

MIECZYŚLAW TURSKI, CEZARY BEKER, ROMAN JASZCZAK

## Wydajność aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) różnych klas wieku

Productivity of the assimilation apparatus of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in various age classes

### ABSTRACT

Turski M., Beker C., Jaszczak R. 2015. Wydajność aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej różnych klas wieku. Sylwan 159 (1): 36-44.

Productivity of the assimilating apparatus is commonly defined as an increment in volume, most typically of the stem or trunk, per unit of crown size. In this paper the productivity of the assimilating organ ( $CP_{\text{twm}}$ ) is calculated as a quotient of the average annual increment in stem volume from a 5-year period ( $i_{v,1}$ ) and the volume of twigs with needles ( $\text{twm}_v$ ), determined by xylometry methods (fluid displacement method). The experimental material comprised measurements taken on 200 Scots pines (*Pinus sylvestris* L.) in 8 pure pine stands growing in western Poland (tab. 1). Using the calculated sizes of assimilating apparatus, their arithmetic means and coefficients of variation were calculated for each stand (tab. 2, 3). Additionally, mean crown productivity within each Kraft's class comprising the dominant trees (classes 1, 2 and 3) as well as in the dominated trees (classes 4 and 5) were determined. The strength of the relationship between  $CP_{\text{twm}}$  and diameter at breast height ( $d_{1,3}$ ), height ( $h$ ) and volume of leaved twigs ( $\text{twm}_v$ ) was calculated (tab. 4). Moreover, a two-way analysis of variance was conducted to assess the statistical significance of the effect of age of the stand and biosocial class of tree position in the stand (within the dominant trees and the dominated trees) on productivity of the assimilating apparatus.

Mean productivity of analysed Scots pine crowns takes the highest values in the youngest stand (0.60 m<sup>3</sup>), while the lowest – in the oldest stand (0.34 m<sup>3</sup>). In the youngest, 25-year old pine stand, mean productivity of the assimilating apparatus in trees forming the dominated trees is by 124% greater than that of trees forming the dominant trees. An opposite situation is found in the oldest, 93-year-old stand, where mean productivity of the dominant trees is over 1.5 greater than that recorded in the dominated trees. Statistically significant effect of the stand age on productivity of the assimilating apparatus was observed (tab. 5). However, affiliation of a tree to the dominant or dominated trees does not result in such an effect. On the other hand, there is an interaction between age of the stand and its affiliation to the Kraft's classes. This means that the affiliation of trees to the dominant trees or the dominated trees and its effect on mean productivity of the assimilating apparatus depend on the age of stand.

### KEY WORDS

volume of leaved twigs, productivity of assimilating apparatus, age classes, Kraft's classes

### ADDRESSES

Mieczysław Turski – e-mail: mturski@up.poznan.pl

Cezary Beker – e-mail: beker@up.poznan.pl

Roman Jaszczak – e-mail: romanj@up.poznan.pl

Katedra Urządzania Lasu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu; ul. Wojska Polskiego 71c, 60-625 Poznań

## Wstęp

Większość produktów asymilacji jest zużywana w toku procesów życiowych drzew. Część z nich jest przeznaczana na rozbudowę aparatu asymilacyjnego, systemu korzeniowego, wytworzenie kwiatów i nasion, część jest odkładana w strzale i gałęziach. Z punktu widzenia gospodarki najistotniejsza jest ta część produktu asymilacji, która prowadzi do zwiększenia wymiarów drzew, a tym samym wzrostu ich wartości użytkowej. Zatem przyrost miąższości drzew będzie zależał nie tylko od wielkości aparatu asymilacyjnego, ale od również od jego wydajności. Wydajność aparatu asymilacyjnego jest powszechnie definiowana jako przyrost miąższości, najczęściej strzały lub pnia, przypadający na jednostkę wielkości korony. W praktyce wydajność jest określana w różny sposób, w zależności od posiadanych elementów pomiarowych korony i przyrostów miąższości, jakie zostały pomierzone. Schmidt [1953] definiował wydajność aparatu asymilacyjnego jako masę rocznego przyrostu absolutnej suchej substancji drewna przypadającej na jednostkę masy suchego igliwia. Z kolei Dengler [1937] stosował iloraz przyrostu miąższości strzały do masy suchego igliwia. Mayer [1958] wprowadził pojęcie „intensywności asymilacji” lub „energii asymilacji”, określając ją na podstawie wielkości rocznego przyrostu miąższości drzewa przypadającego na jednostkę powierzchni rzutu korony lub płaszcza korony. Podobnie do tego zagadnienia podchodził Borowski [1966]. Ciekawą propozycję określania wydajności aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) stosował Lemke [1968], posługując się stosunkiem przyrostu miąższości strzały do miąższości ulistnionych gałązek. Tak scharakteryzowana wydajność aparatu asymilacyjnego wyrażała, ile przyrostu miąższości strzały wytworzonego w 5- lub 10-letnim okresie przyrostowym przypada na 1 m<sup>3</sup> ulistnionych gałązek. Badania Lemkego [1968] zostały przeprowadzone w trzech drzewostanach sosnowych. Ten sam autor badał też wielkość i wydajność aparatu asymilacyjnego sosny wejmutki (*Pinus strobus*) w produkcji drewna strzały [Lemke 1979]. Efektywnością koron zajmowali się także Sterba i Amateis [1998], a rozmieszczeniem listowia między drzewami o różnej wielkości koron i ich wpływie na produkcję drewna pnia/strzały przeliczanego na jednostkę powierzchni liści – Smith i Long [1989; 1992], Long i Smith [1992] oraz Roberts i in. [1993]. Z kolei Bronisz i in. [2009] przeanalizowali biomasę aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej rosnącej w zachodniej Polsce.

