

LESZEK BOLIBOK, TADEUSZ ANDRZEJCZYK

Analiza zagęszczenia samosiewów brzozy i sosny na gniazdach na podstawie modelu promieniowania słonecznego

Analysis of birch and pine seedling density in regeneration gaps on the basis of solar radiation model

ABSTRACT

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

The spatial variability of the density of Scots pine and silver birch natural regeneration in gaps has different pattern in subsequent development stages. The pine seedling density was inversely proportional to the amount of solar radiation reaching the floor in artificial gap estimated by modeling (the highest density occurred in the southern, shaded part of the gap). The top soil layers drying-off that is a result of the insolation is thought to be the main factor limiting seed germination and early growth of both species, however pine response at this stage was greater. The highest birch undergrowth density was observed in the central part of gaps. It might be the result of relatively low root competition of old trees and a good light supply in this part of the gaps.

KEY WORDS

Gap, natural regeneration, Scots pine, silver birch, solar radiation model, spatial variability

ADDRESSES

Leszek Bolibok – Katedra Hodowli Lasu SGGW;
ul. Nowoursynowska 159, budynek 34 pok. 51B; 02-787 Warszawa; e-mail: leszek.bolibok@wl.sggw.pl

Tadeusz Andrzejczyk – Katedra Hodowli Lasu SGGW;
ul. Nowoursynowska 159, budynek 34, pok. 51A; 02-787 Warszawa

Wstęp

W polskich lasach bardzo często są stosowane rębnie operujące cięciami gniazdowymi. Ten rodzaj cięć pozwala różnicować warunki środowiskowe drzewostanu, dostosowując je do różnych wymagań gatunków na etapie odnowienia. Mikroklimat gniazda, a tym samym warunki wzrostu młodego pokolenia drzew, zależą od jego wielkości, kształtu i położenia względem stron świata [Jaworski 1995; Włoczewski 1968] oraz od cech otaczającego drzewostanu. Także w obrębie jednego gniazda można zaobserwować różnice we wzroście młodych drzew, zależnie od miejsca ich występowania. Powszechnie wiadomo, że najlepszy wzrost wykazują odnowienia w centralnej części, a znacznie słabszy w części obwodowej (zjawisko tzw. stożków odnowieniowych). Jest to wynik zarówno przestrzennego zróżnicowania warunków mikroklimatycznych na gnieździe (m.in. świetlnych, termicznych, wilgotnościowych), jak również konkurencji korzeniowej ze strony otaczającego drzewostanu.

Zmienność warunków mikroklimatycznych wewnątrz gniazd może być określona za pomocą długotrwałych i szczegółowych badań [np. Tomanek 1974]. W przypadku niektórych czynników możliwe jest jednak podejście uproszczone i szybsze. Mierzejewski i Niedźwiedzki

[1954] przedstawili na rycinach liczbę godzin nasłonecznienia dobowego w poszczególnych partiach gniazd na podstawie obliczeń astronomicznych. Zastosowanie komputerów znakomicie usprawniło te obliczenia. Pierwsze modele komputerowe wykonywały automatycznie obliczenia dotyczące czasu ocienienia różnych fragmentów gniazd lub zrębów (np. program SHADOS opracowany przez Fishera i Merritta [1978]). Późniejsze modele potrafiły wykonać obliczenia oddzielnie dla światła bezpośredniego i rozproszonego, uwzględniając zmienność zachmurzenia. Ciągłe jednak traktowały brzeg drzewostanu jako nieprzepuszczającą światła ścianę [Canham 1988]. Najnowsze modele potrafią oszacować przenikanie światła przez korony drzew otaczających gniazdo [Cessatti 1997 za de Chantal i in. 2003]. Niestety tak zaawansowane modele wymagają dużych nakładów na gromadzenie informacji (np. o rozmieszczeniu drzew wokół gniazda, charakterystyce ich koron) i przestają być szybkie i tanie w użyciu.

Modelowanie dopływu energii promieniowania słonecznego do dna gniazda może ułatwić odpowiedź na szereg pytań dotyczących wzrostu i rozwoju młodego pokolenia drzew. Czy różne gatunki drzew, niezależnie od ich właściwości ekologicznych i wymagań siedliskowych, reagują podobnie, czy specyficznie na zróżnicowanie warunków mikroklimatycznych wewnątrz gniazda? Czy reakcja danego gatunku na warunki wzrostu zmienia się wraz z wiekiem? Jaki jest w tym zakresie wpływ żyzności i wilgotności siedliska? Na ile dane uzyskane z modelu opisującego promieniowanie słoneczne na gniazdach pozwalają na wyjaśnienie zmienności zagęszczenia i wzrostu odnowień w jego obrębie?

