

Rola leżaniny jako podłoża rozwoju odnowienia buka, jodły i świerka w dolnoregłowym lesie w Suchym Żlebie

Janusz Szewczyk

*Katedra Botaniki Leśnej i Ochrony Przyrody, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,
Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków*

Słowa kluczowe: *Picea abies*, *Abies alba*, *Fagus sylvatica*, odnowienie drzew, leżanina

Keywords: *Picea abies*, *Abies alba*, *Fagus sylvatica*, tree regeneration, nurse logs

Streszczenie

Rozkładające się drewno może pełnić funkcję podłoża dla rozwoju odnowienia. Najbardziej znanym przykładem tego zjawiska z obszaru Polski są górnoeregłowe świerczyny, gdzie zagęszczenie nalotów i podrostów świerka jest wyraźnie większe na pagórkach wykrotów i rozkładających się kłodach niż na otaczającej je glebie. Brak jest danych co do znaczenia tego mikrosiedliska dla naturalnego odnowienia świerka w lasach regla dolnego. W pracy porównano przebieg procesów odnowieniowych buka, jodły i świerka na glebie mineralnej i na leżaninie na powierzchni w Suchym Żlebie (Tatrzański PN) w latach 2004–2009.

Leżanina pokrywała około 6% obszaru badań, a jej powierzchnia powoli wzrastała w latach 2004–2009. Składy gatunkowe odnowienia na leżaninie i na glebie mineralnej różniły się wyraźnie większym udziałem świerka wśród nalotów rosnących na rozkładającym się drewnie. Od 2005 roku najliczniej w odnowieniu występował buk. We wszystkich latach za wyjątkiem 2005, zagęszczenie nalotów buka i jodły było wielokrotnie wyższe na glebie mineralnej niż na leżaninie. Buk i jodła wykorzystywały leżaninę do rozwoju odnowienia tym lepiej im silniej była ona rozłożona. Jedynie świerk we wszystkich latach badań wykazywał wyższe zagęszczenie nalotów na leżaninie. Gatunek ten osiągał też większe średnie wysokości na rozkładającym się drewnie. Rozkładające się drewno może okazać się w lasach dolnoregłowych, w których dominuje buk, niemal równie ważne dla odnawiania się świerka jak w świerczynach górnoeregłowych.

Wstęp

Rozkładające się drewno pełni funkcję podłoża dla rozwoju odnowienia różnych gatunków drzew w wielu

typach ekosystemów leśnych. Obecność leżących pni drzew i ich fragmentów, może nie tylko wpływać na skład gatunkowy odnowienia (Harmon i Franklin, 1989; Szewczyk i Szwagrzyk, 1996; Zielonka i Piątek, 2001; Weaver i in., 2009), ale w skrajnych przypadkach występowanie odnowienia może być ograniczone wyłącznie lub prawie wyłącznie do mikrosiedlisk ukształtowanych przez martwe drewno (Gray i Spies, 1997). W środkowej części Europy typowym przykładem lasów, w których występowanie odnowienia powiązane jest mocno z obecnością wykrotów i rozkładających się kłód są górnoeregłowe świerczyny (Holeksa, 1998; Zielonka i Piątek, 2001; Zielonka, 2006). Brak jest jednak szczegółowych analiz potencjalnej roli tego mikrosiedliska dla odnowienia świerka w naturalnych lasach regla dolnego, w których często można spotkać liczne, dorosłe świerki o charakterystycznej budowie podstawy pnia, świadczącej ewidentnie o tym, że ich początkowe etapy wzrostu odbywały się na kłodach.

W pracy przedstawiono porównanie przebiegu procesów odnowieniowych buka, jodły i świerka na glebie mineralnej i na leżaninie w różnych klasach rozkładu na powierzchni badawczej zlokalizowanej w Suchym Żlebie w Tatrzańskim Parku Narodowym w latach 2004–2009 (Adamus, 2007; Bachledda-Dorcarz, 2009; Burczak, 2005).