Celem pracy jest analiza wydajności aparatu asymilacyjnego drzew sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) rosnących w drzewostanach różnych klas wieku na terenie zachodniej Polski. Poddano także badaniu zależność pomiędzy wydajnością aparatu asymilacyjnego a pierśnicą, wysokością i wielkością aparatu asymilacyjnego drzew. Przeanalizowano również wpływ wieku i stanowiska biosocjalnego drzew na wydajność aparatu asymilacyjnego koron sosny.

## Materiał i metody

Materiał badawczy obejmował pomiary wykonane na 200 drzewach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), pochodzących z 8 litych drzewostanów sosnowych rosnących na siedlisku boru mieszanego świeżego (tab. 1). Drzewostany te rosły na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Murowana Goślina (52°34'N, 17°00'E). Na wszystkich drzewach każdej z 8 powierzchni próbnych zaznaczono trwale położenie pierśnicy oraz kierunek północny. Pierśnice drzew pomierzono na krzyż z dwóch kierunków – NS i EW – z zaokrągleniem do 1 mm. Przeciętną pierśnicę drzewostanu ( $d_g$ ) wyliczono jako średnią pierśnicę przekrojową, a średnią wysokość drzewostanu ( $H_T$ ) wzorem Loreya. Podstawowe informacje taksacyjne o drzewostanach przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1.

Podstawowe charakterystyki badanych drzewostanów  
Basic characteristics of the analysed stands

Wiek [lata] Age [years]	Liczba drzew [szt./ha] Number of trees [N/ha]	Przeciętna pierśnica przekrojowa QMD [cm]	Średnia wysokość Mean height[m]	Klasa bonitacji Site index class	Czynnik zadrzewienia Stand density index
25	2590	13,4	15,49	Ia	1,17
33	2927	13,7	16,00	Ia	1,20
44	1225	20,4	21,23	Ia	1,23
56	1160	20,0	21,65	I	1,10
64	766	23,7	24,74	Ia	0,94
74	537	25,5	24,46	I	0,81
85	419	30,8	28,32	Ia	0,88
93	402	31,4	26,12	I	0,91

W każdym drzewostanie wybrano po 25 drzew próbnych, a ich wymiary ustalono zgodnie z zasadami metody Draudta. Wybierano drzewa o prawidłowo ukształtowanych koronach, określając jednocześnie ich stanowisko biosocjalne przy wykorzystaniu klasyfikacji Krafra. Drzewa próbne ścięto (na wysokości  $1/3$  pomierzonej pierśnicy w korze) i podzielono na odcinki (sekcje) o długości 1 metra. Następnie wycięto krążki ze środków sekcji (0,5, 1,5, 2,5 m itd.) oraz dodatkowo z miejsca ścięcia i wysokości położenia pierśnicy. Na pobranych krążkach wykonano analizę strzały. Z korony każdego drzewa pozyskano wszystkie gałązki pokryte igłami, które zważono bezpośrednio po obcięciu. Kolejnym krokiem było losowe pobranie prób, które stanowiły 20% masy świeżych ulistnionych gałązek w drzewostanach młodszych lub 10% tej masy w drzewostanach starszych. Jako minimum przyjęto próbę o masie 2 kg. U drzew o małych koronach ważono igły z wszystkich ulistnionych gałązek. Następnie próby umieszczano w workach foliowych (opisanych numerem powierzchni i numerem drzewa) i przewożono do laboratorium, w którym sposobem ksylometrycznym określono miąższość gałązek z igłami ( $twn_v$ ) w  $m^3$ . Wykonana analiza strzały umożliwiła określenie przyrostu miąższości strzały za ostatnie 5 lat, a następnie wyliczenie przeciętnego rocznego przyrostu miąższości z okresu 5-letniego ( $i_{v_1}$ ) w  $m^3$ . Tak ustalone wielkości były podstawą do wyliczenia wydajności aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) następującym wzorem:

$$CP_{rwn1} = \frac{i_{v_1}}{twn_v}$$

Współczynnik ten wyraża, ile miąższości drewna wyprodukowanego w ciągu roku przypada na jednostkę miąższości aparatu asymilacyjnego. Dysponując wyliczonymi wielkościami aparatu asymilacyjnego, obliczono ich średnią arytmetyczną oraz współczynnik zmienności w każdym z ośmiu analizowanych drzewostanów. Dodatkowo obliczono średnią wydajność koron w ramach każdej z klas Krafra dla drzew panujących (1, 2 i 3 klasa Krafra) oraz opanowanych (4 i 5 klasa Krafra). Obliczono siłę związku pomiędzy wydajnością aparatu asymilacyjnego ( $CP_{rwn1}$ ) a pierśnicą ( $d_{1,3}$ ), wysokością ( $h$ ) i wielkością aparatu asymilacyjnego drzew ( $twn_v$ ). Przeprowadzono także dwuczynnikową analizę wariancji oceniającą statystyczną istotność wpływu wieku drzewostanu i pozycji biosocjalnej drzew (w ramach drzew panujących i opanowanych) na wydajność aparatu asymilacyjnego. Analizy statystyczne zostały wykonane z użyciem programu STATISTICA 9 PL. Istotną kwestią jest ocena, jak duży jest wpływ zmiennych niezależnych na zmienną

zależną. Może się zdarzyć, że różnica między średnimi okaże się istotna, a de facto będzie bardzo mała. Dlatego wartości statystyki  $F$  i związanego z nią prawdopodobieństwa  $p$  nie można przyjąć jako miary wielkości efektu eksperymentalnego. W literaturze najczęściej spotyka się takie miary wielkości efektów analizy wariancji jak proporcja wariancji błędu i efektu (a nie całkowitej wariancji) wyjaśnionej przez dany efekt ( $\eta_p^2$ ) oraz estymator wariancji zmiennej zależnej wyjaśnionej przez zmienną niezależną w całej populacji  $\omega^2$ .

## Wyniki

Największą średnią wydajność aparatu asymilacyjnego (tab. 2), obliczoną z 25 drzew próbnych, odnotowano w najmłodszym, 25-letnim drzewostanie (0,6025), a najmniejszą (ponad 1,7 razy mniejszą) w najstarszym, 93-letnim drzewostanie. W drzewostanach w wieku 44-85 lat średnia wydajność mieści się w przedziale od 0,5356 do 0,5970. W dwóch najstarszych drzewostanach wraz z obniżaniem się stanowiska biosocjalnego, w ramach drzew panujących, wzrasta wydajność aparatu asymilacyjnego. Z kolei w drzewostanie 64-letnim im wyższa klasa Krafta (drzewostan panujący), tym mniejsza wydajność koron drzew. W pozostałych drzewostanach prawidłowości takiej nie stwierdzono. Porównując średnią wydajność aparatu asymilacyjnego, wyliczoną dla drzew panujących i opanowanych, nie dopatrzonego się wyraźnej tendencji. W dwóch najmłodszych drzewostanach (25 i 33 lat) oraz w drzewostanach 74- i 85-letnim wydajność koron drzew tworzących drzewostan opanowany jest większa. Szczególnie jest to widoczne w drzewostanie najmłodszym, gdzie średnia wydajność koron drzew opanowanych jest ponad dwa razy większa niż u drzew panujących.

Współczynnik zmienności wydajności aparatu asymilacyjnego (tab. 3) wyliczony dla wszystkich drzew próbnych poszczególnych drzewostanów jest największy w drzewostanie najmłodszym (58,2%). Jednak dla czterech drzewostanów (33, 56, 64 i 74 lata) nie przekracza wartości 20%. Zmienność wydajności aparatu asymilacyjnego drzew panujących w drzewostanach młodszych (do wieku 64 lat włącznie) jest wyraźnie mniejsza od zmienności odnotowanej dla drzew opanowanych. W trzech najstarszych drzewostanach zachodzi sytuacja odwrotna.

