

STANISŁAW ORZEŁ, WOJCIECH OCHAŁ, MARCIN FORGIEL, JAROSŁAW SOCHA

Biomasa i roczna produkcja drzewostanów dębowych Puszczy Niepołomickiej*

Biomass and annual production of oak stands in the Niepołomicka Forest

ABSTRACT

Orzeł S., Ochał W., Forgiel M., Socha J. 2006. Biomasa i roczna produkcja drzewostanów dębowych Puszczy Niepołomickiej. Sylwan 5: 30-43.

The paper presents the results of the study on biomass volume and annual production of oak stands in the Niepołomicka Forest. The analysis was based on the material collected from 59 circular sample plots where oak accounted for more than 50% of the volume of the tree layer.

In the total biomass of the tree layer amounting to about 225.3 t·ha⁻¹, the biomass of the shrub layer (underbrush) is about 2.3 t·ha⁻¹. In the tree layer biomass (about 223 t·ha⁻¹), wood makes up on average 86.4%, bark – 12% and assimilatory apparatus – 1.6%. The share of wood in the biomass increases with the increase of stand age, while that of bark and assimilatory apparatus declines. The proportion of these elements in the dry mass production (on average 9.8 t·ha⁻¹·year⁻¹) is somewhat different. Almost 35% of its volume is assimilatory apparatus whose share increases with stand age. The increment of bark is about 9%, while of wood it is 56% of the annual biomass production of the stands under analysis and slightly decreases with stand age.

KEY WORDS

oak stand, biomass, annual biomass production

ADDRESSES

Stanisław Orzeł – Katedra Dendrometrii; Akademia Rolnicza;
Al. 29-Listopada 46; 31-425 Kraków; e-mail: rlorzel@cyf-kr.edu.pl

Wojciech Ochał – Katedra Dendrometrii; Akademia Rolnicza;
Al. 29-Listopada 46; 31-425 Kraków; e-mail: rlochal@cyf-kr.edu.pl

Marcin Forgiel – Katedra Dendrometrii; Akademia Rolnicza;
Al. 29-Listopada 46; 31-425 Kraków; e-mail: rlforgie@cyf-kr.edu.pl

Jarosław Socha – Katedra Dendrometrii; Akademia Rolnicza;
Al. 29-Listopada 46; 31-425 Kraków; e-mail: rlsocha@cyf-kr.edu.pl

Wstęp

W globalnej produkcji biomasy największą rolę odgrywają zbiorowiska leśne [Vyskot 1980; Weiner 1999]. Substancja organiczna wytworzona w procesie fotosyntezy przez roślinność drzewiastą stanowi źródło surowców odnawialnych, wykorzystywanych zwłaszcza w przemyśle drzewnym, papierniczym i energetycznym [Johansson 1999a; Kubiak, Laurow 1994; Parresol 2002]. Doceniając produkcyjne funkcje lasów, zwraca się obecnie coraz większą uwagę na ich rolę jako elementu globalnego układu biologicznego. W układzie tym lasy odgrywają istotne znaczenie w zachodzących procesach ekologicznych przez: kształtowanie klimatu, hamowanie

* Badania wykonano w ramach projektu nr 3 P06L 013 22 pt.: „Biomasa i roczna produkcja roślinności drzewiastej Puszczy Niepołomickiej” finansowanego przez KBN

efektu cieplarnianego, utrzymywanie bioróżnorodności, udział w przepływie energii oraz globalnym obiegu węgla, wody, makro- i mikroelementów [Grote 2002; Jenkins i in. 2003; Nienartowicz 1996; Parresol 1999; Uri i in. 2003], wywierając tym samym zasadniczy wpływ na jakość życia na kuli ziemskiej. Udział obszarów leśnych w kształtowaniu tych procesów jest funkcją nie tylko zakumulowanej i produkowanej przez nie biomasy, lecz także udziału poszczególnych jej komponentów (drewno, aparat asymilacyjny, kora, owoce, nasiona itp.) [Gornowicz 2002].

Określanie całkowitej biomasy, jak i różnych jej elementów stanowi jeden z ważniejszych problemów badawczych podejmowanych zwłaszcza od połowy XX wieku [Baldwin i in. 1997; Bandoła-Ciołczyk 1974; Cannell 1982; Czarnowski 1978; Dean, Cao 2003; Grote 2002; Jenkins i in. 2003; Johansson 1999a, b; Lin i in. 2001; Pardé 1980; Parresol 1999; Raimer i in. 1990; Socha, Wężyk 2004; Vyskot 1980].

Do oceny wielkości biomasy oraz zakumulowanego w niej węgla na obszarach większych, takich jak region lub kraj, wykorzystuje się informacje pochodzące z inwentaryzacji lasu [Kauppi i in. 1992]. Informacje o zapasie i przyroście drzewostanów zawarte w opisach taksacyjnych można by wykorzystać do szacowania całkowitej biomasy lub poszczególnych jej komponentów. Aby oszacowanie takie było wiarygodne, niezbędne wydaje się przeprowadzenie szerszych, szczegółowych badań nad udziałem części składowych drzew w całkowitej ich biomacie i opracowanie odpowiednich, lokalnych przeliczników do zamiany miąższości na suchą masę.

Celem pracy jest ocena wielkości biomasy zakumulowanej przez drzewostany dębowe Puszczy Niepołomickiej, a także udziału w niej i rocznej produkcji różnych części drzew. Podjęto także próbę ustalenia współczynników umożliwiających określenie suchej masy poszczególnych części składowych drzew na podstawie miąższości ich strzał.