Teren badań

Powierzchnia badawcza założona została w 2003 roku w rejonie położonym pomiędzy dolinami Strążyską i Za Bramką, w północno-wschodniej części masywu Łysanek, na zboczach schodzących do Suchego Żlebu (Ryc. 1). Wysokość w przybliżeniu waha się od 1070 do 1120 m n.p.m. Nachylenie zbocza wynosi około 25°, a jego ekspozycja zmienia się od północno-wschodniej do wschodniej (Sulowski, 2004). Przeważającym typem gleby w tym rejonie są rędziny wykształcone na podłożu dolomitowym (Skiba, 2002). Pod względem fitosocjologicznym jest to typowa buczyna karpacka (*Dentario glandulosae-Fagetum*) w wariantcie z rzeżucha trójlistkową.



Ryc. 1. Lokalizacja powierzchni badawczej na obszarze Tatrzańskiego Parku Narodowego

Fig. 1. Location of sample plot in Tatra Mountains National Park

W składzie gatunkowym drzewostanu ilościowo zdecydowanie dominuje buk, a jodła i świerk razem stanowią niecałe 25% liczby drzew. Należy jednak wziąć pod uwagę, że znaczna liczba buków to drzewa młode, o niewielkich rozmiarach, przez co największy udział miąższościowy w drzewostanie ma jodła (Tab. 1). Dokładną charakterystykę drzewostanu w Suchym Żlebie można znaleźć w pracy Skrzydłowskiego (2006).

Metodyka

Na powierzchni badawczej o wymiarach 100 x 100 m pomierzono wszystkie pniaki, kłody i ich fragmenty oraz

wykroty. W przypadku kłód mierzono ich długość (z dokładnością do 0,1 m) oraz średnice obu końców (z dokładnością do 1 cm). Minimalna wielkość kłód zakwalifikowanych do pomiaru wynosiła 1 m długości i 10 cm średnicy. Jeśli kłoda była w dalszym ciągu zrosnięta z wyrwaną karpą korzeniową (wykroty), mierzono dodatkowo średnicę i wysokość talerza wykrotu, aby uwzględnić w obliczeniach miąższość rozkładającego się drewna korzeni. W przypadku pniaków mierzono ich wysokości i średnice. Pniaki o wysokości powyżej 1,3 m były traktowane jako złomy i wliczane do warstwy drzew. Każdy fragment martwego drewna klasyfikowano do jednej z pięciu klas rozkładu, gdzie klasa I oznaczała drewno

Tabela 1. Skład gatunkowy drzewostanu na powierzchni Suchy Żleb na podstawie liczby i miąższości drzew żywych i martwych (Sulowski, 2004)

Table 1. Species composition of forest stand in Suchy Żleb plot on the basis of live trees numbers and volumes (Sulowski 2004)

Gatunek	Drzewa żywe				Drzewa martwe stojące			
	Liczba drzew [szt./ha]	Udział [%]	Miąższość [m ³]	Udział [%]	Liczba drzew [szt./ha]	Udział [%]	Miąższość [m ³]	Udział [%]
Buk	327	74,0%	147,5	33,0%	3	11,5%	2,4	9,3%
Jodła	73	16,5%	209,1	46,8%	18	69,2%	21,8	83,4%
Świerk	41	9,3%	90,2	20,2%	5	19,3%	1,9	7,3%
Jawor	1	0,2%	0,0	0,0%	–	–	–	–
Razem	442	100,0%	446,9	100,0%	26	100,0%	26,1	100,0%

no najslabiej rozłożone, a klasa V drewno najsilniej rozłożone. Kryteria rozróżniania klas rozkładu oparte były na zmodyfikowanej klasyfikacji Masera (1988) i obejmowały między innymi kształt kłody, liczbę i grubość pozostałych na pniu fragmentów gałęzi, zabarwienie i twardość drewna bielastego i twardego oraz stopień pokrycia powierzchni kłody przez mszaki i rośliny zielne. Szczegółowa charakterystyka poszczególnych kryteriów rozróżniania poszczególnych klas jest opisana w pracy Szewczyka i Szwagrzyka (1996).

Na każdym pomierzonym fragmencie leżaniny etykietowano, zliczano i mierzono rozmiary wszystkich siewek i nalotów (osobniki do 0,5 m wysokości). Pomiaru były powtarzane w każdym sezonie wegetacyjnym od 2004 do 2009 roku. Dla celów porównawczych założono pięć podpowierzchni (każda liczyła po 15,07 m²) na glebie mineralnej, na których w tych samych terminach zliczano i etykietowano wszystkie siewki i naloty. Kategoria podłoża nazywana tu „glebą mineralną” obejmowała zbiorczo wszystkie typy gleb leśnych poza dendrosolami. Podpowierzchnie glebowe były rozmieszczone w losowo wybranych węzłach siatki 20 x 20 m, wyznaczonej na całym obszarze jednohektarowej powierzchni badawczej.

