

ANDRZEJ SUCHANEK, JAROSŁAW SOCHA, KAZIMIERZ CHWISTEK

## Biomasa i roczna produkcja drzewostanów Ojcowskiego Parku Narodowego

Biomass and annual production of forest stands in the Ojcowski National Park

### ABSTRACT

Suchanek A., Socha J., Chwistek K. 2012. Biomasa i roczna produkcja drzewostanów Ojcowskiego Parku Narodowego. Sylwan 156 (6): 451-462.

Amount of dry biomass and its annual production of stands of Ojcowski National Park were determined for 1990-2003 period. Carbon dioxide sequestration was estimated for the mentioned period as well. Forests of Ojcowski National are biomass abundant stands with a quite high annual production. Mean stand biomass amounts to 218.6 t/ha in the year 1990 and 275.7 t/ha in the year 2003, with a mean annual increment amounting to 8.7 t/ha/year. Carbon dioxide sequestration for the Park area was estimated to 12.9 t CO<sub>2</sub>/ha/year.

### KEY WORDS

biomass, biomass increment, carbon dioxide sequestration, Ojcowski National Park

### ADDRESSES

Andrzej Suchanek <sup>(1)</sup>

Jarosław Socha <sup>(1)</sup> – e-mail: rsocha@cyfr-kr.edu.pl

Kazimierz Chwistek <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Katedra Dendrometrii; Uniwersytet Rolniczy; al. 29 Listopada 46; 31-425 Kraków

<sup>(2)</sup> Gorczański Park Narodowy; Poręba Wielka 590; 34-735 Niedźwiedź

## Wstęp

Problem określenia biomasy jest obecnie ważny z dwóch głównych powodów. Po pierwsze, w dobie wyczerpywania się zasobów paliw kopalnianych biomasa może stanowić źródło energii odnawialnej. Biomasa może być wykorzystywana do produkcji biopaliw. Johansson [1999a] wskazuje na plantacje świerka pospolitego w Norwegii jako potencjalne bogate źródło tego surowca. Przyjęta w 2001 roku „Strategia rozwoju energetyki odnawialnej w Polsce” przewiduje osiągnięcie do 2020 roku 14% udziału energii ze źródeł odnawialnych [Jabłoński, Różański 2003]. Drugim powodem, dla którego zwraca się uwagę na biomasa, jest zdolność ekosystemów leśnych (ang. forest carbon sinks) do sekwestracji (wiązania) dwutlenku węgla. W tzw. protokole z Kioto ekosystemy leśne uznano za jeden z mechanizmów odgrywających ważną rolę w globalnym bilansie gazów cieplarnianych (ang. GHG – green house gases) [Lehtonen i in. 2004]. Ocenę akumulacji CO<sub>2</sub> przez roślinność leśną wykonuje się przez określenie ilości węgla zawartego w biomacie roślin oraz wielkości jego wiązania przez biomasa w jednostce czasu.

Dla lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku roczna globalna sekwestracja dwutlenku węgla przez ekosystemy lądowe została oszacowana na 2,3 Gt węgla, podczas gdy jego emisja przez te same ekosystemy wyniosła 1,6 Gt C/rok [Special... 2000]. Pochłonięta ilość 0,7 Gt C odpowiadała

ponad  $1/10$  ilości dwutlenku węgla, wyemitowanej do atmosfery w wyniku spalania paliw kopalnianych (6,3 Gt C/rok) [Special... 2000].

Celem niniejszej pracy było określenie wielkości suchej nadziemnej biomasy oraz jej bieżącego rocznego przyrostu na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego w okresie 1990-2003 oraz oszacowanie ilości związanego dwutlenku węgla w tym czasie.

## Materiał i metody

W pracy wykorzystano dane z dwóch inwentaryzacji, przeprowadzonych na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego przez Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, Oddział w Krakowie w 1990 roku oraz Kazimierza Chwistka i Jana Locha w 2003 roku. W roku 1990 na terenie całego Parku założono 258 stałych, kołowych powierzchni próbnych wielkości 0,04 ha, rozmieszczonych w regularnej siatce kwadratów o boku 200 m. Powierzchnie te zostały założone w 162 drzewostanach w wieku powyżej 40 lat, które zajmowały wówczas 1015 ha, tj. 90,9% powierzchni leśnej Parku [Chwistek 2007].

Całkowitą nadziemną biomasę pojedynczych drzew obliczono na podstawie wzorów empirycznych, wykorzystujących wysokość oraz pierśnicę drzewa. Dla określenia wysokości drzew, dla których nie została ona pomierzona (ze względu na zbyt małą liczbę danych potrzebną do wykreślenia krzywych wysokości), skorzystano z równań stałych krzywych wysokości dla buka [Bruchwald, Witkowska 1993], brzozy [Zasada 2000], dębu [Bruchwald i in. 1994], grabu [Bruchwald, Wirowski 1993], jodły [Bruchwald 1993], modrzewia [Bruchwald, Żybura 2002], olszy [Bruchwald i in. 2001], sosny [Ryme-Dudzińska 1978] i świerka [Bruchwald, Wróblewski 1994]. Do określenia wysokości jesionu, klonu, lipy oraz wiązu wykorzystano równania stałych krzywych wysokości dla dębu, do określenia wysokości osiki – brzozy. Ze względu na sposób pomiaru, dane dotyczące podszytu oraz nalotu nie nadają się do wykorzystania przy obliczaniu ilości suchej masy. W tym przypadku konieczne byłoby zważenie podszytu czy podrostu.