Metodyka i materiał badawczy

Puszcza Niepołomicka to zwarty kompleks leśny o powierzchni około 10 900 ha położony na wschód od aglomeracji krakowskiej. Obszar ten charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem warunków siedliskowych. W północnej jej części dominują siedliska żyzne, głównie lasowe, w południowej zaś przeważają gleby piaszczyste tworzące siedliska boru mieszanego w różnym wariantcie uwilgotnienia. Na obszarze tym głównym gatunkiem lasotwórczym jest sosna, której drzewostany zajmują około 70% powierzchni. Drugim po sosnie lasotwórczym gatunkiem występującym w Puszczy Niepołomickiej jest dąb. Drzewostany z jego przeważającym udziałem zajmują około 14% powierzchni. Materiał badawczy będący podstawą niniejszego opracowania został zebrany w trakcie prac prowadzonych przez pracowników Katedry Dendrometrii AR w Krakowie w ramach projektu 3 P06L 013 22. Stanowią go wyniki pomiarów drzew rosnących na 59 wybranych powierzchniach kołowych, na których udział dębu w miąższości górnej warstwy drzew stanowił więcej niż 50%.

Zgodnie z metodyką projektu, powierzchnie rozmieszczono systematycznie na całym obszarze Puszczy Niepołomickiej w siatce kwadratów o boku 500 m. Szczegółowy opis kryteriów ustalania wielkości powierzchni, sposobu wytyczania ich lokalizacji w terenie i zakresu wykonywanych prac pomiarowych został zamieszczony w innej pracy autorów [Orzeł i in. 2005a].

Dla każdej powierzchni (drzewostanu) określono sumaryczną biomasę (suchą masę w tonach) roślinności drzewiastej (BD), na którą składała się biomasa warstwy drzew (Bd) oraz warstwy podszytu (Bp). W warstwie drzew wyróżniono następujące składowe: suchą masę drewna (Bdr), kory (Bk) i aparatu asymilacyjnego (Bl). W przypadku biomasy drewna i kory, wielkości te określono oddzielnie dla strzał i gałęzi. Elementy tworzące biomasę drzewostanu

określono oddzielnie dla dwóch wyróżnionych pięter: pierwszego, które stanowiły drzewa wyższe od 2/3 średniej wysokości pięciu najwyższych drzew na powierzchni i drugiego, do którego zaliczono wszystkie pozostałe.

Biomasę drewna (Bdr) i kory (Bk) strzał określono przeliczając ich wartości objętościowe na wagowe korzystając z przeciętnych gęstości objętościowych drewna i kory dla poszczególnych gatunków drzew [Assmann 1968].

Miąższość strzał z korą określono dla poszczególnych gatunków drzew na podstawie wzorów empirycznych opracowanych przez: Bruchwalda i in. [2000], Dika [1984], Braastada [1966]. Tak obliczoną miąższość sosny, dębu i olszy przeliczono następnie na miąższość bez kory za pomocą równań o ogólnej postaci:

$$v_{bk} = \frac{v_{zk}}{j \times \left(\frac{g_{zk}}{g_{bk}} \right)^k \times d_{1,3}^m \times h^n} \quad [1]$$

gdzie:

v_{bk} – miąższość drzewa bez kory,

v_{zk} – miąższość drzewa z korą określona wzorem empirycznym,

g_{zk} – powierzchnia pierścnicowego przekroju drzewa w korze,

g_{bk} – powierzchnia pierścnicowego przekroju drzewa bez kory,

$d_{1,3}$ – pierśnica drzewa,

h – wysokość drzewa,

j, k, m, n – współczynniki równania określone przez dr. J. Sochę na materiale reprezentatywnym dla Puszczy Niepołomickiej.

Dla dębu współczynniki te wynoszą: $j=0,900658$, $k=0,84644$, $m=-0,085288$, $n=0,13638$. Ich wielkość określoną dla olszy i sosny podano w innych pracach autorów [Orzeł i in. 2005a, b].

Z różnicy tak określonych miąższości w korze i bez kory obliczono miąższość kory pni.

Do określenia suchej masy aparatu asymilacyjnego i drewna gałęzi z korą dębów, sosen i olch wykorzystano allometryczne równania opracowane przez Sochę i Wężyka [2004] na podstawie wcześniejszych badań prowadzonych w Puszczy Niepołomickiej. Dla innych gatunków zastosowano wzory zaczerpnięte z literatury [Cerny 1990; Johansson 1999b].

W celu określenia przyrostu biomasy, obliczono miąższość strzał oraz suchą masę gałęzi na początku okresu (przed pięciu laty), stosując te same, wymienione wyżej wzory. Wymagało to wcześniejszego ustalenia wymiarów drzew przed pięciu laty. Przyrost w pięcioletnim okresie ustalono z różnicy pomiędzy wartościami z końca i początku okresu. Wartość tę następnie przeliczono na jeden rok.

Biomasę warstwy podszytu określono na podstawie oryginalnej metodyki przedstawionej w innych pracach autorów [Orzeł i in. 2005c, 2005d].

Dla wyróżnionych frakcji biomasy (drewno, kora, aparat asymilacyjny) określono „współczynniki akumulacji” biomasy (BEF – biomass expansion factor) [Lehtonen i in. 2004] według wzoru:

$$BEF_i = \frac{W_i}{V} \quad [2]$$

gdzie:

BEF_i – „współczynnik akumulacji” biomasy frakcji i [$t \cdot m^{-3}$],

W_i – sucha masa frakcji i [t],

V – miąższość strzały [m^3].

Współczynniki obliczono zarówno na poziomie poszczególnych drzewostanów (powierzchni) jak i dla wyróżnionych klas wieku. Wartości określone dla powierzchni pozwoliły na analizę wpływu cech drzewostanu na wielkość obliczonych współczynników wyróżnionych frakcji biomasy.