Wyniki

Leżanina pokrywała początkowo ponad 596 m², a w roku 2008 jej powierzchnia wzrosła do prawie 609 m². Całkowita miąższość leżaniny w 2009 roku wyniosła 159,2 m³. Najwięcej było drewna jodłowego i bukowego, a części kłód i pniaków nie udało się zidentyfikować do gatunku, ze względu na zaawansowany rozkład. Dominowało drewno słabo rozłożone – głównie w klasach rozkładu I–III, które stanowiły 87,4% całkowitej powierzchni leżaniny.

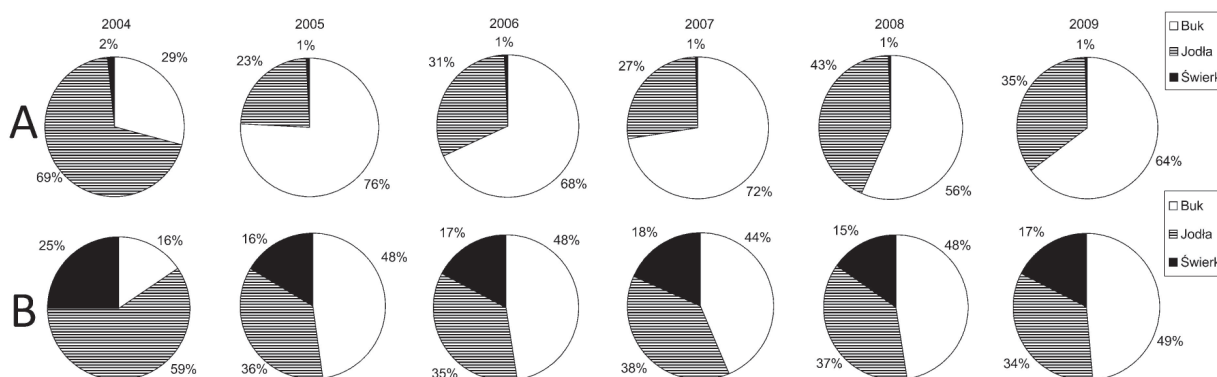
Skład gatunkowy siewek podlegał silnym wahaniom w zależności od cyklicznych zmian intensywności obradzenia nasion. Wspólny rok nasienny dla buka, jodły i świerka miał miejsce w 2003 roku i był źródłem bardzo obfitego pojawu siewek wszystkich trzech głównych

gatunków drzew w 2004. Wpływ roku nasiennego spowodował także znaczący wzrost udziału buka wśród nalotów, począwszy od 2005 roku (Ryc. 2). Skład gatunkowy nalotów na leżaninie różnił się wyraźnie od składu odnowienia na glebie mineralnej kilkunastoprocentowym udziałem nalotów świerka, które na glebie mineralnej stanowiły zaledwie 1–2% wszystkich nalotów. Pomimo znacznych spadków liczebności odnowienia w kolejnych latach, proporcje poszczególnych gatunków w składzie gatunkowym nalotów nie zmieniały się zasadniczo na obydwu porównywanych mikrosiedliskach od roku 2005 do 2009 (Ryc. 2).

Analiza zagęszczeń odnowienia (Ryc. 3) pokazuje, że w przypadku siewek wszystkich trzech gatunków drzew, zdecydowanie wyższe zagęszczenia osiągały one na podłożu glebowym. Maksymalne zagęszczenie siewek buka wynosiło 24,0 szt./m² w 2004 roku, podczas gdy w przypadku jodły było to 6,2 szt./m². Siewki świerka w 2004 miały najmniejsze zagęszczenie – 2,3 szt./m². Jodła była jedynym gatunkiem, który w okresie badań miał dwa lata nasienne.

