

Leszek Bolibok¹✉, Tadeusz Andrzejczyk¹, Stanisław Drozdowski¹, Henryk Szeligowski¹

Wysokość siedmioletnich odnowień dębowych na gniazdach w różnych warunkach siedliskowych

The height of seven-year-old oaks growing in gaps in different forest habitats

Abstract. Spatial variability in the height of planted oak saplings was investigated at three different sites: deciduous, mixed deciduous and mixed coniferous forest types in artificial gaps of size about 15 and 23 ares (1 are = 100 m²). (four gaps for 'gap size – forest site' combination). The height of planted trees was measured on five circular plots (radius 3 m) placed in the gap centre and 9 meters from southern, northern, eastern and western gap borders. At the deciduous forest site, the tallest 7-year-old oaks were growing in the northern part of the gaps and oak height diminished towards the south. The opposite growth pattern was observed in the remaining forest sites. The water holding capacity of rich soils is usually greater than that of poor soils, and we attribute the observed trends to good water supplies for young oaks allowing them to grow better on the northern side of gaps where they receive more light; whereas on poor soils moisture is more important. There was no biologically significant difference between the heights of oaks in gaps of 15 ares and gaps of 23 ares at the mixed deciduous forest site. This suggests that it may be possible for foresters to cut larger gaps while still promoting regeneration without a loss in productivity.

Key words: directional differentiation, gradient of growth conditions

1. Wstęp

W lasach Polski dąb jest powszechnie odnawiany sztucznie na gniazdach. Zasady hodowli lasu (2003) zalecają rębnię gniazdową zupełną (IIIa) i jej różne modyfikacje do stosowania w szerokim zakresie siedlisk mezotroficznych i eutroficznych (BMśw, BMw, LMśw, LMw, Lśw, Lw). Siedliska te stwarzają młodemu pokoleniu drzew bardzo różne warunki zaopatrzenia w wodę i składniki pokarmowe, jak też zróżnicowane warunki konkurencji roślinności zielonej. Zróżnicowanie warunków ekologicznych może przekładać się m.in. na tempo wzrostu wysokości odnowień dębu i wpływać na wiek, w którym osiągają one wysokość zabezpieczenia biologicznego. Ponieważ wielkość gniazd znacząco wpływa na warunki świetlne i termiczne, w jakich wzrastają odnowienia (Tomanek 1958), również ten czynnik może wpływać na długość okresu odnowienia (ew. długość okresu pozostawiania odnowienia na gnieździe). Zale-

cenia dotyczące wielkości gniazd (Puchalski, Prusinkiewicz 1990; Jaworski 1995; Bernadzki 2000; Puchalski 2000; ZHL 2003) mają bardzo ogólny charakter i najczęściej dla poszczególnych gatunków sugerowana jest określona wielkość gniazda, bez zwracania uwagi na sposób odnowienia, siedlisko czy użyty materiał sadzeniowy.

Również mało rozpoznane jest przestrzenne zróżnicowanie cech odnowień w obrębie gniazda i jego znaczenie hodowlane. Analiza przestrzennej zmienności wysokości dębów na gnieździe może być przesłanką do identyfikacji czynników ograniczających wzrost i do podjęcia korygujących działań hodowlanych. Do najczęściej wymienianych czynników wpływających na zróżnicowanie przestrzenne wzrostu odnowień w obrębie gniazda należą: konkurencja korzeniowa starych drzew i roślin runa oraz warunki świetlne i wilgotnościowe.

¹ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Katedra Hodowli Lasu ul. Nowoursynowska 159, budynek 15, pok. 51B, 02-787 Warszawa; ✉ leszek_bolibok@sggw.pl

Przyhamowanie wzrostu odnowień w obwodowych partiach gniazda może być skutkiem silnej konkurencyjnej korzeniowej starych drzew otaczających gniazdo (Bolibok 2009), szczególnie w strefie o szerokości około 6 metrów od krawędzi gniazda. W przypadku odnowień dębowych na siedlisku LMśw, badanych przez Boliboka i Auchimika (2010) 5-letnie drzewka w obwodowych częściach gniazd były około 20% niższe niż w części centralnej, a z czasem różnica ta pogłębiła się, wynosząc 40% w 11-letnich odnowieniach.

Ważnym czynnikiem wpływającym na zmienność wysokości odnowień w obrębie gniazd jest zachwaszczenie. Gray i Spies (1996) przypuszczają, że silna konkurencja chwastów sprawiła, że na niektórych z badanych przez nich gniazdach odnowienie gatunków iglastych w obwodowych i wewnętrznych częściach gniazd mało różniło się wysokością. W przypadku dębów podobne zjawisko opisała Collins (2003). Na nieodchwaszczanych poletkach kontrolnych dęby rosnące w centrum gniazd miały niższą wysokość niż dęby na obrzeżach.