Zagadnieniom tym w polskim piśmiennictwie leśnym poświęcono stosunkowo mało uwagi. Mierzejewski i Niedźwiedzki [1954] analizowali rozwój sosny z naturalnego odnowienia i z siewu na gniazdach różnej wielkości, kształtu i o różnym położeniu. Opublikowane szkice wskazują, że największe zagęszczenie odnowień w pierwszym roku życia obserwowano w południowej, ocienionej części większych gniazd. Po trzech latach na gniazdach zarysowały się pasy przytlumienia wzrostu o szerokości około 5 m w ich południowej części oraz bardzo nieznaczne na pozostałych obrzeżach. Zdaniem autorów spowodowane były osuszeniem gleby przez ścianę drzewostanu.

Celem niniejszej pracy jest określenie przestrzennej zmienności zagęszczenia nalotów sosny i brzozy w obrębie gniazda na ubogim siedlisku (Bśw) oraz zinterpretowanie otrzymanych wyników w porównaniu z danymi z modelu opisującego promieniowanie słoneczne na gniazdach. Uwzględnione gatunki, charakteryzujące się dużymi wymaganiami świetlnymi, stanowią dobry obiekt oceny wpływu warunków mikroklimatycznych, zwłaszcza świetlnych, na powstawanie i wzrost odnowień w pierwszych latach ich życia. Do badań wybrano obiekt, w którym odnowienie badanych gatunków powstało samorzutnie jako dosiew w uprawach sztucznie założonych na gniazdach i do momentu pomiarów nie było z nich usuwane w ramach zabiegów pielęgnacyjnych.

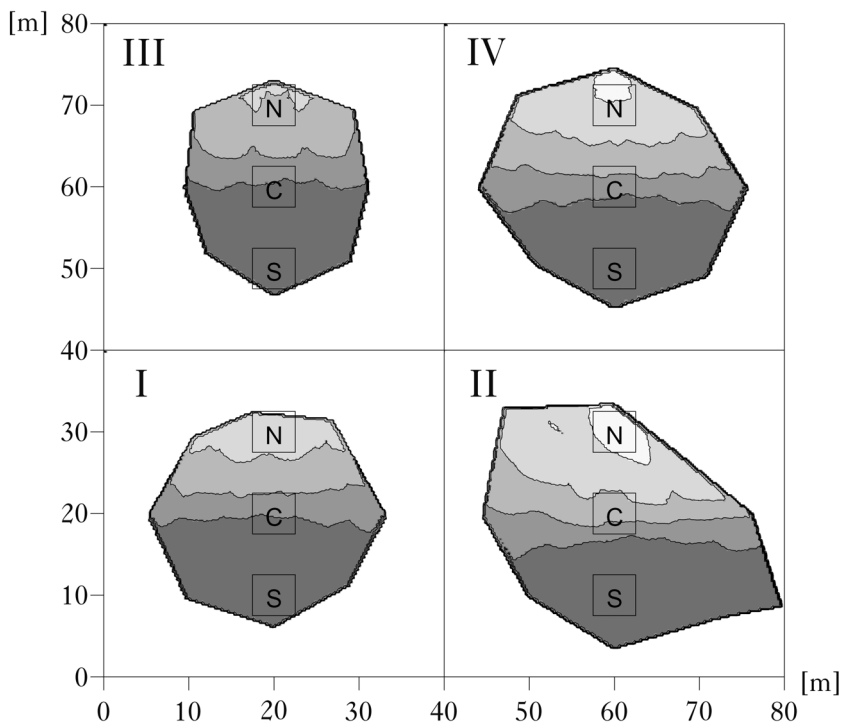
Materiał badawczy

Badania prowadzono w 116-letni drzewostanie sosnowym na terenie Nadleśnictwa Brzeziny (oddz. 79c) o wyraźnie zaznaczonym gradiencie żyznościowym siedliska, które zmieniało się od LMśw przez BMśw do Bśw. W drzewostanie tym została zaprojektowana rębnia gniazdowa zupełna (IIIa). Cięcia na gniazdach wykonano w 2000 roku, następnie glebę przygotowano w bruzdy, a wiosną 2001 roku wysadzono dęba. Na gniazdach położonych na siedlisku boru świeżego obficie odnowiła się brzoza i sosna. Pomiary odnowień brzozy i sosny przeprowadzono w drugiej połowie sierpnia 2004 roku na czterech gniazdach. Na każdym gnieździe założono po trzy oddalone od siebie o 5 m powierzchnie próbne o wymiarach 5×5 m, położone odpowiednio

w południowej (S), centralnej (C) i północnej (N) części gniazda (ryc. 1). Powierzchnia gniazda oraz ich szerokość na osi N-S zostały podane w tabeli. Na każdej powierzchni liczone odnowienia brzożowe i sosnowe z podziałem na 2 klasy wysokości: nalot (wysokość $\leq 0,5$ m) i podrost (wysokość $>0,5$ m).