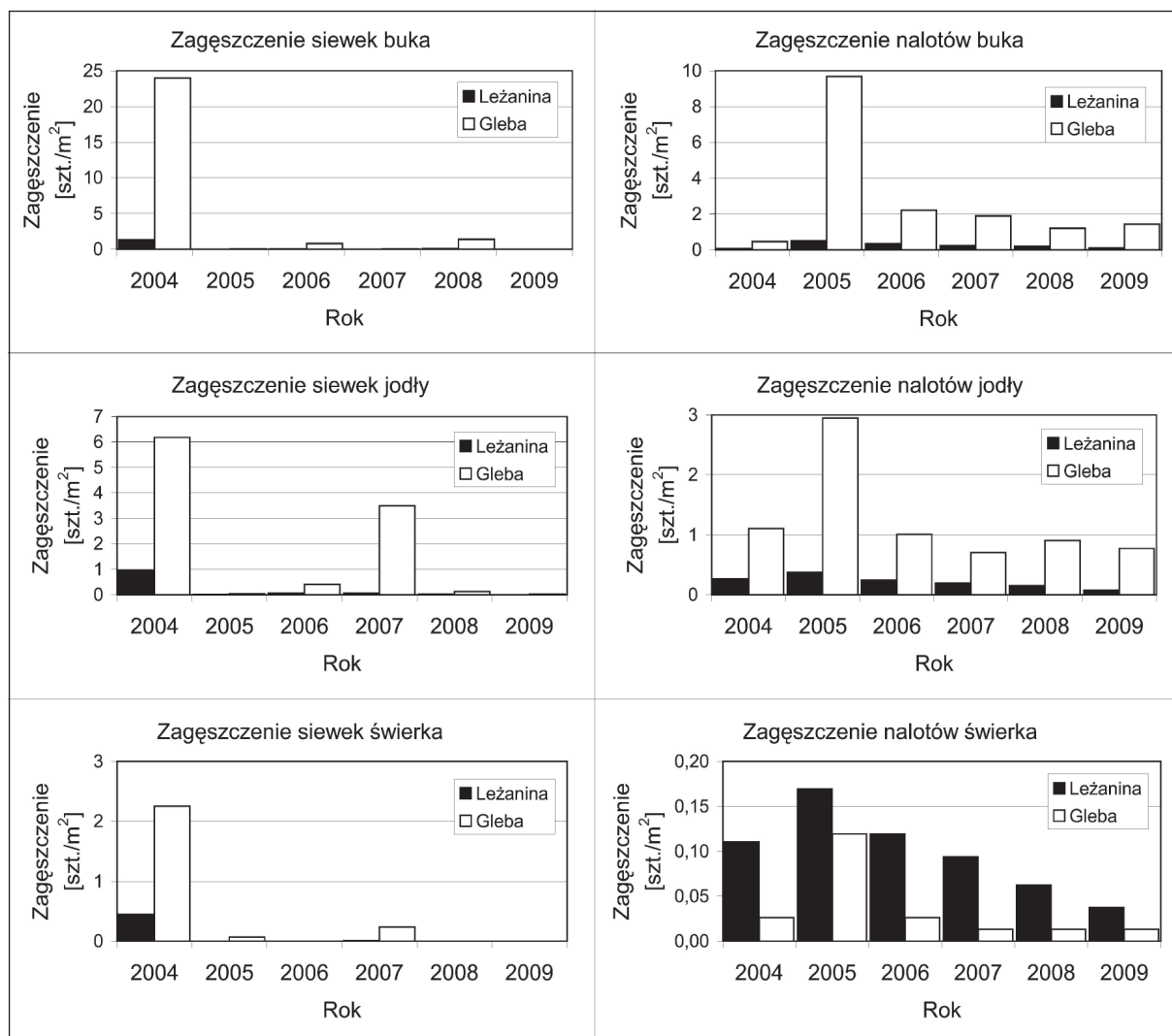
Naloty buka i jodły również osiągały znacznie wyższe zagęszczenia na glebie mineralnej, a różnica pomiędzy podłożami była największa w przypadku buka. Naloty świerka jako jedyne wykazywały co roku wyższe zagęszczenia na martwym drewnie niż na glebie mineralnej. Wyraźna jest także różnica pomiędzy gatunkami jeśli chodzi o stopień redukcji liczby siewek w pierwszym roku życia. Pomiędzy 2004 i 2005 rokiem liczba najmłodszych buków i jodeł spadła na glebie mineralnej około dwukrotnie, podczas gdy w przypadku siewek świerka liczba nalotów, które przeżyły do 2005 roku była dwudziestopięciokrotnie mniejsza od początkowej liczby siewek. Na martwym drewnie spadki liczebności siewek były podobne u wszystkich gatunków.