Często podkreślanym czynnikiem różnicującym warunki wzrostu w obrębie gniazda jest gradient warunków świetlnych na osi NS (Canham 1988; Gray et al. 2002; Bolibok, Andrzejczyk 2008). Analizując wpływ tego czynnika na wysokość drzewek, warto zwrócić uwagę na dwie główne składowe kształtujące warunki świetlne: podaż światła bezpośredniego i rozproszonego. Zróżnicowanie warunków świetlnych w obrębie gniazda w największym stopniu zależy od wysokości otaczającego drzewostanu (H) i długości osi gniazda na kierunku północ-południe (D). Do dna luk i bardzo małych gniazd ($D/H < 0,3$) światło bezpośrednie może w ogóle nie docierać bądź może padać za ich północną granicę (Canham 1988). Do bardzo małych gniazd dociera głównie światło rozproszone z błękitnego nieba bądź rozproszone przez chmury i niewielkie ilości światła odbitego od otaczających drzew (Endler 1993). Na bardzo małych gniazdach ogólna podaż światła jest stosunkowo wyrównana w obrębie gniazda (Gray et al. 2002). Na półkuli północnej wraz ze zwiększaniem się długości osi gniazda na kierunku NS do jego północnej części stopniowo zaczyna docierać coraz więcej światła bezpośredniego, niezastłaniane przez otaczające drzewa (Gray et al. 2002). Równocześnie obserwuje się wzrost różnicy podaży światła rozproszonego w centrum gniazda w porównaniu do jego brzegów. Ilość światła rozproszonego docierającego do dna lasu jest bowiem wprost proporcjonalna do części nieboskłonu niezastłoniętej przez drzewa i wraz ze zwiększaniem się gniazda z jego centrum widać zdecydowanie więcej nieboskłonu niż z brzegów gniazda. Przeprowadzona przez Roussella (1972) teoretyczna analiza ogólnej dostępności promieniowania słonecznego na kolistych gniazdach wskazuje,

że przy stosunku $H/D > 0,75$ północna część gniazda otrzymuje więcej promieniowania niż jego centrum. Największej różnicy pomiędzy centrum i północną częścią gniazda można oczekiwać przy $H/D \approx 1,2$. Przy dalszym zwiększaniu rozmiarów gniazda różnica ta zmniejsza się i ogólna podaż światła w północnej części gniazda i w centrum zrównuje się przy $H/D \approx 1,6$. Na większych gniazdach północna ich część ma mniejszą ogólną podaż światła niż centrum. Zjawisko to wynika z faktu, że po przekroczeniu pewnej wartości D , drzewostan rosnący na południowym skraju gniazda praktycznie przestaje ograniczać dostęp światła bezpośredniego do północnej części gniazda, natomiast drzewostan rosnący przy północnym skraju gniazda ciągle ogranicza dopływ światła rozproszonego do tego miejsca. Tymczasem w pozycji centralnej wraz ze wzrostem rozmiarów gniazda stale rośnie obszar nieboskłonu niezastłonięty przez drzewa i w związku z tym wzrasta także podaż światła rozproszonego w porównaniu z pozycją północną na gnieździe.

Opisana teoretyczna zamiennosc w ogólnej podaży światła w różnych fragmentach gniazda jest modyfikowana przez jeden ważny i dość zmienny czynnik, jakim jest zachmurzenie (Weiss 2000; Mariscal et al. 2004). Może ono w istotny sposób modyfikować zmienność warunków świetlnych w obrębie gniazda. W lokalizacjach, gdzie obserwuje się dużą liczbę dni pochmurnych (m.in. na obszarze Polski), wzrasta znaczenie światła rozproszonego w ogólnej podaży światła. Wówczas nawet dla większych gniazd ($H/D > 1$) maksimum ogólnej podaży światła nie będzie znajdowało się w północnej części, lecz bliżej ich centrum (Tomanek 1974; Gray et al. 2002). Wielu autorów (m.in. York et al. 2003; Zhu et al. 2003), obserwując maksimum wysokości drzewek na gnieździe pomiędzy centrum i jego północną krawędzią, interpretuje to jako rezultat przestrzennej zmienności ogólnej podaży światła w jego obrębie.

Wilgotność gleby na gnieździe w klimacie umiarkowanym podlega wahaniom sezonowym i wieloletnim. Badania McNaba (1991) wskazują, że w okresie dużych opadów wilgotność gleby na gnieździe i pod sklepieniem drzewostanu są podobne. W okresie deficytu opadów drzewa zużywają zapas wody w glebie co prowadzi do większego spadku wilgotności gleby pod drzewostanem niż na gnieździe. Badania Ziemera (1964) wskazują, że w okresie deficytu opadów wilgotność gleby na gnieździe zależy od jego wieku. W miarę rozwoju odnowienia wilgotność gleby na gnieździe coraz bardziej upodabnia się do wilgotności gleby pod otaczającymi drzewostanami tak, że w 12-letnich gniazdach obserwowane różnice były praktycznie nieistotne.

Osiąganie przez odnowienie największej wysokości w centrum gniazda jest przez niektórych badaczy

(McNab 1991, York et al. 2003) objaśniane przestrzennym zróżnicowaniem wilgotności gleby na gniazdach. Badania McNaba (1991) wskazują, że wilgotność gleby wzrasta w miarę zbliżania się do środka luki, osiągając największą wartość w odległości zbliżonej do zasięgu koron drzew otaczających lukę. Autor wiąże ten wzrost wyjściem poza strefę zasięgu korzeni drzew. Badania Tomanka (1958, 1974) wskazują, że pewną rolę w przestrzennej zmienności wilgotności gleby na gnieździe mogą odgrywać opady, których dociera więcej do centrum gniazda niż do jego obrzeży (na osi NS gniazda). W Polsce przewaga wiatrów zachodnich powoduje na gniazdach powstanie zjawiska cienia opadowego. Wskutek tego do zawietrznej zachodniej części gniazd dociera mniej opadów niż do nawietrznej wschodniej.