Model zróżnicowania promieniowania słonecznego w obrębie gniazd

Do oceny zróżnicowania warunków wzrostu na badanych gniazdach użyto modelu POTRAD51 [van Dam 2000], działającego w środowisku programu PCRaster [2005]. Model ten szacuje dopływ energii [MJ/m^2] niesionej przez promieniowanie słoneczne, obejmujące część promieniowania ultrafioletowego, promieniowanie widzialne i podczerwone, docierające do powierzchni Ziemi w jednogodzinnych odstępach czasu w ciągu roku (8760 odczytów). Za pomocą tego modelu obliczono sumę energii docierającej w ciągu całego sezonu wegetacyjnego (od 1 kwietnia do 30 października) do lokalizacji położonych w obrębie badanych gniazd, rozmieszczonych w więźbie kwadratowej o boku 0,25 m. Model uwzględniał współrzędne geograficzne ($51^{\circ}42' \text{N}$ i $19^{\circ}52' \text{E}$) oraz wysokość n.p.m. (200 m) terenu badań. Obliczenia te pozwoliły przedstawić przestrzenne zróżnicowanie promieniowania całkowitego docierającego do



Ryc. 1.

Modelowany poziom promieniowania słonecznego w okresie wegetacyjnym w poszczególnych gniazdach (I, II, III, IV) wyrażony jako procent promieniowania docierającego do otwartej przestrzeni (100%). Kwadratami zaznaczono granice powierzchni próbnych w północnej (N), centralnej (C) i południowej (S) części gniazda. Rycina nie przedstawia rzeczywistego wzajemnego położenia gniazd

Modeled level of solar radiation in vegetation period for I, II, III and IV gap expressed as percent of radiation reaching an open area (100%). Borders of sampled areas placed in north (N), central (C) and south (S) parts of gaps are drawn as squares. The figure does not depict real spatial location of the gaps

Tabela.

Charakterystyka badanych gniazd
Characteristic of the studied artificial gaps

Nr gniazda	Powierzchnia gniazda [m ²]	Długość średnicy N-S [m]	Wielkość charakterystyczna gniazda (stosunek średnicy gniazda do wysokości otaczającego drzewostanu)
I	510	26	1,2
II	698	29,2	1,35
III	425	26	1,2
IV	620	28,6	1,32

gniazda (ryc. 1). Ponadto dla środków powierzchni próbnych (S, C i N) każdego gniazda obliczono ilość energii świetlnej docierającej w całym sezonie wegetacyjnym oraz tylko w maju i czerwcu. Omawiany model oddzielnie oblicza ilość energii niesionej przez promieniowanie rozproszone i promieniowanie bezpośrednie oraz przewiduje korektę na zachmurzenie. Ponieważ nie dysponowano danymi o zmienności zachmurzenia w okresie badań nie została ona uwzględniona i uzyskane wyniki opisują potencjalną ilość energii słonecznej, jaka mogłaby dotrzeć do dna gniazda. Badane gniazda są położone w terenie płaskim, więc nie zachodziła konieczność uwzględnienia nachylenia i wystawy dna gniazd (choć zastosowany model na to pozwala). Model zakłada, że drzewa rosnące na brzegu drzewostanu (o średniej wysokości 21,6 m) są całkowicie nieprzenikalne dla promieniowania bezpośredniego. Otaczający drzewostan w tym modelu nie ma wpływu na ilość promieniowania rozproszonego docierającego do dna gniazda.

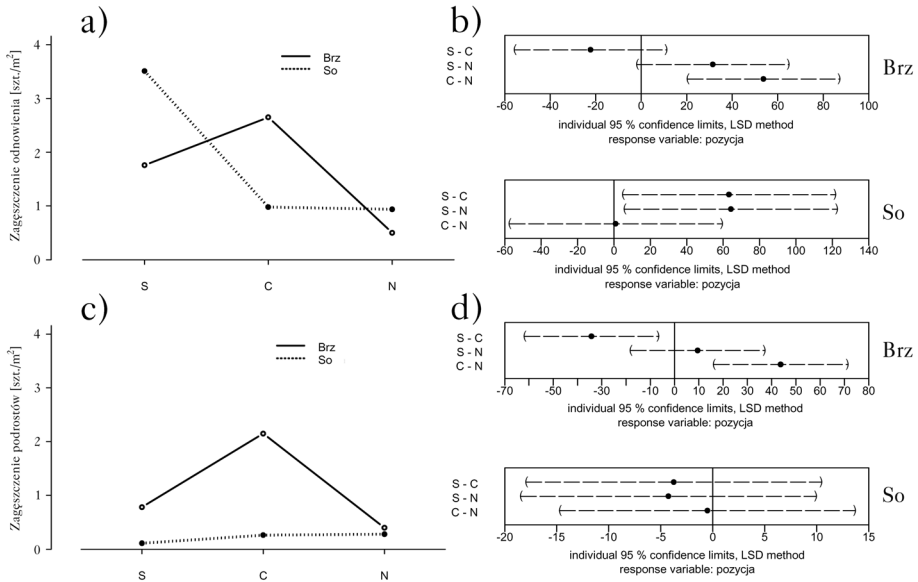
Istotność różnic w zagęszczeniu odnowień w różnych położeniach na gnieździe określono za pomocą analizy wariancji oraz testu wielokrotnych porównań typu LSD wykonanych za pomocą programu SPLUS 4.5. Podobnie postąpiono z danymi o ilości energii świetlnej docierającej do środków powierzchni próbnych.