Dla poszczególnych gatunków zastosowano wzory do określania całkowitej nadziemnej biomasy ( $B$ ), biomasy aparatu asymilacyjnego ( $B_l$ ), wyrażonych w kilogramach suchej masy, które są funkcją wysokości ( $h$ ) wyrażonej w metrach oraz pierśnicy ( $d$ ) wyrażonej w centymetrach. Dla buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) wykorzystano następujące wzory:

$$B = 1,0798 + 0,018017 \cdot d^2 \cdot h + 0,25888 \cdot d^2 \quad [\text{Gasparini i in. 2006}] \quad [1]$$

$$B_l = 0,0188 \cdot d^{1,8169} \quad [\text{Zianis, Mencuccini 2003}] \quad [2]$$

Biomasę brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth) liczono według równań:

$$B = 0,0745645 \cdot (d^2 \cdot h)^{0,8876586} \quad [\text{Muukkonen, Mäkipää 2006}] \quad [3]$$

$$B_l = (0,0068 \cdot (10 \cdot d^2 \cdot h \cdot 100)^{0,748}) \cdot 10^{-3} \quad [\text{Hytönen, Saarsalmi 1995}] \quad [4]$$

W przypadku dębu (*Quercus* sp.) wykorzystano następujące funkcje:

$$B = 0,0466705 \cdot (d^2 \cdot h)^{0,9577435} \quad [\text{Muukkonen, Mäkipää 2006}] \quad [5]$$

$$B_l = 0,032295 \cdot (d^2 \cdot h)^{0,571789} \quad [\text{Muukkonen, Mäkipää 2006}] \quad [6]$$

Biomasę grabu pospolitego (*Carpinus betulus* L.) oszacowano na podstawie wzorów:

$$B = 0,0268358 \cdot (d^2 \cdot h)^{1,0274902} \quad [\text{Muukkonen, Mäkipää 2006}] \quad [7]$$

$$B_l = 0,0167 \cdot d^{2,951} \cdot h^{-1,101} \quad [\text{Paladinić i in. 2009}] \quad [8]$$

Dla jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) zastosowano wzory:

$$B = 0,98961 + 0,01398 \cdot d^2 \cdot h + 0,01895 \cdot d^2 \quad [\text{Gasparini i in. 2006}] \quad [9]$$

$$B_l = (1,6305 + 1,7321 \cdot 10^{-3} \cdot d^2 \cdot h + 0,068361 \cdot d^2) \times 0,015 \quad [\text{Gasparini i in. 2006}] \quad [10]$$

Ze względu na brak w literaturze równania na biomase aparatu asymilacyjnego jodły pospolitej, skorzystano z równania na biomase korony (biomasa gałęzi + biomasa igieł). Następnie przyjęto za badaniami Paladinitia i in. [2009], że w przypadku jodły sucha masa igieł stanowi 1,5% biomasy korony.

W przypadku jesionu wyniosłego (*Fraxinus excelsior* L.) wykorzystano wzory:

$$B = 0,0630105 \cdot (d^2 \cdot h)^{0,9215174} \quad [\text{Muukkonen, Mäkipää 2006}] \quad [11]$$

$$B_l = 0,003 \cdot d^{2,31} \quad [\text{Alberti i in. 2005}] \quad [12]$$

Biomase klonu (*Acer* sp.) policzono według formuł:

$$B = 0,0547726 \cdot (d^2 \cdot h)^{0,9287401} \quad [\text{Muukkonen, Mäkipää 2006}] \quad [13]$$

$$B_l = \exp(-2,0127 + 2,4342 \cdot \ln(d)) \cdot \exp(-4,0813 + \frac{5,8816}{d}) \quad [\text{Jenkins i in. 2003}] \quad [14]$$

Dla lipy (*Tilia* sp.) zastosowano następujące równania:

$$B = 0,0206071 \cdot (d^2 \cdot h)^{1,0049997} \quad [\text{Muukkonen, Mäkipää 2006}] \quad [15]$$

$$B_l = \exp(-2,4800 + 2,4835 \cdot \ln(d)) \cdot \exp(-2,9584 + \frac{4,4766}{d}) \quad [\text{Jenkins i in. 2003}] \quad [16]$$

Dla modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) wzory opisujące biomase mają postać:

$$B = 0,0460728 \cdot (d^2 \cdot h)^{0,9369115} \quad [\text{Muukkonen, Mäkipää 2006}] \quad [17]$$

$$B_l = \exp(-2,874 + 2,201 \cdot \ln(d) + (-0,618) \cdot \ln(h)) \quad [\text{Rubatscher i in. 2006}] \quad [18]$$

W przypadku topoli osiki (*Populus tremula* L.) zastosowano równania:

$$B = 0,0265178 \cdot (d^2 \cdot h)^{0,9669392} \quad [\text{Muukkonen, Mäkipää 2006}] \quad [19]$$

$$B_l = 8,47 \cdot 10^{-4} \cdot (d \cdot 10)^{1,481578} \quad [\text{Johansson 1999b}] \quad [20]$$

Dla sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) mają one postać:

$$B = 0,0677 \cdot h^{0,5474} \cdot (d^2)^{1,0361} \quad [\text{Socha, Wężyk 2004}] \quad [21]$$

$$B_l = 0,231644 \cdot h^{-0,54952} \cdot d^{1,716144} \quad [\text{Socha, Wężyk 2004}] \quad [22]$$

a dla świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst):

$$B = 8,8297 + 0,01876 \cdot d^2 \cdot h + (8,5316 \cdot 10^{-5} \cdot d) \cdot h^2 \quad [\text{Gasparini i in. 2006}] \quad [23]$$

$$B_l = 36,2826 \cdot (1 - \exp(-0,08 \cdot d))^2 \cdot 1576 \quad [\text{Johansson 1999a}] \quad [24]$$

Biomase wiązu (*Ulmus* sp.) obliczono według wzorów:

$$B = 0,0347775 \cdot (d^2 \cdot h)^{0,9716166} \quad [\text{Muukkonen, Mäkipää 2006}] \quad [25]$$

$$B_l = 0,13 \cdot d^{1,12} \quad [\text{Alberti i in. 2005}] \quad [26]$$

Dla olszy (*Alnus* sp.) biomasę ustalono na podstawie sumy biomasy gałęzi ( $B_g$ ), biomasy aparatu asymilacyjnego ( $B_l$ ) i biomasy pnia ( $B_p$ =biomasa drewna+biomasa kory):

$$B_g = [0,0001 \cdot (d^2 \cdot h)^{1,115}] \cdot 10^{-3} \quad [\text{Saarsalmi i in. 1985}] \quad [27]$$

$$B_l = [0,0009 \cdot (d^2 \cdot h)^{0,9305}] \cdot 10^{-3} \quad [\text{Saarsalmi i in. 1985}] \quad [28]$$

$$B_p = [0,0033 \cdot (d^2 \cdot h)^{0,9139}] \cdot 10^{-3} \quad [\text{Saarsalmi i in. 1985}] \quad [29]$$

W powyższych wzorach pierśnica jest wyrażona w mm, natomiast wysokość w cm, a biomasa poszczególnych komponentów w kg.

