

Zmiany drzewostanów Białowieckiego Parku Narodowego w okresie 2000–2015

Changes in the stands of the Białowieża National Park from 2000 to 2015

Stanisław Miścicki

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Leśny, Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa,
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Tel. +48 22 5938208, e-mail: stanislaw_miscicki@sggw.pl

Abstract. The aim of the study was to characterise changes in the natural forest of the Białowieża National Park (BNP) Strict Reserve during a 15-year period. To allow for a more precise determination of the time course, overall duration and intensity of the observed changes, we further divided the 15-year period into shorter 2–7-year intervals. Taken together, the Strict Reserve forest stands cover 4584 hectares and they constitute the oldest part of the Białowieża Forest placed under protection in 1921.

The measurements were carried out in 2000, 2002, 2004, 2011 and 2015 on 160 permanent sample plots, which are systematically distributed throughout the BNP Strict Reserve. During those 15 years, the volume of merchantable timber and the tree density fluctuated only slightly, because the reduction in standing volume due to a spruce and ash decline was compensated for by an increase in the standing volume of lime, hornbeam and alder. The volume increment and tree loss fluctuated slightly, but were nevertheless similar throughout the whole period between 2000 and 2015. The number of trees in the regeneration layer increased. The number of hornbeam trees in this layer increased continuously throughout the whole measurement period, while the number of maple trees started to increase in the second half. All together only five tree species growing in the BNP Strict Reserve progressed from the regeneration layer to the canopy layer in significant numbers. As a result, a gradual decrease in species diversity of forest stands may be expected.

The rather stable, average volume of merchantable timber in the BNP Strict Reserve may be due to the fact that, in a forest with diverse habitats and high species richness, only few stands are subjected to strong disturbances in a given period of time. Repeated measurements during a relatively short period of time allowed the detecting some fairly quick changes occurring in natural lowland forests.

Keywords: increment, ingrowth, loss, regeneration, standing volume, Strict Reserve, tree species.

1. Wstęp

Od początku XX wieku w Europie zaczęto tworzyć parki narodowe. W ich obrębie znajdowały się najcenniejsze i najmniej przekształcone przez człowieka fragmenty przyrody. W strefie klimatu umiarkowanego największą część obszarów objętych ochroną zajmowały ekosystemy leśne. Wartość tych lasów i dążenie do zapewnienia im nieskrępowanego rozwoju spowodowały, że stały się one obiektem obserwacji i badań naukowych.

Badania lasów naturalnych rozwinęły się wraz z wprowadzeniem do leśnictwa metody reprezentacyjnej (statystycznej). Umożliwiła ona pomiary dużych obszarów, ocenę dokładności uzyskanych wyników, a także wykorzystanie metod analizy statystycznej do porównania odległych obiektów

lub tych samych, ale badanych w różnych terminach. Szczególnie przydatne okazały się, wprowadzone w latach 60. XX wieku, stałe powierzchnie próbne (Schmid-Haas 1989). Dzięki nim możliwe było np. mierzenie ubywania drzew czy bezinwazyjne określanie przyrostu. W Polsce po raz pierwszy wykorzystano je w roku 1969, właśnie do badania rezerwatu leśnego (Rutkowski et al. 1972). Do wprowadzenia w roku 2005 inwentaryzacji wielkoobszarowej, stałe powierzchnie próbne były wykorzystywane w pomiarach lasów w parkach narodowych – początkowo ich fragmentów (np. Dziewolski 1980), rezerwach i obiektach doświadczalnych (np. Przybylska 1977). Pod koniec lat 80. XX wieku te powierzchnie próbne zaczęto używać do pomiarów stanu i dynamiki lasów całych parków narodowych (Chwistek 2007).

Brak ciągłości badań, stosowanie różnych metod pomiarów i problemy z przechowywaniem danych wpływały na niedostateczną wiedzę o procesach zachodzących w lasach naturalnych. Z tego powodu pojawiły się prace, w których sugerowano wspólny system badań lasów naturalnych (Koop 1989), a także podejmowano próby ich koordynacji i określenia ich zakresu w krajach Europy (Parviainen et al. 2000).

Jednym z najlepiej zachowanych lasów naturalnych – nie tylko w Polsce, ale w całej strefie klimatu umiarkowanego – jest las tak zwanego Rezerwatu Ścisłego w Białowieskim Parku Narodowym (BPN). Został objęty ochroną w roku 1921 – jako jeden z pierwszych w Europie. Od początku istnienia prowadzono w nim liczne badania, jednak długo nie dostarczały one informacji o stanie i rozwoju całego obszaru leśnego. Pierwsze wyniki dotyczące drzewostanów BPN uzyskano po pomiarach wykonanych w latach 1989–1990 przez Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej w Białymstoku (Michalczyk 2001).

Specjalne miejsce w badaniach drzewostanów BPN zajmują stałe powierzchnie badawcze, z identyfikacją drzew o pierśnicy $d \geq 5$ cm. Zostały one założone w roku 1936 przez prof. Tadeusza Włoczewskiego, powtórnie zmierzone ok. 1957 roku i od tego czasu mierzone w odstępach ok. 10-letnich (Bernadzki et al. 1998). Intencją przy ich wyborze było, aby reprezentowały całą różnorodność drzewostanów BPN. Wyniki pomiarów stanowią unikatowy materiał ilustrujący zmiany lasu naturalnego w okresie 80 lat i są wykorzystywane we współczesnych badaniach naukowych (np. Bernadzki et al. 1998; Kuijper et al. 2010b; Bolibok 2014; Brzeziecki et al. 2016). Wadą tych powierzchni badawczych był subiektywny wybór fragmentów obserwowanego lasu oraz brak reprezentacji lasów bagiennych (Miścicki 2012). Według Jaroszewicza i in. (2016) nawet łączna powierzchnia transektów (15,44 ha) była za mała do obserwacji cyklu rozwojowego typów lasu obecnych w BPN.

W 1999 r. pracownicy BPN założyli sieć stałych powierzchni próbnych. Miały one posłużyć do scharakteryzowania stanu i – po powtórnych pomiarach w roku 2009 – dynamiki drzewostanów. Efektem opracowania wyników był „Operat dynamiki ekosystemów leśnych Białowieskiego Parku Narodowego” (Brzeziecki et al. 2010).

W pomiarach stanu i dynamiki lasu zazwyczaj przyjmuje się, że okres między kolejnymi pomiarami stałych powierzchni próbnych wynosi 10 lat. Niekiedy stosowane krótsze okresy (np. Chwistek 2007, 2010) pozwalają na poznanie zmian zachodzących w lesie stosunkowo szybko. W BPN od ok. 1995 roku pojawiły się łatwo rozpoznawalne zmiany drzewostanów, które były m.in. następstwem zamierania świerków podczas gradacji kornika drukarza (Michalski et al. 2004) lub zamierania jesionu.

Powyższe fakty wpłynęły na postawienie następującego celu badań: określenie zmian stanu i dynamiki lasu naturalnego Rezerwatu Ścisłego w BPN w relatywnie krótkich okresach (wynoszących 2–7 lat). Założono, że dzięki temu możliwe będzie dokładniejsze poznanie terminu wystąpienia danego zjawiska, okresu jego trwania oraz intensywności. Badania objęły okres od 2000 do 2015 roku.