Minckler i in. (1973) prowadzili badania w celu ustalenia wpływu wielkości gniazda i jego wystawy na wilgotność gleby. Brak istotnych różnic pomiędzy północną i południową wystawą autorzy ci wiążą z różnicami w składzie granulometrycznym gleb. Również Ziemer (1963) podkreślał rolę pojemności wodnej gleby w kształtowaniu się zmienności wilgotności gleby na gniazdach. Čater i Batič (2006) stwierdzili, że 5-letnie dęby z odnowienia sztucznego reagowały na spadek poziomu wód gruntowych najsilniejszym ograniczeniem przewodnictwa szparkowego liści i wydajności fotosyntezy w warunkach powierzchni otwartej. Pod osłoną przeredzonego drzewostanu, gdzie dostęp światła bezpośredniego był mniejszy, straty były mniejsze. Wpływ dostępności wilgoci w glebie na reakcję dębów na warunki świetlne podkreślają również Diaci i in. (2008). Według cytowanych autorów przestrzenna zmienność wysokości odnowień naturalnych dębu na gniazdach na siedliskach lepiej zaopatrzonych w wodę najsilniej była skorelowana z lokalną dostępnością światła bezpośredniego, natomiast na siedliskach gorzej zaopatrzonych w wodę – z lokalną podażą światła rozproszonego.

Deficyt wilgoci zaznacza się szybciej na glebach o małej pojemności wodnej. Można więc przypuszczać, że na różnych siedliskach różna dostępność dla roślin wody w glebie, będąca wynikiem także pośredniego oddziaływania promieniowania słonecznego będzie wpływała modyfikująco na przestrzenne zróżnicowanie wysokości odnowień w obrębie gniazda.

Mimo szerokiego stosowania rębni gniazdowej w naszych lasach wiedza na temat wzrostu dębu i innych gatunków na gniazdach jest bardzo skromna. Poznanie czynników ograniczających i sprzyjających wzrostowi dębu na gniazdach w powiązaniu z warunkami siedliskowymi może być przesłanką do doskonalenia zasad realizacji rębni gniazdowej. Celem pracy jest zbadanie, czy na kształtowanie się przestrzennej zmienności

wysokości odnowień dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) na gniazdach różnej wielkości, w kontekście optymalizacji wymiarów gniazd dla odnawiania dębu, ma wpływ siedlisko.

2. Teren i obiekt badań

Badania zostały przeprowadzone na terenie Nadleśnictwa Parczew (RDLP Lublin), które zgodnie z regionalizacją przyrodniczo-leśną Trampler i in. (1990) położone jest w Krainie IV. (Mazowiecko-Podlaskiej), w dzielnicach 5. (Niziny Podlaskiej i Wysoczyzny Siedleckiej) oraz 6. (Polesia Podlaskiego). Roczna suma opadów wynosi od 420 do 590 mm, średnia roczna temperatura powietrza 7,3–7,5°C. Przymrozki jesienne występują w końcu września lub w pierwszej dekadzie października, a przymrozki wiosenne bywają jeszcze w końcu maja, a niekiedy na początku czerwca. Dni mroźnych jest 40–55, dni z przymrozkami 120–125 (Operat zarządzania lasu Nadleśnictwa Parczew 2008). Nadleśnictwo Parczew położone jest w obszarze 2. strefy zagrożenia roślin przez przymrozki (Koźmiński, Michalska 2001), gdzie zagrożenie roślin uprawnych jest oceniane jako średnie.

Badania były prowadzone w czterech drzewostanach sosnowych na trzech typach siedliskowych lasu: BMśw (oddz. 168c), LMśw (oddz. 78a, 184b) i Lśw (oddz. 8b), w których była zastosowana rębni gniazdowa. Gniazda

Tabela 1. Charakterystyka gniazd objętych pomiarami
Table 1. Characteristic of investigated artificial gaps

STL Forest site type*	Klasa wielkości Size class	Powierzchnia Surface ar (100 m ²)	Oś długa Long axis m	Oś krótka Short axis m
BMśw	15	15,17	69	28
		15,29	59	33
		16,02	68	30
		16,83	67	32
LMśw	15	12,28	46	34
		13,63	56	31
		14,84	54	35
		15,17	46	42
LMśw	23	20,23	56	46
		24,19	70	44
		24,19	70	44
		24,19	70	44
Lśw	23	20,04	58	44
		20,04	64	40
		24,59	58	54
		23,97	71	43

* BMśw – fresh mixed coniferous forest, LMśw – fresh mixed deciduous forest, Lśw – fresh deciduous forest

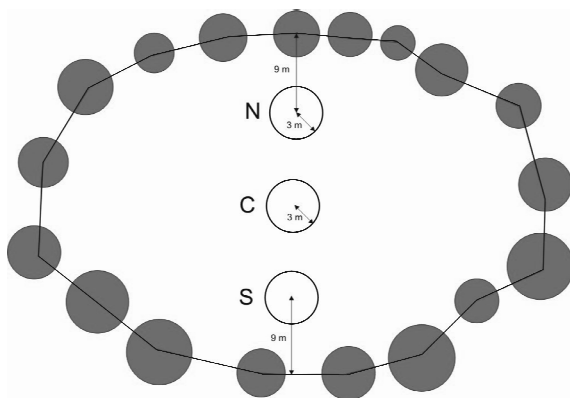
zostały sztucznie odnowione dębem szypułkowym (*Quercus robur* L.) (materiał sadzeniowy 2/0), który w momencie pomiarów był w wieku 7 lat.