Wyniki

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA DRZEWOSTANÓW DĘBOWYCH. Analizowane drzewostany dębowe rosną w szerokim zakresie warunków siedliskowych – od borów mieszanych świeżych (BMśw) po olsy (Ol). Najczęściej występują na siedlisku lasu wilgotnego (Lw) – ponad 76% powierzchni. Wiek ich zawierał się w granicach od 26 do 171 lat. Duże zróżnicowanie wieku i warunków siedliskowych jest przyczyną dużej zmienności pozostałych cech taksacyjnych (tab. 1). Przeciętna pierśnica obliczona dla poszczególnych drzewostanów przyjmowała wartości od 9,5 cm do 77,0 cm, zaś wysokość górna wynosiła od 12,2 m do 33,7 m. Z wiekiem wyraźnie zmniejsza się liczba drzew, od wynoszącej średnio 1720 szt.·ha⁻¹ w II klasie wieku do 297 szt.·ha⁻¹ w klasie obejmującej drzewostany powyżej 140 lat. Podobne tendencje z wiekiem wykazuje udział dębu w ogólnej liczbie drzew (od 94% do 26%). Z wiekiem natomiast rośnie na ogół pole pierśnicowego przekroju oraz wyraźnie zwiększa się średnia zasobność w wyróżnionych klasach wieku. W drzewostanach powyżej 100 lat jej średnia wartość wynosząca ponad 400 m³·ha⁻¹ jest blisko dwa razy większa od średniej zasobności lasów Polski. Znacznie większy udział dębu w miąższości niż liczbie drzew, zwłaszcza w starszych klasach wieku, wskazuje na występowanie w nich dużej liczby drzew o wyraźnie mniejszych od dębu wymiarach, tworzących głównie II piętro.

BIOMASA DRZEWOSTANÓW DĘBOWYCH. Średnia biomasa roślinności drzewiastej drzewostanów dębowych Puszczy Niepołomickiej wynosząca 225,328 t·ha⁻¹ została określona z błędem standardowym ±11,665 t·ha⁻¹ (5,18%). Składają się na nią biomasa warstwy drzew – 223,008 t·ha⁻¹ i biomasa warstwy podszytu – 2,320 t·ha⁻¹ (tab. 2). Jedyne w II klasie wieku podszyt ma dość znaczący udział, bo około 3,7% (4,401 t·ha⁻¹). W pozostałych klasach wieku sucha masa tej warstwy przyjmuje wartości od niespełna 1,4 do nieco ponad 2,9 t·ha⁻¹ (od 0,5% do 1,2%).

Średni udział dębu – głównego gatunku warstwy drzew wynosi 78,5% (tab. 3). Na pozostałe 21,5% biomasy składa się sucha masa aż 17 gatunków drzew występujących w roli domieszki. Biomasa pięciu z nich: grabu, lipy, sosny, jesionu i olszy stanowi 19,4% ogólnej biomasy drzewostanów, zaś pozostałych 12 gatunków (buk, brzoza, czeremcha, dąb czerwony, głóg, jarzab, jawor, klon, kasztanowiec, modrzew, świerk, wiąz) 2,1% jej wielkości (tab. 3).

W ogólnej suchej masie warstwy drzew – 223,008 t·ha⁻¹, biomasa drewna wynosi 192,576 t·ha⁻¹, kory 26,857 t·ha⁻¹, a aparatu asymilacyjnego 3,576 t·ha⁻¹, co stanowi odpowiednio: 86,4%, 12,0% i 1,6% biomasy tej zasadniczej warstwy drzewostanu (ryc. 1).

Z wiekiem drzewostanów zmienia się udział wymienionych komponentów. Krzywoliniowy związek tej zależności, po logarytmicznej transformacji wieku, przybiera postać liniową (ryc. 2). Współczynnik korelacji Pearsona oceniający siłę tego związku jest statystycznie istotny i wynosi 0,757 w przypadku udziału drewna, -0,829 dla udziału aparatu asymilacyjnego i -0,614 w przypadku udziału kory.

Wynoszący 3,7% udział aparatu asymilacyjnego oraz 15,0% udział kory w biomacie drzewostanów najmłodszych zmniejsza się z wiekiem i w drzewostanach starszych od 140 lat wynosi odpowiednio 1,1% oraz 10,3%.

WSPÓŁCZYNNIKI AKUMULACJI BIOMASY (BEF). Średnie wartości współczynników akumulacji biomasy przyjmują różne wielkości dla poszczególnych jej komponentów w wyróżnionych klasach wieku (tab. 4).

Tabela 1.

Ogólna charakterystyka powierzchni próbnych zlokalizowanych w drzewostanach dębowych Puszczy Niepolomickiej
 General description of sample plots located in oak stands of the Niepolomicka Forest

Cecha	Klasa wieku							
	II	III	IV	V	VI	VII	≥VIII	
Liczba powierzchni	8	8	14	8	12	6	3	
Wiek [lat]	30 (26-36)	49 (41-56)	66 (61-76)	88 (81-96)	109 (101-116)	127 (121-131)	159 (146-171)	
STL	LMw, Lw	BMśw, BMw, Lw	BMw, LMśw, LMw, Lw	LMśw, LMw, Lw	Lw, Ol	LMw, Lw	Lw	
N [szt·ha ⁻¹]	1720 (1200-2800)	656 (260-1120)	533 (80-1050)	417 (110-700)	408 (230-600)	303 (80-590)	297 (150-440)	
N _(Db) [szt·ha ⁻¹]	1613 (920-2700)	449 (80-880)	267 (50-425)	138 (50-217)	111 (67-183)	98 (70-130)	78 (33-140)	
D _{g (Db)} [cm]	13,1 (9,5-16,8)	24,5 (15,4-34,5)	34,3 (21,5-72,0)	43,4 (31,0-60,0)	53,4 (41,5-62,9)	53,4 (47,4-62,0)	66,9 (55,7-77,0)	
H _{L (Db)} [m]	13,4 (11,3-17,6)	19,7 (12,3-25,6)	23,7 (15,3-29,4)	26,9 (23,3-31,9)	29,3 (25,3-33,7)	29,5 (27,8-31,9)	30,8 (29,1-32,5)	
H _{100 (Db)} [m]	14,6 (12,2-19,2)	21,1 (13,1-26,6)	24,8 (16,9-32,3)	27,3 (23,3-32,3)	29,6 (25,3-33,7)	29,8 (27,9-32,4)	30,9 (29,1-32,5)	
G [m ² ·ha ⁻¹]	22,04 (15,73-28,31)	23,13 (15,22-32,77)	28,71 (13,27-38,58)	29,99 (20,97-37,98)	34,32 (20,10-43,53)	32,19 (22,24-42,29)	35,33 (26,28-43,44)	
G _(Db) [m ² ·ha ⁻¹]	20,38 (14,06-27,68)	17,54 (7,46-27,76)	21,04 (5,76-35,60)	19,10 (11,10-26,88)	24,68 (9,02-35,33)	21,80 (12,34-28,88)	23,81 (15,51-34,13)	
V [m ³ ·ha ⁻¹]	147,0 (87,7-244,2)	211,2 (98,9-341,4)	313,6 (101,9-495,7)	348,6 (223,7-496,8)	419,4 (248,7-529,4)	411,7 (279,9-580)	446,3 (328,1-571,8)	
V _(Db) [m ³ ·ha ⁻¹]	134,0 (79,5-175,8)	165,3 (66,8-297,3)	243,4 (47,9-490,1)	242,7 (135-396,3)	332,2 (122,9-474,2)	293,8 (174,3-366,9)	333,2 (229,2-480,9)	

