

PIOTR ROBAKOWSKI

Retrospektywna analiza przyrostów sadzonek jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) rosnących pod okapem różnych gatunków drzew w Karkonoskim Parku Narodowym

A retrospective analysis of annual height increment in silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings growing under a canopy of different tree species in Karkonosze National Park

ABSTRACT

The paper is the analysis of annual height increments in three-year-old silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings planted under the canopies of Norway spruce, common beech, Scots pine, European larch and common birch stands in the Karkonosze National Park. The objective of the research was to define the time span after which seedlings of silver fir (*Abies alba* Mill.) adapted to light conditions under the crowns of different tree species. The comparison of annual height increments of seedlings and the analysis of variance of light conditions permitted to preliminarily assess the effect of individual species forming the canopy on the height response of regeneration.

KEY WORDS

Abies alba, adaptation, canopy openness, top height increment, apical dominance ratio

Wstęp i cel pracy

Na obszarze Karkonoszy jodła pospolita (*Abies alba* Mill.) jest gatunkiem zagrożonym wyginięciem [Wilczkiewicz 1976, 1982; Barzdajn 2000]. Błędy popełnione w gospodarce leśnej polegające głównie na systematycznym zastępowaniu tego gatunku przez świerk pospolity, często obcego pochodzenia, były jedną z ważniejszych przyczyn redukcji udziału powierzchniowego i masowego jodły w Sudetach, który według inwentaryzacji z 1965 roku wynosił odpowiednio 0,2 i 0,7% [Wilczkiewicz 1982].

Problem zamierania jodły dotyczy całej Europy, jednak do tej pory nie wyjaśniono jednoznacznie przyczyn tego zjawiska, wśród których oprócz celowych działań w gospodarce leśnej wymienia się: zanieczyszczenia przemysłowe, długotrwałe i powtarzające się susze, zachwianie równowagi jonowej w glebie, epifityzy grzybowe i gradacje owadów [Ukleja-Dobrowolska 1989, Dobrowolska 1998]. Jedną z hipotez głosi, że gatunek *Abies alba* wyczerpał już swoje możliwości adaptacji do coraz szybciej zmieniających się warunków środowiska ze względu na niewielkie różnicowanie genetyczne [Bernadzki 1983].

Przyrosty i żywotność jodły silnie zależą od warunków klimatycznych, przede wszystkim od temperatury oraz koncentracji zanieczyszczeń przemysłowych. W ostatnich latach obserwuje się zwiększenie przyrostów i polepszenie zdrowotności drzewostanów jodłowych, które może być związane z ociepleniem klimatu i redukcją emisji szkodliwych gazów [Feliksik 1990, Zawada 2001]. Trudno jednak przewidzieć, czy te korzystne dla jodły zmiany będą trwałe.

Od 1998 roku na terenie Karkonoskiego Parku Narodowego prowadzony jest szeroko zakrojony program restytucji jodły pospolitej *Abies alba* Mill. [Barzdajn 1998, Raj 1999].

PIOTR ROBAKOWSKI

Zakład Ekologicznych Podstaw Hodowli Lasu
Katedra Hodowli Lasu, Akademia Rolnicza
ul. Wojska Polskiego 69
60-625 Poznań,
e-mail: pierrot@au.poznan.pl

Obejmuje on między innymi produkcję sadzonek z nasion miejscowych ekotypów jodły i ich sadzenie pod okapem na grodzonych powierzchniach. Odpowiednia ilość światła jest jednym z podstawowych warunków uzyskania wysokiej udatności sztucznego odnowienia i w przyszłości prawidłowych podrostów, których do tej pory nie udaje się wyprowadzić z odnowień naturalnych.

Jodła pospolita (*Abies alba* Mill.) jest obok cisa (*Taxus baccata* L.) najbardziej ceniolubnym gatunkiem drzewiastym w Europie. Specyficzne wymagania świetlne określają metody prowadzenia hodowli tego gatunku. Ze względu na niewielkie zapotrzebowanie na światło w młodym wieku zaleca się sadzenie jodły pod okapem drzewostanu lub w lukach i na gniazdach o małej powierzchni oraz stosowanie rębni przerębowej [Jaworski 1995]. Jodła zachowuje pełną żywotność po kilkunastu a nawet kilkudziesięciu latach wzrostu przy niskim poziomie docierającego promieniowania słonecznego. Dojrzałe drzewa rosnące w młodym wieku w ocienieniu cechują się lepszą żywotnością od tych, które były wystawione na działanie światła pełnego [Poznański, Jaworski 2000].