2. Obiekt badań

Obiektem badań były drzewostany Rezerwatu Ścisłego BPN. Jego powierzchnia wynosi 4747 ha, w tym drzewostany zajmują 4584 ha, a położenie określają współrzędne ($52^{\circ}45'N$, $23^{\circ}52' E$). Znajduje się on w strefie klimatu umiarkowanego, przejściowego z przewagą (w zależności od danego roku) cech kontynentalnych nad atlantyckimi, niekiedy z wpływem cech borealnych (Faliński 1986). Średnie roczne wartości najważniejszych cech klimatycznych wynoszą: temperatura powietrza $6,8^{\circ}C$ (w styczniu $-4,7^{\circ}C$, w lipcu $17,8^{\circ}C$), suma opadów 641 mm, czas trwania pokrywy śnieżnej 92 dni. Teren Rezerwatu Ścisłego BPN jest płaski – różnica wysokości wynosi 23 m, a średnia wysokość 158 n.p.m. Znajduje się on poza naturalnym obszarem występowania jodły pospolitej *Abies alba*, buka zwyczajnego *Fagus sylvatica*, dębu bezszypułkowego *Quercus petraea* i jaworu *Acer pseudoplatanus*.

3. Metodyka

Materiał badawczy stanowiły wyniki pomiarów 160 stałych powierzchni próbnych. Zespół kierowany przez autora wykonał te pomiary w sierpniu w latach 2000, 2002, 2004, 2011 i 2015. Jako ich środki wykorzystano punkty wyznaczone przez pracowników BPN w roku 1999. Tworzyły sieć o przeciętnych wymiarach 267×1067 m, z dłuższym bokiem zorientowanym według azymutu 0° . W trzech rejonach, w których nie było wyznaczonych środków powierzchni próbnych, wykonano uzupełnienia.

W każdym z terminów pomiarów mierzono jednakowe koncentryczne powierzchnie próbne. Każda z nich składała się z pięciu współśrodkowych kół o powierzchniach: $5,31$ m² (w obrębie którego mierzono wszystkie drzewa w wieku co najmniej 2 lat – bez względu na wymiary), 20 m² (pomiar drzew o wysokości $h \geq 0,3$ m), 50 m² (pomiar drzew o pierśnicy $d \geq 2,0$ cm), 200 m² (pomiar drzew $d \geq 12,0$ cm), 500 m² (pomiar drzew $d \geq 36,0$ cm). Określano usytuowanie poszczególnych drzew, w tym z warstwy odnowienia, w stosunku do środka powierzchni próbnej. Wykorzystywano do tego azymut magnetyczny lewej krawędzi drzew i odległość do miejsca ich wyrastania. Umożliwiało to ich identyfikację podczas kolejnych pomiarów. Na tej podstawie określono zmiany ich wymiarów i status (żyje, ubył, dorosło przekraczając próg pomiaru). Określano gatunek i mierzono pierśnicę każdego drzewa zaliczonego do próby (lub wysokość, jeżeli $h \leq 1,3$ m). Zależność między wysokością a pierśnicą drzew danego gatunku obliczono na podstawie danych z roku 2015. Wtedy na powierzchni 500 m² zmierzono wysokość wszystkich drzew o pierśnicy $d \geq 7,0$ cm.

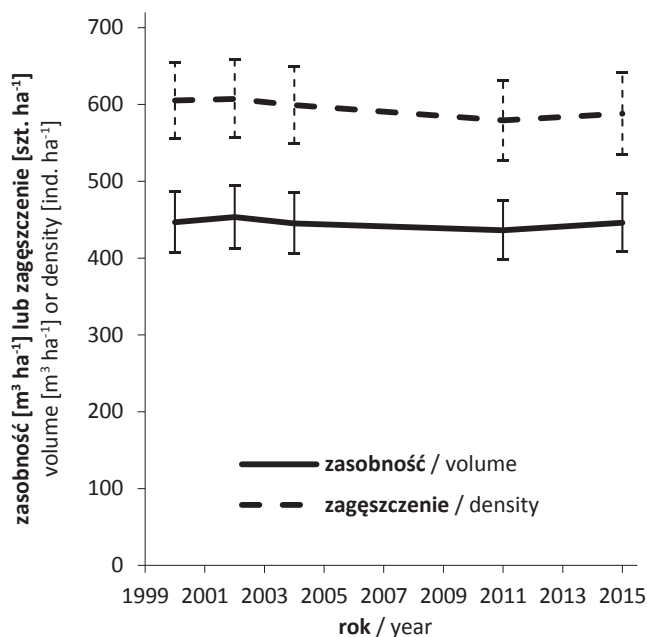
Jednostką interpretacyjną były łącznie traktowane drzewostany Rezerwatu Ścisłego BPN z uwzględnieniem osobno danych dla tzw. macierzystej warstwy drzew lub warstwy odnowienia. Miąższość drzew zaliczonych do próby obliczono z wykorzystaniem wzorów współcześnie stosowanych w polskim urzędowaniu lasu (Bruchwald et al. 2000). Dolny próg po-

miaru pierśnicy i obliczenia miąższości grubizny (zaliczenia do tzw. macierzystej warstwy drzewostanu) wynosił 8,0 cm. Do określenia ilości odnowienia wykorzystano dwie cechy: zagęszczenie drzew i sumę wysokości drzew na jednostkę powierzchni.

Obliczenia dynamiki zasobności wykonano według zasad przewidzianych dla powierzchni próbnych koncentrycznych (Miścicki, Nowicka 2007). Uwzględniono dorost – czyli drzewa, które w danym terminie mierzono po raz pierwszy, ponieważ w okresie od wcześniejszego pomiaru przekroczyły progi pierśnic 12,0 cm lub 36,0 cm oraz przerost – czyli drzewa, które w danym okresie przekroczyły te progi pierśnic, ale były mierzone w obu terminach.

Rozkład empiryczny większości cech (ilości na powierzchni próbnej odniesionej do powierzchni 1 ha) miał rozkład skośny dodatnio. W takim przypadku, przed przystąpieniem do analiz statystycznych, wykonano transformację pierwiastkową danych. Do porównań wartości średnich, uzyskanych ze stałych powierzchni próbnych, zastosowano analizę wariancji dla prób związanych. W przypadku tzw. cech statycznych były to obliczenia dla pięciu terminów. W przypadku cech dynamicznych (np. bieżącego przyrostu miąższości) obliczenia wykonano dla trzech okresów: 2000–2004, 2004–2011 i 2011–2015. Wielorakie porównania post hoc obiektów (stanu danej cechy w poszczególnych terminach lub okresach) zostały przeprowadzone z wykorzystaniem testu HSD Tukeya.

Podobieństwo składu gatunkowego drzewostanów pomiędzy wybranymi terminami określono przy użyciu wskaźnika Morisita w modyfikacji Horna (1966).