Sumę biomasy poszczególnych drzew z powierzchni kołowych przeliczono na hektar, a następnie na całkowitą powierzchnię leśną Parku. Określono również wielkość biomasy drzewostanów w poszczególnych klasach wieku. Ze względu na wielogatunkowość drzewostanów Parku, jako wiek drzewostanu przyjęto wiek gatunku panującego. Wiek w 1990 roku został określony na podstawie danych z Planu Ochrony Ekosystemów OPN. Dla roku 2003 dodano 13 lat.

Analogiczne zestawy wartości obliczono dla danych z pomiarów z roku 1990 oraz 2003. W celu obliczenia przyrostu biomasy określono biomasę ubytków oraz dorostu, a sam przyrost obliczono:

dla gatunków liściastych i modrzewia według wzoru:

$$Z_b = (B_k - B_p + U_b - D_b) + (B_l \cdot 13) \quad [30]$$

a dla sosny, świerka i jodły równaniem:

$$Z_b = (B_k - B_p + U_b - D_b) + \left(\frac{B_l}{a} \cdot 13\right) \quad [31]$$

gdzie:

$Z_b$  – całkowity przyrost biomasy,

$B_k$  – biomasa na końcu okresu pomiarowego,

$B_p$  – biomasa na początku okresu pomiarowego,

$U_b$  – biomasa ubytków,

$D_b$  – biomasa dorostów,

$B_l$  – biomasa aparatu asymilacyjnego w 1990 roku,

$a$  – współczynnik, zależny od ilości roczników igieł na gałęziach (dla sosny i świerka przyjęto 3, a jodły – 5).

Biomasa aparatu asymilacyjnego została dodana do przyrostu, ponieważ co roku aparat asymilacyjny jest odnawiany. W przypadku gatunków iglastych, oprócz modrzewia, dodano suchą masę jednego rocznika igieł. Przyrost biomasy został obliczony dla całej powierzchni Parku, jak również dla poszczególnych gatunków oraz drzewostanów w danych klasach wieku.

Oszacowano również ilość związanego przez warstwę drzew dwutlenku węgla w roku 1990 i 2003 oraz jego roczną sekwestrację w okresie badań. Wykorzystano w tym celu następujące wzory:

$$M_c = 0,5 \cdot (B + B \cdot 0,2 / 0,25) \quad [32]$$

$$M_{CO_2} = 3,66 \cdot M_c \quad [33]$$

$$Z_{CO_2} = \frac{(Mk_{CO_2} - Mp_{CO_2} + Mu_{CO_2} + Md_{CO_2})}{13} \quad [34]$$

gdzie:

$M_c$  – masa zakumulowanego węgla w danej ilości suchej masy [t],

- $B$  – nadziemna biomasa [t],  
 $M_{CO_2}$  – masa zakumulowanego dwutlenku węgla [t],  
 $Z_{CO_2}$  – średnia ilość  $CO_2$  akumulowana w ciągu roku,  
 $Mk_{CO_2}$  – masa związanego dwutlenku węgla na końcu okresu,  
 $Mp_{CO_2}$  – masa związanego dwutlenku węgla na początku okresu,  
 $Mu_{CO_2}$  – masa związanego dwutlenku węgla dla ubytków,  
 $Md_{CO_2}$  – masa związanego dwutlenku węgla dla dorostu.

Zgodnie z zaleceniami Międzyrządowego Zespołu do spraw Zmian Klimatu [Guidelines... 1996] przyjęto współczynnik przeliczeniowy na zawartość węgla w suchej masie równy 0,5 oraz wskaźniki przeliczeniowe określenia biomasy korzeni (0,2 – iglaste, 0,25 – liściaste). Współczynnik przeliczeniowy wynikający ze stosunku mas atomowych węgla oraz dwutlenku węgla ( $M_{atCO_2}/M_{atC}=44/12$ ) wynosi 3,66.

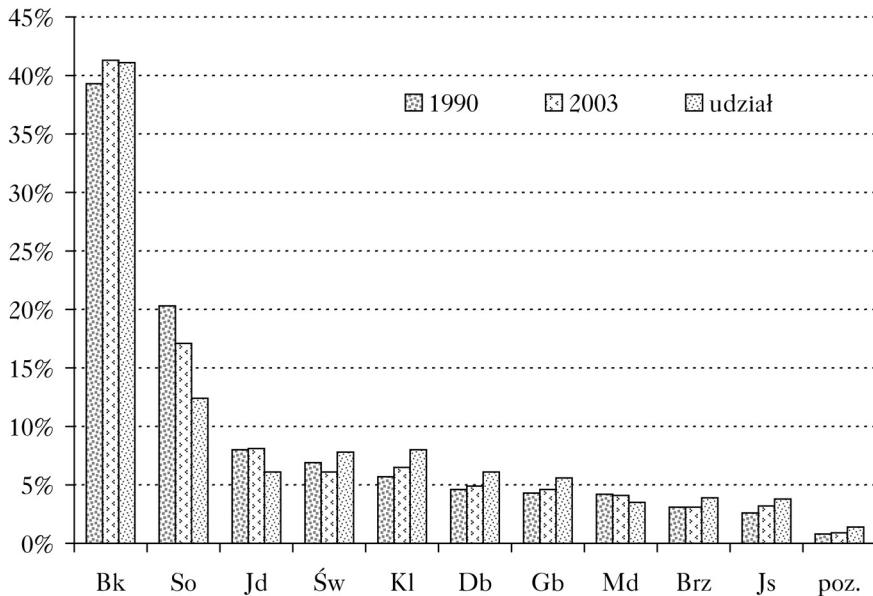
## Wyniki

CAŁKOWITA BIOMASA DRZEW W DRZEWOSTANACH OJCOWSKIEGO PARKU NARODOWEGO. Całkowitą biomasę warstwy drzew na terenie Parku w roku 1990 określono na 334,2 mln ton suchej masy, czyli średnio 218,6 t/ha. W roku 2003 wynosiła ona 421,5 mln ton, czyli średnio 275,7 t/ha. Średnia wielkość biomasy aparatu asymilacyjnego wyniosła 4,7 t/ha w roku 1990 oraz 4,9 t/ha w 2003 roku. Przyrost biomasy w całym okresie wyniósł 112,5 t/ha, co dało bieżący przyrost roczny biomasy równy 8,7 t/ha/rok. Średni udział aparatu asymilacyjnego w przyroście określono na 34,3%.