Zależność wydajności aparatu asymilacyjnego od pierśnicy, wysokości i wielkości aparatu asymilacyjnego odnotowano w drzewostanie najmłodszym (tab. 4). W drzewostanie najstarszym wystąpiła zależność wydajności aparatu od pierśnicy i wysokości (choć mniejsza niż w drzewostanie 25-letnim). Istotne związki wydajności aparatu z wysokością były nieco większe niż z pierśnicą. Oprócz tego stwierdzono istotne związki  $CP_{\text{rown1}}$  z  $h$  w drzewostanie 44- i 64-letnim, a z  $\text{rown}_v$  w drzewostanie 74-letnim. Zależność między wielkością ( $\text{rown}_v$ ) a wydajnością aparatu asymila-

Tabela 2.

Średnia wydajność aparatu asymilacyjnego w klasach Krafta  
Mean productivity of the assimilating apparatus of trees belonging to different Kraft's classes

Wiek drzewostanu [lata] Stand age [years]	1	2	3	1÷3	4÷5	1÷5
25	0,4437	0,4841	0,4541	0,4646	1,0392	0,6025
33	0,4696	0,4492	0,4633	0,4578	0,4607	0,4587
44	0,6065	0,6269	0,6219	0,6210	0,5354	0,5970
56	0,5265	0,6191	0,5743	0,5790	0,5074	0,5561
64	0,5744	0,5521	0,5414	0,5536	0,4975	0,5356
74	0,5802	0,5587	0,5902	0,5709	0,6390	0,5873
85	0,5334	0,6259	0,6400	0,6123	0,6929	0,5746
93	0,2686	0,3810	0,3816	0,3753	0,2370	0,3421

Tabela 3.

Współczynnik zmienności wydajności aparatu asymilacyjnego [%] dla wszystkich drzew próbnych oraz drzew panujących i opanowanych

Coefficient of variation of assimilation apparatus productivity [%] for all sample trees, dominant trees and dominated trees

Wiek drzewostanu [lata] Stand age [years]	1÷5	1÷3	4÷5
25	58,2	20,4	48,7
33	19,9	18,1	24,7
44	23,2	18,2	34,8
56	19,1	16,5	23,1
64	17,3	15,1	21,1
74	17,8	18,3	14,9
85	28,6	30,9	15,6
93	31,2	24,8	32,7

Tabela 4.

Korelacja między wydajnością aparatu asymilacyjnego a pierśnicą ( $d_{1,3}$ ), wysokością ( $h$ ) i miąższością ulistnionych gałązek ( $\tau w n_v$ )

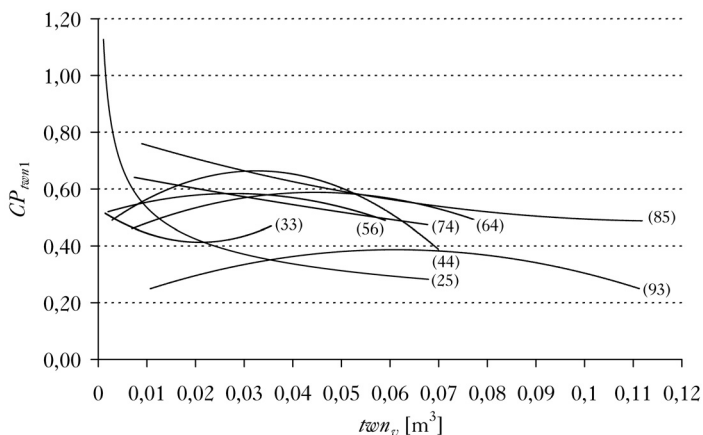
Correlation between the productivity of assimilating organ and diameter at breast height ( $d_{1,3}$ ), height ( $h$ ) or volume of twigs with needles ( $\tau w n_v$ )

Wiek drzewostanu [lata] Stand age [years]	$d_{1,3}$	$h$	$\tau w n_v$
25	-0,577*	-0,582*	-0,465*
33	-0,050	0,051	-0,243
44	0,238	0,519*	0,016
56	0,202	0,217	-0,032
64	0,357	0,403*	0,303
74	-0,349	-0,211	-0,494*
85	-0,146	-0,045	-0,330
93	0,418*	0,549*	0,127