Zagęszczenie nalotów buka rosło wraz ze zwiększaniem się stopnia rozkładu leżaniny, ale nawet na najsilniej rozłożonych kłodach (V klasa rozkładu) było niższe niż na glebie mineralnej (Ryc. 4). W przypadku nalotów jodły było podobnie, ale w większości przypadków (2004, 2006–2008) zagęszczenia nalotów tego gatunku



Ryc. 2. Skład gatunkowy nalotów na martwym drewnie i glebie mineralnej w latach 2004–2009

Fig. 2. Species composition of seedlings growing on coarse woody debris and mineral soil in the years 2004–2009



Ryc. 3. Zagęszczenia siewek i nalotów buka, jodły i świerka rosnących na martwym drewnie i glebie mineralnej w latach 2004–2009

Fig. 3. Densities of beech, fir and spruce germinants and seedlings growing on coarse woody debris and mineral soil in the years 2004–2009

były najwyższe na leżaninie w V klasie rozkładu. Zagęszczenia nalotów świerka na leżaninie były wyraźnie wyższe niż na glebie mineralnej, za wyjątkiem I klasy rozkładu. Wskazuje to na większe dostosowanie się tego gatunku do odnawiania się na martwym drewnie.

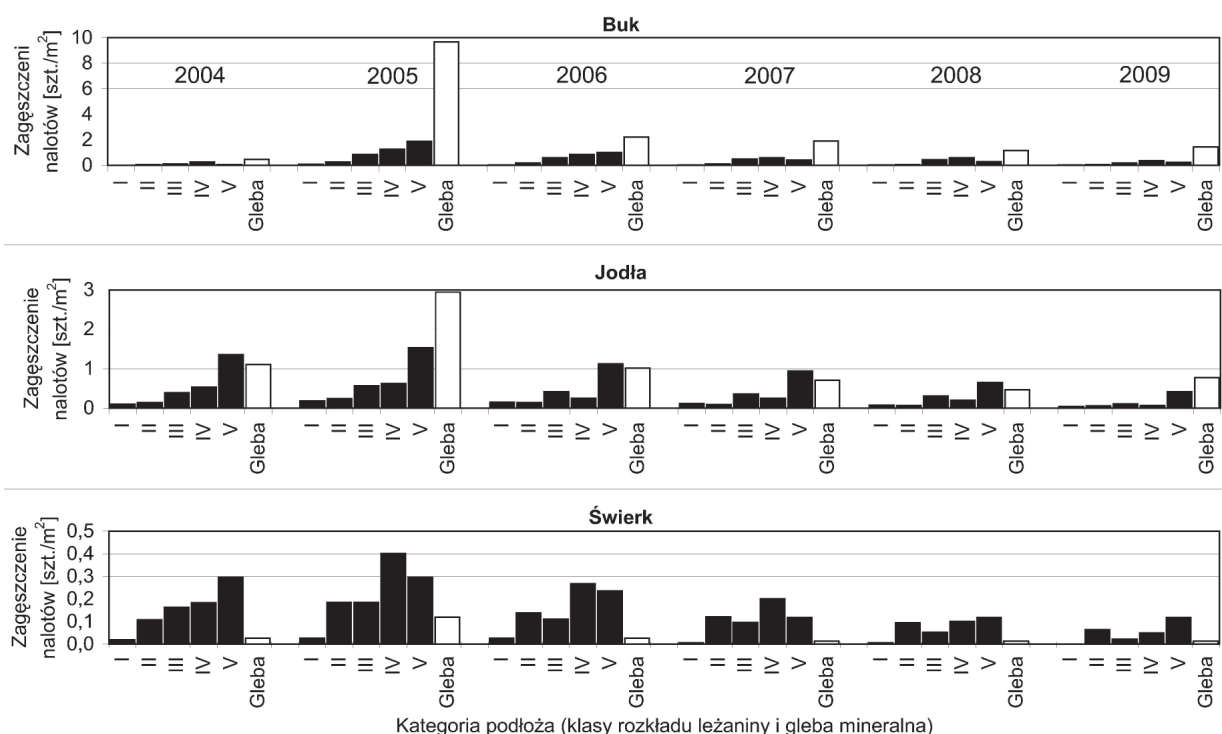
Analiza struktury wysokości odnowienia była utrudniona ze względu na uszkodzenia nalotów będące wynikiem zgryzania oraz niską liczebność nalotów świerka na glebie mineralnej. Rozkłady wysokości nalotów na drewnie i glebie mineralnej porównywano testem Manna–Whitneya, gdyż odbiegały istotnie od rozkładu normalnego. W tabeli 2 podano średnie wysokości nalotów w poszczególnych latach, a pogrubioną czcionką oznaczono wyniki z tych lat, w których rozkłady wysokości nalotów danego gatunku różniły się istotnie na obu mikro-siedliskach ($p < 0,05$), nawet jeśli wyliczone wartości średnie były bardzo zbliżone. Wśród nalotów rosnących na leżaninie najwyższe średnie wysokości osiągał we wszyst-