Całkowita ilość związanego dwutlenku węgla została oszacowana dla roku 1990 i 2003 na poziomie odpowiednio 752,6 mln t (492,2 t/ha) oraz 950,7 mln t (621,8 t/ha). Roczna sekwestracja w opisywanym okresie wyniosła 12,9 t/ha/rok, co w całym okresie badań dało 168 t/ha.

BIOMASA WEDŁUG GATUNKÓW DRZEW. Największy udział w całkowitej biomasie warstwy drzew w 1990 roku miał buk. Biomasę tego gatunku na obszarze Parku określono na 86 t/ha (tab. 1), co stanowiło 39,3% całkowitej biomasy (ryc. 1). Drugim gatunkiem co do udziału była sosna (średnio 44,4 t/ha – 20,3%). Z pozostałych liściastych największy udział miał klon – 5,7% (średnio 12,5 t/ha), a iglastych – jodła 8,0% (średnio 17,5 t/ha). Najmniejszym udziałem charakteryzowały się lipa, olsza, osika, i wiąz. Ich łączny udział nie przekroczył 1%. Podobnie sytuacja przedstawiała się w 2003 roku. Buk pozostał gatunkiem dominującym w całkowitej biomasie. Jego udział wzrósł do 41,3% (ryc. 1), a biomasa wyniosła średnio 113,9 t/ha (tab. 1). Wzrósł również udział klonu i jesionu (odpowiednio do 6,5% oraz 3,2%). O prawie jeden procent spadł udział świerka, a o 3,2% sosny. Udział pozostałych gatunków utrzymał się na podobnym poziomie co w 1990 roku. Buk charakteryzował się największym bieżącym rocznym przyrostem biomasy – 3,58 t/ha/rok (tab. 1), co stanowiło 41,3% całkowitego przyrostu (ryc. 1). Na drugim miejscu była sosna – 1,07 t/ha/rok (12,4%). Z pozostałych iglastych największy udział w przyroście miał świerk – 7,8% (0,68 t/ha/rok), a z liściastych – klon (8%; 0,69 t/ha/rok). Łączny udział lipy, olszy, osiki i wiązu w przyroście wyniósł 1,4%.

Proporcje opisane w przypadku udziału w biomasie całkowitej odnoszą się również do ilości związanego dwutlenku węgla. Zarówno w roku 1990, jak i 2003, gatunkiem, który związał największą ilość  $CO_2$ , był buk (odpowiednio 196,6 t/ha i 260,5 t/ha), roczna sekwestracja wyniosła 5,59 t/ha/rok (tab. 2). W przypadku sosny ilość związanego dwutlenku węgla wyniosła w 1990 roku – 97,6 t/ha, a w 2003 roku – 103,5 t/ha, przy rocznej sekwestracji 1,4 t/ha/rok. Sekwestracja dla jodły została oszacowana na 1,12 t/ha/rok, a klonu na 1,02 t/ha/rok. Dla pozostałych gatunków oszacowana ilość związanego węgla wyniosła poniżej 1 t/ha/rok.



Ryc. 1.

Udział gatunków drzew w nadziemnej biomase oraz jej rocznym przyroście dla drzewostanów OPN  
Share of tree species in aboveground biomass and its increment for Ojcowski National Park stands

Tabela 1.

Nadziemna biomasa [t/ha] i jej przyrost w drzewostanach OPN według gatunków drzew  
Aboveground biomass [t/ha] and its increment in stands of Ojcowski National Park according to tree species

Gatunek	Całkowita		Aparat asymilacyjny		Biomasa ubytków	Biomasa dorostu	Przyrost	
	1990	2003	1990	2003			z całego okresu	bieżący roczny
Buk zwyczajny	86,0	113,9	1,13	1,44	11,0	0,89	46,49	3,58
Brzoza brodawkowata	6,9	8,4	0,16	0,15	0,8	0,01	4,38	0,34
Dąb	10,1	13,5	0,18	0,19	1,3	0,07	6,91	0,53
Grab pospolity	9,4	12,8	0,19	0,21	1,2	0,15	6,35	0,49
Jodła pospolita	17,5	22,4	0,11	0,14	2,2	0,28	6,85	0,53
Jesion wyniosły	5,7	8,8	0,07	0,09	0,9	0,03	4,22	0,32
Klon	12,5	18,0	0,24	0,34	1,7	0,44	8,95	0,69
Lipa	1,0	1,4	0,06	0,07	0,1	0,03	1,25	0,10
Modrzew europejski	9,1	11,4	0,10	0,11	1,1	0,00	3,98	0,31
Olsza*	0,3	0,4	0,00	0,00	0,0	0,00	0,18	0,01
Topola osika*	0,4	0,4	0,00	0,00	0,0	0,01	0,10	0,01
Sosna zwyczajna	44,4	47,1	1,36	1,28	3,9	0,00	13,94	1,07
Świerk pospolity	15,1	16,9	1,06	0,87	1,6	0,04	8,78	0,68
Wiąz*	0,2	0,3	0,00	0,00	0,0	0,03	0,09	0,01
Ogółem	210,4	268,4	4,7	4,9	17,8	2,0	112,5	8,7

\* Biomasa aparatu asymilacyjnego olszy, osiki oraz wiązu wyniosła poniżej 0,01 t/ha

\* Biomass of assimilation apparatus of alder, aspen and elm was lower than 0.01 t/ha

BIOMASA W RÓŻNYCH KLASACH WIEKU. W 1990 roku najwięcej drzewostanów było w V (53), a w 2003 roku w VI (45) klasie wieku (tab. 3). Wiek drzewostanów zawierał się w zakresie od 41 do 141 lat w 1990 roku oraz od 54 do 154 lat w 2003 r.