Wyniki

ZAGĘSZCZENIE ODNOWIEN. Odnowienie obu analizowanych gatunków powstawało w tym samym czasie, prawdopodobnie w dwóch pierwszych latach od przygotowania gleby. W momencie wykonywania pomiarów liczyło zatem 3-4 lat. Natomiast z uwagi na odmienne tempo wzrostu, różniło się znacznie pod względem wysokości. W odnowieniu brzozy dominowały podrosty (68% liczebności odnowienia), a w odnowieniu sosny – naloty (88% liczebności odnowienia).

Średnie zagęszczenie odnowień sosny i brzozy przedstawiono na ryc. 2a i 2c. Natomiast na rycinach 2b i 2d przedstawiono wyniki testu wielokrotnych porównań średnich w różnych położeniach na gnieździe. Przyjęta w programie SPLUS 4.5 konwencja prezentacji wyników tego testu polega na narysowaniu przedziału ufności dla każdej pary porównywanych średnich. Przedział ten jest zaznaczony za pomocą poziomego odcinka linii przerywanej, zakończonego obustronnie nawiasem. Jeżeli wspomniany odcinek przecina pionową linię (przechodzącą przez wartość 0), to wybrane dwie średnie nie różnią się od siebie przy zakładanym poziomie ufności (przyjęto 95%).

Największe średnie zagęszczenie odnowień brzozy zaobserwowano w centralnej części gniazd (2,65 szt./m²). Nie różniło się ono statystycznie od zagęszczenia w południowej części (1,78 szt./m²), natomiast było istotnie większe niż w części północnej (0,5 szt./m²). Największe średnie zagęszczenie sosny zaobserwowano w południowej części gniazd (3,5 szt./m²), a mniejsze



Ryc. 2.

Średnie zagęszczenie odnowień brzozy (Brz) i sosnowych (So) (a- całość odnowień, c- podrost) oraz istotność różnic między średnim zagęszczeniem odnowień (b – całość odnowień; d – podrost) w różnych położeniach na gnieździe

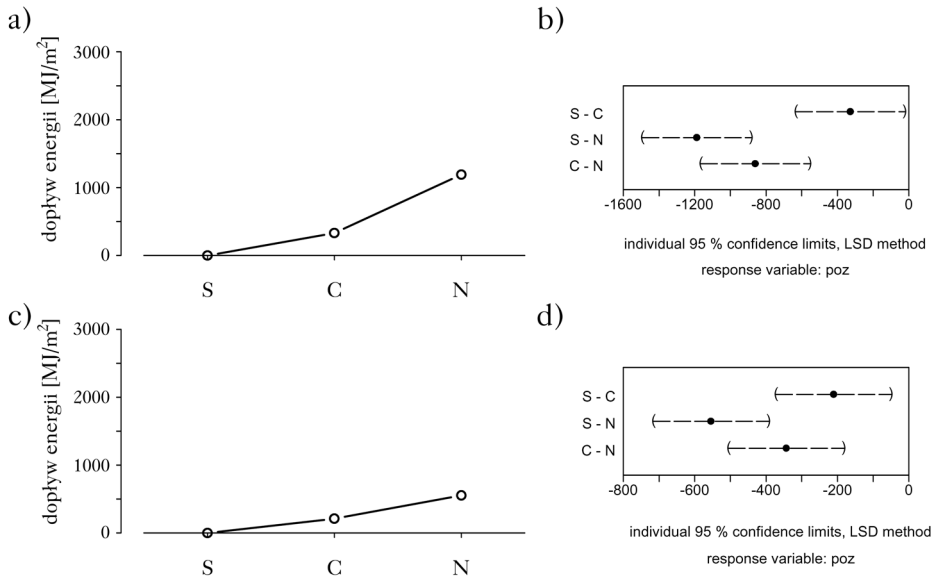
Average density of silver birch (Brz) and Scots pine (So) regeneration (a – whole regeneration; c – undergrowth) and statistical significance of the differences in the average regeneration density (b – whole regeneration; d – undergrowth) for different locations in gap

(1 szt./m²) w części środkowej i północnej. Analiza wariancji potwierdziła istotność różnic między średnimi. Test LSD wykazał, że zagęszczenie odnowień w południowej części gniazda różni się od zagęszczenia odnowień w centrum i na północy gniazd, podczas gdy te ostatnie nie różnią się między sobą.