Tabela 2. Średnie wysokości nalotów buka, jodły i świerka na glebie i rozkładającym się drewnie na powierzchni Suchy Żleb

Table 2. Average height of beech, fir and spruce seedlings growing on soil and coarse woody debris in Suchy Żleb plot

Rok	Średnia wysokość [cm]					
	Buk		Jodła		Świerk	
	Gleba	Drewno	Gleba	Drewno	Gleba*	Drewno
2004	17,1	11,1	5,9	6,5	25,5	15,7
2005	10,2	10,5	7,3	5,9	16,4	11,2
2006	12,6	12,5	7,3	6,4	24,0	15,6
2007	13,3	14,5	7,9	5,8	24,2	18,4
2008	14,7	16,9	6,5	6,9	11,4	23,3
2009	14,3	17,4	6,9	7,7	15,8	28,0

* Zbyt niska liczebność do statystycznego testowania istotności różnic pomiędzy rozkładami wysokości



Ryc. 4. Porównanie zagęszczeń nalołów buka, jodły i świerka na martwym drewnie w różnych klasach rozkładu i glebie mineralnej

Fig. 4. Comparison of beech, fir and spruce seedlings densities on coarse woody debris and mineral soil

kich latach badań świerk. Średnie wysokości nalołów świerkowych na glebie mineralnej mogą być mało wiarygodne, ze względu na bardzo małą wielkość próby.

Rozkłady wysokości nalołów buka, jodły i świerka rosnących na martwym drewnie różniły się istotnie pomiędzy sobą (test Manna–Whitneya, $p < 0,01$) we wszystkich latach badań. Na glebie mineralnej stwierdzono w analogiczny sposób różnice pomiędzy rozkładami wysokości nalołów jodły i buka. Niska liczebność nalołów świerka na glebie nie pozwalała na analizę różnic pomiędzy tym gatunkiem a jodłą i bukiem.

Dyskusja

Stopniowy rozkład drewna jest procesem długotrwałym a jego tempo zależy od wielu czynników, np. gatunku obumarłego drzewa, rozmiarów danego fragmentu drewna, warunków siedliskowych, wilgotności podłoża. W lasach górnego regla czas rozkładu szacowany jest nawet na 100 lat (Zielonka i Piątek 2001). Wraz ze wzrostem stopnia rozkładu zmieniają się właściwości martwego drewna i przekształca się ono stopniowo w glebę pochodzenia organicznego. Zagęszczenia nalołów buka na martwym drewnie rosną systematycznie wraz ze wzrostem klasy rozkładu, a tym samym wraz ze wzrostem stopnia podobieństwa pomiędzy bardziej rozłożonym drewnem i glebą mineralną. Duże nasiona buka łatwiej osadzają się na powierzchni drewna silniej rozłożonego, a jego siewki już w pierwszym roku życia

osiągają znaczne rozmiary, co ułatwia im konkurowanie z roślinami runa leśnego (Husheer i in. 2005), których zagęszczenie wzrasta wraz z postępem procesów dekompozycji drewna. Dlatego też maksymalną frekwencję odnowienia buka osiąga na podłożu glebowym.