Tabela 2.

 Biomasa ($t \cdot ha^{-1}$) wyróżnionych elementów drzewostanów dębowych Puszczy Niepołomickiej
 Biomass ($t \cdot ha^{-1}$) of the distinguished components of oak stands in the Niepołomicka Forest

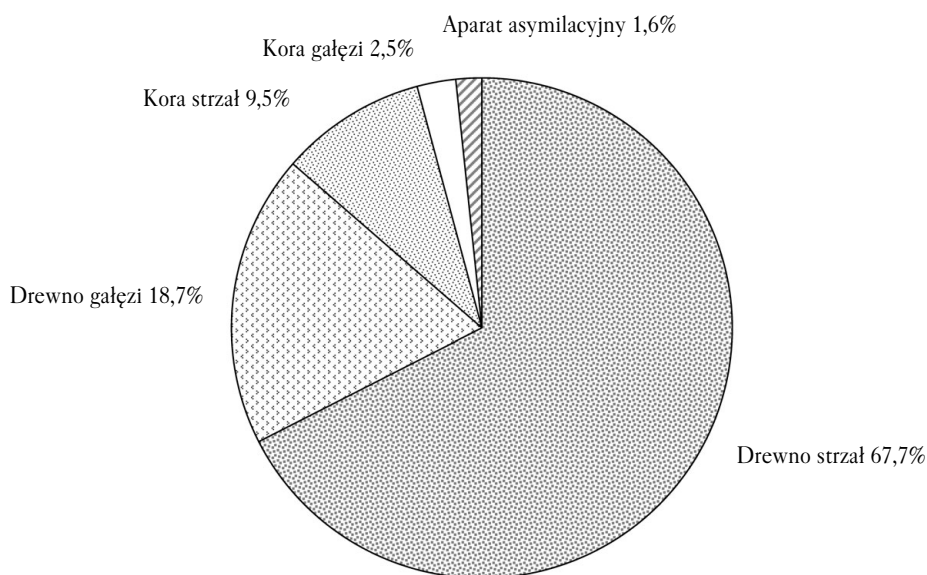
Wyróżnione elementy	Klasa wieku								Ogółem
	II	III	IV	V	VI	VII	≥VIII		
Drewno strzał	65,264	91,580	137,902	152,857	186,001	181,905	201,130	141,272	
Drewno gałęzi	24,360	27,897	37,736	39,613	49,548	44,323	54,304	38,757	
Kora strzał	11,995	16,261	20,370	21,002	22,825	20,431	22,810	19,393	
Kora gałęzi	4,517	4,890	5,553	5,372	5,811	5,127	5,927	5,326	
Aparat asymilacyjny	3,984	2,955	3,272	3,093	2,830	2,757	2,941	3,142	
Razem I piętro	110,120	143,583	204,833	221,937	267,015	254,543	287,112	207,890	
Drewno strzał	2,029	4,785	7,475	9,744	16,761	13,466	15,062	9,563	
Drewno gałęzi	0,818	1,746	2,041	3,156	5,345	4,026	4,458	2,983	
Kora strzał	0,390	0,792	1,552	1,856	2,798	2,021	2,635	1,689	
Kora gałęzi	0,156	0,254	0,373	0,459	0,754	0,573	0,616	0,449	
Aparat asymilacyjny	0,175	0,309	0,358	0,421	0,707	0,539	0,528	0,433	
Razem II piętro	3,568	7,886	11,799	15,636	26,365	20,625	23,299	15,118	
Razem warstwa drzew	113,688	151,469	216,632	237,573	293,380	275,168	310,411	223,008	
Warstwa podszytu	4,401	1,363	2,718	1,799	1,356	2,207	2,930	2,320	
Biomasa ogółem	118,089	152,832	219,350	239,372	294,736	277,375	313,341	225,328	

Warstwa drzew

Tabela 3.

Udział poszczególnych gatunków w biomase wyróżnionych pięter warstwy drzew
 Percentages of tree species in the biomass of the distinguished storeys of the tree layer

Gatunek	Udział gatunków w biomase [%]		
	I piętro	II piętro	Drzewostan (całość)
Db	83,0	15,7	78,5
Gb	5,4	42,6	7,9
Lp	2,8	23,7	4,2
Js	2,3	6,1	2,6
Ol	1,2	3,0	1,3
So	3,6	0,2	3,4
Inne	1,7	8,7	2,1



Ryc. 1.