Do badań wytypowano gniazda eliptyczne, o dłuższej osi zorientowanej w kierunku EW ($\pm 30^\circ$), otoczone pasem drzewostanu o szerokości odpowiadającej przynajmniej jednej jego wysokości. Pod względem powierzchni gniazda zostały zakwalifikowane do dwóch klas wielkości: 15 arów (zakres 12–17 ar; średnio 14,9 ar) i 23 ary (zakres 20–26 ar; średnio 22,7 ar). Uwzględniając trzy typy siedliskowe lasu (BMśw, LMśw, Lśw) i dwie klasy wielkości gniazd możliwe było zrealizowanie czterech wariantów doświadczenia: gniazda 15-arowe na siedlisku BMśw (BM15) i LMśw (LM15), gniazda 23-arowe na siedlisku LMśw (LM23) i Lśw (L23). W każdym z czterech wariantów doświadczenia pomierzono dęby na czterech gniazdach (tab. 1).

3. Metodyka

Badania terenowe

Na każdym gnieździe zmierzono wysokość dębów na trzech kołowych powierzchniach próbnych ($r=3$ m), rozmieszczanych wzdłuż krótszej osi gniazda na kierunku NS: w północnej (N), centralnej (C) i południowej (S) części gniazda (ryc. 1). Środki powierzchni skrajnych były oddalone 9 metrów od brzegu gniazda, jedynie w najwęższych gniazdach (28–32 m szerokości) odległość tę zmniejszono do 8 metrów. Takie położenie powierzchni skrajnych zastosowano w celu uniknięcia pomiaru drzewek znajdujących się w odległości mniejszej niż 6 (5) metrów od pni drzew otaczających



Rycina 1. Położenie powierzchni próbnych na badanych gniazdach. Granicę gniazda stanowi wielobok o wierzchołkach wyznaczonych przez pnie starych drzew otaczających gniazdo

Figure 1. The placement of circular sampling plots in the artificial gaps. The gap borders are assumed as polygon with vertices placed on base of canopy trees bordering the gap

gniazdo, w strefie największego wpływu systemów korzeniowych starych drzew. Środek centralnej powierzchni próbnej zawsze znajdował się w połowie krótszej osi gniazda (ryc. 1).

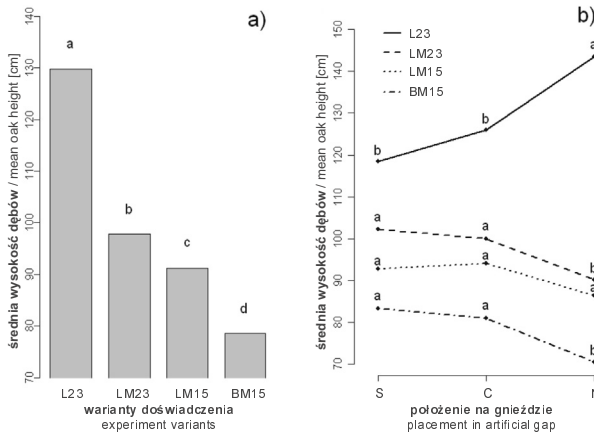
Analiza statystyczna

Pomiary terenowe zostały wykonane z zamiarem wykorzystania dwuczynnikowej analizy wariancji do zbadania wpływu żyzności siedliska i położenia na gnieździe na kształtowanie się wysokości siedmioletnich dębów. Po wykonaniu pomiarów okazało się, że średnia liczba dębów napotkanych na powierzchniach kołowych różni się dość znacznie: od 11,7 szt. w wariancie L23 do 19,7 szt. w wariancie BM15. Znaczne różnice w liczbie obserwacji pomiędzy wariantami tworzą nieortogonalny układ doświadczenia. Można ten problem rozwiązać, gdy za jednostkę statystyczną przyjmie się – zamiast wysokości pojedynczego drzewa – średnią wysokość drzew na powierzchni próbnej. W ten sposób powstaje układ ortogonalny, w którym każda kombinacja wariantu siedliskowego i położenia jest reprezentowana przez cztery wartości średniej wysokości z powierzchni próbnych założonych na czterech różnych gniazdach. Rozwiązanie to powoduje jednak utratę części informacji o obserwowanej zmienności wysokości drzewek. Z tego powodu do porównań wykorzystano test rang Kruskala-Wallisa (1952) oraz odpowiedni dla niego test porównań wielokrotnych (Conover 1999). W tej procedurze nie jest wymagana równa liczebność obserwacji we wszystkich wariantach doświadczenia. Do obliczeń wykorzystano implementację omawianych testów z biblioteki procedur *agricolae* napisaną dla pakietu R (R Development Core Team 2005) przez de Mendiburu (2009). W omawianych obliczeniach jako jednostkę statystyczną traktowano wynik pomiaru wysokości z pojedynczego drzewa. Dla dużej liczby jednostek statystycznych siła testu Kruskala-Wallisa jest porównywalna z klasycznym testem F (Adams et al. 2009), a więc nie zachodzi obawa, że istotność różnic została zaakceptowana pochopnie.

Jako pierwszą testowano hipotezę o wpływie warunków siedliskowych na wzrost dębów bez uwzględnienia ich położenia na gnieździe. Następnie oddzielnie dla każdego wariantu badano wpływ położenia na gnieździe na wysokość dębów. W analizach statystycznych przyjęto poziomo istotności $\alpha = 5\%$.