Świerk jest gatunkiem, który zdecydowanie preferuje leżaninę jako środowisko do rozwoju odnowienia i rozwija się licznie nawet na drewnie stosunkowo słabo rozłożonym (klasy rozkładu II–III). Mechanizm tego zjawiska jest przynajmniej dwuczynnikowy. Małe nasiona świerka mogą łatwiej osadzać się w nierównościach kory pozostałej na słabo rozłożonych kłodach, niż większe nasiona jodły czy buka. Słabo rozłożone drewno jest ubogie w składniki pokarmowe, a świerk jest gatunkiem mniej wymagającym siedliskowo od buka i jodły. Małe siewki świerka w lasach mieszanych są często przysypywane przez opadające na powierzchnię gleby liście (Christy i Mack 1984), co może wyjaśniać olbrzymią różnicę pomiędzy świerkiem a bukiem i jodłą, jeśli chodzi o udział siewek przeżywających pierwszy rok na glebie mineralnej. Nie da się oczywiście wykluczyć współdziałania innych czynników powodujących, że rozkładające się kłody stanowią dla siewek i nalołów świerka „bezpieczne siedliska”. W lasach północnoamerykańskich opisywano (O’Hanlon-Manners i Kotanen 2004) funkcjonowanie leżaniny jako refugium, w którym zagrożenie pasożytniczymi gatunkami grzybów glebowych, ograniczającymi możliwość rozwoju odnowienia, jest o wiele niższe niż w przypadku samego podłoża glebowego.

Skład gatunkowy odnowienia wzrastającego na leżaninie odpowiada w przybliżeniu składowi gatunkowemu drzewostanu i wykazuje znaczący udział świerka, którego brak jest wśród nalotów rosnących na glebie mineralnej. Jodła wykazuje właściwości pośrednie i brak zdecydowanych preferencji mikrosiedliskowych, co potwierdzają również badania preferencji mikrosiedliskowych odnowienia jodły pospolitej i świerka pospolitego w lasach alpejskich (Hunziker i Brang 2005). Podobną plastyczność stwierdzono także u innych gatunków jodeł, np. w świerkowo-jodłowych lasach w Japonii (Takahashi i in. 2000), gdzie młode jodły pojawiały się w zbliżonej liczebności na rozkładającym się drewnie i innych badanych mikrosiedliskach, podczas gdy świerki (dwa różne gatunki) zdecydowanie preferowały leżaninę. Ogólnie można stwierdzić, że buk i jodła wykorzystują leżaninę do rozwoju odnowienia tym łatwiej im silniej jest ona rozłożona, ale większe zagęszczenia osiągają na podłożu glebowym. Podobne preferencje co do podłoża rozwoju odnowienia stwierdzono w naturalnych buczynach na Babiej Górze (Szewczyk i Szwagrzyk 1996).

Rozkładające się drewno może okazać się w lasach dolnoregłowych, w których dominuje buk, niemal równie ważne dla odnawiania się świerka jak w świerczynach górnoregłowych. Zróżnicowanie preferencji poszczególnych gatunków drzew w odniesieniu do podłoża, na którym najczęściej rozwija się ich odnowienie, może być czynnikiem bezpośrednio oddziałującym na skład gatunkowy warstwy drzew w wielogatunkowych lasach regła dolnego. Dla potwierdzenia słuszności powyższych hipotez należałoby przeprowadzić podobne badania w innych górskich lasach naturalnych, złożonych z buka, jodły i świerka.

Podziękowania

Dziękuję Markowi Burczakowi, Michałowi Adamusowi i Jakubowi Bachledzie-Dorcarzowi za pomoc w zbieraniu danych i wstępne opracowanie wyników.

Coarse woody debris as a substrate for beech, fir and spruce regeneration in Suchy Żleb montane beech forest

Decaying wood may be a good substrate for tree regeneration. In Poland the most popular example of this phenomenon is subalpine spruce forest, where density of spruce seedlings and saplings is evidently higher on decaying logs, pits and mounds than on mineral soil. There is no reliable data about the significance of this microsite for spruce regeneration in lower montane belt forests. In this paper regeneration processes of beech, fir and spruce on mineral soil and coarse woody debris (CWD) were compared in Suchy Żleb sample plot (Tatra Mountains NP) for the years 2004–2009.

Downed wood covered approximately 6% of the forest floor, and its surface was increasing slowly. The share of spruce was several times higher in seedlings growing

on CWD. Since 2005, the most common species among seedlings has been beech. In all years except 2005, the density of beech and fir seedlings was several times higher on mineral soil than on decaying logs. Beech and fir seedlings densities were getting higher with increasing class of wood decay. Spruce was the only species showing higher density of seedlings on CWD. Also, the average height of spruce seedlings was bigger in case of individuals growing on CWD. The presence of CWD may have almost as strong influence upon spruce regeneration in lower montane belt forests dominated by beech, as it has in subalpine spruce forests.