Udział wyróżnionych części drzew w ogólnej biomase drzewostanów dębowych
 Percentage share of the distinguished tree components of oak stand total biomass

Metodą analizy wariancji wykazano, że jedynie w odniesieniu do drewna brak statystycznie istotnych różnic pomiędzy grupami wiekowymi. W przypadku pozostałych cech, przy korzystaniu z obliczonych współczynników należy się posługiwać różnymi wartościami dla grup wiekowych lub określić ich funkcyjną zależność od wieku. Do aproksymacji tej zależności Lethonen i in. [2004] zaproponowali ogólne równanie postaci:

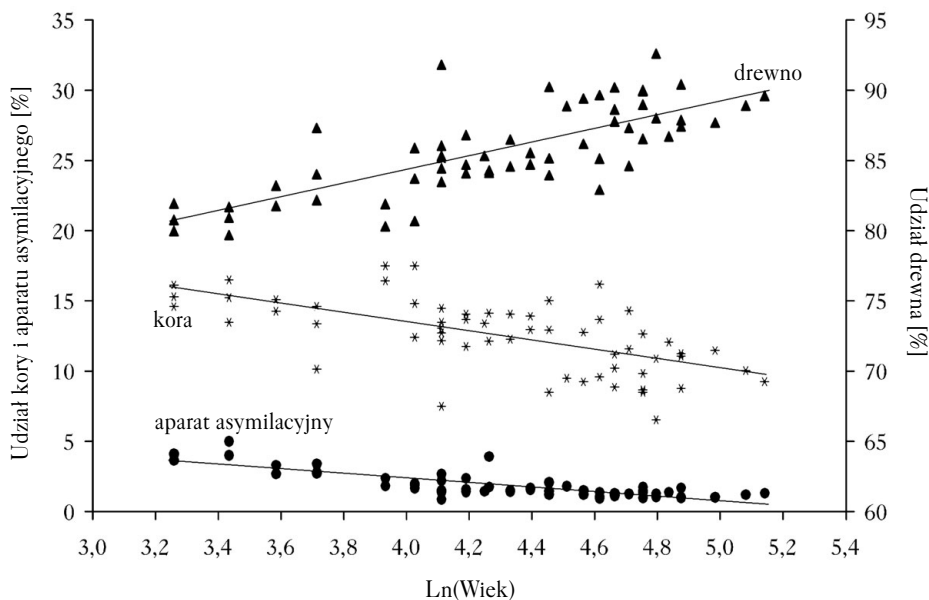
$$BEF_i = a_i + b_i \times e^{-t/100} \quad [3]$$

gdzie:

BEF_i – współczynnik akumulacji i -tej frakcji,

t – wiek drzewostanu,

a, b – parametry równania oszacowane metodą najmniejszych kwadratów.



Ryc. 2.

Zależność udziału drewna, kory i aparatu asymilacyjnego w ogólnej biomase od wieku drzewostanu
 Relationship between stand age and share of wood, bark and assimilatory apparatus in the total biomass

Tabela 4.

Wielkość i zmienność współczynników akumulacji różnych frakcji biomasy
 Values and variation of accumulation coefficients of different biomass fractions

Klasa wieku	Liczba drzewostanów	Liście		Kora		Drewno		Całkowita biomasa	
		średnia	wsp. zm.	średnia	wsp. zm.	średnia	wsp. zm.	średnia	wsp. zm.
		[t·m ⁻³]	[%]	[t·m ⁻³]	[%]	[t·m ⁻³]	[%]	[t·m ⁻³]	[%]
II	8	0,0296	19,9	0,1165	6,9	0,6302	1,9	0,7763	2,3
III	8	0,0165	30,3	0,1040	18,6	0,5957	7,1	0,7162	6,6
IV	14	0,0130	45,5	0,0882	13,7	0,5931	5,1	0,6942	4,4
V	8	0,0103	19,4	0,0799	19,7	0,5901	7,5	0,6802	6,0
VI	12	0,0085	23,5	0,0774	17,8	0,6113	8,0	0,6972	5,9
VII	6	0,0079	19,0	0,0678	21,5	0,6012	7,7	0,6769	6,9
≥VIII	3	0,0079	17,5	0,0707	8,4	0,6161	6,5	0,6947	5,6
Łącznie	59	0,0136	59,1	0,0879	23,0	0,6037	6,5	0,7053	6,7

Tabela 5.

Parametry równań do określania współczynników akumulacji biomasy różnych części drzew na podstawie wieku drzewostanu

Parameters of the equations for determining biomass accumulation coefficients of different tree components on the basis of stand age

Część drzewa	a	SE	b	SE	R2
Liście	-0,0053	0,0020	0,0403	0,0040	0,6348
Kora	0,0446	0,0057	0,0923	0,0115	0,5296
Całkowita biomasa	0,6355	0,0167	0,1486	0,0337	0,2540

Oszacowane parametry równań dla poszczególnych komponentów biomasy podano w tabeli 5, a modelowe krzywe obrazujące zależność na rycinie 3.

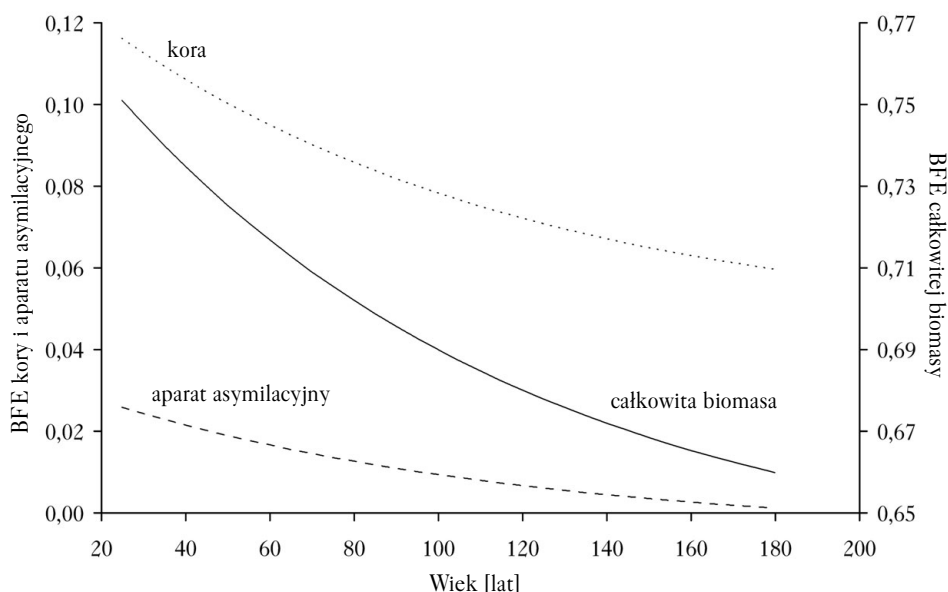
Duża zmienność obliczonych współczynników akumulacji biomasy, zwłaszcza dla aparatu asymilacyjnego i kory, wskazuje na konieczność poszukiwania ich powiązań z różnymi cechami drzew.