4. Wyniki

Na 16 gniazdach pomierzono wysokość 719 dębów. Ich średnia liczba na powierzchni próbnej wynosiła 15, a na 1 hektarze – 5300. W poszczególnych wariantach



Rycina 2. Średnia wysokość 7-letnich dębów w różnych wariantach eksperymentu (a) i w różnych częściach gniazd (b). Te same litery umieszczone w pobliżu wartości średnich oznaczają, że rozkład wysokości drzew w określonych pozycjach nie różni się istotnie

Figure 2. Mean height of seven-year old oaks: in different experiment variants (a) and in different parts (southern – S, central – C, north – N) of artificial gaps (b). The same letter near mean values means that distribution of tree height in specified positions do not differ significantly

doświadczenia oszacowane zagęszczenie dębów (szt./ha) różniło się dość znacznie: 4126 (L23), 4568 (LM15), 5541 (LM23), 6955 (BM15).

Kształtowanie się średniej wysokości dębów w badanych wariantach doświadczenia przedstawiono na rycinie 2a. Wraz ze wzrostem żyzności siedliska średnia wysokość dębu była większa. Test Kruskala-Walisa odrzucił hipotezę zerową, że rozkład wysokości dębów w poszczególnych wariantach jest taki sam. Test porównań wielokrotnych wyróżnił cztery grupy jednorodne, co wskazuje, że przy założonym poziomie istotności rozkład wysokości we wszystkich wariantach był różny. Oddzielnie dla każdego wariantu siedliskowego przeprowadzono porównanie wysokości osiąganą przez dęby w różnych położeniach w obrębie gniazd. Jedynie dla gniazd 15-arowych na siedlisku LMśw nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic. Dęby na siedlisku Lśw na gniazdach 23-arowych były w położeniu N istotnie wyższe niż w pozostałych położeniach. Odwrotne zróżnicowanie zaobserwowano w pozostałych wariantach doświadczenia (BM15 i LM23), w których dęby w pozycji N były niższe niż w pozostałych częściach gniazd.

5. Dyskusja

Użyty w analizie statystycznej test nieparametryczny porównywał podobieństwo rozkładu wysokości drze-

wek, wykazując że rozkład ten różni się istotnie we wszystkich analizowanych wariantach. Analizując wyniki na podstawie średnich wartości wysokości można zauważyć, że relatywnie mała bezwzględna wartość różnicy analizowanej cechy pomiędzy wariantami: L23, LM23, LM15 i BM15 (wynosząca odpowiednio 31, 6 i 13 cm) skłania do ostrożności przy interpretacji wyników statystycznych.

Istotność statystyczna niekoniecznie musi oznaczać biologiczną istotność obserwowanych różnic (Johnson 1999; Martinez-Abraín 2008). Jak zauważa Martinez-Abraín (2007), pytanie: „czy średnie wartości wybranej cechy różnią się istotnie w badanych populacjach?”, nie jest najlepsze z biologicznego punktu widzenia. Poprawniejsze jest pytanie, czy różnica pomiędzy wartościami wybranej cechy w badanych populacjach jest większa od pewnej wartości progowej, która ma znaczenie biologiczne lub inne (np. hodowlane) istotne dla analizowanego problemu. W badaniach dotyczących tempa wzrostu odnowień przy ocenie biologicznej istotności wyników można wykorzystać dotychczas wypracowane ustalenia lub zalecenia np. dotyczące pożądanej wysokości zabezpieczenia biologicznego odnowień na gniazdach (Włoczewski 1966). Dobry przykład mogą stanowić tu wyniki badań Boliboka i Szeligowskiego (2011) w których stwierdzono istotną statystycznie różnicę między średnią wysokością 10-letnich odnowień dębu rosnących na gniazdach na siedliskach BMśw i LMśw. Różnica ta miała również duże znaczenie biologiczne i hodowlane, ponieważ na siedlisku BMśw dęby zaledwie osiągnęły dolną granicę wysokości zabezpieczenia biologicznego (150 cm), a na LMśw przekroczyły górną (200 cm) o 70 cm.

W przypadku badanych 7-letnich dębów trudno wskazać czynnik ekologiczny lub zalecenie gospodarcze, które sprawiłyby, że zaobserwowane między wariantami różnice wysokości będą istotne z przyrodniczego lub czysto praktycznego punktu widzenia. Być może jedynie dęby z wariantu L23 (wyższe od dębów z kolejnego wariantu LM23 o 31 cm) miałyby mniejsze uszkodzenia pędów wierzchołkowych w przypadku wystąpienia przymrozków przygruntowych lub byłyby mniej zagrożone zgryzaniem przez sarny. Prawdopodobnie więc zaobserwowane różnice, chociaż istotne statystycznie, należałoby uznać za nieistotne z gospodarczego punktu widzenia. Z drugiej strony, można je traktować jako swego rodzaju diagnozę dotychczasowych warunków wzrostu i prognozę tendencji wzrostowej dębów rosnących na gniazdach w różnych warunkach siedliskowych. Stwierdzony wzrost średniej wysokości dębu wraz z polepszaniem się żyzności siedliska jest zgodny z innymi badaniami dotyczącymi wzrostu młodych upraw dębowych na gniazdach (Bolibok, Szeligowski 2011).

Minimalnie większa (o 5 cm) średnia wysokość osiągnięta przez 7-letnie dęby na siedlisku LMśw na gniazdach 23-arowych w porównaniu do gniazd 15-arowych koresponduje z wynikami badań 6-letnich dębów na tych samych siedliskach (por. Bolibok, Szeligowski 2011). Wynik ten potwierdza, że dla tego siedliska w warunkach przyrodniczych Nadl. Parczew nie ma istotnej gospodarczo różnicy między wzrostem dębów na gniazdach 15 i 23-arowych, co można traktować jako zachętę do stosowania większych gniazd z badanego zakresu.