Literatura

- Adamus M., 2007. Odnowienie buka, jodły i świerka na glebie mineralnej i martwym drewnie na powierzchni badawczej „Suchy Żleb” w Tatrzańskim Parku Narodowym, praca magisterska, UR Kraków.
- Bachleda-Dorcarz J., 2009. Rozwój odnowień buka, jodły i świerka na leżaninie i glebie mineralnej w dolnoregłowej buczynie karpackiej w Tatrzańskim Parku Narodowym, praca magisterska, UR Kraków.
- Burczak M., 2005. Wpływ leżaniny na rozwój odnowienia buka, jodły i świerka na powierzchni badawczej „Suchy Żleb” w Tatrzańskim Parku Narodowym, praca magisterska, UR Kraków.
- Christy E.J., Mack R.N., 1984. Variation in demography of juvenile *Tsuga heterophylla* across the substratum mosaic, *Journal of Ecology*, 72, s. 75–91.
- Gray A.N., Spies T.A., 1997. Microsite controls on tree seedling establishment in conifer forest canopy gaps, *Ecology*, 78(8), s. 2458–2473.
- Gutowski J.M., Bobiec A., Pawlaczyk P., Zub K., 2004. Drugie życie drzewa, WWF Polska.
- Harmon M.E., Franklin J.F., 1989. Tree seedlings on logs in *Picea – Tsuga* forests of Oregon and Washington, *Ecology*, 70(1), s. 48–59.
- Holeksa J., 1998. Rozpad drzewostanu i odnowienie świerka a struktura i dynamika karpackiego boru górnoregłowego, *Monographiae Botanicae*, Vol. 82.
- Husheer S.W., Robertson A.W., Coomes D.A., Frampton Ch.M., 2005. Herbivory and plant competition reduce mountain beech seedling growth and establishment in New Zealand. *Plant Ecology*, DOI 10.1007/s11258-005-9036-9.
- Hunziker U., Brang P., 2005. Microsite patterns of conifer seedling establishment and growth in a mixed stand in the southern Alps. *Forest Ecology and Management* 210: 67–79.
- Maser Ch., 1988. From the forest to the sea: a story of fallen trees, General Technical Report. PNW-GTR-229, USDA Forest Service, Portland, Oregon.
- O'Hannlon-Manners D.L., Kotanen P.M., 2004. Logs as refuges from fungal pathogens for seeds of eastern hemlock (*Tsuga canadensis*). *Ecology* 85(1): 284–289.
- Skiba S., 2002. Mapa gleb Tatrzańkiego Parku Narodowego, [w:] Borowiec W. i in. (red.). Przemiany śro-

- dowiska przyrodniczego Tatr, Kraków – Zakopane, s. 21–26.
- Skrzydłowski T., 2008. Las w Suchym Żlebie – ostatnia naturalna buczyna w Tatrach, Roczniki Bieszczadzkie, 18, s. 95–108.
- Sulowski W., 2004. Struktura naturalnego drzewostanu dolnoregłowego w Suchym Żlebie w Tatrzańskim Parku Narodowym, praca magisterska, UR Kraków.
- Szewczyk J., Szwagrzyk J., 1996. Tree regeneration on rotten wood and on soil in old-growth stand, Vegetatio, 122, s. 37–46.
- Takahashi M., Sakai Y., Ootomo R., Shiozaki M., 2000. Establishment of tree seedlings and water-soluble nutrients in coarse woody debris in an old-growth *Picea-Abies* forest in Hokkaido, northern Japan. Canadian Journal of Forest Research 30: 1148–1155.
- Weaver J.K., Kenefic L.S., Seymour R.S., Brissette J.C., 2009. Decaying wood and tree regeneration in the Acadian Forest of Maine, USA, Forest Ecology and Management, 257, s. 1623–1628.
- Zielonka T., 2006. When does dead wood turn into a substrate for spruce replacement?, Journal of Vegetation Science, 17, s. 739–746.
- Zielonka T., Piątek G., 2001. Norway spruce regeneration on decaying logs in subalpine forests in the Tatra National Park. Polish Botanical Journal, 46(2), s. 251–260.