Obok wszystkich odnowień łącznie, dodatkowo analizowano zagęszczenie odnowień o wysokości ponad 0,5 m czyli podrostów. Największe średnie zagęszczenie podrostów brzozy stwierdzono w centralnej części gniazda (2,15 szt./m²). Różniło się ono istotnie od ich zagęszczenia w skrajnych częściach gniazda (0,78 szt./m² w części południowej i 0,40 szt./m² w części północnej). Różnica między średnim zagęszczeniem podrostów na skrajach gniazda nie była istotna statystycznie. Średnie zagęszczenie podrostów sosnowych we wszystkich położeniach było małe (od 0,11 szt./m² do 0,28 szt./m²), wykazując lekką tendencję wzrastającą z południa na północ, ale różnice między rozpatrywanymi średnimi były statystycznie nieistotne.

ZRÓZNICOWANIE PROMIENIOWANIA W OBRĘBIE GNIAZD. Obliczenia wykonane za pomocą modelu POTRAD51 wskazują, że na 1 m² płaskiej otwartej powierzchni w lokalizacji geograficznej, w której znajdują się gniazda, dociera w ciągu roku potencjalnie 4646,9 MJ energii świetlnej, z czego 3880,9 MJ w sezonie wegetacyjnym. Na rycinie 1 przedstawiono względną ilość energii świetlnej jaka dociera do poszczególnych części gniazda, gdy poziomem odniesienia (100%) jest ilość energii docierająca w sezonie wegetacyjnym na powierzchnię otwartą.

Na rycinie 3a przedstawiono średni dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego docierającego do poszczególnych części gniazda w sezonie wegetacyjnym. Zgodnie z oczekiwaniem potencjalna ilość tego promieniowania w obrębie gniazda wzrasta z południa na północ.



Ryc. 3.

Średnie promieniowanie bezpośrednie w wybranych położeniach na gnieździe (a – w ciągu sezonu wegetacyjnego; c – tylko w maju i czerwcu) oraz statystyczna istotność różnic w średnim dopływie promieniowania w badanych gniazdach (b – w ciągu sezonu wegetacyjnego; d – tylko w maju i czerwcu)

Mean direct solar radiation at selected locations in the gap (a – growing season; c – May and June only) and statistical significance of the differences in the average radiation flux reaching the studied gaps (b – growing season; d – May and June only)

Ilość energii docierającej do środków powierzchni próbnych S, C i N różni się istotnie (ryc. 3b), ale wyniki testu LSD wskazują, że różnice pomiędzy lokalizacją S i C są bliskie poziomowi granicy istotności statystycznej. Przestrzenna zmienność ilości promieniowania bezpośredniego docierającego w maju i czerwcu (ryc. 3c) do gniazda ma podobny charakter jak dla całego sezonu wegetacyjnego a test LSD (ryc. 3d) wskazuje, że w tym okresie wszystkie analizowane lokalizacje różnią się od siebie zdecydowanie pod względem analizowanej cechy.

Dyskusja

Analiza zagęszczenia brzozy i sosny na gniazdach może sugerować, że gatunki te, odnawiając się samosiewnie, preferują odmienne położenie w gradiencie warunków środowiskowych, występującym wzdłuż osi N-S badanych gniazd. Brzoza preferuje część centralną gniazda, a sosna – południową. To może świadczyć o różnicach w zdolności adaptacyjnej badanych gatunków do warunków środowiskowych, w tym warunków kształtowanych przez promieniowanie słoneczne, na etapie powstawania odnowienia (kiełkowanie nasion) i w pierwszych latach ich życia.

Analiza danych z modelu POTRAD51 wskazuje, że badane gniazda były znacznie zróżnicowane pod względem promieniowania całkowitego docierającego do ich różnych fragmentów. Przewidywana przez model wartość promieniowania całkowitego na powierzchni otwartej (4646,9 MJ/m²/rok) jest większa od wartości podawanych dla tej samej lokalizacji (pomiędzy 3800 a 3900 MJ/m²/rok) przez Podogrodzkiego i in. [1987]. Ważną przyczyną tej rozbieżności jest nieuwzględnienie przez model w trakcie obliczeń danych o zachmurzeniu.