\*istotne przy  $p=0,05$ ; significant at  $p=0,05$

cyjnego przedstawiono także graficznie (ryc.). Starano się tę zależność pokazać za pomocą wybranego równania regresji (funkcja wykładnicza, liniowa, logarytmiczna, wielomianowa drugiego stopnia i potęgowa), które opisywałoby najlepiej ten związek. O jego wyborze zdecydowała wielkość współczynnika determinacji  $R^2$ . W trzech drzewostanach (25, 74 i 85 lat) wyrównane wartości wydajności aparatu asymilacyjnego zmniejszają się wyraźnie ze wzrostem wielkości aparatu asymilacyjnego. Spadek ten jest wyraźnie widoczny w drzewostanie najmłodszym. W czterech drzewostanach (44, 56, 64 i 93 lata) wzrost  $\tau w n_v$  powoduje zwiększanie się wydajności aparatu asymilacyjnego, która po osiągnięciu maksimum zaczyna się zmniejszać. Odmiennie ta zależność przedstawia się w drzewostanie 33-letnim, w którym zwiększanie się wielkości koron powoduje zmniejszanie się jego wydajności aż do osiągnięcia minimum, a następnie jej wzrost.

Stwierdzono występowanie istotnego statystycznie wpływu wieku drzewostanu na wydajność aparatu asymilacyjnego (tab. 5). Wartość  $MS_{E\text{fekt}}$  dla tego efektu jest ponad 15 razy większa od wartości  $MS_{B\text{tqd}}$ . Stąd istotność i duża wartość testu  $F$  (15,549). Nie zaobserwowano istotnego statystycznie zróżnicowania ( $p=0,058359$ ) wydajności aparatu asymilacyjnego ze względu na to, czy są to drzewa panujące, czy opanowane. Musi być także odrzucona hipoteza zerowa o braku interakcji „drzewa panujące lub opanowane” × „wiek”. Oznacza to, że czynniki te współ-



Ryc.

Wydajność aparatu asymilacyjnego ( $CP_{twn1}$ ) w zależności od miąższości ulistnionych gałązek ( $twn_v$ ) w drzewostanach sosnowych o różnym wieku

Productivity of assimilating apparatus  $CP_{twn1}$  in the dependence on volume of twigs with needles ( $twn_v$ ) in pine stands of different age

Tabela 5.

Jednowymiarowe testy istotności, wielkość efektów i moc dla wydajności aparatu asymilacyjnego  
Univariate tests of significance, effect size and powers for productivity of the assimilating apparatus

Efekt Effect	SS	Stopnie swobody df	MS	F	p
Wyraz wolny Intercept	45,82240	1	45,82240	2366,965	0,000000
Drzewa panujące lub opanowane Dominant or dominated trees	0,07024	1	0,07024	3,628	0,058359
Wiek Age	2,10707	7	0,30101	15,549	0,000000
Drzewa panujące lub opanowane×Wiek Dominant or dominated trees×Age	1,65642	7	0,23663	12,233	0,000000
Błąd Error	3,56208	184	0,01936		

działają – wpływ czynnika „drzewa panujące lub opanowane” na średnią wartość  $CP_{twn1}$  zależy od „wieku” drzewostanu. Największy udział w wyjaśnieniu wariancji wydajności aparatu asymilacyjnego ma „wiek” drzewostanu ( $\eta_p^2_{wiek}=37,17\%$ ). Jeśli zsumuje się otrzymane procentowo wyrażone wielkości wariancji cząstkowych  $\omega^2$ , to otrzymamy wielkość wariancji wyjaśnionej zmiennej  $CP_{twn1}$  (zmienna zależna) przez trzy kontrolowane źródła zmienności. W niniejszej pracy wynosi ona 47,79%. Reszta, tj. 52,21%, związana jest z innymi (niekontrolowanymi) źródłami zmienności, które są źródłem wariancji niewyjaśnionej zmiennej  $CP_{twn1}$ .

## Dyskusja

Średnia wydajność koron drzew wykazuje największe wartości w drzewostanie najmłodszym, a najmniejsze w drzewostanie najstarszym. Nie można stwierdzić zbyt ścisłego związku między wielkością tej cechy a wiekiem pozostałych sześciu drzewostanów. Do podobnych wniosków doszedł Lemke [1974b], który odnotował większe wartości wydajności koron drzew sosny w drze-