W 1990 roku największą biomasa charakteryzowała się VI klasa wieku (ryc. 2). Wielkość biomasy generalnie wzrasta wraz z wiekiem drzewostanów od 185,8 t/ha w III klasie wieku do 265,9 t/ha w klasie VI. W klasie VII spada do 253,9 t/ha, jest to jednak wartość większa niż w III-V klasach wieku. W 2003 roku opisana powyżej zależność została zachwiana. Największą biomasa charakteryzuje się VII klasa wieku (ryc. 2). Wielkość biomasy spada od 265,5 t/ha w III klasie wieku do 245,2 t/ha w klasie IV, po czym wzrasta do 275 t/ha w klasie V i utrzymuje się na podobnym poziomie w klasie VI (262,6 t/ha). Podobnie jak w 1990 roku, biomasa najstarszej klasy wieku (315,9,6 t/ha) jest mniejsza niż klasy charakteryzującej się największą biomasa (VII), jednak jest większa niż pozostałych klas wieku (III-VI). Największy przyrost biomasy został obliczony dla III klasy wieku (10,7 t/ha/rok). W kolejnych klasach wieku przyrost systematycznie spada do 8,0 t/ha/rok w klasie VI. W klasie VII wzrasta do 8,7 t/ha/rok, w VIII ponownie nieznacznie spada (ryc. 3).

**Tabela 2.**

Ilość związanego dwutlenku węgla [t/ha] oraz jego roczna sekwestracja [t/ha/rok] dla drzewostanów OPN według gatunków drzew

Amount of stored CO<sub>2</sub> and carbon sequestration in stands of Ojcowski National Park according to tree species

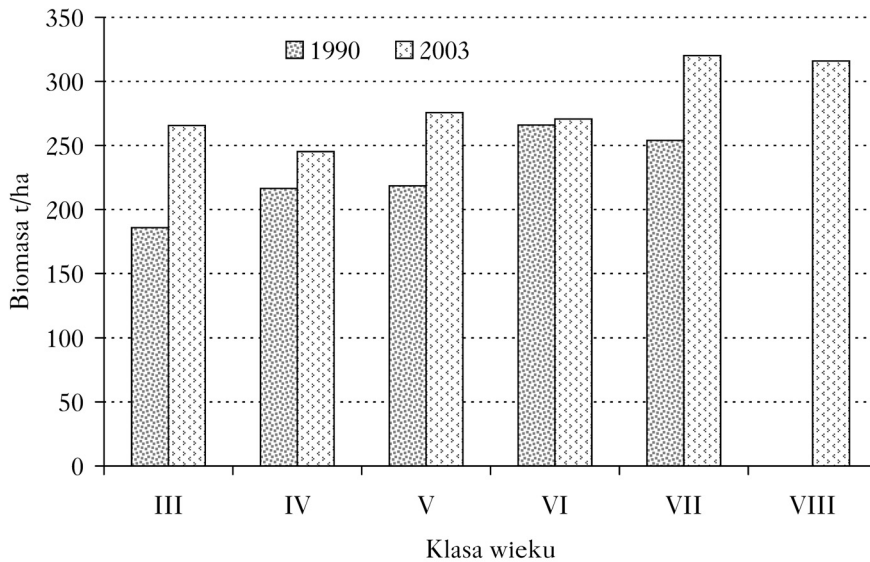
Gatunek	Ilość związanego CO <sub>2</sub>		Sekwestracja w czasie	
	1990	2003	z całego okresu	bieżący roczny
Buk zwyczajny	196,6	260,5	72,6	5,59
Brzoza brodawkowata	15,7	19,3	5,1	0,39
Dąb	23,2	30,8	10,3	0,79
Grab pospolity	21,4	29,2	8,8	0,67
Jodła pospolita	38,5	49,3	14,6	1,12
Jesion wyniosły	13,0	20,2	7,6	0,59
Klon	28,7	41,3	13,3	1,02
Lipa	2,2	3,2	1,1	0,09
Modrzew europejski	20,1	24,9	6,0	0,46
Olsza	0,7	1,0	0,4	0,03
Topola osika	1,0	0,8	0,2	0,02
Sosna zwyczajna	97,6	103,5	18,2	1,4
Świerk pospolity	33,1	37,2	9,5	0,73
Wiąz	0,4	0,6	0,2	0,02

**Tabela 3.**

Liczba drzewostanów w klasach wieku, w których założono powierzchnie próbne

Number of stands in which sample plots were established by age classes

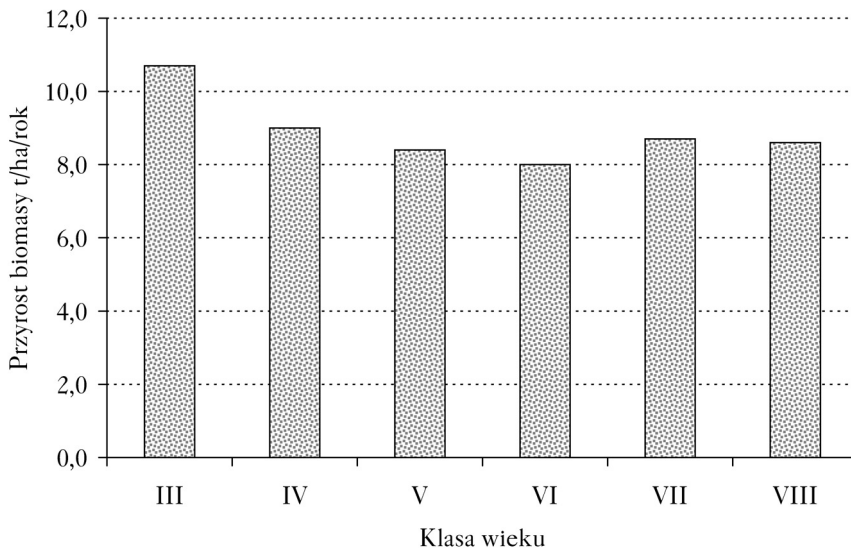
Klasa wieku	Drzewostany		Powierzchnie próbne	
	1990	2003	1990	2003
III	48	11	72	15
IV	28	39	51	60
V	53	37	82	62
VI	24	45	41	71
VII	8	21	11	38
VIII	0	8	0	11
Ogółem	161	161	257	257



Ryc. 2.