Na promieniowanie całkowite składa się promieniowanie bezpośrednie i promieniowanie rozproszone. Teoretycznie ilość światła rozproszonego docierającego do określonego miejsca na gnieździe powinna być wprost proporcjonalna do części niebosłonu widocznej z danego miejsca [Canham 1988]. Przyjęte w modelu POTRAD51 założenie, że wszystkie punkty analizowanej płaszczyzny otrzymują tą samą ilość promieniowania rozproszonego jest sprzeczne z założeniami teoretycznymi, jak też z wynikami pomiarów bezpośrednich dotyczących promieniowania świetlnego [Gray i in. 2002]. Z tego względu wyniki dotyczące ogólnego poziomu promieniowania świetlnego mają ograniczoną przydatność do interpretacji zagęszczenia odnowień na analizowanych gniazdach. Większą przydatność mogą mieć natomiast wyniki dotyczące promieniowania bezpośredniego, które niesie zdecydowanie więcej energii cieplnej do dna gniazda niż promieniowanie rozproszone. Przestrzenna zmienność promieniowania bezpośredniego na badanych gniazdach opisana przez model POTRAD51 koresponduje z wynikami badań zarówno teoretycznych, jak i empirycznych [Canham 1988; Gray i in. 2002]. Dane pochodzące z modelu wskazują, że jedynie północna część gniazda otrzymała w ciągu całego sezonu wegetacyjnego zdecydowanie większą ilość promieniowania bezpośredniego w stosunku do pozostałych fragmentów gniazd. Wyniki dotyczące promieniowania bezpośredniego w maju i w czerwcu wskazują, że wszystkie analizowane położenia (S, C i N) różniły się istotnie od siebie. Maj i czerwiec jest to zazwyczaj okres kiełkowania nasion sosny i rozwoju siewek. W tym okresie są one szczególnie wrażliwe na przesuszenie.

Największe zagęszczenie samosiewów sosny, mimo jej dużych wymagań świetlnych, obserwowano w południowej, a więc mocniej zacienionej części gniazda. Prawdopodobnie w przypadku powstawania odnowienia tego gatunku decydującą rolę odgrywa dostęp promieniowania bezpośredniego, zwłaszcza w okresie wiosennym (maj-czerwiec), które dostarczając ciepło do dna lasu pośrednio wpływa na obniżenie wilgotności powietrza i podłoża. Jego najniższy poziom w południowej części gniazda sprawia, że warunki do kiełkowania nasion i powstawania nalotów są tu wyraźnie lepsze niż w części środkowej i północnej. Nie przesądza to jednak o dalszym ich rozwoju. Niektóre zagraniczne badania nad rozwojem odnowień na gniazdach sugerują, że odmienne czynniki mają decydujący wpływ na kiełkowanie nasion i utrzymanie się przy życiu nalotów, a odmienne na dalszy ich rozwój i przejście do stadium podrostu [Wright i in. 1998]. Zhu i in. [2003] badając naturalne odnowienie sosny *Pinus thunbergii* na gniazdach różnej wielkości zaobserwowali, że obszary z największym zagęszczeniem nalotów nie pokrywały się z obszarami, w których odnowienia osiągały większe rozmiary. Także zmiany zagęszczenia odnowień naturalnych sosny zwyczajnej na zrębach w naszych warunkach wskazują, że o ile zagęszczenie nalotu większe jest przy ściance drzewostanu, to zagęszczenie podrostów – w dalszych strefach zrębu, leżących poza wpływem bocznej osłony drzewostanu [Andrzejczyk 2000].

Podobną, jak na badanych gniazdach, przestrzenną zmienność zagęszczenia nalotów sosny obserwowano w przypadku niektórych amerykańskich gatunków brzozy. Marquis [1965] oraz Petersen i in. [1997] stwierdzają, że miejsca ocienione lepiej nadają się do kiełkowania nasion i początkowego rozwoju nalotów. Cytowani autorzy wiążą ten fakt z lepszym zaopatrzeniem nalotu w wilgoć.

Odnowienie brzozy w rozpatrywanych warunkach już od pierwszych lat życia grupuje się głównie w centralnej części gniazda. Może to wynikać z faktu, że brzoza brodawkowata ma większe od sosny zwyczajnej wymagania wilgotnościowe [Zarzycki i in. 2002]. Już na etapie powstawania nalotów może reagować negatywnie na konkurencję korzeniową o wodę ze strony otaczającego drzewostanu, zwłaszcza na stosunkowo suchych siedliskach. Badany obiekt właśnie do takich siedlisk należy (Bśw, region Polski o bardzo małych opadach). Niemniej jednak