ROCZNA PRODUKCJA BIOMASY. Analizowane drzewostany produkują rocznie $9,784 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ suchej masy. Wielkość ta została określona ze średnim błędem wynoszącym $\pm 0,367 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (3,75%). Najwięcej, bo ponad $11,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ wytwarzają drzewostany młode, zaś najmniejszą jej wielkość – około $7,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ stwierdzono w VII klasie wieku (tab. 6). W pozostałych klasach wieku przyrost utrzymuje się na poziomie zbliżonym do wartości przeciętnej. Prawie 76% produkcji biomasy przypada na przyrost dębu. Znaczący w niej udział posiada także grab (9,7%), lipa (4,4%), jesion (3,0%), sosna (2,8%) i olsza (1,3%). Przyrost pozostałych 12 gatunków domieszkowych stanowi mniej niż 3,0% przyrostu analizowanych drzewostanów.

Blisko 90% średniego przyrostu biomasy wytwarzają drzewa piętra głównego. Z wiekiem udział tego piętra w procesie produkcyjnym zmniejsza się na korzyść drzew piętra drugiego. Wynoszący w II klasie wieku około 3,7% udział drzew tej warstwy, w drzewostanach powyżej 100 lat stanowi około 15% rocznego ich przyrostu biomasy.

W rocznej produkcji na przyrost drewna przypada 56,1%, kory 9,0%, a aparatu asymilacyjnego 34,9% (ryc. 4).

Z wiekiem drzewostanów udział drewna i kory w rocznej ich produkcji biomasy nieznacznie maleje (ryc. 5), aparatu asymilacyjnego zaś rośnie. Współczynniki korelacji oceniające siłę tego związku wynoszą: $-0,112$ dla drewna, $-0,601$ dla kory oraz $0,318$ dla aparatu asymilacyjnego i dla dwóch ostatnich komponentów są statystycznie istotne na poziomie $\alpha=0,05$.



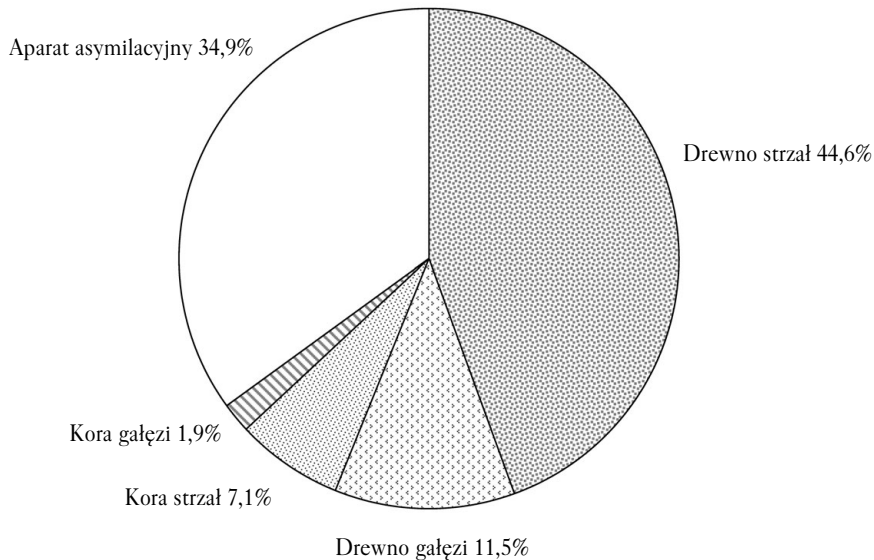
Ryc. 3.

Modelowa zależność współczynników akumulacji biomasy (BEF) od wieku drzewostanu
Model relationship between biomass accumulation coefficients (BEF) and stand age

Tabela 6. Przyrost biomasy ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$) wyróżnionych elementów drzewostanów dębowych Puszczy Niepołomickiej
 Biomass increment ($t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$) of the distinguished components of oak stands in the Niepołomicka Forest

Wyróżnione elementy	Klasa wieku									Ogółem
	II	III	IV	V	VI	VII	VIII-IX			
Drewno strzał	4,903	3,835	4,419	3,711	3,672	3,173	3,413	3,980		
Drewno gałęzi	1,676	1,067	1,063	0,858	0,864	0,694	0,801	1,028		
Kora strzał	0,920	0,679	0,709	0,566	0,495	0,400	0,443	0,626		
Kora gałęzi	0,317	0,187	0,172	0,131	0,115	0,092	0,102	0,165		
Aparat asymilacyjny	2,995	2,905	3,020	2,788	2,797	2,441	2,941	2,995		
Razem I piętro	10,811	8,673	9,383	8,054	7,943	6,800	7,700	8,794		
Drewno strzał	0,143	0,208	0,343	0,392	0,589	0,425	0,579	0,375		
Drewno gałęzi	0,054	0,068	0,085	0,097	0,167	0,099	0,151	0,102		
Kora strzał	0,027	0,037	0,075	0,087	0,111	0,070	0,108	0,074		
Kora gałęzi	0,010	0,011	0,016	0,018	0,028	0,015	0,023	0,018		
Aparat asymilacyjny	0,175	0,282	0,358	0,421	0,707	0,467	0,528	0,422		
Razem II piętro	0,410	0,606	0,877	1,015	1,602	1,076	1,389	0,990		
Przyrost biomasy ogółem	11,221	9,279	10,260	9,069	9,545	7,876	9,089	9,784		