Nadziemna biomasa warstwy drzew w drzewostanach OPN według klas wieku

Aboveground biomass of trees in stands the Ojcowski National Park by age class



Ryc. 3.

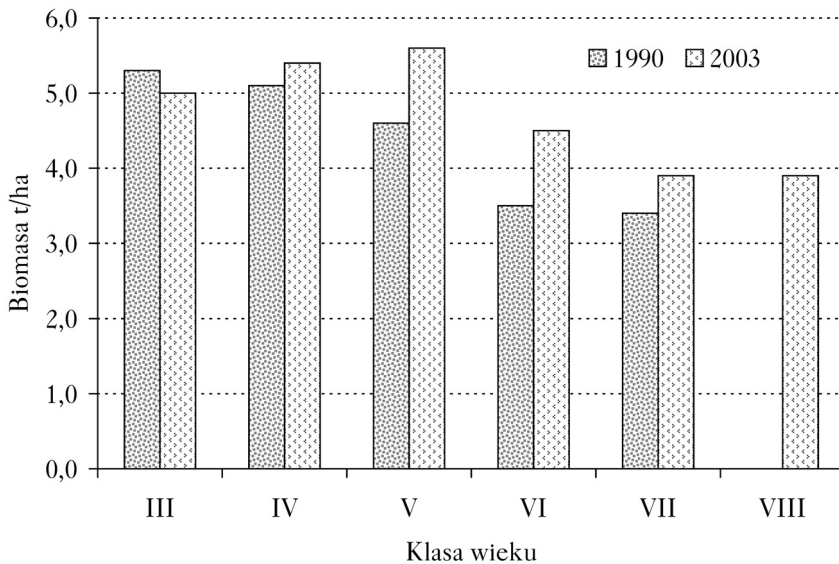
Przyrost roczny nadziemnej biomasy warstwy drzew w drzewostanach OPN według klas wieku

Annual increment of aboveground biomass of trees in stands the Ojcowski National Park by age class

W przypadku biomasy aparatu asymilacyjnego, największą wartością w 1990 roku charakteryzowała się III klasa wieku (średnio 5,3 t/ha) (ryc. 4). W kolejnych klasach wieku wartość ta spadała do 3,5 t/ha w VI klasie wieku. W klasie VII wynosi 3,4 t/ha. W roku 2003 największa biomasa aparatu asymilacyjnego została określona dla V klasy wieku (5,6 t/ha) (ryc. 4). Biomasa III klasy spadała do 5,0 t/ha. Do 5,4 t/ha wzrosła biomasa klasy IV, a 4,5 t/ha klasy VI. Biomasa

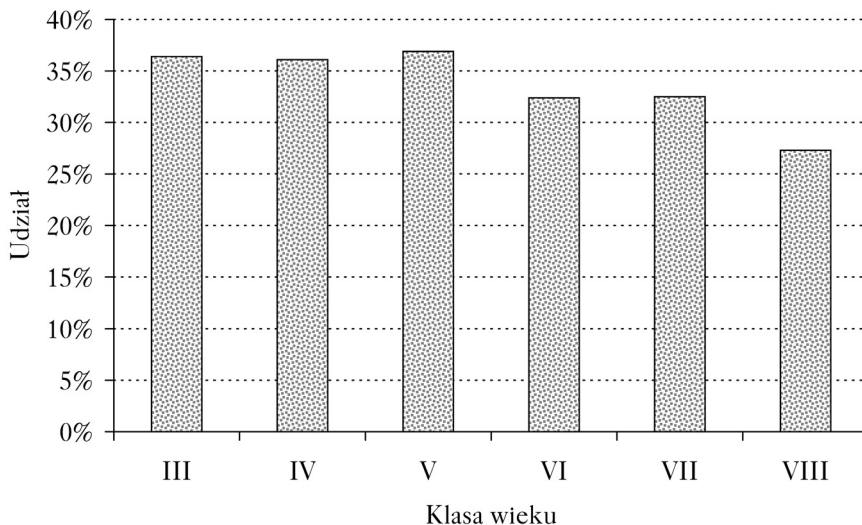


VII oraz VIII klasy wieku wyniosła 3,9 t/ha. Udział aparatu asymilacyjnego w przyroście całkowitej biomasy jest znaczny. W III-V klasach wieku wartość jest zbliżona (ryc. 5). W VI klasie spada do 32,4% i w VII utrzymuje się praktycznie na tym samym poziomie. W VIII klasie wieku udział listowia i igliwia w przyroście biomasy jest najmniejszy (27,3%).



Ryc. 4.

Biomasa aparatu asymilacyjnego warstwy drzew w drzewostanach OPN według klas wieku  
 Biomass of assimilation apparatus of trees in stands the Ojcowski National Park by age class



Ryc. 5.

Udział aparatu asymilacyjnego w rocznym przyroście nadziemnej biomasy warstwy drzew w drzewostanach OPN według klas wieku  
 Share of assimilation apparatus in annual increment of aboveground biomass of trees in stands the Ojcowski National Park by age class

## Dyskusja

Główny powód trudności interpretacji otrzymanych wyników stanowi znaczne zróżnicowanie składu gatunkowego oraz wiekowego drzewostanów Ojcowskiego Parku Narodowego (OPN). Średnia nadziemna biomasa dla terenu całego Parku wynosiła 218,6 t/ha w 1990 roku oraz 275,7 t/ha w 2003 roku. Wielkości te można uznać za wysokie. Wniosek taki wynika z porównania otrzymanych wyników z badaniami przeprowadzonymi w drzewostanach mieszanych Puszczy Niepołomnickiej [Orzeł i in. 2005] czy kompleksie leśnym Ratanica [Raimer i in. 1990]. Biomasa dla tych obiektów została określona odpowiednio na 174 t/ha oraz 158,5 t/ha (z uwzględnieniem warstwy podszytu). Z pewnością jedną z głównych przyczyn wysokiej zasobności w biomasę drzewostanów Parku są duże potencjalne możliwości produkcyjne tamtejszych siedlisk, jak również wieloletnia ochrona prowadząca do akumulacji zapasu/biomasy.