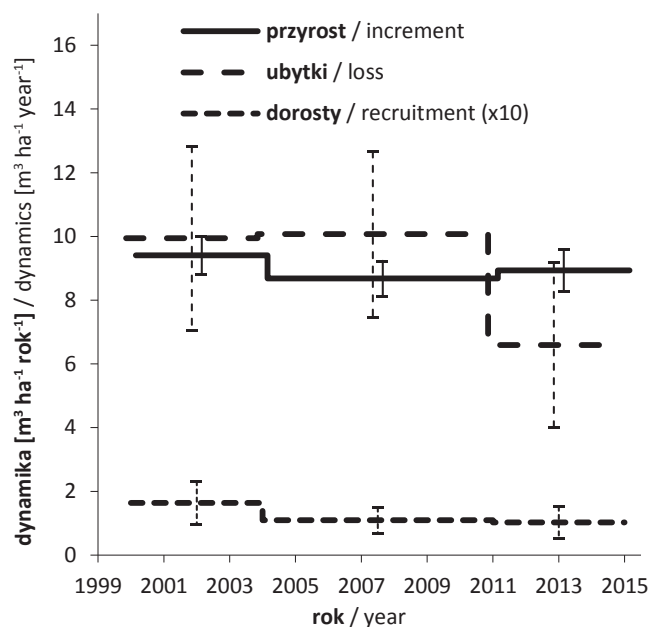
Rycina 1. Zasobność i zagęszczenie drzew w poszczególnych terminach pomiarów w okresie 2000–2015 (wartość błędów przy poziomie $p=0,05$)

Figure 1. Standing volume and tree density in individual measurement periods in 2000–2015 (error value at $p=0.05$)

4. Wyniki

Średnia zasobność drzewostanów (miąższość grubizny drzew o pierśnicy $d \geq 8,0$ cm) w okresie 2000–2015 była stabilna (ryc. 1). Podlegała niewielkiej fluktuacji w granicach $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ($p > 0,05$). W roku 2015 średnia zasobność drzewostanów wynosiła $446 \pm 38 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ i była taka jak w chwili rozpoczęcia pomiarów. Średnie zagęszczenie drzew (o pierśnicy $d \geq 8,0$ cm) w okresie 2000–2015 także było stabilne ($p > 0,05$) (ryc. 1). Jego niewielka fluktuacja miała trend podobny do tego zaobserwowanego w przypadku średniej zasobności, z tym, że w ciągu 15 lat zagęszczenie drzew (w roku 2015 wynoszące $588 \pm 53 \text{ szt. ha}^{-1}$) nieznacznie zmniejszyło się.

W latach 2000–2015 bieżący okresowy przyrost miąższości drzew wyniósł średnio $8,96 \pm 0,34 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ rok}^{-1}$. Różnice jego wielkości w poszczególnych, krótszych okresach nie były duże (ryc. 2), jednak były istotne ($p=0,036$). Największy był przyrost w latach 2000–2004 i różnił się istotnie od tego z okresu 2004–2011, który był najmniejszy ($p=0,028$). W całym okresie 2000–2015 największa część bieżącego przyrostu miąższości przypadła na świerk (29%). Gatunkami o dużym udziale były także: lipa drobnolistna *Tilia cordata* (16%), grab zwyczajny *Carpinus betulus* (15%), olsza czarna *Alnus glutinosa* (13%) i dąb szypułkowy *Quercus robur* (13%). Poszczególne, krótsze okresy niewiele różniły się ze względu na udział gatunków w bieżącym przyroście miąższości (ryc. 3). Jednak istniały trendy zmian udziału w przyroście: zmniejszanie się w przypadku świerka pospolitego,



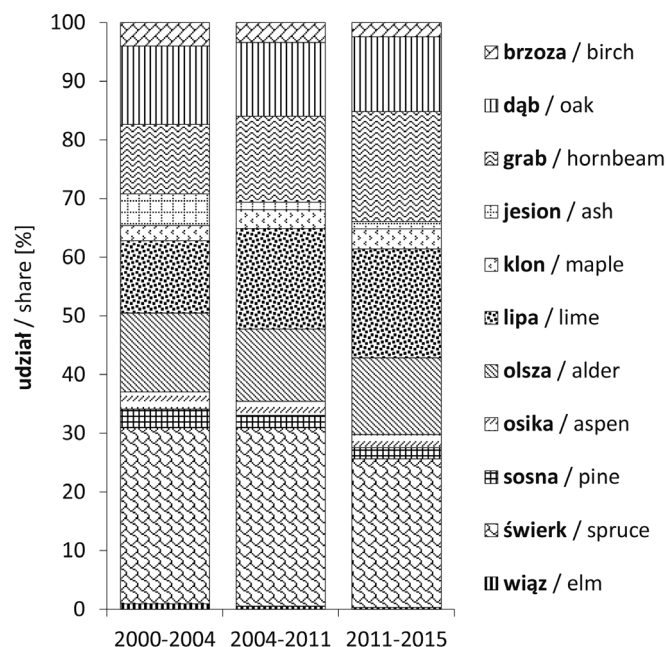
Rycina 2. Bieżący okresowy przyrost miąższości, miąższość ubytków i miąższość dorostów (wynik pomnożony przez 10) w poszczególnych okresach w latach 2000–2015 (wartość błędów przy $p=0,05$)

Figure 2. The current volume increment, volume of loss and ingrowth (multiplied by 10) in individual periods in 2000–2015 (error value at $p=0.05$)

jesionu, sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris*, brzozy brodawkowatej *Betula pendula* i omszonej *B. pubescens*, wiąz *Ulmus glabra* (rzadziej polnego *U. minor*), a zwiększanie się w przypadku lipy i grabu. Udział pozostałych gatunków (dębu, olszy, klonu) w przyroście pozostawał przez cały czas na zbliżonym poziomie.

Miąższość drzew dorastających z warstwy odnowienia (przekraczających w danym okresie próg pierśnicy $d=8,0$ cm) była niewielka i średnio w latach 2000–2015 wynosiła $0,12\pm 0,03$ m³ ha⁻¹ rok⁻¹. W kolejnych krótszych okresach nieznacznie zmniejszała się ($p>0,05$) (ryc. 2). W okresie 2000–2015 dorosło tylko sześć gatunków drzew, przy czym na grab przypadło aż 46% miąższości dorostu. Świerki (18% udziału), lipy (13%) i olsze (12%) dorastały w każdym z krótszych okresów obserwacji. W latach 2011–2015 dorostu brzozy (w całym badanym okresie 10%) nie notowano, natomiast stwierdzono dorost wiązu (1%).

W okresie 2000–2015 średnia miąższość ubytków (drzew, które zmarły oraz różnicy miąższości dorostów i przerostów drzew, które przekroczyły progi pierśnic $d=12,0$ cm i $d=36,0$ cm – łącznie średnio $-0,22$ m³ ha⁻¹ rok⁻¹) wyniosła $9,13\pm 1,59$ m³ ha⁻¹ rok⁻¹ i była zbliżona do sumy wielkości bieżącego przyrostu miąższości i miąższości dorostów z tego samego okresu. Podlegała większej niż przyrost miąższości fluktuacji (ryc. 2), jednak nie stwierdzono istotności różnic wartości średnich. W okresie 2000–2015 znacząca część miąższości ubytków przypadła na trzy gatunki: świerk (37%), dąb (18%) i jesion (17%). Niewielki był udział grabu (4%), a zwłaszcza lipy (2,5%) w puli drzew zmarłych. Poszczególne krótsze okresy różniły się ze względu na udział gatunków