Promieniowanie słoneczne jest podstawowym czynnikiem wpływającym na rozwój odnowienia i podrostów jodłowych. Warunki świetlne w drzewostanie zależą od położenia geograficznego i topograficznego, pory roku, pozornych zmian wysokości słońca nad horyzontem oraz struktury drzewostanu, przede wszystkim od struktury okapu koron drzew [Puchalski, Prusinkiewicz 1990]. Gatunek panujący w drzewostanie ma istotne znaczenie w kształtowaniu mikroklimatu leśnego, głównie przez zmniejszanie poziomu promieniowania słonecznego oraz modyfikację jego składu spektralnego przy przechodzeniu przez korony drzew do wnętrza lasu.

Prace badawcze na powierzchniach ze sztucznym odnowieniem jodły w Karkonoskim Parku Narodowym miały na celu określenie okresu, po którym sadzonki aklimatyzują się do warunków świetlnych panujących pod koronami różnych gatunków drzew. Porównanie rocznych przyrostów wysokości sadzonek oraz analiza zmienności czynnika świetlnego umożliwiły wstępną ocenę wpływu poszczególnych gatunków tworzących okap drzewostanu na wzrost odnowienia.

Teren badań i układ doświadczenia

Powierzchnie badawcze, na których wykonano pomiary przyrostów sadzonek jodłowych zlokalizowane są na terenie Karkonoskiego Parku Narodowego, niedaleko Jagniątkowa (50,5° 22' N, 15,5° 15' E), w pobliżu szkółki leśnej, na wysokości od 600 do 700 m n.p.m. Szczegółowe warunki położenia oraz charakterystyka drzewostanów i siedlisk są podane w tabeli 1. Wyznaczono 5 grodzonych poletek o powierzchni około 0,4 ha w jednogatunkowych drzewostanach, które różnią się przede wszystkim gatunkiem panującym w okapie (*Picea abies* Karst., *Fagus sylvatica* L., *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth i *Larix decidua* Mill.). Wszystkie powierzchnie znajdują się blisko siebie i mają podobne warunki siedliskowe. Niewielkie różnice między nimi mogą być spowodowane zmiennością topograficzną (nachylenie stoku, wystawa). Poletko w drzewostanie brzożowym (oddz. 120d) różni się od pozostałych warunkami glebowymi.

Materiał i metody

Nasiona zebrane z jodeł rosnących w KPN wysiano w szkółce leśnej (600 m n.p.m.) w tunelach z zielonej siatki przepuszczającej około 20% promieniowania fotosyntetycznie czynnego (400 – 700 nm). Sadzonki wyhodowano w balotach na substracie z mieszaniny gleby leśnej i torfu w stosunku 7:3 bez nawożenia [Raj 2000, nie publ.]. W 1999 roku posadzono trzyletnie jodły z zakrytym systemem korzeniowym w więźbie 1,5 m x 1,5 m, w liczbie 400 sztuk na każdej z wyznaczonych wcześniej powierzchni badawczych pod okapem świerka, buka, sosny, brzozy i modrzewia.

Tabela 1.

Opis drzewostanów i siedlisk ze sztucznym odnowieniem jodły pospolitej na podstawie „Operatu Ochrony Ekosystemów Leśnych 1996”. Wszystkie powierzchnie doświadczalne znajdowały się na wysokości od 600 do 700 m n.p.m.
 Characteristic of stands and forest habitats with artificially regenerated silver fir in accordance with the „Instruction for the Protection of Forest Ecosystems 1996”.
 All study areas were located at an elevation from 600 to 700 m a.s.l.

Oddz. Poddz.	Opis drzewostanu				Opis siedliska		Rodzaj pokrywy runa
	Skład gatunkowy	Wiek (lat)	Forma zmieszania	Zbiorowisko	STL	Typ, podtyp i gatunek gleby	
1	3	4	5	7	8	10	11
105j	7Bk, 3Św spor. Md	128	Jedn. i grupowe	<i>Larxulo-Fagetum</i>	LMG	G. brun. kw. średn. głęb. glina l. żwirowata wytw. z granitu	Ściota, miejscami szczawik
114d	So pjd. Md, Brz spor. Św, Bk	68	—	<i>Larxulo-Fagetum</i>	LMG	G. brun. kw. średn. gł. urwó żwir. kamienisty wytw. z wietrz. granitu	Zdziczała: śmiałek, czern., trzcinnik, starzec F, mal., napastrnica, plonnik, konw. dw.
119a	Św spor. So, Brz, Md, Bk, Ol, Jrz	78	—	<i>Larxulo-Fagetum</i>	LMG	G. brun. kw. do butw. glin. l. żwirowata wytw. z wietrz. granitu	Zadarniona: starzec F., trzęślica, skrzyżp, trzcinnik, konwalijka dw., czern., napastrnica
120d	5Brz, 3Św, 2Md pjd. Jw, Db, Bk grup. Jrz	15	Zmiesz. grup., jedn. i drob. kęp.	<i>Abieti-Piceetum montanum</i>	BMG	G. mursz. glejowa do torf. glejowej, urwó mursz. mineralny wytw. z narzutu próchn. min.	Zdziczała: starzec F, turzycza, śmiałek, mal., napastrnica, plonnik
122a	8Md, 2Św poj. Bk	148	Zmiesz. grup. i jedn.	<i>Larxulo-Fagetum</i>	LMG	G. brun. kw. z butw. średn. głęb., śred. szkieł. glina l. przewarstwiona urworem piaszczystym	Zadarniona: śmiałek, czern., trzcinnik, napastrnica, szczawik