wostanach młodszych niż starszych. Z danych zestawionych w tabeli 2 wynika, że  $1 \text{ m}^3$  ulistnionych gałązek ( $t_{wn}$ ) wytwarza w procesie asymilacji od  $0,34 \text{ m}^3$  (w najstarszym drzewostanie) do  $0,60 \text{ m}^3$  (w najmłodszym drzewostanie) przyrostu miąższości strzały. Przyczyny takiego stanu rzeczy nie do końca zostały wyjaśnione i można jedynie wysuwać pewne hipotezy. Zmniejszenie się z wiekiem wydajności koron może się wiązać między innymi z faktem, że nie był w tych badaniach uwzględniany przyrost gałęzi czy korzeni, który rośnie z wiekiem. Być może przechodzenie drzew do fazy generatywnej i odkładanie części asymilatów na wytworzenie kwiatów i nasion może odgrywać jakąś rolę. Nie można także wykluczyć hipotezy o zmniejszającej się zdolności asymilacji z wiekiem drzew. Z badań zarówno Denglera [1937], jak i Lemkego [1974a, b, 1979] wynika, że wydajność aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej i sosny wejmutki maleje ze wzrostem wielkości korony. Dengler [1937] twierdzi, że jest to następstwem wzrastającego ocienienia dolnej części korony, której igły pozbawione dostępu pełnego światła produkują mniej wydajnie. Zatem im większa korona, tym więcej igieł pozostaje w ocienieniu, powodując osłabienie energii asymilacji.

W pracy przeanalizowano także, jak kształtuje się wydajność aparatu asymilacyjnego w zależności od stanowiska biosocjalnego drzew. W drzewostanie 85- i 93-letnim w ramach drzew panujących (1, 2 i 3 klasy Krafta) wraz z obniżaniem się stanowiska biosocjalnego wydajność aparatu asymilacyjnego wzrasta, natomiast w drzewostanie 64-letnim maleje. Dla pozostałych pięciu drzewostanów takiej prawidłowości nie stwierdzono. W trzech najstarszych drzewostanach, w ramach drzew panujących, największą produktywnością charakteryzują się drzewa zaliczone do 3 klasy Krafta. Lemke [1968] stwierdził, że średnia wydajność aparatu asymilacyjnego drzew 1 klasy Krafta ma się tak do średniej wydajności klasy 2 i 3 jak 1:1,18:1,13 w drzewostanie 35-letnim, 1:1,10:1,02 w drzewostanie 50-letnim i 1:1,2:1,33 w drzewostanie 88-letnim. W porównywalnych wiekowo drzewostanach analizowanych w tej pracy, tj. w drzewostanach 56- i 85-letnim, odnotowano podobne prawidłowości. W drzewostanie 85-letnim wydajność aparatu asymilacyjnego u drzew 1 klasy Krafta jest o  $\frac{1}{5}$ , a klasy 2 o prawie  $\frac{1}{6}$  mniejsza niż u drzew klasy 3. W drzewostanie 56-letnim średnia wartość  $CP_{t_{wn1}}$  drzew 1 klasy Krafta ma się tak do wartości wyliczonych dla klasy 2 i 3 jak 1:1,18:1,09. Nieco inaczej wygląda ta proporcja w stosunku do badań Lemkego [1968] przeprowadzonych w drzewostanie 35-letnim. W analizowanym tutaj drzewostanie 33-letnim ta proporcja wynosi 1:0,96:0,97. U buka i świerka drzewa opanowane pozostające pod osłoną potrzebują do wytworzenia  $1 \text{ m}^3$  masy drzewnej w przybliżeniu dwukrotnie więcej pod względem wagowym liści niż drzewa panujące, które rosną w korzystnych warunkach świetlnych. Część świetlista korony wpływa w większym stopniu na wynik asymilacji niż część cieniasta korony. Dowodów na tę prawidłowość dostarczają badania Burgera [1939] i Ladefogeda [1946]. W najmłodszym, 25-letnim drzewostanie sosnowym średnia wydajność aparatu asymilacyjnego drzew opanowanych jest o 124% większa niż drzew panujących. Z odwrotną sytuacją mamy do czynienia w najstarszym, 93-letnim drzewostanie, gdzie średnia wydajność drzew panujących jest ponad 1,5 raza większa niż opanowanych.

Współczynnik zmienności wydajności aparatu asymilacyjnego sosen jest największy w najmłodszym (58,2%) i najstarszym drzewostanie (31,2%), a najmniejszy w drzewostanie 64-letnim (17,3%). W większości badanych drzewostanów (za wyjątkiem 74- i 85-letniego) współczynnik zmienności wydajności aparatu asymilacyjnego drzew panujących jest mniejszy niż drzew opanowanych. Nie stwierdza się związku między wielkością współczynnika zmienności analizowanej cechy a wiekiem drzewostanu. Średnia zmienność  $CP_{t_{wn1}}$  wyliczona dla wszystkich ośmiu drzewostanów wynosi prawie 27% i jest wyraźnie mniejsza od uzyskanej przez Lemkego

[1974b] w drzewostanach o porównywalnym wieku, a wynoszącej 35%. Lemke [1979] w 74-letnim drzewostanie z sosną wejmutką odnotował współczynnik zmienności powyższej cechy o wartości 39%.