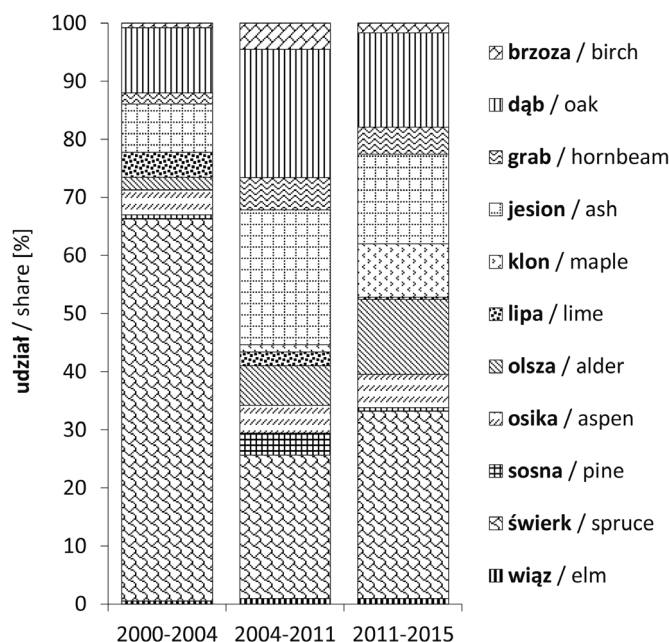


Rycina 3. Udział poszczególnych gatunków drzew w bieżącym okresowym przyroście miąższości w poszczególnych okresach w latach 2000–2015

Figure 3. The share of tree species in current volume increment in individual periods in 2000–2015

w miąższości ubytków (ryc. 4). Odzwierciedlało to okresowe wahania tempa zamierania niektórych gatunków: świerka w następstwie gradacji kornika drukarza w latach 2000–2004 (i w mniejszym stopniu w okresie 2011–2015), jesionu w latach 2004–2011 (a także w okresie 2011–2015, choć wtedy pozornie mniej intensywne z powodu zmniejszenia zasobów żywych jesionów), dębu w okresie 2004–2011, olszy i klonu w okresie 2011–2015.

Pomimo stabilnej ogólnej zasobności drzewostanów, w okresie 2000–2015 nastąpiły zmiany zapasu grubizny poszczególnych gatunków drzew (ryc. 5). W ciągu 15 lat znacząco zmniejszyła się zasobność jesionu ($p<0,001$), świerka ($p=0,011$) oraz osiki *Populus tremula* ($p=0,033$), choć w przypadku każdego z nich istniał krótki okres niewielkiego jej zwiększenia. Jesion był tym gatunkiem, którego ilość zmniejszyła się w największym stopniu – zarówno wyrażona relacją do stanu początkowego, jak i wyrażona różnicą zasobności. Od roku 2002 nastąpiło nieznaczne zmniejszenie średniej zasobności dębu szypułkowego ($p>0,05$). Gatunkami drzew, których zasobność była stabilna ($p>0,05$), były w okresie objętym pomiarami: sosna zwyczajna, klon zwyczajny, brzoza omszona i brodawkowata oraz wiąz górski. Jednak w przypadku najmniej licznych gatunków nastąpiło relatywnie duże (choć niemożliwe do potwierdzenia statystycznego) zwiększenie zasobności (brzoza brodawkowata – o około 40%) lub jej zmniejszenie (wiąz górski – o około 35%). W ciągu 15 lat cały czas zwiększała się zasobność lipy ($p<0,001$), grabu ($p<0,001$) oraz olszy ($p=0,001$). Ilość lipy zwiększyła się w największym stopniu – zarówno wyrażona relacją do stanu początkowego jak i różnicą zasobności. Pomimo stwierdzonych zmian, skład gatunkowy drzewostanów



Rycina 4. Udział poszczególnych gatunków drzew w miąższości ubytków w poszczególnych okresach w latach 2000–2015

Figure 4. The share of tree species in volume loss in individual periods in 2000–2015

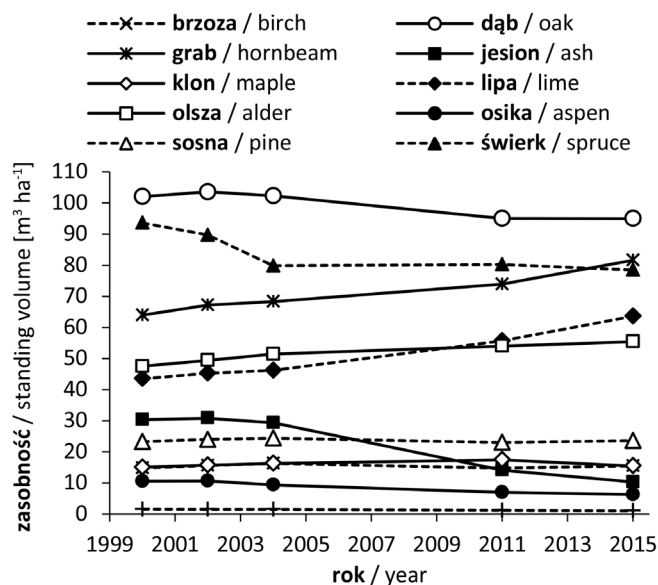
Rezerwatu Ścisłego BPN uległ niewielkiej zmianie. Wskaźnik Morisita podobieństwa struktury gatunkowej pomiędzy rokiem 2000 a 2015 wyniósł 0,975.

Warstwa odnowienia (drzewa o pierśnicy $d < 8,0$ cm lub wysokości $h \leq 1,3$ m) w okresie 2000–2015 była bardziej dy-

namiczna niż tzw. macierzysta warstwa drzew ($d \geq 8,0$ cm). Suma wysokości drzew – obrazująca ogólną ilość odnowienia – cały czas zwiększała się ($p < 0,001$) i po upływie 15 lat była o 40% większa (wynosiła 7408 ± 1305 m ha^{-1}) niż w chwili rozpoczęcia pomiarów (ryc. 6).

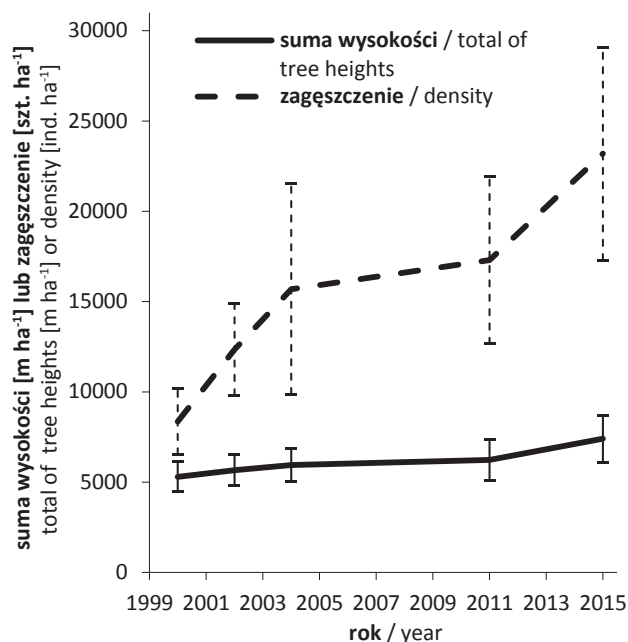
Jeszcze znaczniejszej zmianie podlegało zagęszczenie drzew warstwy odnowienia (ryc. 6). W okresie 15 lat cały czas zwiększało się ($p < 0,001$). W roku 2015 wyniosło 23152 ± 5903 szt. ha^{-1} . Było to prawie trzykrotnie więcej w stosunku do stanu na początku okresu objętego pomiarami. Na to zwiększenie liczby drzew warstwy odnowienia wpłynęła zmiana w grupie drzew niskiego podrostu ($h = 0,3–1,3$ m) ($p < 0,001$), a przede wszystkim – nalotu ($h < 0,3$ m) ($p < 0,001$) (ryc. 7). Zagęszczenie drzew średniego podrostu ($d = 0,1–1,9$ cm) podlegało niewielkiej fluktuacji ($p > 0,05$), a podrostu wysokiego ($d = 2,0–7,9$ cm) nieznacznie zmniejszyło się ($p > 0,05$).