Dąb w pierwszych latach uprawy zazwyczaj ma wolny wzrost na wysokość, natomiast intensywnie rozbudowuje system korzeniowy (Newbold, Goldsmith 1981). Dlatego też w okresie tym (3–4 lata po wysadzeniu) na ogół nie obserwowano jego reakcji wzrostowej na warunki środowiskowe i powstania zróżnicowania przestrzennego wysokości w obrębie gniazda (Bolibok, Auchimik 2010; Bolibok, Szeligowski 2011). Bolibok i Auchimik (2010) wykazali, że wyraźne zróżnicowanie wysokości dębów pomiędzy centrum i obrzeżem gniazda (w strefie konkurencji starych drzew) pojawia się u 7–8-letnich dębów (po 5–6 latach wzrostu na uprawie), podczas gdy w młodszych uprawach różnic nie było wcale lub były mało wyraziste. Podobnie w innych badaniach prowadzonych na terenie Nadleśnictwa Parczew (Bolibok, Szeligowski 2011) nie stwierdzono różnic wysokości 6-letniego dębu w obrębie gniazd ani na siedlisku BMśw, ani też LMśw. Wykazane w niniejszej pracy istotne zróżnicowanie wysokości dębu na gniazdach po 5 latach od jego posadzenia może wskazywać, że przestrzenne różnicowanie wysokości drzew w obrębie gniazda zaczyna się tworzyć z reguły w 5–6-letnich uprawach (dąb odpowiednio w wieku 7–8 lat). Od tego momentu wzrost uprawy dębowej na gnieździe zaczyna się coraz silniej różnicować w odpowiedzi na zróżnicowany poziom czynników środowiskowych w jego obrębie.

Kierunkowe zróżnicowanie wysokości odnowień dębu na gniazdach na siedlisku Lśw (niższej na południu i wyższej na północy) ma odmienny przebieg niż na pozostałych siedliskach (ryc. 2b). W obu przypadkach wyróżnia się (także statystycznie) najmocniej nasłoneczniona pozycja północna, lecz w pierwszym (Lśw) *in plus*, a w drugim (pozostałe siedliska) *in minus*. Na gniazdach na osi północ-południe najsilniej zaznacza się gradient dostępności światła bezpośredniego. Światło to niesie zarówno najwięcej energii aktywnej fotosyntezy (Endler 1993), jak i energii cieplnej, która może niekorzystnie oddziaływać na warunki wzrostu drzewek. Duża podaż światła bezpośredniego w północnej części gniazd podnosi temperaturę powietrza i gleby (Mierzejewski, Niedźwiedzki 1954; Tomanek 1958, 1974), co może prowadzić do wzmocnienia niedosytu

wilgotności w powietrzu oraz przesuszenia gleby w porównaniu ze środkową i południową częścią gniazda.

Przy porównywalnej wielkości gniazd (23 ary) warunki świetlne w północnej części gniazd powinny być podobne lub przynajmniej zbliżone, zarówno na siedlisku Lśw, jak i LMśw. Prawdopodobnie więc obserwowane różnice wysokości dębów na tych siedliskach są związane z siedliskowo uwarunkowaną reakcją dębów na dużą podaż światła bezpośredniego i jego pośrednim oddziaływaniem na inne czynniki środowiskowe, np. wilgotność gleby. Gleby świeżych siedlisk mezotroficznich (BMśw i LMśw) to najczęściej piaszczyste gleby rdzawe, które cechuje stosunkowo mała pojemności wodna ze względu na mały udział w ich uziarnieniu frakcji pyłu i części spławianych. Znacznie wyższe temperatury w części północnej gniazda i zwiększone z tego względu parowanie mogą być w takich warunkach siedliskowych przyczyną deficytu wilgoci częstszego i silniejszego niż na siedliskach żyznych (Lśw), z glebami o większych zdolnościach retencji wodnej.

Na gniazdach na siedlisku Lśw przestrzenne zróżnicowanie wysokości dębów koresponduje z lokalną dostępnością światła bezpośredniego, podobnie jak w badaniach Diaciego et al. (2008). Prawdopodobnie więc warunki glebowe (zaopatrzenie w wilgoć) na siedlisku Lśw pozwalały dębom w pełni wykorzystywać energię światła bezpośredniego na asymilację i wzrost.

Przyjmując założenie, że na słabszych siedliskach (LMśw, BMśw) dęby miały gorsze zaopatrzenie w wodę, można by oczekiwać zgodnie z obserwacjami Diaciego i in. (2008), że to podaż światła rozproszonego będzie miała dominujący wpływ na kształtowanie się przestrzennego zróżnicowania wysokości dębów. Takie założenie jednak nie potwierdza się, gdyż nie stwierdzono, by w tych warunkach najwyższe dęby występowały w centrum gniazd. Prawdopodobnie nadal światło bezpośrednie jest czynnikiem decydującym o przestrzennym zróżnicowaniu wysokości drzewek, ale na słabszych siedliskach oddziałuje ono na 7-letnie dęby negatywnie. Silna insolacja przy słabszym zaopatrzeniu w wodę modyfikuje fizjologię dębów (Raddi et al. 2009; Thomas, Gausling 2000), jak też ich morfologię (Gross et al. 1996). Młode dęby w takich warunkach ograniczają przyrost na wysokość (Dickson, Tomilison 1996) i silniej rozbudowują system korzeniowy (van Hees 1997). Jak pokazują doświadczenia fizjologiczne (Welander, Ottosson 2000), przy mniejszej dostępności składników pokarmowych dęby mniej efektywnie wykorzystują wodę, więc niska żyzność siedliska może być dodatkowym czynnikiem wzmagającym stres wystawionych na silną insolację drzewek.