Istotna zależność wydajności aparatu asymilacyjnego sosny od pierśnicy została odnotowana tylko w najmłodszym i najstarszym drzewostanie. W tych samych drzewostanach oraz dwóch innych stwierdzono nieco większą zależność wydajności od wysokości drzew. Związek wielkości aparatu asymilacyjnego z jego wydajnością był istotny tylko w dwóch drzewostanach. Co ciekawe, jedynie w najmłodszym, 25-letnim drzewostanie stwierdzono zależność wydajności aparatu asymilacyjnego od trzech badanych zmiennych, tj. pierśnicy, wysokości i wielkości aparatu asymilacyjnego drzew. W tym drzewostanie wraz ze zwiększaniem się każdej z wymienionych powyżej trzech cech wydajność aparatu asymilacyjnego sosny maleje. Jeśli przyjąć, że średnia miąższość ulistnionych gałązek ( $fw_n$ ) pojedynczej sosny wynosi  $0,002 \text{ m}^3$  (ryc.), to największą produktywnością będzie się ona charakteryzowała, mając 25 lat. Zwiększenie się wielkości aparatu asymilacyjnego do  $0,06 \text{ m}^3$  powoduje, że największą wydajność aparatu asymilacyjnego odnotujemy w drzewostanie 64- i 85-letnim, a najmniejszą w drzewostanie najmłodszym.

Stwierdzono istotny statystycznie wpływ wieku drzewostanu na wydajność aparatu asymilacyjnego. Przynależność do grupy drzew panujących czy opanowanych takiego wpływu nie powoduje. Okazuje się jednak, że występuje interakcja pomiędzy wiekiem drzewostanu a przynależnością do drzew panujących lub opanowanych. Należy zatem interpretować to w ten sposób, że wpływ drzew panujących lub opanowanych na średnią wydajność aparatu asymilacyjnego zależy od wieku drzewostanu.

Powszechnie spotykaną w literaturze miarą wielkości efektów analizy wariancji jest  $\omega^2$ . Oczywiście wartość ta, jako ocena wielkości efektu dla populacji, będzie zawsze mniejsza od współczynnika  $\eta_p^2$ , który jest oceną wielkości dla próby. Problemem jest to, że nie ma skali podającej, jak duży powinien być efekt, aby był znaczący. Często korzysta się z umownej skali zaproponowanej przez Cohena [1988]. Według tego autora jeżeli współczynnik  $\omega^2$  jest z przedziału [25%, 50%), to analizowany efekt jest słaby, z przedziału [50%, 75%) średni, a [75%, 100%] silny. Zatem wpływ wieku drzewostanu na wydajność aparatu asymilacyjnego należy uznać za słaby (26,59%), a pozycji biosocjalnej za bardzo mały (0,69%). Interakcja czynników „drzewa panujące lub opanowane” x „wiek” w wyjaśnieniu wariancji zmiennej zależnej wynosi 20,51%. Są jednak przypadki, kiedy procent wyjaśnianej wariancji był bardzo mały, a w rzeczywistości otrzymany efekt był bardzo ważny [Rosenthal 1990]. Należy pamiętać, że miara wielkości wyjaśnionej wariancji nie jest miarą absolutną, a podającą wielkość efektu względem zmienności zmiennych.

## Wnioski

- ✦ Największą średnią wydajnością aparatu asymilacyjnego sosny zwyczajnej charakteryzują się drzewa pochodzące z drzewostanu najmłodszego, a najmniejszą z drzewostanu najstarszego. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy może być fakt nieuwzględniania w tych badaniach przyrostu gałęzi czy korzeni, który rośnie z wiekiem.
- ✦ W najmłodszym drzewostanie średnia wydajność aparatu asymilacyjnego drzew opanowanych jest o 124% większa niż panujących. Z odwrotną sytuacją mamy do czynienia w drzewostanie najstarszym, w którym wydajność drzew panujących jest ponad 1,5 raza większa niż opanowanych.
- ✦ Największą zmienność wydajności aparatu asymilacyjnego odnotowano w drzewostanie najmłodszym. W sześciu drzewostanach na osiem badanych zmienność wydajności aparatu asymilacyjnego drzew panujących jest mniejsza niż drzew opanowanych.