i w przypadku tego gatunku w południowej (ocienionej) części gniazda zagęszczenie odnowień jest większe niż w części północnej (nasłonecznionej). W miarę wzrostu i rozwoju zwiększają się wymagania odnowienia w stosunku do wilgoci, światła i substancji pokarmowych. W ogólnym bilansie świetlnym gniazd ważną rolę odgrywa dopływ światła rozproszonego. Największa dostępność tego rodzaju światła, bez względu na porę roku i wymiary gniazda, jest obserwowana w jego centralnej części. Z tego względu największa ilość światła rozproszonego i bezpośredniego łącznie obserwowana jest na wielu gniazdach na północ od centrum, ale nie przy ich północnej krawędzi [Gray i in. 2002]. Istotnie większe zagęszczenie podrostów brzozowych w centralnej części badanych gniazd może być z jednej strony konsekwencją większej ogólnej podaży światła w tym miejscu, z drugiej zaś wynikiem konkurencji korzeniowej starych drzew na obrzeżach gniazda.

Wyniki dostarczone przez model promieniowania nie pozwalają na wytłumaczenie całości obserwowanego zróżnicowania zagęszczenia odnowień. Na ubogich i stosunkowo suchych siedliskach borowych już w fazie nalotu dużą rolę odgrywa konkurencja korzeniowa ze strony osłaniającego drzewostanu. Konkurencyjny wpływ przestojów na rozwój młodej generacji stwierdzono już dawno [m.in. Wölfle 1937 za Assmannem 1968]. Badania Ziemera [1964] w drzewostanach iglastych w Kalifornii wskazują, że zmienność przestrzenna i czasowa wilgotności gleby na gniazdach miała wyraźny związek z odległością od ściany drzewostanu. W ciągu sezonu wegetacyjnego wilgotność gleby najszybciej spadała w peryferyjnych częściach gniazda. W okresie kilku lat od momentu wycięcia gniazda cytowany autor stwierdzał coraz mniejszą wilgotność gleby na gniazdach, lecz również w tym przypadku największa dostępność wilgoci była obserwowana w centralnej części gniazd. Podobną prawidłowość stwierdzili między innymi Minckler i in. [1973]. McNab [1991] zauważa, że większa wilgotność w centrum gniazda może być, obok lepszych warunków świetlnych, jednym z głównych czynników powodujących zróżnicowanie wysokościowe drzewek, co prowadzi do powstania charakterystycznych stożków odnowienia w luce.

Brzoza brodawkowata jako gatunek o stosunkowo dużych wymaganiach wilgotnościowych w warunkach ubożego i suchego siedliska zareagowała bardzo szybko na konkurencyjny wpływ otaczającego drzewostanu. W świetle uzyskanych wyników można więc sądzić, że już od momentu powstania przestrzenny rozkład zagęszczenia odnowień brzozy na gnieździe pozostawał pod większym wpływem otaczającego drzewostanu niż promieniowania słonecznego.

Odnowienia sosny na gniazdach w pierwszym etapie rozwoju nalotów pozostają pod wyraźnym wpływem bezpośredniego promieniowania słonecznego, które modyfikuje warunki ekologiczne na gnieździe. Na kolejnym etapie rozwoju ten kserofityczny gatunek był w stanie wytrwać w peryferyjnej, południowej części gniazda w warunkach, w których nie poradziła sobie brzoza. Prawdopodobnie dalszy wzrost wymagań świetlnych odnowień sosny sprawi, że i ona ustąpi z tej lokalizacji.

Wnioski

- ✦ Nawet w obrębie stosunkowo niewielkich gniazd (o wielkości 4-7 arów) stwierdza się duże zróżnicowanie warunków świetlnych i środowiskowych, będących pochodną promieniowania słonecznego.
- ✦ Istnieje wyraźna różnica pomiędzy przestrzenną zmiennością zagęszczenia odnowień sosnowych i brzozowych w początkowej fazie rozwoju na gniazdach w warunkach ubogich siedlisk borowych: sosna preferuje południową, a brzoza – centralną część gniazda.
- ✦ Warunki panujące w południowej (ocienionej) części gniazda na ubogich i stosunkowo suchych siedliskach sprzyjają kiełkowaniu nasion i powstawaniu samosiewów także

światłoządnych gatunków drzew, co należy wiązać z korzystniejszym bilansem wilgotnościowym wierzchnich warstw gleby.

- ✦ Odnowienie sosny w pierwszej fazie rozwoju na gniazdach pozostaje pod wyraźnym wpływem bezpośredniego promieniowania słonecznego. Jego zagęszczenie jest odwrotnie proporcjonalne do oszacowanej drogą modelowania ilości bezpośredniego promieniowania słonecznego docierającego do dna gniazda.
- ✦ Na zagęszczenie odnowień brzozy na gniazdach w warunkach ubogich siedlisk już od pierwszych lat silny wpływ wywiera otaczający drzewostan. W przypadku tego gatunku poprawa bilansu wilgotnościowego wynikająca z mniejszego dostępu bezpośredniego promieniowania słonecznego w części ocienionej gniazda nie rekompensuje strat w wilgotności podłoża, powstałych w wyniku konkurencji korzeniowej starych drzew.