Prawdopodobnie opisany wzorec przestrzennego zróżnicowania wysokości dębów jest charakterystyczny

na początkowym etapie wzrostu uprawy, gdy zaczyna się kształtować zróżnicowanie wysokości. Wraz ze zwiększaniem się rozmiarów drzew wznoszących się w gniazdach wymagania świetlne i stąd w starszym wieku mogą wykazywać jeszcze inny wzorzec przestrzennego zróżnicowania wysokości w obrębie gniazda, najlepiej przyrastając we fragmentach o największej dostępności światła (por. Bolibok, Szeligowski 2011).

Analiza przestrzennego zróżnicowania wysokości odnowień na gniazdach, poza walorem czysto poznawczym, może mieć także znaczenie praktyczne. Jeżeli 7-letnie drzewa w północnej części gniazda rosną bardziej dynamicznie niż w innych częściach gniazda, to może to być praktyczną wskazówką, że dobrze dobrano kształt i wielkość gniazda do warunków siedliskowych. Jeśli zagrożenie ze strony przymrozków nie jest w danej lokalizacji duże, można nawet rozważyć powiększenie gniazda przez ich poszerzenie na kierunku NS. Jeżeli obserwowana jest sytuacja odwrotna, szczególnie gdy drzewa w północnej części gniazda rosną zdecydowanie gorzej, to przy zakładaniu kolejnych gniazda na takim siedlisku można by rozważyć skrócenie osi NS gniazda przy jednoczesnym wydłużeniu osi EW (dla zachowania ich powierzchni).

6. Wnioski

Żyzność siedliska ma istotny wpływ zarówno na kształtowanie się średniej wysokości upraw drzewnych na gniazdach, jak też wzorca przestrzennego zróżnicowania wysokości odnowień w ich obrębie.

Zróżnicowanie wysokości 7-letnich drzew na gniazdach na żyznych siedliskach (Lśw) ma odmienny charakter niż na siedliskach mezotroficznym (BMśw i LMśw); na pierwszych wysokość odnowień zwiększa się w kierunku z południa na północ, na drugich natomiast maleje.

Wysokość drzew w uprawach na gniazdach 15 i 23-letnich była z hodowlanego punktu widzenia porównywalna, co stanowi przesłankę za stosowaniem większych gniazda.

Literatura

Adams S.A., Gayawan E., Garba M.K. 2009. Empirical Comparison of the Kruskal Wallis Statistics and its Parametric Counterpart. *Journal of Modern Mathematics and Statistics*, 3(2):38-42.

Aussenac G. 2000. Interactions between forest stands and microclimate: ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of Forest Science*, 57: 287–301.

Bernadzki E. 2000. Cięcia odnowieniowe. Warszawa, PWRiL, ISBN 83-09-01727-8.

Bolibok L. 2009. Regulacja warunków wzrostu odnowień na gniazdach – wpływ parametrów gniazda na oddziaływanie czynników biotycznych. *Sylwan*, 153(11): 733–745.

Bolibok L., Andrzejczyk T. 2008. Analiza zagęszczenia samosiewów brzozy i sosny na gniazdach na podstawie modelu promieniowania słonecznego. *Sylwan*, 152(2): 10–19.

Bolibok L., Auchimik J. 2010. Kształtowanie się wysokości upraw drzewnych w centrum i na obrzeżu gniazda na siedlisku LMśw. *Sylwan*, 156(6): 317–380.

Bolibok L., Szeligowski H. 2011. Wpływ warunków siedliskowych, wielkości gniazda oraz położenia w obrębie gniazda na wysokość 6- i 10-letnich drzew szypułkowych (*Quercus robur* L.). *Sylwan*, 155(2): 84–95.

Canham C.D. 1988. An index for understory light levels in and around canopy gaps. *Ecology*, 69: 1634–1638.

Čater M., Batič F. 2006. Groundwater and light conditions as factors in the survival of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) seedlings. *European Journal of Forestry Research*, 125(4): 419–426.

Collins B. 2003. Ground layer competition and herbivory effects on cherrybark oak (*Quercus pagoda* Raf.) regeneration in experimental canopy gaps. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 130(3): 147–157.

Conover W.J. 1999. Practical Nonparametric Statistics (3rd edition). Wiley, ISBN 978-0-471-16068-7.

Diaci J., Gyoerek N., Gliha J., Nagel T. A. 2008. Response of *Quercus robur* L. seedlings to north-south asymmetry of light within gaps in floodplain forests of Slovenia. *Annals of Forest Science*, 65: 105p1–105p8.

Dickson R.E., Tomlinson S.T. 1996. Oak growth, development and carbon metabolism in response to water stress. *Annals of Forest Science*, 53(2–3): 181–196.

Endler J.A. 1993. The color of light in forests and its implications. *Ecological Monographs*, 63(1): 1-27.

Gray A.N., Spies T.A. 1996. Gap size, within-gap position and canopy structure effects on conifer seedling establishment. *Journal of Ecology*, 84: 635–645.