Ocena warunków świetlnych w drzewostanach

W celu określenia warunków świetlnych na powierzchniach badawczych zmierzono ażurowość drzewostanów (tab. 2). Wskaźnik ażurowości to procentowy stosunek powierzchni przerw (luk) w drzewostanie do powierzchni całego drzewostanu [Matusz 1958, nie publ.]. W sierpniu 2002 roku wykonano na każdym poletku po 20 zdjęć okapu za pomocą aparatu fotograficznego „Practica” zaopatrzonego w szerokokątny obiektyw. Po zeskanowaniu zdjęć obliczono procentowy udział powierzchni luk w okapie w programie „Photoshop 6.0”.

Tabela 2.

Ażurowość drzewostanów (średnia \pm odch.stand.) z sztucznym odnowieniem jodły pospolitej zmierzona na początku sierpnia 2002 r.

Canopy openness (mean \pm standard deviation) of stands with planted silver fir measured at the beginning of August 2002

Gatunek panujący	Ażurowość \pm Odch. stand. (%)
<i>Fagus sylvatica</i>	10 \pm 0.1
<i>Picea abies</i>	17 \pm 0.1
<i>Betula pendula</i>	25 \pm 0.1
<i>Pinus sylvestris</i>	43 \pm 0.1
<i>Larix decidua</i>	45 \pm 0.1

Pomiary przyrostów i czynnika świetlnego

W sierpniu 2002 roku przeprowadzono retrospektywny pomiar rocznych przyrostów wysokości, który obejmował cztery ostatnie lata (1999 – 2002) od posadzenia. W latach 2000 – 2002 zmierzono przyrosty wierzchołkowe młodych jodeł oraz przyrosty pędów bocznych ostatniego okółka w celu obliczenia czynnika świetlnego, który definiuje się jako stosunek długości wierzchołka do średniej arytmetycznej długości pędów bocznych ostatniego okółka [Jaworski 1995, Niemtur i in. 1996]. W każdym drzewostanie wykonano pomiary przyrostów na 150 sadzonkach w trzech powtórzeniach po 50 sadzonek.

Analiza danych

Zastosowano analizę regresji liniowej dla średnich wartości ażurowości drzewostanów, przyrostów oraz czynnika świetlnego. Zestawiono równania regresji liniowej, wartości prawdopodobieństw określających statystyczną istotność parametrów modelu liniowego i współczynnika determinacji w poszczególnych latach. Wykonano także analizę wariancji w regresji, w wyniku której otrzymano wartości prawdopodobieństw określające statystyczną istotność liniowego związku między analizowanymi zmiennymi, istotność współczynnika determinacji (R^2) oraz współczynnika kierunkowego. W regresji dwóch zmiennych test F stosowany w analizie wariancji i test t służący do oceny parametrów równania regresji dotyczą współczynnika kierunkowego, dlatego poziom prawdopodobieństwa dla obu testów jest jednakowy [Stanisz 2000].

Wyniki

AŻUROWOŚĆ DRZEWOSTANÓW. Drzewostany, w których posadzono jodłę różniły się między sobą ażurowością. Najmniejszą wartością tego wskaźnika i tym samym najniższym poziomem światła docierającego do dna lasu charakteryzował się drzewostan bukowy przy pełnym ulistnieniu. Nieco większą ażurowość stwierdzono w tym samym okresie pod okapem świerków, jednak była ona o 8% mniejsza niż ażurowość młodej brzozy i ponad dwukrotnie mniejsza od warto-

ci zmierzonych w drzewostanach sosnowym i modrzewiowym (tab. 2). Stosunkowo niski poziom światła utrzymywał się w drzewostanie świerkowym przez cały rok, gdy tymczasem w drzewostanie bukowym i brzożowym przepuszczalność okapu silnie się zmieniała w zależności od fenologicznych pór roku. Największą ażurowość stwierdzono w drzewostanie modrzewiowym i sosnowym.

