3 i 4. Przedstawiony w pracy obraz dynamiki zmian w początkowym okresie sezonu wegetacyjnego nie wyjaśnia także przyczyn zaobserwowanego zjawiska. Niezbędne w tym zakresie badania powinny obejmować również zjawiska fenologiczne występujące w okresie jesieni, ich wzajemne związki także z cechami dendrometrycznymi i zdrowotnymi drzew, w tym historię występowania w poprzednich latach owadów liściożernych i innych.

Literatura

- Adamowski W. 2008. Pierwszy w dostojności między drzewami. Cz. II. Miecznik Białowiecki 1: 2-4.
- Andrzejczyk T. 2009. Dąb szypułkowy i bezszypułkowy. PWRiL, Warszawa.
- Bacilieri R., Ducouso A., Kremer A. 1995. Genetic, Morphological, Ecological and Phenological Differentiation between *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L. in a Mixed Stand of Northwest of France. *Silvae Genetica* 44 (1): 1-10.
- Barzdajn W. 2000. Prowienienicyjne doświadczenie z dębami (*Quercus robur* L. i *Q. petraea* [Matt.] Liebl.) z 1993 r. w nadleśnictwach Milicz i Oborniki Śląskie. *Sylwan* 144 (12): 57-68.
- Będkowski K., Stereńczak K. 2013. Sessile oak (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.) trees variability according to an analysis of multispectral images taken from UAV – first results. *Ecological Questions* 17: 25-33.
- Bobinac M., Batos B., Miljkovic D., Radulovic S. 2012. Polycyclism and phenological variability in the common oak (*Quercus robur* L.). *Arch. Biol. Sci., Belgrade* 64 (1): 97-105.
- Boratyński A. 1994. Zarys systematyki dębów. *Sylwan* 188 (10): 73-88.
- Boratyński A., Filipiak M., Kosiński P., Sekieta M. 1997. Występowanie dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.), bezszypułkowego (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) i ich mieszańców (*Quercus × rosacea* Bechst.) w wyłączonych drzewostanach nasiennych RDLP Gdańsk. *Sylwan* 191 (5): 41-49.
- Boratyński A., Sztajnborn K. 2001. Dębowe drzewostany nasienne w Nadleśnictwie Runowo. *Sylwan* 195 (3): 43-51.
- Chmura D. J. 2002. Fenologia wiosennego rozwoju polskich proveniencji dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) i bezszypułkowego (*Q. petraea* [Matt.] Liebl.). *Sylwan* 146 (4): 97-103.
- Csoka G. 1993. Variation in *Quercus robur* susceptibility to galling wasps (*Hymenoptera: Cynipidae*) linked to tree phenology. W: Prince P. W., Mattson W. J., Baranchikov Y. N. [red.]. *The Ecology and Evolution of Gall-forming Insects*. Krasnoyarsk, Siberia, August 9-13, 1993. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, General Technical Report NC-174: 148-152.
- Davi H., Gillmann M., Ibanez T., Cailleret M., Bontemps A., Fady B., Lefèvre F. 2011. Diversity of leaf unfolding dynamics among tree species. New insights from a study along an altitudinal gradient. *Agricultural and Forest Meteorology*. DOI: 10.1016/j.agrformet.2011.06.008.
- Ducouso A., Guyon J. P., Krémer A. 1996. Latitudinal and altitudinal variation of bud burst in western populations of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). *Ann. Sci. For.* 53: 775-782.
- Fenner M. 1998. The phenology of growth and reproduction in plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 1 (1): 78-91.
- Fijalkowski D. 1968. Zmienność dębów szypułkowego (*Quercus robur* L.) i bezszypułkowego (*Quercus sessilis* Ehrh.) w lasach Lubelszczyzny. *Sylwan* 112 (12): 41-47.
- Fober H. 1994. Przegląd doświadczeń proveniencyjnych dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) i bezszypułkowego (*Q. petraea* Liebl.). *Sylwan* 138 (1): 89-97.
- Franjić J., Sever K., Bogdan S., Škvorc Ž., Krstonošić D., Alešković I. 2011. Fenološka neujednačenost kao ograničavajući čimbenik uspješnoga oprашivanja u klonskim sjemenskim plantažama hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). *Croatian Journal For. Eng.* 32 (1): 141-156.
- Hernik I. 1973. Fenologiczne formy dębu szypułkowego. *Sylwan* 117 (7): 61-69.
- Howe G. T., Aitken S. N., Neale D. B., Jermstad K. D., Wheeler N. C., Chen T. H. H. 2003. From genotype to phenotype: unraveling the complexities of cold adaptation in forest trees. *Can. J. Bot.* 81: 1247-1266.
- Kadomatsu M. 1997. Differences in Phenology of *Quercus* Collected from Northeastern China, Eastern Hokkaido and Western Honshu. *Research Bulletin of the Hokkaido University Forests* 54 (2): 188-201.
- Lechowicz M. J. 1984. Why Do Temperate Deciduous Trees Leaf Out at Different Times? *Adaptation and Ecology of Forest Communities*. *American Naturalist* 124 6: 821-842.
- Markowski R. 1993. Udział dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) i bezszypułkowego (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.) w zbiorowiskach leśnych Pobrzeża i Pojezierza Kaszubskiego. *Sylwan* 137 (12): 85-93.
- Mopper S., Simberloff D. 1995. Differential herbivory in an oak population. The role of plant phenology and insects performance. *Ecology* 76 (4): 1233-1241.
- Polgar C. A., Primack R. B. 2011. Leaf-out phenology of temperate woody plants: from trees to ecosystems. *New Phytologist* 191: 926-941.

- Schlarbaum S. E., Bagley W. T. 1981. Genetic Variation of *Quercus rubra* L., Northern Red Oak. *Silvae Genetica* 30 (2-3): 50-56.
- Sun S., Jin D., Li R. 2006. Leaf emergence in relation to leaf traits in temperate woody species in East-Chinese *Quercus fabri* forests. *Acta Oecologica* 30: 212-222.
- Trąba C., Wolański P., Rogut K. 2012. Fenologia i fenologiczne pory roku. *Aura* 5: 8-10.
- Ueno S., Klopp C., Noirot C., Léger V., Prince E., Kremer A., Plomion C., Le Provost G. 2011. Detection of genes involved in bud phenology in sessile oak (*Quercus petraea* Matt. Liebl) combining digital expression analysis and Q-PCR. *BMC Proceedings* 5 (Suppl. 7): 20.
- Utkina I. A., Rubtsov V. V. 2017. Studies of Phenological Forms of Pedunculate Oak. *Contemporary Problems of Ecology* 10 (7): 804-811.
- Visser M. E., Holleman L. J. M. 2001. Warmer springs disrupt the synchrony of oak and winter moth phenology. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 268: 289-294. DOI: 10.1098/rspb.2000.1363.
- Waddell K. J., Fox C. W., White K. D. 2001. Leaf abscission phenology of a scrub oak: consequences for growth and survivorship of a leaf mining beetle. *Oecologia* 127: 251-258.
- Włoczewski T. 1953. Przejawy zmienności drzew w życiu lasu. Materiały Konferencji Agrobiologicznej Leśników. Rogów, 9-13 września 1952 r. PWRiL, Warszawa.