Gray A.N., Spies T.A., Easter M.J. 2002. Microclimatic and soil moisture responses to gap formation in coniferous forests. *Canadian Journal of Forestry Research*, 32: 332–243.

Gross K., Homlicher A., Weinreich A., Wagner, E. 1996. Effect of shade on stomatal conductance, net photosynthesis, photochemical efficiency and growth of oak seedlings. *Annals of Forest Science*, 53: 279–290.

Jaworski A. 1995. Hodowla lasu (Rębnie. Zasady projektowania upraw). Kraków, Wydawnictwo AR.

Johnson D.H. 1999. The insignificance of statistical significance testing. *Journal of Wildlife Management*, 63(3): 763–772.

Koźmiński Cz., Michalska B. 2001. Zagrożenie roślin uprawnych przez wiosenne przymrozki przygruntowe. w: Atlas klimatycznego ryzyka uprawy roślin w Polsce (red. Cz. Koźmiński, B. Michalska). Szczecin, Uniwersytet Szczeciński.

Kruskal, W.H. and Wallis, W.A. (1952) Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47: 583-634.

Mariscal M.J., Martens S.N., Ustin S.L., Chen J., Weiss S.B., Roberts D.A. 2004. Light-transmission Profiles in an Old-growth Forest Canopy: Simulations of Photosynthetically

- Active Radiation by Using Spatially Explicit Radiative Transfer Models. *Ecosystems*, 7: 454–467.
- Martínez-Abraín A. 2007. Are there any differences? A non-sensical question in ecology. *Acta Oecologica*, 32: 203–206.
- Martínez-Abraín A. 2008. Statistical significance and biological relevance: a call for a more cautious interpretation of results in ecology. *Acta Oecologica*, 34: 9–11.
- McNab W. H. 1991. Factors affecting temporal and spatial soil moisture variation in and adjacent to group selection openings. Proceedings of the 8th Central Hardwood Forest Conference: 475–488.
- Mendiburu de F. 2009. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.0-7. Vienna, Austria: The R Foundation for Statistical Computing.
- Mierzejewski W., Niedźwiedzki P. 1954. Z badań nad przebiegiem odnowienia w rębni gniazdowej. *Sylwan*, 1: 51–58.
- Minckler L. S., Woerheide J. D., Schlesinger R.C. 1973. Light, soil moisture, and tree reproduction in hardwood forest openings. Research Paper NC-89. Dept. of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station.
- Newbold A.J., Goldsmith F.B. 1981. The regeneration of oak and beech: a literature review. Discussion papers on conservation. 33. London, University College London.
- Puchalski T. 2000. Rębnie w gospodarstwie leśnym: Poradnik leśniczego. Warszawa, PWRiL.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z. 1990. *Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego*. Warszawa, PWRiL, ISBN 8309014236.
- Raddi S., Basile L., Anichini M., Pozzi D., Logli F. 2009. Light and soil humidity influencing oak seedling growth and physiology in mixed hardwood gaps. *Forest@*, 6(1): 240–255.
- Roussel L. 1972. *Photologie forestière*. Paris, Masson et Cie, ss144.
- Weiss S.B. 2000. Vertical and temporal distribution of insolation in gaps in an old-growth coniferous forest. *Canadian Journal of Forestry Research*, 30: 1953–1964.
- Włoczewski T. 1966. Zasady rębni gniazdowo-zupełnej jako sposobu podnoszenia wydajności siedlisk leśnych (zwiększenia produktywności lasu). *Sylwan*, 110(9): 13–22.
- Thomas, Gausling 2000. Morphological and physiological responses of oak seedlings (*Quercus petraea* and *Q. robur*) to moderate drought. *Annals of Forest Science*, 57: 325–333.
- Tomanek J. 1958. Badania nad przebiegiem temperatury, parowania i opadu w rębni gniazdowej. *Sylwan*, 102(3): 13–31.
- Tomanek J. 1974. Badania nad mikroklimatem zrębu gniazdowego zupełnego. *Sylwan*, 118(11): 16–42.
- Trampler T. 1990. Regionalizacja przyrodniczo-leśna na podstawach ekologiczno-fizjograficznych. Warszawa, PWRiL.
- van Hees A.F.M. 1997. Growth and morphology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings in relation to shading and drought. *Annals of Forest Science*, 54: 9–18.
- Welander N.T., Ottoson B. 2000. The influence of low light, drought and fertilization on transpiration and growth in young seedlings of *Quercus robur* L. *Forest Ecology and Management*, 127: 139–151.
- York R.A., Battles J.J., Heald R.C. 2003. Edge effects in mixed conifer group selection openings: tree height response to resource gradients. *Forest Ecology and Management*, 179: 107–121.
- Zhu J.J., Matsuzaki T., Lee F., Gonda Y. 2003. Effect of gap size created by thinning on seedling emergency, survival and establishment in a coastal pine forest. *Forest Ecology and Management*, 182: 339–354.
- Ziemer R.R. 1963. Summer evapotranspiration trends as related to time following logging of high elevation forest stands in Sierra Nevada. Berkeley, California, Univ. of California. Manuskrypt http://www.fs.fed.us/psw/publications/ziemer/Ziemer_MS.pdf. Data dostępu 14.05.2010.
- Ziemer R.R. 1964. Summer evapotranspiration trends as related to time after logging of forests in Sierra Nevada. *Journal of Geophysical Research*, 69(4): 615–620.