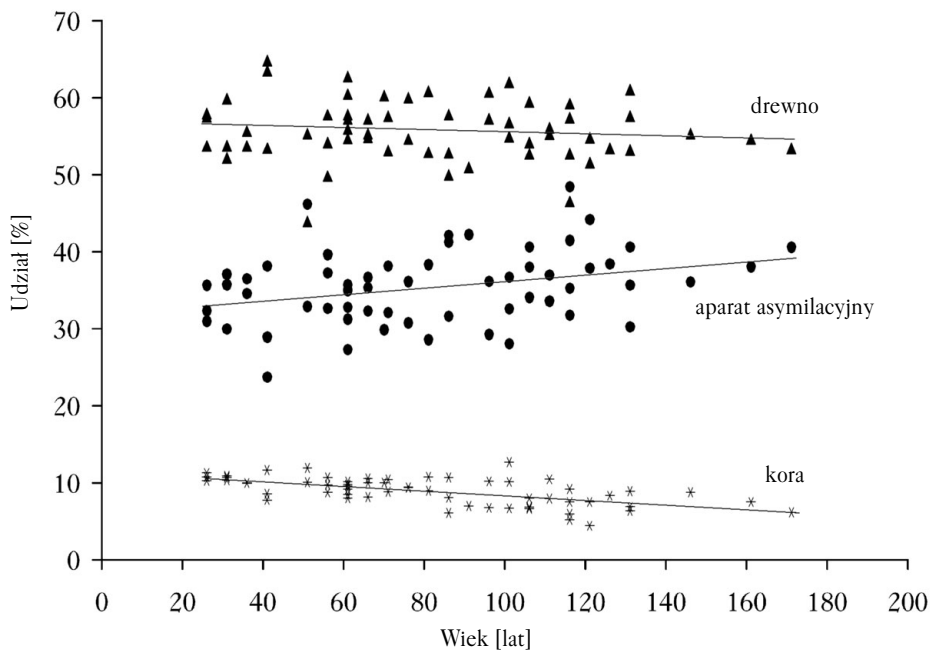
WARTWA DTRZCW



Ryc. 4.

Udział części drzew w rocznej produkcji biomasy

Percentage share of some portion of trees in total biomass production



Ryc. 5.

Zależność od wieku udziału drewna, kory i aparatu asymilacyjnego w rocznej produkcji

Relationship between stand age and share of wood, bark and assimilatory apparatus in total biomass production

Podsumowanie i wnioski

Drzewostany dębowe Puszczy Niepołomickiej spełniające przyjęte założenia wieku i składu gatunkowego zajmują powierzchnię 1 392,48 ha. Ich sumaryczna biomasa wynosi 313 765 ±16 243 ton, z czego na warstwę drzew przypada 310 535 ±16 245 ton, w tym pierwszego piętra 289 483 ton i drugiego 21 052 ton, zaś na warstwę podszytu 3230 ±609 ton. Sucha masa poszczególnych części drzew wynosi: drewno pni 210 035 ±11 751 ton, drewno gałęzi 58 123 ±2946 ton, kora pni 29 356 ±1 559 ton, kora gałęzi 8042 ±377 ton, aparat asymilacyjny 4979 ±180 ton. Roczna produkcja biomasy kształtuje się na poziomie 13 623 ±511 ton, w tym przyrost drewna 7636 ±311 ton, przyrost kory 1228 ±63 ton oraz przyrost aparatu asymilacyjnego 4759 ±171 ton.

Wyniki analiz i ustaleń pozwalają na sformułowanie następujących wniosków i uogólnień:

- ✦ Biomasa drzewostanów dębowych zakumulowana jest głównie w górnym piętrze warstwy drzew. Ponad 4/5 jej wielkości stanowi drewno pni i gałęzi.
- ✦ Udział poszczególnych części drzew w ogólnej biomase zależy od wieku drzewostanu. Z wiekiem na ogół wzrasta udział drewna, a maleje aparatu asymilacyjnego i kory.
- ✦ Wielkość współczynników akumulacji biomasy poszczególnych części drzew istotnie, z wyjątkiem drewna, zależy od wieku drzewostanu. Ze względu na dużą zmienność mają one jedynie charakter informacyjny. Zastosowanie ich do określania biomasy powinno zostać poprzedzone badaniami zmierzającymi do ustalenia związku z cechami drzew.
- ✦ W rocznej produkcji biomasy udział drewna i kory maleje, a aparatu asymilacyjnego rośnie z wiekiem drzewostanów.

Literatura

- Assmann E. 1968. Nauka o produktywności lasu. PWRiL, Warszawa.
- Baldwin V. C., Peterson Jr. K. D., Burkhart H. E., Amateis R. L., Dougherty P. M. 1997. Equations for estimating loblolly pine branch and foliage weight and surface area distributions. *Can. J. For. Res.* 27: 918-927.
- Bandola-Ciołczyk E. 1974. Production of tree leaves and energy flow through the litter in Tilio-Carpinetum association (International Biological Programme area). *Studia Nature A*, 9: 29-91.
- Braastad H. 1966. Volumtabeller for bjork. *Meddelelser fra det Norske Skogforsoksvesen* 21(1): 23-78.
- Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L., Zasada M. 2000. Wzory empiryczne do określania wysokości i pierścnicowej liczby kształtu grubizny drzewa. *Sylvan* 10: 5-13.
- Cannell M. G. R. 1982. World forest biomass and primary production data. Academic Press. London.
- Cerny M. 1990. Biomass of *Picea abies* (L.) Karst. in midwestern Bohemia. *Scan. J. For. Res.*, 5: 83-95.
- Czarnowski M. 1978. Produkcja fotosyntetyczna roślin w ekosystemie lasu grądowego. *Studia Nature A*, 14: 165-190.
- Dean J. T., Cao V. Q. 2003. Inherent correlations between stand biomass variables calculated from tree measurements. *For. Sci.* 49(2): 279-284.
- Dik E. J. 1984. Estimating the wood volume of standing trees in forestry practice. *Rijksinstituut voor onderzoek in de bos en landschapsbouw de Dorschkamp, Wageningen. Uitvoerige verslagen* 19(1): 1-114.
- Gornowicz R. 2002. Wpływ pozyskiwania biomasy sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na wycofywanie pierwiastków biogennych ze środowiska leśnego. *Rocz. AR Pozn., Rozprawy naukowe*, z. 331: 1-96.
- Grote R. 2002. Foliage and branch biomass estimation of coniferous and deciduous tree species. *Silva Fennica* 36 (4): 779-788.
- Jenkins C. J., Chojnacki C. D., Heath S. L. & Birdsey A. R. 2003. National-scale biomass estimators for United States tree species. *For. Sci.* 49(1): 12-35.
- Johansson T. 1999a. Biomass production of Norway spruce (*Picea bies* (L.) Karst.) growing on abandoned farmland. *Silva Fennica* 33 (4): 261-280.
- Johansson T. 1999b. Dry matter and increment in 21- to 91-year-old common alder and grey alder and some practical implications. *Can. J. For. Res.*, Vol. 29, 11: 1697-1690.
- Kauppi P. E., Mielikäinen K., Kuusela K. 1992. Biomass and carbon budget of European forests, 1971-1990. *Science* 256: 70-74.
- Kubiak M., Laurow Z. 1994. Surowiec drzewny. Fundacja „Rozwój SGGW”, Warszawa.