Średnie wartości ażurowości nie różniły się istotnie od wcześniejszych, które uzyskano w roku 2000 z pomiarów tego wskaźnika za pomocą ażurometru Lemona [Lemon 1956, 1957]. W tym samym czasie wykonano także pomiary względnego poziomu światła fotosyntetycznie czynnego wewnątrz drzewostanów przy zastosowaniu dwóch światłomierzy zaopatrzonych w czujniki kwantowe (Spektrum Technologies, Ltd., Plainfield, USA). Stwierdzono statystycznie istotną korelację między ażurowością drzewostanów a poziomem światła w zakresie od 400 do 700 nm [Robakowski i in. 2001].

PRZYROST WIERZCHOŁKA I CZYNNIK ŚWIETLNY. Przebieg zmienności rocznych przyrostów wierzchołka oraz czynnika świetlnego w zależności od ażurowości drzewostanu dobrze wyjaśnia model liniowy. Parametry równania regresji (współczynnik kierunkowy, wyraz wolny) oraz współczynnik determinacji były statystycznie istotne dla obu zmierzonych parametrów dopiero w trzecim roku (2001) od posadzenia (tab. 3).

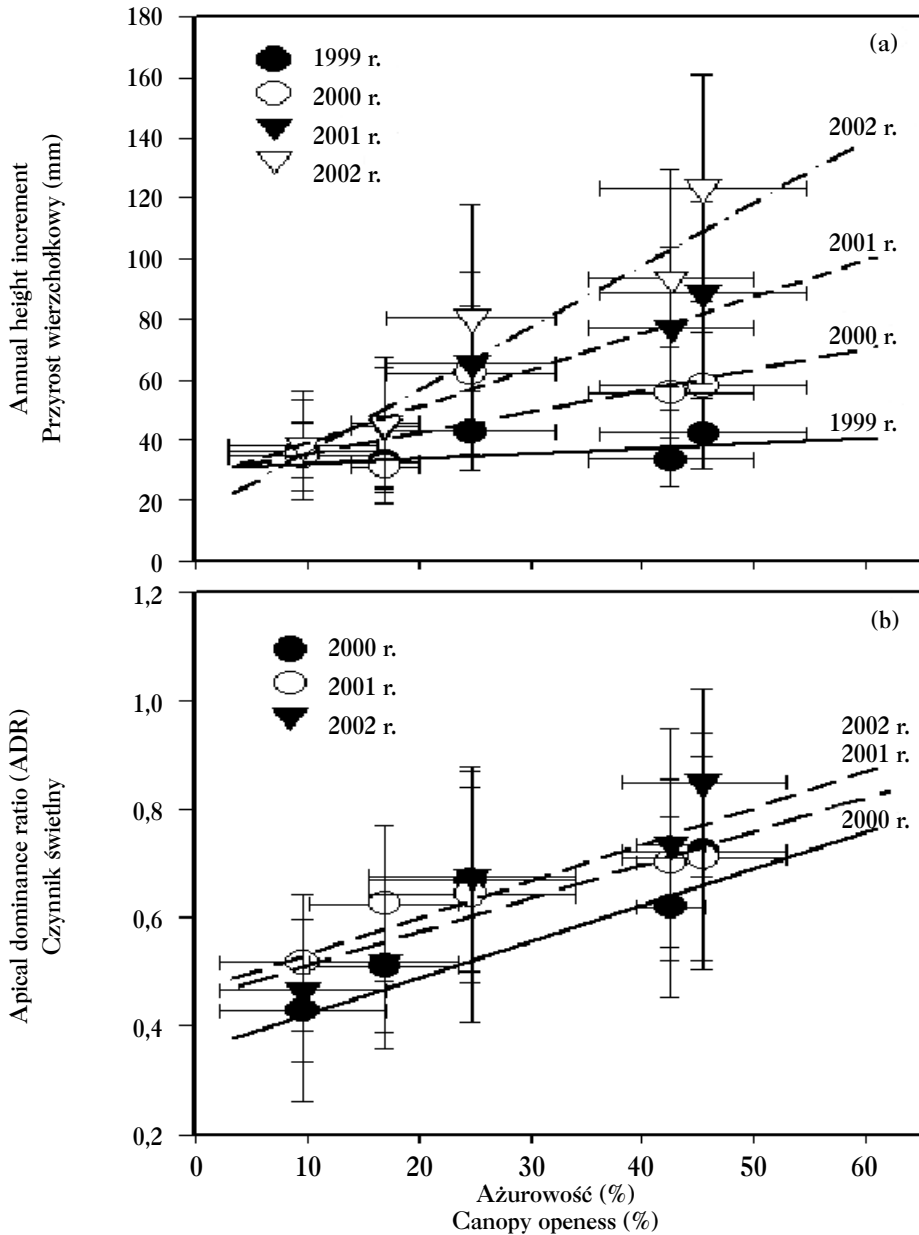
W latach 1999 – 2000 nie stwierdzono statystycznie istotnego liniowego związku między średnią ażurowością drzewostanu a średnimi wartościami mierzonych parametrów wzrostu. Z upływem czasu wyraźnie rosła wartość współczynnika kierunkowego. Dla przyrostów w roku 2002 współczynnik ten był aż 28 razy większy niż w roku 1999, dla czynnika świetlnego od roku 2000 do 2002 wzrósł on około 1,5-razy. Jednocześnie zmniejszała się wartość wyrazu wolnego w równaniach regresji, co w konsekwencji spowodowało zwiększanie kąta nachylenia linii regresji w stosunku do osi X, na której zaznaczono ażurowość (tab. 3, ryc. 1a, b).