W warstwie odnowienia w okresie 2000–2015 nastąpiły znaczne zmiany ilości niektórych gatunków drzew. Jedynym, którego suma wysokości istotnie zmniejszyła się, była brzoza (łącznie brzoza omszona i brodawkowata) ($p = 0,002$) (ryc. 8a i 8b). Ilość osiki podlegała znacznej fluktuacji ($p < 0,001$): po okresie zwiększenia sumy wysokości, około roku 2008 nastąpiło zamieranie znacznej części drzew odnowienia tego gatunku. Także fluktuacji, choć w mniejszej skali, podlegało odnowienie świerka (na granicy istotności, $p = 0,066$). Ilość jego odnowienia zwiększyła się w okresie intensywnego wydzielania się drzew tego gatunku w warstwie macierzystej po żerowaniu kornika drukarza (w latach 2000–2004), ale później powróciła do początkowego stanu. Zwiększyła się suma wysokości grabu ($p = 0,021$), klonu ($p < 0,001$),



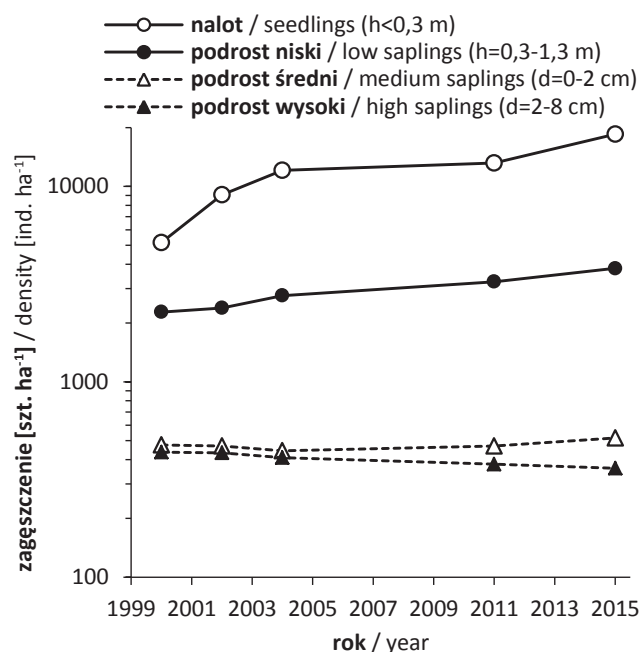
Rycina 5. Zmiana zasobności gatunków drzew warstwy macierzystej (pierśnica $d \geq 8,0$ cm) w okresie 2000–2015

Figure 5. Changes in the standing volume of individual tree species in the overstorey ($dbh \geq 8.0$ cm) in 2000–2015



Rycina 6. Zagęszczenie drzew i suma wysokości drzew odnowienia w poszczególnych terminach pomiarów w okresie 2000–2015 (wartość błędów przy $p = 0,05$)

Figure 6. Tree density and the total tree height of the regeneration layer in individual measurement periods in 2000–2015 (error value at $p = 0.05$)



Rycina 7. Zagęszczenie drzew warstwy nalotu, podrostu niskiego, średniego i wysokiego w poszczególnych terminach pomiarów w okresie 2000–2015

Figure 7. The density of seedlings, low, medium and high saplings in individual measurement periods in 2000–2015

olszy ($p=0,005$) i wiązu ($p=0,005$). Grab cały czas stanowił przeważającą część całej warstwy odnowienia. W okresie objętym pomiarami następowało szybkie zwiększenie ilości odnowienia klonu. Z gatunku początkowo o średnim udziale, po roku 2008 stał się gatunkiem drugim pod względem sumy wysokości drzew. Ilość odnowienia olszy zwiększyła się w okresie 2011–2015, a wiązu w okresie 2002–2004 i później pozostała na podobnym poziomie. W przypadku sosny, dębu, jesionu i lipy średnia suma wysokości drzew danego gatunku pozostawała na zbliżonym poziomie ($p>0,05$). Dąb, a zwłaszcza sosna, były gatunkami, których odnowienie było nieliczne. Choć suma wysokości drzew odnowienia lipy była stabilna w okresie objętym pomiarami, to w poszczególnych terminach pomiarów ten gatunek był drugim-czwartym ze względu na udział w całej warstwie odnowienia. Skład gatunkowy warstwy odnowienia w drzewostanach Rezerwatu Ścisłego BPN uległ – ze względu na sumę wysokości drzew – nieco większej zmianie niż skład gatunkowy (według miąższości) warstwy macierzystej. Wskaźnik Morisita podobieństwa struktury gatunkowej odnowienia w roku 2000 i 2015, wyniósł 0,937.

5. Dyskusja

W latach 2000–2015 pięciokrotnie wykonano pomiary na 160 stałych powierzchniach próbnych, równomiernie rozmieszczonych w drzewostanach Rezerwatu Ścisłego BPN. Pomiary powtarzane w stosunkowo krótkich odstępach czasu umożliwiły poznanie niektórych, dość szybko zachodzących, zmian stanu nizinnego lasu naturalnego, a w tym: poznanie terminu wystąpienia danego zjawiska, okresu jego trwania

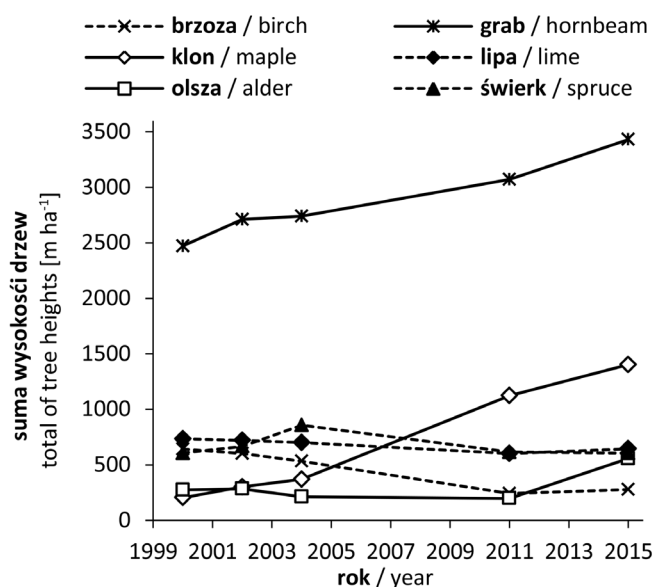
oraz intensywności. W przypadku zjawisk podlegających niewielkiej fluktuacji, zastosowanie częstych pomiarów umożliwiło upewnienie się co do ich stabilności.

Z najważniejszych zjawisk, zaobserwowanych dzięki dość często powtarzanym pomiarom, należy wymienić:

- okresowe zamieranie świerka, głównie w następstwie żerowania kornika drukarza,
- zamieranie jesionu w następstwie oddziaływania grzyba *Chalara fraxinea*,
- okresowe zamieranie olszy (prawdopodobnie w następstwie suszy),
- zwiększenie ilości odnowienia olszy (prawdopodobnie w następstwie pojawienia się nowych siedlisk dostępnych w okresie suszy),
- zwiększenie intensywności zamierania klonu,
- zwiększenie ilości odnowienia klonu,
- okresowe zamieranie młodych osik (głównie pochodzących z odrośli) w następstwie chorób grzybowych,
- ciągle zwiększanie się ilości odnowienia grabu,
- obecność grupy gatunków drzew znacząco zwiększających swój udział, jak i grupy gatunków zmniejszających swój udział w ogólnym zapasie drzewostanów.