- ✦ Jedynie w drzewostanie najmłodszym odnotowano istotną zależność wydajności aparatu asymilacyjnego ( $CP_{\text{rown}}$ ) od pierśnicy ( $d_{1,3}$ ), wysokości ( $h$ ) i miąższości ulistnionych gałązek ( $tw_{n_v}$ ). Zwiększanie się każdej z tych trzech cech powoduje zmniejszanie się wydajności aparatu asymilacyjnego.
- ✦ Przeprowadzona dwuczynnikowa analiza wariancji wskazuje na istotny statystycznie wpływ wieku drzewostanu na wydajność aparatu asymilacyjnego. Jednak już przynależność drzew do grupy drzew panujących czy opanowanych takiego wpływu nie powoduje.
- ✦ Korzystając z umownej skali efektów analizy wariancji podanej przez Cohena [1988], wpływ wieku na wydajność aparatu asymilacyjnego należy uznać za słaby (26,59%), pozycji biosocjalnej (drzewa panujące lub opanowane) bardzo mały (0,69%), a interakcji czynników drzewa panujące lub opanowane i wiek za mały (20,51%).

## Literatura

- Borowski M. 1966. Über den Zuwachs der sozialen Baumklassen in Kiefernbeständen. Archiw für Forstwesen 3: 233-241.
- Borowski M. 1974. Przyrost drzew i drzewostanów. PWRiL, Warszawa.
- Bronisz K., Bronisz A., Zasada M., Bijak S., Wojtan R., Tomusiak R., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L. 2009. Biomasa aparatu asymilacyjnego w drzewostanach sosnowych zachodniej Polski. Sylwan 153 (11): 758-767.
- Burger H. 1939. Baumkrone und Zuwachs in zwei hiebsreifen Fichtenbeständen. Mitt. Schw. Anst. f.d. Forst. Versuchswesen 21: 147-176.
- Cohen J. 1988. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences, 2<sup>nd</sup> ed. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, New Jersey.
- Dengler A. 1937. Kronengröße, Nadelmenge und Zuwachsleistung von Altkiefern. Z. f. Forst- u. Jagdwesen 69: 321-336.
- Ladefoged K. 1946. DiffDanm 16: 365.
- Lemke J. 1968. Związek pomiędzy wielkością korony a przyrostem drzew w drzewostanach sosnowych. Pr. Kom. Nauk Roln. Kom. Nauk Leśn. PTPN 25: 1-48.
- Lemke J. 1974a. Ciężar igliwia, ulistnionych gałązek a przyrost miąższości strzały w drzewostanach sosnowych. Sylwan 118 (5): 10-20.
- Lemke J. 1974b. Wydajność igliwia sosny zwyczajnej w produkcji drewna strzały. Sylwan 118 (9): 33-38.
- Lemke J. 1979. Wielkość i wydajność aparatu asymilacyjnego sosny wejmutki w produkcji drewna strzały. Sylwan 123 (2): 21-31.
- Long J. N., Smith F. W. 1992. Volume increment in *Pinus contorta* var. *latifolia*: the influence of stand development and crown dynamics. Forest Ecology and Management 53: 53-64.
- Mayer R. 1958. Kronengröße und Zuwachsleistung der Traubeneiche auf süddeutschen Standorten. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 129: 105-114, 151-163, 191-201.
- Roberts S. D., Long J. N., Smith F. W. 1993. Canopy stratification and leaf area efficiency: a conceptualization. Forest Ecology and Management 60: 143-156.
- Rosenthal R. 1990. How are we doing in soft psychology? American Psychologist 45: 775-777.
- Schmidt H. 1953. Kronen- und Zuwachsuntersuchungen an Fichten des bayerischen Alpenvorlandes. Forstwissenschaftliches Zentralblatt Volume 72 (9/10): 276-286.
- Smith F. W., Long J. N. 1989. The influence of canopy structure on stemwood production and growth efficiency of *Pinus contorta* var. *latifolia*. Journal of Applied Ecology 26: 681-691.
- Smith F. W., Long J. N. 1992. Determinants of stemwood production in coniferous forests: a comparison of *Pinus contorta* var. *latifolia* and *Abies lasiocarpa*. W: Cannell M. G. R., Malcolm D. C., Robertson P. A. [red.]. The Ecology of Mixed-Species Stands of Trees. Special Publication Series of the British Ecological Society. Blackwell Science Publishing, Edinburgh. 87-98.
- Sterba H., Amateis R. L. 1998. Crown efficiency in a loblolly pine (*Pinus taeda*) spacing experiment. Canadian Journal of Forest Research 28: 1344-1351.