Tabela 3.

Analiza regresji dla przyrostów wierzchołkowych i czynnika świetlnego sadzonek jodły pospolitej względem ażurowości okapu drzewostanów. Współczynnik determinacji (R^2), współczynnik kierunkowy, wyraz wolny oraz liniowość związku między analizowanymi zmiennymi były statystycznie istotne, gdy $p < 0.05$. W analizie regresji dwóch zmiennych (ażurowość i przyrost oraz ażurowość i czynnik świetlny) test F i test t dotyczą tego samego parametru (współczynnika kierunkowego), dlatego poziom prawdopodobieństwa p jest w obu przypadkach jednakowy.

Regression analysis for terminal height increments and the light factor of silver fir seedlings as a function of canopy openness. Determination coefficient (R^2), slope of a line, absolute term and linearity of the relationship between analysed variables were statistically significant at $p < 0.05$. In the analysis of two variable regression (canopy openness and increment and canopy openness and light factor) the F-test and T-test refer to the same parameter (slope of a line), so the probability level p is the same in the both cases.

Przyrost	Równanie regresji	Poziom p dla wyrazu wolnego	Współczynnik determinacji (R^2)	p obliczone w wyniku analizy wariancji w regresji=p dla współczynnika kierunkowego
1999 r.	$y = 0,076x + 35,443$	0,007	0,065	0,680
2000 r.	$y = 0,679x + 29,385$	0,075	0,555	0,149
2001 r.	$y = 1,327x + 25,833$	0,019	0,947	0,005
2002 r.	$y = 2,129x + 16,917$	0,269	0,904	0,13
Czynnik świetlny				
2000 r.	$y = 0,006x + 0,413$	0,074	0,708	0,074
2001 r.	$y = 0,005x + 0,512$	0,001	0,866	0,022
2002 r.	$y = 0,01x + 0,382$	0,051	0,919	0,01



Ryc. 1.

Przebieg regresji liniowej dla przyrostów wierzchołkowych (a) sadzonek jodły pospolitej w latach 1999 – 2002 i czynnika świetlnego (b) w latach 2000 – 2002 względem ażurowości okapu drzewostanów. Linie regresji poprowadzono dla średnich obliczonych z pomiarów na 150 sadzonek w każdym drzewostanie. Na punktach oznaczających wartości średnie zaznaczono poziomo odchylenie standardowe dla średnich wartości ażurowości i pionowo odchylenie standardowe dla średnich wartości przyrostów i czynnika świetlnego.

Linear regression for terminal height increments (a) of silver fir seedlings in the years 1999 – 2002 and light factor (b) in the years 2000 – 2002 in relation to canopy openness. The regression lines were drawn for the means calculated from measurements of 150 seedlings in each stand. Horizontal lines in the points showing the mean values indicate standard deviation for the mean values of canopy openness, and vertical lines – standard deviation for the mean values of the increment and the light factor.

Dyskusja

Aklimatyzacja wzrostowa sadzonek jodły pospolitej do warunków siedliskowych panujących pod okapem świerka, sosny, modrzewia, brzozy i buka nastąpiła w trzecim roku od posadzenia. Świadczy o tym silna zależność liniowa między średnimi wartościami rocznych przyrostów wierzchołka oraz średnimi wartościami czynnika świetlnego w roku 2001, a średnimi wartościami ażurowości drzewostanów, w których sadzonki rosły przez trzy lata. Kilkuletni okres aklimatyzacji do nowych warunków świetlnych jest charakterystyczny dla buka i jodły [Puchalski, Prusinkiewicz 1990].