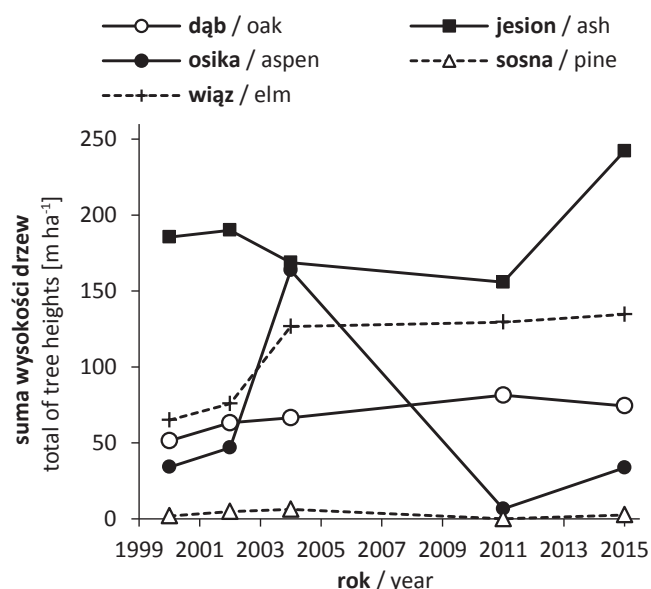
Niektóre z tych zjawisk wystąpiły nie tylko w BPN, ale i na obszarze Polski (lub większym), a niektóre w skali regionalnej. Część z nich wiązała się zapewne ze specyficzną strukturą drzewostanów Rezerwatu Ścisłego BPN.

Intensywne zamieranie świerka wskutek żerowania kornika drukarza w latach 2000–2004 miało miejsce zarówno w drzewostanach BPN, jak i w drzewostanach gospodarczych Puszczy Białowieskiej (Michalski et al. 2004). Według dostępnych danych (Miścicki 2012) objętość pni świerków



Rycina 8a. Suma wysokości najczęstszych gatunków drzew warstwy odnowienia w poszczególnych terminach pomiarów w okresie 2000–2015

Figure 8a. The total height of the most frequent tree species in the regeneration layer in individual measurement periods in 2000–2015



Rycina 8b. Suma wysokości mniej licznych gatunków drzew warstwy odnowienia w poszczególnych terminach pomiarów w okresie 2000–2015

Figure 8b. The total height of the less frequent tree species in the regeneration layer in individual measurement periods in 2000–2015

zamarłych w tym okresie w drzewostanach Rezerwatu Ścisłego BPN wyniosła 81 000 m³. W odniesieniu do ich zapasu było to znacznie więcej niż w drzewostanach gospodarczych lub rezerwatach w pozostałej części Puszczy Białowieskiej (122 000 m³; według niepublikowanych danych z nadleśnictw Białowieża, Browsk i Hajnówka). Jednak w latach 2012–2015, według danych użytych w tej pracy, nie odnotowano tak intensywnego zamierania świerków jak w otaczających BPN drzewostanach gospodarczych lub rezerwatach (ok. 333 000 m³; według niepublikowanych danych z nadleśnictw Białowieża, Browsk i Hajnówka). Można to interpretować w taki sposób, że w Rezerwacie Ścisłym BPN znaczna część osobników świerków wrażliwych na zerowanie kornika drukarza została zabita podczas wcześniejszej gradacji w latach 2000–2004.

Zamieranie jesionu odnotowano w Polsce w roku 1992 (Turczański 2016). W BPN znaczące nasilenie tej choroby, w pierwszej fazie najlepiej zauważalne na drzewach młodych, przypadło nieco później – w roku 1999. Wyniki niniejszej pracy wskazały, że do roku 2002 przyrost jesionów jeszcze przeważał nad ubytkami. Jednak później nasilenie choroby było duże. W kolejnych latach zapas grubizny jesionów ciągle zmniejszał się, w roku 2015 dochodząc do 1/3 stanu sprzed 13 lat. Otwarte pozostaje pytanie, czy liczebność jesionu w Rezerwacie Ścisłym BPN zmniejszy się w przyszłości do poziomu liczebności np. wiązu górskiego. Pozytywnym zjawiskiem, stwierdzonym w okresie badań, była stabilna obecność odnowienia jesionu. Jednak przejście młodych drzew tego gatunku do warstwy odnowienia może być utrudnione z powodu oddziaływania roślinożernych ssaków kopytnych. Jesion jest jednym z najczęściej zgryzanych gatunków drzew (Miścicki 1996).

Innym zjawiskiem, godnym szerszego omówienia, było znaczące zwiększenie ilości odnowienia klonu zwyczajnego. Było to zjawisko podobne do tego, które zaobserwowano po I wojnie światowej (Paczoski 1930), choć w latach 2000–2015 nie było równoległego obfitego odnowienia lipy. Zwiększenie ilości odnowienia klonu na siedliskach grądowych nastąpiło w rezerwatach położonych na terenie Warszawy znacznie wcześniej. Świadczy o tym fakt, że klon stał się bardzo liczny lub nawet dominującym gatunkiem nie tylko w nalocie i podroście niskim, ale także w podroście średnim, wysokim i w drugim piętrze drzewostanów (Fiedoruk 2015; Pelc 2016; Przypaśniak 2016). Wyjaśnieniem tego zjawiska mogłoby być przyjęcie założenia, że zwiększenie ilości odnowienia klonu jest związane z ocieplaniem klimatu. Stopniowe przesuwanie się strefy temperatury optymalnej dla tego gatunku z zachodu na wschód mogłoby wyjaśniać, dlaczego w BPN to obfite odnowienie pojawiło się dopiero niedawno. Jednak, tak jak w przypadku jesionu, zwiększone zagęszczenie drzew młodej generacji klonu nie gwarantuje znaczącego zasilenia przez niego macierzystej warstwy drzew w przyszłości. Przeszkodą może być to, że klon jest gatunkiem chętnie zgryzanym przez roślinożerne ssaki kopytne i wrażliwym na takie uszkodzenie (Kuijper 2010a).

Ważnym wynikiem niniejszej pracy wydaje się być poznanie, że średnia zasobność (a stąd zapewne i biomasa) drzewostanów Rezerwatu Ścisłego BPN w piętnastoletnim okresie podlegała tylko niewielkiej fluktuacji. Wynik ten można odnieść do danych zaprezentowanych w pracy Brzezieckiego i in. (2016), dotyczących zmian pierśnicowego pola przekroju drzew drzewostanów tego obiektu w okresie 1936–2012. Cecha ta osiągnęła największą wartość w roku 1957, a po tym terminie podlegała niewielkiej fluktuacji. Choć trudno jest bez dodatkowych danych przeliczyć pierśnicowe pole przekroju na zasobność, to jednak dość silna zależność między tymi cechami, istniejąca w danym lesie, upoważnia do przyjęcia, że średnia zasobność drzewostanów w długim okresie pozostawała na podobnym poziomie. Należy podkreślić, że w okresie 2000–2015 średnia zasobność drzewostanów Rezerwatu Ścisłego BPN podlegała tylko niewielkiej fluktuacji, mimo pojawienia się znaczących zaburzeń: zamierania świerków w następstwie gradacji kornika drukarza (w latach 2000–2004 wydzieliło się ok. 20% w stosunku do zapasu w roku 2000) i zamierania jesionu (wydzieliło się ok. 75% w stosunku do zapasu w roku 2000). W roku 2005 niektóre partie drzewostanów Rezerwatu Ścisłego BPN zostały zniszczone przez huragan, ale w skali całego obiektu okazało się to być zaburzeniem niewielkim.