- Lehtonen A., Mäkipää R., Heikkinen J., Sievänen R., Liski J. 2004. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *For. Ecol. and Manage.* 188: 211-224.
- Lin K. C., Ma F. C., Tang S. L. 2001. Allometric equations for predicting the aboveground biomass of tree species in the Fushan forest. *Taiwan J. For. Sci.* 16(3): 143-151.
- Nienartowicz A. 1996. Energetyka dużych systemów ekologicznych. Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń.
- Orzeł S., Forgiel M., Ochał W., Socha J. 2005a. Nadziemna biomasa i roczna produkcja drzewostanów sosnowych Puszczy Niepołomickiej. *Praca w druku.*
- Orzeł S., Forgiel M., Socha J., Ochał W. 2005b. Biomass and annual production of common alder stands of the Niepołomice Forest. *El. J. Pol. Agr. Univ., Forestry.* Vol 8, Issue 1.
- Orzeł S., Socha J., Forgiel M., Ochał W. 2005c. Biomass of underbrush and conditions for its occurrence in stands of the Niepołomice Forest. *El. J. Pol. Agr. Univ., Forestry.* Vol 8, Issue 1.
- Orzeł S., Socha J., Forgiel M., Ochał W. 2005d. Struktura biomasy podszytu występującego w drzewostanach Puszczy Niepołomickiej. *Sylvan* 4: 40-47.
- Pardé J. 1980. Forest biomass. *Forestry Abstracts* 41, 8: 343-362.
- Parresol R. B. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *For. Sci.*, 45(4): 573-593.
- Parresol R. B. 2002. Biomass – *Encyclopedia of Environmetrics.* John Wiley & Sons Ltd., Chichester. 1: 196-198.
- Raimer J., Rutkowska L., Grabczyński S., Orzeł S., Riger R. 1990. Ocena biomasy i produktywności drzewostanów kompleksu leśnego „Ratanica” na Pogórzu Wielickim. *Acta Agr. et Silv.*, s. Silv. 29: 89-102.
- Socha J., Wężyk P. 2004. Empirical formulae to assess the biomass of the above-ground part of pine trees. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Ser. Forestry, Vol. 7, Issue 2.*
- Uri V., Tullus H. & Lõhmus K. 2003. Nutrient allocation, accumulation and Above-ground biomass in grey alder and hybrid alder plantations. *Silva Fennica* 37(3): 301-311.
- Vyskot M. 1980. Bilance biomasy hlavních lesních dřevin. *Lesnictví.* 26 (10): 849-882.
- Weiner J. 1999. *Życie i ewolucja biosfery.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

SUMMARY

Biomass and annual production of oak stands in the Niepołomicka Forest

The objective of this study is to estimate the volume of the biomass accumulated in oak stands of the Niepołomicka Forests taking into consideration the percentage and annual production of different tree components. An attempt has also been made to establish coefficients allowing to calculate the dry mass of individual tree components based on stem volume.

The material was collected during the works carried out by the Dendrometry Department staff, Agricultural University of Cracow under research project no. P06L 013 22. The material contains results of measurements of underbrush and trees growing on 59 circular sample plots where oak accounted for more than 50% of the volume of the tree layer. For each plot (stand), the overall dry mass of woody vegetation made up of the biomass of trees and underbrush was calculated. In the tree layer, the dry mass of wood, bark and assimilatory apparatus was distinguished and the volume of annual production of these components was calculated. The biomass "accumulation coefficients" were determined for the distinguished fractions using formula [2].

The mean woody biomass in oak stands of the Niepołomicka Forests amounting to 225.328 t·ha⁻¹ was calculated with the standard error ±11.665 t·ha⁻¹ (5.18%). The biomass consists of the tree layer biomass – 223.008 t·ha⁻¹ and underbrush biomass – 2.320 t·ha⁻¹ (Table 2).

In the total dry mass of the tree layer, the wood biomass is 192.576 t·ha⁻¹ (86.4%), bark – 26.857 t·ha⁻¹ (12.0%) and assimilatory apparatus – 3.576 t·ha⁻¹ (1.6%). The share of the afore-mentioned components changes with stand age (Fig. 2).

The biomass accumulation coefficients defined as the ratio of the dry mass of a given component to the stem volume attain different values in the distinguished age classes (Table 4). The high variation in the coefficients, particularly those established for assimilatory apparatus

and bark points out to the necessity to seek relationships with different tree characteristics. The functional relationship with the stand age is illustrated in Fig. 3.

The annual production of analysed stands is $9.784 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ of the dry mass. This value was calculated with the mean error $\pm 0.367 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (3.75). The greatest annual biomass production of more than $11.2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ was found in young stands, while the lowest one of about $7.9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ – in age class VII (Table 6). The increment of wood in annual biomass production accounts for 56.1%, of bark – 9.0% and assimilatory apparatus – 34.9% (Fig. 4). The percentage of wood and bark in annual biomass production slightly decreases while that of assimilatory apparatus markedly increases with the increase of stand age.