Literatura

- Andrzejczyk T. 2000. Wpływ odległości od ściany drzewostanu na zagęszczenie i przeżywalność nalotów sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na zrębach zupełnych i gniazdach. Sylwan 1: 27-42.
- Assmann E. 1968. Nauka o produktywności lasu. PWRiL, Warszawa.
- Canham C. D. 1988. An index for understory light levels in and around canopy gaps. Ecology 69: 1634-1638.
- de Chantal M., Leinonen K., Kuuluvainen T., Cescatti A. 2003. Early response of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings to an experimental canopy gap in a boreal spruce forest. For. Ecol. Manage. 176 (1-3): 321-336.
- Fisher B. C., Merritt C. 1978. SHADOS: a computer model to simulate light energy distribution in small forest openings. W: Pope P. E. [red.]. Proceedings of the second Central Hardwood Forest Conference. Purdue University, West Lafayette, Indiana. 302-319.
- Gray A. N., Spies T. A., Easter M. J. 2002. Microclimatic and soil moisture responses to gap formation in coniferous forests. Can. J. of For. Res. 32: 332-243.
- Jaworski A. 1995. Hodowla lasu. Rębnie. Zasady projektowania upraw. Akademia Rolnicza, Kraków.
- Marquis D. 1965. Regeneration of birch and associated hardwoods after patch cutting. U.S. Forest Service Research Paper NE-32.
- McNab W. H. 1991. Factors affecting temporal and spatial soil moisture variation in and adjacent to group selection openings. Central hardwood forest conference 8: Proceedings. 475-488.
- 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
- Podogrodzki J., Wiśniewska J., Gromadowska A. 1987. Promieniowanie całkowite – średnie sumy roczne. W: Stachý J. [red.]. Atlas hydrologiczny Polski tom 1. s. 24. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- PCRaster. 2005. PCRaster Environmental Software, Faculty of Geographical Sciences, Utrecht University, The Netherlands.
- Peterson E. B., Peterson N. M., Simard S. W., Wang J. R. 1997. Paper Birch Managers' Handbook for British Columbia. „Canada-British Columbia Partnership Agreement on Forest Resource Development: FRDA II”. Co-published by B.C. Ministry of Forests. Issued by the British Columbia Hardwood and Vegetation Management Technical Advisory Committee.
- Tomanek J. 1974. Badania nad mikroklimatem zrębu gniazdowego zupełnego. Sylwan 11: 16-42.
- Van Dam O. 2000. Modelling incoming Potential Radiation on a land surface with PCRaster: POTRAD5. MOD manual. Utrecht: Utrecht Centre for Environment and Landscape dynamics, Utrecht University.
- Włoczewski T. 1968. Ogólna hodowla lasu. PWRiL, Warszawa.
- Wright E. F., Coates K. D., Bartemucci P. 1998. Regeneration from seed of six tree species in the interior cedar-hemlock forests of British Columbia as affected by substrate and canopy gap position. Can. J. For. Res. 28: 1352-1364.
- Zarzycki K., Trzcńska-Taciak H., Róžański W., Szelaż Z., Wołek J., Korzeniak U. 2002. Ecological indicator values of vascular plants of Poland. W: Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences.
- 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. For. Eco. Manage. 182: 339-354.
- Ziemer R.R. 1964. Summer evapotranspiration trends as related to time after logging of forests in Sierra Nevada. J. Geophys. Res. 69(4): 615-620.

SUMMARY**Analysis of birch and pine seedling density in regeneration gaps
on the basis of solar radiation model**

This paper provides an analysis of the spatial variability of Scots pine and silver birch natural regeneration in four artificial gaps established in fresh coniferous habitat. The research was aimed at determining the factors differentiating growth conditions within a gap with the use of solar radiation model.

The growth conditions of natural regeneration in different parts of gaps were described using the POTRAD51 model [van Dam 2000] by estimation of the amount of direct and diffuse radiation reaching different parts of gaps (Fig. 1). Three 5×5 m sample plots were established in each gap in the center, and southern and at northern edge (Fig. 1). Naturally regenerated trees were counted and classified into either seedlings ($\leq 0.5\text{m}$) or undergrowth ($> 0.5\text{m}$).

The highest density of pine regeneration was found in the southern shaded part, while that of birch - in the central part of studied gaps. The pine regeneration density was inversely proportional to the solar radiation level predicted by the model for gaps during the growing season, specifically in May and June. It is likely that direct solar radiation reaching the forest floor during the study period caused intensive soil drying, thus impeding seed germination and early growth of seedlings in the northern and central parts of gaps.