W interpretacji stabilności średniej zasobności należy przyjąć, że las w Rezerwacie Ścisłym BPN jest mozaiką różnych drzewostanów (płatów). Ta mozaika odzwierciedla różne warunki siedliskowe, zmienność składu gatunkowego i wieku drzew. Ponadto długi okres ochrony zapewne przyczynił się do powstania dość regularnej struktury wiekowej drzew w skali całego lasu. Shugart (1984) uznał, że stan pseudo-równowagi (równowagi w sensie statystycznym) w skali krajobrazu uzyskuje się, gdy zaburzenia w lesie są małe w odniesieniu do jego powierzchni, a struktura wiekowa drzew jest kompletna i stabilna. Whittaker i Levin (1977) podobnie określili, że efekt zaburzeń, którym jednocześnie podlegają niektóre płaty tworzące mozaikową strukturę, w odpowiednio rozległym krajobrazie (lesie) może być neutralizowany przez brak zaburzeń w innych płatach. Należy z tego wnosić, że w lesie o niewielkiej powierzchni możliwe jest pojawienie się relatywnie dużych zaburzeń. Przykładem może być zmiana zasobności drzewostanów Obszaru Ochrony Ścisłej „Bukowa Góra” o powierzchni 128 ha, położonego w Roztoczańskim Parku Narodowym. W roku 1974 huragan spowodował zniszczenie około 1/3 zapasu grubizny (Gazda, Miścicki 2016). Od tego momentu nie notowano większych zaburzeń i średnia zasobność systematycznie zwiększała się, po 30 latach przekraczając stan sprzed katastrofy.

Jaroszewicz i in. (2016) krytycznie ocenili odpowiedność badania struktury lasu w Rezerwacie Ścisłym BPN z użyciem pięciu transektów o powierzchni od 1,20 do 5,22 ha, użytych w badaniach Brzezieckiego i in. (2016). Podkreślili m.in., że drzewostany złożone z gatunków iglastych mogą ulec całkowitej destrukcji na powierzchni znacznie większej niż objęte transektem, co potem doprowadzi do powstania odnowienia w jednym czasie na tej powierzchni. Rzeczywiście, ten

przykład wskazuje na niebezpieczeństwo wystąpienia nieproporcjonalnej reprezentacji jakiegoś zjawiska – zwłaszcza następstwa zaburzenia obejmującego rozległy obszar. Jednak wspomniane transekty zawierają pewną mozaikę siedlisk. Przyjmując teorię Whittakera i Levina (1977), można stwierdzić, że szansa na pojawienie się jednej łącznej powierzchni objętej zaburzeniem jest niewielka.

Posługując się przykładem świerka, czyli gatunku w okresie 2000–2015 podlegającego najsilniejszej destrukcji, należy wskazać, że poszczególne klasy pierśnic były w różnym stopniu atakowane przez kornika drukarza (Miścicki 2012). Seidl i in. (2007) podali m.in., że wilgotność gleby, udział świerków w drzewostanie, ich wiek, pierśnicowe pole przekroju, wpływają na intensywność zamierania drzew tego gatunku. W Rezerwacie Ścisłym BPN świerk występuje na niemal wszystkich siedliskach, choć jego udział jest zróżnicowany. Podczas gradacji kornika drukarza struktura drzewostanów w różny sposób bywała przekształcona, w zależności od tego jaki był udział świerka i jaka ich część zamarła. Oznacza to, że w Rezerwacie Ścisłym BPN jednocześnie mogą istnieć różne postacie dynamiki drzewostanów, podobne do tych opisanych m.in. przez Shorohovą i in. (2009): tworzenie jednowiekowych drzewostanów odnawiających się po zaburzeniu, powstanie drzewostanów z kohort pojawiających się po kolejnych etapach zaburzeń, odnowienie w średniej skali w formie płatów w miejscu zamarłych drzew, odnowienie w małej skali w lukach utworzonych po zamarcu niewielkich grup drzew.

Zapewne tylko pożar lasu na dużym obszarze mógłby spowodować nadreprezentację obszarów z zaburzeniami w obrębie tzw. powierzchni badawczych Włoczewskiego. Bobiec (2002) podkreślał, że większość drzewostanów w Rezerwacie Ścisłym BPN rośnie na siedliskach „niepalnych” i tylko uszkodzenia spowodowane przez wiatr i gradacje owadów mogą być znaczącymi czynnikami oddziałującymi na strukturę lasu. W badaniach z wykorzystaniem licznych, systematycznie rozmieszczonych powierzchni próbnych, pokrywających cały obszar Rezerwatu Ścisłego BPN, znacznie zmniejszone zostało niebezpieczeństwo niewłaściwego odzorowania skali zjawisk zachodzących w lesie.

6. Wnioski

- Określenie zmian drzewostanów w tzw. Rezerwacie Ścisłym BPN wykonano, stosując pomiary w stosunkowo krótkich odstępach czasu, na 160 stałych powierzchniach próbnych. Dzięki temu możliwe było wykazanie zmian wielu cech charakteryzujących drzewostany.

- Stosunkowo krótkie odcinki czasu pomiędzy pomiarami pozwoliły stwierdzić, że niektóre zjawiska w lesie naturalnym zachodzą stosunkowo szybko lub podlegają znacznej zmienności. W Rezerwacie Ścisłym BPN najważniejszymi przykładami były: fluktuacja sumy miąższości grubizny zamierających świerków zamierających świerków, duże tempo zamierania jesionów, zwiększanie się sumy wysokości klonów w warstwie odnowienia.

- Ubogi skład gatunkowy podrostu wysokiego oraz tylko pięć gatunków dorastających z warstwy odnowienia do warstwy macierzystej wskazują, że należy się spodziewać stopniowego zmniejszania urozmaicenia gatunkowego drzewostanów w Rezerwacie Ścisłym BPN.

Konflikt interesów

Autor deklaruje brak potencjalnych konfliktów.

Źródła finansowania badań

Badania wykonano w ramach projektu „LIFE+ ForBioSensing PL Kompleksowy monitoring dynamiki drzewostanów Puszczy Białowieskiej z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych” (umowa z Komisją Europejską: LIFE13 ENV/PL/000048; umowa z Narodowym Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej 485/2014/WN10/OP-NM-LF/D).