W 1988 roku na terenie OPN zostały przeprowadzone badania dotyczące m.in. biomasy i rocznej produkcji kompleksu leśnego zlewni potoku Sąspówka [Riegier i in. 1988]. Wielkość biomasy obliczona dla tego fragmentu Parku wyniosła 184,4 t/ha. Dodając do tej wartości określony w powyższych badaniach przyrost biomasy (9,2 t/ha/rok) [Riegier i in. 1988] za dwuletni okres przyrostowy otrzymamy dla roku 1990 wielkość biomasy (202,8 t/ha) zbliżoną do średniej wyliczonej dla całej powierzchni OPN (218,6 t/ha). Różnica między biomasą oraz jej średnim rocznym przyrostem określonym dla terenu całego Parku (8,7 t/ha/rok) a biomasą i przyrostem biomasy kompleksu zlewni potoku Sąspówka (9,2 t/ha/rok) może wynikać z faktu, że badania z 1988 roku dotyczyły jedynie fragmentu OPN. Wartość 8,7 t/ha/rok jest większa od wielkości przyrostu określonego dla drzewostanów mieszanych Puszczy Niepołomnickiej (8,3 t/ha/rok) [Orzeł i in. 2005], lecz mniejsza niż dla kompleksu Ratanica (9,1 t/ha/rok) [Raimer i in. 1990].

Stosunkowo wysoki udział sosny (drugie miejsce w 1990 oraz 2003 roku) w całkowitej biomasie jest skutkiem przeszłych działań na terenie lasów ojcowskich. W 1865 roku stały się one własnością kupców wrocławskich. W latach 1865-1878 zostały zdewastowane i praktycznie całkowicie wycięte. W 1895 roku właścicielką tych terenów stała się Ludwika Czartoryska, która sukcesywnie zalesiła całość obszaru, głównie właśnie sosną. Jedną z przyczyn spadku udziału biomasy tego gatunku w 2003 roku jest naturalny proces ustępowania sosny ze składu gatunkowego drzewostanów. Gatunek ten praktycznie się nie odnawia i ma niewielki przyrost grubości, a w dłuższej perspektywie jest gatunkiem wymierającym. Wiąże się z tym postępująca przebudowa składu gatunkowego drzewostanów OPN.

W 1990 roku wielkość biomasy wzrastała wraz z klasą wieku drzewostanu, a w najstarszej nieco malała. Zaburzenie powyższej zależności w 2003 roku można wytłumaczyć nierównomierną ilością drzewostanów, które przeszły do kolejnych klas wieku oraz najwyższą dynamiką przyrostu drzewostanów III klasy. Należy również pamiętać, że tabele klas wieku zasadniczo tworzone są dla drzewostanów jednowiekowych i jednogatunkowych, wymogów których większość drzewostanów OPN nie spełnia.

Jak wskazują otrzymane wyniki, aparat asymilacyjny, pomimo swojego nieznacznego udziału w całkowitej biomasie, jest ważnym elementem jej przyrostu (ryc. 5). Wzrost biomasy aparatu asymilacyjnego w roku 2003 (ryc. 4), w porównaniu z rokiem 1990, zwłaszcza w V i starszych klasach wieku, jest prawdopodobnie wynikiem zmian w strukturze wiekowej i gatunkowej drzewostanów.

Największy przyrost biomasy drzewostanów w III klasie wieku oraz jej systematyczny spadek w starszych klasach jest tendencją, która została również wykazana dla drzewostanów mieszanych Puszczy Niepołomnickiej [Orzeł i in. 2005]. Zwiększenie przyrostu w VII klasie

wieku prawdopodobnie wynika z dużego udziału jodły w składzie gatunkowym drzewostanów tej klasy. Jodła jest gatunkiem, który w wieku 120-160 lat wciąż dobrze przyrasta. Ponadto jej przyrost jest zależny od zasobności, a zasobność drzewostanów OPN w tym wieku jest wysoka.

Określona roczna sekwestracja dwutlenku węgla dla terenu Parku jest wartością przybliżoną. Niewątpliwie udział biomasy systemu korzeniowego w całkowitej biomase oraz zawartość węgla w suchej masie tej części drzew są zależne od gatunku drzewa. W równaniach wykorzystanych do wyliczenia, w pierwszym przypadku pod względem współczynników, dokonano rozróżnienia jedynie na drzewa liściaste i iglaste, w drugim przyjęty współczynnik równania był taki sam dla wszystkich gatunków. Mimo tego otrzymane wyniki dotyczące ilości związanego węgla stanowią ogólny pogląd na możliwości oraz rolę Ojcowskiego Parku Narodowego jako „magazynu dwutlenku węgla”.

## Wnioski

- ✦ Drzewostany Ojcowskiego Parku Narodowego można zaliczyć do zasobnych w biomase, o stosunkowo wysokiej rocznej produkcji. Średnia biomasa w roku 2003 wynosiła 275,7 t/ha, a jej średni roczny przyrost obliczony za okres 1990-2003 wynosił 8,7 t/ha/rok.
- ✦ Wielkość oraz przyrost biomasy są zależne od wieku oraz składu gatunkowego drzewostanów. Największym przyrostem charakteryzują się drzewostany III klasy wieku, zaś najmniejszym – VI klasy. Największy udział w biomase drzewostanów OPN stwierdzono w przypadku buka, zaś najmniejszy w przypadku takich gatunków jak wiąz, lipa, osika i olsza.
- ✦ Aparat asymilacyjny ma znaczny (około 34%) udział w całkowitym przyroście nadziemnej biomasy, mimo niedużego (od 1,2% do 2,2%) udziału w całkowitej biomase.
- ✦ Określona roczna sekwestracja dwutlenku węgla warstwy drzew na terenie OPN, wynosząca 12,9 t/ha/rok, jest wartością szacunkową. Przedstawia on jednak potencjalne możliwości drzewostanów Parku jako „magazynu dwutlenku węgla”.