Najważniejszym czynnikiem siedliskowym określającym proces przystosowania była ilość światła docierająca do sadzonek. Zależała ona przede wszystkim od gatunku panującego w okapie drzewostanu (tab. 1, 2).

W badaniach Gazdy [1988] wzrost odnowień naturalnych jodły zależał od światła i nie był statystycznie powiązany z typem siedliskowym w skali od boru mieszanego górskiego do lasu górskiego. W odnowieniach naturalnych jodły w Gorczańskim Parku Narodowym stwierdzono oczywistą ujemną korelację między wartościami czynnika świetlnego a rosnącym zwarciem drzewostanu.

Okres aklimatyzacji sadzonek do nowych warunków świetlnych ma duże znaczenie dla ich wzrostu i rozwoju. Młode jodły użyte w pracach doświadczalnych w Karkonoskim Parku Narodowym rosły w szkółce w tunelach ocieniających, dlatego stres spowodowany ich posadzeniem pod okapem był minimalny. Udatność odnowień na każdej powierzchni doświadczalnej była wysoka. Sadzonki nie wykazały widocznych gołym okiem objawów, które mogłyby świadczyć o nieodpowiednim poziomie promieniowania słonecznego w ciągu czterech lat od posadzenia. Zaobserwowano jednak, że igły rosnące w silnym ocienieniu miały ciemniejszą barwę w porównaniu z igłami lepiej naświetlonymi. Wykazywały one typowe cechy morfologiczne potwierdzające przystosowanie do poziomu napromieniowania [Lambers i in. 1998].

Wcześniejsza o rok aklimatyzacja przyrostowa sadzonek do wielkości promieniowania słonecznego w doświadczeniu kontrolowanym [Robakowski i in. 2002, nie publ.] w porównaniu z powierzchniami badawczymi w KPN była prawdopodobnie spowodowana większymi różnicami między wariantami poziomu światła oraz wyeliminowaniem synergicznego oddziaływania innych czynników siedliskowych przez zastosowanie jednorodnego substratu glebowego, podlewania i nawożenia.

Przyrosty wierzchołkowe oraz czynnik świetlny dla sadzonek jodłowych osiągały większe wartości w drzewostanach charakteryzujących się większą ażurowością okapu i tym samym lepszymi warunkami świetlnymi. W 2002 roku, po czteroletniej aklimatyzacji do warunków świetlnych, przyrosty w drzewostanie modrzewiowym były średnio o 1/3 większe niż w drzewostanie brzozowym i prawie trzykrotnie większe niż w drzewostanie świerkowym i bukowym (ryc. 1a). Kierunek zmienności wskaźnika świetlnego był podobny (ryc. 1b). Według Bellona i in. [1983] można z powodzeniem odnawiać jodłę pod okapem modrzewia przy 50% światła pełnego pod warunkiem, że nie występuje na danym terenie zbyt mała ilość opadów lub niski poziom wody gruntowej. Stosunkowo duża wartość promieniowania słonecznego w drzewostanie modrzewiowym bardziej jednak sprzyja rozwojowi odnowienia bukowego niż jodłowego. Przeżywalność sadzonek jodły zmieniała się z ich wiekiem i zależała od stopnia przzerzedzenia okapu, przy czym była ona najmniejsza przy pełnym świetle.

Sadzonki w drzewostanie bukowym były częściowo zgryzione przez zwierzynę, dlatego nie

można jednoznacznie przypisać słabych przyrostów w tym drzewostanie niewielkiej ażurowości okapu w okresie wegetacyjnym. Jaworski [1995] za Chmelařem [1959] podaje, że słabsze przyrosty odnowienia jodłowego zależą od składu spektralnego promieniowania słonecznego, w którym pod okapem buka duży udział ma promieniowanie zielone, nieaktywne w procesie fotosyntezy. W drzewostanie świerkowym, w równie niekorzystnych warunkach świetlnych, przyrosty także były słabe w porównaniu z drzewostanami, których okap tworzyły gatunki światłożądne.

Z badań Magnuskiego i in. [2001] wynika, że w przypadku jodły sadzonej w przebudowywanym drzewostanie świerkowym, z użyciem rębni częściowej, zagęszczenie drzew po cięciu, wyrażone stopniem zadrzewienia, powinno wynosić w przybliżeniu 0,4. Takie zadrzewienie, chociaż było najmniejsze spośród porównywanych wariantów, zapewniło optymalny dla wzrostu dopływ światła oraz osłonę przed szkodami mrozowymi.