Literatura

- Bernadzki E., Bolibok L., Brzeziecki B., Zajączkowski J., Żybura H. 1998. Compositional dynamics of natural forests in the Białowieża National Park, northeastern Poland. *Journal of Vegetation Science* 9(2): 229–238. DOI 10.2307/3237122.
- Bobiec A. 2002. Living stands and dead wood in the Białowieża forest: suggestions for restoration management. *Forest Ecology and Management* 165: 125–140. DOI 10.1016/S0378-1127(01)00655-7.
- Bolibok L. 2014. Przestrzenne uwarunkowania przemian składu gatunkowego drzewostanów Białowieskiego Parku Narodowego – powstawanie, przeżywalność i awans dorostów. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, Rozprawy Naukowe i Monografie 275. ISBN 978-83-7583-551-9.
- Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L., Zasada M. 2000. Wzory empiryczne do określania wysokości i pierśnicowej liczby kształtu grubizny drzewa. *Sylwan* 10: 5–13.
- Brzeziecki B., Keczyński A., Zajączkowski J., Drozdowski S., Gawron L., Buraczyk W., Bielak K., Szeligowski H., Dzwonkowski M., Ostrowski J., Widawska Z. 2010. Operat dynamiki ekosystemów leśnych Białowieskiego Parku Narodowego. Maszynopis w Katedrze Hodowli Lasu. SGGW, Warszawa.
- Brzeziecki B., Pommerening A., Miścicki S., Drozdowski S., Żybura H. 2016. A common lack of demographic equilibrium among tree species in Białowieża National Park (NE Poland): evidence from long-term plots. *Journal of Vegetation Science* 27(3): 460–469. DOI 10.1111/jvs.12369.
- Chwistek K. 2007. Kierunki i dynamika zmian składu gatunkowego i struktury drzewostanów Ojcowskiego Parku Narodowego w latach 1990–2003. *Prądnik, Prace Muz. Szafera* 17: 95–111.
- Chwistek K. 2010. Zmiana składu gatunkowego i struktury drzewostanów Gorczańskiego Parku Narodowego w latach 1992–2007. *Ochrona Beskidów Zachodnich* 3: 79–92.
- Dziewolski J. 1980. Statystyczno-matematyczna metoda inwentaryzacji drzewostanów na przykładzie rezerwatu w masywie Trzech Koron w Pieninach w latach 1972 i 1974. *Ochrona Przyrody* 43: 157–187.

- Faliński J.B. 1986. Vegetation dynamics in temperate lowland primeval forests: ecological studies in Białowieża forest. Junk Publishers, Dordrecht, 537.
- Fiedoruk Z. 2015. Ocena stanu i zmian drzewostanów Lasu Białeńskiego w okresie 1992–2012. Maszynopis pracy magisterskiej. SGGW, Warszawa.
- Gazda A., Miścicki S. 2016. Prognoza rozwoju drzewostanów lasu naturalnego z wykorzystaniem modelu według klas wymiarów. *Sylwan* 3: 207–218.
- Horn H. 1966. Measurement of 'overlap' in comparative ecological studies. *The American Naturalist* 100: 419–424.
- Jaroszewicz B., Bobiec A., Eycott A.E. 2016. Lack of demographic equilibrium indicates natural, large-scale forest dynamics, not a problematic forest conservation policy – a reply to Brzeziecki et al. *Journal of Vegetation Science* 27(5): (Early view). DOI 10.1111/jvs.12458.
- Koop H. 1989. Forest dynamics. SILVI-STAR: a comprehensive monitoring system. Springer Verlag, Berlin, 229. ISBN 3-540-51577-1.
- Kuijper D.P.J., Cromsigt J.P.G.M., Jędrzejewska B., Miścicki S., Churski M., Jędrzejewski W., Kwezclich I. 2010a. Bottom-up versus top-down control of tree regeneration in the Białowieża Primeval Forest, Poland. *Journal of Ecology* 98: 888–899. DOI 10.1111/j.1365-2745.2010.01656.x.
- Kuijper D. P. J., Jędrzejewska B., Brzeziecki B., Churski M., Jędrzejewski W., Żybura H. 2010b. Fluctuating ungulate density shapes tree recruitment in natural stands of the Białowieża Primeval Forest, Poland. *Journal of Vegetation Science* 21(6): 1–17. DOI 10.1111/j.1654-1103.2010.01217.x.
- Michalczyk C. 2001. Siedliska i drzewostany Białowieżskiego Parku Narodowego. *Phytocoenosis* 13 (N.S.) Supplementum Cartographiae Geobotanicae 13, Warszawa – Białowieża.
- Michalski J., Starzyk J.R., Kolk A., Grodzki W. 2004. Zagrożenie świerka przez kornika drukarza *Ips typographus* (L.) w drzewostanach Leśnego Kompleksu Promocyjnego Puszcza Białowieża w latach 2000–2002. *Leśne Prace Badawcze* 3: 5–30.
- Miścicki S. 1996. Forest regeneration and its damage by herbivorous ungulates in the Białowieża National Park, w: Biodiversity protection of Białowieża Primeval Forest. (red. P. Paschalis, S. Zajączkowski) Fundacja „Rozwój SGGW”, Warszawa, 91–108. ISBN 83-86241-92-6.
- Miścicki S. 2012. Structure and dynamics of temperate lowland natural forest in the Białowieża National Park, Poland. *Forestry* 85(4): 473–483. DOI 10.1093/forestry/cps044.
- Miścicki S., Nowicka E. 2007. Pomiar zasobów leśnych z wykorzystaniem stałych koncentrycznych powierzchni próbnych – problemy i próby rozwiązań. *Sylwan* 8: 15–26.
- Paczoski J. 1930. Lasy Białowieży. Monografie Naukowe, nr 1. Państwowa Rada Ochrony Przyrody, Poznań, 579.
- Parviainen J., Bücking W., Vanderklove K., Schuck A., Päivinen R. 2000. Strict forest reserves in Europe: efforts to enhance biodiversity and research on forests left for free development in Europe (EU-COST-Action E4). *Forestry* 73(2): 107–118. DOI 10.1093/forestry/73.2.107.
- Pelc M. 2016. Zmiany odnowienia Lasu Natolińskiego w okresie 2005–2015. Maszynopis pracy magisterskiej. SGGW, Warszawa.
- Przybylska K. 1977. Wyniki statystyczno-matematycznej kontroli zapasu i przyrostu w jedlinach pod Huzarami. *Acta Agraria et Silvicultura, Series: Silvestris* 18: 65–80.
- Przypaśniak M. 2016. Zmiany drzewostanów Lasu Natolińskiego w okresie 2005–2015 oraz latach wcześniejszych. Maszynopis pracy magisterskiej. SGGW, Warszawa.
- Rutkowski B., Poznański R., Przybylska K. 1972. Wstępne wyniki zastosowania statystyczno-matematycznego kontrolnego sposobu inwentaryzacji w rezerwacie Turbacz im. Wł. Orkana w Gorchach. *Zeszyty Naukowe WSR Kraków, Leśnictwo* 7: 45–69.
- Schmid-Haas P. 1989. Schweizer Kontrollstichprobenverfahren in der Forsteinrichtung. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 140(1): 43–56.
- Seidl R., Baier P., Rammer W., Schopf A., Lexer M.J. 2007. Modeling tree mortality by bark beetle infestation in Norway spruce forests. *Ecological Modelling* 206: 383–399. DOI 10.1016/j.ecolmodel.2007.04.002.
- Shorohova E., Kuuluvainen T., Kangur A., Jõgiste K. 2009. Natural stand structures, disturbance regimes and successional dynamics in the Eurasian boreal forests: a review with special reference to Russian studies. *Annals of Forest Science* 66: 201–220. DOI 10.1051/forest/2008083.
- Shugart H.H. 1984. A theory of forest dynamics. The ecological implications of forest succession models. Springer Science+Business Media, New York, 278. ISBN 978-1-4612-6461-3.
- Turczański K. 2016. Występowanie i proces rozprzestrzeniania się *Chalara fraxinea* na jesionie wyniosłym (*Fraxinus excelsior* L.) na terenie wybranych krajów Europy Północnej. *Sylwan* 7: 539–546.
- Whittaker R.H., Levin S.A. 1977. The role of mosaic phenomena in natural communities. *Theoretical Population Biology* 12: 117–139.