## Literatura

- Alberti G., Candido P., Peressotti A., Turco S., Piussi P., Zerbi G. 2005. Aboveground biomass relationships for mixed ash (*Fraxinus excelsior* L. and *Ulmus glabra* Hudson) stands in Eastern Prealps of Friuli Venezia Giulia (Italy). *Ann. For. Sci.* 62: 831-836.
- Bruchwald A. 1993. Uniform Height Curves for Silver fir Stands, *Ann. Warsaw Agricult. – Univ. SGGW, For. and Wood Technol.* 44: 3-5.
- Bruchwald A., Dmyterko E., Dudzińska M., Wirowski M. 2001. Stałe krzywe wysokości dla drzewostanów olszy czarnej. *Sylvan* 145 (11): 15-19.
- Bruchwald A., Dudzińska M., Wirowski M. 1994. Uniform height curves for oak stands. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. - SGGW, For. and Wood Technol.* 45: 3-5.
- Bruchwald A., Wirowski M. 1993. Stałe krzywe wysokości dla grabu. *Sylvan* 137 (6): 45-48.
- Bruchwald A., Witkowska J. 1993. Stałe krzywe wysokości dla drzewostanów bukowych. *Sylvan* 137 (4): 39-42.
- Bruchwald A., Wróblewski L. 1994. Uniform height curves for Norway-spruce stands. *Fol. For. Pol. ser. A*, 36: 43-47.
- Bruchwald A., Żybura H. 2002. Stałe krzywe wysokości dla drzewostanów modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.). *Sylvan* 146 (12): 5-9.
- Chwistek K. 2007. Kierunki i dynamika zmian składu gatunkowego i struktury drzewostanów Ojcowskiego Parku Narodowego w latach 1990–2003. *Prądnik. Prace Muz. Szafera* 17: 95-111.
- Claesson S., Sahlen K., Lundmark T. 2001. Functions for Biomass Estimation of Young *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula* spp. from Stands in Northern Sweden with High Stand Densities. *Scand. J. For. Res.* 16: 138-146.
- Gasparini P., Nocetti M., Tabacchi G., Tosi V. 2006. Biomass equations and data for forest stands and shrublands of the Eastern Alps. Manuscript.
- Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. 1996. Intergovernmental Panel on Climate Change
- Hytönen, J., Saarsalmi A., Rossi P. 1995. Biomass production and nutrient uptake of short- plantations. *Silva Fennica* 29 (2): 117-139.

- Jabłoński K., Róžański H. 2003. Prospects for fuel wood harvesting in Poland. Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar. 2 (1): 19-26.
- Johansson T. 1999a. Biomass Production of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) Growing on Abandoned Farmland. Silva Fenn. 33 (4): 261-280.
- Johansson T. 1999b. Biomass equations for determining functions of European aspen growing on abandoned farmland and some practical implications. Biomass and Bioenergy 17: 471-480.
- Lehtonen A., Makipää R., Muukkonen P., Peltoniemi M. 2004. Biomass estimates in national carbon inventories, Carbon budget of Finnish forests 1920-2000, Tieteiden talo 23.03.2004.
- Muukkonen P., Mäkipää R. 2006. Biomass equations for European trees: addendum. Silva Fennica 40 (4): 763-773.
- Orzeł S., Socha J., Forgiel M., Ochał W. 2005. Biomasa i roczna produkcja drzewostanów mieszanych Puszczy Niepołomnickiej. Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar. 4 (2): 63-79.
- Paladinić E., Vuletić D., Martinić I., Marjanović H., Indir K., Novotny V. 2009. Forest Biomass and sequestrated carbon estimation according to main tree components on the forest stand scale. Periodicum Biologorum 111 (4): 459-466.
- Raimer J., Rutkowska L., Grabczyński S., Orzeł S., Rieger R. 1990. Ocena biomasy i produktywności drzewostanów kompleksu leśnego „Ratanica” na Pogórze Wielickim. Acta Agr. et Silv., ser. Silv. 29: 89-103.
- Rieger R., Grabczyński S., Orzeł S., Raimer J., Rutkowska L., Wimmer M. 1988. Zapas i przyrost drzewostanów kompleksu leśnego zlewni potoku Sąsówka w OPN oraz ocena ich biomasy i rocznej produkcji. Maszynopis w Katedrze Dendrometrii UR w Krakowie.
- Rubatscher D., Munk K., Stöhr D., Bahn M., Mader-Oberhammer M., Cernusca A. 2006. Biomass expansion functions for *Larix decidua*: a contribution to the estimation of forest carbon stocks. Austrian Journal of Forest Science 123: 87-101.
- Rymer-Dudzińska T. 1978. Stałe krzywe wysokości dla drzewostanów sosnowych. Zesz. Nauk. SGGW-AR, Rozprawy Naukowe 102: 36.
- Saarsalmi A., Palmgren K., Levula T. 1985. Biomass production and nutrient and water consumption in an *Alnus incana* plantation. Folia Forestalia 628
- Socha J., Wężyk P. 2004. Empirical Formulae to assess the biomass of the aboveground part of pine trees. El. J. Pol. Agr. Univ., Forestry 5 (2).
- Special Report of the IPCC. Land Use, Landuse Change, and Forestry. 2000. Cambridge University Press, Cambridge.
- Zasada M. 2000. Stałe krzywe wysokości dla brzozy. Sylwan 146 (6): 27-31.

## SUMMARY

### Biomass and annual production of forest stands in the Ojcowski National Park

Amount of dry biomass and annual biomass production by forest stands in the Ojcowski National Park (OPN) were determined for a fourteen-year period (1990-2003). Carbon dioxide sequestration was estimated for the mentioned period as well. Stands of the OPN are biomass abundant with a reasonably high annual production. Mean stand biomass amounts to 218.6 t/ha in the year 1990 and 275.7 t/ha in the year 2003, with a mean annual increment amounting to 8.7 t/ha/yr. Beech and Scots pine had greatest percentage proportion in total biomass (accordingly 39.3% and 20.3% in 1990, 41.3% and 17.1% in 2003). Biomass amount ranged from 265.9 t/ha in stands in age class III to 265.9 t/ha in age class VI in the year 1990 and from 245.2 t/ha in age class IV to 320.1 t/ha in age class VII in the year 2003. Greatest increment was determined for age class III (mean 10.7 t/ha/yr), smallest for age class VI (mean 8.0 t/ha/yr). Assimilative apparatus had a considerable importance for biomass increment (mean 34%). Carbon dioxide yearly sequestration for the area of OPN was estimated to 12.9 t/ha.