Podsumowując można stwierdzić, że przyrost wierzchołkowy sadzonek jodły był większy i bardziej dynamiczny pod okapem drzewostanów o większej ażurowości, a więc stwarzających korzystniejsze warunki świetlne. Nie świadczy to jednak o tym, że wysoki poziom promieniowania słonecznego jest dla młodych jodeł korzystny. Dla jodeł w wieku do 15 lat względny poziom promieniowania słonecznego powinien wynosić od 10 do 33%, optymalnie 15 – 25 % [Jaworski 1995]. Poznański i Jaworski [2000] cytują wyniki badań Mayera [1957], który stwierdził, że jodły rosnące przez odpowiednio długi okres w cieniu cechują się lepszą żywotnością i osiągają duże rozmiary w wieku dojrzałym. Drzewa tego gatunku eksponowane na światło wykazują negatywne cechy wzrostowe już w wieku 60 – 80 lat. Biorąc pod uwagę wrażliwość jodły na promieniowanie słoneczne i długi okres, po którym mogą pojawić się negatywne skutki silnego naświetlenia i dynamicznych przyrostów w młodym wieku, nie można wyłącznie na podstawie pomiaru przyrostów jednoznacznie ocenić, który gatunek drzewa panujący w okapie najbardziej sprzyja prawidłowemu rozwojowi i żywotności jodły przez regulację poziomu i składu spektralnego światła.

Mechanizm fizjologiczny niekorzystnych zmian u drzew rosnących w młodości na świetle nie jest do tej pory wyjaśniony. Badania w warunkach kontrolowanych wykazały, że intensywność fotosyntezy młodych jodeł rośnie wraz z poziomem światła. Jednocześnie rośnie koncentracja chlorofilu w przeliczeniu na suchą masę igieł oraz koncentracja azotu, potasu, fosforu, wapnia i magnezu w przeliczeniu na ich powierzchnię. W aparacie asymilacyjnym jodeł zaaklimatyzowanych do silnego ocienienia stwierdzono zwiększoną alokację azotu do antenowego kompleksu białkowego, który wychwytuje energię słoneczną (ang. „light harvesting complex” – LHC). Zmianom fizjologicznym towarzyszyło przystosowanie morfologiczne sadzonek, które polegało między innymi na zwiększeniu ich całkowitej biomasy, alokacji biomasy do korzeni i większych przyrostach przy silniejszej ekspozycji na światło. 5-letnie sadzonki jodły inwestują stosunkowo niewielką część azotu obecnego w igłach w procesie fotosyntezy w porównaniu z gatunkami drzew liściastych [Robakowski i in. 2002, nie publ.]. Pewna część ogólnej puli azotu w liściach jest przeznaczona na budowę elementów strukturalnych aparatu asymilacyjnego (epiderma, włókna sklerenchymatyczne i in.), a także wytwarzanie substancji chroniących przed silnym naświetleniem, np. flawonoidów. Zwiększenie intensywności fotosyntezy i tym samym przyrostów na skutek wysokiego poziomu światła powoduje istotne zmiany fizjologiczne, które w konsekwencji pociągają za sobą prawdopodobnie relatywne zmniejszenie „nakładów” na mechanizmy ochronne i większą podatność drzew na różnorodne stresy środowiskowe: silne napromieniowanie, niska i wysoka temperatura, ataki grzybów i owadów.

Podziękowania

Składam podziękowania Panu dr. Andrzejowi Rajowi, zastępcy dyrektora Karkonoskiego Parku Narodowego, za pomoc w organizacji badań.

Literatura

- Dobrowolska D. 1998. Zjawisko zamierania jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) w naturalnym zasięgu. Sylwan, 12: 49-55.
- Barzdajn W. 2000. Strategia restytucji jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) w Sudetach. Sylwan, 2: 63-77.
- Bellon S., Żybura H., Andrzejczyk T. 1983. Wzrost i rozwój odnowień jodły, buka, dębu i lipy pod okapem drzewostanu modrzewiowego o różnym stopniu przerzedzenia. Sylwan, (9, 10): 29-40.
- Bernadzi E. 1983. Zamieranie jodły w granicach naturalnego zasięgu. W: Jodła pospolita *Abies alba* Mill. Ed. S. Białobok. PWN, Warszawa-Poznan, str.: 483-501.
- Feliksik E. 1990. Badania dendroklimatologiczne dotyczące jodły (*Abies alba* Mill.), występującej na obszarze Polski. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja w Krakowie, Rozprawa habilitacyjna nr 151, str.: 88-91.
- Gazda M. 1988. Przebieg wzrostu naturalnych odnowień jodły (*Abies alba* Mill.) w różnych warunkach środowiska. Sylwan, 2: 39-48.
- Jaworski A. 1995. Charakterystyka hodowlana drzew leśnych. Kraków, Gutenberg, str.: 52-76.
- Lambers H., Stuart Chapin III F., Pons L. T. 1998. Plant Physiological Ecology. Springer, str.: 34.
- Lemon P. E. 1956. A Spherical Densimeter for Estimating Forest Overstory Density; Forest Science 2(4): 314 – 320.
- Lemon P. E. 1957. A New Instrument for Measuring Forest Overstory Density. Jour. Forestry 55(9): 667 – 668.
- Magnuski K., Jaszczyk R., Małys L. 2001. Struktura cech biometrycznych jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) pochodzącej z podsadzenia w przebudowanym drzewostanie świerkowym [*Picea abies* (L.) Karst.] o różnym stopniu przerzedzenia. Sylwan, 3: 5-13.
- Matusz S. 1958. Badania zmierzające do opracowania metody określania ażurowości pułapu drzewostanu. Praca doktorska, Akademia Rolnicza w Poznaniu, str: 1 – 98.
- Niemtur S., Loch J., Chwistek K., Czarnota P. 1996. Badania biometryczne podrostów świerka, jodły i buka w Gorczańskim Parku Narodowym. Sylwan 2: 39-47.
- Operat ochrony ekosystemów leśnych. 1996. W: Plan ochrony Karkonoskiego Parku Narodowego i jego otuliny. JBPiP. Jelenia Góra:7-9.
- Poznański R., Jaworski A. 2000. Nowoczesne metody gospodarowania w lasach górskich. Lasy Państwowe, str.: 151-152.
- Puchalski T, Prusinkiewicz S. 1990. Ekologiczne Podstawy Siedliskoznawstwa Leśnego. PWRiL, Warszawa, str.: 95-139.
- Raj A. 1999. Restytucja jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) w Karkonoskim Parku Narodowym. Nie publ.
- Robakowski P., Modrzyński J., Niemczyk M., Zwaduch P. 2000. Ażurowość i fotosyntetyczna gęstość strumienia fotonów w drzewostanach z odnowieniem jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.). Opera Corcontica 36: 506-510.
- Robakowski P., Montpied P., Dreyer E. 2002. Plasticity of morphological and physiological traits in response to different levels of irradiance in seedlings of silver fir (*Abies alba* Mill.). Trees, w druku.
- Stanisz A. Przystępny kurs statystyki z wykorzystaniem programu STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Statsoft Polska, Kraków t. II.
- Ukleja-Dobrowolska 1989. Problemy obumierania jodły w aspekcie hodowlanym. Sylwan, 7: 37-44.
- Wilczkiewicz M. 1976. Jodła pospolita (*Abies alba* Mill.) w Sudetach. Sylwan, 1: 69-80.
- Wilczkiewicz M. 1982. Rys historyczny gospodarki w lasach sudeckich. Sylwan, 6: 49-53.
- Zawada J. 2001. Przyrostowe objawy rewitalizacji jodły w lasach Karpat i Sudetów oraz wynikające z nich konsekwencje hodowlane. Prac. Inst. Bad. Leś., A, 3(922): 79-101.

SUMMARY

A retrospective analysis of annual height increment in silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings growing under a canopy of different tree species in Karkonosze National Park

In 1999, three-year-old silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings were planted on fenced experimental plots under the canopies of Norway spruce, common beech, Scots pine, European larch and common birch stands in the Karkonosze National Park. Retrospective measurements of top height increments from the period 1999 – 2002 were done three years following planting.

The objective of the research was to define the time span after which seedlings adapted to light conditions under crowns of different tree species. The comparison of annual height increments of seedlings and the analysis of variance of light conditions permitted to preliminary assess the effect of individual species forming the canopy on the height response of regeneration.

Light conditions in the stands were assessed on the basis of measurements of canopy openness. This variable depended on the species prevailing in the canopy. Growing canopy openness of stands with full foliage can be distinguished in the following order: beech, spruce, birch, pine and larch stands.

Height adaptation of fir seedlings to light conditions under the canopy of spruce, pine, larch, birch and beech stands occurred in the third year following planting. A strong linear correlation was found between mean values of annual increments of stem tops and apical dominance ratio and mean values of canopy openness of stands in which seedlings had been growing for three years.

Fir top increments and attained higher values in the stands with greater canopy openness and thereby better light conditions. In 2002, after a four-year period of adaptation to light conditions, seedling increments in the larch stand were on average greater by one third than in the birch stand and nearly three times greater than those in the spruce and beech stands. It does not mean that the level of solar radiation is favourable for young firs. Higher photosynthetic intensity and thus the increments resulting from high light levels caused significant physiological changes which, as a consequence, reduced „expenditures” on resistance mechanisms and increased the vulnerability of trees to the variety of environmental stresses: strong insolation, low and high temperatures, fungal diseases and insect attacks.